

Bewertung räumlicher Anzeigen im Flugzeugcockpit

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde der Philosophischen Fakultät II, Psychologie, Pädagogik und Sportwissenschaft, der Universität Regensburg

vorgelegt von Dipl. Psych. Alexander Nikolaus Rabl
aus Regensburg
im Jahr 2016

Regensburg, 2016

Betreuer: Univ. Prof. Dr. Phil. Dipl.-Psych. Alf Zimmer
Gutachter: Univ. Prof. Dr. rer. nat. Mark Greenlee

Danksagung

Dank an alle, die mich bei Erstellung der Arbeit unterstützt haben: meine Frau Verena, meine Familie, meine Freunde und Kollegen und akademischen Betreuern.

Alle, die sich nicht angesprochen fühlen, sollten sich im Zweifel dazu zählen!

Danke für Hilfe und Bereicherung!

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	iii
Abkürzungsverzeichnis	vi
I Darstellung des Evaluationsgegenstandes und allgemeines Bewertungsmodell	4
1 Natürliche und künstliche Fenster zur Welt	5
1.1 Entwicklung von Cockpitanzeigen	6
1.2 An den Grenzen menschlicher Leistungsfähigkeit	13
2 Ein allgemeines Evaluationsmodell für Mensch-Maschine-Systeme	17
2.1 Evaluation, Repräsentativität und System	17
2.2 Zusammenfassung der Ebenen der Analyse	22
II Analyse der Rahmenbedingungen und Adaptierung des Evaluationsmodells	26
3 Die Seite des Operateurs	27
3.1 Informationsverarbeitung (IV)	27
3.2 Situationsbewusstsein (SB)	41
3.3 Workload, Belastung und Beanspruchung	70
3.4 Synthese von Situationsbewusstsein und Workload	77
4 Die Umwelt: Flugszenarien und ihre Charakteristika	81
4.1 Umwelt im hochagilen Flug	81
4.2 Anwendungsfälle als repräsentative Abbildung der Umwelt	83
4.3 Empirische Bestimmung der Rangordnungen von Informationskategorien als Funktion der Anwendungsfälle	85
4.4 Empirische Bestimmung der Belastung der Informationsverarbeitung als Umweltfolge	87
4.5 Zusammenfassung	88
5 Technologie: Großflächige, räumliche Anzeigen	90
5.1 Bedienkonzept	91
5.2 Das Anzeigekonzept des Eurofighter Typhoon	92
5.3 PANDIS: Ein großflächiges Anzeigekonzept	94
5.4 Konventionelle räumliche Anzeigen	105
5.5 Anpassung der Darstellungstaxonomie	107

Inhaltsverzeichnis

6	Situationsbewusstsein und Workload bei einer Luftbereichsüberwachung	110
6.1	Blickbewegungen, Situationsbewusstsein und Workload	112
6.2	Displays zum Aufbau von Situationsbewusstsein	120
7	Holistische Evaluation der räumlichen Darstellung	124
7.1	Übergang von formativer zu summativer Bewertung	124
7.2	Fragestellung: Eignung der Kugelprojektion	124
7.3	Raumbewusstsein als Bewertungskriterium	125
7.4	Einfluss von Belastung, Subjektive Wert- und Nutzenurteile	132
7.5	Holistische Untersuchungskonzeption	132
7.6	Zusammenfassung	134
III	Empirie: Experimentelle Bewertung der räumlichen Darstellungen	137
8	Positionsverständnis und Orientierung	138
8.1	Zielsetzung	138
8.2	Positionsverständnis I: Einfache Objekte in einer Kugelprojektion	139
8.3	Positionsverständnis II: Virtuelle Objekte und wirkliche Lage im Raum	168
9	Positionsverständnis und -antizipation	184
9.1	Raumbewusstsein in einer dynamischen Umwelt	184
9.2	Raumbewusstsein in einer dynamischen Umwelt	186
9.3	Annahmen und Forschungsfragen	187
9.4	Untersuchungsplanung	191
9.5	Beschreibung der Expertenstichprobe	193
9.6	Aufbau, Ablauf und Durchführung	193
9.7	Ergebnisse	194
9.8	Diskussion	212
10	Antizipation von Bereichskonflikten	215
10.1	Raumbewusstsein als Antizipation von räumlichen Konflikten	216
10.2	Hauptaufgabe: Konflikterkennung	217
10.3	Repräsentative Belastung durch Zusatzaufgaben	218
10.4	Die Erstellung der Szenarien	224
10.5	Annahmen und Forschungsfragen	225
10.6	Untersuchungsplanung, Versuchsplan	227
10.7	Versuchsumgebung, Hardware & Software	228
10.8	Training	229
10.9	Versuchsablauf	230
10.10	Beschreibung der Expertenstichprobe	230
10.11	Ergebnisse	230
10.12	Diskussion	255
IV	Fazit	258
11	Umsetzung des Evaluationskonzeptes und Bewertung der Einzelergebnisse	259

12	Offene Forschungsfragen und Problemfelder	263
V	Referenzen und Verzeichnisse	268
	Literatur	269
	Abbildungsverzeichnis	285
	Tabellenverzeichnis	289
VI	Anhang	292
A	Material zu Abschnitt 4	293
B	Material zu Abschnitt 8.2	295
C	Material zu Abschnitt 9	297
D	Material zu Abschnitt 10	308

Abkürzungsverzeichnis

2D	koplanare Anzeige
A/S	Air to Surface
AG	Arbeitsgedächtnis
AU	Aufmerksamkeit
Az	Azimut
BB	Belastung und Beanspruchung
CAP	Combat Air Patrol
CE	Cognitive Engineering
d'	D-Prime
E	Elevation Format
EEG	Elektroenzephalogramm
Entf	Entfernung
ET	Eye Tracking
EXO	exozentrische Anzeige
FA	False Alarm Rate
FOV	Field of View
H	Hit Rate
HA	Hauptaufgabe
He	Höhe
HOTAS	Hands on Throttle and Stick
IB	Inattentional Blindness
IBBA	Informatorische Belastungs- und Beanspruchungsanalyse
IM	intramodal
IV	Informationsverarbeitung
IVA	Inhaltsvalidität
kft	tausend Fuß
KM	krossmodal
KR	Kriteriumsvalidität
KV	Konstruktvalidität
LZG	Langzeitgedächtnis
M	Map/Pilot Awareness Format
MFHDD	Multi Functional Head Down Displays
mZAG	mit Zusatzaufgabe
na	nicht anwendbar
NASA-TLX	Nasa Task Load Index
NM	nautische Meile
oZAG	ohne Zusatzaufgabe
PANDIS	Panoramic Display
POC	Performance Operating Charackteristic
QUASA	Quantitive Analysis of Situational Awareness
RM	Route Management

ROTZ	Rotationszusatzaufgabe
SA	Situational Awareness
SAGAT	Sitation Awareness Global Assessment Technique
SART	Sitationa Awareness Rating Technique
SA-SWORD	Situation Awareness Subjective Workload Dominance
SB	Situationsbewusstsein
SPAM	Situation Present Assessment Method
SWORD	Subjective Workload Dominance
TLX	Task Load Index, siehe NASA-TLX
VISZ	visuelle Zusatzaufgabe
VTAS	Voice Throttle and Stick
WL	Workload
WN	Wahrnehmung
ZAG	Zusatzaufgabe
ZALZ	Zahlensuche

Zusammenfassung

Problemstellung Für die Bewertung einer räumlichen Anzeige sollte eine begleitende Evaluation erstellt und durchgeführt werden (s. Kap. 2). Dabei ist eine Empfehlung zu erstellen, ob eine bestimmte räumliche Metapher einer anderen überlegen ist. Als Rahmenfaktoren der Voranalyse gelten hierbei, dass die Anzeigen noch in einem frühen Entwicklungsstadium vorliegen und die Handlungsumwelt der Nutzer bedacht werden muss. Die Untersuchungen waren hauptsächlich an einem Expertenpool aus relativ wenigen Personen durchzuführen. Zur theoretische Fundierung der Evaluation wird Situationsbewusstsein als Leistungskriterium motiviert und eine Differenzierung und Konkretisierung hin zu räumlichen Leistungen im Umgang mit verschiedenen Raumdarstellungen expliziert.

Ziel Die Analyse- und Untersuchungsmethoden sollen eine holistische Evaluation ermöglichen. Dies umfasst sowohl den Entwurf, die Durchführung und Auswertung formativer als auch summativer Analysen, deren Primat die Eignung räumlicher Darstellungen waren. Hieraus soll die Ableitung einer Empfehlung für eine Anzeige resultieren um bereits vor einer materiellen Erstellung fundierte Aussage zur Leistungsfähigkeit von Piloten mit solchen Anzeigen machen zu können.

Vorgehen Die Evaluation besteht deshalb aus einem mehrstufigen Vorgehen und mischt qualitative als auch quantitative Methoden um ein bestmögliches Ergebnis zu erzielen. Theoretisch wird dabei die Konstrukte Situationsbewusstsein als spezifische Funktion einer allgemeinen Informationsverarbeitung des Nutzers/Operateurs sowie Belastung als Ressourcenauslastung der Informationsverarbeitung betrachtet (s. Kap. 3). In Voranalysen wird der Einfluss der Umwelt als belastungsgenerierender Faktor erhoben und ein Belastungsprofil für verschiedene Anwendungsfälle erstellt (s. Kap. 4). Die explorative Betrachtung einer Luftbereichsüberwachung mit Hilfe der Blickerfassung hat Hinweise auf mögliche Veränderungen der Darstellung und die Vermutung einer besseren Aufmerksamkeitslenkung durch diese Veränderungen (s. Kap. 6) ergeben. Aufgrund dieser Anhaltspunkte erfolgt die Erstellung verschiedener Raumansichten (s. Kap. 5) sowie die Operationalisierung von Situationsbewusstsein als räumliche Leistung mit einer Anzeige (s. Kap. 7). In aufeinander aufbauenden Untersuchungen wird dieses Kriterium in Messungen expliziert und durch subjektive Einschätzungen der Expertenprobanden ergänzt.

Ergebnisse Die **Grundeignung** (s. Kap. 8.2) einer großflächigen Darstellung von Raum auf Basis einer Kugelprojektion wird mit einer einfachen Objektpräsentation geprüft, nach der die Objektkoordinaten seriell anzugeben waren. Die Angabe der Koordinaten durch die Nutzer erfolgt mit ausreichender Genauigkeit, die Reproduktionszeit ist dabei die Funktion des relativen Winkels eines Objektes innerhalb der Darstellung. Zudem erlaubt eine Kugelprojektion Objekte im realen Raum wiederzufinden. Diese **Orientierung** im Raum (s. Kap. 8.3) steht aber hinter einer traditionellen Karte sowohl in Genauigkeit als auch in Verortungsgeschwindigkeit zurück. Eine weitere, **komparative Untersuchung mit drei verschiedenen Raumdarstellungen** (s. Kap. 9) unter situativer Belastung durch die Anzahl zu beobach-

Inhaltsverzeichnis

tender Objekte hebt die exozentrische Ansicht heraus: hier können Positionsurteile über die gegenwärtige wie die antizipierte Position schneller und genauer geleistet werden. In einem abschließenden, textbfsituativ-repräsentativen Vergleich (s. Kap. 10) mit verschiedenen, nach Umweltfaktoren erstellen Zusatzaufgaben, konnte dieser Leistungsvorsprung der exozentrischen Raumdarstellung erneut gefunden werden.

Fazit Die Erstellung einer formativen wie summativen Evaluationsumgebung mit einer Voranalyse theoretischer und umweltbezogener Faktoren sowie eine darauf aufbauender experimenteller Untersuchungsreihe lässt den Schluss zu, dass eine **exozentrische Anzeige von Raum** sowohl einer koplanaren als auch einer auf einer Kugelprojektion basierenden Anzeige überlegen ist. Allgemein kann das aufgezeigte Vorgehen leicht auf weitere Evaluationsbemühungen generalisiert werden. Diese Generalisierung hat zudem den Vorteil eine breite Wissensbasis für eine praktische Entscheidung zu generieren.

Teil I

Darstellung des Evaluationsgegenstandes und allgemeines Bewertungsmodell

1 Natürliche und künstliche Fenster zur Welt

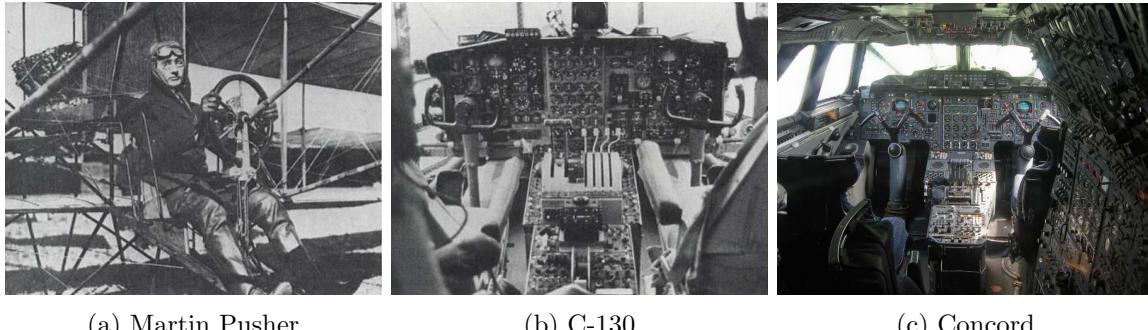
Aircraft displays are the pilot's window on the world of forces, commands and information
that cannot be seen as naturally occurring visual events or objects.
Stokes und Wickens (1988, S. 387)

Eine generell steigende Komplexität im Himmel über uns, bedingt durch ein stärkeres Flugverkehrsaufkommen, steigende technische Leistung, höhere Geschwindigkeiten und die Verringerung der Mannschaftsstärke im Cockpit von Flugzeugen fordert Piloten, Flugverkehrskontrolleuren und Flugingenieure in immer höherem Maß. Hvidt (1988) fasst diese Entwicklung prägnant zusammen: „*Normally we want evolution - in order to be able to master development. Within the field of aerospace activities we have been forced to accept revolution in order to cope with the progress in aviation at large [...]*“ (Hervorh. d. Verf.).

Es gibt zahllose Beispiele, bei denen sich die menschliche Wahrnehmungs- und Informationsverarbeitung schnell ihren Grenzen nähert - sei es aufgrund gestiegener Geschwindigkeiten, dem Nichterkennen eines nicht intendierten Sinkfluges (Harber & Harber, 2002) oder einer allgemeinen Überlastung durch die Informationsfülle (Kantowitz & Casper, 1988, S. 159). Ob zivil oder militärisch, die ständige Entwicklung und Weiterentwicklung des Cockpits steht unter dem Primat der Kanalisierung der Komplexität als Garant höherer Sicherheit. Die menschlichen Sinne allein können diese Leistung nicht mehr vollbringen. Wir benötigen technische Hilfsmittel, die Umwelt wahrzunehmen und steuernd einzutreten. So ist auch das vorangestellte Zitat zu verstehen, welches die zwei Seiten zeigt, die bedacht werden müssen.

1. „Aircraft displays are the pilot's window on the world [...]“ (Stokes & Wickens, 1988)
- die Welt kann ohne diese Hilfsmittel nicht mehr in für Entscheidung und Handlung nötiger Weise wahrgenommen werden. Technische Displays ermöglichen dem Piloten die Wahrnehmung von Information, Einflussnahme im Sinne von Einsicht und Voraussicht. Sie sind technische Hilfsmittel zur Bewältigung technischer Komplexität. Die Erlangung von Information sowie die Kontrolle durch technische Hilfsmittel über eine sonst unkontrollierbare, chaotisch erscheinende Umwelt liegen intuitiv nahe. Eine ohne diesen technischen Aspekt unterstützte, natürliche Selbstwirksamkeit (Bandura, 1977) würde wohl kaum zu einem Flug mit mehreren hundert Knoten Geschwindigkeit motivieren.
2. Eine Beschäftigung mit diesen Fenstern zur Welt zeigt aber schnell, dass diese eben nicht wie oft gewünscht als intuitive und „[...]naturally occurring visual events or objects [...]“ (Stokes & Wickens, 1988) gesehen werden können. Im Bestreben, technische Komplexität durch eine ebenso technische Darstellung aufzubrechen und dem menschlichen Operateur wieder zugänglich zu machen, geschieht es nur allzu oft, dass die Darstellung selbst zu komplex oder zu unverständlich wird, manchmal mit fatalen Folgen. Diverse Flugzeugunfälle, Stör- und Unfälle in Kernkraftwerken, bei Weltraummissionen oder in der Prozesstechnik (Norman, 1998, S. 44) zeigen das Hohe Risiko auf, das mit der technisch vermittelten Komplexitätsreduktion auf künstlichen Anzeigen einhergehen kann.

1.1 Entwicklung von Cockpitanzeigen



(a) Martin Pusher

(b) C-130

(c) Concord

Abbildung 1.1: Die Displayentwicklung über verschiedene technische Entwicklungsstufen. Bild a) und b) (Sexton, 1988) zeigen die Entwicklung hin zu analogen Displays. Bild c) zeigt die unüberschaubare Fülle an Anzeige und Kontrollelementen im Cockpit der Concorde (Kath, 2006).

1.1.1 Eieruhren, Hebel und Knöpfe

Sexton (1988, S. 502) stellt einen starken Anstieg der Anzahl an Displays im Zeitraum 1900 bis ca. 1970 fest (s. Abb. 1.2). Die Entwicklung flugtauglicher Vehikel steht am Beginn im Vordergrund, Instrumente sind zu diesem Zeitpunkt zu schwer und unnötig: Die Kontrolle des Flugapparates erfolgte nur zur Überwindung der physikalischen Grenzen, zuerst einmal muss man die Schwerkraft überwinden und diesen fragilen Gleichgewichtszustand halten. Hierfür sind lediglich primäre Steuereinheiten wichtig (s. Abbildung 1.1a).

Mit zunehmender Länge der Flüge und steigenden Geschwindigkeiten halten analoge Anzeigen Einzug ins Cockpit, sogenannte „steam gauges“ (Sexton, 1988, S. 496), umgangssprachlich auch Eieruhren genannt. Zuerst sind dies einige wenige (s. DC-3, Abbildung 1.2). Ihre Menge steigt jedoch mit der Anzahl verbauter, technischer Subsysteme stark an. Die Darstellung von Höhe, Geschwindigkeit und Richtung erfolgen als basale Parameter. So werden die Orientierung und einfache Berechnungen, etwa der nötigen Treibstoffmenge, ermöglicht. Die technische Entwicklung setzt sich fort, die Menge von Anzeige- und Bedienelementen erhöht sich weiter. Diese technische Komplexität trifft mit einer hohen Belastung in kritischen Flugphasen zusammen und führt schnell zu „Pilotenfehlern“:

„During a critical phase of flight such as landing, with higher cognitive workload constraints, the use of incorrect controls by the pilot was all too easily made.“

Foster-Hunt (2009, S. 1)

Das Problem der hohen Belastung in Verbindung mit einer kritischen Flugphase führt während des zweiten Weltkrieges zu hohen Verlusten von B17 und Lockheed P-47 Bombern (Eichinger, 2011, S. 12) während der Landephase.

Piloten verwechseln im Landeanflug die Hebel für Landeklappen und Fahrwerk, was in einer falschen Bediensequenz und dem Verlust des Flugzeuges resultierte: Die Piloten fahren während der Landung unbeabsichtigt das Fahrwerk wieder ein, wobei sie die eigentlich die

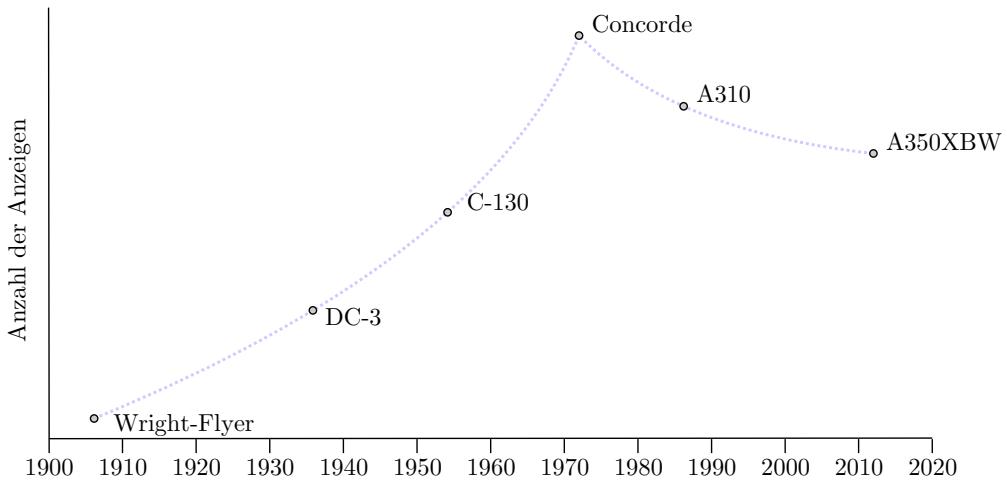


Abbildung 1.2: Entwicklung der Anzahl der Displayelemente nach Sexton (1988), erweitert ab dem Jahr 2000.

Landeklappen betätigen wollen. Die Bedienelemente für Landeklappen und Fahrwerk sind zu dieser Zeit ähnlich gestaltet und räumlich nah verbaut, was ein „[...] lack of appropriate and unique control design“ darstellt und schließlich die “[...] condition for pilot error“ legt (Foster-Hunt, 2009, S. 1). Dieses Problem wird durch eine einfache Intervention von Alphonse Chapanis behoben. Die bis dahin gleich aussehenden Hebel für Landeklappen und Fahrwerk ersetzt er durch „shape coded controls“ (Foster-Hunt, 2009, S. 1), die ein ähnliches Aussehen haben wie die technischen Systeme, die sie repräsentieren. Der Schalter für das Fahrwerk erhält einen nachgebildeten Reifen als haptisches Bedienelement, die Landeklappen folgen in ihrer Formsprache den Klappen am Flugzeug.

Der „Pilotenfehler“ stellt sich als Designfehler heraus - die Änderung der Form der Bedienelemente verhindert nahezu alle weiteren Verluste. Die Erkenntnis stellt Norman und Nielsen (2010, S. 47) heraus: „errors are not the user's fault; they are the system's (or designer's) fault for making it too easy to commit the error“.

1969 wird die Concorde in Dienst gestellt, die Komplexität erhöht sich mit fortschreitender technischer Entwicklung weiter. Bis zu seiner Außerdienststellung 2003 bietet dieses Verkehrsflugzeug überragende technische Leistungswerte. Es kann bei einer Reichweite von ca. 6500 km die zweifache Schallgeschwindigkeit überschreiten, was die Flugzeiten bei Überseeflügen drastisch verkürzt (Kable Intelligence Limited, 2014). Allerdings wächst mit diesem Leistungsschub auch die Anzahl der Anzeige und Bedienelemente im Cockpit, welches hierdurch schier unüberschaubar wird (s. Abb. 1.1c). Für jedes technische Subsystem befindet sich eine Anzeige- und Bedieneinheit entweder bei den beiden Piloten oder an der Konsole des Bordingenieurs. Francis und Reardon, 1997 stellen fest, dass diese Entwicklung auf die meisten Flugzeuge dieser Zeit zutraf:

„Military and civilian aircraft designed in the 1960's and 1970's had so many separate gauges, dials, lights, switches, buttons, circuit breakers, control wheels, and levers in compact aircraft cockpits that crewmembers necessarily had to spend a significant amount of time heads-down scanning instrument panels to find the

information and functions required to maintain safe flight.“

Das zugrunde liegende Designkonzept sieht für jedes System eine Anzeige- und Kontrolleinheit vor. Es sind alle wichtigen Anzeigen und Kontrollen im Cockpit angebracht. Sie sind zu jeder Zeit sichtbar und die Information zugänglich. Aber aufgrund der Anzahl und der Art der technischen Geräte fällt eine Erfassung wichtiger Informationen in angemessener Zeit schwer oder wird unmöglich.

Um die Systemleistung zu kontrollieren muss das Cockpit der Concord mit drei Operateuren bemannbt werden: dem Piloten, einem Co-Piloten und einem Flugingenieur. Pilot und Co-Pilot beschäftigen sich mit den typischen Flugaufgaben, der Bordingenieur betreut systemische Arbeiten und Kontrollen im Zusammenhang mit den vier Triebwerken.



(a) A320

(b) A350XBW

Abbildung 1.3: Digitale Displays im Cockpit des A310 (Maslen, 2009) und A350XBW (Airbus S.A.S, 2014).

1.1.2 Die Revolution der digitalen Anzeigen

Ab den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts reduziert sich die Anzahl der Anzeige- und Bedienelemente (s. Abb. 1.2). Einhergehend mit dem technischen Fortschritt setzen sich multifunktionale, digitale Anzeigen (Stokes & Wickens, 1988, S.409-410) durch. Zusammen mit digitalen Steuergeräten führt dies zu einer zunehmender Automation (Wiener, 1988, S. 433-435).

Diese positive Entwicklung stellt die Entwickler der Anzeigen vor neue Herausforderungen, aber auch vor neue Möglichkeiten. Die Subsysteme und ihre Kontrollen können nun auf den multifunktionalen Anzeigen an geeigneter Stelle aufgabenangemessen dargestellt werden, was bei verschiedenen Herstellern verschiedenen Anzeige- und Bedienphilosophien bedingt (Sexton, 1988, S. 505). Wo früher eine Reihe analogen Anzeigen angebracht ist, befinden sich nun wenige Displays, welche alle Anzeigen enthalten und sequentiell zur Darstellung bringen können. Diese Art der technischen Gestaltung hat starken Einfluss auf das Erleben und Verhalten der Mannschaft im Cockpit.

Durch die neue Darstellung und ihre Vorteile wird der Grundstein für eine Steigerung der

Systemleistungsfähigkeit (Cain, 2007, S. 4-3) gelegt¹. Das System unterstützt die Operatoren deutlich besser, es entsteht weniger Belastung oder belastende Aspekte können besser abgefangen werden. Generell wird ein höheres Verständnis für System und Umwelt generiert, wenn gewisse Prinzipien beachtet werden (Roscoe, 1968, S. 323 ff.). Die Vorteile der neuen Displays sind vielfältig:

- Gestaltung von **Displayinhalten frei konfigurierbar**
- **Flugphasenabhängige Handlungsunterstützung**, z.B. „electronic checklists“ bei Start oder Landung (Boorman, 2001)
- Erleichterung von Arbeitsabläufen im Cockpit durch **automatisierte Abläufe und Darstellungen**, z.B. „Flight Management Systems“ als primäre Navigationsunterstützung (Billings, 1997, S. 107 ff.)
- **Unterstützung in schwierigen Flugphasen**, z.B. „Flight Path Marker“ bei Tieffliegen, (Harber & Harber, 2002, S. 41 ff.)
- **Handlungsunterstützung bei Problemen** und in Krisenfällen, z.B. Unterstützung bei „Controlled Flight into Terrain“ (CFIT), (Prinzel, Kramer, Bailey, & Parrish, 2003)

Die neue Flexibilität wird genutzt um die darzustellende Information an die jeweilige Flugphase oder Aufgabe anzupassen:

„Display formats and the operational logic of the system must be determined so as to provide the crew members with the proper type and amount of information for the specific task being performed“

Sexton (1988, S. 509)

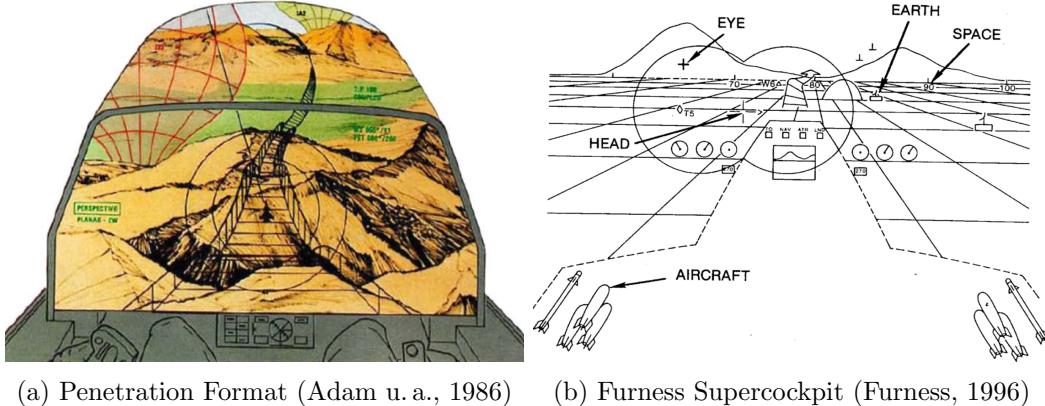
Die Darstellung auf den Anzeigen nähert sich im Verlauf dieser Entwicklung immer weiter den Aufgaben der Piloten an. Diese erhalten Unterstützung bei deren Erledigung und in Krisenfällen. Hierbei sind es vor allem zwei Aspekte, die Sexton (1988) betont: Die Logik der Darstellung von Systemzuständen muss an der Logik der Ziele des Piloten sowie seinen Erwartung angepasst sein. Im normalen Flugbetrieb unterstützen die technischen Systeme des Flugzeugs die verschiedenen Aufgaben.

Bei Unfällen wie einem kontrollierten Absturz (Prinzel u.a., 2003, **Controlled Flight Into Terrain (CFIT)**) müssen diese Anpassungen des Systems an die Aufgabe des Piloten eingreifen oder warnen. Bei einem CFIT kommt es zu einem Absturz, weil Piloten irrtümlich annehmen, einen Flug in konstanter Höhe auszuführen. Real liegt aber ein Sinkflug vor, der mit einer Bodenkollision endet. Der Pilot nimmt einen falschen Systemzustand (konstante Höhe) an und handelt entsprechend. Das System erkennt diesen stetigen aber meist geringen Sinkflug. Ab einer bestimmten Schwelle (Sinkrate oder Höhe) erfolgt eine Warnung, die den Piloten auf die Höhe und die dadurch entstehende Gefahr hinweist. In einem solchen Fall kann ein automatisiertes System zu Erkennung der Bodenkollision das Aufgabenmodell des Piloten effektiv korrigieren. Nicht nur eine Anpassung an die Aufgabe der Piloten erfolgt also im Laufe der Entwicklung, auch eine direkte, adaptive und an Systemwerten ausgerichtete Aufgabenkontrolle stellt den modernen Flug sicher. Die neuen, multifunktionalen Displays ermöglichen erstmals auch solche Informationen handlungsweisend darzustellen.

¹Cain (2007) trennt zwischen Nutzer und Systemleistung.

1.1.3 Eine nahtlose Schnittstelle zur Wirklichkeit?

Die Darstellung von Informationen durch die flexibel belegbare Displays, inspiriert bereits ab ihrer ersten Verwendung zu neuen Darstellungskonzepten (Adam u. a., 1986; Furness, 1986, 1988, 1996). Die Überlagerung einer Außensicht mit synthetisch aufbereiteter Information oder die Darstellung dieser Information auf einer großen Fläche versprechen, die Piloten besser zu unterstützen als eine Darstellung auf kleinen, flexibel belegbaren Displays.



(a) Penetration Format (Adam u. a., 1986) (b) Furness Supercockpit (Furness, 1996)

Abbildung 1.4: Die Abbildungen illustrieren die Vision für die Cockpits der Zukunft.

Überlegungen zu neuen Darstellungskonzepten münden in Arbeiten, welche die Cockpits von hochagilen Flugzeugen nahtlos mit der Außensicht verschmelzen.

Furness (1996) sieht die „Revolution“ neuer Darstellungen vor allem in fünf Bereichen:

- Ein **volumgebendes, räumliches Display** mit immersiven Qualitäten
- Die **Augmentierung** der natürlichen Situation mit synthetischer Information
- Eine Aufteilung in einzelne **Datenobjekte** statt einer Fensterdarstellung
- **Multiple Stabilisierungspunkte der Bildverarbeitung** und eine
- **multisensorische und multimodale Interaktion** mit den Datenobjekten

Adam u. a. (1986) sahen zwei mögliche Wege, um zu einer Darstellung zu gelangen, die diesen Anforderungen gerecht wird:

1. Die Verwendung vieler in einer Matrix angebrachter Einzeldisplays von eher geringer Größe:
Diese Art verringert die Zeit, die Piloten benötigen um Informationen auf wenigen Displays sequentiell durchzuschalten. Allerdings entbehrt ein solches Arrangement augmentierend-immersiver Qualität und unterstützt den Operateur nicht bei der Informationsintegration.
2. Die Nutzung einer fusionierten Darstellung für das Hauptinstrumentenbrett und die Umwelt:
Diese zweite Möglichkeit nutzt „[...] essentially the entire instrument panel as a single homogenous display to provide a fused picture of the airborne and surface environment.“ (Adam u. a., 1986, S. 64). Diese Art der Darstellung (s.a. Abbildung 1.4) fusioniert verschiedenste Informationsquellen nicht nur, die Darstellung gewinnt aufgrund ihrer, die Realität augmentierenden Art, eine völlig neue Qualität (Furness, 1988).

1.1 Entwicklung von Cockpitanzeigen

Prämissen der Darstellung muss die Unterstützung des Piloten hin zu einem genauen Situationsbild bei gleichzeitiger Beachtung der Grenzen menschlicher Informationsverarbeitung (Furness, 1988, „Challenges“) und freier Handlung und Entscheidung sein:

„Situational Awareness“ can be achieved by providing the pilot with the information he needs for the current situation in an easily usable format. This information must not overwhelm his cognitive capabilities nor should its selection and presentation interfere with his decision making responsibilities.“

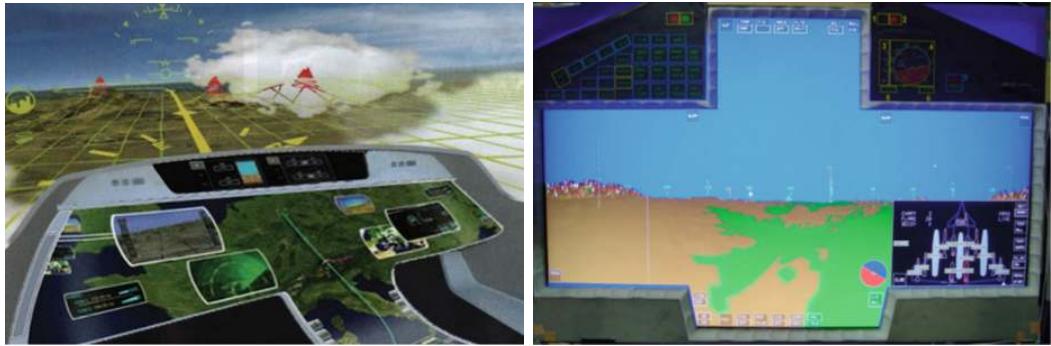
Adam u. a. (1986, S. 68)

Die Außensicht des Piloten wird dazu durch digitale geographische Karten mit Höhenprofilen, Wetterdaten, Navigationspunkten, Sensorinformationen, Aufgabendarstellungen und Systeminformationen überlagert. Solch eine Darstellung benötigt ein tiefes Verständnis der Aufgabe der Piloten und ein „creative avionics systems“ Adam u. a. (1986, S. 68). Dies muss **zufriedenstellend** (s.u.) gelöst werden: Zeit- und belastungsintensive Handlungen wie Skalierung und Anpassung der Kartendarstellung, das Einblenden von Informationen, Umschalten zwischen verschiedenen Modi oder flugaufgabenabhängige Darstellung von Informationen müssen vermieden und ein Arbeitsfluss erreicht werden. Das System richtet sich an Aufgabe und Umwelt aus und präsentiert dem Operateur genau die Informationen, die er zu einem spezifischen Zeitpunkt erwartet und benötigt. Ein „Big Picture“ of the situation at a glance path[...]“ (Adam u. a., 1986, S. 64) ist das Ziel dieser Entwicklung. Allerdings stellen Adam u. a. (1986, S. 66) auch fest, dass die Technik, die diese Displays ermöglicht, noch nicht vorhanden ist und erst entwickelt werden muss. Die in den 1980er vorhandenen Röhrenmonitore können zwar flexibel belegt werden, sind aber für große Bildschirmdiagonalen auf engem Raum aufgrund der Bautiefe des technischen Gerätes nicht für Cockpits von hochagilen Flugzeugen geeignet. Andere Techniken befinden sich zu dieser Zeit im Entwicklungs- und Teststadium (IEEE Spectrum, 2016). Der Einbau in einer sicherheitskritischen Umgebung jedoch liegt noch fern.

Das Adjektiv **zufriedenstellend** kann nur bei der Bewertung der Schnittstelle mit geeigneten Leistungskennwerten der menschlichen Bediener operationalisiert werden und macht eine Evaluation nötig. Das Ziel muss es sein, die Bedienerschnittstelle im Flugzeugcockpit an Kriterien der Bedienbarkeit und Aufgabenorientierung auszurichten und dies durch eine begleitende Evaluation nachzuweisen.

Neue konzeptuelle Prototypen (s.a. Kellerer, Eichinger, Klingauf, & Sandl, 2008; Hierl, Sandl, & Neujahr, 2012; Access Intelligence, 2013) und technische Umsetzungen (s.a. Driven Technologies, 2014; Elbit Systems of America, 2014) für sicherheitskritische Umgebungen sowie der Einbau in hochagile Flugzeuge (Eshel, 2012; Trimble, 2011) wurden durch die Entwicklung neuer, flacher Displays möglich. Zwei ausgewählte Konzepte sollen hier kurz vorgestellt werden, das „Panoramic Display“-Konzept von Airbus Defence and Space und „Odics“ von Thales.

ODICIS - One Display for a Cockpit Interactive Solution (Porcu, 2012) - ist Teil des Forschungsprogramms SESAR (Sesarju.eu, 2014), NextGen (FAA, 2014) und Clean Sky (CSJU, 2014) und wird von der Firma Thales gestaltet. Ziele der Forschungsprogramme sind die Steigerung der Effektivität und Effizienz des zivilen Luftverkehrs sowie die Verringerung allgemeiner Emissionen. Neue Techniken für die Flugsicherung, insgesamt umweltverträglichere Flugverfahren und Flugzeuge, neue Mittel der Datenübermittlung und Darstellung werden



(a) ODICIS (Access Intelligence, 2013) (b) PANDIS (Hierl, Sandl, & Neujahr, 2012)

Abbildung 1.5: Neuartige, großflächige Anzeige- und Bedienkonzepte von Thales bzw. Airbus.

hierfür berücksichtigt. Thales gibt beispielsweise als Ziel die nahtlose Zusammenarbeit von Bodenstationen und Flugzeugen an und versucht dies durch ein integratives Cockpitkonzept, das „Cockpit 3.0“ umzusetzen.

Mit ODICIS hält ein großflächiges, berührungssensitives Display Einzug ins Cockpit, welches die Fläche des gesamten Hauptinstrumentenbretts umfasst und durch seine gebogene Form den Arbeitsplatz von Pilot und Copilot umfasst. Das als „crew centric system“ (Porcu, 2012) bezeichnete Cockpit unterstützt die Mannschaft bei lokaler Aufgabenerledigung unter gleichzeitiger Wahrung des Gesamtüberblickes. 4D-Trajektorien der eigenen Flugbahn, Taxi-Way-Darstellungen während der Rollphasen am Boden und automatische Abstandssysteme (Airborne Separation Systems) sind die derzeitig prominentesten Funktionen des neuen Cockpits.

Grundlegende Kriterien, die Furness (s.o.) definierte sind gegeben, wenn auch an mancher Stelle der Integrationsgrad hinter einer traditionellen Lösung zurückstehen muss. Die von Furness (1996) geforderte und integrativ ausgearbeitete Datenobjektorientierung wird zugunsten der einfacheren fensterbasierten Darstellung von Information verworfen. Wenn auch die Darstellung vierdimensionaler Trajektorien hier eine deutliche Verbesserung der Orientierung im Raum bringen dürfte, wird so der mentale Integrationsaufwand der Piloten wieder deutlich erhöht. Zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Arbeit sind dem Verfasser keine veröffentlichten Studien bekannt, die eine Evaluation dieses Konzeptes zum Inhalt haben.

PANDIS (Panoramic Display) Bei Airbus Defence and Space wird seit 2006 ein Projekt verfolgt, das die Auslegung und Eignungsbewertung eines großflächigen Displays für hochagile Flugzeuge zum Ziel hat. Ausgerichtet ist ein mögliches Display dabei an der Cockpitgeometrie des Eurofighter Typhoon. Es soll im Heads-Down Bereich des Cockpit angebracht sein (s.a. Abb. 1.5b und die drei derzeitig verbauten Multifunktionsdisplays sowie die HUD-Box (**Heads Up Display Box**) ersetzen (Kellerer, Möller, Kostka, Neujahr, & Sandl, 2011).

Kerschenlohr (2007), Ritzer (2009) und vor allem Kellerer (2010) und Eichinger (2011) erarbeiten das grundlegende Konzept der Anzeige als auch eine prototypische Umsetzung des Displays und evaluieren die Interaktion des Nutzers mit dem Display. Für die Interaktion kommt ein infrarotbasierter Touchscreen zum Einsatz, der eine Eingabe beim Abheben des interagierenden Fingers annimmt. Dieses System hat Vorteile bezüglich Bediensicherheit und -robustheit unter ungünstigen Umwelteinflüssen (Kellerer, 2010).

Kellerer und Eichinger führen eine Eignungsbewertung der berührungssensitiven Oberfläche durch mit Hilfe einer Zeigeraufgabe durch, ihre Arbeiten stellen zentrale Anknüpfungspunkte

für die vorliegende Arbeit. Beide Autoren vergleichen direkte und indirekte Interaktionsgeräte im Kontext des Cockpits eines hochagilen Flugzeuges. Die Bewertung ist durch Aspekte der Benutzbarkeit und damit einhergehende Steigerung der Systemleistung des zugrunde liegenden Flugzeugmusters akzentuiert.

Eichinger (2011) erarbeitete ein für den Kontext hochagiles Flugzeug geeignetes Bewertungssystem indem er die Aufgaben des Piloten und die damit einhergehende Belastung ermittelt und in einem experimentellen Setup abbildet. Durch Befragung von Piloten werden informatorische Belastungsprofile für ausgewählte Anwendungsfälle gebildet und festgestellt, welcher Art die Belastung für die Piloten ist. Dieser Information zugrunde legend erstellt Eichinger Zusatzaufgaben, welche die ermittelte Belastung und so den Kontext der Tätigkeit repräsentativ abbilden. In diesem Aufgabensetting müssen Probanden möglichst schnell und fehlerfrei Objekte auf einem Touchscreen anwählen, während sie Zusatzaufgaben bearbeiten.

Kellerer ermittelt aufgrund dieses Bewertungsrahmens die Eignung eines direkten (berührungssensitive Oberfläche) und eines indirekten Bedienelements (Trackball). Kellerer und Eichinger kommen zu dem Ergebnis, dass direkte Interaktion der indirekten bezüglich Bediengeschwindigkeit und Genauigkeit überlegen ist. Dieses Ergebnis ist über die verschiedenen Zusatzaufgaben stabil und zeigt die generelle Eignung der direkten Eingabegeräte für großflächige Darstellungen.

Weitere Autoren bearbeiten verschiedene Aspekte der Informationsdarstellung auf dieser großflächigen Anzeige (Kellerer, 2006; Hadwiger, 2008; Baier, 2008; Suhr, 2008; Wittmann, 2009; Kellerer u. a., 2011; Möller, 2016).

Kellerer (2006) und Hadwiger (2008) entwerfen eine allgemeine Darstellungsmetapher für die Belegung des Displays sowie eine integrative Darstellung von Raum. Mit ihren räumlichen Anzeigen ist es technisch möglich, den gesamten ein Luftfahrzeug umgebenden Raum auf einer normalen, zweidimensionalen Anzeige perspektivisch darzustellen. Für die Darstellung verwenden Sie eine Zylinderprojektion, die auf eine zweidimensionalen Displayfläche projiziert wird und so eine egozentrierte Panorama-Dreinsicht ermöglicht.

Wittmann (2009), Kellerer u. a. (2011) und Möller (2016) erweitern diese Darstellung. Wittmann (2009) erstellt eine synthetische Darstellungen im Sinne von Furness „Supercockpit“ und lässt einzelne Darstellungsparameter von Piloten bewerten. Kellerer u. a. (2011) und Möller (2016) leiten weitere, räumliche Metaphern ab, wobei Möller (2016) eine erste experimentelle Bewertung dieser Darstellung vornimmt².

Weitere Arbeiten beschäftigen sich mit dem speziellen Anwendungsfeld geschuldeten Aspekten (Baier, 2008; Suhr, 2008). So geht Baier auf die Darstellung und das Design von Wegpunktemenüs für die Navigation ein. Suhr bewertet „zoomable user interfaces“, um das Problem der Verdeckung von Objekten durch räumlich begrenzte Vergrößerung zu lösen.

Im Projektrahmen werden weitere Interaktions- und Darstellungskonzepte erarbeitet und die Interaktion mit einem möglichen Display bereits bewertet. Die Erstellung einer Bewertung des Inhalts von räumlichen, großflächigen Anzeigen ist Substrat dieser Arbeit. Dies ergänzt die bereits vorliegenden Arbeiten um die Bewertung einer wichtigen Darstellungsmetapher.

1.2 An den Grenzen menschlicher Leistungsfähigkeit

Betrachtet man die obig dargestellte Entwicklung der Luftfahrt im Allgemeinen und die damit verbundene Entwicklung der Schnittstelle zum Piloten im Cockpit im Speziellen, kommt man

²Eine ausführliche Darstellung dieser Untersuchung ist Teil dieser Arbeit und findet sich in Kapitel 8

mit Ostinga, Wolff, Newman, und White (1999) zu dem Schluss:

„Human beings are not designed for aerial operations, either by day or by night. We can only achieve this by the use of technology and training. Our physiological limitations become very evident under certain flight conditions, and the night environment is perhaps the most significant.“

Technologie und Training sind in diesem Sinne nicht zu vernachlässigende Faktoren. Eine Forderung nach allgemeiner Evaluation auf Basis menschlicher Leistungsfähigkeit muss zu der Aussage von Ostinga u. a. hinzugenommen werden. In diesem Sinne kann man von der Triade Technik, Training und Evaluation sprechen.

Diese Forderung war nicht in allen Phasen der Entwicklung gültig. Anfangs stand die Überwindung physikalischer Grenzen und somit der Flug an sich im Vordergrund. Die Technik, sich überhaupt in die Luft zu erheben, war rudimentär. Diese stellte weniger wegen ihrer perzeptuellen und kognitiven Anforderungen eine Gefahr für Piloten dar als vielmehr durch ihren niedriger Reifegrad. Die Verbesserung der Technik musste dominieren.

Mit deren Weiterentwicklung und damit verbundenen Steigerung der Systemleistung, also höheren Geschwindigkeiten, Höhen und steigendem Verkehrsaufkommen, ergab sich ein Kontrollproblem für die Piloten. Die beiden Seiten dieses Kontrollproblems äußern sich in den Aspekten korrekt **wahrzunehmen (Perzeption)** und **richtig zu verarbeiten (Kognition)** um den Flug sicher zu gestalten. Es findet also eine Verlagerung statt, bei der die Überwindung von physikalischen Grenzen in den Hintergrund und die Bedienung der technischen Entität in den Vordergrund rückt. Ab diesem Zeitpunkt müssen Training von und eine Anpassung an die Piloten und deren Leistungsfähigkeit erfolgen.

Perzeption: Der Mensch wird an die Grenzen der Wahrnehmungsfähigkeit gebracht. Dies lässt sich in der Fliegerei durch die Komplexität der Anforderungen an die Piloten und die im Flug auftretende Illusionen aufzeigen. Für die Auswahl von Flugpersonal gelten hohe Kriterien körperlicher und visueller Unversehrtheit (Gibb, Gray, & Scharff, 2010, S. 61 ff.). Gibb u. a. stellen fest, dass der Hauptgrund für die Verweigerung medizinischer Eignung bei Piloten Probleme des visuellen Apparates sind.³ Für die Eignung als Pilot werden eine hohe Sehschärfe, normales Farbensehen, uneingeschränkte Bewegungswahrnehmung und eine gute Tiefenwahrnehmung als essentiell angesehen. Diese hohen Standards stellen einen Teil der Grundeignung von Piloten dar und sollen wahrnehmungsbasierte Probleme des Einzelnen ausschließen helfen, welche die Flugsicherheit beeinflussen könnten.

Ein von diesen Überlegungen unabhängiges Problem stellen visuelle Illusionen im Flugbetrieb dar (Previc, 2004; Gibb u. a., 2010). Diesen Phänomene kann nicht durch Selektion begegnet werden, sie zeigen unsere fehlende Anpassung an dieses relativ neue Medium. Gibb u. a. (2010, S. 149 ff.) berichten, dass in fast der Hälfte aller durch räumliche Desorientierung bedingt Flugunfälle visuelle Fehlwahrnehmungen eine entscheidende Rolle spielten. Diese Fehlwahrnehmungen können durch schlechte oder fehlende äußere Sichtbedingungen oder durch technische Displays selbst verursacht werden (Previc, 2004, S. 287). Fehlwahrnehmungen treten dabei tags wie nachts gleichermaßen auf (Previc, 2004, S. 283) und sind der Reduzierung von visuellen Hinweisreizen in der Außenwelt geschuldet (Previc, 2004, S. 317). Fehlwahrnehmung der Geländesteigung, Verwechslung von Grund und Himmel über stiller See oder

³Gibb u. a. gibt einen Überblick über die Eignungsdiagnostik und deren Probleme. Er weist auf den Umstand hin, dass o. g. Faktoren zwar wichtig sind, es aber weitere, unbeachtete und möglicherweise wichtige Faktoren gibt.

fehlerhafte Geschwindigkeits- und Höhenschätzung über konturlosem Gelände sind nur drei Beispiele, in denen die menschliche Wahrnehmung keine sinnvollen Information mehr liefern kann.

Kognition: Die Grenzen der Informationsverarbeitung durch limitierte kognitive Funktionen und Ressourcen stellen die Handlungsfähigkeit und somit die Systemsicherheit oftmals infrage, was an kognitiven Fehlleistungen leicht zu explizieren ist. Mach und Hiebert (1976) erkannten, dass “[*k*]nowledge and error flow from the same mental sources, only success can tell the one from the other“. Genauer beschreibt diesen Zusammenhang Reason (2009), der herausstellt, dass “[...] error forms are evident at all levels of human performance and appear to originate in universal cognitive processes[...]“. Die Charakterisierungen von Mach und Hiebert sowie von Reason geben einen über das Offensichtliche hinausgehenden Hinweis auf die Natur der Kognition. Fehler und Normverhalten sind nicht nur durch dieselbe Quelle bedingt. Diese Quelle muss auch imperfekt, also heuristisch, arbeiten um solches Fehlverhalten überhaupt zu ermöglichen.

Erklärbar ist dies durch verschiedene, kognitive Funktionen wie die *Spanne der Merkfähigkeit* im visuellen oder phonologischen Speicher (Baddeley, 2003), die *Limitierung der Aufmerksamkeit* bei bewusster Verarbeitung (Duncan, 1980), oder durch *automatische Abrufprozesse* die *Error forms* evozieren (Reason, 2009, S. 97 ff.). Simon fasst die begrenzte menschliche Leistungsfähigkeit prägnant zusammen:

„It is [...] a fundamental limit upon computation that human short-term memory can hold only a half dozen chunks, that an act of recognition takes nearly a second, and that the simplest human reactions are measured in tens and hundreds of milliseconds rather than microseconds or picoseconds.“

Simon (1990, S. 7)

Menschliche Kognition zeichnet sich daneben aber durch einen hohen Grad an Anpassungsfähigkeit aus (Vicente, 2004, S. 123), dennoch können technische Faktoren, undurchsichtige Bedienelemente, ein ungeeigneter zeitlicher Ereignishorizont oder die schlichte physische Anordnung von notwendigen Elementen die menschliche Wahrnehmung und Kognition durch Illusion oder Fehler korrumpern und sicheres Handeln unmöglich machen.

2 Ein allgemeines Evaluationsmodell für Mensch-Maschine-Systeme

Everyone has a plan 'till they get punched in the mouth.
Mike Tyson

Der Mensch ist hoch anpassungsfähig aber fehlbar. Die Technik ist orientiert an Machbarkeit und Leistung, aber wenig lern- und anpassungsfähig. Unter günstigen Rahmenbedingungen kann die Synthese Mensch-Technik großartiges erreichen, unter ungünstigen zur Katastrophe führen.

Das Ziel muss die Herstellung einer an den Menschen angepassten Technik sein. Vicente (2004) prägt den Term „HUMAN-tech“, in dessen Schriftbild er seine Forderung ikonisch einbettet: Erst Mensch, dann Technik - im gleichen System mit dem Menschen als Zweck und der Technik als Mittel. Die Forderung hinter dem von Vicente (2004) gewählten Schriftbild, hat immense Auswirkungen auf alle Bereiche technischer Entwicklung und Erstellung: Die Erstellung technischer Lösungen für menschliche Bedürfnisse muss an politischen und organisationsinternen Rahmenbedingungen, Gruppenaspekten sowie der psychologischen und physiologischen Leistungsfähigkeit der Menschen ausgerichtet sein, für welche diese Lösungen ersonnen werden (Vicente, 2004, S. 61 ff). Des weiteren muss die Handlungsumwelt des Menschen betrachtet werden. Die Umwelt einer Handlung beeinflusst das Ergebnis wesentlich (Simon, 1990, S. 7). Es ergibt sich also eine Folgerung: Bei jeder technischen Neuerung, die Einfluss auf einen bedienenden Menschen haben kann, besteht eine allgemeine Notwendigkeit zur Evaluation der technischen Inhalte mit dem Bewertungskriterium menschlicher Leistung. In vorliegender Arbeit soll dies für die Bewertung räumlicher Darstellungen für Flugzeugcockpits erfolgen. Die Dualität Mensch-Umwelt (Eichinger, 2011; Simon, 1990) wird deshalb als Zweck betrachtet, deren technisches Mittel (Vicente, 2004) eine räumliche Darstellung ist.

Da die Erstellung eines einheitlichen Bewertungsrahmens und die methodische Begleitung dieser Bewertung das Hauptziel vorliegender Arbeit ist, werden in diesem Abschnitt Rahmenbedingungen für eine begleitende Evaluation aufgezeigt, die für den speziellen Zweck der räumlichen Darstellungen dann in Kapitel 7 expliziert werden. Hierzu werden zuerst wichtige Prinzipien einer Evaluation ausgeführt. Aus diesen wird ein Rahmenmodell für die Evaluation abgeleitet. Dieses Modell wird dann in Kapitel 7 unter Einbeziehung der hier definierten Faktoren expliziert und als Untersuchungsplan ausgebreitet.

2.1 Evaluation, Repräsentativität und System

Evaluation ist eine grundsätzliche Forderung an die Bewertung technischer Bedienerschnittstellen, die sich aus der Verortung des Benutzers im System ableitet: „*[a] fundamental tenet of human factors is that the human operator lies at the center of system design*“ (Charlton & O'Brien, 2002, S. 21). Als zentrale Steuerinstanz des Systems stellt der Bediener „*[...] the yardstick by which the form, fit, and function of hardware and software must be gauged*“ (Charlton & O'Brien, 2002, S. 21). Um der Forderung nach „*form, fit, and function*“ aus Bedienersicht

zu genügen, müssen Methoden verfügbar gemacht werden, welche Handlungsempfehlungen ermöglichen und zeigen, wie diese Passung definiert und erreicht werden kann.

Die Arbeit an technischen Bedienschnittstellen erfordert demnach zwei Aspekte: Design, also die Festlegung von „*form and function*“ und deren Bewertung, oder Evaluation, als Feststellung des „*fit*“. Evaluation „[...] complements the design aspect of human factors [...]“ (O'Brien & Meister, 2002, S. 5) und kann als zweite Wichtige Disziplin der Schnittstellenerstellung verstanden werden.

2.1.1 Der Evaluationsbegriff in der Mensch-Maschine-Interaktion

Unter Evaluation subsumieren sich verschiedenste Begriffe und Ansätze. Ein Basisverständnis von Evaluation ist „[...] characterize, measure, assess, and evaluate the technical merit and operational effectiveness and suitability of any human-system interface [...]“ (O'Brien & Meister, 2002, S. 5). Dies schließt die Analyse von Vor- und Randbedingungen ebenso ein wie die eigentliche Messtätigkeit der Systemleistung aufgrund der technischen Erstellung oder Änderung. Bortz, Bortz-Döring, und Döring (2009, S. 96) sehen Evaluation in diesem Sinn als „[...] die systematische Anwendung empirischer Forschungsmethoden zur Bewertung des Konzeptes, des Untersuchungsplanes, der Implementierung und der Wirksamkeit sozialer Interventionsprogramme [...]“, was eine genaue Forschungsfrage und -vorgehen nötig macht. Der breite Anwendungsbereich dieses Begriffsverständnisses zeigt sich nicht nur in den verschiedenen Tätigkeiten einer Evaluation, sondern auch in Ihren Gegenständen. Technisches Gerät, soziale Programme und pädagogische Intervention sind nur drei Bereiche in denen Evaluation sinnvoll und zweckmäßig ist um die Wirkungsweise eines Eingriffs zu beschreiben und zu begleiten. Allerdings fehlt in oben genannten Definitionen der genaue Zweck der Bewertung, dieser wird von Mertens (1998, S. 219) als „[...] systematic investigation of the merit or worth of an object (program) for the purpose of reducing uncertainty in decision making [...]“ gesehen. Die Wertbestimmung des Gegenstandes und eine damit einhergehende Reduktion der Entscheidungsunsicherheit ist abhängig von verschiedenen weiteren Faktoren. Der Zweck der Evaluation als Wert schaffend für technische Schnittstellen kann als Aussage über die Passung zwischen Maschine und Mensch verstanden werden. Dies grenzt Evaluation gleichzeitig zu anderen Forschungszweigen ab: „[...] evaluation research differs from other types of research, more in terms of its intended objective than in the nature of its design or the method of its execution [...]“ (Clarke & Dawson, 1999, S. 2). Bortz u. a. (2009, S. 96) sehen dies als „[...] Anwendungsvariante empirischer Forschungsmethoden auf eine spezielle Gruppe von Fragestellungen [...]“, die einem speziellen Zweck verfolgt und nicht monomethodal angelegt ist. Der Erkenntniszugewinn ist vorhanden, versteht aber die Zielsetzung als „[...] not to prove but to improve [...]“ (Stufflebeam, 2002, S. 238). Implizit wird hierbei eine Bewertung als Ersteignung vorgenommen, aber weiter geführt.

Der Nutzenaspekt ist hoch divers, Stockmann (2006a) führt vier Bereiche an: Stockmann sieht die *Legitimierung und Schaffung einer Entscheidungsbasis*, die *Erhöhung des Wissens über den Gegenstand* für alle Beteiligten, die *Kontrolle aller am Prozess beteiligten* sowie die *Erkenntnis über den Zielerfüllungsgrad* als Primärnutzen an. Bortz u. a. (2009) ergänzen dies noch um den *Nutzen der Optimierung*, welcher durch erhaltenes Wissen entsteht und die Verbesserung des Gegenstandes erlaubt.

Wottawa und Thierauf (1998, S. 14) leiten daraus allgemeine Kennzeichen der Evaluation ab: Sie soll bei Entscheidungs- oder Handlungsalternativen *Entscheidungshilfe* bieten, muss deshalb *zielgerichtet* erfolgen und soll *nicht an bestimmte Methoden* festgelegt sein sondern muss

stets kontemporäre Methoden für diesen Zweck akquirieren.

Nach obigem kann man Evaluation als eine zielgerichtete, systematische Tätigkeit der Bewertung eines Gegenstandes charakterisieren, der eine Entscheidungsgrundlage schafft, die wiederum einen möglichst hohen Nutzen zur Reduzierung von Entscheidungsunsicherheit bieten soll.

2.1.2 Begleitende Evaluation

Die verschiedenen Aspekte der Evaluation sollen in ein einheitliches Vorgehen eingefasst werden. Die Bestandteile einer Evaluation sind demnach Frage oder Ziel, Gegenstand, Art der Evaluation, Kontext und Repräsentativität zu verstehen. Diese Begriffe müssen definiert und geklärt sowie inhaltliche ausformuliert werden um einen möglichst hohen Nutzen zu schaffen.

Ziel, Gegenstand und Datenträger

Jede Evaluation benötigt einen Gegenstand, ein zu bewertendes Objekt und die Aussage über das Ziel der Bemühungen (vgl. Wottawa & Thierau, 1998, S. 59). Die Gegenstände können dabei mehr oder weniger komplex sein, es können Personen, Umweltfaktoren, Techniken, Methoden, Projekte, Programme oder Systeme bewertet werden. Die genaue Definition des Gegenstandes ist unerlässlich, dies ermöglicht wiederum eine genaue Zielfestlegung.

Für die Bewertung muss deshalb ein Unterschied zwischen dem *Evaluationsobjekt* und zur Bewertung verwendeter *Datenträger* (Wottawa & Thierau, 1998, S. 59 ff.) vorgenommen werden. Das Objekt ist der eigentlich zu evaluierende Gegenstand, über den Aussagen gemacht werden sollen, dessen Wert oder Nutzen hinterfragt und/oder verbessert werden soll. Ein *Datenträger* ist ein Hilfsgegenstand, der zur Evaluierung nötig ist und diese ermöglicht, selbst aber keiner Bewertung unterliegt. In einer Untersuchung zu Bediengeräten (Kellerer, 2010) ist es z.B. nicht das Ziel, eine Bewertung von Personen durchzuführen. Diese werden aber als *Datenträger* genutzt um eine technische Änderung aufgrund ihrer gezeigten Leistung einordnend zu bewerten. Ihre Leistung findet als Mittler Eingang in die Bewertung, wodurch Aussagen über die technische Lösung möglich werden. Die klare Kommunikation, was der Gegenstand und was der Datenträger ist, kann zudem die Akzeptanz der Untersuchung stark erhöhen und eine motivierte Teilnahme sichern (vgl. Wottawa & Thierau, 1998). Dieser Auffassung nach findet der Mensch so Verwendung als Sensor. Seine Leistung ist Funktion der technischen Schnittstelle und wird unter diesem Aspekt analysiert¹.

Die Erarbeitung von Zielstrukturen für eine differenzierte Bewertung sind Soll-Vorgaben eines Leistungsbereiches. vgl. , Wottawa und Thierau (1998, S. 55 ff.) sehen als Ziel die „*Bewertung von Handlungsalternativen [...], die auf eine konkrete Verbesserung des Handelns*“ ausgerichtet sind. In diesen Zielstrukturen findet sich neben einem Soll-Ist-Vergleich auch das Erstellen von Alternativen, deren Relation zum Bewertungsgegenstand von Bedeutung ist.

Umsetzung in der vorliegenden Arbeit Der *Gegenstand* vorliegender Bewertung ist eine Anzeige zur Informationsdarstellung, welche großflächig raumzeitliche Zusammenhänge holistisch darstellen soll. Das *Ziel* ist der Vergleich verschiedener Anzeigen sowie eine Aussage über deren Eignung als Handlungsempfehlung zur Unsicherheitsreduktion und Schaffung einer Entscheidungsgrundlage. Da die Anzeige in ein zukünftiges Expertensystem eingebettet sein soll,

¹Gleichwohl die Definition „Mensch als Sensor“ den Menschen als „Mittel“ annimmt, bleibt er doch final immer der einzige Zweck einer solchen Überlegung.

sind als *Datenträger* zur Leistungsbereitstellung Domänenexperten zur Bewertung heranzuziehen; die Leistung von Experten an der Schnittstelle wird als primäre Bewertungsgrundlage begriffen, die Experten stellen einen wichtigen Teil der Datenträger oder Sensoren.

Art der Evaluation

Formative und summative Aspekte Scriven (1967) teilt Evaluation in formative und summative Tätigkeiten ein, welche verschiedene Tätigkeiten während des Prozesses beschreiben. Jede *formative Evaluation* ist implizit in die summative Evaluation integriert und als begleitender, optimierender Prozess zu verstehen. Sie ist „[...] process research [...]“ oder auch „[...] outcome evaluation at an intermediate stage in the development [...]“ (Scriven, 1967, S. 16). Information über die Tätigkeiten und den Stand der Evaluation werden an einem bestimmten Zeitpunkt erhoben und eine Zwischenbewertung vorgenommen. Die Definition von diskreten Subzielen, um deren Erreichungsgrad zu erkennen, kann nötig sein. Eine begleitende Einflussnahme greift bei Erstellung Probleme auf und versucht diese zu beheben oder deren Auswirkungen abzumildern. Weiter ist so eine Optimierung zu bewerkstelligen. Der Grad der Zielerreichung kann durch die formative Prozessbegleitung aktiv erhöht werden, ein Eingriff empfiehlt sich bereits bei Design und Erstellung. Methodal ist die formative Evaluation als ein eher qualitativ angelegtes Vorgehen zu verstehen, welches aber auch quantitative Züge tragen kann.

Die *summative Evaluation* ist „[...] judgement which encapsulates all the evidence up to a given point [...]“ (Taras, 2005, S. 468) und kann als Erweiterung oder Abschluss der formativen Prozessbegleitung verstanden werden. Es werden verschiedene formative Aspekte zusammengeführt und im Kontext zueinander bewertet. So sieht Scriven, 1967 die summative Bewertung als „[...] final evaluation of the project or person [...]“ an, die ein „[...] act of proper recognition of responsibility to the person, product or taxpayers [...]“ ist. Dies transzendierte die Prozessbegleitung und fordert eine Zuordnung von Verantwortung aufgrund der vorhandenen Erkenntnislage. Aufgrund der mit Projekten verbundenen Kosten ist dies unumgänglich und nötig. Zudem verpflichtet sich der Evaluator dem Auftraggeber gegenüber moralische zur Bereitstellung einer diesbezüglichen Handlungsempfehlung. So wird eine summative Evaluation meist bei Beendigung eines Projektes vorgenommen und mit der Beurteilung des Projekterfolgs gleichgesetzt.

Repräsentativität Der Begriff der Repräsentativität folgt nach Eichinger (2011, S. 17) der Prämisse, das „[b]ei der Analyse und Bewertung von Mensch-Maschine-Systemen [...] möglichst viele Aspekte der realen Arbeitsumgebung zu berücksichtigen“ sind. So sollen „[s]owohl Arbeitsumgebung als auch Operateure [...] die Realität repräsentieren“ (Eichinger, 2011). Diese Forderung nach Repräsentativität einer Evaluationsumgebung leitet sich direkt aus einem breiten Verständnis der allgemeinen Psychologie ab. Bereits Anastasi (1973) beschreibt die vielfältigen Arbeitsbereiche, in denen der ausgebildete Psychologe tätig ist und sein Methodenverständnis auf komplexe Problemfelder überträgt. Dabei sieht Anastasi (1973) einen graduellen Unterschied zwischen angewandter Forschung, in der eine angepassten Übertragung der Methodenkenntnis zu leisten ist, und der Grundlagenforschung. Die Komplexität der Anwendungsfelder, also der Kontext der Arbeitsumgebung, ist es, der die Abbildung ihrer Determinanten nötig erscheinen lässt. Nur durch die methodische Abbildung dieses Kontextes kann die Bewertung Gültigkeit erlangen. Brunswik (1956) stellt einen Bezugsrahmen für diese Art der Forschung auf, der nach Hammond (1986, S. 433) sicherstellt, das „[...] results will test the

correspondence between ideas and empirical reality in operational context [...]"'. Dieses Vorgehen betont nach Eichinger (2011) die Interaktion des Verhaltens eines handelnden Operateurs mit seiner Arbeitsumgebung. Eine Evaluationsumgebung ist repräsentativ, wenn sowohl die zur Untersuchung herangezogenen Probanden als auch die Wahl der Faktoren diesen Kontext des Anwendungsfeldes widerspiegeln.

Anwendung: Design, Erstellung und Leistungsbewertung Formativ soll das Design und die Erstellung der räumlichen Anzeige begleitet werden, um den Erstellungsprozess möglichst zu optimieren. Dies kann durch formative Befragungen zur Informationserhebung oder summativ durch Bewertung von Zwischenversionen eines Designs erfolgen. Summativ muss eine Beurteilung der Eignung der Anzeige(n) erfolgen, die diese formativen Schritte als Einzelbewertungen zusammenfasst und eine Alternativenwahl ermöglicht.

Dualität der analytischen und empirischen Evaluation

Pejtersen und Rasmussen (1997) sehen eine weitere Dimension der Evaluation, getrennt in analytische und empirische Aspekte. Demnach stellen *analytische Aspekte* einen strukturierteren Vergleich von Arbeitsanforderungen mit den Gestaltungcharakteristika eines Designs oder der Realisierung eines Prototyps dar. Eichinger, 2011 sieht darin die Überprüfung inhaltlicher Anforderungen an Funktion einer technischen Realisierung. Der *empirischer Ansatz* bedingt hingegen einen experimentellen Leistungsvergleich zwischen verschiedenen technischen Realisierung mit repräsentativen Nutzern im späteren Nutzungskontext oder dessen Approximation. Es wird experimentell festgestellt, wie die technisch beeinflusste Nutzerleistung im repräsentativen Umfeld mit verschiedenen Lösungen ausfällt. Hierdurch schließt man auf eine spätere operationelle Leistung des Systems.

Umsetzung in der vorliegenden Arbeit Die entstehenden Raumdarstellungen werden unter Einbeziehung relevanter Anforderungen der Arbeitsumwelt und der Nutzer erarbeitet und aufgrund dieser Kriterien bewertet. Eine experimentelle Bewertung der so entstandenen Lösungen ermöglicht einen Leistungsvergleich verschiedener Realisierungen und eine Aussage über deren weitere Verwendung.

2.1.3 Anforderungsbereiche der Evaluation

Aus den obig charakterisierten Aspekten der Evaluation ergeben sich allgemeine Anwendungen für ein weiteres Vorgehen. Die Anwendungsfrage muss hierbei lauten:

Warum ist eine Evaluation für ein großflächiges Display zur Informationsdarstellung nötig? Eine Anzeige mit neuartiger Darstellung stellt eine technische Erstellung dar, die eine Änderung an der Pilotenschnittstelle bedingt. Das Ziel muss demnach eine Sicherstellung der Systemleistung des Luftfahrzeuges bei technischer Änderung der Bedienerschnittstelle und somit ein Erhalt der operativen Agilität sein. Diese wird von Le Blaye (1994) als „[...] the ability to adapt and respond rapidly and precisely, with safety and poise, to maximize mission effectiveness [...]“ bezeichnet und stellt die allgemeine Anforderung einer sicheren und schnellen Interpretation und Bedienung dar.

Um dieses zu leisten, muss die Aufgabenumwelt des Bedieners beschrieben und analysiert, die räumliche Darstellung gestaltet und erstellt sowie eine umfassende Leistungsprüfung durchgeführt werden:

1. Erhebung des Umwelt- und Aufgabenspektrums

Es soll eine analytische Darstellung der Umweltgegebenheiten im hochagilen Flug erfolgen. Diese wird durch die Erhebung von repräsentativen Anwendungsfällen als allgemeiner Rahmen gestützt. Eine erste Bewertung der Umweltgegebenheiten aus der Perspektive des Benutzers in diesen Anwendungsfällen soll eine einheitliche Darstellung als *situationale Umweltfaktoren* in der die Aufgabenerfüllung charakterisieren. Es wird formativ-analytisch mit Hilfe von Expertenbefragung zu Anwendungsfällen und Beurteilung des Einflusses einzelner Aspekte gearbeitet und so eine Ableitung einer einheitlichen Charakteristik der Umwelt für eine Bewertung ermöglicht.

2. Gestaltung der räumlichen Darstellung

Aufgrund der Analyse und Erarbeitung räumlich-holistischer Darstellung für situationale Anzeigen und des Einflusses der Anwendungsfälle und allgemeinen Aufgaben sollen generelle Gestaltungsaspekte für eine Anzeige von Raum abgeleitet werden. Dies wird vornehmlich formativ-analytischen Charakter haben und die Erwartungen/Urteile von Experten zur Erstellung der Darstellung einschließen. Es erfolgt eine Aufarbeitung von Raumdarstellungen für hochagile Flugzeuge mit der Ableitung eines Prototyps für einen relationalen Vergleich.

3. Raumwahrnehmung und empirische Leistungsprüfung

In geeigneten empirischen Untersuchung soll der Einfluss auf die Verarbeitung des Bedieners festgestellt werden. Hierzu sind Leistungskriterien bezogen auf situations- und aufgabenspezifische Einflussvariablen zu definieren und in experimentellen Untersuchungen zu Wahrnehmung des Raumes zu unterziehen.

2.2 Zusammenfassung der Ebenen der Analyse

Die „[...] interaction of work environment and actors' resource constraints creates the task ad hoc“ (Pejtersen & Rasmussen, 1997), die beiden Hauptbereiche menschlicher Einflussnahme sind somit die eigene Ressourcen und die Einwirkung auf die Umwelt. Weiter geht Simon (1990, S. 7), der menschliches Verhalten als „[...] shaped by a scissors whose two blades are the structure of task environments and the computational capabilities of the actor.“ ansieht. So leitet Eichinger, 2011 Bereiche ab, die ein Evaluationsmodell unter diesen Vorgaben abdecken muss: die Arbeitsumgebung, die situative Umgebungsinterpretation des Nutzers in Abhängigkeit seiner Informationsverarbeitungskapazitäten und Handlungsstrategien. Diese Ebenen sind somit aufgespannt als:

1. Umwelt des Arbeitseinsatzes
2. Situation(en) im Aufgabenspektrum und
3. der Operateur/Bediener

Eine solche Darstellung macht Einflussbereiche der Evaluation transparent und stellt diese erweitert als Trias des technischen Systems, des agierenden Operateurs und der Handlungsumwelt dar. Das in Abbildung 2.1 enthaltene Modell zeigt die Wechselwirkungen der verschiedenen Ebenen.

Die formativen Anteile der Evaluation werden wegen ihres prozesshaft-begleitenden Charakters in den jeweiligen Kapiteln dargestellt. Dies betrifft die Charakteristika der Bediener, der

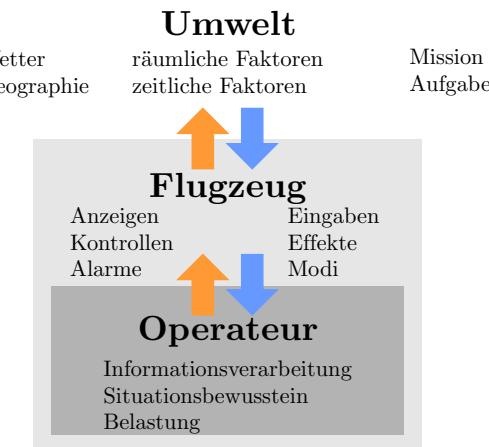


Abbildung 2.1: Das Betrachtungsmodell der Interaktionen zwischen Umwelt, technischem System und Operateur.

Umwelt und der technischen Schnittstelle.

Der Operateur stellt aufgrund seiner einmaligen Informationsverarbeitung den Kern des Systems, er muss Informationen aufnehmen, bewerten und reagieren. Allgemein ist der Informationsfluss zum Bediener technisch vermittelt. Der Operateur beeinflusst diesen durch bestimmte Handlungen und wirkt so auf seine Umwelt ein. Inhaltlich kann dies als Situationsbewusstsein verstanden werden. Hinzu kommen Belastungsanforderungen, unter denen Situationsbewusstsein gebildet und aufrechterhalten werden muss. Die Informationsverarbeitung, Situationsbewusstsein und Belastung als deren Funktion werden als interne Determinanten der menschlichen Leistung in Kapitel 3 beschrieben. Dieses Kapitel stellt die Grundlage für die differenzierte Betrachtung im Sinne Vicentes „HUMAN-tech“ dar und soll den anderen vorangestellt sein.

Die Umwelt, als externe Determinante menschlichen Handelns, kann in eine proximale, das technische System, und eine distale Umwelt gegliedert werden. Diese stellt Anforderungen an den Operateur und ist Substrat wie Resultat der Aufgabenausführung. Die proximale Umwelt ist durch das technische System und die Bedienerschnittstelle im Cockpit gegeben und umfasst Anzeige- und Bedieneinheiten. Diese bilden das technische Substrat der Evaluation, den eigentlichen Evaluationsgegenstand. Die technische oder proximale Handlungsumwelt wird in Kapitel 5 charakterisiert.

Die Bedienschnittstelle ist die primäre Wirkmöglichkeit zur distalen Umwelt, was die Aufnahme von Informationen aus dieser ebenso wie die Einwirkung angeht. Die distale Umwelt besteht aus einem Komplex verschiedener Aspekte, eine Beschreibung dieses Komplexes findet sich in Kapitel 4.

Informationsverarbeitung in einem Anwendungsfall unter Belastungsbedingungen wird in Kapitel 6 beschrieben. Die Methode der Blickanalyse zeichnet die Informationsaufnahme des Operateurs im Cockpit nach und versucht, Strategien der Blickzuwendung in verschiedenen Stufen abzuleiten. Diese explorative Betrachtung soll die Informationsverarbeitung von Experten transparent machen und dient als Eingangsinformation für die weitere Bewertung. Nach der Darstellung der Trias erfolgt die Ableitung der adaptierten Evaluation. Auch wenn summativ häufig mit dem Abschluss einer Bewertung gleichgesetzt wird (s.o.), muss ein solcher Schluss verschiedene Aspekte gleicher Basis betreffen und bewerten können. In Kapitel

2 Ein allgemeines Evaluationsmodell für Mensch-Maschine-Systeme

7 werden deshalb die Aspekte der Informationsverarbeitung, der Umwelt und der technischen Displays zusammengebracht und ein spezielles Evaluationskonzept erarbeitet. Dieses soll verschiedene Aspekte der Darstellung bewertbar machen und die nötigen Vorgehensweisen aufzeigen.

Teil II

Analyse der Rahmenbedingungen und Adaptierung des Evaluationsmodells

3 Die Seite des Operateurs: Informationsverarbeitung, Situationsbewusstsein und Workload

The basic principle of Human Factors is: „Honor thy user.“
Kantowitz und Sorkin, 1983

Für die Bewertung der Darstellung sind perzeptive und kognitive Leistungsparameter zu definieren. Dies geschieht anhand eines **Informationsverarbeitungsmodells** sowie der Konstrukte des **Situationsbewusstsein** und **Workload**.

In diesem Kapitel soll die **menschliche Informationsverarbeitung** (Abschnitt 3.1) in einem allgemeinen Rahmenmodell aufgezeigt werden. Dieses Modell gilt der *Orientierung*, hilft bei der *Erstellung und Planung des empirischen Teils* der Arbeit und der *Einordnung der erzielten Ergebnisse*. Um die Darstellung möglichst linear und nachvollziehbar zu halten, wird ein Rahmenmodell gewählt, das diesen Ansprüchen genügt und die Konstrukte Situationsbewusstsein und Workload einordenbar macht.

Das Modell der Informationsverarbeitung stellt einen einheitlichen Rahmen, in dem die Konstrukte **Situationsbewusstsein und Workload** eingeordnet werden sollen.

Situationsbewusstsein wird in Abschnitt 3.2 verstanden als ein Mittel zur Erfassung menschlicher Leistung welches vor allem semantisch-inhaltlichen Charakter hat: Es wird als situativmentales Modell charakterisiert, das die Handlungsfähigkeit des Operateurs bildet und aufrecht erhält.

Workload wird in Abschnitt 3.3 behandelt und hat zweifachen Bedeutungscharakter. Zum einen wird durch das allgemeine Modell die Möglichkeit geschaffen, Aussagen über Leistung unter Belastung zu tätigen, zum anderen ist diese Belastung assoziiert mit der Aufgabenumwelt und Ihren Anforderungen an den Operateur und stellt die Verbindung zu Kapitel 4 dar. In Abschnitt 3.4 werden Situationsbewusstsein und Workload unter dem Rahmenmodell der Informationsverarbeitung zusammengeführt.

Schließlich erfolgt in Abschnitt 6 ein Exkurs, in dem die beiden Kriterien an einer Blickauswertung in einer Luftüberwachungsaufgabe aufgezeigt werden.

3.1 Informationsverarbeitung (IV)

3.1.1 Modellbildung

Der Pilot eines hochagilen Flugzeuges wird als Teil des Systems Pilot-Umwelt-Technik, selbst als informationsverarbeitendes System verstanden. So sieht Wickens (2002a, S. 241) den Piloten als einen Informationsmanager, der immer mindestens eine von vier Aufgaben bewältigen muss: Flugführung, Navigation, Kommunikation und Systemverwaltung. Im militärischen Bereich wird dies durch die Aufgabe des taktischen Managements erweitert (Eichinger, 2011, S. 66). Ein Modell der Informationsverarbeitung kann in diesem Kontext für die „Beschreibung und Einordnung relevanter Konzepte und Prozesse der Informationsverarbeitung“ (Eichinger, 2011; Hadwiger, 2008) genutzt werden.

3.1.2 Allgemeine Definition und Modelle

Allgemeine Definition eines IV-Modells

Proctor und Vu (2009) sehen die Aufgabe, an einer digitalen Schnittstelle zu arbeiten, grundsätzlich als eine informationsverarbeitende an, bei der ein Mensch mit Hilfe der Technik eine Aufgabe erfüllen muss. Stephens und Carswell (2006, S. 256) definieren dies ähnlich und betonen die Zielgerichtetetheit: „[...] *Information Processing is one approach used to describe how minds (human and otherwise) operate. Its core assumption is that basic mental operations select and transform incoming information in goal-consistent ways*“. Wickens (2006) verortet deshalb IV „at the heart of human performance“, was den Kern menschlicher Leistung ausmacht. Wickens definiert genauer, dass „*operator[s] must perceive information, transform that information into different forms, and take action on the basis of the perceived and transformed information*“.

Die Modelle beschreiben dabei meist nicht nur die Transformation im Akteur. Implizit wird auch die Umwelt, aus der Informationen aufgenommen werden, beschrieben. Zusätzlich sind die Ausführung von Handlungen und deren Wirkung auf die Umwelt sowie deren Rückwirkung auf den Handelnden dargestellt. Kerngedanke der Modelle ist, Verhalten und Leistung des Menschen an einer technischen Schnittstelle zu erfassen und in einem einheitlichen Rahmen zu beschreiben und zu erklären. Dabei sollen die Modelle vor allem helfen, verschiedenen Einflüsse der Umwelt oder Technik auf die Akteure zu verstehen und mit psychologischen Theorien in Verbindung bringen (Wickens & Hollands, 1999, S. 10). Embrey, Blackett, Marsden, und Peachey (2006) fassen diesen Anspruch zusammen: „[Human Information Processing] includes consideration of all processes studied within mainstream cognitive psychology, such as perception, attention, memory, decision-making and psychomotor responses.“ IV soll deshalb als beschreibendes Rahmenmodell verstanden werden, welches aufzeigt, wie ein Akteur Informationen aus der Umwelt aufnimmt, diese entsprechend seinen Zielen transformiert und ggf. in Handlungen umsetzt.

Auswahl eines Bezugsmodells

Wickens (2006) beschreibt drei verschiedene Ansätze der IV, mit jeweils verschiedenen Foci auf Mensch, Umwelt und Technik. Er sieht **Stufenmodelle**, den **ökologischen Ansatz** und Modelle des **cognitive engineering (CE)** als die derzeit in Wissenschaft und Praxis dominierenden Modelle an. Die hier vorgenommene Beschränkung auf Stufenmodelle ist bedingt durch die Charakterisierung des ökologischen Ansatzes und die Zielrichtung des CE.

Der **ökologische Ansatz** fokussiert den integrativen Aspekt des Menschen in seiner Umwelt. Entwickelt wurden Informationsverarbeitungsmodelle dieser Prägung in den 1980er und 1990er Jahren, vornehmlich getrieben durch John Flach, James Gibson und Peter Hancock (Wickens, 2012), aber auch durch Jens Rasmussen und Kim Vicente (s. a. Vicente & Rasmussen, 1992). Betont wird die starke Verzahnung von Wahrnehmung, Handlung und Umwelt, deutlicher: „to act is to change what is perceived, and to perceive is to change the basis of action“ (Wickens, 2012, S. 118). Im Kontext vorliegender Arbeit wird Wert auf die Nachvollziehbarkeit verschiedener Belastungseinflüsse gelegt und keine komplexe Umwelt im realen Sinne dargestellt. Das ökologische Modell wird deshalb nicht weiter verfolgt. Die Charakteristika des Modells werden allerdings in Kapitel 4 teilweise genutzt, um die Handlungsumwelt zu beschreiben.

Bei Modellen des **cognitive engineering** liegt der Schwerpunkt einerseits auf einem tiefen

Verständnis der Aufgabenumgebung des Handelnden und andererseits auf kognitiven Wissensstrukturen (Wickens, 2012, S. 119). Wickens spricht von einem hybriden Ansatz, der Aspekte des ökologischen Modells als auch Wissensstrukturen des Handelnden abbildet. Diese Modelle entstanden vornehmlich in den 1990er bzw. 2000er Jahren und sind maßgeblich geprägt durch die Arbeiten von Rasmussen und Norman. Die Wissensstrukturen von Experten sind in vorliegender Arbeit nicht von vordringlicher Bedeutung, dieses Modell wird nicht weiter verfolgt.

Folgend wird eine Theorie menschlicher Informationsverarbeitung breiter beschrieben, auf der die subsequente Argumentation fußen soll: **das Stufenmodell der Informationsverarbeitung**.

3.1.3 Stufenmodelle

Geschichte und allgemeine Beschreibung

Der Mensch verarbeitet Informationen in verschiedenen Stufen, die analog zu den Subsystemen eines digitalen Computers beschrieben werden können. Diese Ansicht geht zurück auf den Beitrag von Neumann (1951) für das Hixon-Symposium, der die Parallelen und Unterschiede zwischen artifiziellen Automaten und natürlichen Organismen aus mathematisch-logischer Sichtweise herausarbeitet. Stephens und Carswell (2006) sowie auch Wickens (2006) greifen dies auf. Der Mensch verarbeitet demnach Informationen durch eine finite Anzahl von Mechanismen (Stufen), die in zumindest drei Schichten angeordnet sind: Informationsaufnahme, Transformation und subsequente Handlung.

Diese Ansicht verbreitet sich ab den 1940er Jahren. Geschuldet ist dies wohl der Zusammenarbeit von Ingenieuren und Psychologen im zweiten Weltkrieg, in der die technische Sprache als geeignet empfunden wird, das System „Mensch“ so zu beschreiben (Proctor & Vu, 2009). Zudem stellen sich ab diesem Zeitpunkt vor allem in der militärischen Industrie Computer als immer wichtiger heraus. Proctor und Vu (2009, S. 20) motiviert die Entstehung der Modelle als Folge der Entwicklung innerhalb der Psychologie als Wissenschaft: Der „[...] *information-processing approach was adopted because it provided a way to examine topics of basic and applied concern, such as attention, that were relatively neglected during the behaviourist period[.]*“

Ab den 1950er bis in die 1970er Jahre wird dieses Verständnis von Informationsverarbeitung vor allem durch die Arbeiten von Donald Broadbent, Ulric Neisser, Michael Posner und Robert Sternberg (Wickens, 2006) weiter vorangetragen.

Grundannahmen des Modells

Die Hauptannahmen der IV folgen oben skizzierter Analogie der Verarbeitung in einem artifiziellen Automaten:

- Informationsverarbeitung erfolgt **stufenweise in Subsystemen**
- Die **Verarbeitungskapazität in den Subsystemen ist begrenzt**

Gestützt wird dieses Konzept menschlicher Informationsverarbeitung vor allem durch experimentelle Grundlagenforschung der obig genannten.

Weitere, wie z.B. Schneider und Shiffrin, 1977, konnten zeigen, dass eine Trennung in eine zweistufige Verarbeitung menschlicher Informationsverarbeitung für Erkennung und Suche

experimentell nachvollziehbar ist. Schneider und Shiffrin untersuchten automatische und kontrollierte Suchprozesse. Automatische Suche ist demnach als aktivierte, erlernte Sequenz des Langzeitgedächtnisses zu interpretieren und wird durch entsprechende Hinweisreize ausgelöst. Diese Art der Suche erfordert keine Aufmerksamkeit und ist nicht durch Ressourcen der Stufen eingeschränkt. Kontrollierte, serielle und endliche Suche hingegen erfordert einen hohen Grad an aufmerksamkeitsbasierter Steuerung mit entsprechender Ressourcenlimitierung. Shiffrin und Schneider, 1977, S. 155 integrieren diese empirischen Beobachtungen zu einer allgemeinen Theorie von *automatic detection* und *controlled search*. Nach diesen Beobachtungen kann man von automatischen und aufmerksamkeitsbasierten, kontrollierten Prozessen in Speicherung und Abruf innerhalb des Informationsverarbeitungssystems sprechen, also einer stufenweisen Organisation.

Eine Analogie der stufenweisen Organisation als Gültigkeitsindiz lässt sich aber auch in der Physiologie des Gehirns finden. Es existieren funktionell unterschiedliche Bereiche für Wahrnehmung, Verarbeitung und Handlungsausführung - eine Trennung, die die Module der theoretischen Informationsverarbeitung zum Teil widerspiegeln (Wickens, 2006). Von dieser Be trachtung leitet Wickens (2006, S. 90;) s.a. Proctor und Vu, 2009 ab, dass es auch von hoher praktischer Bedeutung ist, einen Stufenaufbau anzunehmen: Die Annahme von Stufen hat für die Gestaltung von Bedienerschnittstellen immense Bedeutung. Durch diese Ansicht kann eine angepasste Auslegung der Schnittstelle für die Stufe der Informationsverarbeitung erfolgen. Die zweite Hauptannahme geht von Kapazitätsgrenzen der Verarbeitung auf den einzelnen Stufen aus. Eine „*effective task performance depends crucially on the availability of internal mental resources needed to power information processing sub-systems*“ (Embrey u. a., 2006, S. 49). Beschränkungen der *internal mental resources* können durch die maximal verfügbare Bandbreite bei der Transmission von Information, der Anzahl verfügbarer Verarbeitungseinheiten oder der Speicherkapazität bedingt werden. Diese Einschränkungen äußern sich in Leistungsvariationen (Eichinger, 2011, S. 35) und Leistungsmaxima. Wird mehr als eine Aufgabe gleichzeitig bearbeitet und ergibt sich eine Limitierung von o.g. Determinanten der Ressourcen, dann kommt es zu verminderter Leistung: „*[w]hen the total [...] demand of these tasks is excessive, one task or the other must suffer*“ (Wickens & Hollands, 1999, S. 14).

In der grundlagenorientierten wie angewandten Forschung kann der Einfluss unterschiedlicher Umweltbedingungen, Aufgaben oder anderer Faktoren auf die Verarbeitung auf unterschiedlichen Stufen und die bestehende Limitierung der Ressourcen dazu genutzt werden, die genaue Natur der IV zu ergründen sowie technisches Design von Schnittstellen an genau diesem Einfluss zu orientieren und zu optimieren.

3.1.4 Beschreibung der Stufen des verwendeten Modells

Abbildung 3.1 zeigt das Rahmenmodell der stufenbasierten IV nach Wickens und Hollands (1999, S. 11), welches in dieser Arbeit als theoretischer Bezugspunkt dienen soll. Dessen Aufbau folgt den Stufen der Informationsaufnahme, Transformation und Handlungsausführung. Im Folgenden werden die einzelnen Stufen genauer charakterisiert. Es wird dargestellt, inwiefern diese für vorliegende Arbeit von Bedeutung sind. Die Darstellung ist dabei an einer einfachen Aufteilung in Wahrnehmung, kognitive Verarbeitung und Gedächtnis, Handlungsauswahl und -ausführung sowie Aufmerksamkeit orientiert. Diese Betrachtung wird in den Abschnitten 3.2, 3.3 und 3.4 weiter vertieft und eine Einordnung der hier aufgeführten Konstrukte vorgenommen.

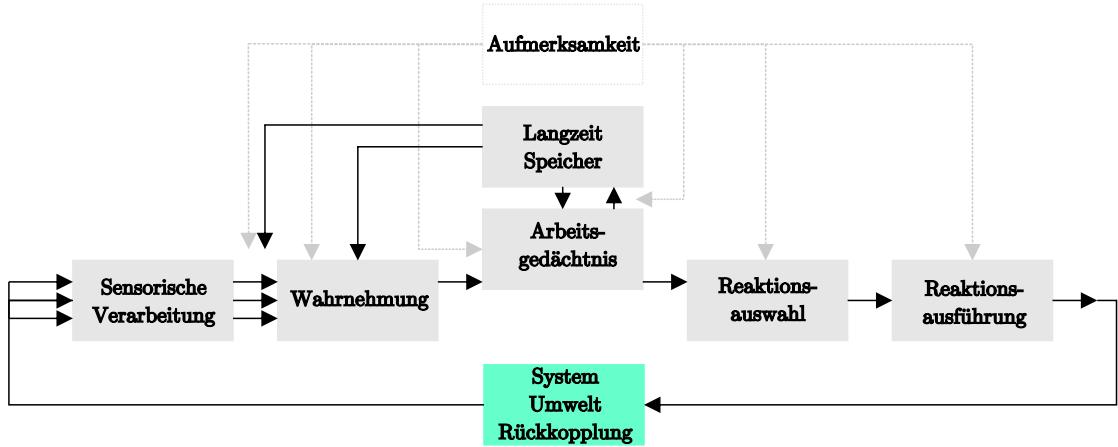


Abbildung 3.1: Das Rahmenmodell der stufenbasierten Informationsverarbeitung nach Wickens und Hollands (1999, S. 11)

Wahrnehmung (WN)

Wahrnehmungsprozesse gliedern sich in einen distalen und proximalen Akt der Informationsaufnahme. Dabei steuern sowohl Merkmale des distalen Reizes (*bottom-up*) als auch die Erfahrungen, der allgemeine Gedächtnisinhalt und der aktuelle Zustand des Wahrnehmenden (*top-down*) den Aufnahmeprozess. Bereits ab der proximalen Abbildung auf der Netzhaut ist der Prozess durch Aufmerksamkeit mediert. Carrasco (2011, S. 3) fasst diesen Prozess prägnant zusammen: „*The processing of sensory input is facilitated by knowledge and assumptions about the world, by the behavioral state of the organism, and by the (sudden) appearance of possibly relevant information in the environment.*“ Für die Betrachtung ist vor allem die visuelle Wahrnehmung von Bedeutung, andere Sinneskanäle werden nicht weiter expliziert.

Ein distaler Reiz ist durch bestimmte Merkmale gekennzeichnet, die seine aufmerksame Wahrnehmung beeinflussen können (vgl. Yantis, 2000, S. 78). Hierzu zählen alle Eigenschaften, die eine hohe *Salienz* (Treisman & Gelade, 1980) besitzen, wie etwa die Farbe Rot, Bewegung oder laute Geräusche. Die zweite Determinante der Informationsaufnahme ist der aktuelle Zustand des Beobachters, sein Wissen und seine Erfahrungen. Unter diese Prozesse fallen sowohl Alltagsfähigkeiten wie das automatische Lesen von Schrift aber auch die Erkennung von Mustern durch Experten. Eine zu strenge Abgrenzung gegenüber höherer kognitiver Verarbeitungsmechanismen ist nicht immer sinnvoll. Wahrnehmung wird als integrierter Prozess der sensorischen Aufnahme von Information durch den visuellen Kanal, gekoppelt mit aufmerksamkeitsbasierter Verarbeitung verstanden. Für das Vorgehen ist vor allem die visuelle Objektwahrnehmung wichtig.

In den Kapiteln 3.2, 3.3 wird die Bedeutung der visuellen Informationsaufnahme ergänzt bzw. im empirischen Anteil untersucht. Eine Darstellung des visuellen WN-Prozesses von Experten in einer aus einem Anwendungsfall abgeleiteten Situation wird in Abschnitt 6 exemplarisch

dargestellt.

Verarbeitung und Gedächtnis

Zwei Systeme der aktiven Verarbeitung von Information (Arbeitsgedächtnis) und zur Wissens- und Erfahrungsspeicherung (Langzeitgedächtnis) werden nachstehend dargestellt. Durch die Strukturen des Arbeitsgedächtnisses (*working memory*) und des Langzeitgedächtnisses (*long term memory*) wird die Handlungsfähigkeit sichergestellt und Wissen aufgebaut sowie abgerufen.

Für eine angewandte Betrachtung ist dies insofern wichtig, als dass in Abschnitt 3.2 ein Modell beschrieben wird, das situationsbedingte Informationsverarbeitung von Experten darstellt. Hierfür ist in diesem Zusammenhang vor allem das Arbeitsgedächtnis relevant, Aspekte des Langzeitgedächtnis werden nicht weiter betrachtet und nur an den Schnittpunkten zum AG erwähnt.

Arbeitsgedächtnis AG Die Information aus den Kanälen der Wahrnehmung dient als Basis für weitere Verarbeitung und Transformation.

In Gedächtnisspeichern und -mechanismen werden aufgenommene Informationen transformiert und gespeichert. Dies schafft die Grundlage für die Generierung situationsadäquater Handlungsalternativen oder der Extrapolation von Zuständen der Gegenwart. Für eine bewusste Verarbeitung ist Aufmerksamkeit (AU) wichtig: Durch sie wird eine bewusste Verarbeitung der Inhalte im Arbeitsgedächtnis möglich. Im Gedächtnismodell von Baddeley (2010, S. 58) ist die Verarbeitung durch eine zentrale Exekutive gesteuert und Information entweder in einem visuell-räumlich oder einem phonologischen Anteil bearbeitet (vgl. Baddeley & Hitch, 1974). Einen episodischer Puffer gewährleistet den Austausch und die Speicherung von Inhalten aus dem kurzfristig angelegtem Arbeitsgedächtnis (AG) und dem Langzeitgedächtnis (LZG). Baddeley (2000) definiert Arbeitsgedächtnis als „*a limited capacity system allowing the temporary storage and manipulation of information necessary for such complex tasks as comprehension, learning and reasoning*“. Folgend sind die relevanten Konzepte des Modells skizziert, eine graphische Repräsentation ist in Abbildung 3.2a gegeben.

- **Die zentrale Exekutive** als steuernder Prozess

Die zentrale Exekutive (Baddeley, 2001) verfügt über zwei Kontrollmodi: Einen automatisch - habituell ausgeführten und einen intentional-aufmerksamkeitsbasierten Prozess (*supervisory attentional subsystem, SAS*). Dabei ist dieses System gleichermaßen an dem Konzept der Aufmerksamkeit orientiert wie an einem reinen Gedächtnisspeicher, der „*focus [lies] both on the attentional characteristics of working memory and its more traditional links with short-term visual and verbal memory*“ (Baddeley, 1996, S. 25 ff.). Die Steuerung des Aufmerksamkeitsfokus für das Arbeitsgedächtnis erfolgt hier, was mehr einem aufmerksamkeitsbasierten Kontrollsysteem als einem Gedächtnisspeicher gleicht (Baddeley, 2000, 2010).

- **Der phonologische Speicher** für *verbal-auditives Material*

Ebenfalls aus zwei Komponenten besteht der phonologische Anteil des Modells (Baddeley, 2000, S. 3); ein temporärer Speicher für verbales Material sowie ein artikulatorischer Wiederholungsprozess (*inner speech*). Die Speicherdauer ist ohne Wiederholung nur einige Sekunden möglich, bei einer Spanne von etwa sieben Elementen. Diese werden

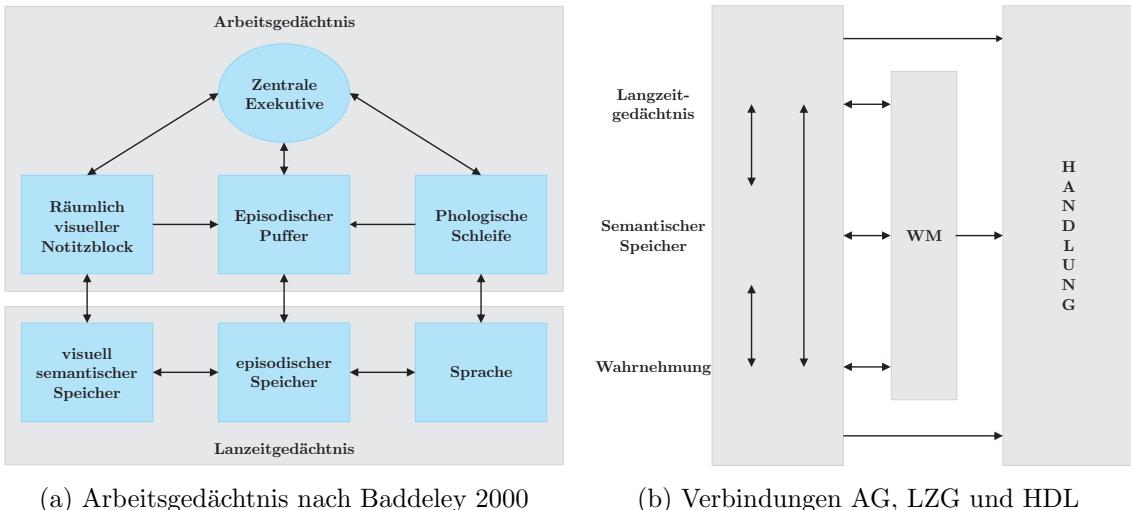


Abbildung 3.2: Arbeitsgedächtnis nach Baddeley 2000

sequenzabhängig gespeichert und eine längere Behaltensdauer kann nur durch mentale Artikulation erreicht werden.

- **Der visuell-räumliche Notizblock**

In diesem Aspekt des Arbeitsgedächtnismodells findet die temporäre Speicherung und Manipulation von visuell-räumlich kodierten Informationen statt (Baddeley, 2001). Er besteht aus einem Speicheranteil (*cache*) und ein Wiederholungsprozess (*inner scribe*) (Logie, 1995, S. 17). Wie in den anderen Subsystemen wird auch hier eine Limitierung erwartet, es können ca. drei bis vier Objekte (Baddeley, 2003) gleichzeitig behalten werden.

- **Der episodische Puffer als *multimodaler Zwischenspeicher***

Baddeley (2000) führt einen episodischen Puffer ein, um temporäre Speicherung in multimodaler Art zu schaffen. Dieses Subsystem leistet die Integration von Informationen aus anderen Systemen zu einer episodischen Repräsentation. Es scheint kapazitätsbeschränkt auf etwa drei bis vier multimodale Arrays. Zudem verfügt es über Austauschprozesse mit allen Subsystemen des Arbeitsgedächtnis und beinhaltet die Möglichkeit des Abrufes aus dem und der Speicherung im Langzeitgedächtnis.

Die Darstellung des Arbeitsgedächtnisses nach Baddeley und Hitch als zentrale Exekutive, visuospatialer Notizblock, phonologisches und episodisches Gedächtnissysteme stellt den Kern der Informationsverarbeitung dar.

Dieses zentrale Organ der Informationsverarbeitung kann zusammen mit dem noch zu charakterisierenden Phänomenen der Aufmerksamkeit bei der Generierung neuer, flüder Wissensinhalte aus Informationen der Umwelt, dem Zustand des Akteurs sowie seinem Wissen helfen. Auch die Zusammenführung mit eben angesprochenen Inhalten des LZG ist so gewährleistet. Eine Entscheidungsfindung als Erdenken und Bewerten von Alternativen sowie der Ausführung geeigneter Handlungen ist für Piloten im Cockpit innerhalb von wenigen Sekunden wichtig und wird maßgeblich durch die Leistung des Arbeitsgedächtnisses unterstützt.

Prospektives Gedächtnis Eine weitere, für die angewandten Konzepte wichtige Funktion stellt die Extrapolation von Gedächtnisinhalten in die Zukunft und die Abschätzung deren

Auswirkung sowie die Auswahl einer entsprechenden Handlung dar. Diese Funktion wird als *prospektives Gedächtnis* bezeichnet und kann dem Arbeitsgedächtnis sowie den Funktionen der Aufmerksamkeit zugeschrieben werden. Prospektives Gedächtnis definiert Eysenck (2010, S. 343) als „[r]emembering to carry out some intended action in the absence of any explicit reminder to do so“. Diese Definition lässt eine Interpretation des Systems in jeder Aufgabenumwelt zu und macht das Konzept geeignet, Extrapolationsleistungen zu erklären.

Den Hinweisreizen aus der Umwelt entsprechend ist es sinnvoll, zwei funktionell getrennte Subsysteme anzunehmen, ein ereignisbestimmtes (*event-based*) und ein zeitbestimmtes (*time-based*) Subsystem (vgl. Eysenck, 2010, S. 349). Die jeweiligen Auslösereize sind demnach entweder Ereignisse in der Umwelt oder dem Handelnden selbst oder bestimmte zeitliche Intervalle nach denen eine Handlung ausgeführt werden soll. Eysenck beschränkt seine Betrachtung auf auszuführende Handlungen. Es erscheint sinnvoll von einer Erweiterung auf alle Arten von internen und externen „Handlungen“, also auch kognitiven Prozessen, auszugehen. Smith und Bayen (2005) gehen davon aus, dass dem prospektiven Gedächtnis zwei Prozesse zugrunde liegen. Wenn ein Handelnder eine Intention bildet und dieser folgt, wird diese von einem attentionalen Beobachtungsprozess (*monitoring process*) begleitet, bis die intendierte Handlung ausgeführt ist. Diese Art Prozess verbraucht Kapazitäten der Aufmerksamkeit und ist somit anfällig für Störungen und daraus resultierende Fehler. Weiter benötigt dieser Prozess eine Vergleichsbasis im retrospektiven Gedächtnis, um das Ziel des prospektiven Gedächtnisses klar identifizieren zu können. Der Beobachtungsprozess ist demnach für die Identifizierung des auslösenden Ereignisses oder Zeitintervales zuständig. Das eigentliche Ziel dagegen liegt in einem retrospektiven Speicher und muss abgeglichen werden. Mit Hilfe dieser Prozesse kann aus dem aktuellen Inhalt des AG extrapoliert werden, eine Leistung, die als Antizipation im Konzept des Situationsbewusstseins ausgebaut wird.

Fazit Die in diesem Abschnitt skizzierten Prozesse, Funktionen und Leistungen des Arbeitsgedächtnis werden für die Verarbeitung von Objekten und deren Position, Orientierung und Antizipation sowie für eine Klassifizierung von Zusatzaufgabe (ZAG) verwendet. In den Kapiteln 3.2, 3.3 werden diese Betrachtungen anhand der Konzepte Situationsbewusstsein und Workload ergänzt bzw. im empirischen Anteil untersucht. Eine Darstellung des visuellen WN-Prozesses erfolgt in Abschnitt 6, die dort identifizierten Muster zeigen auf deutliche Weise wie Information von Experten für die Verarbeitung im Arbeitsgedächtnis aufgenommen wird.

Handlungsausführung Die Handlungsausführung wird als motorisches Subsystem begriffen, welche die im kognitiven Subsystem vorbereitete Handlungen umsetzt. Durch Handlung wird auf die Umwelt eingewirkt und ihr Zustand verändert, was dem Handelnden über Prozesse der Wahrnehmung als Rückwirkungsschleife zugeführt wird (Wickens, 2006). Die Aspekte der Umwelt und deren Einfluss werden in Kapitel 4 betrachtet. Die motorischen Handlungen sind nicht Fokus der Arbeit und werden nur zur Aufzeichnung von Reaktionen in den empirischen Anteilen verwendet. Es soll keine Aussage über motorische Aspekte getätigt werden; Handlungen werden nur genutzt, um Reaktionen auf bestimmte Stimuli bewertbar zu machen und so die Evaluation durchzuführen.

Aufmerksamkeit Dem Konzept der Aufmerksamkeit kommt im Modell der Informationsverarbeitung eine übergeordnete und kontrollierende sowie integrierende Funktion zu. Durch Funktionen der Aufmerksamkeit wird ab dem Akt der Wahrnehmung Information entspre-

chend den Zielen des Individuums oder aufgrund Eigenschaften der Information in Speichern und Prozessen des Gedächtnisses aktiv transformiert und Handlungen vorbereitet.

Eine einheitliche Definition von Aufmerksamkeit scheint phänomenologisch einfach. Bereits William James weist auf die direkte subjektive Erfahrbarkeit mit „every one knows what attention is“ (William, 1890) hin. Er stellt dabei die subjektive Erfahrung des Phänomens in den Vordergrund und beschreibt alltäglich erfahrbare Funktionen und Phänomene.

Aufmerksamkeit ist dabei mehr als das rein introspektiv erfahrbare Phänomen, mental Objekte zu erfassen und mit diesen zu agieren. Als Konstrukt wurde Aufmerksamkeit z.T. mit einem autonomen, kontrolliert handelnden Agenten innerhalb des menschlichen Geistes verglichen. Eine Ansicht, die für eine wissenschaftliche Theorie des menschlichen Geistes sehr problematisch ist. Posner (1986, S. 151) verdeutlicht dies: „*A ghost haunts experimental psychology and many of our demonstrations. The ghost is homunculus, the little man inside.*“ Das Problem, ein Art „Humunculus“ zu vermuten, um Verhalten zu erklären, ist die Verschiebung der Erklärung von Erleben und Verhalten auf eine neue Ebene wobei nun eine Erklärung auf ebendieser Ebene nötig wird, aber nicht erfolgt. Dies spiegelt wieder, dass Aufmerksamkeit als einzelnes Konzept schwer erklärt werden kann. Die Ambiguität zwischen Aufmerksamkeit als klarer, intuitiver Begriff nach William, aber auch als vage formuliertes, suspektes Konzept (Scholl, 2001) charakterisiert Styles (1997) treffend: „[...] „*Nobody knows what attention is“ or at least not all psychologists agree*“. So gibt Styles zu bedenken, dass Aufmerksamkeit „[...] not a single concept, but the name for a variety of psychological phenomena [...]“ ist.

Vecera und Rizzo (2003) gehen auf die funktionalen Aspekte der AU ein. Sie begreifen die AU als nötig, weil „*the environment contains more information than can be processed and comprehended at any given time*“. AU bietet demnach Orientierung hin zu relevanten Reizen. Gleichermaßen verhindert AU eine Überlastung des Individuums durch Filterung und Integration von Information. Bei einer zu großer Anzahl von Reizen erscheint dies als eine optimale Strategie, sich nur an Informationen zu orientieren, die unmittelbar für das Verhalten wichtig sind. AU kann als zentrale Funktion aufgefasst werden und erlaubt eine Definition des Phänomens über funktionale Merkmale (Scholl, 2001). Posner definiert Aufmerksamkeit so als ein „[...]unified, central system of operations[...]“Posner, 1986, S. 153. Ein zentrales System, dessen Funktionen die Verarbeitung von Information zwar nicht selbst leisten kann, aber die Verarbeitung überwacht und leitet, als „*withdrawal from some things in order to deal effectively with others*“(William, 1890, S. 204). In diesem Sinn ist der Anspruch an eine Definition von Aufmerksamkeit erfüllt, welche in der Informationsverarbeitung integrierbar ist und bei Erstellung, Analyse und Erklärung empirischer Daten hilfreich ist.

Für das Vorgehen wird Aufmerksamkeit als übergreifende Funktion nicht weiter definiert als die von Posner vorgeschlagene, zentrale Überwachungs- und Integrationsfunktion. Vielmehr sollen zentrale Funktionen aufgezeigt werden, die die nötigen Aspekte von Aufmerksamkeit charakterisieren und helfen, die angewandten Konzepte für die Evaluation zu motivieren. Diese Funktionen sind die *Selektivität und Fokussierung* der Aufmerksamkeit, deren *Lokalisierung und Objektbezogenheit*, die *geteilte Aufmerksamkeit und die Kapazitätslimitierung*.

Selektive Aufmerksamkeit und Fokussierung Ab den 1950er Jahren entwickelt Donald Broadbent die erste „*Early Filter*“- oder „*Bottleneck*-Theorie der Aufmerksamkeit. Aufmerksamkeit ist dieser Theorie nach durch einen einzigen Kanal vermittelt. Dieser ermöglicht in einer ersten Stufe eine unlimitierte Aufnahme von Reizen in einen präattentiven aber temporären Speicher geringer Halbwertszeit. Aus diesem sensorischen Register werden bestimmte

Informationen registriert und aufmerksam verarbeitet. Ab 1960 erfolgte eine Reformulierung durch Anne Treisman (s.a. Proctor & Read, 2006), da sich in verschiedenen Untersuchungen gezeigt hatte, dass auch unbeachtetes Material Verhalten beeinflussen (z.B. Cocktail Party Effekt) kann. Treisman entwickelt Broadbents frühen Filter weiter zur „*Filter Attenuation Theory*“. Hierbei geht sie von einem Filter aus, der Reize aus dem sensorischen Register holt. Andere, ebenfalls im Register befindliche Reize werden aber dadurch nicht ausgeblendet sondern in abgeschwächter Form behalten und können immer noch das Verhalten beeinflussen. Einen Überblick der Entwicklung in diesem Bereich geben Proctor und Read (2006, S. 266 ff) oder Styles (1997).

Ab 1980 entwickelt Treisman die *Feature Integration Theory* der Aufmerksamkeit, deren zentrale Funktion die Integration von Reizmerkmalen ist. AU ist früh im Wahrnehmungsprozess integriert und wird oft mit der Metapher des Suchscheinwerfers („*Spotlight*“) beschrieben. Die Lenkung der Aufmerksamkeit auf eine Quelle definierter räumlicher Ausdehnung beschreiben Treisman und Gelade (1980) sowie Treisman (1995). Zentral ist hierbei, dass Reize „*early, automatically, and in parallel across the visual field*“ (Treisman & Gelade, 1980, S. 98) aufgenommen werden. Visuelle Reize sind über Eigenschaften charakterisiert, die durch „*specialised sets of detectors which respond in parallel across the visual display*“ (Styles, 1997) erkannt werden. Diese Detektoren reagieren auf Farbe, Orientierung, Helligkeit und Bewegungsrichtung. Die Steuerung kann exogen (durch die *Qualität eines Reizes*) oder endogen (durch die *Einwirkung bewusster Steuerung*) geschehen. In Experimenten visueller Suche können Unterschiede zwischen konjunktem Reizmaterial und eigenschaftsbasiertem Reizmaterial gefunden werden (Treisman, 1982). Bei einer eigenschaftsbasierten Suche unterscheiden sich die Objekte in einem Suchdisplay durch ein Merkmal wie etwa Farbe **oder** Orientierung. Abweichende Reize werden schnell gefunden und die Anzahl von Distraktoren beeinflusst die Suchzeit nicht maßgeblich. Bei konjunktem Reizmaterial unterscheiden sich die Objekte durch die Kombination von zwei oder mehr Eigenschaften, also z.B. Farbe **und** Orientierung. In einem konjunktem Suchdurchlauf muss ein „*binding*“ erfolgen, eine mentale Kombination der Reizdimensionen zu einem Objekt (Styles, 1997). Durch *Binding* werden einzelne Reizdimensionen zu Objekten zusammengefasst. Die fokale Aufmerksamkeit arbeitet als mentaler „*glue*“. Dieser Prozess wird durch eine Grundwertkarte („*Master Map*“) und einzelne Objektdaten („*Object Files*“) vermittelt. Auf der Grundwertkarte sind die Eigenschaften von Reizen lokal verfügbar und in Objektdaten gespeichert. Die Objektdaten fungieren als Container, welche mit Inhalten des Langzeitgedächtnisses verglichen werden, um Objekterkennung zu leisten. Erkennungsprozesse sind auf dieser Ebene entweder durch die Objektdaten geleitet oder selbstbildend, wodurch es zu illusorischen Konjunktionen kommen kann.

Über die Ergebnisse der in der Tradition von Treisman geleisteten Untersuchungen können Aussagen über visuelle Auswahlprozesse durch automatische oder geleitete Gruppierungen gemacht werden. So werden Gestaltungsprozesse von Displays erleichtert oder unterstützt. Dies betrifft Gruppierungen von Reizen zu einheitlichen Bildern auf Displays, Gestaltungshinweise für Reize, die einer bestimmten Verwendung zugeführt werden sollen oder die Beschreibung von Objekten und deren Eigenschaften. Zudem eignen sich die in den Untersuchungen verwendeten visuellen Suchaufgaben zur Gestaltung genau definierter, auf visueller Aufmerksamkeit basierter Suchaufgaben als Zusatzaufgabe im Sinne von Belastung.

Lokalisation und Objektbezogenheit Eine weitere Funktion der Aufmerksamkeit - bereits auch im *Spotlight* und der Grundwertkarte implizit enthalten - ist die *räumliche Ausdehnung*.

nung und eine *direkte Objektbezogenheit*. Die räumliche Ausdehnung der Aufmerksamkeit ist in dem Phänomen der overten und coverten Orientierung (Posner, 1980) bei visueller Suche ersichtlich (s.a. Vecera & Rizzo, 2003). Bewegt ein Beobachter seine Augen auf einen Reiz, ist durch eine „*foveation of a stimulus*“ Posner und Petersen, 1990, S. 27 die Verarbeitung des Reizes intensiviert und man spricht von overter Aufmerksamkeit. Innerhalb eines größeren Kegels definierten Ausmaßes um dieses overte Zentrum kann covert und ohne Augenbewegung der Fokus der Aufmerksamkeit verschoben werden Posner, 1987. Dieser Mechanismus zeigt, dass Verarbeitung ohne direkte physische Bewegung der Augen um ein foveal bestimmtes Zentrum stattfinden kann. Durch einen Mechanismus der Aufmerksamkeit, welcher an räumlichen Gegebenheiten orientiert ist, wird die Reizumwelt als mehrdimensionales räumliches Umfeld aufgefasst, dessen Inhalt über räumliche Koordinaten beschrieben ist.

Eine scheinbare Gegenposition bildet eine *objektbasierte Aufmerksamkeit*, also attentive Verarbeitung von Reizen orientiert an Objekten und deren Struktur. Dabei ergibt sich die Frage nach Orientierung der Aufmerksamkeit an einen Teil des Raumes, in dem ein Objekt als inhärenter Teil der Umgebung integriert ist, oder nach der selektiven Orientierung an einem Objekt als eigene Entität im Raum.

In einem Experiment von Neisser und Becklen (1975) werden Probanden Videos mit visuell überlagerten Szenen gezeigt. Die Versuchspersonen sollen eine der beiden überlagerten Szenen beachten und eine einfache Zählaufgabe ausführen. Eine Szene zeigte ein Handspiel, die zweite ein Ballwurfspiel. Gezählt wurden entweder die Würfe der Ballspieler oder die Schläge der Hände. Neisser und Becklen (1975) tauschten nun einen der Ballspieler aus während die Probanden das Handspiel beachteten. Der Wechsel eines Ballspielers entging jedoch den meisten der Probanden. Sie zeigen „*inattentional blindness*“ für eine Szene bei Beachtung einer anderen. Zwar ist die Arbeit von Neisser und Becklen aufgrund der Verwendung von Realweltszenen nicht methodisch rigoros kontrolliert (Scholl, 2001), das Phänomen ist jedoch auch in weitaus kontrollierteren Experimenten (s.a. Mack & Rock, 1998; Simons & Chabris, 1999; Mack, 2003) zu beobachten. Das von Neisser und Becklen beobachtete Phänomen ist schlecht mit einer rein räumlichen Aufmerksamkeit zu erklären. Bei global überlagerten Szenen würde diese Theorie eher illusorische Konjunktionen von verschiedenen Objekteigenschaften als eine Blindheit gegenüber einer Szene vorhersagen. Diese treten aber nicht auf.

Für eine Objektorientierung sprechen auch Ergebnisse mit dem Paradigma des „*Multi Object Tracking*“ (Scholl, 2001, S. 9 ff.). Hierbei muss ein Probanden mehrere bewegte Zielobjekte gleichzeitig verfolgen und nach einer gewissen Zeit angeben, welche die ursprünglich indizierten Zielobjekte sind. Alle Objekte bewegen sich unabhängig und unvorhersehbar auf dem gesamten Bildschirm. Bei solchen Aufgaben erreichen Probanden häufig Erkennungsleistungen von durchschnittlich 85% (Scholl, 2001). Die Verfolgung der Objekte ist dabei so angelegt, dass eine räumliche Funktion der Aufmerksamkeit diese Leistung nicht erklären kann, selbst wenn bei einem relativ großen Radius eine coverte Verarbeitung stattfinden könnte.

Eine Integration beider Funktionen ist hier nicht von Interesse. Vielmehr werden beide zu beobachtende Phänomene für die Aspekte der Arbeit genutzt in denen sie den höchsten Erklärungswert besitzen. Räumliche Aufmerksamkeit mit fovealer und Konverter Verarbeitung wird genutzt um visuelle Zusatzaufgaben zu motivieren (s. Kapitel 9). Objektbezogene Aufmerksamkeit ist für das Verständnis der Vorgänge bei der simultanen Verfolgung mehrerer Objekte nützlich und wird für die Erstellung von Objektbeobachtung genutzt (s. Kapitel 9 und Kapitel 10).

Geteilte Aufmerksamkeit, Kapazitätslimitierung und energetischer Aufwand Die Auswahl relevanter und behavioral nützlicher Einzelreize muss durch einen Mechanismus der Aufmerksamkeit geleistet werden. Ist die Verarbeitung von mehr als einer Reizquelle oder die Lösung mehrerer Aufgaben gleichzeitig oder in schneller serieller Abfolge zu leisten, ist die Aufmerksamkeit entsprechend zu verteilen.

In Einkanaltheorien wie Broadbends Filter können solche Aufgabenleistungen nicht suffizient erklärt werden, es sei denn, es erfolgt ein ständiger und nahezu verlustloser Wechsel (vgl. Styles, 1997) zwischen den Aufgaben. Bereits Moray (1967) sieht die Einkanaltheorien als nicht geeignet für diese Leistungen. Allport, Antonis, und Reynolds (1972) gibt empirische Evidenz:

In einem Zwei-Aufgaben-Setting werden in einer Aufgabe Worte entweder visuell als Schrift, auditiv oder visuell als Wortrepräsentationen gegeben. Zudem ist in der zweiten Aufgabe gleichzeitig ein „shadowing“ eines auditiv gegebenen Textes zu leisten. Die Fehlerrate bei der ersten Aufgabe zeigt eine klare Rangordnung: auditiv präsentierte Wörter hatten die höchste, visuelle die nächstniedrigere und Bildpräsentation die geringste Fehlerrate. Geht man von einem Kanal aus, hätten alle drei Aufgaben ähnliche Interferenzen zeigen müssen. In einem zweiten Experiment werden neben der *shadowing*-Aufgabe als Zusatzaufgabe das Abspielen eines Stücks auf dem Piano nach Notenblatt eingeführt. Auch in diesem gab es ein ähnliches Ergebnis, es traten nahezu keine Effizienzverluste in beiden Aufgaben auf.

Die Ergebnisse von Allport u. a. sind durch Einkanaltheorien nicht befriedigend zu erklären. Es wird ein theoretischer Ansatz benötigt, der die Aufteilung von Aufmerksamkeit auf verschiedene Aufgaben zulässt und zudem erklären kann, warum es zu beschriebener Reihung der Fehler in verschiedenen Aufgabentypen kommt. Ein solcher Ansatz muss *mehrere Verarbeitungskanäle ermöglichen, eine Limitierung der Kanäle vorsehen, die Art der Information und deren Repräsentation mit einbeziehen und den Wechsel zwischen Aufgaben und die dadurch entstehenden Interferenzen erklären*.

Nach Eichinger (2011, S. 44 ff.) sind Modelle unspezifischer und spezifischer Kapazität fähig, die geforderten Ansprüche zu erfüllen. Wickens (1980, S. 240) sieht Aufmerksamkeit oder Kapazität synonym und als „*a processing ressource that can be allocated in continuous modulated quantities as required by task demand*“. Die Ressource Aufmerksamkeit wird entsprechend der Anforderungen in variierbarer Menge zur Aufgabenbearbeitung herangezogen.

Unspezifische Ressourcen Eine einheitliche und unspezifischen Aufmerksamkeitsressource stellt Kahneman (1973) in seinem Modell des *Attention and Effort* dar. Eine Kapazitätszuweisung erfolgt strikt nach Nachfrage und Angebot (*Demand and Supply*). Diese kommen durch die Aufgabenanforderungen und den mentalen Einsatz zustande. Grundsätzlich geht Kahneman von einer unspezifischen Aufmerksamkeitsressource aus, welche ein generelles Kapazitätslimit aufweist. Die Zuweisung der Ressource erfolgt frei unter den anstehenden Aktivitäten. Jede Aktivität belegt einen Teil der gesamt vorhandenen Kapazität. So kann gegenüber den Einkanaltheorien auch Leistung in Mehrfachfähigkeit erklärt werden. Aus der Aufgabenanforderung folgt die Steuerung eines Erregungsniveaus als dynamisches Zuweisungskriterium für die Ressource. Die Leistung bricht erst dann ein, wenn die Ressource voll ausgelastet ist. Effekte, welche durch die Schwierigkeit der Aufgabe entstehen sind auf diese Weise ebenso erklärbar wie Effekte von Übung und Automation. Zentral ist dem Modell Kahnemans die Steuerung über die Erregung. Dieser folgt die Zuweisung der Ressource, die er synonym als Aufmerksamkeit, Einsatz und Kapazität bezeichnet.

Gopher und Navon, 1980 unterziehen ein solches, strenges und unspezifisches Modell, der Prüfung. Durch Manipulation der Priorisierung der Aufgaben soll getestet werden, ob bei gleicher vs. priorisierte Bearbeitung einer Aufgabe Unterschiede in der Leistung resultieren. Wenn eine Aufgabe *A* über *B* priorisiert wird (vs. gleich), dann sollte die Leistung in *A* steigen und in *B* sinken. Die Verwendung einer unspezifischen Ressource zur Aufgabenlösung zusammen mit der Priorisierung einer Aufgabe sollte die Ressource zu Ungunsten einer Aufgabe aufteilen, wobei die andere Aufgabe begünstigt wird. Gopher und Navon können eine erwartete Verschlechterung in der nicht priorisierten Aufgabe nachweisen. Allerdings findet sich, obwohl priorisiert, nicht die erwartete Verbesserung in Aufgabe *A*. Vermutet man statt einer einzigen und unspezifischen Ressource eine multiple Aufteilung, können solche Ergebnisse erklärt werden. Gopher und Navon schlagen deshalb ein multiples Ressourcenmodell vor, benennen aber keine spezifischen Ressourcen.

Spezifische Ressourcen Wickens (1980) schlägt die Erweiterung hinsichtlich dedizierter Verarbeitungsstrukturen und -ressourcen vor (s.a. Wickens, 1981) Wickens und McCarley, 2010, S. 130 ff. charakterisiert die „*multiple resource theory*“ als durch *parallel arbeitende, separate und unabhängige Verarbeitungsmechanismen* sowie *limitierte und allokatierbare Ressourcen* gekennzeichnet. Das Modell verfügt über vier Dimensionen, wobei jede Dimension zwei Ausprägungen besitzt. Auf diese Weise wird eine stark differenzierte Einordnung und Klassifizierung von Aufgaben möglich. Wickens und McCarley sehen Verarbeitungsstufen (Perzeption und kognitive Verarbeitung vs. Handlungsplanung und -ausführung), perzeptive Modalitäten (auditiv vs. visuell), visuelle Kanäle (fokal vs. ambient) und Informationskodierung (analog-räumlich vs. kategorial-symbolisch) als die zentralen Determinanten des Modells. Je ähnlicher sich in diesem Schema zwei Aufgaben charakterisieren lassen, desto mehr Interferenz zeigen diese bei gleichzeitiger Bearbeitung. Die Dimensionen rechtfertigen sich aus experimentellen Untersuchungen in denen funktionelle Unterschiede festgestellt werden können.

Die Dimensionen sind nach Wickens und McCarley (2010, S. 132 ff.) wie folgt beschrieben:

- **Verarbeitungsstufen** stellen die trennbaren Ebenen des Modells.

Wahrnehmung/Kognitive Verarbeitung beschreibt den Ressourcenverbrauch durch die Aufnahme von Information und deren zentralen Verarbeitung.

Handlungsplanung und Ausführung ist davon getrennt und beschreibt kognitive Aktivitäten der Alternativengenerierung, Auswahl und Ausführung.

Da beide Stufen auf die gleiche zentrale Ressource zugreifen, ist das Auftreten von Interferenzeffekten wahrscheinlich.
- **Perzeptive Modalitäten** trennen bei Ressourcenverbrauch zwischen krossmodal (KM) und intramodal (IM), wobei bei zwei IM-Aufgaben immer höhere Interferenz zeigen als KM-Aufgaben.

Die auditive Modalität beschreibt verbrauchte Ressourcen für die über das Gehör aufgenommene Information.

Die visuelle Modalität beschreibt verbrauchte Ressourcen für die über die Augen aufgenommene Information.
- **Visuelle Kanäle** werden zusätzlich angenommen, da zwischen fokaler und ambientaler visueller Aufmerksamkeit ein Unterschied zu bestehen scheint.

Fokal Ressourcen betreffen vor allem die foveale Wahrnehmung und deren Verarbeitung, also die WN feiner Details und Muster oder die Objekterkennung.

Ambiente Ressourcen werden für die WN im peripheren Sehfeld benötigt wie Orientierung im Raum und Eigenbewegung.

- Die **Informationskodierung** gibt an, welche Information wie chiffriert wird.
Eine *analog-räumliche Kodierung* liegt vor, wenn die Information vor allem manueller Art, wie Tracking oder Mausbewegungen, sind.
Von *kategorial-symbolischer Kodierung* ist auszugehen, wenn die Informationen vokaler oder verbaler Natur sind.

Im Unterschied zu Einkanaltheorien wird nicht ein *Bottleneck* postuliert, sondern nach verschiedenen *Bottlenecks* Einzeldimensionen getrennt. Interferenzen von Aufgaben sind als das Auftreten von Struktureffekten innerhalb der einzelnen Dimensionen erklärbar. So können verschiedene, in Experimenten beobachtbare Effekte (Wickens, 1981, S.14 ff.) wie *Schwierigkeitsinsensitivität*, *perfekte Zeitaufteilung zwischen Aufgaben*, *Effekte struktureller Änderung* und *Effekte der Schwierigkeits-Struktur-Entkopplung*, die in den Einzelkanaltheorien nicht erklärt werden können, erklärt werden.

Effekte der *Schwierigkeitsinsensitivität* entstehen, wenn zwei Aufgaben in ihrem Ressourcenverbrauch stark differieren und so bei der Steigerung der Schwierigkeit einer Aufgabe keine Verschlechterung in der Leistung der anderen Aufgabe entsteht.

Die *perfekte Zeitaufteilung zwischen Aufgaben* kann bei ebenso getrennten Aufgaben beobachtet werden, wobei beide Aufgaben mit hoher Leistung ausgeführt werden können und kaum Wechselkosten entstehen (s.a. Allport u. a., 1972).

Effekte struktureller Änderung sind beobachtbar, wenn zwei Aufgaben sich nur in der Struktur, nicht aber dem Inhalt und der Schwierigkeit unterscheiden. Diese Strukturänderung erzeugt Interferenz, welche nicht auf andere Faktoren rückführbar ist (Wickens, 1980, S. 240).

Effekte der Schwierigkeits-Struktur-Entkopplung treten bei Kombination von zwei Aufgaben (leicht und schwer) mit einer dritten Aufgabe auf. Die eigentlich schwerere der beiden Aufgaben interferiert dabei weniger mit der dritten Aufgabe als die leichtere (Wickens, 1981, S. 16). Wickens Theorie der multiplen Ressourcen erlaubt eine für das spätere Vorgehen wichtig Bewertung der Charakteristika von Haupt(HA)- und Zusatzaufgaben (ZAG). Über dieses Modell kann für jede Aufgabe eine Klassifikation erstellt werden und somit wird die Interpretation der Leistung in verschiedenen Aufgabenkombinationen möglich. Dies dient zudem der kontrollierten Abbildung des realen Kontexts in einer experimentellen Umgebung. Die Aufmerksamkeit in diesem Sinn wird deshalb in den Abschnitten 3.2 und 3.3 wieder aufgegriffen und in die angewandten Modelle integriert. Im Kapitel 9 erfolgt eine Einordnung der Auslegung der Hauptaufgabe und der ZAG, zudem werden die Auslegung von Performance Operating Charackteristic (POC) zur Darstellung der Zweiaufgabenbearbeitung verwendet.

Rückmeldung aus der Umwelt Durchläuft aus den Sinnen eingehende Information die Stufen der Verarbeitung, kommt es nach der Bewertung von Handlungsalternativen und der Ausführung einer Handlung zu Einwirkung auf die proximale oder distale Umwelt. Diese Einwirkung hat eine Zustandsänderung der Umwelt zur Folge. Der veränderte Zustand wird nun wiederum vom Akteur wahrgenommen und Verhalten so zielgerichtet anpassbar: „*to act is to change what is perceived, and to perceive is to change the basis of action*“ (Wickens, 2012, S. 118). Diese Rückmeldungsschleifen („Feedback“) sind immer direkt von der initiierten Handlung des Akteurs abhängig. Zu beachten ist hierbei jedoch, dass eine Rückmeldung nicht immer immediat geschieht. Der Effekt einer Handlung kann unter Umständen stark verzögert auftreten oder nicht direkt ersichtlich sein. Durch diese versteckten oder verzögerten

ten Effekte wird der Akteur vor allem in komplexen Umwelten vor nicht zu unterschätzende Herausforderungen gestellt. Für technische Aspekte der Gestaltung von Schnittstelle ist deshalb die Rückmeldung aus der Umwelt ein sehr wichtiger Gestaltungsaspekt. Hier kann ein Effekt bereits zur Kenntnis gebracht werden, auch wenn menschliche Sinne noch nicht in der Lage sind, diesen zu erkennen. Zwar stellt das gewählte Informationsverarbeitungsmodell eine Kontextfreiheit der Bearbeitung in den Vordergrund, durch eine Aufnahme der Umwelt als Handlungsdeterminante soll dies aber in Kapitel 4 um die Charakterisierung der Umwelt und deren Komplexität ergänzt werden, um den Kontext abbilden zu können.

3.2 Situationsbewusstsein (SB)

Mit Beginn des ersten Weltkrieges wird erstmals der Luftraum über dem Kriegsgebiet wichtig. Die Luftwaffen der verschiedenen Parteien setzten Kampfflugzeuge ein und traten in Luftschlachten gegeneinander an. Im ersten, wie im zweiten Weltkrieg, ergaben sich dabei zwei Phänomene, welche die Legende der „Helden der Lüfte“ bedingen, aber wenig mit übernatürlichem Können oder Heroismus zu tun haben. Spick (1988) sieht eine „*tiny minority run up a high score, primarily at the expense of the less gifted*“. Diese „Asse“ stellten lediglich fünf Prozent aller Piloten, sind aber für vierzig Prozent aller Siege verantwortlich. Die Mehrzahl der Luftkämpfe wird also von einigen wenigen Piloten gewonnen. Weiter bietet auch die Überlebensstatistik (siehe Abbildung 3.3) dieser Luftkämpfe erkläzungswürdiges: Überlebte ein Pilot die ersten beiden Luftkämpfe, steigerte dies seine individuelle Überlebenswahrscheinlichkeit im nächsten Luftkampf um den Faktor zwanzig (vgl. Weiss & Weaver, 1966). Dieser Zusammenhang scheint übergreifend gültig. Die Daten von Piloten des ersten als auch des zweiten Weltkrieges legen dies nahe. Eine solche, mit nahezu exponentieller Steigung versehene Lernkurve, ist vor allem mit der Frage verbunden, welche Faktoren eine Erklärung bieten können.

