

Jürgen Geisler

Leistung des Menschen am Bildschirmarbeitsplatz:
Das Kurzzeitgedächtnis als Schranke menschlicher
Belastbarkeit in der Konkurrenz von Arbeitsaufgabe
und Systembedienung

Jürgen Geisler

Leistung des Menschen am Bildschirmarbeitsplatz

Das Kurzzeitgedächtnis als Schranke menschlicher Belastbarkeit in der Konkurrenz von Arbeitsaufgabe und Systembedienung

Karlsruher Schriften zur Anthropomatik

Band 1

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Beyerer

Lehrstuhl für Interaktive Echtzeitsysteme
Universität Karlsruhe (TH)

Fraunhofer-Institut für Informations- und Datenverarbeitung IITB
Karlsruhe

Leistung des Menschen am Bildschirmarbeitsplatz

Das Kurzzeitgedächtnis als Schranke menschlicher Belastbarkeit in der Konkurrenz von Arbeitsaufgabe und Systembedienung

von
Jürgen Geisler



universitätsverlag karlsruhe

Dissertation, Universität Karlsruhe (TH)
Fakultät für Informatik, 2006

Impressum

Universitätsverlag Karlsruhe
c/o Universitätsbibliothek
Straße am Forum 2
D-76131 Karlsruhe
www.uvka.de



Dieses Werk ist unter folgender Creative Commons-Lizenz
lizenziert: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/de/>

Universitätsverlag Karlsruhe 2006
Print on Demand

ISSN: 1863-6489
ISBN-13: 978-3-86644-070-8
ISBN-10: 3-86644-070-7

**Leistung des Menschen am
Bildschirmarbeitsplatz:
Das Kurzzeitgedächtnis als Schranke
menschlicher Belastbarkeit in der Konkurrenz
von Arbeitsaufgabe und Systembedienung**

zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Naturwissenschaften

der Fakultät für Informatik
der Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH)

vorgelegte

Dissertation

von

Jürgen Geisler

aus Heidenheim an der Brenz

Tag der mündlichen Prüfung: 26. Juli 2006

Erster Gutachter: Prof. Dr. Max Syrbe

Zweiter Gutachter: Prof. Dr. Alfred Schmitt

Danksagung

Prof. Dr. Max Syrbe hat mir den Mut gegeben, mich der Herausforderung dieser Arbeit zu stellen, hat meiner Begeisterung für die Anthropotechnik wissenschaftliche Klarheit gegeben und mich mit freundlicher Beharrlichkeit als Ratgeber und Lehrer bis auf die Zielgerade begleitet. Dafür danke ich ihm sehr herzlich.

Prof. Dr. Alfred Schmitt danke ich für die bereitwillige Übernahme des Korreferats. Er gab mir wertvolle Unterstützung bei der Verankerung meiner Arbeit in der Informatik. Herrn Dr. Wilfried Schumacher, der meine Neigung für die Mensch-Maschine-Kommunikation entdeckte, danke ich für die kritische Durchsicht der Arbeit mit den Hinweisen eines erfahrenen Wissenschaftlers und Praktikers. Mein Dank gilt auch Herrn Dr. Axel Korn, der mich mit reicher Erfahrung auf dem Feld der menschlichen Wahrnehmung hilfreich und anregend beraten hat. Prof. Dr.-Ing. Jürgen Beyerer, meinem heutigen und Dr.-Ing. Achim Kuhr, meinem vorherigen Institutsleiter am Fraunhofer-Institut für Informations- und Datenverarbeitung IITB danke ich für den Freiraum, ohne den ich diese Arbeit neben vielen anderen Aufgaben nie hätte erfolgreich abschließen können. Praktische Probleme am Bildschirmarbeitsplatz erfuhr ich aus Projekten für die Luftbildauswertung im Auftrag des Bundesamtes für Wehrtechnik und Beschaffung. Dafür möchte ich besonders Herrn Gerhard Salmen danken. Er gab mir als Projektbetreuer Gestaltungsfreiheit im Vertrauen darauf, dass meine Ideen zum Nutzen der Bundeswehr sein werden.

Meinen Kollegen im Fraunhofer IITB danke ich herzlich für die hilfreiche Unterstützung. Besonders möchte ich Elisabeth Peinsipp-Byma nennen, die als vertrauensvolle Gesprächspartnerin viel zur Klärung meiner Gedanken beigetragen hat. Auf die Gefahr, manche Kollegen zu vergessen bedanke ich mich weiterhin bei Anton Berger, der mir für die Versuche die Software SaLba+ bereitwillig überlassen hat, Sandro Leuchter für die Tipps zu GOMS, Till Reymann, Christoph Scheben und Susanne Lamprecht, die mich als studentische Mitarbeiter kreativ und engagiert bei Vorbereitung und Durchführung der Versuche unterstützten, Christine Harrer, die mich vorausschauend mit Fachliteratur versorgte sowie Susanne Angele, Yvonne Fischer, Dirk Pallmer, Dr. Martin Ruckhäberle und Simon Theophil, die sich als Versuchspersonen »opferteten« und hoffentlich auch ein wenig Spaß daran hatten.

Schließlich danke ich meiner Lebensgefährtin Anja für die vielen wertvollen Anregungen und für Ihre Geduld während einer Zeit, in der ich Ihrer Geduld besonders bedurfte.

Inhalt

1	Einleitung.....	1
1.1	Problemstellung.....	1
1.2	Ziel der Arbeit und Vorgehensweise.....	4
2	Leistungserbringung in Mensch-Maschine-Systemen.....	7
2.1	Das Mensch-Maschine-System.....	7
2.2	Belastung und Beanspruchung.....	10
2.3	Die Leistung.....	17
2.4	Zusammenfassung und Folgerungen für diese Arbeit.....	19
3	Modelle der menschlichen Informationsverarbeitung.....	21
3.1	Die sieben Handlungsschritte nach Norman.....	22
3.2	Ein Stufenmodell der menschlichen Wahrnehmung.....	23
3.3	Das Drei-Ebenen-Modell des menschlichen Verhaltens.....	25
3.4	Das Warteschlangen-Modell für Forderungsströme.....	28
3.5	»Model Human Processor« (MHP).....	30
3.6	Das GOMS-Modell.....	39
3.7	Kognitive Architekturen.....	47
3.8	Zusammenfassung und Folgerungen für diese Arbeit.....	50

4	HPML: Grafische Ablaufbeschreibung für den Model Human Processor.....	54
4.1	Übergänge zwischen den Prozess-Takten.....	54
4.2	Durchsatz im Arbeitsgedächtnis.....	57
4.3	Die Verdrängungsharfe zur Analyse der Beanspruchung des Arbeitsgedächtnisses.....	64
5	Bildgestützte Szenenerkundung als Arbeitsaufgabe.....	68
5.1	Die Szene.....	68
5.2	Das Erkunden als Prozess.....	70
5.3	Die Rolle der Blickbewegung.....	72
5.4	Visuelle Integration.....	75
6	Analyse der Ressourcenkonkurrenz bei der Szenenanalyse am Bildschirmarbeitsplatz.....	78
6.1	Ortsbestimmung als Fundamentalaufgabe der Szenenerkundung.....	78
6.2	Durchsatz im Arbeitsgedächtnis bei der bedienungsfreien Ortbestimmung.....	83
6.3	Die Bedienhandlungen zur Einstellung des Abbildungssystems.....	97
6.4	Modellierung realer Bedienoperationen.....	105
6