Zwar beschreibt Spick solche Faktoren, eine Erklärung fällt allerdings schwer: Bessere Flugzeuge, eine höhere Zielgenauigkeit, gutes Training, Flugkünste, Glück, Entschlossenheit und eine gute Physis sind mögliche Ursachen. Jedoch werden von Beginn an nur Personen zu Piloten ausgebildet, bei denen diese Eigenschaften in hohem Maß vorhanden waren; Training wird ebenfalls in einem Maß gegeben, dass die Piloten zumindest auf einem gewissen Niveau egalisiert. Bei einzelnen Piloten mag der Einfluss verschiedener Faktorenkombinationen zu einem Verhalten geführt haben, dass aus der Masse hervorstach. Der Verlauf der Überlebensstatistik kann so nicht erklärt werden.

Spick vermutet ein „*mysterious ingredient*“ in diesen fünf Prozent der Piloten, dass Ihnen hilft „*to keep track of events and foresee occurrences in the fast-moving, dynamic scenario of air warfare*“. Diese mysteriöse Zutat sollte „*situation awareness*¹“, Situationsbewusstsein, sein. Piloten verwenden diesen Begriff um die Schwierigkeit zu beschreiben, in Luftkämpfen ein kohärentes Bild der Situation zu bilden (Flach, 1996). Dies liefert eine mögliche Erklärung: die überlebenden Piloten in Weiss und Weavers Analyse sind fähig, ein Lagebild leichter aufzubauen, Situationen schneller einzuschätzen oder Muster leichter zu erkennen. Ihr Handeln muss sich dazu nach Einschätzungen möglicher Entwicklungen richten, die eine höhere Eintretenswahrscheinlichkeit besitzen und so ihr eigenes Überleben fördern.

¹Diese Annahme impliziert die Diskussion, ob Situationsbewusstsein als individuelle Disposition oder trainierbare Fähigkeit (s.a. Pew, 1994, S. 2) aufgefasst werden kann und deren mögliche Unterstützung durch die technische Systemschnittstelle.

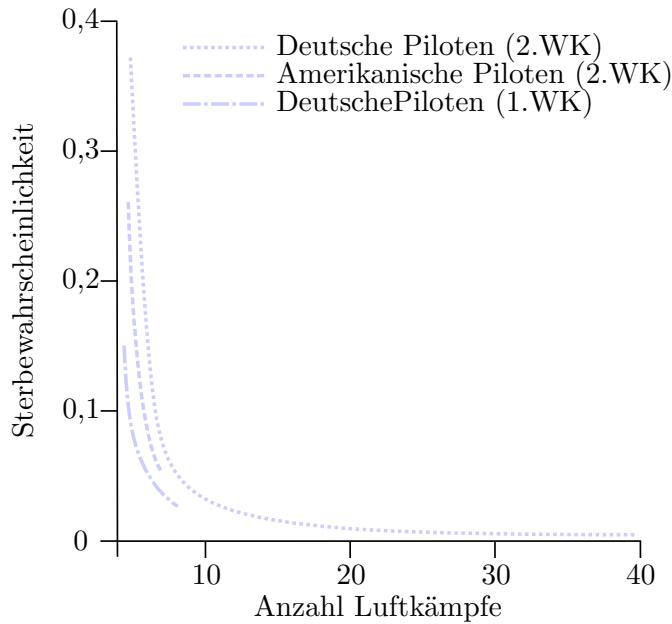


Abbildung 3.3: Sterbewahrscheinlichkeit von Kampfpiloten als Funktion der Anzahl von Luftkämpfen, Abbildung nach Weiss und Weaver (1966, S. 306).

Der Begriff Situationsbewusstsein prägt die Beschreibung des Verhaltens von Piloten und Mannschaften seit den 1980er Jahren. Verstanden wird dieser Begriff als von menschlicher Leistung trennbar und als wichtiges Kriterium einer Schnittstellenentwicklung (Pew, 1994, s.a.). Ab den 1980er Jahren erstarkt der Einfluss dieses Konzeptes zuerst in der Flugzeugindustrie und ist als geflügelter Begriff und „buzzword of the '90s“ (Pew, 1994) auch über die Grenzen dieses Anwendungsfeldes hinaus bekannt.

Situationsbewusstsein macht eine Einordnung der Beobachtung von Spick sowie Weiss und Weaver möglich und schafft einen einheitlichen Rahmen als Leistungskenngroße für die Bewertung der räumlichen Displays.

Stellvertretend für die verschiedenen Nuancierungen des Begriffs werden drei Hauptströmungen (pragmatisch-operationell, kognitive und informationsverarbeitende Ausrichtung) aufgezeigt. Die Messung des Konstrukts wird in verschiedenen Methoden expliziert und deren Brauchbarkeit für das Vorgehen bewertet.

3.2.1 Operationelle Erfahrung als SA

Die ab den späten 1980er Jahren in der Literatur vorhandenen Definitionen verortet den Begriff Situationsbewusstsein aufgrund seiner Geschichte und Entstehung in der Luftfahrt. Von den Piloten der Weltkriege ausgehend betonen die Operateure immer wieder die Bedeutung des Begriffes. Durch ihren konstruktiven Einfluss auf die Gestaltung der Cockpitschnittstelle findet diese Ansicht auch Eingang in die Ausgestaltung des Begriffes, dessen Definition und Messung.

Stellvertretend für die operationellen Definitionen sollen Regal, Rogers, und Boucek (1988) genannt werden, die eine vor allem inhaltlich-konkrete und kontextspezifische Begriffsbestimmungen vorlegen. Diese Sicht betont, dass Situationsbewusstsein auf einem globalen Level

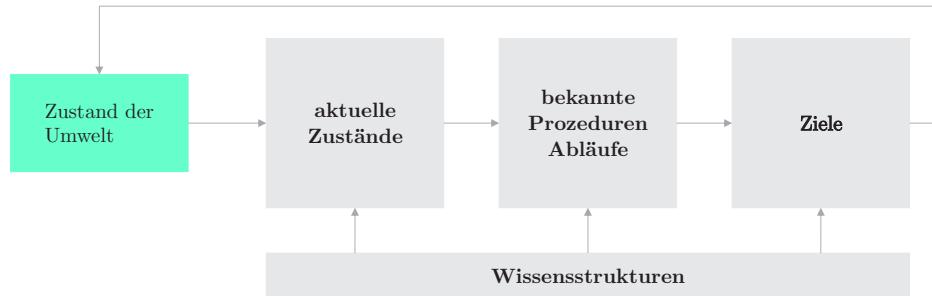


Abbildung 3.4: Das operationelle Modell der Situationsverarbeitung von Regal, Rogers, und Boucek.

das „*integrated understanding of factors that will contribute to the safe flying of the aircraft under normal or non-normal conditions*“ des jeweiligen Operateurs darstellt. Diese globale Sichtweise teilt sich in zwei Dimensionen, eine Dimension des *zeitlich-dynamischen Ablaufs* und eine Dimension *unterstützender Wissensstrukturen*.

Als zeitlicher Verlauf sind das Bewusstsein der „*present states, future goals, and the procedures used to get from one to the other*“ (s.a. Abbildung 3.4) definierend, ein Bewusstsein für die Zustände und Abläufe innerhalb eines Szenarios und deren Zusammenhänge.

So muss ein Pilot alle relevanten Zustände („*states*“) kennen, wenn er eine Änderung („*future goal*“) erreichen will. Die Abläufe („*procedures*“) vom Erfassen der aktuellen Höhe, der nachfolgenden Initiierung einer positiven Änderungsrate und der Abgleich von Höhenänderung und Fluggeschwindigkeit bis hin zur Zielhöhe sind aufgrund der Flugsicherheit einzuhalten. Erreicht er schließlich die im Ziel repräsentierte Höhe muss dieser neue Zustand erkannt und die Änderungsrate angepasst werden.

Ergänzt wird dies durch *unterstützende Wissensstrukturen*, die den Inhalten des Modells darstellen und räumliche, die Umwelt und das Flugzeug betreffende Informationen abbilden, die der Pilot in Kurz- oder Langzeitgedächtnis behalten muss. Zudem sind Informationen über das technische System sowie die Mannschaft abgebildet. Im Beispiel der induzierten Höhenänderung müssen eine Reihe von System- und Umweltvariablen bekannt sein: aktuelle Höhe und Geschwindigkeit, minimale und maximale Steigrate des Flugzeuges, Steig- und Sinkpunkt sowie die zurückzulegende Strecke zwischen den Punkten und der Betrag der Höhenänderung. Regal u. a. (1988) stellen das dynamische Fluggeschehen in Begriffen des Feldes deutlich dar und geben einen Überblick über die wichtigsten Komponenten, Ziele und Vorgehensweisen. Diese Art der operationellen Definition ist geprägt durch den direkten Einfluss von Operateuren (s.a. Carroll, 1992, S. 3). Das hat eine Ausrichtung an Wissenselementen und Vorgehensweisen des Anwendungsfeldes zur Folge, in dem diese Definition entstehen. Für eine allgemeine Betrachtung sind solche Bestimmungen wenig hilfreich, da die Zuordnung der einzelnen Elementen zu größeren Einheiten und somit die resultierende Definition strittig sein können. Dadurch wird eine Abstrahierung der Begriffe auf grundlegende Konzepte schwierig bis unmöglich, auch eine Generalisierung auf weitere Felder kann nur schwer erfolgen. Allerdings sind diese Definitionen wichtig für das Verständnis allgemeiner Abläufe und deren

Querabhängigkeiten, sie helfen so, wichtige Aspekte herauszuarbeiten und bilden eine Basis für weitere Abstrahierungen. Die kontextuell-inhaltlichen Strukturen sollen deshalb nicht unbeachtet bleiben und werden in Kapitel 4 dargelegt.

Weitere, ähnliche Definitionen finden sich bei verschiedenen Autoren (Hvidt, 1988; Carroll, 1992; Hamilton, 1987; Hartman & Secrist, 1991), diese betonen verschiedene Ausprägungen der operationellen Art der Begriffsbestimmung.

3.2.2 Kognition, Bewusstheit und Wissen als definierende Struktur

Im Folgenden soll deshalb eine Begriffsbestimmung anhand bereits verwendeter Termini der Informationsverarbeitung erfolgen und nur dort erweitert werden, wo dies geboten ist. Für diese Bestimmung muss eine Einteilung des Begriffes auf den Ebenen der zugrunde liegenden, psychologischen Theorie und der so beeinflussten Entstehung des Situationsbildes oder dessen Ergebnisses („process“ vs. „product“) erfolgen.

Salmon u. a., 2009 sehen drei theoretische Grundströmungen für die Einordnung von Situationsbewusstsein:

- *Adaptives, external gerichtetes Bewusstsein* nach Smith und Hancock (1995)
- *Funktion des Arbeitsgedächtnisses* nach Bell und Lyon (2000, S. 126-127)
- *Prozess und Produkt einer Informationsverarbeitung* nach Endsley (1988a)

Diese Einordnungen haben Auswirkung auf die *Ausrichtung* der Theorie und somit die *Operationalisierung messbarer Leistungskenngrößen*. Für das Vorgehen werden die theoretischen Grundströmungen des Begriffes Situationsbewusstsein charakterisiert. Aufgrund dieser erfolgt die Auswahl einer geeigneten Definition, deren Operationalisierung dann in Abschnitt 2 dargestellt wird.

SB als adaptives, external gerichtetes Bewusstsein

Den Disput zwischen *Produkt* und *Prozess* des Situationsbewusstseins aufgreifend, definieren Smith und Hancock (1995, S. 137) das Konstrukt als „*adaptive, externally directed consciousness*“ (s.a. Abbildung 3.5a). Auf diese Weise wird die Produkt- und Prozessdiskussion hin zu einem integrierten Zyklus aus Zielbildung und Handlung erweitert. Das Konzept begreift Situationsbewusstsein als eine Funktion des menschlichen Bewusstseins, welches in den *Perception-Action-Cycle* (s.a. Abbildung 3.5b) von Neisser eingebettet ist. Das Bewusstsein dient hierbei als ein energetischer und intentional steuerbarer Mechanismus zur Wissensgenerierung und Handlungsausführung. Dies erlaubt zielgerichtetes Verhalten in einer gegebenen Aufgabenumwelt. Situationsbewusstsein stellt zum einen Wissen aus der Aufgabenumwelt sowie Handlungen in ihr bereit. Smith und Hancock (1995, S. 138) stellen dies als „*capacity to direct consciousness to generate competent performance given a particular situation as it unfolds*“ dar. Die Parallelen des so definierten Konstruktes zu Merkmalen der Aufmerksamkeit sind deutlich, eine Abgrenzung findet aber dennoch durch die Beschränkung auf die Lenkung der Bewusstheit an sich statt.

Das Bewusstsein Das Bewusstsein (*consciousness*) dient als Grenzfläche oder Schnittstelle zwischen der in der Umwelt vorhandenen Situation und den erfüllbaren Zielen auf der einen Seite und der Introspektion des handelnden Agenden auf der anderen Seite. Diese Grenzfläche dient der Ausrichtung an external liegenden Zielen und Kriterien der Zielerreichung, ein

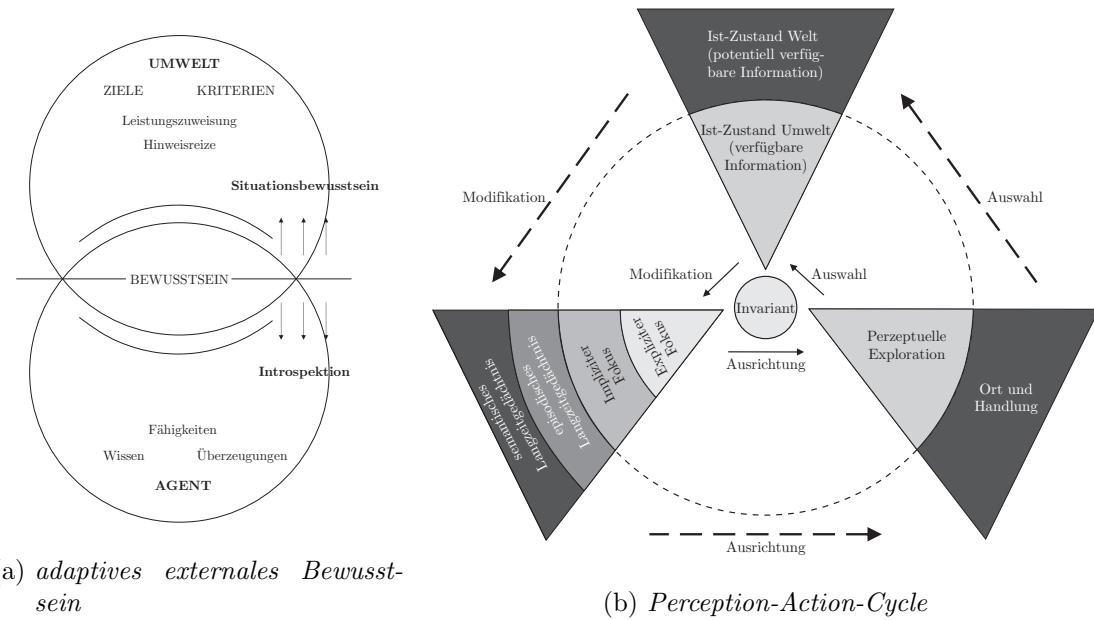


Abbildung 3.5: Abbildung 3.5a zeigt Situationsbewusstsein nach Smith und Hancock (1995).

In Abbildung 3.5b findet sich Neisser, 1976s *Perception-Action-Cycle*, nach Tenney, Adams, Pew, Huggins, und Rogers (1992), angepasst.

Zuweisungsmechanismus, der „*normative arbiter*“. Situationsbewusstsein als (adaptives, external ausgerichtetes) Bewusstsein ist somit eine Funktion des *Bewusstseins*, welches das im Agenten repräsentierten Wissens, seine Kapazitäten und Erwartungen mit dem in der Aufgabenumwelt befindlichen normativen Zuweisungsmechanismus zum Zweck einer Zielerreichung oder Adaption abgleicht und entsprechende Handlungen auslöst.

Adaption Für Smith und Hancock (1995) ist Adaption eingebunden in die Kette *Bewusstsein-Situationsbewusstsein-Adaption*. Sie begreifen demnach Adaption als einen Prozess, in welchem ein „[...] agent channels its knowledge and behaviour to attain goals as tempered by the conditions and constraints imposed by the task environment.“ Diese Anpassung ist auf die Passung von Verhalten/Zielen zu möglichen Handlungen gerichtet. Um dies leisten zu können, muss ein Agent, so Smith und Hancock (1995), eine große Breite an Verhaltensalternativen repräsentieren.

Der externe, normative Zuweisungsmechanismus Smith und Hancock (1995, S. 139) sehen die Aufgabenumwelt und die darin liegenden Ziele als besonders wichtig für Leistung an, denn „[o]nly with a specified goal and concrete performance criteria [...]“ kann festgestellt werden „[...] how well adapted a particular agent is [...]“ (Smith & Hancock, 1995). Sie verorten deshalb das Konstrukt Situationsbewusstsein an der Grenzfläche bzw. außerhalb des Agenten. Es ist das „[...] goal of the behavior that SA directs must reside in the task environment rather than in the agent's head [...]“. Ihrer Meinung nach ist nur mit einem explizit genannten und externalisierten Ziel eine Bewertung über das Situationsbewusstsein einer Person möglich. Nur dann können Kriterien für die Leistung festgelegt werden. Diese Festlegung lässt einen Schluss auf den Grad der Adaption zu, welche wiederum durch Situationsbewusstsein

gesteuert ist.

Das Problem situativen Verhaltens Das Problem, dass Smith und Hancock (1995, S. 141) durch ihre Formulierung von Situationsbewusstsein gelöst sehen, ist „[...] coming to know what must be known in order to behave in accord with the mandates of the arbiter of performance“. Hier liegt ein Unterschied zu normaler *Kompetenz* im Sinne der Lösung eines speziellen Problems. Situationsbewusstsein muss die Aufnahme von Hinweisreizen aus der Umwelt so steuern, dass Ziele erkannt und erreicht werden können, auch wenn Sie unbekannt sind. Insofern gehen Sie mit Ihrer Formulierung von Situationsbewusstsein als Kompetenz über den normalen Begriff hinaus. Dieses *sampling*-Problem kann nur durch einen Rückgriff auf ein Verhaltensmodell gelöst werden, welches einen gerichteten Vergleich von internalem Wissen und dem externalen Zuweisungsmechanismus erlaubt. Tenney, Adams, Pew, Huggins, und Rogers, 1992 schlagen für dieses Problem den *Perception-Action-Cycle* (s. Abbildung 3.5b) von Neisser (1976)² vor, welchem durch zyklisches Aufnehmen, Verarbeiten und Handeln ein ständiger Abgleich mit dem externalen Zuweisungsmechanismus gewährleistet werden kann. Durch diesen Zyklus wird Situationsbewusstsein zu einem „[...] generative process of knowledge creation and informed action taking [...]“ (Smith & Hancock, 1995, S. 142). Es wirkt zielgerichtet als „[...] modifying knowledge that is, of constructing a representation of current and likely events [...]“ (Smith & Hancock, 1995, S. 142).

Beginnt man an der Stelle des Agenten im *Perception-Action-Cycle* (s. Abbildung 3.5b, oben links), wird dieser zuerst Information aus einer Abfrage der Umwelt erhalten, die in seinem expliziten Fokus (nach Sanford & Garrod, 1981)³ liegen. Die Informationen werden hier gleichsam im Arbeitsgedächtnis verarbeitet und mit Informationen weiterer Ebenen verglichen (*impliziter Fokus, LZG*). Dieser Vergleich führt zu Veränderungen nachgeordneter Wissenstrukturen sowie der Ausarbeitung der perzeptuellen Exploration und Bewegung/Handlung. Durch sowohl die perzeptuelle als auch eingreifende Handlung wirkt der Agent nun auf die Umwelt ein und löst dadurch die nächste Abfrage aus. Diese Abfrage ist durch Vorwissen des Agenten verändert angepasst und richtet sich an einem Verhaltensziel aus.

In diesen Zyklus bringen Smith und Hancock (1995) Situationsbewusstsein gesteuert durch eine zentrale Invariante ein, die die Verbindung zwischen der Umwelt, dem Wissen und den Handlungen stellt. Nach Ihnen ist Situationsbewusstsein die „[...] competence that directs the agent's sampling of factors in the environment that determine how the agent can come to know what it must do [...]“ (Smith & Hancock, 1995, S. 141). Informationen aus der Umwelt werden kodiert und mit gespeicherten Zielen verglichen sowie Verhalten abgeleitet. Diese Invariante ermöglicht Antizipation, fachkundige Leistung in unbekannten Situationen - eine Anpassung an Situationen, deren Inhalte vorher bekannt oder unbekannt sind. Das erzeugte Verhalten ist „[...] the agent's solution to the problem of knowing those cues and demands in the environment that enable it to take action that aligns with the dicta of the arbiter of performance [...]“ (Smith & Hancock, 1995, S. 141). Innerhalb des *Perception-Action-Cycle* sehen die Autoren Situationsbewusstsein zweifach zugeordnet: Zum einen liegt es im innersten Kern der Steuerung des Verhalten eines Agenten und sorgt für dessen Ausrichtung, zum anderen ist es der Umwelt zugerichtet und nur durch deren Randbedingungen sinnvoll ausgeprägt.

²zitiert nach Tenney u. a. (1992, S. 8)

³zitiert nach Tenney u. a. (1992, S. 7)

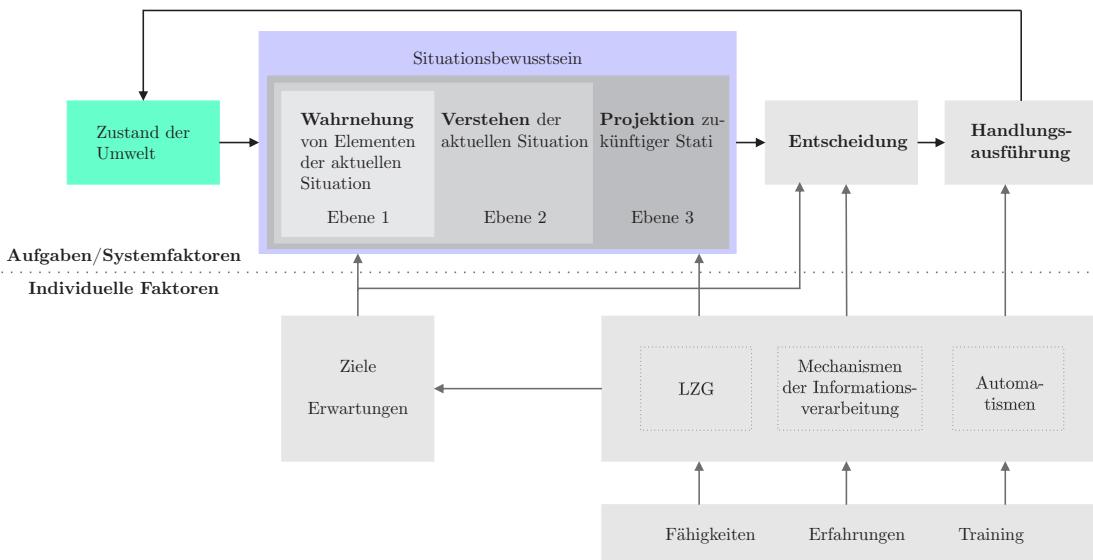


Abbildung 3.6: Endsleys Modell des Situationsbewusstseins, adaptiert nach Endsley (1995)

Situationsbewusstsein als Funktion des Arbeitsgedächtnisses

Bell und Lyon geben als Kritik an Endsleys Modell (s.u.) zu bedenken, dass alle Inhalte des Situationsmodells im Arbeitsgedächtnis gespeichert sein müssen. SB ist demnach reduzierbar auf eine Funktion des Arbeitsgedächtnisses. In diesem sind sensorischen Informationen als Eingangsinformation und assoziative Zusammenhänge des Langzeitgedächtnisses integriert. Situationsbewusstsein sehen die Autoren als „*knowledge (in working memory) about elements of the environment*“ (s. Bell & Lyon, 2000, S. 126 ff.), was die Eingrenzung auf relevante Elemente impliziert.

Das Problem, wie Bell und Lyon feststellen, ist hierbei, dass eine Messtechnik, die aus einer solchen reinen Gedächtnistheorie abgeleitet ist, immer an der Gewichtung verschiedener Informationen eines Entscheiders in einer dynamischen Situation scheitert. Die einzelnen Elemente einer dynamischen Situation - sollten sie denn objektiv messbar sein - bestehen nicht nur aus dem Inhalt sondern auch aus einem Gewicht. Die Funktion des Gewichts ist eine Heraushebung von spezifischen Elementen zu bestimmten Zeitpunkten. Eine objektive Erhebung ist deshalb nicht möglich, da der Aufwand, eine Messung zu erstellen, nicht vertretbar wäre. Die einzige Möglichkeit, dies zu umgehen, sehen sie in der Erstellung einer Messung, welche die subjektive Bewertung der Situationen einbezieht.

Die von Bell und Lyon (2000) vorgeschlagene Konzeption des SB ist im Kern verwendbar aber nur skizzenhaft ausgebaut. Wie zudem unten stehende Analyse des Konzeptes von Endsley zeigen soll, ist der Ansatz des Situationsbewusstseins als eine Funktion des Informationsverarbeitung zu begreifen besser verwendbar - dieser geht weit über die Verortung im Arbeitsgedächtnis hinaus. Aufgrund des niedrigen Reifegrades der Konzeption für SB und der damit verbundenen Operationalisierungs- und Messproblematik wird dieser Ansatz nicht weiter betrachtet.

Situationsbewusstsein als Prozess und Produkt der Informationsverarbeitung

Endsley, 1988b definiert Situationsbewusstsein als „*perception of the elements in the environment within a volume of time and space, comprehension of their meaning, and the projection of their status in the near future*“ (s.a. Endsley, 1988a). Dies orientiert sich an einer einfachen, dreistufigen Informationsverarbeitung aus (*Wahrnehmung, Verständnis und Extrapolation*) sowie deren Ausrichtung an *Inhalten* und *Stati* eines gegebenen Szenarios oder einer Situation.

In Abbildung 3.6 ist diese Sichtweise von Situationsbewusstsein dargestellt. Ausgehend von der Wahrnehmung der Umwelt und deren Verständnis können zukünftige Zustände extrapoliert werden, ein Prozess der als „*situation assessment*“ (Endsley, 1995, S. 36) bezeichnet wird. Dieser Prozess ist in drei Ebenen unterteilt, hierarchisch angeordnet und direkt *wahrnehmungsabhängig*.

Ebene 1 - Wahrnehmung Ohne die Wahrnehmung einzelner Objekte aus der Umwelt kann keine weitere Verarbeitung stattfinden, wobei diese Wahrnehmung technisch beeinflusst oder direkt vermittelt sein kann: „[...] the first step in achieving SA is to perceive the status, attributes, and dynamics of relevant elements in the environment [...]“ (Endsley, 1995, S. 37). Ersichtlich ist, dass Endsley den Prozess der Informationsaufnahme als mediert durch Ziele und Erwartungen des Individuums ansieht (s.a. Abbildung 3.6]. Dieser Stufe umfasst sowohl *top-down*-Mechanismen als auch *bottom-up* Phänomene der Salienz von Reizen (s.a. Abschnitt 3.1.4), wie etwa die aufmerksamkeitslenkenden Komponenten von Warnlichtern. Aufgrund der zyklischen Natur des informationsverarbeitenden Prozesses und des möglichen Einflusses des Akteurs werden auch veränderte Umweltgegebenheiten wahrgenommen.

Endsley (1988a) beschreiben entsprechende Elemente des Systems in der Luftfahrt, wie etwa die Wahrnehmung von Fluggeschwindigkeit, Höhe, Orientierung im Raum, Systemzuständen, Warnungen, umgebenden Flug- und Bodenobjekten (s.a. Endsley, 1988b; Endsley, 1995; Endsley, 1993b; Endsley, 1999). Rauch, Gradenegger, und Krüger (2006) sowie Gugerty (2011) zeigen Attribute von Situationen im Kraftverkehr auf. Weitere Bereiche und kritischen Handlungselementen wurden für die Humanmedizin (Gaba, Howard, & Small, 1995; Flin, 2004) und die Luftverkehrskontrolle (Mogford, 1997; Endsley & Rodgers, 1994a) erarbeitet. Die Wahrnehmung dieser Elemente gewährleistet deren weitere Verarbeitung. Die genauere Beschreibung dieser Elemente und deren Verwendung für das hier beschriebene Vorgehen wird in Abschnitt 4 erläutert.

Ebene 2 - Verständnis Verständnis „[...] is based on a synthesis of disjointed level elements [...]“ (Endsley, 1995, S. 37) - Aus einzelnen Objekten formt der Beobachter unter dem Einfluss individueller Ziele, Erwartungen, Fähigkeiten, Erfahrungen und Übung sowie situationsbedingter Einflussfaktoren (z.B. Beanspruchung) ein holistisches Bild der Situation. Es entwickelt sich *Situationsverständnis*. Diese Leistung kognitiver Verarbeitung wird vornehmlich im Arbeitsgedächtnis erbracht. Repräsentiert werden müssen dazu alle Variablen, welche durch die Stufe der Wahrnehmung erfasst werden. Diese werden mit Hilfe von Aufmerksamkeit und durch gespeichertes Wissen aus dem Langzeitgedächtnis weiterverarbeitet, wodurch ein kongruentes Bild der umgebenden Situation entsteht. Im Arbeitsgedächtnis findet eine kontextspezifische Bewertung und Einordnung der einzelnen Elemente zueinander statt. Diesen Prozess der Aufnahme und Verarbeitung nennt Endsley „*situation assessment*“, Situationseinschätzung. Das Produkt wird als „*situation awareness*“ bezeichnet und stellt eine

Momentaufnahme oder *Wissenszustand* innerhalb einer variablen Umwelt dar.

Ebene 3 - Antizipation „*[T]o project the future actions of the elements in the environment [...]“ ist „*[...] the third and highest level of SA [...]“ (Endsley, 1995, S. 37). Ausgehend von dem Verständnis einer aktuellen Situation können *zukünftige Zustände* abgeschätzt werden und der weiteren Entscheidungsfindung dienen. Ebene 1 und 2 konvergieren hier in der am weitest fortgeschrittenen Form der Situationsbewertung. Diese Leistung ist durch Prozesse der Aufmerksamkeit und des Arbeitsgedächtnisses vermittelt. Zwar stellt Endsley (1995, S. 37) dies als die höchstmögliche Form eines Situationsverständnisses dar, welches erreicht werden kann, die genauen Prozesse und Abläufe, wie man dazu gelangt, bleiben aber undefiniert.**

Abgrenzung zur Informationsverarbeitung Wichtig ist eine Abgrenzung des Modells zu weiteren kognitiven und wissensbasierten Prozessen. Zwar ist das entstandene Situationsbild von Inhalten des LZG wechselseitig abhängig, stellt aber nicht dessen Inhalt per se dar. Erfahrungen, Ziele, Übung und Erwartungen stehen in ähnlicher Beziehung zu diesem Situationsbild. Die Funktion des Situationsbildes ist vielmehr die Möglichkeit einer gerichteten Vorbereitung auf zukünftige Situationszustände. Für Entscheidungsprozesse beispielsweise können alternative, zukünftige Entwicklungen durch Extrapolation/Antizipation vorbereitet werden. Endsley grenzt diesen Prozess der Antizipation scharf von der eigentlichen Entscheidungsfindung und -ausführung ab. Das Vorhalten verschiedener, durch Antizipation erzeugter Ausgänge einer Situation bedeutet nicht, dass eine Entscheidung automatische „besser“ oder auch nur situationsadäquat getroffen werden muss. Diese Abgrenzung wird ersichtlich bei der Möglichkeit einer adäquaten Reaktion auf bestimmte Situationen, die durch Langzeitwissen ermöglicht werden: Ein Experte und Laie können über ein genau übereinstimmendes Bild einer Situation verfügen, dennoch kann erster aufgrund seiner höheren Expertise eine situativ-an gepasste Entscheidung treffen, die letztem aufgrund mangelnden Wissens nicht zugänglich ist (vgl. a. Endsley, 1988a, S. 97).

Die Prozesse auf informationsverarbeitenden Stufen der Wahrnehmung und des Verständnisses sind bereits in Kapitel 3.1 erläutert und bedürfen keiner Erweiterung für den hier verfolgten Zweck der Evaluation von großflächigen Anzeigen. Die Stufe der Antizipation wurde jedoch bisher nur als *prospektives Gedächtnis* (siehe Abschnitt 3.1.4) motiviert, was der eigentlichen Bedeutung von Antizipation für das Verhalten aber nicht gerecht werden kann. Zudem erfolgt, wie Rauch (2009) feststellt, keine belastbare Definition von Antizipation im Konzept von Endsley. Dies gilt sowohl für die erste Formulierung der Theorie als auch für spätere Darstellungen (s.a. Endsley, 1988b; Endsley, 1993b; Endsley, 1995; Endsley, 1999; Endsley, 2006; Endsley, 2012). Dieses Defizit hat auch zur Folge, dass sich nur wenige Arbeiten speziell der Antizipation als solches widmen. Um für diesen wichtigen Begriff in einen Rahmen fassen zu können, soll das Modell der „*Antizipativen Verhaltenssteuerung*“ von Hoffmann (1993) verwendet werden.

Das Modell der antizipativen Verhaltenssteuerung Hoffmann (1993) sieht die Zielsetzung der kognitiven Psychologie als das Bestreben, die „*[...] Funktion kognitiver Prozesse im Aufbau eines adäquaten Umweltmodells“ (Hoffmann, 1993, S. 22) an. Er erkennt an, dass ein Organismus Informationen aufnehmen muss und ihm hierfür nur die „*[...] Verwertung der von der Umwelt ausgehenden Reize [...]“ (Hoffmann, 1993, S. 22) zur Verfügung stehen, allerdings sieht er das Ziel des Organismus nicht in der *vollständigen Repräsentation* der Umwelt**

sondern vielmehr in einer *ausreichenden und überlebenssichernden* Repräsentation: „[...] Reizverarbeitung dient nicht der Erkenntnis, sondern dem Überleben [...]“ (Hoffmann, 1993, S. 13). So „[...] besitzen [Organismen] eine besondere Empfänglichkeit für diejenigen Reizwirkungen, die Informationen über verhaltensrelevante Gegebenheiten enthalten. Was für einen Organismus also eine Nachricht ist, wird durch ihren Bezug zu seinen Verhaltensmöglichkeiten bestimmt [...]“ (Hoffmann, 1993, S. 21). Diesbezüglich geht Hoffmann auch das Problem, welche Information aus der Umwelt aufgenommen werden soll und wie dies zu steuern sei, anders an. Er sieht ein Auswahlproblem, und nicht ein Mengenproblem. Der Organismus löst dieses Problem, indem „[...] die der Erkenntnis zugrunde liegenden Prozesse nicht einer adäquaten Widerspiegelung dienen, sondern einer erfolgreichen Steuerung des Verhaltens [...]“ und somit die Auswahl erst ermöglichen.

Hoffmann geht bei seinen Betrachtungen zur steuernden Funktion der Antizipation von Modellen des 19. und 20. Jahrhunderts aus, die sich für seine Zwecke in drei Punkten wiedergeben lassen:

- *Die funktionale Einheit von Wahrnehmung und Verhalten:* Das Verhalten eines Individuums ist sowohl von dessen Wahrnehmung als auch von den Verhaltensabsichten abhängig. Die Intentionen beeinflussen die Wahrnehmung. Das Verhalten ist von den Wahrnehmungen abhängig.
- *Kausale Abbildung von Verhalten und Reizwirkung:* Die durch Reizwirkung erzielbaren Effekte werden dem Verhalten kausal zugeordnet und bilden sich gegenseitig ab: Von Verhalten kann auf Wirkung, von Wirkung auf Verhalten geschlossen werden.
- *Nutzbarmachung der Abbildung:* Durch Mechanismen des Gedächtnisses können diese Abbildungen für die proaktive Verhaltenssteuerung genutzt werden.

Auf dieses Fundament stützt Hoffmann seine Überlegungen des Zusammenhangs von Verhalten und Wahrnehmung.

Eine diesem Vorgehen dienliche Definition eines allgemeinen antizipatorischen Systems gibt auch Rosen (2012, S. 313), hier finden sich Hoffmanns Analyse wieder: Ein antizipatorisches System enthält ein „[...] predictive model of itself and/or of its environment, which allows it to change state at an instant in accord with the model's predictions pertaining to a later instant.“ Rosen geht dabei weit über das Modell einer Verhaltenssteuerung hinaus, da er die Antizipation von zukünftigen Zuständen als grundlegende Eigenschaft des Lebens an sich ansieht (vgl. Butz, Sigaud, & Gérard, 2003). Ein Vergleich der allgemeinen Definition von Rosen und der von Hoffmann abgeleiteten Rahmenbedingungen zeigt, dass sich die Annahmen Hoffmanns als spezielles antizipatives System im Sinne Rosens darstellen lassen (siehe Tabelle 3.1).

Hoffmann (1993, S. 40) stellt fest, dass „[...] geordnete Wahrnehmung und geordnetes Verhalten immer nur relativ zueinander möglich sind [...]“ und diese Relation einen „[...] Mechanismus der antizipativen Verhaltenssteuerung [...]“ benötigt, um geordnet funktionieren zu können. Diese Leistung sieht er durch den aktiv eingreifenden Organismus als gegeben, dieser **erlernt antizipative Verhaltenssteuerung** (erlernte Antizipation), erkennt **Verhaltenskonsequenzen als bedingungsabhängig** (Bedingungsabhängigkeit), übt **effektive Verhaltenskontrolle** (Kontrolle) aus und **repräsentiert und speichert** (Repräsentation) Verhaltenskontrolle, Probhandeln und Bedingungen.

Bedingungsabhängigkeit Zwei Handlungen führen, bei unterschiedlichem Kontext, zu völlig anderem Ausgang und somit anderen Konsequenzen. Ein Flugzeug lässt sich auf trockener Landebahn mit maximaler Landegeschwindigkeit aufsetzen und sicher abbremsen. Bei nasser Landebahn darf dieses Manöver nicht durchgeführt werden. Die *Ausgangsbedingung* eines

Allgemein	Allgemeines System (Rosen, 2012)	Verhaltenssteuerung (Hoffmann, 1993)
Inhalt	Eigen und/oder Umweltmodell	Wahrnehmung / Verhalten
Leistung	Zustandswechsel nach Modellgehalt	Verhalten und Wahrnehmung als wechselseitig abhängig repräsentiert, bidirektional-kausale Ursache-Wirkungs-Verknüpfung von Wahrnehmung und Handlung
Ausrichtung	zukünftige Systemzustände	zukünftige Wahrnehmung / Handlung beeinflussend
Bedingungen	implizite Rahmenbedingungen	explizite Ausrichtung an situativen Rahmenbedingungen

Tabelle 3.1: Einordnung und Vergleich des von Hoffmann aufgestellten Bedingungskataloges für antizipatorische Leistung in Rosens allgemeines Modell antizipativer Systeme.

Verhaltens muss also ausreichend berücksichtigt werden, um erfolgreich handeln zu können. **Kontrolle** kann hier als „[...] sichere Vorhersagbarkeit der Verhaltenseffekte [...]“ angesehen werden, die „[...] Kompetenz und Selbstsicherheit [...]“ erzeugt, „[...] eben das Gefühl, die Situation zu beherrschen [...]“ (Hoffmann, 1993, S. 42). Diese gefühlte Kontrolle über das Herstellen einer Konsequenz lässt nach Hoffmann Befriedigung entstehen, da ja die Konsequenzen willkürlich hergestellt werden können. Aus diesen Annahmen leitet er auch ein allgemeines Anticipationsbedürfnis ab, welches hilft, immer möglichst vollständige Kontrolle über die Umwelt zu erlangen und die Kontrolle auch in noch ungelernten Situationen zu erhöhen.

Erlernte Anticipation Erlernt werden muss, „[...] unter welchen Bedingungen, welche Verhaltensakte zu welchen Konsequenzen führen [...]“ (Hoffmann, 1993, S. 44). In einem Regelkreis sieht Hoffmann dabei ein absichtsgeleitetes Verhalten in einer gegebenen Situation als von Antizipation nach bisherigem Kenntnisstand begleitet. Bei oder nach Ausführung des Verhaltens werden die antizipierten Konsequenzen mit den aufgetretenen Konsequenzen verglichen. Besteht Konvergenz erfolgt eine Stärkung der bisherigen Relation Antizipation-Konsequenz, bei Divergenz erfolgt eine Differenzierung. Wenn die Bedingungen einer Situation gleich bleiben, dann tritt durch die Kontingenz der Relation ein Lernvorgang ein, der die Verhaltensweise durch die Antizipation an die Konsequenzen und Bedingungen bindet. Eine Differenzierung der Antizipation von den Konsequenzen ist ebenso möglich und bedeutet die Herstellung veränderter Relationen. Durch diesen Lernmechanismus ist es dem aktiven Organismus möglich, verschiedenste Situationen aufgrund der auftretenden Anticipationsrelationen zu erlernen und ein reichhaltiges Verhaltensrepertoire aufzubauen.

Repräsentation Die erlernten Relationen sollen im Gedächtnis gespeichert werden, eine Trennung in deklaratives und prozedurales Wissen scheint Hoffmann nicht zielführend. Deklarativ wäre demnach das „[...] Wissen um die invarianten Eigenschaften von Ausgangs- und Zielzuständen intentionaler Verhaltensakte [...]“ (Hoffmann, 1993, S. 52), also das Wissen um die Ausgangsbedingungen sowie die Verhaltenskonsequenzen und zugeordneten Relationen. Prozedural werden die Verhaltensakte genannt, die zu Erreichung der Konsequenzen eingesetzt werden müssen. Diese strikte Trennung scheint Hoffmann wenig sinnvoll, da beide Wissensarten nie unabhängig voneinander entwickelt oder eingesetzt werden können. Hieraus leitet er eine „[...] generell verhaltensgebundenen Wissensrepräsentation [...]“ (Hoffmann, 1993, S. 53)

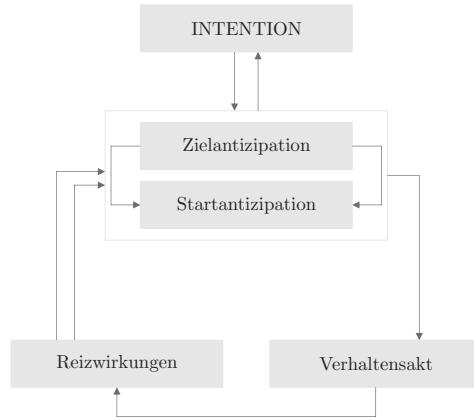


Abbildung 3.7: Modell der antizipativen Verhaltenskontrolle nach Hoffmann (1993)

ab, welche als Situationsmodell dienen kann.

Das Verhaltensmodell In Abbildung 3.7 findet sich das Modell der antizipativen Verhaltenssteuerung. Ein Akteur bildet eine Intention, welche mittels Vorerfahrungen mit einer bestimmten *Startantizipation* verbunden ist und auch einen prozeduralen Verhaltensplan einschließt. Dieser wird ausgeführt, wenn die Umweltbedingungen hinreichend den repräsentierten Bedingungen ähneln. Wird dieser in einen *Verhaltensakt* überführt ergeben sich automatisch *Reizwirkungen* oder *Verhaltenskonsequenzen* die wiederum mit den *Zielantizipationen* verglichen werden können und zu Differenzierung der Ausgangsbedingungen oder Verstärkung der Anticipationsrelation genutzt werden können.

Integration in Endsleys Modell Antizipation im Modell des Situationsbewusstseins und bei Hoffmann unterscheidet sich in der *Art und dem Zeitpunkt der Kontrolle*, die ausgeübt wird, sowie des postulierten Einflusses.

Hoffmanns Modell antizipativer Verhaltenssteuerung geht weit über das von Endsley postulierte Verständnis von Situationsbewusstsein hinaus. Er bettet Antizipation als *notwendig und hinreichendes Konstrukt in die Verhaltenskette* ein und betont im kognitiven System repräsentierte *Anticipations-Umwelt-Bedingungen* als das definierende Element. Dieser Sichtweise nach wird die Verhaltenskontrolle geleistet, indem jede Verhaltensintention zusammen mit Umweltreizen nach einem antizipativen Muster bewertet und ausgeführt wird. Das Muster wird modifiziert durch antizipationskongruente und differenziert durch inkongruente Verhaltensergebnisse. Leistung in einer Situation als auch der in jeder Situation selbstverstärkende Lern- oder Differenzierungsprozess ist beschreibbar.

Antizipation dient Endsley der Vorbereitung auf mögliche Ausgänge einer bestehenden Situation. Sie trennt deshalb die kognitive Vorbereitung von der Entscheidungsfindung und -ausführung ab. Es werden mögliche Ausgänge einer Situation aufgrund der aktuell vorhandenen Information extrapoliert. Jede dieser Möglichkeiten tritt mit gewisser Wahrscheinlichkeit ein. Zwar wird die Beschreibung von Leistung im Modell expliziert, ein möglicher Lernprozess aber nicht beschrieben. Vielmehr ist die Leistung Endsleys Modells detaillierte, reale Situationen, sowie assoziierte Informationsverarbeitungsprozesse spezifisch zu beschreiben.

Die beiden Modelle scheinen sich durch Endsleys ursprünglicher Formulierung zu widerspre-

chen. Dieser Widerspruch lässt sich auflösen, da in Endsleys Formulierung ein Modell in Stufen vorgesehen ist. Es wird eine Repräsentation von Antizipation als initiale Bedingung von Handlungen, sowie eine durch Rückwirkungsmechanismen modifizierbare Antizipation in Bereichen des Arbeitsgedächtnisses möglich. Insofern ist der Widerspruch oberflächlich: In einer gegebenen Situation wird die Ebene der *Wahrnehmung* durch *Startantizipationen* beeinflusst. Diese sind ein Teil der Erwartungen eines Beobachters an eine zukünftige Entwicklung und helfen *Aufmerksamkeit* auf *relevante Reize der Umwelt* zu lenken. Die Reizkonfigurationen werden auf Passung mit der *Startantizipation* geprüft, auf der Ebene des *Verständnisses*, und, bei gegebener Passung, die Antizipationsrelation verstärkt. Diese Leistungen geschehen auf Ebene des Arbeitsgedächtnisses, die Anpassung oder Differenzierung der Antizipationsrelation ist dann eine Nebenleistung des allgemeinen Situationsverständnisses. Wenn der Vergleich der aufgenommenen Information abgeschlossen ist, folgt die Anpassung der *Zielantizipation*, im Modell Endsleys auf Stufe der Antizipation. Nach diesem Prozess wird neuerdings kognitive Leistung in die Projektion investiert und mit neuen Startantizipationen vorher veränderte Situationen neu bewertet.

Die Modelle widersprechen sich nur in der Formulierung der Kontrolle und dem Umgang mit dem Ergebnis antizipierter Elemente. Beide Modelle sind miteinander kombinierbar. Die Verhaltenskontrolle durch Antizipation ergänzt die Ebene der Antizipation um den wertvollen Aspekt der Erklärung der Steuerungsfunktion.

3.2.3 Bewertende Zusammenfassung und Verwendung

Obwohl die Entwicklung des Modells im Umfeld dynamischer Entscheidungsprozesse der hochagilen Luftfahrt vorangetrieben wurde (Endsley, 1988b), kann es als kontextfreie Beschreibung informationsverarbeitender, situativ gebundener Prozesse verstanden werden (Endsley, 1995, S. 33). Die Abgrenzung von aufnehmender und vorbereitender Prozessen menschlicher Kognition, sowie die starke Orientierung an basalen psychologischen Theorien (siehe Abbildung 3.6, (vgl. a. Endsley, 1988a, S. 98)) macht die Erklärungen auftretender Phänomene konzeptuell valide. Endsley grenzt das Modell ab der Stufe der Antizipation scharf von weiteren kognitiven Stufen ab. Diese strikte Trennung wird von Wickens (1995) kritisiert, der Situationsbewusstsein hin zu einer Reaktionskapazität erweitert sieht welche die Reaktionsfähigkeit bei zukünftigen Ereignissen sichert. Ähnlich sieht dies Vidulich (1.01.1994, S. 17), nach ihm ist Situationsbewusstsein „*.../... much more than just simple awareness of the situation. Good SA implies a capability to respond appropriately, not just the possession of an accurate assessment [...]*“. Eine Möglichkeit, der Forderung nach Handlungskapazität nachzukommen und das Modell sinnvoll zu erweitern bietet Hoffmann.

Der Erklärungswert des Konstruktos liegt somit nicht in der Schaffung einer neuen und besseren Theorie, sondern vielmehr in der sinnvollen Synthese bekannter Theorien und deren Anordnung um die kontextuelle Gebundenheit. Auf diese Weise werden reale Situationen akkurat beschreib- und somit auch abbildbar. Formen und Bedingungen der so zu leistenden Abbildung werden in allgemeiner Form und als Überblick in Abschnitt 3.2.4 vorgenommen.

3.2.4 Messung des Konstruktos

Für das Konstrukt des Situationsbewusstseins werden seit den frühen 1980er Jahren Möglichkeiten zur Messung vorgeschlagen, die so zahlreich sind wie die Definitionen, auf denen sie aufbauen. Eine vereinheitlichte Methodik unter dem Rahmenkonzept versucht erstmals Fra-

3 Die Seite des Operateurs

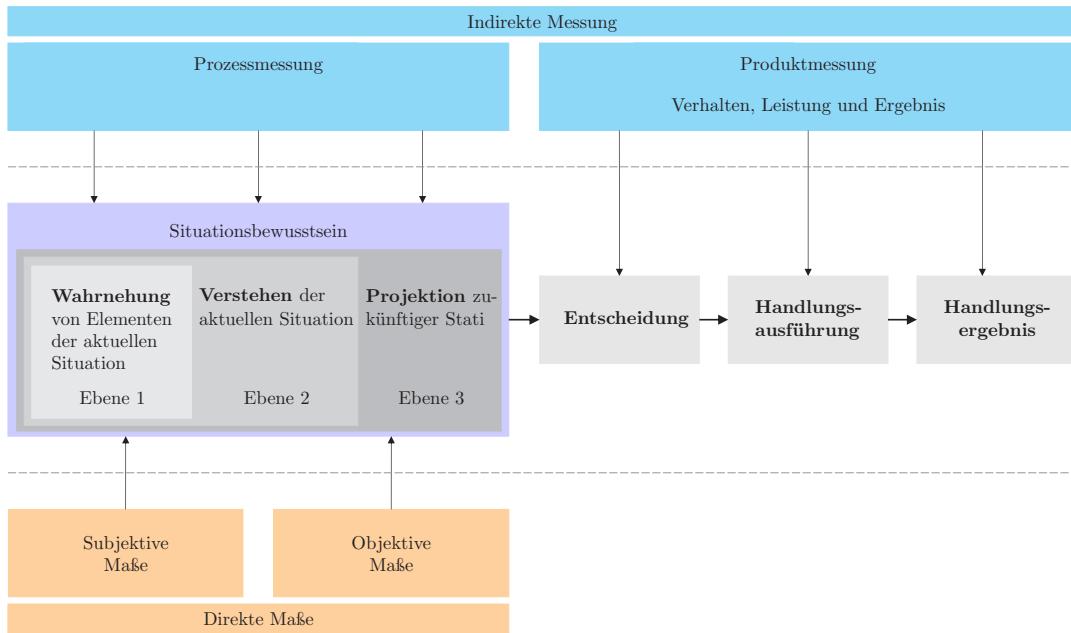


Abbildung 3.8: Messmethoden des Situationsbewusstseins, nach Endsley (2000) und Rauch (2009), verändert.

cker (1991b). Weitere finden sich in Endsley (2000), Uhlarik und Comerford (2002), Salmon, Stanton, Walker, und Green, 2006 und Gawron, 2008 sowie Rauch (2009).

Die verschiedenen Kategorisierungen der Messmethoden orientieren sich dabei an den verwendeten Definition des Konstrukt und seinen Ausprägungen. Dies wird vor allem bei der Kategorisierung nach Endsley (2000) und später Rauch (2009) deutlich (s.a. Abbildung 3.8).

Kategorisierung nach Endsley (2000) Endsley sowie Rauch (2009) nehmen eine dichotome Unterteilung in *indirekte* und *direkte* Maße vor, die weniger auf der Unterscheidung von Inhalten, sondern vielmehr auf dem Schluss beruhen, den die jeweilige Methode auf das Konstrukt ermöglichen.

Indirekte Methoden, den Prozess oder das Produkt betreffend, sind an Verhalten orientiert, welche einen *indirekten Rückschluss auf das Konstrukt* erlauben. Diese mediierenden Faktoren können physiologische Maße, Simulationsdaten, Zusatzaufgabenleistung oder Überlebenswahrscheinlichkeiten (s.a. 3.8, Indirekte Messung) sein. Es erfolgt ein Zwischenschritt über die Messung von Verhalten, welches wiederum Auskunft über interne Prozesse gibt, die sich in einem Akteur bewusst oder unbewusst vollziehen. Da diese Prozesse selbst nicht Teil des Konstrukt des Situationsbewusstseins sind, einer Entscheidung aber Situationsverständnis (Ebene 2) zugrunde liegt, kann über den vom Probanden erwarteten Umweltzustand ein Rückschluss auf Situationsbewusstsein erfolgen.

Direkte Methoden sollen das Konstrukt des Situationsbewusstsein selbst und direkt erfassen (s.a. Endsley, 2000) ohne einen Rückschluss durch interne Prozesse oder mediierende Faktoren zu benötigen. Als objektiv oder direkt wird die Erfassung von Gedächtnisinhalten durch den Bericht des Subjekts verstanden. Durch diese Festlegung werden alle bewusst-berichtbaren

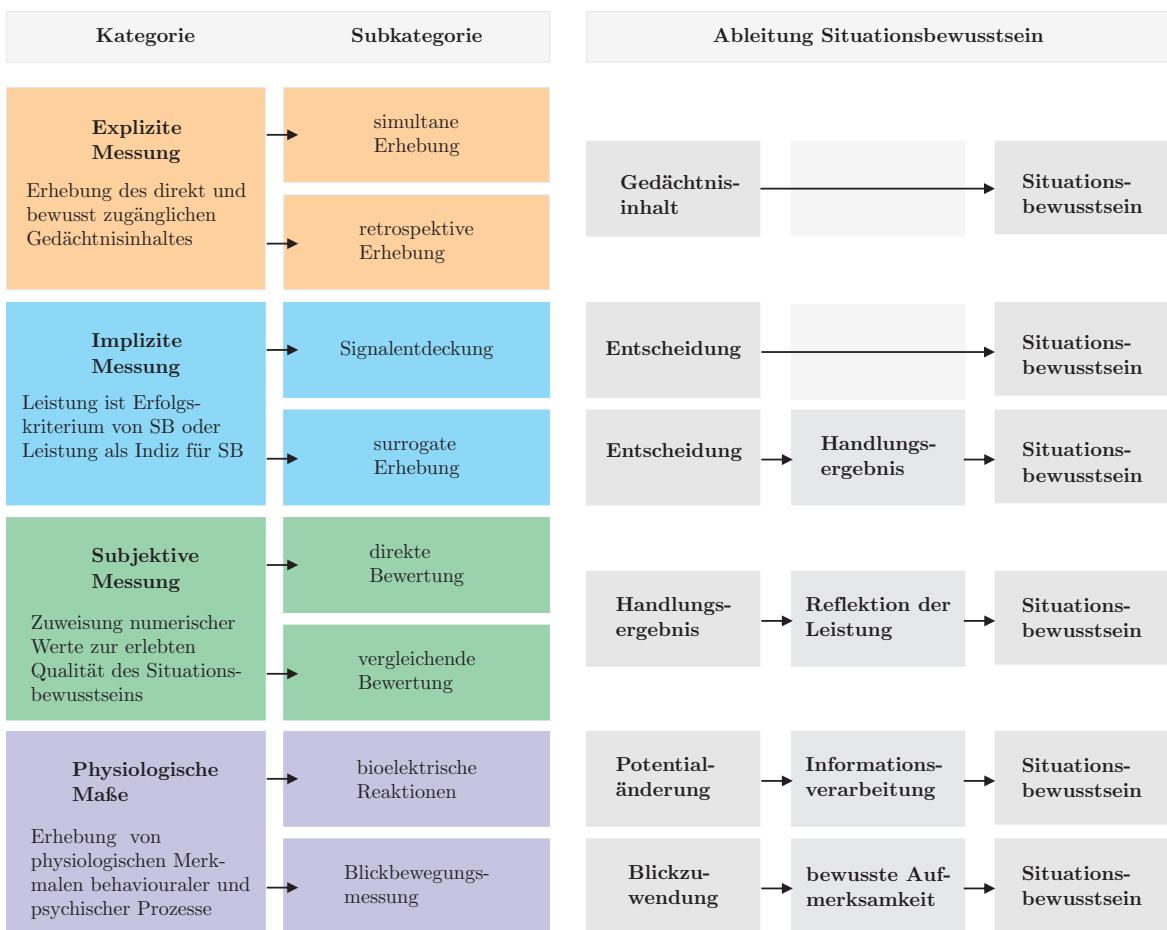


Abbildung 3.9: Frackers Einteilung der Messung des Situationsbewusstseins, erweitert um physiologische Methoden.

Inhalten zum Primat der Messung, Situationsbewusstsein wird mit Gedächtnis gleichgesetzt. Übertragen auf das dreistufige Modell wird die Erhebung nun als Wiedergabe von Elementen der Wahrnehmung, der Bericht von Zusammenhängen dieser Elemente und deren Beziehungen sowie deren vermutetes zukünftiges Verhalten verstanden. Der Bericht dieser Elemente ist dann Situationsbewusstsein, die Abfrage der Elemente sind an der jeweils vorhandenen Aufgabe des Subjekts orientiert und die Inhalte entsprechend formuliert. Bell und Lyon, 2000 weisen in diesem Zusammenhang zurecht darauf hin, dass diese Formulierung des Konstrukt-Situationsbewusstsein und die daraus resultierende Messung allein auf Gedächtnisinhalten aufbauen und eine Neuformulierung des Gedächtnisses als Situationsbewusstsein eigentlich unnötig ist.

Kategorisierung nach Fracker (1991b) Eine Kategorisierung nimmt erstmals Fracker und nach ihm Uhlarik und Comerford (2002) vor. Sie sehen drei Bereiche einer Metastruktur, die eine Kategorisierung offensichtlich erscheinen lassen: *explizite, implizite und subjektive Methoden* (s.a. 3.9). Der Unterschied der Begriffe ist nach Fracker (1991b) darin begründet, dass bei *expliziten* Maßen der direkt und bewusst zugängliche Gedächtnisinhaltes eines Proban-

den abgefragt wird, wohingegen eine *implizite* Messung durch Leistungsmaße charakterisiert sind, die als Indiz für einen bestimmten Zustand des Situationsbewusstsein gewertet werden können, da hier ein „*influence of relevant events on subsequent task performance*“ (Fracker, 1991b) angenommen wird. Weiter unterteilt Fracker noch in *subjektive Methoden*, die sich von den expliziten Methoden durch die Art des Inhaltes der der Bewertung abgrenzen lassen. Werden bei expliziten Methoden Gedächtnisinhalte, also situative erlebte Fakten vom Subjekt abgerufen, handelt es sich bei impliziten Maßen um die Bewertung der erlebten Qualität des Situationsbewusstsein mit Hilfe numerischer Werte - der mögliche Inhalt wird bewertet, nicht wiedergegeben.

Jede Messung sollte in einem hohen Maß reliabel und valide sein. Diese Forderung ist in ihrer Umsetzung komplex aber kritisch für jede Ursache-Wirkungs-Zuschreibung. Fracker bewertet die Methoden anhand abgeleiteter Validitätsmerkmale. Er sieht die reliable Messung als ein Mittel, diese zu erreichen. Konstrukt-, Inhalts- und Kriteriumsvalidität sind nötig, um den Schluss auf ein hypothetisches Konzept sicher vollziehen zu können (**Shadish.2001**). Fracker motiviert diese Arten der Validität im Kontext des Situationsbewusstseins, um eine umfängliche Bewertung zu ermöglichen:

- **Konstruktvalidität (KV)** bezeichnet die Attribuierung menschlichen Verhaltens auf ein nicht beobachtbares und hypothetisches Konstrukt. Um der Zuweisungsforderung gerecht zu werden, müssen drei Kriterien erfüllt sein.
KV1: Ein Maß für Situationsbewusstsein muss *momentan vorhandenes* und *reflexives Wissen* über eine Situation trennen können.
KV2: Ein Maß für Situationsbewusstsein muss *sensitiv für die Komplexität* einer Situation sein und Veränderung indizieren, wenn die Aufmerksamkeit in einer Situation gestreut werden muss.
KV3: Ein Maß für Situationsbewusstsein muss *sensitiv für Veränderungen mentalen Aufwands* sein.
- **Inhaltsvalidität (IVA)** stellt sicher, dass das Wissen oder Verhalten, welches von einer gegebenen Metrik abgefragt wird, auch das Wissen und Verhalten der Aufgabendomäne widerspiegelt. Aus dieser Festlegung ergeben sich zwei Kriterien:
IV1: Ein Maß für Situationsbewusstsein muss *aus einer Aufgabenanalyse oder einem Anwendungsfall direkt ableitbar sein*.
IV2: Ein Maß für Situationsbewusstsein muss *hoch kontextspezifisch sein* und muss deshalb für jeden Aspekt einer Situation spezifisch aus IV1 abgeleitet werden.
- **Kriteriumsvalidität (KR)** bezeichnet die Passung einer Messung mit objektiv festzulegenden und als gültig angesehenen Leistungskriterien (KR). Diese Art der Validität ist aufgrund der Komplexität des Umfeldes, der Anzahl situativer Einflussfaktoren und interindividueller Variabilität am schwersten zu erreichen. Auf Kriteriumsvalidität muss durch bestimmte, in einzelnen Anwendungsfällen wichtige Leistungskenngrößen geschlossen werden.
KR1: Ein Maß für Situationsbewusstsein muss eine Leistung widerspiegeln, die in einem gegebenen Anwendungsfall *erfolgreiches, situativ angepasstes Verhalten* widerspiegelt.

Mit Hilfe dieses Bewertungskataloges und der vorgegeben Struktur ist es hinreichend genau möglich, eine Klassifizierung gegebener Messmethoden des Situationsbewusstseins zu erstellen und aus dieser Maße auszuwählen oder abzuleiten.

Vergleich und Auswahl der Kategorisierung Beide vorgestellten Möglichkeiten der Kategorisierung sind für sich nachvollziehbar und begründet. Endsley sieht die Kategorisierung direkt aus dem Rahmenkonstrukt motiviert und an den aufgezeigten Ebenen der aufgespannten Informationsverarbeitung orientiert. Dieses Vorgehen baut direkt auf dem Kontext der Aufgabe auf und ist somit für den Bereich valide. Problematisch erscheint die Orientierung an einem z.T. ungenau definierten Konstrukt. Vor allem die höheren Ebenen Endsleys Theorie sind weniger gut definiert als die Wahrnehmung. Antizipation ist nur als Fortschreibung des aktuellen Status eines situativen Elements definiert. Weiter gehende, verhaltensbeeinflussende Einflüsse werden nicht genannt. Diese Erklärungslücke muss geschlossen werden, wenn antizipative Leistungen oder Verhalten als Situationsbewusstsein attribuiert werden soll.

Frackers Kategorisierung orientiert sich an einer den Methoden inhärenten Metastruktur, ist aber der Einordnung Endsleys begrifflich ähnlich. Allerdings steht hier eine beschreibende und keine durch ein Konstrukt beeinflusste Struktur im Vordergrund. Auf diese Weise lässt sich eine Festlegung der Messung durch eine problematisch definierte Theorie vermeiden. Die Beschreibung der Messmethoden erfolgt an allgemeinen Kriterien und durch die vorgegebene Metastruktur. Diese ist leicht nachzuvollziehen und weniger durch Definitionslücken belastet. Die Struktur soll die Bewertung von Situationsbewusstsein bezüglich technischer Schnittstellen ermöglichen. Die von Fracker (1991b, S. 1 ff.) vorgenommene Einordnung, Bewertung und Anwendung allgemeiner Qualitätskriterien auf Messmethoden für das Konzept Situationsbewusstsein ist umfassend und einzig in diesem Feld.

Aus diesen Gründen werden die Messmethoden mit Hilfe dieser Kategorisierung aufgearbeitet. Im Folgenden werden Methoden als direkte, indirekte und subjektive Ansätze umrissen werden, um deren Eignung für das Vorgehen zu bewerten.

Explizite Messmethoden

Unter expliziten Messmethoden werden Methoden verstanden, die Situationsbewusstsein als „[...] *the information immediately available in conscious awareness [...]*“ operationalisieren und diese Information entweder durch einen „*retrospective event recall*“ oder „*concurrent memory probes*“ erheben (s. Fracker, 1991b, S. 7).

Ein Explizit-retrospektiver Abruf situativer Ereignisse wird nach einem Szenario oder einer Situation durchgeführt, wobei der Abruf alle in diesem Szenario enthaltenen Elemente betreffen kann.

Kibbe (1988) verwendet nach einer Radarüberwachungsaufgabe einen Fragebogen. In diesem müssen die Probanden nach einem Szenario Bedrohungen und deren Parameter wiedergeben. Zudem bietet er eine Zeitleiste dar, in welcher die Reihenfolge der Bedrohungen eingetragen werden soll. Die Zeitleiste erweist sich als insensitiv, mit steigender Art der Bedrohung ist die Wiedergabe positiv beeinflusst.

Qualitative Untersuchungen gehen von Aufgabenanalysen bestimmter Anwendungsfälle aus und erfragen situative Prozeduren, welche die Expertenprobanden in ihrer täglichen Arbeitsumwelt durchführen (Stanton, 2013, S. 21 ff.). Probanden werden durch Instruktion und Anwendungsfall in bestimmte Situationen gebracht und hierzu befragt. Klein, Whitaker, und King (1988), zitiert nach Fracker (1991b, S. 8), setzt die „*critical incident method*“ (Flanagan, 1954) ein, um solche prozeduralen Abläufe zu ergründen. Es zeigt sich, dass Probanden selektiv Information nach deren unmittelbarer Verfügbarkeit (s.a. Tversky & Kahneman, 1974) berichten und der Bericht nicht von der eigentlichen Kritikalität der Prozedur für den Aufga-

benerfolg abhängig ist.

Hinsichtlich der *Qualitätskriterien* ist eine Bewertung der Reliabilität der Methoden bisher nicht bewertet: Der „*critical incident technique*“ am nächsten ist die kognitive Aufgabenanalyse (Stanton, 2013, S. 78), deren Reliabilität aber nur sehr schwer bis nicht bewertbar ist. Bezüglich retrospektiver Befragungen nach einem Szenario können zudem Verzerrungen in den berichteten situativen Vorkommnissen angenommen werden, die sowohl Reliabilität wie auch Validität der Berichte einschränken. Die Untersuchungen von Kibbe (1988) sowie Klein u. a. (1988) stehen exemplarisch für retrospektive Befragungen nach Untersuchungen oder Befragung zur Erfahrung von Experten und besitzen aufgrund ihrer Fragestellung und Ausrichtung an einem Anwendungsfeld inhaltliche Validität. Höchst problematisch erscheint Fracker (1991b, S. 8) an diesen Methoden die fehlende Konstruktvalidität. Falscherinnerungen (Loftus & Loftus, 1980), Verzerrungen durch den Abruf (Tversky & Kahneman, 1974) oder die Umstände des Abrufs sind wahrscheinlich. Da es bei reflexiven Erhebungen zu einer Beeinflussung durch aktuelle Inhalte des Gedächtnisses kommen kann, kann von einem konstruktvalidem retrospektiven Maß nicht zu sprechen sein. Ob ein Ereignis also retrospektiv aus der Erinnerung wiedergegeben wird oder aus dem aktuellen Gedächtnis gefolgt wird, ist unklar. Explizite retrospektive Methoden scheinen aufgrund der Verzerrungen und der damit einhergehenden Unsicherheit bezüglich der Validität wenig geeignet, Situationsbewusstsein adäquat abzubilden.

Bei explizit-simultaner Erhebung situativer Ereignisse wird die Erhebung während einem Szenario oder einer Situation durchgeführt, wobei diese alle in diesem Szenario enthaltenen Elemente betreffen kann. Diese aktive Form einer Erhebung während einer situativen Entwicklung versucht, die Probleme retrospektiver Methoden durch zeitnahe Befragung zu umgehen. Die wohl bekannteste Methode ist Endsleys **SAGAT, Situation Awareness Global Assessment Technique** (s.a. Endsley, Selcon, Hardiman, & Croft, 1998; Endsley, 2000; Stockmann, 2011).

Die Befragung des SAGAT wird immer in einem kontextspezifischen Umfeld durchgeführt und die Situation kurz unterbrochen, um Fragen zu stellen. Die Fragen werden entweder digital in das Szenario eingebaut oder als Papierversion gegeben. Die Unterbrechung soll dabei keinen Einfluss auf die Ergebnisse der Befragung haben (Endsley, 2000). Um diese Befragung durchführen zu können, ist üblicherweise ein mehrstufiges Vorgehen nötig. Wie bei den meisten angewandten Fragestellungen im Bereich *Human Factors* steht auch hier eine systemische Analyse des Arbeitsumfeldes als erster Schritt an. Diese wird meist durch verschiedene Methoden der Aufgabenanalyse abgedeckt (s.a. Stanton, 2013). Die Aufgabenanalyse soll dabei alle relevanten Tätigkeiten und Ziele eines Experten des Feldes enthalten. Ist dies abgeschlossen, folgt eine „*Situation Awareness Requirements Analysis*“, Endsley, 1993b s.a. Endsley und Rodgers, 1994b; Endsley, Farley, Jones, Midkiff, und Hansman, 2004; Jones, Bolstad, Riley, Endsley, und Shattuck, 2003; Matthews, Strater, und Endsley, 2004. Diese setzt direkt an der Analyse des Arbeitsumfeldes an und erhebt die Informationen, die ein Experte benötigt, um eine Aufgabe vollständig und richtig durchführen zu können. Diese Erhebung beinhaltet demnach *objektiv perfekte Voraussetzungen für das situationsadäquate Lösen eines Problems*, also *perfektes Situationsbewusstsein* nach Endsley (1988a). Mit den Ergebnissen der Analysen kann nun die konkrete Untersuchung, meist in quasi- oder experimenteller Form geplant werden. Die Szenarien zur Untersuchung wie auch die im SAGAT gestellten Fragen werden direkt aus der Tätigkeits- und Anforderungsanalyse abgeleitet.

Ein dem SAGAT ähnliches Messverfahren ist der **SPAM**⁴, die „*Situation Present Assessment Method*“ (Durso & Dattel, 2004; Durso, Rawson, & Girotto, 2007; Durso & Sethumadhavan, 2008). SPAM und SAGAT gehen von denselben kontextuell-inhaltlichen Voraussetzungen aus, der SPAM vermeidet es dabei aber, die Situationen zu unterbrechen. Fragen werden den Probanden in einem Szenario durch einen Hinweiston angekündigt, diese können dann entscheiden, ob ihre Arbeitsbelastung eine Antwort zu diesem Zeitpunkt zulässt (Durso & Dattel, 2004, S. 138). Durch die Gabe des Hinweistones wird zusätzlich zur inhaltlichen Bewertung eine zeitliche Komponente eingeführt. Die Zeit, die der Experte benötigt, um seine Bereitschaft für eine Antwort auszudrücken, wird als Index für Arbeitsbelastung interpretiert. Mit dem Stellen der eigentlichen Frage und der Antwort des Probanden hat man eine zweite, zeitliche Komponente, welche direkten Situationsbezug besitzt. Kann der Proband direkt antworten, musste er die in der Frage aufgeworfene Information nicht suchen. Dies indiziert hohes Situationsbewusstsein. Bei einer mittleren Antwortzeit muss der Proband die Antwort zwar erst aus dem Gedächtnis oder technischen Gerät ableiten, weiß aber, wo diese in etwa zu finden ist. Dies kann als mittleres Situationsbewusstsein gedeutet werden. Braucht der Proband sehr lange oder gibt innerhalb des vorgesehenen Zeitrahmens keine Antwort, kann man davon ausgehen, dass er situativ nicht orientiert ist. Die Zeit zusammen mit der inhaltlich überprüfbaren Antwort gibt weitere Einblicke, als beim SAGAT möglich. Zu einem Genauigkeitsmaß wie beim SAGAT wird ein Effizienzmaß eingeführt, welches eine genauere Bewertung zulässt. Da sich die Erstellung von SAGAT und SPAM inhaltlich nicht unterscheiden, können auch ähnliche Reliabilitäts- und Validitätsbeziehungen angenommen werden.

Endsley und Bolstad (1994) berichten hinsichtlich der *Qualitätskriterien* Test-Retest Reliabilitätskoeffizienten zwischen ,92 bis ,99 in einer Simulation mit Kampfpiloten. Gugerty (1997) findet ähnlich hohe Koeffizienten in einer Fahrsimulatorumgebung. Fracker, 1991a findet in einer Serie von Experimenten deutlich schlechtere Reliabilitätsindizes, Endsley und Bolstad (1994) weisen aber auf ungeeignete Skalen sowie ungünstige Simulationsbedingungen als Erklärung hin. Insgesamt scheint die Reliabilität der SAGAT-Fragen gut.

Die Konzentration auf den Experten und seine Tätigkeit, sowie die erforderlichen Informationen zur Aufgabenlösung und durch die Beachtung des zu verwendende technische Equipments kann ein hoher Grad an inhaltlicher Validität erreicht werden. Zudem weisen Endsley und Bolstad (1994) auf eine hohe Kriteriumsvalidität hin, die auch von Gugerty (1997) und Fracker, 1991a bestätigt wird. Zwar ist der Nachweis einer allgemeinen Kriteriumsvalidität des Tests schwer zu führen, in Teilbereichen scheinen jedoch Voraussagen auf zukünftige Leistung zu gelingen. So haben Piloten, welche ein bestimmtes Ziel in einer Simulation nennen können, auch eine höhere Wahrscheinlichkeit, dieses Ziel zu treffen (s. Endsley & Rodgers, 1994a, S. 12). An diesem Beispiel wird deutlich, dass es mit der Vorgehensweise des SAGAT möglich ist, Kriteriumsvalidität in bestimmten, genau definierten Bereichen herzustellen.

Sowohl bei SAGAT wie auch beim SPAM sind die Festlegung auf Produktmaße des Situationsbewusstseins inhärent. Dies wird bei SPAM durch die Einführung einer zeitlichen Komponente kompensiert, aber nicht aufgehoben. Das bedeutet somit auch eine Festlegung auf die Abfrage von Inhalten des Arbeitsgedächtnisses oder der Extrapolation solcher Inhalte. Der Prozess der Entstehung des Situationsbewusstseins kann so nicht erfasst werden, noch kann ohne Weiteres auf Kriteriumsvalidität geschlossen werden.

⁴Der Name SPAM ist als Akronym gedacht und spiegelt den unnatürlichen Eingriff durch eine Frage in eine kontextnahe Situation wieder (Durso & Dattel, 2004).

Implizite und Behelfsmethoden zur Messung von SB

Eine implizite Methode erhebt Situationsbewusstsein durch den Einfluss eines Ereignisses auf Leistung wie Missionserfolg. Hier dient ein Erfolgskriterium als Außenkriterium um Situationsbewusstsein zu erheben. Weiter können Behelfsmessungen herangezogen werden, bei denen bestimmte Leistungen als Situationsbewusstsein interpretiert werden. In beiden Fällen findet die Zuweisung zu Situationsbewusstsein über eine beschreibbare Verhaltenskette statt.

Ein implizites Maß des Situationsbewusstseins stellt die Signalentdeckung dar McGuinness, 2004. Mit diesem theoretischen Bezugsrahmen können situative Ereignisse direkt mit entsprechenden, situativen Erfolgskriterien belegt werden.

Signalentdeckung „*[...] is a theory about the ways in which choices are made [...]*“, also eine mathematisch-statistische Entscheidungstheorie. Sie beinhaltet ein „*[...] general framework to describe and study decisions that are made in uncertain or ambiguous situations [...]*“ Wickens, 2002f, S. 3. Ähnlich beschreibt McNicol (2005, S. 8 ff.) ihren Zweck als befasst mit „*[...] decisions based on evidence which does not unequivocally support one out of a number of hypotheses [...]*“. Zwei Themen lassen sich aus dem genannten Ableiten. Signalentdeckung beschreibt *Entscheidungsprozesse* bei *unsicherer Faktenlage*. Entscheidungen sind in nahezu jeder Lebenslage nötig und zudem ein Ergebnis meist unsicher. Entweder werden nicht alle Eingangs faktoren bekannt oder die genauen Auswirkungen einer Entscheidung sind unbekannt, die Entscheidung an sich ist jedoch immer nötig. Die Signalentdeckung hilft, die Entscheidung eines Beobachters zu beschreiben. Dies geschieht durch das Aufzeigen der *Sensitivität* als Güte der Entscheidung und als *Bias*, der als Maß der Verzerrung einer Entscheidung zugunsten einer Alternative gilt (s.a. Macmillan & Creelman, 2005).

In einem gegebenen Szenario ist ein Ereignis X eingebettet. Dieses Ereignis ist direkt erfolgsrelevant für einen Beobachter und für den Ausgang des Szenarios. Wird das Ereignis richtig benannt, ist dies als ein *Treffer* oder *Hit* zu werten, dem eine *Auslassung* oder *Miss* bei Nichtbenennung gegenübersteht. Um eine perfekte Trefferquote durch beständige Klassifizierung als Treffer in jedem Szenario zu vermeiden, werden Leerszenarien eingeführt, die *korrekt zurückgewiesen* werden müssen (*correct rejection*) und andernfalls bei Nennung zu einem *Fehlalarm* (*false alarm*) führen.

Klassischerweise werden Entscheidungen von Ärzten als Beispiel genannt. Ein Patient leidet an einem Symptomkomplex von Beschwerden, die entweder einer lebensbedrohlichen Erkrankung entsprechen oder nur ein zeitweises Unwohlsein widerspiegeln. Der Arzt steht nun vor dem Problem der Diagnose und anschließenden Behandlung, die sich in beiden Fällen gravierend unterscheiden. Der wahre Zustand des Patienten ist ihm aber unbekannt. Leidet der Patient nur unter vorübergehendem Unwohlsein, ist also nicht krank, und der Arzt diagnostiziert dies auch, weist er die Hypothese *krank* korrekt zurück. Entscheidet er sich bei einem zweiten Patienten für die Krankheit bei deren objektiven Vorliegen, landet er einen Treffer. In beiden Fällen wird die Entscheidung aber unter der Unsicherheit der Schilderung und Erhebung der Symptome geleistet. Es kann zu Fehlern kommen und somit auch zur Zurückweisung des Kranken obgleich eine Krankheit vorliegt (*Miss*). Oder zur Zuweisung der Diagnose *krank* dem Gesunden, also einem falschen Alarm.

In allen Bereichen des Lebens sind Entscheidungen unter Unsicherheit nötig, so auch in der Luftfahrt. Eubanks und Killeen (1983) nutzt die Methode, um das Entscheidungsverhalten von Piloten in Luftkämpfen zu bewerten. Sie kommen zu dem Schluss, dass die Methode helfen kann, Pilotentrainings zu technischen Funktionen zu unterstützen und die Wirksamkeit

des Trainings zu bewerten. Wittmann u. a. (2011) sowie Baier (2013) nutzen die Methode zum Vergleich verschiedener Anzeigen für die Bewertung von Fluglotsenarbeitsplätzen. Sie kommen zu dem Schluss, dass eine echte, dreidimensionale Darstellung des Geschehens im Luftraum bei der Konflikterkennung vor allem bei der Reduktion von falschen Alarmen Vorteile bietet und diese reduziert. Bustamante (2008) können mit Hilfe eines Signalentdeckungsansatzes zeigen, dass eine „*likelihood alarm technology*“ hilft, die Entscheidungen von Piloten bezüglich Systemwarnungen zu verbessern. Probanden zeigen insgesamt einen niedrigeren Bias, eine höhere Genauigkeit und insgesamt eine bessere System-Beobachtungsleistung.

Weiter wird die Signalentdeckung auch in anderen Bereichen, zivil als auch militärische, erfolgreich angewendet. McGuinness, 2004 wendet die Signalentdeckung als **QUASA** (Quantitative Analysis of Situational Awareness) für Soldaten bei einer Wehrübung an um die verschiedenen Mannschaften bewerten zu können. Er kommt zu dem Schluss, dass mit Hilfe der QUASA die Leistung der einzelnen Mannschaften deutlich besser bewertet werden kann als mit anderen Leistungsmaßen. Parasuraman und Hancock, 1999 wenden die Signalentdeckung für die Bestimmung von Automatisierungsparametern an. Sie bestimmen, wie ein Kollisionswarnungssystem parametrisiert werden muss, um für einen Kraftfahrzeuglenker positive Wirkung erzielen zu können und Kollisionen zu vermeiden.

Als geeignete Parameter, welche die Leistung eines Beobachters differenziert beschreiben, kann folgende Liste gelten⁵:

- **Hit-Rate (H)** - Rate der richtig erkannten Signale in einer bestimmten Anzahl von Durchgängen, auch als Sensitivität bezeichnet (McNicol, 2005, S. 4).
- **False Alarm Rate (FA)** - Rate der fälschlicherweise als Signale klassifizierten Reize, auch als Spezifität bezeichnet (McNicol, 2005, S. 4).
- **D-Prime (d')** beschreibt den Abstand zwischen Signal und Rauschen, ein Gütemaß für die Trennung zwischen Signal und Rauschen (Wickens, 2002f, S. 21).
- **Lambda (λ)** beschreibt das Antwortkriterium eines Beobachters. Es ist also ein Maß für den Grad an Liberalität einer Entscheidung (Wickens, 2002f, S. 21)
- **Area under the curve (A', AUC)** Die Fläche unter einer Isosensitivitätskurve gibt die Wahrscheinlichkeit an, richtig zu entscheiden (s. Wickens, 2002f, S. 67 ff.) und ist ableitbar aus H und FA (Wickens, 2002f, S. 71), siehe hierzu auch McNicol (2005, S. 25).

Hinsichtlich der geforderten *Qualitätskriterien* stellt Fracker (1991a) mittelhohe Reliabilitätskoeffizienten bei einer Test-Retest-Überprüfung fest. Des Weiteren sieht er aber den eigentlich großen Vorteil in der Signalentdeckung durch die hohe Konstruktvalidität gegeben: Wird solch ein Maß angewandt, kann von einer direkten Trennung des momentanen vom reflexivem Situationsbewusstseins ausgegangen werden. Eine Veränderung im Situationsbewusstsein kann durch die Verwendung verschiedener Leistungsmaße leichter erkannt werden als durch ein Maß, was für eine höhere Sensitivität der Methode spricht. Zudem kann bei kontextgetreu gestalteten (Verwendung einer Arbeitsanalyse, Anwendungsfall als Basis) und kontrollierten Untersuchung auf eine hohe inhaltlichen Validität geschlossen werden. Wenn durch den Kontext ein Leistungsmaß gefunden werden kann, welches direkten Bezug zu erfolgreichem Handeln in der Realität steht, kann auch von hoher Kriteriumsvalidität gesprochen

⁵Je nach Art der Aussage, die zu treffen ist, können andere Parameter dienlich sein, die Liste ist nicht erschöpfend.

werden. Dies ist im Fall der Entscheidung bei einer Signalentdeckung in den oben genannten Untersuchungen immer der Fall - Konflikterkennung bei der Luftverkehrsüberwachung oder die erhöhte Wirksamkeit eines Trainings durch bessere Praxisleistungen sind augenscheinliche Beispiele.

Eine Abbildung situativer Leistung durch Entscheidungen, dargestellt mit verschiedenen Metriken im einheitlichen und validen Bezugsrahmen der Signalentdeckung, scheint aufgrund dieser Kriterien prädestiniert zu sein für eine Bewertung technischer Schnittstellen.

Behelfsmaße des Situationsbewusstseins stellen bestimmte situative Leistungen dar, die unter bestimmten Umständen für gute Leistung nötig sind. Situationsbewusstsein wird implizit aus einer situativ angepassten Handlung geschlossen. Pritchett und Hansman (2000) sehen leistungsisierte Maße als „[...] indication of the sufficiency of the operator's situation awareness [...]“ die zudem eine Erhebung der „[...] the final performance of the operator within the specific content of the situation [...]“ erlauben. Im Gegensatz zur Signalentdeckung wird ein Experte hier nicht gezielt in immer dieselbe Entscheidungssituation gebracht und trifft eine Entscheidung. Der Fokus liegt auf dem Ausführen einer bestimmten Handlung, welche eine Entscheidung voraussetzt. Der Unterschied wird deutlich in der Erhebung, wenn dieselbe Situation zu zwei Zeitpunkten betrachtet wird: Ein Zusammenstoß zweier Luftfahrzeuge ist von der Luftverkehrsüberwachung auf jeden Fall zu vermeiden. Bei einer *Signalentdeckung* stellt man das Subjekt nun nach einer gewissen Betrachtungszeit vor die Entscheidung, ob ein Konflikt vorliegt oder nicht. Bei einem *surrogaten Leistungsmaß* wird diese Entscheidung vorausgesetzt und eine folgende Handlung betrachtet, wie etwa die Anweisung an ein Luftfahrzeug den Kurs zu ändern. Die Handlung kann entweder den Konflikt lösen, verschärfen oder eine Unterlassungshandlung sein. Von dieser Kategorisierung schließt man auf den kognitiven Zustand des Beobachters und dessen Situationsbewusstsein.

Handlungsergebnisse als Situationsbewusstsein zu definieren untersteht dabei immer den jeweiligen Gegebenheiten. Venturino, Hamilton, und Dvorchack (1989) stellen den Bezug zu Situationsbewusstsein über taktische Handlungen in einem Luftkampf her. Venturino u. a. benutzen die Abschusshandlung von Raketen als taktische Handlung. Diese setzen sie zu Selbsteinschätzungen der Piloten und dem Missionserfolg in Beziehung. Die Untersuchung legt den Schluss nahe, dass hoher Missionserfolg mit richtiger Wahl des Abschusszeitpunktes und hohen Selbsteinschätzungen einhergeht. Allerdings kann keine lineare Beziehung zu weniger effektiven Zeitpunkten oder niedrigeren Selbsteinschätzungen gefunden werden.

Pritchett und Hansman (2000, S. 186) kommen zu dem Schluss, dass „[...] measuring actions and performance metrics external to the operator, performance-based measures are comparatively unbiased, non-intrusive and objective [...]“. Meist sind diese zudem in Testprozeduren von Soft- und Hardware eingebettet und leicht kommunizierbar. Johnson und Pritchett, 1995 stellen in einer Simulatoruntersuchung fest, dass 10 von 12 Piloten eine zu hohe vertikale Geschwindigkeit im Endanflug nicht kontrollieren, erkennen und korrigieren. Dies führt zu einer starken Abweichung im Gleitpfad und kann fatale Konsequenzen nach sich ziehen. Zudem ist diese Methode einfach mit andern Messungen kombinierbar - Mykityshyn, Kuchar, und Hansman (1994) nutzen Leistungsmaße um elektronische und papierbasierte Endanflugsverfahren zu vergleichen. Sie induzieren einen Kollisionskurs mit dem Boden, der durch eine Kurskorrektur verhindert werden muss mit einfachen, expliziten Fragen zur Situation. Sie kommen zu dem Schluss, dass die beiden Varianten der Anflugverfahren zu ähnlichen Leistungen führen wobei die elektronische Form der traditionellen Form leicht überlegen scheint.

Hinsichtlich der geforderten *Qualitätskriterien* können keine Reliabilitätsstudien vorgewiesen werden. Salmon u. a. (2006, S. 30) sehen die implizite Annahme, dass „[...] efficient performance is achieved as a result of efficient SA and vice versa [...]“ als problematisch an, der Zusammenhang von situativer Leistung und Situationsbewusstsein ist nicht linear. Salmon u. a. sehen auch die Möglichkeit effizienter Leistung trotz inadäquatem Situationsbewusstsein. Gute Leistung kann zudem genauso ohne hohes Situationsbewusstsein erbracht werden. Diese Überlegungen gestalten die Reliabilitäts- und Validitätsüberlegungen von Leistung und Situationsbewusstsein schwierig. Leistungsmaße können nur schwer direkt und linear mit Situationsbewusstsein in Verbindung gebracht werden. Allerdings weisen Salmon u. a. auch darauf hin, dass Leistungsmaße in angewandten Untersuchungen meist eine Art gewollten Beifang darstellen, Leistungsmaße sind meist in diesem Zusammenhang wenig kontrolliert erhoben. Sie können helfen, die Handlungen der Probanden über den Verlauf der Zeit nachzuvollziehen. Selbst kontrolliert erhobene Leistungsmaße können nur im Zusammenhang mit einem bereits etablierten Maß von Situationsbewusstsein gedeutet werden. In diesem Zusammenhang kann eine Aussage für technische Schnittstellen ermöglicht werden. Der Aufwand wäre aber ungleich höher.

Subjektive Messmethoden

Subjektive Methoden der Erhebung von Situationsbewusstsein sind Techniken, die von einem Subjekt die Zuweisung numerischer Werte zu der erlebten Qualität des eigenen Situationsbewusstseins erfordern (Fracker, 1991b). Diese Zuweisung kann komparativ oder direkt erfolgen. Die Bewertung erfolgt immer retrospektiv über ein bestimmtes Aufgabensegment. Diese Art der Erhebung ist bei weitem die leichtest Durchzuführende und erfordert nur minimalen Erstellungs-, Durchführungs- und Auswertungsaufwand (Fracker, 1991b). Die subjektive Erhebung stößt aber mit der Ausdrucksstärke der Probanden an Grenzen, wie auch die Definition von Fragen schwierig sein kann (s.a. Gawron, 2008, S. 238). Wickens und Hollands (1999) geben zu bedenken, „[...] people are not aware of those things of which they are not aware.“: Eine Einschätzung, bei welcher der Inhalt des eigene Bewusstseins zum Inhalt einer objektiven und vollständigen Situation in Relation gesetzt werden soll, ist aufgrund der Limitationen der menschlichen Informationsverarbeitung nicht möglich. Nisbett und Wilson, 1977 weisen darauf hin, dass Introspektion meist keine reliablen Einblicke in kognitive Prozesse liefert. Subjektive Einschätzungen sollten also grundsätzlich mit Bedacht eingesetzt werden.

Allerdings müssen und sollen subjektive Methoden eingesetzt werden. Sie liefern über die Leistung hinausgehende Einblicke in das Verhalten von Experten. Dies fördert ein tieferes Verständnis für deren Situation und die zugrunde liegenden Verhaltensweisen. In reinen Leistungsuntersuchungen können emotionale Aspekte einer Leistung nicht berücksichtigt werden, da diese nicht erhoben werden. Somit können auch Leistungsartefakte die auf emotionale Prozesse zurückgehen, nicht erhoben werden.

In Untersuchungen, welche mit Expertenstichproben arbeiten, also eine wesentlich verminderte Grundgesamtheit annehmen, kann diese Bewertung unter gewissen Randbedingungen durchaus vorgenommen werden. Hier wird die Annahme zugrunde gelegt, dass Domänenexperten ihre Wahrnehmung und Informationsverarbeitung an Schlüsselreizen einer für sie bekannten Situation ausrichten (vgl. Zsambok & Klein, 1997). Entsprechen Reizmuster bestimmten Vorbedingungen, dann können kognitive Prozesse bewertet werden (s. Nisbett & Wilson, 1977, S. 255): Situationen, in denen *wenig kausale Variation* vorliegt und ein *Ursache-Wirkungs-Zusammenhang leicht hergestellt werden kann*, die zugrunde liegenden *Faktoren*

hohe Salienz besitzen und die Ursachen häufig mit den Wirkungen beobachtet werden, lassen akkurate Urteile zu.

Subjektive Werturteile oder emotional geprägte Aussagen sollten, ob strukturiert oder unstrukturiert, nicht durch einfaches Abwerten ausgeschlossen werden (vgl. Wickens & Hollands, 1999, S. 261). Als zusätzlicher Baustein der Bewertung und Erkenntnis können diese helfen, mehr Verständnis für erhaltene Daten und somit Verhalten an Mensch-Maschine-Schnittstellen zu generieren.

Verschiedene Methoden werden vorgeschlagen, die prominentesten Vertreter der direkten Bewertung sind der **SART** (Situation Awareness Rating Technique) von Taylor (1990) und die auf der Bedford Workload Skala (Roscoe, 1984) aufgebaute **CLSA** (Adams, 1998, China Lake Situational Awareness) Skala (s.a. Gawron, 2008).

Ein Vertreter der komparativen Bewertung von Situationsbewusstsein ist der **SA-SWORD** (Fracker & Davis, 1991, Situation Awareness Subjective Workload Dominance), der einer Workload-Bewertung von Vidulich (1989), dem **SWORD** (Subjective Workload Dominance) nachempfunden ist.

Direkt subjektive Maße für Situationsbewusstsein erfragen von einem Subjekt numerische Werte die der erlebten Qualität des Situationsbewusstseins entsprechen. Diese Wertzuweisung erfolgt auf der Basis einer vorher festgelegten Ratingskala und festgelegten Dimensionen. Der SART (Taylor, 1990) erfordert eine Wertzuweisung von 0 (niedrig) bis 7 (hoch) in drei (3D-SART) oder zehn (10D-Sart) Dimensionen. In der häufiger angewandten 3D-SART Variante bewertet ein Subjekt nach einer Situation nach drei Kriterien (I - III) der den Subdimensionen (Kleinbuchstaben) nicht bewertet werden (nach Gawron, 2008, verändert):

I Bedarf an Aufmerksamkeit (*demands on attentional resources*)

- (a) Unbeständigkeit (*instability of situation*)
Wahrscheinlichkeit schnell auftretender Änderungen in der Situation; z.B. vorhergesagte Wetterfront in sicherer Entfernung *vs.* plötzlicher, lokaler Fallwind
- (b) Variabilität (*variability of situation*)
Anzahl der Variablen und Faktoren deren Änderung möglich ist; z.B. zu beachtende Luftfahrzeuge in einem Gebiet sowie Anflugverfahren, lokales Wetter, Vogel- und Ascheflug, eigenes System, örtlich-kulturelle oder sprachliche Besonderheiten
- (c) Komplexität (*complexity of situation*)
Grad der Komplexität; z.B. hohe Anzahl Luftfahrzeuge an einem Großflughafen *vs.* Atlantik En-Route-Flug

II Vorrat von Aufmerksamkeit (*supply of attentional resources*)

- (a) Höhe der Erregung (*arousal*)
Grad der Wachsamkeit für auftretende Aktivität; z.B. hohe Alarmbereitschaft bei Landung mit Scherwinden *vs.* geringe Aktivität bei Autopilotenflug
- (b) mentale Reserven (*spare mental capacity*)
Verfügbarkeit mentaler Aktivität für neue Variablen; hohe Verfügbarkeit von mentalen Ressourcen bei ablesen von Checklisten *vs.* geringe Verfügbarkeit von Ressourcen bei Auslegung eines Notfallkurses

(c) Konzentration (*concentration*)

Grad der Stärke des Aufrechterhaltens von Gedanken; z.B. Konzentration auf Abarbeiten einer Checklist *vs.* leichte Kurskorrektur

(d) Aufmerksamkeitsaufteilung (*division of attention*)

Verteilung/Streuung des Aufmerksamkeitsfokus; z.B. fokussierte Aufmerksamkeit bei Landung des Luftfahrzeugs auf Höhe sowie Sinkrate *vs.* Kontrolle aller nötigen Systeme vor dem Start

III Verständnis der Situation (*understanding of the situation*)

(a) Informationsvielfalt (*information quantity*)

Menge des erhaltenen und verstandenen Wissens; komplexer Flugplan mit mehr als einem Landepunkt *vs.* einfacher Kurzstreckenflug zu nächstgelegenem Flugplatz

(b) Informationsqualität (*information quality*)

Güte und Wert des kommunizierten Wissens; Flugverbotszonen und temporäre Überflugverbote *vs.* Langzeitwettervorhersage

(c) Vertrautheit (*familiarity*)

Grad der Vorerfahrung und des Vorwissens; z.B. bekannter, oft angeflogener Flugplatz mit bekanntem Luftfahrzeug *vs.* neues Flugzeugmuster und Instrumentenanflug wegen ungünstigen Witterungsbedingungen

Taylor (1990) erkennt in dieser genauen Untergliederung die Komplexität und verschiedenen Faktoren des Begriffes Situationsbewusstseins an. Die Ordnung der Fragen stellt die unauflösliche Bindung von Situationsbewusstsein, Informationsverarbeitung und Entscheidungsfindung dar (Gawron, 2008, S. 241). Um ein genaues Bild des Konstruktions zu erhalten, muss in allen beteiligten Dimensionen gemessen werden. Taylor (1990) gelangt durch ein dreistufiges Vorgehen zu diesen Dimensionen. Zuerst werden mit Hilfe von Experten Szenarien generiert, die alle relevanten Elemente von Situationsbewusstsein auf einem operationellen Niveau enthalten sollen. In einem zweiten Schritt erfolgt die Konzepterhebung durch Bewertung der Szenarien und Clusterbildung. In einem dritten Schritt werden die Cluster benannt und eine weitere Untersuchung durchgeführt, deren Daten durch eine Hauptkomponentenanalyse ausgewertet werden. Die erhaltenen Konzepte finden sich in obiger Aufzählung. Diese Art des daten- und konzeptgeleiteten Vorgehens ist in den bisherig aufgeführten Erhebungsmethoden einzigartig im Vorgehen.

Der Fragebogen wurde folgend in verschiedenen Untersuchungen eingesetzt. Bustamante, Fallon, Bliss, Bailey III, und Anderson (2005) stellen in einer situationsbezogenen Wetteranalyse mit Hilfe des SART fest, dass Flugoffiziere signifikant höheres Situationsbewusstsein der gleichen Situation berichten als ihre Kapitäne. Zudem kann ein technisch fortschrittliches System die Flugzeugbesatzung nicht besser mit Wetterinformation versorgen als ein traditionelles. Selcon, Taylor, und Koritsas, 1991 können in einer Flugsimulation feststellen, dass der SART sensitiv zwischen erfahrenen und unerfahrenen Piloten trennen kann. Hieraus leiten Selcon u. a. ab, dass der SART als Kontrollvariable der Operateurserfahrung eingesetzt werden kann, wenn diese designtreibend genutzt wird. Stark, Comstock, Prinzel, Burdette, und Scerbo (2001) berichten, dass Probanden ein höheres Situationsbewusstsein in einer Flugsimulation mit einem kleineren Display berichten als mit einem größeren. Die Blickfeldgröße (**FOV - Field of View**) wurde ebenfalls bewertet, die Piloten berichteten höheres SB mit einem höheren FOV.

Endsley u. a. (1998) führen eine vergleichende Untersuchung aus, in der SAGAT und SART eingesetzt wurden, um den Einfluss von Informationsdisplays auf das Situationsbewusstsein von Kampfpiloten zu erheben. In den verwendeten Anzeigen können den Piloten die Fähigkeiten verschiedener gegnerischer Flugzeuge präsentiert werden. In einem Vergleich der Methoden stellen Endsley u. a. fest, dass die SART-Bewertungen hoch mit einer einfachen Verständnisbewertung korrelieren. Bei einem Vergleich zwischen SART und SAGAT finden sich keine Überschneidung der Methoden, wohingegen ein Zusammenhang zwischen einer niedrigeren Verweildauer in Gefahrzonen mit einer höheren Bewertung der Verständnisskalen des SART einhergeht. Die Bewertungen des SART kann so genutzt werden, um Leistungsunterschiede bei verschiedenen Anzeigen zu erklären und - so Endsley u. a. - geben diese Bewertungen wichtige Einsichten über die Gründe von Verhalten in komplexen Situationen.

Selcon u. a. (1991) vergleichen den drei und zehndimensionalen SART mit einem Fragebogen zu Erhebung von Workload, dem **NASA-TLX** (National Aeronautics and Space Administration Task Load Index Hart & Staveland, 1988; Hart, 2006). In dem Experiment sollen 12 Piloten der Royal Air Force Videoaufnahmen von Flugsimulationen bezüglich Workload und Situationsbewusstsein bewerten. Die Autoren variieren die Aufgabenschwierigkeit und teilen die Piloten in Gruppen nach dem Grad der Erfahrung ein. Sie stellen fest, dass sowohl TLX wie auch SART die Variation der Belastung trennen können, allerdings nur der SART einen Unterschied der Erfahrung erfassen kann. Selcon u. a. weiß darauf hin, dass durch den SART interindividuelle Unterschiede erfasst werden können. Zudem ist eine Bewertung der Erfahrung und somit eine Einstufung von Experten durch diesen Test möglich. Bezuglich der *Qualitätskriterien* kann der SART nach Taylor (1990) eine methodisch exakte Erstellung der Testitems sowie eine Validierung derselben vorweisen. Taylor gelangt zu seinem Fragebogen über Methoden der *knowledge elicitation*, bei denen mit Experten über Ihnen bekannte Situationen gemeinsame Merkmale dieser Situationen festgelegt werden. Darauf aufbauend werden Kategorien dieser Begriffe gebildet und mit statistischen Methoden Cluster gebildet. Diese können nun weiter analysiert werden und bezüglich des fraglichen Konzeptes bewertet werden. Aufgrund dieses Vorgehens erhält der SART hohe Inhaltsvalidität sowie Konstruktvalidität, nicht aber Kriteriumsvalidität. Des Weiteren existieren keine Validierungsstudien zu dieser Methode. Eine hohe Anwendbarkeit spricht aber dennoch für die Verwendung des SART. Ob in Form von drei oder zehn Items, sowohl elektronisch als auch als Papierversion: der Fragebogen ist schnell und einfach durchzuführen und bietet so auch in schwierigen Bewertungsumgebungen die Möglichkeit einer Datenerhebung.

Bei einem komparativen, subjektivem Maß für Situationsbewusstsein werden die Bewertungen durch den Vergleich der verschiedenen Situationen oder Reize gewonnen. Durch dieses Vorgehen kann eine Rangfolge erstellt werden, die Aussagen über die Auswirkung der Vergleichselemente auf Situationsbewusstsein zulässt. Fracker und Davis (1991) bewerten mit dem SA-SWORD die Detektionsrate von Objektänderungen, eine Farbidentifizierung bei Objekten sowie deren Ort. Die Bewertungen wurden durch Paarvergleiche vorgenommen. Fracker und Davis finden keine Effekte der Objektänderungswahrscheinlichkeit auf die Bewertung, Farbinkonsistenzen verringern hingegen das Situationsbewusstsein der Probanden. Snow und Reising (2000) finden keine Zusammenhänge zwischen dem SAGAT und dem SA-SWORD in einer Untersuchung, die unter anderem Geländedarstellungen vergleicht. Allerdings finden die Autoren signifikante Haupteffekte bei der Art der Terraindarstellung und der Sicht. Zudem finden Snow und Reising keine Zusammenhänge zwischen erhobenen Leistungsmaßen und

dem SA-SWORD.

Für den SA-SWORD sind wenig Arbeiten vorhanden, die über die Reliabilität Auskunft geben (Fracker & Davis, 1991; Snow & Reising, 2000) und keine zur Validität. Zudem kann der Test nur durchgeführt werden, wenn alle experimentellen Bedingungen den Probanden bekannt sind. Dies führt zu zweierlei Problemen: a) Bei komplexen Versuchsplänen mit umfangreichem Stimulusmaterial können Probanden bereits mit einfachen Vergleichen überfordert werden. b) Bei umfangreichen Vergleichen können zudem Effekte des Vergessens eintreten und die Vergleiche selbst unbrauchbar machen. Aufgrund dieser Bedenken sowie des hohen Aufwandes alle Reize eines Experimentes in einer Matrix abzubilden und als Paarvergleich bezüglich eines oder mehrerer Konzepte bewerten zu lassen, wird dieser Test nicht weiter verfolgt.

Physiologische Erhebung

Auch wird versucht, von der Messung physiologischer Größen auf Situationsbewusstsein zu schließen. Der Aufzeichnung bioelektrischer Signale liegt die implizite Hoffnung zugrunde, sensitive wie spezifische Parameter für Situationsbewusstsein zu etablieren. Dabei wird von Zusammenhängen zwischen externen Reizen sowie mentalen und physiologischen Vorgängen ausgegangen, die durch physiologische Signalmuster abbildbar sind: Zum einen wirken externe Aufgabenanforderungen auf den Ablauf mentaler Prozesse, und, durch diese mediert, auf das Erregungsniveau eines Akteurs. Zum anderen können bioelektrische Signale des Gehirns direkt gemessen und als Auswirkungen mentaler Prozesse gedeutet werden. Wenn bei einer gegebenen Situation eine zeitliche und kausale Wirkungskette dieser Vorgänge festgestellt werden kann, werden erhobene Parameter als Auswirkung mentaler Prozesse angenommen. Die Ableitung solcher Zusammenhänge ist jedoch relativ schwierig.

Vor allem die Aufzeichnung von Blickbewegung (**Eye Tracking, ET**) und das **Elektro Enzephalogramm (EEG)** sind hier zu nennen. Die moderne Technik liefert eine Reihe weiterer Methoden wie die Positronen-Emissions-Tomographie oder die funktionelle Magnetresonanztomographie, die tiefe Einblicke in Stoffwechselvorgänge des lebenden Gehirns erlauben, aber aufgrund der Gerätegröße und -kosten nicht eingesetzt werden können. Zudem liefern diese Techniken nur bei unbewegten Untersuchungsobjekten Bilder in ausreichender Auflösung, was dem hier angestrebten, kontextnahen Vorgehen nicht gerecht wird.

Elektroenzephalographie Die an das EEG geknüpften Hoffnungen für die Erhebung von Situationsbewusstsein sind hoch, so findet S. 792, Endsley (1988b) es „*[...] desirable to install a window on the pilot's mind and observe an exact picture of what he knows at all times [...]“⁶. Ähnlich sieht dies Wilson (2000), der versucht, psychophysiologische Methoden für andere Konstrukte (Workload, Ermüdung) so wie für Situationsbewusstsein zu motivieren. Dies hätte klare Vorteile - eine nicht-reaktive, kontinuierliche und rekonstruierende Messung von Situationsbewusstsein (Wilson, 2000, S. 158 ff.). Voraussetzung ist allerdings eine Operationalisierung physiologischer Maße, hier des EEGs, als Situationsbewusstsein. Von diesem Zusammenhang kann aber, wie Wilson (2000, S. 160) einräumt, nicht ausgegangen werden: „*It is not clear that psychophysiological measures can directly tap the high-level cognitive processes involved in SA.*“ Erhoben kann allgemein nur werden, dass etwas verarbeitet wird oder in welchem Verarbeitungszustand sich der Proband gerade befindet. Der Schluss von einer solchen*

⁶Der Traum des Testingenieurs ist der Testpiloten mit genormten Schrauben am Schädel, um Messgeräte besser anbringen zu können - der Psychologe wünscht sich dies für seine Ingenieure, nur hier zum besseren Verständnis derselben.

Messung auf ein derart breit angelegtes Konzept kann so aber nicht vollzogen werden. Aus diesem Grund werden Methoden der elektrischen Potentialmessung nicht weiter betrachtet.

Blickbewegungsanalyse Anders stellt sich die Aufzeichnung von Blickbewegung als Operationalisierung von Situationsbewusstsein dar. Salmon u. a. (2006) sieht in der Aufzeichnung von Blickbewegungen vor allem den Zugang zu „[...] processes that the participants use in order to develop SA during the task under analysis [...]“, was dem von Endsley gefordertem Zugang recht nahe kommt. Aufgrund der *Eye-Mind-Hypothese* (s.a. Just & Carpenter, 1980) wird ein direkter Zusammenhang zwischen der Blickzuwendung auf einen Zielreiz und dessen Verarbeitung angenommen. Solange ein Reiz mit den Augen fixiert wird, kann dessen Verarbeitung angenommen werden.

Blickbewegungsanalysen bieten somit Aspekte, die andere physiologische Maße nicht bieten können. Die Fixation auf einen Zielreiz kann als inhaltliches Kriterium der Aufnahme des Reizes in die Informationsverarbeitung interpretiert werden, die Länge der Fixation als die benötigte Verarbeitungszeit. Generalisiert man dieses Vorgehen, kann die Methode eingesetzt werden, um experimentell evoziertes wie auch natürliches Blickverhalten zu analysieren. Es wird die Möglichkeit geschaffen, aus dem Verhalten eines Experten Strategien der Informationsverarbeitung für Situationsbewusstsein abzuleiten. Diese Strategien können nun verwendet werden, um weiter hypothesesgenerierend zu arbeiten oder direkt auf die Aufgabenbearbeitung in einer bestimmten Situation zu schließen.

Die Methode bietet aber nur eine scheinbare Lösung für die Probleme physiologischer Methoden, eine direkte Zuordnung als kausaler Wirkmechanismus erscheint schwierig. Wie in Abschnitt 3.1.4, Lokalisation und Objektbezogenheit, dargestellt, kann eine Informationsverarbeitung auch ohne physiologische Bewegung der Augen durch kovertierte Verschiebung der Aufmerksamkeit durchgeführt werden. Im günstigsten Fall ist die Auswertung von Blickbewegungen so mit einer gewissen Unschärfe belegt. Mack und Rock (1998) finden in Ihren Untersuchungen das Phänomen der „*inattentional blindness*“ (**IB**, Unaufmerksamkeitsblindheit), dass gerade für die Analyse von Blickbewegungen und die *Eye-Mind-Hypothese* eine zentrale Antonymie darstellt. Laut Mack (2003, S. 180) ist IB die „[...] failure to see highly visible objects we may be looking at directly when our attention is elsewhere [...]“, womit ein direkter Schluss von Blickbewegung auf Aufmerksamkeit und Situationsbewusstsein schwer herzustellen ist. Um die Methode sicherer zu gestalten und die Nachteile aufzuheben, werden zu den Blickbewegungen auch Videos aus Sicht des Probanden aufgezeichnet. Oft kann auch der Proband angewiesen werden, durch „*lautes Denken*“ seine Arbeitsschritte zu verbalisieren. Später wird der Proband bei einer Videokonfrontation (Döhl, 2001, s.a.) zu seinem Verhalten in der Situation befragt werden und über die verschiedenen Teilaufgaben einer Aufgabe Auskunft geben. Beim *lauten Denken* wird ein Protokoll angefertigt (s.a. Salmon u. a., 2006; Walker, 2013, Verbal Protocol Analysis), um einen vollständigeren Überblick über die zu analysierende Aufgabe zu gewinnen.

Die Analyse von Blickbewegungen bietet noch den sichersten Zugang zu informationsverarbeitenden Prozessen aller derzeit verfügbarer physiologischer Methoden. So wird diese Methode auch in verschiedenen Bereichen angewandt: militärische Luftfahrt (Williams, 2002), Kraftfahrzeugslenkung und Luftverkehrskontrolle (Moore, 2009) oder der Chirurgie (Tien, Atkins, Zheng, & Swindells, 2010).

Williams (2002) verwendet die Blickaufzeichnung, um zu berechnen, wie lange Piloten bei einer „*Highway In The Sky*“-Darstellung (HITS) ihrem Blick im Cockpit auf technischen Displays

halten und wie lange sie ihre Umgebung aus dem Cockpit heraus betrachten. Williams findet hierbei Zusammenhänge zwischen der Anzahl erkannter Flugzeuge vor dem eigenen Flugzeug und der Häufigkeit der Blicke aus dem Cockpit. Zudem finden ältere Piloten weniger Flugzeuge und sahen insgesamt weniger aus dem Cockpit. Der Median der Zeit mit Blick aus dem Cockpit liegt bei 14%, was Vertrauen in die technischen Darstellung der HITS-Symbolik impliziert.

Moore (2009) entwickelt die Blickerfassung als Methode zur Erhebung von Aufmerksamkeit und Situationsbewusstsein für direkte Untersuchungen an realen Arbeitsplätzen im Bereich der Luftverkehrsüberwachung sowie der Lenkung von Kraftfahrzeugen. Die Möglichkeit, Blickerfassung in dynamischer, unkontrollierter Umgebung zu verwenden verschafft tiefe Einblicke in reales Arbeitsverhalten und kann so helfen, Probleme zu erkennen und die Arbeitssituation an sich zu verbessern. Moore kann in zwei Studien zeigen, dass eine gesteigerte Fixationsrate auf aufgabenrelevanten Situationsmerkmalen mit höherem Situationsbewusstsein einhergeht. Ihre Ergebnisse weisen einen Zusammenhang von Aufmerksamkeitsverteilung und Aufgabenleistung nach. Durch diese Ergebnisse liegt der Schluss nahe, Blickerfassung in Umgebungen einzusetzen, die andere Methoden nicht oder nur sehr schwer zulassen.

Tien u. a. (2010) zeichnen die Blickbewegungen von Chirurgen während einer simulierten Gallenblasenoperation auf. Sie stellen fest, dass die meiste Betrachtungszeit auf der Operation selbst liegt und die Vitalparameter des Patienten nur mit kurzen Kontrollblicken aufgenommen werden. In einer qualitativen Analyse stellen Tien u. a. fest, das Erfahrung des Chirurgen in Ihrer Stichprobe auch mit einer höheren Überwachungsrate der Vitalwerte des Patienten einhergeht. Die Autoren versuchen, über Erkenntnisse der Blickdauern auf die Anwendbarkeit von Blickbewegungsanalyse für die Ausbildung von zukünftigen Chirurgen zu schließen. Durch die Erfassung immer wiederkehrender Blickmuster bei erfahrenen und erfolgreichen Chirurgen könnte dann ein Handlungsmuster festgelegt werden, welche neuen Chirurgen als Einstiegshilfe dienen und ihre Erfolgsschancen bereits früh erhöhen kann.

Bezüglich der *Qualitätskriterien* kann für die Verwendung der Blickerfassung eine gewisse Reliabilität angenommen werden. Die *Eye-Mind-Hypothese* trifft in gewissem Umfang zu, die Blickzuwendung auf verschiedenen aufgabenrelevanten Situationsmerkmalen und eine höhere Leistung ist gegeben. Allerdings sollte bei der Verwendung der Blickerfassung die Probleme der overten und coverten Aufmerksamkeitszuwendung sowie IB bedacht werden. Die Erfassung einer prozentualen Zuwendungszeit zu Aufgabenanteilen oder die Wechsel zwischen verschiedenen Aufgaben scheinen hier robuste Parameter zu sein. Die Blickerfassung wird in diesem Sinn in Abschnitt 3.4 zur Analyse von Displayinhalten herangezogen. Hier soll ein Verständnis für die Erstellung eines Situationsbildes in einem konkreten Anwendungsfall geschaffen werden.

Zusammenfassung der Messmethoden

Vier Bereiche der Messung des Situationsbewusstseins wurden in obiger Diskussion kurz dargestellt. Die Bewertung mit allgemeinen Qualitätskriterien ergibt ein gemischtes Bild, auch können darüber hinaus kontextbezogene, praktische oder ökonomische die Durchführung einer Messung erschweren. Die Verwendung der oben dargestellten Methoden ist deshalb nur immer unter bestimmten Einschränkungen möglich. Eine Kombination verschiedener Methoden wird in Kapitel 7 vorgestellt.

3.3 Workload, Belastung und Beanspruchung

Situationsbewusstsein spiegelt vor allem inhaltliche Aspekte einer Informationsverarbeitung in bestimmten Situationen wieder. Das Rahmenkonzept hilft zu verstehen, wie die Informationsverarbeitung von Experten in bestimmten Situationen abläuft und welche Inhalte einer Situation für den Experten von Bedeutung sind. Diese Inhalte werden durch die zu erledigende Aufgabe transportiert und müssen vom Operateur in geeigneter Weise verarbeitet werden. Durch die Verarbeitung des Inhaltes in der Informationsverarbeitung wird Workload erzeugt, die vom Operateur erlebt wird und seine Handlungsfähigkeit sowie die Systemleistung des gesamten technischen Systems beeinflusst. Die inhaltliche Verarbeitung ist nicht unabhängig von dieser Beanspruchung des handelnden Subjekts. Diese muss also mit betrachtet werden. Im Folgenden werden deshalb die Begriffe *Belastung* und *Beanspruchung* sowie *Workload* umrissen und die wichtigsten Definitionen dargestellt. Dem folgt eine Darstellung der Messung dieser Phänomene. Da der Fokus dieser Arbeit aber mehr auf Situationsbewusstsein liegt, wird für eine generelle Diskussion von Belastung, Beanspruchung und Workload auf S. 243 ff., Vidulich und Tsang (2012) verwiesen. Hilfreich für den Anwendungsbereich ist auch die Darstellung in Wickens, Gordon, und Liu (2004), Kapitel 13.

Motiviert ist die Verwendung der Konstrukte Workload und Belastungs- und Beanspruchung durch die Beschreibung und den Einfluss menschlicher Leistung auf die Gesamtsystemleistung. Als ein Kriterium der Systemleistung betrachtet, ist es strikt von dem Bediener abhängig, aber maßgeblich durch die Gestaltung der Schnittstelle beeinflusst. Der Bediener ist von Begrenzungen seiner Wahrnehmungs- und Verarbeitungsfähigkeit abhängig. Chapanis, Morgan, und Sanford (1947, S. 12) drückt dies treffend aus: *“The human being has, however, reached pretty much the limits of his development, at least the limits of his development as we ourselves can see it. There is not much that can be done about changing the human being now. We will have to leave that to Darwin.“* Aus diesem Grund sehen Chapanis u. a. eine Anpassung der Maschine an den Menschen als nötig. Die Grenzen der menschlichen Informationsverarbeitung sind dabei Rahmen der Entwicklung. In diesem Sinne findet eine Neuorientierung statt, die zusätzlich zur personellen Selektion das Design des technischen Gerätes betont: *“[...] here is a bright and eager young man. Let us find – or design – a plane that will get the most out of him [...]“* (Chapanis u. a., 1947, S. 13). Um diese Anpassung leisten zu können, müssen Grenzen der menschlichen Informationsverarbeitung in der Symbiose mit technischem Gerät identifiziert werden.

3.3.1 Workload

Eichinger (2011, S. 49) identifiziert fünf Aspekte, die für die Definition von Workload zentral sind, unten stehende Argumentation folgt der von ihm vorgeschlagenen Struktur:

(a) Aufgabenanforderungen

Die Aufgabenumwelt stellt differenzierte Anforderungen an das handelnde Subjekt. Workload wird als Variable verstanden, die zwischen den Aufgabenanforderungen und dem handelnden Operateur moderiert und für eine dynamische Wechselwirkung mit den internen Ressourcen zuständig ist. Kantowitz und Simsek (2001, S. 396) (zitiert nach Eichinger, 2011) beschreiben Workload so als intervenierende Variable, die „*[...] modulates the tuning between the demands of the environment and the capabilities of the organism [...]“*. Zudem ist Workload in diesem Sinn relativ, da es die Zuweisung von Ressourcen durch den Operateur entsprechend dieser Aufgabenanforderungen sicherstellt

(s. De Waard, 1996). Auch Gopher und Donchin (1986) charakterisieren Workload als Konzept zur Beschreibung von „[...] aspects of the interaction between an operator and an assigned task [...]“. Genauer zeigen Staveland und Hart (2006) diesen Zusammenhang auf mit Workload als „[...] cost of accomplishing mission requirements for the human operator [...]“. Diese Zuordnung verknüpft den Begriff Workload mit externen Aufgabenanforderungen und den für die Ausführung nötigen Ressourcen.

(b) Ressourcen oder Kapazitätsbezug

Um den Anforderungen durch die Aufgabe zu entsprechen, werden Ressourcen mobilisiert und für die Aufgabenbearbeitung zur Verfügung gestellt. Diese Beziehung sieht Wickens (2002d, S. 161) als die „[...] relation between the (quantitative) demand for resources imposed by a task and the ability to supply those resources by the operator [...]“. Dies bedeutet eine messbare Menge des Bedarfs dem durch eine ebenso messbare Menge an Ressourcen begegnet wird. So sehen auch O'Donnell und Eggemeier (1986) Workload „[...] as that portion of the operator's limited capacity that is actually required to perform a particular task [...]“. Abschließend und umfassend stellt De Waard (1996) fest: „Workload is the result of reaction to demand; it is the proportion of the capacity that is allocated for task performance. Effort is a voluntary mobilisation process of resources.“

(c) Informationsverarbeitung

Die Bearbeitung der Aufgaben, die Zuweisung der Ressourcen und die Verarbeitung finden in Modulen der Informationsverarbeitung statt. Vidulich, 2002 sehen die Definition von „[...] mental workload in terms of information processing demanded versus what is available is a common approach [...]“. Dem schließen sich Gopher und Donchin (1986) an, die Workload als „[...] hypothetical construct intended to capture limitations on the operator's information processing apparatus as these are viewed from the perspective of some assigned task [...]“ sehen und so Informationsverarbeitung als Substrat von Workload herausstellen. Innerhalb der Informationsverarbeitung wird von den Autoren Workload als ein Mediator zwischen äußeren Reizen, Regeln und Reaktionen beschrieben. Durch diese Zuordnung folgern Gopher und Donchin, dass Workload durch diese Orientierung am „*person-task loop*“ nur durch eine Informationsverarbeitung suffizient beschreibbar ist.

(d) Leistungsorientierung

Um den Aufgabenanforderungen gerecht zu werden muss eine bestimmte Leistung abgerufen und gezeigt werden. Das Konzept Workload ist leistungsorientiert. Hart und Staveland, 1988 sehen den Einsatz von Ressourcen zielgerichtet als „[...] the cost incurred by a human operator to achieve a particular level of performance [...]“. Dies mag auch, nach Cain (2007) bedeuten, dass Workload genutzt werden kann, um festzustellen, „[...] where increased task demands may lead to unacceptable performance [...]“. So kann das Konstrukt als Werkzeug begriffen werden, um festzustellen wie Ressourcen eingesetzt werden müssen, um ein gefordertes Leistungsniveau zu erreichen. Auch der Punkt, ab dem die Anforderungen aufgrund von Unter- oder Überforderung inakzeptabel für den Bediener einer Schnittstelle werden, kann damit bestimmt werden.

(e) Workload als integratives Konzept

Schließlich wird Workload als integratives Konzept aufgefasst, dass die verschiedenen Er-

fahrungen eines Handelnden in einem bestimmten Aufgabenumfeld umfasst. Dies betrifft die erlebten Aufgabenanforderungen, die eigene Leistung, alle subjektiven Einflüsse und den globalen Kontext, in dem die Aufgabe durchgeführt wird. Moray, 1979 beschreibt dies als mediierend „[...] between task difficulty, operator skill, and observed task performance [...]“. Weiter differenzieren Hart und Staveland, 1988: „*An operator's subjective experience of workload summarizes the influences of many factors in addition to the objective demands imposed by the task. Thus, workload is not an inherent property, but rather it emerges from the interaction between the requirements of a task, the circumstances under which it is performed, and the skills, behaviours, and perceptions of the operator [...]*“ Die holistische Sichtweise von Workload durch die Integration verschiedener Aspekte wie Leistung, subjektives Erleben und objektive Anforderung durch die Aufgabe und deren Umwelt ermöglicht eine Einordnung in das System Mensch-Maschine und stellt so die Leistung des Operateurs in den Dienst der Gesamtsystemleistung.

Workload wird demnach als Konzept multipler Facetten aufgefasst. Nach Eichinger liegt das Hauptaugenmerk der Definitionen auf den Anforderungen der Aufgabe an den Bediener, was durch die technische Schnittstelle und deren Design maßgeblich beeinflusst wird. Wenn man die verschiedenen Begriffe von Workload in Einklang bringt, entsteht ein kohärenter Begriff. Workload findet innerhalb einer *Informationsverarbeitung* statt und stellt die *Zuweisung interner Ressourcen zu externen Anforderungen* sicher, um ein gefordertes *Leistungsniveau* sicherzustellen. Laut der Auffassung von Eichinger ist der Begriff der Ressource zudem verträglich mit dem der begrenzten Aufmerksamkeit, die willentlich zugewiesen werden kann. Mit diesem Begriffsverständnis wird dann, so Eichinger, Workload bei der Erfassung von Leistung an einer Bedienerschnittstelle Erkenntnis über die Aufgabenausführung liefern.

3.3.2 Belastung und Beanspruchung

Bei dem Konstrukt Workload gibt es eine ähnliche Vielfalt von Definitionen wie bei Situationsbewusstsein. Dies spiegelt einerseits das Interesse der Forscher und Praktiker wider, andererseits macht es den Umgang mit Workload schwierig. Diese Definitionen sind dabei aber durchaus vereinbar und können auf ein im deutschsprachigen Raum nah der Workload verwandtes Konzept bezogen werden, den Begriffen der Belastung und Beanspruchung. Hier wurde versucht, den Schritt hin zu einer verbindlichen Vereinheitlichung zu gehen, welcher in der Norm DIN ISO 10075 (Normenausschuss Ergonomie, 2000), festlegt, was als Belastung und Beanspruchung charakterisiert ist. Der allgemeine Zweck ist die „[...] Gestaltung von Arbeitsbedingungen im Hinblick auf psychische Arbeitsbelastung [...]“ sowie die Schaffung eines „[...] einheitlichen Sprachgebrauch[s] zwischen Fachleuten und Praktikern [...]“ (Normenausschuss Ergonomie, 2000, S. 3).

Belastung wird als „*[d]ie Gesamtheit aller erfassbaren Einflüsse, die von außen auf den Menschen zukommen und psychisch auf ihn einwirken [...]*“ (Normenausschuss Ergonomie, 2000) verstanden. Dies können Aufgabenanforderungen, physikalische Bedingungen, soziale-/organisationsinterne oder gesellschaftliche Faktoren sein. Mediert wird die Belastung durch dem Individuum inhärente Eigenschaften wie Anspruchsniveau oder Motivation aber auch durch Fähigkeiten, den körperlichen Zustand, Alter oder Ausgangsaktivierung.

So entsteht eine psychische Beanspruchung als „*[d]ie unmittelbare (nicht die langfristige) Auswirkung der psychischen Belastung im Individuum in Abhängigkeit von seinen jeweiligen überdauernden und augenblicklichen Voraussetzungen, einschließlich der individuellen Be-*



Abbildung 3.10: Das Modell von Belastung und Beanspruchung.

wältigungsstrategien“ (Normenausschuss Ergonomie, 2000). Zwischen äußerer Belastung und innerer Beanspruchung wird eine Ursache-Wirkungs-Beziehung angenommen. Deren Folgen sind schließlich die Beeinflussung psychischer und körperlicher Aktivität durch Belastung: es kann zu Aufwärmeffekten, Aktivierung, Ermüdung, Sättigung und Übung kommen. Diese Zusammenhänge finden sich in Abbildung 3.10.

3.3.3 Erhebung von Workload, Belastung und Beanspruchung

Für die Erhebung von Workload, Belastung und Beanspruchung gibt es verschiedene Möglichkeiten. Es kann eine direkte Befragung zu subjektiv erlebter Workload stattfinden (NASA-TLX, informatorische Belastungs- und Beanspruchungsanalyse), ebenso können physiologische Messungen durchgeführt werden. In einem experimentellen Setup kann zudem über Aufgabeninterferenz und Messung freier Kapazität bestimmt werden, wie die Ressourcen auslastung durch bestimmte Aufgaben bestimmt ist. Einen Überblick über die Spanne der einsetzbaren Methoden gibt Wickens u. a. (2004, S. 338 ff.) oder Vidulich und Tsang (2012, S. 249 ff.). Im Folgenden sollen drei Methoden dargestellt werden, die eine Erhebung von Workload als subjektives Werturteil und eine experimentelle Aufgabenleistung erlauben.

Erhebung als subjektives Werturteil

Jede Befragung zu einem subjektiven Werturteil über die erlebte Workload ist abhängig vom verwendeten Konstrukt und dessen Definition. Der NASA-TLX (Hart & Staveland, 1988) ist eine Erhebungsmethode, welche die erlebte *mental Workload* in verschiedenen Dimensionen erhebt. Die informatorische Belastungs- und Beanspruchungsanalyse (Eichinger, 2011) erhebt Belastung als direkt erlebte Beanspruchungsfolge im Sinne der DIN ISO 10075 (Normenausschuss Ergonomie, 2000).

Informatorische Belastungs- und Beanspruchungsanalyse Eichinger (2011) stellt fest, dass die Betrachtung von psychischer Belastung und Beanspruchung als „[...] Analogie zur physischen Belastung [...]“ problematische ist. Ein physisches Gewicht als Analogon zu psychischer Belastung suggeriert die Messung der Auswirkung physischer Belastung im psychischen Bereich. Belastung als Interaktion zwischen Person und Umwelt kann aufgrund der Komplexität

des Begriffes nicht sinnvoll operationalisiert werden. Die hoch variable „[...] *Gesamtheit aller [...] Einflüsse, die [...] psychisch auf [die Person] einwirken [...]*“ und aus komplexen Aufgabenanforderungen, physischen Bedingungen, sozialen/organisationsinternen sowie gesellschaftlichen Faktoren bestehen, hat das Fehlen eines Bezugssystems zur Folge, die Analogie des Gewichts schlägt fehl. Schmidtke, 2002 stellt dies deutlich heraus: „*Einer solchen Messung hat sich die Komponente Belastung bisher als unzugänglich erwiesen. Dies liegt u.a. am Fehlen eines Bezugssystems für die außerordentliche Vielfalt an Aufgaben, die durch mentale Tätigkeit zu bewältigen sind.*“ Die Frage, was Belastung und Beanspruchung ausmacht, „[...] muss für jede Tätigkeit und Fragestellung neu eingegrenzt werden [...]“ und zudem kann aufgrund dieser Komplexität „*[e]in Modell, das auf der Datenbasis von Arbeitern entwickelt wurde, [...] wenig Gültigkeit für die Arbeit eines Piloten besitzen [...]*“ (Buld, 2000, S. 19). Diese Ansicht stellt zwei Probleme klar heraus: (a) Eine einfache Operationalisierung von Belastung ist nicht möglich und (b) eine Operationalisierung muss stets für einen gegebenen Kontext neu erfolgen.

Um diesem Anspruch gerecht zu werden sowie dem Problem einer Operationalisierung von Belastung zu entgehen, leitet Eichinger die informatorische Beanspruchungsanalyse ab: Er verwendet subjektive Urteile über die psychische Beanspruchung zur Erhebung der unmittelbaren Folge einer psychischen Belastung. Hierbei wird die „[...] *Erhebung der unmittelbaren informatorischen Beanspruchung als Folge informatorischer Belastung [...]*“ (Eichinger, 2011) zum neuen Bezugsrahmen und Erhebung der Belastung. Um den von Buld (2000, S. 19) geforderten Kontext sicherzustellen, wird die Analyse für verschiedene Anwendungsfällen durchgeführt. Allgemeine Flugaufgaben werden in verschiedenen Modulen einer einfachen Informationsverarbeitung bewertet.

Eichinger verwendet drei Anwendungsfälle, die stellvertretend einen weiten Arbeitsbereich in hochagilen Flugzeugen abdecken: Luftbereichsüberwachung, Angriff auf Bodenziele und Routenmanagement. In jedem dieser Anwendungsfälle finden sich Anteile allgemeiner Flugaufgaben (Wickens, 2002c), welche eine Kategorisierung in diskrete Aufgabenschritte ermöglichen: Flugführung, Navigation, Kommunikation, technisches Systemmanagement und taktische Anteile. Innerhalb eines Anwendungsfalles lässt Eichinger nun Gewichten, wie hoch eine Flugaufgabe in diesem Anwendungsfall priorisiert ist. Zudem wird für jeden Anwendungsfall bewertet, wie hoch die erlebte Beanspruchung in der visuellen und auditiven Aufnahmemodalität, der kognitiven Verarbeitung sowie der verbalen oder motorischen Ausgabemodalität ist.

Eichinger kommt zu dem Schluss, dass in den untersuchten Anwendungsfällen vor allem visuelle, kognitive und motorische Komponenten einen realitätsnahem Belastungskontext abbilden, und nachgeordnet, auditive und verbale Belastung.

Die hier skizzierte Methode soll für das Vorhaben eingesetzt werden. Um die Forderung von Buld (2000, S. 19) zu erfüllen, werden in folgenden Kapiteln inhaltliche Anpassungen an der Methode vorgenommen und diese für den Kontext sensibilisiert.

NASA - Task Load Index Hart und Staveland, 1988 schlagen zur Erhebung der Höhe subjektiv erlebter Workload einen multidimensionalen Fragebogen vor. Die multidimensionale Ausrichtung des Fragebogens ist durch drei anforderungsbezogene (mentaler, physischer und zeitlicher Bedarf) und drei verhaltensbezogene Skalen (Frustration, Aufwand und Leistung) charakterisiert, dies stellt den oben beschriebener Zusammenhang zwischen Aufgabenanforderungen, Verhalten und Leistung dar. Hart und Staveland, 1988 gehen bezüglich des sub-

jektiven Erlebens von Workloads von einem Zusammenhang zwischen der Wahrnehmung von Aufgabenzielen und der Aufgabenstruktur und der eigenen Leistung aus, die durch Vorerwartungen und Verzerrungen beeinflusst ist. Durch diesen Zusammenhang lässt die subjektive Erfahrung der eigenen Leistung einen Rückschluss auf Workload zu.

Der Fragebogen besteht aus sechs Dimensionen (Gawron, 2008, S. 183 ff.). Es wird nach einer Aufgabenbearbeitung auf jeder Dimension ein Werturteil zwischen „*niedrig*“ und „*hoch*“ vergeben. Die Skalen selbst bestehen aus 21 Abstufungen und werden als Zahlen zwischen 0 und 20 (Eichinger, 2011) oder feiner interpretiert. Einer Normung auf einen beliebigen anderen Zahlenraum (0-10, 0-100) widerspricht nichts.

Die verschiedenen Dimensionen sind durch Erklärungen der Inhalte von Hart, 2006 folgend charakterisiert und dienen gleichzeitig als erklärende Hinweise für die Probanden:

- **mentaler Bedarf**

Bedarf an mentaler und perzeptueller Aktivität wie etwa Denken, Entscheiden, Berechnen, Erinnern, Sehen, Suchen. Entscheidung zudem, ob die Aufgabe verlangend, einfach oder komplex, wenig fehlertolerant oder fehlertolerant war.

- **physischer Bedarf**

Bedarf an physischer Aktivität wie etwa Schieben oder Ziehen, Drehen, Kontrollieren, Aktivieren. Entscheidung zudem, ob die Aufgabe einfach oder verlangend, langsam oder schnell, lasch oder streng bzw. ruhig oder arbeitsam ausfällt.

- **zeitlicher Bedarf**

Bedarf an Zeit zur Ausführung der Aufgabe, empfundener Zeitdruck. Entscheidung zudem über die zeitliche Taktung der Aufgabe: wenig Zeitdruck oder schnelle Taktung.

- **Frustration**

Einschätzung des Grades an subjektiver Verunsicherung durch die Bearbeitung der Aufgabe sowie Einschätzung über Irritation, Stress und Verärgerung.

- **Aufwand**

Einschätzung, wie hart für die gezeigte Leistung gearbeitet werden musste, sowohl physisch wie mental.

- **Leistung**

Einschätzung des eigenen Erfolges für die gesetzten Ziele und Einschätzung der Zufriedenheit mit der gezeigten Leistung.

Um die Bewertungen in einem bestimmten Aufgabensetting zu erhalten, werden den Probanden nach der Aufgabenbearbeitung die Skalen zur Bewertung vorgelegt. Dies kann als regulärer Fragebogen oder elektronisch geschehen⁷. Nach der Bewertung werden die Skalen gegeneinander gewichtet um eine eventuell vorhandene Dominanz einer oder mehrerer Skalen festzustellen. Byers, Bittner, und Hill, 1989 zeigt, zitiert nach Eichinger (2011), dass die Gewichtung auch unterlassen werden kann, da zwischen gewichteten/ungewichteten Bewertungen sehr hohe Korrelationen bestehen und von vergleichbaren Mittelwerten und Standardabweichungen ausgegangen werden kann.

Hart, 2006 sieht in einem Übersichtsartikel eine weite Verbreitung und Akzeptanz der Methode. Der Fragebogen wird in diversen Anwendungsfeldern und -aufgaben eingesetzt und ist in verschiedene Sprachen übersetzt. Dies, sowie die breite Bewertungsgrundlage der Items macht den Fragebogen für die multidimensionale Bewertung sehr gut geeignet.

⁷Eine elektronische Form kann über <http://humansystems.arc.nasa.gov/groups/tlx/computer.php> angefordert werden. Auch gibt es im Netz mittlerweile zahlreiche Adaptionen für verschiedene Plattformen, mit oder ohne Gewichtung der Skalen.

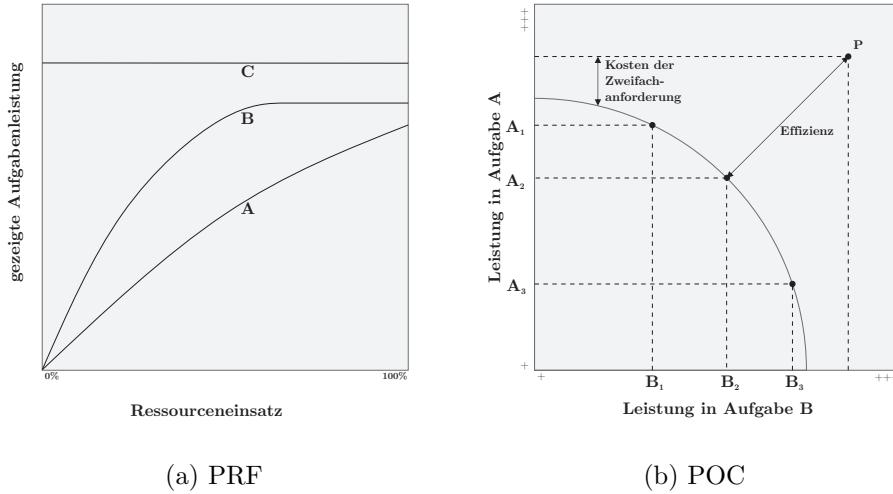


Abbildung 3.11: Abbildung (a) die Leistung bei einer Aufgabe und vollständiger Ressourcenlimitierung (A), Ressourcen- und Datenlimitierung (B) und vollständiger Datenlimitierung (C). Abbildung (b) zeigt eine Performance Operator Characteristic für die Bearbeitung von zwei Aufgaben gleichzeitig. Beide Abbildungen folgen Eichinger (2011) sowie Norman und Bobrow (1975) und Wickens und McCarley, 2010.

Erhebung von Workload als Ressourcenverbrauch

Leistung wird durch Aufmerksamkeit als finite Ressource beeinflusst und kann je nach Zuweisung verschiedene Leistungsgrade erreichen. Allerdings wird die gezeigte Leistung neben den verfügbaren Ressourcen auch durch die dargebotene Datenqualität mit beeinflusst (vgl. a. Norman & Bobrow, 1975; Eichinger, 2011). Eichinger nennt in diesem Zusammenhang die Bearbeitung sehr leichter Aufgaben, eine hoch automatisierte Bearbeitung oder geringe Qualität der Information. Eine grafische Darstellung dieser Zusammenhänge findet sich in Abbildung 3.11a, für Aufgaben mit vollständiger Ressourcenlimitierung, einer Ressourcen- und Datenlimitierung sowie Aufgaben mit vollständiger Datenlimitierung. In der Abbildung kann die Leistung als Funktion des Ressourceneinsatzes und der Datenqualität abgelesen werden.

Die Technik der Zweitaufgabe wird eingesetzt „[...] to assess the capacity demands of a certain task.“ (Bondar, 2002). Probanden werden gebeten, eine Aufgabe als *primär* anzusehen und entsprechend die Leistung in dieser gegen den Einfluss einer *sekundären* Aufgabe zu verteilen. Die Leistung der Sekundäraufgabe schwankt und gilt als Indikator nötiger Ressourcen der Primäraufgabe. Ein hoher Ressourcenverbrauch durch die Bearbeitung der Primäraufgabe lässt demnach wenig Ressourcen für eine Sekundäraufgabe, ein niedriger Ressourcenverbrauch lässt eine Bearbeitung der Sekundäraufgabe mit höherer Leistung zu. Werden zwei Aufgaben gleichzeitig bearbeitet wobei die obig skizzierte Aufgabeninterferenz von Interesse ist, dann bietet sich die „*Performance Operator Characteristic*“ (POC) zur Darstellung der gegenseitigen Beeinflussung der Leistung in den Einzelaufgaben an (vgl. Norman & Bobrow, 1975; Wickens & McCarley, 2010; Eichinger, 2011). Bei dieser relationalen Darstellung zweier Aufgaben kann die gegenseitige Interferenz als Abstand eines Punktes auf der Leistungskurve zur maximal möglichen Leistung bestimmt werden. Die Parallelen zur x- bzw. y-Achse entstehen

durch maximale Leistung über verschiedene Stufen der Aufgabenpriorisierung. Der Schnittpunkt dieser beiden Geraden (P in Abbildung 3.11) ist der „[...] point of optimal divided attention performance [...]“ (Bondar, 2002, S. 17). Zudem ist aufgrund des Unterschiedes zwischen der Kurve der Zweifachaufgabeleistung und der optimalen Leistung zu erkennen, dass es oft Kosten der Zweifachanforderung gibt (Norman & Bobrow, 1975, *cost of concurrence*). Der allgemeine Verlauf der Kurve in Abbildung 3.11b lässt auf einen Trade-Off schließen. Wird eine Aufgabe höher priorisiert, folgen Leistungseinbußen in der anderen. Bondar und Eichinger weisen auf ein Effizienzmaß der POC hin: Die Länge des Abstands der empirisch ermittelten Kurve zum optimalen Punkt P zeigt, wie gut die Ressourcenverteilung bei Zweifachbearbeitung durchgeführt wurde. Je kleiner der Abstand, desto effizienter die Ressourcenverteilung und desto besser die Leistung in beiden Aufgaben.

Durch diese relationale Darstellungsweise und das zugrunde liegende Paradigma wird ein Vergleich mehrerer technischer Darstellungen für zwei gleiche Aufgaben möglich. Dieser Vergleich ermöglicht eine bessere Bewertung als die Bewertung aufgrund nur eines Leistungskriteriums.

3.4 Synthese von Situationsbewusstsein und Workload

Um einen einfacheren Sprachgebrauch zu ermöglichen und die Übereinstimmung der Konzepte WL sowie BB zu verdeutlichen wird für beide Konzepte nur noch der Begriff Workload verwendet.

Vielfach wird ein Zusammenhang von Situationsbewusstsein und Workload diskutiert. Hendy (1995, S. 21-1) fragt „*[w]hat are the relationships between the hypothetical constructs of situation awareness and workload and how is performance dependent on these concepts?*“ Die Frage Hendys ist für die Bewertung technischer Schnittstellen von großem Interesse, geben doch Vidulich und Tsang (2012) zu bedenken, dass für eine solche Schnittstelle das „[...] ideal scenario of a high level of SA without an exceedingly high level of workload [...]“ wäre. Workload und Situationsbewusstsein sollen in diesem Verständnis zwei Kriterien sein, die für eine bedienerbeeinflusste Systemleistung maßgeblich sind.

Vidulich (2002) sieht beide Konzepte als „[...] distinct concepts, they both play similar roles“. Beide sind hypothetische Konstrukte, die nicht beobachtbare kognitive Prozesse beschreiben. Zudem werden beide als organisierende Konzepte im Systemdesign sowie für die Bewertung technischer Schnittstellen verwendet. Obwohl nicht gleich dienen sie demselben Ziel: Der Erstellung und Bewertung von Schnittstellen.

Um dem Zusammenhang beider Konzepte aufzuzeigen, zieht Wickens (2002b) das Beispiel eines Landeanflugs auf einen Flughafen in schlechtem Wetter heran: durch die händische Flugregelung sehr beansprucht übersieht der Pilot einen Fehler auf dem Navigationsdisplay. Als er den Anzeigefehler bemerkt und versucht, den Fehler zu beheben, kommt es zu einer Kursabweichung. Die nötige Kurskorrektur wird unter weiter erhöhter Beanspruchung durchgeführt. Allerdings führt dies zum gleichzeitigen Unterlassen des Ausfahrens der Landeklappen. Die Situation ist gekennzeichnet durch hohe Aufgabenanforderungen, muss zudem immer wieder neu bewertet werden und ist durch hohe Workload gekennzeichnet. Dies führt bei dem Piloten zum Auslassen/Vergessen wichtiger Aufgaben. Er hat kein holistisches Bild der Gesamtsituation und vergisst so das Ausfahren der Landeklappen. Wickens stellt beide Konzepte eindringlich als teilabhängige Aspekte einer Informationsverarbeitung dar, in der Situationsbewusstsein und Workload unterschiedliche Mechanismen darstellen aber dem gleichen Ziel dienen (siehe Abbildung 3.12 sowie Tabelle 3.2 für eine Einordnung von Situa-

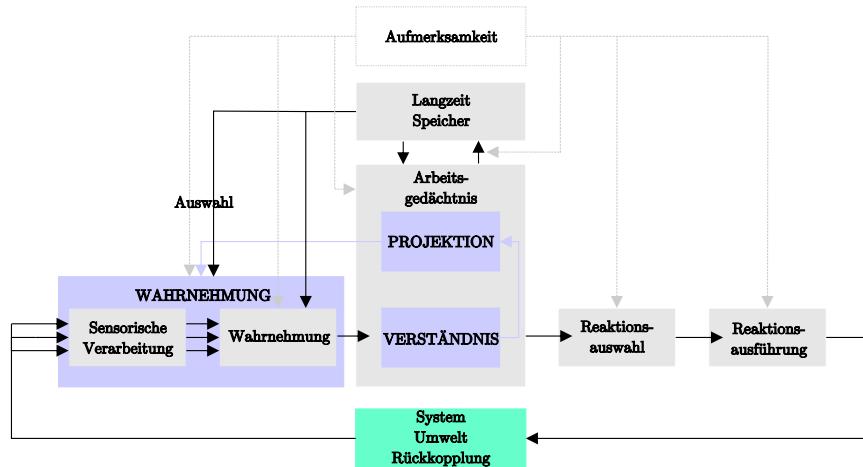


Abbildung 3.12: Integration des Konzeptes Situationsbewusstsein in das Modell der Informationsverarbeitung.

tionsbewusstsein in das allgemeine Informationsverarbeitungsmodell). Hendy (1995, S. 21-1) charakterisiert Situationsbewusstsein in diesem Sinn als „[...] high level information processing activity [...]“, die „[...] requires spare capacity to service [...]“, welche Workload beschreibt. Genauer schildert Wickens (2001, S. 446) Workload als „[...] fundamentally an energetic construct, in which the quantitative properties ('how much') are dominant over the qualitative properties ('what kind'), as the most important element.“ Dem stellt er Situationsbewusstsein als „[...] fundamentally a cognitive concept [...]“ gegenüber „[...] in which the critical issue is the operator's accuracy of ongoing understanding of the situation (i.e., a qualitative property).“ Der Unterschied beider Konzepte ist demnach durch ihre Funktion für den Handelnden gegeben. Es stehen sich zwei Konstrukte gegenüber, bei denen eine quantitative Leistung eine qualitative Einordnung ermöglicht. Workload stellt als energetisches Konzept die Ressourcen, deren Allokation und Menge zur Verfügung. Situationsbewusstsein nutzt diesen „Treibstoff“ um die Situation kognitiv zu verarbeiten und eine inhaltliche Einordnung zu leisten. Durch diese Charakterisierung, als „flip sides of the same coin“ (Endsley, 1993a), wird ein einfacher Zusammenhang der Konzepte auf dem Substrat einer Informationsverarbeitung suggeriert. Endsley (1993a) schlägt einen Ergebnisraum für diesen Zusammenhang vor, der durch vier Punkte eingegrenzt ist (s.a. Abbildung 3.13a):

- **SB niedrig, Workload niedrig**, Abbildung 3.13a Punkt „Vigilanz“
Person hat wenig Situationsverständnis, kein/wenig Suchaktivitäten, Situation mit Vigilanzbedingungen
- **SB niedrig, Workload hoch**, Abbildung 3.13a Punkt „Überforderung“
Wenig Situationsverständnis, hohe Workload aufgrund hoher Aufgabenanforderungen
- **SB hoch, Workload niedrig**, Abbildung 3.13a Punkt „idealer Zustand“
Gutes Situationsverständnis, als akkurate und vollständiges Bild der Situation, bei gleichzeitig niedriger Workload, Idealzustand
- **SB hoch, Workload hoch**, Abbildung 3.13a Punkt „herausfordernd“
Gutes Situationsverständnis, als akkurate und vollständiges Bild der Situation, bei gleichzeitig hoher Workload

3.4 Synthese von Situationsbewusstsein und Workload

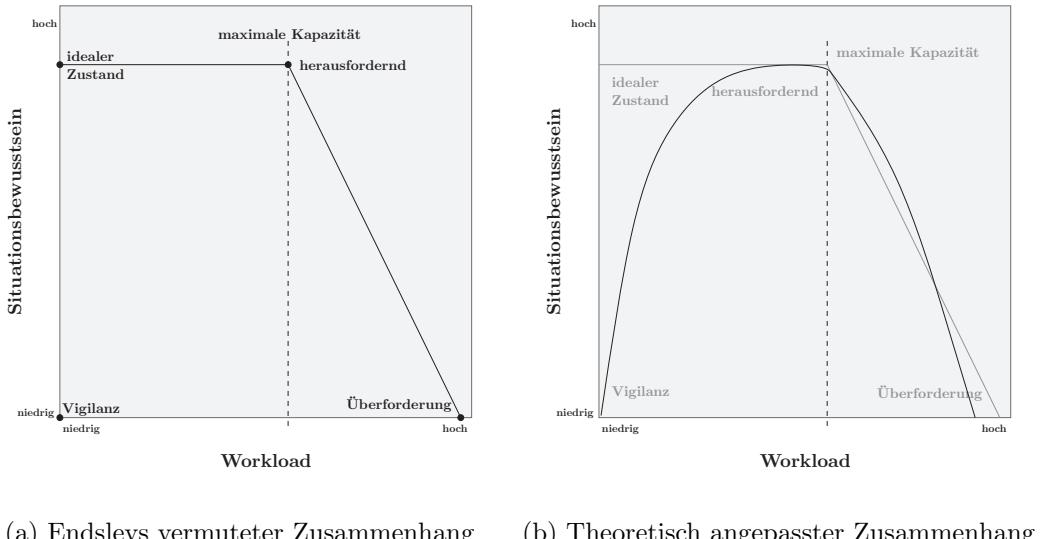


Abbildung 3.13: zeigt zwei mögliche Arten des Zusammenhangs zwischen Situationsbewusstsein und Workload. In (a) ist der von Endsley (1993a) vorgeschlagene Ereignisraum dargestellt, (b) zeigt einen aufgrund der energetischen Charakterisierung von Workload angepassten Ereignisraum.

Endsley (1993a) beschreibt einen Ereignisraum, der jedoch die oben festgestellten Einschränkungen von Workload als energetisierendes Konzept nicht voll widerspiegelt. In Abbildung 3.13b ist der Ergebnisraum dargestellt, der durch einen energetisierenden Effekt und einen erhöhte Mobilisierung von Ressourcen denkbar ist. Weiter gibt Vidulich (2002) zu bedenken, dass eine allgemeine Betrachtung dieses Zusammenhangs nicht ohne Weiteres möglich ist, da dieser bedingt und abhängig von der Art der technischen Lösung oder experimentellen Manipulation ist. Vidulich zeigt die Querabhängigkeit der Konzepte auf. Bei verschiedenen Darstellungen wird die Anzeige von Information unterschiedlich gelöst. Dies kann ein Hinzufügen von neuen Anzeigen oder eine Reformatierung bestehender Anzeigen bedeuten. Bei einem Hinzufügen von Anzeigen scheint eher eine Erhöhung von SB bei gleichzeitiger Erhöhung von Workload stattzufinden, eine Veränderung der Informationsmenge führt also zur Erhöhung von SB und WL. Bei einer Reformatierung bestehender Anzeigen besteht der Trend zur Verbesserung von SB bei gleichzeitiger Verringerung von Workload.

Vidulich (2002) weist eindringlich auf die komplexe Beziehung der Konzepte und die damit verbundene Problematik der Bewertung hin: „*It would be dangerous to assume the status of either mental workload or situation awareness solely on the basis of measuring the other*“. Denn schließlich zeigt diese Komplexität die „*[...] importance of assessing both mental workload and situation awareness when assessing system effectiveness [...]*“ (Vidulich, 2002, S. 136).

Die Beziehung von Situationsbewusstsein als emergente, kognitive Qualität der Informationsverarbeitung und Workload als nötige Ressource oder Energie zur Erstellung dieser Qualität ist komplex. Beide finden auf demselben Substrat einer Informationsverarbeitung statt und müssen miteinander bedacht werden. Eine genauere Betrachtung der Auswirkungen beider Konzepte zueinander muss bei jeder Untersuchung erfolgen, dennoch können Eckpunkte eines gemeinsamen Ereignisraumes als Optimum und Pessimum angenommen werden.

Dimension	Informationsverarbeitung	Situationsbewusstsein
Visuell	Wahrnehmung	Perzeption
Auditiv	Wahrnehmung	
Kognitiv, Abruf	Informationsverarbeitung I, Aufmerksamkeit, STM	Verständnis
Kognitiv, Manipulation	Informationsverarbeitung II, Aufmerksamkeit, STM	
Kognitiv, Antizipation	Informationsverarbeitung III, Aufmerksamkeit, STM	Antizipation

Tabelle 3.2: Vergleich von Informationsverarbeitung und Situationsbewusstsein.

4 Die Umwelt: Flugszenarien und ihre Charakteristika

Der Mensch ist nicht das Produkt seiner Umwelt – die Umwelt ist das Produkt des Menschen.

Benjamin Disraeli (1804 - 1881), Earl of Beaconsfield

Im Aphorismus Disraelis klingt eine wichtige Erkenntnis an. Zwar müssen sich Mensch und Maschine fundamentalen Naturgesetzen unterordnen, dennoch werden eben diese Gesetze genutzt, um in der Umwelt aktiv handeln und diese verändern zu können. Der Mensch schafft sich in seiner natürlichen Umwelt eine von ihm abhängige Umwelt „zweiten Grades“, welche aus der natürlichen, technischen und sozialen Gegebenheiten besteht und in der seine Einwirkungen mit bestimmten Effekten verbunden sind. Diese Einwirkung verstärkt das grundsätzliche Beobachtungsproblem und schafft zusätzlich die Notwendigkeit der Kontrolle: Der Zustand und die Entwicklungen der Umwelt müssen feststellbar sein um zu sehen, wo ein Eingriff möglich oder nötig ist.

In diesem Kapitel soll die Umwelt eines Piloten aus dessen Sicht charakterisiert werden. Hierzu werden Anwendungsfälle definiert, die dieser Charakterisierung einen Rahmen geben. Da von einem operateurszentrierten Ansatz ausgegangen wird, wird die Umwelt in diesen Anwendungsfällen als Element eines mentalen Modells definiert. In diesem Sinne wird Umwelt als Interaktionssystem verstanden, welches Auswirkungen auf die Informationsverarbeitung des Individuums hat. Die nötigen Informationskategorien als Repräsentation der Umwelt werden aus theoretischen Überlegungen abgeleitet. Diese Kategorien werden dann von Probanden bezüglich der Anwendungsfälle geordnet und bewertet. Anhand einer weiteren Befragung über Elemente der Informationskategorien in den Anwendungsfällen wird auf die von Piloten erlebte Beanspruchungshöhe geschlossen und so der Einfluss verschiedener Umweltfaktoren quantifiziert.

4.1 Umwelt im hochagilen Flug

Die Umwelt im hochagilen militärischen Flug weist einige Besonderheiten gegenüber den Gegebenheiten in der zivilen Fliegerei auf. Im Vergleich zur zivilen Luftfahrt sind hier Geschwindigkeiten, G-Kräfte, Höhen und Höhenänderungen und die daraus resultierende Entscheidungsanforderungen sehr viel größer.

Als markantes Beispiel stellen S. 21, Harber und Harber (2002) den Tiefflug als besonders fordernd heraus, denn z.B. „*[...] military low-altitude flight [...] comprises a constellation of tasks that represent the very edge of human perceptual and attentional capabilities [...]*“¹. Bei einem Geländekonturflug mit 30m Höhe bei 600 Knoten können bereits kleinste Abweichungen zum unweigerlichen Verlust von Leben und Flugzeug führen. Eine Kenntnis der genauen Beschaffenheit des Geländes, markanter Punkte und eine genau geplante Route sind erforderlich.

Im Einsatzfall müssen solche Flüge auch unter adversen Wetterbedingungen durchführbar sein, wobei gerade Mikrowetterlagen im Flug oft schlecht vorhergesehen werden können. Einen Teil dieser Umweltfaktoren für den Operateur stellt das technische System und dessen

Bedienerschnittstelle (vgl. Kapitel 5) dar. Vom Piloten wird nicht nur eine genaue Kenntnis des eigenen Systems verlangt, er muss auch bei Vorliegen von Systemfehlern handeln und die Kontrolle behalten. Da das betrachtete Flugzeugmuster nur einsitzig ist, kann auch diese Verantwortung nicht auf eine Mannschaft verteilt werden.

Hierl u. a. (2012, S. 170) beschreibt die Umwelt als Substrat einer Mission und stellt taktische Aspekte heraus: „[...] military missions follow non-standard, individual routings, which are determined by ad-hoc threat analysis and tactical considerations. Navigation is only a basic means to reach the combat zone where the operational task must be fulfilled in an adverse environment [...]“. In dieser Definition einer Mission sind vor allem soziotechnische Aspekte einer natürlichen Umwelt enthalten. Ein Pilot muss den zwischen ihm und dem Einsatzgebiet liegenden Raum durchqueren. Dies macht die Flugplanung unter Berücksichtigung des technischen Geräts, von Wettereinflüssen und geographischen Gegebenheiten abhängig. Hierl u. a. (2012) gehen von einer starken situativen Gebundenheit aus, die eine ständige Bedrohungsanalyse, taktische Bewertung und Aufgabenerfüllung unter adversen Bedingungen erfordert. Diese Besonderheiten machen es nötig, die Umwelt aus der Sicht des Piloten eines hochagilen Flugzeugs zu charakterisieren und die Aspekte herauszuarbeiten, welche handlungsleitende Faktoren darstellen.

Umwelt als mentale Repräsentation Um die Beschreibung hinsichtlich der Ausrichtung am Bediener konsistent zu halten, soll die Umwelt auch als eine Interaktion der Person mit dieser beschrieben werden. Deshalb wird die Umwelt als handlungsauffordernd für das Individuum aufgefasst, diese „[...] affordances of the environment are what it offers the animal, what it provides or furnishes [...]“ (S. 127 Gibson, 1982). Die Interaktion „[...] refers to both the environment and the animal [...] it implies the complementarity of the animal and the environment [...]“ (Gibson, 1982, S. 127). Unsere Umwelt stellt demnach für die Wahrnehmung einen Interaktionspartner dar, der bestimmte Aufforderungen mitbringt und Handlungen zulässt. Bedeutend ist nun, welche Elemente der Umwelt diesen Charakter besitzen und wie diese Varianten behandelt werden.

Eine Möglichkeit der Darstellung der Varianten bietet eine Kategorisierung mit Hilfe von Domänenexperten. Endsley (1993b) führt eine solche Erhebung mit dem Ziel „[...] to determine the specific elements required for SA in fighter aircraft [...]“ durch und kommt so zu Anforderungselementen für Situationsbewusstsein. Diese stellen eine Abbildung der für den Bereich relevanter Informationen dar, welche für den Piloten handlungsleitend im obigen Sinne sind. Weiter verfolgt Endsley (1999) diese Herangehensweise und stellt aus Sicht des Flugzeugführers fünf situationsabhängige Informations- oder Faktorenkategorien dar, welche die relevante Bandbreite von Umweltinformationen enthalten und hohe Relevanz besitzen:

- **geographische Faktoren**

All jene Faktoren und Informationen, die eine relative oder statische räumliche Struktur bilden und die Flugplanung und Ausführung grundsätzliche bedingen: Hierzu zählen neben der eigenen räumlichen Position auch navigatorische Fixpunkte, Flughäfen, Städte oder Flugpfade. Die Planung und Ausführung der Flugaufgabe mit einer speziellen Route zum Zielgebiet, sowie alle relevanten Manöver zu dessen Erreichung fallen unter diese Kategorie.

- **räumliche und zeitliche Faktoren**

Faktoren und Informationen, die den Flug des eigenen Flugzeugs oder fremder Flugzeuge beschreiben: Im Gegensatz zu geographischen Faktoren, welche ein eher statisches

Gerüst bilden, sind hier aktuelle und dynamische Faktoren und Informationen repräsentiert. Diese Stellen den aktuellen Zustand des eigenen Flugzeugs im raumzeitlichen Verlauf dar und beschreiben das Durchfliegen vorher geplanter Routen. Auch darstellbar ist hier die Flugdynamik, Position und der Verlauf von Flugbewegungen anderer Flugzeuge.

- **technisch-systembezogene Faktoren**

Faktoren und Informationen, die das eigene technische System und dessen Funktionsweise beschreiben. Dies betrifft den Zustand des Flugzeuges, alle Funktionen und Einstellungen, die Beladung und Betankung sowie alle Fehler und technischen Probleme. Auch aufgabenspezifische Flugmodi und Automation sind hier abgebildet.

- **Wettereinflüsse**

Natürliche Witterung und deren Einfluss auf das aktuelle Fluggeschehen. Witterungseinflüsse betreffen vor allem die Flugsicherheit. Die Sicht und manuelle Flugführung des Piloten sind unter Bedingungen wie Nebel oder Sonne stark unterschiedlich zu bewerten.

- **taktische Einflüsse**

Einflüsse und Informationen, die durch die spezielle Aufgabe oder Mission sowie die strategische Lage charakterisiert sind. Diese Kategorie kommt nur in der militärischen Fliegerei vor und beschreibt alle Einflüsse, welche durch verschiedene Bedrohungslagen zustande kommen.

Inhaltliche Elemente dieser Kategorisierung finden sich in Tabelle 4.1. Diese Elemente können als Anforderungen an den Inhalt eines mentalen Situationsmodells für den militärischen Flug angesehen werden. Ihre Darstellung ist allgemein, es wird beispielsweise nicht zwischen eigener Richtung und Richtung anderer Flugzeuge unterschieden. Die Nennung eines Faktors ist als inhaltlicher Hauptpunkt einer Kategorie zu verstehen und muss entsprechend differenziert werden. Eine weitere Detaillierung oder Spezifizierung kann angedacht werden, wenn man nur bestimmte Anwendungsfälle betrachtet, in denen manche Kategorien keine oder nur geringe Bedeutung haben.

An den in Tabelle 4.1 erkennt man die Reichhaltigkeit und Komplexität der Umwelt. Diese Reichhaltigkeit muss für den vorliegenden Zweck genauer eingegrenzt werden. Diese Eingrenzung geschieht durch die Ableitung von Anwendungsfällen.

4.2 Anwendungsfälle als repräsentative Abbildung der Umwelt

Um die genannten Informationskategorien oder Umweltmerkmale genauer zu spezifizieren, sind Anwendungsfälle nötig. Diese zeigen das Missionsspektrum des Flugzeuges auf und lassen so eine repräsentative Einengung der obigen Elemente zu. Die Anwendungsfälle leiten sich aus Missionserfordernissen ab, welche Spinoni, Wadlow, Luceron, und Hahn (1986)¹ für den Eurofighter dreigeteilt sehen:

1. „*Supervise air situation, threat assessment and prioritisation, defensive and offensive measures [...]*
2. *[...] manually override automatic functions [...]*
3. *[...] perform air-to-surface attacks [...]“*

¹zitiert nach Kellerer (2010, S. 40)

4 Die Umwelt: Flugszenarien und ihre Charakteristika

Wetter (ENV)	geographische Merkmale (GEO)	systemtechnische Merkmale (SYS)	raumzeitliche Aspekte (ST)	taktische Aspekte (TAC)
Wetterformationen	eigene Position	Systemstatus	Attitude	ID
Temperaturen	Position anderer LFZ	Funktionen und Einstellungen	Höhe	taktischer Status
Vereisung	Geländemerkmale	Einstellungen	Richtung	LFZ Typ
Wolkendecke	Flugplätze	Radioeinstellungen	Geschwindigkeit	Fähigkeiten
Wolken	Städte	Altimeter	G-Lasten	Position and. LFZ
Nebel	Wegpunkte	Transponder	Flugpfad	Flugdynamik and. LFZ
Sonne	Navigations-Fixpunkte	ATC Kommunikation	Abweichungen	fremde Fähigkeiten
Sichtbarkeit	Relativposition	Abweichungen	Fähigkeiten LFZ	Abschussfähigkeiten
Turbulenzen	Runways	Flugmodi	geplanter Flugpfad	Zielfähigkeiten
Winde	Taxiways	Automatismen	geplante Landezzeit	Bedrohungspriorisation
Mikrobursts	geplanter Flugpfad	Einfluss von Fehlfunktionen		Zuweisungen
IFR/VFR	Steig- & Sinkpunkte	Treibstoff		Intentionen
Flugsicherheit				Taktiken
Wetterprognose				Missionszeit &-status
				Manöver

Tabelle 4.1: Situative Elemente der Umwelt im hochagilen Flug nach Endsley (1999).

Kellerer (2010, S. 40) stellt diesen operationellen Anforderungen die drei Anwendungsfälle **Combat Air Patrol (CAP)**, **Route Management (RM)** und **Air-to-Surface-Attack (A/S)** gegenüber und sieht diese darin abgebildet. Die drei Anwendungsfälle werden nun kurz nach Kellerer (2010, S. 40) und S. 65, Eichinger (2011) erläutert:

- **Combat Air Patrol (CAP)**, Luftbereichsüberwachung
Bei einer Luftbereichsüberwachung muss von den verantwortlichen Flugzeugen ein bestimmtes Gebiet überwacht werden. Das in diesem Bereich geflogene, taktische Muster dient dazu, die Bereichsgrenze immer mit Sensoren zum mindest eines Flugzeuges abdecken zu können. Neben dieser Flug- und Überwachungsaufgabe muss Koordination und Kommunikation mit benachbarten Bereichen stattfinden und ein möglicher Einflug durch andere Flugzeuge erkannt werden.
- **Route Management (RM)**, Routenverwaltung
Bei einer Routenverwaltung oder Planung müssen vom Operateur im Flug Routenpunk-

te erzeugt, geändert oder gelöscht werden, um die Planung an die aktuellen Erfordernisse anzupassen. Die Information über eine Anpassung kann von außen vorgegeben oder durch die Situation bedingt sein, macht also ebenfalls Koordination und Kommunikation nötig.

- **Air-to-Surface-Attack (A/S), Luft-Boden-Angriff**

Angriffe auf Bodenziele sind vorgeplant und mit festen Anflugverfahren versehen. Hier müssen die Sollwerte von Geschwindigkeit, Höhe und Zeit eingehalten werden, was ständige Kontrolle nötig macht. Im Weiteren muss eine Umgebungsüberwachung nach möglichen Bedrohungen erfolgen und entsprechend reagiert werden.

4.3 Empirische Bestimmung der Rangordnungen von Informationskategorien als Funktion der Anwendungsfälle

Ein an Umweltgegebenheiten orientiertes Bewertungsexperiment macht die Abbildung dieser Umwelt in experimentell-kontrollierter Form nötig. Dies erfordert eine geeignete Erhebung der Umweltfaktoren unter einer empirischen und faktorenbildenden Betrachtungsweise. Deshalb wurden in einem zweistufigen Vorgehen zuerst Rangordnungen für Anwendungsfälle erhoben und diese dann entsprechend Ihrer Belastung für den Operateur bewertet. Aus den so erhobenen Daten können für die Anwendungsfälle Belastungsprofile abgeleitet werden, die als Eingangsparameter für ein kontextgeleitetes Experiment dienen können.

Für die Anwendungsfälle wurde für die oben genannte Kategorisierung mit Hilfe von 13 Piloten eine Rangordnung erstellt. Diese Rangordnung erlaubt eine differenzierte Betrachtung der Wichtigkeit der Kategorien in jedem Anwendungsfall und macht diese so vergleichbar. Die befragten Piloten hatten alle militärische Flugerfahrung und kannten die Situationen. Sie bekamen jeden Anwendungsfall einzeln vorgelegt. Zudem erhielten Sie eine erweiterte Variante der in Tabelle 4.1 gezeigten Elemente, welche nach eigenen und fremden Merkmalen unterschied. Jeder Pilot erstellte dann für jeden Anwendungsfall eine Rangordnung der Kategorien. Die erhaltenen Rangordnungen werden mit Hilfe des Konkordanzkoeffizienten K verglichen. Mit Hilfe der Rangvarianzanalyse nach Friedman wird überprüft, ob Unterschiede in der Rangvergabe für die Kategorien in jedem Anwendungsfall vorhanden sind. Weiter werden die Rangordnungen mit sequentiellen Wilcoxon-Tests auf Trennbarkeit untersucht.

Die Urteilsübereinstimmung bei der Vergabe der Ränge wird mit Kendalls w überprüft (s.a. Tabelle A.1); die Vergabe der Ränge war relativ gleich über die Probanden und Anwendungsfälle und erreichte einen Übereinstimmungsgrad von bis zu $K_w = ,65$. Dies weist darauf hin, dass es für jeden Anwendungsfall eine Rangordnung gibt, die relativ unabhängig von den Probanden ist. Die Rangordnungen der Informationskategorien unterschieden sich für jeden Anwendungsfall (Friedman-Test; CAP: $X^2 = 33,91$; $df = 4$; $p \leq ,00$; A/S: $X^2 = 20,49$; $df = 4$; $p \leq ,00$; RM: $X^2 = 21,17$; $df = 4$; $p \leq ,00$).

Um eine Ordnung herauszuarbeiten, werden subsequente Wilcoxon-Tests durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Tests für alle Anwendungsfälle und Kategorien finden sich in Tabelle A.1 und sind auch in Abbildung 4.1 enthalten. Diese sollten zeigen, ob die Rangstufen der Kategorien sich statistisch bedeutsam unterscheiden, was für eine anwendungsfallabhängige Ordnung der Kategorien sprechen würde. Eine klare Ordnung konnte nicht in jedem Fall gefunden werden. Es gibt Informationskategorien, die sich nicht unterschieden ließen und so gleiche Wichtigkeit signalisierten. Für alle betrachteten Fälle war die taktische Kategorie auf Rangplatz 1 oder 2 zu finden, die geographischen Merkmale und raumzeitlichen Elemente folgten auf Platz 2 oder

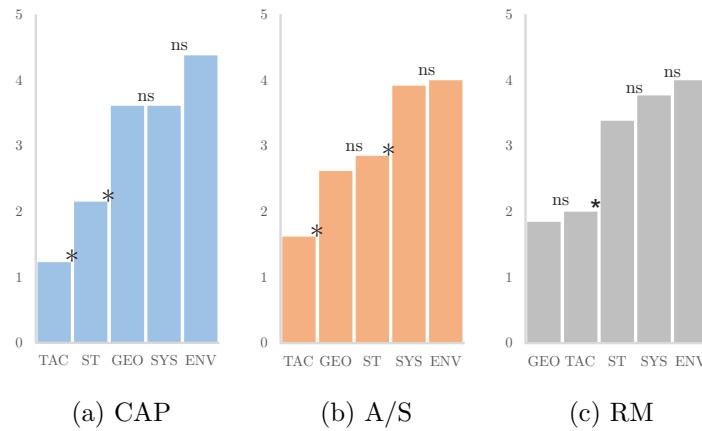


Abbildung 4.1: Rangordnung der Informationskategorien für die gewählten Anwendungsfälle.

CAP	TAC-ST	ST-GEO	GEO-SYS	SYS-ENV	K_w
Z	-2,52	-2,50	- ,04	-1,40	,65
p	,012	,13	,97	,16	
<hr/>					
A/S	TAC-GEO	GEO-ST	ST-SYS	SYS-ENV	K_w
Z	-2,07	- ,43	-2,32	- ,07	,39
p	,04	,67	,02	,94	
<hr/>					
RM	GEO-TAC	TAC-ST	ST-SYS	SYS-ENV	K_w
Z	- ,36	-2,64	- ,97	- ,33	,41
p	,72	,01	,33	,74	

Tabelle 4.2: Ergebnisse der sequentiellen Wilcoxon-Tests auf Unterschiede der Ränge der Informationskategorien innerhalb der Anwendungsfälle, sowie der Urteilsübereinstimmung (K_w).

3. Weniger wichtig betrachteten die Probanden die Kategorien des Wetters oder des eigenen Systems.

Für die vorgelegten Kategorien zeigten sich folgende Rangreihen:

1. **CAP**: $TAC \triangleright ST \triangleright GEO \approx SYS \approx ENV$
 2. **A/S**: $TAC \triangleright GEO \approx ST \triangleright SYS \approx ENV$
 3. **RM**: $GEO \approx TAC \triangleright ST \approx SYS \approx ENV$

Diese Rangordnungen spiegeln das normale Bedienen des Flugzeuges und die Erwartungen der Flugzeugführer aus ihrer Sicht wieder. Taktische Einflussfaktoren, die nur bedingt beeinflusst werden können und auf die reagiert werden muss, nehmen in diesem Sinne einen hohen Stellenwert ein. Eng damit Verknüpft sind die Elemente der raumzeitlichen Kategorie, hier ist die Einschätzung verbunden, durch welche Zustandsänderungen Einfluss auf Taktik zu erwarten ist. Dies gilt sowohl für die eigenen als auch für fremde Aktionen. Geographische Merkmale der Umgebung fungieren oft als Navigations- und Orientierungshilfen und

ermöglichen einen sicheren Flug. Die als weniger wichtig eingeschätzten Kategorien System und Umwelt/Wetter scheinen nur in speziellen Situationen von Bedeutung zu sein. Fehler im System werden behoben, wenn dies nötig ist, sonst wird keine aktive Systempflege betrieben und ist auch nicht notwendig. Wetterinformationen sind meist vor einem Flug bekannt und werden mit in die Vorbereitung aufgenommen. Für die Ausführung der Aufgabe sind diese dann nur noch von peripherer Bedeutung. Die drei als wichtig angenommenen Kategorien werden nun weiter betrachtet. Ihre Elemente sind beanspruchungsgenerierend, da diese vom Operateur bedacht und beachtet werden müssen und ggf. darauf zu reagieren ist.

4.4 Empirische Bestimmung der Belastung der Informationsverarbeitung als Umweltfolge

Die in Tabelle 4.1 aufgeführten Elemente wurden zusammen mit einem Experten erarbeitet. Sie wurden in einer zweiten Befragung verwendet um herauszufinden, wie durch diese eine informatorische Belastung generiert wird (vgl. Eichinger, 2011; Kostka, Möller, Neujahr, & Zimmer, 2012; Eichinger & Kellerer, 2014). Um die Befragung für die Probanden bearbeitbar zu halten und den Kontext spezifisch erfassen zu können, wurden für jeden der Anwendungsfälle nur die drei ranghöchsten Kategorien erhoben. Die Elemente dieser Kategorien wurden weiter unterteilt in die Aspekte eigener oder fremder Aktivität, ihre Darstellung oder Vorkommen. Die Bewertung der Elemente dieser Kategorien erfolgte über Beanspruchungsbewertungen der Piloten. Um ein differenziertes Bild der Belastung zu erhalten, wurden distinkte Kategorien der Informationsverarbeitung definiert und jedes Element danach bewertet. Zudem wurde für jedes Element ein Gewichtungsfaktor zwischen 0 (unwichtig) bis 10 (höchste Wichtigkeit) vergeben. Die Beanspruchung wurde für **visuelle** und **auditive** Wahrnehmung, **Erinnern** und **Manipulieren** als kognitive Verständnisleistung und **Antizipation** zukünftiger Zustände erhoben. In den einzelnen Modulen der Informationsverarbeitung konnten die Probanden Werte zwischen 0 (keine Belastung) und 100 (volle Belastung) vergeben. Mit Hilfe der angepassten Berechnungsformel des *Cockpit Workload Profile* (vgl. Eichinger, 2011) wurden die Antworten der Probanden für jeden Anwendungsfall einzeln errechnet:

$$L_{mod} = \sum_{cat=1}^5 l_{mod,cat} * w_{cat} \quad (4.1)$$

Mit

L_{mod} := Belastung einer spezifischen Modalität in einem Anwendungsfall

$l_{mod,cat}$:= Belastungsbewertung eines Elements

w_{cat} := Gewichtungsfaktor des Elements.

Die Bewertungen wurden für jeden Anwendungsfall einzeln erhoben. Insgesamt füllten elf Piloten die Bögen aus. Alle Teilnehmer kannten die Anwendungsfälle aus ihren Einsätzen und hatten 20 oder mehr Jahre Erfahrung in der militärischen Luftfahrt.

In Abbildung 4.2 sind die Ergebnisse für alle drei Anwendungsfälle getrennt nach der Belastung in der jeweiligen Modalität dargestellt. Das Profil der Bewertungen zeigt einen sehr einheitlichen Verlauf über alle Modalitäten und Anwendungsfälle hinweg. Am wenigsten Last scheint in der auditiven Kategorie zu bestehen, die Informationsaufnahme ist primär visuell geprägt: Zwei Drittel der Information werden so aufgenommen. Das Erinnern bekannter

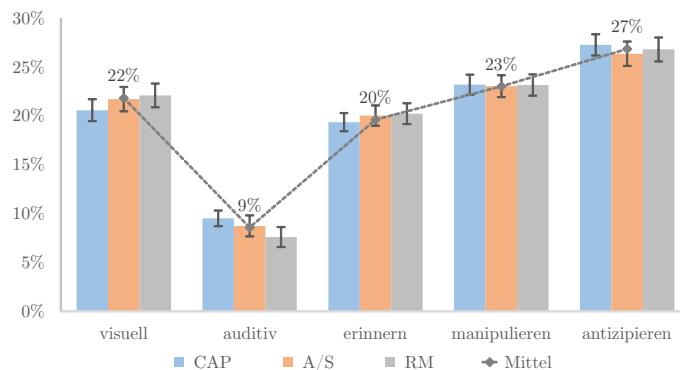


Abbildung 4.2: Belastung der fünf Modalitäten der Informationsverarbeitung durch umweltspezifische Informationskategorien.

Information bzw. die Manipulation der Elemente scheinen eine recht ähnliche Belastung darzustellen, wenn auch die Manipulation geringfügig höher ausfällt. Die meiste Belastung wird in jedem Fall durch die Antizipation generiert.

Versteht man die obigen Modalitäten im Sinne der 3-Stufen-Theorie des Situationsbewusstseins, ist die Belastung durch die Informationsaufnahme geringer als durch die Verarbeitung und Antizipation. Die kognitive Belastung wiegt also schwerer als die perzeptive. Zudem scheint die Belastung mit höheren kognitiven Funktionen zuzunehmen, das Erinnern verursacht weniger Belastung als Manipulieren oder Antizipieren. Die Belastung bei Antizipation ist wahrscheinlich aufgrund der hohen situational geprägten Unsicherheit sehr hoch. In den meisten Situationen sind die Freiheitsgrade anderer Beteiligter zu hoch, um eine eindeutige Vorhersage zu ermöglichen. Dies macht eine stetige Anpassung der Vorhersage an die aktuellen Gegebenheiten nötig. Diese Einschätzung teilten die Probanden in der Befragung, die meisten verbalisierten dies sogar.

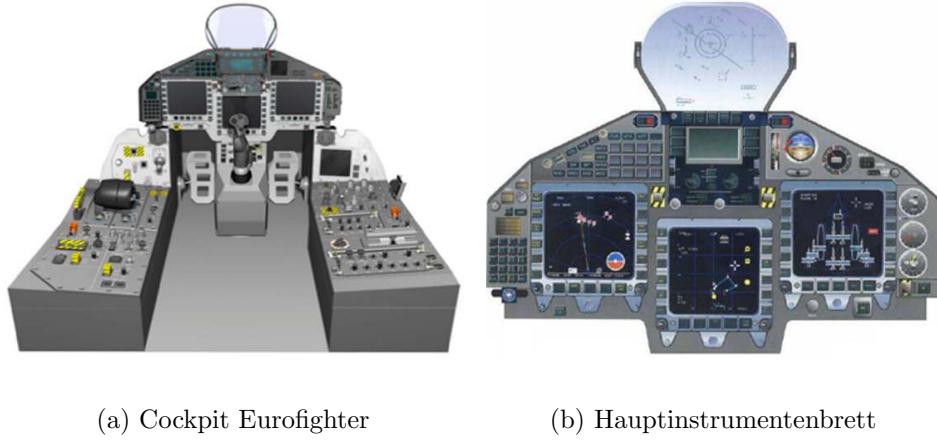
4.5 Zusammenfassung

Eine wirkliche Abbildung der Umwelt eines hochagilen Flugzeuges ist nicht möglich. Eine Möglichkeit zur Abbildung dieser Umwelt bietet sich aber durch die Abbildung der generierten Belastung für den Operateur. Die auf einen Operateur wirkende Belastung ist deshalb in diesem Kapitel als Funktion der Umwelt definiert. Die Analyse der durch diese Umweltfaktoren entstehenden Belastung ergab eine Betonung visueller und vor allem antizipativer Prozesse der Verarbeitung. Zudem zeigt sich, dass vor allem taktische und raumzeitliche Aspekte der Umwelt in jedem Anwendungsfall von hoher Wichtigkeit sind. Auf die Umsetzung der erhaltenen Belastungsprofile und Rangordnungen in einer Evaluation wird in folgenden Kapiteln näher eingegangen. Es müssen Aufgaben definiert werden, die dem oben festgestellten Umweltcharakter gerecht werden. Dies betrifft die Ausrichtung auf die Informationskategorien und die entstehende Belastung. Es werden experimentelle Haupt- und Zusatzaufgaben definiert, welche eine repräsentative Abbildung der festgestellten Zusammenhänge abbilden sollen.

5 Technologie: Großflächige, räumliche Anzeigen

If I can't picture it, I can't understand it.
Albert Einstein, nach John Archibald Wheeler

Die Schnittstelle eines technischen Systems hat grundlegenden Einfluss auf die Leistung des Bedieners und somit auf die Gesamtleistung eines technischen Systems. Die im Cockpit des zu betrachtenden Flugzeugmusters, dem Eurofighter Typhoon, verbaute Schnittstelle kann in ein Anzeige- und ein Bedienkonzept gegliedert werden. Es soll Ziel der vorliegenden Schrift sein, das von Eichinger vorgelegte Konzept zur *Bewertung von Benutzerschnittstellen* auf das *Anzeigekonzept* zu erweitern. Es wird in diesem Abschnitt die Schnittstelle kurz skizziert. Besondere Betonung soll dabei die Anzeige räumlicher Informationen aufgrund ihrer direkten Wichtigkeit für den Operateur spielen. Die Anzeige räumlicher Informationen auf großflächigen Displays wird in konventionellen Darstellungen eingeführt und ebenso werden neue Darstellungsmetaphern aufgezeigt, die dazu in Relation gesetzt werden. Aus diesen neuen Darstellungsarten lassen sich Anforderungen formulieren, welche dann in späteren Kapiteln untersucht werden sollen.



(a) Cockpit Eurofighter

(b) Hauptinstrumentenbrett

Abbildung 5.1: Die Auslegung (a) des Cockpits des Eurofighter Typhoon (nach Hierl, Sandl, & Neujahr, 2012, S. 168), sowie die Auslegung (b) des Hauptinstrumentenbrettes inklusive des Head up Displays (nach Kellerer, 2010, S. 31).

Der Eurofighter Typhoon (vgl. a. Gutierrez, 2014, www.eurofighter.com/the-aircraft) erreicht eine Spitzengeschwindigkeit von Mach 2 und eine maximale Dienstgipfelhöhe von 55000 Fuß. In seiner jetzigen Auslieferungsform ist er ein einsitziges Kampfflugzeug. Daher muss die gesamte Systemleistung von nur einem Piloten kontrolliert und gesteuert werden. Um diese Leistung erbringen zu können, ist das technische System hoch automatisiert: Die Anzeigen und Bedienelemente sind an die jeweilige Situation oder Aufgabe angepasst, die Ausübung der Kontrolle erfolgt über die im Cockpit angelegten Bedienelemente.

Die Cockpitauslegung des Eurofighter ist in Abbildung 5.1a dargestellt. Mittig ist das Hauptinstrumentenbrett mit *Multi Functional Head Down Displays* (**MFHDD**) und den primären Fluginstrumenten, davor ist der Stick und im Fußraum die Pedestals angeordnet. Links und rechts befinden sich Konsolen mit nachgeordneten Bedienelementen. Der Schubkontrollhebel ist auf der rechten Seite angebracht.

Das Hauptinstrumentenbrett, siehe Abbildung 5.1b, besteht aus den primären Fluginstrumenten und drei großen, multifunktionalen Anzeigen. Zudem sind links bzw. rechts auf den Glareshields weitere Bedienelemente und Anzeigen verbaut, die durch ihre Wichtigkeit oder Häufigkeit der Benutzung im Fokus des Piloten liegen sollen. Über dem Hauptinstrumentenbrett ist das Head Up Display angebracht. Dieses dient primär der genauen Flugsteuerung und stellt für diese Aufgabe wichtige Informationen in kompakter Form im zentralen Sichtbereich des Piloten dar.

5.1 Bedienkonzept

Die Bedienung im Cockpit folgt zwei Prinzipen (vgl. Kellerer, 2010): **HOTAS** (**H**ands **o**n **T**hrottle and **S**tick) und erweitert **VTAS** (**V**oice **T**hrottle and **S**tick). Alle Eingaben, die ein Pilot im Flug tätigen muss, sind demnach über den Steuerknüppel, den Schubhebel oder Stimmenkommandos realisierbar. Zur Manipulation der derzeitige Darstellung und Funktionsanwahl werden direkte und indirekte Bedienelemente verwendet. Die meisten der an den Schubhebel und Steuerknüppel angebrachten Druckknöpfe dienen der direkten Anwahl bestimmter Funktionen. Diese einfachen Bedienelemente genügen aber einer Anwahl von Elementen auf einem Display nicht. Diese Anwahl wird durch die Stimmeingabe oder einen XY-Cursor-Controller auf dem Schubhebel realisiert, der ein Fadenkreuz zur Anwahl von Elementen auf dem Display steuert. Der XY-Cursor-Controller ist insofern besonders, als dass er ein indirektes Interagieren mit bestimmten Inhalten der Displays ermöglicht. Hier können beispielsweise bestimmte Kontakte auf einem Display angewählt, deren Eigenschaften geändert oder neue Displayinhalte erstellt werden. Um die MHDDs sind Leisten mit Druckschaltern (nach Hierl u. a., 2012, S. 174 ff.) angebracht, welche die verschiedenen Formate anwählbar machen. Für eine breitere Darstellung der Bedienelemente sei auf Kellerer (2010) und auch auf Hierl u. a. (2012) verwiesen.

Das Bedienen von solchen Displays über Funktionsknöpfe und den indirekten XY-Controller stellt eine gewisse Limitierung der Handlungsgeschwindigkeit des Piloten dar. Kellerer (2006) stellt ein neuartiges Anzeigekonzept mit großflächiger Darstellung vor, dem ebenso ein neues Bedienkonzept folgen muss. Dieses skizziert Kerschenlohr (2007), der eine Interaktion durch direkte Manipulation virtueller Objekte mittels einer berührungssensitiven Oberfläche vorsieht. Diese würde den XY-Controller zu einem vollredundanten Bedienelement machen und eine weitere Möglichkeit zu Interaktion schaffen. Kellerer (2010) und Eichinger (2011) vergleichen die Bedienarten Cursor-Control und Touchscreen und kommen zu dem Ergebnis, dass durch eine direkte Bedienung ein erheblicher Bediengeschwindigkeitsvorteil realisiert werden kann. Dieser Vorteil wird zudem durch ähnliche Fehlerraten beider Bedienelemente gestützt und bleibt sogar unter Mehrfachbelastung erhalten. Das klassische Bedienkonzept könnte durch die Cockpitauslegung mit einem großflächigen Touchscreen ergänzt werden, was zu einem erheblichen Vorteil bezüglich Bediengeschwindigkeit führen und so auch die Systemleistung steigern würde.

Eine großflächige Darstellung benötigt aber neben einem neuen Bedienkonzept ebenfalls ein

neues Anzeigekonzept. Es kann nicht von einer direkten Portierung und Skalierung bestehender Inhalte ausgegangen werden. Auf das gegenwärtige und ein mögliches neues Anzeigekonzept wird im folgenden Abschnitt eingegangen.

5.2 Das Anzeigekonzept des Eurofighter Typhoon

Das vorliegende Anzeigekonzept des Eurofighters soll kurz skizziert werden. Dazu wird auf die Displays im mittleren Bereich des Hauptinstrumentenbrettes und die dort dargestellten Informationen sowie deren Darstellungsprinzipien eingegangen.

Die drei Anzeigen auf dem Hauptinstrumentenbrett haben eine quadratische, farbige Darstellungsfläche von 16 x 16 cm (256 cm^2), bieten also eine Bruttonutzungsfläche von 768 cm^2 (Kellerer, 2006). Diese digitalen Anzeigen „[...] offer great versatility and operational flexibility [...]“ und „[...]allow a much more efficient presentation of complex information [...]“ (nach Hierl u. a., 2012, S. 169) als dies analoge Anzeigen könnten. Die Anzeigen sind beliebig belegbar, zeigen aber inhaltlich zusammengehörige Informationen in *Formaten* an. Diese Formate sind abhängig von der Aufgabe des Piloten oder der Flugsituation und stellen die in diesem Kontext benötigte Information in immer gleicher Weise dar: „[...] formats are composed of the information required for that particular task, irrespective of its source [...]“ (nach Hierl u. a., 2012, S. 172)



Abbildung 5.2: Drei ausgewählte Displayformate des Eurofighter aus Rosenkranz (1997)

Die thematische Einordnung der Formate kann in die Kategorien technisches System (z.B. Hydraulik, Triebwerke), Navigation (z.B. Karten, Routen, Zeiten), Sensorik (z.B. Radar, Infrarot), Waffen und Checklisten erfolgen. Im Folgenden soll vor allem auf die in Abbildung 5.2 dargestellten Formate Bearing (Radar, s. Abbildung 5.2a), Pilot Awareness (s. Abbildung 5.2b) und Elevation (s. Abbildung 5.2c) eingegangen werden. Diese Anzeigen verschaffen dem Piloten einen Überblick über die gesamte raumzeitlich-taktische Situation in einem Umkreis von mehr als 100 nautischen Meilen. Alle drei Anzeigen sind zweidimensional als Draufsicht (Abbildung 5.2a und 5.2b) oder Seitenansicht (Abbildung 5.2c).

Das Bearing Format Das Bearing oder die Radarpeilung ist eine Darstellung des Radars, welche einen linear konvertierten Azimut auf der Abszisse und die Entfernung eines Kontakts auf der Ordinate darstellt (Wolff, 2014). Dieses Display ist optimiert, um dem Piloten die Entfernung anderer Objekte schnell ersichtlich zu machen. Der relative Azimutwinkel wird

normalerweise zirkulär aufgetragen und ist hier linear konvertiert. Diese Konversion ermöglicht auf der Anzeige schnelle Einschätzungen der Entfernung von einem Objekt zum eigenen Flugzeug, da das Lot auf der grünen Grundlinie zum einzuschätzenden Objekt diese Entfernung direkt zeigt. Zudem kann Objektverfolgung einfach geleistet werden: Bewegt sich ein Objekt direkt auf dem Lot der Grundlinie auf diese zu, findet eine direkte Annäherung statt. Diese Anzeige ermöglicht dem Piloten so eine schnelle Einschätzung der Annäherung oder Entfernung vom eigenen Flugzeug.

Das Pilot Awareness Format Die **Karte** (auch Pilot Awareness Format, Hierl u. a. (2012, S. 173 ff.) oder Map **M**) stellt die augenblickliche Situation als Draufsicht dar, das eigene Luftfahrzeug ist als grüner Pfeil mittig gegeben. Die Karte ist nordwärts ausgerichtet. Hier kann der Pilot ebenso Richtung und Entfernung eines Objektes erfassen. Zudem wird eine Fülle an verschiedenen Zusatzinformationen angezeigt, wie etwa die Ausdehnung des eigenen Radars (weißes Kreissegment), die eigene Route (grüne Linie), taktische Hinweise und Darstellungen, topografische Gegebenheiten sowie Darstellungen von Informationsnetzwerken und der eigenen Sensoren. Dieses Display wird in allen Missions- und Flugphasen angezeigt und stellt die Basis des Piloten, um ein kohärentes Situationsbild aufzubauen bzw. dieses beibehalten zu können.

Das Elevation Format (E) Bearing wie auch das PA-Format stellen die Situation immer als zweidimensionale Draufsicht dar. Bei dieser Art der Darstellung können Höheninformationen nur über zusätzliche Textelemente gegeben werden. Die dritte Ansicht ist das **Höhenprofil** oder Elevationsformat (**E**), die als Höhendarstellung diesen Nachteil ausgeglichen soll. Hierzu wird die Entfernung von Objekten auf der Abszisse aufgetragen, ihre Höhe dann als Wert auf der Ordinate dargestellt. In dieser Darstellung wird die Höhendimension der lateralen vorgezogen. Sie dient vor allem der schnellen Abschätzung der Überhöhung anderer Objekte zum eigenen Luftfahrzeug.

Zusammenspiel der Multifunktionsdisplays und mentale Integration Die Bildung eines kohärenten und räumlich repräsentativen Situationsbildes in einer hochdynamischen Flugsituation erfordert es, Informationen von mindestens zwei der drei oben genannten Displays mental zu integrieren. In jeder der Anzeigen wird eine von drei Dimensionen (Entfernung, Azimut, Höhe) zugunsten der Darstellung zweier anderen vernachlässigt. Die Pilot Awareness-Darstellung zeigt Range und Azimut, nicht aber Höhe; die Bearing-Ansicht stellt Azimut und Entfernung dar, ebenfalls aber keine Höhe. Die Elevation zeigt den Höhenwinkel bezogen auf die Entfernung aber keinen Azimut. Der Pilot muss, je nach Aufgabe, ein Display deuten oder mehrere mental integrieren um den Überblick zu erhalten. Dies führt zu verschiedenen Strategien einer Aufmerksamkeitszuwendung und zu verschiedenen Graden der Beanspruchung. Ein Einblick, wie Piloten die Anzeigen in einer simulierten taktischen Situation verwenden, wird in Kapitel 6 vermittelt. Hier wird eine aufgabenabhängige Aufmerksamkeitszuwendung unter Beanspruchung exploriert und durch die Darstellung von Blicksequenzen auf Strategien geschlossen.

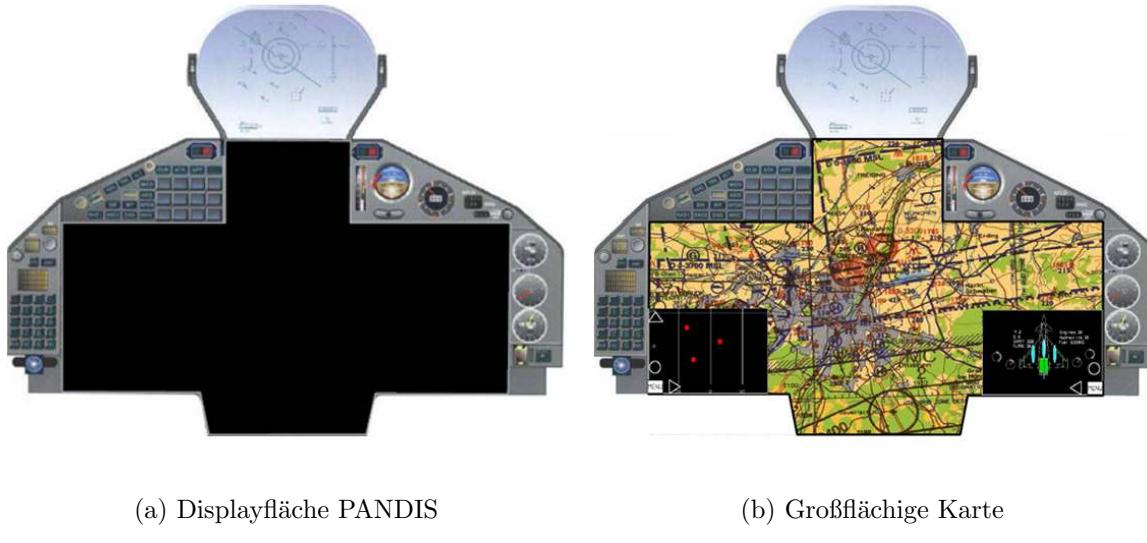


Abbildung 5.3: (a) Das Panoramic Display (nach Eichinger, 2011, S. 24), sowie die Darstellung (b) einer großflächigen Karte mit Zusatzinformation auf dem neuen Hauptinstrumentenbrett inklusive des Head up Display (s.a. Kellerer, 2006; Kerschenlohr, 2007).

5.3 PANDIS: Ein großflächiges Anzeigekonzept

Im Namen **PANDIS** (**P**ANoramic **D**ISplay) schwingt bereits die Kombination eines flächen-großen Displays, einer speziellen Darstellungs metapher und Meinung über die Darstellung von Raum mit. Folgend soll das Konzept von Kellerer (2006) kurz umrissen werden. Dieser stellt grundlegende Überlegungen zur Gestaltung und Realisierung an. Möller, Kostka, Neujahr, und Klingauf (2012) und Möller, Kostka, Neujahr, und Kellerer (2012) zeigen verschiedene Darstellungs metaphern für eine räumliche Anzeige und erarbeiten zugehörige Sichtbereiche. Hierauf aufbauend wird dann der Fokus auf die realisierte Darstellungs metapher gelegt. Eine breite Darstellung der technischen Realisierung findet sich bei Möller (2016). Diese Aspekte können aufgrund ihrer Tiefe in vorliegender Arbeit nicht abgedeckt werden.

In Kapitel 4 wird die Handlungsumwelt im hochagilen Flug charakterisiert. Hier wird die Wichtigkeit von Raumdarstellungen deutlich, sei dies in ziviler wie militärischer Luftfahrt. Es muss einem Piloten im Cockpit möglichst einfach gemacht werden, die ihn umgebende Situation wahrzunehmen, einzuordnen und eine angepasste Handlung abzuleiten. Konventionelle Anzeigen, wie oben charakterisiert, stellen diesen Handlungsraum in immer zwei Dimensionen dar.

Aufgrund dieser Unzulänglichkeit werden bereits seit den 1980er Jahren Konzepte zu neuartigen Anzeigen erstellt (vgl. Adam u. a., 1986; Furness, 1986, 1988, 1996). Diese Konzepte waren aber bisher kaum umsetzbar. Mit der damaligen Displaytechnik ist zwar die Anzeigefläche herstellbar, diese besäße aber nicht die nötige Kompaktheit. Mit dem Erreichen hoher technischer Reife verschiedener Displaytechnologien können nun kompakte und großflächige Displays gefertigt und in Cockpits eingerüstet werden (vgl. Kellerer, 2010).

Kellerer (2006) sieht hier ein Konzept aus *zwei Informationsgruppen* auf einer rechteckigen, großflächigen Darstellungsfläche vor. Die erste Gruppe von Informationen besteht aus der

geeigneten Portierung der konventionellen Formate. Diese werden als feste Fenster am linken bzw. rechten Rand des Bildschirms angezeigt und beinhalten alle Kontrollen und Anzeigen, welche für das Gesamtsystem benötigt werden (s.a. Abbildung 5.3b). Die Positionierung an den Rändern und Fixierung sind wichtig, um eine verlässliche Anzeige und Bedienung zu gewährleisten. Die Fenster sind frei an- und abwählbar sowie auf die Höhe der Anzeige skalierbar. Denkbar ist die gleichzeitige Darstellung von bis zu vier Fenstern im Seitenbereich, deren Kombination auch durch vorher festgelegte Standardeinstellungen und Gruppierungen erfolgen kann.

Der zentrale Displaybereich ist freibleibend für die zweite Informationsgruppe. Diese zweite Gruppe ist die *Umsetzung des Pilot Awareness Formats als bildschirmfüllendes Standardformat mit einer zweidimensionalen Kartendraufsicht.* Diese Ansicht liegt immer im Hintergrund und soll mit zusätzlicher Information angereichert werden können, falls dies die Aufgabe des Piloten erfordert. Zusätzlichen Darstellungen können Sensorbilder, Luftbilder, An- oder Abflugverfahren oder Ähnliches sein. Die Vorteile der vergrößerte Darstellungsfläche werden bei der Interaktion mit der Karte ersichtlich. Kellerer u. a. (2011) weisen darauf hin, dass beim konventionellen Pilot Awareness Format mit einer Displaykantenlänge von 16cm bezüglich der Bedienung und Darstellung Nachteile für den Piloten entstehen, welche durch die größere Fläche aufgehoben werden. So können nun größere Kartenausschnitte mit dem gleichen Detailierungsgrad wie auf den kleineren Displays dargestellt werden, was eine deutlich einfachere Übersicht gewährleistet. Der Wechsel von verschiedenen Skalierungen kann unterbleiben, was Bedienhandlungen und mentale Ressourcen spart. Zudem kann, so Kellerer u. a., aufgrund der Fläche eine weitwinklige und perspektivische Darstellung der Flugsituation erfolgen.

5.3.1 Displayterminologie und Tiefenhinweisreize

Um die folgende Darstellung der verwendeten Anzeigen für raumzeitliche Inhalte zu vereinfachen, wird eine einfache Taxonomie der drei gebräuchlichsten Anzeigen nach Wickens (2000) verwendet, der die Kameraposition in einer virtuellen Szene als definierend ansieht. Wickens unterscheidet in egozentrische, exozentrische und koplanare Darstellung auf Anzeigegeräten. Zudem werden Tiefenhinweisreize beschrieben, die eine eigentlich zweidimensionale Darstellung auf einem Monitor als dreidimensional erscheinen lassen.

Tiefenhinweisreize in pseudo-3D-Darstellungen

Um auf einem flachen, zweidimensionalen Anzeigegerät den Anschein von Dreidimensionalität zu erreichen, bedient man sich bestimmter Abbildungseigenschaften oder Tiefenhinweisreize. Da keine „echte“ Dreidimensionalität erzeugt werden kann (dies würde Stereoskopie erfordern) wird als dreidimensionale Anzeige alles verstanden, was „*[...] perceptual depth or distance cues to create a 3 dimensional image [...]*“ (Wickens, 2000, S. 3-403) nutzt. Diese Definition schließt sowohl stereoskopische als auch zweidimensionale Darstellungen mit ein, im Folgenden wird kein Unterschied mehr zwischen echter und pseudo-dreidimensionaler Darstellung gemacht, es werden zudem nur noch pseudo-dreidimensionale Anzeigen bezüglich Tiefenhinweisreizen betrachtet.

Ein gutes Verständnis von Tiefenhinweisreizen und deren Anwendung „*[...] are crucial for successful product development, launch and consumer acceptance of 3D displays[,] it is all the more important to address human factor issues at the best [...]*“ (Reichelt u. a., 2010, S. 1). In diesem Sinne werden die Tiefenhinweisreize charakterisiert und aufgezeigt, welche sich in den

5 Technologie: Großflächige, räumliche Anzeigen

verschiedenen Displays finden.

Es sind vor allem monokulare Tiefenhinweisreize von besonderer Bedeutung, die im Nahbereich des Betrachters wirksam sind (vgl. Cutting & Vishton, 1995, S. 80). Anzeigen mit „2,5D“ sind durch monokulare Tiefenhinweisreize (vgl. Goldstein, 2002; Reichelt u. a., 2010, S. 1) geprägt, siehe Abbildung 5.4. Eine Erzeugung räumlicher Tiefe wäre ohne diese nicht möglich. Das Zusammenfallen der Wirkung im Nahbereich und der monokularen Einfluss machen die Verwendung dieser Reizklassen auch deshalb besonders erstrebenswert, weil keine zusätzliche Technik zur Darstellung eingesetzt werden muss - ein normaler Monitor reicht aus.

Besonders statische Hinweisreize werden seit Jahrhunderten in der Kunst verwendet und erzeugen den Eindruck räumlicher Tiefe über Objektverdeckung, relative Höhe und Größe im Bild, Konturschärfe, Kontrast, Texturverlauf und die lineare Perspektive. Besonders impres- siv sind einige dieser Eigenschaften in Abbildung 5.8c zu sehen.

Zudem kann durch Dynamik der Tiefeneindruck verstärkt werden: Durch Objektbewegung werden Veränderungen des Bildes auf der Netzhaut hervorgerufen wodurch eine Relativbewegung entsteht. Dies geschieht durch dynamische Parallaxe und dynamische Okklusion. Der Parameter Bewegung und Dynamik innerhalb der Displays wird später noch einmal aufgegriffen.

Okulomotorische Hinweisreize sind an die Physiologie des Auges und dessen Funktionen gekoppelt. Okkulomotorisch findet räumliche Wahrnehmung durch die Interaktion zwischen Konvergenz und Akkommodation statt, zudem spielt die Größe der Pupille (Myosis) eine Entscheidende Rolle um den Fokus in der Betrachtungstiefe festzulegen. Diese Reize werden jedoch nicht weiter betrachtet. Es sei auf die Diskussion in Reichelt u. a. (2010) verwiesen. Die Physiologie in Interaktion zu dreidimensionalen Anzeigetechnologien wird hier beleuchtet.

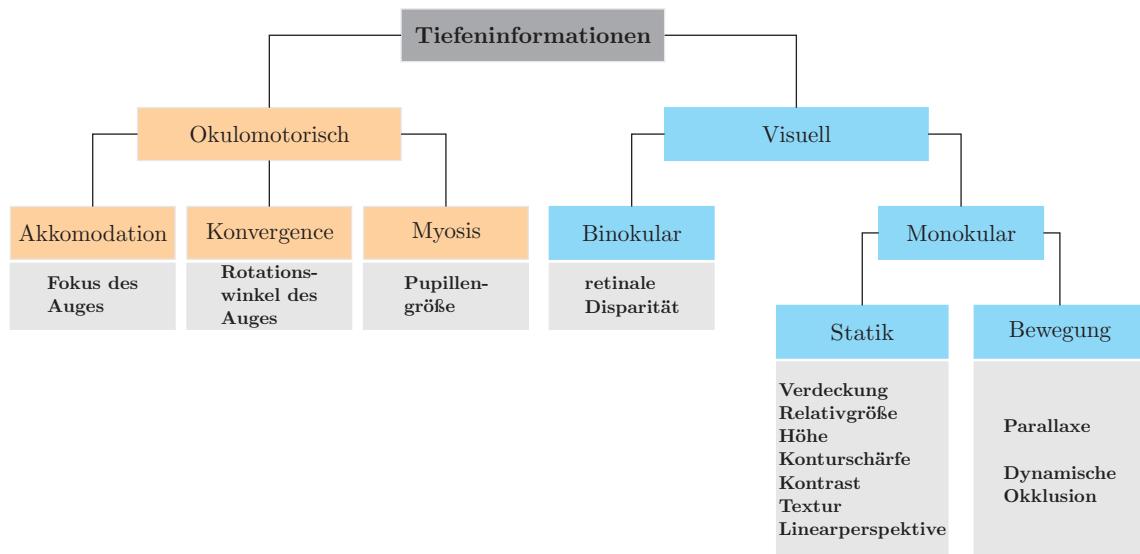


Abbildung 5.4: Die Abbildung zeigt die Gliederung der Tiefenhinweisreize, nach Goldstein (2002), Reichelt u. a. (2010), verändert.

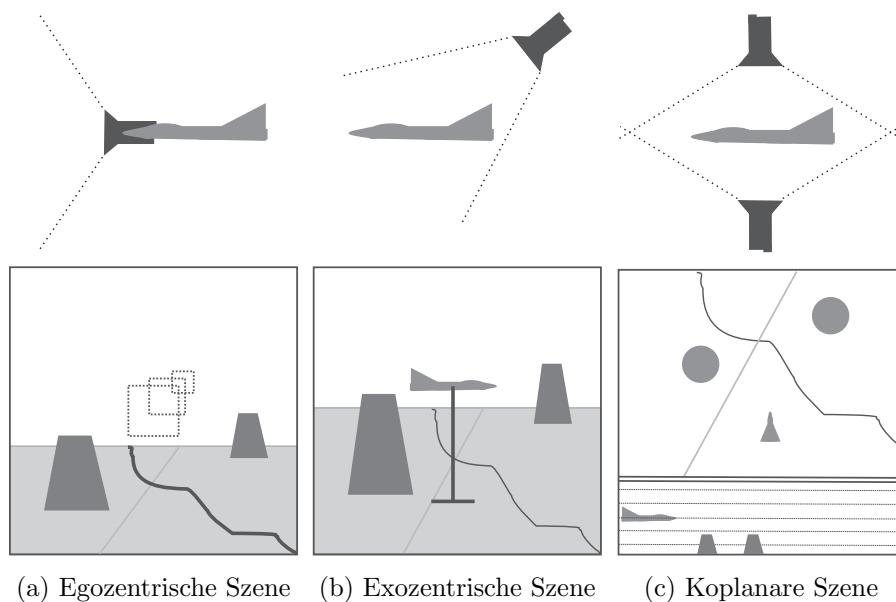


Abbildung 5.5: Darstellungen nach Kameraposition als taxonomische Grundlage der Einordnung von Raumdarstellungen nach Wickens (2000).

Terminologie von Raumdarstellungen

Wickens (2000) charakterisiert verschiedene Ansichten in Flugdisplays durch die Kameraposition relativ zum eigenen Luftfahrzeug, wie in Abbildung 5.5 dargestellt. Der Blickpunkt auf das Geschehen hat Einfluss auf die Darstellung und damit auf die Eignung für verschiedene Aufgaben im Flug. Dies ist durch Kosten für den Betrachter charakterisiert, welche in Tabelle 5.1 aufgezeigt werden.

Bei einer *egozentrischen Raumdarstellung* befindet sich die Kameraposition in Übereinstimmung mit dem Auge des Betrachters, die Kamera nimmt die Position des Ichs ein (vgl. Abbildung 5.5a) und blickt nach vorne in die Szene. Diese Darstellung ist laut Wickens (2000) mit hohen Kosten für eine visuelle Abtastung der Szene verbunden, eine Integration über Blickachsen ist allerdings nicht nötig und piktorialer Realismus¹ kann einfach hergestellt werden. Fokussierte Aufmerksamkeit auf ein Achsenpaar wird benötigt, wenn eine Aufgabe Verhalten in zwei Dimensionen erfordert, die dritte aber zur Aufgabenlösung nicht herangezogen werden muss. Dies ist z.B. bei reinen Höhenänderungen oder reinen lateralen Änderungen der Fall. Eine egozentrische Dreinsicht bietet hier aufgrund der Ambiguität entlang der Sichtlinie Nachteile gegenüber einer Darstellung mit nur zwei Achsen. Zudem gibt Wickens (2000) zu bedenken, dass egozentrische Dreinsichten aufgrund ihrer Limitierung im vertikalen und horizontalen Winkelöffnungen oft zu Schlüssellocheffekten („key hole effects“) führen können: Realitätskonforme, egozentrische Perspektiven zeigen den umgebenden Raum in Ausschnitten (Wickens & Prevett, 1995) mit einem räumlichen Auflösungsvermögen von bis zu 90° pro Achse. Dies limitiert den Blick des Betrachters auf einen bestimmten Sektor und führt so zu einem potentiellen Verlust des Überblickes über die gesamte Situation.

Bei einer *exozentrischen Raumdarstellung* befindet sich die Blickposition der Kamera au-

¹Piktorialer Realismus liegt nach Wickens und Hollands (1999, S. 133) vor, wenn eine Objektrepräsentation auf einer Anzeige das wahre Objekt bildhaft repräsentiert.

5 Technologie: Großflächige, räumliche Anzeigen

	Integriert (Immersed)	Gebunden (Tethered)	Koplanar
Kosten durch visuelle Abtastung	hoch	niedrig	hoch
Kosten durch kognitive Integration über Achsenpaare	niedrig	niedrig	hoch
Prinzip des piktorialen Realismus	bestätigt	bestätigt	verletzt
Anforderung der fokussierten Aufmerksamkeit auf ein Achsenpaar	verletzt	verletzt	unterstützt
Sichtlinienambiguität	Kosten	doppelte Kosten	n.a.
Schlüssellochperspektive	Kosten	n.a.	n.a.

Tabelle 5.1: Die nach Wickens, 2000 entstehenden Kosten bei der Verwendung verschiedener Anzeigen, aufgelöst nach dem Blickpunkt des Betrachters.

ßerhalb des Betrachters meist in einem bestimmten Winkel hinter oder neben dem eigenen Luftfahrzeug (vgl. Abbildung 5.5b) und blickt somit schräg von oben oder der Seite auf die umgebende Szene. Hier ergibt sich ein deutlich geringerer visueller Aufwand, ähnlich wie bei der egozentrischen Darstellung ist auch eine Achsenintegration nicht nötig und es kann bildhaft-real dargestellt werden. Genauso verhält es sich bezüglich der Anforderung fokussierter Aufmerksamkeit auf ein Achsenpaar. Hier ist die Sichtlinienambiguität besonders gravierend. Diese Darstellungsart bietet allerdings einen besonderen Vorteil: Es kann die gesamte umgebende Szene darstellen werden. Allein der Draufsichtwinkel limitiert die Darstellung. Bei einer *koplanaren Raumdarstellung (2D)* gibt es zwei Kamerapositionen, welche gleichzeitig betrachtet werden müssen. Kameraposition eins ist 90° senkrecht über dem Betrachter (siehe Abbildung 5.5c, obere Kamera) und zeigt die Szene als planare Draufsicht. Kamera zwei befindet sich seitlich neben dem Betrachter, die Blickposition der Kamera bildet planar die Höhe über der Entfernung ab (siehe Abbildung 5.5c, untere Kamera). Die Abbildungsart als Kombination zweier planarer Displays muss gewählt werden, um den gleichen Raum darstellen zu können wie in den anderen Darstellungsarten. Die Höhe könnte in einer solchen Abbildung sonst nur als digitaler, numerischer Wert an Konturlinien bei Geländedarstellungen oder als numerischer Wert bei Flugzeugen angegeben werden. Dies würde einen Vergleich der Darstellungen deutlich erschweren und z.T. nicht möglich machen. Die koplanare Darstellung benötigt durch diese Trennung hohen visuellen Aufwand, um zu einem integrierten mentalen Bild zu gelangen. Piktoraler Realismus kann nicht gegeben werden, allerdings fällt es hier deutlich leichter Aufmerksamkeit auf Achsenpaar zu lenken, da jede der getrennten Abbildungen über genau zwei Achsen verfügt.

Mit Hilfe dieser Trennung werden folgend nun die drei zu evaluierenden Ansichten charakterisiert, wobei der größte Anteil der Erklärung auf der egozentrischen, weitwinkligen Dreinsicht liegt.

5.3.2 Egozentrische, weitwinklige Dreinsicht

Eine holistische Abbildung der dreidimensionalen Situation ist bisher kaum umgesetzt, weil weder Display- noch Rechenkapazitäten dies bisher zugelassen hätten (vgl. Roscoe, Corl, & Jensen, 1981). Mit großflächig einsetzbaren LCD- oder Rückprojektionsdisplays (Becker, Neujahr, Sandl, & Babst, 2008) können nun technisch reliable, großflächige Anzeigen in Flug-

zeugen verbaut werden.

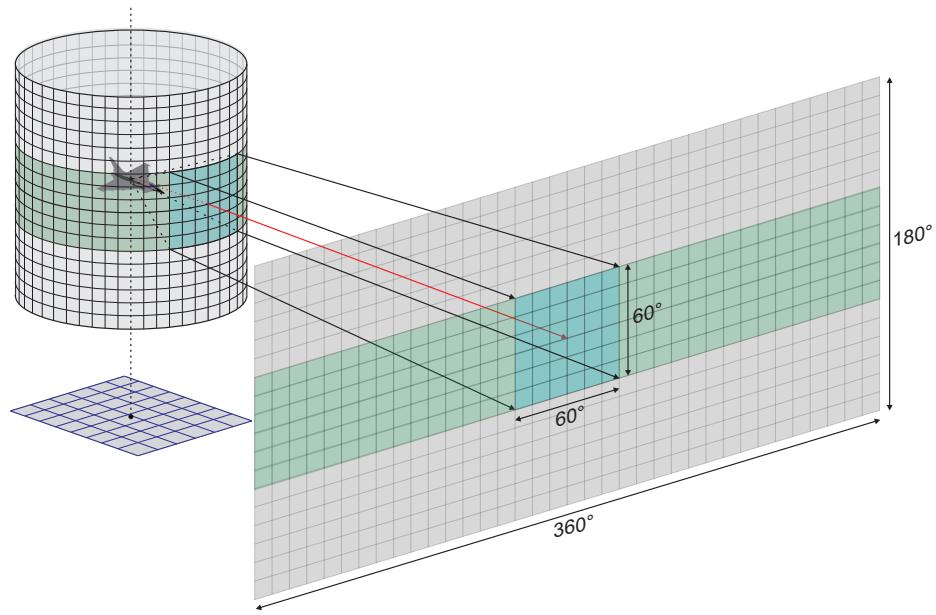
Zwar können bei großflächige Darstellungen von Karten gewisse Vorteile bezüglich der Gesamtübersicht und Bedienung vermutet werden, diese sollen aber durch eine egozentrische, dreidimensionale Darstellung von Raum noch weiter ausbaubar sein. Kellerer (2006) verwendet zur Darstellung größerer Sichtbereiche eine Zylinderprojektion. Diese Projektionsart erlaubt es, die Darstellung einer natürlichen Szene so zu verzerrn, dass eine egozentrische Dreinsicht auf einer rechteckigen Darstellungsfläche ermöglicht wird.

Auswahl einer Projektionsart zur egozentrischen Raumdarstellung Möller, Kostka, Neujahr, und Klingauf (2012) greifen das Konzept von Kellerer (2006) auf und stellen der Zylinderprojektion eine zweite Darstellungsmetapher, die Kugelprojektion gegenüber. Beide Darstellungsmetaphern sind in Abbildung 5.7 zum besseren Verständnis dargestellt. In Abbildung 5.7 wird die jeweilige Projektionsfläche (Zylinder oder Kugel) auf die davor liegende, rechteckige Fläche gebracht. Der Betrachter befindet sich dabei in der Mitte der Kugel oder des Zylinders. Die Darstellung des horizontalen (entlang der Azimutachse) und vertikalen (entlang der Elevationsachse) Blickfeldes ist für die Darstellung in einen grünen und einen blauen Bereich eingeteilt. Der grüne Bereich stellt jeweils $+/- 180^\circ$ Grad Azimut und $+/- 30$ Grad Elevation dar, erstreckt sich also um den Betrachter panoramisch herum. Der blaue Bereich ist im zentralen Sichtfeld lokalisiert und stellt mit einer Ausdehnung von $+/- 30^\circ$ Azimut und Elevation eine relativ realitätskonforme Abbildung dar. Die Abwicklung bei beiden Metaphern erfolgt entlang des Azimut, der Elevationswinkel wird aufgeweitet. Wo bei der Projektionsmetapher Zylinder (Abbildung 5.6a) Längentreue vorhanden ist, ist bei der Projektionsmetapher Kugel (Abbildung 5.6b) Winkeltreue gegeben (vgl. Möller, 2016). Beide Abbildungen zeigen starke Verzerrungen, bei der Kugel z.B. werden polnahe Flächen in der rechteckigen Darstellung stark aufgeweitet.

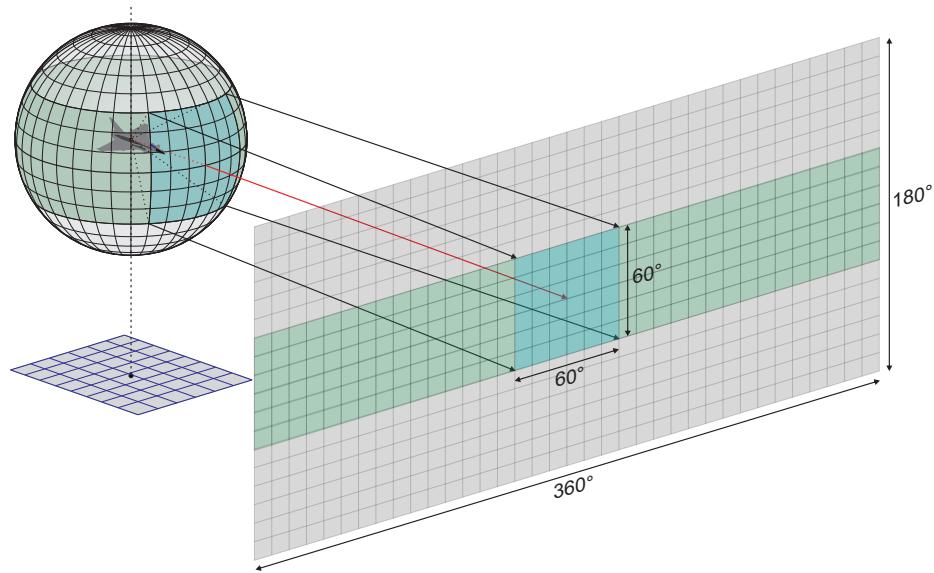
Möller, Kostka, Neujahr, und Klingauf (2012) sieht diverse Vorteil in den verschiedenen Darstellungen und führt eine subjektive Nutzenbewertung mit neun Piloten durch. Ziel ist es, die für einen Flugeinsatz geeignete Projektionsart festzulegen. Hierzu werden den Probanden die beiden Projektionsarten Zylinder und Kugel in einem interaktiven Matlab-Plot vorgeführt. Dies ermöglicht einen direkten Vergleich und die Abschätzung des Einflusses von Verzerrung auf primäre Parameter wie Azimutwinkel eines Objektes, Entfernung und Elevation. In Tabelle 5.2 sind die Vorteile der Projektionen aufgelistet, nach denen von den Experten auch die Bewertung vorgenommen haben. Nachdem sich die Experten mit den Darstellungen vertraut gemacht hatten, sollten sie die relative Wichtigkeit der einzelnen Vorteile bewerten. Möller, Kostka, Neujahr, und Klingauf stellen aufgrund dieser Einschätzung fest, dass die Kugel höhere Bewertungen bekommt als der Zylinder, also von den Experten präferiert wird.

In einem weiteren Teil der Befragung lassen Möller, Kostka, Neujahr, und Klingauf (2012) Probanden die vertikalen und horizontalen Blickfelder selbst wählen, um herauszufinden wie groß die Raumaußenschnitte sein sollen, die in verschiedenen Situationen als räumliche Anzeige benötigt werden. Erfasst wurden die Größe des resultierende Blickfeld in beiden Dimensionen in Grad. Die Experten wählen hierbei in der horizontalen Dimension meist Blickfelder, die weit über eine realitätskonforme Darstellung hinausgehen und immer über $+/- 180^\circ$ liegen. Der vertikale Blickwinkel wurde mit $+/- 90^\circ$ bis $+/- 120^\circ$ eingestellt. Aus diesen Ergebnissen sind zwei Schlüsse ableitbar:

1. Die sphärische Projektion ist der Zylinderprojektion für die Darstellung einer Panoramaansicht vorzuziehen.



(a) Visualisierung der Zylinderprojektion



(b) Visualisierung der Kugelprojektion

Abbildung 5.6: Die Abbildung zeigt die Projektionsarten (a) Zylinder und (b) Kugel. Der Vergleich korrespondierender Segmente der jeweiligen Projektionsfläche und der auf eine rechteckige Fläche dargestellten Segmente macht die zu den Polen extreme Verzerrung deutlich.

Zylinderprojektion	Kugelprojektion
Z1 Die vertikale Anzeigedimension entspricht der gewohnten Wahrnehmung räumlicher Gegebenheiten.	K1 Ein vertikales Blickfeld von 180° kann die gesamte Umgebung darstellen.
Z2 Die Darstellung besitzt einen sehr guten Tiefeneindruck.	K2 Die dargestellten Elevationswinkel sind äquidistant.
Z3 Die Auflösung in den äußeren Grenzflächen der Anzeige ist hoch.	K3 Die Auflösung im zentralen Displaybereich ist hoch.
Z4 Es kann eine hohe Entfernungsauflösung bei nahen Entfernungen dargestellt werden.	K4 Es kann eine hohe Entfernungsauflösung bei tiefen Anzeigen dargestellt werden.
Z5 Die Höhendarstellung in horizontaler Blickrichtung ist linear.	K5 Die Entfernungsauflösung bei niedrigen Blickhöhen ist gut.
Z6 Es findet nur geringe Höhenverzerrung in nicht horizontalen Blickrichtungen statt.	K6 Die Höhenauflösung bei tiefen Anzeigen ist gut.

Tabelle 5.2: Die Vorteile der Darstellungsmetaphern Zylinder und Kugel (Möller, Kostka, Neujahr, & Klingauf, 2012)

2. Als Standardeinstellung für die Größe des Blickfeldes können 180° in der horizontalen und 90° in der vertikalen Dimension gesetzt werden, eine Erweiterung auf die maximalen Werte ist aber aufgrund der sphärischen Projektion möglich und in manchen Fällen bedenkenswert.

Im Folgenden wird die Kugelprojektion betrachtet. Diese dient als primäre Darstellung und soll dann mit der derzeit gängigen Darstellung verglichen werden. Erweitert wird dies durch eine exozentrische Darstellung.

Kugelprojektion, Verzerrung und Indikatrix Die von Experten präferierte Kugelprojektion führt, wie in Abbildung 5.6b ersichtlich, zu Verzerrungen realer Gegebenheiten. Diese Darstellung, wie auch der Zylinder, sind Anamorphosen, also verzerrte Abbilder der Wirklichkeit: Eine Anamorphose „[...] bezieht sich auf die morphé, die Gestalt oder die Form deren Verzerrung oder Deformation die Vorsilbe ana ausdrückt: anamorphos bedeutet in diesem Sinne das „Verformte“ oder „Unförmige“[...]“ (Schramm, Schwarte, & Lazardzig, 2006, S. 31). Gleichwohl ist diese Verzerrung mehr subjektiv erlebt und - auch wenn durch das Wort allein der Begriff des Chaos naheliegt - folgen diese Darstellungen doch klaren, mathematischen Regeln welche sie exakt beschreiben. Bedeutende Beispiele sind über viele Jahrhunderte in der Kunstgeschichte zu finden, unter anderem M.C. Eschers „Hand mit Kugel“ oder die in Abbildung 5.7 dargestellte Anamorphose des betenden Heiligen Hieronymos („Saint Jerome Praying“, Leeman, Elffers, & Schuyt, 1976, S. 137). Zweck dieser Abbildungsart kann weniger in der klaren Darstellung sondern vielmehr in der Verschleierung gesehen werden. Diese Kunstform und das Wissen der Entschlüsselung setzte sich über geltende Moralvorstellungen oder Opferung der Zeit hinweg (vgl. Leeman u. a., 1976, S. 149-153). Diese Verzerrung für technische Darstellungen nutzbar zu machen heißt, ihre Auswirkungen im Kontext zu untersuchen.

Für die Betrachtung der Raumdarstellungen auf Displays sind deshalb zwei Aspekte von besonderer Bedeutung. Die Verzerrung durch die Projektion ist beabsichtigt um eine ganz-



(a) Zylinderanamorphe

(b) Fotografie der Zylinderoberfläche

Abbildung 5.7: Abbildung 5.7a zeigt die Zylinderanamorphe „Saint Jerome Praying“ eines Anhängers von Caravaggio (Leeman, Elffers, & Schuyt, 1976, S. 137). Abbildung 5.7b zeigt die Spiegelung des Gemäldes auf einer Zylinderoberfläche, welche das Gemälde entzerrt und in den Raum unserer normalen Wahrnehmungserwartung überführt.

heitliche Darstellung zu gewährleisten. Diese birgt aber das Problem möglicher *Fehldeutungen von Objektpositionen*. Diese möglichen Fehldeutungen werden noch durch einen zweiten Aspekt verstärkt: Jedes Display für Raumdarstellung muss geeignet sein, *Bewegung erwartungskonform* darzustellen. Objektbewegungen in einer Kugelprojektion sind zwar ebenso deterministisch wie die Abbildungsvorschriften, für einen Menschen unter Umständen aber schwer zu deuten. Im Folgenden wird aufgrund der von Möller, Kostka, Neujahr, und Klingauf (2012) getroffenen Auswahl nur noch die Kugelprojektion betrachtet. Der Zylinder als Darstellungsmetapher wird nicht weiter verfolgt.

Die Verzerrung einer auf der Kugelprojektion basierenden, egozentrischen Ansicht wird in Abbildung 5.6b verdeutlicht. In Abbildung 5.8c ist die Kugelprojektion als Tissotsche Indikatrix dargestellt. Eine Indikatrix ist ein Hilfsmittel, welches die Verzerrung auf Karten verschiedener Projektion offensichtlich macht (Snyder, 1993, S. 147 ff.). Um die Verzerrung aufzuzeigen, bedient man sich einer bekannten und einfachen geometrischen Figur und zeichnet diese auf das Original und dessen verzerrtes Abbild. Üblicherweise werden auf die Oberfläche eines Körpers eine bestimmte Anzahl Kreise gleicher Größe gezeichnet. Bildet man nun den Körper (und die Kreise) mit Hilfe einer bestimmten Projektionsvorschrift ab, ergeben sich je nach Lage der Kreis und der gewählten Abbildungsvorschift verschiedene geformte Ellipsen. Anhand des Vergleiches des ursprünglichen Kreises an einem bestimmten Ort und dessen Entsprechung nach der Abbildung kann die örtliche Verzerrung durch die Abbildung verdeutlicht werden. Die Flächen und Formen der resultierenden Ellipsen dienen dabei als Indikator der Verzerrung.

Für die egozentrische Darstellung wird ein kartesisches Gitter verwendet, welches in planaren Darstellungen üblich ist. In Abbildung 5.8a ist eine normale Kartendraufsicht mit in der Mitte positioniertem Betrachter (grüner Pfeil) dargestellt, die Blickrichtung ist 0° Azimut. Die „Karte“ ist eine Entfernung x Entfernungs-Darstellung mit einer Ausdehnung von 12×12 Längeneinheiten. Das durch rot-weiß-Färbung entstehende Gitter repräsentiert eine kar-

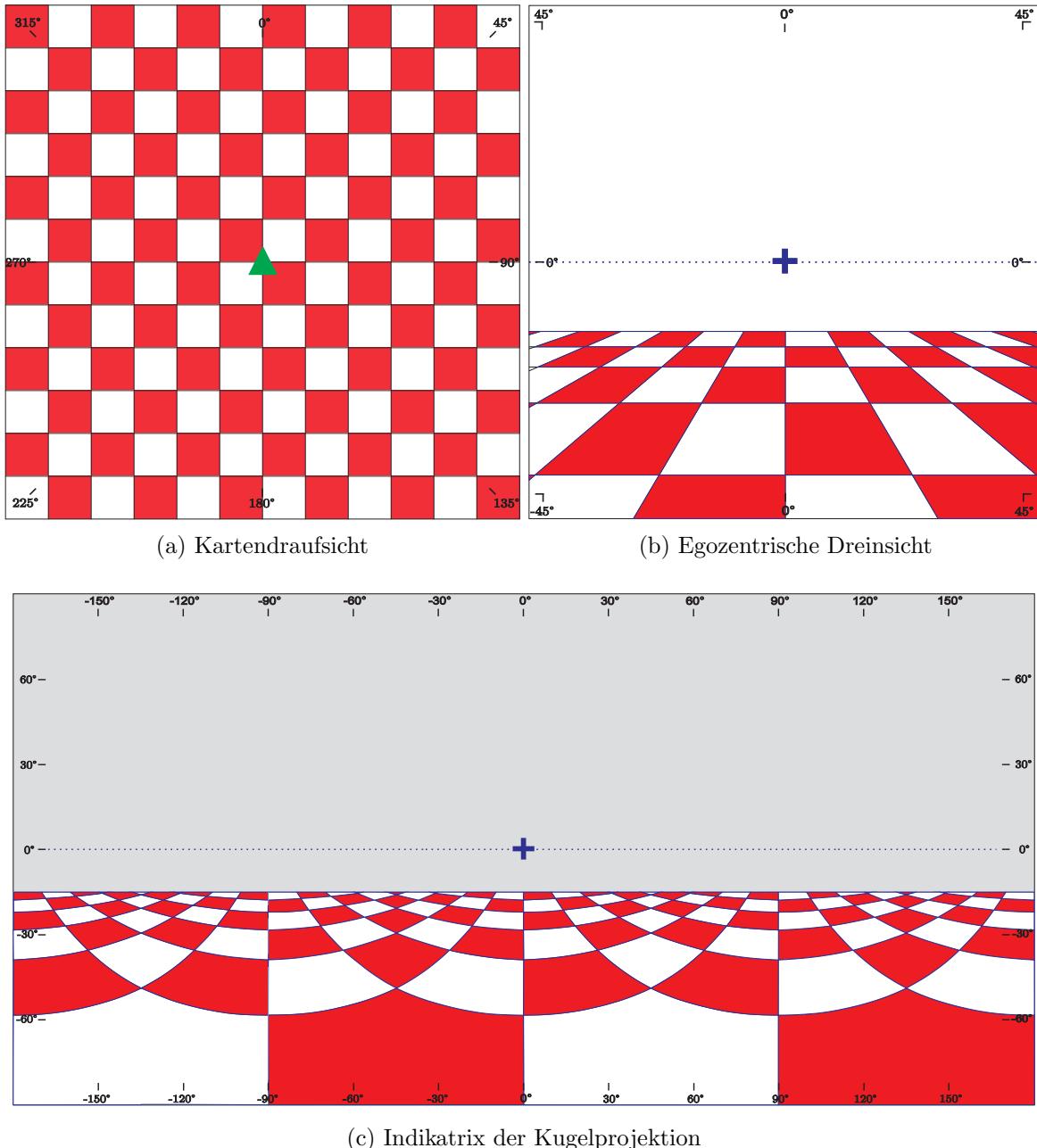


Abbildung 5.8: Veranschaulichung der Verzerrung der Kugelprojektion mit Hilfe einer Tissot'schen Indikatrix. Abbildung 5.8a zeigt die ursprüngliche Karte mit definierter Ausdehnung, Abbildung 5.8c stellt die durch die Abbildungsvorschrift entstandene Dreinsicht. Vergleiche des ursprünglichen kartesischen Gitters der Karte und des resultierenden Gitters am Boden der Dreisicht offenbaren die starken Verzerrungen der Projektion. In Abbildung 5.8b ist zum Vergleich eine realitätskonforme Darstellung mit einem Öffnungswinkel von $+/- 45^\circ$ gegeben, der ebenfalls ein kartesisches Referenzgitter zugrunde gelegt ist.

5 Technologie: Großflächige, räumliche Anzeigen

tesische Referenz in der Objektpositionen als XY-Koordinaten der beiden Achsen angegeben werden können. Alle Gitterabstände sind gleich. Dieses Gitter wird in der Abbildung im Sinne der Tissot'schen Indikatrix verwendet, nur dass statt Kreisen Quadrate dargestellt sind.

Abbildung 5.8c zeigt die gleiche statische Situation als egozentrische Dreinsicht auf Basis der Kugelprojektion. Die egozentrische Panoramadarstellung vermittelt einen perspektivischen Eindruck. Das Blickfeld beträgt 360° in der Horizontal- und 180° in der Vertikalebene, es zeigt also die gesamte umgebende Situation, gleich der Kartendarstellung in Abbildung 5.8a. Die Betrachterposition ist nun aufgeweitet, 0° Azimut/Elevation ist durch das im Horizont angebrachte, blaue Kreuz gegeben. Die Pole der Kugel (s.a. Abbildung 5.6b) befinden sich am unteren und oberen Bildrand, aus den Polpunkten werden Pollinien über die gesamte Weite der Darstellung. Das regelmäßige Muster des kartesischen Gitters wird stark verzerrt. Besonders an den zeltartig aufgeweiteten, auf der Grundlinie stehenden „Quadranten“ ist die Verzerrung durch die Projektion zu erkennen.

Die Indikatrix hat zwei Grundfunktionen. Oben dargestellt ist eine dieser Funktionen; sie kann als profundes Hilfsmittel die Analyse von Verzerrungen verschiedener Abbildungsvorschriften oder deren Vergleich ermöglichen. Der Aspekt der Analyse impliziert bereits die zweite Funktion: Mit Hilfe einer Indikatrix kann das Grundverständnis für die Darstellung von Raum trainiert werden. Sie kann helfen, statisch oder dynamisch, die Deutung zu erleichtern und die Effekte der Verzerrung aufzuheben. In einem Kurrikulum für Anzeigen, welche auf einer Kugelprojektion basieren, kann die Indikatrix die Deutung von Objektpositionen erleichtern. Besonders wichtig wird diese Unterstützung bei dynamischen Anzeigen und einer Aufweitung der Perspektive auf die voll möglichen 360° - die entstehenden Bewegungsartefakte sind vor allem bei Kurven schwer zu beurteilen. Die Verwendung der Indikatrix als Hilfestellung muss deshalb, zumindest implizit, in einer Probandeninstruktion bei Bewertungsexperimenten geeigneten Raum finden.

In Abbildung 5.9 ist ein resultierendes Bild dieser egozentrischen Rundumsicht gegeben, in welcher einige Objekte eingebracht sind. Die Tiefenwahrnehmung wird so durch weitere, monokulare Tiefenhinweisreize verstärkt. Die perspektivischen Darstellung führt zu einer Tiefenkompression. Diese ist am besten entlang der Hauptachsen ($0, +/−90, +/−180$) erkenntlich. Es verkürzen sich die Längen der Quadrate als Funktion der Tiefe (s. Abbildung 5.8c). Der Boden der Darstellung wird mit einem linear in der Tiefe zunehmenden Deckungsgradienten versehen. Dies erzeugt eine einfache Textur (s. Abb. 5.9). Weitere Hinweisreize werden durch die in der Projektion dargestellten Objekte erzeugt. Diese Objekte besitzen Lotlinien mit Höhenmarkierungen und Tellerfuß auf der Grundfläche. Sie werden mit der Tiefe entsprechend verkleinert und verdecken sich so in Blickrichtung des Betrachters, was zusätzliche Blicktiefe erzeugt. Der resultierende, räumliche Eindruck dieser Darstellung ist in statischen wie dynamischen Szenen stabil und überzeugend.

Die Bodenfläche von Abbildung 5.9 enthält ein polares Gitter zur Entfernungs- und Winkelbestimmung. Die Verzerrung, ähnlich zur Indikatrix in Abbildung 5.8, kann im Vergleich mit Abbildung 5.10 erfolgen. Wo in der Kartendraufsicht um den Betrachter herum konzentrische Kreise dargestellt sind, die durch die 30° -Segmentachsen unterbrochen werden, sind diese in der Kugelprojektion zu Linien transformiert. Die Bedeutung des zugrundeliegenden Gitters für die Verständlichkeit der Darstellung wird in einem späteren Kapitel (siehe Kapitel 8.2) thematisiert.

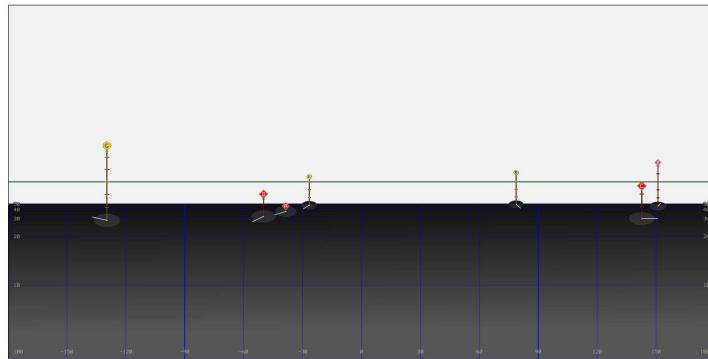


Abbildung 5.9: Egozentrische Darstellung mit Objekten.

5.4 Konventionelle räumliche Anzeigen

Um der derzeitigen Darstellung gerecht zu werden und einen Vergleich zu ermöglichen, werden zwei weitere Darstellungen verwendet. Diese können ebenso die gesamte umgebende Situation zeigen. Folgend werden zwei konventionelle Darstellungsmöglichkeiten räumlicher Situationen aufgezeigt. Dies ist zum einen die koplanare Darstellung (Abschnitt 5.4.1) mit Karte und Höhenprofil und zum anderen die exozentrische Draufsicht (Abschnitt 5.4.2).

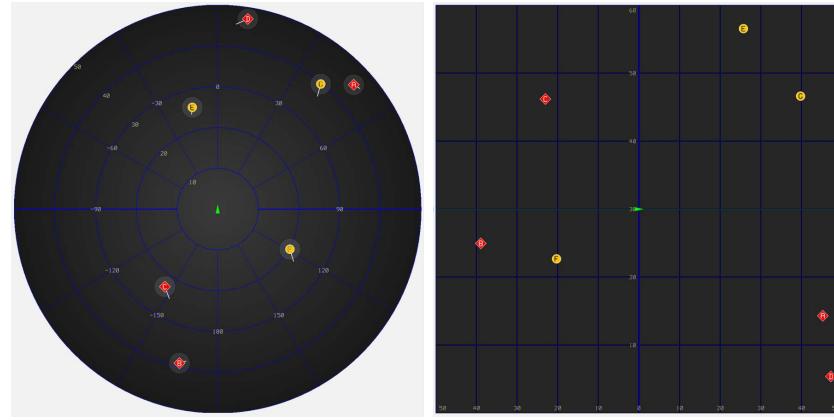
5.4.1 Ko-Planare Darstellung des umgebenden Raums

Die koplanare Darstellung (2D, Abbildung 5.10) von Raum verwendet zwei zweidimensionale Darstellungen, eine Kartendraufsicht (Entfernung x Entfernung) und eine Elevationsdarstellung (Höhe x Entfernung).

Abbildung 5.10 zeigt die Kartendraufsicht, die sich stark an der in Abbildung 5.2b orientiert. Die Darstellung ist ebenfalls egozentriert, mittig dargestellt ist das Symbol des Betrachters als grüner Pfeil mit der Hauptblickrichtung. Aufgrund dieser egozentrischen Referenz wird das Koordinatensystem stets mitgeführt. Das Koordinatensystem ist polar und nicht kartesisch und in 30° Segmente unterteilt. In äquidistanten Abständen sind Entfernungslien angebracht, welche eine Abschätzung einer Entfernung ermöglichen.

Die Elevationsdarstellung beschreibt eine zweidimensionale Aufspannung durch die Darstellung von Höhe über Entfernung. Diese Darstellung ist stark an der Elevationsansicht in Abbildung 5.2c orientiert. Auf der Ordinate ist die Höhe abgetragen, auf der Abszissenachse die Entfernung. Die Darstellung ist geteilt und zeigt den gesamten umgebenden Raum auf. Eine Vergleichbarkeit mit der Kugelprojektion und der exozentrischen Ansicht ist so gegeben. Objekte der vorderen Hemisphäre sind rechts und Objekte der hinteren Hemisphäre links der Ordinatenachse dargestellt. Mittig ist der Betrachterblickpunkt gegeben. Dieser liegt auf einer sekundären Ordinate.

Um ein Objekt erfolgreich zu lokalisieren, werden immer beide Ansichten benötigt. Entfernung und Winkel relativ zum Betrachter sind aus der Karte ablesbar, die Höhe muss aus der Elevationsdarstellung entnommen werden. Diese drei Werte müssen dann vom Betrachter zu einem Raumbild integriert werden. Für eine dynamische Aufgabe, z.B. einer Objektverfolgung, ist in dieser Ansicht also ein stetiges Wechseln zwischen beiden Darstellungen nötig. In Kapitel 6 werden Blickwechselmuster zwischen verschiedenen Displays in einer realitätsnahen Aufgabe analysiert und diese Integrationsaufgabe von mehreren Displays betrachtet.



(a) Kartendraufsicht mit polarem Gitter
(b) Höhendarstellung beider Hemisphären

Abbildung 5.10: Die Koplanare Anzeige aus Karten- und Höhendarstellung.

Diese Ansicht bietet einem Betrachter zwei zweidimensionale Bilder auf dieselbe Situation. Der Integrationsgrad ist dementsprechend niedrig, es wird kein Tiefeneindruck generiert. Die Darstellung entspricht dem jetzt im Eurofighter realisierten Pilot Awareness Format und der Elevationsdarstellung (siehe Abbildung 5.2). Aus Gründen der Vergleichbarkeit der Ansichten musste die Elevation allerdings um die hintere Hemisphäre erweitert werden. Dies findet sich nicht im Original.

5.4.2 Die exozentrische Ansicht zur Darstellung umgebenden Raums

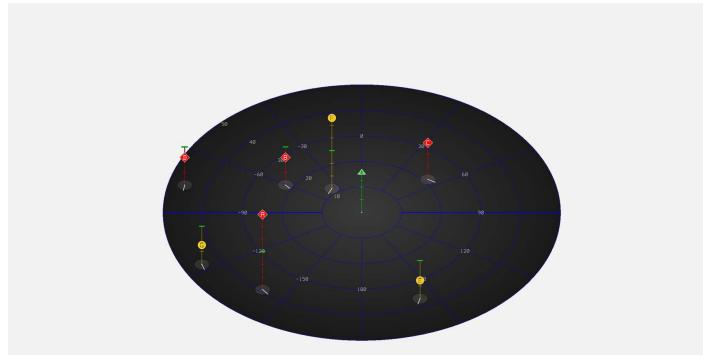


Abbildung 5.11: Exozentrische Darstellung

In Abbildung 5.11 ist die dritte wichtige Darstellung von Raum gegeben. Sie wurde aufgrund Ihrer Bekanntheit und der holistischen Raumdarstellung gewählt.

Die *exozentrische Ansicht* zeigt eine eigentlich planare Kartendraufsicht, die mit einem Winkel von 40° geneigt ist. Durch die Neigung entsteht keine lineare Perspektive oder Tiefenkompression. Die Darstellung erwirkt einen dreidimensionalen Eindruck fast nur durch enthaltene Objekte, deren Darstellung und Eigenschaften. Wie auch bei der egozentrischen Ansicht verfügen alle Objekte über ein Lot mit Höhenmarken und einem Teller auf der Grundfläche. Dies ermöglicht die Darstellung von Objektverdeckung, relativer Position und Größe sowie

Objekthöhen in erwartungskonformer Weise. Um die Beobachterposition hervorzuheben und eine Textur als zusätzlichen Hinweisreiz einzuführen, wurde die Grundfläche mit einem Farbgradienten belegt, welcher vom Mittelpunkt nach außen hin höher wird.

Die exozentrische Ansicht ist somit, wie die Karte, eine einfache Entfernungs- x Entfernungs-Darstellung. Durch die Neigung und das Einbringen von Objekten, die monokulare Tiefenreihe bereitstellen, wird räumlicher Eindruck erzeugt. So entfällt eine zweite und unabhängige Darstellung der Höhe wodurch auch der Blickwechsel zwischen verschiedenen Anzeigen unterbleiben kann.

5.5 Anpassung der Darstellungstaxonomie

Die in den Abschnitten 5.3 und 5.4 beschriebenen Darstellungen sind nicht in allen Punkten konform mit der von Wickens (2000) erstellten Taxonomie. Ergänzend soll deshalb ein Vergleich und Überblick der Unterschiede zwischen der Taxonomie und den realisierten Anzeigen erfolgen. Kontrastiert werden dabei die Erweiterungen der Anzeigen über die in der Taxonomie beschriebenen Merkmale hinaus. Der Vergleich ist in Tabelle 5.3 beschrieben und stellt jeweils die von Wickens (2000) beschriebene Eigenschaft der realisierten gegenüber.

In den meisten Eigenschaften stimmen beide Realisierungen überein. Allerdings sind drei Aspekte bedeutsam unterschiedlich. Bei der koplanaren Ansicht ist gegenüber dem von Wickens (2000) beschriebenen hohen Aufwand der visuellen Abtastung ein weiter erhöhter festzustellen. Die Darstellung besteht aus einer Karte und einer um die zweite Hemisphäre erweiterten Höhen-Entfernungsdarstellung. Diese Erweiterung lässt zwar nun eine Darstellung des gesamten Raumes zu, erhöht aber ebenso den Aufwand bei visueller Erfassung. Weitere Kosten entstehen durch die kognitive Integration über Achsenpaare, da die in der Höhendarstellung abgebildete zweite Hemisphäre zur Darstellung des vollen Koordinatensystems führt und somit auch zur Integration über die gesamte Achsenlänge.

Die exozentrische Ansicht entspricht in allen Eigenschaften der von Wickens skizzierten Darstellung.

Die egozentrische Perspektive bei Wickens (2000) endet bei realitätskonformen Öffnungswinkeln. Meist werden nur bis $+/- 45^\circ$ in Azimut und Elevation dargestellt. Diese stellen als Volumeninhalt nur 25% des gesamten Raums dar und generieren so das Schlüssellochproblem: Soll eine solche Darstellung genutzt werden, um Situationsbewusstsein für den umgebenden Raum und die darin enthaltenen Elemente zu generieren, muss dieser Ausschnitt entweder geschwenkt werden oder die eigene Bewegung entsprechend angepasst werden. Mit Hilfe der Kugelprojektion (Abbildungen 5.6b, 5.8c und 5.9) wird eine holistische Darstellung des gesamten Raumes möglich. Die Darstellung variabler Blickfelder wird durch die Erweiterung der Öffnungswinkel ermöglicht. Es können bis zu 360° im Azimut dargestellt werden, die Seitenränder der Darstellung stellen die geteilte $+/- 180^\circ$ -Line dar. Ebenso sind $+/- 180^\circ$ in der Elevation möglich.

Mit der Erweiterung der konformen, egozentrischen Darstellung hin zur weitwinkligen Ego-perspektive wird die Schlüssellochproblematik gelöst. Geht man jedoch über konforme Darstellungswinkel hinaus kommt es zu abbildungsinhärenen Verzerrungen. Diese Verzerrungen haben Einfluss auf die Verortung von Objekten in der Darstellung und die Bewegungseinschätzung. Über eine geeignete (Bewegungs-) Indikatrix kann versucht werden, die Darstellung zu trainieren und die Leistung entsprechend zu steigern.

Für die weitere Betrachtung werden die drei Ansichten als PANDIS (egozentrische weitwinkli-

5 Technologie: Großflächige, räumliche Anzeigen

Darstellungsart Eigenschaft	Egozentrisch Wickens PANDIS		Exozentrisch Wickens EXO		Koplanar Wickens Erweitert	
	Wickens	PANDIS	Wickens	EXO	Wickens	Erweitert
Kosten durch visuelle Abtastung	hoch	hoch	niedrig	niedrig	hoch	höher
Kosten durch kognitive Integration über Achsenpaare	niedrig	niedrig	niedrig	niedrig	hoch	höher
Prinzip des Piktoralen Realismus	Bestätigt	Bestätigt	Bestätigt	Bestätigt	verletzt	verletzt
Anforderung der fokussierten Aufmerksamkeit auf ein Achsenpaar	verletzt	verletzt	verletzt	verletzt	Unterstützt	Unterstützt
Sichtlinienambiguität	Kosten	Kosten	doppelte Kosten	doppelte Kosten	n.a.	n.a.
Schlüsselloch-perspektive Verzerrung	Kosten	keine Kosten	n.a.	keine Kosten	n.a.	keine Kosten
	niedrig	hoch	keine	keine	keine	keine

Tabelle 5.3: Die nach Wickens (2000) entstehenden Kosten bei der Verwendung verschiedener Anzeigen, aufgelöst nach dem Blickpunkt des Betrachters.

ge Darstellung), EXO (exozentrische Darstellung) und 2D (koplanare Darstellung) bezeichnet. In den entsprechenden Kapiteln werden Unterschiede zur obigen Charakterisierung hervorgehoben. Sie unterscheiden sich aber nur in der für die Evaluation nötigen Aspekten.

6 Situationsbewusstsein und Workload bei einer Luftbereichsüberwachung

Im Folgenden wird eine explorative Auswertung von Daten einer Studie vorgenommen, um zu verstehen, wie Piloten Situationsbewusstsein im Cockpit eines hochagilen Flugzeuges bilden. Dazu werden Blickdaten aus einem Experiment zur Bewertung des SAGAT (Stockmann, 2011) bezüglich Blickzuwendungsstrategien untersucht. Die dargestellten Blickmuster sollen einen Einblick in den Aufbau und Erhalt von Situationsbewusstsein in einer Luftbereichsüberwachung liefern und den raumzeitlichen Fokus des Evaluationsvorhabens mitbegründen. In der zugrundeliegenden Studie von Stockmann, 2011 steht der Vergleich und Zusammenhang zweier Methoden zur Erfassung von SB im Vordergrund: der Fragebogen SAGAT (Endsley, 1988b) und die Erhebung von Blickbewegungen. Die Probanden, ehemalige und aktive Jetpiloten, hatten die Aufgabe, eine Bereichsüberwachung (Combat Air Patrol, CAP, s.a. Kellerer, 2010, S. 40) durchzuführen. Hierzu werden drei Informationsdisplays des Eurofighter-Cockpits (Radarpeilung, Karte und Höhenprofil) abgebildet, in welchen dieses spezifische Szenario dargeboten wird. Um eine repräsentative Belastungsumgebung zu generieren, wird neben der Bereichsüberwachung eine Flugaufgabe durch kompensatorisches Tracking im Head-Up Bereich simuliert, mentale Belastung wird durch eine invertierte Readback-Aufgabe mit sechs numerischen Werte erzeugt; diese Kombination aus Bereichsüberwachung, motorischer und kognitiver Zusatzbelastung evoziert ein realitätsnahes Simulationssetting (Eichinger, 2011, S. 81 und Kellerer, 2010, S. 70). Die Probanden bewerten die Situation als komplex und fordernd (Stockmann, 2011).

Um eine die *SAGAT-Befragung* durchführen zu können, wurde das Szenario angehalten und die Situation okkludiert. Die Piloten müssen Fragen zum Szenario und den darin enthaltenen Luftfahrzeugen beantworten. Es wurden z.B. Höhe, Entfernung, Geschwindigkeit aber auch Einflug erfragt. Diese Angaben wurden nach dem Experiment einem Piloten vorgelegt, welcher für die z.T. breit streuenden Antworten Wertebereiche festlegte, um die Antworten klassifizieren zu können.

Bei der *kompensatorischen Trackingaufgabe* wurde als Leistungsmaß der RMSE (root mean square error) erhoben. Die Aufgabe war kontinuierlich während des Szenarios gegeben und wurde ebenfalls mit der Okklusion der Situation für die SAGAT-Fragen unterbrochen. Die Auslenkung des Kreuzes wurde von den Probanden mit einem handelsüblichen Joystick kontrolliert und korrigiert.

Bei der *invertierten Readback-Aufgabe* wurden den Probanden sechsstellige Zahlen präsentiert, welche in umgekehrter Reihenfolge wiedergegeben werden mussten. Die Antworten wurden vom Versuchsleiter aufgenommen und die Leistung in der Aufgabe über die richtig genannten Elemente erhoben (s.a. Eichinger, 2011).

Die *Bereichsüberwachung* wurde mit den dafür vorgesehenen Displayinhalten des Eurofighter vorgenommen: Eine Karte, ein Höhenprofil (Elevation) und die Radarpeilung wurden dargeboten, um die jeweilige Flugsituation einschätzen zu können. Die Anzeigen werden in Kapitel 5.2 beschrieben. Ein Überblick über die Anzeigen im Kontext der Studie und somit auch der Aufgabe und deren Präsentation findet sich in Abbildung 6.1. Die räumliche Ausdehnung der

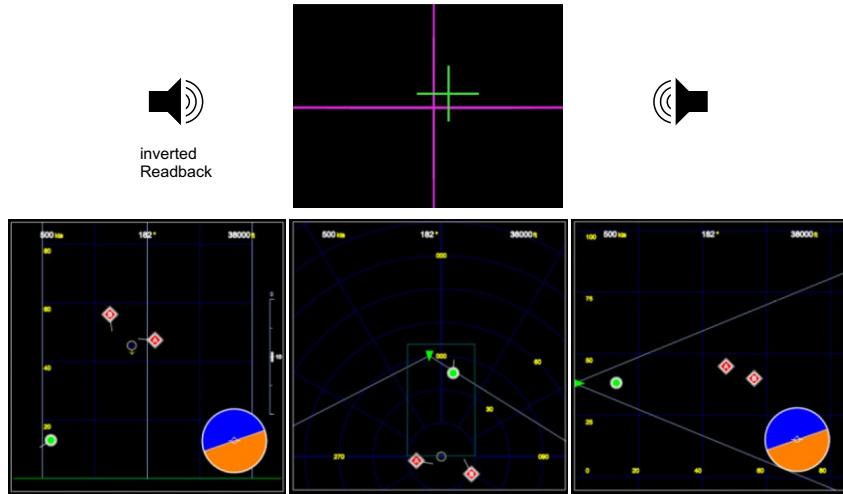


Abbildung 6.1: Die Darstellung des experimentellen Setups der Untersuchung von Stockmann, 2011, die Zusatzaufgaben sind Kellerer, 2010 und Eichinger, 2011 entnommen. Die Probanden bearbeiten das kompensatorische Tracking im Head-Up-Bereich während die Readback-Aufgabe über einen Lautsprecher dargeboten wird. Die Szenarien werden über die drei Informationsdisplays (von links nach rechts: Bearing, Karte und Elevation) im Head-Down Bereich dargestellt.

Darstellung betrug 80 x 80 NM. Im Weiteren werden die Displays als Karte (**M**, engl. Map, Abbildung 6.1, mittleres Bild), Radarpeilung (**B**, engl. Bearing, Abbildung 6.1, rechtes Bild), Höhenprofil (**E**, engl. Elevation, Abbildung 6.1, linkes Bild) und Zusatzaufgaben (**ZAG**, Abbildung 6.1, oberes Bild) bezeichnet.

Durch die Manipulation der Faktoren *Komplexität* und *Kritikalität* wurden für die Bereichsüberwachung sieben verschiedene Szenarien operationalisiert. Zum einen wurde die Anzahl zu überwachender Objekte (zwei/drei; Komplexität) und zum anderen die Anzahl der in den zu überwachenden Bereich erfolgten Einflüge (keiner/einer/zwei/drei; Kritikalität)siehe Stockmann, 2011, S. 37¹ variiert.

Die Zuweisung von Objekten und die Randomisierung von Szenarien stellten sicher, dass die Probanden keine Möglichkeit hatten, vorauszusehen, ob und wo in einer Situation ein Einflug stattfinden würde. In Abbildung 6.2a sind die Leistungen der Probanden in der SAGAT-Befragung für jedes Szenario und die RSMEs der kompensatorischen Trackingaufgabe (s. Abb. 6.2b) abgetragen. Die invertierte Readback-Aufgabe wird nicht weiter dargelegt, da sie für alle folgenden Aspekte nicht weiter verwertet werden kann.

Die SAGAT Befragung ergab folgende Ergebnisse. Die richtige Beantwortung von Fragen in diesem Kontext diente zur Interpretation der Blickfolgen als sinnvolle Muster. Weiter wurden diese Ergebnisse nicht verfolgt; bei Interesse wird an die genannte Arbeit verwiesen.

Die Probanden erreichten bei der SAGAT-Befragung Quoten von bis zu 63% (S1), minimal 43% (S5) richtigen Antworten. Steigende Komplexität und Kritikalität beeinflussten die Werte nicht in erwarteter, linearer Art (Stockmann, 2011), vielmehr scheint es zu einer negativen Sättigung zu kommen, wobei etwa die Hälfte aller Fragen richtig beantwortet wurden (s.a.

¹Die Kombination zwei Objekte und drei Einflüge wurde aus offensichtlichen Gründen nicht realisiert.



Abbildung 6.2: Dargestellt sind die Ergebnisse des SAGAT (a) und die Abweichung der kompensatorischen Trackingaufgabe (b). Gegeben sind die Gesamtmittelwerte als Linie.

6.2a). Die Höhe des gezeigten Situationsbewusstseins ist befriedigend, da (a) die Probanden nie wissen konnten, welche Attribute welcher Objekte zu welchem Zeitpunkt abgefragt werden (eine Aufgabe, die für Experten fördernd, für Laien nicht lösbar ist) und (b) die realisierte Schwierigkeit durch die Zusatzaufgaben sehr fördernd war. Die *Abweichungen der Trackingaufgabe* liegt zwischen 87 und 117, wobei höhere Werte eine ungenauere Kompensation der Soll- und Ist-Position über die Zeit bedeuten.

Es kann bei der gezeigten Leistung davon ausgegangen werden, dass a) Situationsbewusstsein in der Aufgabe angemessener Höhe vorhanden war und b) die künstliche Flugaufgabe ebenso zufriedenstellend gelöst wurde.

6.1 Blickbewegungen, Situationsbewusstsein und Workload

6.1.1 Transitionsmuster und Betrachtungszeiten

Im Weiteren werden nicht die primäre Leistung in SAGAT und Tracking betrachtet, sondern Transitionsmuster (Wickens & McCarley, 2010, S. 44) und prozentualen Betrachtungszeiten auf den Anzeigen, also Funktionen der Blickbewegung. Die Betrachtung der Daten wird für die komplexe Aufgabenstellung (mit Zusatzaufgabe) und eine reine Informationsgewinnung in der Situation (ohne Zusatzaufgabe) erfolgen. Auf diese Weise soll ersichtlich werden, wie Piloten unter Belastung SB aufbauen und aufrechterhalten. Zudem soll die Betrachtung ohne Zusatzaufgabe die reine Informationsaufnahme herausstellen.

Die Blickbewegungen werden mit **sequentiellen Transitionen** zwischen verschiedenen Bereichen der Displays untersucht. Diese können Auskunft darüber geben, wie stark einzelne Beziehungen (1) die Aufmerksamkeit der Betrachter insgesamt binden und (2) wie eng die Kopplung dieser Beziehung ist (Wickens & McCarley, 2010, S. 44). Transitionsmuster werden entweder als Listen (Fitts, Jones, & Milton, 1949, S. 16) oder als Matrizen (Wickens & McCarley, 2010; Holmqvist u. a., 2011) dargestellt. Holmqvist u. a., 2011 definieren solche Transitionsmatrizen als „[...] full catalogue of all AOI sequences of length l equal to the dimensionality of the matrix [...]“ (S. 462). Eine weitere Möglichkeit bietet deren grafische Aufarbeitung mit Hilfe von Transitionendiagrammen (Morrison, Marshall, Kelly, & Moore, 1997), s.a. Abbildung 6.4.

Bei Transitionsmatrizen werden alle zu betrachtenden Bereiche (AOIs, Areas of Interest) in Zeilen und Spalten aufgetragen und alle Übergänge als Summen in die Zellen der Matrix eingetragen. Diese Darstellung erlaubt die Bewertung von sich wiederholenden Sequenzen (Holmqvist u. a., 2011), der Enge der Kopplung von verschiedenen AOIs (Wickens und McCarley, 2010) und somit auch die genaue Bewertung des Blickverhaltens von Experten in ihrem Bereich.

Eingesetzt wurde dieses Vorgehen bereits von Fitts u. a. (1.01.1949, S. 16) zur Bewertung des Blickverhaltens von Piloten bei der Betrachtung verschiedener, analoger Instrumente, hier noch als Link-Analyse bezeichnet. Moray und Rotenberg, 1989 setzen dieses Vorgehen als Teil der Bewertung des Blickverhaltens in einer Prozesskontrollaufgabe ein, Morrison u. a., 1997 bewerteten damit die Entscheidungsfindung mit Hilfe technischer Systemen im taktischen Umfeld. Im vorliegenden Fall ist vor allem die Kopplung als habituelles Blickmuster von Experten (Wickens & McCarley, 2010, S. 42) von Interesse. Dies soll Aussagen über die Strategien zur Informationsgewinnung von Piloten, den Aufbau und Erhalt von Situationsbewusstsein und für die Gestaltung von Anzeigen und Anzeigehalten ermöglichen.

Um diese Muster darstellen zu können, wurden einfache Transitionen für die Anzeigen Karte, Radar, Höhenprofil und Zusatzaufgabe (s.a. Abbildung 6.1) zueinander errechnet und in 4x4 Matrizen aufgetragen sowie aggregiert und in grafischer Form für alle Szenarien zusammen aufbereitet (siehe Abbildung 6.4 und Tabelle 8.18). Des Weiteren werden die prozentualen Blickzeiten auf den einzelnen Displays dargestellt und verglichen (s. Abbildung 6.4, Tabelle 6.1).

Als habituelles Blickmuster kann eine Sequenz gelten, wenn diese über die Mehrzahl von Probanden und Szenarien für eine Aufgabe gefunden wird und somit die Verteilung der Sequenz innerhalb der Transitionsmatrix gleichförmig ist. Ein Hinweis auf die Art der Betrachtung und die Gleichförmigkeit der Blickmuster können Dichteparameter liefern (Holmqvist u. a., 2011; Goldberg & Kotval, 1999). Diese werden als Quotient empirisch gefüllter und möglich gefüllter Zellen errechnet (Goldberg & Kotval, 1999). Holmqvist u. a. (2011, S. 464) weisen darauf hin, dass diese Normierung nicht optimal ist. Sie schlagen vor, die Normierung an der Anzahl validier Zellen (empirisch sinnvoll füllbar) vorzunehmen. Dieses Vorgehen schließt strukturell nicht gefüllte Zellen - wie z.B. in der Diagonale einer zweidimensionalen Matrix - aus und verzerrt so den Quotienten nicht. Als Dichte wird folgender der so korrigierte Quotient Q_h genutzt:

$$Q_h = \frac{\sum G}{n(n-1)^{l-1}}$$

Wobei

- G eine Zelle der Transitionsmatrix mit sinnvollem Inhalt bezeichnet,
- n die Anzahl AOIs, welche die Matrix aufspannen und
- l die Dimensionalität der Matrix darstellt.

Der Quotient ist zwischen 0 und 1 normiert. Niedrige Werte oder Werte nahe 0 legen ein gerichtetes Suchverhalten nahe. Größere Werte deuten ein eher exploratives Verhalten an und sind von Matrizen geprägt, in welchen eine große Zahl der Zellen gefüllt ist(Goldberg & Kotval, 1999, S. 642).

6.1.2 Scarfplots der Betrachtungssequenzen

Vor der Betrachtung von Transitionen ist es ratsam das Rohdatenmaterial für den Zweck sinnvoll zu visualisieren. Abbildung 6.3a und 6.3b zeigen deshalb ausgewählte Scarf-Plots ei-

nes Probanden. Diese Plots stellen den sequentiellen Blickverlauf eines Probanden über eine normierte Zeitspanne dar.

Holmqvist u. a. (2011, S. 471) sehen solche Plots als geeignete Repräsentation des Blickverhaltens von Probanden über die Zeit: Sie lassen eine visuelle Klassifizierung der Daten einzelner Probanden zu. Die Plots sind aufgeteilt nach Betrachtungszeit der Gesamtaufgabe (a) und Betrachtungszeit ohne die Zusatzaufgabe (b) und beinhalten darüber hinaus zweierlei Aspekte:

- sequentieller Ablauf der Betrachtung verschiedener Displays über die Zeit
- normierte Betrachtungszeit eines Displays innerhalb des Ablaufs.

Über die Ansicht dieser Darstellungen für alle Probanden und Szenarien wird die Vermutung entwickelt, es gäbe stabile, habituelle Blickmuster für diesen Aufgabentyp. Die Scarfs mit Zusatzaufgabe 6.3a zeigen vor allem Z und M. E und B sind eher vereinzelt zu finden, wobei die Betrachtung von E in S5 und S6 eher zunehmen. Eliminiert man die Zusatzaufgabe aus den Daten, wird ersichtlich, dass die Hauptbetrachtungszeit auf M liegen, E und B sind weit weniger lange und häufig betrachtet worden. Die Vermutung analoger Blickübergänge liegt nahe. Dies ist jedoch nicht aus den Scarfs abzulesen, da diese immer nur einen Probanden repräsentieren.

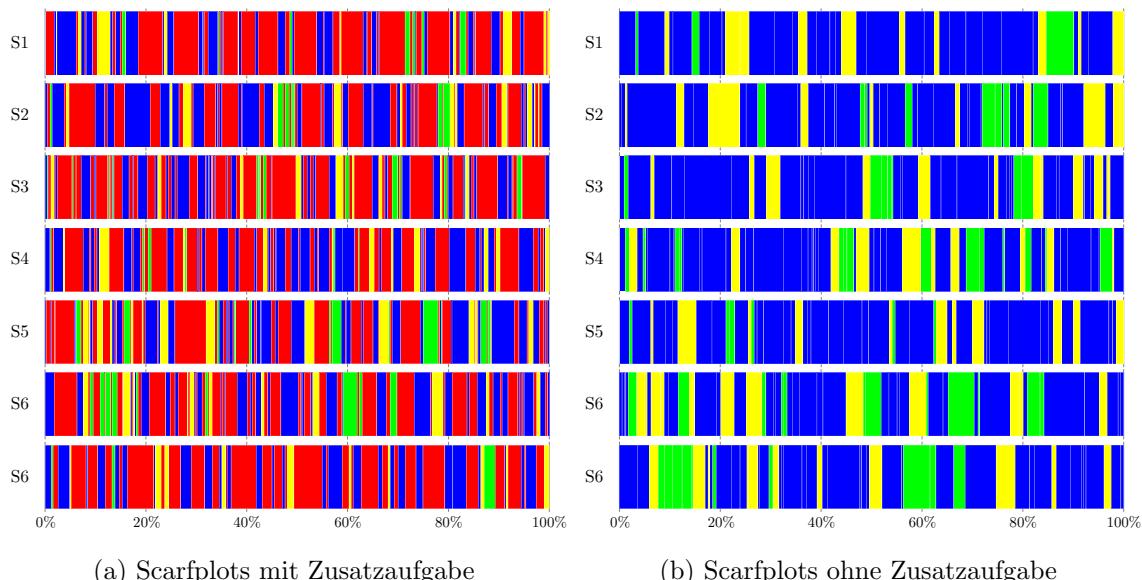


Abbildung 6.3: Dargestellt sind die Scarfplots eines ausgewählten Probanden mit und ohne Zusatzaufgabe (a, b). Alle Balken sind normiert und mit folgender Farbkodierung der Betrachtungszeiten versehen: Rote = Zusatzaufgabe (Z), Blau = Karte (M), Grün = Höhenprofil (E) und Gelb = Radar (B).

6.1.3 Prozentuale Betrachtungszeiten

Aus diesem Grund werden nun zunächst die Betrachtungszeiten in den Szenarien weiter expliziert. Die Betrachtungszeiten sollen die Dominanz einzelner Displays verdeutlichen. Bei den

Betrachtungszeiten wird die Zusatzaufgabe immer mit betrachtet. Eine Unterscheidung mit-/ohne Zusatzaufgabe wird bei den Transitionen vorgenommen, da die Zusatzaufgabe keine Information für die Bereichsüberwachung bietet und somit Transitionen zur Zusatzaufgabe auch keinen Beitrag zum Situationsbewusstsein leisten.

Betrachtet man die in Abbildung 6.4 (farbige Kreise, die Kreisfläche deutet relative Dauer an) dargestellte, prozentualen Blickdauern auf den einzelnen Displays sowie die Dauern in den einzelnen Szenarien (siehe Tabelle 6.1), legt dies eine hohe Dominanz der Displays Z und M nahe. Die Blickdauer ist z.T. um den Faktor 6 bis 8 höher als auf dem nächst häufiger betrachtetem Display, der Elevation. Zudem wird erkenntlich, dass die Verweildauer auf B zwar vorhanden ist, aber eine nachgeordnete Rolle spielt. Die unterschiedliche Blickdauer für jedes Szenario wurden folgend mit einer Friedman-Rangvarianzanalyse überprüft.

Szenario	Prozentuale Betrachtungszeit in %				Friedman-Test			
	Z	B	M	E	N	χ^2	df	p
S1	47,73	2,88	46,18	6,59	10	24,12	3	,00
S2	45,83	5,01	41,63	6,45	7	12,77	3	,01
S3	54,11	5,17	33,22	3,90	7	17,23	3	,00
S4	54,19	2,26	36,50	6,78	6	16,00	3	,00
S5	45,40	3,89	37,77	7,04	9	17,93	3	,00
S6	44,51	7,80	44,57	6,02	8	15,90	3	,00
S7	46,74	3,27	43,28	8,39	9	21,40	3	,00

Tabelle 6.1: Die Tabelle zeigt eine Übersicht über die globalen Ergebnisse eines Friedman-Tests. Die Blickverweildauern in Prozent sind in jedem Fall signifikant unterschiedlich über die Displays Z, M, B und E verteilt.

Die berechneten Werte in Tabelle 6.1 zeigen, dass starke Unterschiede zwischen den Blickverweildauern zwischen den Displays bestehen. In jedem Szenario unterscheidet sich die prozentualen Betrachtungsdauer der einzelnen Displays signifikant ($p < ,00$), wobei die Werte der Betrachtungszeiten die Vermutung nahe legen, der Unterschied bestehe vor allem zwischen M und B/E bzw. zwischen Z und B/E. M und Z werden zwischen ca. 33% und ca. 54% der gesamten Zeit eines Displays betrachtet, wohingegen E und B nur zwischen ca. 3% und 8% der Zeit betrachtet werden. Nahezu die Hälfte der Gesamtbetrachtungszeit in jedem Szenario wird dabei auf M bzw. Z verbracht. Ordnet man die Displays nach Ihren Betrachtungszeiten, kommt man zu der Folge: $Z \approx M > E \approx B$.

6.1.4 Einfache Transitionen

Die einfachen Transitionen (auch Transitionen erster Ordnung) sind in Tabelle 8.18 zusammengefasst und in Abbildung 6.4 dargestellt. Die Transitionen lassen, wie bereits oben vermutet, wiederkehrende Muster erkennen.

Die Transitionen können als Blickwechselwahrscheinlichkeit interpretiert werden. Allerdings gilt diese Beziehung nur für den Wechsel zwischen zwei Displays, höherwertige Muster können nicht erkannt werden. Ein genereller Trend lässt für die Beziehung zwischen MAP und HUD aus den Blickzeiten erkennen, der sich auch im Transitionsmuster (s.a. Tabelle 8.18, und Abbildung 6.4) wiederfindet.

Die starke Konzentration auf die Displays M und Z kann so erwartet werden. Die Aufgabe im Z war zwar nicht explizit als Hauptaufgabe benannt, von den Probanden aber als solche gesehen.

6 Situationsbewusstsein und Workload bei einer Luftbereichsüberwachung

S1	HUD	BEA	MAP	ELE	ZS		S2	HUD	BEA	MAP	ELE	ZS
HUD		3,93	32,32	5,29	41,54		HUD		4,86	3 ,26	5,05	4 ,17
BEA	4,14		2,10	,28	6,52		BEA	5,47		2,72	,41	8,59
MAP	32,07	2,49		4,68	39,24		MAP	29,26	3,76		5,25	38,27
ELE	5,93	,21	6,55		12,69		ELE	6,62	,00	6,39		13,00
SS	42,15	6,63	4 ,97	10,25			SS	41,34	8,62	39,36	10,71	

S3	HUD	BEA	MAP	ELE	ZS		S4	HUD	BEA	MAP	ELE	ZS
HUD		4,83	3 ,19	4,46	39,48		HUD		4,55	28,84	5,66	39,05
BEA	3,84		5,01	,24	9,08		BEA	5,07		4,19	,10	9,35
MAP	31,80	4,29		4,31	4 ,40		MAP	29,61	4,57		4,86	39,04
ELE	5,18	,13	5,77		11,07		ELE	5,62	,31	6,67		12,59
SS	4 ,82	9,25	4 ,96	9,00			SS	4 ,30	9,43	39,69	10,62	

S5	HUD	BEA	MAP	ELE	ZS		S6	HUD	BEA	MAP	ELE	ZS
HUD		3,00	28,65	6,92	38,57		HUD		3,63	3 ,87	5,74	4 ,24
BEA	4,11		3,10	,11	7,32		BEA	3,82		2,63	,31	6,76
MAP	28,78	4,36		6,01	39,15		MAP	31,24	3,23		5,23	39,69
ELE	6,89	,23	7,86		14,98		ELE	6,14	,00	7,23		13,37
SS	39,78	7,58	39,61	13,04			SS	41,19	6,86	4 ,72	11,28	

S7	HUD	BEA	MAP	ELE	ZS		G	HUD	BEA	MAP	ELE	ZS
HUD		2,76	28,02	6,12	36,89		HUD		3,94	29,88	5,61	39,42
BEA	3,53		3,02	,20	6,74		BEA	4,28		3,25	,23	7,77
MAP	27,65	3,63		8,24	39,52		MAP	3 ,06	3,76		5,51	39,33
ELE	6,45	,51	9,93		16,89		ELE	6,12	,20	7,20		13,51
SS	37,62	6,90	4 ,96	14,56			SS	4 ,46	7,90	4 ,32	11,35	

Tabelle 6.2: Angegeben sind die Transitionsmatrizen für alle in der Studie realisierten Szenarien (S1-S7). Die Werte sind Anteilswerte aller Transitionen eines Szenarios. Die verschiedenen Transitionen zwischen den Displays unterscheiden sich im Datenmaterial nur marginal zwischen den Szenarien. Es ist eine hohe Dominanz der Displays M und Z zu erkennen. Diese wird als hohe Kopplung zwischen den Displays M und Z (Zusatzaufgabe) ersichtlich und kann an den Spalten- und Zeilensummen (ZS/SS) jeder Tabelle erkannt werden. Die gemittelten Transitionen aller Szenarien finden sich in der letzten Tabelle (G).

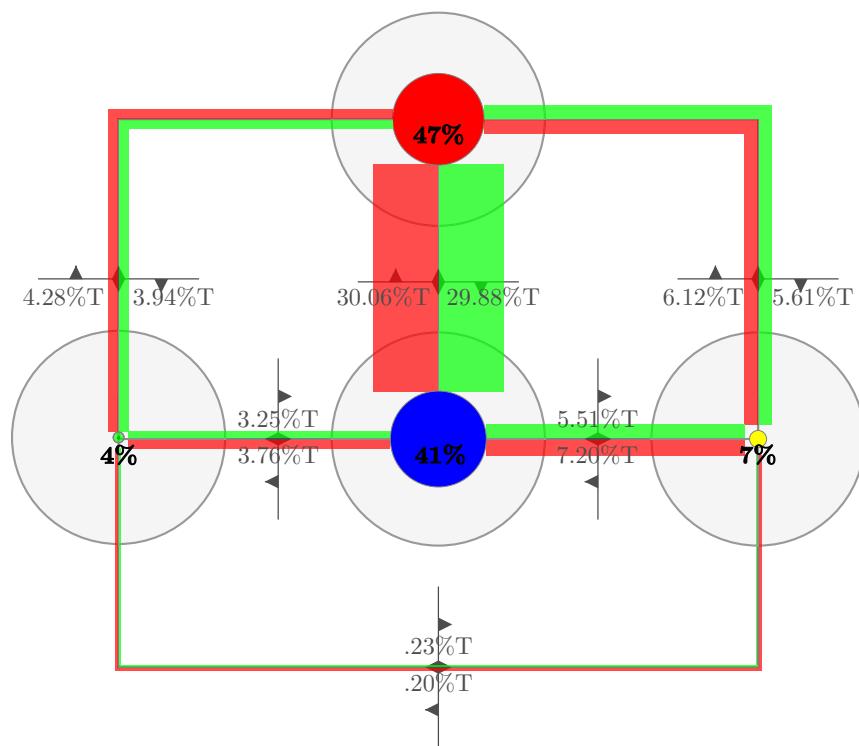


Abbildung 6.4: Dargestellt ist die gemittelten, normierten Transitionen und Betrachtungsdauern für alle Bereiche der Aufgabe.

Das realisierte kompensatorische Tracking ist als Nachbildung der motorischen Belastung der primären Flugaufgabe des Piloten realitätsnah gelungen. Dies ist an der Konzentration der Probanden auf diesen Aufgabenaspekt zu erkennen.

Das Kartendisplay M gibt die meisten Informationen für die Lösung der gestellten Bereichsüberwachung. Der zu überwachende Bereich ist definiert als ein Rechteck mit einer Ausdehnung von 40NM auf 80NM Kantenlänge. Die Information, ob ein Objekt in den zur Überwachung gegebenen Raum einfliegt, lässt sich hier über die Position des Objekts relativ zum Rechteck sehr leicht erkennen.

Das Höhenprofil E wird weit weniger beachtet. Dies kann vor allem dadurch erklärt werden, dass in der gestellten Aufgabe die Höhe eines Objekts beim Eindringen in den zu überwachenden Raum von peripherer Bedeutung war: Die Festlegung der Raumgrenzen in der Höhe war nicht gegeben, somit mussten die Probanden den gesamten Raum vom Boden aus als zu überwachend verstehen. Da aber die Position eines Objekts über die M wesentlich einfacher dargestellt wird und jede Höhe zu überwachen ist, kann das Display E für die Aufgabe vernachlässigt werden.

Die wenigsten Transitionen und die niedrigste Betrachtungszeit können für das Radardisplay B beobachtet werden. Da die Bereichsüberwachung bereits wie oben ausgeführt mit der M allein ausgeführt wird, kann auch das Display E nicht beachtet werden. Die Abschätzung der Entfernung über dieses Radardisplay ist redundant und kann über die M allein erfolgen.

6.1.5 Blickmuster höherer Ordnung

Die ausgeführten Beobachtungen gelten für Blickmuster erster Ordnung, also für Transitionen zwischen zwei Displays oder Blicktupel. Diese erlauben keine Abschätzung über möglicherweise vorhandene, höherwertige Blickmuster (Tripel, Quadrupel, Quintupel). Um diese Muster festzustellen, wurden die Daten einer weiteren Analyse unterzogen. Zudem sollen für die Betrachtung dieser höheren Muster die Analysen zweifach ausgeführt werden: Einerseits wird die Aufgabe weiterhin als komplexe Zusammenstellung der Bereichsüberwachung und Zusatzaufgaben zusammengefasst, andererseits wird der Einfluss der Zusatzaufgaben aus den Daten eliminiert.

Diese Betrachtung ermöglicht die Herausstellung von habituellen Blickbewegungen. Die Daten werden in dieser weiteren Betrachtung nicht mehr nach Szenarien aufgeteilt. Die Anzahl von höheren Mustern wäre zu klein, um bei Aufteilung auf der Ebene der Szenarien Aussagen zu ermöglichen.

Die Blicksequenzen lagen in serieller Form vor (s.a. Abbildung 6.3, Scarfplots mit/ohne Zusatzaufgabe). Die Betrachtung der Displays als zeitlicher Verlauf konnte vereinfacht werden zu Mustern wie etwa:

Z-M-Z-E-Z-M-B-Z-M-Z-M-E...

Die so aus den Daten erhaltenen Sequenzen konnten, je nach Proband, unterschiedlich lang sein. Ein Muster wird definiert als eine Abfolge von Displaybetrachtungen ohne sequentielle Wiederholung einzelner Displays direkt nacheinander. Eine Betrachtung von Mustern mit wiederholenden Aspekten wie z.B. M-M-M muss nach einer zusätzlichen zeitlichen Komponente festgelegt werden und wird hier nicht betrachtet. Zudem erfolgte eine Reduktion der Mustersuche auf Sequenzen mit drei, vier oder fünf Elementen. Muster noch höherer Ordnung sind zwar denkbar, aber mit zunehmender Anzahl der Elemente im Muster als immer unwahrscheinlicher anzusehen. Die Suche wurde nach Tripeln, Quadrupeln und Quintupeln in Excel VBA realisiert. Hierzu wurde jede Sequenz eines jeden Probanden nach allen kombinatorisch möglichen Sequenzen mit drei, vier oder fünf Elementen durchsucht. Wenn eine kombinatorisch mögliche Sequenz gefunden wurde, wurde diese in einer Variable mit dem Label dieses Musters gezählt. Jedes mögliche Muster wurde an jedem möglichen Platz innerhalb der Sequenz gesucht. Tabelle 6.3 enthält das Ergebnis des oben beschriebenen Suchprozesses mit und ohne Zusatzaufgabe, Abbildung 6.5 visualisiert diese Daten.

Betrachtet man die gefundenen Muster unter Einfluss der Zusatzaufgabe, lässt sich eine absteigende Häufigkeit mit zunehmender Komplexität des Musters erkennen, auch ist die durch höhere Muster gefundene Abdeckung aller Muster niedriger (s.v. Rest in Tabelle 6.3). Die häufigsten Tupel sind M-H und H-M. Dieses Ergebnis stimmt mit den oben gefundenen Transitionen überein (s.a. Tabelle 8.18 und Abbildung 6.4). Die häufigsten Tripel (M-H-M, H-M-H), Quadrupel (M-H-M-H und H-M-H-M) und Quintupel (M-H-M-H-M und H-M-H-M-H) setzen dieses Muster mit zunehmender Länge der Elemente fort. Muster, bei denen andere Displays als MAP oder HUD betrachtet werden (E-H, H-E, M-H-E, H-M-E, M-H-M-E, H-M-H-E, H-M-H-M-E, M-H-M-H-E), kommen erst mit einer deutlich niedrigeren relativen Häufigkeit (< 6%) vor.

Eliminiert man die Belastung durch die Zusatzaufgabe aus den Daten (s.a. Abbildung 6.3b, Scarfplots ohne Zusatzaufgabe), ergeben sich Blickmuster, welche nur die Informationsgewinnung der Probanden mit Hilfe der Displays M, E und B zum Inhalt haben.

Ebenso wie in den Mustern mit Zusatzaufgabe sind auch hier die Muster höherer Ordnung

Rang	Tupel	Hfk.	Tripel	Hfk.	Quadrupel	Hfk.	Quintupel	Hfk.
1	M-H	,31	H-M-H	,25	M-H-M-H	,20	M-H-M-H-M	,16
2	H-M	,31	M-H-M	,24	H-M-H-M	,20	H-M-H-M-H	,16
3	E-H	,06	M-H-E	,04	M-H-M-E	,03	H-M-H-M-E	,03
4	H-E	,06	H-M-E	,04	H-M-H-E	,03	M-H-M-H-E	,03
5	M-E	,05	E-H-M	,03	E-H-M-H	,03	E-H-M-H-M	,02
6	H-B	,05	H-E-H	,03	E-M-H-M	,02	M-H-M-E-H	,02
7	B-H	,05	E-M-H	,03	M-H-E-H	,02	E-M-H-M-H	,02
8	E-M	,04	H-B-H	,03	B-H-M-H	,02	H-M-H-E-H	,02
9	B-M	,03	M-E-H	,03	H-M-E-H	,02	H-E-H-M-H	,02
10	M-B	,03	B-M-H	,02	H-E-H-M	,02	B-H-M-H-M	,02
11	E-B	,01	B-H-M	,02	B-M-H-M	,02	H-B-H-M-H	,01
12	B-E	,01	M-H-B	,02	H-E-M-H	,02	M-H-M-H-B	,01
13	H-H	,00	H-E-M	,02	H-M-H-B	,02	B-M-H-M-H	,01
14	B-B	,00	H-M-B	,02	M-H-M-B	,02	M-H-E-H-M	,01
15	M-M	,00	M-E-M	,02	M-H-E-M	,02	H-M-E-H-M	,01
Abd.		1,0		,86		,68		,55

Rang	Tupel	Hfk.	Tripel	Hfk.	Quadrupel	Hfk.	Quintupel	Hfk.
1	M-E	,29	M-E-M	,24	M-E-M-E	,15	M-E-M-E-M	,13
2	E-M	,27	E-M-E	,16	E-M-E-M	,14	E-M-E-M-E	,08
3	B-M	,18	M-B-M	,15	M-B-M-E	,10	M-B-M-E-M	,08
4	M-B	,17	B-M-E	,12	B-M-E-M	,10	M-E-M-B-M	,08
5	E-B	,05	E-M-B	,10	M-E-M-B	,09	E-M-B-M-E	,06
6	B-E	,04	B-M-B	,06	E-M-B-M	,09	B-M-E-M-E	,06
7	n.v.	,00	M-E-B	,05	B-M-B-M	,05	E-M-E-M-B	,05
8	n.v.	,00	E-B-M	,04	M-B-M-B	,05	B-M-E-M-B	,04
9	n.v.	,00	B-E-M	,03	M-E-B-M	,04	M-B-M-B-M	,04
10	n.v.	,00	M-B-E	,03	M-B-E-M	,03	B-M-B-M-E	,03
11	n.v.	,00	E-B-E	,01	E-M-E-B	,03	M-E-B-M-E	,03
12	n.v.	,00	n.v.	,00	E-B-M-E	,03	M-E-M-E-B	,02
13	n.v.	,00	n.v.	,00	B-M-E-B	,02	E-M-E-B-M	,02
14	n.v.	,00	n.v.	,00	B-E-M-E	,02	E-M-B-M-B	,02
15	n.v.	,00	n.v.	,00	E-B-M-B	,02	E-B-M-E-M	,02
Abd.		1,0		1,0		,94		,77

Tabelle 6.3: Die Tabelle visualisiert Blickmuster bis zur fünften Ordnung mit Zusatzaufgabe (oben, MZAG) sowie ohne Zusatzaufgabe (unten, OZAG). Gegeben ist die relative Häufigkeit der Muster. Als Indikator der Güte einer Ordnung ist die Summe der Häufigkeit aller Muster mit einer relativen Einzelhäufigkeit kleiner als 1% oder ab dem Rangplatz 15 gegeben (ugk. = ungeklärt).

6 Situationsbewusstsein und Workload bei einer Luftbereichsüberwachung

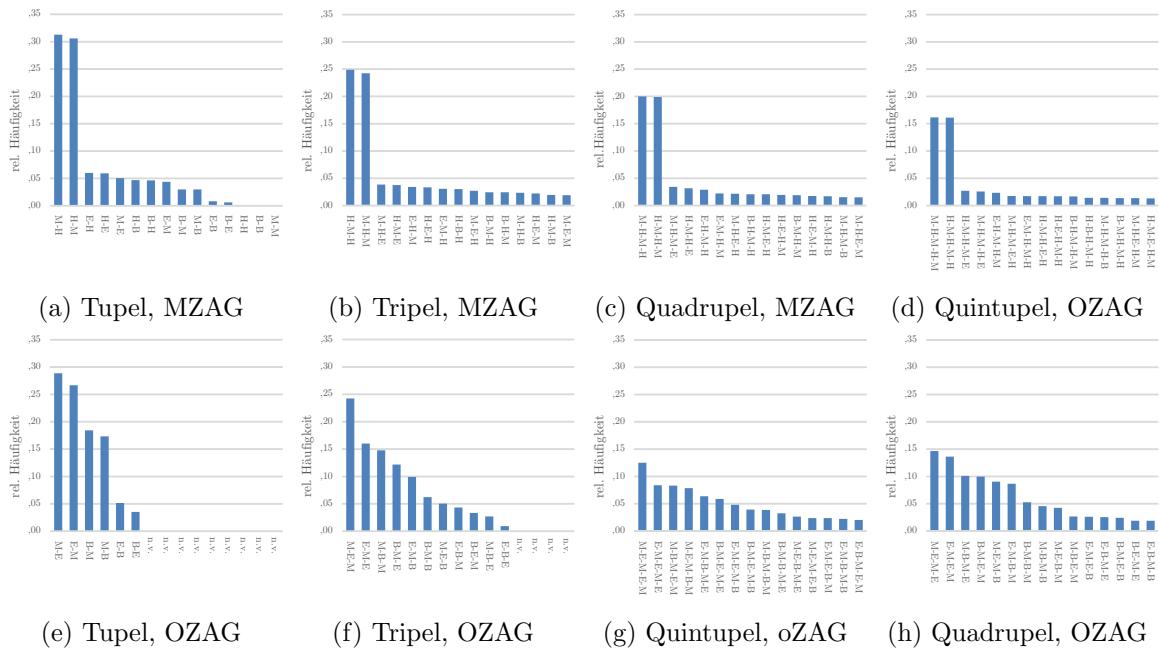


Abbildung 6.5: Dargestellt sind die sequentiellen Blickmuster absteigend nach ihrer relativen Häufigkeit. Die obere Reihe (a, b, c und d) beinhalten die Zusatzaufgabe (MZAG), die untere Reihe (e, f, g und h) beinhalten die Blickmuster ohne Zusatzaufgabe (OZAG).

seltener in den Daten zu finden als Muster niedrigerer Ordnung. Nun finden die häufigsten Wechsel zwischen den Displays M und E statt (M-E und E-M). Die häufigsten Tripel sind M-E-M und E-M-E. Quadrupel (M-E-M-E und E-M-E-M) und Quintupel (E-M-E-M-E und M-E-M-E-M) folgen den Mustern niedrigerer Ordnung als einfache Erweiterung. Die Muster mit Einbeziehung des Displayformats B (B-M und M-B, M-B-M und M-B-M-E, M-B-M-E-M und M-B-M-E-M) sind weniger häufig.

Ebenso wie oben beschrieben sind viele Muster mit niedriger relativer Häufigkeit vorhanden. Allerdings ergibt sich insgesamt eine höhere Anpassung als bei Mustern mit Zusatzaufgabe (s.a. Tabelle 6.3, Abdeckung).

Die in Abbildung 6.6 und Tabelle 6.4 aufgeführten Dichtequotienten der Transitionsmatrizen liegen relativ niedrig. Dies spricht für eine stark gerichtete Informationsaufnahme und somit ein habitualisiertes Muster zur Informationsaufnahme. Q_h mit Zusatzaufgabe ist für jedes Transitionsmuster niedriger als ohne Zusatzaufgabe. Dies betont die in den prozentualen Betrachtungszeiten gefundene Dominanz der Zusatzaufgabe. Diese wirkt stark aufmerksamkeitslenkend.

6.2 Displays zum Aufbau von Situationsbewusstsein

Muster der Informationsaufnahme Betrachtet man die Daten der Blickmuster und -zeiten, stellt man ein durchgängiges Muster für die Informationsaufnahme in einer Bereichsüberwachung fest. Es sind vor allem Informationen über den **relativen Azimut und die XY-Position von Objekten** in dem zu überwachendem Bereich in Zusammenhang mit der

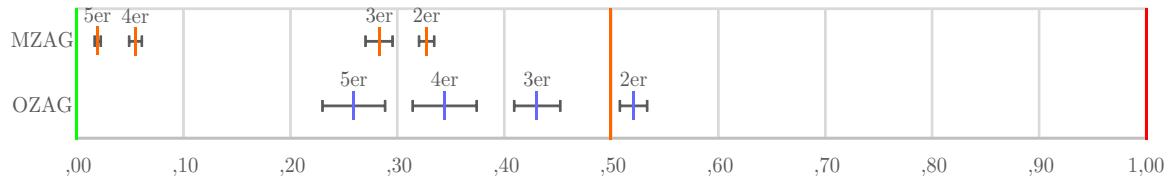


Abbildung 6.6: Die mittleren Dichtewerte (Q_h) aller Transitionsmatrizen für 2/3/4/5 Übergänge mit und ohne Zusatzaufgabe und zugehörigen Standardfehlern.

Länge	ZAG	M	SE	MIN	P(.25)	MED	P(.75)	MAX
Tupel	OZAG	,52	,01	,45	,50	,55	,55	,55
	MZAG	,33	,01	,29	,31	,34	,34	,34
Tripel	OZAG	,43	,02	,30	,39	,43	,48	,52
	MZAG	,28	,01	,21	,25	,28	,31	,35
Quadrupel	OZAG	,34	,03	,19	,28	,36	,40	,51
	MZAG	,06	,01	,04	,04	,05	,06	,11
Quintupel	OZAG	,26	,03	,13	,18	,26	,33	,43
	MZAG	,02	,00	,01	,01	,02	,02	,04

Tabelle 6.4: Die nach Holmqvist u. a. (2011, S. 772) berechneten Dichtewerte der Transitionsmatrizen (Q_h) als deskriptive Übersicht.

Flugführungsaufgabe, die ein übergeordnetes, habituelles Muster zu bilden scheinen.

Betrachtet man die Muster **ohne die Flugführungsaufgabe**, werden vor allem **der relative Azimut und die XY-Position von Objekten** über die M und **Höhe/Entfernung** über das Display E in den Vordergrund gerückt. Die Betrachtung des Displays B durch die Probanden findet in den einfachen wie komplexeren Mustern nachrangige Bedeutung. Für die gestellte Aufgabe scheint B wenig von Bedeutung zu sein.

Die Blickfolgen, in denen ständig die Position relativ zu dem zu überwachenden Bereich und die Höhe über die Entfernung beachtet werden, sind also stabile Muster. Für die Generierung des räumlichen Objektbewusstseins ist es nötig, zwischen den Displays M und E die visuelle Aufmerksamkeit zu verschieben.

Probleme der dargebotenen Anzeigen Die dargebotenen Displays zeigen den heutigen Stand von Displays in hochagilen Flugzeugen. Die Darstellung führt zu gewissen Problemen einzelner Displays oder zu Aufmerksamkeitswechselkosten zwischen einzelnen Displays.

Problem des Entfernungsvergleichs mehrerer Objekte auf der Karte: Die Darstellung der Karte als zweidimensionale Draufsicht ist bei der Entfernungszuordnung von mehreren Objekten gleichzeitig ungünstig. Objekte befinden sich immer in verschiedenen Positionen um das eigene Luftfahrzeug herum. Hierbei variieren Entfernung und Azimutwinkel gleichzeitig. Dies erschwert einen direkten Vergleich der Objektposition.

Problem der Objekt-Attribut-Bindung über verschiedene Displays: Eine weitere Schwierigkeit ist die Zuordnung von Objekten auf der Karte zu Objekten im Höhenprofil, also die Bindung verschiedener Objekttribute aufgrund verschiedener Displays. Diese Zuordnung erfolgt bei gut trainierte Probanden relativ leicht, dennoch ist zu vermuten, dass hier Aufmerksamkeitswechselkosten entstehen, die kompensiert werden müssen. Die Wechsel zwi-

schen Karte und Höhenprofil erfolgt als Kontrollblick. Dies kann auch als erlernte Heuristik begriffen werden, welche aufgrund der Displaytrennung nötig ist.

Problem des Aufmerksamkeitswechsels zur Flugführungsaufgabe: Das größte Optimierungspotential bezogen auf die Anzahl der Transitionen bieten die Blickwechsel zwischen der Flugführungsaufgabe auf dem Head-Up Display und der Karte. Diese Transitionen sind in jeder Betrachtung am häufigsten vorhanden und somit auch mit den höchsten Aufmerksamkeitswechselkosten verbunden.

Raumzeitliche Anzeigen In diesem Abschnitt wurden Blickmuster zur Darstellung der Informationsaufnahme von Piloten in einer Bereichsüberwachung dargestellt. Diese Aufgabe betont raumzeitliche Aspekte und ist eine der Hauptaufgaben des Einsatzes des Eurofighters. In Kapitel 7 wird ein angepasstes Evaluationsmodell vorgestellt, welches die kontextbezogene Bewertung neuartiger räumlicher Displays für Situationsbewusstsein ermöglicht. Die hier vorgestellte Aufgabe wird deshalb später wieder aufgegriffen.

7 Holistische Evaluation der räumlichen Darstellung

Explanations exist; they have existed for all time; there is always a well-known solution to every human problem — neat, plausible, and wrong.
H. L. Mencken, 1880 - 1956

What in the name of Heaven and Psychology can we do about it?
Edward C. Tolman, 1948

7.1 Übergang von formativer zu summativer Bewertung

In den vorhergehenden Kapiteln wurden wichtige Einflussfaktoren dargestellt und aufgezeigt, wie diese formativ in die Erstellung der Anzeigen einfließen. Diese Betrachtung betraf den Operateur, dessen Ressourcen, Funktionen der Informationsverarbeitung unter Belastung sowie sein Situationsbewusstsein. Des Weiteren wird die Umwelt über Informationskategorien als belastungsgenerierend charakterisiert. Die Darstellungsmetaphern in technischen Displays orientieren sich in diesem Kontext sowohl an theoretischen Aspekten wie in ihrer Ausgestaltung an erfahrungsbasierten Urteilen von Experten.

Im Folgenden sollen Fragestellungen für eine anwendungsorientierte Bewertung der Darstellungen aufgeworfen werden. Um diese zu beantworten, wird räumliches Bewusstsein als Evaluationskriterium definiert und operationalisiert. Die Definition von Belastung als Einflussfaktor wird in Kapitel 3 vorgenommen und in Kapitel 4 inhaltlich bearbeitet und in das Evaluationskonzept einbezogen. Spezifische Anmerkungen zu Belastung erfolgen dann in den empirischen Kapiteln. Schließlich wird ein Ablaufplan sequentieller Untersuchungen vorgestellt, welche mit Hilfe des Evaluationskriteriums die aufgeworfenen Forschungsfragen beantworten helfen sollen.

7.2 Fragestellung: Eignung der Kugelprojektion

Piloten müssen sich auf den Inhalt und die Darstellung in künstlichen Anzeigen verlassen, um in der hochagilen Umwelt, bei hohen Geschwindigkeiten und schnell wechselnden Höhen, handlungsfähig zu bleiben. Die gewählte Darstellungsmetapher soll dem Piloten die Bildung eines mentalen Luftlagebildes ermöglichen. Um einzuschätzen, ob die Kugelprojektion dies leisten kann, ist die Klärung von Fragen aus verschiedenen Blickwinkeln nötig.

Im Folgenden werden drei Fragenkomplexe aufgeworfen, welche der Eignungsbewertung zugrunde liegen. Dabei werden Leistungsaspekte, subjektive Bewertung und Präferenzen zur Bewertung herangezogen:

1. Ist eine holistische Darstellung des umgebenden Luftraums durch eine Kugelprojektion verständlich und interpretierbar?
 - a) Können Objektpositionen verstanden, interpretiert und richtig wiedergegeben werden?

- b) Gibt es bei der Verortung positionsabhängige Unterschiede bezüglich der Verortungszeit und -genauigkeit?
 - c) Können in einer Kugelprojektion dargebotene Objekte im realen Raum richtig verortet werden?
2. Bestehen Unterschiede in der Interpretierbarkeit und Verständlichkeit zwischen Kugelprojektion, exozentrischer und koplanarer Darstellung?
- a) Beeinflusst die Darstellungsart die Wiedergabegenaugigkeit und -zeit?
 - b) Übt die Anzahl dargebotener Objekte Einfluss auf die Wiedergabegenaugigkeit aus?
 - c) Beeinflusst die Antizipation einer Objektposition die Wiedergabegenaugigkeit?
 - d) Führen die Unterschiede der verschiedenen Darstellungen zu einer subjektiven Präferenz zugunsten einer Ansicht?
 - e) Werden durch die Unterschiede in den Ansichten Unterschiede in der subjektiv erlebten Belastung generiert?
3. Wirkt sich die Art der Darstellung differenziert auf Antizipationsleistungen unter repräsentativer Belastung aus?
- a) Wirkt sich die Darstellungsart auf die Antizipation von Bereichskonflikten aus?
 - b) Werden antizipative Konfliktshätzungen in ambigen Situationen durch die Darstellungsart differenziert?
 - c) Üben die Zusatzaufgaben einen differenzierten Einfluss auf die Einschätzung der Bereichskonflikte über die verschiedenen Ansichten hinweg aus?
 - d) Gibt es für die exozentrische, koplanare und panoramische Darstellung differenzierte Unterschiede bezüglich der Konfliktdimension?
 - e) Gibt es eine subjektive Präferenz der Darstellung für die Einschätzung von Bereichskonflikten?
 - f) Werden durch die Unterschiede in den Ansichten Unterschiede in der subjektiv erlebten Belastung bei der Konfliktantizipation generiert?

7.3 Raumbewusstsein als Bewertungskriterium

Das Evaluationskriterium Raumbewusstsein wird aus Theorie und Anwendung begründet sowie als Leistung der Informationsverarbeitung dargestellt. Forschungsbeispiele werden gegeben, die dieses Kriterium verwendeten. Folgend werden Leistungsparameter abgeleitet, die das Konstrukt operationalisieren.

7.3.1 Raumbewusstsein im Flug

Räumliches Situationsbewusstsein oder Raumbewusstsein soll als Hauptbewertungskriterium obige Fragestellung beantworten helfen. Wickens (2002e) sieht es als eines der drei wichtigen Aspekte von Situationsbewusstsein neben System- und Aufgabenverständnis. Ebenso stellen schon Regal u. a. (1988) Raumbewusstsein als einen integralen Bestandteil von Situationsbewusstsein heraus. Die Bedeutung dieses Konstruktions kann an der Aufmerksamkeit ermessen werden, welche räumlicher Desorientierung zuteilwird (vgl. a. Young, 2002; Previc & Ercoline,

7 Holistische Evaluation der räumlichen Darstellung

2004) - eine direkte Folge fehlenden Raumbewusstseins. Schließlich stellt Endsley (1999) in ihren Anforderungs- oder Informationsanalysen zu Situationsbewusstsein im Flug fest, dass eine der wichtigen Kategorien stark raumzeitlich geprägt ist.

Auch lässt sich Raumbewusstsein als Evaluationskriterium durch die repräsentativen Anwendungsfälle aus Kapitel 4 begründen. Diese zeigen das Verwendungsspektrum des Luftfahrzeugs und sind vornehmlich durch eine hohe raumzeitliche Variabilität geprägt. Bei einer *Luftbereichsüberwachung* sind vor allem Position und relative Bewegung des eigenen Flugzeuges oder der eigenen Gruppe relativ zu Bereichsgrenzen oder anderen Flugzeugen wichtig. Es muss eingeschätzt werden, ob und in welcher Zeit sich ein Flugzeug an welchem Ort befindet, um ein eventuelles Abfangmanöver zu starten (s.a. Kapitel 6). Beim *Routenmanagement* stellt sich dem Piloten die Aufgabe, eine ungeplante Route zu erstellen und dabei taktische, geografische und umweltbezogene Gegebenheiten mit einzubeziehen. Es müssen also Punkte im Raum eingeschätzt, geografische Besonderheiten berücksichtigt und die eigene Position sowie deren Veränderung durch Zeit und Raum relativ zu anderen mit einbezogen werden. Angriffe auf Bodenziele können geplant oder ungeplant stattfinden und benötigen ein hohes Maß an räumlicher und zeitlicher Genauigkeit. Zudem muss die Umgebung und deren Änderungen eingeschätzt werden.

Die Betrachtung der Anwendungsfälle mit Raumbewusstsein als nötigem Kriterium zur Aufgabenlösung führt direkt zu den von Endsley (1999) aufgestellten Informationskategorien der Umwelt im Flug (vgl. Kapitel 4.1). Diese Informationskategorien sammeln Elemente, die Piloten verarbeiten müssen um handlungsfähig zu bleiben. Bei der Betrachtung der Befragungsergebnisse in Abschnitt 4.3 fällt auf, dass sich die raumzeitliche Kategorie stets unter den oberen drei Rängen befindet, wenn auch inhaltlich geografische und taktische Informationen wichtiger eingeschätzt werden. Diese sind jedoch als Funktion raumzeitlicher Abläufe darstellbar, selbst Wetter- und Systeminformationen können im Raum verortet und auf diese Kategorie abstrakt zurückgeführt werden.

Diese Betrachtung lässt räumliches Bewusstsein als ein geeignetes Kriterium für eine breit angelegte, summativen Evaluation erscheinen, macht aber eine genauere Explikation des Begriffes und eine Operationalisierung als Leistungskriterium nötig.

7.3.2 Definition von Raumbewusstsein

Die Orientierung im Raum ist eine der zentralen Leistungen menschlicher Informationsverarbeitung. Dennoch ist eine allgemeine Definition räumlicher Fähigkeiten schwierig, da keine Homogenität zwischen gedächtnis- und bildgebungsgeprägten Theorien zu bestehen scheint. Dies legt nach Cornoldi und Vecchi (2003) den pragmatischen Schluss nahe, die Definition und Interpretation von jeweilig spezifischer Referenz oder Methode abhängig zu machen. Insofern steht für folgende Beschreibung außer Frage, dass durch ein Zusammenspiel der visuellen und vestibulären Wahrnehmung der Verarbeitung gewonnener Informationen ein Bezugsrahmen geschaffen wird, der die Interaktion mit der Umwelt ermöglicht. Weiter wird angenommen, dass neuronale Korrelate dieser Verarbeitung subjektiv erlebbaren Eindrücke generieren. Weder der Bezugsrahmen noch dessen Korrelate sind aber zentral für die Betrachtung. Zentral für die aufgeworfene Fragestellung ist die kognitive Verarbeitung *technisch vermittelter räumlicher Zusammenhänge* (siehe Kapitel 5) als eine *spezialisierte Leistung der Informationsverarbeitung eines räumlichen mentalen Modells*.

Funktionelle Informationsverarbeitung räumlicher Inhalte Die zugrundeliegende Begriffsbestimmung ist geprägt von der Idee des Verstehens von geometrischen und physikalischen Zusammenhängen (vgl. Cornoldi & Vecchi, 2003, S. 2) aus einer egozentrischen oder allozentrischen Perspektive.

s. , Young (2002, S. 70) sieht dies als „[...] one's perception of body position in relation to a reference frame [...]“, welche die unterbewusste Aufnahme sensorischer und die bewusste Integration externaler Information nutzt, um ein räumliches Lagebild zu generieren. Die Referenz ist egozentriert und nutzt vestibuläre Informationen, um ein Basisbezugssystem für die Wahrnehmung (Goldstein, 2002) zu schaffen, welches vor allem durch steuernden Einfluss auf Augenbewegungen die visuelle Wahrnehmung stabilisiert. Eine so egozentrisch-stabilisierte Wahrnehmung ist Basis für die kognitive Verarbeitung von Informationen.

Eine spezialisierte, räumliche Verarbeitung ist für menschliches Handeln unerlässlich, selbst abstrakte Denkprozesse können räumliche Metaphern folgen. So stellt Hegarty (2010) heraus, dass räumliche Leistungen in verschiedensten Professionen einen zentralen Bestandteil der beruflichen Fertigkeiten einnehmen: Das Verständnis eines Mechanikers für die Auslegung und Bewegungen eines Motors, das Wissen des Chirurgen über den Verlauf von Venen zum Herzen, die Einschätzung eines Piloten über die exakte Lage der Landebahn - all diese Beispiele zeigen die starke visuell-räumliche Orientierung menschlicher Informationsverarbeitung. Um diese Leistungen zu repräsentieren sieht Hegarty (2010, S. 269) räumliches Denken durch zwei Aspekte geprägt: Zum einen als Leistung einer Informationsverarbeitung, deren Aufgaben vor allem „[...] encoding, maintaining, and inferring information about spatial structures and processes [...]“ umfassen und zum anderen durch „[...] using and interacting with external visual-spatial representations [...]“ geprägt sind, welche diese Prozesse formen und unterstützen. Hegarty stellt dabei die Interaktion beider Aspekte als sich gegenseitig beeinflussend heraus und betont die aktive Rolle des Betrachters bei der Bildung einer mentalen Repräsentation von Raum.

Die räumlichen Strukturen und Prozesse unserer Umwelt müssen verstanden und Wissen über Beziehungen abgeleitet werden. Dies gelingt aber oft erst durch das aktive Eingreifen und Verändern ebendieser. Demnach werden räumliche Situationen aufgrund von Vorerfahrung analysiert, Ergebnisse im Beobachter repräsentiert und Folgerungen über Objekte und deren Relationen abgeleitet. Die Nutzung von geeigneten Hilfsmitteln, also schematisch vereinfachende Darstellungen räumlicher Inhalte steigert die Effizienz dieses Wahrnehmungs- und Verarbeitungsprozesse.

Bildung eines räumlichen Models: Symbolik und Prozedur Die Beschaffenheit der mentalen Repräsentation von Raum kommt in obiger Betrachtung nur durch die Beschreibung von vermuteten Verarbeitungsmechanismen zur Sprache, die funktionelle Leistungen des Modells abbilden, stellt aber inhaltlich nicht das Modell an sich dar. Beantwortet werden muss also, wie räumliche Informationen in räumlichen mentalen Modellen repräsentiert sind.

Eine der ersten inhaltlichen Aufarbeitungen zu räumlichen Repräsentationen leistete Tolman (1948). In Untersuchungen, bei denen Ratten Wege durch verschiedene Labyrinthe finden mussten konnten die Tiere nach einem Training Abkürzungen finden, die nicht erlernt wurden. Tolman schloss auf eine interne Repräsentation der Labyrinth in den Ratten und prägte den Begriff der *cognitive map*, um dies zu beschreiben.

Alltagserfahrungen zeigen, dass die menschliche räumliche Vorstellung weit darüber hinausgeht und die Manipulation räumlicher Inhalte von Perspektive, Orientierung und geographi-

scher Skala abhängig ist (Taylor & Rapp, 2006). Eine weitere Besonderheit menschlich räumlicher Leistung ist die Inferenz spatialer Relationen aus symbolischer Informationsübermittlung sowohl sprachlicher als auch visuell-bildlicher Natur. Die Untersuchungen von Tolman zeigen zudem die prozeduralen Lernmechanismen und daraus mögliche Übertragungsleistungen.

Hegarty stellt symbolische Repräsentation als eine Möglichkeit des Umgangs mit Raum heraus. Durch Navigation in diesem Raum kann die gleiche Expertise erlangt werden. Für diese Betrachtung ist somit vorsorglich die Frage zu klären, ob Unterschiede in den resultierenden mentalen Repräsentationen abhängig von der Modalität des Erlernens (symbolisch oder prozedural) entstehen. Thorndyke und Hayes-Roth (1982) untersuchen diese Unterschiede und trennen zwischen *survey knowledge* für das symbolische Erlernen räumlicher Zusammenhänge in Karten und *procedural knowledge* für aus Navigation im Raum abgeleitetes Wissen. Bei mittlerem Lernaufwand bestehen Unterschiede zwischen den Modalitäten, Karten bringen Leistungsvorteile bei der Einschätzung relativer Position und Länge direkter Verbindung, prozedurales Lernen fördert die Orientierung bei unbekannten Objekten und verbessert die Einschätzung der Länge von Routen. Der Effekt verschwindet bei vermehrtem Lernaufwand, bei hohem Lernaufwand finden sich keine Unterschiede mehr. Angenommen wird, dass auch die mentalen Modelle keine Unterschiede mehr zeigen, was auch durch Simulationen und Roboterlernen nahegelegt wird (vgl. a. Kuipers, 2000; Leiser & Zilberschatz, 1989). Die Lernmodalität scheint vor allem bei geringem bis mittlerem Lernaufwand differenziert Einfluss auf verschiedene räumliche Leistungen zu nehmen. Weiteres Training eliminiert diese Leistungsunterschiede, was den Schluss nahelegt, dass sich ein übergreifendes räumliches Modell gebildet haben muss, welches alle Leistungsklassen gleichermaßen unterstützen kann. Dies legt wiederum nahe, dass Aufbau, Struktur und Inhalt relativ gleich sein müssen und als Parameterklassen beschreibbar sind.

Inhalt des räumlichen mentalen Modells Mentale Modelle im Allgemeinen, wie auch räumliche im speziellen sind durch allgemeine Parameter beschreibbar. McNamara (1986) gibt diese Parameter der Repräsentation mit Art der Kodierung, Funktion, Struktur und Inhalt an.

Kodierungsart (analog, propositional oder hybrid): Die Art der Kodierung räumlicher Inhalte ist eine anhaltende Debatte. Es werden zwei Arten angenommen. Eine *analoge Kodierung* (Kosslyn & Pomerantz, 1977) geht davon aus, dass räumliche Inhalte als mentales Bild gespeichert wird, wobei der Begriff *Bild* als „[...] pre-organized into objects and properties of objects [...]“ verstanden wird und nicht als „[...] reembodiments of stored sensations [...]“. Die metaphorische Sichtweise entspricht zwar eher der Erlebnisqualität mentaler Repräsentationen, würde aber gravierende Erklärungsprobleme mit sich bringen¹. Kontrastierend zur analogen Kodierung wird von einer *konzeptuell-propositionalen Speicherstrategie* ausgegangen (Pylyshyn, 1973), bei der Beziehungen von Entitäten oder Eigenschaften abstrakt über Propositionen ausgedrückt werden. Eine Proposition ist dabei die kleinste sinnvoll aufteilbare Einheit, die aus einer Relation und einer geordneten Menge von Argumenten besteht (Kintsch, 1974). Eine Proposition kann wahr oder falsch sein. Im Beispiel „Der blaue Himmel ist oben.“ können zwei Propositionen gefunden werden: (1) „Der Himmel ist oben“ und (2) „Der Himmel ist blau“. Die Entität „Himmel“ wird durch Relation „ist“ die Eigenschaft „oben“ und „blau“ zugewiesen. Komplexe räumliche Zusammenhänge lassen sich über einfache Pro-

¹ Kosslyn und Pomerantz (1977) weisen darauf hin, dass ein *mentales Bild* ein virtuelles Verarbeitungssystem zur Interpretation des Bildes benötigen würde, ein *minds eye's brain*. Dies würde zu einem weiteren *minds eye* führen und, letztendlich, eine infinite Regression darstellen.

positionen darstellen.

Bei der *hybriden Kodierung* gehen Kosslyn und Shwartz (1977) von einer quasi-piktorialen, räumlichen Oberflächenrepräsentation aus, deren tiefere Speicherstruktur propositionalen Charakter hat, über welche die grundlegenden Eigenschaften beschrieben werden. Kosslyn und Shwartz weisen darauf hin, dass diese kombinierte Art der Repräsentation Vorteile bezüglich der Effizienz der Speicherung und Ordnung hat.

Funktion der Speicherkodierung (logisch vs. räumlich): Für verschiedene Arten der Verwendung oder Funktion kann eine unterschiedliche Speicherung sinnvoll sein. Somit determiniert die Funktion des mentalen Modells die Speicherung. Anderson (1983) stellt fest, dass logisch-mathematische Zusammenhänge am besten in propositionaler Form gespeichert werden. Für räumliche Zusammenhänge können analog-bildhafte Speicherungen sinnvoller sein. Wie oben dargestellt bietet aber für die Speicherung räumlicher Gegebenheiten eine hybride Speicherform besondere Vorteile, die sowohl quasi-bildhaft (Kosslyn & Shwartz, 1977) als auch propositional (Pylyshyn, 1973) ausgestaltet ist.

Struktur der Repräsentation (streng hierarchisch vs. teilhierarchisch) Die Struktur einer Repräsentation legt die erlaubten Relationen zwischen Elementen im Speichercode fest (Stevens & Coupe, 1978; McNamara, 1986) und wird oft als eine Metapher durch eine Baumstruktur mit Ästen und weiteren Unterverknüpfungen dargestellt (siehe Abbildung 7.1). Diese im Baum verortete Hierarchie kann streng oder teilhierarchisch sein und limitiert dementsprechend die Relationen entlang der Hierarchieäste. In beiden Arten werden mit zunehmender hierarchietiefe Informationen weiter detailliert. Eine *strenge Hierarchie* lässt nur Relationen zwischen Objekten entlang der vertikalen Hierarchie zu. Eine holistische Inferenz über Objektrelationen verschiedener Stufen muss somit die gesamte Kette der dazwischenliegenden Objekte umfassen. In jeder der Ketten sind zwei Orte 1 und 2 in zwei unterschiedlichen Bezirken gegeben. Ort 1 liegt in Bezirk 1 im Land A, Ort 2 in Bezirk 2. Soll nun die Beziehung zwischen den Orten 1 und 2 ausgedrückt werden, kann dies nur über die Bezirke und deren gemeinsame Lage in Land A erfolgen. In einer *teilhierarchischen Struktur* kann die Beziehung zwischen Elementen auch anders abgeleitet werden. Es sind weiterhin Relation zwischen Objekten entlang der vertikalen Hierarchie ableitbar, ebenso können horizontale Relationen zwischen Objekten verschiedener Hierarchieäste gebildet werden (s. Abbildung 7.1b). Soll in einer nicht strengen Hierarchie dieselbe Beziehung zwischen zwei Orten gegeben werden, kann dies bereits über deren horizontale Verbindung erfolgen, Ort 1 liegt neben Ort 2. Der Hauptunterschied zwischen beiden Strukturarten besteht in der expliziten Darstellung einer Beziehung zwischen den Elementen und den daraus ableitbaren Inferenzen über die räumlichen Gegebenheiten. McNamara (1986) sieht in strengen Hierarchien eine effizientere Speichermethode als in schwachen, da räumliche Beziehungen aus allgemeinen Beziehungen abgeleitet werden können. Allerdings sind bei schwachen Hierarchien durch die Redundanz von Elementbeziehungen schnellere und weniger fehleranfällige Ableitungen räumlicher Beziehungen möglich, ein Erinnern oder Einordnen von Objektbeziehungen kann so über verschiedene Wege erfolgen.

Inhaltsrepräsentation (Enkodierung vs. Inferenz) Die Art der Repräsentation von Inhalt kann entweder über eine direkte *Enkodierung von Perzepten* der Informationsverarbeitung geschehen oder durch Speicherung aus solchen Perzepten abgeleiteter, struktureller Eigenschaften (McNamara, 1986). *Enkodierung* bedeutet eine Speicherung von räumlichen Relationen und Eigenschaften explizit in der Repräsentation. Es wird für jede Erfahrung mit räumlichen Gegebenheiten ein eigener Speicher angelegt, ob propositional oder quasi-bildhaft kodiert. Auf diese Weise entsteht eine breite Datenbasis an einzeln gespeicherten Räumen,

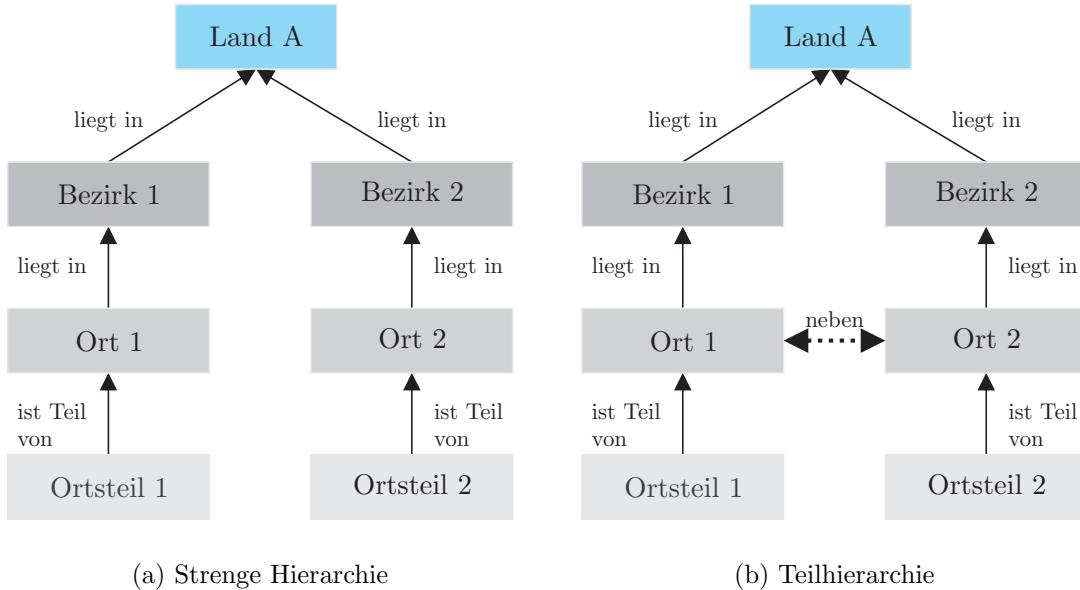


Abbildung 7.1: Hierarchische und teilhierarchische Betrachtung von örtlicher Repräsentation.

die als Erfahrungsbasis dient. Bei der *Inferenzmethode* werden räumliche Relationen nicht gespeichert sondern räumliche Situationen aufgrund ihrer strukturellen Eigenschaften analysiert und diese dann eingeordnet. Diese Methode ist deutlich sparsamer bezüglich des verbrauchten Speichers und robust im Erkennen und Einordnen bekannter räumlicher Auslegungen. Allerdings müssen bei neuen Gegebenheiten erst strukturelle Eigenschaften abgeleitet werden um darauf reagieren zu können.

Ein räumliches mentales Modell ist die Basis für Navigation im Raum. Die direkte Zugänglichkeit zum eigenen mentalen Modell ist für eine Person dabei nicht von Bedeutung. Der bildhaft erlebte Raum kann jedoch für die Navigation genutzt werden. Die aus dem mentalen Modell abgeleiteten Räume werden genutzt um Objekte zueinander in Beziehung zu setzen, Hindernisse zu umgehen oder Routen zu planen. Diese Leistungen sind also eine Funktion der zugrundeliegenden mentalen Modelle und können genutzt werden, um Aussagen über diese zu treffen oder technische Darstellungen zu bewerten.

Anwendungsbezug zum Situationsbewusstsein Ein räumliches mentales Modell bildet den zentralen Ansatz zur Bewertung der technischen Darstellung. Die charakterisierten mentalen Modelle räumlichen Inhalts sollen verdeutlichen, wie eine Speicherung inhaltlich von statthen geht.

Diese grundsätzlichen Mechanismen vermitteln den Eindruck über den effizienten Umgang mit räumlichen Gegebenheiten. Im Flug ist die räumliche Orientierung Primat der Handlungsfähigkeit des Piloten. Parrish, Busquets, Williams, und Nold (1994) stellt dies als das Bewusstsein über die eigene Lage im Raum bezogen auf den Flugpfad oder anderen Flugverkehr dar. Bolton, Bass, und Comstock (2007, S. 961) detailliert dies und ordnet es Endsleys Definition von Situationsbewusstsein unter als Leistung, die „[...] encompasses the extent to which pilots notice objects in the surrounding environment [...], their understanding of where these objects are relative to ownship [...], and their prediction of these objects' future position“

[...]. So kann Situationsbewusstsein durch räumliche Fähigkeiten beschrieben werden, welche den Aufbau und Erhalt einer mentalen Repräsentation in der Informationsverarbeitung mit räumlichen Inhalten zum Gegenstand haben. Diese Repräsentation enthält räumliche Relationen zwischen Objekten der Umwelt, welche einer bestimmten zeitlichen Variabilität unterliegen und an die Perspektive eines Beobachters (ego- oder allozentrisch) gebunden sind.

7.3.3 Messung räumlichen Bewusstseins

McNamara (1986) schlägt für die Messung *Distanzschätzungen*, *Orientierungsurteile*, *Kartenzeichnungen* oder direkt *Navigation durch den Raum* vor. Jede dieser Aufgabenarten kann unter verschiedenen Umständen zur Einschätzung der Auswirkung einer technischen Darstellung auf einen Beobachter eingesetzt werden. Diese Methoden werden in grundlagenorientierter wie auch angewandter Forschung eingesetzt, um die Auswirkungen verschiedener Darstellungen auf die Leistung von Probanden und dahinter vermutete Prozesse zu ergründen.

Barfield und Rosenberg (1995) nutzen eine Einschätzung von Azimutwinkel und Entfernung, um die Eignung von dreidimensionalen Darstellungen für die Einschätzung von räumlichen Informationen zu erhalten. In den Darstellungen wurde eine allozentrische Perspektive eingenommen und es sollten die Relationen zweier virtueller Objekte zueinander als Azimut und Elevation eingeschätzt werden. Alm, Lif, und Öberg (2003) untersucht mit Hilfe von Azimut und Elevationsschätzungen den Einfluss monokularer Tiefenhinweisreize auf das Verständnis taktischer Situationen. Wie obige Autoren verwendet er als Indikator die Genauigkeit der Wiedergabe von Azimut und Elevation zwischen eigener Position und Zielobjekt.

Dorighi und Grunwald (1993) bewerten eine „Tunnel in the Sky“-Darstellung um räumliche Orientierung zu unterstützen. Die Orientierung wird als Maß der Abweichung zwischen objektiv gegebenem Azimutwinkel durch den Tunnel und dem von Probanden produziertem Azimutwinkel der Flugbewegung erhoben. Bolton u. a. (2007) untersuchen den Einfluss von Blickfeld und Textur in synthetischen Displays und operationalisieren räumliches Bewusstsein durch geschätzten Azimutwinkel, Entfernung, Höhe und *Abeam Time* eines Punktes auf dem Gelände. Die *Abeam Time* ist hierbei die erste räumlich-dynamische Operationalisierung, die die Länge des Fluges vom aktuellen zu einem Geländepunkt in Sekunden angibt.

All diese Aspekte sind Operationalisierungen von räumlichen Bewusstsein. Die Leistung wird hierbei als Funktion des mentalen Modells aufgefasst, bei welcher raumzeitliche Relationen aus der Beobachterperspektive Verständnis von Objektrelationen im Raum darstellen. Ebenso können Veränderungen dieser Objektrelationen angegeben werden. Diese sind dabei zeitlich nicht beschränkt. Eine Projektion in nahe Zukunft ist ebenso als Kriterium geeignet. Implizit gehen alle Autoren von derselben Prämisse aus: Wird eine technische Darstellung mit solchen Leistungen bewertet, muss die Darstellung die beste Leistung hervorbringen, die das mentale Modell des Beobachters am besten unterstützt.

Mit Hilfe dieser Annahme sind Operationalisierungen der *Verständnisqualität* als Positionsgenauigkeit (Abweichung in Azimut, Elevation und Höhe) und Wiedergabezeit geeignete Parameter. Erweitert um die nahe Zukunft können ebenso *Antizipationsleistungen* der Positionsextrapolation (Abweichung in Azimut, Elevation und Höhe in Zukunft) sowie die benötigte Extrapolationszeit genutzt werden. Diese beiden Parameter sind sowohl statisch als auch in dynamischen Umgebungen hilfreich und stellen die Grundeignung einer Darstellung heraus. Weiter sollen auch aus der charakterisierten Aufgabe (siehe Kapitel 4 und Kapitel 6) gewonnenen Erkenntnissen verwendet werden, um einen möglichst kontextnahen Evaluationsparameter zu schaffen. In einer Luftbereichsüberwachung wird vom Piloten eine Einschätzung getroffen,

ob ein bestimmtes Objekt eine gesetzte Grenze in naher Zukunft überschreiten wird oder nicht. Diese Einschätzung ist gleichsam eine Funktion der Verständnisqualität als Konfliktantizipation. Die Antizipation selbst kann wiederum als Nennung des potentiellen Konfliktes, des Konfliktortes oder der geschätzten Zeit erfolgen.

Die verschiedenen Operationalisierungen geben ein breites Spektrum räumlicher Leistungsfähigkeit wieder und lassen eine detaillierte Bewertung der technischen Darstellung zu. Dies erlaubt eine Einschätzung der Auswirkung auf die durch den Benutzer veränderte Systemleistung und damit die Abgabe einer Empfehlung zur weiteren Verwendung.

7.4 Einfluss von Belastung, Subjektive Wert- und Nutzenurteile

Um die obig vorgeschlagene Bewertung zu ergänzen und den Kontext entsprechend abzubilden, sollen sowohl die in Kapitel 4 erhobene Belastung als Einflussfaktor als auch die zentrale Stellung des Bedieners (s. Kapitel 3) berücksichtigt werden.

Die *Belastung* wird in Form von Zusatzaufgaben operationalisiert, welche den erhobenen Kontext in geeigneter Weise abbilden. Hierzu werden Aufgaben definiert, welche dem erhobenen Belastungsspektrum entsprechend eine repräsentative Untersuchung in kontrollierter Umgebung sichern. Die Wirkung dieser Aufgaben wird anhand zu definierender Leistungsparameter im Verhältnis zu einer primären Aufgabe definiert und in dem entsprechenden Kapitel vorgestellt (siehe Kapitel 10). Zudem erfolgt eine Erhebung subjektiv erlebter Belastung die einen Vergleich mit in Kapitel 4 dem Belastungsprofil ermöglichen soll.

Die Leistung, die ein Mensch erbringen kann, ist in Verhaltensäußerungen operationalisier- und messbar. Dieser als objektive Leistung bekannter Verhaltensanteil wird durch das subjektive Erleben während der Leistung begleitet. Zwar gibt es Dissoziationen zwischen gezeigter Leistung und dem Erleben eigener Wirksamkeit (vgl. Nisbett & Wilson, 1977; Yeh & Wickens, 1988), dennoch sind solche Einschätzungen aufgrund von Aspekten wie Nutzerakzeptanz oder der Aufklärung von Leistungsartefakten hilfreich und sollen für eine Bewertung genutzt werden. Die zu erhebenden Einschätzungen betreffen dabei die bereits vorgestellten Konstrukte Workload und Situationsbewusstsein als auch subjektive Präferenzmaße zur Nützlichkeit von technischen Darstellungen.

7.5 Holistische Untersuchungskonzeption

Die vorangegangene Betrachtung zeichnet ein breit gefächertes Bild über die Umgebung, in welcher räumliche Flugdisplays eingesetzt werden. Um diesem Umfeld gerecht zu werden, muss eine Bewertung alle Aspekte mit einbeziehen. Dies ist nur in einer Serie aufeinander aufbauender Untersuchungen zu leisten, welche, ausgehend von der Feststellung einer Grundeignung, in jeder Stufe Faktoren abbilden, die dem Bewertungsumfeld entnommen sind und es repräsentieren. Über einen Vergleich mit etablierten Darstellungen wird die Kugelprojektion zur Raumdarstellung mit Hilfe von Leistungsparametern und Werturteilen holistisch bewertet.

Zu diesem Zweck werden vier Untersuchungen aufgeführt. In der ersten Untersuchung liegt der Fokus allein auf der Kugelprojektion und der Verortung von Objekten. In der zweiten Untersuchung wird, ebenfalls nur für die Kugelprojektion, die Übertragung von virtueller Darstellung auf eine Orientierungsreaktion thematisiert. In der dritten Untersuchung wird die Kugelprojektion mit einer exozentrischen und einer koplanaren Darstellung in dynamisch-

schen Situationen verglichen. Die vierte Untersuchung behandelt Konfliktantizipation unter repräsentativen Belastungsbedingungen für alle Darstellungen.

In Abbildung 7.2 sind die zu charakterisierenden Untersuchungen mit den verschiedenen Einflussfaktoren aufgeführt.

7.5.1 Feststellung der Grundeignung für die Kugelprojektion

Die ersten beiden Untersuchungen stellen gleichsam die Grundeignung der Kugelprojektion dar. Um diese zu bewerten, werden klassische Verortungsleistungen bemüht. Zum einen ist dies die Ableitung von Azimut-, Entfernungs- und Höhenabweichungen für einfache Objekte aus Probandenantworten; zum anderen ist dies die durch die Kugelprojektion ermöglichte Orientierung im Raum. Ziel beider Untersuchungen ist der Nachweis, dass virtuelle Objekte in einem Abweichungsintervall verortet werden können, also von einer Orientierung im Raum ausgegangen werden kann. Mit den ersten beiden Untersuchungen sollen die Forschungsfragen 1 a), b) und c) (siehe S. 172, Block 1) beantwortet werden.

Statische Ziele und Positionsgenauigkeit

Für eine erste Bewertung werden in einer egozentrischen Ansicht auf Basis der Kugelprojektion verschiedene große Blickfelder generiert und darin einfache Objektziele dargeboten. Diese Ziele sind über die drei Dimensionen Azimut, Elevation und Höhe über der Darstellungsfläche eindeutig im Raum verortbar. Expertenprobanden haben hierbei die Aufgabe, nach einer kurzen Betrachtungszeit die genaue Lage eines Objekts im Raum über diese Dimensionen auf entsprechenden Antwortmasken anzugeben. Die Positionswahrnehmungs- und -verständnisleistung bei statischem Bildmaterial wird über die Abweichung der Probandenantwort auf den Skalen erhoben.

Die Auswertung erfolgt in zwei Schritten. Zuerst werden die primär realisierten Faktoren dargestellt und analysiert. Aufbauend darauf werden Artefakte in den Probandenverortungen analysiert, welche durch die Position der Objekte in der Darstellung generiert wurden.

Die Darstellung der Untersuchung findet sich in Kapitel 8.

Virtuelle Ziele und realer Ort

Jede technische Darstellung von Raum muss die Übertragung einer virtuellen Position in der Darstellung auf eine reale Position ermöglichen. In einem zweiten Versuch werden Probanden deshalb virtuelle Objekte in einem horizontal maximal aufgeweiteten Blickfeld gezeigt. Die Probanden haben die Aufgabe, die Objektposition der Darstellung im sie umgebenden Raum zu finden und zu benennen. Erhoben wird die Verortungsgenauigkeit im Raum durch in einem Vollkreis angebrachten Markern.

Eine Auswertung erfolgt als Trefferwahrscheinlichkeit für einen Marker in einem definierten Abweichungsintervall. Das Intervall stellt die richtige Orientierung im Raum sicher und ist zudem ausreichend fehlertolerant.

Die Darstellung der Untersuchung findet sich in Kapitel 9.

7.5.2 Relationaler Vergleich und Dynamik

Objektpositionen in einer Kugelprojektion für hochagile Flugzeuge müssen auch unter dynamischen Umständen interpretierbar und prognostizierbar sein. Zudem soll die Leistung bei der

7 Holistische Evaluation der räumlichen Darstellung

Objektverortung in Azimut, Elevation und Höhe nicht schlechter als in konventionellen Raumdarstellungen sein. In einem dritten Versuch werden deshalb mehrere Objekte in Bewegung als Ziele definiert. Die Probanden haben die Aufgabe, die aktuelle oder zukünftige Position eines Objektes in Azimut, Elevation und Höhe abhängig von der realisierten Raumdarstellung anzugeben. Mit dieser Untersuchung soll der Positions wahrnehmung, dem -verständnis und -antizipation bei dynamischem Bildmaterial in verschiedenen Darstellungen und Schwierigkeitsgraden Rechnung getragen werden. Erhoben werden also wiederum Abweichungsmaße der objektiven zur geschätzten Objektposition sowie Verortungszeiten.

Die Auswertung erfolgt über die primär realisierten Faktoren sowie über subjektive Urteile zum Situationsbewusstsein und der erlebten Belastung. Zudem wird erhoben, welche der Darstellungen von den Probanden präferiert wird. Die Leistungsmaße werden durch die subjektiven Urteile kontrastiert und zu ihnen in Beziehung gesetzt.

Die Darstellung der Untersuchung findet sich in Kapitel 9. Diese Untersuchung soll helfen, die in Block 2 formulierten Fragen zu beantworten.

7.5.3 Konfliktantizipation

Die bisherig aufgeführten Untersuchungen haben das Ziel der Sicherstellung der Grundeignung der Kugelprojektion und wurden entsprechenden gestaltet. Erfolgreich zu bearbeitende Aufgaben mit räumlichem Inhalt im Flug sollen aber über diese Grundeignung hinaus betrachtet werden. Für die letzte Untersuchung wird deshalb eine Bereichsüberwachung (s.a. Kapitel 6) abstrahiert und der Kernbereich der Leistung als die Antizipation räumlicher Konflikte identifiziert. Die Kugelprojektion wird dabei wiederum durch die weiteren Darstellungen (exozentrisch und koplanar) kontrastiert. Die Antizipationsleistung wird als prospektive Entscheidung im Konfliktfall unter repräsentativen Bedingungen operationalisiert. Es wird besonderer Wert auf die Gestaltung der Konfliktsituationen und der Operationalisierung einer repräsentativen Belastung gelegt. Erhoben werden Maße der prospektiven Konflikerkennung und Aufgabenzeiten, die subjektiv erlebte Belastung und die Bewertung der verschiedenen Ansichten im Lichte der realisierten Aufgabenstellung.

Eine Auswertung erfolgt in zwei Schritten. Einerseits wird die Konflikerkennung als Signalfindung aufgefasst und nach entsprechenden Parametern ausgewertet, andererseits wird die durch Zusatzaufgaben induzierte Belastung als Leistungsbeeinflussung über Performance Operator Characteristics dargestellt zusammen mit der Hauptaufgabe dargestellt.

Die Darstellung der Untersuchung findet sich in Kapitel 10. Diese Untersuchung soll helfen, die in Block 3 formulierten Fragen zu beantworten.

7.6 Zusammenfassung

Über die realisierten Untersuchungen wird eine breite Datenbasis zur Bewertung der Kugelprojektion allein oder in Relation zu bekannten Darstellungen geschaffen. Zudem wird mit dem letzten Experiment eine repräsentative Aufgabe und Belastung erstellt, welche über zwei aussagekräftige Auswertungsmethoden eine verlässliche Entscheidungsbasis für eine weiter Verwendung der Projektionsart bieten soll.

Grundeignung	
Interpretierbarkeit der Kugelprojektion	Virtuelle Ziele und realer Ort
Gegenstand	Kugelprojektion
Zielsetzung	Grundeignung Verortungstastefakte
Einflussfaktoren	Aufweitung des Blickfeldes Blickfeldtiefe Blickpunktthöhe
Operationalisierung	geschätzte Objektposition
Komparative Eignung, Genauigkeit	Displayvergleich, Dynamik, Antizipation
Gegenstand	Projektionsvergleich
Zielsetzung	Eignung bei repräsentativen Reizbedingungen
Einflussfaktoren	Objektanzahl Verortungszeitpunkt Projektionsart
Operationalisierung	geschätzte Objektposition Bewertung von situativem Wissen Bewertung erlebter Belastung
Komparative Eignung, Antizipation	Displayvergleich, Antizipation
Gegenstand	Projektionsvergleich
Zielsetzung	Eignung bei repräsentativen Aufgabenbedingungen
Einflussfaktoren	Konfliktparameter Überwachungsparameter
Operationalisierung	Konfliktantizipation Zusatzaufgabenleistung

Abbildung 7.2: Übersicht der zu realisierenden Untersuchungen zur Bewertung der Kugelprojektion, geordnet nach Komplexitätsgrad.

Teil III

Empirie: Experimentelle Bewertung der räumlichen Darstellungen

8 Positionsverständnis und Orientierung

8.1 Zielsetzung

In den vorausgehenden Abschnitten wird beschrieben, wie die Ausgestaltung einer sphärischen Projektion aus der Sicht von Piloten aussehen sollte. Zudem wurden diejenigen Verzerrungen beschrieben, denen ein Raum unterliegt, wenn er auf diese Weise zur Anzeige gebracht wird (siehe Abschnitt 5.3.2). Die theoretisch möglichen Öffnungswinkel der Projektion, wie auch die Verzerrung werfen die Frage auf, ob diese Darstellung eine korrekte Verortung von Objekten in angemessener Zeit ermöglicht.

Interpretierbarkeit der Kugelprojektion		Virtuelle Ziele und realer Ort	
Gegenstand	Kugelprojektion	Gegenstand	Kugelprojektion
Zielsetzung	Grundeignung Verortungsartefakte	Zielsetzung	Nachweis stabiler Orientierung
Einflussfaktoren	Aufweitung des Blickfeldes Blickfeldtiefe Blickpunktthöhe	Einflussfaktoren	Objektazimut Probandenkollektiv
Operationalisierung	geschätzte Objektposition	Operationalisierung	Verortungsgenauigkeit Trefferwahrscheinlichkeit

Abbildung 8.1: Die Abbildung zeigt die wichtigsten Merkmale der Untersuchungen 1 (Positionswiedergabe) und 2 (Orientierung) zur Bestimmung und Verortung einfacher Objektpositionen im Raum.

In Abschnitt 8.2 werden mögliche Operationalisierungen räumlicher Leistung beschrieben. Hierbei wird von den Probanden verlangt, präsentierte Objekte auf eindimensionalen Antwortskalen zu verorten. Die Abweichung der Positionswiedergabe (Unterschied von präsentierter und wiedergegebener Position) auf den Skalen und die Verortungsgeschwindigkeit operationalisieren Raumbewusstsein und geben Hinweise auf die Eignung der Darstellung. Für verschiedene realisierte Öffnungswinkel in einen virtuellen Raum wird dargestellt, wie die Projektion auf die Positionsschätzung der Probanden Einfluss nimmt. Weitere Parameter wie die realisierte Tiefe der Projektion, die Höhe des Betrachters in ihr und Bodengitterlinien stellen den Anwendungsbezug her.

Nachfolgend soll die Übertragbarkeit und Gültigkeit der gefundenen Ergebnisse auf die Verortung im wirklichen Raum untersucht werden. Mit Hilfe einer Orientierungsreaktion auf gegebene Zielreize wird gezeigt, ob sich die Projektion für eine Orientierung im wirklichen, den Probanden umgebenden Raum eignet. Objekte werden analog zur ersten Untersuchung präsentiert, allein die Antwortskala wird in den Probanden umgebenden Raum projiziert. Die in Kapitel 7, Block 1 aufgeworfenen Fragen sollen so beantwortet werden.

8.2 Positionsverständnis I: Einfache Objekte in einer Kugelprojektion

Mit der Untersuchung soll geklärt werden, inwiefern die Kugelprojektion geeignet ist, einen Piloten bei dem Aufbau eines räumlichen Bezugssystems zu unterstützen. Diese Grundfrage ist von besonderem Interesse, da die Projektion starke Verzerrungen induziert, die nur unter Mühen mit dem gewohnten Raum in Einklang zu bringen sind. Die Qualität des durch die technische Darstellung vermittelten Bezugssystems kann auf einer sehr niedrigen Ebene über die Einschätzungsgenauigkeit einfacher Objekte erfolgen. In diesem Teil der Bewertung wird nur die Kugelprojektion Gegenstand der Bewertung sein.

Die Untersuchung ist geprägt von antagonistischen Interessen der technischen Realisierung und experimenteller Kontrolle. Es muss ein möglichst hoher Grad an experimenteller Kontrolle ausgeübt werden. Gleichzeitig wird eine Bandbreite von Faktoren untersucht, die für einen operationellen Einsatz eines solchen Displays nötig sind. Dies führt zu Einschränkungen über Aussagen bzgl. der Aspekte der Einsatzbandbreite, erhält aber ein vertretbares Maß an Kontrolle.

8.2.1 Raumbewusstsein als Wiedergabegenaugkeit und Zeit

In Abschnitt 7.3.3 wird die Operationalisierung von Raumbewusstsein durch die Wiedergabe von Objektpositionen in graphischen Antwortmasken (Positionseinschätzungen) aufgezeigt. Verschiedene Autoren (McNamara, 1986; Dorighi & Grunwald, 1993; Barfield & Rosenberg, 1995; Alm u. a., 2003; Bolton u. a., 2007) lassen die Position von Objekten im Raum durch Probanden als Einschätzung auf Azimut-, Entfernungs-, und Höhenskalen angeben. Diese Methode wird eingesetzt, um grundsätzliche Fragen der Wirkung von virtuellen Darstellungen auf die Wahrnehmung zu klären (vgl. a. Barfield & Rosenberg, 1995) sowie technische Eigenschaften einer Darstellung zu bewerten (vgl. a. Bolton u. a., 2007).

Die Art der Messung ist an der explizit-retrospektiven Erhebungsmethode für Situationsbewusstsein (s.a. Abschnitt 3.2.4, bzw. Fracker, 1991b) und der explizit-simultanen Methode orientiert. Bei beiden muss der Inhalt des mentalen Raummodells eines Probanden direkt nach einer Stimuluspräsentation erhoben werden. Der Unterschied zwischen beiden Methoden besteht nur in dem Ablauf eines Szenarios. Bei der retrospektiven Methode wird nach einem abgeschlossenen Szenario befragt, bei der simultanen wird das Szenario unterbrochen, um Fragen stellen zu können. Beide Methoden haben gewisse Vor- und Nachteile, eine Änderung der Erhebungsabfolge erscheint deshalb sinnvoll. Für die Wiedergabe von Objektpositionen wird kein inhaltlich ausgestaltetes Szenario benötigt, dessen Parameter dann wiederzugeben sind. Ebenso muss bei kurzer Dauer einer Stimuluspräsentation nicht unterbrochen werden, es kann direkt danach eine Leistungsmessung erfolgen. Als Raumverständnisleistung wird die Genauigkeit der Angabe relativer Objektpositionen in Azimut, Entfernung und Höhe angesehen. Die Einschätzung der Position erfolgt dabei als relative Position zum Betrachter.

In Abbildung 8.2 ist die graphische Antwortmaske dargestellt, mit welcher die Positionseinschätzung erhoben wurde. Diese ist aufgeteilt in die drei Raumdimensionen einer Position und war immer in der Sequenz Azimut-Entfernung-Höhe gegeben. Diese Konvention wurde aufgrund der Probandenerwartung gewählt, da Objektpositionen auf diese Weise von Piloten erwartet und weitergegeben werden.

In allen Antwortskalen ist die Position des Betrachters als grüner Pfeil (Azimut und Höhe) oder als Grundlinie (Entfernung) auf der Skala gegeben. Über die objektive gegebene

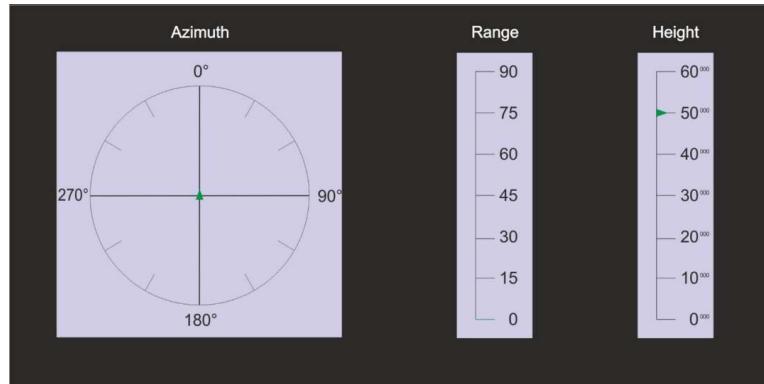


Abbildung 8.2: Graphische Antwortmaske zur Eingabe einer relativen Objektposition mit Azimutvollkreis, Entfernungs- und Höhenskala.

Position eines gezeigten Objektes und die Angaben der Probanden kann für jede Skala ein Abweichungswert bestimmt werden. Die Abweichungen der einzelnen Dimensionen geben Einblicke in die Genauigkeit dieser Wiedergabe. Für die Eingabe auf den Skalen wird zudem die Antwortzeit für jede Eingabe erhoben.

Mit dieser Operationalisierung sollen die Darstellung der Kugelprojektion wie auch weitere, operationell abgeleitete Einflussfaktoren transparent gemacht und deren Wirkung auf das Raumbewusstsein von Piloten erfasst werden.

8.2.2 Operationalisierung von Situationsbewusstsein

Situationsbewusstsein wurde in der Untersuchung als Positionswiedergabegenaugkeit und Einschätzungszeit erhoben.

Wiedergabegenaugkeit Die Wiedergabegenaugkeit einer Position wurde über die Eingabe in den dafür vorgesehenen Masken operationalisiert. Positionsgenauigkeit wird als absolute, normalisierte Differenz zwischen objektiver Position eines Kontaktes und der Eingabe auf der Maske (s. Abbildung 9.3d in Prozent angegeben. Dieses Maß wurde für jede Skala berechnet. Für die Dimension Azimut wird die Differenz zwischen Schätzung und wirklicher Position in Grad durch 180 geteilt und mit 100 multipliziert. Die Differenz wird immer als kürzeste Strecke auf dem Kreisbogen errechnet, so können maximale Fehler von 180° entstehen.

Für die Dimensionen Entfernung und Höhe gelten dieselben skalenbezogenen Normierungsvorschriften, die Entfernungsdifferenz wird an 90NM normiert, die Höhe an dem maximalen Schätzfehler von 60.000 ft.

Die in den Antwortmasken gegebenen Skalen deckten den realisierten Raum immer gleich ab.

Wiedergabezeit Die Wiedergabezeit wird für jede Dimension einzeln erhoben und über Maus-Eingaben auf den Eingabemasken erfasst. Die Angaben zu den einzelnen Dimensionen waren seriell abzuarbeiten, es sollte immer zuerst der Azimut, dann die Entfernung und dann Höhe angegeben werden. Das serielle Vorgehen stellt die Zeitmessung sicher, die Einschätzungszeit des Azimuts wird ab dem Einblenden der Maske bis zur Eingabe des Schätzwertes auf der Skala gemessen. Nach der Eingabe wird die Azimutdimension ausgeblendet und die Entfernungsskala freigeschaltet. Ab dem Freischalten der Entfernungsskala bis zur Eingabe

der Entfernung wiederum wird die Zeit mitgeologt. Durch die Eingabe beendet der Proband die Zeitmessung und schaltete gleichzeitig die Höhenskala frei, worauf hier bis zur Eingabe die Zeit gemessen wird. Auf diese Weise wird ein differenziertes Zeitmaß für jede Dimension erhoben.

8.2.3 Annahmen und Forschungsfrage

Von verschiedenen Einflussfaktoren wird eine Auswirkung auf die Positionswiedergabeleistung der Probanden erwartet. Sie erlauben die Bewertung der Projektion.

Einflussfaktoren

Vier relevante, leistungsbeeinflussende Faktoren der Projektion wurden realisiert. Dies sind die **Öffnung des Blickfeldes**, die **Bodengitterdarstellung**, die **Blickhöhe des Betrachters** und die **maximale Entfernung zum Horizont**. Die Blickfeldweite und Bodengitterdarstellung betreffen die Gestaltung der Projektion. Die Faktoren Flughöhe und Entfernung zum Horizont verändern den perspektivischen Eindruck des Betrachters.

Öffnungswinkel des Blickfeldes Egozentrische Darstellungen von Raum erlauben eine einfache und schnelle Einschätzung von Objektpositionen, sind aber in der Darstellung des umgebenden Raumes beschränkt. In der Kugelprojektion können beliebige Blickfelder bis hin zum vollen, umgebenden Raum dargestellt werden. Dieser Vorteil sollte so nutzbar sein, dass Probanden ein ganzheitliches Raumbewusstsein aufbauen können. Allerdings ist ein damit verbundener, erhöhter zeitlicher Aufwand zu erwarten, welcher durch die ungewöhnliche Darstellung des gesamten Raumes auf einer planen, rechteckigen Fläche entsteht. Die sieben Blickfelder stellen verschiedene große Räume dar und bilden minimal 12,5% und maximal 100% des umgebenden Raumes ab. In Abbildung 8.1 sind die verschiedenen Kombinationen aus horizontalem und vertikalem Öffnungswinkel abgebildet und durch Größe, Auflösung, Raumvolumen und wahrgenommene Sicht charakterisiert.

Bezeichnung	Beispiel Stimulusbild	Beschreibung
BF1: 090s090s		Größe: H090°/V090° Auflösung: 3,6mm/° / 3,6mm/° unverzerrt / hoch Raumvolumen: 12,5% Schlüssellochperspektive
BF2: 180s090s		Größe: H180°/V090° Auflösung: 3,6 mm/° / 3,6 mm/° unverzerrt, hoch Raumvolumen: 25% teilweise vordere Hemisphäre
BF3: 180n180n		Größe: H180°/V180° Auflösung: 1,8mm/° / 1,8mm/° unverzerrt, niedrig Raumvolumen: 50% volle vordere Hemisphäre
BF4: 180v180n		Größe: H180°/V180° Auflösung: 3,6mm/° / 1,8mm/° verzerrt, höher (H) Raumvolumen: 50% volle vordere Hemisphäre
BF5: 360n090n		Größe: H360°/V090° Auflösung: 1,8mm/° / 1,8mm/° unverzerrt, niedriger Raumvolumen: 50% volle Azimutdarstellung
BF6: 360n090v		Größe: H360°/V090° Auflösung: 1,8mm/° / 3,6mm/° verzerrt, höher (V) Raumvolumen: 50,0% volle Azimutdarstellung
BF7: 360n180n		Größe: H360°/V180° Auflösung: 1,8mm/° / 1,8mm/° unverzerrt, niedrig Raumvolumen: 100% volle Raumdarstellung

Tabelle 8.1: Die Tabelle zeigt alle realisierten Öffnungswinkel (horizontal x vertikal) mit ihren entsprechenden Eigenschaften. Gegeben sind Auflösung in mm pro °, Verzerrung und Einschätzung der Auflösung, dargestelltes Raumvolumen in % und eine charakterisierende Einschätzung.

8.2 Positionsverständnis I: Einfache Objekte in einer Kugelprojektion

Die Raumvariante H090°/V090° ist die kleinste Ansicht, und gibt Ausblick auf die im Vorderen Sektor befindlichen Objekte. Solche Ansichten werden als Schlüssellochperspektiven bezeichnet, da der nicht dargestellte Raum deutlich größer ist als der dargestellte. Eine Einschränkung, welche die Ansicht für lokale Flugsteuerung geeignet erscheinen lässt. Hier steht die Aufgabenkonzentration im Vordergrund und die Umgebung kann zu einem großen Teil vernachlässigt werden. Diese Ansicht ist mit dem Blick durch ein Teleobjektiv in der Fotografie vergleichbar.

Die Ansichten H180°/V090°, H180°/V180° und H180°/V180° stellen bereits die gesamte vordere, azimutale Hemisphäre dar und zeigen so zwischen 25% und 50% des gesamten Raumes (je nach vertikalem Öffnungswinkel). Diese sind sowohl für Flugsteuerungsaufgaben im zentralen Bereich der Darstellung als auch für Überwachung eines Sektors geeignet. Der Blick in den Raum gleicht dem eines Weitwinkelobjektivs.

Die beiden Ansichten H360°/V090° stellen bereits den vollen azimutalen Raum bei ausschnittsweisem vertikalem Blickfeld dar. Durch Reduzierung auf 90° in der vertikalen werden jeweils 50% des gesamten Raumes abgebildet. Geeignet erscheinen diese Ansichten für die Überwachung des umgebenden Raumes in gewisser Entfernung.

Der gesamte umgebende Raum wird durch die unverzerrte Darstellung mit einem Öffnungswinkel von H360°/V180° dargestellt. Die Darstellung umfasst den vollen Raum (100%) und kann sowohl zur Überwachung als auch zu einer lokalen Flugsteuerung im zentralen Bereich verwendet werden.

Bodengitterdarstellung Um die Verortung in einer Projektion zu vereinfachen, werden meist bestimmte Hilfslinien (Snyder, 1993) und implizit oder explizit dargestellte Koordinatensysteme (Barfield & Rosenberg, 1995; Alm u. a., 2003; Dorighi & Grunwald, 1993; Bolton u. a., 2007) verwendet (s.a. Abbildung 8.3). Der Einfluss verschiedener Referenzgitter auf die Einschätzung der Objektposition wird durch die Projektionsart und die damit einhergehenden Verformung des Gitters bedingt. Die Referenzgitter waren entweder kartesisch oder polar. Bei einem **kartesischen Bodengitter** werden die in der orthogonalen Ansicht horizontal geradlinig verlaufenden Linien mit äquidistantem Abstand (s.a. Abbildung 8.3a) als gekrümmte Linien dargestellt. Die konzentrischen Kreise des **polaren Bodengitters** werden durch die Projektion als horizontal verlaufende Geraden abgebildet. In beiden Projektionsarten bleiben die vertikalen Geraden erhalten und bilden den Azimut ab.

Höhe des Betrachters und maximale Tiefe Die beiden Faktoren der Höhe des Blickpunktes des Betrachters und die maximale Tiefe der Darstellung werden zusammen betrachtet, um die Darstellung zu vereinfachen. Zudem ergeben sich in bestimmten Faktorstufenkombinationen ungünstige Darstellungsvarianten, welche ausgeschlossen werden müssen.

Die Höhe des Betrachters in der Projektion bestimmt den Blickwinkel auf dargestellte Objekte (s.a. Abbildungen 8.4 und 8.5). Je höher der Blickpunkt, desto kleiner der Winkel bei gleicher maximaler Tiefe. Die maximale Tiefe der Projektion verändert vor allem die Verortbarkeit von Objekten im Nahbereich, da hier die Entfernung besser aufgelöst werden kann. Auch ist der Abstand zwischen Entfernungslinie bei tieferer Darstellung besser zu erkennen. Es kann so auch eine ordinale Einschätzung der Entfernung zwischen zwei bekannten Linien einfacher erfolgen als bei geringerer Tiefe. Bei größerer Höhe des Betrachters auf die Szene wirken die dargestellten Objekte gestauchter als bei niedrigerer Höhe. Durch die Stauchung kann die Objekthöhe weniger gut eingeschätzt werden, da die Höhenskala weniger gut trennbar ist.

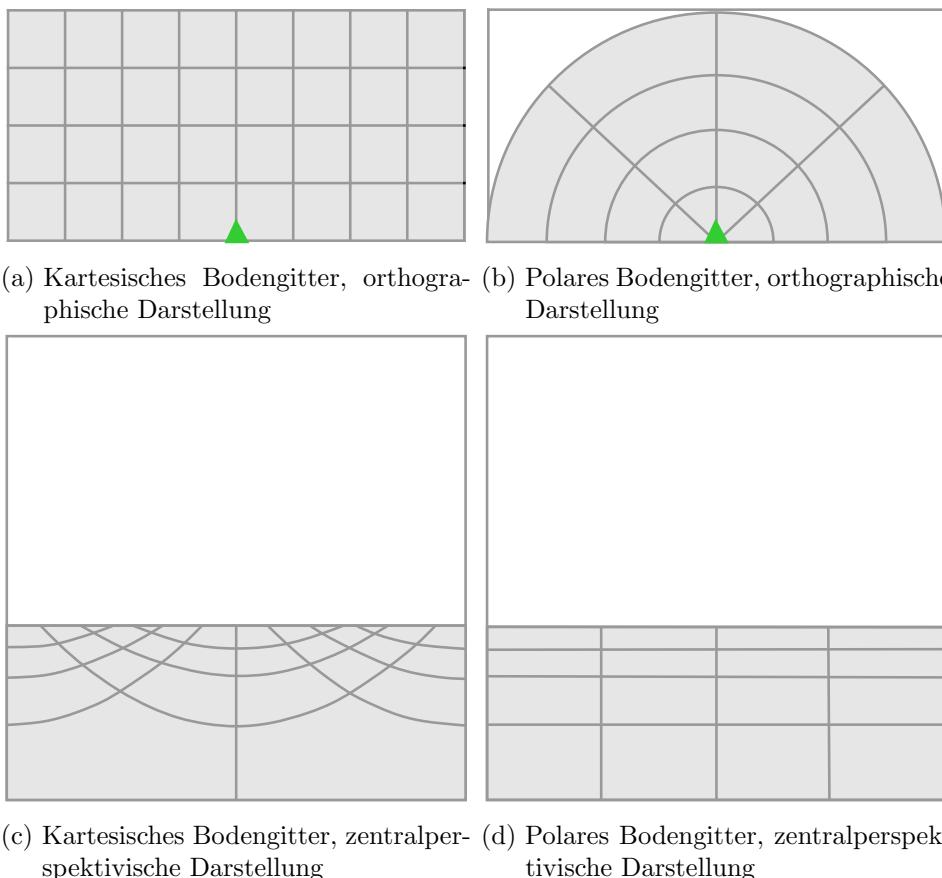


Abbildung 8.3: Die realisierten Bodengitterdarstellungen in der Kugelprojektion. Dargestellt ist jeweils die orthografische Darstellung und die zentralperspektivische Realisierung der Kugelprojektion.

Nicht realisierte Faktorstufenkombinationen Die Reizbilder sind aufgrund der künstlichen egozentrischen Darstellung und der einfachen Bodentextur in bestimmten Fällen für die Objektverortung ungeeignet. Dies gilt für ungünstige Kombinationen aus Flughöhe und Tiefe der Perspektive. In diesen Fällen kollabieren die Entfernungslinien optisch und eine Einschätzung ist nicht mehr möglich.

Alle Faktorstufenkombinationen von minimaler Blickhöhe und maximaler Tiefe werden nicht realisiert (s.a. 8.6b). Die Darstellung der Kombination 10.000ft Höhe und 90NM Entfernung ergibt keine sinnvolle Anzeige für Raum. Durch diese Einschränkung kann kein voll faktorisierter Plan realisiert werden.

Die Auswertung wird deshalb getrennt vorgenommen. Zuerst findet die Auswertung für den voll faktorisierbaren Anteil des Faktorstufenplanes statt. Im Anschluss werden diejenigen Anteile ausgewertet, die direkt vergleichbar sind und die Betrachtungshöhe von 10.000ft mit einschließen.

Darstellungskonstanten Die Darstellung des Raumes hatte übergreifende Darstellungsparameter, die in jedem Raumbild angezeigt werden. Dies sind die Azimut- und Elevationsskala, eine gelb gepunktete Horizontale zur Anzeige der Höhe (0° Elevation) sowie eine gelb gepunk-

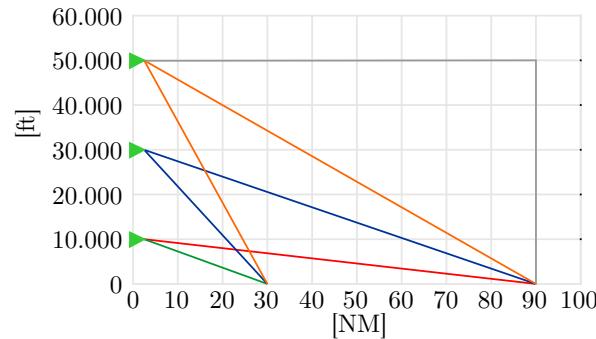
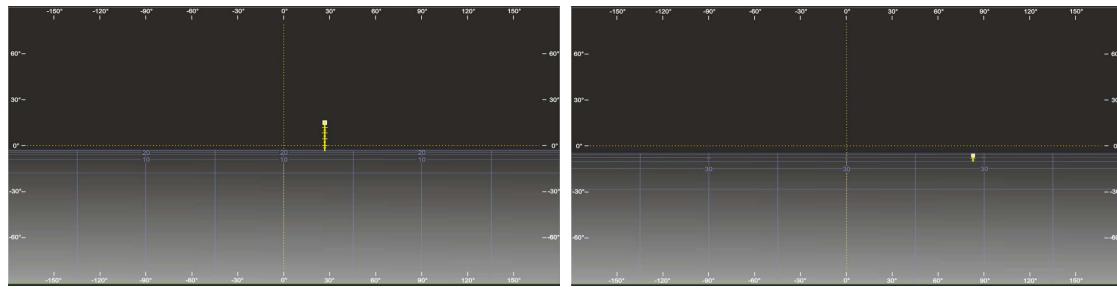


Abbildung 8.4: Darstellung der Blickpunkte des Betrachters in der Projektion mit maximaler Tiefe (30NM/90NM) und der Höhe des Betrachters (10kft/30kft/50kft). Die als rote Linie eingezeichnete Faktorkombination 90NM und 10kft Höhe wurde nicht realisiert, s.a. Abbildung 8.6b.



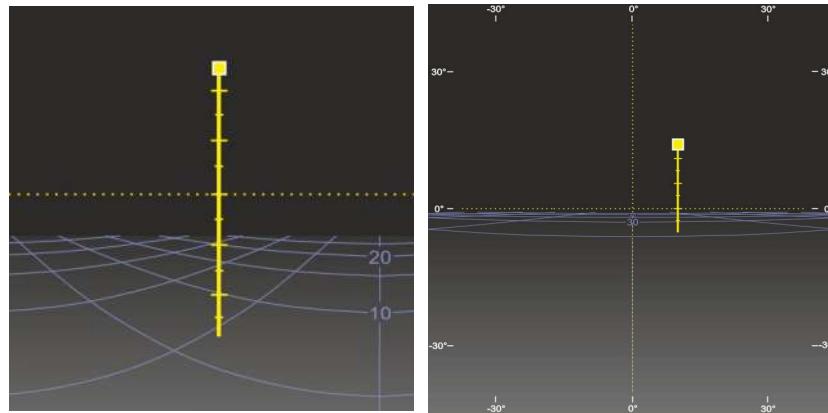
(a) Höhe des Betrachters 10.000ft, Tiefe der Darstellung 30NM (b) Höhe des Betrachters 50.000ft, Tiefe der Darstellung 90NM

Abbildung 8.5: Minimale und maximale Kombination aus Höhe und Betrachtungstiefe. Es wird vor allem der Nahbereich bei geringer Höhe und Tiefe deutlich besser aufgelöst.

tete Vertikale eigener Blickrichtung (0° Azimut) und eine grüne Grundlinie die die Aufweitung des Azimuts mit bezeichnete. Diese Hilfen dienten der Orientierung innerhalb der Darstellung und sind als Verortungshilfen gedacht. Diese Hilfen werden in allen Stimulusbildern präsentiert.

Um die Verortung weiter zu vereinfachen, sind an allen präsentierten Objekten Lote mit Höhenkala und Fußpunkt auf der Ebene angebracht (s.a. Abbildung 8.6a). Die Höhenkodierung erfolgt mit Skalenmarkierung in Schritten von 10.000 ft (große Skalenmarkierung) und 5.000ft (kleine Skalenmarkierung). Das Objektsymbol (gelb gefülltes Quadrat mit weißem Rand) war mittig auf der echten Höhe verankert. Die Abschätzung der Höhe kann mit dieser Hilfe relativ als Differenz zur eigenen Höhe oder absolut als Höhe über Grund abgeschätzt werden.

Das Objektsymbol kann in manchen Fällen die 5000ft Skalenmarkierung verdecken. Eine genaue Höheneinschätzung wird so erschwert. Die Probanden sind deshalb bei allen Einschätzungen angewiesen, die Mitte des Objektsymbols als Referenz für die genaue Höhe anzunehmen. Der Lotfußpunkt geht vom Objekt im 90° Winkel aus und trifft die Grundebene. Der Schnittpunkt mit der Ebene zeigte die genaue Entfernung. Diese kann mit Hilfe der angezeigten blauen Bodengittermarkierungen abgeschätzt werden.



(a) Objekt mit Lot und angebrach- (b) Beispiel einer nicht realisierten ter Höhenkala Höhen-Tiefen-Kombination

Abbildung 8.6: Abbildung 8.6a zeigt die Objektrepräsentation (weiß-gelbes Quadrat) mit Lotfuß sowie die Höhenkala. Abbildung 8.6b zeigt die nicht realisierte Kombination aus niedriger Höhe (10kft) und maximaler Darstellungstiefe (90NM).

Das Lot indiziert die azimutale Ausrichtung. Eine gerade Verlängerung des Lots in der vertikalen trifft am oberen und unteren Rand auf die Azimutskala. Mit Hilfe dieser gedachten Vertikalen kann der Azimut genau eingeschätzt werden.

Hypothesen

Aufgrund der oben beschriebenen Faktoren werden folgende Hypothesen untersucht:

1. Die Raumverständnisleistung nimmt mit zunehmender Größe des Raumes ab.
2. Das Raumverständnis wird durch ein polares Referenzgitter unterstützt, wohingegen ein kartesisches Referenzgitter die Leistung verschlechtert.
3. Die Höhe des Betrachters wirkt sich nicht leistungsmindernd aus.
4. Die Tiefe der Darstellung wirkt sich nicht leistungsmindernd aus.

8.2.4 Untersuchungsplanung

Faktorstufenplan

Die Kombination der vier Einflussfaktoren umfassten 84 Faktorstufenkombinationen bei voller Faktorisierung ($7 \times 3 \times 2 \times 2$). Allerdings sind nicht alle Faktorstufenkombinationen sinnvoll und wurden ausgeschlossen: Die Kriterien für den Ausschluss waren Bedenken bzgl. der Interpretierbarkeit der durch die Kombination Betrachterhöhe und Tiefe entstehenden Perspektive. Ausgeschlossen wurden deshalb alle Varianten mit niedriger Flughöhe (10000ft) und hoher Entfernungsdarstellung (90NM). Ein Beispielbild findet sich in Abbildung 8.6b, siehe auch Abschnitt 8.2.3. Der resultierenden Faktorstufenkombinationen werden im Übersichtsplan der Tabelle 8.2 aufgeführt. Die Auswertung wurde aufgrund des nicht vollständig faktorierten Planes in zwei Schritten durchgeführt, wobei für die Kombination aus Höhe und Betrachtungstiefe je *mit 10kft* und *ohne 10kft* ausgewertet wurde. Bei der Analyse mit 10kft Höhe

8.2 Positionsverständnis I: Einfache Objekte in einer Kugelprojektion

wurde die Betrachtungstiefe bei 30NM konstant gehalten. Bei der Analyse ohne 10kft wurden nur Faktorstufenkombinationen verglichen, die 30kft und 50kft Höhe beinhalteten.

Höhe	Tiefe	Bodengitter kartesisch	polar
FH 10kft	30NM	BF1 - BF7	BF1 - BF7
	90NM	n.a.	n.a.
FH 30kft	30NM	BF1 - BF7	BF1 - BF7
	90NM	BF1 - BF7	BF1 - BF7
FH 50kft	30NM	BF1 - BF7	BF1 - BF7
	90NM	BF1 - BF7	BF1 - BF7

Tabelle 8.2: Die Tabelle zeigt den Faktorstufenplan der ersten Untersuchung mit den Einflussfaktoren Bodengitter, Betrachterhöhe, perspektivische Tiefe und Blickfeldern. Nicht realisierte Stufen sind als n.a. gekennzeichnet.

Randomisierung und Blockaufteilung

Die Untersuchung stellte wegen der unbekannten Darstellung besondere Anforderungen an die beteiligten Probanden. Deshalb wurde ein Konzept erstellt, welches ein möglichst hohes Maß der Fehlerkontrolle durch Randomisierung von Faktorstufen als auch genug Verlässlichkeit für die Probanden bot, um innerhalb einer Darstellung möglichst gute Leistung zu zeigen. Der Versuchsplan wurde hierarchisch organisiert und innerhalb dieser Organisation randomisiert. Dies erfolgte nach den Faktoren Bodengitterdarstellung und Blickfeld. Einem Probanden wurden immer alle Faktorstufenkombinationen Bodengitter und Blickfeld dargeboten und dann zur zweiten Bodengitterdarstellung gewechselt. Die Auswahl des zuerst präsentierten Bodengitters erfolgte zufällig, wie auch die Auswahl der damit assoziierten Blickfelder. Innerhalb eines Blickfeldes wurden wiederum alle Kombinationen aus maximaler Tiefe der Projektion und Höhe zufällig dargeboten. Jede Kombination aus Höhe und maximaler Tiefe wurde zehnmal dargeboten, wobei das Objekt in jeder Darbietung an einem neuen Ort platziert war. Die Probanden hatten so die Möglichkeit, sich auf jedes Blickfeld einzustellen, was zu einer möglichst konstanten Leistung führen sollte.

Erstellung des Stimulusmaterials

Für die Untersuchung wurden 1400 Stimulusbilder generiert. Die Positionen der Objekte wurden, wie die Projektion selbst, mit Hilfe von Matlab-Skripten erzeugt. Die diesen Skripten zugrunde liegende Funktion findet sich bei Möller (2016). Die Nachbearbeitung aller Rohbilder erfolgte in Corel Draw. Hier erfolgte die Einbringung von Hilfslinien (Azimut, Elevation, Bodengitter), die Objektdarstellungen (Lot, Skala, Objektrepräsentant) und die Bodentexturen. Pro Raumansicht entstanden 100 Bilder mit je einem einfachem Objekt. Die resultierenden Bilder hatten eine Auflösung von 1920px x 1200px. Die Auflösung war dem im Mock-Up verwendeten Bildschirm mit einer Diagonale von 30 Zoll angepasst.

Versuchsaufbau

Der Versuch wurde in einem teilfunktionalem Cockpit-Mock-Up im Human Factors Labor der Firma Airbus Defence and Space in Manching durchgeführt. Wie in Abbildung 8.7 ersichtlich, verfügte das Mock-Up über einen 30“ Monitor im Bereich des Hauptinstrumentenbretts, auf welchem die Bilder mit einem Seitenverhältnis von 2:1 dargestellt werden konnten. Der Proband saß direkt vor dem Monitor auf einem nachgebildeten Jetsitz im Design Eye Point (s.a. Kellerer, 2010; Eichinger, 2011). In dieser Position war der reale Betrachtungsabstand im Cockpit des Eurofighter zwischen Proband und Anzeige sichergestellt. Die Steuerung des Versuches erfolgte über Touchscreen (Proband), sowie Maus und Tastatur (Versuchsleiter). Der in Abbildung 8.7 sichtbare Monitor im Bereich des Head Up Displays wurde in diesem Versuch nicht verwendet.



Abbildung 8.7: Versuchsaufbau im PANDIS-Mock-Up

Vorversuch

In einem Vorversuch sollte die Präsentationszeit für die Darbietung der Stimulusbilder festgelegt, ein kurzer Test der Antwortmasken erfolgen und die Funktionalität des Settings getestet werden. Die zeitliche Festlegung diente zur Abschätzung der Dauer pro Proband und zur Einschätzung, ab wann eine Genauigkeitssteigerung durch vermehrte Betrachtungszeit nicht mehr zu erwarten war. Weiter konnte damit die Gesamtdauer des Versuches kalkuliert und den Teilnehmern kommuniziert werden. Es wurden verschiedene Präsentationszeiten für die Stimulusbilder zwischen drei Sekunden und zeitlich nicht eingeschränkter Betrachtungszeit gegeben (3s, 5s, 7s, 9s, 11s, freie Betrachtungszeit). Die Antwortmasken umfassten im Vorversuch die Parameter Azimut, Elevation, Höhe und Entfernung zur Einschätzung von Objekten. Weiter wurden die Antwortmasken in einer Blickrichtungsvariante (track-up) und einer gerordneten Variante (north-up) angeboten.

Den Ergebnissen der im Vorversuch erhaltenen Abweichungen und Bearbeitungszeiten folgend, wurde die Präsentationszeit auf 3 Sekunden festgesetzt. Für das Eintragen der Objekt-position erfolgte keine zeitliche Einschränkung. Die Darbietung der Antwortmasken wurde analog zur egozentrischen Metapher der Stimulusbilder in eigener Blickrichtung dargeboten (Track-Up). Der Parameter Elevation wurde aus den Antwortmasken entfernt, da der Eleva-

tionswinkel eine Funktion aus Entfernung und Höhe darstellt und somit redundant war. Die verwendete Antwortmaske findet sich in Abbildung 8.2.

8.2.5 Beschreibung der Expertenstichprobe

An der Untersuchung nahmen 24 flugerfahrene Probanden teil. Als Auswahlkriterium wurde die Profession (Luftfahrzeugführer) der Probanden festgelegt. Alle Probanden verfügten aufgrund ihrer Ausbildung über hochspezialisiertes Wissen im Umgang mit Fluganzeigen, was eine Einarbeitung in die vorliegende Raumanzeige deutlich erleichterte.

Der Median der Altersverteilung lag bei MED=47,5 mit einer Spannweite von 40 Jahren [MIN=24; MAX=64]. Bei 50% der Probanden wurde auf das Tragen der Sehhilfe, aufgrund eingeschränkter Sicht, geachtet. Die aktive Dienstzeit der Probanden hatte eine Spannweite von 19 Jahren [MIN=15; MAX=34], der Median betrug MED=23,5 Jahre. Die Probanden hatten entweder eine Ausbildung zum Waffensystemoffizier (46%), Pilot (21%) oder Testpilot (33%) und insgesamt zwischen 1650 und 6500 Flugstunden absolviert (MED=2850, [MIN=1650; MAX=6500]). In den letzten zwölf Monaten bis zum Experiment wurden bis zu 300 Flugstunden absolviert (MED=35 [MIN=0; MAX=300]), knapp die Hälfte der Probanden war im aktiven Flugdienst (46%).

8.2.6 Organisation, Ablauf und Durchführung

Ablauf des Versuchs

Die Probanden wurden am Versuchstermin von einem Treffpunkt abgeholt. Nach einer kurzen Einführung in den Zweck der Untersuchung erfolgte die Vorstellung der Projektion und der Aufgabe. Die Probanden wurden aufgefordert, die Blickfelder und die damit verbundene Aufgabe mit eigenen Worten zu beschreiben. Hiermit wurden Aufgaben- als auch initiales Verständnis für die Projektion sichergestellt.

In einem ersten, interaktiven Training erhielten die Probanden das kleinste Blickfeld und mussten die Position des gezeigten Objektes in den drei Skalen der Antwortmaske angeben. Die Übung als auch der spätere Versuch wurden mit Hilfe der Experimentalsoftware *Paradigm PerceptionResearchSystemsIncorporated..2012* auf dem im Mock-Up angebrachten 30“ Monitor dargeboten.

Nach dem Training wurde der erste Block des Versuchs angegangen. Vor jedem Blickfeld gab es ein blockspezifisches Training mit visueller Rückmeldung. Der Randomisierung entsprechend erfolgte in diesem Block entweder die Darbietung des kartesischen oder des polaren Bodengitters. In zufälliger Reihenfolge arbeiteten die Probanden die sieben Blickfelder und die damit verbundenen Faktorstufenkombinationen aus Blickhöhe und perspektivischer Tiefe ab. Etwa nach der Hälfte eines Blockes wurde fakultativ eine kurze Pause angeboten, danach der Block abgeschlossen. Mit dem zweiten Block wurde ebenso verfahren.

Nach Abschluss des zweiten Blockes wurden die Probanden aufgefordert, die sieben präsentierten Blickfelder in eine Rangordnung nach ihrer subjektiven Nützlichkeit zu bringen. Am Ende des Versuches wurden die Probanden über die getesteten Variablen aufgeklärt und Verschwiegenheit erbeten.

Probandentraining

Die Probanden wurden, wie oben angedeutet, mehrfach trainiert. Anfangs fand ein Basistraining mit dem kleinsten Blickfeld (090s090s) statt. Den verschiedenen Blickfeldern in jedem Block wurde jeweils ein Training vorangestellt.

Während des Eingangstrainings erhielten die Probanden zum einen Rückmeldung durch den Versuchsleiter, zum anderen erhielten sie auch eine visuelle Rückmeldung über die Antwortmasken. Hier konnten Sie sehen, wie genau sie die Position des Objektes angegeben hatten. Die visuelle Rückmeldung erfolgte über die Präsentation des Objektrepräsentanten direkt nach der Eingabe auf der jeweiligen Skala.

Dieses Training sollte den Wechsel zwischen Blickfeldern erleichtern und es den Probanden ermöglichen, sich auf das neue Blickfeld einzustellen und eine konstante Leistung aufzubauen. Auch in dieser Übung gab es visuelle Rückmeldung, jedoch keine Hilfe vom Versuchsleiter. Die visuelle Rückmeldung wurde nur im Training angeboten. Während der Versuchsdurchläufe folgten alle Trials sequentiell nacheinander ohne weiteres Feedback.

Ablauf eines Trials

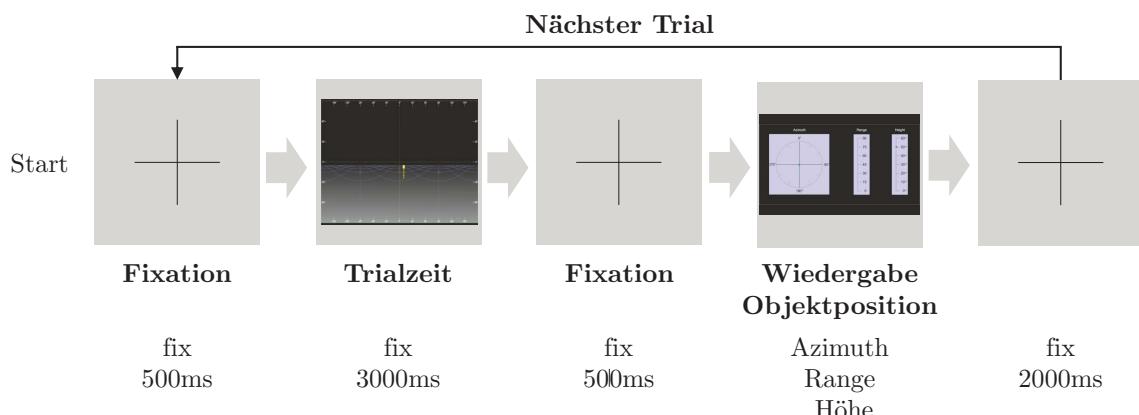


Abbildung 8.8: Dargestellt ist der zeitliche Ablauf eines Trials in Experiment 1. Nach einer kurzen Fixation wurde der Zielreiz gefolgt von einer weiteren Fixation präsentiert. Danach trugen die Probanden die entsprechenden Werte in die Skalen ein und der nächste Durchlauf wurde gestartet.

Abbildung 8.8 zeigt den Ablauf eines einzelnen Versuchsdurchgangs. Zuerst wurde den Probanden ein Fixationskreuz präsentiert. Sie waren angewiesen, immer genau die Mitte zu fixieren. Nach 500ms wurde das Zielbild für genau 3000ms dargeboten. In dieser Zeit war es Aufgabe der Probanden, die Position des Objektes aus der Darstellung abzuleiten. Um visuelle Nachbilder ausschließen zu können, folgte wiederum ein Fixationskreuz für 500ms. Nun wurde die Wiedergabemaske eingeblendet und die Probanden sollten immer sequentiell den Azimut, die Entfernung und die Höhe des Objektes angeben. Für diese Angaben gab es kein Zeitlimit. Die Angaben sollten aber so schnell wie möglich eingegeben werden. Nach der Eingabe der Höhe folgte wiederum ein Fixationskreuz, diesmal für 2000ms, und der nächste Durchlauf begann.

8.2.7 Ergebnisse

Dargestellt werden die Leistungsparameter für die Positionsschätzung der gezeigten Objekte als absolute und gerichtete Abweichung, sowie die Einschätzungszeit in den Dimensionen Azimut, Entfernung und Höhe. Die Auswertung ist getrennt in die Faktoren Bodengitter (Gitter), Blickfeld (FOV), Betrachterhöhe (Höhe) und Blicktiefe (Tiefe).

Die gefundenen Effekte (partielles Eta², η^2) sind in Abbildung 8.9 für die gesamte Auswertung zur Orientierung zusammengefasst.

Für die Daten wird versucht, immer die geeignete Darstellungen zu finden. Für einen Vergleich zweier Messwertverteilungen eignen sich die von Cumming (2013) inspirierte Katzenaugendarstellung. Diese bietet einen Vergleich der Mittelwerte und Streuung der Verteilungen in einer einfachen Grafik. Bei Vergleichen von mehr als zwei Verteilungen wird auf Boxplots zurückgegriffen, hier fällt ein Vergleich mehrerer Verteilungen visuell leichter.

mit 10 kft	Dimension	Gitter	FOV	Höhe	Gitter * FOV	Gitter * Höhe	FOV * Höhe				
Zeit (s)	Azimut	,00	,45	,12	,05	,01	,15				
	Entfernung	,05	,05	,14	,07	,03	,08				
	Höhe	,01	,05	,27	,08	,06	,13				
Abweichung (%)	Azimut	,02	,13	,10	,06	,22	,10				
	Entfernung	,66	,33	,44	,18	,01	,20	n2p			
	Höhe	,00	,04	,28	,11	,09	,11				
								1,00			
								,89			
								,79			
		Gitter	FOV	Höhe	Tiefe	Gitter * FOV	Gitter * Höhe	Gitter * Tiefe	FOV * Höhe	FOV * Tiefe	Höhe * Tiefe
Zeit (s)	Azimut	,00	,46	,07	,35	,05	,00	,02	,10	,01	,05
	Entfernung	,07	,02	,09	,39	,06	,03	,05	,04	,01	,05
	Höhe	,00	,06	,13	,04	,10	,01	,02	,08	,02	,05
Abweichung (%)	Azimut	,00	,10	,03	,00	,05	,00	,08	,09	,01	,02
	Entfernung	,63	,30	,31	,45	,09	,16	,09	,15	,14	,06
	Höhe	,02	,26	,10	,89	,06	,04	,03	,20	,00	,09
											,19

Abbildung 8.9: Die Abbildung zeigt eine Übersicht über festgestellte Effekte bei Objektverortung für beide Auswertungen, mit und ohne geringe Höhen.

Bodengitter

Ohne 10kft Höhe Das Referenzgitter hatte keinen Einfluss auf die Einschätzungszeit des Azimut ($F = ,02$; $df = 1$; $p \leq ,90$; $\eta^2 = ,001$), der Entfernung ($F = 1,6$; $df = 1$; $p \leq ,22$; $\eta^2 = ,071$) oder der Höhe ($F = ,01$; $df = 1$; $p \leq ,92$; $\eta^2 = ,000$). Weiter fand sich kein Einfluss des Gitters auf die Abweichung der Azimutschätzung ($F = ,00$; $df = 1$; $p \leq 1,00$; $\eta^2 = ,000$) oder Höhe ($F = ,5$; $df = 1$; $p \leq ,49$; $\eta^2 = ,023$). Der Einfluss auf die Abweichung bei der Entfernungsschätzung war von großem Effekt ($F = 35,76$; $df = 1$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,630$).

8 Positionsverständnis und Orientierung

Maß	Gitter	M	SE	UG, 95%KI	OG, 95%KI
Einschätzungszeit (s)	Azimut	kartesisch	2,09	0,08	1,92
		polar	2,08	0,10	1,88
	Entfernung	kartesisch	1,97	0,14	1,68
		polar	1,82	0,07	1,66
	Höhe	kartesisch	1,92	0,11	1,69
		polar	1,92	0,12	1,68
					2,17

Tabelle 8.3: In der Tabelle sind die Einschätzungszeiten von Azimut, Entfernung und Höhe als Funktion des Referenzgitters der jeweiligen Skala gegeben. Keine 10kft-Faktorstufenkombinationen sind enthalten.

In Tabelle 8.3 sind die Einschätzungszeiten und in Tabelle 8.4 die Schätzabweichungen aller Dimensionen aufgetragen. Die Abweichung der Entfernungsschätzung war bei einem polarem Gitter deutlich niedriger (5,88%) als bei dem kartesischen Gitter (9,87%). Alle weiteren Werte waren annähernd gleich.

Maß	Gitter	M	SE	UG, 95%KI	OG, 95%KI
Abweichung (%)	Azimut	kartesisch	3,098	,288	2,499
		polar	3,097	,294	2,486
	Entfernung	kartesisch	9,867	0,758	8,289
		polar	5,876	0,405	5,034
	Höhe	kartesisch	9,356	0,626	8,053
		polar	8,973	0,484	7,966
					9,980

Tabelle 8.4: In der Tabelle sind die Abweichung von der objektiven Position in Prozent von Azimut, Entfernung und Höhe als Funktion des Referenzgitters gegeben. Keine 10kft-Faktorstufenkombinationen sind enthalten.

Abbildungen 8.10 und 8.11 zeigen die Verteilungen der Einschätzungszeit und Abweichung der Positionsschätzung als Katzenaugendiagramme. Die Einschätzungszeiten zeigten keine Unterschiede in den zentralen Tendenzen, wobei aber die Streuungen leicht divergierten. Ein leichter Unterschied ließ sich in der Einschätzungszeit der Entfernung finden, dieser war jedoch nicht statistisch bedeutend und von geringem Effekt.

Ein ähnliches Bild ergab die Abweichungen mit Ausnahme der Entfernungsschätzung. Hier war ein großer Unterschied zwischen dem kartesischen und polaren Gitter zu finden. Die Entfernung eines Objekts wurde mit polarem Gitter deutlich genauer geschätzt als mit dem kartesischen.

Mit 10kft Höhe Für die Analyse mit den Faktorstufenkombinationen mit 10kft galt Ähnliches wie oben beschrieben. Das Bodengitter hatte keinen Einfluss auf die Einschätzungszeit der Dimensionen Azimut ($F = ,01$; $df = 1$; $p \leq ,92$; $\eta^2 = ,001$), Entfernung ($F = ,94$; $df = 1$; $p \leq ,34$; $\eta^2 = ,045$) oder Höhe ($F = ,19$; $df = 1$; $p \leq ,67$; $\eta^2 = ,009$).

Kein Einfluss war auf die Abweichung der Positionsschätzung von Azimut ($F = ,48$; $df = 1$; $p \leq ,50$; $\eta^2 = ,023$) und Höhe gegeben ($F = ,04$; $df = 1$; $p \leq ,84$; $\eta^2 = ,002$). Die Genauigkeit bei der Entfernungsschätzung war durch das verwendete Gitter deutlich beeinflusst ($F = 38,52$; $df = 1$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,658$).

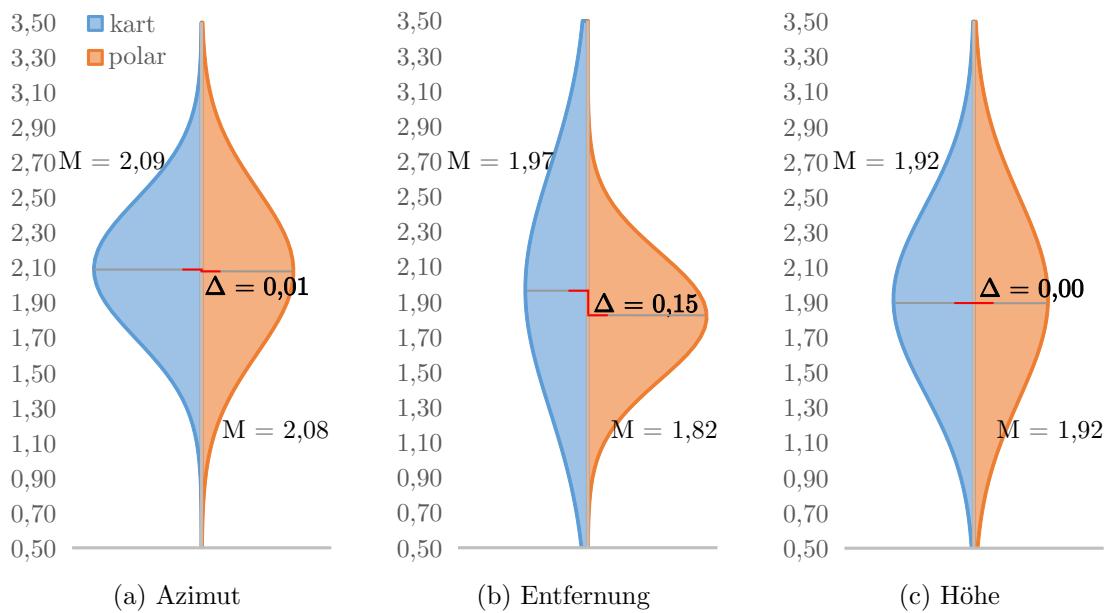


Abbildung 8.10: Einschätzungszeit des Azimut, der Entfernung und der Höhe in Sekunden als Funktion des Referenzgitters, ohne 10kft.

Maß		Gitter	M	SE	UG, 95% KI	OG, 95%KI
Einschätzungszeit (s)	Azimut	kartesisch	2,09	0,09	1,92	2,27
		polar	2,10	0,09	1,91	2,30
	Entfernung	kartesisch	1,90	0,14	1,60	2,19
		polar	1,77	0,07	1,63	1,92
	Höhe	kartesisch	1,95	0,12	1,70	2,20
		polar	2,00	0,13	1,72	2,27

Tabelle 8.5: In der Tabelle werden die Einschätzungszeiten von Azimut, Entfernung und Höhe als Funktion des Referenzgitters abgebildet. Alle 10kft-Faktorstufenkombinationen sind enthalten.

In Tabelle 8.5 sind die Einschätzungszeiten und in Tabelle 8.6 die Schätzabweichungen aller Dimensionen aufgetragen. Die Abweichung der Entfernungsschätzung war bei einem polarem Gitter deutlich niedriger (6,162%) als bei dem kartesischen Gitter (10,405%). Alle weiteren Abweichungen waren ähnlich ausgeprägt.

In den Abbildungen 8.12 und 8.13 werden die Verteilungen der Einschätzungszeit und Abweichung der Positionsschätzung als Katzenaugendiagramme aufgetragen. Die Einschätzungszeiten zeigten keine Unterschiede in den zentralen Tendenzen, wobei aber die Streuungen leicht divergierten. Ein leichter Unterschied ließ sich - wie auch oben ersichtlich - in der Einschätzungszeit der Entfernung finden. Dieser war jedoch nicht statistisch bedeutsam und von geringem Effekt.

Ein ähnliches Bild ergab auch die Abweichungen von Azimut und Höhe mit Ausnahme der Entfernungsschätzung. Bei der Abweichung der Entfernung war ein großer Unterschied zwischen dem kartesischen und polaren Gitter vorhanden. Die Entfernung eines Objekts wurde

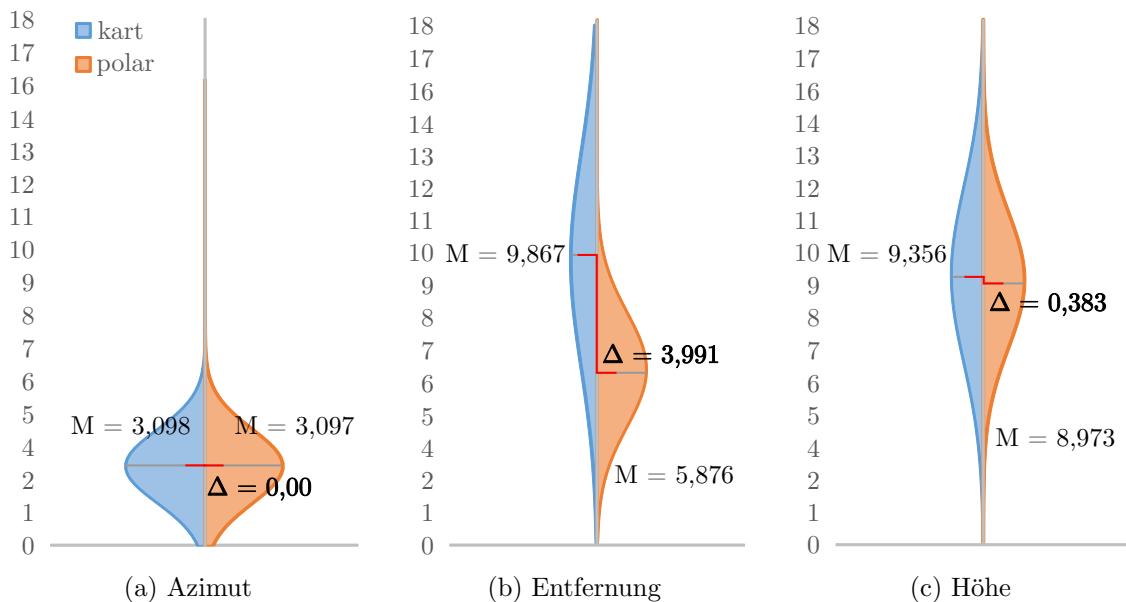


Abbildung 8.11: Abweichung des Azimut, der Entfernung und der Höhe in Prozent als Funktion des Referenzgitters, ohne 10kft.

Maß		Gitter	M	SE	UG, 95% KI	OG, 95%KI
Abweichung (%)	Azimut	kartesisch	3,311	,264	2,760	3,862
		polar	3,104	,312	2,453	3,755
Entfernung	Entfernung	kartesisch	1,405	,721	8,901	11,909
		polar	6,162	,422	5,282	7,043
Höhe	Höhe	kartesisch	8,454	,612	7,178	9,730
		polar	8,347	,482	7,341	9,353

Tabelle 8.6: In der Tabelle sind die Abweichung von der objektiven Position in Prozent als Funktion des Referenzgitters. Alle 10kft-Faktorstufenkombinationen sind enthalten.

mit polarem Gitter deutlich genauer geschatzt als mit dem kartesischen.

Blickfeld (FOV)

Folgend werden die Einschätzungszeiten für die sieben Blickfelder (90s90s, 180s90s, 360n90n, 360n90v, 180n180n, 180v180n und 360n180n) aufgeführt. In den Abbildungen ist zu den Boxplots jeweils auch der Mittelwert zum Vergleich abgetragen, da bei sieben verschiedenen Verteilungen Katzenaugendiagramme nicht mehr zielführend erscheinen und Boxplots die Verteilungen besser visualisieren.

Ohne 10kft Höhe Bei allen Faktorstufen ohne 10kft Höhe ergab sich für das Blickfeld ein Einfluss auf die Einschätzungszeit des Azimut ($F = 17,64$; $df = 4$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,456$), nicht aber bei Entfernung ($F = ,45$; $df = 3$; $p \leq ,73$; $\eta^2 = ,021$) oder der Höhe ($F = 1,44$; $df = 4$; $p \leq ,23$; $\eta^2 = ,064$).

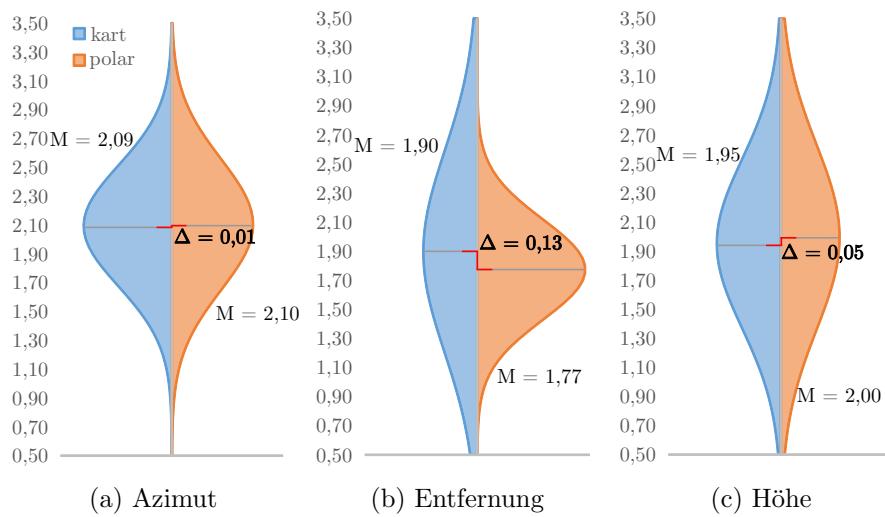


Abbildung 8.12: Einschätzungszeit des Azimut, der Entfernung und der Höhe in Sekunden als Funktion des Referenzgitters. Alle 10kft-Faktorstufenkombinationen sind enthalten.

Die Abweichung von der gezeigten Position wurde durch das Blickfeld im Azimut nicht beeinflusst ($F = 2,34$; $df = 3$; $p \leq ,08$; $\eta^2 = ,100$), es bestand aber ein mittelstarker Einfluss auf die Abweichungen von Entfernung ($F = 8,96$; $df = 6$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,299$) und Höhe ($F = 7,31$; $df = 6$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,258$). Die Abbildungen 8.14 und 8.15 sowie die Tabellen 8.7 und 8.8 zeigen diese Ergebnisse.

Anhand Abbildung 8.14 ist der Unterschied in der Einschätzungszeit des Azimuts gut zu erkennen. Vor allem in Blickfeldern mit einem horizontalem Öffnungswinkel größer 180° benötigten die Probanden länger, den Azimut zu verorten. Die Verortungszeit war hier bis zu 670ms (Blickfeld 360n90n) höher als bei einem konformen Blickfeld (90s90s). Für Höhe und Entfernung konnte kein solcher Zusammenhang erkannt werden. Hier waren die Verteilungen relativ ähnlich, wenn auch die minimalen und maximalen Werte der Abweichung leicht streuten.

Die Blickfelder generierten zwar keinen Unterschied in der Genauigkeit der Azimutabweichung, Abbildung 8.15 ließ aber Unterschiede in der Einschätzung von Entfernung und Höhe erkennen. Insgesamt lagen die Abweichungen bei Entfernung und Höhe deutlich über den Schätzgenauigkeiten des Azimuts. Die Entfernungsschätzung bei einem konformen Blickfeld (90s90s) war deutlich niedriger als die Schätzung bei weitwinkligeren Blickfeldern. Die Abweichung bei der Höhenschätzung lag insgesamt leicht über der Einschätzung der Entfernung. Bei beiden Abweichungsdimensionen stach vor allem das Blickfeld 360n90n hervor, welches die höchsten Abweichungen generierte.

Mit 10kft Höhe Wie oben konnte auch hier ein hoher Einfluss auf die Azimuteinschätzungszeit ($F = 16,25$; $df = 6$; $p \leq 0$; $\eta^2 = ,448$), nicht aber auf die Schätzzeiten der Entfernung ($F = ,98$; $df = 3$; $p \leq ,41$; $\eta^2 = ,047$) und Höhe ($F = 1,1$; $df = 6$; $p \leq ,36$; $\eta^2 = ,052$) attestiert werden.

Bei der Abweichung von der objektiven Position wichen die Analyse allerdings von obigem ab. Es konnte ein leichter Einfluss des Blickfeldes auf die Azimut- ($F = 2,89$; $df = 6$; $p \leq .01$; η^2

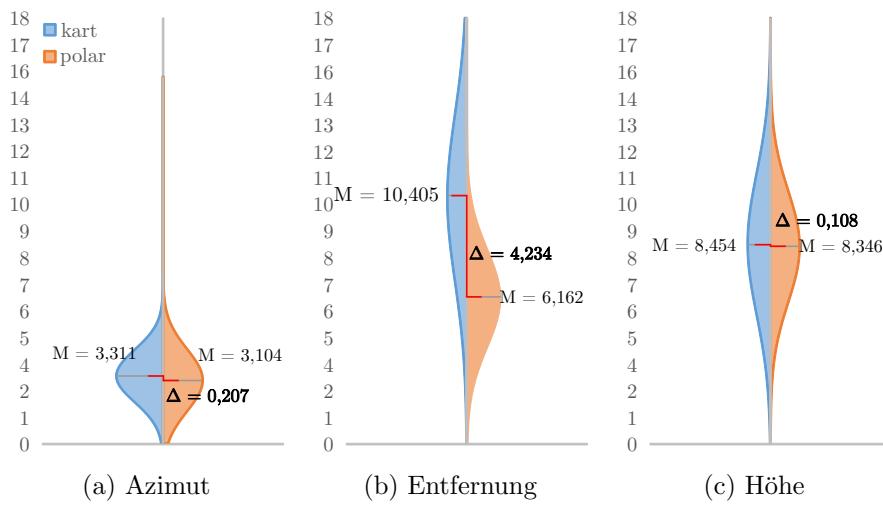


Abbildung 8.13: Abweichung des Azimut, der Entfernung und der Höhe in Prozent als Funktion des Referenzgitters, mit 10kft.

= ,126) und Entfernungsschätzung festgestellt werden ($F = 9,83$; $df = 6$; $p \leq 0$; $\eta^2 = ,33$), kein Einfluss fand sich bei der Dimension Höhe ($F = ,87$; $df = 6$; $p \leq ,52$; $\eta^2 = ,042$). Die Abbildungen 8.16 und 8.17 sowie die Tabellen 8.9 und 8.10 zeigen diese Ergebnisse.

In Abbildungen 8.16 und Tabelle 8.9 sind die Einschätzungszeiten der Dimensionen angegeben. Hier ist der bereits bekannte Effekt weitwinkliger Blickfelder auf den Azimut gut zu erkennen. Die Einschätzungszeit von Entfernung und Höhe ist über alle Blickfelder in etwa gleich.

Bei den Schätzabweichungen (s.a. Abbildung 8.17, Tabelle 8.10) war ein leichter Effekt bei der Azimutdimension zu erkennen. Zudem wurde die Einschätzung der Entfernung durch das Blickfeld mittelstark beeinflusst, hier waren besonders in den Blickfeldern 180s90s und 360n90n höhere Abweichungen zu erkennen.

Der starke Effekt des Blickfeldes auf den Azimut schien weiter betrachtenswert. Um diesem nachzugehen, wurde eine explorative Analyse der winkelabhängigen Einschätzungszeit und -genauigkeit vorgenommen.

Exploration: Azimutabhängige Einschätzungszeit Um der Vermutung des Einflusses des Azimutwinkels auf die Einschätzungzeit nachzugehen, wurde angenommen, höhere Azimutwinkel würden zu einer höheren Schätzzeit führen. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 8.18 visualisiert. Man kann erkennen, dass sich im Plot der Einschätzungszeit als Funktion des Azimutwinkels eine flache U-Kurve ergibt. Um einen Vergleich zu ermöglichen und eine Effektabschätzung zu können, wurden nun die Azimutwinkel in vier Bereiche zusammengefasst. Diese Bereiche orientierten sich an den vier Sektoren eines Koordinatensystems mit dem Proband als Mittelpunkt und erstreckten sich jeweils um 90° . Sektor 1 reichte von 91° bis 180° , Sektor 2 von 0° bis 90° , Sektor 3 von -89° bis 0° und Sektor 4 von -180° bis -90° . Zwischen diesen Sektoren ließ sich ein maximaler Unterschied in der Einschätzungszeit von ,72 s erkennen. Eine einfaktorielle Varianzanalyse stellte diesen Einfluss heraus ($F = 14,50$; $df = 3$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,32$), die gelben Linien in Abbildung 8.18 visualisieren den zeitlichen Unterschied.

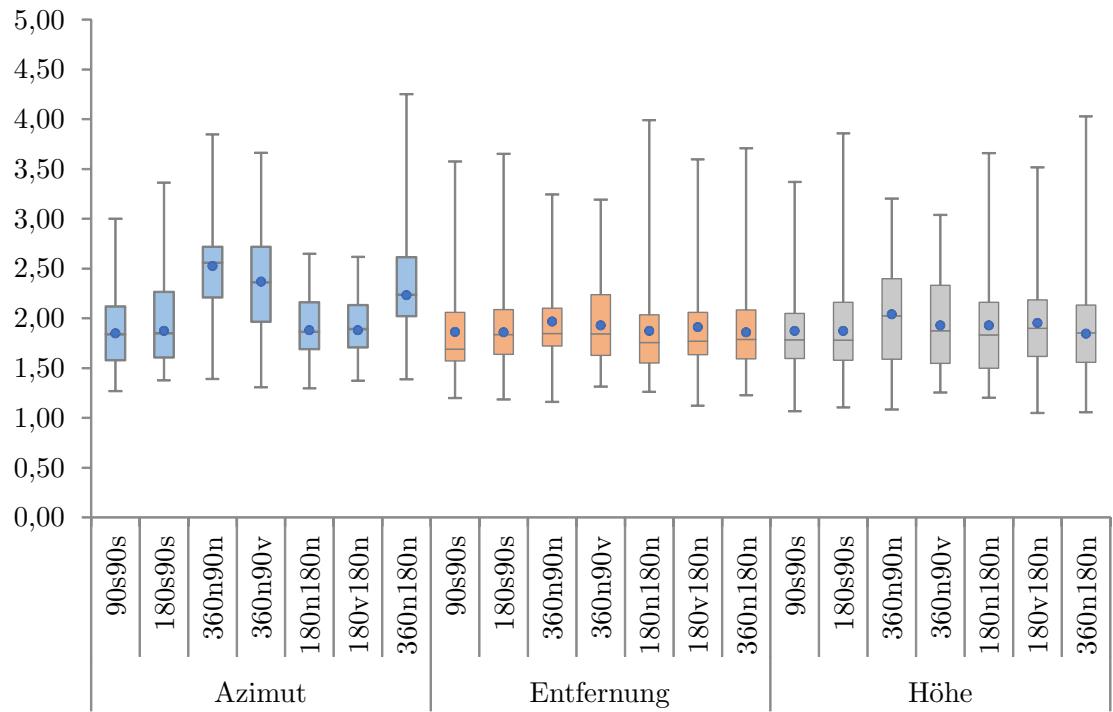


Abbildung 8.14: Einschätzungszeit in Sekunden als Funktion des Blickfeldes, ohne 10kft.

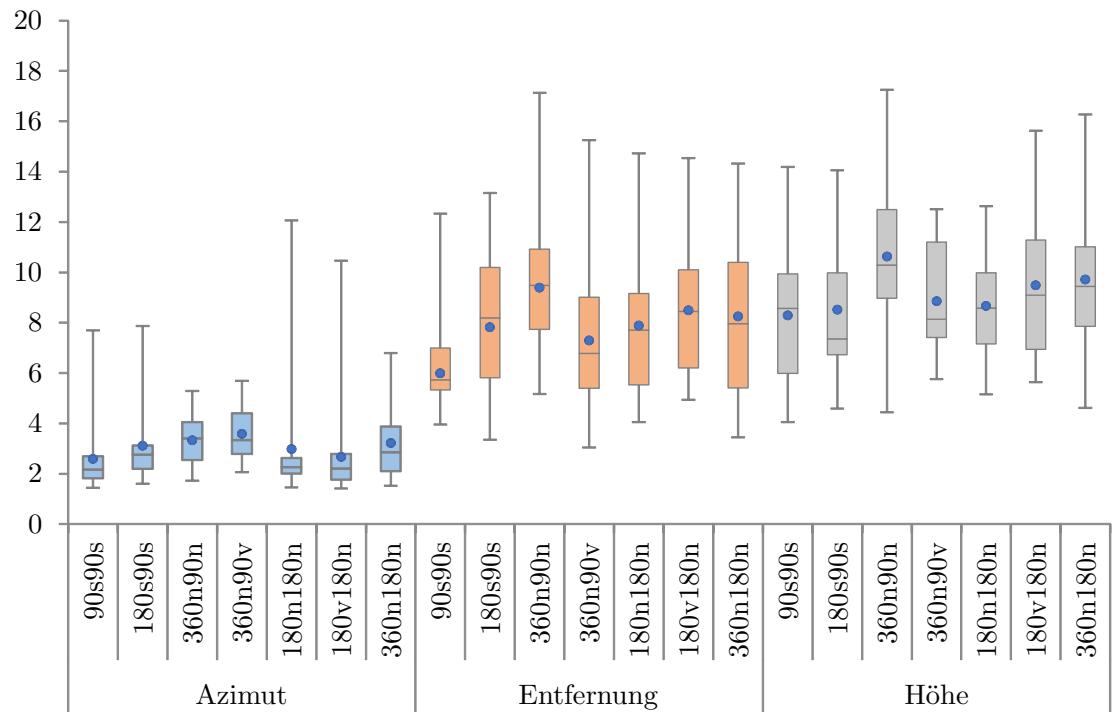


Abbildung 8.15: Abweichung der Positionsschätzung als Funktion des Blickfeldes, angegeben in Prozent ohne 10kft.

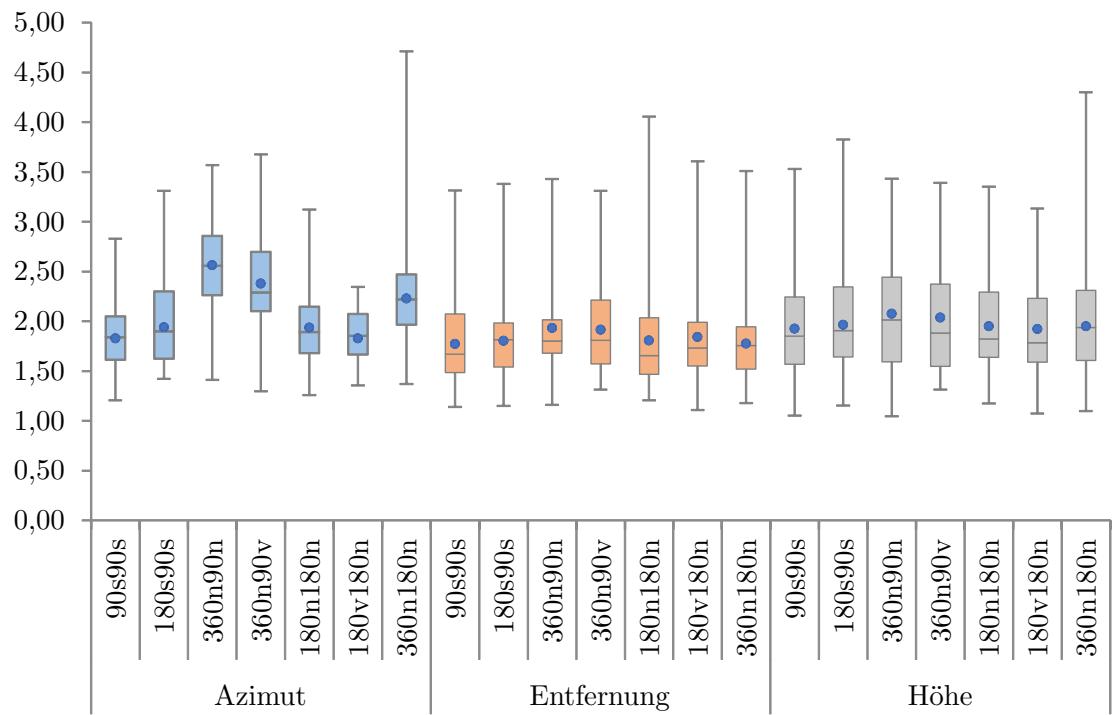


Abbildung 8.16: Einschätzungszeit in Sekunden als Funktion des Blickfeldes, mit 10kft.

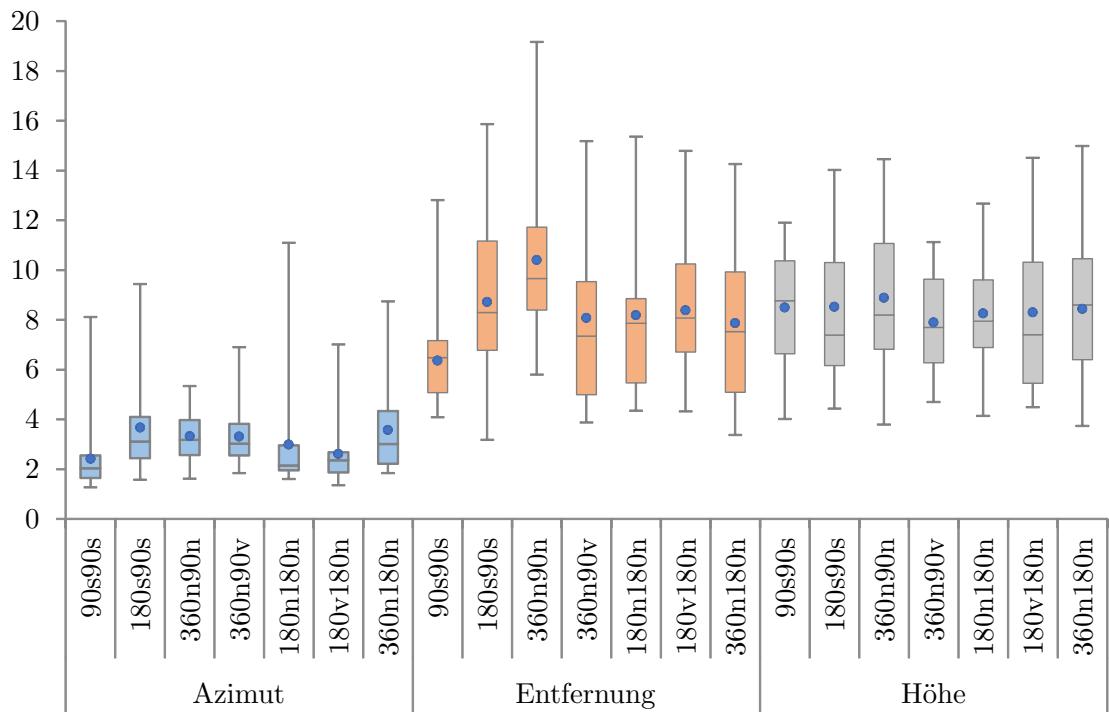


Abbildung 8.17: Abweichung der Positionsschätzung als Funktion des Blickfeldes, angegeben in Prozent mit 10kft.

8.2 Positionsverständnis I: Einfache Objekte in einer Kugelprojektion

Maß	Dimension	FOV	M	SE	UG, 95%KI	OG, 95%KI
Einschätzungszeit (s)	Azimut	90s90s	1,85	,09	1,66	2,03
		180s090s	1,87	,08	1,70	2,04
		360n090n	2,52	,13	2,26	2,79
		360n090v	2,37	,12	2,11	2,63
		180n180n	1,88	,08	1,72	2,04
		180v180n	1,88	,07	1,73	2,03
		360n180n	2,23	,11	2,01	2,45
	Entfernung	90s90s	1,86	,12	1,62	2,11
		180s090s	1,86	,07	1,71	2,01
		360n090n	1,97	,10	1,75	2,18
		360n090v	1,93	,10	1,71	2,15
		180n180n	1,87	,13	1,61	2,14
		180v180n	1,91	,13	1,64	2,18
		360n180n	1,86	,11	1,63	2,09
	Höhe	90s90s	1,87	,11	1,65	2,09
		180s090s	1,87	,10	1,66	2,08
		360n090n	2,04	,13	1,77	2,31
		360n090v	1,93	,11	1,71	2,15
		180n180n	1,93	,13	1,65	2,21
		180v180n	1,95	,12	1,70	2,20
		360n180n	1,85	,10	1,63	2,06

Tabelle 8.7: Einschätzungszeit aller Dimensionen in Sekunden als Funktion des Blickfeldes, ohne 10kft.

Blicktiefe

Die Blicktiefe der Darstellung hatte Einfluss auf die Einschätzungszeit des Azimut ($F = 11,5$; $df = 1$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,354$), der Entfernung ($F = 13,67$; $df = 1$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,394$), nicht aber der Höhe ($F = ,8$; $df = 1$; $p \leq ,38$; $\eta^2 = ,037$). Kein Einfluss der Blicktiefe konnte bei der Abweichung des Azimut ($F = ,01$; $df = 1$; $p \leq ,94$; $\eta^2 = 0$) festgestellt werden. Die Blicktiefe hatte aber deutlichen Einfluss auf die Einschätzung der Entfernung ($F = 17,38$; $df = 1$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,453$) und der Höhe ($F = 176,68$; $df = 1$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,894$). Diese Ergebnisse sind in Abbildung 8.20 und Tabelle 8.12 aufgetragen.

In Abbildung 8.20 ist ein Unterschied bei der Einschätzungszeit des Azimuts für 30NM und 90NM perspektivische Tiefe zu erkennen, ein vergleichbar großer Effekt fand sich für die Entfernung. Die Unterschiede der Einschätzungszeiten befanden sich allerdings in einem relativ kleinen Bereich (s.a. Tabelle 8.12).

Die Abweichungen der Positionsschätzung wurde durch die Blicktiefe relativ stark beeinflusst. Entfernung und vor allem Höhe zeigten hier deutliche Unterschiede. Lag ein Kontakt weiter in der Perspektive, so wurde seine Position in diesen beiden Dimensionen schlechter wiedergegeben. Für die Entfernung ergab sich hier ein Delta von ,89 Prozentpunkten, für die Einschätzung der Höhe ein Delta von 2,64 Prozentpunkte.

Auch war bei den Abweichungen wieder deutlich zu erkennen, dass sowohl Entfernung als auch Höhe deutlich ungenauer eingeschätzt wurden, als dies bei der Dimension Azimut der Fall war. Während beim Azimut ein minimaler Schätzfehler von 1,55% im Mittel auftrat, lag

Maß	Dimension	FOV	M	SE	UG, 95%KI	OG, 95%KI
Abweichung (%)	Azimut	90s90s	2,618	,298	1,999	3,238
		180s090s	3,140	,352	2,408	3,871
		360n090n	3,333	,213	2,890	3,777
		360n090v	3,610	,250	3,090	4,131
		180n180n	3,042	,495	2,013	4,070
		180v180n	2,650	,4,02	1,814	3,486
		360n180n	3,288	,317	2,630	3,947
Entfernung	Entfernung	90s90s	5,985	,317	5,326	6,643
		180s090s	7,810	,603	6,557	9,063
		360n090n	9,392	,593	8,158	10,626
		360n090v	7,292	,661	5,917	8,666
		180n180n	7,887	,651	6,533	9,240
		180v180n	8,489	,604	7,234	9,744
		360n180n	8,247	,721	6,747	9,747
Höhe	Höhe	90s90s	8,292	,539	7,171	9,414
		180s090s	8,518	,586	7,300	9,736
		360n090n	10,619	,625	9,319	11,920
		360n090v	8,858	,473	7,873	9,842
		180n180n	8,667	,417	7,800	9,535
		180v180n	9,489	,642	8,153	10,824
		360n180n	9,709	,633	8,392	11,026

Tabelle 8.8: Abweichung aller Dimensionen in Prozent als Funktion des Blickfeldes ohne 10kft.

dieser bei Entfernung um 6,73 Prozentpunkte und bei der Höhe sogar um 8,94 Prozentpunkte höher.

Betrachterhöhe

Ohne 10kft Höhe Die Betrachterhöhe schien bei mittleren und hohen Blickpunkten nur sehr geringen Einfluss auf sowohl Einschätzungszeit als auch Abweichung zu haben. Kein Einfluss konnte bei den Dimensionen Azimut ($F = 1,51$; $df = 1$; $p \leq ,23$; $\eta^2 = ,067$), Entfernung ($F = 2,18$; $df = 1$; $p \leq ,16$; $\eta^2 = ,0949$) und Höhe festgestellt werden ($F = 3,04$; $df = 1$; $p \leq ,10$; $\eta^2 = ,126$). Die Abweichung der Schätzung zeigte bis auf die Abweichung der Entfernungsschätzung ($F = 9,4$; $df = 1$; $p \leq ,01$; $\eta^2 = ,309$) ein ähnliches Bild, Azimut ($F = ,75$; $df = 1$; $p \leq ,4$; $\eta^2 = ,035$) und Höheneinschätzung ($F = 2,27$; $df = 1$; $p \leq ,15$; $\eta^2 = ,097$) wurden nicht durch die Betrachterhöhe beeinflusst.

Diese Zusammenhänge werden in Abbildung 8.21 und Tabellen 8.14 sowie 8.15 abgebildet.

In Abbildung 8.21 ließ sich weder ein Unterschied in der Streubreite noch den zentralen Lageparameter als Funktion der Betrachterhöhe attestieren. Wie bereits der Einfluss anderer Faktoren deutlich machte, ist bei der Abweichung der Azimut die insgesamt genaueste eingeschätzte Dimension. Hier lag der Schätzfehler bei den Abweichungen wieder deutlich unter denen der Höhe und der Entfernung. Die Abweichung bei der Entfernung schien vor allem wegen der unterschiedlichen Streubreite und Lage der zentralen Parameter bedeutsam. Bei 30kft wurden ungenauere Schätzungen erbracht, auch wenn die Genauigkeit bei 50kft mehr schwankt.

Maß	Dimension	FOV	M	SE	UG, 95%KI	OG, 95%KI
Einschätzungszeit (s)	Azimut	90s90s	1,83	,08	1,65	2,00
		180s090s	1,94	,09	1,75	2,13
		360n090n	2,56	,12	2,30	2,82
		360n090v	2,38	,12	2,13	2,63
		180n180n	1,93	,10	1,73	2,13
		180v180n	1,83	,06	1,69	1,96
		360n180n	2,23	,13	1,97	2,49
	Entfernung	90s90s	1,77	,11	1,55	1,99
		180s090s	1,80	,07	1,65	1,96
		360n090n	1,93	,11	1,69	2,17
		360n090v	1,91	,10	1,70	2,13
		180n180n	1,81	,13	1,53	2,09
		180v180n	1,84	,13	1,56	2,12
		360n180n	1,77	,09	1,58	1,97
	Höhe	90s90s	1,92	,12	1,67	2,18
		180s090s	1,96	,11	1,73	2,19
		360n090n	2,07	,14	1,78	2,37
		360n090v	2,04	,13	1,76	2,31
		180n180n	1,95	,13	1,68	2,22
		180v180n	1,92	,12	1,68	2,16
		360n180n	1,95	,12	1,71	2,19

Tabelle 8.9: Einschätzungszeit aller Dimensionen in Sekunden als Funktion des Blickfeldes mit 10kft.

Mit 10kft Höhe Der Einfluss der Betrachterhöhe mit 10kft-Faktorstufen ergab ein vergleichbares Ergebnis. Weder die Einschätzungszeit des Azimut ($F = 2,61$; $df = 2$; $p \leq ,09$; $\eta^2 = ,115$) noch der Entfernung ($F = 3,16$; $df = 1$; $p \leq ,07$; $\eta^2 = ,137$) wurden durch die Betrachterhöhe beeinflusst. Es bestand aber ein Einfluss auf die Höheneinschätzungszeit ($F = 7,46$; $df = 2$; $p \leq 0$; $\eta^2 = ,272$). Die Abweichungen des Azimuts war insgesamt wieder niedriger als die der Höhe und der Entfernung. Zudem war die Abweichung der Azimutschätzung nicht durch die Betrachterhöhe ($F = 2,17$; $df = 2$; $p \leq ,13$; $\eta^2 = ,098$) beeinflusst. Die Abweichung von Entfernung ($F = 15,61$; $df = 2$; $p \leq 0$; $\eta^2 = ,438$) und Höhe ($F = 7,72$; $df = 2$; $p \leq 0$; $\eta^2 = ,278$) wurden allerdings deutlich beeinflusst. Abbildung 8.22, sowie Tabelle 8.16 und Tabelle 8.17 zeigten die entsprechenden Werte.

Die Einschätzungzeit als Funktion der Betrachterhöhe war nur für die geschätzte Höhe unterschiedlich. Eine niedrige Betrachterhöhe (10kft) generierte insgesamt einen höheren Fehler mit größerer Streubreite als 30kft oder 50kft Betrachterhöhe. Bei den Abweichungen galt wieder die Feststellung des insgesamt geringsten Fehlers bei der Azimutschätzung. Entfernung und Höhe zeigten jeweils deutlich höhere Fehler bei Betrachterhöhen von 10kft. Die größte Fehlerstreuung bestand bei Entfernung als auch Höhe bei 50kft Betrachterhöhe.

Interaktionen

Auf die Interaktionen wird nicht vertieft eingegangen, diese zeigen insgesamt nur geringe Effektstärken. Eine Übersicht über alle Effekte verortet diese vornehmlich bei den Haupteffekten

8 Positionsverständnis und Orientierung

Maß	Dimension	FOV	M	SE	UG, 95%KI	OG, 95%KI
Abweichung (%)	Azimut	90s90s	1,252	,159	,920	1,583
		180s090s	1,855	,213	1,410	2,300
		360n090n	1,671	,116	1,430	1,913
		360n090v	1,691	,149	1,380	2,002
		180n180n	1,576	,239	1,078	2,073
		180v180n	1,339	,143	1,041	1,636
		360n180n	1,844	,192	1,444	2,244
		90s90s	6,364	,327	5,681	7,047
Entfernung		180s090s	8,710	,657	7,340	10,080
		360n090n	10,408	,616	9,123	11,693
		360n090v	8,072	,686	6,640	9,503
		180n180n	8,184	,621	6,889	9,478
		180v180n	8,380	,498	7,341	9,419
		360n180n	7,870	,692	6,426	9,314
		90s90s	8,495	,550	7,348	9,642
		180s090s	8,517	,618	7,227	9,807
Höhe		360n090n	8,887	,598	7,639	10,134
		360n090v	7,901	,464	6,932	8,869
		180n180n	8,262	,480	7,261	9,263
		180v180n	8,299	,629	6,987	9,611
		360n180n	8,443	,626	7,137	9,750

Tabelle 8.10: Abweichung aller Dimensionen in Prozent als Funktion des Blickfeldes mit 10kft.

Sektoren	M	SE	UG, 95%KI	OG, 95%KI
91° bis 180°	2,52	,10	2,32	2,72
0° bis 90°	1,97	,10	1,77	2,17
-89° bis 0°	1,99	,10	1,79	2,19
-180° bis -90°	2,69	,10	2,49	2,89

Tabelle 8.11: Test auf Azimutabhängigkeit der Schätzzeit bei vier Sektoren.

und die Stärke lässt bei den Interaktionen deutlich nach (s.a. Abbildung 8.9). Eine Übersicht über die gefundenen Effekt gibt Anhang B.

8.2.8 Diskussion

Bodengitter Das Bodengitter hat einen starken Einfluss auf die Genauigkeit der Entfernungseinschätzung bei allen untersuchten Bedingungen. Verwendet man ein kartesisches Gitter, führt dies zu einer schwierig zu interpretierende Darstellung. Die Fehler der Schätzungen sind relativ hoch. Durch die Transformation der Kugelprojektion, welche den umgebenden Raum auf die rechteckige Darstellung bringt, werden die parallelen Entfernungsgeraden zu Bögen verzerrt, die an Hauptachsen zusammenfinden. Diese vermeintliche Verzerrung scheint die Schätzfehler zu erhöhen. Die Transformation der Kugel bei einem polaren Gitter und dessen Darstellung auf einer rechteckigen Fläche ist deutlich leichter zu interpretieren. Die Kreisbögen der Entfernung einer Draufsicht werden in der perspektivischen Ansicht zu Ge-

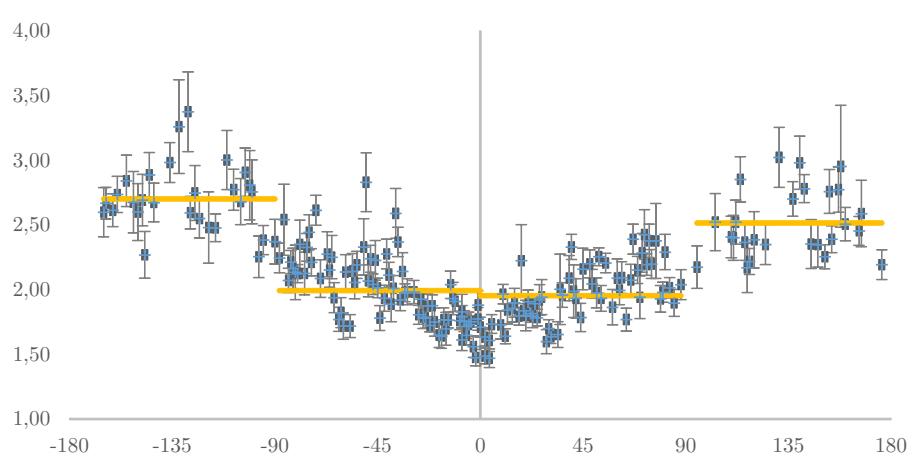


Abbildung 8.18: Die Einschätzzeit als Funktion des Azimutwinkels des Zielobjektes.

Maß	Dimension	Tiefe	M	SE	UG, 95%KI	OG, 95%KI
Einschätzungszeit (s)	Azimut	30NM	2,11	,080	1,95	2,28
		90NM	2,06	,080	1,90	2,22
	Entfernung	30NM	1,86	,090	1,66	2,05
		90NM	1,93	,100	1,73	2,13
	Höhe	30NM	1,91	,100	1,70	2,12
		90NM	1,930	,104	1,713	2,147

Tabelle 8.12: Einschätzungszeit des Azimut, der Entfernung und der Höhe in s als Funktion der Blicktiefe, ohne 10kft.

raden transformiert. Diese Geraden können als Grenzlinien für eine schnellere und vor allem genauere Entfernungsschätzung genutzt werden.

Blickfeld Die Einschätzungszeiten sind bei den verschiedenen Blickfeldern nur für den Azimut sensitiv. Die Azimuteinschätzungszeit ist deutlich höher in horizontal-weitwinkligen Darstellungen über 180° , bei der Entfernung und Höhe ist sie über alle Blickfelder relativ ähnlich. Betrachtet man nun die Einschätzungszeit als Funktion des wirklichen Azimuts eines Objekts, wird ein interessanter Zusammenhang sichtbar. Über $+/-90^\circ$ werden Objekte zunehmend langsamer verortet. Dieser Effekt erhöht die Verortungszeit erheblich, ohne jedoch die Genauigkeit zu beeinflussen. Die objektiven Positionen der Kontakte über $+/-90^\circ$ fallen aus dem natürlichen Blickfeld des Menschen. Soll nun eine Verortung geleistet werden, scheint der Proband gezwungen, sein internales Koordinatensystem zu drehen. Die Dauer dieses Drehvorganges nimmt mit steigendem Winkelgrad nach links und rechts zu. Die resultierende U-Kurve kann ein Hinweis auf eine solche mentale Drehung sein. Der Zusammenhang scheint dem von Shepard und Metzler (1971) festgestellten linearen Anstieg der Identifikationszeit bei dem Vergleich eines gedrehten Körpers mit einem Referenzkörpers ähnlich. Auch hier gilt, je mehr der Vergleichskörper gedreht ist, desto länger benötigen Probanden um festzustellen, ob es sich um dieselben Körper handelt.

Allerdings kann man feststellen, dass die Schätzfehler des Azimuts relativ gering sind und alle

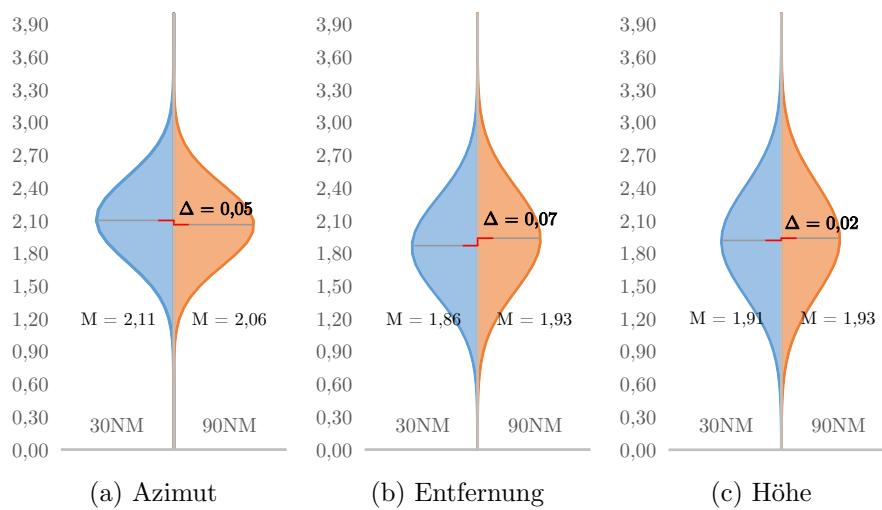


Abbildung 8.19: Einschätzungszeit des Azimut, der Entfernung und der Höhe in Sekunden als Funktion der Blicktiefe, ohne 10kft.

Maß	Dimension	Tiefe	M	SE	UG, 95%KI	OG, 95%KI
Abweichung (%)	Azimut	30NM	3,093	,269	2,534	3,652
		90NM	3,102	,271	2,538	3,665
	Entfernung	30NM	7,467	,530	6,364	8,570
		90NM	8,276	,504	7,228	9,325
Höhe	30NM	7,846	,498	6,811	8,880	
	90NM	10,484	,503	9,437	11,531	

Tabelle 8.13: Abweichung des Azimut, der Entfernung und der Höhe in Prozent als Funktion der Blicktiefe, ohne 10kft.

Blickfelder geeignet scheinen, eine genaue Azimutschätzung zu ermöglichen. Die Projektionsart Kugel stellt den Azimut in einer rechtwinkligen Darstellung als lineare Skala über den gesamten Horizont dar. Diese Transformation erlaubt eine äquidistante Einteilung des Blickfeldes und führt demnach zu dieser genauen Einschätzung. Die Entfernung und Höhe werden deutlich schlechter eingeschätzt, auch wenn bei beiden die Einschätzungszeiten ähnlich sind. Für die Entfernung kann dies an der relativ niedriger Tiefenauflösung von weitwinkeligen Blickfeldern liegen, die die Gitterabstände schwer interpretierbar machen (z.B. bei FOV 360n90n). Ähnliches gilt für Höhenschätzfehler bei niedriger Auflösung in der vertikalen Dimension (Elevation, z.B. 360n90n). Zusammenfassend gibt es eine Tendenz zu höheren Schätzfehlern bei weitwinkeligeren Darstellungen.

Betrachterhöhe Die Betrachterhöhe hat insgesamt geringen Einfluss auf Einschätzungszeit und Abweichung für mittlere und hohe Höhen. Die Genauigkeit der Schätzung der Entfernung nimmt mit der Betrachtungshöhe zu, dies zeigt vor allem der Vergleich mit den niedrigen Betrachtungshöhen (10kft). Der perspektivische Eindruck der Darstellung verbessert sich erheblich mit zunehmender Betrachtungshöhe und ist am besten bei mittleren und hohen Blickpunkten. Als Extrembeispiel können die ausgeschlossenen Faktorstufenkombinationen gelten,

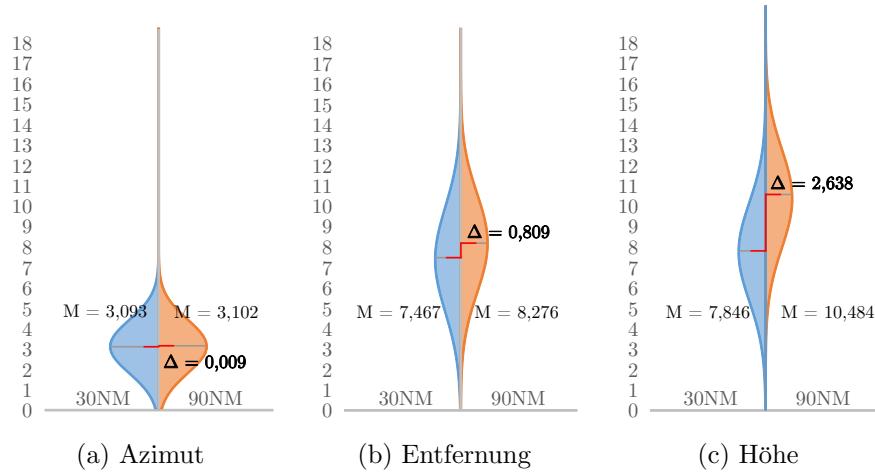


Abbildung 8.20: Abweichung des Azimut, der Entfernung und der Höhe in Prozent als Funktion der Blicktiefe, ohne 10kft.

Maß	Dimension	Höhe	M	SE	UG, 95%KI	OG, 95%KI
Einschätzungszeit (s)	Azimut	30kft	2,072	,072	1,921	2,223
		50kft	2,100	,083	1,927	2,272
	Entfernung	30kft	1,907	,097	1,706	2,108
		50kft	1,881	,093	1,688	2,075
Höhe	30kft	1,899	,100	,100	1,691	2,107
	50kft	1,941	,106	,106	1,721	2,162

Tabelle 8.14: Einschätzungszeit in Sekunden als Funktion der Betrachterhöhe, ohne 10kft.

bei welchen eine maximale Tiefe der Projektion mit niedriger Flughöhe kombiniert wird (s.a. Abbildung 8.6a). Diese Kombinationen wurden aus genau dieser Abschätzung heraus nicht realisiert. In der Abbildung sind nur die ersten 30NM zu erkennen, eine Trennung der Entfernung darüber hinaus und somit eine sichere Verortung ist unmöglich. Die Betrachterhöhe muss somit über 10kft liegen, um die Genauigkeit für Höhen und vor allem Entfernungsabschätzungen zu erhöhen.

Betrachtungstiefe Die Tiefe der Projektion hat einen moderaten Einfluss auf die Einschätzungszeit von Azimut und Höhe, die Entfernungseinschätzungszeit ist unbeeinflusst. Die Abweichungen sind allerdings vor allem bei der Entfernung und Höhe mit höherer Blicktiefe erhöht. Besonders stark ist der Einfluss bei der Abweichung der Höhenschätzung zu bemerken, mit einer tieferen Darstellung geht eine schlechtere Höhenschätzung einher. Kontakte, die weit hinten in der Projektion liegen werden in ihrer Größe im Vergleich zu Kontakten weit vorne in ihrer Höhe komprimiert dargestellt. Die Höhenschätzung wird durch die weniger langen Lote schwieriger und fehlerbehafteter.

Darstellungsfaktoren für weitere Untersuchungen Aus dem obigen resultieren Empfehlungen für die weiteren Versuche. Als Referenzgitter sollte ein polares Koordinatensystem verwendet werden, da dieses die Einschätzung der Entfernung genauer macht. Zudem sollte

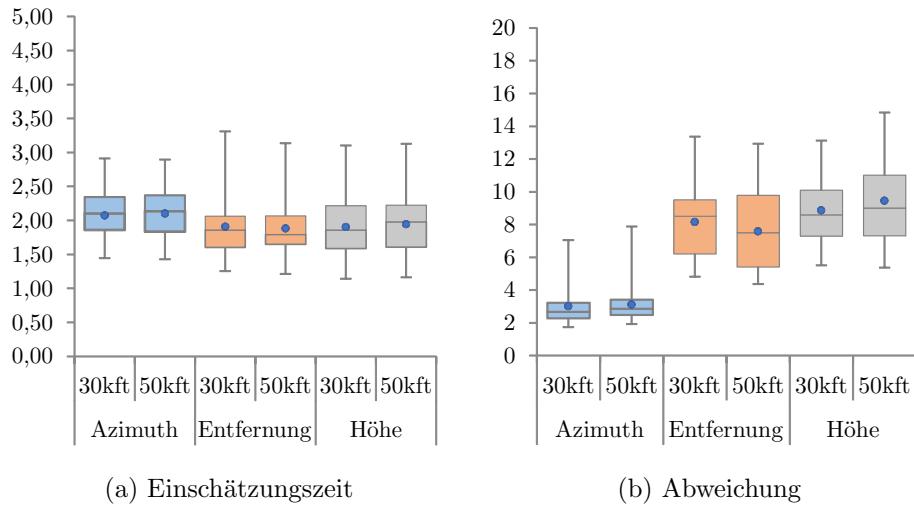


Abbildung 8.21: Einschätzungszeit in Sekunden und Abweichung aller Dimensionen in Prozent als Funktion der Betrachterhöhe, ohne 10kft.

Maß	Dimension	Höhe	M	SE	UG, 95%KI	OG, 95%KI
Abweichung (%)	Azimut	30kft	3,058	,262	2,512	3,603
		50kft	3,137	,274	2,567	3,708
	Entfernung	30kft	8,159	,512	7,093	9,224
		50kft	7,585	,522	6,500	8,669
Höhe	30kft	8,865	,462	7,905	9,825	
	50kft	9,464	,589	8,238	10,689	

Tabelle 8.15: Abweichung in Prozent als Funktion der Betrachterhöhe, ohne 10kft.

die virtuelle Flughöhe bei mindestens 30kft liegen, um eine Verschlechterung der Einschätzgenauigkeit zu verringern. Die Öffnungswinkel der Projektion können relativ frei gewählt werden, wenn beide Dimensionen eine unverzerrte Darstellung bei maximaler Ausnützung der vorhandenen Darstellungsfläche erlauben. Allerdings muss der Effekt der azimutabhängigen Einschätzungszeit weiter bedacht werden.

In diesem Experiment wurde versucht, räumliche Leistungen über Einschätzungszeiten und Positionsabweichungen zu operationalisieren. Über die Auswertung hat sich gezeigt, dass die gewählten Parameter differenzierte Aussagen über die manipulierten Faktoren zulassen und somit räumliche Leistungen passend abbilden. Die Methode wird für eine weitere Untersuchung verwendet, um vor allem Dynamik und multiple Kontakte sowie einen Vergleich verschiedener Darstellungen zu untersuchen.

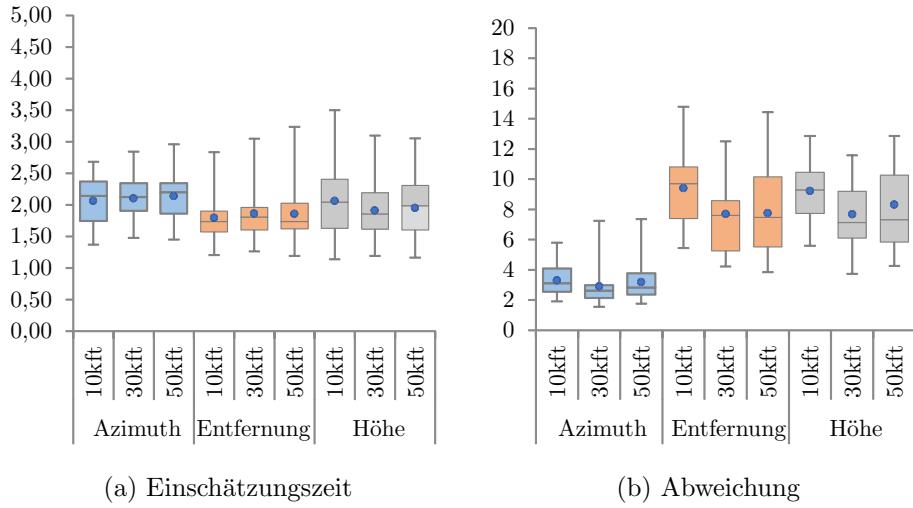


Abbildung 8.22: Einschätzungszeit in Sekunden und Abweichung aller Dimensionen in Prozent als Funktion der Betrachterhöhe, mit 10kft.

Maß	Dimension	Höhe	M	SE	UG, 95%KI	OG, 95%KI
Einschätzungszeit (s)	Azimut	10kft	2,06	,07	1,90	2,21
		30kft	2,10	,08	1,94	2,27
		50kft	2,13	,09	1,95	2,32
	Entfernung	10kft	1,79	,09	1,61	1,97
		30kft	1,86	,09	1,67	2,05
		50kft	1,85	,10	1,64	2,07
	Höhe	10kft	2,06	,13	1,79	2,34
		30kft	1,91	,11	1,68	2,13
		50kft	1,95	,11	1,72	2,18

Tabelle 8.16: Einschätzungszeit in Sekunden als Funktion der Betrachterhöhe, mit 10kft.

Maß	Dimension	Höhe	M	SE	UG, 95%KI	OG, 95%KI
Abweichung (%)	Azimut	10kft	3,332	,223	2,867	3,797
		30kft	3,013	,285	2,418	3,609
		50kft	3,277	,281	2,690	3,864
	Entfernung	10kft	9,409	,496	8,374	1,444
		30kft	7,687	,536	6,569	8,804
		50kft	7,756	,534	6,642	8,870
	Höhe	10kft	9,218	,489	8,197	1,239
		30kft	7,677	,496	6,643	8,710
		50kft	8,307	,618	7,019	9,595

Tabelle 8.17: Abweichung in Prozent als Funktion der Betrachterhöhe, mit 10kft.

8.3 Positionsverständnis II: Virtuelle Objekte und wirkliche Lage im Raum

In den vorausgehenden Abschnitten wird gezeigt, wie genau ein Objekt in verschiedenen Blickfeldern mit unterschiedlichen Darstellungsparametern verortet werden kann. Die Genauigkeit ist dabei zufriedenstellend hoch.

Verschiedene Autoren (s. z.B. McNamara, 1986; Bolton u. a., 2007) gehen davon aus, dass die Operationalisierung durch graphische Antwortmasken Raumbewusstsein valide abbilden können. Durch eine solche Operationalisierung wird aber der Aspekt der Übertragung dieser Verortungsleistung auf die Wirklichkeit, also *das Finden einer echten Position im umgebenden Raum*, nur unzureichend abgebildet. Diese Vermutung spiegelt sich auch in Kommentaren von Probanden des voranstehenden Experiments: Zwar ist die Verortung der Objekte in den Skalen der Antwortmasken in keinem Fall ein Problem, allerdings zweifelt ein Teil der Probanden, ob sie das Objekt auch im wirklichen Raum finden würden, wenn dies gefragt wäre. Die Antwortmasken zur Positionsangabe evozieren durch die Art der Darstellung der Skala eine numerische Antwort. Diese Antwort ist in drei einzelne Dimensionen aufgetrennt. Beide Aspekte sprechen gegen ein als holistisch angenommenes, räumlich-mentales Modell und so gegen dessen Interpretation als „echtes“ Situationsbewusstsein.

Eine technische Darstellung von Raum muss eine Übertragung der virtuellen Inhalte auf die Realität ohne hohen Aufwand ermöglichen. Sollten Zweifel an der Validität berechtigt sein, kann auch nicht mehr von einer Eignung der Darstellung für eine solche Übertragung ausgegangen werden. Um dem nachzugehen, wird eine Untersuchung gestaltet, die diese Übertragungsleistung zum Inhalt hat. Es soll dabei die Benennung des Ortes erfolgen, an dem ein gezeigtes Objekt sich in Wirklichkeit befindet.

Ein weiterer Aspekt ist die Erlernbarkeit der Orientierung anhand der neuen Darstellung. Die Probanden in der vorangegangenen Untersuchung rekrutieren sich ausschließlich aus einem Kreis von Experten, alle hatten eine fliegerische Ausbildung und entsprechende Vorkenntnisse im effizienten Umgang mit räumlichen Darstellungen. Bei einem solchen Probandenkollektiv kann zwar das Erlernen einer neuen Darstellung innerhalb des Kollektivs abgeschätzt werden, nicht aber über dessen Grenzen hinaus. Zwar wird weiter mit Experten als Probanden gearbeitet, das Erlernen der Anzeige ist aber durch den Vergleich mit einer Laienstichprobe erweitert. Mit Hilfe dieses Vergleichs soll aufgezeigt werden, wie die Leistung von Laien nach einer kurzen Trainingsphase von der von Experten unterscheidet. Dieser Unterschied kann Hinweise auf die Erlernbarkeit und den Trainingsaufwand liefern.

8.3.1 Anzeige und Orientierung

Orientierung im Raum ist eine hoch gelernte Fähigkeit. Sie ist dabei abhängig von der Perspektive des Betrachters, seiner Vorstellung von Raum und Landmarken.

Die Basis einer Hinwendung zu einem Objekt ist dessen relative Position zum Betrachter, also der relative Azimut des Objekts im Raum. Wenn dem Betrachter der relative Winkel eines Objektes bekannt ist, kann eine Hinwendung erfolgen. Die Einschätzung weiterer Positionsdaten wie Entfernung und Höhe erfolgt dann subsequent, sie sind also dem Relativwinkel untergeordnet. Diese Art, Raumbewusstsein zu operationalisieren, ist geeignet, Aussagen über die

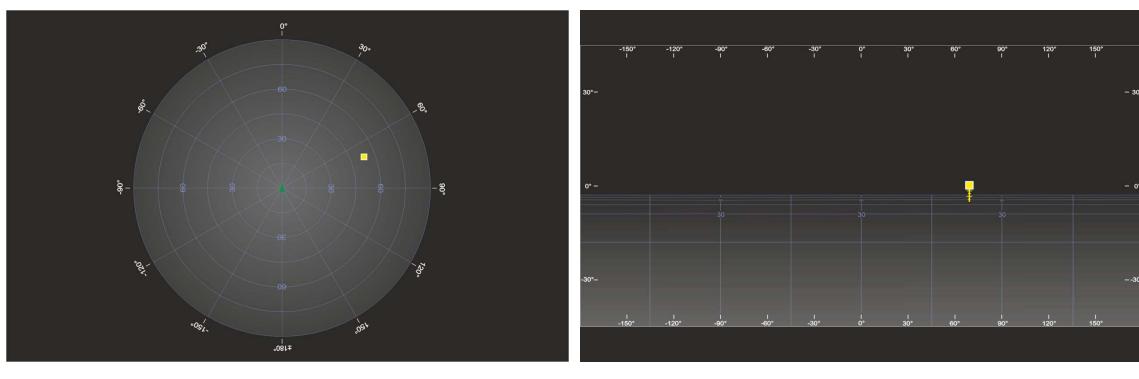
mentale Repräsentation spatialer Gegebenheiten zu treffen (vgl. Hintzman, O'Dell, & Arndt, 1981; Pedersen & Jorgensen, 2005).

Um die Orientierung für diesen Zweck zu operationalisieren, haben die Probanden die Aufgabe, den relativen Azimut eines Objektes im umgebenden Raum möglichst genau als egozentrische Richtungsangabe zu benennen. Die Benennung dieses Zielazimuts erfolgt über die Nennung von Codes auf Kärtchen, die um den Probanden angebracht sind. Die Nennung soll dabei möglichst schnell und genau erfolgen. Eine Orientierung bei genügend langem Zeithorizont ist meist ohne Probleme möglich. Deshalb soll eine Limitierung der Zeiterfolgen. Die Limitierung der Zeit durch die Forderung einer schnellen Reaktion zeigt die Qualität der Orientierung anhand der Fehlerrate besser als eine sichere, langsame Orientierung.

8.3.2 Annahmen und Forschungsfragen

Die Orientierung im Raum konnte durch konventionelle Hilfsmittel wie z.B. Karten als gegeben angenommen werden. Die Karte wurde deshalb als Vergleich herangezogen und die Kugelprojektion über diesen Vergleich bewertet. Weiter wurde der relative Azimutwinkel variiert um eventuelle Artefakte der Position feststellen zu können. Die ausschließliche Untersuchung von Expertenprobanden wurde in dieser Untersuchung aufgehoben, um eine Aussage über die Erlernbarkeit der Ansichten machen zu können.

Einflussfaktoren



(a) Karte

(b) Kugelprojektion

Abbildung 8.23: Dargestellt sind die beiden zu vergleichenden Raumansichten, die Karte und die Kugelprojektion. Beide zeigen dasselbe Zielobjekt bei 69° , 55NM Entfernung und 30.000ft Höhe.

Karte und Perspektive Die in Abbildung 8.23a gezeigte **Karte** ist eine zweidimensionale Draufsicht und diente in stark vereinfachter Darstellung als Referenz. Dargestellt war die Entfernung über den relativen Azimut im Vollkreis. Das hinterlegte polare Referenzgitter war durch Entfernungsringe unterteilt, die maximale Entfernung betrugt 90NM bei 15NM Abstand zwischen zwei Ringen. Der Azimutvollkreis ist in 30° -Schritten unterteilt, die Skala ist polar angeordnet und am äußersten Entfernungsring angebracht. In der Mitte der Karte befand sich ein nach vorn ausgerichteter Pfeil zur Anzeige der eigenen Orientierung.

Die **Kugelprojektion** in Abbildung 8.23b zeigte das verwendete Blickfeld mit 360° horizontalem und 90° vertikalem Öffnungswinkel. So wurden 50% des umgebenden Raumes darge-

stellte, dies entsprach der in Untersuchung 1 verwendeten Ansicht BF6 (vgl. a. Abbildung 8.1, 360n090v). Die Dimensionen waren als Skala am Bildrand in ° angegeben. Die Azimutskala war, analog zur Karte, in 30°-Schriften unterteilt, ebenso die Elevationsskala. Der Darstellung wurde ein polares Referenzgitter zugrunde gelegt, die Hilfslinien sind im Abstand von 45° angebracht. Die maximale Tiefe der Darstellung betrug 90NM und der Abstand zwischen zwei Entfernungsgrenzen betrug 15NM.

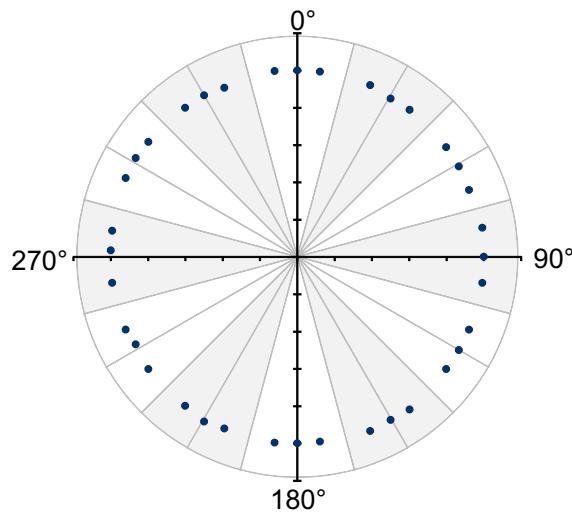


Abbildung 8.24: Graphisch dargestellt ist der Azimut aller Zielobjekte. In einem an der Uhrzeit orientierten Segment befanden sich immer drei Objekte.

Azimutwinkel des Zielobjektes Der Vergleich zweier Darstellungsformen war über die Lokalisation von Zielobjekten geleistet. Für diese Lokalisation wurde der Azimutwinkel der Zielobjekte variiert. Jeweils drei Zielobjekte waren zu diesem Zweck in einem Segment zusammengefasst (s. Abbildung 8.24), wobei ein Segment 30° azimutale Breite aufwies. Die Segmente orientierten sich dabei an der Blickrichtung der Probanden im Versuch und waren an 0° Blickrichtung ausgerichtet. Der Winkel jedes Objekts wurde so gewählt, dass alle Objekte relativ gleich in einer Stundenposition verteilt lagen. Drei Objekte sollten aufgrund dieser räumlichen Verteilung immer eindeutig einem Segment zugeordnet werden können. Um die Verortung zu erschweren, wurden insgesamt 90 Code-Kärtchen verwendet und gleichmäßig über den vollen Winkelkreis verteilt. Der Abstand jedes Kärtchens zu seinen unmittelbaren Nachbarn betrug ca. 4°, leichte Abweichungen ergaben sich durch zufällige Zuweisung der Positionen zu den Kärtchen.

Die Einschätzung von drei Objekten in einem Segment wurde zu einem Segmentschätzer zusammengefasst und nicht getrennt behandelt. Schätzer sowohl über die Zeit als auch die relative Trefferwahrscheinlichkeit wurden nur für Segmente gebildet.

Erlernbarkeit: Experten und Novizen Um einen Eindruck über die Erlernbarkeit der Darstellung zu gewinnen, wurden zwei Gruppen verglichen. Die gebildeten Gruppen unterschieden sich durch ihre Expertise. Die erste Gruppe bestand aus Experten, welche auch an Untersuchung 1 bereits teilgenommen hatten. Diese Gruppe verfügte über Flugerfahrung und Expertise im Umgang mit verschiedensten räumlichen Anzeigen. Durch ihre Teilnahme am ersten

8.3 Positionsverständnis II: Virtuelle Objekte und wirkliche Lage im Raum

Segment	Nr.	Azimut	Code	Segment	Nr.	Azimut	Code
346-015	12	355	4E6M	166-195	6	172	6E4M
		359	4H7I			178	0J2E
		7	4A9R			185	8I1F
016-045	1	23	3A3R	196-225	7	203	4V7R
		32	1L1I			208	8F6Y
		38	2I4X			217	1D8U
046-075	2	54	1N9R	226-255	8	233	2I4I
		61	0J4Z			242	4N9D
		69	8R0T			247	1H5S
076-105	3	81	0T6U	256-285	9	262	6K2H
		90	9M4Q			272	9Q2T
		98	0R1D			278	8M4H
106-135	4	113	3D1P	286-315	10	295	1U8B
		120	4U6F			302	3F6F
		127	8B4C			308	9D0N
136-165	5	145	2J3F	316-345	11	323	3Q7Z
		151	6I3O			330	9H0C
		159	3P4E			335	6P7G

Tabelle 8.18: Die Tabellen zeigen die Azimutwinkel der Zielobjekte und deren Zuordnung zu den Segmenten mit dem korrespondierenden Code zur Verortung an.

Versuch verfügten diese Probanden zudem über solides Wissen bezüglich der Projektionsart und waren mit der Untersuchungsmethode vertraut.

Kontrastiert wurde diese Expertise durch die zweite Gruppe, welche aus Laien bestand, die ein basales Training absolvierten. Diese erhielten zuerst eine Einweisung in die Darstellungsform der Kugel und dann dasselbe Experimentaltraining wie die Gruppe der Experten. Die geschulten Laien sollten so zeigen, ob eine Orientierung nach einer kurzen Einweisung möglich ist. Dies ließ Aussagen über den Lernaufwand zu, der erforderlich ist, um sich mit einer Raumansicht auf Basis einer Kugelpunktprojektion zu orientieren.

Folgend werden beide Gruppen nach für die Untersuchung bedeutsamen Merkmalen charakterisiert. An der Untersuchung nahmen zwölf Probanden teil. Ein Auswahlkriterium wurde bezogen auf die Profession hinsichtlich der Bereichsexpertise festgelegt. Sowohl flugerfahrene als auch nicht flugerfahrene Probanden wurden für die Untersuchung herangezogen. Die Hälfte der Probanden war entweder Pilot oder Waffensystemoffizier, die andere Hälfte bestanden aus kaufmännisch-technischen Angestellten der Firma Airbus.

Die Expertengruppe (MED=46 [MIN=37; MAX=55]) war älter als die Laiengruppe (MED=31 [MIN=27; MAX=41]). Die Experten waren alle männlich, in der Laiengruppe befand sich eine weibliche Versuchsperson. Keine Versuchsperson der Laiengruppe verfügte über eigene Flug Erfahrung oder tiefere Kenntnisse der verwendeten Darstellungen.

Hypothesen

Durch die oben aufgeführten Einflussfaktoren kann Teil c) der globalen Forschungsfrage beantwortet werden. Wenn eine genügend gute Orientierungsreaktion gezeigt werden kann, kann die Verständlichkeit der Darstellung angenommen werden.

1. Ist eine holistische Darstellung des umgebenden Luftraums durch eine Kugelprojektion verständlich und interpretierbar?
- c) Können in einer Kugelprojektion dargebotene Objekte im realen Raum ausreichend genau verortet werden?

Es lassen sich folgende Hypothesen formulieren:

1. Die Art der Raumdarstellung hat Einfluss auf die Wiedergabegenaugigkeit.
2. Die Orientierung wird durch die Kugelprojektion verlangsamt.
3. Der Azimutwinkel eines Objekts beeinflusst die Wiedergabegenaugigkeit nicht, die Genaugigkeit ist an allen Positionen gleich hoch.
4. Mit steigendem Azimutwinkel verlangsamt sich die Wiedergabegeschwindigkeit.
5. Die Orientierungsleistung von Laien mit Training unterscheidet sich weder in der Genaugigkeit noch in der Geschwindigkeit der Leistung vom Expertenergebnis.

8.3.3 Untersuchungsplanung

Folgend werden die Erstellung des Stimulusmaterials, der Versuchsplan und die Randomisierung sowie der Versuchsaufbau und -ablauf dargestellt.

Faktorstufenplan und Randomisierung

Die oben charakterisierten Faktoren wurden als gemischtes Design realisiert. Als Zwischensubjektfaktor diente die Einteilung in Gruppen von Experten und Laien. Die Innersubjektfaktoren waren die Anzeigeart (Karte und Kugelprojektion) sowie das Zielobjektsegment.

Faktor							
Zwischen		Experten		Laien			
		Karte	Perspektive	Karte	Perspektive		
In	Zielsegment	Zielsegment	Zielsegment	Zielsegment	Zielsegment		

Tabelle 8.19: Die Tabelle zeigt den in Untersuchung zwei realisierten Faktorstufenplan aufgeteilt nach Zwischen- und Innersubjektfaktoren.

Innerhalb der Gruppen wurden die Kugelprojektion sowie die Kartendarstellung als Block dargeboten. Die Blockdarbietung bietet den Vorteil, dass sich die Probanden auf die Darstellung einstellen können. Die Reihenfolge der Darstellung Karte oder Kugelprojektion wurde über die Probanden jeder Gruppe balanciert. Innerhalb eines Blocks wurden alle Objekte der zwölf Zielsegmente randomisiert dargeboten. Jeder Zielreiz wurde einmal präsentiert.

Erstellung des Stimulusmaterials

Das Stimulusmaterial wurde aus dem Versuchsmaterial der ersten Untersuchung abgeleitet. Das Material für die Kartendarstellung wurde separat erstellt. Alle Stimulusbilder der Kugelprojektion wurden aus einem Elternbild mit einem Kontakt abgeleitet. Der Azimutwinkel des Objektes wurde dafür in Corel Draw angepasst und das neue Bild exportiert. Höhe und

Entfernung der Kontakte waren in allen Bildern gleich.

Die Auslegung der Kartendarstellung orientierte sich strikt an den bereits erstellten Bildern. Der Hintergrund, die Hilfslinien und die Beschriftungen wiesen dieselben Farben und Texturen auf. Der Hintergrund jedes Bildes war in schwarz gehalten, um den Kontrast zu erhöhen und die Darstellung so sichtbarer zu machen.

Versuchsaufbau

In Abbildung 8.25 ist der Versuchsaufbau schematisch und bildhaft dargestellt. Der Proband saß innerhalb einer um ihn geschlossenen Sichtschutzwand vor einem Monitor und zwei Lautsprechern. Die Sitzhöhe des Probanden wurde individuell an seine Größe angepasst, um die direkte Sicht auf die Zielkärtchen zu unterbinden. Die Sitzposition des Probanden lag kurz hinter der geometrischen Mitte der äußeren Umrandung. Im Stehen vor dem aufgestellten Flugzeugsitz befand sich der Proband genau in der Mitte des so begrenzten Raumes. Auf der äußeren Wand, bestehend aus acht Elementen, waren die Objektzielkärtchen angebracht. Der Abstand des Probanden zum Bildschirm betrug in dieser Konfiguration ca. 70cm, die Lautsprecher waren links und rechts vorne angebracht.

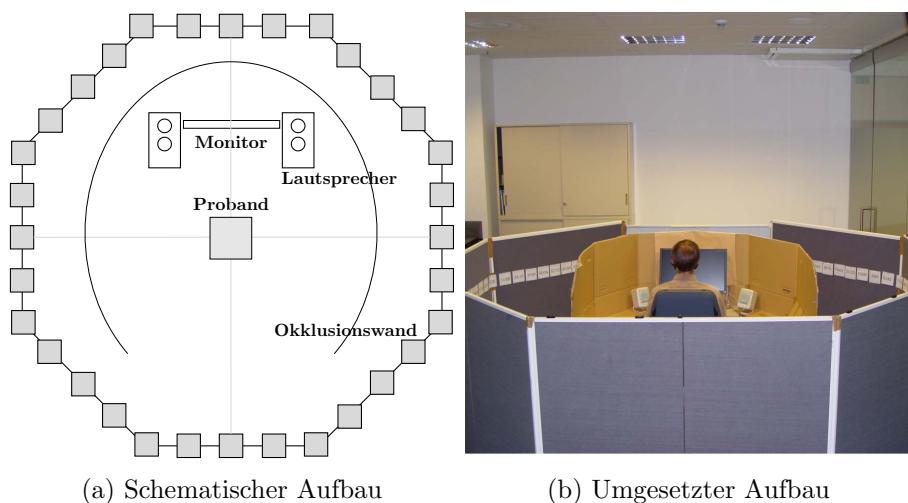


Abbildung 8.25: Dargestellt sind der schematische Plan und dessen Realisierung. Der Proband saß mittig im Azimutvollkreis bei okkludierter Sicht auf die Zielkärtchen. Auf dem Monitor wurden die Zielobjekte präsentiert, die dann verortet werden müssen.

8.3.4 Organisation, Ablauf, Aufgaben und Durchführung

In diesem Abschnitt wird die allgemeine Organisation des Versuchs sowie der Ablauf der Trials und die spezielle Zeitmessung beschrieben.

Ablauf des Versuchs

Nach der Begrüßung der Probanden folgte die Einweisung in die Versuchsumgebung. Den Probanden wurden der Versuchsaufbau und Ihre Aufgabe erläutert. Nach den initialen Erklärungen übten die Probanden die Bewegungszeitaufgabe. Anschließend erfolgte die Messung

der Bewegungszeit (s.u.).

Die Orientierungsaufgabe und deren Training wurden gesondert durchgeführt. Beide Ansichten, Kugelprojektion und Kartendraufsicht, wurden ebenfalls separat geübt. Die Übungen mit Karte und Kugelprojektion wurden balanciert über alle Probanden durchgeführt, um Positionseffekte zu vermeiden. Nachdem die Übungen erfolgreich absolviert waren, begann die eigentliche Versuchsphase. Analog zum Training erfolgte im Test die Positionsbalancierung von Kugel und Karte. Nachdem beide Versuchsteile abgeschlossen waren, wurden die Probanden über den Zweck der Untersuchung aufgeklärt, um Verschwiegenheit gebeten und entlassen. Der Versuch wurde pro Proband innerhalb einer Stunde durchgeführt.

Orientierungsaufgabe, Bewegungszeit und Training

Orientierungsaufgabe Orientierung war als Nennung des richtigen Kärtchencodes in möglichst kurzer Zeit ab der Präsentation des Zielobjekts operationalisiert. Die Probanden saßen bei Beginn der Aufgabe auf einem Flugsitz niedrig genug, um den Blick auf die Kärtchen zu verhindern. Die Sitzposition diente der Kontrolle und sollte verhindern, dass sich die Probanden einzelne Zielpositionen vor dem Versuch merken konnten. Aufgrund der Versuchsumgebung und der Notwendigkeit, die Kärtchen so zu verdecken, mussten die Probanden nach der Präsentation des Zielobjektes aufstehen, sich drehen und den Code nennen.

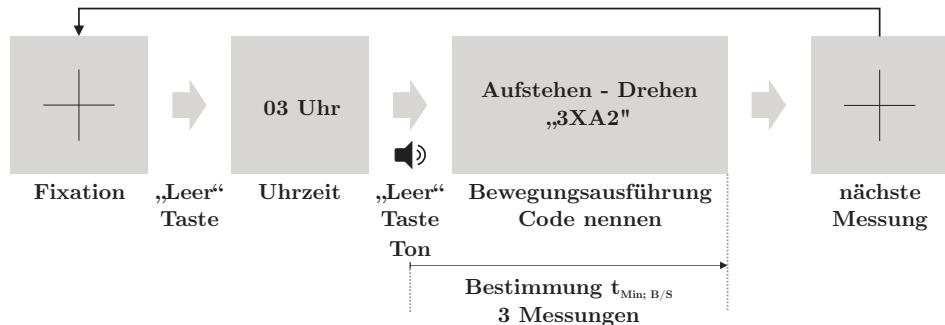
Bei Beginn eines Versuchsdurchgangs saß der Proband vor dem Monitor mit Blickrichtung 0° und blickte auf ein Fixationskreuz. Jeder Trial wurde durch Druck auf die Leertaste gestartet. Nach dem Tastendruck erschien das Stimulusbild mit dem Zielobjekt, wobei gleichzeitig ein Signalton abgespielt wurde. Der Proband musste nun den Code des Zielkärtchens im Vollkreis nennen, welcher das Objekt am besten repräsentierte. Die Verortung wurde so bald als möglich begonnen. Das Reizbild war drei Sekunden zu sehen, das Ausblenden sollte aber nicht abgewartet werden. Die Verortung lief nach einem streng eingeübten und kontrollierten Schema ab. Der Proband sollte gerade aufstehen, die kürzest mögliche Drehung in Richtung des vermuteten Zielkärtchens ausführen und den Code laut und schnell vorlesen. Die Zeitmessung umfasste die Zeitspanne zwischen Ertönen des Signaltone und dem ersten, vom Probanden erbrachten Laut zur Nennung des Codes. Erhoben wurden hier sowohl der einem Objekt zugeordnete Kode als auch die Zeit, diesen zu nennen.

Die Zeit zur Verortung von virtuellen Objekten im umgebenden Raum war bei dieser Aufgabe durch die Bewegung des Probanden zum Zielkärtchen verunreinigt. Die Bewegungszeit zu dem jeweiligen Zielkärtchen ist dabei eine Funktion des Winkels des Kärtchens; es wird ein Anstieg der Bewegungszeit bei steigenden Winkel angenommen. Auch schien ein individueller Einfluss auf die Bewegungszeit durch Faktoren des Probanden nicht ausgeschlossen. Die Zeit als abhängige Variable zur Erklärung kognitiver Verarbeitung ist nur dann brauchbar, wenn diese individuell und für jeden Winkelbereich bereinigt wird. Dies macht die Messung der individuellen Bewegungszeit nötig. Diese wurde verwendet, um die im Hauptexperiment erhobenen Zeiten zu bereinigen und somit einen besseren Schätzer der kognitiven Verarbeitungszeit zu erhalten.

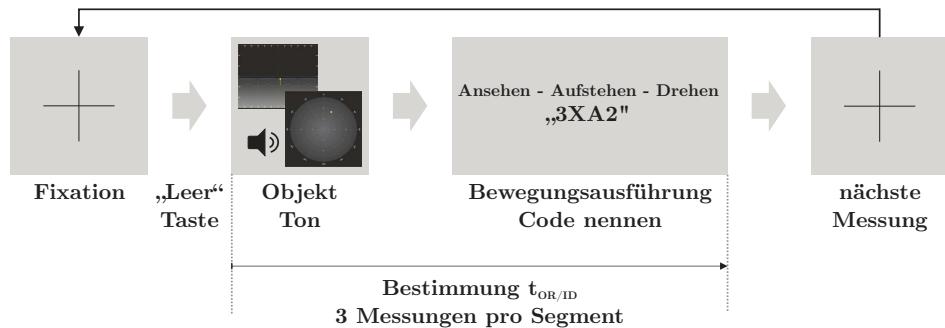
Die Erhebung und Kontrolle der Zeit wird im nächsten Abschnitt beschrieben.

Kontrolle der winkelabhängigen Bewegungszeit Die Bewegungszeit wurde festgestellt, um die motorischen Aspekte der Aufgabe von den kognitiven Aspekten zu trennen. Dies erfolgte deshalb für jeden Probanden und jedes Segment (0° - 12 Uhr, 30° - 1 Uhr, 60° - 2 Uhr usw.). Die Messung dieser Bewegungszeit wurde, wie auch die Orientierung, streng kontrolliert. Bei

8.3 Positionsverständnis II: Virtuelle Objekte und wirkliche Lage im Raum



(a) Trial zur Messung der azimutabhangigen Bewegungszeit



(b) Trial zur Bestimmung der Orientierungsleistung

Abbildung 8.26: Dargestellt ist ein exemplarische Ablauf der Erhebung der azimutabhangigen Bewegungszeit sowie die Messung der Orientierungsleistung.

Beginn der Messung saß der Proband aufrecht mit Blickrichtung 0° vor dem Monitor und musste ein Kreuz fixieren. Mit einem Druck auf die Leertaste der vor ihm liegenden Tastatur wurde der Trial gestartet. Es erfolgte die randomisierte Präsentation einer Uhrzeit für 3 Sekunden. Die Uhrzeit zwischen 1 und 12 stand stellvertretend für 12 Richtungen zwischen 0° (12 Uhr) und 330° (11 Uhr). Wenn der Proband sicher zu wissen glaubte, wo sich diese Uhrzeit im Raum befand, erfolgte ein zweiter Druck auf die Leertaste. Mit diesem zweiten Tastendruck löste der Proband die Zeitmessung aus: ein Signalton bedeutete ihm, möglichst schnell gerade aufzustehen, sich in die Richtung der Uhrzeit zu drehen und die Beschriftung des Kärtchens laut vorzulesen. Die Probanden wurden angewiesen, den kürzesten Weg zum Zielkärtchen zu drehen. Die Erfassung der Zeit für jedes Segment begann mit Ertönen des Signaltones und endete mit dem Einsetzen der Stimme des Probanden bei Nennung des richtigen Kärtchencodes. Für jede Uhrzeit gab es drei Wiederholungsmessungen.

Das Minimum dieser Messungen wurde verwendet, um pro Segment und für jeden Proband einen individuellen Segmentschätzer der winkelabhängigen Bewegungszeit zu bestimmen und die Verortungszeit um diese zu bereinigen. Die Orientierungszeit errechnet sich demnach als T_k

$$T_k = \bar{t}_k - \text{MIN}(\tau_k) \quad (8.1)$$

mit

$k = 1, \dots, 12$ als Menge aller Segmente

$\tau_k = 1, 2, 3$ als Menge aller Bewegungszeitmessungen pro Segment
 $t_k = 1, \dots, 36$ als Menge aller Zeitmessungen zur Orientierung.

Die Verwendung des Minimums rechtfertigte sich aus der Annahme eines Trainingseffektes bei wiederholter Messung: Jeder Proband zeigte eine zeitliche Verbesserung über die drei Messungen. Eine Mittelung über eine solche abnehmende Variable würde dem Lernverlauf nicht gerecht, da frühe Durchläufe genauso gewichtet werden wie späte, bei späten Durchläufen aber eine kürzere Zeit prognostiziert werden konnte.

Training Für die Orientierungsaufgabe wie auch die Messung der Bewegungszeit wurde ein Training durchgeführt. Dieses sollte das Aufgabenverständnis sowie eine basale Leistungsbereitschaft der Probanden sicherstellen. Besonderer Wert wurde bei dem Training auf den Ablauf der Bewegung für den Versuch gelegt. Die Probanden übten diesen Ablauf so lange, bis keine Fehler in der Bewegung mehr vorkamen und keine Geschwindigkeitsverbesserung mehr festgestellt werden konnte.

8.3.5 Ergebnisse

Nachfolgend werden die Ergebnisse bezüglich der Faktoren Darstellungsart, Erfahrung und Azimutsegment erörtert.

Darstellungsart

Die Darstellungsart übte sowohl auf die Orientierungszeit (Darstellung: $F = 28,76$; $df = 1$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,742$) als auch auf die relative Trefferhäufigkeit (Darstellung: $F = 12,37$; $df = 1$; $p \leq ,01$; $\eta^2 = ,55$) einen signifikanten Effekt aus.

Darstellung		M	SE	UG 95%KI	OG 95%KI
Zeit (in ms)	Kugel	1498	191	1073	1924
	Karte	1062	214	585	1539
Treffer	Kugel	,66	,02	,62	,71
	Karte	,80	,03	,74	,86

Tabelle 8.20: Die Tabelle zeigt die relative Trefferhäufigkeit und Orientierungszeit für Kugelprojektion und Kartendarstellung.

Die relative Trefferhäufigkeit war bei der Karte ($M = 0,80$) höher als bei der Kugelprojektion ($M = 0,66$). Zudem dauerte die Orientierungszeit der Probanden im Mittel mit der Kugelprojektion länger als mit der Kartendarstellung ($M = 1498$ ms vs. $M = 1062$ ms). In Tabelle 8.20 sind die zugehörigen Werte abgedruckt.

Die Abbildungen 8.27b und 8.27a zeigen Katzenaugendarstellungen der relativen Trefferhäufigkeit und der Orientierungszeit. Bei annähernd gleichen Standardabweichungen ergab sich ein Unterschied von 13,5 Prozentpunkten zugunsten der Kartendarstellung (siehe Abbildung 8.27b in der relativen Trefferhäufigkeit). Einem ähnlichen Trend folgte die Orientierungszeit: Mit der Kartendarstellung verorteten die Probanden die Objekte ca. eine halbe Sekunde ($\Delta = 433$ ms) schneller im Raum als mit der Kugelprojektion. Die Kartendarstellung war in diesem Aufbau der Kugelprojektion sowohl in der Verortung als auch der Orientierungszeit zu einem Ziel hin überlegen.

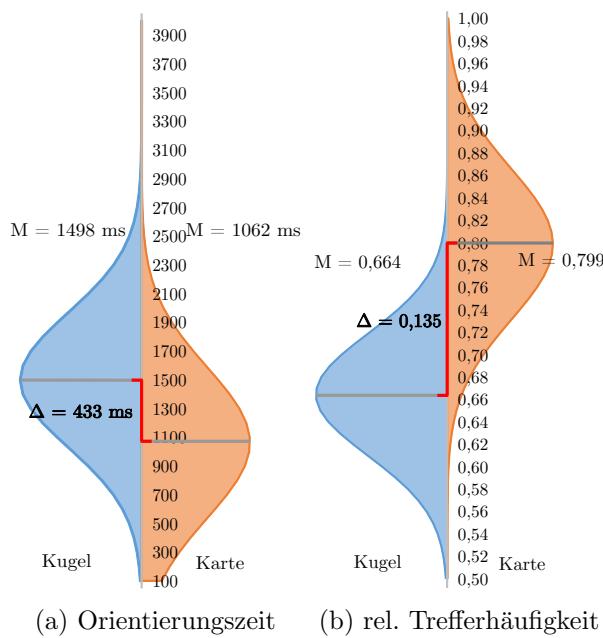


Abbildung 8.27: Dargestellt ist die Trefferhäufigkeit und Orientierungszeit als Funktion der Darstellung.

Erfahrung

Die Erfahrung der Probanden übte auf die Orientierungszeit ($F = 7,20$; $df = 1$; $p \leq ,02$; $\eta^2 = ,42$) einen signifikanten Effekt aus. Die Erfahrung der Probanden verursacht keinen signifikanten Effekt bei der relative Trefferhäufigkeit ($F = ,75$; $df = 1$; $p \leq ,41$; $\eta^2 = ,07$).

Erfahrung		M	SE	UG 95% KI	OG 95% KI
Zeit (in ms)	Laie	1814	281	1187	2440
	Experte	746	281	120	1373
Treffer	Laie	,745	,023	,695	,796
	Experte	,718	,023	,667	,768

Tabelle 8.21: Die Tabelle zeigt die Orientierungszeit und die relative Trefferhäufigkeit als Funktion der Erfahrung der Probanden.

Die relative Trefferhäufigkeit war bei Laien ($M = 0,75$) leicht höher als bei den Experten ($M = 0,72$). Der Unterschied von 2,7 Prozentpunkten war nicht signifikant und bedeutete auch keinen großen Effekt ($\eta^2 = ,07$) dar. Allerdings benötigten die Laien ($M = 1814$ ms) für diese bessere Leistung etwa eine Sekunde länger ($\Delta = 1068$ ms) als die Experten ($M = 746$ ms). In Tabelle 8.21 sind die zugehörigen Werte abgedruckt.

Abbildungen 8.28a und 8.28b zeigen Katzenaugendarstellungen der relativen Trefferhäufigkeit und der Orientierungszeit. Die Laien verorteten die präsentierten Ziele im Raum genauer als die Experten. Der Unterschied war gering und führte zu einer längeren Verortungszeit. Die Experten schienen in diesem Aufbau eine Verortung der Ziele im Azimutvollkreis effizienter zu bewerkstelligen als die Laien dies konnten.

In Abbildung 8.28b ist ein Schnitt bei $x = 100$ ms zu erkennen. Die Verteilung der Reakti-

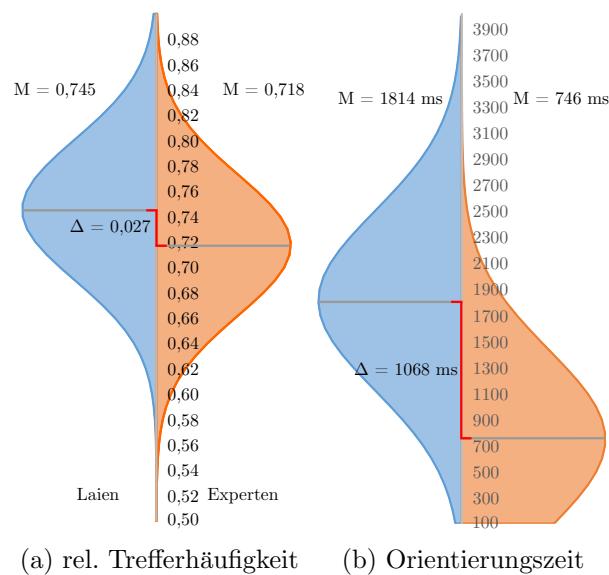


Abbildung 8.28: Dargestellt ist die Trefferhäufigkeit und Orientierungszeit als Funktion der Erfahrung.

onszeit der Experten mit $M = 746$ ms und einer Standardabweichung von $SD = 688$ ms läuft unter Normalverteilungsannahme im negativen Bereich für x weiter. Da negative Reaktionszeiten unsinnig sind, wurden diese ausgeschlossen und die Grafik bei $x = 100$ ms begonnen. Dies gilt auch für alle weiteren Fälle mit negativen x -Werten bei Reaktionszeiten.

Azimutwinkel, Segmente

Die relativen Winkel der präsentierten Zielobjekte hatten signifikanten Einfluss auf die Orientierungszeit (Azimutsegment: $F = 1,98$; $df = 11$; $p \leq ,04$; $\eta^2 = ,17$) und auf die relative Trefferhäufigkeit (Azimutsegment: $F = 6,40$; $df = 11$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,39$). Für beide Maße wurde von einem relativ hohen bzw. hohen Effekt des Winkels ausgegangen ($\eta^2 = ,17$; $\eta^2 = ,39$).

In den Tabellen 8.22 und 8.23 sowie der Abbildung 8.29 finden sich die Werte für die Orientierungszeit (Abbildung 8.29b) und relative Trefferhäufigkeit (Abbildung 8.29a). Für die Abbildungen wurde aufgrund der Kongruenz zum Versuchsaufbau hier eine polare Darstellung gewählt.

Der Einfluss der relativen Winkel der Objekte auf die Orientierungszeit war wenig ausgeprägt ($\eta^2 = ,17$) aber signifikant. Die Orientierungszeit wirkte vor allem an den Hauptachsen des Koordinatensystems (12/03/06/09 Uhr) niedriger als an den Nebenachsen (01/02; 04/05; 07/08; 10/11). Auch konnte hier tendenziell eine geringere Breite der Konfidenzintervalle festgestellt werden.

Deutlich stärker trat dieser Winkeleffekt bei der relativen Trefferhäufigkeit zu Tage ($\eta^2 = ,39$). Hier wurde an den Hauptachsen eine relative Trefferhäufigkeit von über 80% bzw. über 90% erreicht, wohingegen die Nebenachsen zwischen 44% und maximal 83% aufwiesen. Die Breite der Konfidenzintervalle spiegelte diesen Trend ebenso wieder.

Dieser Trend legte nahe, dass die Probanden ihre Orientierung an einem internen, orthogonalen Koordinatensystem ausrichteten, welches durch den experimentellen Aufbau richtungsbe-

8.3 Positionsverständnis II: Virtuelle Objekte und wirkliche Lage im Raum

	Azimutsegment	M	SE	UG 95% KI	OG 95% KI
Zeit (in ms)	12 Uhr	1199	222	705	1694
	01 Uhr	1125	249	570	1680
	02 Uhr	1279	123	1006	1552
	03 Uhr	966	96	752	1179
	04 Uhr	1409	254	843	1975
	05 Uhr	1432	318	724	2140
	06 Uhr	927	156	580	1273
	07 Uhr	1265	156	918	1613
	08 Uhr	1560	293	907	2212
	09 Uhr	1229	176	837	1620
	10 Uhr	1405	394	527	2282
	11 Uhr	1572	305	894	2251

Tabelle 8.22: Aufgetragen sind die mittleren Orientierungszeiten für alle 12 Azimutsegmente, mit Standardfehlern und Konfidenzintervallen.

stimmt ist (Blick- und Sitzrichtung des Probanden). Weiter shienen die Probanden Objekte, die nicht auf den Hauptachsen liegen weniger schnell und weniger genau im Raum verorten zu können. Dieser Vermutung folgend wurden für jedes Hauptsegment die Nebensegmente aggregiert und mit dem Hauptsegment bezüglich relativer Trefferhäufigkeit und Orientierungszeit verglichen. Für das Segment 12 Uhr wurden ein vorlaufendes und ein nachlaufendes Segment gebildet. In diesem Fall wurden die Segmente 10 und 11 Uhr sowie 01 und 02 Uhr zu zwei neuen Segmentschätzern aggregiert und mit dem Hauptsegment 12 Uhr verglichen.

In den Tabellen 8.23 sowie 8.24 und der Abbildung 8.30 sowie Abbildung 8.30a sind die Ergebnisse der Aggregation der Nebenachsen und deren Vergleich mit den Hauptachsen bezüglich Orientierungszeit und relativer Trefferhäufigkeit aufgetragen.

Die relative Trefferhäufigkeit bestätigte den oben vermuteten Trend der genaueren Verortung entlang der Hauptachsen. Sechs von acht Signifikanztests stellten einen Unterschied zwischen dem Hauptsegment und den aggregierten Nebensegmenten fest. Der größte Unterschied kann zwischen dem Segment 06 Uhr ($M = ,88$) und dem direkt vorausgehendem festgestellt werden ($M = ,49$). Er betrug 39 Prozentpunkte. Allerdings lagen auch bedeutsame Unterschiede in den Vergleichen zwischen V und N um ein jeweiliges Hauptsegment. Hier konnte ein maximaler Unterschied von 31 Prozentpunkten festgestellt werden (Segment 03 Uhr). Diese Unterschiede konnten auch in Abbildung 8.30a gesehen werden. Die Boxplots sind jeweils um ein Segment geordnet und jeweils nach Zugehörigkeit eingefärbt. Zusätzlich ist in jedem Boxplot der Mittelwert als blaues Kreuz eingetragen.

Die Orientierungszeit erwies sich als insensitiv, ein ähnlicher Trend wie bei der relativen Trefferhäufigkeit kann nicht festgestellt werden (s.a. Abbildung 8.30 und Tabelle 8.25). Lediglich zwei der zwölf berechneten Tests erreichten statistische Bedeutsamkeit und wiesen einen Unterschied der Mittelwerte von $M = 397$ ms (12 Uhr, V-S) und $M = 299$ ms (03 Uhr, V-S) auf. Allerdings zeigten beide Unterschiede die vermutete Richtung an und in jedem Fall sind die absoluten Zeitwerte an den Hauptachsen niedriger als an den Nebenachsen.

	Azimutsegment	M	SE	UG 95%	KI	OG 95%	KI
Treffer	12 Uhr	,97	,02		,93		1,00
	01 Uhr	,75	,05		,64		,86
	02 Uhr	,83	,04		,74		,93
	03 Uhr	,92	,04		,82		1,00
	04 Uhr	,60	,07		,45		,75
	05 Uhr	,44	,08		,28		,61
	06 Uhr	,88	,05		,76		,99
	07 Uhr	,57	,07		,42		,72
	08 Uhr	,72	,07		,56		,89
	09 Uhr	,83	,05		,72		,94
	10 Uhr	,64	,08		,47		,81
	11 Uhr	,63	,10		,41		,84

Tabelle 8.23: Aufgetragen sind die relativen Trefferhäufigkeiten für alle 12 Azimutsegmente mit Standardfehlern und Konfidenzintervallen.

Interaktionen

Es konnten keine signifikante Interaktion zwischen den manipulierten Faktoren gefunden werden. Darstellung und Erfahrung bezüglich der Orientierungszeit ($F = 1,03$; $df = 1$; $p \leq ,33$; $\eta^2 = ,09$) und der relativen Trefferhäufigkeit ($F = ,13$; $df = 1$; $p \leq ,72$; $\eta^2 = ,01$) zeigten keine signifikanten Ergebnisse und nur marginale Effekte. Dies galt ebenso für die Interaktion von Azimutsegment und Erfahrung für die Orientierungszeit ($F = ,97$; $df = 11$; $p \leq ,48$; $\eta^2 = ,09$) und die relative Trefferhäufigkeit ($F = 1,23$; $df = 11$; $p \leq ,27$; $\eta^2 = ,11$). Die Darstellung und der präsentierte Zielwinkel zeigten ebenso für keinen Parameter signifikante Effekte ($F = 1,99$; $df = 11$; $p \leq ,04$; $\eta^2 = ,16$ und $F = ,46$; $df = 11$; $p \leq ,92$; $\eta^2 = ,04$). Auch die Interaktion zweiter Ordnung zeigte für keinen der Parameter signifikante Effekte ($F = 1,06$; $df = 11$; $p \leq ,40$; $\eta^2 = ,10$ und $F = ,58$; $df = 11$; $p \leq ,84$; $\eta^2 = ,06$).

8.3.6 Diskussion

In der Untersuchung können bedeutsame Unterschiede in der Verortungsgeschwindigkeit- und Genauigkeit für die Darstellung (Kugelprojektion vs. Karte) und die Winkelabhängigkeit gezeigt werden. Die Erfahrung der Probanden wirkt sich vor allem auf die Geschwindigkeit der Orientierung, nicht aber auf die Verortungsgenauigkeit aus.

Darstellung Die Darstellungsart generiert Unterschiede sowohl in der Verortungszeit als auch in der Genauigkeit. Mit der Karte können die Probanden im Mittel schneller und genauer verorten, die Kugel steht dahinter zurück. Diese Unterschiede sind bedeutsam, die Verortung mit der Kugelprojektion nimmt etwa eine halbe Sekunde mehr Zeit in Anspruch. Auch die Genauigkeit weicht mit 13,5 Prozentpunkten deutlich stärker ab. Nur durch ein spezielles Darstellungstraining können diese Unterschiede verringert werden. Zudem ist in einer natürlichen Umwelt ist Orientierung hin zu einem salienten Objekt ein zweistufiger Prozess: In der ersten Stufe findet eine grobe Orientierung hin zum vermuteten Ort des Stimulus statt. Kommt der Stimulus ins Blickfeld, ist aber nicht mittig (genau), wird mit Hilfe des jetzt verfügbaren, sensorischen Inputs nachkorrigiert und die nötige Genauigkeit hergestellt. Da in der vorliegenden

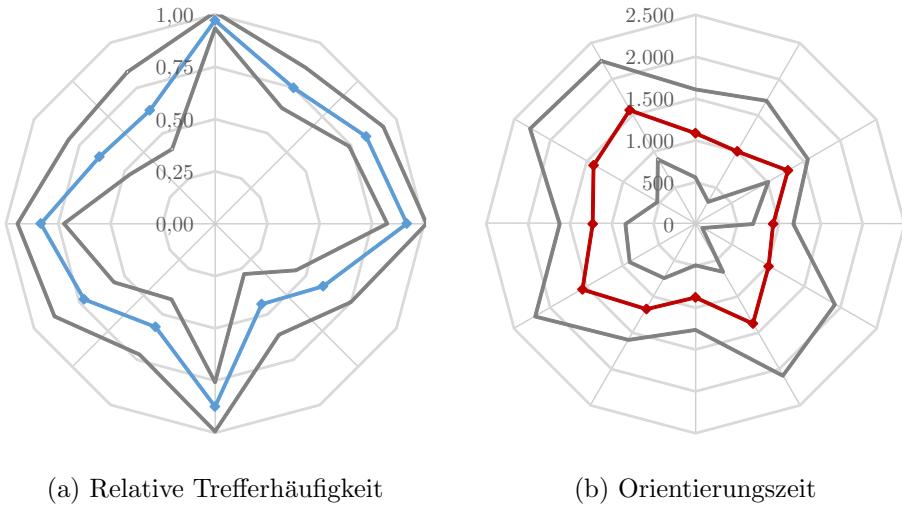


Abbildung 8.29: Dargestellt sind die relative Trefferhäufigkeit (blau) und Orientierungszeit (rot) für alle Segmente im Vollkreis. Die grauen Linien stellen das 95% Konfidenzintervall dar.

Untersuchung ein solches natürliches Verhalten nicht möglich und die Genauigkeit über die Abweichung von einem Zielkärtchen definiert ist, konnten die Probanden diesen Prozess nicht durchlaufen und auch keine höhere Genauigkeit erzielen.

Erfahrung Insgesamt verorten Experten (Piloten) Objekte im Raum schneller als Laien. Beide Gruppen zeigen jedoch ähnliche Genauigkeitswerte. Da sich die hier nutzbare Expertise der Piloten vor allem durch ihr Training mit ähnlichen technischen Raumdarstellungen definiert, war dieser Zeitunterschied zu erwarten. Deutlich langsamer, aber etwas genauer verorten Laien Objekte im Raum. Dies weist vor allem darauf hin, dass bereits ein basales Training eine hohe Genauigkeit herzustellen vermag und erst ein wesentlich breiteres Training die Sicherheit einer schnellen Reaktion ermöglicht. Für die Darstellung wird ein deutlich höherer Trainingsaufwand empfohlen als der hier in Instruktion und Übung realisierte.

Winkel des Zielobjekts Die azimutale Orientierung erfolgt an den Hauptachsen genauer als an den Nebenachsen. Bei der Verortungszeit besteht kein nachweisbarer, ähnlicher Effekt. Allerdings weisen die Trends der Zeit ebenfalls auf das Vorhandensein eines internen, orthogonalen Bezugssystems mit Orientierung an Haupt-, dann an Nebenachsen hin. Die Dominanz der Orientierung an den Hauptachsen des Systems lässt sich aus den erhobenen Werten der Genauigkeit ermessen. Diese sind an den Hauptachsen deutlich höher und streben gegen eine perfekte Lösung der Aufgabe. Zu den Nebenachsen hin bricht diese Leistung zusammen und sinkt sogar unter 50% relativer Trefferhäufigkeit, d.h. es kann zum Teil nur jedes zweite Objekt benannt werden. Wie obig bereits erwähnt, wird ein zweistufiger Prozess der Orientierung vermutet, der zudem Abhängigkeiten zur motorischen Ausführung der Bewegung ausweist. Zwar wird versucht, diese motorische Komponente zu kontrollieren, die Zeit scheint aber für die wenigen Versuchspersonen ($N = 12$) ein insensitiver Parameter zu sein. An diesem Punkt ist eine weitere Untersuchung nötig, welche speziell das orthogonale Bezugssystem zum Inhalt hat und dessen Auswirkungen beschreiben.

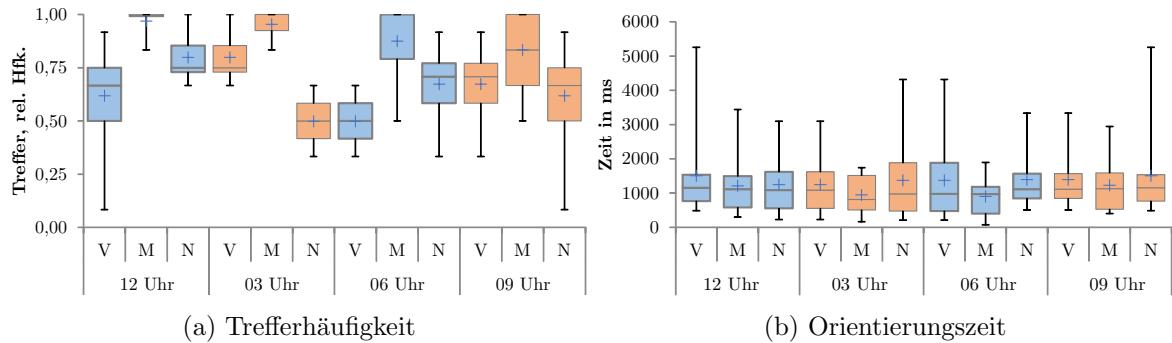


Abbildung 8.30: Dargestellt ist die Orientierungszeit für Haupt- und Nebenachsen, zusammengefasst werden jeweils zwei Segmente vor und nach einem Hauptsegment (12: V = 10/11 sowie N = 13/14; 03: V = 01/02 sowie N = 16/17, 06: V = 04/05 sowie N = 07/08; 09: V = 07/08 sowie N = 10/11).

Azimutsegment	V - S - N	M	SD	SE	p (V - S)	p (N - S)	p (V - N)
Treffer 12 Uhr	V	,62	,23	,07	,00		
	12Uhr	,89	,29	,08		,42	
	N	,80	,12	,03			,07
03 Uhr	V	,80	,12	,03	,49		
	03Uhr	,87	,29	,08		,00	
	N	,49	,14	,04			,00
06 Uhr	V	,49	,14	,04	,00		
	06Uhr	,88	,18	,05		,01	
	N	,67	,17	,05			,01
09 Uhr	V	,67	,17	,05	,05		
	09Uhr	,83	,17	,05		,01	
	N	,62	,23	,07			,53

Tabelle 8.24: Die Tabelle stellt den Vergleich der Haupt- und Nebenachsen für die relative Trefferhäufigkeit (jeweils **V** = Vor und **N** = Nach) dar.

Fazit Die in Untersuchung 1 aufgeworfenen Bedenken bezüglich der Umsetzbarkeit einer virtuellen in eine reale Position mit der neuartigen Darstellung konnten mit der obigen Untersuchung ausgeräumt werden. Eine relativ hohe Verortungsgenauigkeit bei Experten wie Laien sowie bei der Darstellung zeigen dies eindrucksvoll. Der Vermutung des orthogonalen, selbststabilen Bezugssystems sollte weiter nachgegangen werden. Hier ist vor allem die Zeit als Maß interessant. Weiter kann eine Untersuchung zur Kontrolle und Auswirkung der Motorik angedacht werden, in welcher der Einfluss motorischer Fähigkeiten thematisiert wird.

Azimutsegment	V - S - N	M	SD	SE	p (V - S)	p (N - S)	p (V - N)
Zeit (in ms)	12 Uhr	V	1506	1300	375	,05	
		12Uhr	1109	916	265		,32
		N	1244	856	247		,19
03 Uhr		V	1244	856	247	,05	
		3Uhr	945	532	154		,10
		N	1371	1221	353		,36
06 Uhr		V	1371	1221	353	,15	
		6Uhr	904	602	174		,04
		N	1395	880	254		,84
09 Uhr		V	1395	880	254	,32	
		09Uhr	1228	779	225		,25
		N	1506	1300	375		,55

Tabelle 8.25: Die Tabelle stellt den Vergleich der Haupt- und Nebenachsen bezüglich Orientierungszeit für die Haupt- und aggregierten Nebenachsen.

9 Positionsverständnis und -antizipation

In der vorausgehenden Untersuchung liegt der Fokus vor allem in der Grundeignung, Interpretierbarkeit und Orientierung im Raum. Es kann gezeigt werden, dass eine Verortung von Objekten bei einer Kugelprojektion möglich ist und auch die Orientierung hin zu einem realen Reizort geleistet werden kann. Die bisherigen Untersuchungen sind aber statischer Natur, d.h. eine Abbildung dynamischer und damit repräsentativerer Ereignisse fand nicht statt. Zudem erfolgt kein Vergleich mit konventionellen Darstellungen zur Abschätzung der Leistungsfähigkeit der neuen Darstellung.

Situationsbewusstsein als Konzept soll multidimensionale Einschätzungen dynamischer Inhalte leisten können. Die Erhebung von Situationsbewusstsein über Positionsabweichungen und Einschätzungszeit wird deshalb fortgeführt und in einer dynamischen Simulation erneut abgeprüft. Darüber hinaus soll das von den Probanden subjektiv erlebte Wissen über die Situation als Bewertungsgrundlage einfließen, ebenso wie die erlebte Workload, um dem multidimensionalen Charakter des Konzeptes Situationsbewusstsein gerecht zu werden.

Displayvergleich, Dynamik, Antizipation	
Gegenstand	Projektionsvergleich
Zielsetzung	Eignung bei repräsentativen Reizbedingungen
Einflussfaktoren	Objektanzahl Verortungszeitpunkt Projektionsart
Operationalisierung	geschätzte Objektposition Bewertung von situativem Wissen Bewertung erlebter Belastung

Abbildung 9.1: Die Abbildung zeigt die wichtigsten Merkmale der Untersuchungen zur Antizipation unter repräsentativen Primäraufgabenbedingungen.

Gegenstand der folgenden Untersuchung ist aus den genannten Gründen der Vergleich verschiedener Darstellungsformen anhand der Positionseinschätzung, subjektiv erlebtem Situationsbewusstsein und erlebtem Workload (s.a. Abbildung 10.1). Es werden repräsentative Reiz- bzw. Umweltbedingungen hergestellt und der Darstellungsvergleich über den Einschätzungszeitpunkt als aktuelle und zukünftige Position erhoben.

9.1 Raumbewusstsein in einer dynamischen Umwelt

Bisher wurden nur statische Untersuchungsbedingungen mit Einzelobjekten realisiert. Dies ist ein insgesamt wenig repräsentatives Vorgehen und nur geeignet, einen Eindruck über die Grundeignung der Darstellung zu erhalten. Es ist deshalb nötig, eine dynamische Simulation

mit multiplen Kontakten zu erstellen und hier eine Überwachungsaufgabe zu realisieren, die das Beobachten einer Zielmenge von Objekten zum Inhalt hat (McNamara, 1986; Bolton u. a., 2007).

Die Erhebung von Raumbewusstsein erfolgt wieder durch explizit-retrospektive Messung als Positionsschätzung (s.a. Abschnitt 3.2.4, bzw. Fracker, 1991b) allerdings in einem dynamischen Szenario mit unbekannter Laufzeit für Probanden und multiplen, zu beobachtenden Objekten. Am Ende eines Szenarios wird eine Objektposition abgefragt und über die bereits bekannten Einschätzungszeiten und Abweichungen auf den Inhalt des mentalen Raummodells des Beobachters geschlossen.

Die Dynamik des Szenarios sowie die Präsentation multipler Zielobjekte sind dabei wichtige Konstanten der Untersuchung. Eine dynamische Szene löst ein grundlegendes Problem des Interpretationszeitpunktes und verbessert die Verlässlichkeit der Messung. Bei der Präsentation einfacher Kontakte ohne Dynamik kann ein geübter Beobachter die gezeigte Szene mit einem Blick erfassen und dieses Bild im visuell-räumlichen Kurzzeitgedächtnis repräsentieren. Soll nun eine Positionswiedergabe geleistet werden, erfolgt diese aufgrund des im visuell-räumlichen Kurzzeitgedächtnis gespeicherten Bildes. Die kognitive Leistung der Interpretation wird erst während der Wiedergabe erbracht und nicht bei der ursprünglichen Betrachtung des Reizbildes. Dies erhöht die Zeit zur Interpretation der Position und verringert die Aussagekraft über die Einschätzungszeit.

Bei dynamischem Inhalt und der Darbietung multipler Objekte maskiert die Bewegung aller auf der Anzeige ersichtlichen Objekte diesen Effekt. Für jedes Objekt muss die Position als Azimut, Entfernung und Höhe sowie die Bewegung als Bewegungsrichtung und Veränderungsrate beobachtet werden. Mit jedem weiteren Objekt steigt die Menge der zu beobachtenden Objekteigenschaften linear an. Ab einer bestimmten Anzahl von Objekten können die anfallenden Informationsmengen nicht mehr adäquat repräsentiert werden, weder digital noch analog. Der Beobachter benötigt heuristische Blickzuwendungsstrategien, die eine genügend hohe Abtastrate mit effizienter Gedächtnisauslastung verbindet. Ist nun die Position eines zufällig ausgewählten Objekts anzugeben, kann nicht mehr rein auf das visuelle Gedächtnis zurückgegriffen werden. Zuerst muss eine Gedächtnissuche nach dem abgefragten Objekt erfolgen, dann die Wiedergabe der Position. Obig vermuteter Effekt kann zwar immer noch auftreten, wird aber unwahrscheinlicher und die Messung damit verlässlicher: Die Verständnisleistung muss bereits vor dem Einblenden der Abfragemaske der Position erbracht sein.

Die Verwendung multipler Objekte in einer dynamischen Simulation wird mit einem variierenden Abfragezeitpunkt der aktuellen oder zukünftigen Position kombiniert. Der Beobachter der Szene muss die Objektbewegung durch das mentale Situationsmodell extrapolieren Endsley (1988a) und diese angeben. Extrapolation in einem zeitlich definierten Ereignishorizont wird als die höchste Stufe von Situationsbewusstsein angesehen. Eine solche Leistung ist aber bestimmten Einschränkungen unterworfen. Die Extrapolation ist schwieriger, je weiter der zu schätzende Zeitpunkt in der Zukunft liegt und verbraucht mehr kognitive Ressourcen. Die zunehmende Schwierigkeit ist dabei vornehmlich von steigender Unsicherheit generiert: Zwar deuten die Parameter der aktuellen Position und der Bewegung an, wie wahrscheinlich sich eine Szene entwickeln wird, die Verlässlichkeit einer Schätzung sinkt aber mit jedem Zeitschritt. Situative Gegebenheiten und das Wissen um mögliche Bewegungen in einer Umwelt beschränken den Raum der möglichen Entwicklungen (Gibson, 1982; Norman, 1998). Mit der Verwendung von Domänenexperten werden Beobachter eingesetzt, die diese „Constraints“ kennen und deuten können.

Eine komparative Bewertung der Kugelprojektion unter repräsentativ gestalteten Situations-

parametern durch das mentale Modell der Beobachter kann mit diesen Überlegungen inhaltlich ausgestaltet und entsprechende Leistungs- und Einschätzungsparameter definiert werden.

9.2 Raumbewusstsein in einer dynamischen Umwelt

Situationsbewusstsein ist in der Untersuchung als Positionswiedergabegenaugigkeit, Einschätzungszeit und als subjektives Maß (SART) erhoben. Die erlebte Workload ist über den Fragebogen NASA-TLX operationalisiert.

Wiedergabegenaugigkeit Die Wiedergabegenaugigkeit einer Position wird über die Eingabe in den dafür vorgesehenen Masken operationalisiert. Positionsgenaugigkeit ist, ebenso wie in Untersuchung 8, als absolute, normalisierte Differenz zwischen objektiver Position eines Kontaktes und der Eingabe auf der Maske (s. Abbildung 9.3d) verstanden. Dieses Maß wird für jede Skala berechnet (Azimut, Entfernung und Höhe). Die in den Antwortmasken gegebenen Skalen decken den realisierten Raum immer gleich ab.

Wiedergabezeit Die Wiedergabezeit wurde ebenfalls für jede Dimension einzeln erhoben und über Maus-Eingaben auf den Eingabemasken gemessen. Die Einschätzungszeiten wurden, ebenso wie in Untersuchung 8, für jede Dimension nach den gleichen Regeln erhoben (s. Abbildung 9.3d).

Workload Zur Erhebung der erlebter Workload der Probanden wird der NASA-TLX (Hart & Staveland, 1988) verwendet (s.a. Abschnitt 3.3.3), der Fragebogen findet sich in Anhang C.1. Die erlebte Workload wird in den Bereichen der geistigen, körperlichen und zeitlichen Anforderungen, der Ausführung der Aufgabe, Anstrengung und Frustration auf einer 21-Punkte-Skala zwischen den verbalen Ankern „gering“ bis „hoch“ eingeschätzt. Die Bewertung findet auf der niedrigsten Ebene der Faktorstufenkombination statt, um über alle Bereiche Aussagen bezüglich der subjektiv erlebten Workload machen zu können.

Subjektiv erlebtes Situationsbewusstsein Situationsbewusstsein ist ein relativ komplexes, beschreibendes Phänomen, abhängig von der Ausprägung der jeweiligen Situation, der Erfahrung des Betrachters und dessen aktuellen Zustand. Die subjektive Komponente des Beobachters (s.a. Abschnitt 3.2.4 und Abbildung 3.9) wird durch den 3D-SART (s.a. Abschnitt 3.2.4) operationalisiert. Der Fragebogen findet sich im Anhang (s. Anhang C.2).

Die Probanden bewerten nach jedem Szenario, wie hoch ihr Bedarf an Aufmerksamkeitsressourcen und wie hoch die Verfügbarkeit von Aufmerksamkeitsressourcen waren, ebenso bewerten sie ihr Verständnis der Situation. Die Einschätzung findet in jedem Fall auf einer sieben-Punkte-Skala zwischen den verbalen Ankern „niedrig“ und „hoch“ statt.

Die Bewertung findet auf der niedrigsten Ebene der Faktorstufenkombination statt, um über alle Bereiche Aussagen bezüglich des subjektiv erlebten Situationsbewusstseins machen zu können.

Rangordnung der Ansichten Das Experiment wird mit der Hilfe von Domänenexperten (Piloten) durchgeführt. Dieser Personenkreis wird oft für die Erstellung neuer technischer Mensch-Maschine-Schnittstellen herangezogen, um Einblicke in deren Verwendbarkeit zu erhalten. Um diesen Aspekt zu nutzen, wird nach dem Experiment eine einzelne Frage über die

Nützlichkeit der Ansichten für die gestellte Aufgabe realisiert. Die Probanden sollen einschätzen, welche der Ansichten am besten für die gestellte Aufgabe ist. Hierzu sollen die Ansichten in eine einfache Rangordnung gebracht werden. Diese Rangordnung wird für jeden Probanden erhoben und mit Hilfe von einem geeigneten Konkordanzkoeffizienten ausgewertet.

9.3 Annahmen und Forschungsfragen

9.3.1 Konstanten der Untersuchung

Bei den zu vergleichenden Ansichten wurde darauf geachtet, alle Darstellungsparameter, die nicht direkt mit der Projektionsvorschrift verbunden waren, aber die Leistung und Einschätzung verändern könnten, konstant zu halten. Dies betraf die Darstellung von Distraktor- und Zielreizen und ihre Bewegung. Die Darstellungen selbst wurden in ihren geometrischen Ausmaßen gleich gehalten und eine jeweils die maximal zur Verfügung stehende Bildschirmgröße genutzt.

Die eigene Flughöhe betrug 30kft und die eigene Geschwindigkeit 1,6 Mach. Die Flugrichtung änderte sich in keinem Szenario,

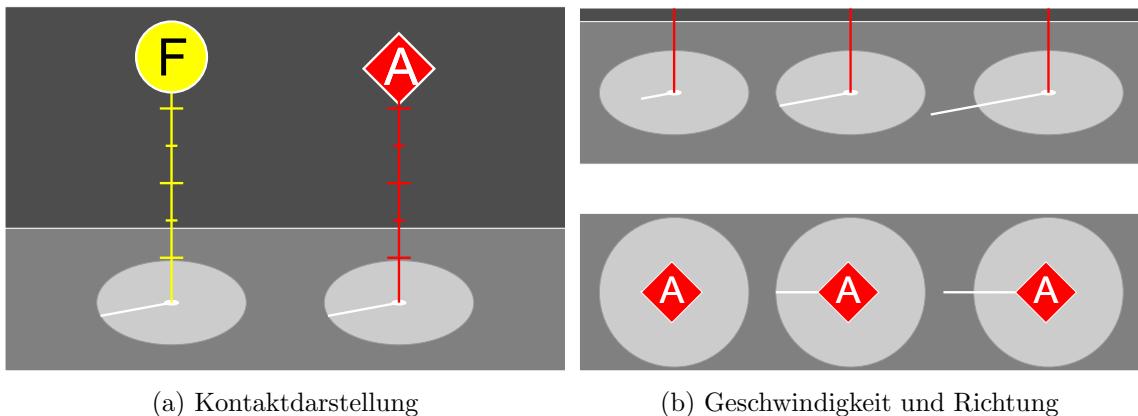


Abbildung 9.2: Die Abbildung zeigt die in Untersuchung 3 realisierte Darstellung der Kontakte mit den am Fußpunkt angebrachten analogen Richtungs- und Geschwindigkeitsindikatoren.

Distraktoren In Abbildung 9.2a ist ein Distraktorreiz aufgezeigt. Jedes Objekt erhielt zur Benennung einen zufällig zugewiesenen Buchstaben zwischen A und I. Jeder dieser Distraktoren war durch Farbe (gelb) und Form (Kreis) als solcher gekennzeichnet. Die Höhenskala am Lotfußpunkt war wie in den beiden ersten Versuchen gestaltet (s. auch Abbildung 8.6a).

Zielreize Alle Zielreize wurden als rote Diamanten mit weißer Begrenzungslinie gezeichnet. Alle anderen Darstellungsparameter waren gleich den obig beschriebenen.

Geschwindigkeit und Richtung Die Richtungs- und Geschwindigkeitsinformationen wurden durch an den Lotfußpunkten im Teller (bzw. in der koplanaren Darstellung im Kontaktkreis) angebrachten Vektoren abgelesen (s. Abbildung 9.2b). Diese zeigten die Richtung in einem

360° Vollkreis an und kodieren die Geschwindigkeit in drei Stufen (langsame Bewegung: kurzer Strich; mittelschnelle Bewegung: Strich berührt Kreislinie; schnelle Bewegung: Strich ragt um 50% des Radius über Kreis hinaus). Für die koplanare Variante wurden die Objekte direkt in den Kontaktkreis gezeichnet, die Kodierung von Richtung und Geschwindigkeit angepasst (s. Abbildung 9.2b, unten).

Allgemeine Parameter der Darstellungen In der Untersuchung wurden eine koplanare Ansicht, eine exozentrische Darstellung und die Kugelprojektion verglichen. Dieser Vergleich machte es nötig, eine gemeinsame Basis innerhalb der Darstellungen zu etablieren. Jede der Darstellungen bestand deshalb aus einer parallelisierten Menge von Eigenschaften, welche den gleichen Darstellungsraum erschufen. Es wurde bei der Raumdarstellung stets auf Vollständigkeit geachtet. Der Azimut wurde stets im Vollkreis (360°) gegeben. Die Höhendimension begann stets bei 0ft und war auf 60kft begrenzt. Die Entfernung relativ zum eigenen Flugzeugsymbol betrug stets +/- 50NM im Radius. Die Flughöhe war in der grünen Farbe des eigenen Kontaktes entweder an den Loten (exozentrische Darstellung) in der Höhenansicht (koplanare Ansicht) oder im Horizont (Kugelprojektion) dargestellt.

9.3.2 Einflussfaktoren

Variiert wurden die Faktoren Darstellungsart, Anzahl der zu beobachtenden Kontakte und der Einschätzungszeitpunkt. Die Wahl der Faktoren dieser Untersuchung orientierte sich an dem Ziel eines ersten Darstellungsvergleichs unter bedeutsamen Einflussfaktoren für Workload und Situationsbewusstsein.

Darstellungsart

Koplanare Ansicht Die koplanare oder Karten-Höhen-Ansicht wurde als eine zweigeteilte Darstellung realisiert, die zum einen die Entfernung über die Entfernung und die Entfernung über die Höhe auftrug. Die Ansicht ist in Abschnitt 5.4.1 und Abbildung 5.10 ausführlich dargestellt, folgend werden die spezifischen Parameter aus Gründen der Übersicht kurz dargestellt.

In Zentrum der Kartenansicht war das eigene Flugzeugsymbol als grünes Dreieck gegeben. Die Entfernungsringe waren mit jeweils 10NM Abstand angebracht, der Azimutvollkreis war in 30° Segmente von der Beobachtersichtlinie aus eingeteilt und folgte so der Uhrzeitmetapher. Die Höhendarstellung war gegenüber konventionellen Darstellung um die hintere Hemisphäre erweitert, das eigene Flugzeugsymbol befand sich auf der mittleren y-Achse. Das Auftragen der Höhe in dieser Weise stellte somit den gesamten Raum dar.

Kugelperspektive Die egozentrische Kugelperspektive stellte den Raum in der maximalen Ausdehnung von 360° x 180° unverzerrt dar. Sie trug die Entfernung über die Entfernung und die Entfernung über die Höhe auf den Raumachsen an. Die Ansicht ist in Abschnitt 5.3.2 und Abbildung 5.9 ausführlich dargestellt.

Die eigene Sichtlinie war zum Zentrum der Darstellung gerichtet, die eigene Flughöhe als horizontale Gerade im Horizont aufgetragen. Durch die Projektionsvorschrift wurde der eigentlich radiale Azimut in eine lineare, äquidistante Skala entlang der gesamten Breite der Darstellung aufgeweitet. Die Entfernungsdarstellung entsprach dem ebenso, das polare Bodengitter wurde

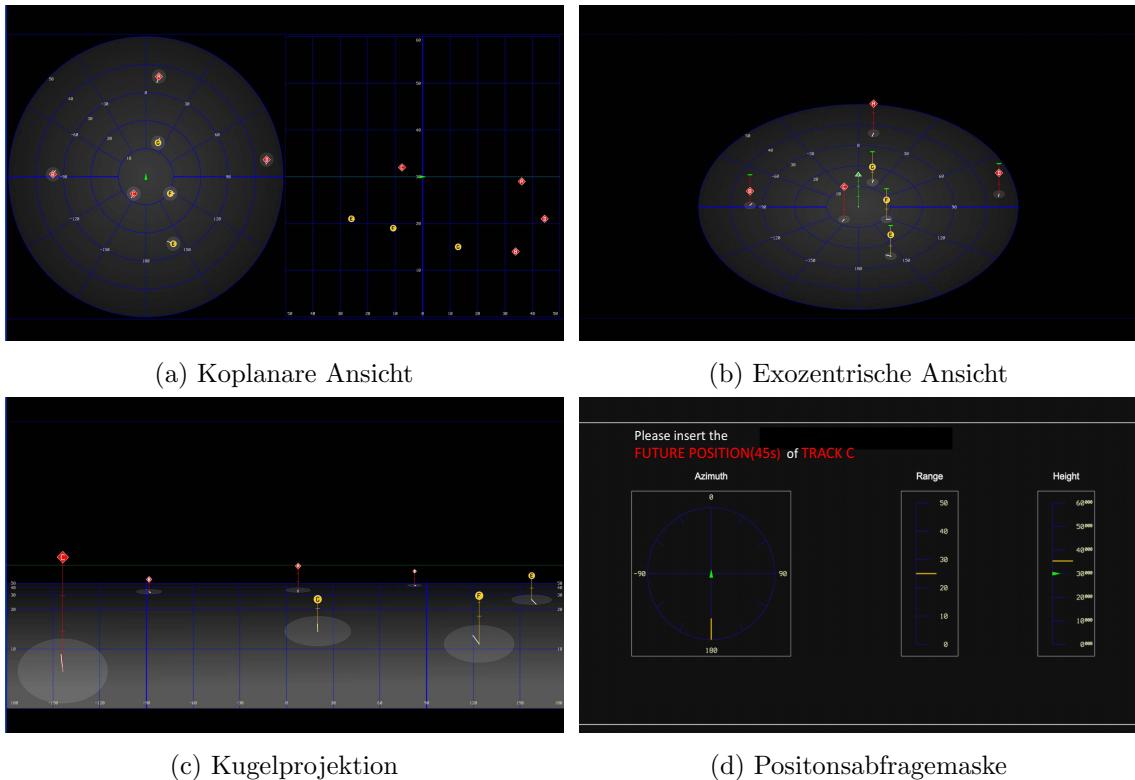


Abbildung 9.3: Die Abbildung zeigt die in Untersuchung 3 realisierten Darstellungen von Raum als koplanare Karte, exozentrische Ansicht und Kugelprojektion und die Antwortmaske zur Angabe der (hier: zukünftigen) Position in Untersuchung 3.

als Bündel paralleler Geraden in der horizontalen Ebene aufgetragen, die einzelnen Geraden hatten einen Abstand von 10NM.

Exozentrische Ansicht Die exozentrische Darstellung zeigte den Raum als eine um 40° gekippte planare Kartendarstellung wodurch die Höhendifferenz integriert werden konnte. Die Ansicht ist in Abschnitt 5.4.2 und Abbildung 5.11 ausführlich dargestellt.

Die Darstellung setzte sich als Kombination der Parameter der egozentrischen und der koplanaren Ansicht zusammen. Die exozentrische Ansicht entsprach der Entfernung x Entfernung-Darstellung der koplanaren Ansicht. Durch die Drehung um 40° wurde ein perspektivischer Eindruck erzeugt, welcher durch das Einbringen von Kontakten mit Loten weiter forciert wird. Das eigene Flugzeugsymbol befand sich in der Mitte der Abbildung, die Höhe wurde analog durch ein Lot auf die Grundebene dargestellt.

Einschätzungszeitpunkt: aktuelle und zukünftige Position

Situationsbewusstsein als Konstrukt versucht die Wahrnehmung, das Verständnis und die Antizipation von kontextgebundenen Ereignissen zu beschreiben (s. Abschnitt 3.2). Die Wahrnehmung von Ereignissen als Grundvoraussetzung wurde vorweg genommen. Somit bezog sich der Begriff Verständnis vor allem auf eine aktuelle Gegebenheit. Hier wurde die Bedeutung

eines aktuellen Ereignisses erfasst und die Konsequenzen für eigenes Handeln oder das Handeln selbst beeinflusst. Implizit ging diese Charakterisierung schon auf die Zukunft ein. Der Beobachter nahm weitere Situationsentwicklungen geistig vorweg und richtete sein Handeln entsprechend aus.

Die Faktoren, die diese Art der Informationsverarbeitung im Kontext der gewählten Untersuchung abbilden konnten, sind die Angaben von aktueller Position und der geschätzten Position in der Zukunft. Der Angabezeitpunkt bestimmte somit, welche Leistung erbracht werden musste. Entsprechend wurden die Eingabemasken aus dem ersten Versuch (s. Abbildung 8.2) angepasst und um einige Aspekte erweitert. Der Beobachter der Szene hatte nach deren Ende entweder die Position eines Kontaktes zum Ende der Laufzeit oder über dessen Ende hinaus in 45 Sekunden anzugeben (s. Abbildung 9.3d). Welche Position angegeben werden musste, wurde über die in der Antwortmaske enthaltene Anweisung gegeben: „Please insert the *CURRENT / FUTURE POSITION(45s)* of TRACK A/B/C/D/E/F/G/H/I“. Die Eingabe in die Masken erfolgte wieder graphisch durch das Setzen eines Markers (gelber Strich) mit der Maus und konnte nicht korrigiert werden.

Für die Eingabe der *CURRENT POSITION* musste der Beobachter die aktuelle Position des jeweiligen Kontaktes im Gedächtnis repräsentiert haben. Für die Angabe der *FUTURE POSITION* musste eine im Gedächtnis repräsentierte Position extrapoliert und angegeben werden. Um die Angabe der zukünftigen Position nicht mit einer für den Probanden unbestimmbaren Positionsunsicherheit zu verknüpfen, wurde vereinbart, dass die Richtung und Bewegung eines Kontaktes linear fortzuschreiben waren.

Anzahl der Zielobjekte

In einem Luftraum der realisierten Ausdehnung waren mehrere Objekte vorhanden, die für einen Beobachter im Cockpit Handlungsrelevanz besaßen. Für die Untersuchung musste die Anzahl der Objekte zwei Kriterien erfüllen. Zum einen musste sichergestellt sein, dass der Proband alle zu beobachtenden Objekte auch mit der gleichen Aufmerksamkeit bedenken konnte und keinen Hinweis darauf hatte, welches Objekt abgefragt wurde. Realisiert wurden deshalb mindestens immer zwei Zielobjekte. Zum anderen sollten über die Anzahl der zu beobachtenden Objekte die visuelle Abtastaktivität in trennbaren Stufen variiert werden. Die Szenarien gliederten sich deshalb in Situationen, in denen zwei, vier oder sechs Objekte von Interesse waren.

9.3.3 Hypothesen

Aufgrund der oben realisierten Faktoren werden folgende Hypothesen untersucht:

1. Es bestehen differenzierbare Unterschiede in der Interpretierbarkeit und Verständlichkeit zwischen Kugelprojektion, exozentrischer und koplanarer Darstellung
 - a) Die Darstellungsart beeinflusst die Wiedergabegenaugigkeit, diese ist am höchsten in der koplanaren, und am niedrigsten in der exozentrischen Darstellung.
 - b) Die Darstellungsart beeinflusst die Wiedergabezeit, diese ist am höchsten für die exozentrische und am niedrigsten für die Kugelperspektive.
 - c) Die Darstellungsart beeinflusst die erlebte Workload, diese ist am höchsten für die exozentrische und am niedrigsten für die Kugelperspektive.

- d) Die Darstellungsart beeinflusst das erlebte Situationsbewusstsein, dieses ist am höchsten für die koplanare und am niedrigsten für die exozentrische Ansicht.
2. Der Wiedergabezeitpunkt der Position eines zufällig ausgewählten Kontaktes beeinflusst die Interpretierbarkeit und Verständlichkeit.
- a) Die Wiedergabezeit steigt, wenn eine zukünftige Position abgeschätzt werden soll.
 - b) Die Wiedergabegenaugigkeit verringert sich, wenn eine zukünftige Position angegeben werden soll.
 - c) Die erlebte Workload ist höher, wenn eine zukünftige Position angegeben werden soll.
 - d) Das erlebte Situationsbewusstsein ist niedriger, wenn eine zukünftige Position angegeben werden soll.
3. Die Anzahl dargebotener Objekte beeinflusst sowohl die Wiedergabezeit-, Genauigkeit, erlebte Workload und das subjektive Situationsempfinden.
- a) Durch die steigende Anzahl dargebotener Objekte wird die Wiedergabe ungenauer.
 - b) Durch die steigende Anzahl dargebotener Objekte wird die Wiedergabezeit länger.
 - c) Durch die steigende Anzahl dargebotener Objekte wird erhöht sich die erlebte Workload.
 - d) Durch die steigende Anzahl dargebotener Objekte verringert sich das erlebte Wissen über die Situation.

Neben den Haupteffekten der realisierten Faktoren ist die Interaktion zwischen den Darstellungen und dem Wiedergabezeitpunkt von Interesse. Diese Interaktion soll differenziert Aufschluss über die Positionseinschätzung und subjektive Parameter liefern.

4. Die Art der Darstellung interagiert mit dem Wiedergabezeitpunkt.
- a) Die Wiedergabezeit ist bei Antizipation höher in der egozentrischen und exozentrischen Ansicht als in der koplanaren Ansicht.
 - b) Die Wiedergabegenaugigkeit interagiert nicht mit der Art der Darstellung.
 - c) Die erlebte Workload bei Positionsantizipation mit der exozentrischen und egozentrischen Darstellung ist höher als mit der koplanaren Darstellung.
 - d) Das erlebte Situationsbewusstsein ist bei Positionsantizipation mit der exozentrischen und egozentrischen Darstellung niedriger als bei der koplanaren Ansicht.

9.4 Untersuchungsplanung

9.4.1 Erstellung des Stimulusmaterials

Die benötigte Simulation für das Experiment wurde in VAPS XT (Presagis, 2014) erstellt. Die verschiedenen Ansichten waren als *coded objects*, welche durch die Anwendung angesprochen wurden, eingebunden. Die erstellte Software las für jeden Probanden eine Textdatei mit Parameterlisten für alle Darstellungen und Szenarien ein und stellte diese dar. Im Weiteren

9 Positionsverständnis und -antizipation

wurde nach jedem Szenario die Abfragemaske für die Leistungs- und Zeitmessungen zur Anzeige gebracht und die Reaktionen der Probanden wiederum in einer Textdatei gespeichert. Die erstellte Software wurde sowohl zur zufallsgesteuerten Präsentation der Stimuli als auch zur Verhaltensaufzeichnung genutzt.

9.4.2 Versuchsplan und Randomisierung

Ansicht	2D			EXO			PA		
Zielobjekte	zwei	vier	sechs	zwei	vier	sechs	zwei	vier	sechs
Zeitpunkt	C F	C F	C F	C F	C F	C F	C F	C F	C F

Tabelle 9.1: Der hierarchische Untersuchungsplan mit den Faktoren Ansicht, Zielobjekte und Abfragezeitpunkt.

Die obig beschriebenen Einflussfaktoren wurden in einem hierarchisch, voll faktorierter 3x2x3-Plan realisiert (s. Tabelle 9.1). Die Randomisierung der Faktoren fand auf zwei Ebenen statt: In einem ersten Schritt wurde die Ansicht zufällig zugewiesen. Um die Leistung der Probanden stabil messen zu können, fand jede weitere Randomisierung subsequent eingebettet (genestet) statt. Dies bedingte eine zufällige Auswahl von zu beobachtenden Objekten und Abfragezeitpunkten innerhalb des Faktors Raumdarstellung. Wenn alle Faktorstufenkominationen innerhalb einer Ansicht abgearbeitet waren, wurde zufällig die nächste Ansicht zugewiesen.

9.4.3 Ablauf eines Trials

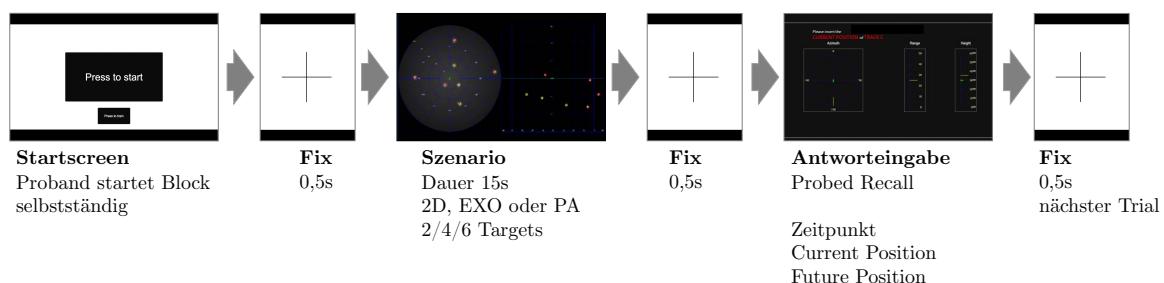


Abbildung 9.4: Der Ablauf der einzelnen Trials folgt einem festen Schema

Die einzelnen Trials folgten alle der gleichen Sequenz, egal welche Ansicht, Objektanzahl oder welcher Abfragezeitpunkt realisiert war (s. Abbildung 9.4).

Der Proband startete den Versuchsblock mit einer Ansicht selbstständig durch einen Mausklick auf das „Press to start“-Feld. Es folgte die Darstellung eines Fixationskreuzes für 500 ms um die visuelle Aufmerksamkeit für alle Probanden zu jeder Zeit vereinheitlicht auf die Mitte des Bildschirmes auszurichten. Jedes Szenario hatte eine Dauer von 15 s und beinhaltete entweder zwei, vier oder sechs zu beobachtende Objekte. Nach Ablauf der Beobachtungszeit wurde automatisch für 500 ms wieder ein Fixationskreuz zur Kontrolle der visuellen Aufmerksamkeit eingespielt. Die Antwortmaske folgte entweder als Abfrage der aktuellen Position eines zufällig ausgewählten Kontaktes oder dessen Position in 45 ms bei linearer Extrapolation der letzten

bekannten Bewegungsparameter. Nach Eingabe der Position durch den Probanden folgte der Start des nächsten Trials durch einen Mausklick auf den „Next“-Button.

9.4.4 Training

Das Training wurde für das Experiment in zwei verteilten Positionen durchgeführt. Zum einen erhielten die Probanden ein allgemeines Training, dessen Inhalt die Steuerung der Versuchsumgebung und ein Training mit der koplanaren Ansicht beinhaltete. Die Probanden übten den allgemeinen Ablauf eines Trials und lernten, welche Reaktionen zu welcher Zeit erwartet wurden. Insgesamt wurden zehn Durchläufe geübt, die Probanden erhielten Rückmeldung über die von ihnen gezeigte Verortungsleistung. Die Übung konnte bei zu niedriger Leistung oder Verständnisproblemen wiederholt werden, dies war aber in keinem Fall erforderlich.

Jede Ansicht wurde vor der Darbietung im Ablauf noch einmal separat trainiert, um den Probanden durch die Nähe von Training und eigentlichem Ablauf ein möglichst hohes Leistungs niveau zu garantieren und stabile Daten zu generieren. Der Ablauf folgte den gleichen Regeln wie das allgemeine Training. Direkt nach der Übung wurden die Probanden noch einmal gebeten, selbst zu verbalisieren, was ihre genaue Aufgabe war. Nachdem das Verständnis für Aufgabe und erwartetes Verhalten so sichergestellt war, absolvierten die Probanden den jeweiligen Block.

9.5 Beschreibung der Expertenstichprobe

An der Untersuchung nahmen 12 flugerfahrene Probanden teil. Als Auswahlkriterium wurde die Profession (aktiver oder ehemaliger Luftfahrzeugführer) der Probanden festgelegt. Alle Probanden verfügten aufgrund ihrer Ausbildung über hochspezialisiertes Wissen im Umgang mit Fluganzeigen, was eine Einarbeitung in die vorliegenden Raumanzeigen erleichterte.

Der Median der Altersverteilung lag bei MED= 44 Jahren mit einer Spannweite von 21 Jahren [MIN=35; MAX=56]. Bei 36% der Probanden wurde auf das Tragen der Sehhilfe, aufgrund eingeschränkter Sehfähigkeit, geachtet. Die aktive Dienstzeit der Probanden hatte eine Spannweite von 17 Jahren [MIN=15; MAX=32], der Median betrug MED=21 Jahre. Die Probanden hatten entweder eine Ausbildung zum Waffensystemoffizier (45%), Pilot (27%) oder Testpilot (27%) und insgesamt zwischen 1000 und 4000 Flugstunden absolviert (MED=2600). In den letzten zwölf Monaten bis zum Experiment wurden bis zu 150 Flugstunden absolviert (MED=13 [MIN=0; MAX=150]), etwas mehr als ein Drittel der Probanden war im aktiven Flugdienst (36%).

9.6 Aufbau, Ablauf und Durchführung

9.6.1 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau aus Untersuchung 1 (s.a. Abschnitt 8.2.4) wurde wieder verwendet. Die einzige substantielle Änderung war die Verwendung einer neuen Simulation zur Darstellung und Steuerung der Szenarien (s. Abschnitt 9.4.1).

9.6.2 Versuchsablauf

Nachdem die Probanden im Labor begrüßt worden waren, folgte die Instruktion mit anschließender Verbalisierung durch die Probanden zur Kontrolle des Verständnisses. Die Probanden absolvierten das allgemeine Training und gingen dann über zur Bearbeitung des ersten Versuchsblockes. In diesem leisteten alle das blockspezifische Training ab und arbeiteten sich durch alle Faktorstufenkombinationen. Jeweils nach der Bearbeitung eines Blockes wurde eine kurze Pause abgehalten. In selber Weise absolvierten die Probanden die verbliebenen Versuchsböcke. Nach dem Abschluss der Leistungsmessung wurden die Probanden noch über die Nützlichkeit der Darstellung befragt und es erfolgte ein Debriefing, bei dem Fragen zum Versuch beantwortet wurden. Zuletzt wurden die Probanden gebeten, den Versuch und dessen Zweck gegenüber anderen potentiellen Teilnehmern nicht zu erwähnen. Es folgte die Verabschiedung aus den Versuchsräumen.

9.7 Ergebnisse

Dargestellt sind dieselben Abweichungs- und Zeitparameter wie in Abschnitt 8.2.7. Für jede Dimension (Azimut, Entfernung und Höhe) werden die Abweichung und die Einschätzungzeit bestimmt.

Zudem wurden subjektive Einschätzungen erhoben, um die Workload und das erlebte Situationsbewusstsein darstellen zu können (NASA-TLX, 3D-SART).

Die Auswertung wurde nach den Einflussfaktoren *Ansicht* (EXO - exozentrische Ansicht; koplanare Ansicht - 2D, Kugelperspektive - PA), *Anzahl dargestellter Zielobjekte* (zwei, vier, sechs) und *Abfragezeitpunkt* (aktuelle, zukünftige Objektposition) erstellt.

Alle Ergebnisse wurden als Mittelwert mit Standardfehler und 95% Konfidenzintervall errechnet. Um die Stärke der Einflussfaktoren feststellen zu können, wurde das Effektmaß η^2 (partielles Eta-Quadrat) verwendet.

Die Darstellungen in Grafiken folgten den bereits verwendeten Katzenaugendiagrammen bei Vergleichen zwischen zwei Verteilungen. Sollten mehr als zwei Verteilungen verglichen werden, wurde dies als Boxplot visualisiert. Durch diese Darstellung waren die errechneten Effekte leichter einzuschätzen. In den Boxplots wurde zudem der jeweilige Mittelwert eingetragen.

9.7.1 Übersicht der Effekte

Abbildung 9.5 und Abbildung 9.6 zeigt die festgestellten Effekte auf den jeweiligen Skalen. Die Farbskala zeigt die Stärke der Effekte in neun Stufen.

Vor allem die Haupteffekte für die Ansicht, Objektanzahl und den Abfragezeitpunkt zeigten mittlere bis starke Effekte. Dies galt über beide Leistungsarten, die gezeigte Einschätzung der Position, wie auch die subjektiven Leistungen. Besonders die Anzahl der zu beobachtenden Zielobjekte war ein determinierender Faktor der starke Effekte hervorruft. Eine Dissoziation zwischen den beiden Leistungsarten ließ sich hingegen für den Einschätzungszeitpunkt erkennen. Die Positionsgenauigkeit wurde durch den Zeitpunkt der Abfrage stark beeinflusst. In den Fragebogenantworten schien dieser Einfluss wenig vorhanden zu sein. Folgend werden die einzelnen Faktoren und ihr Einfluss aufgezeigt.

		Dim.	Ansicht	Objekte	Abfrage	Ansicht * Objekte	Ansicht * Abfrage	Objekte * Abfrage	Ansicht * Objekte * Abfrage	η_p^2
Zeit	AZ		,433	,460	,304	,117	,154	,047	,048	1,000
	ENTF		,070	,438	,343	,120	,156	,074	,085	,890
	HÖ		,367	,162	,374	,020	,076	,025	,192	,790
Abw.	AZ		,357	,895	,816	,233	,027	,182	,053	,690
	ENTF		,058	,877	,727	,335	,083	,321	,243	,590
	HÖ		,192	,927	,018	,138	,392	,124	,112	,490

Abbildung 9.5: Effektübersicht bei Positionsverständnis und -antizipation, für Zeit und Abweichung.

		Dim.	Ansicht	Objekte	Abfrage	Ansicht * Objekte	Ansicht * Abfrage	Objekte * Abfrage	Ansicht * Objekte * Abfrage	η_p^2
TLX	GA		,282	,761	,178	,079	,050	,004	,132	1,000
	KA		,037	,115	,111	,083	,000	,057	,034	,890
	ZA		,245	,794	,015	,117	,025	,010	,102	,790
	AA		,477	,861	,214	,023	,078	,188	,091	,690
	AN		,164	,739	,266	,052	,009	,049	,068	,590
	FR		,225	,855	,063	,058	,027	,149	,142	,490
SART	BA		,397	,875	,015	,100	,035	,103	,124	,390
	VAR		,194	,602	,106	,053	,128	,093	,027	,290
	VDS		,212	,796	,160	,079	,061	,025	,057	,190

Abbildung 9.6: Effektübersicht bei Positionsverständnis und -antizipation, für Workload und Situationsbewusstsein.

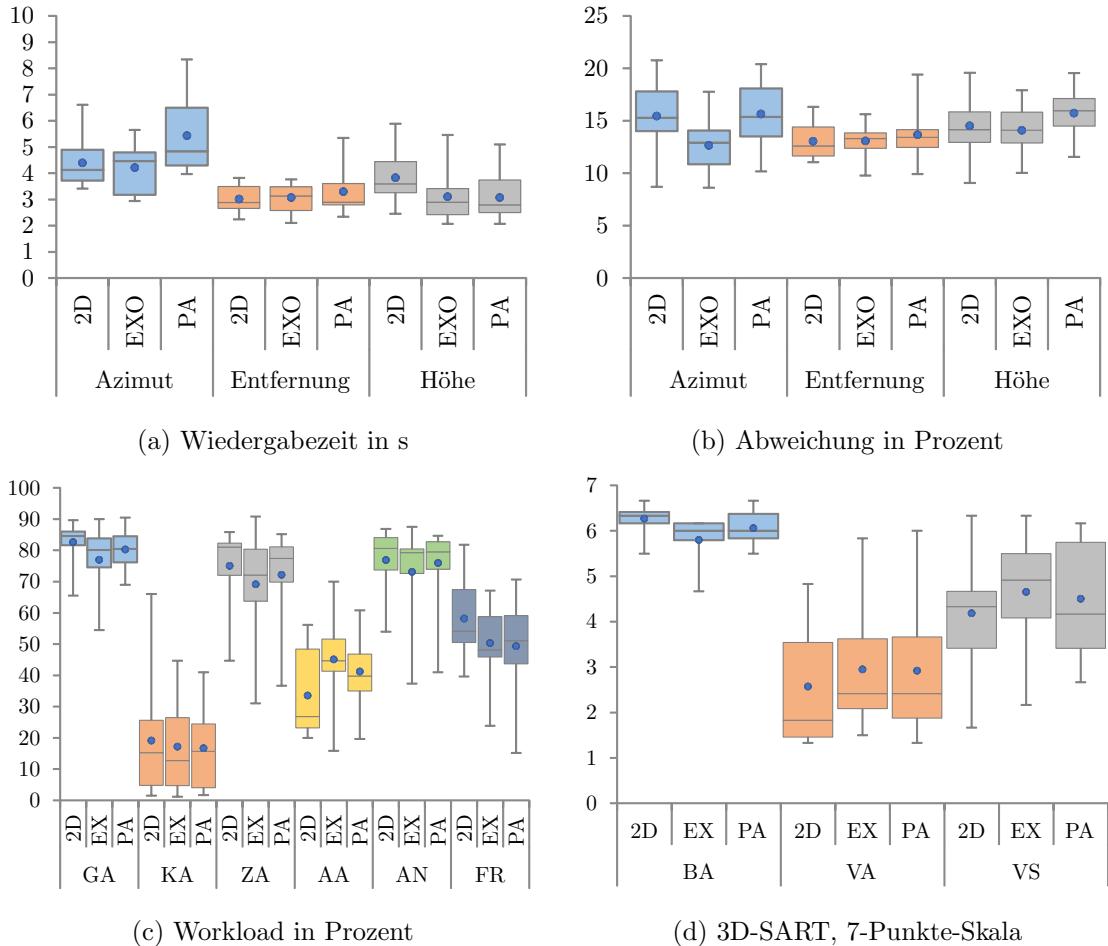


Abbildung 9.7: Wiedergabezeit, Abweichung, Workload und subjektives Situationsbewusstsein als Funktion der Raumansicht in Untersuchung 3.

9.7.2 Raumdarstellung

Wiedergabegenaugigkeit Azimut ($F = 6,1$; $df = 2$; $p \leq ,01$; $\eta^2 = ,35$) und Abweichung bei der Höhenschätzung ($F = 2,62$; $df = 2$; $p \leq ,10$; $\eta^2 = ,19$) zeigten bedeutsame Effekte, die produzierte Abweichung bei der Entfernung wurde nur wenig durch die Ansicht beeinflusst ($F = ,67$; $df = 2$; $p \leq ,52$; $\eta^2 = ,06$)

Anhand der Verteilungsbreiten der in Abbildung 9.7d sowie der Konfidenzintervalle der Abweichungswerte in Tabelle 9.2 ließ sich erkennen, dass sowohl die koplanare als auch die Kugelprojektion relativ hohe Abweichungen produzierten. Die exozentrische Ansicht bedingte eher geringe Abweichungen im Azimut. Die Entfernung schien bei allen Ansichten in etwa gleiche Abweichungen zu forcieren. Allerdings war die Streubreite bei der koplanaren Ansicht deutlich höher als bei den anderen Ansichten. Die Abweichung der Höhenschätzungen gab ein anderes Bild ab. Sowohl die koplanare als auch die Kugelprojektion gaben ähnliche Werte ab, die Kugelprojektion schienen schlechtere Werte zu produzieren.

Abweichung	Ansicht	M	SE	UG, 95 % KI	OG, 95 % KI
Azimut	2D	15,41	,95	13,32	17,52
	EXO	12,63	,84	10,74	14,47
	PANDIS	15,64	,92	13,61	17,66
Entfernung	2D	13,02	,47	11,97	14,06
	EXO	13,06	,44	12,08	14,03
	PANDIS	13,65	,73	12,04	15,26
Höhe	2D	14,48	,80	12,73	16,23
	EXO	14,08	,65	12,66	15,50
	PANDIS	15,72	,73	14,11	17,33

Tabelle 9.2: Einfluss der Raumdarstellung auf die Abweichung.

Wiedergabezeit Die Ansicht übte bedeutsamen Einfluss auf die Einschätzungszeit für den Azimut aus ($F = 8,41$; $df = 2$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,43$). Dies galt ebenso für die Höhe ($F = 6,37$; $df = 2$; $p \leq ,01$; $\eta^2 = ,37$), nicht aber für die Entfernung ($F = ,83$; $df = 2$; $p \leq ,45$; $\eta^2 = ,07$).

Einschätzungszeit	Ansicht	M	SE	UG, 95 % KI	OG, 95 % KI
Azimut	2D	4,39	,27	3,79	4,99
	EXO	4,21	,27	3,61	4,81
	PANDIS	5,43	,42	4,51	6,35
Entfernung	2D	3,01	,15	2,68	3,33
	EXO	3,07	,16	2,73	3,41
	PANDIS	3,29	,26	2,72	3,85
Höhe	2D	3,82	,27	3,22	4,42
	EXO	3,10	,28	2,48	3,72
	PANDIS	3,07	,26	2,50	3,64

Tabelle 9.3: Einfluss der Raumdarstellung auf die Wiedergabezeit.

Die Wiedergabezeit war vor allem in Azimut und Höhe relativ niedrig, dies war in 9.3 und 9.7a ersichtlich. Eine deutlich höhere Einschätzungszeit wurde bei der Kugelprojektion benötigt. Die Einschätzungszeit bei der Entfernung war nicht durch die Ansicht beeinflusst. Bei der Höhe benötigten die Probanden länger mit der koplanaren Ansicht als mit den beiden anderen.

Workload Die Ergebnisse der Befragung zeigten ein differenziertes Bild der Belastung und des Situationsverständnisses. Die Ansicht hatte Einfluss auf die Einschätzungen, wie schwer die Ausführung der Aufgabe war (TLXAA: $F = 10,05$; $df = 2$; $p \leq 0$; $\eta^2 = ,477$), ebenso wie hoch die geistige Anstrengung (TLXGA: $F = 4,33$; $df = 1$; $p \leq ,04$; $\eta^2 = ,282$), die zeitliche Anforderung der Aufgabe (TLXZA: $F = 3,56$; $df = 1$; $p \leq ,07$; $\eta^2 = ,245$) und wie frustrierend die Aufgabe war (TLXFR: $F = 3,2$; $df = 2$; $p \leq ,06$; $\eta^2 = ,225$). Weniger bedeutend war der Einfluss der Ansicht für die eingeschätzte Anstrengung (TLXAN: $F = 2,16$; $df = 2$; $p \leq ,14$; $\eta^2 = ,164$) sowie für die erlebte körperliche Anstrengung (TLXKA: $F = ,42$; $df = 2$; $p \leq ,66$; $\eta^2 = ,037$).

Vor allem die geistige Anforderung, die zeitlichen Anforderungen und die Anstrengung bei Aufgabenausführung wurden hoch eingeschätzt, egal welche Ansicht gegeben war. Frustration

9 Positionsverständnis und -antizipation

Task Load Index	Ansicht	M	SE	UG, 95 % KI	OG, 95 % KI
Geistige Anstrengung	2D	82,58	1,83	78,55	86,61
	EX	76,88	3,12	70,01	83,74
	PA	80,19	1,96	75,89	84,50
Körperliche Anstrengung	2D	19,06	5,24	7,52	30,59
	EX	17,11	4,43	7,35	26,87
	PA	16,60	3,62	8,62	24,57
Zeitliche Anforderung	2D	75,00	3,61	67,05	82,95
	EX	69,07	4,81	58,48	79,66
	PA	72,11	4,05	63,20	81,02
Ausführung der Aufgabe	2D	33,51	3,93	24,85	42,17
	EX	45,00	3,83	36,57	53,43
	PA	41,19	3,45	33,61	48,78
Anstrengung	2D	76,85	3,10	70,03	83,66
	EX	73,03	4,48	63,16	82,89
	PA	75,86	3,48	68,20	83,52
Frustration	2D	58,14	3,48	50,47	65,81
	EX	50,24	3,28	43,02	57,46
	PA	49,28	4,49	39,40	59,16

Tabelle 9.4: Einfluss der Raumdarstellung auf die Workload.

bei der Ausführung der Aufgabe mit der Raumansicht, Ausführung der Aufgabe und körperliche Anstrengungen waren deutlich niedriger. In allen Wertungen sticht die exozentrische Ansicht durch in Relation zu den anderen Ansichten niedrigere Werte hervor. Allerdings zeigt diese Ansicht in den Streubreiten auch, dass es eine hohe Einschätzungsvariabilität gab.

Subjektiv erlebtes Situationsbewusstsein Die Eigeneinschätzungen zum Situationsbewusstsein zeigten mittlere Effekte. Die Ansicht hatte mittleren Einfluss auf den Bedarf an benötigter Aufmerksamkeit (SART-BA: $F = 7,23$; $df = 2$; $p \leq .00$; $\eta^2 = ,397$), schien aber das Verständnis der Situation weniger zu beeinflussen (SART-VS: $F = 2,96$; $df = 2$; $p \leq ,07$; $\eta^2 = ,212$) ebenso wie die Verfügbarkeit an Aufmerksamkeitsressourcen (SART-VA: $F = 2,64$; $df = 2$; $p \leq ,09$; $\eta^2 = ,194$).

3D-SART	Ansicht	M	SE	UG, 95 % KI	OG, 95 % KI
BA	2D	6,26	,10	6,05	6,48
	EX	5,79	,15	5,47	6,12
	PA	6,06	,11	5,82	6,29
VA	2D	2,57	,39	1,70	3,44
	EX	2,94	,37	2,13	3,76
	PA	2,92	,45	1,92	3,91
VS	2D	4,18	,36	3,38	4,98
	EX	4,65	,38	3,82	5,49
	PA	4,50	,37	3,69	5,31

Tabelle 9.5: Einfluss der Raumdarstellung auf das subjektive Situationsbewusstsein.

Die Einschätzungen, wie das erlebte Situationsbewusstsein ausgeprägt war, finden sich in Abbildung 9.7d und Tabelle 9.5. Alle Probanden gaben an, dass die Ausführung der Beobachtungsaufgabe in jeder Ansicht einen hohen Bedarf an Aufmerksamkeit bedeutete. Die exozentrische Ansicht wird hier am niedrigsten bewertet.

Die Verfügbarkeit an Aufmerksamkeitsressourcen war deutlich niedriger eingeschätzt, die Werte waren hier bei den integrierten Ansichten (EXO und PA) etwas höher als bei der koplanaren Ansicht.

Das Verständnis der Situation war bei der koplanaren Ansichten am niedrigsten, etwas höher bei der Kugelprojektion und am höchsten mit der exozentrischen Ansicht.

Rangordnung der Nützlichkeit Die Probanden hatten nach dem Versuch die Aufgabe, die drei Ansichten in eine Rangordnung ihrer Nützlichkeit für die gestellte Aufgabe zu bringen. Die Probanden produzierten in der Mehrzahl die folgende Rangordnung:

$$\text{EXO} \triangleright \text{PA} \triangleright \text{2D}$$

Wie in den bereits oben aufgeführten Befragungen war auch hier eine Tendenz zur Bevorzugung der exozentrischen Ansicht zu erkennen. Als Maß für die Übereinstimmung wurde Kendalls W (K_W) bestimmt. Der für alle Rangordnungen errechnete Konkordanzkoeffizient erreichte $K_W = .67$ ($T = 13$; $df = 2$; $X^2 = 16,17$). Die Rangordnungen der Probanden wiesen eine hohe Übereinstimmung aus, von den Probanden wird die exozentrische Ansicht klar favorisiert.

9.7.3 Anzahl der Zielobjekte

Um die Schwierigkeit der Situation zu variieren zu können und über dadurch auftretende Interaktionseffekte differenzierte Aussagen über die Raumansichten abschätzen zu können, wurde die Größe der zu beobachtenden Objektemenge variiert. Die Probanden hatten die Aufgabe, entweder zwei, vier oder sechs Kontakte gleichzeitig zu beobachten.

Wiedergabegenaugigkeit Die produzierten Abweichungen wurden durch die Anzahl der zu beobachtenden Kontakte sehr stark beeinflusst. Die azimutale Abweichung wies einen hohen, bedeutsamen Effekt auf ($F = 93,65$; $df = 2$; $p \leq 0$; $\eta^2 = ,90$), ebenso fand sich ein starker Effekt bei der Einschätzung der Entfernung ($F = 78,47$; $df = 2$; $p \leq 0$; $\eta^2 = ,88$). Am stärksten beeinflusst wurde die produzierte Abweichung in der Höhe ($F = 139,65$; $df = 2$; $p \leq 0$; $\eta^2 = ,93$).

Die Wiedergabegenaugigkeit als Funktion der zu beobachtenden Kontakte zeigte die höchsten beobachteten Effekte (s.a. Tabelle 9.6): Bei zwei Kontakten wiesen Azimut, Entfernung und Höhe ähnlich niedrige Werte zwischen 7% und 10% Abweichung auf. Bereits bei vier Objekten ergab sich eine Steigerung der Abweichung um bis zu 4,2%. Eine weitere Erhöhung der Kontaktanzahl erhöhte die Abweichung in allen Dimensionen weiter.

Wiedergabezeit Die Anzahl der Zielobjekte nahm mittelstarken Einfluss auf die Einschätzungszeiten des Azimut ($F = 9,38$; $df = 2$; $p \leq .00$; $\eta^2 = ,46$), und der Entfernung ($F = 8,56$; $df = 2$; $p \leq 0$; $\eta^2 = ,44$) sowie geringen Einfluss auf die Einschätzungszeit der Höhe ($F = 2,13$; $df = 1,13$; $p \leq ,17$; $\eta^2 = ,16$). In Abbildung 9.8a und Tabelle 9.8 finden sich die

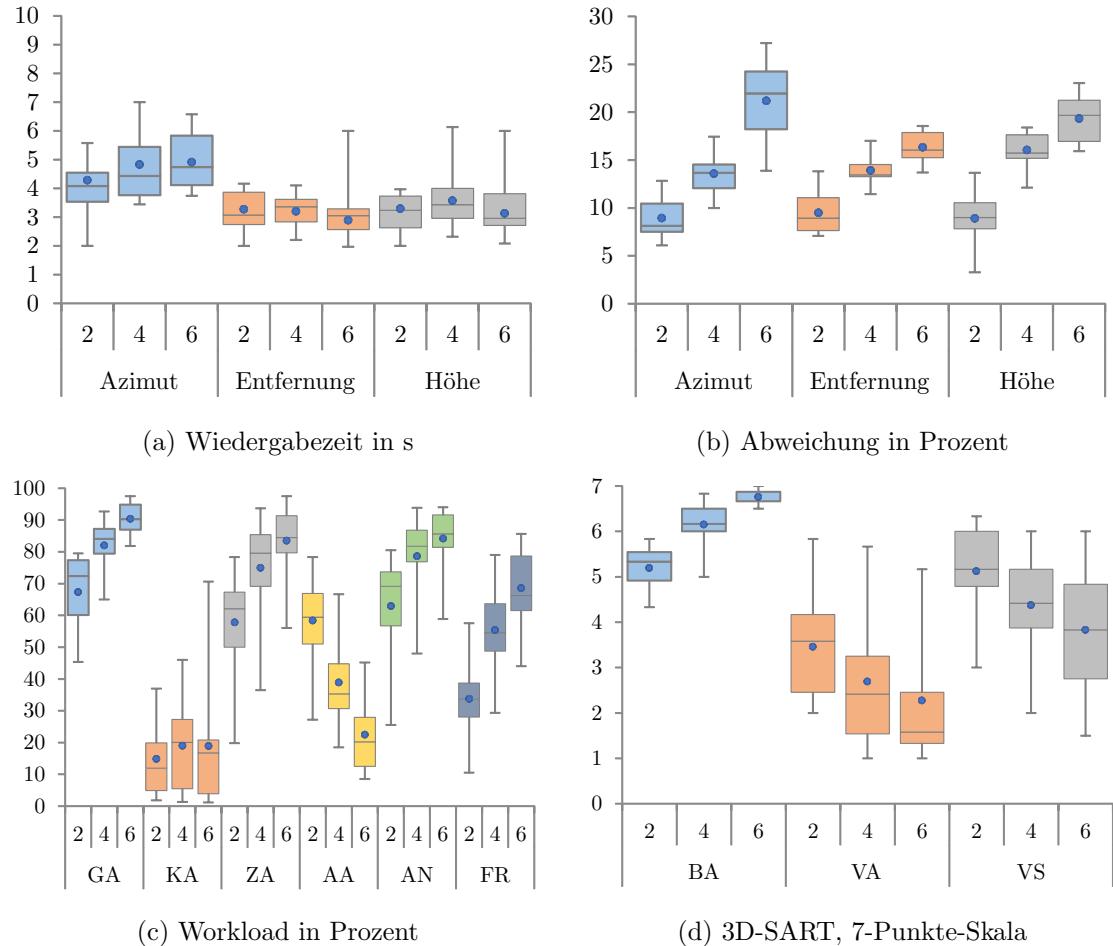


Abbildung 9.8: Wiedergabezeit, Abweichung, Workload und subjektives Situationsbewusstsein als Funktion der Anzahl der Objekte in Untersuchung 3.

Einschätzungszeiten in den verschiedenen Dimensionen aufgetragen nach der Anzahl der Zilobjekte. In der Einschätzungszeit des Azimuts konnte eine leichte Steigerung der Dauer mit zunehmender Kontaktanzahl erkennen. In der Dimensionen Entfernung war diese Steigung negativ zur Anzahl der Kontakte. Die Einschätzungszeit der Höhe ist relativ unbeeinflusst von der Objektanzahl.

Workload Die differenzierte Betrachtung der subjektiven Belastungswerte ist geordnet nach der Effektstärke als Rangordnung der Belastung. Der höchste Effekt konnte bei der Ausführung der Aufgabe (TLXAA: $F = 67,87$; $df = 2$; $p \leq 0$; $\eta^2 = ,86$) beobachtet werden. Der zweitstärkste Effekt trat bei Einschätzung der Frustration auf (TLXFR: $F = 65,02$; $df = 2$; $p \leq 0$; $\eta^2 = ,86$). Ebenso wurde die Einschätzung des zeitlichen Aufwandes stark beeinflusst (TLXZA: $F = 42,31$; $df = 2$; $p \leq 0$; $\eta^2 = ,79$). Ähnlich hoch fiel auch der Effekt bei der Einschätzung des geistigen Aufwands aus (TLXGA: $F = 35,04$; $df = 1$; $p \leq 0$; $\eta^2 = ,76$). Die Einschätzung der erbrachten Leistung wurde ebenfalls stark beeinflusst (TLXAN: $F = 31,13$; $df = 1$; $p \leq 0$; $\eta^2 = ,74$). Die Aufgabenstellung mit verschiedenen Anzahlen von Kontakten war hingegen kaum körperlich anstrengend (TLXKA: $F = 1,43$; $df = 2$; $p \leq ,26$; $\eta^2 = ,12$).

Abweichung	Zielobjekte	M	SE	UG, 95 % KI	OG, 95 % KI
Azimut	T2	8,92	,64	7,52	10,33
	T4	13,59	,64	12,17	15,00
	T6	21,18	1,24	18,46	23,91
Entfernung	T2	9,49	,67	8,02	10,97
	T4	13,92	,43	12,96	14,87
	T6	16,31	,50	15,22	17,41
Höhe	T2	8,91	,79	7,18	10,65
	T4	16,05	,53	14,89	17,21
	T6	19,32	,73	17,72	20,91

Tabelle 9.6: Die Wiedergabegenauigkeit der verschiedenen Dimensionen als Funktion der Objektanzahl. Alle Abweichungen sind in Prozent angegeben.

Zeit	Zielobjekte	M	SE	UG, 95 % KI	OG, 95 % KI
Azimut	T2	4,28	,21	3,82	4,74
	T4	4,83	,36	4,05	5,62
	T6	4,91	,28	4,31	5,52
Entfernung	T2	3,27	,17	2,91	3,64
	T4	3,20	,16	2,85	3,55
	T6	2,89	,13	2,61	3,17
Höhe	T2	3,29	,16	2,94	3,64
	T4	3,57	,34	2,83	4,32
	T6	3,12	,27	2,53	3,72

Tabelle 9.7: Die Wiedergabezeit der verschiedenen Dimensionen als Funktion der Objektanzahl. Alle Zeiten sind in Sekunden angegeben.

Die in den Zeit- und Abweichungswerten gefundenen Effekte spiegelten sich auch in den subjektiven Belastungsbewertungen wieder. Bis auf die körperliche Anstrengung zeigten alle Skalen denselben Effekt höherer Belastung mit steigender Objektanzahl (s.a. Tabelle 9.8 und Abbildung 9.8c). Zwar schätzten die Probanden eine geringe Anzahl an Objekten als wenig frustrierend ein, diese Bewertung stieg aber deutlich mit zunehmender Anzahl der Objekte. In allen anderen Skalen konnten eine hohe Grundbelastung bereits durch zwei Objekte festgestellt werden. Mit Steigerung der Anzahl von Objekten tendierten die Leistungen stark nach unten in den Bereich der Überlastung (über 90%). Ebenso konsistent ließ sich die Ausführung der Aufgabe in dieses Schema integrieren. Mit steigender Anzahl der zu überwachenden Objekte waren die Probanden immer unzufriedener mit der eigenen Leistung und bewerten diese entsprechend schlechter.

Subjektiv erlebtes Situationsbewusstsein Die subjektive Einschätzung der Situation war mit ähnlich hohen Effekten belegt. Der Bedarf an Aufmerksamkeit variierte stark zwischen den verschiedenen Bedingungen (SART-BA: $F = 76,97$; $df = 2$; $p \leq 0$; $\eta^2 = ,88$), ebenso das Verständnis der Situation (SART-VS: $F = 42,92$; $df = 2$; $p \leq 0$; $\eta^2 = ,80$). Die Verfügbarkeit an Aufmerksamkeitsressourcen wurde ebenfalls stark durch die Anzahl der Zielobjekte beeinflusst (SART-VA): $F = 16,62$; $df = 2$; $p \leq 0$; $\eta^2 = ,60$).

Task Load Index	Objekte	M	SE	UG, 95 % KI	OG, 95 % KI
Geistige Anstrengung	2	67,28	3,57	59,41	75,14
	4	81,99	2,39	76,72	87,26
	6	9 ,39	1,56	86,97	93,81
Körperliche Anstrengung	2	14,88	3,49	7,20	22,55
	4	18,97	4,11	9,93	28,01
	6	18,92	5,56	6,68	31,15
Zeitliche Anforderung	2	57,75	4,86	47,05	68,45
	4	74,92	4,62	64,74	85,09
	6	83,51	3,28	76,29	9 ,74
Ausführung der Aufgabe	2	58,36	4,18	49,17	67,56
	4	38,85	3,92	3 ,23	47,47
	6	22,50	3,46	14,89	3 ,11
Anstrengung	2	62,96	4,76	52,49	73,43
	4	78,61	3,85	7 ,14	87,08
	6	84,17	2,91	77,75	9 ,58
Frustration	2	33,75	3,35	26,37	41,13
	4	55,36	3,83	46,93	63,79
	6	68,54	3,44	6 ,97	76,12

Tabelle 9.8: Workload als Funktion der Objektanzahl. Alle Werte sind in Prozent der ursprünglichen Skala angegeben.

Die Probanden folgten auch in der Einschätzung ihres Situationsbewusstsein dem Trend der steigenden Schwierigkeit mit steigender Objektanzahl (s.a. Tabelle 9.9 und Abbildung 9.8d). Um die Objekte überwachen zu können wurde ein schrittweise höherer Bedarf an Aufmerksamkeit nötig, gleichzeitig sank der Anteil weiterer, verfügbarer Aufmerksamkeitsressourcen auf ein Minimum. Durch diese Tendenz fühlten sich die Probanden in ihrem Verständnis der Situation stark eingeschränkt.

9.7.4 Abfragezeitpunkt

Der Abfragezeitpunkt wurde als Zeitpunkt am Ende der gezeigten Simulation oder als in der Zukunft liegender Zeitpunkt in 45s gewählt, um über die antizipative Qualität der Anzeigen Aussagen machen zu können.

Wiedergabegenaugigkeit Die produzierte Abweichung wurde in den Dimensionen Azimut ($F = 48,93; df = 1; p \leq 0; \eta^2 = ,82$) und Entfernung ($F = 29,26; df = 1; p \leq 0; \eta^2 = ,73$) stark durch den Abfragezeitpunkt beeinflusst. Die Abweichung in der Höhe wurde nicht nachweisbar durch den Abfragezeitpunkt beeinflusst ($F = ,21; df = 1; p \leq ,66; \eta^2 = ,02$).

In allen Dimensionen wurde die Positionsgenaugigkeit der Zukunft schlechter wiedergegeben als die der Gegenwart (s.a. Tabelle 9.10, Abbildung 9.9a, Abbildung 9.9b und Abbildung 9.9c). Die höchste Ungenauigkeit wurde in der Azimutschätzung produziert, Entfernung wurden deutlich genauer wiedergegeben. Die Höhenschätzung war zwar zwischen den Schätzzeitpunkten in etwa gleich reproduziert, allerdings war die Abweichung der Höhenschätzung insgesamt deutlich höher als die der anderen Dimensionen.

SART	Objekte	M	SE	UG, 95 % KI	OG, 95 % KI
BA	2	5,19	,15	4,86	5,53
	4	6,15	,14	5,85	6,45
	6	6,76	,05	6,66	6,87
VA	2	3,46	,34	2,71	4,21
	4	2,69	,44	1,72	3,67
	6	2,28	,44	1,30	3,25
VS	2	5,13	,29	4,48	5,77
	4	4,38	,37	3,57	5,18
	6	3,83	,41	2,92	4,74

Tabelle 9.9: Subjektiv erlebtes Situationsbewusstsein als Funktion der Objektanzahl. Alle Werte sind in der ursprünglichen Skala angegeben.

Abweichung	Position	M	SE	UG, 95 % KI	OG, 95 % KI
Azimut	aktuell	11,26	,78	9,54	12,98
	zukünftig	17,87	,93	15,83	19,90
Entfernung	aktuell	11,76	,55	10,55	12,96
	zukünftig	14,72	,49	13,66	15,79
Höhe	aktuell	14,67	,63	13,29	16,04
	zukünftig	14,86	,61	13,50	16,21

Tabelle 9.10: Abfragezeitpunkt und Wiedergabegenaugigkeit der aktuellen und zukünftigen Position.

Wiedergabezeit Die Einschätzungszeit der Dimensionen Azimut ($F = 4,79$; $df = 1$; $p \leq ,05$; $\eta^2 = ,30$), Entfernung ($F = 5,75$; $df = 1$; $p \leq ,04$; $\eta^2 = ,34$) und Höhe ($F = 6,56$; $df = 1$; $p \leq ,03$; $\eta^2 = ,37$) wurde durch den Abfragezeitpunkt mittelstark beeinflusst.

Wiedergabezeit	Position	M	SE	UG, 95 % KI	OG, 95 % KI
Azimut	aktuell	4,43	,20	3,98	4,88
	zukünftig	4,92	,36	4,12	5,71
Entfernung	aktuell	3,03	,14	2,72	3,35
	zukünftig	3,21	,15	2,88	3,54
Höhe	aktuell	3,24	,24	2,73	3,76
	zukünftig	3,41	,24	2,89	3,94

Tabelle 9.11: Abfragezeitpunkt, Wiedergabezeit

Die Einschätzung des Azimut dauerte insgesamt länger als die Einschätzung der Entfernung und Höhe, egal welche Dimension betrachtet wurde (s.a. Tabelle 9.11, Abbildung 9.9d, Abbildung 9.9e sowie Abbildung 9.9f). Die Einschätzungszeit des Azimuts ist bei der gegenwärtigen Position deutlich geringer, dieser Unterschied ist bei Höhe und Entfernung nicht mehr vorhanden.

Workload Der Einschätzungszeitpunkt hatte nur geringen Einfluss auf die Bewertung der subjektiven Belastung. Die Anstrengung bei der Einschätzung war mittelstark beeinflusst

9 Positionsverständnis und -antizipation

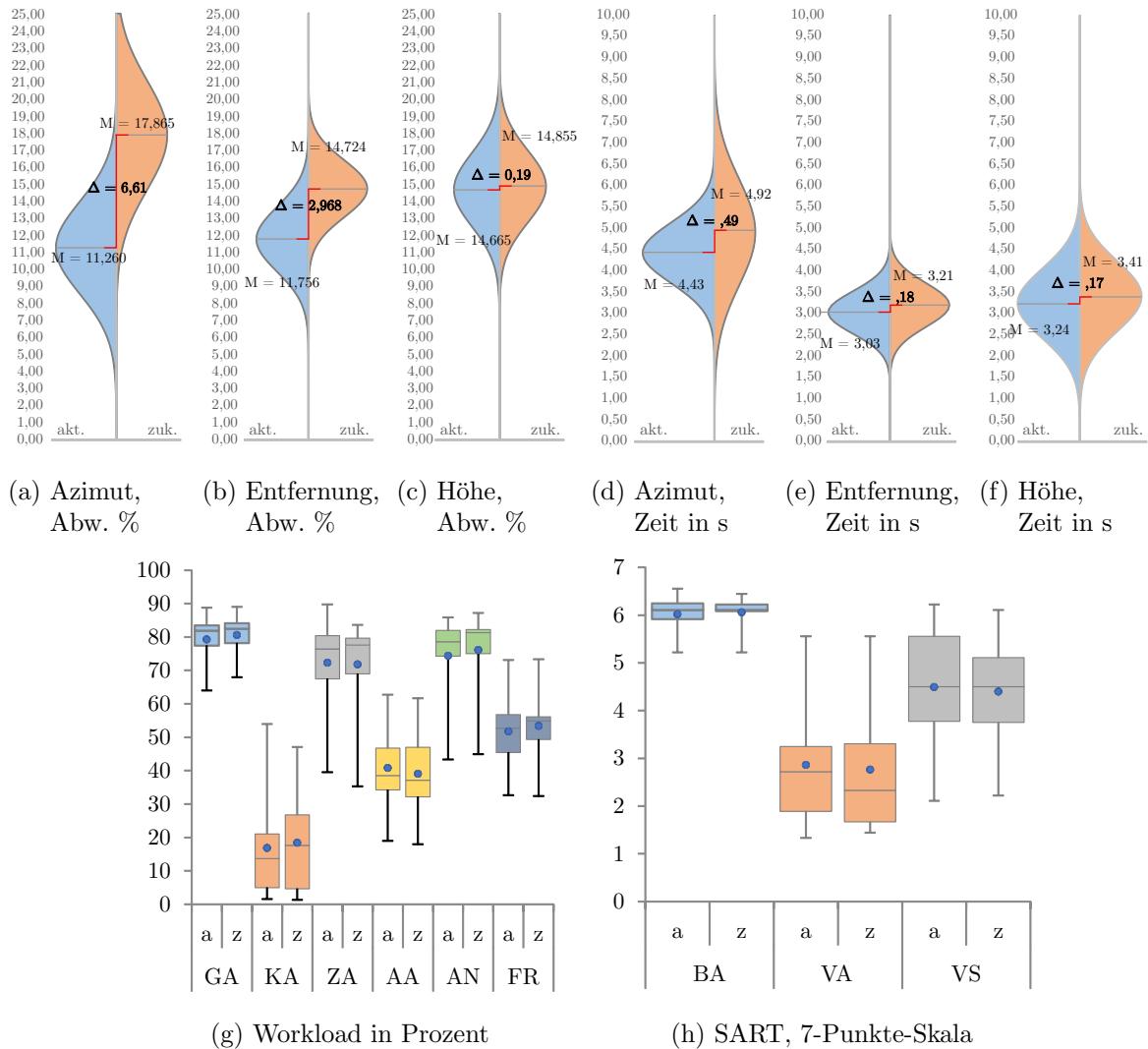


Abbildung 9.9: Wiedergabezeit, Abweichung, Workload und subjektives Situationsbewusstsein als Funktion des Wiedergabezeitpunktes in Untersuchung 3.

(TLXAN: $F = 3,98$; $df = 1$; $p \leq ,07$; $\eta^2 = ,27$), ebenso die Einschätzung der Güte der eigenen Leistung (TLXAA: $F = 3$; $df = 1$; $p \leq ,11$; $\eta^2 = ,21$). Auch gab es einen geringen Effekt bei der Einschätzung, wie viel geistige Anstrengung nötig war, um die Abfragen zu leisten (TLXGA): $F = 2,38$; $df = 1$; $p \leq ,15$; $\eta^2 = ,18$), ebenso einen leichten körperlichen Effekt (TLXKA: $F = 1,38$; $df = 1$; $p \leq ,26$; $\eta^2 = ,11$). Die Frustration (TLXFR: $F = ,74$; $df = 1$; $p \leq ,41$; $\eta^2 = ,06$) und der zeitliche Aufwand (TLXZA: $F = ,16$; $df = 1$; $p \leq ,69$; $\eta^2 = ,02$) waren nicht durch den Abfragezeitpunkt beeinflusst.

In der subjektiv erlebten Belastung gaben die Probanden wenig bis keinen Unterschied zwischen den beiden Bedingungen des Abfragezeitpunktes an (s.a. 9.12 und Abbildung 9.9g). Das bereits aus obigen Darstellungen bekannte Muster insgesamt relativ hoher Workload (GA, ZA und AN), niedriger Zufriedenheit mit der eigenen Leistung (AA), mittlerer Frustration (FR) und niedriger körperlicher Belastung kehrte auch hier wieder.

Task Load Index	Zeitpunkt	M	SE	UG, 95 % KI	OG, 95 % KI
Geistige Anstrengung	aktuell	79,21	2,38	73,98	84,45
	zukünftig	80,56	1,86	76,46	84,65
Körperliche Anstrengung	aktuell	16,81	4,35	7,24	26,38
	zukünftig	18,37	4,10	9,35	27,39
Zeitliche Anforderung	aktuell	72,31	4,02	63,47	81,16
	zukünftig	71,81	4,05	62,88	80,73
Ausführung der Aufgabe	aktuell	40,77	3,41	33,27	48,26
	zukünftig	39,04	3,52	31,29	46,78
Anstrengung	aktuell	74,39	3,65	66,36	82,42
	zukünftig	76,10	3,53	68,32	83,88
Frustration	aktuell	51,73	3,20	44,69	58,77
	zukünftig	53,37	3,23	46,27	60,47

Tabelle 9.12: Workload als Funktion des Abfragezeitpunktes. Alle Werte sind in Prozent der ursprünglichen Skala angegeben.

Subjektiv erlebtes Situationsbewusstsein Die Probanden schätzten ihr Verständnis von der aktuellen wie auch der zukünftigen Situation in etwa gleich ein. Der Bedarf an Aufmerksamkeit (SART-BA: $F = ,17$; $df = 1$; $p \leq ,69$; $\eta^2 = ,02$) war in beiden Zeitpunkten gleich groß, ebenso die Verfügbarkeit an Aufmerksamkeitsressourcen (SART-VA: $F = 1,31$; $df = 1$; $p \leq ,28$; $\eta^2 = ,11$) und das Verständnis der Situation (SART-VS: $F = 2,1$; $df = 1$; $p \leq ,18$; $\eta^2 = ,16$).

SART	Zeitpunkt	M	SE	UG, 95 % KI	OG, 95 % KI
BA	aktuell	6,02	0,12	5,76	6,28
	zukünftig	6,06	0,09	5,85	6,26
VA	aktuell	2,86	0,40	1,99	3,73
	zukünftig	2,76	0,40	1,88	3,64
VS	aktuell	4,49	0,36	3,70	5,28
	zukünftig	4,40	0,35	3,63	5,16

Tabelle 9.13: Subjektiv erlebtes Situationsbewusstsein als Funktion des Abfragezeitpunktes. Alle Werte entsprechen der ursprünglichen Skala.

Das subjektiv erlebte Situationsbewusstsein der Probanden erhoben über den 3D-SART ließ keine weiteren Schlüsse auf Unterschiede zwischen den Bedingungen zu. Lediglich der schon oben beschriebene Trend des insgesamt hohen Bedarfs an Aufmerksamkeitsressourcen bei gleichzeitiger niedriger Verfügbarkeit weiterer Ressourcen war vorhanden. Auch schätzen die Probanden ihr Verständnis der vorliegenden wie auch zukünftigen Situation relativ gleich und hoch ein.

9.7.5 Interaktionen

Die Interaktionseffekte der Ansicht und Anzahl der Zielobjekte sowie die Interaktion zwischen der Ansicht und dem Abfragezeitpunkt waren von Interesse. Es sollte festgestellt werden, ob die in den Haupteffekten festgestellten Leistungsunterschiede bei der Bewertung der Szenarien Gültigkeit besaßen.

Interaktion Ansicht und Anzahl der Zielobjekte

In Abbildung 9.14 sind die prozentualen Abweichungen bei der Einschätzung von Azimut, Höhe und Entfernung sowie die korrespondierenden Einschätzungszeiten gegeben.

Wiedergabegenaugigkeit und -zeit Die Abweichungen des Azimut verhielten sich im Trend erwartungskonform mit mittlerem Effekt ($F = 3,35$; $df = 4$; $p \leq ,02$; $\eta^2 = ,23$), ebenso die Einschätzungszeiten ($F = 1,46$; $df = 4$; $p \leq ,23$; $\eta^2 = ,12$). Die koplanare Ansicht produzierte mit höherer Anzahl der Zielobjekte höhere Ungenauigkeiten bei abnehmender Variabilität. Ähnlich verhielt sich die Leistung mit der exozentrischen Ansicht und dem Panoramic Display, zwischen zwei und vier Zielobjekten. Beide Ansichten produzierten bei höherer Zielanzahl keine weiteren Steigerungen der Ungenauigkeit, wirken also leistungskonservierend (s. Abbildungen 9.10a, 9.10b und 9.10c). Diese positive Auswirkung wurde jedoch durch eine höhere benötigte Einschätzungsduer vor allem bei der panoramischen Ansicht kompensiert (s. Abbildungen 9.10d, 9.10e, 9.10f).

Die Abweichung bei der Entfernungsschätzung war für die Ansichten unter Beachtung der Anzahl der Zielobjekte inkonsistent (s. Abbildungen 9.10g, 9.10h und 9.10i), bei einem mittlerem Effekt ($F = 5,55$; $df = 4$; $p \leq 0$; $\eta^2 = ,34$). Die Abweichungen waren mit höherer Zielzahl höher. Es zeigte sich jedoch vor allem für die koplanare Ansicht eine höhere Ungenauigkeit. Die exozentrische und panoramische Ansicht veränderten weniger die mittlere Ungenauigkeit bei vier bzw. sechs zu beobachtenden Objekten als vielmehr die Variabilität der Ungenauigkeit. Eine deutlich höhere Variabilität zeigte hier vor allem die panoramische Ansicht. Die Einschätzungszeiten der Entfernung (s. Abbildungen 9.10j, 9.10k, 9.10l) waren gegenläufig und nahmen mit zunehmender Objektanzahl ab und hatten einen eher geringen Effekt ($F = 1,5$; $df = 4$; $p \leq ,22$; $\eta^2 = ,12$).

Ein geringer Effekt trat bei der Einschätzung der Höhe ($F = 1,77$; $df = 4$; $p \leq ,15$; $\eta^2 = ,14$) von gezeigten Objekten auf (s. Abbildungen 9.10m, 9.10n und 9.10o). Mit zunehmender Objektanzahl wurden deutlich ungenauere Angaben gemacht. Die Ansichten ließen alle nur eine ungenaue Einschätzung der Höhe mit zunehmender Anzahl der Objekte zu. Die Einschätzungszeiten waren relativ ähnlich zu den Einschätzungszeiten der Entfernung (s. Abbildungen 9.10p, 9.10q, 9.10r), bei sehr geringem Effekt ($F = ,22$; $df = 4$; $p \leq ,93$; $\eta^2 = ,02$). Allerdings zeigte die koplanare Ansicht in jedem Fall höhere Einschätzungszeiten als die anderen Darstellungen von Raum.

Workload Die Einschätzung der Belastung durch die steigende Anzahl der Objekte bei verschiedenen Ansicht war relativ gleichförmig und wenig konklusiv (s.a. Abbildung 9.11, a) bis r)). Einzig die zeitliche Anforderung zeigte einen geringen Effekt (TLXZA: $F = 1,46$; $df = 4$; $p \leq ,23$; $\eta^2 = ,12$); geistige Anforderung (TLXGA: $F = ,95$; $df = 4$; $p \leq ,45$; $\eta^2 = ,08$), körperliche Anforderung (TLXKA: $F = ,99$; $df = 4$; $p \leq ,42$; $\eta^2 = ,08$), Zufriedenheit bei der Ausführung der Aufgabe (TLXAA: $F = ,26$; $df = 4$; $p \leq ,9$; $\eta^2 = ,02$), Anstrengung (TLXAN: $F = ,6$; $df = 4$; $p \leq ,66$; $\eta^2 = ,05$) und Frustration (TLXFR: $F = ,67$; $df = 4$; $p \leq ,61$; $\eta^2 = ,06$) zeigten keine Interaktionseffekte.

Subjektiv erlebtes Situationsbewusstsein Ähnlich wie die erlebte Belastung zeigte auch nur die Subskala des Bedarfs an Aufmerksamkeit (SART-BA: $F = 1,22$; $df = 4$; $p \leq ,31$; $\eta^2 = ,10$) einen geringen Effekt. Weder die Subskala der verfügbaren Aufmerksamkeitsressourcen (SART-VA: $F = ,62$; $df = 4$; $p \leq ,65$; $\eta^2 = ,05$) noch das Verständnis der Situation (SART-VS:

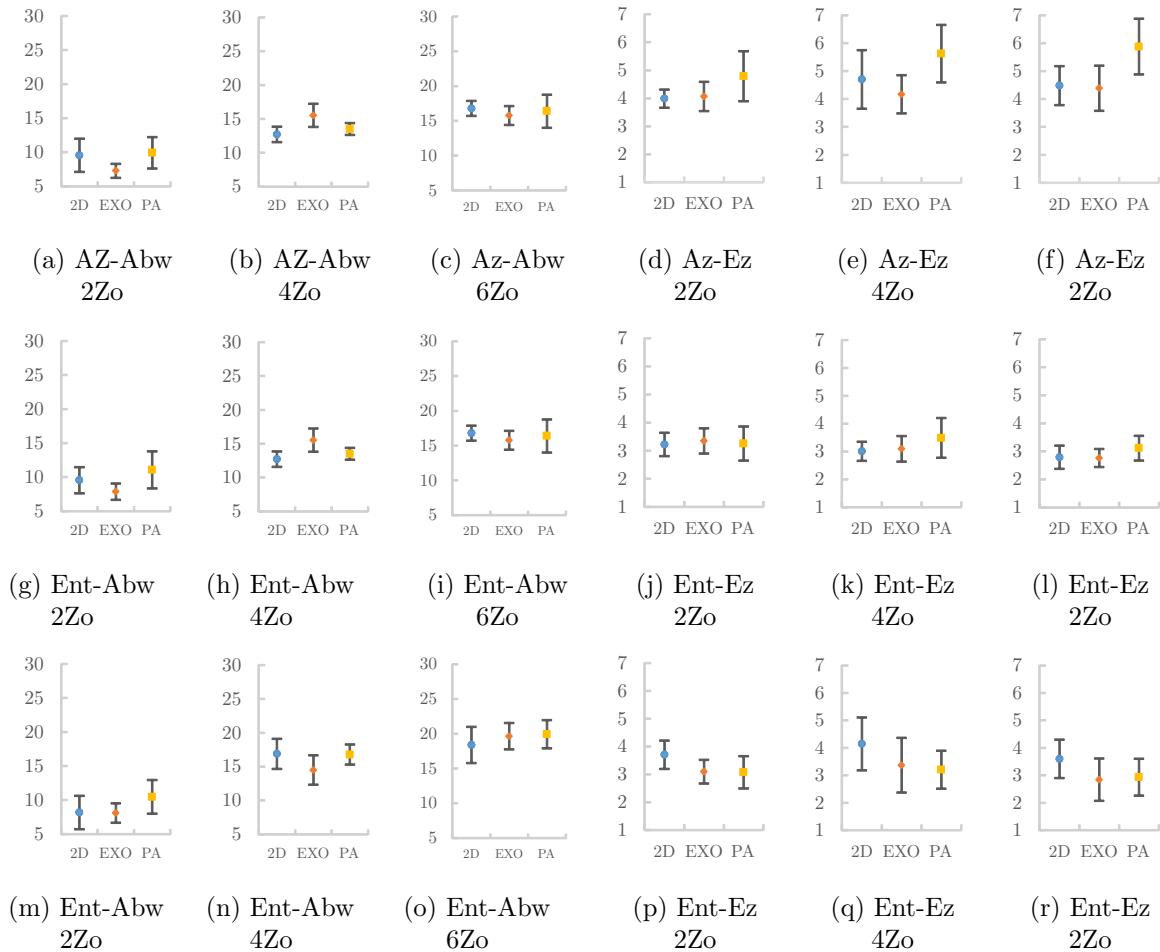


Abbildung 9.10: Wiedergabezeiten (s) und Abweichungen (%) als Interaktionsfunktion der Anzahl der Zielobjekte und der Ansicht. Gegeben sind die jeweiligen Mittelwerte und 95% Konfidenzintervalle. Die zugehörige Tabelle findet sich in Anhang VI.

$F = ,94; df = 4; p \leq ,45; \eta^2 = ,08$) wurde bei verschiedenen Ansichten mit unterschiedlicher Anzahl von Zielobjekten unterschiedlich erlebt (s.a. Abbildung 9.12, a) bis i)).

Interaktion Ansicht und Abfragezeitpunkt

Wiedergabegenaugigkeit und -zeit Betrachtet man die Interaktion zwischen der Ansicht und dem Abfragezeitpunkt (aktuell vs. in 45s, s.a. Abbildung 9.14) ergaben sich für die Einschätzungszeiten des Azimut ($F = 2; df = 2; p \leq ,16; \eta^2 = ,15$) und der Entfernung ($F = 2,04; df = 2; p \leq ,15; \eta^2 = ,16$) sowie der Höhe ($F = ,9; df = 2; p \leq ,42; \eta^2 = ,08$) nur geringe Effekte. Dies galt ebenso für die produzierte Abweichung in Azimut ($F = ,31; df = 2; p \leq ,74; \eta^2 = ,03$) und Entfernung ($F = ,99; df = 2; p \leq ,39; \eta^2 = ,08$). Die Höhe ($F = 7,11; df = 2; p \leq 0; \eta^2 = ,39$) war bei der Abfrage der aktuellen Position eines Objekts zwischen den drei Ansichten eher unterschiedlich eingeschätzt, wobei die exozentrische als auch die koplanare Ansicht bessere Schätzungen zuließen als die panoramische Ansicht. Betrachtet man

9 Positionsverständnis und -antizipation

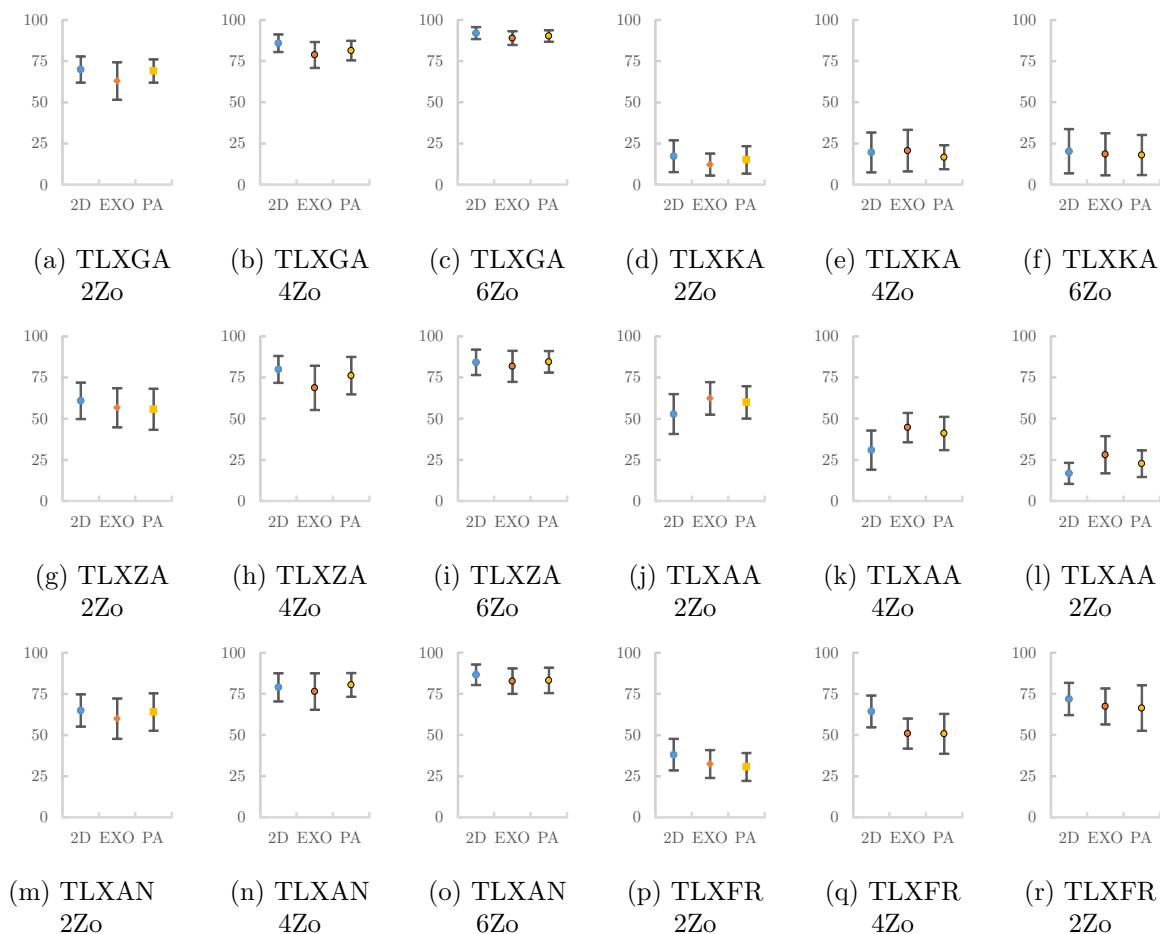


Abbildung 9.11: Subjektive Workload als Interaktionsfunktion der Anzahl der Zielobjekte und der Ansicht. Gegeben sind die jeweiligen Mittelwerte und 95% Konfidenzintervalle. Die zugehörige Tabelle findet sich in Anhang C.3 und C.4.

die Einschätzung der zukünftigen Position, verschwindet dieser Effekt, hier produzierten alle Ansichten gleich abweichende Schätzungen.

Workload Die Interaktion zwischen Ansicht und Abfrage führte in keiner der betrachteten Subskalen des NASA-TLX zu bedeutsamen Effekten (TLXGA: $F = ,58$; $df = 2$; $p \leq ,57$; $\eta^2 = ,05$; TLXKA: $F = ,00$; $df = 2$; $p \leq 1$; $\eta^2 = ,00$; TLXZA: $F = ,29$; $df = 2$; $p \leq ,75$; $\eta^2 = ,025$; TLXAA: $F = ,93$; $df = 2$; $p \leq ,41$; $\eta^2 = ,078$; TLXAN: $F = ,10$; $df = 2$; $p \leq ,91$; $\eta^2 = ,009$; TLXFR: $F = ,30$; $df = 2$; $p \leq ,74$; $\eta^2 = ,027$).

Subjektiv erlebtes Situationsbewusstsein Bei den Subskalen des 3D-SART ergaben sich geringe Effekte für die betrachtete Interaktion. Allein die Verfügbarkeit der Aufmerksamkeit wurde geringfügig anders eingeschätzt (SART-VA: $F = 1,61$; $df = 2$; $p \leq ,22$; $\eta^2 = ,13$). Der Bedarf an Aufmerksamkeit (SART-BA: $F = ,40$; $df = 2$; $p \leq ,68$; $\eta^2 = ,04$) und Verständnis der Situation (SART-VS: $F = ,71$; $df = 2$; $p \leq ,50$; $\eta^2 = ,06$) wurden nicht unterschiedlich bewertet.

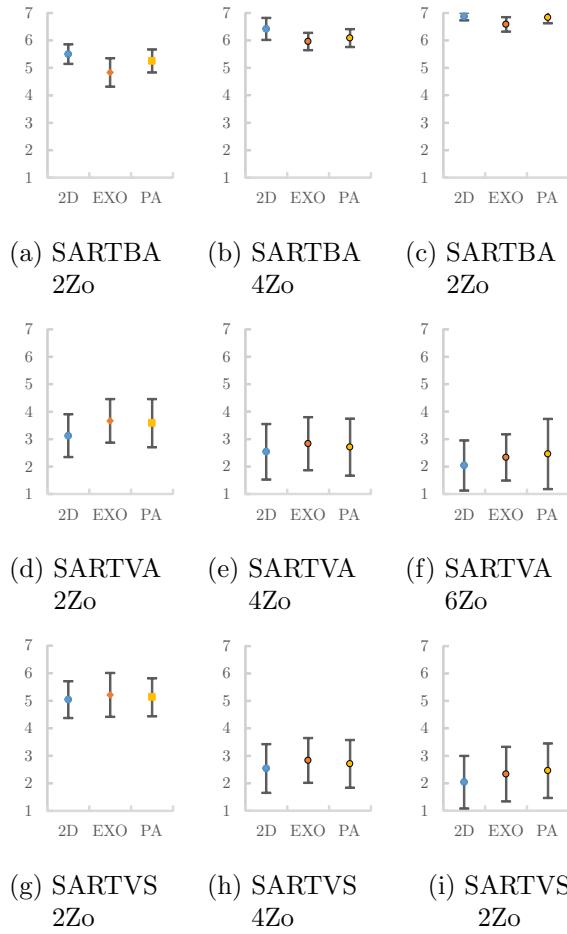


Abbildung 9.12: Subjektives Situationsbewusstsein als Interaktionsfunktion der Anzahl der Zielobjekte und der Ansicht. Gegeben sind die jeweiligen Mittelwerte und 95% Konfidenzintervalle. Die zugehörige Tabelle findet sich in Anhang C.5.

Weitere Interaktionen wurden nicht betrachtet, eine Auflistung findet sich im Anhang, Tabelle C.9 und Tabelle C.10.

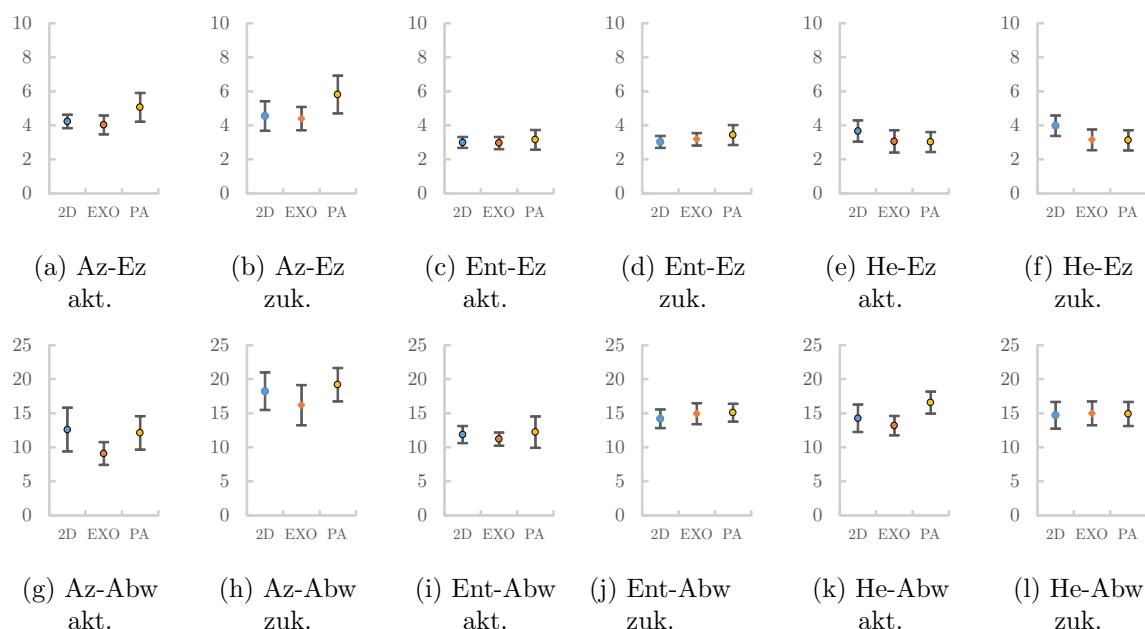


Abbildung 9.13: Wiedergabezeiten (obere Reihe, in s) und Abweichungen (untere Reihe, in %) als Interaktionsfunktion der Ansicht und des Abfragezeitpunktes. Gegeben sind die jeweiligen Mittelwerte und 95% Konfidenzintervalle. Die zugehörige Tabelle findet sich in Anhang, Tabelle C.1 und C.2.

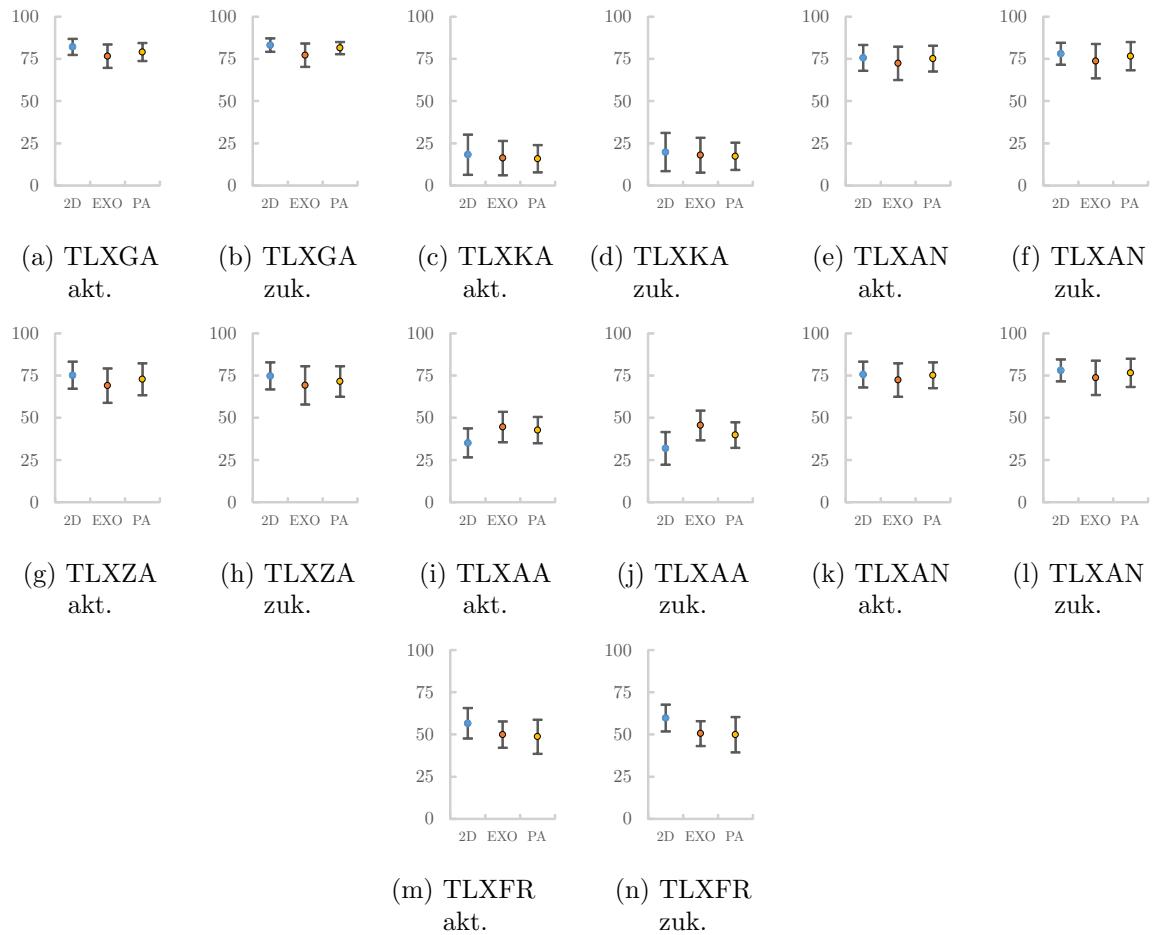


Abbildung 9.14: Subjektive Workload als Interaktionsfunktion der Ansicht und des Abfragezeitpunktes. Gegeben sind die jeweiligen Mittelwerte und 95% Konfidenzintervalle. Die zugehörige Tabelle findet sich in Anhang, Tabelle C.7.

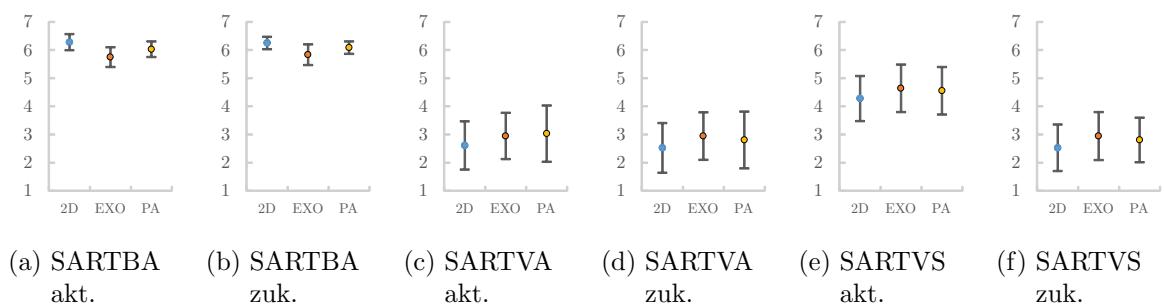


Abbildung 9.15: Subjektives Situationsbewusstsein als Interaktionsfunktion der Ansicht und des Abfragezeitpunktes. Gegeben sind die jeweiligen Mittelwerte und 95% Konfidenzintervalle. Die zugehörige Tabelle findet sich in Anhang, Tabelle C.8.

9.8 Diskussion

Die vorgestellten Ergebnisse lassen eine differenzierte Bewertung für die drei verwendeten Raumansichten zu. Es können zudem Aussagen über Schwierigkeit und Extrapolation von Objektpositionen getroffen werden.

Von den verwendeten Ansichten scheint die exozentrische am geeignetsten. Mit deren Hilfe ist es möglich, die Objektposition insgesamt genauer zu bestimmen als mit der Panormama-Ansicht. Zudem bietet die exozentrische Ansicht den Vorteil, alle drei räumlichen Dimensionen integriert abzubilden. So wird der visuelle Aufwand, welchen die koplanare Ansicht verlangt, minimiert. Die Einschätzung der subjektiven Belastung liefert für die exozentrische Ansicht niedrigere Werte als die Einschätzungen der anderen Ansichten. Auch das subjektiv eingeschätzte Situationsbewusstsein ist tendenziell höher als bei der koplanaren und panoramischen Darstellung. Vor allem das Verständnis der Situation wird durch diese Ansicht gefördert.

Betrachtet man den Einschätzungs- oder Abfragezeitpunkt, kann man feststellen, dass nahezu alle Skalen ein ähnliches Ergebnis liefern. In jedem Fall ist die Extrapolation einer Position in die Zukunft mit höheren Abweichungen verbunden, einzig die Höhe wird ähnlich ungenau angegeben. Auch die Einschätzungszeiten für den Azimut zeigen dies, nicht so die Zeiten für Höhe und Entfernung. Dies deutet darauf hin, dass die Einschätzungszeit nur für den erstgeschätzten Parameter sensitiv ist und nachfolgend an Aussagekraft verliert. Die subjektiven Parameter erlauben für den Abfragezeitpunkt keine weiteren Aussagen über die Qualität. Es finden sich nur geringe oder keine Unterschiede. Ersichtlich ist eine Dissoziation zwischen gezeigter Leistung und Bewertung. Bei schlechterer Leistung werden sowohl Workload als auch subjektiv erlebtes Situationsbewusstsein gleich bewertet. Dies widerspricht der Erwartung einer positiven Korrelation von Leistung und deren subjektiven Einschätzung. Verschiedene Autoren (Yeh & Wickens, 1988; Fracker, 1991a, 1991b; Wickens, 2001) stellen diesen Zusammenhang heraus und geben eine Erklärung. Die Dissoziation kann unter anderem durch Überlastung ausgelöst werden. Yeh und Wickens (1988, S. 113) erklärt, dass in solchen Situationen von einer Person bereits alle zur Verfügung stehenden Ressourcen eingesetzt werden, um die gestellte Aufgabe zu lösen. Wird die Schwierigkeit der Aufgabe weiter erhöht, sinkt die Leistung entsprechend, da keine weiteren Ressourcen mehr zur Verfügung gestellt werden können. Ebenso würde sich die subjektive Bewertung auch nur dann ändern, wenn weitere Ressourcen investiert würden. In diesem Sinne wäre die Einschätzung der aktuellen Position eines Objekts bereits so schwer, dass keine weiteren Ressourcen mehr investiert werden können. Wird nun die Extrapolation in die Zukunft verlangt, sinkt die Leistung wegen des höheren Schwierigkeitsgrades und der fehlenden Ressourcen. Da der Ressourcenverbrauch sich aber subjektiv nicht geändert hat, wird auch die Bewertung nicht geändert - es kommt zu schlechterer Leistung mit gleicher subjektiver Bewertung. Die Manipulation des Einschätzungszeitpunkts in aktuelle und zukünftige Position bedeutet in dem beschriebenen Setting also eine schwere Aufgabe, welche zu einer potentiellen Überlastung führt.

Betrachtet man die manipulierte Anzahl der gezeigten Objekte, kann festgehalten werden, dass die Schwierigkeit der Aufgabe so gut variiert werden kann. Die in der Positionsschätzung gezeigten Leistungen sind stark von der Anzahl der zu beobachtenden Objekten abhängig. Jede Erhöhung der Anzahl führt zu einer direkten Leistungsminderung. Dieser Trend ist sowohl in den Leistungs- als auch in den subjektiven Bewertungen klar ersichtlich.

Die Interaktion von Ansicht und Abfragezeitpunkt zeigt in den Einschätzungszeiten gleiche Trends. Hier fallen keine bedeutsamen Unterschiede auf. Die Abweichungen in den Positionsschätzungen des aktuellen Zeitpunktes und des zukünftigen unterscheiden sich. Teilweise

werden deutlich höhere Streubreiten produziert. Weder der SART noch der NASA-TLX erlauben hier eine weitere Differenzierung.

Methodische Einschränkungen Der realisierte Versuch macht eine erste Bewertung der drei Ansichten möglich. Dennoch bestehen, wie bereits teilweise diskutiert, im einzelnen Einschränkungen, welche durch die verwendeten Methoden oder den Ablauf provoziert waren.

Die Verwendung von standardisierten Fragebögen (NASA-TLX, 3D-SART) birgt in diesem Sinne Chancen, aber wie an den Daten ersichtlich, auch Risiken. Die Risiken finden sich vor allem in der geringen Interpretierbarkeit der erhaltenen Daten aufgrund der Insensitivität der Bögen, zwischen den Stufen von Bedingungen trennen zu können. Zwar sind beide, der SART als auch der TLX sehr schnell durchgeführt und können nahezu nahtlos zwischen zwei Bedingungen gegeben werden. Dies rechtfertigt aber keine Messung, deren Ergebnis nur in einer Bedingung bedeutsame Effekte herausstellen kann. Die Verwendung solcher Tests sollte deshalb mit Bedacht erfolgen, andere Methoden der Belastungsmessung wie das Zusatzaufgabenparadigma können die Fragebögen ersetzen. Der einzige Grund, diese Tests weiter einzusetzen ist in der Ganzheitlichkeit der Messung begründet und dem Wunsch, die Meinung von Experten über seine Leistung wie auch die Leistung selbst zu messen.

Zeit als Leistungs- oder Güteparameter ist in der verwendeten Form von Aufgaben- oder Reaktionszeiten weit verbreitet und meist angemessen. Allerdings birgt auch dieser Parameter Probleme der Sensitivität, welche aufgrund der seriellen Abfrageposition entstehen. Es kann in obigen Daten immer wieder ein ähnlicher Trend gesehen werden: Die benötigte Zeit, den Azimut eines Zielobjekts einzuschätzen ist sensitiv für verschiedene Parameter. Betrachtet man die Zeit, die benötigt wird, um Entfernung und Höhe einzuschätzen, kann man feststellen, dass diese sich im Mittelwerte wie auch Streubreiten anzugeleichen scheinen. Der vermutete Prozess hinter dieser Beobachtung liegt in einer serielle Suche im Arbeitsgedächtnis. Diese Suche hat das Ziel, das zufällig abgefragte Objekt zu finden und dann die Positionsdaten abzufragen. In diesem Fall ist also die Zeit zur Einschätzung des Azimuts immer konfundiert mit der reinen seriellen Suchzeit. Diese Suchzeit ist aber bei der Einschätzung der Entfernung und Höhe nicht mehr nötig, womit sich die Zeiten dieser beiden Parameter angleichen. Dies kann auch die Beobachtung erklären, dass Einschätzungszeiten bei Entfernung und Höhe geringer ausfallen als beim Azimut. Eine mögliche Lösung dieses Problems der Konfundierung von Einschätzungszeit und Zeit der seriellen Suche wäre es, die Abfrage randomisiert zu gestalten. Ein Proband muss dann jeweils einen gegebenen Parameter schätzen, kann aber nie wissen, in welcher Reihenfolge die Abfrage stattfindet. Diese Lösung wäre methodisch leichter zu vertreten, birgt aber neue Probleme: In einer Untersuchung mit Experten, die es gewohnt sind, eine Position in einer bestimmten Abfolge von Parametern zu erfassen und wiederzugeben, wirkt die randomisierte Abfrage nicht nur künstlich, sie entspricht auch offensichtlich nicht der mentalen Repräsentation. Weiter Möglichkeiten wären demnach nur, die Einschätzungszeit gänzlich fallen zu lassen oder zu einer Aufgabenzeit zu wechseln, die sowohl die Such- als auch die Einschätzungszeiten umfasst und nicht differenziert.

10 Antizipation von Bereichskonflikten

Anticipation, I suppose, sometimes exceeds realization.
Amelia Earhart - Last Flight (1937)

Displayvergleich, Antizipation	
Gegenstand	Projektionsvergleich
Zielsetzung	Eignung bei repräsentativen Aufgabenbedingungen
Einflussfaktoren	Konfliktparameter Überwachungsparameter
Operationalisierung	Konfliktantizipation Zusatzaufgabenleistung

Abbildung 10.1: Die Abbildung zeigt die wichtigsten Merkmale der Untersuchungen zur Konfliktantizipation.

In einer vorhergehenden Untersuchung sollte die Antizipationsfähigkeit von Expertenprobanden genutzt werden um einen Vergleich von Raumdarstellungen zu ermöglichen. Dabei wird angenommen, dass die Antizipation eine Funktion der menschlichen Informationsverarbeitung ist, die durch verschiedene Arten der Darstellung beeinflusst wird. Weiterhin wird die Antizipation unter repräsentativen Reizbedingungen, operationalisiert durch Belastung in verschiedenen Bereichen, beeinflusst. Antizipation selbst ist nun nicht durch die Abweichung bei der Nennung einer Position erhoben, sondern über die Entscheidung, ob ein Objekt einen bestimmten Bereich in der Zukunft erreichen wird oder nicht. Zwar gehören beide Maße, die antizipative Positionsschätzung wie auch die Konfliktbewertung, zu dem Bereich der impliziten Erhebungsmethoden von Situationsbewusstsein (s.a. Kapitel 3.2.4, Abbildung 3.9) die Einschätzung von Konflikten ist jedoch nicht von einem Handlungsergebnis abhängig, sondern benötigt nur eine Entscheidung eines Beobachters. Dies schließt eine Quelle der Unsicherheit aus und ermöglicht über eine binäre Entscheidung die Nutzung menschlicher Leistung für die Darstellungsbewertung. Als grundlegendes Auswertungsmodell wird die klassische Signalentdeckung bemüht.

Um solche Entscheidungen nutzen zu können, werden bestimmte Annahmen über Szenarios, Dynamik und die Darstellung von Bereichen getroffen. Diese sollen für alle Darstellungsarten gelten und sich nicht unterscheiden.

Der in Kapitel 4.4 erhobene Belastungskontext wird durch die Gestaltung von Zusatzaufgaben (ZAG) in visuellen und kognitiven Bereichen abgebildet. Weiter soll durch die Schwierigkeit der Hauptaufgabe die Belastung variiert werden.

Die Ergebnisse werden auf bestimmte Bereiche fokussiert. Es soll die Eignung der drei Darstellungen durch die Ergebnisse der Konfliktantizipation aufgezeigt werden. Hierbei sind die

Ergebnisse der Hauptaufgabe mit den Leistungen in der ZAG in Form von *Performance Operator Characteristics* zu kombinieren. Auf diese Weise können Haupt- und Zusatzufgabe zueinander in Beziehung gesetzt werden (s. Kapitel 3.3.3 und Abbildung 3.11b). Für jede Art der Darstellung wird dann die Leistung für jede mögliche Art des Konflikts (Azimut, Entfernung und Höhe) einzeln betrachtet.

10.1 Raumbewusstsein als Antizipation von räumlichen Konflikten

Raumbewusstsein als mentales Modell ermöglicht die Einschätzung von dynamischen Entwicklungen. Objektpositionen erlauben es, die Genauigkeit eines mentalen Modells zu erheben und daraus Rückschlüsse auf die Qualität der Unterstützung einer Darstellung zu folgern. Objektpositionen sind dabei als retrospektive Messung von Gedächtnisinhalten verstanden, die nach einer Beobachtung aufgezeichnet werden. Die Methode hat, wie in vorangegangenen Kapiteln aufgezeigt, das Potential für eine Bewertung und kann genutzt werden um die Methode an sich weiterzuentwickeln. Problematisch ist diese Art der Erhebung aufgrund methodeninhärenter Aspekte. Da es vor allem das Kurzzeitgedächtnis von Probanden ist, das die Position eines Objekts speichert und wiedergebbar macht, können Gedächtniseffekte die Wiedergabe beeinflussen (s. Kapitel 9.7 und Kapitel 8.2.7). Das heißt, das mentale Modell des Beobachters ist nur indirekt über (eventuell verzerrte) Antworten zugänglich.

Einen direkteren Zugang auf das mentale Modell eines Beobachters erlauben in einer repräsentativen Situation getroffene Entscheidungen des Beobachters. Solche Entscheidungen sind Präkursoren für Handlungen, welche aufgrund der zu bewältigenden Aufgabe und der Konfiguration der Modellvariablen gebildet werden. Die Messung dieser Entscheidungen setzen demnach einen Aufgabenkontext voraus, der in einer bestimmten Situation spezifisch und generell repräsentativ¹ ist.

Abgebildet werden können solche Entscheidungen über das Nachstellen bestimmter Schlüsselsituationen,. Baier (2013) stellt als Kernaufgabe von Fluglotsen die geordnete und effiziente Regulierung des Luftverkehrs heraus. Die Regelung erfolgt unter der Beachtung sog. *Separationsminima*, deren Unterschreiten den Verlust von Luftfahrzeugen bedeuten kann. Das frühzeitige Erkennen eines solchen Separationsproblems kann die Sicherheit des Luftverkehrs erhöhen. Eine Steigerung der Effizienz wird aber maßgeblich durch die Verringerung von Fehlerkennungsraten geleistet: Ein scheinbar unterschrittenes Minimum führt zu einer Umgruppierung von Luftfahrzeugen durch die Luftbereichsüberwachung und verursacht somit einen erhöhten Zeit- und Kostenaufwand.

Parasuraman und Hancock (1999) untersuchen Kollisionswarnungen und bestimmen die Parameter einer Automatisierung als Assistenzsystem für Piloten. Sie stellen fest, dass hohe Fehlalarmraten von automatisierten Systemen oft dazu führen, dass Alarne nicht mehr beachtet werden. Als Lösung dieses Dilemmas wird ein Design auf Basis der Signalentdeckung vorgeschlagen, welches die Fehlalarme minimiert und so für die Nutzer wieder inhaltlich sinnvoll gestaltet.

Bustamante (2008) setzt die Messung von Entscheidungen ein, um die Reaktion von Piloten auf Systemwarnungen des Flugzeugs zu verbessern. Durch eine auf der Signalentdeckung aufbauenden *likelihood alarm technology* konnten sowohl die Genauigkeit als auch die Reak-

¹Repräsentativität unterscheidet sich demnach in *Aufgabenrepräsentativität* und *repräsentative Belastung*. Die Aufgabe sollte inhaltlich repräsentiert sein, die Belastung repräsentativ für die belasteten Module einer Informationsverarbeitung.

tionstendenz von Probanden positiv beeinflusst werden.

Eubanks und Killeen (1983) untersuchen das Entscheidungsverhalten von Kampfpiloten in kritischen Situationen mit Hilfe der Signalentdeckung und leiten daraus Vorschläge für die Verbesserung von Trainingseinheiten ab.

Aus den genannten Untersuchungen kann abgeleitet werden, dass die Signalentdeckung sich zum einen gut für die Erstellung von technischem Design eignet und zum anderen eine probate Analyse- und Erstellungsmethode für Untersuchungen bietet. Wichtig ist die Definition von Schlüsselsituationen, in denen das relevante Verhalten kontrolliert untersucht werden kann. Für den vorliegenden Kontext kann eine solche kritische Schlüsselsituation in der Bereichsüberwachung gesehen werden, die auch in Kapitel 6 beschrieben ist: Jeweils zwei Luftfahrzeuge sind für die Überwachung eines definierten Bereichs zuständig und müssen Einflüge anderer Luftfahrzeuge in diesen Bereich untersuchen und verhindern. Ein Pilot muss dabei die Entscheidung treffen, ob ein Objekt in einen bestimmten Bereich einfiegt oder nicht. Das Vorauswissen ist hier von hoher Bedeutung, da nicht erst gehandelt werden soll, wenn das Ereignis stattfindet, sondern bereits im Vorfeld. Meist ist diese Art von Situation ambig, d.h. eine hochdynamische Situation bietet eine Mehrzahl von Objekten, welche die Konfliktparameter erfüllen können. Eine Entscheidung wird dann auf Basis der Extrapolation des Verständnisses der aktuellen Objektpositionen und der Dynamik der Situation getroffen.

Für eine Untersuchung ist deshalb eine Aufgabe zu erstellen, die eine Antizipation von Bereichskonflikten zulässt und in Kernaспектen durch bestimmte Rahmenbedingungen vergleichbar ist, aber keine operationelle Konfundierung aufweist.

10.2 Hauptaufgabe: Konflikterkennung

Die primäre Aufgabe der Probanden war deshalb, einen Bereichskonflikt aufgrund einer gezeigten Situation möglichst im Voraus zu erkennen und den Kontakt zu benennen, der einen Konflikt verursachen wird. Bei dieser prospektiven Erkennung von Bereichskonflikten sollte ein Proband abschätzen, ob ein Flugobjekt aus einer Menge von Flugobjekten in der Zukunft in den definierten Luftraum einfiegt. Als Maße der Entscheidungsgüte fanden Parameter der Signalentdeckung Verwendung.

Ein Szenario bestand im Folgenden aus einer Menge zu beobachtender Flugobjekte, einer Menge Distraktorelemente und einer definierten Dauer. Der Ablauf ist in Abbildung 10.7 visualisiert. Es sind maximal acht Objekte zu beobachten. Diese erhielten die Buchstaben „A“ bis „H“, um sie eindeutig identifizieren zu können. Als Betrachtungszeitraum jedes Szenarios wurde eine maximale Dauer von 15s festgelegt. Nachdem die Zeit abgelaufen war oder der Proband die Antwort eingegeben hatte, wurde das Szenario beendet. Nach Ablauf der Zeit keine Antworteingabe mehr möglich. Es erfolgte die Präsentation des nächsten Szenarios. Die Antworteingabe erfolgte über ein modifiziertes Numpad (s. Abbildung 10.9), über welches der Konflikt indiziert werden konnte. Wenn eine Situation keinen Konflikt enthielt, konnte dies über die „NO“-Taste angezeigt werden.

Leistung als Konflikterkennungsgüte Die Leistungsmessung erfolgt durch Parameter der Signalentdeckung, aus den Entscheidungsdaten wurden Hit- und False-Alarm-Raten bestimmt, sowie die zugehörige Einschätzungszeit ab Beginn des Szenarios. Ausgehend von diesen Werten wurden weitere Leistungsparameter wie d' oder die Fläche unter der ROC-Kurve (A') bestimmt.

Workload Zur Erhebung der erlebter Workload der Probanden wurde, wie oben, der NASA-TLX (Hart & Staveland, 1988) verwendet (s.a. Abschnitt 3.3.3, Anhang C.1) Die Bewertung fand auf der niedrigsten möglichen Ebene der Faktorstufenkombination statt, um über alle Bereiche Aussagen bezüglich der subjektiv erlebten Workload machen zu können.

Zudem wurde ein eigener Fragebogen erstellt und den Probanden vorgelegt. Hier sollten die Belastung als domänenpezifische Workload in den Bereichen der visuellen und auditiven Wahrnehmung, des Erinnerns von kurz zurückliegendem, allgemein-kognitiver Operationen (Denken, Rechnen, Urteilen, Entscheiden) und dem Vorausdenken, angegeben werden. Die Fragen wurden bereits verwendet, um die Belastungsprofile in Kapitel 4 zu erheben. Da in der folgend beschriebenen Untersuchung die dort ermittelten Belastungen Grundlage für eine repräsentative Belastung sein sollen, diente der Fragebogen der Einschätzung, wie gut die Näherung der ermittelten Profile und der umgesetzten Aufgaben gelang. Der Einschätzungsfragebogen ist in Abbildung 10.2 gegeben.



Abbildung 10.2: Einschätzungsskalen für die Bewertung der modulspezifischen Workload. Der Bogen wurde zur Erhebung der Belastung in repräsentativen Flugsituationen in Kapitel 4 verwendet und in der Untersuchung zu Kontrolle eingesetzt. Durch die Abfrage sollte überprüft werden, inwiefern die Umsetzung der erfragten Belastung (s.a. Abb. 4.2) in der Untersuchung gelungen ist.

Subjektiv erlebtes Situationsbewusstsein Die subjektive Komponente des Beobachters wurde, wie oben, durch den 3D-SART (s. Abschnitt 3.2.4, s.a. Anhang C.2) erhoben. Die Bewertung des Situationsbewusstsein fand auf der niedrigsten möglichen Ebene der Faktorstufenkombination statt.

10.3 Repräsentative Belastung durch Zusatzaufgaben

Die Konflikterkennung sollte unter repräsentativen Belastungsbedingungen bearbeitet werden. Eine solche Umgebung erfordert eine Auswahl aus möglichen Belastungsformen und

Darbietungsarten. Zusatzaufgaben müssen bestimmten Kriterien folgen, um ein Messergebnis wiederholbar zu gewährleisten. Ogden hebt hervor, dass die „*adequacy of a particular secondary task [...] highly dependent on the context of the experimental situation*“ (Ogden, Levine, & Eisner, 1979) ist. Eine Auswahl von geeigneten Zusatzaufgaben kann somit nicht willkürlich erfolgen, sondern muss an der abzubildenden Situation ausgerichtet sein. Die Forderung nach Repräsentativität wird dabei vornehmlich durch den Inhalt der zu bearbeitenden Aufgabe erfüllt. Weiter kann jedoch die konkrete Ausgestaltung nicht über die Merkmale der Umweltbedingungen erfolgen. Deshalb werden bestimmte Auswahlkriterien bestimmt, nach denen die Zusatzaufgaben erstellt und durchgeführt werden.

Auswahlkriterien und Auslegung Es sind Kriterien zu formulieren, die eine Auswahl und Bewertung von ZAG in einem ersten, heuristischen Schritt ermöglichen und letztlich zu einer repräsentativen Auslegung solcher Aufgaben führen. Die Auswahlkriterien gliedern sich dabei in mehrere Ebenen: allgemeine Qualitätskriterien (Knowles, 1963), Inhalt (Fisk, Derrick, & Schneider, 1986; Knowles, 1963) sowie Kontext und Schwierigkeit (Eichinger, Kellerer, Sandl, & Klingauf, 2008; Eichinger, 2011; Wickens & Yeh, 1985; Kostka u. a., 2012).

Die allgemeinen Qualitätskriterien beschreibt Knowles (1963, S. 160-161). Diese umfassen *Interferenzfreiheit*, *Einfachheit*, *zeitliche Selbststeuerung*, *kontinuierliche Bepunktung* und *Vereinbarkeit* mit der Hauptaufgabe. Bei Forderungen nach Interferenzfreiheit und zeitlicher Selbststeuerung müssen Einschränkungen getroffen werden. Eine kontinuierliche Bepunktung und Vereinbarkeit mit der Hauptaufgabe stellen aber unumgängliche Faktoren dar. Weitere Aufgabenkriterien geben Fisk u. a. (1986) vor: eine Zusatzaufgabe soll die gleichen Ressourcen beanspruchen wie Hauptaufgabe, Leistung in der Primär- und Hauptaufgabe müssen aufrechterhalten werden. Ein kontrolliertes und aufwändiges Verarbeiten durch die ZAG ist zudem erforderlich. Fisks Kriterien sind deutlich allgemeiner an einer experimentellen Situation ausgerichtet und stellen vor allem den reibungslosen Ablauf und die grundsätzliche Bearbeitung aller Aufgaben sicher. Der Inhalt einer Tätigkeit muss im Experiment abgebildet werden können. Knowles fasst Zusatzaufgaben deshalb als „*aspects of the total job that may be missing*“ auf (Knowles, 1963). Da der Inhalt einer wirklichen Aufgabe meist nicht kontrolliert umgesetzt werden kann, müssen Aufgaben gefunden werden, welche den inhaltlichen Kontext abstrahiert darbieten können. So kann durch die Darbietung einer Haupt- und einer oder mehrerer Zusatzaufgaben ein realer Aufgabenkomplex in einer Laborumgebung abgebildet werden. Ähnlich argumentieren Eichinger und Kellerer. Zusatzaufgaben bilden eine kontextspezifische Belastungsstruktur ab, um die Arbeitsumgebung angemessen zu reflektieren (Eichinger u. a., 2008; Eichinger, 2011). Deshalb wurde die von Eichinger vorgeschlagene, **informatorische Belastungs- und Beanspruchungsanalyse (IBBA)** verwendet und für das vorliegende Konzept angepasst. Diese Zusammenhänge sind in Kapitel 4.4 dargestellt, das erhobene Belastungsprofil findet sich in Abbildung 4.2. Durch die von Endsley (1999) vorgeschlagenen Kategorien des Situationsbewusstseins kann die IBBA leicht angepasst und durchgeführt werden um so eine kontextgebundene Belastung zu reflektieren.

Umsetzung der Kriterien Die allgemeinen Qualitätskriterien der Aufgaben sollen an der Aufgabenauslegung im Kontext der experimentellen Situation überprüft werden. Dies geschah durch ein zweistufiges Vorgehen in Vorversuchen. Zusatzaufgaben wurden zuerst mit Probanden vorevaluierter und in einem weiteren Vorversuch im Kontext des Experiments überprüft. Hier ergaben sich Änderungen, welche in die finale Auslegung und Ablaufsteuerung mit

einfllossen. Die inhaltliche Festlegung der Aufgaben erfolgte durch Ableitung aus den erstellten Belastungsprofilen (siehe Abbildung 4.2) und Aufgaben, welche Piloten während eines Fluges ausführen müssen bzw. aufgrund theoretischer Überlegungen zu solchen Flügen und allgemeinen Flugaufgaben in bestimmten Anwendungsfällen (siehe auch Kapitel 6). Der Inhalt der Aufgaben wurde dabei soweit abstrahiert, dass diese für alle Situationen gleich und kontrollierbar waren, aber die durchzuführende Tätigkeit abgebildeten. Kontext und Schwierigkeit sind mit dem Inhalt der Aufgaben in dieser Überlegung eng verknüpft. Die IBBA für Situationsbewusstsein in ausgewählten Anwendungsfällen stellt eine Möglichkeit dar, die Triade Inhalt-Kontext-Schwierigkeit abzubilden und in einer einheitlichen Metrik darzustellen (s. Kapitel 6): Wie in Abbildung 4.2 ersichtlich, sind vor allem die perzeptiv-visuelle Aufnahme von Informationen und die kognitive Manipulation von Arbeitsgedächtnisinhalten belastet, die Belastung durch das Erinnern von Situationselementen steht hinter diesen beiden leicht zurück. Auditiv-perzeptive Belastung ist wenig vorhanden, dies schien keine Belastung zu generieren.

Die ZAG wurden nach diesen Vorbedingungen gestaltet. Zudem war die Darbietung festzulegen, welche als Heads-Up-Aufgabe gestaltet wurde. Um eine kontinuierliche Bepunktung und stetige Belastung zu generieren, hatten alle Aufgaben eine feste Taktung mit fixen Zeitintervallen zwischen den einzelnen Trials eines Durchgangs.

Die Leistung der Probanden wurde in allen Aufgaben gleich erhoben. Jede Aufgabe enthielt einen Reiz, der identifiziert werden sollte. Dieser erschien zufällig mit einer Wahrscheinlichkeit von 50%. Die Probanden mussten sich in jedem Trial entscheiden, ob der Reiz vorhanden war (rechte Maustaste) oder nicht (linke Maustaste). So konnte auch für die Zusatzaufgaben die Signalentdeckung als Modell verwendet werden. Die Bepunktung der Aufgabe erfolgte deshalb analog nach der Klassifizierung in Treffer (**Hit, H**), Auslassung (**Miss, M**), Fehlnennung (**False Alarm, FA**) und korrekte Zurückweisung (**Correct Rejection, CR**).

Da die auditive Belastung nicht abgebildet wird sollte, wurde diese zur Steuerung der Aufgabe verwendet. Ein auditives Signal wies auf eine anstehende Aufgabe hin. Auf diese Weise hatte das Signal selbst keine Belastungswirkung, zeigte aber einen zu bearbeitenden Trial an, der Belastung operationalisierte.

Im Folgenden sollen die Aufgaben zur visuellen, kognitiv-erinnernden und kognitiv manipulierenden Belastungsgenerierung vorgestellt werden. Alle Aufgaben wurden mit dem Programm Paradigm (Perception Research Systems Incorporated, 2012) erstellt und dargeboten.

Visuelle Belastung & visuelle Zusatzaufgabe (VISZ)

Die Generierung visueller Belastung wurde durch eine visuelle Suchaufgabe sichergestellt. Diese „*detection secondary task*“ (Gawron, 2008) wurde durch rote und grüne, vertikal oder horizontal orientierte Balken repräsentiert. Die Aufgabe war stark an dem Paradigma der visuellen Suche in der Aufmerksamkeitsforschung ausgerichtet (s.a Treisman, 1982; Visual Attention Lab, 2015) Die Ausrichtung der Balken erfolgte nach einer einfachen Regel, nach der alle Balken der einen Farbe auch eine einheitliche Orientierung besaßen, die andern Balken waren gegensätzlich orientiert. So waren z.B. rote Balken vertikal, grüne Balken horizontal orientiert. Insgesamt besaß das Präsentationsfeld 36 Felder von denen 17 Felder zufällig mit Balken belegt wurden. Die Probanden bekamen nun die Aufgabe, jedes präsentierte Bild (s. Abbildung 10.3) nach einem Balken zu durchsuchen, der nicht regelkonform dargestellt wurde. Dazu war in 50% der präsentierten Bilder ein Balken mit abweichender Orientierung oder Farbe vorhanden (s. Abbildung 10.3a). Der Proband musste nun bei jedem Bild entscheiden,

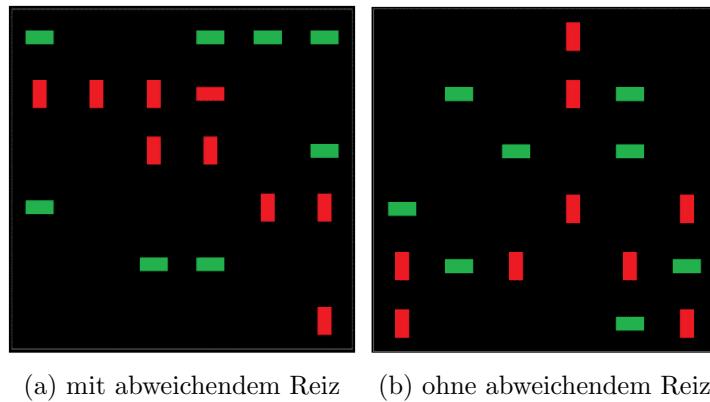


Abbildung 10.3: Die Reize der visuellen Zusatzaufgabe von Experiment 4, Bild 10.3a zeigt das Reizbild mit einem abweichendem Reiz, Bild 10.3b zeigt einen Distraktor.

ob alle Balken regelkonform dargeboten wurden oder ob ein Abweichler zu finden war. Wenn ein Bild keinen Abweichler enthielt, sollte die linke Taste der zur Verfügung stehenden Maus gedrückt werden, bei Abweichlern die rechte Taste (s. Abbildung 10.9a).

Kurzzeitgedächtnisbelastung & Zahlensuche (ZALZ)



Abbildung 10.4: Die Reize der Gedächtniszusatzaufgabe von Experiment 4, Bild 10.4a zeigt die zwei zu suchenden zweistelligen Zielzahlen, Bild 10.4b zeigt eine Folge von acht Zahlen ohne Zielzahlen, Bild 10.4c zeigt eine Folge von acht Zahlen mit beiden Zielzahlfolgen.

Die Belastung durch Erinnerung an bestimmte Elemente wurde durch eine kognitive Zahlensuche operationalisiert. Dieser „memory scanning task“ (Gawron, 2008) wurde durch die Darbietung von Zielzahlen und zu durchsuchenden Zahlensets repräsentiert. Am Anfang einer kompletten Sequenz von Trials wurden den Probanden zwei zweistellige Zielzahlen präsentiert (s. Abbildung 10.4a). Die Probanden mussten sich beide zweistelligen Zahlen merken, es erfolgte keine weitere Hilfe oder Präsentation dieser Zahlen. Im Aufgabenverlauf wurden den Probanden dann visuell achtstellige Zahlenfolgen präsentiert. Die Probanden hatten nun die Aufgabe, in diesen Zielzahlen die memorierten Zahlen wiederzufinden. Dabei sollten sie ihre Suche abbrechen, sobald eine der zweistelligen Zahlen gefunden wurde und dies indizieren. Die zu suchenden Zielzahlen waren mit 50% Wahrscheinlichkeit in einem präsentierten Reizmuster enthalten. Wenn ein Set eine der Zielzahlen enthielt, sollte die linke Taste der zur Verfügung stehenden Maus gedrückt werden, bei Nichtvorhandensein der Zielzahlen sollte die rechte Taste (s. Abbildung 10.9a) gedrückt werden.

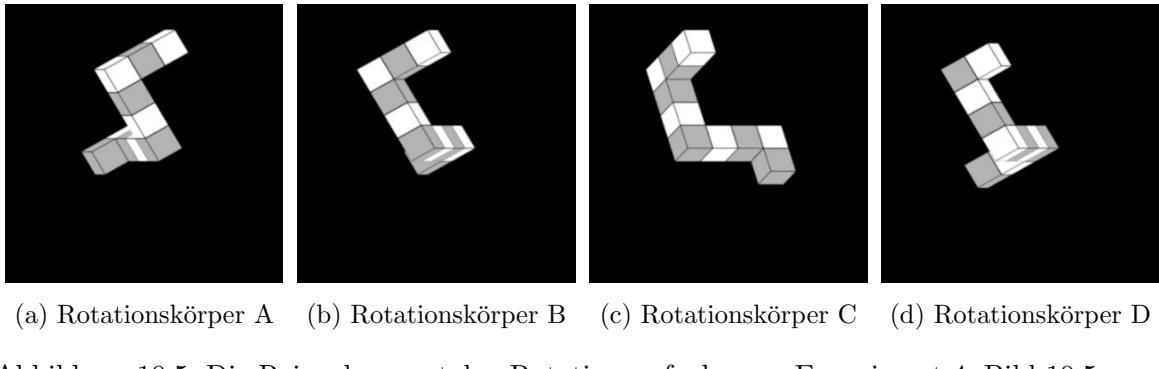


Abbildung 10.5: Die Reize der mentalen Rotationsaufgabe von Experiment 4, Bild 10.5a und 10.5b zeigen den gleichen Körper, Bild 10.5c und Bild 10.5c sind verschiedene Körper.

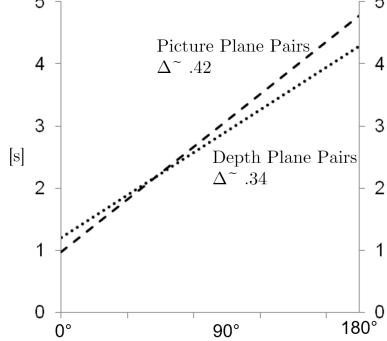


Abbildung 10.6: Mentale Rotationszeit als Funktion des Drehwinkels und der Drehebene nach Shepard und Metzler (1971).

Räumlich-Kognitive Belastung & mentale Rotation ROTZ

Eine Belastungssituation für die kognitive Manipulation von Objekten wurde durch die Erstellung einer mentalen Rotationsaufgabe nach dem klassischen Vorgehen von Shepard und Metzler (1971) erstellt.

Dabei wurde die von Vandenberg und Kuse (1978) vorgegebene Aufgabe zu einem mentale Rotationstest weiterentwickelt. Hierbei wurden einfache perspektivische Figuren aus kubischen Grundbausteinen verwendet. Ein Proband musste dabei entscheiden ob sich Zielfiguren und dargebotene Vergleichsfiguren in Deckung bringen lassen, wobei die Vergleichsfiguren in einer Ebene (x oder z) gedreht sind. Die Zeit, die von Probanden benötigt wurde, um die Figuren mental zu rotieren ist eine lineare Funktion des Drehwinkels der Figur: je weiter in einer Ebene gedreht wird, desto länger dauert die Entscheidung, ob sich eine Deckung herstellen lässt. Dies ist in Abbildung 10.6 illustriert, wobei festgestellt werden konnte, dass eine Drehung in der Bildebene mehr Zeit in Anspruch nahm als eine Drehung in der Tiefenebene ($\Delta = .42$ vs. $\Delta = .34$). Die Schwierigkeit, zwei Figuren deckungsgleich zu rotieren, war vom Drehwinkel und der Drehebene abhängig.

Für die Erstellung der Aufgabe wurden verschiedene Figuren benötigt, welche der Sammlung „Library of Shepard and Metzler type mental rotation stimuli“ (Peters & Battista, 2008, **SMRS**) entnommen waren. Diese Bibliothek stellt über 18000 verschiedene Figuren zur Ver-

fügung.

Alle Figuren bestanden aus 10 Kuben. Die maximale Armlänge betrug 5 Kuben, innerhalb einer Figur gab es maximal zwei Verzweigungen. Es standen 32 Grundfiguren der SMLB (16 normal und 16 gespiegelt) zur Verfügung. Die Figuren waren in 5°-Schritten entlang der X- oder Z-Achse gedreht verfügbar. Für jede Abfrage gab es eine Originalfigur (0°-Drehung: 70° oder 200° reale Drehung) und eine um 40° gedrehte Vergleichsfigur (+/-40°: 30°/110° bzw. 160°/240°). Die gedrehte Vergleichsfigur sollte mit $p = .5$ durch mentale Rotation auf einer Achse mit der Vergleichsfigur in Deckung zu bringen sein, mit $p = .5$ waren die Figuren nicht deckungsgleich. Für die nicht deckungsgleichen Paare wurden gespiegelte Figuren verwendet. Beispielhaft illustriert dies Abbildung 10.6. Bild 10.5a und Bild 10.5b zeigen zwei Vergleichsfiguren die um 40° gedreht aber deckungsgleich waren. Bild 10.5c und Bild 10.5d zeigen zwei Vergleichsfiguren die nicht durch Drehung in Deckung zu bringen waren. Insgesamt wurden 256 Paare gleicher Schwierigkeit gebildet werden.

Die Figuren wurden den Probanden nach dem Tonsignal immer simultan präsentiert. Es war zu entscheiden, ob die beiden Figuren durch Drehung in Deckung gebracht werden können oder nicht. Wenn die Figuren einander entsprachen, sollte die linke Maustaste gedrückt werden, war keine Entsprechung vorhanden, war die rechte Maustaste zu drücken.

10.3.1 Aufgabensynchronisation der Haupt- und Zusatzaufgabe

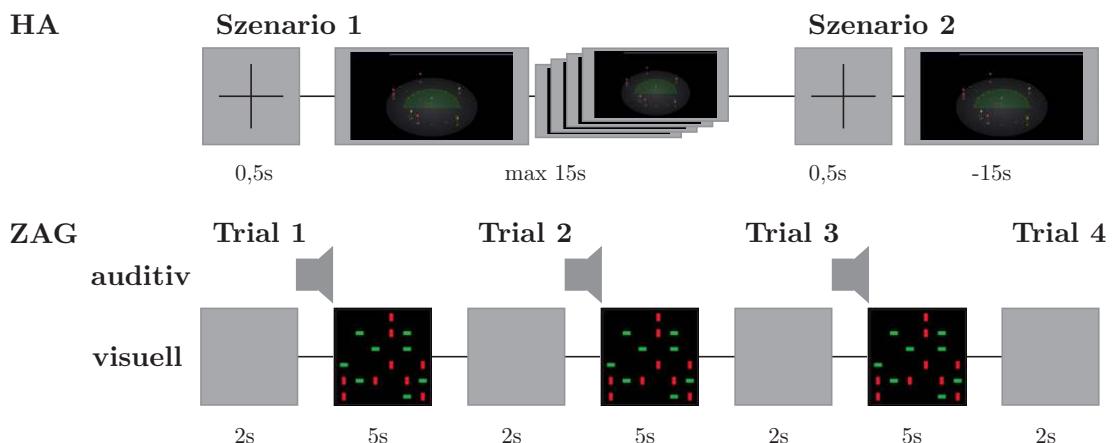


Abbildung 10.7: Der Ablauf eines Trials in Experiment 4 mit Darbietung der Zusatzaufgabe.

Die Reihe „HA“ zeigt die Steuerung der Hauptaufgabe, die Reihe „ZAG“ stellt exemplarisch den Ablauf der visuellen Zusatzaufgabe dar.

Die Haupt- Zusatzaufgabe war parallel zu bearbeiten. Die Hauptaufgabe wurde auf dem unteren, die Zusatzaufgabe auf dem oberen Bildschirm dargeboten (s.a. Abbildung 8.7). Die Primäraufgabe startete immer mit einem weißen, bis auf ein schwarzes Fixationskreuz leeren Schirm. Dies diente der Aufmerksamkeitszentrierung und wurde 0,5s lang gezeigt. Danach folgte die Wiedergabe des Versuchsszenarios bis zur Eingabe der Probandenantwort, maximal aber 15 Sekunden lang. Die Zusatzaufgabe startet simultan mit Einblenden des Szenarios. Ein Trial der ZAG dauert immer drei Sekunden, gefolgt von einer Pause mit zwei Sekunden Dauer. Insgesamt konnten also maximal 3 Trials der ZAG pro Szenario bearbeitet werden.

Den Probanden wurde keine Aufgabenpriorisierung zugunsten der Haupt- oder Zusatzaufgabe vorgegeben, beide Aufgaben waren vollständig und korrekt zu bearbeiten. Somit sollte sichergestellt werden, dass die Verteilung der Aufmerksamkeitsressourcen zu gleichen Teilen auf der Haupt- und Zusatzaufgabe liegen würde.

10.4 Die Erstellung der Szenarien

Um eine Konfliktsituation zu generieren, wurden in Kernaspekten ähnliche Szenarien gebildet. Dies wurde durch ein regelbasiertes Vorgehen gewährleistet und ist folgend dargestellt. Die Erstellung von Szenarien erfolgte automatisiert nach festgelegten Regeln in Matlab. Für alle Flugobjekte wurde ein vereinfachtes Flugverhalten bei realistischer Flugdynamik gewährleistet, jedoch keine offensichtlich operationellen Inhalte abgebildet.

Allgemeine Parameter der Szenarien In allen Konfliktsituationen wurden keine ambigen Grenzfälle, sondern nur eindeutig erkennbare Konflikte gebildet. Zudem durfte sich bei Szenariostart kein Zielobjekt im zu beobachtenden Raumsegment oder in dessen Nähe befinden. Konflikte durften nur nach Mindestzeit auftreten und mussten bei Gesamtschau des Szenarios eindeutig als solche erkennbar sein. Eine genaue Beschreibung des Algorithmus zur Konfliktgenerierung findet sich in Kuntz (2013) sowie bei Möller (2016).

Die Erstpositionierung aller Objekte im Raum erfolgte zufällig, die maximale horizontale Entfernung zum eigenen LFZ durfte nicht mehr als 50 nautische Meilen betragen. Die Höhe eines Objekts wurde zwischen mindestens 5000 Fuß und maximal 60000 Fuß zugewiesen. Diese Verteilung steckte den Ereignisraum für alle Szenarien mit eindeutigen Grenzen ab. Um Objektüberschneidungen und damit Probleme durch Verdeckung und Lesbarkeit der Beschriftung zu vermeiden, waren Mindestabstände von einer nautischen Meile in der Horizontalen und 500 Fuß in der Vertikalen einzuhalten.

Die Objektbewegungen waren ebenso durch Regeln festgelegt. Ein Objekt konnte entweder 600 Knoten, 900 Knoten oder 1200 Knoten schnell sein. Dies führte zu einer maximalen Relativgeschwindigkeit zum eigenen Flugzeug von 2220 Knoten. Die relative Vertikalgeschwindigkeit war im Intervall von -10000 ft/min bis +10000 ft/min zugewiesen. Ob ein Objekt sich auf das eigene Flugzeug zubewegte, wurde durch den relativen Flugwinkel zwischen 0 und 360° operationalisiert.

Die Positionierung des eigenen Flugzeuges fand immer gleich statt. Die Flughöhe betrug 30000 Fuß, die eigene Geschwindigkeit betrug 1020 Knoten bei geradliniger Flugbahn.

Lage des zu beobachtenden Raumsegments Für jedes Szenario wurde ein Luftraum gebildet, den es zu beobachten galt. Dieser war ein egozentrisch referenziertes Zylindersegment. Der Öffnungswinkel des Segments betrug 180° bei einem Radius von 30 nautischen Meilen. Das Segment lag entweder vor oder hinter dem eigenen Luftfahrzeug und entweder über oder unter diesem. Die Höhe war nach unten durch den Boden und nach oben nur durch das Bildschirmende begrenzt. Das Segment wurde mit dem eigenen Luftfahrzeug mitbewegt. Die Wahl der Art des Segments erfolgte aus operationellen Beweggründen. Meist gilt es, die eigene Flugsicherheit vor allem in der eigenen Flugrichtung zur Konfliktvermeidung auf eventuelle Konflikte hin zu überprüfen und daraus abzuleiten, welche Maßnahmen ergriffen werden müssen.

Somit wurden vier Raumsegmente generiert: (A) vorne/oben, (B) vorne/unten, (C) hinten/o-

ben, (D) hinten/unten. Für alle Raumsegmente erschien eine Abschätzung von Konflikten gleich bedeutsam. Aus diesem Grund wurde das Konfliktsegment auch nicht als Faktor mit aufgenommen. Allerdings wurde darauf geachtet, dass die Segmente in gleichem Maß in allen Faktorstufenkombinationen bearbeitet wurden.

10.5 Annahmen und Forschungsfragen

10.5.1 Einflussfaktoren

Aufbauend auf der Bildung von Szenarien werden Einflussfaktoren beschrieben, welche für die Eignungsprüfung der Ansichten zentral sind. Als einer der wichtigsten Faktoren wurde, wie in den vorangegangenen Versuchen ebenso, die Ansicht auf das Konfliktzenario variiert (Ansicht). Zudem unterschied sich die Schwierigkeit der Konfliksuche durch die Anzahl der zu beobachtenden Objekte und die Zeit bis zum Konflikt (Schwierigkeit Hauptaufgabe). Die Art bzw. das Vorhandensein der Zusatzaufgabe wurde ebenso als Einflussfaktor aufgefasst. Im letzten soll die Art des zu suchenden Konfliktes als Azimutal-, Entfernungs- und Höhenkonflikt variiert sein.

Ansichten

Die Raumansichten waren grundlegend gleich wie in den zuvor beschriebenen Versuchen. Neu war in den Darstellungen die Anzeige der Raumsegmente, in die kein zu beobachtendes Objekt einfliegen darf (siehe Abbildung 10.8). Die Darstellung dieses Raumes unterschied sich grundlegend zwischen der koplanaren, der panoramischen und der exozentrischen Ansicht. Zudem wurde an allen Objekten zur Verdeutlichung der Vertikalgeschwindigkeit ein analoger, qualitativer Pfeil angebracht. Dieser verdeutlichte die Steig- oder Sinkrate der Objekte: Deutete der weiße Pfeil vom Objektrepräsentant nach oben bzw. unten, fand eine vertikale Bewegung statt. War kein Pfeil angebracht, befand sich das Objekt im horizontalen Flug. Es erfolgte keine Indikation über die genaue Vertikalgeschwindigkeit, diese konnte nur aus der Beobachtung der Objektbewegung extrapoliert werden.

Koplanare Ansicht: Hier war die zweifache Darstellung des zylindrischen Segments nötig (siehe Abbildung 10.8b). Zum einen wurde dies auf der Karte, zum anderen in der Höhen-Entfernungs-Darstellung angezeigt. In der Karte war jeweils die Grundfläche des Zylindersegments vor oder hinter dem eigenen Luftfahrzeug eingezeichnet. In der Höhendarstellung wurden vertikale, grüne Marker verwendet, um die Segmentrichtung (nach oben / nach unten) zu indizieren.

Exozentrische Ansicht: Die Darstellung der Zylindersegmente erfolgte in der exozentrischen Ansicht ähnlich wie in der Karte der koplanaren Ansicht (siehe Abbildung 10.8a). Der zu beobachtende Halbkreis wurde auf die Grundfläche der Darstellung gezeichnet. Die Höhenmarkierungen unterschieden sich aber grundlegend. Diese waren in die Objektlotlinien integriert und als nach oben oder unten offene Klammern gezeichnet. Sie zeigten so an, dass entweder das obere (nach oben offen) oder das untere (nach unten offen) Segment visualisiert wurde und beobachtet werden sollte.

Panoramische Ansicht: Die Darstellung der Ausdehnung des Zylindersegments wurde ebenso auf der Referenzebene vorgenommen (siehe Abbildung 10.8c). Da hier durch die Abbildungsvorschrift die Azimutskala linear transformiert war und Entfernungsradiale zu Geraden werden, ist das Zylindersegment zu einem Rechteck entfremdet. Die Höhenindikation des Segments wurde als L-förmige Markierungen am äußeren Ende des Segments auf der eignen Flughöhe (grüne Referenzlinie) gezeichnet.

Schwierigkeit der Hauptaufgabe

Die Schwierigkeit der Konflikterkennung wurde durch zwei Aspekte beeinflusst. Zum einen wurde die Zeit bis zum Konflikt sowie die Anzahl der zu beobachtenden Objekte variiert. Die Probanden hatten grundsätzlich keine Möglichkeit, in den 15 Sekunden Dauer eines Szenarios einen Konflikt direkt zu beobachten. Die Konflikte fanden immer nach Ende der Betrachtungszeit statt. Die Zeit zum Konflikt war für eine Manipulation prädestiniert, da logisch aus einem längeren Zeitraum eine höhere Änderungsmöglichkeit der Objektpositionen und Bewegungen bei allen Objekten angenommen werden musste. In der einfachen Form erfolgte ein Konflikt 30 Sekunden nach Ablauf des Beobachtungszeitraumes, in der schweren Form 60 Sekunden nach dem Ablauf.

Die Objektanzahl nahm erheblichen Einfluss auf die Genauigkeit der Positionsschätzung in allen Dimensionen (s.a. Abschnitt 9.7.3). Für die einfache Beobachtungsaufgabe sollten sechs Objekte, für die schwierige acht Objekte beobachtet werden. Die Leistung bei der Wiedergabe einer Position hatte sich bei sechs Objekten als sehr herausfordernd erwiesen, eine Erhöhung auf acht Objekte bei einer Konfliktschätzung erschien dennoch ratsam, da hier je Objekt nur ein Kriterium zu überprüfen war und nicht drei Positionsdimensionen abgerufen werden mussten. Zudem gab es in jedem Szenario immer drei zufällig positionierte Distraktorobjekte, welche für die Aufgabe keine Relevanz besaßen und von den Probanden ignoriert werden sollten.

Art der Zusatzaufgabe

Die Zusatzaufgaben sind in Abschnitt 10.8 inhaltlich beschrieben. Hier soll lediglich eine kurze Auflistung mit den wichtigsten Aspekten erfolgen: Eine Belastung durch Zusatzaufgaben erfolgte, die Haupt- und Zusatzaufgabe waren jedoch immer mit gleicher Priorität (50/50) zu bearbeiten. Vor dem Versuch wurden für die Zusatzaufgaben Grundleistungswerte erhoben. Die Zusatzaufgaben sollten die Probanden in eine repräsentative Belastungssituation versetzen und waren deshalb entweder für die visuelle Aufnahme von Information, die Suche im Arbeitsgedächtnis oder die kognitive Manipulation von aktuellen Inhalten belastend.

Konfliktart

Die Art des Konflikts wurde auf unterster Ebene der Faktorstufen manipuliert und stellt den Inhalt der Konfliktantizipation heraus. Konflikte konnten in der Azimutal-, Entfernungs- und Höhendifferenz dimension auftreten. Zudem wurden konfliktfreie Szenarien generiert. Der Basisatz von Szenarien bestand aus drei Dimensions-Konflikt-Szenarien und drei Leerszenarien. Die Konflikte traten mit einer Wahrscheinlichkeit von $p = .16$ auf, ein Leerszenario mit der Wahrscheinlichkeit von $p = .5$. Diese Zuweisung ermöglichte die Betrachtung von Konflikt- zu Leerszenarien als gleichverteilt. Eine Betrachtung der Konflikte kann somit auf zwei Arten durchgeführt werden. Zum einen konnte eine generelle Aussage darüber gemacht werden, mit

welcher Displayart welche Konflikte vermehrt erkannt oder übersehen wurden, zum anderen ließ diese Einteilung aber auch eine aggregierte Analyse ohne Differenzierung nach Konfliktart zu.

10.5.2 Hypothesen

Aus diesen Faktoren werden Hypothesen abgeleitet und aufgezeigt.

1. Durch die Kugelprojektion, exozentrischer und koplanarer Darstellung werden Unterschiede im Raumbewusstsein generiert, was auch die Konfliktantizipation beeinflusst
 - a) Die Konfliktantizipation ist am höchsten in der koplanaren, und am niedrigsten mit der exozentrischen Darstellung.
 - b) Azimutkonflikte können besser mit der panoramischen und koplanaren Ansicht prädiziert werden als mit der exozentrischen Ansicht.
 - c) Entfernungskonflikte können mit der koplanaren und der exozentrischen Ansicht besser prädiziert werden als mit der panoramischen Ansicht.
 - d) Höhenkonflikte können mit der exozentrischen und der panoramischen Ansicht besser erkannt werden als mit der koplanaren Ansicht.
2. Die Schwierigkeit der Hauptaufgabe beeinflusst die Bildung von Raumbewusstsein:
 - a) Es werden weniger Konflikte erkannt, wenn die Anzahl der zu beobachtenden Objekte größer und der Anticipationszeitraum länger ist.
 - b) Die wahrgenommene Belastung ist durch eine höher Objektanzahl und durch einen längeren Zeitraum höher.
 - c) Das eingeschätzte Situationsbewusstsein ist durch die höhere Objektzahl und durch den längeren Zeitraum bis zum Konflikt niedriger.
3. Die Gabe einer Zusatzaufgabe beeinflusst die Konfliktantizipation negativ:
 - a) Es werden weniger Konflikte erkannt, wenn eine Zusatzaufgabe vorhanden ist.
 - b) Die wahrgenommene Belastung ist durch Zusatzaufgabe erhöht.
 - c) Das eingeschätzte Situationsbewusstsein ist durch die Zusatzaufgabe niedriger.
4. Die Art der Zusatzaufgabe interagiert mit der Darstellung bezüglich der Konfliktantizipation; je höher der räumliche Problemlöseanteil der Zusatzaufgabe, desto schlechter die Konfliktantizipation.
5. Die Konfliktantizipation differenziert sich durch die Darstellung, Zusatzaufgabe und Konfliktdimension.

10.6 Untersuchungsplanung, Versuchsplan

Die oben dargestellten Faktoren wurden in einem Versuchsplan mit 3x(2x4) Faktorstufenkombinationen umgesetzt. Die Hauptfaktoren waren die Ansichten (2D - koplanar, PA - panoramisch, EXO - exozentrisch), die Schwierigkeit der Hauptaufgabe (einfach, schwer), die Zusatzaufgabe (mentale Rotation - ROTZ, visuelle Suche - VISZ, visuelle Zahlensuche - ZALZ)

Ansicht Schwierigkeit Zusatzaufgabe	2D								EXO	PAN	\sum
	einfach	ROTZ	VISZ	ZALZ	schwer			
Messungen	16	16	16	16	16	16	16	16	128	128	384

Tabelle 10.1: Die Faktoren Ansicht, Schwierigkeit der Hauptaufgabe und Art der Zusatzaufgabe als tabellarische Übersicht.

Konfliktanzahl Raumsegment Konfliktdimension	0						\sum
	VO na	VU na	HO na	HU na			
Messungen	1	1	1	1			4

Konfliktanzahl Raumsegment Konfliktdimension	1						\sum
	VO Az	VU Entf	VU He	HO Az	HU Entf	HU He	
Messungen	1	1	1	1	1	1	6

Konfliktanzahl Raumsegment Konfliktdimension	2						\sum
	VO Entf	VO He	VU Az	HO Entf	HO He	HU Az	
Messungen	1	1	1	1	1	1	6

Tabelle 10.2: Aufteilung der Konflikte auf die zu beobachtenden Sektoren (VO - vorderes oberes, VU - vorderes unteres, HO - hinteres oberes, HU - hinteres unteres Segment) und Konfliktdimensionen (Az, Entf, He, na).

und die Konfliktdimension (Azimut, Entfernung, Höhe). Die Konfliktdimensionen wurden als integrierter Faktor in den Szenarien realisiert. In je 16 Szenarien wurden vier Szenarien ohne Konflikt, je vier Szenarien mit Azimut-, vier mit Entfernungs- und vier mit Höhenkonflikt dargeboten. Die Konflikte wurden in Abhängigkeit der Lage des Raumsegments approximativ gleich im Raum verteilt.

Jeder Proband hatte somit 128 Konfliktszenarien mit jeder Ansicht zu bearbeiten. Pro Versuch und Proband wurden 384 Konfliktantizipations schätzungen erhoben. Pro Durchgang benötigten die Probanden etwa 20s, dies resultiert in einer Dauer von ca. 2h für alle Durchgänge.

10.7 Versuchsumgebung, Hardware & Software

Der Versuch wurde im Human Factors Engineering Lab bei Airbus Defence and Space in Manching durchgeführt. Im Mixed-Mock-Up (s.a. Abbildung 8.7) des Labors wurde ein Großflächendisplay mit Head-Up-Area realisiert, welches die Cockpitgeometrie einer zukünftigen Anzeige abbildet (s.a. Kellerer, 2010). Für das Experiment wurde eine Software zur Ablaufsteuerung und Reaktionsmessung erstellt. Eine Übersicht über die Steuerung des Versuches als Ablaufdiagramm ist bei Möller (2016) ersichtlich.

Die Präsentation der Konfliktantizipationsaufgabe wurde auf deinem 30“ Großflächendisplay

vorgenommen, jede Darstellung hatte eine Auflösung von 1920x1200 px. Im Heads-Up Bereich war eine 18“ Anzeige angebracht, auf der die Zusatzaufgaben realisiert wurden. Die Anzeige hatte eine Auflösung von 1280px x 1024px.

Zur Aufzeichnung der Probandenleistung wurden ein modifiziertes Numpad (s. Abbildung 10.9b), eine handelsübliche Maus (s. Abbildung 10.9a) sowie der 30“-Touch-Screen verwendet. Auf dem Numpad wurden die Angaben des Konfliktobjektes in der Hauptaufgabe aufgenommen. Die Buchstaben A bis H waren je einem Objekt zugewiesen, welches durch Tastendruck zu benennen war, wenn es einen Konflikt verursachen würde. Zusätzlich konnten mit der „NO“-Taste Szenarien als konfliktfrei zurückgewiesen werden, wenn nach Ansicht des Probanden kein Konflikt vorhanden war. Die Maus diente zur Bearbeitung der Zusatzaufgabe, in der jeweils beide Maustasten benötigt wurden. Wenn in der Zusatzaufgabe ein Zielreiz vorhanden war, sollte die linke Maustaste gedrückt werden. Wenn der zu suchende Zielreiz nicht vorhanden war, sollte die rechte Maustaste betätigt werden. Die Fragebögen, die auch bereits in den vorangegangenen Versuchen beschrieben wurden (NASA-TLX, SART, Belastungsfragebogen), wurden nach jedem Block dargereicht und die Antworten wurden über den Touch Screen aufgenommen.

Die Software zur Steuerung der Hauptaufgabe und Datenaufzeichnung wurde mit VAPS XT 3.1.2 erstellt (s. Möller, 2016). Diese las eine Konfigurationsdatei mit dem randomisierten Inhalt der Faktorstufenkombination für jeden Probanden ein und steuerte den zeitlichen Ablauf des Versuchs und der Szenarien. Die Datenaufzeichnung erfolgte in Log-Dateien als Textfiles. Die Zusatzaufgaben wurden in Paradigm (Perception Research Systems Incorporated, 2012) realisiert und so auch deren zeitliche und inhaltliche Steuerung sowie Datenaufzeichnung realisiert. Die Ausgabe wurde der erhobenen Daten erfolgte im xls-Format.

10.8 Training

Die Probanden absolvierten sowohl eine Familiarisation mit der Versuchsumgebung als auch je ein Training mit der jeweiligen Ansicht und jeder Zusatzaufgabe.

Die Zusatzaufgaben wurden direkt nach der Instruktion trainiert. Die Probanden sollten in diesem Abschnitt bereits den Aufmerksamkeitswechsel zwischen Haupt- und Zusatzaufgabe verinnerlichen. Das Training sah deshalb vor, die Bearbeitung der Zusatzaufgaben nur dann vorzunehmen, wenn dies auditiv angekündigt wurde, ansonsten waren die Probanden angewiesen, auf ein Fixationskreuz im Head Down Bereich zu blicken. Durch diese Anweisung konnte der Wechsel von Head-Down (Hauptaufgabenbereich) zu Head-Up (Zusatzaufgabenbereich) erlernt werden. Nach dem Training mit einer Zusatzaufgabe wurde die Grundleistung aufgezeichnet.

Die Konflikterkennung mit jedem Display wurde direkt vor dem eigentlichen Versuchsdurchgang mit diesem Display geübt. Dieses Vorgehen sollte es den Probanden ermöglichen, gelernetes direkt umzusetzen. Das Training für die Ansichten war bis auf eine Leistungsrückmeldung identisch mit dem Versuch. Nachdem die Probanden ihr Urteil über einen zukünftigen Konflikt abgegeben hatten, wurde das Objekt hervorgehoben, welches einen Konflikt provozieren würde. Wenn kein Objekt einen Konflikt verursachen würde, wurde dies ebenso mitgeteilt.

10.9 Versuchsablauf

Nach einer Begrüßung im Labor wurden die Probanden schriftlich instruiert. Im folgenden Training wurde schrittweise die Primär- und Zusatzaufgabe geübt und für alle Aufgaben ein Leistungsfeedback gegeben. Nach dem Training erfolgte die Erhebung der Leistung bei einfacher Zusatzaufgabe ohne Hauptaufgabe. Nachdem die Probanden ausreichend trainiert waren, begann der eigentliche Versuch. Jeder Proband arbeitete dabei eine randomisierte Reihenfolge der Blöcke „Ansicht“ ab, in der alle Subblöcke geschachtelt waren. Dieses Vorgehen wurde gewählt, um nicht durch einen ständigen Wechsel der Darstellung Leistungsinterferenzen zu erzeugen. Nach jedem Subblock wurden o.g. Fragebögen durch die Probanden ausgefüllt. Nach etwa zwei Stunden Versuchsdauer erfolgte eine Pause und die Probanden wurden mit Kaffee, Wasser und Snacks versorgt. Hiernach begann der zweite Versuchsblock. Wenn alle Aufgaben bearbeitet waren, wurden die Probanden gebeten, die Ansichten in eine Rangfolge der Nützlichkeit für die Aufgabe zu bringen. Danach wurden sie über den Zweck des Versuchs aufgeklärt und verabschiedet. Der gesamte Versuch dauerte zwischen fünf und sechs Stunden. Kein Proband brach die Durchführung vorzeitig ab.

10.10 Beschreibung der Expertenstichprobe

An dem Versuch nahmen 25 männliche Probanden teil. Das Altersspektrum der Stichprobe rangierte von 27 bis 57 Jahren, $M = 44,7$ $S = 9,3$ Jahre. Alle Probanden waren flugerfahren (Flugstunden: $M = 2870$ h; $S = 1662$), 16 der 25 Probanden waren Piloten, die restlichen Probanden waren Waffensystemoffiziere. Das Tätigkeitspektrum der Probanden umfasste sowohl hochagile als auch Transportflugzeugerfahrung. Aufgrund der Flugerfahrung und des Tätigkeitspektrums kann von einer repräsentativen Stichprobe ausgegangen werden.

10.11 Ergebnisse

Messpunkte Insgesamt wurden 384 Messpunkte (Szenarien) pro Proband bearbeitet, es konnten so 9600 Datenpunkte erfasst werden. Da eine fixe Bearbeitungszeit von 15 Sekunden pro Trial festgelegt war, wurden alle Ergebnistrials entfernt, bei denen die Probanden in dieser Zeit nicht geantwortet hatten. Dies war bei 158 Trials der Fall (1.64% aller Trials). Zudem wurden von den Probanden 600 Fragebogenbewertungen erhoben und 25 Rangfolgen ermittelt. In den Zusatzaufgaben schwankte die bearbeitete Anzahl von Trials. Im Schnitt wurden 35 Trials pro Sequenz präsentiert, hier wurden etwa 25 Trials, also ca. 70%, bearbeitet. Insgesamt konnten so 11116 Messungen erhoben werden.

Darstellung der Ergebnisse Die Umsetzung des Belastungsprofils durch die Zusatzaufgaben findet sich in Abschnitt 10.11, es sei auch auf Kapitel 4 verwiesen, in welchem die Befragung und das nachzubildende Profil zu finden ist.

Es folgt eine Übersicht der festgestellten Effekte in Abschnitt 10.11.1, an die sich die Darstellung der Fragebogenantworten und Antizipationswahrscheinlichkeiten angliedert, getrennt nach den Faktoren Anzeigeart (Abs. 10.11.2), Aufgabenschwierigkeit (Abs. 10.11.3) und Einfluss der Zusatzaufgabe (Abs. 10.11.4). Diese drei Faktoren werden übergreifend für alle Konfliktarten dargestellt. Dann erfolgt eine Aufgliederung in die drei verschiedenen Konfliktarten. Die Darstellung der isolierten Ergebnisse findet sich ebenso bei dem jeweiligen Faktor. Hier

wird auf die sog. Receiver Operator Characteristics ROCs zurückgegriffen, die alle relevanten Parameter (s. Abschnitt 3.2.4) der integriert darstellt.

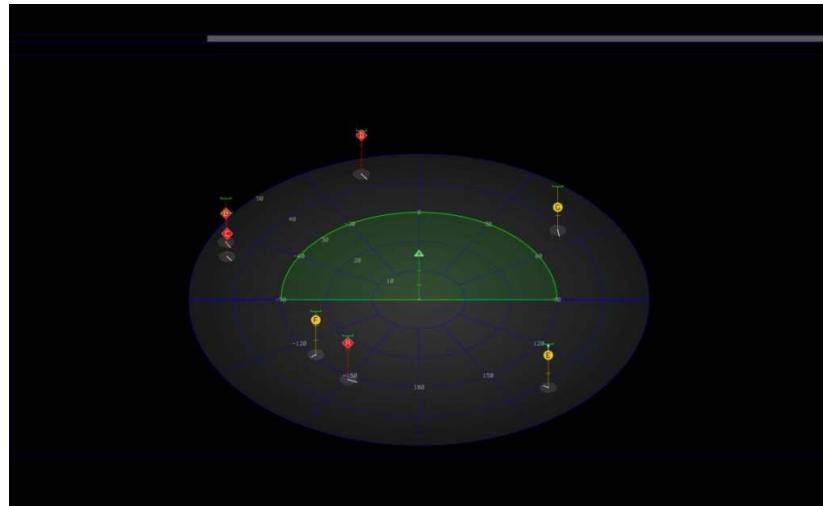
Schließlich wird die Leistung in Haupt- und Zusatzaufgabe in Form von „*Performance Operator Characteristics*“ (**POCs**, s.a. Abbildung 3.11) kontrastiert und vergleichend für die relevanten Faktoren dargestellt. Die Aufteilung der ROCs wie auch der zugehörigen Faktoren erfolgt zuerst global, d.h. es erfolgt keine Trennung in die verschiedenen Konfliktdimensionen. Folgend werden die Daten durch die Einteilung in die Konfliktdimensionen Azimut, Entfernung und Höhe weiter betrachtet. Dabei steht vor allem die Frage im Hintergrund, wie gut die einzelnen Konfliktdimensionen voneinander unterschieden werden können. Soll dies für den Azimut dargestellt werden, sind Konflikte in Entfernung und Höhe als „Noise“-Szenarien definiert. Dies gilt dann ebenso für die Entfernungskonflikte (Azimut und Höhenkonfliktszenarien als „Noise“) und Höhenkonflikte (Azimut und Entfernung als „Noise“).

Umsetzung des Workloadprofils Zuerst sollte qualitativ überprüft werden, wie das in Kapitel 4 erhobene Belastungsprofil durch die Haupt- und Zusatzaufgaben über den gesamten Verlauf des Experiments umgesetzt wurden. Die aus dem gegebenen Belastungsfragebogen erhaltenen Werte werden mit den Werten aus Abbildung 4.2 verglichen. Deren aggregierte Werte finden sich auch in Abbildung 10.10a.

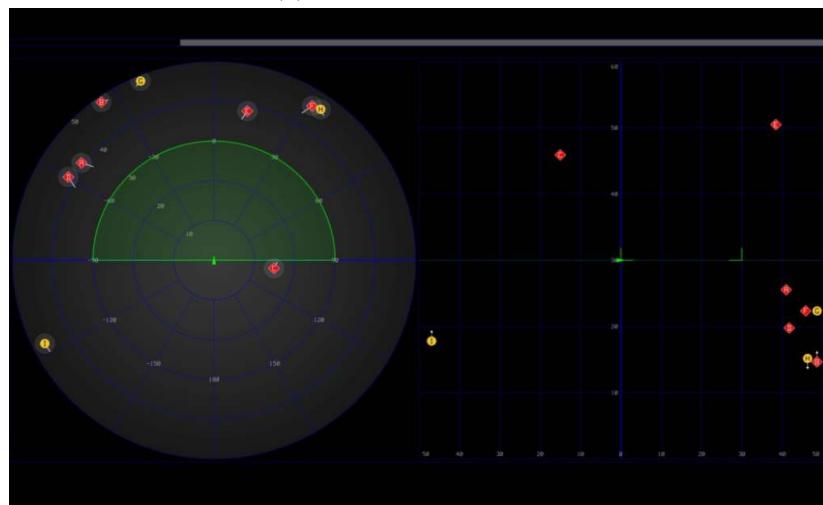
Die Kennlinien in Abbildung 10.10a und Abbildung 10.10b zeigten approximativ einen ähnlichen Verlauf. Beide Kurven zeigten einen Belastungsfokus bei der visuellen, erinnernden, manipulierenden und antizipierenden Modalität, die aurale Belastung war gering. Die Betrachtung der genauen Werte zeigte Abweichungen. Das Erinnern bereits bekannter Information war im Experiment niedriger belastend eingestuft worden als in der Befragung. Die visuelle Belastung war hingegen höher als in der Befragung. Kognitive Manipulation und Antizipation von zukünftigen Umweltzuständen waren hingegen relativ gleich.

In Abbildung 10.10b war zudem eine Einteilung in die drei Hauptfaktoren „Anzeige“ vorgenommen worden. Die Höhe der Balken war jedoch relativ ähnlich, der generelle Trend entsprach der Interpretation der beiden Kennlinien.

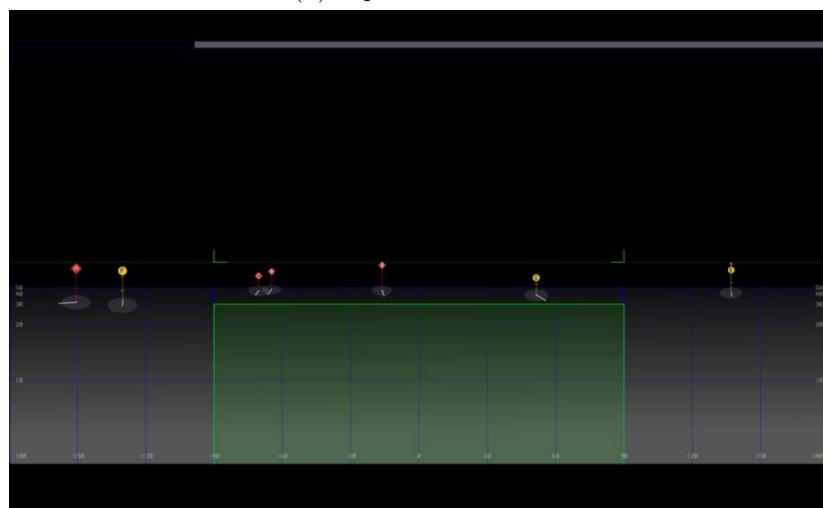
Insgesamt war das durch die Befragung erhaltene Belastungsprofil durch die Gesamtaufgabensituation des Experiments umgesetzt. Für die weiteren Betrachtungen wurde deshalb von einer repräsentativen Belastungssituation im Experiment ausgegangen.



(a) exozentrische Ansicht



(b) koplanare Ansicht



(c) panoramische Ansicht

Abbildung 10.8: Die in Experiment 4 verwendeten Ansichten mit den Raumsegmenten.



(a) Maus



(b) angepasstes Numpad

Abbildung 10.9: In Experiment 4 wurden eine Maus sowie ein angepasstes Numpad zur Eingabe von Antworten verwendet.

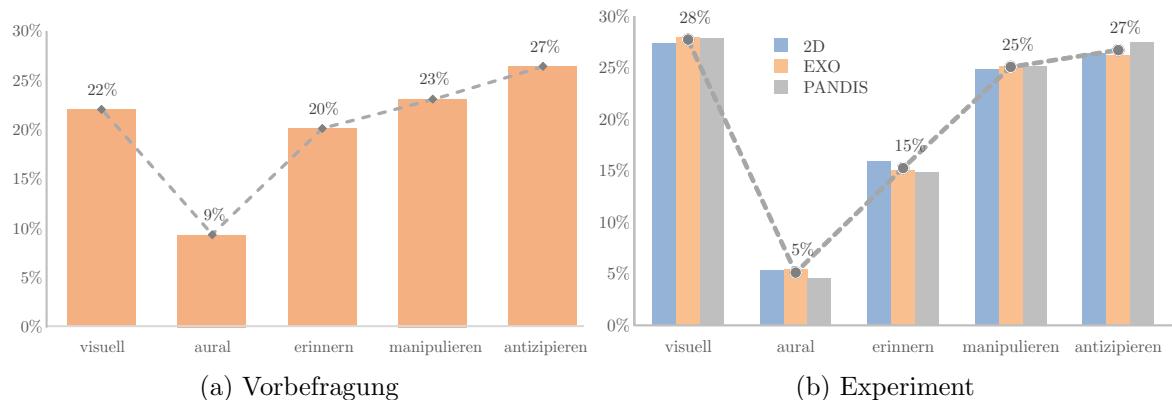


Abbildung 10.10: Die Abbildung zeigt die Gegenüberstellung des erfragten (s. Kapitel 4) und des realisierten Belastungsprofils.

10.11.1 Effekte

In den Abbildungen 10.12 und 10.11 sind die gefundenen Effekte für alle Hauptfaktoren und Interaktionen abgebildet, sowohl für die Fragebögen als auch die Konfliktantizipation. In Anhang D finden sich die zugehörigen Testwerte.

Bei Fragebögen wie auch in den Leistungskennwerten der Konfliktantizipation wirkten sich die der Belastungsfaktoren Zusatzaufgabe und Schwierigkeit der Hauptaufgabe deutlich aus. Hier fanden sich die größten Effekte bis hin zu η^2 von ,95. Die Ergebnisse der Befragung glichen den Ergebnissen der vorangegangenen Untersuchungen. Die Probanden reagierten sensibel auf Veränderungen der Belastung durch situative Faktoren und attribuierten dies auch entsprechend. Dies konnte für den NASA-TLX als auch den SART für den Faktor Zusatzaufgabe, als auch für die Schwierigkeit der Hauptaufgabe festgestellt werden. Allerdings reagierten beide Fragebögen auf den Faktor Schwierigkeit der Hauptaufgabe deutlich geringer als auf den Faktor Zusatzaufgabe. Zudem lies sich bei den Bewertungen mit dem TLX ein nur geringer Einfluss durch die Schwierigkeit der Hauptaufgabe attestieren, hier wiesen lediglich die Subskalen der zeitlichen Anforderung und Anstrengung niedrige bis mittelstarke Effekte aus ($\eta^2 = ,27$ bzw. $\eta^2 = .44$). Die Anzeigeart wirkte sich insgesamt geringer auf die Einschätzung in beiden Befragungen aus. Hier fanden sich Effekte zwischen $\eta_{SW}^2 = [,12; .25]^2$ im SART und Effekte zwischen $\eta_{SW}^2 = [,01; .20]$ im TLX.

Die Effektstärken der Konfliktantizipation fielen für den Faktor Anzeigeart mittelstark bis schwach aus, die größte gefundene Effektstärke ist ein $\eta^2 = ,61$, die kleinste erreichte $\eta^2 = ,01$. Die Anzeigeart hatte vornehmlich Einfluss auf die False-Alarm-Raten, global und bei der Antizipation von Entfernungskonflikten und somit subsequent auch auf die Trengüte d' und die Wahrscheinlichkeit einer richtigen Entscheidung A'. Bei den Faktoren Schwierigkeit der Hauptaufgabe und dargebotene Zusatzaufgabe war eine Leistungs-Einschätzungs-Dissoziation in den Effekten zu erkennen. Die Probanden gaben in den Skalen des TLX und SART an, mehr durch die dargebotene Zusatzaufgabe beeinflusst zu sein als durch die Schwierigkeit der Hauptaufgabe. Die Leistungsdaten der Konfliktantizipation zeichneten jedoch ein diametral entgegengesetztes Bild. Die Effektspannweite des Faktors Schwierigkeit war deutlich weiter $\eta_{SW}^2 = [,06; .95]$ mit eher starken bis sehr starken Effekten. Die Zusatzaufgabe belastete zwar die Leistung der Probanden in der Konfliktantizipation, diese fiel jedoch mit einer Spannweite von $\eta_{SW}^2 = [,05; .63]$ und eher mittleren bis starken Effekten geringer aus. Eine detailliertere Betrachtung der Einzelwirkungen erfolgt in den folgenden Abschnitten.

² η_{SW}^2 gibt die Effektspannweite an.

Konflikte		Display	Schw. HA	ZAG	Disp * Schw	Disp * ZAG	Schw * ZAG	Disp * Schw *	η^2
Global	FA	,61	,06	,13	,15	,32	,35	,32	1,00
	H	,06	,95	,63	,10	,24	,22	,14	,89
	d'	,13	,86	,56	,17	,30	,18	,16	,79
	A'	,21	,66	,49	,23	,25	,21	,16	,69
Azimut	FA	,096	,078	,324	,028	,033	,237	,184	,59
	H	,030	,875	,530	,102	,201	,127	,155	,49
	d'	,011	,531	,370	,087	,043	,179	,097	,39
	A'	,062	,410	,327	,004	,049	,205	,099	,29
Entfernung	FA	,562	,304	,096	,001	,052	,291	,226	,19
	H	,253	,823	,512	,206	,216	,028	,057	
	d'	,557	,322	,175	,028	,039	,238	,203	
	A'	,339	,269	,094	,154	,013	,249	,095	
Höhe	FA	,247	,672	,223	,045	,178	,145	,132	
	H	,005	,537	,160	,046	,061	,163	,208	
	d'	,052	,166	,053	,168	,136	,038	,150	
	A'	,071	,295	,127	,044	,125	,166	,083	

Abbildung 10.11: Die Abbildung gibt eine Übersicht über die festgestellten Effekte der Konfliktantizipation, global wie aufgeteilt nach Konfliktdimension. Alle zugehörigen Testwerte (F, df sowie p) finden sich in Anhang D.

	Dim.	Ans.	Schw.	ZAG	Ans. * Schw.	Ans. * ZAG	Schw. * ZAG	Ans. * Schw. * ZAG	η^2_p
SART	BA	,12	,36	,73	,01	,07	,07	,04	1,00
	VA	,12	,39	,69	,02	,06	,05	,09	,89
	VS	,25	,34	,55	,10	,10	,03	,03	,79
TLX	GA	,13	,12	,69	,04	,05	,03	,05	,69
	KA	,01	,00	,36	,02	,09	,02	,03	,59
	ZA	,20	,27	,79	,08	,06	,04	,07	,49
	AA	,12	,44	,71	,05	,15	,05	,01	,39
	AN	,13	,09	,70	,02	,04	,00	,03	,29
	FR	,13	,10	,63	,02	,04	,04	,03	,19

Abbildung 10.12: Die Abbildung gibt eine Übersicht über die festgestellten Effekte der subjektiven Befragung. Alle zugehörigen Testwerte (F, df sowie p) finden sich in Anhang D.

10.11.2 Displayart

Wie obig festgestellt, führte die Anzeigeart zu geringen bis mittleren Effekten in den Antworten des TLX und SART sowie zu mittleren bis starken Effekten in der Schätzleistung der Konfliktantizipation.

Konfliktantizipationsleistung In Abbildung 10.13 und den Tabellen 10.3 und 10.4 sind die ROC-Kurven und die zugehörigen Leistungsdaten gegeben. Ausgehend von den errechneten False-Alarm bzw. Hit-Rates sowie der abgeleiteten Fläche unter der Kurve A' ergaben sich nur geringe Unterschiede zwischen den Displays. Unterschiede zwischen den Anzeigen wurden mit Hilfe von Bonferroni-adjustierten Paarvergleichen (p_{Bonf}) festgestellt. Diese sind in Tabelle 10.3 bzw. 10.4 in den rechten Kästen abgedruckt. Das Treffen einer richtigen Entscheidung (Konflikt vs. kein Konflikt) konnte am besten mit der koplanaren Ansicht getroffen werden, die exozentrische wie auch die panoramische Ansicht stehen dahinter zurück ($A'_{2D} = ,74$; $A'_{EXO} = ,72$ und $A'_{PA} = ,70$; s.a. Abbildung 10.13a). Die meisten Verwechslungen zwischen Konflikten schienen hierbei in der Entfernungsdimension aufzutreten. Die False-Alarm-Raten unterschieden sich beträchtlich, die wenigsten Fehlentscheidungen wurden mit der koplanaren Ansicht getroffen, gefolgt von der exozentrischen Ansicht und der panoramischen Ansicht ($P(F)_{2D} = ,13$; $P(F)_{EXO} = ,17$ und $P(F)_{PA} = ,20$; s.a. Abbildung 10.13c). Somit ergab sich auch die Reihung 2D-EXO-PA bezüglich der Wahrscheinlichkeit einer richtigen Entscheidung bei der Konfliktdimension Entfernung ($A'_{2D} = ,65$; $A'_{EXO} = ,64$ und $A'_{PA} = ,62$). Die Ansichten haben keinen bedeutenden Effekt auf die Entscheidung, ob azimutale oder Höhenkonflikte vorliegen. Allerdings war die Fehlentscheidungsrate in der Höhendifdimension mit der koplanaren Ansicht ($P(F)_{2D} = ,15$) bedeutend niedriger als mit der panoramischen Ansicht ($P(F)_{2D} = ,19$).

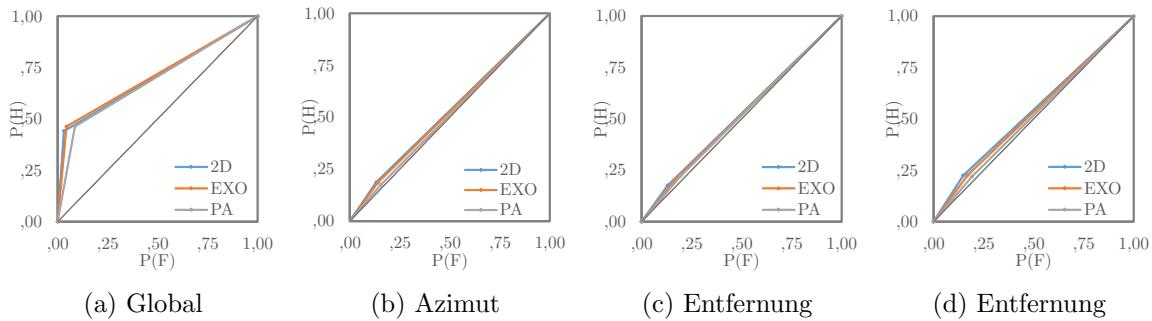


Abbildung 10.13: Konfliktantizipation als Funktion der Anzeigeart global sowie einzeln bei Vorliegen von Azimut-, Entfernungs- und Höhenkonflikten.

Bewertungen in TLX und SART In Abbildung 10.14 und den Tabellen 10.5 sind die subjektiven Einschätzungen der Probanden als Funktion der Anzeigeart dargestellt. Sowohl die Lage der zentralen Parameter auf den einzelnen Subskalen als auch deren Streubreiten ließen nur geringe Unterschiede erkennen. Die Probanden schätzten die Arbeit mit den verschiedenen Anzeigen als recht belastend ein, die Subskalen der geistigen Anstrengung, der zeitliche Aufwand und die Anstrengung des TLX sowie der Bedarf bzw. die Verfügbarkeit von Aufmerksamkeitsressourcen sind nahe an ihren Maxima bzw. Minima. Eine körperliche Anstrengung

Ebene		Disp.	M	SE	95/% KI, UG	OG	p_{Bonf}	2D	EXO	PA
Global	P(F)	2D	,03	,01	,02	,04	2D	,10	,00	
		EXO	,04	,00	,03	,05	EXO		,00	
		PA	,09	,01	,07	,10	PA			
	P(H)	2D	,44	,01	,41	,47	2D	,44	,40	
		EXO	,46	,02	,43	,50	EXO		,44	
		PA	,46	,01	,44	,49	PA			
	d'	2D	4,59	,19	4,19	4,99	2D	,04	1,00	
		EXO	4,47	,21	4,03	4,92	EXO		,04	
		PA	4,14	,17	3,79	4,49	PA			
Azimut	A'	2D	,74	,01	,72	,76	2D	,00	,22	
		EXO	,72	,01	,69	,74	EXO		,00	
		PA	,70	,01	,69	,72	PA			
	P(F)	2D	,13	,01	,11	,15	2D	1,00	,13	
		EXO	,14	,01	,12	,16	EXO		,36	
		PA	,16	,01	,14	,17	PA			
	P(H)	2D	,19	,01	,17	,21	2D	1,00	,71	
		EXO	,19	,01	,16	,21	EXO		1,00	
		PA	,18	,01	,16	,19	PA			
	d'	2D	3,57	,16	3,24	3,89	2D	1,00	1,00	
		EXO	3,63	,18	3,27	3,99	EXO		1,00	
		PA	3,47	,12	3,23	3,72	PA			
	A'	2D	,65	,00	,64	,66	2D	1,00	,14	
		EXO	,65	,01	,63	,66	EXO		,51	
		PA	,64	,00	,63	,64	PA			

Tabelle 10.3: Die Tabelle zeigt die Hit-, False-Alarm-Rate, d' sowie A' für den Faktor Display, Fortsetzung in Tabelle 10.4.

Ebene	Disp.	M	SE	95/% KI, UG	OG	p_{Bonf}	2D	EXO	PA
Entfernung	P(F)	2D	,13	,01	,11	,15	2D	,00	,00
		EXO	,17	,01	,16	,18	EXO		,01
		PA	,20	,01	,18	,21	PA		
	P(H)	2D	,18	,01	,16	,19	2D	,07	,00
		EXO	,21	,01	,18	,23	EXO		,42
		PA	,22	,01	,20	,24	PA		
	d'	2D	3,82	,11	3,60	4,04	2D	,00	,00
		EXO	3,13	,13	2,85	3,41	EXO		,02
		PA	2,67	,13	2,41	2,93	PA		
Höhe	A'	2D	,65	,00	,64	,66	2D	,11	,00
		EXO	,64	,01	,63	,65	EXO		,06
		PA	,62	,00	,62	,63	PA		
	P(F)	2D	,15	,01	,13	,17	2D	,21	,01
		EXO	,17	,01	,15	,19	EXO		,06
		PA	,19	,01	,17	,21	PA		
	P(H)	2D	,23	,01	,21	,24	2D	1,00	1,00
		EXO	,23	,01	,20	,25	EXO		1,00
		PA	,22	,01	,20	,24	PA		
	d'	2D	3,12	,13	2,87	3,38	2D	,89	,29
		EXO	2,91	,18	2,54	3,29	EXO		1,00
		PA	2,84	,14	2,55	3,13	PA		
	A'	2D	,63	,00	,63	,64	2D	1,00	,04
		EXO	,63	,01	,62	,64	EXO		,52
		PA	,62	,00	,61	,63	PA		

Tabelle 10.4: Die Tabelle zeigt die Hit-, False-Alarm-Rate, d' sowie A' für den Faktor Display.

war hingegen nicht vorhanden.

Allerdings bestand in den Dimensionen GA, ZA, AA, AN und FR des TLX sowie allen Skalen des SART der Trend, die exozentrische Ansicht besser zu bewerten als die koplanare oder die panoramische Ansicht. Vor allem der zeitliche Aufwand, die Frustration wie auch das allgemeine Situationsverständnis wurden mit der exozentrischen Ansicht höher eingestuft.

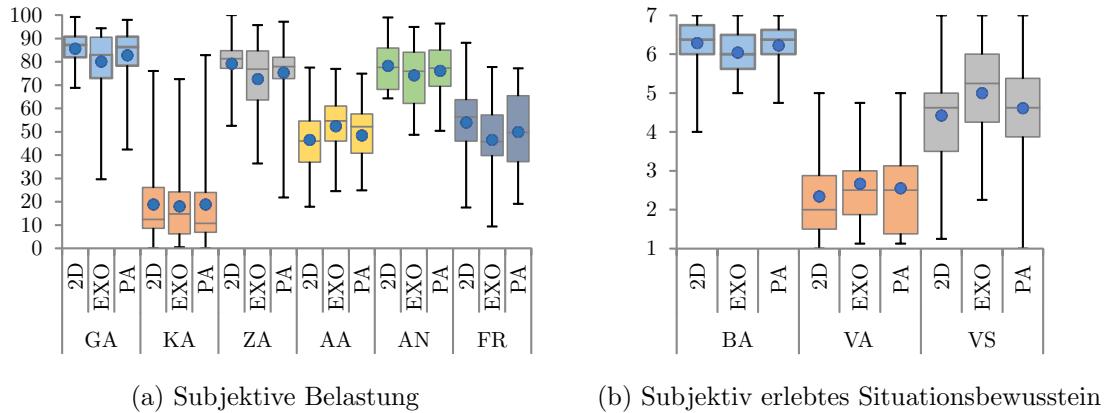


Abbildung 10.14: Subjektiv eingeschätzte Belastung als Funktion der Anzeigeart bei der Konfliktantizipation.

Rangordnung der Nützlichkeit Die Probanden hatten nach dem Versuch die Aufgabe, die drei Ansichten in eine Rangordnung ihrer Nützlichkeit für die gestellte Aufgabe zu bringen. Sie produzierten in der Mehrzahl die folgende Rangordnung:

$$\text{EXO} \triangleright \text{PA} \triangleright \text{2D}$$

Wie in den bereits in der vorangehenden Untersuchung war auch hier eine Tendenz zur Bevorzugung der exozentrischen Ansicht zu erkennen. Als Maß für die Übereinstimmung wurde Kendalls W (K_W) bestimmt. Der für alle Rangordnungen errechnete Konkordanzkoeffizient erreichte $K_W = .40$ ($T = 50$; $df = 2$; $X^2 = 20, 16$). Die Rangordnungen der Probanden weisen eine mittlere Übereinstimmung aus, von den Probanden wurde die exozentrische Ansicht favorisiert.

10.11.3 Aufgabenschwierigkeit

Der Faktor der Aufgabeschwierigkeit in der Hauptaufgabe sollte die Variation der Belastung bei der Bearbeitung dieser ermöglichen, um eine Abschätzung veränderter Szenarioparameter auf die Leistung aufzuzeigen. Wie im vorhergehenden Experiment auch, konnte dies erfolgreich durchgeführt werden; die Variation über die Anzahl der zu beobachtenden Objekte und den Zeitpunkt des Konfliktes erwiesen sich als stabiler Parameter einer Aufgabenschwierigkeit.

Konfliktantizipationsleistung In Abbildung 10.15 und Tabelle 10.6 war die Leistung in der Konfliktantizipation als Funktion der Schwierigkeit der Hauptaufgabe abgebildet. Die zugehörigen Testwerte finden sich in Abhang D.

Global zeigten sich niedrige False Alarm Raten und keine Unterschiede zwischen den Stufen

SART		95% KI				TLX		95% KI			
		M	SE	UG	OG			M	SE	UG	OG
BA	2D	6,29	,13	6,02	6,55	GA	2D	85,52	1,61	82,19	88,85
	EXO	6,05	,12	5,80	6,29		EXO	80,09	2,99	73,92	86,25
	PA	6,23	,12	5,97	6,48		PA	82,73	2,57	77,43	88,03
VA	2D	2,34	,23	1,87	2,81	KA	2D	18,78	3,48	11,59	25,96
	EXO	2,67	,22	2,21	3,12		EXO	17,96	3,24	11,27	24,65
	PA	2,55	,22	2,10	3,00		PA	18,77	4,01	10,50	27,04
VS	2D	4,43	,29	3,83	5,02	ZA	2D	79,17	2,01	75,01	83,33
	EXO	5,00	,26	4,47	5,53		EXO	72,62	3,08	66,25	78,98
	PA	4,62	,25	4,10	5,13		PA	75,28	3,35	68,36	82,19
AA	2D	46,42	3,16	39,90	52,94	AA	2D	46,38	2,91	46,37	58,39
	EXO	52,38	2,63	42,91	53,79		PA	48,35	2,63	42,91	53,79
	PA	78,18	2,10	73,86	82,50		AN	74,19	2,60	68,82	79,56
FR	2D	76,09	2,50	70,94	81,24	FR	2D	53,97	3,34	47,07	60,86
	EXO	76,09	2,50	70,94	81,24		EXO	46,47	3,22	39,81	53,12
	PA	49,86	3,44	42,76	56,96		PA	49,86	3,44	42,76	56,96

Tabelle 10.5: Workload und subjektiv eingeschätztes Situationsbewusstsein als Funktion der Anzeigeart.

leicht ($P(F)_L = ,06$) und schwer ($P(F)_S = ,06$). Allerdings wurde eine deutlich höhere Trefferrate unter der leichten Bedingung erzielt ($P(H)_L = ,53$ vs. $P(H)_S = ,38$). Es besteht eine ebenso höhere Wahrscheinlichkeit sich richtig zu entscheiden ($A'_L = ,74$ vs. $A'_S = ,70$).

In den einzelnen Dimensionen zeigten sich, bis auf den Azimut, Unterschiede sowohl in der Treffer- als auch der Fehlentscheidungsrate. Mit der schweren Aufgabe belastet nahm die Trefferwahrscheinlichkeit bei Entfernungs- und Höhenkonflikten ab und die Fehlentscheidungsrate stieg. Im Azimut ergaben sich keine Unterschiede in der Fehlentscheidungsrate, die Probanden erreichten aber eine bedeutend höhere Trefferrate bei der leichten Bedingung. Dies führte für alle Bedingungen zu einer höheren Wahrscheinlichkeit für die richtige Entscheidung in der leichten Aufgabenbedingung.

Bewertungen in TLX und SART Die subjektive Bewertung des Schwierigkeitsgrades der Hauptaufgabe ist in Abbildung 10.14 und Tabelle 10.5 dargestellt. Die Testwerte zu den Tabellen finden sich in Anhang D.

Bei den Einschätzungen zum subjektiven Situationsbewusstsein (SART) ergab sich in allen Dimensionen ein bedeutender Unterschied zwischen den Stufen der Schwierigkeit. Unter leichten Bedingungen war der Bedarf an Aufmerksamkeitsressourcen geringer, die Verfügbarkeit höher und das allgemeine Verständnis der Situation höher als unter schwierigen Bedingungen. Die Unterschiede erschienen auf den Skalen gering (s. Tab. 10.5, Abbildung 10.16b). Die Lage der Verteilungen suggerierte aber einen deutlichen Unterschied, der auch durch die Effektmaße bestätigt wurde 10.12).

Die im SART gefundenen Unterschiede ließen sich in den Dimensionen des TLX nicht in glei-

chem Maß nachvollziehen. Bis auf die Dimension der Aufgabenausführung (s. Abb. 10.6, AA) ergaben sich keine Unterschiede in der Bewertung zwischen den Stufen der Schwierigkeit der Hauptaufgabe. Hier schienen die Probanden in der leichten Bedingung zufriedener als in der Aufgabenausführung in der schweren Bedingung.

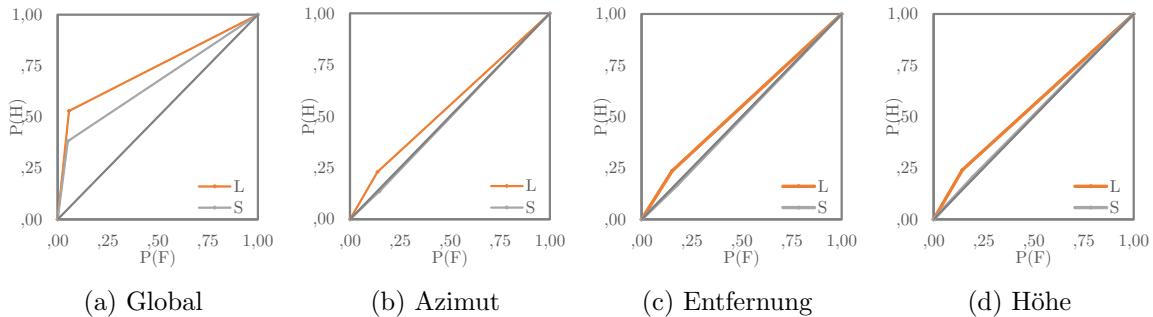


Abbildung 10.15: Konfliktantizipation als Funktion der Schwierigkeit der Hauptaufgabe; global sowie einzeln bei Vorliegen von Azimut-, Entfernungs- und Höhenkonflikten.

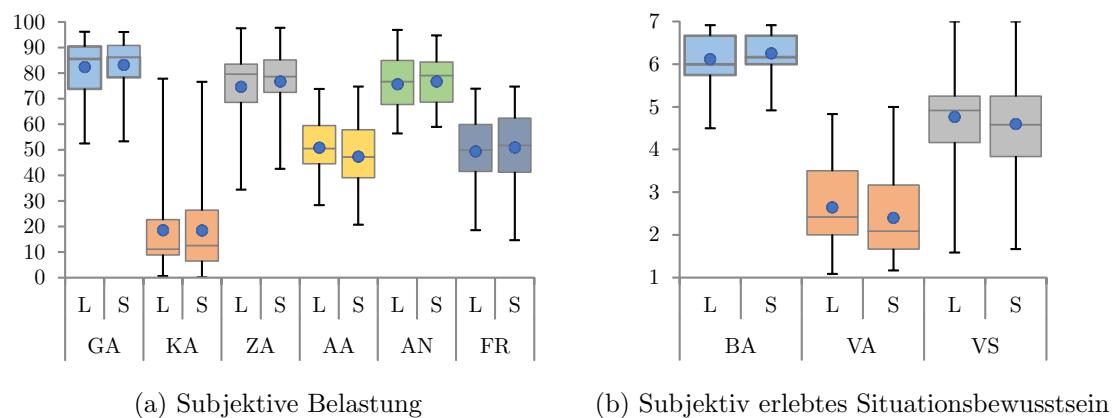


Abbildung 10.16: Subjektiv eingeschätzte Belastung und Situationsbewusstsein als Funktion der Schwierigkeit der Hauptaufgabe bei der Konfliktantizipation.

Ebene	Maß	SchwHa	M	SE	95% KI, UG	OG	p
Global	P(F)	L	,06	,01	,05	,07	,22
		S	,05	,01	,04	,06	
	P(H)	L	,53	,01	,51	,55	,00
		S	,38	,01	,35	,41	
d'	L	4,99	,16	4,66		5,33	,00
	S	3,81	,18	3,43		4,19	
	A'	L	,74	,01	,72	,76	,00
		S	,70	,01	,68	,72	
Azimut	P(F)	L	,14	,01	,12	,15	,17
		S	,15	,01	,13	,16	
	P(H)	L	,23	,01	,21	,25	,00
		S	,14	,01	,12	,15	
d'	L	3,19	,13	2,92		3,46	,00
	S	3,92	,10	3,72		4,13	
	A'	L	,64	,00	,63	,64	,00
		S	,65	,00	,64	,66	
Entfernung	P(F)	L	,15	,01	,14	,17	,00
		S	,18	,01	,16	,19	
	P(H)	L	,24	,01	,22	,25	,00
		S	,17	,01	,15	,19	
d'	L	2,98	,12	2,73		3,24	,00
	S	3,43	,10	3,23		3,63	
	A'	L	,63	,00	,63	,64	,00
		S	,64	,00	,63	,65	
Höhe	P(F)	L	,14	,01	,12	,16	,00
		S	,20	,01	,18	,21	
	P(H)	L	,24	,01	,23	,25	,00
		S	,21	,01	,19	,22	
A'	L	3,08	,14	2,80		3,36	,04
	S	2,83	,10	2,62		3,05	
	S	L	,63	,00	,63	,64	,00
		S	,62	,00	,61	,63	

Tabelle 10.6: Die Tabelle zeigt die Hit-, False-Alarm-Rate, d' sowie A' für den Faktor Schwierigkeit der Hauptaufgabe.

		95% KI				
SART		M	SE	UG	OG	
BA	L	6,12	,12	5,87	6,37	
	S	6,25	,10	6,05	6,46	
VA	L	2,64	,21	2,21	3,07	
	S	2,40	,22	1,95	2,85	
VS	L	4,76	,25	4,25	5,28	
	S	4,60	,26	4,07	5,13	

		95% KI				
TLX		M	SE	UG	OG	
GA	L	82,36	2,21	77,81	86,92	
	S	83,19	2,11	78,84	87,55	
KA	L	18,53	3,51	11,28	25,77	
	S	18,48	3,54	11,16	25,79	
ZA	L	74,66	2,84	68,79	80,53	
	S	76,71	2,50	71,55	81,87	
AA	L	50,82	2,49	45,67	55,97	
	S	47,28	2,69	41,74	52,82	
AN	L	75,60	2,36	70,72	80,48	
	S	76,71	2,16	72,24	81,18	
FR	L	49,33	2,92	43,31	55,35	
	S	50,86	3,00	44,67	57,06	

Tabelle 10.7: Workload und subjektiv eingeschätztes Situationsbewusstsein als Funktion der Aufgabenschwierigkeit der Hauptaufgabe.

10.11.4 Einfluss der Zusatzaufgaben

Die Zusatzaufgaben wurden gewählt, um eine repräsentative Belastungsstruktur ausgewählter Anwendungsfälle experimentell nachzubilden zu können. Hierzu wurden die Aufgaben so erstellt, dass entsprechende Funktionen einer Informationsverarbeitung beeinflusst werden. Der entsprechende Vergleich zwischen den Ergebnissen der Befragung über die Belastung in den Anwendungsfällen und die Einschätzung findet sich oben. Die Zusatzaufgaben beeinflussen die Konfliktantizipationsleistung mittel bis stark. Vor allem die Einschätzungen der Konflikte im relativen Bearing waren davon betroffen, Entfernungs- und Höhenkonflikte wurden kaum beeinflusst.

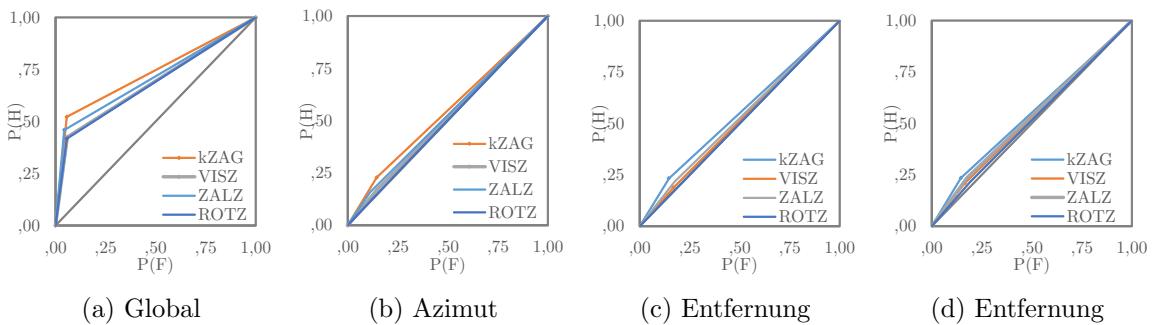


Abbildung 10.17: Konfliktantizipation als Funktion der dargebotenen Zusatzaufgabe; global sowie einzeln bei Vorliegen von Azimut-, Entfernungs- und Höhenkonflikten.

Konfliktantizipation Die Leistung in der Konfliktantizipation ist als Funktion der Zusatzaufgabe in der Abbildung 10.17 sowie den Tabellen 10.8 und 10.9 abgebildet.

In der globalen Betrachtung waren, durch die Zusatzaufgabe beeinflusst, die Fehlalarme auf niedrigem Niveau. Die galt auch für die Messung der Grundleistung ohne Zusatzaufgabe. Die

Ebene	Maß	ZAG	M	SE	95% KI, UG	OG	p_{Bonf}	VISZ	ZALZ	ROTZ
Glob.	P(F)	kZAG	,06	,00	,05	,07	p_{Bonf}	1,00	,14	1,00
		VISZ	,06	,01	,05	,07			,01	1,00
		ZALZ	,04	,01	,03	,05				,15
		ROTZ	,06	,01	,04	,07				
	P(H)	kZAG	,52	,01	,50	,55	p_{Bonf}	,00	,00	,00
		VISZ	,43	,01	,40	,45			,01	1,00
		ZALZ	,46	,01	,43	,49				,01
		ROTZ	,42	,02	,39	,45				
d'	kZAG	5,02	,18		4,64	5,40	p_{Bonf}	,00	,03	,00
	VISZ	3,96	,18		3,59	4,34			,00	1,00
	ZALZ	4,61	,18		4,23	4,98				,00
	ROTZ	4,00	,19		3,61	4,40				
A'	kZAG	,75	,01		,73	,77	p_{Bonf}	,00	,03	,00
	VISZ	,70	,01		,68	,72			,00	1,00
	ZALZ	,73	,01		,71	,75				,02
	ROTZ	,71	,01		,68	,73				
Az.	P(F)	kZAG	,14	,01	,13	,16	p_{Bonf}	1,00	,01	,07
		VISZ	,15	,01	,13	,17			,01	,31
		ZALZ	,11	,01	,10	,13				,00
		ROTZ	,17	,01	,15	,19				
	P(H)	kZAG	,23	,01	,21	,24	p_{Bonf}	,00	,00	,00
		VISZ	,17	,01	,15	,19			,82	1,00
		ZALZ	,16	,01	,14	,18				,90
		ROTZ	,17	,01	,15	,19				
d'	kZAG	3,08	,12		2,82	3,33	p_{Bonf}	,09	,00	,13
	VISZ	3,49	,14		3,21	3,77			,00	1,00
	ZALZ	4,16	,15		3,85	4,46				,01
	ROTZ	3,50	,15		3,20	3,80				
A'	kZAG	,63	,00		,63	,64	p_{Bonf}	,03	,00	,14
	VISZ	,64	,00		,64	,65			,00	1,00
	ZALZ	,66	,00		,65	,67				,04
	ROTZ	,64	,01		,63	,66				

Tabelle 10.8: Die Tabelle zeigt die Leistungswerte für die Hauptaufgabe unter Bearbeitung der Zusatzaufgabe, Fortsetzung von Tabelle 10.9

Ebene	Maß	ZAG	M	SE	95% KI, UG	OG	p_{Bonf}	VISZ	ZALZ	ROTZ
Entf.	P(F)	kZAG	,15	,01	,13	,16	p_{Bonf}	,12	,23	,34
		VISZ	,17	,01	,15	,19		1,00	1,00	
		ZALZ	,18	,01	,15	,20				1,00
		ROTZ	,17	,01	,15	,19				
	P(H)	kZAG	,23	,01	,21	,25	p_{Bonf}	,00	,46	,00
		VISZ	,19	,01	,17	,21		,00	,20	
		ZALZ	,22	,01	,20	,24				,00
		ROTZ	,17	,01	,15	,19				
d'	kZAG	3,01	,15	2,69	3,32		p_{Bonf}	,60	1,00	,06
	VISZ	3,30	,14	3,00	3,59			,32	,77	
	ZALZ	2,96	,15	2,66	3,26					,00
	ROTZ	3,56	,11	3,34	3,78					
A'	kZAG	,63	,00	,63	,64		p_{Bonf}	,71	1,00	,81
	VISZ	,64	,00	,63	,65			,38	1,00	
	ZALZ	,63	,00	,62	,64					,15
	ROTZ	,64	,01	,63	,65					
Höhe	P(F)	kZAG	,15	,01	,13	,16	p_{Bonf}	,54	,09	,00
		VISZ	,17	,01	,14	,19			1,00	,06
		ZALZ	,18	,01	,15	,20				1,00
		ROTZ	,19	,01	,17	,21				
	P(H)	kZAG	,23	,01	,22	,25	p_{Bonf}	,01	1,00	,36
		VISZ	,21	,01	,19	,22		,01	1,00	
		ZALZ	,24	,01	,22	,25				,31
		ROTZ	,21	,01	,19	,24				
d'	kZAG	2,96	,11	2,73	3,20		p_{Bonf}	1,00	1,00	1,00
	VISZ	3,15	,17	2,79	3,50			,45	,68	
	ZALZ	2,88	,14	2,59	3,16					1,00
	ROTZ	2,84	,16	2,51	3,18					
A'	kZAG	,63	,00	,63	,64		p_{Bonf}	1,00	,02	,46
	VISZ	,63	,00	,62	,64			,15	1,00	
	ZALZ	,62	,00	,61	,63					1,00
	ROTZ	,63	,00	,62	,64					

Tabelle 10.9: Die Tabelle zeigt die Leistungswerte für die Hauptaufgabe unter Bearbeitung der Zusatzaufgabe, Fortsetzung von Tabelle 10.8.

SART		95% KI			
		M	SE	UG	OG
BA	K	5,34	,15	5,03	5,65
	VZ	6,58	,10	6,38	6,78
	ZZ	6,39	,12	6,14	6,65
	RZ	6,43	,12	6,17	6,68
VA	K	3,45	,21	3,02	3,89
	VZ	1,98	,23	1,51	2,45
	ZZ	2,37	,24	1,88	2,86
	RZ	2,27	,22	1,81	2,73
VS	K	5,30	,21	4,87	5,73
	VZ	4,27	,29	3,68	4,87
	ZZ	4,69	,27	4,13	5,25
	RZ	4,46	,27	3,90	5,02

TLX		95% KI			
		M	SE	UG	OG
GA	K	73,93	2,61	68,55	79,32
	VZ	87,45	1,93	83,47	91,44
	ZZ	84,01	2,24	79,38	88,63
	RZ	85,72	2,23	81,12	90,32
KA	K	13,60	2,75	7,93	19,27
	VZ	21,15	4,12	12,66	29,65
	ZZ	19,08	3,57	11,71	26,45
	RZ	20,17	3,86	12,22	28,13
ZA	K	57,53	3,36	50,59	64,47
	VZ	85,17	2,01	81,02	89,33
	ZZ	79,11	2,82	73,29	84,92
	RZ	80,94	3,14	74,45	87,43
AA	K	63,79	2,50	58,62	68,95
	VZ	38,01	2,76	32,31	43,72
	ZZ	48,72	2,95	42,63	54,81
	RZ	45,68	3,11	39,27	52,09
AN	K	63,36	2,87	57,43	69,29
	VZ	83,19	2,00	79,06	87,33
	ZZ	78,48	2,53	73,26	83,70
	RZ	79,58	2,33	74,77	84,39
FR	K	34,49	2,68	28,97	40,02
	VZ	61,15	3,45	54,03	68,27
	ZZ	51,99	3,26	45,26	58,71
	RZ	52,76	3,69	45,14	60,38

Tabelle 10.10: Workload und subjektiv eingeschätztes Situationsbewusstsein als Funktion der Zusatzaufgabe.

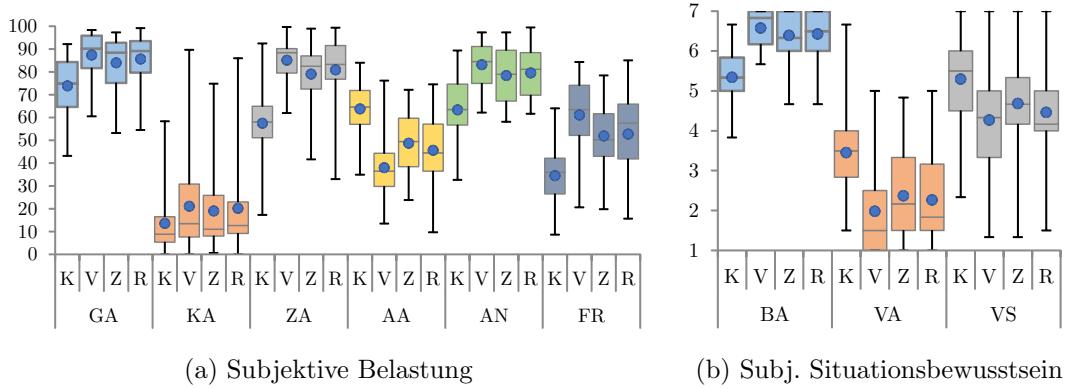


Abbildung 10.18: Subjektiv eingeschätzte Belastung und Situationsbewusstsein als Funktion der Zusatzaufgabe bei der Konfliktantizipation.

Zusatzaufgaben beeinflussten vornehmlich die Trefferraten, diese waren ohne Zusatzaufgabe am höchsten, mit der Aufgabe der mentalen Rotation wurde die niedrigste Leistung erzielt, auch die visuelle Suche belastete die Leistung stark. Die höchste Wahrscheinlichkeit einer richtigen Entscheidung wurde in der Baselinebedingung erreicht ($A'_{kZAG} = ,75$), gefolgt von der Bedingung der Gedächtnissuche ($A'_{ZALZ} = ,73$), die mentale Rotation ($A'_{ROTZ} = ,71$) bedingte neben der visuellen Suche ($A'_{ZALZ} = ,70$) durch die evozierte Belastung die schlechteste Leistung.

Betrachtete man die Konflikte im Azimut gegen Entfernungs- und Höhenkonflikte, stellte man eine deutlich erhöhte Fehlalarmrate über alle Zusatzaufgaben fest. Der Einfluss der einzelnen Zusatzaufgaben zeigte, dass die höchsten Fehlalarme mit der mentalen Rotation zustande kamen, gefolgt von der visuellen Suche. In der Grundleistung wurden von den Probanden mehr Fehlalarme gemeldet als mit der visuellen Zusatzaufgabe. Die Trefferraten sind erwartungskonform bezüglich des Vergleiches mit der Zusatzaufgabe, in jeder Zusatzaufgabe werden weniger Treffer erzielt. Zwischen den einzelnen Aufgaben besteht aber hier kein bedeutender Unterschied. Die Betrachtung der Fläche A' als Indikator zur korrekten Entscheidung spiegelte eben diesen Zustand wieder.

Die Einschätzung, ob ein Konflikt in der Dimension Entfernung vorlag, schien bezüglich der Fehlalarme unbeeinflusst. Es ergaben sich hier auf hohem Niveau keine bedeutenden Unterschiede zwischen den Bedingungen. Die Trefferrate war für die Zahlensuche wie auch für die Grundleistung annähernd gleich, die visuelle wie auch die Rotationsaufgabe evozierte geringere Leistung auf ähnlichem Niveau. Die Unterschiede in den Flächen der Kurven A' zeigten denselben Trend wie die Trefferrate.

In der Konfliktdimension Höhe bestanden keine bedeutenden Einflüsse auf die Rate der Fehlalarme, lediglich die Grundleistung war bedeutend niedriger als in der Rotationsaufgabe. Die Trefferraten waren am höchsten mit der visuellen Suche und in der Grundleistungsbedingung, bedeutend niedriger mit visueller Suche und der Rotationsaufgabe. Die Fläche als Indikator der richtigen Entscheidung zeigte kaum Unterschiede zwischen den Aufgaben, lediglich die Grundleistung unterschied sich von der visuellen Suche.

Bewertungen in TLX und SART Die zugehörigen Werte der Befragung (NASA-TLX, SART) finden sich in der Abbildung 10.18, der Tabelle 10.10 sowie im Anhang D.

Die Art der Zusatzaufgabe führte zu großen Unterschieden in der Bewertung durch die Probanden, sowohl im SART als auch dem NASA-TLX. Dies konnte vor allem an den generierten Effekten (s.a. Abb. 10.12) festgestellt werden, die Spannweite zeigte mittlere ($\eta^2 = ,36$) bis hohe Effekte ($\eta^2 = ,79$). In jedem Fall waren die Grundleistungen als weniger aufwändig bewertet als eine durch die Zusatzaufgabe beeinflusste Bedingung. In jeder Dimension der Fragebögen bestand ein bedeutender Bewertungsunterschied zwischen den Grundleistungen und den Leistungen mit Zusatzaufgabe. Weiter wurde die Zahlensuche als weniger leistungsbeeinflussend wahrgenommen als die mentale Rotation oder die visuelle Suchaufgabe. Am Schwierigsten bewertet wurde, wenn auch mit wenig Unterschied zu nächstschwierigen, die visuelle Suchaufgabe. Die Zusatzaufgabe „mentalen Rotation“ erschien den Probanden leichter und weniger Einfluss auf die Hauptaufgabe nehmend.

10.11.5 Interaktionen

Als Interaktion war vor allem interessant wie die Leistungen der Probanden in der Konfliktantizipation durch die Anzeigen mit den beiden Aufgabenschwierigkeitsgraden der Hauptaufgabe veränderlich waren. Die zugehörigen Abbildungen 10.19 sowie die Testwerte in Anhang D und die Tabelle D.1 zeigen diesen Zusammenhang. Des Weiteren sollte der Einfluss der verschiedenen Zusatzaufgaben bei vorliegen einer bestimmten Anzeige noch eingehender betrachtet werden. In Abbildung 10.20, Anhang D sowie Tabelle D.2 und D.3 sind die zugehörigen Werte abgebildet.

Der Schätzer der Fläche unter der Isosensitivitätskurve A' als Indikator, eine richtige Entscheidung zu treffen, zeigte einen Leistungsvorteil über alle Anzeigen bei der leichten Hauptaufgabe. Der höchste Leistungseinbruch wurde mit der koplanaren Anzeige verzeichnet ($A'_{2D-L} = ,77$; $A'_{2D-S} = ,71$), gefolgt von der panoramischen ($A'_{PA-L} = ,72$; $A'_{PA-S} = ,68$). Die exozentrische Ansicht hingegen schien hier eher leistungskonservierend zu wirken, der Unterschied zwischen beiden Schwierigkeitsbedingungen war hier mit zwei Prozentpunkten am geringsten ($A'_{EXO-L} = ,73$; $A'_{EXO-S} = ,71$). Allerdings stand hier die Leistung hinter der koplanaren Ansicht zurück.

In den einzelnen Dimensionen relatives Bearing, Entfernung und Höhe konnte eine Trennung weniger gut erfolgen, hier lagen die Parameter zwischen $A'_{PA-S,He} = ,61$ und $A'_{2D-S,E} = ,66$ bzw. $A'_{EXO-S,E} = ,66$. Die Trennung der verschiedenen Konflikte voneinander mit Hilfe der Anzeigen erschien besonders schwer, egal welches Display oder welche Dimension vorlag.

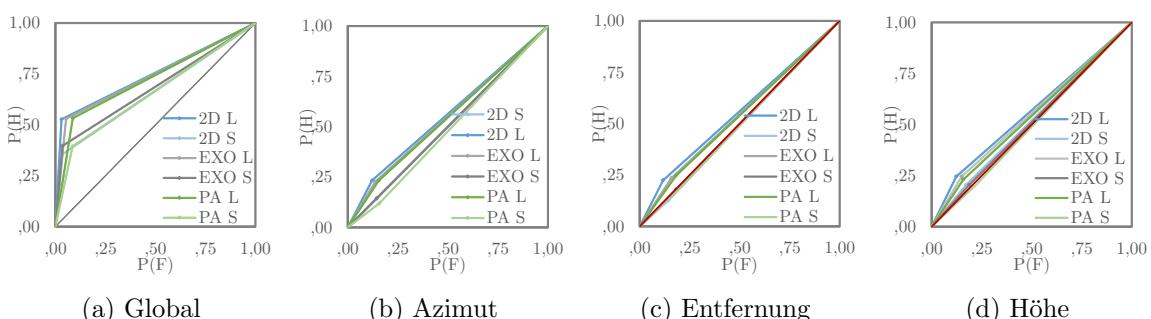


Abbildung 10.19: Konfliktantizipation als Funktion der Anzeigeart und Schwierigkeit der Hauptaufgabe; global sowie einzeln bei Vorliegen von Azimut-, Entfernungs- und Höhenkonflikten.

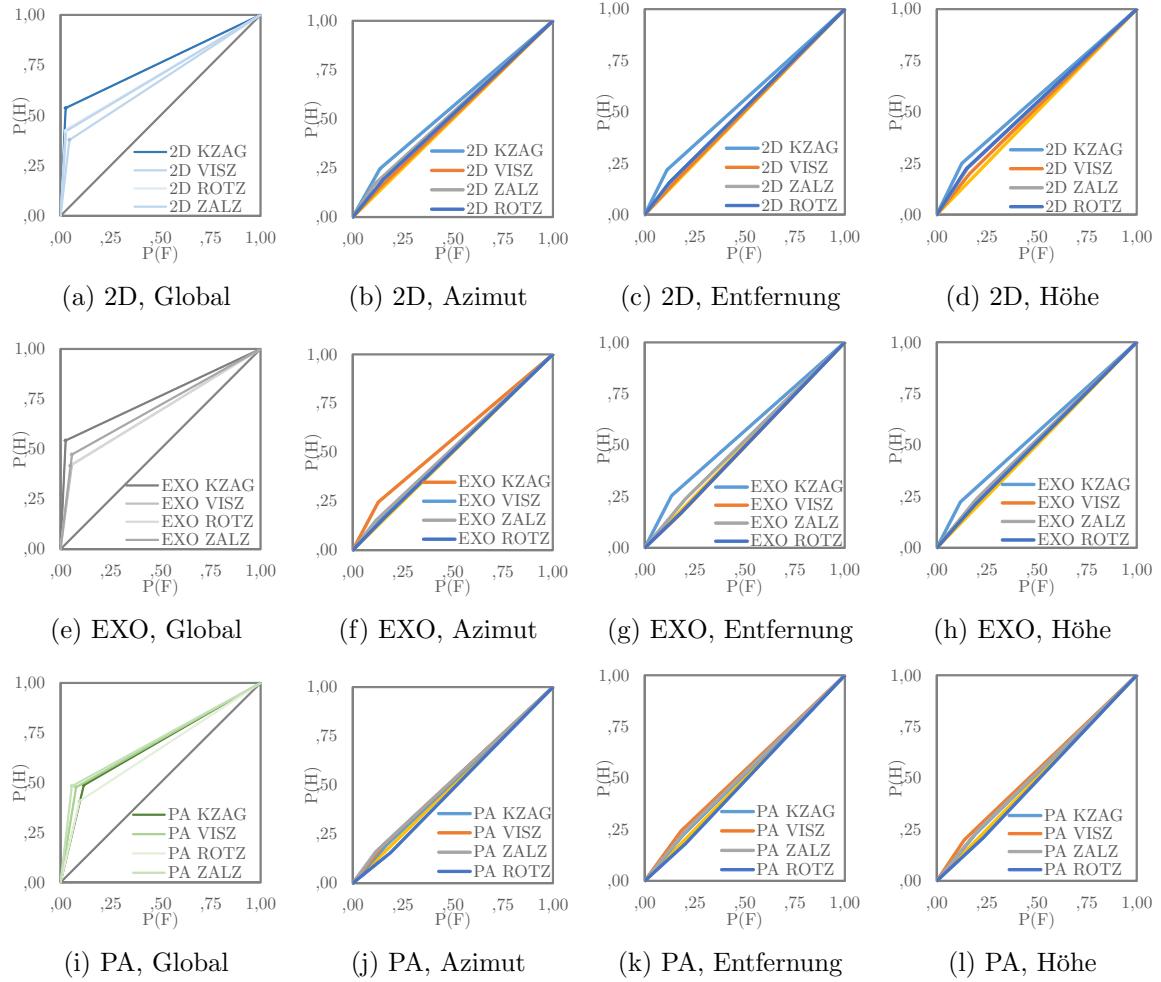


Abbildung 10.20: Konfliktantizipation als Funktion der Anzeigeart und Zusatzaufgabe; global sowie einzeln bei Vorliegen von Azimut-, Entfernungs- und Höhenkonflikten.

Betrachtete man die Konfliktantizipationsleistung in Abhängigkeit der Anzeige und Zusatzaufgabe, konnte man feststellen, dass in allen Fällen die höchste Leistung erreicht wurde, wenn keine Zusatzaufgabe zu lösen war. Bei der globalen Analyse konnte eine Reihung aufgestellt werden, welche den beabsichtigten Schweregrad der Aufgabe widerspiegelte. Die höchsten Leistungen wurden in den Bedingungen mit der Zahlensuchaufgabe erbracht, die visuelle Suche und mentale Rotation bedingten nahezu immer eine schlechtere Gesamtleistung. Allerdings waren die Auswirkungen der Aufgaben eher so einzustufen, dass die Probanden mit der zusätzlichen Belastung höhere Schwierigkeiten hatten, die Aufgabe zu lösen und die entsprechenden Effekte darauf hindeuteten ($\eta^2_{FA, D*Z} = ,32$; $\eta^2_{H, D*Z} = ,24$; $\eta^2_{A', D*Z} = ,25$). Diese Effekte waren dann in den einzelnen Dimensionen kaum mehr zu finden und bewegten sich zwischen minimal $\eta^2_{A', D*Z,E} = ,01$ und maximal $\eta^2_{H, D*Z,E} = ,22$. Die Manipulation der zusätzlichen Belastung und die Gestaltung der Zusatzaufgaben als repräsentative, bereichsspezifische Belastung konnte als gelungen angesehen werden.

Bearbeitungsgrad	ROTZ		VISZ		ZALZ	
	BL	EXP	BL	EXP	BL	EXP
Maximum	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Median	,95	,71	,96	,63	1,00	,79
Minimum	,71	,22	,80	,16	,92	,16

Tabelle 10.11: Maximaler, medialer und minimaler Bearbeitungsgrad der Zusatzaufgabe abhängig von der Zuordnung als Baseline bzw. im Experiment.

10.11.6 Zusatzaufgaben und POCs

Leistungsparameter für Haupt- und Zusatzaufgabe Die Lösung der Antizipationsaufgabe war repräsentativ definiert, d.h. sie musste als Funktion der Bearbeitung als Haupt- und Zusatzaufgabe verstanden werden. In Abschnitt 3.3.3 ist die zu diesem Zweck entwickelte *Performance Operator Characteristic* (POC) beschrieben. Zur Darstellung wurden die Leistung oder der Aufgabenerfüllungsgrad auf den Hauptachsen abgetragen, was eine qualitative Bewertung beider Aufgaben über verschiedene Bedingungen ermöglicht. Mit Hilfe analytischer Geometrie wurde für die POCs die Fläche unter den Kurven berechnet und als Effizienzmaß der Bearbeitung der Aufgaben im Gesamtkontext vorgeschlagen. Um die Fläche zu berechnen, wurden die Koordinaten der Punkte auf den Achsen (Haupt- bzw. Zusatzaufgabenleistung), der (die) Punkte in der Fläche (Haupt- **und** Zusatzaufgabe) und der Nullpunkt als Stützpunkte definiert. Das Flächenmaß wurde dann verwendet, um die verschiedenen POCs untereinander in einem einheitlichen Rahmen zu vergleichen. Die Darstellung der optimalen Leistung erfolgte über die Kennzeichnung des theoretisch denkbaren Leistungsmaximums bei perfekter Aufmerksamkeitsverteilung zwischen beiden Aufgaben. Dieses Maximum wird durch die Grundleistung in den Einzelaufgaben approximiert und ist in den jeweiligen Grafiken durch grau gestrichelte Linien und einen blauen Punkt markiert (s. Abb. 10.24).

Parameter der Bearbeitungsgrade Als Leistung der Hauptaufgabe wurde der Schätzer der Fläche unter der Kurve (A' , y-Achse) verwendet, ebenso für die Leistung der Nebenaufgabe (x-Achse). Beide Parameter waren aufgrund der Berechnung über das Modell der Signalentdeckung gleich skaliert und können direkt miteinander verglichen werden.

Bei der Rohdatenauswertung der Zusatzaufgabe und der Berechnung der Flächenwerte stellte sich eine durchwegs hohe Leistung bei gleichzeitig jedoch bedeutender Auslassrate einzelner Trials heraus (s. Abbildung 10.21 sowie Tabelle 10.21). Die in Abbildung 10.21 gezeigte Aufgabenbearbeitung stellt jeweils den Vergleich zwischen experimentellem Durchlauf (obere Balken) und Baseline (untere Balken) dar. In den Baselinemessungen zeigten die Probanden immer eine deutlich höhere Bearbeitungsquote als in den experimentellen Trials, bis hin zur perfekten Leistung. Die Bearbeitung in den experimentellen Trials war meist deutlich niedriger, wenn auch vereinzelt eine perfekte Aufgabenbearbeitung erzielt werden konnte. Eine Berechnung des Aufgabenerfüllungsgrades über alle Probanden als Schätzer muss deshalb sowohl A' als auch die Anzahl der bearbeiteten Trials umfassen, um der Arbeitsbelastung über den Zeitverlauf gerecht zu werden.

Für den Aufgabenerfüllungsgrad der Zusatzaufgabe wurde deshalb der Flächenschätzer A' mit der relativen Anzahl bearbeiteter Trials der jeweiligen Aufgabe pro Proband gewichtet:

$$A'_{adj} = A'_s * \left(1 - \frac{T_b}{T_g}\right)$$

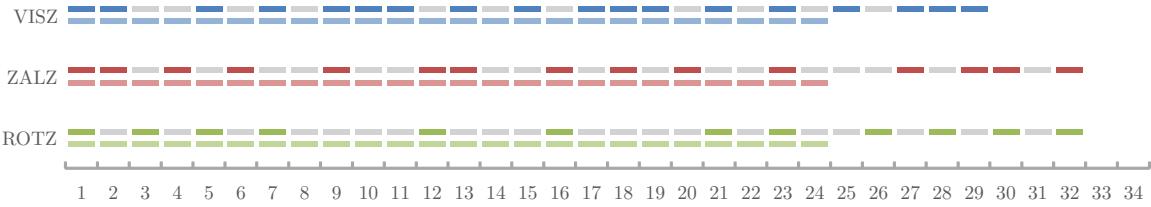


Abbildung 10.21: Dargestellt ist die Bearbeitung der Zusatzaufgaben als Zeitverlauf aus den Rohdaten. Blau stellt die visuelle, Rot die Zahlensuche und Grün Rotationsaufgabe dar. Grau sind nicht bearbeitete Trials. Die obere Reihe ist ein Durchgang aus dem Experiment, die zweite Reihe repräsentiert eine Baselinemessung.

Fläche	ROTZ				VISZ				ZALZ			
	BL		EXP		BL		EXP		BL		EXP	
	A'	A'_{adj}										
Maximum	1,00	,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	,94	1,00	1,00	1,00	,99
Median	,94	,86	,94	,70	,91	,84	,89	,54	,98	,96	,96	,77
Minimum	,53	,42	,39	,09	,68	,65	,00	,00	,89	,73	,50	,08

Tabelle 10.12: Die Tabelle zeigt den Vergleich der ungewichteten und gewichteten Parameter A' und A'_{adj} .

Wobei

- A'_{adj} die adjustierte Leistung,
- A'_s die nicht adjustierte Leistung,
- T_b die bearbeiteten Trials und
- T_g die gesamten Trials eines Durchgangs bezeichnet.

Diese Gewichtung wurde zum einen dem Zeitverlauf der Bearbeitung gerecht, zum anderen wurde eine perfekte Einzelleistung durch eine solche Gewichtung nicht verzerrt. Eine Bearbeitung durch imperfekte Aufmerksamkeitszuweisung zu den beiden Aufgaben wird durch diese jedoch so angepasst, dass alle richtig bearbeiteten Trials mit allen nicht bearbeiteten Trials pro Faktorstufenkombination und Proband adjustiert werden.

In Tabelle 10.21 sind die originären und gewichteten Schätzer der Kurvenflächen enthalten. Im Vergleich der Ausprägungen der Parameter änderten sich die Maxima kaum, aufgrund der Änderungen im Median und den Minima kann aber von einem geeigneten Anpassung an den Bearbeitungsverlauf über die Zeit ausgegangen werden. Die POCs werden mit den so gewichteten Parametern erstellt.

Leistungsvergleich Zusatzaufgaben Die Leistung in den Zusatzaufgaben wurde nun zuerst untereinander verglichen, um im nächsten Schritt die POCs erstellen zu können.

In jedem Fall wurde in der Einzelleistung (Baselinemessung) eine höhere Leistung erzielt als in der Zweiaufgabenbedingung (ROTZ: $t = 4,57$; $df = 24$; $p \leq ,00$; $d_C = ,91$; VISZ: $t = 7,79$; $df = 24$; $p \leq ,00$; $d_C = 1,56$; ZALZ: $t = 7,00$; $df = 24$; $p \leq ,00$; $d_C = 1,40$).

Die Grundleistungen unterschieden sich zwischen den Aufgaben ebenso bedeutend. Die visuelle Suche wurde weniger gut bearbeitet als die Zahlensuche (VISZ vs. ZALZ: $t = -6,57$; $df =$

24; $p \leq ,00$; $d_C = -1,31$), die visuelle Suche unterschied sich aber nicht vom Leistungsgrad der mentalen Rotation (VISZ vs. ROTZ: $t = -,40$; $df = 24$; $p \leq ,69$; $d_C = -,08$). In der Zahlensuche wurde eine höhere Leistung erbracht als in der mentalen Rotation (ZALZ vs. ROTZ: $t = 4,00$; $df = 24$; $p \leq ,00$; $d_C = ,80$)

Verglich man die einzelnen Aufgaben unter Berücksichtigung der Bearbeitung der Hauptaufgabe untereinander, ergibt sich ein erwartbarer Leistungsvorteil der Zahlensuche vor der visuellen Suche (VISZ vs. ZALZ: $t = -6,31$; $df = 24$; $p \leq ,00$; $d_C = -1,26$), sowie der Zahlensuche vor der mentalen Rotation (ZALZ vs. ROTZ: $t = 4,32$; $df = 24$; $p \leq ,00$; $d_C = ,86$). Die visuelle Suche und die mentale Rotation unterschieden sich ebenso bedeutend (VISZ vs. ROTZ: $t = -4,87$; $df = 24$; $p \leq ,00$; $d_C = -,97$).

Die visuelle Suche war die schwerste Zusatzaufgabe, gefolgt von der leichteren mentalen Rotation und der Zahlensuche.

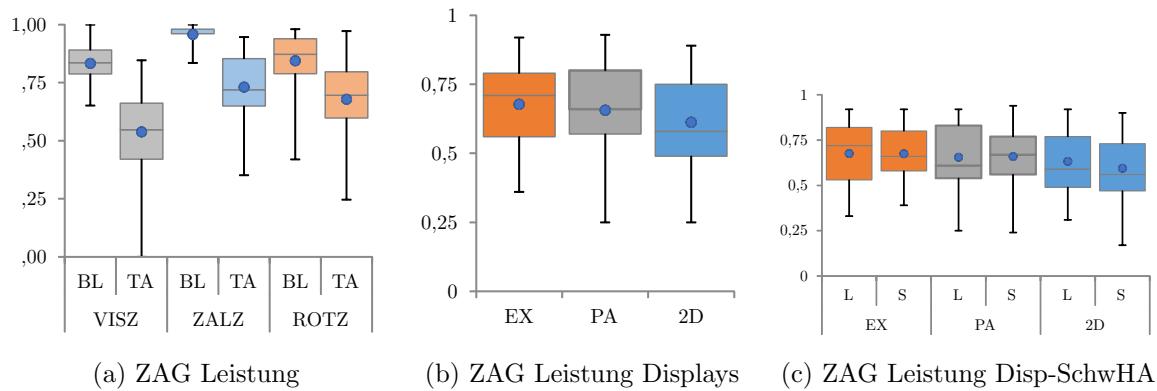


Abbildung 10.22: Die Abbildung zeigt die Leistung in den Zusatzaufgaben im Vergleich mit der Baseline(10.22a), als Funktion des Displays (10.22b) und als Interaktion Display-Schwierigkeit Hauptaufgabe (10.22c) im Antizipationsexperiment.

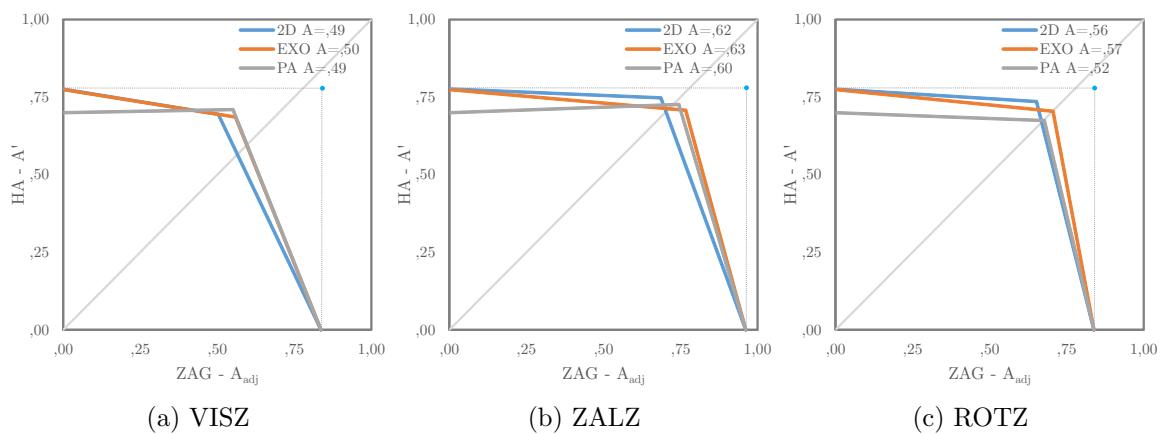


Abbildung 10.23: Die Abbildung zeigt drei POCS für Haupt- und Zusatzaufgabe als Funktion des Displays im Antizipationsexperiment, für die visuelle (10.23a), die Zahlensuch- (10.23b) und die Rotationszusatzaufgabe (10.23c).

POCs Folgend sind die Performance Operator Characteristics zur Leistungsbeurteilung im Zweiaufgabenparadigma aufgeführt. Alle POCs sind mit den Bearbeitungsgraden der Haupt- ($A' \equiv$ Wahrscheinlichkeit der richtigen Entscheidung) und Zusatzaufgabe ($A_{adj} \equiv$ WSK zur richtigen Entscheidung, angepasst) als Werte der y- bzw. x-Achse angetragen. Zudem ist die Fläche unter den Kurven nach obiger Überlegung bestimmt, die Fläche soll dabei als Entscheidungshilfe dienen.

Zuerst ist dargestellt, inwiefern sich die drei untersuchten Anzeigen bei gleicher Zusatzaufgabe unterscheiden (s. Abb. 10.24), nachfolgend wird noch die Untergliederung in die leichte und schwere Hauptaufgabe bei den drei Arten der Zusatzaufgabe vorgenommen (s. Abb. 10.24). In Abbildung 10.24 ist erkenntlich, dass die Art der Zusatzaufgabe, wie oben bereits angedeutet, die gesamte Bearbeitungseffizienz beeinflusst. Die Gesamtleistung der Probanden war, erkenntlich am Flächenparameter A, mit der visuellen Suchaufgabe am geringsten ($A_M = ,49$), eine höhere Bearbeitungsquote wurde mit der mentalen Rotation erzielt ($A_M = ,55$), die höchste mit der Zahlensuche ($A_M = ,62$). Zum einen konnte so auch wieder festgestellt werden, dass die Zusatzaufgaben richtig in Art und Schwierigkeit gewählt wurden, zum anderen sollte so auch eine Differenzierung der Anzeigen unter verschiedenen operationellen Schwierigkeitsgraden gelingen.

Mit der visuellen Zusatzaufgabe (s. Abb. 10.23a) ließen sich nur geringfügige Unterschiede zwischen den Anzeigen feststellen. Grundsätzlich fand sich jedoch eine Priorisierungsstrategie bei allen Anzeigen zu Ungunsten der visuellen Zusatzaufgabe. Die Bearbeitungseffizienz war mit der koplanaren und der panoramischen Ansicht mit $A_{2D,PA} = ,49$ niedriger als mit der exozentrischen ($A_{EXO} = ,50$; s. Abb. 10.23a). Die exozentrische Ansicht war den anderen Ansichten vorzuziehen, da ein Leistungsvorteil in der Grundleistung gegenüber der panoramischen erkenntlich wurde. Gleichzeitig stand die Leistung in der Zusatzaufgabe bei paralleler Bearbeitung gegenüber der koplanaren Ansicht nur wenig zurück.

Mit der Zahlensuche als Zusatzaufgabe (s. Abb. 10.23b) leisteten die Probanden insgesamt mehr. Der Verlauf der Kurven nahe an der Diagonalen sprach für eine gleichmäßige Priorisierungsstrategie zwischen der Haupt- und Zusatzaufgabe. Die niedrigste Gesamtleistung wurde mit der panoramischen Ansicht erbracht ($A_{PA} = ,60$), eine höhere Effizienz konnte mit der koplanaren Ansicht erbracht werden ($A_{2D} = ,62$). Gleichwohl wurde die beste Leistung wiederum mit der exozentrischen Ansicht erbracht ($A_{EXO} = ,63$). Interessant erschien nicht nur die Gesamtleistung, sondern auch die Lage des Punktes der Zweifachaufgabenleistung. Vor allem bei der panoramischen Ansicht schienen die Probanden eine sehr gute Aufmerksamkeitsverteilung zwischen beiden Aufgaben zu realisieren.

Betrachtet man die Effizienz der Zweiaufgabenleistung für alle Ansichten unter der mentalen Rotation (s. Abb. 10.23c), dann kommt man zu einer ähnlichen Interpretation wie mit den anderen Zusatzaufgaben. Auch hier war die Leistung mit der panoramischen Ansicht am niedrigsten ($A_{PA} = ,52$), gefolgt von der koplanaren Ansicht ($A_{2D} = ,56$). Die beste Leistung wurde mit der exozentrischen Ansicht erbracht ($A_{EXO} = ,57$). Die Priorisierung erfolgte hier eher uneinheitlich mit der Tendenz zur Hauptaufgabe. In der Zweiaufgabenleistung lagen sowohl die panoramische als auch die exozentrische Ansicht nahezu auf der Diagonalen, was für eine optimierte Aufgabenpriorisierung sprach.

Über alle Zusatzaufgaben ließ sich erkennen, dass die exozentrische Ansicht den höchsten Effizienzvorteil in der Zweifachbearbeitung zuließ. Zum einen war die Gesamtleistung bei dieser Ansicht in jedem Fall optimiert, zum anderen bestand mit dieser Ansicht die Chance, eine gleichmäßige Verteilung der Aufmerksamkeit zwischen beiden Aufgaben zu erreichen.

Die Schwierigkeit der Hauptaufgabe beeinflusste die Effizienz in der Zweifachaufgabenbear-

10 Antizipation von Bereichskonflikten

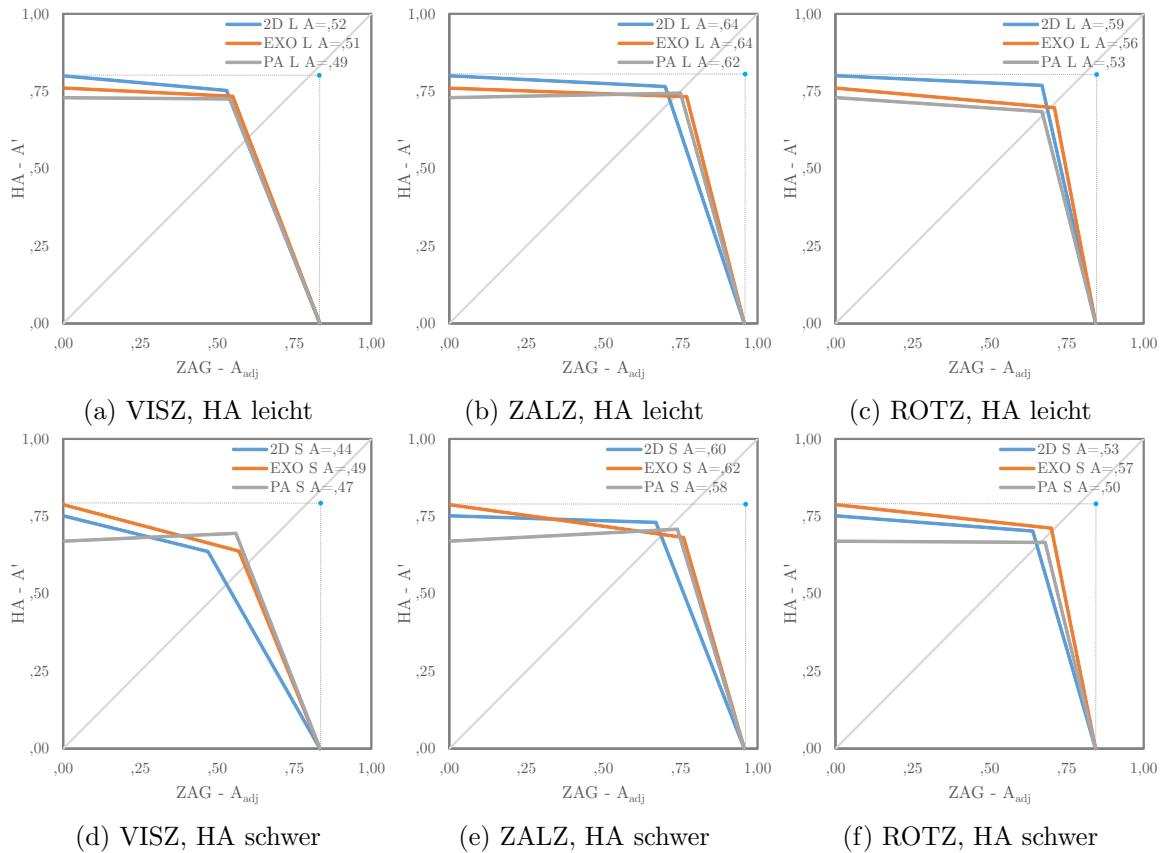


Abbildung 10.24: Die Abbildung zeigt die POCS für Haupt- und Zusatzaufgabe als Funktion der Interaktion Display und Schwierigkeit der Hauptaufgabe im Antizipationsexperiment.

beitung in grundsätzlicher Art und Weise (s. Abb. 10.24). In keiner Kombination von Ansicht und Schwierigkeitsgrad der Hauptaufgabe sowie Art der Zusatzaufgabe war die Leistung höher, wenn die Hauptaufgabe schwieriger wurde. Auch war zu erkennen, dass sich die Leistung unter der Bedingung der leichten Hauptaufgabe zwischen den Ansichten relativ wenig unterschied. Diese Unterschiede wurden größer, wenn die Schwierigkeit der Hauptaufgabe stieg. Betrachtet man den Unterschied der Schwierigkeit der Hauptaufgabe bei der visuellen Zusatzaufgabe (s. Abb. 10.24a und Abb. 10.24d) ist der größte Leistungseinbruch für die koplanare Ansicht zu attestieren. Zwar wurde in der leichten Hauptaufgabe noch die höchste Leistung erzielt ($A_{2D, L} = ,52$), jedoch war hier auch der Leistungseinbruch mit acht Prozentpunkten am größten ($A_{2D, S} = ,44$). Sowohl die panoramische als auch die exozentrische Ansicht ließen weniger Leistung zu, der Effizienzabfall zwischen leichter und schwerer Hauptaufgabe war aber moderater ($A_{PA,\Delta L-S} = ,02$ bzw. $A_{PA,\Delta L-S} = ,03$). Über beide Schwierigkeitsgrade hinweg war die exozentrische Ansicht durch die Höhe der Leistungseffizienz bzw. den relativ niedrigen Verlust an Leistung bei höherer Schwierigkeit den anderen Ansichten vorzuziehen. Betrachtet man den Unterschied der Schwierigkeit der Hauptaufgabe bei der Zusatzaufgabe Zählensuche (s. Abb. 10.24b und Abb. 10.24e) war der Leistungseinbruch für die koplanare Ansicht wie auch die panoramische Ansicht gravierend. Beide Ansichten waren in der leichten Bedingung der Hauptaufgabe um jeweils vier Prozentpunkte besser als der schw-

ren. Die Leistung in der koplanaren Ansicht dominierte die in der panoramischen Ansicht. Die exozentrische Ansicht generierte eine ebenso hohe Leistung wie die koplanare Ansicht ($A = ,64$), mit der exozentrischen Ansicht konnte diese Leistung aber besser konserviert werden ($A_{2D, S} = ,60$ vs. $(A_{EXO, S} = ,62)$). Durch die hohe Leistung unter der leichten Hauptaufgabe sowie die relative Konservierung dieser Leistung konnte ebenso wie unter der visuellen Zusatzaufgabe die exozentrische Ansicht als effizienter gegenüber der koplanaren und panoramischen Ansicht herausgestellt werden.

Der Unterschied der Schwierigkeit der Hauptaufgabe bei der Zusatzaufgabe mentale Rotation (s. Abb. 10.24c und Abb. 10.24f) wirkte sich gravierend auf die Effizienz in der koplanaren und panoramischen Ansicht aus, die exozentrische Darstellung konnte hier die Effizienz erhalten. Sowohl die koplanare Ansicht ($A_{2D, L} = ,59$ vs. $A_{2D, S} = ,53; A_{\Delta L-S} = 0,06$) als auch die panoramische Ansicht ($A_{PA, L} = ,53$ vs. $A_{PA, S} = ,50; A_{\Delta L-S} = 0,03$) bedingten deutlich schlechtere Leistungen mit der schweren als mit der leichten Hauptaufgabe. Die exozentrische Ansicht hingegen konnte auch hier als leistungskonservierend gelten. In der leichten wie schweren Hauptaufgabe wurden hohe Leistungen erzielt (($A_{EXO, L} = ,56$ vs. $A_{EXO, S} = ,57$). Bei einer schweren Hauptaufgabe konnte sogar eine leicht höhere Leistung attestiert werden. Wie bereits in obiger Betrachtung dargelegt, konnte auch hier die exozentrische Ansicht als Superior gegenüber den anderen Ansichten gelten.

10.12 Diskussion

Allgemeine Diskussion der Konfliktantizipationsleistung Die **Ansichten** führen in der Aufgabe, Konflikte sicher vorherzusagen, zu unterschiedliche Leistungen - diese ist am höchsten mit der koplanaren Ansicht, gefolgt von der exozentrischen und der panoramischen Ansicht. Die koplanare Ansicht erlaubt aufgrund der dimensionalen Trennung eine hohe Leistung mit wenigen Fehlentscheidungen, wobei der Unterschied zur exozentrischen Ansicht relativ gering ausfällt. Wenig Einfluss hat die Art der Darstellung auf die Trennung der Konfliktdimensionen, wenn man nur das relative Bearing oder die Höhe betrachtet. Nur, wie zu erwarten, ist die Fehlentscheidungsrate für die Höhe niedriger mit der koplanaren als mit den konkurrierenden Anzeigen. Die subjektiven Bewertungen widersprechen diesen Ausführungen, die Probanden bewerten die exozentrische Ansicht insgesamt besser als die beiden anderen.

Die koplanare Ansicht ist aufgrund ihrer Trennung in zwei Bereiche mit je nur zwei Dimensionen (Azimut x Entfernung und Entfernung x Höhe) eher geeignet, Konflikte zu antizipieren, da hier zeitliche Trends meist linear fortgeschrieben werden können. Dieser theoretische Leistungsvorteil zusammen mit einem erheblichen Trainingsvorteil³ hätte jedoch zu einem deutlicheren Leistungsunterschied führen müssen. Das Ausbleiben dessen kann nur durch die dimensionale Trennung hervorgerufene Komplexitätssteigerung erklärt werden. Wenn zwei Anzeigen betrachtet werden müssen, die dieselbe Situation zeigen, dann müssen Objekte zwischen diesen Anzeigen immer abgeglichen werden, um ein einheitliches Bild der Situation erstellen zu können. Insofern ist ein gefundener, geringer Leistungsvorteil zugunsten der koplanaren Ansicht erwartbar, aber aus auf den Anwendungsfall bezogenen Überlegungen heraus nicht so deutlich, dass er zu einer Empfehlung rein für diese Ansicht führen könnte.

Die **Aufgabenschwierigkeit** beeinflusst mehr die Trefferwahrscheinlichkeit als die Fehlalarme. Sind mehr zu beobachtende Objekte und ein längerer Antizipationshorizont gegeben,

³Diese Anzeigen befinden sich bereits jetzt in den Cockpits, somit musste von einem erheblichen Vorteil gegenüber neueren Anzeigen ausgegangen werden.

führt dies zu erhöhter Unsicherheit, welches Objekt einen Konflikt provozieren wird. In den Einzeldimensionen ist die Entscheidung, ob ein Entfernungs- und Höhenkonflikt schwierig. Das relative Bearing ist nahezu nicht betroffen. Eine weitere Diskussion erfolgt bei den POCs.

Der **Einfluss der Zusatzaufgaben** wird kurz umrissen, die Diskussion erscheint sinnvoller im Rahmen der Zweiaufgabendarstellung mit den POCs. Die Leistungsunterschiede in den Leistungsklassen Fehlalarm und Treffer geben ein interessantes Bild ab. Die Fehlalarme in der Konfliktantizipation sind über alle Zusatzaufgaben auf niedrigem Niveau, jedoch verringern die Zusatzaufgaben gegenüber der Grundleistung die Trefferwahrscheinlichkeiten um bis zu 23%. In den Einzeldimensionen ergibt sich ein stark divergierendes Bild. Die Unterscheidung, ob dimensionsspezifische Konflikte vorliegen, ist noch einmal ungleich schwerer und provoziert deutliche erhöhte Fehlalarme bei relativem Bearing, wohingegen die Entscheidungen in Entfernung und Höhe relativ unbeeinflusst ist. Allerdings gilt auch hier eine relativ schlechte Abgrenzung der Konflikte voneinander. Die Zusatzaufgaben als Belastungsfaktoren einer repräsentativen Evaluierungsumgebung erfüllen durchaus ihren Zweck und beeinflussen die Leistung in gewünschter Weise.

Zweiaufgabenleistung Die **Performance Operator Characteristics** wurden als Entscheidungshilfe aufgezeigt, um die Ansichten schlussendlich für die Konfliktantizipation unter repräsentativer Belastung bewerten zu können, da die Aufgabendualität geeignet abgebildet wird und so der repräsentative Charakter des experimentellen Setups am besten angenähert wird. Die Betrachtung der Kombination **Darstellung** und **Art der Zusatzaufgaben** sowie die Kombination aus **Darstellung**, **Schwierigkeit der Hauptaufgabe** und **Art der Zusatzaufgaben** gibt einen klaren Hinweis auf die Verwendung einer Darstellung; die exozentrische Darstellung ist für diese Art der Aufgabenstellung am besten geeignet.

Werden die Ansichten unter den drei Zusatzaufgaben verglichen, zeigt sich eine erhöhte Bearbeitungseffizienz mit der exozentrischen Ansicht. Zwar ergibt sich in keinem Fall eine annähernd perfekte Leistung, diese Ansicht führt aber zu einer optimierten Aufmerksamkeitsverteilung zwischen Haupt- und Zusatzaufgabe und somit zu einer hohen Gesamtleistung.

Die Trennung in **Darstellung**, **Schwierigkeit der Hauptaufgabe** und **Art der Zusatzaufgaben** stellt dies deutlich heraus. Die exozentrische Ansicht ist für die Konfliktantizipation klar im Vorteil, es erfolgt sogar eine Konservierung der Leistung auf hohem Niveau gegenüber den konkurrierenden Ansichten.

Somit gilt die exozentrische Ansicht als insgesamt aussichtsreichste Darstellung für die Antizipation von räumlichen Relationen, da vor allem unter Zusatzaufgabenbelastung eine höhere Leistung erzielt und erhalten werden kann und auch situationale Faktoren diese Leistung nur wenig verändern.

Teil IV

Fazit

11 Umsetzung des Evaluationskonzeptes und Bewertung der Einzelergebnisse

All lies and jest still, a man hears what he wants to hear and disregards the rest.

„The Boxer“, Simon & Garfunkel

Die Umsetzung des allgemeinen Evaluationskonzeptes aus Kapitel 7 konnte erfolgreich durchgeführt werden. Die Einbettung des summativen Evaluationskonzeptes nach der Voranalysephase mit der theoretischen Ableitung wichtiger Evaluationsfaktoren wie der Triade Technik, Umwelt und Operateur führt zu einer mehrstufigen, experimentellen Bewertung mit stabilen Ergebnissen. Aus diesen kann eine praktischer Empfehlung für die exozentrischen Darstellung von Raum abgeleitet werden.

Grundsatzgebung durch Positionsverständnis Die in 1 aufgeworfenen und in Abschnitt 8.2 überprüften Forschungsfragen können in zwei Erstevaluationen beantwortet werden. Die Kugelprojektion ist grundsätzlich geeignet, den umgebenden Raum interpretierbar darzustellen. Die Untersuchung der großflächigen Darstellung einer Kugelprojektion zeigt, dass in allen untersuchten Darstellungsvarianten präsentierte Objekte mit einem gewissen Fehlermaß genau verortet werden können. Dabei muss jedoch festgehalten werden, dass eine winkelabhängige Verortungszeit in den Darstellungen gefunden werden kann. Die Verortungszeit eines Objektes ist somit eine Funktion des relativen Winkels eines Objekts. Dabei gilt, je weiter ein präsentiertes Objekt von relativ 0° abweicht, desto länger benötigt eine Verortung. Für dieses Phänomen bieten sich ein grundsätzliches Erklärungsmuster an. Es kann sich um ein Artefakt kognitive Verarbeitung in Form mentalen Rotation handeln.

Betrachtet man das Phänomen unter diesem Aspekt, dann handelt es sich um einen Skaleneffekt. In den realisierten 360° -Ansichten ist der Azimut linear skaliert. Die Bildmitte einer solchen Darstellung entspricht 0° , nach links und rechts sind in äquidistanten Schritten je 180° aufgetragen. Ein Objekt, welches den Beobachter in einem definierten Radius umkreisen würde, bewegt sich entlang einer Entfernungsgeraden. Es bewegt sich z.B. rechts auf den Bildrand gegen 180° linear zu, verschwindet bei erreichen dieser Grenze und taucht am linken Bildrand wieder auf. Dort setzt es die Bewegung, wieder linear, zum Nullpunkt fort. Wird der Beobachter einer Szene nach der azimutalen Position eines Objekts gefragt, muss er die Position auf der Linearskala im Bild erfassen. Die Abfragemaske zur Eingabe der Position wurde als Azimutvollkreis realisiert, ist also eine Kreisskala. Die Position des Objektes muss vom Beobachter von der linearen auf die Kreisskala transformiert werden. Je weiter ein Objekt dabei von 0° abweicht, desto länger benötigt der mentale Rotationsprozess zur Verortung auf der Kreisskala. Ähnliche Phänomene der mentalen Rotation wurden von Shepard und Metzler (1971) bereits beschrieben (s.a. Peters & Battista, 2008; Hegarty & Waller, 2004).

Bei einer Implementierung einer solchen Ansicht sollte dieser Effekt nicht außer Acht gelassen werden, er ist durchaus von praktischer Relevanz. Sollen Positionen von Objekten von Pilot zu Pilot während des Fluges kommuniziert werden, geschieht dies nach der in den Untersuchungen realisierten Reihenfolge von Azimut, Entfernung und Höhe. Wenn die Objektposition

in einer 360°-Ansicht stark von 0° abweicht benötigen beide, der durchgebende wie auch der empfangende Pilot, länger, eine Verortung im Azimut zu leisten. Unter Umständen kann dies eine zusätzliche Hilfsdarstellung oder vermehrtes Training der späteren Nutzer erfordern. In dieser Hinsicht sollte eine Untersuchung konzipiert werden, die ein geeignetes Trainingskolloquium aufstellt und evaluiert. Ziel sollte der Nachweis sein, ob ein solcher Effekt durch Training aufgehoben werden kann.

Orientierung und Übertragung auf reale Positionen Die in Block 1 aufgeworfene Frage der Orientierung hin zu realen Positionen durch virtueller Objektrepräsentanten in Abschnitt 8.3 kann als beantwortet angesehen werden. Die Verortung von Objekten in grafischen Masken wie in Abschnitt 8.2 dargestellt, muss keine Unterstützung des Piloten bedeuten. In graphischen Antwortmasken kann das Vorgehen bei einer Positionsweitergabe im operativen Betrieb abgebildet werden, weshalb dieses Vorgehen gewählt wurde. Allerdings muss dies nicht bedeuten, dass ein Proband Raumbewusstsein über das gezeigte Objekt gebildet hat. Die Objekte in der Untersuchung können ohne den Aufbau eines räumlichen Bezugssystems eingetragen werden, da zwischen der Präsentation in der Kugelprojektion und dem Eintragen in die Masken nur die Transformation auf ein zirkuläres (relative Bearing) oder lineares (Entfernung und Höhe) Bezugssystem geleistet werden muss. Eine solche Transformation kann auch ohne ein räumliches Modell oder mit einem ungenügendem Modell erfolgen.

Um diesem Aspekt nachzugehen, erfolgt eine weitere Untersuchung mit Operationalisierung einer natürlichen Orientierungsreaktion als Leistungskriterium. Hier wird die Präsentation eines Objektes im virtuellen Raum vorgenommen und die Angabe der realen Objektposition im den Probanden umgebenden Raum verlangt. Somit muss eine Transferleistung zwischen dem virtuellen und dem realen Raum geleistet werden, die nur erbracht werden kann, wenn ein geeignetes räumlich-mentales Modell vorliegt. Die Probanden erbringen die entsprechende Verortungsleistung relativ schnell nach wenig Training. Dies deutet darauf hin, dass die Darstellungsart geeignet ist, den Aufbau eines stabilen mentalen Bezugssystems zu unterstützen. In dem ersten Vergleich mit einer traditionellen Darstellung wird von der Annahme ausgegangen, dass dieses bei der Bildung räumlich mentaler Modelle nützlich ist und einen verlässlichen Vergleich zulässt.

Verortungszeit und Genauigkeit liefern interessante Ergebnisse, die Genauigkeit der Verortung ist vor allem entlang der Hauptachsen (0° - 180° ; 90° - 270°) hoch und liegt zwischen 75% und 100%. Die Verortungszeit ergibt ähnliche Ergebnisse, es finden sich entlang der Hauptachsen geringere Verortungszeiten als zwischen diesen. Diese Ergebnisse sind ein Indiz für die Bildung eines räumlichen mentalen Modells. Ein erster Vergleich mit der traditionellen Kartendarstellung ergibt, dass eine Verortung mit der Kugelprojektion zum einen langsamer und zum anderen ungenauer geleistet wird. Die Karte birgt aufgrund der bekannten Darstellungsmetapher Vorteile gegenüber der Kugelprojektion.

Zuletzt soll die Expertise der Probanden Auskunft über die Erlernbarkeit der Darstellung zulassen, weswegen eine Novizengruppe mit einer Expertengruppe (Piloten) verglichen wird. Vergleicht man den Einfluss der Expertise der Probanden und wertet diesen als Indiz für die ihre Trainiertheit und ihr Grundverständnis solcher Darstellungen, zeigt sich, dass Expertise zwar Auswirkungen auf die Verortungsgeschwindigkeit aber nicht die Genauigkeit hat. D. h. die Verständlichkeit der Darstellung als Kugelprojektion bereitet keine Probleme, allerdings sollte ein Trainingsprogramm den Umgang mit dieser Art der Darstellung verbessern.

In dieser Untersuchung konnte die Darstellung des Raumes als Kugelprojektion als interessan-

te Alternative bestätigt werden, wobei die Ergebnisse der Expertise auf einen Leistungsunterschied hindeuten, der durch ein Training ausgeglichen werden sollte.

Komparative Eignungsbewertung: Positionsverständnis und - Antizipation Die in Block 2 aufgeworfene Frage der situativ generierten Belastung sowie der Fortschreibung von aktuellen Objektpositionen kann in Abschnitt 9 als beantwortet angesehen werden. Die in Abschnitt 8.3 aufgeführten Ergebnisse weisen auf einen Unterschied durch die Darstellungsart hin, der weiter untersucht werden sollte. Deshalb wird in einer ersten komparativen Untersuchung die Kugelprojektion mit einer traditionellen Raumdarstellung (koplanar) sowie einer alternativen Darstellung (exozentrische Darstellung) verglichen. Dabei wird erstmals ein situativ orientierter Belastungsparameter eingeführt, der die Belastung durch die Anzahl der zu beobachtenden Objekte variiert. Die Untersuchung orientiert sich wiederum an denselben Verortungsleistungen wie in Abschnitt 8.2 aufgezeigt. Allerdings wird dies nun durch eine Positionsantizipation erweitert, bei der die Objektposition nicht zum Abfragezeitpunkt, sondern zu einem bestimmten Zeitpunkt in der Zukunft geleistet werden soll. Wie in der ersten Untersuchung wird auch hier mit grafischen Antwortmasken in serieller Präsentation gearbeitet, um einen direkten Bezug der Untersuchungen untereinander zu ermöglichen.

Der situative Belastungsfaktor (Anzahl der Zielobjekte) ist geeignet, eine Schwierigkeitsmanipulation experimentell abzubilden. Mehr Objekte bedingen eine höhere Ungenauigkeit, welche als Indiz einer höheren Unsicherheit bei steigender Belastung gewertet wurde. Die Antizipationsleistungen sind schwieriger und führen zu höherer Beanspruchung als Verständnisleistungen. Somit erschien eine Ableitung aus einem mentalen Modell sowie die Vorhersage über die Zukunft mental belastender als die Wiedergabe der aktuellen Position. Über die verschiedenen Ansichten lässt sich eine Bewertung erstellen. Die exozentrische Darstellung führt insgesamt zu genaueren und schnelleren Positionsurteile zu als die konkurrierenden Ansichten. Dies gilt sowohl in der Verständnis- als auch in der Antizipationsleistung.

Repräsentative Eignung: Konfliktantizipation bei Belastung Die in Block 3 aufgeworfene Frage der Konfliktantizipation unter repräsentativ-situativ generierten Belastung kann in Abschnitt 10 als beantwortet angesehen werden.

Für die Erstellung dieser Untersuchung waren mehrere Vorbedingungen wichtig:

- Die Erhebung von repräsentativen Belastungsprofilen und deren Abbildung in Zusatzaufgaben
- Die Festlegung einer kontextgeleiteten Hauptaufgabe
- Ein einheitliches Modell der Auswertung und Darstellung für beide Aufgaben

Die Kette von Befragung zur Umsetzung in einer Leistungsevaluation mag zwar lang erscheinen, ist jedoch sinnvoll und liefert stabile Ergebnisse. Um die Leistung von Probanden an einer Schnittstelle in obigem Sinne transparent machen zu können, wird ein auf Modellannahmen beruhendes Vorgehen entwickelt. Durch diese Vorannahmen sind die Ergebnisse direkt vergleichbar und ermöglichen somit eine Entscheidung innerhalb eines gemeinsamen Raumes. Die Erhebung von situativer Belastung in einer Vorbefragung wird zur Erstellung von Zusatzaufgaben verwendet. Diese Zusatzaufgaben werden so gestaltet, dass differenziert die verschiedene Module der Informationsverarbeitung beeinflusst werden. Dies ermöglichte eine Bewertung der gezeigten Leistung getrennt nach den verschiedenen Anzeigen. Die Abbildung

des Workload-Profils aus repräsentativen Anwendungsfällen ist insgesamt vergleichbar mit den Ergebnissen der Befragung und stabil im Versuch umgesetzt. Sowohl Haupt- wie auch die Zusatzaufgabe sind im Rahmen der Signalentdeckung erstellt und ausgewertet worden. Dies ermöglicht eine Ableitung der Flächen A unter den ROC-Kurven als Bearbeitungsgrad der jeweiligen Aufgabe. Dieser Parameter A ist prädestiniert für eine Leistungsdarstellung, weil sowohl Treffer- als auch Fehlalarmraten eingehen und die Wahrscheinlichkeit des richtigen Verhaltens über alle Szenarien abgebildet ist. Aus diesem Parameter kann der Entscheidungsraum für die POC aufgebaut werden. Die Skalierung für beide Aufgaben ist damit direkt vergleichbar. Weiter wird eine quantifizierbare Ableitung eines neuen Flächenparameters in der POC möglich: Die Fläche unter einer POC repräsentiert die Bearbeitungseffizienz für zwei gleichzeitig gestellte Aufgaben. Eine Bewertung über verschiedene Aufgabentypen oder Displays ist einfach darstellbar und über die analytische Geometrie leistbar.

Als Zusammenführung der oben aufgeworfenen Fragen und Bewertung durch eine aus der Tätigkeit von Jetpiloten abgeleiteten Aufgabe mit direkter Praxisrelevanz wurde die Konfliktantizipation unter situativ-repräsentativen Belastungsbedingungen ausgewählt und die Raumdarstellungen entsprechend bewertet.

Besondere Bedeutung kommt dabei der Erstellung und Eignungsbewertung von Zusatzaufgaben für die Belastung zu. Diese mussten an das in Kapitel 4 Belastungsprofil angepasst und experimentell abgebildet werden. Die Art der Zusatzaufgabe sollte dabei die festgelegten Bereiche einer Informationsverarbeitung belasten, um eine differenzierte Bewertung der Raumansichten zu ermöglichen. Die Abbildung der Belastung über die drei Zusatzaufgaben, visuelle Suche, Zahlensuche im Kurzzeitgedächtnis und mentale Rotation, führte zu einem Belastungsprofil, welches eine ähnliche Ausprägung aufwies wie das zuvor erfragte (s.a. Abb. 10.10). Die eingesetzte situative Belastungsmanipulation als Schwierigkeitsmanipulation in der Hauptaufgabe orientierte sich an der Operationalisierung in Abschnitt 9. Objektanzahl und Zeit bis zu einem Konflikt sind zentrale Parameter jeder operationell auftretenden Situation.

Das Ergebnis der Bemühungen ist das Herausstellen der exozentrischen Ansicht als dem Raumbewusstsein am förderlichsten. Mit dieser Ansicht wird die effizienteste Abarbeitung beider Aufgaben gewährleistet. Dies gilt sowohl für die Gesamtleistung in Haupt- und Zusatzaufgabe als auch für die gleichmäßige Priorisierung zwischen den Aufgaben.

Die Aufgabenstellung, räumliche Konflikte unter situationalen und repräsentativen Zusatzbelastungen vorherzusagen hat sich somit als sehr geeignet erwiesen, die Darstellungsart zu bewerten und eine Entscheidung herbeizuführen.

Weitere praxisrelevante Faktoren wie verschiedene Schwierigkeitsgrade der Zusatzaufgaben oder die Manipulationen einer Priorisierungsstrategie zwischen Haupt- und Zusatzaufgabe konnten in diesem Rahmen nicht untersucht werden. Vor allem versuchsökonomische Bedenken standen diesen entgegen - sie müssen Thema weiterführender Untersuchungen sein.

12 Offene Forschungsfragen und Problemfelder

Multimethodale Bewertung Das Vorgehen der Evaluation entspringt dem Gedanken, verschiedene qualitative und quantitative Methoden mit explorativer bzw. schließender Zielsetzung zu kombinieren und praktisch nutzbare Ergebnisse abzuleiten. Dieses Vorgehen kann für die Generierung von Forschungsfragen durch z.B. den Einsatz von behavioralen Methoden wie Blickfassung oder Befragung in frühen Phasen sowie die experimentelle Bewertung der so aufgeworfenen Fragen mit Experten unter kontext-annähernden Bedingungen bei gleichzeitig experimenteller Kontrolle ausgebaut werden. Der mehrstufige Ansatz mit verschiedenen Eingangs faktoren hat sich dabei als gewinnbringend erwiesen. Die Erfragung einer Belastung generierte hier Verständnis für die Situation des Piloten im Cockpit, eine gleichzeitige Erhebung von Anwendungsfällen kann dieses Verständnis mit dem Inhalt verschiedener Situationen füllen, ohne diese je erleben zu müssen. Schließlich bietet sich der Einsatz von Experten als „menschliche Sensoren“ an, um die aufgeworfenen Fragen in einem Experiment abzubilden und zu prüfen. Der Einsatz des Mehraufgabenparadigmas und Bewertung anhand von wichtigen, theoretischen Konstrukten der Belastung und des Situationsbewusstseins lässt so eine differenzierte und genaue Bewertung der Anzeigen und deren Auswirkungen auf die menschliche Leistung zu. Hierbei kann die Orientierung an bekannten und etablierten Bewertungsmodellen, wie der Signalentdeckung als quantitatives Modell sowie der POCs als qualitativ-quantitative Entscheidungshilfe, die Ableitung praxisrelevanter Erkenntnisse zur Erstellung der Inhalte von Flugzeugdisplays wesentlich vereinfachen.

Weitere Forschung In den obig aufgezeigten Untersuchungen und Voranalysen wurden bestimmte Fragen wohlerwogen außer Acht gelassen. Dies geschah teils aus Gründen der Umsetzbarkeit, teils aus versuchsökonomischen Bedenken oder der Priorisierung von Aspekten, die vornehmlich untersucht werden sollten. Dennoch sollten einige dieser nicht untersuchten Faktoren weiter betrachtet werden, da zum einen interessante Ergebnisse über die Bildung räumlich-mentaler Modelle und zum anderen weitere Aspekte der Eignung der Darstellung erbracht werden können.

In Abschnitt 6 werden die Blickbewegungen von Probanden verwendet, um Aussagen über die Aufmerksamkeitsverteilung auf drei Head-Down-Displays darzustellen. Aus diesen Verteilungen wurde dann abgeleitet, wie eine integrierte Darstellung die Verteilungen besser nutzt, um für einen Piloten die Information leichter zugänglich zu machen. Eine Untersuchung mit Blickfassung bei neuartiger bzw. alternativer Darstellung sollte die veränderten Aufmerksamkeitsverteilungen bei solchen Darstellungen zum Inhalt haben und zudem die Blickzeiten und -wege erheben, um eine physiologische Schätzung des Aufwandes der Informationswahrnehmung zu ermöglichen.

In der repräsentativ gestalteten Untersuchung flossen Überlegungen zu operativen Faktoren ein, welche die Belastung verändern oder die Situation charakterisierten. Die Art der Zusatzaufgaben hat sich dabei als geeignet erwiesen, diesen Kontext abzubilden. Allerdings können aus versuchökonomischen Bedenken weder verschiedene Stufen einer Zusatzbelastung noch verschiedene Priorisierungsstrategien abgebildet werden. Zumindest letztgenannte könnten

aus der bereits skizzierten behavioralen Forschung mit z.B. Blickbewegungsanalysen oder Befragung erhoben werden und zu einer weiteren Bewertung führen.

Während der Ausführung der Experimente, wie auch in den soziodemographischen Daten ersichtlich, kann ein Unterschied zwischen verschiedenen Gruppen von Probanden festgestellt werden. Vermutet wird hier ein Unterschied zwischen Probanden anhand zweier Merkmale, dem Alter und den Flugstunden. Zwar wird oft vermutet, dass Expertise nur durch die bereits geleistete Arbeit in einem bestimmten Feld aufgebaut wird, dem widerspricht jedoch die (Einzel-)Beobachtung, dass das Alter die Leistung in zumindest diesem Bereich stark beeinflussen kann. Die Experimente sind so ausgelegt, dass dieser Faktoren keinen Einfluss nehmen konnte, trotzdem muss vor dem Hintergrund der Frage „*Wer ist der Nutzer?*“ festgestellt werden, dass solche Variablen die Expertisediskussion dominieren sollten bzw. der Faktor eine Betrachtung erfahren sollte.

Experten als Sensoren In den Experimenten wurde der Expertenstatus über die Flugstunden der Probanden festgelegt. Dies ist legitim, dennoch lassen sich verschiedene Arten von Experten differenzieren.

Bei Flugzeugen wie dem Tornado werden zwei Operateure für den Regelbetrieb benötigt. Der Pilot in dem vorderen Teil der Kanzel übernimmt die primären Flugaufgaben während der Waffensystemoffizier alle taktischen und navigatorischen Planungen übernimmt. Operateure anderer Flugzeuge nahmen ebenfalls an den Versuchen teil. Allen gemein war die Flugerfahrung, eine Differenzierung kann anhand des Flugzeugmusters erfolgen. Den Experten durch diese allgemeine, militärische Flugerfahrung zu charakterisieren ist nicht unproblematisch. Sie unterscheiden sich deutlich im Aufgabenfeld, wie durch die obige Aufgabenverteilung zwischen Pilot und Waffensystemoffizier in einem zweisitzigen Jetz deutlich wird.

Andererseits haben alle Probanden die gleiche grundsätzliche Ausbildung und das gleiche Beauftragungsfeld. Dies macht eine Aufgabendefinition wie sie in vorliegender Arbeit verwirklicht wurde verwendbar. Diese einfache Definition löst zudem ein tiefgreifendes Problem: Piloten hochagiler Flugzeuge in ausreichender Zahl als Versuchsperson zu gewinnen hat sich im Lauf der Untersuchungen als schwierig erwiesen. Die einzelnen Piloten sind gerne bereit, an Untersuchungen mitzuwirken, die mittel- oder langfristig die Anzeigen ihre Cockpits verbessern. Das Problem liegt vielmehr in der geringen Gesamtzahl von Jetpiloten, also deren Grundgesamtheit. In den durchgeföhrten Untersuchungen konnte von der Verfügbarkeit von Testpiloten und verschiedener weiterer, außer Dienst stehenden Piloten ausgegangen werden. Dennoch war es mitunter schwierig, eine ausreichend hohe Anzahl an Probanden zu finden. Aus diesem Grund wurden die verschiedenen Erfahrungsbereiche der Piloten ausgeklammert und zu einem Pool zusammengefasst.

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage der Generalisierbarkeit und Belastbarkeit der Ergebnisse. Diese ist aufgrund der gemeinsamen Erfahrungsbasis der Piloten zu bewerten und nicht aufgrund ihrer Verschiedenartigkeit. Die Probanden berichteten, dass verschiedene Verfahrensweisen in verschiedenen Flugzeugen für verschiedene Zwecke existierten. Allerdings fällt bei solchen Diskussionen auf, dass sich bestimmte Basisszenarien wiederholten und die Probanden vor recht ähnlichen Aufgaben stehen, die mit verschiedenen Verfahrensweisen beantwortet werden müssen. Beispielhaft kann die Aufgabe aus dem letzten Experiment herangezogen werden: Die Probanden sollen einschätzen, ob ein Objekt in ein bestimmtes Raumsegment einfliegen wird, oder nicht. Diese Aufgabe ist dem Erfahrungsschatz von Jetpiloten entlehnt, die auf diese Weise ein abgegrenztes Gebiet überwachen (CAP, s.a. Abschnitt

4.2). Als Basisaufgabe kann dies aber auch z.B. bei Transportpiloten gefunden werden. Diese sind dann weniger mit dem Gebiets- als mehr mit dem Selbstschutz beschäftigt und müssen die Flugbewegungen anderer Luftfahrzeuge vorwegnehmen um z.B. Zusammenstöße zu vermeiden. Es kann also davon ausgegangen werden, dass die ausgesprochene Empfehlung für ein Display valide ist und sich in weiteren Untersuchungen ebenso wieder einstellen würde, auch wenn sich Experten aufgrund der Flugzeugmuster weiter differenzieren lassen.

Problemfeld Situationsbewusstsein Das Konzept des Situationsbewusstseins hat in der Luftfahrt eine schillernde Geschichte (s.a. Kapitel 3.2). Früh umschrieben die Piloten das Erlebte mit diesem Begriff. So wurde Situationsbewusstsein zum geflügelten Wort, zuerst in der Luftfahrt, später in vielen anderen Bereichen. Der Begriff erodierte stark und verkam zum Marketingwort verschiedenster Geräteanbieter. Für Piloten, egal ob militärisch oder zivil, hat dieses Konzept aber eine Bedeutungsebene, die mit Überleben gleichgesetzt werden kann. Die inhärente Bedeutung geht zum Teil so weit, dass ein Flugzeug und dessen Kontrolle in einer bestimmten Situation nahezu eine Erweiterung der eigenen Sinne und des eigenen Körpers darstellt.

Aus diesem Grund wird technisches Gerät von Zulieferern wie Herstellern von Flugzeugen mit dem Begriff Situationsbewusstsein kombiniert und dieses dann geradezu marktschreierisch als Verkaufsargument verwendet. Jedes Anzeigegerät verspricht eine Steigerung von Situationsbewusstsein. Sogar Systeme, die eine Steigerung aufgrund ihrer Verwendung nicht leisten können, tun dies. Diese Verwendung des Begriffs entleert dessen Bedeutung vollständig.

In der wissenschaftlichen Gemeinde ist der Begriff zudem umstritten. Stellvertretend für die widerstreitenden Lager stehen Dekker und Hollnagel (2004) sowie Parasuraman, Sheridan, und Wickens, 2008. Die ersten halten Modelle wie Situationsbewusstsein nicht für geeignete Forschungs- und Bewertungsmodelle und stellen ihre Aussagekraft gänzlich in Abrede. Letztere sehen in den Konstrukten geeignete Unterstützung für die Erstellung technischen Geräts, dessen Bewertung wie auch Hilfe für die Erforschung menschlicher Perzeption und Kognition. Die Positionen könnten nicht weiter voneinander entfernt sein, spiegeln aber auch den obig gezeichneten Konflikt wider. Eine strukturiert durchgeführte Bewertung technischen Geräts unter verschiedenen Aspekten der Verwendung und unter dem zukünftigen Verwendungskontext unterbleibt meist genauso, wie die genaue, nachvollziehbare und reproduzierbare Operationalisierung des Konzepts Situationsbewusstsein.

Für psychische Belastung und Beanspruchung, ein ähnlich komplexes Begriffsfeld, existieren bereits Normen zum Begriff, Messung und Arbeitsplatzgestaltung (Deutsches Institut für Normung, 2000, 2004). Ebenso wurde der Begriff der Gebrauchstauglichkeit (Deutsches Institut für Normung, 1999) in einer Norm festgehalten und Prinzipien zur Gestaltung wie Messung des Konstruktes aufgeführt. Diese Normen mussten über verschiedene Interessensgebiete der Industrie und Forschung erstellt und abgestimmt werden, besitzen aber heute Gültigkeit.

Für das Konzept Situationsbewusstsein sollte ähnliches geschehen um die von Dekker und Hollnagel (2004) und Parasuraman u. a., 2008 aufgeworfene Diskussion zu lösen und auch dem inflationären Umgang mit dem Begriff einzuschränken. Vielversprechende Ansätze zu verschiedenen Aspekten sind bereits vorhanden und können ohne weiteres genutzt werden.

Als Vorgehen zur Erstellung einer geeigneten Bewertung kann folgender Ablauf ausgebaut werden. Der zugrunde liegende Kontext und die genaue Situation müssen beschrieben und in Form von Anwendungsfällen ausgearbeitet werden (Kellerer, 2010). Aufbauend soll eine geeignete Tätigkeitsanalyse (Stanton, 2013) durchgeführt werden, die alle relevanten Aufga-

ben des Benutzers enthält. Mit Hilfe der Situations- und Aufgabenbeschreibung kann die von Endsley (1993b) vorgeschlagene Analyse zur Erhebung von Informationen (s.a. Endsley & Rodgers, 1994b; Jones u. a., 2003; Endsley u. a., 2004) für Situationsbewusstsein ausgeführt werden. Diese legt dar, welche Informationen für perfektes Situationsbewusstsein in diesen Situationen vorhanden sein muss. Strebt man eine experimentelle Untersuchung an, sollte eine IBBA (Eichinger, 2011) durchgeführt werden, um Zusatzaufgaben erstellen zu können. Weitere Methoden können dieses Vorgehen unterstützen, hier sei auf Gawron (2008) hingewiesen, welche verschiedene Methoden nennt, die unterstützend eingesetzt werden können. Die Hauptaufgabe einer solchen Untersuchung sollte ebenfalls dem Kontext der Nutzung entlehnt und den Probanden aufgrund ihrer Expertise bekannt sein. Eine Festlegung des Begriffes Situationsbewusstsein in einem solchen Rahmen sollte allgemeingültig erfolgen und in einer Norm niedergelegt werden.

Der vorgeschlagene Weg der Bewertung ist aufwändig. Allerdings rechtfertigen die Resultate den Aufwand in jedem Fall - und verhelfen dem Begriff Situationsbewusstsein zu seiner eigentlichen Bedeutung.

Teil V

Referenzen und Verzeichnisse

Literatur

- Access Intelligence. (2013). Touch the Future. Zugriff 11. Mai 2014, unter http://www.aviationtoday.com/av/issue/cover/Touch-the-Future_79253.html
- Adam, E. C., McRuer, D., Schmit, V., Simon, B., van de Graaff, R., Martin, W. Reinecke M., ... Wünnenberg, H. (1986). *Improved Guidance and Control Automation at the Man-Machine Interface*. Neuilly sur Seine.
- Adams, S. (1998). Practical considerations for measuring Situational Awareness. In United States. Naval Air Systems Command. Electronic Warfare Advanced Technology Program, Naval Air Warfare Center (U.S.). Aircraft Division. Situational Awareness Integrated Product Team (Hrsg.), *Proceedings for The Third Annual Symposium and Exhibition on Situational Awareness in the Tactical Air Environment*. Piney Point: Electronic Warfare Advanced Technology Program, Naval Air Systems.
- Airbus S.A.S. (2014). A 350 XBW Cockpit View. Zugriff 11. Mai 2014, unter <http://www.a350xwb.com/x-tra/360-cockpit-view/>
- Allport, D. A., Antonis, B., & Reynolds, P. (1972). On the division of attention: A disproof of the single channel hypothesis. *The Quarterly journal of experimental psychology*, 24(2), 225–235.
- Alm, T., Lif, P., & Öberg, M. (2003). Evaluation of Monocular Depth Cues in 3D Aircraft Displays. In R. S. Jensen (Hrsg.), *12th International Symposium on Aviation Psychology* (S. 1–6). Wright State University.
- Anastasi, A. (1973). *Angewandte Psychologie*. Weinheim [u.a.]: Beltz.
- Anderson, J. R. (1983). *The architecture of cognition*. Cognitive science series. Cambridge: Harvard University Press.
- Baddeley, A. D. (2001). Is working memory still working? *American Psychologist*, 56(11), 851.
- Baddeley, A. (1996). Exploring the central executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology: Section A*, 49(1), 5–28.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in cognitive sciences*, 4(11), 417–423.
- Baddeley, A. (2003). Working memory: Looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(10), 829–839.
- Baddeley, A. (2010). Working Memory. In A. D. Baddeley, M. W. Eysenck, & M. C. Anderson (Hrsg.), *Memory* (S. 41–68). Taylor & Francis.
- Baddeley, A. D. & Hitch, G. (1974). Working Memory. In Gordon H. Bower (Hrsg.), *Psychology of Learning and Motivation* (Bd. Volume 8, S. 47–89). Academic Press.
- Baier, A. (2013). *Stereoskopische 3D Anzeigen für Fluglotsenarbeitsplätze* (Diss., Universität Regensburg, Regensburg). Zugriff 13. März 2016, unter <http://epub.uni-regensburg.de/29015/>
- Baier, A. (2008). Touch Screen Control Elements For Highly Agile Aircrafts. Manching.
- Bandura, A. (1977). Self-efficacy: toward a unifying theory of behavioral change. *Psychological review*, 84(2), 191.

Literatur

- Barfield, W. & Rosenberg, C. (1995). Judgments of azimuth and elevation as a function of monoscopic and binocular depth cues using a perspective display. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 37(1), 173–181.
- Becker, S., Neujahr, H., Sandl, P., & Babst, U. (2008). Holographisches display—HOLDIS. *Beiträge der Ergonomie zur Mensch-System-Integration. DGLR, Bonn.*
- Bell, H. H. & Lyon, D. R. (2000). Using Observer Ratings to Assess Situation Awareness. In M. R. Endsley & D. J. Garland (Hrsg.), *Situation awareness* (S. 115–130). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Billings, C. E. (1997). *Aviation automation: The search for a human-centered approach*. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, Incorporated.
- Bolton, M. L., Bass, E. J., & Comstock, J. R. J. (2007). Spatial awareness in synthetic vision systems: Using spatial and temporal judgments to evaluate texture and field of view. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 49(6), 961–974.
- Bondar, A. (2002). Balance and cognition: Resource allocation and its control in young and older adults. *Unpublished doctoral dissertation, Free University Berlin.*
- Boorman, D. (2001). Today's electronic checklists reduce likelihood of crew errors and help prevent mishaps. *ICAO Journal*, 56(1), 17–20.
- Bortz, J., Bortz-Döring, & Döring, N. (2009). *Forschungsmethoden und Evaluation: Für Human- und Sozialwissenschaftler ; mit 87 Tabellen* (4., überarb. Aufl., Nachdr.). Springer-Lehrbuch Bachelor, Master. Heidelberg: Springer-Medizin-Verl.
- Brunswik, E. (1956). *Perception and the representative design of psychological experiments*. Univ of California Press.
- Buld, S. (2000). *Der Arbeitsplatzinhaber als Experte bei der Arbeitsplatzbewertung* (Diss., Julius-Maximilians-Universität, Würzburg). Zugriff 13. März 2016, unter http://www.psychologie.uni-wuerzburg.de/izvw/texte/2002_buld_der_Arbeitsplatzinhaber.pdf
- Bustamante, E. A., Fallon, C. K., Bliss, J. P., Bailey III, W. R., & Anderson, B. L. (2005). Pilots' workload, situation awareness, and trust during weather events as a function of time pressure, role assignment, pilots' rank, weather display, and weather system. *International Journal of Applied Aviation Studies*, 5(2), 347–367.
- Bustamante, E. A. (2008). Implementing likelihood alarm technology in integrated aviation displays for enhancing decision making: A two-stage signal detection modeling approach. *International Journal of Applied Aviation Studies*, 8(2), 241–262.
- Butz, M. V., Sigaud, O., & Gérard, P. (2003). Anticipatory Behavior: Exploiting Knowledge About the Future to Improve Current Behavior. In M. V. Butz, O. Sigaud, & P. Gérard (Hrsg.), *Anticipatory behavior in adaptive learning systems* (Bd. 2684. Lecture notes in artificial intelligence, S. 1–9). Lecture notes in computer science. Berlin: Springer.
- Byers, J. C., Bittner, A. C., & Hill, S. G. (1989). Traditional and raw task load index (TLX) correlations: Are paired comparisons necessary. *Advances in industrial ergonomics and safety I*, 481–485.
- Cain, B. (2007). A review of the mental workload literature. Kanada. Zugriff 13. März 2016, unter <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?Location=U2%5C&doc=GetTRDoc.pdf%5C&AD=ADA474193>
- Carrasco, M. (2011). Visual attention: The past 25 years. *Vision research*, 51(13), 1484–1525.
- Carroll, L. (1992). Desperately seeking SA. Mesa. Zugriff 13. März 2016, unter <http://www.dtic.mil/tr/fulltext/u2/a531172.pdf>

- Chapanis, A., Morgan, C. T., & Sanford, F. H. (1947). *Lectures on Men and Machines. An Introduction to Human Engineering*. Baltimore. Zugriff 13. März 2016, unter <http://oai.dtic.mil/oai/oai?verb=getRecord%5C&metadataPrefix=html%5C&identifier=AD0639366>
- Charlton, S. G. & O'Brien, T. G. (2002). The Role of Human Factros Testing and Evaluation in Systems Developement. In *Handbook of human factors testing and evaluation* (S. 21–36). Mahwah: Lawrence Erlbaum.
- Clarke, A. & Dawson, R. (1999). *Evaluation research: An introduction to principles, methods, and practice*. London: Sage.
- Cornoldi, C. & Vecchi, T. (2003). *Visuo-spatial working memory and individual differences. Essays in cognitive psychology*. Hove: Psychology Press.
- CSJU. (2014). Clean Sky: Innovation Takes Off. Zugriff 24. Mai 2014, unter <http://www.cleansky.eu>
- Cumming, G. (2013). The new statistics why and how. *Psychological science*, 0956797613504966.
- Cutting, J. E. & Vishton, P. M. (1995). Perceiving Layout and Knowing Distances:The Integration, Relative Potency, and Contextual Use of Different Information about Depth. In W. Epstein & S. Rogers (Hrsg.), *Perception of Space and Motion* (S. 69–118). Elsevier Science.
- De Waard, D. (1996). *The measurement of drivers' mental workload*. Groningen University, Traffic Research Center.
- Dekker, S. & Hollnagel, E. (2004). Human factors and folk models. *Cognition, Technology & Work*, 6(2), 79–86. doi:10.1007/s10111-003-0136-9
- Deutsches Institut für Normung. (1999). 9241-11: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten. Teil 11: Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit; Leitsätze. Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten. Teil 11: Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit; Leitsätze. Berlin: Beuth.
- Deutsches Institut für Normung. (2000). Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung Teil 2: Gestaltungsgrundsätze. Berlin.
- Deutsches Institut für Normung. (2004). Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung Teil 3: Grundsätze und Anforderungen an Verfahren zur Messung und Erfassung psychischer Arbeitsbelastung. Berlin: Deutsches Institut für Normung.
- Döhl, M. (2001). Walkthrough vs. Videokonfrontation-Vergleich zweier Methoden zur formativen Software-Evaluation. In H. Oberquelle, R. Oppermann, & J. Krause (Hrsg.), *Mensch & Computer 2001: 1. Fachübergreifende Konferenz* (S. 441–442). Stuttgart: B.G. Teubner.
- Dorighi, N. S. & Grunwald, A. J. (1993). Perspective format for a primary flight display (ADI) and its effect on pilot spatial awareness. In Society of Human Factors and Ergonomics (Hrsg.), *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 37th Annual Meeting* (Bd. 1, S. 88–92).
- Driven Technologies, I. (2014). PANORAMIC COCKPIT DISPLAY. Zugriff 24. Mai 2014, unter http://driven-technologies.com/prod_pages/prod1.html
- Duncan, J. (1980). The demonstration of capacity limitation. *Cognitive Psychology*, 12(1), 75–96.
- Durso, F. T., Rawson, K. A., & Girotto, S. (2007). Comprehension and Situation Awareness. In F. Durso, R. Nickerson, S. Dumais, S. Lewandowsky, & T. Perfect (Hrsg.), *Handbook of applied cognition* (S. 163–193). Wiley Online Library.

Literatur

- Durso, F. T. & Dattel, A. R. (2004). SPAM: The Real-Time Assessment of SA. In S. Banbury & S. Tremblay (Hrsg.), *A Cognitive Approach to Situation Awareness: Theory and Application* (S. 137–154). Ashgate Publishing Group.
- Durso, F. & Sethumadhavan, A. (2008). Situation awareness: Understanding dynamic environments. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 50(3), 442–448.
- Eichinger, A., Kellerer, J. P., Sandl, P., & Klingauf, U. (2008). Panoramic Displays - Bewertung von Benutzerschnittstellen im Kontext von Mehrfachtätigkeit. In *Beiträge der Ergonomie zur Mensch-System-Integration* (S. 250–253). Bonn.
- Eichinger, A. (2011). *Bewertung von Benutzerschnittstellen für Cockpits hochagiler Flugzeuge* (Diss., Universität Regensburg, Regensburg). Zugriff 13. März 2016, unter <http://epub.uni-regensburg.de/22754/>
- Eichinger, A. & Kellerer, J. (2014). Between laboratory and simulator: a cognitive approach to evaluating cockpit interfaces by manipulating informative context. *Cognition, Technology & Work*, 16(3), 417–427. doi:10.1007/s10111-013-0270-y
- Elbit Systems of America. (2014). Displays. Zugriff 24. Mai 2014, unter <http://www.elbitsystems-us.com/airborne-solutions/products-sub-systems/displays>
- Embrey, D., Blackett, C., Marsden, P., & Peachey, J. (2006). Development of a human cognitive workload assessment tool. *Dalton (UK): Human Reliability Associates*.
- Endsley, M. R. & Rodgers, M. D. (1994a). Situation Awareness Information Requirements Analysis for En Route Air Traffic Control. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 38(1), 71–75.
- Endsley, M. (1988a). Design And Evaluation For Sitation Awareness Enhancement. In *Design and evaluation for situation awareness enhancement*.
- Endsley, M. R. (1988b). Situation Awareness Global Assessment Technique (SAGAT). In *Aerospace and Electronics Conference, 1988. NAECON 1988., Proceedings of the IEEE 1988 National* (Bd. 3, S. 789–795).
- Endsley, M. R. (1993a). Situations Awareness and Workload: Flip sides of the same coin. In *Proceedings of the Seventh International Symposium on Aviation Psychology* (S. 906–911).
- Endsley, M. R. (1999). Situation Awareness In Aviation Systems. In D. Garland, J. Wise, & V. Hopkin (Hrsg.), *Handbook of aviation human factors* (S. 257–276). CRC und Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- Endsley, M. R. (2012). Situation Awareness. In G. Salvendy (Hrsg.), *Handbook of human factors and ergonomics* (S. 553–568). Wiley.
- Endsley, M. R. & Bolstad, C. A. (1994). Individual differences in pilot situation awareness. *The International Journal of Aviation Psychology*, 4(3), 241–264.
- Endsley, M. (1995). Toward A Theory Of Situation Awareness In Dynamic Systems. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 1995(37(1)), 32–64.
- Endsley, M. (2000). Direct Measurement Of Situation Awareness: Validity And Use Of SA-GAT. In M. R. Endsley & D. J. Garland (Hrsg.), *Situation awareness*. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Endsley, M., Selcon, S. J., Hardiman, T. D., & Croft, D. C. (1998). A Comparative Analysis Of SAGAT and SART For Evaluations Of Situation Awareness. *42nd Annual Meeting of the Human Factors & Ergonomics Society*, 1998.

- Endsley, M. (1993b). A survey of situation awareness requirements in air-to-air combat fighters. *The International Journal of Aviation Psychology*, 3(2), 157–168.
- Endsley, M. (2006). Situation Awareness. In G. Salvendy (Hrsg.), *Handbook of Human Factors and Ergonomics* (S. 243–262). Hoboken: John Wiley & Sons, John Wiley, und Sons Ltd.
- Endsley, M., Farley, T., Jones, W., Midkiff, A., & Hansman, R. (2004). Situation awareness information requirements for commercial airline pilots. *Military Psychology*, (16-3), 149–161. Zugriff 13. März 2016, unter <http://hdl.handle.net/1721.1/35929>
- Endsley, M. & Rodgers, M. (Hrsg.). (1994b). Situation awareness information requirements analysis for en route air traffic control: Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings, Human Factors und Ergonomics Society, 38.
- Eshel, T. (2012). Elbit Systems Large Area Display Selected for Boeing's Advanced Cockpit Technology. Zugriff 24. Mai 2014, unter http://defense-update.com/20120305_elbit-systems-large-area-display-selected-for-boeings-advanced-cockpit-technology.html#.U4Bt-yg0_bw
- Eubanks, J. L. & Killeen, P. R. (1983). An application of signal detection theory to air combat training. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 25(4), 449–456.
- Eysenck, M. W. (2010). Prospective Memory. In A. D. Baddeley, M. W. Eysenck, & M. C. Anderson (Hrsg.), *Memory* (S. 343–356). Taylor & Francis.
- FAA. (2014). NextGEN. Washington. Zugriff 24. Mai 2014, unter <http://www.faa.gov/nextgen/>
- Fisk, A., Derrick, W., & Schneider, W. (1986). A methodological assessment and evaluation of dual-task paradigms. *Current Psychology*, 5(4), 315–327.
- Fitts, P. M., Jones, R. E., & Milton, J. L. (01.01.1949). Eye Fixations of Aircraft Pilots. III. Frequency, Duration, and Sequence Fixations When Flying Air Force Ground-Controlled Approach System (GCA).
- Flach, J. M. (1996). Situation awareness: In search of meaning. *CSERIAC Gateway*, 6(6), 1–4.
- Flanagan, J. C. (1954). The critical incident technique. *Psychological Bulletin*, 51(4), 327.
- Flin, R. (2004). Identifying and training non-technical skills for teams in acute medicine. *Quality and Safety in Health Care*, 13(suppl_1), i80–i84. doi:10.1136/qshc.2004.009993
- Foster-Hunt, T. (2009). Aviation Technology and the Role of Human Factors Design. *On Target*, 2009, 9.
- Fracker, M. L. (1991a). Measures of situation awareness: an experimental evaluation. Dayton.
- Fracker, M. L. (1991b). Measures of situation awareness: Review and future directions. Mon-toursville.
- Fracker, M. L. & Davis, S. A. (1991). Explicit, implicit, and subjective rating measures of situation awareness in a monitoring task. Dayton.
- Francis, G. & Reardon, M. J. (1997). Aircraft Multifunction Display and Control Systems: A New Quantitative Human Factors Design Method for Organizing Functions and Display Contents. Fort Rucker.
- Furness, T. A. (1986). The super cockpit and its human factors challenges. In Human Factors & Ergonomics Society (Hrsg.), *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Bd. 1, S. 48–52). SAGE Publications.
- Furness, T. A. (1988). Harnessing Virtual Space. In *Proceedings of SID international symposium digest of technical papers*. (S. 4–7).

Literatur

- Furness, T. A. (1996). Advanced Human Interfaces for Telemedicine. Seattle. Zugriff 13. März 2016, unter <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?Location=U2%5C&doc=GetTRDoc.pdf%5C&AD=ADA321829>
- Gaba, D. M., Howard, S. K., & Small, S. D. (1995). Situation awareness in anesthesiology. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 37(1), 20–31.
- Gawron, V. J. (2008). *Human performance, workload, and situational awareness measures handbook* (2. ed.). Boca Raton [u.a.]: CRC Press.
- Gibb, R., Gray, R., & Scharff, L. (2010). *Aviation visual perception: Research, misperception and mishaps*. Farnham: Ashgate.
- Gibson, J. J. (1982). *Wahrnehmung und Umwelt: D. ökolog. Ansatz in d. visuellen Wahrnehmung*. München: Urban und Schwarzenberg.
- Goldberg, J. H. & Kotval, X. P. (1999). Computer interface evaluation using eye movements: methods and constructs. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 24(6), 631–645.
- Goldstein, E. B. (2002). *Wahrnehmungspsychologie: Zweite deutsche Auflage herausgegeben von Manfred Ritter* (2. Aufl.). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag in Elsevier.
- Gopher, D. & Donchin, E. (1986). Workload: An examination of the concept. In K. R. Boff, L. Kaufman, & J. P. Thomas (Hrsg.), *Handbook of perception and human performance* (). New York: Wiley.
- Gopher, D. & Navon, D. (1980). How is performance limited: Testing the notion of central capacity. *Acta Psychologica*, 46(3), 161–180.
- Gugerty, L. (2011). Situation awareness in driving. In D. L. Fisher (Hrsg.), *Handbook of driving simulation for engineering, medicine, and psychology*. Boca Raton: CRC Press.
- Gugerty, L. J. (1997). Situation awareness during driving: Explicit and implicit knowledge in dynamic spatial memory. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 3(1), 42.
- Gutierrez, A. (2014). Eurofighter: The Aircraft. Zugriff 14. November 2014, unter <http://www.eurofighter.com/the-aircraft>
- Hadwiger, P. (2008). Perspektivisch Displays in hochagilen Flugzeugen. München.
- Hamilton, W. L. (1987). Situation awareness metrics program. *SAE Technical Paper*, 1–8. Zugriff unter <http://papers.sae.org/871767/>
- Hammond, K. (1986). Generalization in operational contexts: What does it mean? Can it be done? *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, 16(3), 428–433.
- Harber, R. N. & Harber, L. (2002). Perception and Attention During Low-Altitude High-Speed Flight. In P. Tsang & M. Vidulich (Hrsg.), *Principles and practice of aviation psychology* (S. 21–68). CRC.
- Hart, S. G. (2006). NASA-task load index (NASA-TLX); 20 years later. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Bd. 9).
- Hart, S. G. & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. *Advances in psychology*, 52, 139–183.
- Hartman, B. O. & Sechrist, G. E. (1991). Situational awareness is more than exceptional vision. *Aviation, space, and environmental medicine*, 62(11), 1084–1089.
- Hegarty, M. (2010). Components of spatial intelligence. *Psychology of Learning and Motivation*, 52, 265–297.
- Hegarty, M. & Waller, D. (2004). A dissociation between mental rotation and perspective-taking spatial abilities. *Intelligence*, 32(2), 175–191.

- Hendy, K. C. (1995). Situation Awareness and Workload: Birds of a Feather? In Advisory Group for Aerospace Research & Developement (Hrsg.), *Situation Awareness* (Bd. AGARD-CP-575). Neuilly sur Seine.
- Hierl, R., Sandl, P., & Neujahr, H. (2012). Military Aviation. In M. Stein & P. Sandl (Hrsg.), *Information Ergonomics* (S. 159–195). Springer.
- Hintzman, D. L., O'Dell, C. S., & Arndt, D. R. (1981). Orientation in cognitive maps. *Cognitive Psychology*, 13(2), 149–206.
- Hoffmann, J. (1993). *Vorhersage und Erkenntnis: Die Funktion von Antizipationen in der menschlichen Verhaltenssteuerung und Wahrnehmung*. Göttingen: Hogrefe.
- Holmqvist, K., Nyström, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H., & Van de Weijer, Joost. (2011). *Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. Oxford University Press.
- Hvidt, C. (1988). Situational Awareness in Aerospace Operations only a Pilot's Challenge? In *Situational Awareness in Aerospace Operations* (Bd. AGARD-CP-478). Neuilly sur Seine.
- IEEE Spectrum. (2016). Timeline: The Early History of the Liquid Crystal Display. Zugriff unter <http://spectrum.ieee.org/static/timeline-the-early-history-of-the-liquid-crystal-display>
- Johnson, E. N. & Pritchett, A. R. (1995). Experimental study of vertical flight path mode awareness. Zugriff 13. März 2016, unter <http://hdl.handle.net/1721.1/35913>
- Jones, D., Bolstad, C., Riley, J., Endsley, M., & Shattuck, L. (Hrsg.). (2003). Situation awareness requirements for the future objective force: Paper presented at the Collaborative Technology Alliances Symposium April 29th–May 1st.
- Just, M. A. & Carpenter, P. A. (1980). A theory of reading: from eye fixations to comprehension. *Psychological review*, 87(4), 329.
- Kable Intelligence Limited. (2014). BAE / EADS Concorde. Zugriff 3. Mai 2014, unter <http://www.aerospace-technology.com/projects/concorde2/>
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Prentice-Hall series in experimental psychology. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Kantowitz, B. H. & Simsek, O. (2001). Secondary-task measures of driver workload. In P. A. Hancock & P. A. Desmond (Hrsg.), *Stress, workload, and fatigue* (S. 395–408). Human factors in transportation. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates. Zugriff unter <http://trid.trb.org/view.aspx?id=683360>
- Kantowitz, B. H. & Casper, P. A. (1988). Human Workload in Aviation. In E. L. Wiener & D. C. Nagel (Hrsg.), *Human Factors in Aviation* (S. 157–187). Academic Press series in cognition and perception. San Diego: Academic Press Inc.
- Kantowitz, B. H. & Sorkin, R. D. (1983). *Human factors: Understanding people-system relationships*. New York: Wiley.
- Kath, C. (2006). Concorde Cockpit. Zugriff 2. Mai 2014, unter <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8c/ConcordeCockpitSinsheim.jpg>
- Kellerer, J. P. (2006). *Anzeigekonzept für großflächige Displays: Unveröffentlichte Diplomarbeit*. München: Technische Universität München.
- Kellerer, J. P. (2010). *Untersuchung zur Auswahl von Eingabeelementen für Großflächendisplays in Flugzeugcockpits* (Diss., Technische Universität, Darmstadt). Zugriff 13. März 2016, unter <http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/2172/>

Literatur

- Kellerer, J. P., Eichinger, A., Klingauf, U., & Sandl, P. (2008). Panoramic Displays – Anzeige- und Bedienkonzept für die nächste Generation von Flugzeugcockpits. *Beiträge der Ergonomie zur Mensch-System-Integration*, 341–356.
- Kellerer, J., Möller, C., Kostka, A., Neujahr, H., & Sandl, P. (2011). Panoramic Displays: The Next Generation of Fighter Aircraft Cockpits. *SAE International Journal of Aerospace*, 4(2), 751–761.
- Kerschenlohr, S. (2007). Bedienkonzept für großflächige Displays in hochagilen Flugzeugen: Unveröffentlichte Diplomarbeit. München.
- Kibbe, M. (1988). Information transfer from intelligent EW displays. In *Proceedings of the Human Factors Society 32nd Annual Meeting* (Bd. 2).
- Kintsch, W. (1974). *The representation of meaning in memory*. The Experimental psychology series. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates und distributed by Halsted Press Division, Wiley, New York.
- Klein, G., Whitaker, L., & King, J. A. (1988). Using analogues to predict and plan. In *Proceedings of a Workshop on Case-Based Reasoning* (S. 224–232).
- Knowles, W. B. (1963). Operator loading tasks. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 5(2), 155–161.
- Kosslyn, S. M. & Pomerantz, J. R. (1977). Imagery, propositions, and the form of internal representations. *Cognitive Psychology*, 9(1), 52–76.
- Kosslyn, S. M. & Shwartz, S. P. (1977). A Simulation of Visual Imagery. *Cognitive Science*, 1(3), 265–295.
- Kostka, A. N., Möller, C., Neujahr, H., & Zimmer, A. (2012). Determining Workload Profiles of Military Jet Pilots for Display Assessments. In *International Conference on Human-Computer Interaction in Aerospace*.
- Kuipers, B. (2000). The spatial semantic hierarchy. *Artificial Intelligence*, 119(1), 191–233.
- Kuntz, B. (2013). *Implementierung einer Flugsimulationsumgebung zur Untersuchung verschiedener räumlicher Anzeigeformate* (Diss., Manching).
- Le Blaye, P. (1994). Agility: History, Definitions and Basic Concepts. Salon Air.
- Leeman, F., Elffers, J., & Schuyt, M. (1976). *Hidden images: Games of perception, anamorphic art, illusion: from the Renaissance to the present*. New York: H.N. Abrams.
- Leiser, D. & Zilberschatz, A. (1989). The Traveller A Computational Model of Spatial Network Learning. *Environment and behavior*, 21(4), 435–463.
- Loftus, E. F. & Loftus, G. R. (1980). On the permanence of stored information in the human brain. *American Psychologist*, 35(5), 409.
- Logie, R. H. (1995). *Visuo-spatial working memory*. Psychology Press.
- Mach, E. & Hiebert, E. N. (1976). *Knowledge and error*. Springer.
- Mack, A. (2003). Inattentional Blindness Looking Without Seeing. *Current Directions in Psychological Science*, 12(5), 180–184.
- Mack, A. & Rock, I. (1998). Inattentional blindness: Perception without attention. *Visual attention*, 8, 55–76.
- Macmillan, N. A. & Creelman, C. D. (2005). *Detection theory: A user's guide* (2nd ed.). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Maslen, R. (2009). Airliner Classic: Airbus A300 – the beginning for a giant. airlinerworld.com. Zugriff 10. Mai 2014, unter <http://www.airlinerworld.com/central/images/gallery/823.jpg>
- Matthews, M., Strater, L., & Endsley, M. (2004). Situation Awareness Requirements for Infantry Platoon Leaders. *Military Psychology*.

- McGuinness, B. (2004). Quantitative analysis of situational awareness: Applying signal detection theory to true/false probes and self-ratings. In *9th International Command and Control Research and Technology Symposium*.
- McNamara, T. P. (1986). Mental representations of spatial relations. *Cognitive Psychology*, 18(1), 87–121. doi:10.1016/0010-0285(86)90016-2
- McNicol, D. (2005). *A primer of signal detection theory*. Mahwah: L. Erlbaum Associates.
- Mertens, D. M. (1998). *Research methods in education and psychology: Integrating diversity with quantitative & qualitative approaches*. Thousand Oaks: Sage.
- Mogford, R. H. (1997). Mental Models and Situation Awareness in Air Traffic Control. *The International Journal of Aviation Psychology*, 7(4), 331–341.
- Möller, C. (2016). *Entwicklung und Untersuchung eines Panoramaformats zur Steigerung des Raumbewusstseins von Piloten* (Diss., Technische Universität, Darmstadt).
- Möller, C., Kostka, A., Neujahr, H., & Kellerer, J. (2012). Panoramic Display: Der Einfluss weitwinkliger Blickfelder auf das Raumverständnis von Piloten. In *54. Fachausschusssitzung Anthropotechnik: Fortschrittliche Anzeigesysteme für die Fahrzeug- und Prozessführung*.
- Möller, C., Kostka, A., Neujahr, H., & Klingauf, U. (2012). Enhancing Situational Awareness by Perspective Panoramic Information Presentation. In *30 EAAP Conference Proceedings*.
- Moore, K. S. (2009). *Comparison Of Eye Movement Data To Direct Measures Of Situation Awareness For Developement Of A Novel Measuremetn Technique In Dynamic, Uncontrolled Test Environments* (Diss., Clemson University, Clemson).
- Moray, N. (1967). Where is capacity limited? A survey and a model. *Acta Psychologica*, 27, 84–92.
- Moray, N. (1979). *Mental workload: Its theory and measurement*. Plenum Publishing Corporation.
- Moray, N. & Rotenberg, I. (1989). Fault management in process control: eye movements and action. *Ergonomics*, 32(11), 1319–1342.
- Morrison, J. G., Marshall, S. P., Kelly, R. T., & Moore, R. O. (1997). Eye Tracking in Tactical Decision Making Environments: Implications for Decision Support Evaluation. In National Defense University (Hrsg.), *Third International Command and Control Research and Technology Symposium* (S. 1–12).
- Mykityshyn, M. G., Kuchar, J. K., & Hansman, R. J. (1994). Experimental study of electronically based instrument approach plates. *The International Journal of Aviation Psychology*, 4(2), 141–166.
- Neisser, U. (1976). *Cognition and reality: Principles and implications of cognitive psychology*. San Francisco: W.H. Freeman.
- Neisser, U. & Becklen, R. (1975). Selective looking: Attending to visually specified events. *Cognitive Psychology*, 7(4), 480–494.
- Neumann, J. v. (1951). The General and Logical Theory of Automata. In L. A. Jeffress (Hrsg.), *Cerebral mechanisms in behavior* (S. 1–32).
- Nisbett, R. E. & Wilson, T. D. (1977). Telling more than we can know: Verbal reports on mental processes. *Psychological review*, 84(3), 231.
- Norman, D. A. (1986). Cognitive engineering. *User centered system design*, 31–61.
- Norman, D. A. (1998). *The Design of Everyday Things*. New York: MIT Press Ltd.
- Norman, D. A. & Bobrow, D. G. (1975). On data-limited and resource-limited processes. *Cognitive Psychology*, 7(1), 44–64.

Literatur

- Norman, D. A. & Nielsen, J. (2010). Gestural interfaces: a step backward in usability. *interactions*, 17(5), 46–49.
- Normenausschuss Ergonomie. (2000). Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung. Berlin: Normenausschuss Ergonomie.
- O'Brien, T. G. & Meister, D. (2002). Human Factors Testing and Evaluation: An Historical Perspective. In *Handbook of human factors testing and evaluation* (S. 5–20). Mahwah: Lawrence Erlbaum.
- O'Donnell, R. D. & Eggemeier, F. T. (1986). Workload assessment methodology. In K. R. Boff, L. Kaufman, & J. P. Thomas (Hrsg.), *Handbook of perception and human performance*. New York: Wiley.
- Ogden, G., Levine, J., & Eisner, E. (1979). Measurement of workload by secondary tasks. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 21(5), 529–548.
- Ostinga, J., Wolff, M., Newman, D., & White, S. (1999). What killed JFK Jr? Lessons for VFR pilots. *Flight Safety Australia*, 1999(222–9).
- Parasuraman, R. & Hancock, P. A. (1999). Using signal detection theory and Bayesian analysis to design parameters for automated warning systems. *Automation, Technology and Human Performance*. Erlbaum, Mahwah, NJ, 63–67.
- Parasuraman, R., Sheridan, T. B., & Wickens, C. D. (2008). Situation Awareness, Mental Workload, and Trust in Automation: Viable, Empirically Supported Cognitive Engineering Constructs. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 2(2), 140–160. doi:10.1518/155534308X284417
- Parrish, R., Busquets, A., Williams, S., & Nold, D. (1994). Spatial awareness comparisons between large-screen, integrated pictorial displays and conventional EFIS displays during simulated landing approaches. *NASA Technical Paper*, 3467, 1–22.
- Pedersen, J. A. & Jorgensen, T. (2005). Localization performance of real and virtual sound sources. Zugriff 13. März 2016, unter <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?Location=U2%5C&doc=GetTRDoc.pdf%5C&AD=ADA454835>
- Pejtersen, A. M. & Rasmussen, J. (1997). Effectiveness Testing of Complex Systems. In G. Salvendy (Hrsg.), *Handbook of Human Factors and Ergonomics* (S. 1514–1542). John Wiley und Sons Ltd.
- Perception Research Systems Incorporated. (2012). Paradigm. Perception Research Systems Incorporated. Zugriff unter <http://www.paradigmexperiments.com>
- Peters, M. & Battista, C. (2008). Applications of mental rotation figures of the Shepard and Metzler type and description of a mental rotation stimulus library. *Brain and cognition*, 66(3), 260–264.
- Pew, R. W. (1994). Situation Awareness: The buzzword of the'90s'. *CSERIAC Gateway*, 5(1), 1–16.
- Porcu, G. (2012). Thales unveils new functions on its award winning future cockpit at Farnborough 2012. 45 rue de Viliers.
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly journal of experimental psychology*, 32(1), 3–25.
- Posner, M. I. (1986). *Chronometric explorations of mind: The third Paul M. Fitts lectures, delivered at the University of Michigan, September 1976*. New York: Oxford University Press.
- Posner, M. I. (1987). Structures and functions of selective attention. Washington.

- Posner, M. I. & Petersen, S. E. (1990). The Attention System of the Human Brain. *Annu. Rev. Neurosci.*, 13, 25–42.
- Presagis. (2014). VAPS XT. Presagis Canada Inc. Zugriff unter http://www.presagis.com/products_services/products/embedded-graphics/hmi_modeling_and_display_graphics/vaps_xt/
- Previc, F. H. (2004). Visual Illusions in Flight. In F. H. Previc & W. R. Ercoline (Hrsg.), *Spatial disorientation in aviation* (Bd. v. 203, S. 283–321). Progress in astronautics and aeronautics. Reston: American Institute of Aeronautics und Astronautics.
- Previc, F. H. & Ercoline, W. R. (Hrsg.). (2004). *Spatial disorientation in aviation*. Progress in astronautics and aeronautics. Reston: American Institute of Aeronautics und Astronautics.
- Prinzel, A. J. I., Kramer, L. J., Bailey, L. J., & Parrish, R. V. (2003). CFIT prevention using synthetic vision. In *CFIT prevention using synthetic vision* (Bd. 5081, S. 146–157). Citeseer.
- Pritchett, A. R. & Hansman, R. J. (2000). Use of testable responses for performance-based measurement of situation awareness. In M. R. Endsley & D. J. Garland (Hrsg.), *Situation awareness* (S. 189–209). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Proctor, R. W. & Read, L. E. (2006). Models of Attention. In W. Karwowski (Hrsg.), *International encyclopedia of ergonomics and human factors* (S. 266–275). Boca Raton: CRC/Taylor & Francis.
- Proctor, R. W. & Vu, K.-P. L. (2009). Human Information Processing: An Overview for Human-Computer-Interaction. In A. Sears & J. A. Jacko (Hrsg.), *Human-computer interaction* (S. 20–38). Human factors and ergonomics. Boca Raton: CRC Press.
- Pylyshyn, Z. W. (1973). What the mind's eye tells the mind's brain: A critique of mental imagery. *Psychological Bulletin*, 80(1), 1.
- Rasmussen, J. (1986). *Information Processing and Human-Machine Interaction. An Approach to Cognitive Engineering // Information processing and human-machine interaction: An approach to cognitive engineering*. New York: North-Holland.
- Rauch, N. (2009). *Ein verhaltensbasiertes Messmodell zur Erfassung von Situationsbewusstsein im Fahrkontext* (Diss., Julius-Maximilians-Universität, Würzburg).
- Rauch, N., Gradenegger, B., & Krüger, H.-P. (2006). Die Erfassung von Situationsbewusstsein beim Fahren mit Nebenaufgabe. In *Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme* (Bd. 1960, S. 57–74). VDI-Berichte. Düsseldorf: VDI-Verl.
- Reason, J. (2009). *Human Error* (20th pr.). Cambridge: Cambridge University Press und Cambridge Univ. Press.
- Regal, D. M., Rogers, W. H., & Boucek, G. P. (1988). Situational awareness in the commercial flight deck: Definition, measurement, and enhancement.
- Reichelt, S., Häussler, R., Fütterer, G., Leister, N., Javidi, B., Son, J.-Y., ... Desjardins, D. D. (2010). Depth cues in human visual perception and their realization in 3D displays. In J. Bahram, S. Jung-Young, T. T. John, & D. D. Desjardins (Hrsg.), *Three-Dimensional Imaging, Visualization, and Display Technologies and Applications for Defense, Security, and Avionics IV* (Bd. 7690, 76900B–76900B-12). SPIE Proceedings. SPIE. doi:10.1117/12.850094
- Ritzer, J. (2009). *Entwicklung haptisch codierter Rahmenleisten für großflächige Touchscreen-displays in hochagilen Flugzeugen*. Deggendorf.

Literatur

- Roscoe, A. H. (1984). Assessing pilot workload in flight. Bedford. Zugriff 13. März 2016, unter <http://oai.dtic.mil/oai/oai?verb=getRecord%5C&metadataPrefix=html%5C&identifier=ADP004109>
- Roscoe, S. N. (1968). Airborne displays for flight and navigation. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 10(4), 321–332.
- Roscoe, S. N., Corl, L., & Jensen, R. S. (1981). Flight display dynamics revisited. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 23(3), 341–353.
- Rosen, R. (2012). *Anticipatory systems: Philosophical, mathematical, and methodological foundations*. Mathematics and Statistics (Springer-11649). New York: Springer New York, Springer e-books, und Imprint: Springer.
- Rosenkranz, M. (1997). Eurofighter Airpower. Wien. Zugriff 22. November 2014, unter <http://eurofighter.airpower.at/>
- Salmon, P. M., Stanton, N. A., Walker, G. H., Jenkins, D., Ladva, D., Rafferty, L., & Young, M. (2009). Measuring Situation Awareness in complex systems: Comparison of measures study. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39(3), 490–500.
- Salmon, P., Stanton, N., Walker, G., & Green, D. (2006). Situation awareness measurement: A review of applicability for C4i environments. *Applied ergonomics*, 37(2), 225–238.
- Sanford, A. J. & Garrod, S. C. (1981). *Understanding written language: Explorations of comprehension beyond the sentence*. Chichester: Wiley.
- Schmidtke, H. (2002). Vom Sinn und Unsinn der Messung psychischer Belastung und Beanspruchung. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 56(1/2), 4–9.
- Schneider, W. & Shiffrin, R. M. (1977). Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search, and attention. *Psychological review*, 84(1), 1.
- Scholl, B. J. (2001). Objects and attention: The state of the art. *Cognition*, 80(1), 1–46.
- Schramm, H., Schwarte, L., & Lazardzig, J. (2006). *Theatrum scientiarum: Zur architektonik kultureller grenzen im 17. Jahrhundert*. Berlin: Walter de Gruyter.
- Scriven, M. (1967). The methodology of evaluation. In R. W. Tyler, R. M. Gagné, & M. Scriven (Hrsg.), *Perspectives of curriculum evaluation* (Bd. 1). Monograph series on curriculum evaluation. Chicago: Rand McNally.
- Selcon, S. J., Taylor, R. M., & Koritsas, E. (1991). Workload or situational awareness?: TLX vs. SART for aerospace systems design evaluation. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting 1991* (Bd. 2).
- Sesarju.eu. (2014). SESAR: The future of flying.
- Sexton, G. A. (1988). Cockpit Crew Systems Design and Integration. In E. L. Wiener & D. C. Nagel (Hrsg.), *Human Factors in Aviation* (S. 495–526). Academic Press series in cognition and perception. San Diego: Academic Press Inc.
- Shepard, R. N. & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science, New Series*, (171), 701–703.
- Shiffrin, R. M. & Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending and a general theory. *Psychological review*, 84(2), 127.
- Simon, H. A. (1990). Invariants of human behavior. *Annual review of psychology*, 41(1), 1–20.
- Simons, D. J. & Chabris, C. F. (1999). Gorillas in our midst: Sustained inattentional blindness for dynamic events. *Perception-London*, 28(9), 1059–1074.
- Smith, K. & Hancock, P. A. (1995). Situation Awareness Is Adaptive, Externally Directed Consciousness. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 37, 137–148. doi:10.1518/001872095779049444

- Smith, R. E. & Bayen, U. J. (2005). The Effects of Working Memory Resource Availability on Prospective Memory. *Experimental Psychology (formerly "Zeitschrift für Experimentelle Psychologie")*, 52(4), 243–256. doi:10.1027/1618-3169.52.4.243
- Snow, M. P. & Reising, J. M. (2000). Comparison of two situation awareness metrics: SAGAT and SA-SWORD. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Bd. 13).
- Snyder, J. P. (1993). *Flattening the earth: Two thousand years of map projections*. Chicago: University of Chicago Press.
- Spick, M. (1988). *The ace factor: Air combat & the role of situational awareness*. Annapolis: Naval Institute Press.
- Spinoni, M., Wadlow, A. E., Luceron, E., & Hahn, P. (1986). EFACockpit Description. Turin.
- Stanton, N. (Hrsg.). (2013). *Human factors methods: A practical guide for engineering and design* (2. Aufl.). Farnham: Ashgate.
- Stark, J. M., Comstock, R. J. J., Prinzel, L. J., Burdette, D. W., & Scerbo, M. W. (2001). A preliminary examination of situation awareness and pilot performance in a synthetic vision environment. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 45th annual meeting 2001* (Bd. 2).
- Staveland, L. E. & Hart, S. G. (2006). NASA-task load index (NASA-TLX): 20 years later. Moffett Field: SAGE Publications. Zugriff 13. März 2016, unter http://humansystems.arc.nasa.gov/groups/tlx/downloads/HFES_2006_Paper.pdf
- Stephens, E. C. & Carswell, C. M. (2006). Information Processing. In W. Karwowski (Hrsg.), *International encyclopedia of ergonomics and human factors*. Boca Raton: CRC/Taylor & Francis.
- Stevens, A. & Coupe, P. (1978). Distortions in judged spatial relations. *Cognitive Psychology*, 10(4), 422–437.
- Stockmann, A. (2011). *Situationsbewusstsein im Cockpit hochagiler Flugeuge: Erfassung anhand von Blickbewegungen und Fragebogen (SAGAT)* (Diss., Universität Konstanz, Konstanz).
- Stockmann, R. (2006a). Evaluation in Deutschland. In R. Stockmann (Hrsg.), *Evaluationsforschung* (Bd. Bd. 1, S. 15–45). Sozialwissenschaftliche Evaluationsforschung. Münster: Waxmann.
- Stockmann, R. (Hrsg.). (2006b). *Evaluationsforschung: Grundlagen und ausgewählte Forschungsfelder* (3. Aufl.). Sozialwissenschaftliche Evaluationsforschung. Münster: Waxmann.
- Stokes, A. F. & Wickens, C. D. (1988). Aviation Displays. In E. L. Wiener & D. C. Nagel (Hrsg.), *Human Factors in Aviation* (S. 387–431). Academic Press series in cognition and perception. San Diego: Academic Press Inc.
- Stufflebeam, D. L. (2002). The CIPP Model for Evaluation. In D. L. Stufflebeam, G. F. Madaus, & T. Kellaghan (Hrsg.), *Evaluation models* (S. 279–317). Evaluation in education and human services. Boston: Kluwer Academic.
- Styles, E. A. (1997). *The psychology of attention*. Hove: Psychology Press.
- Suhr, J. (2008). *Evaluation von Zoomable User INterfaces für Großflächendisplays in hochagilen Flugzeugen*. Lüneburg.
- Taras, M. (2005). Assessment–summative and formative—some theoretical reflections. *British Journal of Educational Studies*, 53(4), 466–478.

Literatur

- Taylor, H. A. & Rapp, D. N. (2006). Updating Human Spatial Memory. In M. F. Brown & R. G. Cook (Hrsg.), *Animal Spatial Cognition*: Comparative Cognition Press. Zugriff unter <http://www.pigeon.psy.tufts.edu/asc/Taylor/Default.htm>
- Taylor, R. M. (1990). Situational Awareness Rating Technique (SART): The Development Of A Tool For Aircrew Systems Design. In Advisory Group for Aerospace Research & Development (Hrsg.), *Situational Awareness in Aerospace Operations* (). AGARD-CP-478. Neuilly sur Seine.
- Tenney, Y. J., Adams, M. J., Pew, R. W., Huggins, A. W., & Rogers, W. H. (1992). A principled approach to the measurement of situation awareness in commercial aviation.
- Thorndyke, P. W. & Hayes-Roth, B. (1982). Differences in spatial knowledge acquired from maps and navigation. *Cognitive Psychology*, 14(4), 560–589.
- Tien, G., Atkins, M., Zheng, B., & Swindells, C. (2010). Measuring situation awareness of surgeons in laparoscopic training. In *Proceedings of the 2010 Symposium on Eye-Tracking Research & Applications*.
- Tolman, E. C. (1948). Cognitive Maps In Rats And Men. *The Psychological Review*, 1948(55(4)), 189–208. Zugriff unter <http://psychclassics.yorku.ca/Tolman/Maps/maps.htm#f1>
- Treisman, A. (1982). Perceptual grouping and attention in visual search for features and for objects. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 8(2), 194.
- Treisman, A. (1995). The perception of features and objects. In A. D. Baddeley & D. E. Broadbent (Hrsg.), *Attention*. Oxford science publications. Oxford: Clarendon Press und Oxford University Press.
- Treisman, A. M. & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12(1), 97–136.
- Trimble, S. (2011). SEOUL AIR SHOW: Sneak-peek of K-FX cockpit. Zugriff 24. Mai 2014, unter <http://www.flightglobal.com/blogs/the-dewline/2011/10/seoul-air-show-sneak-peek-of-k/>
- Tversky, A. & Kahneman, D. (1974). Judgment under uncertainty: Heuristics and biases. *science*, 185(4157), 1124–1131.
- Uhlirak, J. & Comerford, D. (2002). *A review of situation awareness literature relevant to pilot surveillance functions final report*. DIANE Publishing.
- Vandenberg, S. G. & Kuse, A. R. (1978). Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. *Perceptual and motor skills*, 47(2), 599.
- Vecera, S. P. & Rizzo, M. (2003). Spatial attention: normal processes and their breakdown. *Neurologic Clinics of North America*, 575–607.
- Venturino, M., Hamilton, W. L., & Dvorachack, S. R. (1989). Performance-based measures of merit for tactical situation awareness. *Situational Awareness in Aerospace Operations*,
- Vicente, K. J. (2004). *The human factor: Revolutionizing the way we live with technology*. Toronto: Vintage Canada.
- Vicente, K. J. & Rasmussen, J. (1992). Ecological interface design: Theoretical foundations. *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, 22(4), 589–606.
- Vidulich, M. A. (01.01.1994). Cognitive And Performance Components Of Situation Awareness: SAINT Team Task One Report. In *Situation awareness: Papers and annotated bibliography*.
- Vidulich, M. A. (1989). The Use of Judgment Matrices in Subjective Workload Assessment: The Subjective Workload Dominance (SWORD) Technique. In *Proceedings of the Hu-*

- man Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Bd. Vol. 33 No. 20, S. 1406–1410).
- Vidulich, M. A. (2002). Mental Workload and Situation Awareness: Essential Concepts for Aviation Psychology Practice. In P. Tsang & M. Vidulich (Hrsg.), *Principles and practice of aviation psychology* (S. 115–142). CRC.
- Vidulich, M. A. & Tsang, P. S. (2012). Mental Workload and Situational Awareness. In G. Salvendy (Hrsg.), *Handbook of human factors and ergonomics* (S. 243–273). Wiley.
- Visual Attention Lab. (2015). What can 8,000 trials tell you about visual search? Harvard Zugriff 14. November 2015, unter http://search.bwh.harvard.edu/new/data_set_files.html
- Walker, G. H. (2013). Verbal Protocol Analysis. In N. Stanton (Hrsg.), *Human factors methods* (S. 58–61). Farnham: Ashgate.
- Weiss, H. K. & Weaver, W. (1966). Systems Analysis Problems of Limited War. *Annals of Reliability and Maintainability*, 5, 295.
- Wickens, C. D. (1980). The Structure of Attentional Ressources. In R. S. Nickerson (Hrsg.), *Proceedings of the eighth international symposium on attention and performance, Princeton, New Jersey, USA, August 20-25, 1978* (S. 239–257). Hillsdale (N.J.): Lawrence Erlbaum.
- Wickens, C. D. (2000). The When and How of Using 2-D and 3-D Displays for Operational Tasks. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 44(21), 3-403–3-406. doi:10.1177/154193120004402107
- Wickens, C. D. (2001). Workload and situation awareness. In P. A. Hancock & P. A. Desmond (Hrsg.), *Stress, workload, and fatigue* (S. 443–450). Human factors in transportation. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Wickens, C. D. (2002a). Pilot Actions and Tasks: Selection. Execution and Control. In P. Tsang & M. Vidulich (Hrsg.), *Principles and practice of aviation psychology*. CRC.
- Wickens, C. D. (2006). Information Processing. In G. Salvendy (Hrsg.), *Handbook of Human Factors and Ergonomics* (S. 89–129). Hoboken: John Wiley & Sons, John Wiley, und Sons Ltd.
- Wickens, C. D. (2012). Information Processing. In G. Salvendy (Hrsg.), *Handbook of human factors and ergonomics*. Wiley.
- Wickens, C. (2002b). Situation awareness and workload in aviation. *Current Directions in Psychological Science*, 11(4), 128–133.
- Wickens, C. & Prevett, T. (1995). Exploring the dimensions of egocentricity in aircraft navigation displays. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 1(2), 110.
- Wickens, C. & Yeh, Y. (1985). POCs and performance decrements: A reply to Kantowitz and Weldon. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 27(5), 549–554.
- Wickens, C. D. (1981). *Processing resources in attention, dual task performance, and workload assessment*. Defense Technical Information Center.
- Wickens, C. D. (1995). Situation Awareness: Impact of Automation and Display Technology. In Advisory Group for Aerospace Research & Developement (Hrsg.), *Situation Awareness* (Bd. AGARD-CP-575, K21–K213). Neuilly sur Seine.
- Wickens, C. D. (2002c). Aviation Displays. In P. Tsang & M. Vidulich (Hrsg.), *Principles and practice of aviation psychology* (S. 147–200). CRC.
- Wickens, C. D. (2002d). Multiple resources and performance prediction. *Theoretical issues in ergonomics science*, 3(2), 159–177.

Literatur

- Wickens, C. D. (2002e). Spatial awareness biases. Savoy. Zugriff 21. Januar 2015, unter http://hsi.arc.nasa.gov/groups/HCSL/publications/Wickens_SABias.pdf
- Wickens, C. D., Gordon, S. E., & Liu, Y. (2004). *An introduction to human factors engineering* (2nd ed). Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall.
- Wickens, C. D. & Hollands, J. (1999). *Engineering Psychology and Human Performance*. Pearson Education (US).
- Wickens, C. D. & McCarley, J. S. (2010). *Applied attention theory*. CRC Press.
- Wickens, T. D. (2002f). *Elementary signal detection theory*. Oxford: Oxford University Press.
- Wiener, E. L. (1988). Cockpit Automation. In E. L. Wiener & D. C. Nagel (Hrsg.), *Human Factors in Aviation* (S. 433–461). Academic Press series in cognition and perception. San Diego: Academic Press Inc.
- William, J. (1890). The principles of psychology. *Harvard UP, Cambridge, MA*.
- Williams, K. W. (2002). Impact of aviation highway-in-the-sky displays on pilot situation awareness. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 44(1), 18–27.
- Wilson, G. F. (2000). Strategies for Psychophysiological Assessment of Situation Awareness. In M. R. Endsley & D. J. Garland (Hrsg.), *Situation awareness* (S. 175–188). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Wittmann, D. (2009). *Informationsanzeige in einer perspektivischen Geländedarstellung in hochagilen Flugzeugen: Unveröffentlichte Diplomarbeit*. München: Hochschule München.
- Wittmann, D., Baier, A., Neujahr, H., Petermeier, B., Sandl, P., Vernaleken, C., & Vogelmeier, L. (2011). *Development and Evaluation of Stereoscopic Situation Displays for Air Traffic Control*. Universitätsbibliothek Ilmenau.
- Wolff, C. (2014). Der Radarschirm "B-Scope". Zugriff 8. Februar 2014, unter <http://www.radartutorial.eu/12.scopes/sc06.de.html>
- Wottawa, H. & Thierauf, H. (1998). *Lehrbuch Evaluation* (2., vollst. überarb. Aufl). Aus dem Programm Huber: Psychologie Lehrbuch. Bern [u.a.]: Huber.
- Yantis, S. (2000). Goal-Directed and Stimulus-Driven Determinants of Attentional Control. In S. Monsell & J. Driver (Hrsg.), *Control of cognitive processes: Attention and performance XVIII* (S. 73–103). MIT Press.
- Yeh, Y.-Y. & Wickens, C. D. (1988). Dissociation of performance and subjective measures of workload. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 30(1), 111–120.
- Young, L. R. (2002). Spatial Orientation. In P. Tsang & M. Vidulich (Hrsg.), *Principles and practice of aviation psychology* (S. 72–109). CRC.
- Zsambok, C. E. & Klein, G. A. (Hrsg.). (1997). *Naturalistic decision making*. Expertise, research and applications. Mahwah: L. Erlbaum Associates.

Abbildungsverzeichnis

1.1	Die Displayentwicklung über verschiedene technische Entwicklungsstufen.	6
1.2	Entwicklung der Anzahl der Displayelemente.	7
1.3	Digitale Displays im Cockpit.	8
1.4	Vision für die Cockpits der Zukunft.	10
1.5	Neuartige, großflächige Anzeige- und Bedienkonzepte.	12
2.1	Interaktionen zwischen Umwelt, technischem System und Operateur.	23
3.1	Das Rahmenmodell der stufenbasierten Informationsverarbeitung.	31
3.2	Arbeitsgedächtnis, Langzeitgedächtnis und deren Verbindungen.	33
3.3	Sterbewahrscheinlichkeit von Kampfpiloten.	42
3.4	Ein operationell geprägtes Modell der Situationsverarbeitung.	43
3.5	Zwei alternative Modelle des Situationsbewusstseins.	45
3.6	Endsleys Modell des Situationsbewusstseins.	47
3.7	Modell der antizipativen Verhaltenskontrolle.	52
3.8	Klassische Ansicht der Messmethoden des Situationsbewusstseins.	54
3.9	Einteilung der Messung des Situationsbewusstseins.	55
3.10	Das Modell von Belastung und Beanspruchung.	73
3.11	Performance Ressource Function und Performance Operator Characteristic. . .	76
3.12	Integration von Situationsbewusstseins in das Modell der Informationsverarbeitung.	78
3.13	Der Zusammenhang von Situationsbewusstsein und Workload.	79
4.1	Rangordnung der umweltbezogenen Informationskategorien.	86
4.2	Belastung der Informationsverarbeitung durch umweltspezifischen Informationen.	88
5.1	Cockpitauslegung des Eurofighter Typhoon.	90
5.2	Drei ausgewählte Displayformate des Eurofighter.	92
5.3	Das Konzept des Panoramic Display.	94
5.4	Gliederung von Tiefenhinweisreize.	96
5.5	Taxonomische Grundlage der Einordnung von Raumdarstellungen.	97
5.6	Visualisierung der Projektionsarten Zylinder und Kugel.	100
5.7	Die Zylinderanamorphose „Saint Jerome Praying“	102
5.8	Indikatrix zur Veranschaulichung der Verzerrung in verschiedenen Darstellungen.	103
5.9	Egozentrische Kugelprojektion mit Objekten.	105
5.10	Koplanare Darstellung von Raum mit Objekten.	106
5.11	Exozentrische Darstellung von Raum mit Objekten.	106
6.1	Das experimentelle Setups der Untersuchung von Stockmann, 2011.	111
6.2	Ergebnisse des SAGAT sowie der RSME bei Stockmann, 2011.	112
6.3	Scarfplots als Aufmerksamkeitszuwendung zu Displays über die Zeit.	114

Abbildungsverzeichnis

6.4	Transitionen und Betrachtungsdauern für alle Displays	117
6.5	Sequentiellen Blickmuster geordnet nach ihrer relativen Häufigkeit.	120
6.6	Dichtewerte aller Transitionsmatrizen für bis zu fünf Übergänge.	121
7.1	Hierarchische und teilhierarchische Betrachtung von örtlicher Repräsentation. .	130
7.2	Übersicht der zu realisierenden Untersuchungen.	135
8.1	Die wichtigsten Merkmale der ersten Untersuchungen.	138
8.2	Graphische Antwortmaske zur Eingabe einer relativen Objektposition.	140
8.3	Die Bodengitterdarstellung in der Kugelprojektion.	144
8.4	Darstellung der Blickpunkte des Betrachters in der Projektion.	145
8.5	Minimale und maximale Kombination aus Höhe und Betrachtungstiefe.	145
8.6	Objektlot und Höhenskala, sowie nicht realisierte Faktoren	146
8.7	Versuchsaufbau im PANDIS-Mock-Up	148
8.8	Ablauf eines Trials in Experiment 1	150
8.9	Übersicht über festgestellte Effekte bei Objektverortung.	151
8.10	Einschätzungszeit als Funktion des Referenzgitters, ohne 10kft.	153
8.11	Abweichung als Funktion des Referenzgitters, ohne 10kft.	154
8.12	Einschätzungszeit des Azimut, der Entfernung und der Höhe in Sekunden als Funktion des Referenzgitters, mit 10kft.	155
8.13	Abweichung des Azimut, der Entfernung und der Höhe in Prozent als Funktion des Referenzgitters, mit 10kft.	156
8.14	Einschätzungszeit in Sekunden als Funktion des Blickfeldes, ohne 10kft	157
8.15	Abweichung in Prozent als Funktion des Blickfeldes, ohne 10kft	157
8.16	Einschätzungszeit in Sekunden als Funktion des Blickfeldes, mit 10kft	158
8.17	Abweichung in Prozent als Funktion des Blickfeldes, mit 10kft	158
8.18	Darstellung der Einschätzzeit als Funktion des Azimutwinkels des Zielobjektes	163
8.19	Einschätzungszeit des Azimut, der Entfernung und der Höhe in Sekunden als Funktion der Blicktiefe, ohne 10kft.	164
8.20	Abweichung des Azimut, der Entfernung und der Höhe in Prozent als Funktion der Blicktiefe, ohne 10kft.	165
8.21	Einschätzungszeit in Sekunden und Abweichung aller Dimensionen in Prozent als Funktion der Betrachterhöhe, ohne 10kft.	166
8.22	Einschätzungszeit in Sekunden und Abweichung aller Dimensionen in Prozent als Funktion der Betrachterhöhe, mit 10kft.	167
8.23	Die Raumansichten Karte und Kugelprojektion im Vergleich.	169
8.24	Der Azimut der Zielobjekte der Verortungsaufgabe.	170
8.25	Versuchsaufbau der zweiten Untersuchung zur Orientierung.	173
8.26	Trialablauf der zweiten Untersuchung zur Orientierung.	175
8.27	Trefferhäufigkeit und Orientierungszeit als Funktion der Darstellung.	177
8.28	Trefferhäufigkeit und Orientierungszeit als Funktion der Erfahrung.	178
8.29	Relative Trefferhäufigkeit und Orientierungszeit für alle Segmente.	181
8.30	Orientierungszeit als Funktion für Haupt- und Nebenachsen.	182
9.1	Die wichtigsten Merkmale der Untersuchungen zur Antizipation unter repräsentativen Bedingungen.	184
9.2	Die in Untersuchung 3 realisierte Darstellung der Kontakte.	187

9.3 Die in Untersuchung 3 realisierten Darstellungen des Raumes und die Antwortmaske.	189
9.4 Der Ablauf der einzelnen Trials folgt einem festen Schema	192
9.5 Effektübersicht bei Positionsverständnis und -antizipation, für Zeit und Abweichung.	195
9.6 Effektübersicht bei Positionsverständnis und -antizipation, für Workload und Situationsbewusstsein.	195
9.7 Wiedergabezeit, Abweichung, Workload und subjektives Situationsbewusstsein als Funktion der Raumansicht in Untersuchung 3.	196
9.8 Wiedergabezeit, Abweichung, Workload und subjektives Situationsbewusstsein als Funktion der Anzahl der Objekte in Untersuchung 3.	200
9.9 Wiedergabezeit, Abweichung, Workload und subjektives Situationsbewusstsein als Funktion der Anzahl der Objekte in Untersuchung 3.	204
9.10 Wiedergabezeiten und Abweichungen als Interaktion der Anzahl der Zielobjekte und der Ansicht.	207
9.11 Subjektive Workload als Interaktion der Anzahl der Zielobjekte und der Ansicht.	208
9.12 Subjektives Situationsbewusstsein als Interaktion der Anzahl der Zielobjekte und der Ansicht.	209
9.13 Wiedergabezeiten und Abweichungen als Interaktion der Ansicht und des Abfragezeitpunktes.	210
9.14 Subjektive Workload als Interaktion der Ansicht und des Abfragezeitpunktes.	211
9.15 Subjektives Situationsbewusstsein als Interaktion der Ansicht und des Abfragezeitpunktes.	211
 10.1 Die wichtigsten Merkmale der Untersuchungen zur Konfliktantizipation.	215
10.2 Einschätzungsskalen für die Bewertung der modulspezifischen Workload. Der Bogen wurde zur Erhebung der Belastung in repräsentativen Flugsituationen in Kapitel 4 verwendet und in der Untersuchung zu Kontrolle eingesetzt. Durch die Abfrage sollte überprüft werden, inwiefern die Umsetzung der erfragten Belastung (s.a. Abb. 4.2) in der Untersuchung gelungen ist.	218
10.3 Die Reize der visuellen Zusatzaufgabe von Experiment 4.	221
10.4 Die Reize der Gedächtniszusatzaufgabe von Experiment 4.	221
10.5 Die Reize der mentalen Rotationsaufgabe von Experiment 4.	222
10.6 Mentale Rotationszeit als Funktion des Drehwinkels und der Drehebene.	222
10.7 Der Ablauf eines Trials in Experiment 4 mit Darbietung der Zusatzaufgabe.	223
10.8 Die in Experiment 4 verwendeten Ansichten als koplanare, exozentrische und panoramische Darstellung.	232
10.9 In Experiment 4 wurden eine Maus sowie ein angepasstes Numpad zur Eingabe von Antworten verwendet.	233
10.10 Gegenüberstellung des erfragten und des realisierten Belastungsprofils.	233
10.11 Übersicht über die festgestellten Effekte der Konfliktantizipation.	235
10.12 Übersicht über die festgestellten Effekte der subjektiven Befragung bei Konfliktantizipation.	235
10.13 Konfliktantizipation als Funktion der Anzeigeart.	236
10.14 Subjektiv eingeschätzte Belastung als Funktion der Anzeigeart bei der Konfliktantizipation.	239
10.15 Konfliktantizipation als Funktion der Schwierigkeit der Hauptaufgabe.	241

Abbildungsverzeichnis

10.16	Subjektiv eingeschätzte Belastung und Situationsbewusstsein als Funktion der Schwierigkeit der Hauptaufgabe bei der Konfliktantizipation.	241
10.17	Konfliktantizipation als Funktion der dargebotenen Zusatzaufgabe.	243
10.18	Subjektiv eingeschätzte Belastung und Situationsbewusstsein als Funktion der Zusatzaufgabe bei der Konfliktantizipation.	247
10.19	Konfliktantizipation als Funktion der Anzeigeart und Schwierigkeit der Hauptaufgabe.	248
10.20	Konfliktantizipation als Funktion der Anzeigeart und Zusatzaufgabe.	249
10.21	Die Bearbeitung der Zusatzaufgaben als Zeitverlauf aus den Rohdaten.	251
10.22	Leistung in den Zusatzaufgaben im Antizipationsexperiment.	252
10.23	POCS für Haupt und Zusatzaufgabe als Funktion des Displays im Antizipationsexperiment.	252
10.24	POCS für Haupt und Zusatzaufgabe als Funktion der Interaktion Display und Schwierigkeit der Hauptaufgabe im Antizipationsexperiment.	254
C.1	Der in Untersuchung 3 verwendete NASA TLX in deutscher Übersetzung.	298
C.2	Der in Untersuchung 3 verwendete 3D-SART in deutscher Übersetzung.	299

Tabellenverzeichnis

3.1	Anticipationsmodelle und deren Eigenschaften.	51
3.2	Vergleich der Informationsverarbeitung und des Situationsbewusstseins.	80
4.1	Situative Elemente der Umwelt im hochagilen Flug.	84
4.2	Unterschiede der Ränge der Informationskategorien sowie die Urteilsüberereinstimmung der Antworten.	86
5.1	Kosten bei der Verwendung verschiedener Anzeigen.	98
5.2	Vorteile der Darstellungsmetaphern Zylinder und Kugel.	101
5.3	Kosten bei der Verwendung der ego- und exozentrischen und koplanaren Darstellung von Raum.	108
6.1	Blickverweildauern auf Informationsanzeigen und Tracking-Aufgabe.	115
6.2	Transitionsmatrizen für Blickübergänge zwischen den Anzeigen.	116
6.3	Gefundene Blickmuster auf den verschiedenen Informationsanzeigen.	119
6.4	Dichtewerte als deskriptive Übersicht	121
8.1	Realisierte Blickfelder der ersten Untersuchung.	142
8.2	Faktorstufenplan von Untersuchung 1.	147
8.3	Einschätzungszeiten in s als Funktion des Referenzgitters ohne 10kft Höhe.	152
8.4	Abweichung als Funktion des Referenzgitters ohne 10kft Höhe.	152
8.5	Einschätzungszeiten als Funktion des Referenzgitters mit 10kft Höhe.	153
8.6	Abweichung als Funktion des Referenzgitters mit 10kft Höhe.	154
8.7	Einschätzungszeit aller Dimensionen in Sekunden als Funktion des Blickfeldes ohne 10kft.	159
8.8	Abweichung aller Dimensionen in Prozent als Funktion des Blickfeldes ohne 10kft.	160
8.9	Einschätzungszeit aller Dimensionen in Sekunden als Funktion des Blickfeldes mit 10kft.	161
8.10	Abweichung aller Dimensionen in Prozent als Funktion des Blickfeldes mit 10kft.	162
8.11	Test auf Azimutabhängigkeit der Schätzzeit bei vier Sektoren.	162
8.12	Einschätzungszeit des Azimut, der Entfernung und der Höhe in s als Funktion der Blicktiefe, ohne 10kft.	163
8.13	Abweichung des Azimut, der Entfernung und der Höhe in Prozent als Funktion der Blicktiefe, ohne 10kft.	164
8.14	Einschätzungszeit in Sekunden aller Dimensionen als Funktion der Betrachterhöhe, ohne 10kft.	165
8.15	Abweichung aller Dimensionen als Funktion der Betrachterhöhe, ohne 10kft.	166
8.16	Einschätzungszeit in Sekunden als Funktion der Betrachterhöhe, mit 10kft.	167
8.17	Abweichung aller Dimensionen als Funktion der Betrachterhöhe, mit 10kft.	167
8.18	In Untersuchung 2 realisierte Azimutwinkel der Zielobjekte.	171

Tabellenverzeichnis

8.19 In Untersuchung 2 realisierter Faktorstufenplan.	172
8.20 Relative Trefferhäufigkeit und Orientierungszeit für Kugelprojektion und Kartendarstellung.	176
8.21 Orientierungszeit und relative Trefferhäufigkeit als Funktion der Erfahrung der Probanden.	177
8.22 Die Tabelle zeigt die mittleren Orientierungszeiten für alle 12 Azimutsegmente.	179
8.23 Die Tabelle zeigt relativen Trefferhäufigkeiten für alle 12 Azimutsegmente.	180
8.24 Vergleich der Haupt- und Nebenachsen bezüglich relativer Trefferhäufigkeit.	182
8.25 Vergleich der Haupt- und Nebenachsen bezüglich Orientierungszeit.	183
 9.1 Der hierarchische Plan von Untersuchung 3 mit den Faktoren Ansicht, Zielobjekte und Abfragezeitpunkt.	192
9.2 Einfluss der Raumdarstellung auf die Abweichung.	197
9.3 Einfluss der Raumdarstellung auf die Wiedergabezeit.	197
9.4 Einfluss der Raumdarstellung auf die Workload.	198
9.5 Einfluss der Raumdarstellung auf das subjektive Situationsbewusstsein.	198
9.6 Die Wiedergabegenaugigkeit der verschiedenen Dimensionen als Funktion der Objektanzahl.	201
9.7 Die Wiedergabezeit der verschiedenen Dimensionen als Funktion der Objektanzahl.	201
9.8 Workload als Funktion der Objektanzahl.	202
9.9 Subjektiv erlebtes Situationsbewusstsein als Funktion der Objektanzahl.	203
9.10 Abfragezeitpunkt und Wiedergabegenaugigkeit der aktuellen und zukünftigen Position.	203
9.11 Abfragezeitpunkt, Wiedergabezeit	203
9.12 Workload als Funktion des Abfragezeitpunktes.	205
9.13 Subjektiv erlebtes Situationsbewusstsein als Funktion des Abfragezeitpunktes.	205
 10.1 Die Faktoren Ansicht, Schwierigkeit der Hauptaufgabe und Art der Zusatzaufgabe als tabellarische Übersicht.	228
10.2 Aufteilung der Konflikte auf die zu beobachtenden Sektoren in der Untersuchung zur Konfliktantizipation.	228
10.3 Die Tabelle zeigt die Hit-, False-Alarm-Rate, d' sowie A' für den Faktor Display, Fortsetzung in Tabelle 10.4.	237
10.4 Die Tabelle zeigt die Hit-, False-Alarm-Rate, d' sowie A' für den Faktor Display, Fortsetzung von Tabelle 10.3.	238
10.5 Workload und subjektiv eingeschätztes Situationsbewusstsein als Funktion der Anzeigeart.	240
10.6 Die Tabelle zeigt die Hit-, False-Alarm-Rate, d' sowie A' für den Faktor Schwierigkeit der Hauptaufgabe.	242
10.7 Workload und subjektiv eingeschätztes Situationsbewusstsein als Funktion der Aufgabenschwierigkeit der Hauptaufgabe	243
10.8 Die Tabelle zeigt die Leistungswerte für die Hauptaufgabe unter Bearbeitung der Zusatzaufgabe, Fortsetzung in Tabelle 10.9	244
10.9 Die Tabelle zeigt die Leistungswerte für die Hauptaufgabe unter Bearbeitung der Zusatzaufgabe, Fortsetzung von Tabelle 10.8.	245

10.10 Workload und subjektiv eingeschätztes Situationsbewusstsein als Funktion der Zusatzaufgabe.	246
10.11 Bearbeitungsgrade der Zusatzaufgabe abhängig von der Zuordnung als Baseline bzw. im Experiment.	250
10.12 Die Tabelle zeigt die ungewichteten und gewichteten Parameter A' und A'_{adj}	251
A.1 Die für die Befragung erweiterten Umweltkategorien.	294
C.1 Wiedergabezeiten (s) als Interaktionsfunktion der Anzahl der Zielobjekte und der Ansicht von Untersuchung 3.	300
C.2 Abweichungen (%) als Interaktionsfunktion der Anzahl der Zielobjekte und der Ansicht von Untersuchung 3.	301
C.3 NASA-TLX-Werte als Interaktionsfunktion der Anzahl der Zielobjekte und der Ansicht von Untersuchung 3.	302
C.4 NASA-TLX-Werte als Interaktionsfunktion der Anzahl der Zielobjekte und der Ansicht von Untersuchung 3.	303
C.5 3D-SART-Werte als Interaktionsfunktion der Anzahl der Zielobjekte und der Ansicht von Untersuchung 3.	303
C.6 Wiedergabezeiten und Abweichungen als Interaktion der Ansicht und des Abfragezeitpunktes.	304
C.7 NASA-TLX-Werte als Interaktionsfunktion der Ansicht und des Abfragezeitpunktes von Untersuchung 3.	305
C.8 SART-Werte als Interaktionsfunktion der Ansicht und des Abfragezeitpunktes von Untersuchung 3.	306
C.9 Nicht betrachtete Interaktionen zwischen Anzahl der Zielobjekte und des Abfragezeitpunktes.	306
C.10 Nicht betrachtete Interaktionen zwischen Anzahl der Zielobjekte und des Abfragezeitpunktes der subjektiven Bewertungen.	307
D.1 Abgebildet sind die Leistungswerte der Interaktion Display und Schwierigkeit der Hauptaufgabe der Konfliktantizipation.	318
D.2 Abgebildet sind die Leistungswerte der Interaktion Display und Zusatzaufgabe bei der Konfliktantizipation.	319
D.3 Abgebildet sind die Leistungswerte der Interaktion Display und Zusatzaufgabe bei der Konfliktantizipation.	320

Teil VI

Anhang

A Material zu Abschnitt 4

A Material zu Abschnitt 4

Geographische Elemente	Spatiotemporale Elemente	Taktische Elemente
Position eigener, anderer LFZ oder des Teams	Fluglage, eigene oder andere LFZ	Identifikation Feind
Geländeeigenschaften	Höhe, eigene oder andere LFZ	taktischer Status, eigener oder andere Beteiligte
Flughäfen	Flugrichtung, eigene oder andere LFZ	Typ des/der anderen LFZ
Städte	Geschwindigkeit, eigene oder andere LFZ	taktische Fähigkeiten, eigene, andere LFZ oder Team
Wegpunkte	Steig- oder Sinkrate, eigenes oder anderes LFZ	Position, andere LFZ oder Team
Navigationsfixpunkte	G-Last	Flugdynamik, andere LFZ
Position relativ zu Geländemarkmalen	Flugpfad, eigenes oder andere LFZ	eigene Fähigkeiten im Vergleich zu anderen
Flugpfad zu erwünschtem Zielort	Abweichung vom Flugpfad, eigenes oder anderes LFZ	detektierte LFZ, Umwelt oder Anzeigen
Steigpunkte	Abweichung anderer LFZ von Freigaben	Abschussfähigkeiten, eigene, andere LFZ oder Team
Sinkpunkte	Fähigkeiten, eigenes oder anderes LFZ vorhergesehener Flugpfad, eigenes oder andere LFZ	Zielfähigkeiten, eigene, andere LFZ oder Team Bedrohungspriorisation
		Bedrohung und Zuweisung, eigene, andere Team
		aktuelle und vorhergesehene Bedrohungsintentionen
		taktische Manöver erkennen und bewerten
		Abschuss und Manöver
		Missionstiming
		Missionsstatus
12 (Endsley: 10)	19 (Endsley (11))	29 (Endsley: 18)

Tabelle A.1: Die für die Befragung erweiterten Umweltkategorien nach Endsley (1999). Die jeweiligen Elemente wurden so angepasst, dass sich die Anwendungsfälle CAP, RM und A/S abbilden lassen. Aus den ursprünglich 39 Elementen wurden 60 für die Befragung gebildet.

B Material zu Abschnitt 8.2

Ohne 10kft Höhe

Referenzgitter * Blickfeld

Einschätzungszeiten:

Referenzgitter * Blickfeld, Azimut: $F = 1,18$; $df = 4$; $p \leq ,33$; $\eta^2 = ,053$;

Referenzgitter * Blickfeld, Entfernung: $F = 1,27$; $df = 3$; $p \leq ,29$; $\eta^2 = ,057$;

Referenzgitter * Blickfeld, Höhe: $F = 2,42$; $df = 4$; $p \leq ,05$; $\eta^2 = ,103$

Abweichungen:

Referenzgitter * Blickfeld, Azimut: $F = 1,02$; $df = 6$; $p \leq ,41$; $\eta^2 = ,046$;

Referenzgitter * Blickfeld, Entfernung: $F = 2,04$; $df = 6$; $p \leq ,07$; $\eta^2 = ,088$;

Referenzgitter * Blickfeld, Höhe: $F = 1,32$; $df = 6$; $p \leq ,25$; $\eta^2 = ,059$

Referenzgitter * Blickfeld:

Einschätzungszeiten:

Referenzgitter * Blickfeld, Azimut: $F = 0$; $df = 1$; $p \leq ,96$; $\eta^2 = ,000$;

Referenzgitter * Blickfeld, Entfernung: $F = ,62$; $df = 1$; $p \leq ,44$; $\eta^2 = ,028$;

Referenzgitter * Blickfeld, Höhe: $F = ,13$; $df = 1$; $p \leq ,72$; $\eta^2 = ,006$

Abweichungen:

Referenzgitter * Blickfeld, Azimut: $F = 0$; $df = 1$; $p \leq ,99$; $\eta^2 = ,000$;

Referenzgitter * Blickfeld, Entfernung: $F = 3,88$; $df = 1$; $p \leq ,06$; $\eta^2 = ,156$;

Referenzgitter * Blickfeld, Höhe: $F = ,81$; $df = 1$; $p \leq ,38$; $\eta^2 = ,037$

Blickfeld * Höhe

Einschätzungszeiten:

Blickfeld * Höhe, Azimut: $F = 2,25$; $df = 2$; $p \leq ,11$; $\eta^2 = ,097$;

Blickfeld * Höhe, Entfernung: $F = ,91$; $df = 6$; $p \leq ,49$; $\eta^2 = ,041$;

Blickfeld * Höhe, Höhe: $F = 1,71$; $df = 6$; $p \leq ,12$; $\eta^2 = ,075$

Abweichungen:

Blickfeld * Höhe, Azimut: $F = 2,16$; $df = 4$; $p \leq ,09$; $\eta^2 = ,093$

Blickfeld * Höhe, Entfernung: $F = 3,61$; $df = 4$; $p \leq ,01$; $\eta^2 = ,147$

Blickfeld * Höhe, Höhe: $F = 5,3$; $df = 6$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,201$

Referenzgitter * Entfernung

Einschätzungszeiten:

Referenzgitter * Entfernung, Azimut: $F = ,3$; $df = 1$; $p \leq ,59$; $\eta^2 = ,014$;

Referenzgitter * Entfernung, Entfernung: $F = ,17$; $df = 1$; $p \leq ,68$; $\eta^2 = ,008$;

Referenzgitter * Entfernung, Höhe: $F = ,41$; $df = 1$; $p \leq ,53$; $\eta^2 = ,019$

Abweichungen:

Referenzgitter * Entfernung, Azimut: $F = ,2$; $df = 1$; $p \leq ,66$; $\eta^2 = ,009$;

Referenzgitter * Entfernung, Entfernung: $F = 3,3$; $df = 1$; $p \leq ,08$; $\eta^2 = ,136$;

Referenzgitter * Entfernung, Höhe: $F = ,09$; $df = 1$; $p \leq ,77$; $\eta^2 = ,004$

Blickfeld * Entfernung

Einschätzungszeiten:

Blickfeld * Entfernung, Azimut: $F = 4,16$; $df = 4$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,165$

Blickfeld * Entfernung, Entfernung: $F = 2,72$; $df = 3$; $p \leq ,04$; $\eta^2 = ,115$

Blickfeld * Entfernung, Höhe: $F = 1,64$; $df = 4$; $p \leq ,18$; $\eta^2 = ,073$

Abweichungen:

Blickfeld * Entfernung, Azimut: $F = 1,52$; $df = 4$; $p \leq ,21$; $\eta^2 = ,068$

Blickfeld * Entfernung, Entfernung: $F = 11,6$; $df = 4$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,356$

Blickfeld * Entfernung, Höhe: $F = 11,65$; $df = 6$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,357$

Höhe * Entfernung

Einschätzungszeiten:

Höhe * Entfernung, Azimut: $F = 1,09$; $df = 1$; $p \leq ,31$; $\eta^2 = ,049$;

Höhe * Entfernung, Entfernung: $F = ,64$; $df = 1$; $p \leq ,43$; $\eta^2 = ,03$;

Höhe * Entfernung, Höhe: $F = 0$; $df = 1$; $p \leq ,99$; $\eta^2 = ,000$

Abweichung

Höhe * Entfernung, Azimut: $F = 2,66$; $df = 1$; $p \leq ,12$; $\eta^2 = ,112$

Höhe * Entfernung, Höhe: $F = ,06$; $df = 1$; $p \leq ,8$; $\eta^2 = ,003$

Höhe * Entfernung, Entfernung: $F = 16,16$; $df = 1$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,435$

Mit 10kft Höhe

Bodengitter * FOV

Einschätzungszeit

Bodengitter * FOV, Azimut: $F = 1,12$; $df = 6$; $p \leq ,35$; $\eta^2 = ,053$;

Bodengitter * FOV, Entfernung: $F = 1,51$; $df = 3$; $p \leq ,22$; $\eta^2 = ,070$;

Bodengitter * FOV, Höhe: $F = 1,63$; $df = 6$; $p \leq ,15$; $\eta^2 = ,075$

Abweichung

Bodengitter * FOV, Azimut $F = 1,27$; $df = 3$; $p \leq ,29$; $\eta^2 = ,060$

Bodengitter * FOV, Entfernung $F = 4,42$; $df = 6$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,181$

Bodengitter * FOV, Höhe $F = 2,43$; $df = 6$; $p \leq ,03$; $\eta^2 = ,108$

Bodengitter * Betrachterhöhe

Einschätzungszeit

Bodengitter * Betrachterhöhe, Azimut: $F = ,28$; $df = 2$; $p \leq ,76$; $\eta^2 = ,014$;

Bodengitter * Betrachterhöhe, Entfernung: $F = ,54$; $df = 2$; $p \leq ,59$; $\eta^2 = ,026$;

Bodengitter * Betrachterhöhe, Höhe: $F = 1,19$; $df = 2$; $p \leq ,31$; $\eta^2 = ,0560$

Abweichung

Bodengitter * Betrachterhöhe, Azimut: $F = 5,72$; $df = 2$; $p \leq ,01$; $\eta^2 = ,222$

Bodengitter * Betrachterhöhe, Entfernung: $F = ,14$; $df = 2$; $p \leq ,87$; $\eta^2 = ,007$

Bodengitter * Betrachterhöhe, Höhe: $F = 1,89$; $df = 2$; $p \leq ,16$; $\eta^2 = ,087$

FOV * Betrachterhöhe

Einschätzungszeit

FOV * Betrachterhöhe, Azimut: $F = 3,61$; $df = 6$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,153$

FOV * Betrachterhöhe, Entfernung $F = 1,71$; $df = 5$; $p \leq ,14$; $\eta^2 = ,079$

FOV * Betrachterhöhe, Höhe $F = 3,06$; $df = 5$; $p \leq ,01$; $\eta^2 = ,133$

Abweichungen

FOV * Betrachterhöhe, Azimut: $F = 2,23$; $df = 5$; $p \leq ,05$; $\eta^2 = ,100$;

FOV * Betrachterhöhe, Entfernung: $F = 4,91$; $df = 6$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,197$;

FOV * Betrachterhöhe, Höhe: $F = 2,54$; $df = 12$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,113$

C Material zu Abschnitt 9

C Material zu Abschnitt 9

PROBAND NR	ZUORDNUNG
Geben Sie jetzt bitte an, wie hoch die Beanspruchung in den einzelnen Dimensionen war!	
Geistige Anforderungen	
Wie viel geistige Anstrengung war bei der Informationsaufnahme und bei der Informationsverarbeitung erforderlich (z. B. Denken, Entscheiden, Rechnen, Erinnern, Hinschen, Suchen...)? War die Aufgabe leicht oder anspruchsvoll, einfach oder komplex, erforderte sie hohe Genauigkeit oder ist sie fehlertolerant?	<p>A horizontal scale consisting of 15 vertical tick marks. The word "gering" is positioned under the first tick mark, and "hoch" is positioned under the last tick mark.</p>
Körperliche Anforderungen	
Wie viel körperliche Aktivität war erforderlich (z.B. ziehen, drücken, drehen, steuern, aktivieren...)? War die Aufgabe leicht oder schwer, einfach oder anstrengend, erholsam oder mühselig?	<p>A horizontal scale consisting of 15 vertical tick marks. The word "gering" is positioned under the first tick mark, and "hoch" is positioned under the last tick mark.</p>
Zeitliche Anforderung	
Wie viel Zeitdruck empfanden Sie hinsichtlich der Häufigkeit oder dem Takt mit dem die Aufgabe oder Aufgabenelemente auftraten? War die Abfolge langsam und geruhig oder schnell und hektisch?	<p>A horizontal scale consisting of 15 vertical tick marks. The word "gering" is positioned under the first tick mark, and "hoch" is positioned under the last tick mark.</p>
Ausführung der Aufgaben	
Wie erfolgreich haben Sie ihrer Meinung nach die vom Versuchsleiter (oder Ihnen selbst) gesetzten Ziele erreicht? Wie zufrieden waren Sie mit Ihrer Leistung bei der Verfolgung dieser	<p>A horizontal scale consisting of 15 vertical tick marks. The word "gering" is positioned under the first tick mark, and "hoch" is positioned under the last tick mark.</p>
Anstrengung	
Wie hart mussten Sie arbeiten, um Ihren Grad an Aufgabenerfüllung zu erreichen?	<p>A horizontal scale consisting of 15 vertical tick marks. The word "gering" is positioned under the first tick mark, and "hoch" is positioned under the last tick mark.</p>
Frustration	
Wie unsicher, entmutigt, irritiert, gestresst und verärgert (versus sicher, bestätigt, zufrieden, entspannt und zufrieden mit sich selbst) fühlten Sie sich während der Aufgabe?	<p>A horizontal scale consisting of 15 vertical tick marks. The word "gering" is positioned under the first tick mark, and "hoch" is positioned under the last tick mark.</p>

Abbildung C.1: Der in Untersuchung 3 verwendete NASA TLX in deutscher Übersetzung.

PROBAND NR.	ZUORDNUNG																							
<p>Bitte bewerten Sie sich nun in den untenstehenden Kategorien.</p> <p>Bitte bewerten Sie für das aktuelle Szenario ihr(en) ...</p>																								
<p>... Bedarf an Aufmerksamkeitsressourcen</p>	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">NIEDRIG</th> <th colspan="7"></th> <th style="text-align: center;">HOCH</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">1</th> <th style="text-align: center;">2</th> <th style="text-align: center;">3</th> <th style="text-align: center;">4</th> <th style="text-align: center;">5</th> <th style="text-align: center;">6</th> <th style="text-align: center;">7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: white;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: white;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> </tr> </tbody> </table>	NIEDRIG								HOCH	1	2	3	4	5	6	7							
NIEDRIG								HOCH																
1	2	3	4	5	6	7																		
<p>... Verfügbarkeit von Aufmerksamkeitsressourcen</p>	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">NIEDRIG</th> <th colspan="7"></th> <th style="text-align: center;">HOCH</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">1</th> <th style="text-align: center;">2</th> <th style="text-align: center;">3</th> <th style="text-align: center;">4</th> <th style="text-align: center;">5</th> <th style="text-align: center;">6</th> <th style="text-align: center;">7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: white;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: white;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: white;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> </tr> </tbody> </table>	NIEDRIG								HOCH	1	2	3	4	5	6	7							
NIEDRIG								HOCH																
1	2	3	4	5	6	7																		
<p>... Verständnis der Situation</p>	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">NIEDRIG</th> <th colspan="7"></th> <th style="text-align: center;">HOCH</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">1</th> <th style="text-align: center;">2</th> <th style="text-align: center;">3</th> <th style="text-align: center;">4</th> <th style="text-align: center;">5</th> <th style="text-align: center;">6</th> <th style="text-align: center;">7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: white;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: white;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: white;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> </tr> </tbody> </table>	NIEDRIG								HOCH	1	2	3	4	5	6	7							
NIEDRIG								HOCH																
1	2	3	4	5	6	7																		

Abbildung C.2: Der in Untersuchung 3 verwendete 3D-SART in deutscher Übersetzung.

Abhängige Variable	Ansicht	Zielobjekte	M	SE	UG	95% KI	OG	95% KI
Ez. Azimut	2D	zwei	3,99	,15	3,67		4,31	
sek.	2D	vier	4,70	,48	3,65		5,75	
	2D	sechs	4,48	,32	3,78		5,18	
	EXO	zwei	4,07	,24	3,55		4,59	
	EXO	vier	4,17	,31	3,49		4,85	
	EXO	sechs	4,38	,37	3,58		5,19	
	PA	zwei	4,79	,41	3,89		5,68	
	PA	vier	5,62	,47	4,59		6,66	
	PA	sechs	5,88	,45	4,88		6,87	
Ez. Entfernung	2D	zwei	3,22	,19	2,80		3,64	
sek.	2D	vier	3,01	,15	2,67		3,35	
	2D	sechs	2,79	,19	2,38		3,20	
	EXO	zwei	3,35	,21	2,90		3,80	
	EXO	vier	3,10	,21	2,64		3,55	
	EXO	sechs	2,76	,15	2,44		3,08	
	PA	zwei	3,26	,28	2,65		3,86	
	PA	vier	3,49	,32	2,78		4,21	
	PA	sechs	3,11	,20	2,68		3,55	
Ez. Höhe	2D	zwei	3,70	,23	3,20		4,21	
sek.	2D	vier	4,15	,44	3,18		5,11	
	2D	sechs	3,60	,32	2,90		4,30	
	EXO	zwei	3,09	,19	2,67		3,52	
	EXO	vier	3,37	,45	2,37		4,37	
	EXO	sechs	2,84	,35	2,07		3,61	
	PA	zwei	3,07	,26	2,49		3,65	
	PA	vier	3,20	,31	2,51		3,89	
	PA	sechs	2,93	,31	2,26		3,61	

Tabelle C.1: Wiedergezeiten (s) als Interaktionsfunktion der Anzahl der Zielobjekte und der Ansicht von Untersuchung 3, (s. Abschnitt 9.7.5). Gegeben sind die jeweiligen Mittelwerte, Standardfehler und 95% Konfidenzintervalle.

Abhängige Variable	Ansicht	Zielobjekte	M	SE	UG	95% KI	OG	95% KI
Abw. Azimut	2D	zwei	9,57	1,11	7,13		12,01	
	%	vier	12,37	1,03	10,10		14,65	
	2D	sechs	24,31	1,81	20,33		28,30	
	EXO	zwei	7,28	,47	6,26		8,31	
	EXO	vier	13,37	1,06	11,03		15,72	
	EXO	sechs	17,24	1,88	13,09		21,38	
	PA	zwei	9,92	1,04	7,62		12,22	
	PA	vier	15,00	1,19	12,38		17,61	
	PA	sechs	22,00	1,36	19,00		24,99	
Abw. Entfernung	2D	zwei	9,55	,87	7,63		11,47	
	%	vier	12,72	,53	11,56		13,87	
	2D	sechs	16,79	,49	15,71		17,86	
	EXO	zwei	7,88	,54	6,68		9,07	
	EXO	vier	15,52	,78	13,81		17,22	
	EXO	sechs	15,77	,62	14,41		17,13	
	PA	zwei	11,06	1,23	8,34		13,77	
	PA	vier	13,51	,40	12,64		14,39	
	PA	sechs	16,38	1,08	14,01		18,75	
Abw. Höhe	2D	zwei	8,18	1,11	5,73		10,63	
	%	vier	16,89	1,02	14,65		19,13	
	2D	sechs	18,38	1,18	15,79		20,98	
	EXO	zwei	8,10	,65	6,68		9,53	
	EXO	vier	14,49	,99	12,32		16,66	
	EXO	sechs	19,64	,86	17,74		21,54	
	PA	zwei	10,46	1,12	8,00		12,93	
	PA	vier	16,77	,67	15,29		18,25	
	PA	sechs	19,92	,92	17,90		21,94	

Tabelle C.2: Abweichungen (%) als Interaktionsfunktion der Anzahl der Zielobjekte und der Ansicht von Untersuchung 3, (s. Abschnitt 9.7.5). Gegeben sind die jeweiligen Mittelwerte, Standardfehler und 95% Konfidenzintervalle.

C Material zu Abschnitt 9

Abhängige Variable	Ansicht	Zielobjekte	M	SE	UG	95% KI	OG	95% KI
TLXGA	2D	zwei	69,92	3,62		61,94		77,89
	2D	vier	85,83	2,42		80,51		91,15
	2D	sechs	92,00	1,66		88,34		95,66
	EXO	zwei	62,92	5,16		51,56		74,27
	EXO	vier	78,75	3,56		70,90		86,60
	EXO	sechs	88,96	1,89		84,79		93,12
	PA	zwei	69,00	3,19		61,98		76,02
	PA	vier	81,38	2,71		75,41		87,34
	PA	sechs	90,21	1,59		86,71		93,71
TLXKA	2D	zwei	17,29	4,36		7,70		26,88
	2D	vier	19,58	5,52		7,43		31,73
	2D	sechs	20,29	6,10		6,86		33,72
	EXO	zwei	12,21	3,04		5,51		18,90
	EXO	vier	20,67	5,72		8,07		33,26
	EXO	sechs	18,46	5,83		5,62		31,30
	PA	zwei	15,13	3,78		6,80		23,45
	PA	vier	16,67	3,31		9,37		23,96
	PA	sechs	18,00	5,52		5,86		30,14
TLXZA	2D	zwei	60,88	5,03		49,81		71,94
	2D	vier	79,88	3,71		71,72		88,03
	2D	sechs	84,25	3,49		76,57		91,93
	EXO	zwei	56,67	5,40		44,79		68,54
	EXO	vier	68,75	6,09		55,34		82,16
	EXO	sechs	81,79	4,30		72,32		91,26
	PA	zwei	55,71	5,65		43,28		68,14
	PA	vier	76,13	5,15		64,79		87,46
	PA	sechs	84,50	2,99		77,91		91,09
TLXAA	2D	zwei	52,83	5,52		40,68		64,98
	2D	vier	30,92	5,37		19,09		42,74
	2D	sechs	16,79	2,90		10,41		23,18
	EXO	zwei	62,33	4,48		52,46		72,20
	EXO	vier	44,58	4,04		35,69		53,47
	EXO	sechs	28,08	5,11		16,84		39,33
	PA	zwei	59,92	4,45		50,13		69,71
	PA	vier	41,04	4,60		30,92		51,16
	PA	sechs	22,63	3,68		14,53		30,72
TLXAN	2D	zwei	64,96	4,47		55,12		74,80
	2D	vier	78,96	3,87		70,44		87,48
	2D	sechs	86,63	2,85		80,35		92,90
	EXO	zwei	59,96	5,59		47,66		72,25
	EXO	vier	76,42	5,03		65,34		87,49
	EXO	sechs	82,71	3,52		74,97		90,45
	PA	zwei	63,96	5,16		52,60		75,32
	PA	vier	80,46	3,28		73,24		87,67
	PA	sechs	83,17	3,53		75,39		90,94

Tabelle C.3: NASA-TLX-Werte als Interaktionsfunktion der Anzahl der Zielobjekte und der Ansicht von Untersuchung 3. (s. Abschnitt 9.7.5). Gegeben sind die jeweiligen Mittelwerte, Standardfehler und 95% Konfidenzintervalle. Teiltabelle 1.

Fortsetzung von Tabelle C.3

Abhängige Variable	Ansicht	Zielobjekte	M	SE	UG 95% KI	OG 95% KI
TLXFR	2D	zwei	38,13	4,35	28,55	47,70
	2D	vier	64,38	4,38	54,74	74,01
	2D	sechs	71,92	4,43	62,16	81,67
	EXO	zwei	32,46	3,83	24,03	40,89
	EXO	vier	50,92	4,16	41,76	60,07
	EXO	sechs	67,33	4,96	56,42	78,25
	PA	zwei	30,67	3,86	22,18	39,15
	PA	vier	50,79	5,51	38,67	62,91
	PA	sechs	66,38	6,28	52,55	80,20

Tabelle C.4: NASA-TLX-Werte als Interaktionsfunktion der Anzahl der Zielobjekte und der Ansicht von Untersuchung 3. (s. Abschnitt 9.7.5). Teiltabelle 2.

Abhängige Variable	Ansicht	Zielobjekte	M	SE	UG 95% KI	OG 95% KI
SARTBA	2D	zwei	5,50	,16	5,14	5,86
	2D	vier	6,42	,18	6,01	6,82
	2D	sechs	6,88	,07	6,73	7,02
	EXO	zwei	4,83	,23	4,32	5,35
	EXO	vier	5,96	,14	5,64	6,27
	EXO	sechs	6,58	,12	6,32	6,85
	PA	zwei	5,25	,19	4,83	5,67
	PA	vier	6,08	,15	5,76	6,41
	PA	sechs	6,83	,09	6,63	7,04
SARTVA	2D	zwei	3,13	,35	2,35	3,90
	2D	vier	2,54	,46	1,53	3,55
	2D	sechs	2,04	,41	1,13	2,95
	EXO	zwei	3,67	,36	2,87	4,46
	EXO	vier	2,83	,44	1,86	3,80
	EXO	sechs	2,33	,38	1,49	3,17
	PA	zwei	3,58	,40	2,71	4,46
	PA	vier	2,71	,47	1,67	3,74
	PA	sechs	2,46	,58	1,18	3,74
SARTVS	2D	zwei	5,04	,30	4,37	5,71
	2D	vier	4,00	,40	3,11	4,89
	2D	sechs	3,50	,44	2,54	4,46
	EXO	zwei	5,21	,36	4,41	6,00
	EXO	vier	4,67	,37	3,85	5,48
	EXO	sechs	4,08	,45	3,09	5,08
	PA	zwei	5,13	,31	4,43	5,82
	PA	vier	4,46	,40	3,59	5,33
	PA	sechs	3,92	,45	2,92	4,91

Tabelle C.5: 3D-SART-Werte als Interaktionsfunktion der Anzahl der Zielobjekte und der Ansicht von Untersuchung 3. (s. Abschnitt 9.7.5). Gegeben sind die jeweiligen Mittelwerte, Standardfehler und 95% Konfidenzintervalle.

Abhängige Variable	Ansicht	Position	M	SE	UG 95% KI	OG 95% KI
Einschätzungszeit Azimut	2D	akt.	4,23	,18	3,84	4,62
	2D	zuk.	4,55	,39	3,69	5,42
	EXO	akt.	4,02	,25	3,46	4,58
	EXO	zuk.	4,39	,31	3,72	5,07
	PA	akt.	5,05	,38	4,21	5,90
	PA	zuk.	5,81	,51	4,69	6,92
Einschätzungszeit Entfernung	2D	akt.	2,99	,14	2,68	3,31
	2D	zuk.	3,02	,16	2,67	3,37
	EXO	akt.	2,96	,16	2,60	3,32
	EXO	zuk.	3,18	,16	2,82	3,54
	PA	akt.	3,15	,26	2,57	3,72
	PA	zuk.	3,43	,27	2,84	4,02
Einschätzungszeit Höhe	2D	akt.	3,66	,28	3,04	4,28
	2D	zuk.	3,97	,27	3,37	4,58
	EXO	akt.	3,05	,30	2,40	3,71
	EXO	zuk.	3,15	,28	2,54	3,76
	PA	akt.	3,02	,27	2,43	3,61
	PA	zuk.	3,12	,27	2,52	3,72
Abweichung Azimut	2D	akt.	12,60	1,46	9,38	15,82
	2D	zuk.	18,23	1,26	15,47	21,00
	EXO	akt.	9,08	,76	7,40	10,75
	EXO	zuk.	16,19	1,34	13,25	19,12
	PA	akt.	12,10	1,12	9,64	14,56
	PA	zuk.	19,17	1,11	16,72	21,62
Abweichung Entfernung	2D	akt.	11,85	,57	10,59	13,10
	2D	zuk.	14,19	,63	12,81	15,56
	EXO	akt.	11,19	,44	10,21	12,17
	EXO	zuk.	14,92	,70	13,37	16,46
	PA	akt.	12,23	1,04	9,94	14,52
	PA	zuk.	15,07	,60	13,75	16,39
Abweichung Höhe	2D	akt.	14,26	,92	12,23	16,28
	2D	zuk.	14,71	,89	12,75	16,66
	EXO	akt.	13,18	,66	11,73	14,62
	EXO	zuk.	14,98	,79	13,24	16,71
	PA	akt.	16,56	,73	14,96	18,16
	PA	zuk.	14,88	,80	13,12	16,64

Tabelle C.6: Wiedergabezeiten (s) und Abweichungen (%) als Interaktionsfunktion der Ansicht und des Abfragezeitpunktes. Gegeben sind die jeweiligen Mittelwerte und 95% Konfidenzintervalle, zugehörig zu Abbildung 9.14.

Abhängige Variable	Ansicht	Position	M	SE	UG 95% KI	OG 95% KI
TLXGA	2D	akt.	82,03	2,15	77,29	86,76
	2D	zuk.	83,14	1,79	79,20	87,08
	EXO	akt.	76,58	3,14	69,66	83,50
	EXO	zuk.	77,17	3,15	70,24	84,10
	PA	akt.	79,03	2,45	73,65	84,41
	PA	zuk.	81,36	1,65	77,73	85,00
TLXKA	2D	akt.	18,28	5,41	6,37	30,18
	2D	zuk.	19,83	5,14	8,52	31,15
	EXO	akt.	16,28	4,60	6,14	26,41
	EXO	zuk.	17,94	4,69	7,62	28,27
	PA	akt.	15,86	3,68	7,76	23,96
	PA	zuk.	17,33	3,68	9,24	25,43
TLXZA	2D	akt.	75,22	3,63	67,23	83,22
	2D	zuk.	74,78	3,66	66,73	82,83
	EXO	akt.	68,97	4,62	58,81	79,13
	EXO	zuk.	69,17	5,13	57,87	80,46
	PA	akt.	72,75	4,28	63,33	82,17
	PA	zuk.	71,47	4,11	62,42	80,52
TLXAA	2D	akt.	35,11	3,89	26,56	43,67
	2D	zuk.	31,92	4,38	22,27	41,56
	EXO	akt.	44,53	4,09	35,52	53,54
	EXO	zuk.	45,47	4,01	36,64	54,30
	PA	akt.	42,67	3,53	34,89	50,44
	PA	zuk.	39,72	3,43	32,18	47,26
TLXAN	2D	akt.	75,64	3,46	68,01	83,26
	2D	zuk.	78,06	2,95	71,57	84,55
	EXO	akt.	72,39	4,48	62,52	82,26
	EXO	zuk.	73,67	4,63	63,47	83,86
	PA	akt.	75,14	3,46	67,52	82,76
	PA	zuk.	76,58	3,79	68,24	84,92
TLXFR	2D	akt.	56,61	4,10	47,58	65,65
	2D	zuk.	59,67	3,60	51,74	67,60
	EXO	akt.	49,92	3,51	42,18	57,65
	EXO	zuk.	50,56	3,34	43,21	57,90
	PA	akt.	48,67	4,57	38,60	58,73
	PA	zuk.	49,89	4,75	39,44	60,34

Tabelle C.7: NASA-TLX-Werte als Interaktionsfunktion der Ansicht und des Abfragezeitpunktes von Untersuchung 3. (s. Abschnitt 9.7.5).

C Material zu Abschnitt 9

Abhängige Variable	Ansicht	Position	M	SE	UG 95% KI	OG 95% KI
SARTBA	2D	akt.	6,28	,13	5,99	6,56
	2D	zuk.	6,25	,10	6,03	6,47
	EXO	akt.	5,75	,16	5,40	6,10
	EXO	zuk.	5,83	,17	5,47	6,20
	PA	akt.	6,03	,13	5,75	6,31
	PA	zuk.	6,08	,10	5,86	6,31
SARTVA	2D	akt.	2,61	,39	1,75	3,47
	2D	zuk.	2,53	,40	1,65	3,41
	EXO	akt.	2,94	,37	2,12	3,77
	EXO	zuk.	2,94	,38	2,10	3,79
	PA	akt.	3,03	,45	2,03	4,03
	PA	zuk.	2,81	,46	1,79	3,82
SARTVS	2D	akt.	4,28	,36	3,48	5,08
	2D	zuk.	4,08	,38	3,26	4,91
	EXO	akt.	4,64	,38	3,79	5,48
	EXO	zuk.	4,67	,39	3,81	5,52
	PA	akt.	4,56	,38	3,71	5,40
	PA	zuk.	4,44	,36	3,66	5,23

Tabelle C.8: SART-Werte als Interaktionsfunktion der Ansicht und des Abfragezeitpunktes von Untersuchung 3. (s. Abschnitt 9.7.5).

Interaktion	F	df	p	η^2
Zielobjekte * Abfrage	Ez Az	,54	2 ,59	,05
	Ez Entf	,88	2 ,43	,07
	Ez He	,28	2 ,76	,02
	Abw Az	2,44	2 ,11	,18
	Abw Entf	5,20	2 ,01	,32
	Abw He	1,56	2 ,23	,12
Ansicht * Zielobjekte * Abfrage	Ez Az	,56	4 ,69	,05
	Ez Entf	1,02	4 ,41	,08
	Ez He	2,62	4 ,05	,19
	Abw Az	,61	4 ,66	,05
	Abw Entf	3,54	4 ,01	,24
	Abw He	1,39	4 ,25	,11

Tabelle C.9: Nicht betrachtete Interaktionen zwischen Anzahl der Zielobjekte und des Abfragezeitpunktes für die Einschätzungsgenauigkeit sowie die -zeit.

Quelle		F	df	p	η^2
Zielobjekte * Einschätzungszeitpunkt	TLXGA	,05	1	,88	,00
	TLXKA	,66	1	,47	,06
	TLXZA	,11	1	,81	,01
	TLXAA	2,54	2	,10	,19
	TLXAN	,57	2	,57	,05
	TLXFR	1,92	2	,17	,15
	SARTBA	1,27	2	,30	,10
	SARTVA	1,13	2	,34	,09
	SARTVS	,28	2	,76	,03
Ansicht * Zielobjekte * Einschätzungszeitpunkt	TLXGA	1,68	1	,22	,13
	TLXKA	,39	2	,65	,03
	TLXZA	1,25	2	,30	,10
	TLXAA	1,10	4	,37	,09
	TLXAN	,80	2	,47	,07
	TLXFR	1,83	4	,14	,14
	SARTBA	1,56	4	,20	,12
	SARTVA	,31	2	,78	,03
	SARTVS	,67	4	,62	,06

Tabelle C.10: Nicht betrachtete Interaktionen zwischen Anzahl der Zielobjekte und des Abfragezeitpunktes für die Bewertungen in TLX und SART.

D Material zu Abschnitt 10

Analyse der Konfliktantizipation nach Displayart Globale Analyse

Display (FA): $F = 37,57$; $df = 2$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,61$

Display (H): $F = 1,65$; $df = 2$; $p \leq ,20$; $\eta^2 = ,06$

Display (d'): $F = 3,6$; $df = 2$; $p \leq ,04$; $\eta^2 = ,13$

Display (A'): $F = 6,45$; $df = 2$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,21$

Azimut

Display (FA): $F = 2,54$; $df = 2$; $p \leq ,09$; $\eta^2 = ,010$

Display (H): $F = ,74$; $df = 2$; $p \leq ,48$; $\eta^2 = ,03$

Display (d'): $F = ,28$; $df = 2$; $p \leq ,76$; $\eta^2 = ,01$

Display (A'): $F = 1,58$; $df = 2$; $p \leq ,22$; $\eta^2 = ,06$

Entfernung

Display (FA): $F = 30,83$; $df = 2$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,56$

Display (H): $F = 8,12$; $df = 2$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,25$

Display (d'): $F = 30,22$; $df = 2$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,56$

Display (A'): $F = 12,3$; $df = 2$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,34$

Höhe

Display (FA): $F = 7,88$; $df = 2$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,25$

Display (H): $F = ,13$; $df = 2$; $p \leq ,88$; $\eta^2 = ,01$

Display (d'): $F = 1,31$; $df = 2$; $p \leq ,28$; $\eta^2 = ,05$

Display (A'): $F = 1,83$; $df = 1$; $p \leq ,18$; $\eta^2 = ,07$

SART

Display (SART-BA): $F = 3,31$; $df = 2$; $p \leq ,04$; $\eta^2 = ,12$

Display (SART-VA): $F = 3,38$; $df = 2$; $p \leq ,04$; $\eta^2 = ,12$

Display (SART-VS): $F = 8,14$; $df = 2$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,25$

TLX

Display (TLX-GA): $F = 3,46$; $df = 2$; $p \leq ,04$; $\eta^2 = ,13$

Display (TLX-KA): $F = ,29$; $df = 2$; $p \leq ,75$; $\eta^2 = ,01$

Display (TLX-ZA): $F = 5,93$; $df = 2$; $p \leq ,01$; $\eta^2 = ,20$

Display (TLX-AA): $F = 3,22$; $df = 2$; $p \leq ,05$; $\eta^2 = ,12$

Display (TLX-AN): $F = 3,42$; $df = 2$; $p \leq ,04$; $\eta^2 = ,13$

Display (TLX-FR): $F = 3,62$; $df = 2$; $p \leq ,03$; $\eta^2 = ,13$

Analyse der Konfliktantizipation nach Schwierigkeit der Hauptaufgabe Globale Analyse

SchwHA (FA): $F = 1,57$; $df = 1$; $p \leq ,22$; $\eta^2 = ,06$

SchwHA (H): $F = 497,15$; $df = 1$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,95$

SchwHA (d'): $F = 144,72$; $df = 1$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,86$

SchwHA (A'): $F = 46,01$; $df = 1$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,66$

Azimut

SchwHA (FA): $F = 2,02$; $df = 1$; $p \leq ,17$; $\eta^2 = ,08$

SchwHA (H): F = 167,91; df = 1; p ≤ ,00; η^2 = ,88
SchwHA (d'): F = 27,16; df = 1; p ≤ ,00; η^2 = ,53
SchwHA (A'): F = 16,67; df = 1; p ≤ ,00; η^2 = ,41

Entfernung

SchwHA (FA): F = 10,5; df = 1; p ≤ ,00; η^2 = ,30
SchwHA (H): F = 111,94; df = 1; p ≤ ,00; η^2 = ,82
SchwHA (d'): F = 11,42; df = 1; p ≤ ,00; η^2 = ,32
SchwHA (A'): F = 8,83; df = 1; p ≤ ,01; η^2 = ,27

Höhe

SchwHA (FA): F = 49,26; df = 1; p ≤ ,00; η^2 = ,67
SchwHA (H): F = 27,83; df = 1; p ≤ ,00; η^2 = ,54
SchwHA (d'): F = 4,78; df = 1; p ≤ ,04; η^2 = ,17
SchwHA (A'): F = 10,03; df = 1; p ≤ ,00; η^2 = ,30

SART

SchwHA (SART-BA): F = 13,47; df = 1; p ≤ ,00; η^2 = ,36
SchwHA (SART-VA): F = 15,32; df = 1; p ≤ ,00; η^2 = ,39
SchwHA (SART-VS): F = 12,77; df = 1; p ≤ ,00; η^2 = ,35

TLX

SchwHA (TLX-GA): F = 3,34; df = 1; p ≤ ,08; η^2 = ,12
SchwHA (TLX-KA): F = ,01; df = 1; p ≤ ,92; η^2 = ,00
SchwHA (TLX-ZA): F = 8,82; df = 1; p ≤ ,01; η^2 = ,27
SchwHA (TLX-AA): F = 18,71; df = 1; p ≤ ,00; η^2 = ,44
SchwHA (TLX-AN): F = 2,49; df = 1; p ≤ ,13; η^2 = ,09
SchwHA (TLX-FR): F = 2,54; df = 1; p ≤ ,12; η^2 = ,10

Analyse der Konfliktantizipation nach Art der Zusatzaufgabe Globale Analyse

ZAG (FA): F = 3,46; df = 3; p ≤ ,02; η = ,13
ZAG (H): F = 41,3; df = 3; p ≤ ,00 η = ,63
ZAG (d'): F = 30,59; df = 3; p ≤ ,00 η = ,56
ZAG (A'): F = 22,84; df = 3; p ≤ ,00 η = ,49

Azimut

ZAG (FA): F = 11,48; df = 3; p ≤ ,00; η^2 = ,32
ZAG (H): F = 27,11; df = 3; p ≤ ,00; η^2 = ,53
ZAG (d'): F = 14,11; df = 3; p ≤ ,00; η^2 = ,37
ZAG (A'): F = 11,68; df = 3; p ≤ ,00; η^2 = ,33

Entfernung

ZAG (FA): F = 2,55; df = 3; p ≤ ,06; η^2 = ,10
ZAG (H): F = 25,18; df = 3; p ≤ ,00; η^2 = ,51
ZAG (d'): F = 5,08; df = 3; p ≤ ,00; η^2 = ,18
ZAG (A'): F = 2,49; df = 3; p ≤ ,07; η^2 = ,09

Höhe

ZAG (FA): F = 6,91; df = 3; p ≤ ,00; η^2 = ,22
ZAG (H): F = 4,57; df = 3; p ≤ ,01; η^2 = ,16
ZAG (d'): F = 1,34; df = 3; p ≤ ,27; η^2 = ,05
ZAG (A'): F = 3,5; df = 3; p ≤ ,02; η^2 = ,13

SART

ZAG (SART-BA): $F = 65,28$; $df = 2$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,73$

ZAG (SART-VA): $F = 52,9$; $df = 2$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,69$

ZAG (SART-VS): $F = 29,73$; $df = 2$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,55$

TLX

ZAG (TLX-GA): $F = 53,46$; $df = 1$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,69$

ZAG (TLX-KA): $F = 13,28$; $df = 1$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,36$

ZAG (TLX-ZA): $F = 91,93$; $df = 2$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,79$

ZAG (TLX-AA): $F = 57,78$; $df = 2$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,71$

ZAG (TLX-AN): $F = 57,22$; $df = 2$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,70$

ZAG (TLX-FR): $F = 40,87$; $df = 2$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,63$

Analyse der Konfliktantizipation nach Display und Zusatzaufgabe Globale Analyse

Display * SchwHA (FA): $F = 4,27$; $df = 2$; $p \leq ,02$; $\eta = ,15$

Display * SchwHA (H): $F = 2,62$; $df = 2$; $p \leq ,08$; $\eta = ,10$

Display * SchwHA (d'): $F = 5,05$; $df = 2$; $p \leq ,01$; $\eta = ,17$

Display * SchwHA (A'): $F = 7,17$; $df = 2$; $p \leq ,00$; $\eta = ,23$

Azimut

Display * SchwHA (FA): $F = ,7$; $df = 2$; $p \leq ,50$; $\eta^2 = ,03$

Display * SchwHA (H): $F = 2,72$; $df = 2$; $p \leq ,08$; $\eta^2 = ,10$

Display * SchwHA (d'): $F = 2,3$; $df = 2$; $p \leq ,11$; $\eta^2 = ,09$

Display * SchwHA (A'): $F = ,11$; $df = 2$; $p \leq ,90$; $\eta^2 = ,00$

Entfernung

Display * SchwHA (FA): $F = ,03$; $df = 2$; $p \leq ,97$; $\eta^2 = ,00$

Display * SchwHA (H): $F = 6,21$; $df = 2$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,21$

Display * SchwHA (d'): $F = ,69$; $df = 2$; $p \leq ,51$; $\eta^2 = ,03$

Display * SchwHA (A'): $F = 4,36$; $df = 2$; $p \leq ,02$; $\eta^2 = ,15$

Höhe

Display * SchwHA (FA): $F = 1,12$; $df = 2$; $p \leq ,33$; $\eta^2 = ,05$

Display * SchwHA (H): $F = 1,17$; $df = 2$; $p \leq ,32$; $\eta^2 = ,05$

Display * SchwHA (d'): $F = 4,84$; $df = 2$; $p \leq ,01$; $\eta^2 = ,17$

Display * SchwHA (A'): $F = 1,1$; $df = 2$; $p \leq ,34$; $\eta^2 = ,04$

SART

Display * SchwHA (SART-BA): $F = ,17$; $df = 1$; $p \leq ,78$; $\eta^2 = ,01$

Display * SchwHA (SART-VA): $F = ,39$; $df = 2$; $p \leq ,62$; $\eta^2 = ,02$

Display * SchwHA (SART-VS): $F = 2,76$; $df = 2$; $p \leq ,07$; $\eta^2 = ,10$

Display * SchwHA (TLX-GA): $F = ,88$; $df = 1$; $p \leq ,39$; $\eta^2 = ,04$

TLX

Display * SchwHA (TLX-KA): $F = ,36$; $df = 2$; $p \leq ,70$; $\eta^2 = ,02$

Display * SchwHA (TLX-ZA): $F = 2$; $df = 2$; $p \leq ,15$; $\eta^2 = ,08$

Display * SchwHA (TLX-AA): $F = 1,18$; $df = 2$; $p \leq ,32$; $\eta^2 = ,05$

Display * SchwHA (TLX-AN): $F = ,4$; $df = 2$; $p \leq ,67$; $\eta^2 = ,02$

Display * SchwHA (TLX-FR): $F = ,36$; $df = 2$; $p \leq ,70$; $\eta^2 = ,02$

Analyse der Konfliktantizipation nach Display und Zusatzaufgabe Globale Analyse

Display * ZAG (FA): $F = 11,11$; $df = 6$; $p \leq ,00$; $\eta = ,32$

Display * ZAG (H): $F = 7,43$; $df = 6$; $p \leq ,00$; $\eta = ,24$

Display * ZAG (d'): F = 10,51; df = 6; p ≤ ,00 η = ,31

Display * ZAG (A'): F = 8,2; df = 6; p ≤ ,00 η = ,26

Azimut

Display * ZAG (FA): F = ,81; df = 6; p ≤ ,56; η² = ,03

Display * ZAG (H): F = 6,03; df = 6; p ≤ ,00; η² = ,20

Display * ZAG (d'): F = 1,07; df = 6; p ≤ ,38; η² = ,04

Display * ZAG (A'): F = 1,24; df = 6; p ≤ ,29; η² = ,05

Entfernung

Display * ZAG (FA): F = 1,3; df = 6; p ≤ ,26; η² = ,05

Display * ZAG (H): F = 6,62; df = 6; p ≤ ,00; η² = ,22

Display * ZAG (d'): F = ,98; df = 6; p ≤ ,44; η² = ,04

Display * ZAG (A'): F = ,31; df = 6; p ≤ ,93; η² = ,01

Höhe

Display * ZAG (FA): F = 5,18; df = 6; p ≤ ,00; η² = ,18

Display * ZAG (H): F = 1,57; df = 6; p ≤ ,16; η² = ,06

Display * ZAG (d'): F = 3,78; df = 4; p ≤ ,01; η² = ,14

Display * ZAG (A'): F = 3,42; df = 6; p ≤ ,00; η² = ,13

SART

Display * ZAG (SART-BA): F = 1,69; df = 3; p ≤ ,18; η² = ,066

Display * ZAG (SART-VA): F = 1,52; df = 6; p ≤ ,17; η² = ,06

Display * ZAG (SART-VS): F = 2,59; df = 4; p ≤ ,05; η² = ,097

TLX

Display * ZAG (TLX-GA): F = 1,14; df = 6; p ≤ ,34; η² = ,05

Display * ZAG (TLX-KA): F = 2,35; df = 6; p ≤ ,03; η² = ,09

Display * ZAG (TLX-ZA): F = 1,52; df = 4; p ≤ ,21; η² = ,06

Display * ZAG (TLX-AA): F = 4,06; df = 4; p ≤ ,00; η² = ,15

Display * ZAG (TLX-AN): F = 1,05; df = 4; p ≤ ,39; η² = ,04

Display * ZAG (TLX-FR): F = 1,12; df = 6; p ≤ ,36; η² = ,04

Analyse der Konfliktantizipation nach Schwierigkeit der Hauptaufgabe und Zusatzaufgabe

Globale Analyse

SchwHA * ZAG (FA): F = 13,09; df = 3; p ≤ ,00 η = ,35

SchwHA * ZAG (H): F = 6,68; df = 2; p ≤ ,00 η = ,22

SchwHA * ZAG (d'): F = 5,37; df = 3; p ≤ ,00 η = ,19

SchwHA * ZAG (A'): F = 6,47; df = 3; p ≤ ,00 η = ,22

Azimut

SchwHA * ZAG (FA): F = 7,45; df = 3; p ≤ ,00; η² = ,24

SchwHA * ZAG (H): F = 3,48; df = 3; p ≤ ,02; η² = ,13

SchwHA * ZAG (d'): F = 5,22; df = 3; p ≤ ,00; η² = ,18

SchwHA * ZAG (A'): F = 6,2; df = 2; p ≤ ,00; η² = ,21

Entfernung

SchwHA * ZAG (FA): F = 9,84; df = 2; p ≤ ,00; η² = ,29

SchwHA * ZAG (H): F = ,69; df = 3; p ≤ ,56; η² = ,03

SchwHA * ZAG (d'): F = 7,5; df = 3; p ≤ ,00; η² = ,24

SchwHA * ZAG (A'): F = 7,95; df = 2; p ≤ ,00; η² = ,25

Höhe

SchwHA * ZAG (FA): $F = 4,08$; $df = 3$; $p \leq ,01$; $\eta^2 = ,15$

SchwHA * ZAG (H): $F = 4,67$; $df = 3$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,16$

SchwHA * ZAG (d'): $F = ,95$; $df = 3$; $p \leq ,42$; $\eta^2 = ,04$

SchwHA * ZAG (A'): $F = 4,77$; $df = 3$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,17$

SART

Analyse der Konfliktantizipation nach Displayart Globale Analyse

Display (FA): $F = 37,57$; $df = 2$; $p \leq ,0,00$; $\eta = ,61$

Display (H): $F = 1,65$; $df = 2$; $p \leq ,20$; $\eta = ,06$

Display (d'): $F = 3,6$; $df = 2$; $p \leq ,04$; $\eta = ,13$

Display (A'): $F = 6,45$; $df = 2$; $p \leq ,00$; $\eta = ,21$

Azimut

Display (FA): $F = 2,54$; $df = 2$; $p \leq ,09$; $\eta^2 = ,010$

Display (H): $F = ,74$; $df = 2$; $p \leq ,48$; $\eta^2 = ,03$

Display (d'): $F = ,28$; $df = 2$; $p \leq ,76$; $\eta^2 = ,01$

Display (A'): $F = 1,58$; $df = 2$; $p \leq ,22$; $\eta^2 = ,06$

Entfernung

Display (FA): $F = 30,83$; $df = 2$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,56$

Display (H): $F = 8,12$; $df = 2$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,25$

Display (d'): $F = 30,22$; $df = 2$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,56$

Display (A'): $F = 12,3$; $df = 2$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,34$

Höhe

Display (FA): $F = 7,88$; $df = 2$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,25$

Display (H): $F = ,13$; $df = 2$; $p \leq ,88$; $\eta^2 = ,01$

Display (d'): $F = 1,31$; $df = 2$; $p \leq ,28$; $\eta^2 = ,05$

Display (A'): $F = 1,83$; $df = 1$; $p \leq ,18$; $\eta^2 = ,07$

SART

Display (SART-BA): $F = 3,31$; $df = 2$; $p \leq ,04$; $\eta^2 = ,12$

Display (SART-VA): $F = 3,38$; $df = 2$; $p \leq ,04$; $\eta^2 = ,12$

Display (SART-VS): $F = 8,14$; $df = 2$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,25$

TLX

Display (TLX-GA): $F = 3,46$; $df = 2$; $p \leq ,04$; $\eta^2 = ,13$

Display (TLX-KA): $F = ,29$; $df = 2$; $p \leq ,75$; $\eta^2 = ,01$

Display (TLX-ZA): $F = 5,93$; $df = 2$; $p \leq ,01$; $\eta^2 = ,20$

Display (TLX-AA): $F = 3,22$; $df = 2$; $p \leq ,05$; $\eta^2 = ,12$

Display (TLX-AN): $F = 3,42$; $df = 2$; $p \leq ,04$; $\eta^2 = ,13$

Display (TLX-FR): $F = 3,62$; $df = 2$; $p \leq ,03$; $\eta^2 = ,13$

Analyse der Konfliktantizipation nach Schwierigkeit der Hauptaufgabe Globale Analyse

SchwHA (FA): $F = 1,57$; $df = 1$; $p \leq ,22$; $\eta = ,06$

SchwHA (H): $F = 497,15$; $df = 1$; $p \leq ,00$; $\eta = ,95$

SchwHA (d'): $F = 144,72$; $df = 1$; $p \leq ,00$; $\eta = ,86$

SchwHA (A'): $F = 46,01$; $df = 1$; $p \leq ,00$; $\eta = ,66$

Azimut

SchwHA (FA): $F = 2,02$; $df = 1$; $p \leq ,17$; $\eta^2 = ,08$

SchwHA (H): F = 167,91; df = 1; p ≤ ,00; η^2 = ,88
SchwHA (d'): F = 27,16; df = 1; p ≤ ,00; η^2 = ,53
SchwHA (A'): F = 16,67; df = 1; p ≤ ,00; η^2 = ,41

Entfernung

SchwHA (FA): F = 10,5; df = 1; p ≤ ,00; η^2 = ,30
SchwHA (H): F = 111,94; df = 1; p ≤ ,00; η^2 = ,82
SchwHA (d'): F = 11,42; df = 1; p ≤ ,00; η^2 = ,32
SchwHA (A'): F = 8,83; df = 1; p ≤ ,01; η^2 = ,27

Höhe

SchwHA (FA): F = 49,26; df = 1; p ≤ ,00; η^2 = ,67
SchwHA (H): F = 27,83; df = 1; p ≤ ,00; η^2 = ,54
SchwHA (d'): F = 4,78; df = 1; p ≤ ,04; η^2 = ,17
SchwHA (A'): F = 10,03; df = 1; p ≤ ,00; η^2 = ,30

SART

SchwHA (SART-BA): F = 13,47; df = 1; p ≤ ,00; η^2 = ,36
SchwHA (SART-VA): F = 15,32; df = 1; p ≤ ,00; η^2 = ,39
SchwHA (SART-VS): F = 12,77; df = 1; p ≤ ,00; η^2 = ,35

TLX

SchwHA (TLX-GA): F = 3,34; df = 1; p ≤ ,08; η^2 = ,12
SchwHA (TLX-KA): F = ,01; df = 1; p ≤ ,92; η^2 = ,00
SchwHA (TLX-ZA): F = 8,82; df = 1; p ≤ ,01; η^2 = ,27
SchwHA (TLX-AA): F = 18,71; df = 1; p ≤ ,00; η^2 = ,44
SchwHA (TLX-AN): F = 2,49; df = 1; p ≤ ,13; η^2 = ,09
SchwHA (TLX-FR): F = 2,54; df = 1; p ≤ ,12; η^2 = ,10

Analyse der Konfliktantizipation nach Art der Zusatzaufgabe Globale Analyse

ZAG (FA): F = 3,46; df = 3; p ≤ ,02; η = ,13
ZAG (H): F = 41,3; df = 3; p ≤ ,00 η = ,63
ZAG (d'): F = 30,59; df = 3; p ≤ ,00 η = ,56
ZAG (A'): F = 22,84; df = 3; p ≤ ,00 η = ,49

Azimut

ZAG (FA): F = 11,48; df = 3; p ≤ ,00; η^2 = ,32
ZAG (H): F = 27,11; df = 3; p ≤ ,00; η^2 = ,53
ZAG (d'): F = 14,11; df = 3; p ≤ ,00; η^2 = ,37
ZAG (A'): F = 11,68; df = 3; p ≤ ,00; η^2 = ,33

Entfernung

ZAG (FA): F = 2,55; df = 3; p ≤ ,06; η^2 = ,10
ZAG (H): F = 25,18; df = 3; p ≤ ,00; η^2 = ,51
ZAG (d'): F = 5,08; df = 3; p ≤ ,00; η^2 = ,18
ZAG (A'): F = 2,49; df = 3; p ≤ ,07; η^2 = ,09

Höhe

ZAG (FA): F = 6,91; df = 3; p ≤ ,00; η^2 = ,22
ZAG (H): F = 4,57; df = 3; p ≤ ,01; η^2 = ,16
ZAG (d'): F = 1,34; df = 3; p ≤ ,27; η^2 = ,05
ZAG (A'): F = 3,5; df = 3; p ≤ ,02; η^2 = ,13

SART

ZAG (SART-BA): $F = 65,28$; $df = 2$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,73$

ZAG (SART-VA): $F = 52,9$; $df = 2$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,69$

ZAG (SART-VS): $F = 29,73$; $df = 2$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,55$

TLX

ZAG (TLX-GA): $F = 53,46$; $df = 1$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,69$

ZAG (TLX-KA): $F = 13,28$; $df = 1$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,36$

ZAG (TLX-ZA): $F = 91,93$; $df = 2$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,79$

ZAG (TLX-AA): $F = 57,78$; $df = 2$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,71$

ZAG (TLX-AN): $F = 57,22$; $df = 2$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,70$

ZAG (TLX-FR): $F = 40,87$; $df = 2$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,63$

Analyse der Konfliktantizipation nach Display und Zusatzaufgabe Globale Analyse

Display * SchwHA (FA): $F = 4,27$; $df = 2$; $p \leq ,02$; $\eta = ,15$

Display * SchwHA (H): $F = 2,62$; $df = 2$; $p \leq ,08$; $\eta = ,10$

Display * SchwHA (d'): $F = 5,05$; $df = 2$; $p \leq ,01$; $\eta = ,17$

Display * SchwHA (A'): $F = 7,17$; $df = 2$; $p \leq ,00$; $\eta = ,23$

Azimut

Display * SchwHA (FA): $F = ,7$; $df = 2$; $p \leq ,50$; $\eta^2 = ,03$

Display * SchwHA (H): $F = 2,72$; $df = 2$; $p \leq ,08$; $\eta^2 = ,10$

Display * SchwHA (d'): $F = 2,3$; $df = 2$; $p \leq ,11$; $\eta^2 = ,09$

Display * SchwHA (A'): $F = ,11$; $df = 2$; $p \leq ,90$; $\eta^2 = ,00$

Entfernung

Display * SchwHA (FA): $F = ,03$; $df = 2$; $p \leq ,97$; $\eta^2 = ,00$

Display * SchwHA (H): $F = 6,21$; $df = 2$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,21$

Display * SchwHA (d'): $F = ,69$; $df = 2$; $p \leq ,51$; $\eta^2 = ,03$

Display * SchwHA (A'): $F = 4,36$; $df = 2$; $p \leq ,02$; $\eta^2 = ,15$

Höhe

Display * SchwHA (FA): $F = 1,12$; $df = 2$; $p \leq ,33$; $\eta^2 = ,05$

Display * SchwHA (H): $F = 1,17$; $df = 2$; $p \leq ,32$; $\eta^2 = ,05$

Display * SchwHA (d'): $F = 4,84$; $df = 2$; $p \leq ,01$; $\eta^2 = ,17$

Display * SchwHA (A'): $F = 1,1$; $df = 2$; $p \leq ,34$; $\eta^2 = ,04$

SART

Display * SchwHA (SART-BA): $F = ,17$; $df = 1$; $p \leq ,78$; $\eta^2 = ,01$

Display * SchwHA (SART-VA): $F = ,39$; $df = 2$; $p \leq ,62$; $\eta^2 = ,02$

Display * SchwHA (SART-VS): $F = 2,76$; $df = 2$; $p \leq ,07$; $\eta^2 = ,10$

Display * SchwHA (TLX-GA): $F = ,88$; $df = 1$; $p \leq ,39$; $\eta^2 = ,04$

TLX

Display * SchwHA (TLX-KA): $F = ,36$; $df = 2$; $p \leq ,70$; $\eta^2 = ,02$

Display * SchwHA (TLX-ZA): $F = 2$; $df = 2$; $p \leq ,15$; $\eta^2 = ,08$

Display * SchwHA (TLX-AA): $F = 1,18$; $df = 2$; $p \leq ,32$; $\eta^2 = ,05$

Display * SchwHA (TLX-AN): $F = ,4$; $df = 2$; $p \leq ,67$; $\eta^2 = ,02$

Display * SchwHA (TLX-FR): $F = ,36$; $df = 2$; $p \leq ,70$; $\eta^2 = ,02$

Analyse der Konfliktantizipation nach Display und Zusatzaufgabe Globale Analyse

Display * ZAG (FA): $F = 11,11$; $df = 6$; $p \leq ,00$; $\eta = ,32$

Display * ZAG (H): $F = 7,43$; $df = 6$; $p \leq ,00$; $\eta = ,24$

Display * ZAG (d'): F = 10,51; df = 6; p ≤ ,00 η = ,31

Display * ZAG (A'): F = 8,2; df = 6; p ≤ ,00 η = ,26

Azimut

Display * ZAG (FA): F = ,81; df = 6; p ≤ ,56; η² = ,03

Display * ZAG (H): F = 6,03; df = 6; p ≤ ,00; η² = ,20

Display * ZAG (d'): F = 1,07; df = 6; p ≤ ,38; η² = ,04

Display * ZAG (A'): F = 1,24; df = 6; p ≤ ,29; η² = ,05

Entfernung

Display * ZAG (FA): F = 1,3; df = 6; p ≤ ,26; η² = ,05

Display * ZAG (H): F = 6,62; df = 6; p ≤ ,00; η² = ,22

Display * ZAG (d'): F = ,98; df = 6; p ≤ ,44; η² = ,04

Display * ZAG (A'): F = ,31; df = 6; p ≤ ,93; η² = ,01

Höhe

Display * ZAG (FA): F = 5,18; df = 6; p ≤ ,00; η² = ,18

Display * ZAG (H): F = 1,57; df = 6; p ≤ ,16; η² = ,06

Display * ZAG (d'): F = 3,78; df = 4; p ≤ ,01; η² = ,14

Display * ZAG (A'): F = 3,42; df = 6; p ≤ ,00; η² = ,13

SART

Display * ZAG (SART-BA): F = 1,69; df = 3; p ≤ ,18; η² = ,066

Display * ZAG (SART-VA): F = 1,52; df = 6; p ≤ ,17; η² = ,06

Display * ZAG (SART-VS): F = 2,59; df = 4; p ≤ ,05; η² = ,097

TLX

Display * ZAG (TLX-GA): F = 1,14; df = 6; p ≤ ,34; η² = ,05

Display * ZAG (TLX-KA): F = 2,35; df = 6; p ≤ ,03; η² = ,09

Display * ZAG (TLX-ZA): F = 1,52; df = 4; p ≤ ,21; η² = ,06

Display * ZAG (TLX-AA): F = 4,06; df = 4; p ≤ ,00; η² = ,15

Display * ZAG (TLX-AN): F = 1,05; df = 4; p ≤ ,39; η² = ,04

Display * ZAG (TLX-FR): F = 1,12; df = 6; p ≤ ,36; η² = ,04

Analyse der Konfliktantizipation nach Schwierigkeit der Hauptaufgabe und Zusatzaufgabe

Globale Analyse

SchwHA * ZAG (FA): F = 13,09; df = 3; p ≤ ,00 η = ,35

SchwHA * ZAG (H): F = 6,68; df = 2; p ≤ ,00 η = ,22

SchwHA * ZAG (d'): F = 5,37; df = 3; p ≤ ,00 η = ,19

SchwHA * ZAG (A'): F = 6,47; df = 3; p ≤ ,00 η = ,22

Azimut

SchwHA * ZAG (FA): F = 7,45; df = 3; p ≤ ,00; η² = ,24

SchwHA * ZAG (H): F = 3,48; df = 3; p ≤ ,02; η² = ,13

SchwHA * ZAG (d'): F = 5,22; df = 3; p ≤ ,00; η² = ,18

SchwHA * ZAG (A'): F = 6,2; df = 2; p ≤ ,00; η² = ,21

Entfernung

SchwHA * ZAG (FA): F = 9,84; df = 2; p ≤ ,00; η² = ,29

SchwHA * ZAG (H): F = ,69; df = 3; p ≤ ,56; η² = ,03

SchwHA * ZAG (d'): F = 7,5; df = 3; p ≤ ,00; η² = ,24

SchwHA * ZAG (A'): F = 7,95; df = 2; p ≤ ,00; η² = ,25

Höhe

SchwHA * ZAG (FA): F = 4,08; df = 3; p ≤ ,01; $\eta^2 = ,15$

SchwHA * ZAG (H): F = 4,67; df = 3; p ≤ ,00; $\eta^2 = ,16$

SchwHA * ZAG (d'): F = ,95; df = 3; p ≤ ,42; $\eta^2 = ,04$

SchwHA * ZAG (A'): F = 4,77; df = 3; p ≤ ,00; $\eta^2 = ,17$

SART

SchwHA * ZAG (SART-BA): F = 1,75; df = 3; p ≤ ,17; $\eta^2 = ,07$

SchwHA * ZAG (SART-VA): F = 1,24; df = 3; p ≤ ,30; $\eta^2 = ,05$

SchwHA * ZAG (SART-VS): F = ,8; df = 2; p ≤ ,47; $\eta^2 = ,03$

TLX

SchwHA * ZAG (TLX-GA): F = ,69; df = 3; p ≤ ,56; $\eta^2 = ,03$

SchwHA * ZAG (TLX-KA): F = ,6; df = 3; p ≤ ,62; $\eta^2 = ,02$

SchwHA * ZAG (TLX-ZA): F = ,91; df = 3; p ≤ ,44; $\eta^2 = ,04$

SchwHA * ZAG (TLX-AA): F = 1,35; df = 3; p ≤ ,27; $\eta^2 = ,05$

SchwHA * ZAG (TLX-AN): F = ,02; df = 2; p ≤ ,98; $\eta^2 = ,00$

SchwHA * ZAG (TLX-FR): F = 1,09; df = 3; p ≤ ,36; $\eta^2 = ,04$

Analyse der Konfliktantizipation nach Anzeige, Schwierigkeit der Haupt- und Zusatzaufgabe Globale Analyse

Display * SchwHA * ZAG (FA): F = 11,14; df = 6; p ≤ ,00 $\eta = ,32$

Display * SchwHA * ZAG (H): F = 3,92; df = 6; p ≤ ,00 $\eta = ,14$

Display * SchwHA * ZAG (d'): F = 4,68; df = 6; p ≤ ,00 $\eta = ,16$

Display * SchwHA * ZAG (A'): F = 4,48; df = 6; p ≤ ,00 $\eta = ,16$

Azimut

Display * SchwHA * ZAG (FA): F = 5,4; df = 6; p ≤ ,00; $\eta^2 = ,18$

Display * SchwHA * ZAG (H): F = 4,4; df = 6; p ≤ ,00; $\eta^2 = ,16$

Display * SchwHA * ZAG (d'): F = 2,59; df = 6; p ≤ ,02; $\eta^2 = ,10$

Display * SchwHA * ZAG (A'): F = 2,65; df = 4; p ≤ ,04; $\eta^2 = ,10$

Entfernung

Display * SchwHA * ZAG (FA): F = 7,02; df = 6; p ≤ ,00; $\eta^2 = ,23$

Display * SchwHA * ZAG (H): F = 1,46; df = 6; p ≤ ,20; $\eta^2 = ,06$

Display * SchwHA * ZAG (d'): F = 6,13; df = 6; p ≤ ,00; $\eta^2 = ,20$

Display * SchwHA * ZAG (A'): F = 2,52; df = 6; p ≤ ,02; $\eta^2 = ,10$

Höhe

Display * SchwHA * ZAG (FA): F = 3,65; df = 6; p ≤ ,00; $\eta^2 = ,13$

Display * SchwHA * ZAG (H): F = 6,29; df = 6; p ≤ ,00; $\eta^2 = ,21$

Display * SchwHA * ZAG (d'): F = 4,25; df = 6; p ≤ ,00; $\eta^2 = ,15$

Display * SchwHA * ZAG (A'): F = 2,17; df = 4; p ≤ ,07; $\eta^2 = ,08$

SART

Display * SchwHA * ZAG (SART-BA): F = 1,04; df = 6; p ≤ ,40; $\eta^2 = ,04$

Display * SchwHA * ZAG (SART-VA): F = 2,36; df = 6; p ≤ ,03; $\eta^2 = ,09$

Display * SchwHA * ZAG (SART-VS): F = ,67; df = 6; p ≤ ,67; $\eta^2 = ,03$

TLX

Display * SchwHA * ZAG (TLX-GA): F = 1,37; df = 6; p ≤ ,23; $\eta^2 = ,05$

Display * SchwHA * ZAG (TLX-KA): F = ,82; df = 6; p ≤ ,55; $\eta^2 = ,03$

Display * SchwHA * ZAG (TLX-ZA): F = 1,78; df = 4; p ≤ ,15; $\eta^2 = ,07$

Display * SchwHA * ZAG (TLX-AA): F = ,23; df = 6; p ≤ ,97; $\eta^2 = ,01$

Display * SchwHA * ZAG (TLX-AN): $F = ,66$; $df = 3$; $p \leq ,59$; $\eta^2 = ,03$

Display * SchwHA * ZAG (TLX-FR): $F = ,76$; $df = 6$; $p \leq ,60$; $\eta^2 = ,03$

SchwHA * ZAG (SART-BA): $F = 1,75$; $df = 3$; $p \leq ,17$; $\eta^2 = ,07$

SchwHA * ZAG (SART-VA): $F = 1,24$; $df = 3$; $p \leq ,30$; $\eta^2 = ,05$

SchwHA * ZAG (SART-VS): $F = ,8$; $df = 2$; $p \leq ,47$; $\eta^2 = ,03$

TLX

SchwHA * ZAG (TLX-GA): $F = ,69$; $df = 3$; $p \leq ,56$; $\eta^2 = ,03$

SchwHA * ZAG (TLX-KA): $F = ,6$; $df = 3$; $p \leq ,62$; $\eta^2 = ,02$

SchwHA * ZAG (TLX-ZA): $F = ,91$; $df = 3$; $p \leq ,44$; $\eta^2 = ,04$

SchwHA * ZAG (TLX-AA): $F = 1,35$; $df = 3$; $p \leq ,27$; $\eta^2 = ,05$

SchwHA * ZAG (TLX-AN): $F = ,02$; $df = 2$; $p \leq ,98$; $\eta^2 = ,00$

SchwHA * ZAG (TLX-FR): $F = 1,09$; $df = 3$; $p \leq ,36$; $\eta^2 = ,04$

Analyse der Konfliktantizipation nach Anzeige, Schwierigkeit der Haupt- und Zusatzaufgabe Globale Analyse

Display * SchwHA * ZAG (FA): $F = 11,14$; $df = 6$; $p \leq ,00$ $\eta = ,32$

Display * SchwHA * ZAG (H): $F = 3,92$; $df = 6$; $p \leq ,00$ $\eta = ,14$

Display * SchwHA * ZAG (d'): $F = 4,68$; $df = 6$; $p \leq ,00$ $\eta = ,16$

Display * SchwHA * ZAG (A'): $F = 4,48$; $df = 6$; $p \leq ,00$ $\eta = ,16$

Azimut

Display * SchwHA * ZAG (FA): $F = 5,4$; $df = 6$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,18$

Display * SchwHA * ZAG (H): $F = 4,4$; $df = 6$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,16$

Display * SchwHA * ZAG (d'): $F = 2,59$; $df = 6$; $p \leq ,02$; $\eta^2 = ,10$

Display * SchwHA * ZAG (A'): $F = 2,65$; $df = 4$; $p \leq ,04$; $\eta^2 = ,10$

Entfernung

Display * SchwHA * ZAG (FA): $F = 7,02$; $df = 6$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,23$

Display * SchwHA * ZAG (H): $F = 1,46$; $df = 6$; $p \leq ,20$; $\eta^2 = ,06$

Display * SchwHA * ZAG (d'): $F = 6,13$; $df = 6$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,20$

Display * SchwHA * ZAG (A'): $F = 2,52$; $df = 6$; $p \leq ,02$; $\eta^2 = ,10$

Höhe

Display * SchwHA * ZAG (FA): $F = 3,65$; $df = 6$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,13$

Display * SchwHA * ZAG (H): $F = 6,29$; $df = 6$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,21$

Display * SchwHA * ZAG (d'): $F = 4,25$; $df = 6$; $p \leq ,00$; $\eta^2 = ,15$

Display * SchwHA * ZAG (A'): $F = 2,17$; $df = 4$; $p \leq ,07$; $\eta^2 = ,08$

SART

Display * SchwHA * ZAG (SART-BA): $F = 1,04$; $df = 6$; $p \leq ,40$; $\eta^2 = ,04$

Display * SchwHA * ZAG (SART-VA): $F = 2,36$; $df = 6$; $p \leq ,03$; $\eta^2 = ,09$

Display * SchwHA * ZAG (SART-VS): $F = ,67$; $df = 6$; $p \leq ,67$; $\eta^2 = ,03$

TLX

Display * SchwHA * ZAG (TLX-GA): $F = 1,37$; $df = 6$; $p \leq ,23$; $\eta^2 = ,05$

Display * SchwHA * ZAG (TLX-KA): $F = ,82$; $df = 6$; $p \leq ,55$; $\eta^2 = ,03$

Display * SchwHA * ZAG (TLX-ZA): $F = 1,78$; $df = 4$; $p \leq ,15$; $\eta^2 = ,07$

Display * SchwHA * ZAG (TLX-AA): $F = ,23$; $df = 6$; $p \leq ,97$; $\eta^2 = ,01$

Display * SchwHA * ZAG (TLX-AN): $F = ,66$; $df = 3$; $p \leq ,59$; $\eta^2 = ,03$

Display * SchwHA * ZAG (TLX-FR): $F = ,76$; $df = 6$; $p \leq ,60$; $\eta^2 = ,03$

Maß	Disp	SchwHa	Glob.	95/% KI		Αz.		95/% KI		Entf.		95/% KI		Höhe	95/% KI			
			M	SE	UG	OG	M	SE	UG	OG	M	SE	UG	OG	M	SE	UG	
FA	2D	L	,03	,01	,02	,04	,12	,01	,10	,14	,12	,01	,10	,14	,12	,01	,10	,15
		S	,03	,01	,02	,04	,14	,01	,12	,16	,14	,01	,12	,16	,17	,01	,15	,20
EXO	L	,05	,01	,04	,07	,14	,01	,11	,16	,16	,01	,14	,18	,15	,01	,12	,18	
		S	,04	,00	,03	,05	,15	,01	,12	,17	,18	,01	,16	,20	,19	,01	,16	,21
PA	L	,09	,01	,07	,10	,16	,01	,13	,18	,18	,01	,16	,21	,16	,01	,13	,19	
		S	,09	,01	,07	,10	,16	,01	,13	,18	,21	,01	,19	,23	,23	,01	,20	,25
H	2D	L	,53	,01	,50	,56	,23	,01	,21	,25	,22	,01	,21	,24	,25	,01	,23	,26
		S	,35	,02	,32	,39	,14	,01	,12	,16	,13	,01	,10	,15	,21	,01	,18	,23
EXO	L	,53	,02	,50	,56	,23	,01	,20	,25	,24	,01	,21	,26	,25	,01	,22	,27	
		S	,40	,02	,36	,44	,15	,01	,12	,17	,18	,01	,15	,21	,21	,01	,18	,23
PA	L	,53	,01	,50	,56	,23	,01	,21	,25	,25	,01	,23	,27	,23	,01	,22	,25	
		S	,39	,01	,36	,42	,12	,01	,10	,14	,20	,01	,17	,22	,21	,01	,18	,23
d'	2D	L	5,37	,21	4,95	5,80	3,18	,19	2,79	3,57	3,51	,16	3,18	3,84	3,36	,17	3,02	3,71
		S	3,80	,22	3,34	4,26	3,95	,17	3,59	4,31	4,12	,12	3,87	4,38	2,89	,15	2,57	3,20
EXO	L	4,97	,20	4,55	5,39	3,39	,22	2,94	3,85	2,95	,16	2,61	3,29	2,79	,25	2,29	3,30	
		S	3,97	,25	3,45	4,49	3,87	,17	3,51	4,23	3,31	,17	2,96	3,65	3,03	,15	2,72	3,34
PA	L	4,63	,18	4,27	5,00	3,00	,16	2,68	3,32	2,48	,17	2,13	2,84	3,09	,15	2,77	3,41	
		S	3,65	,19	3,26	4,03	3,95	,16	3,61	4,29	2,86	,15	2,55	3,16	2,58	,19	2,19	2,98
A'	2D	L	,77	,01	,75	,79	,64	,00	,63	,65	,64	,00	,63	,65	,64	,00	,63	,64
		S	,71	,01	,68	,73	,66	,01	,64	,67	,67	,01	,65	,68	,63	,00	,62	,63
EXO	L	,73	,01	,71	,75	,64	,01	,63	,65	,63	,01	,62	,65	,63	,01	,62	,65	
		S	,71	,01	,68	,73	,66	,01	,64	,67	,65	,01	,63	,66	,63	,01	,61	,64
PA	L	,72	,01	,70	,74	,63	,00	,62	,63	,62	,00	,62	,63	,63	,00	,62	,64	
		S	,68	,01	,66	,71	,65	,01	,63	,66	,62	,00	,61	,63	,61	,01	,60	,62

Tabelle D.1: Abgebildet sind die Leistungswerte der Interaktion Display und Schwierigkeit der Hauptaufgabe der Konfliktantizipation, siehe Abschnitt 10.11.5.

				G		95/% KI		A		95/% KI		E		95/% KI		H		95/% KI	
M	Disp	ZAG	M	SE	U	O													
P(F)	2D	KZAG	,03	,01	,01	,04	,14	,01	,11	,16	,11	,01	,09	,14	,13	,01	,10	,15	
		VISZ	,05	,01	,03	,06	,13	,02	,10	,16	,15	,02	,11	,18	,17	,02	,12	,21	
		GEDZ	,03	,01	,01	,05	,11	,01	,09	,13	,14	,01	,11	,17	,16	,01	,13	,18	
		ROTZ	,03	,01	,01	,04	,15	,02	,12	,18	,12	,01	,09	,15	,15	,02	,11	,18	
EXO		KZAG	,03	,01	,01	,04	,13	,01	,10	,16	,14	,01	,11	,16	,12	,01	,09	,14	
		VISZ	,06	,01	,04	,07	,16	,02	,12	,19	,18	,01	,15	,20	,19	,02	,16	,22	
		GEDZ	,05	,01	,03	,06	,12	,01	,09	,14	,19	,02	,15	,22	,17	,02	,13	,21	
		ROTZ	,05	,01	,03	,06	,17	,02	,13	,20	,18	,01	,16	,20	,19	,02	,16	,23	
PA		KZAG	,12	,01	,10	,14	,17	,01	,15	,19	,19	,01	,17	,22	,20	,01	,17	,22	
		VISZ	,08	,01	,06	,10	,15	,01	,12	,18	,18	,02	,15	,21	,14	,01	,11	,17	
		GEDZ	,06	,01	,04	,07	,12	,02	,08	,15	,20	,02	,17	,24	,20	,02	,16	,24	
		ROTZ	,10	,01	,08	,11	,19	,02	,15	,23	,20	,01	,18	,23	,23	,02	,20	,26	
P(H)	2D	KZAG	,54	,02	,50	,57	,25	,01	,22	,27	,22	,01	,19	,24	,25	,01	,22	,28	
		VISZ	,38	,02	,34	,41	,15	,01	,12	,17	,16	,01	,13	,18	,20	,01	,18	,22	
		GEDZ	,42	,02	,38	,46	,17	,01	,14	,19	,17	,01	,14	,20	,23	,01	,20	,25	
		ROTZ	,43	,02	,39	,47	,19	,01	,16	,22	,16	,01	,13	,18	,22	,01	,19	,25	
EXO		KZAG	,54	,02	,49	,59	,25	,01	,22	,27	,26	,02	,22	,29	,22	,01	,19	,25	
		VISZ	,42	,02	,39	,46	,17	,01	,15	,20	,17	,01	,14	,19	,23	,01	,20	,25	
		GEDZ	,47	,02	,44	,51	,15	,01	,12	,18	,24	,02	,20	,27	,24	,01	,22	,26	
		ROTZ	,42	,02	,37	,46	,17	,02	,14	,20	,17	,02	,14	,20	,21	,02	,18	,25	
PA		KZAG	,49	,01	,46	,52	,20	,01	,18	,21	,23	,01	,20	,25	,23	,01	,21	,25	
		VISZ	,48	,02	,44	,51	,20	,01	,17	,22	,24	,01	,21	,27	,20	,01	,17	,23	
		GEDZ	,48	,02	,45	,52	,16	,01	,14	,18	,24	,01	,21	,27	,24	,01	,22	,26	
		ROTZ	,41	,02	,36	,45	,16	,01	,13	,18	,18	,02	,15	,21	,21	,02	,18	,24	

Tabelle D.2: Abgebildet sind die Leistungswerte der Interaktion Display und Zusatzaufgabe bei der Konfliktantizipation, siehe Abschnitt 10.11.5.

M	D	ZAG	G			95% KI			A			95% KI			E			95% KI			H			95% KI								
			M	SE	O	M	SE	O	M	SE	O	M	SE	O	M	SE	O	M	SE	O	M	SE	O	M	SE	O						
d'	2D	KZAG	5,61	,25	5,09	6,12	,25	,32	3,36	,67	,23	3,20	,13	,17	,20	,76	,26	,11	,26	,57	,11	,26	,59	,11	,26	,59						
		VISZ	3,76	,25	3,25	4,26	3,84	,21	3,41	,26	3,83	,19	,44	,23	,11	,17	,62	,62	,17	,97	,15	,48	,24	,24	,80	,24	,24	,80				
		GEDZ	4,53	,22	4,08	4,97	4,10	,19	3,71	,50	3,69	,22	3,23	,15	,15	,17	,69	,69	,27	,24	,24	,24	,24	,24	,24	,24	,24	,24				
		ROTZ	4,46	,28	3,89	5,03	3,48	,30	2,87	,09	4,08	,19	3,68	,48	,24	,24	,69	,69	,27	,24	,24	,24	,24	,24	,24	,24	,24	,24				
EXO	KZAG	KZAG	5,51	,28	4,94	6,09	3,31	,23	2,83	,78	2,79	,23	2,32	,27	,27	,27	,76	,76	,27	,26	,26	,26	,26	,26	,26	,26	,26	,26				
		VISZ	3,80	,21	3,37	4,23	3,36	,25	2,83	,88	3,51	,16	3,19	,83	,83	,83	,18	,18	,18	,69	,69	,25	,25	,25	,25	,25	,25	,25	,25	,25		
		GEDZ	4,56	,27	4,01	5,12	4,24	,28	3,67	,82	2,76	,26	2,23	,30	,95	,95	,29	,29	,29	,29	,29	,29	,29	,29	,29	,29	,29	,29	,29	,29		
		ROTZ	4,01	,27	3,47	4,56	3,61	,27	3,05	,18	3,45	,19	3,06	,85	,85	,85	,75	,75	,75	,75	,75	,75	,75	,75	,75	,75	,75	,75	,75	,75		
PA	KZAG	KZAG	3,95	,19	3,57	4,34	3,08	,17	2,73	,43	2,56	,18	2,19	,93	,45	,45	,19	,07	,07	,07	,07	,07	,07	,07	,07	,07	,07	,07	,07	,07		
		VISZ	4,33	,24	3,83	4,84	3,28	,19	2,87	,68	2,55	,28	1,97	,12	,12	,12	,65	,65	,65	,65	,65	,65	,65	,65	,65	,65	,65	,65	,65	,65		
		GEDZ	4,73	,24	4,23	5,23	4,13	,24	3,63	,63	4,63	,42	2,42	,23	,91	,91	,71	,71	,71	,71	,71	,71	,71	,71	,71	,71	,71	,71	,71	,71		
		ROTZ	3,54	,23	3,07	4,01	3,41	,20	3,00	,83	3,15	,15	2,84	,46	,46	,46	,53	,53	,53	,53	,53	,53	,53	,53	,53	,53	,53	,53	,53	,53		
A'	2D	KZAG	,78	,01	,75	,80	,63	,00	,63	,64	,65	,01	,63	,66	,66	,64	,64	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00		
		VISZ	,69	,01	,66	,72	,66	,01	,64	,67	,66	,01	,64	,67	,67	,63	,63	,01	,61	,61	,61	,61	,61	,61	,61	,61	,61	,61	,61	,61		
		GEDZ	,75	,01	,72	,77	,65	,01	,64	,67	,65	,01	,63	,66	,66	,63	,63	,00	,62	,62	,62	,62	,62	,62	,62	,62	,62	,62	,62	,62		
		ROTZ	,74	,02	,70	,77	,65	,01	,63	,67	,66	,01	,64	,68	,68	,64	,64	,01	,62	,62	,62	,62	,62	,62	,62	,62	,62	,62	,62	,62		
EXO	KZAG	KZAG	,77	,01	,75	,80	,64	,00	,63	,65	,64	,01	,62	,66	,66	,64	,64	,01	,63	,63	,63	,63	,63	,63	,63	,63	,63	,63	,63	,63		
		VISZ	,69	,01	,66	,71	,64	,01	,62	,66	,64	,01	,63	,66	,66	,62	,62	,01	,61	,61	,61	,61	,61	,61	,61	,61	,61	,61	,61	,61	,61	
		GEDZ	,71	,02	,68	,74	,67	,01	,65	,69	,63	,01	,61	,65	,65	,62	,62	,01	,61	,61	,61	,61	,61	,61	,61	,61	,61	,61	,61	,61	,61	
		ROTZ	,70	,02	,67	,74	,65	,01	,62	,67	,64	,01	,62	,67	,67	,63	,63	,01	,61	,61	,61	,61	,61	,61	,61	,61	,61	,61	,61	,61	,61	
PA	KZAG	KZAG	,70	,01	,68	,72	,62	,00	,62	,63	,62	,00	,61	,62	,62	,62	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	
		VISZ	,71	,01	,69	,73	,64	,01	,63	,65	,62	,01	,61	,64	,64	,64	,64	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
		GEDZ	,73	,01	,70	,75	,65	,01	,64	,67	,62	,00	,61	,63	,63	,63	,63	,01	,60	,60	,60	,60	,60	,60	,60	,60	,60	,60	,60	,60	,60	,60
		ROTZ	,67	,01	,65	,70	,64	,01	,62	,65	,63	,01	,62	,64	,64	,64	,64	,01	,60	,60	,60	,60	,60	,60	,60	,60	,60	,60	,60	,60	,60	,60

Tabelle D.3: Abgebildet sind die Leistungswerte der Interaktion Display und Zusatzaufgabe bei der Konfliktantizipation, siehe Abschnitt 10.11.5.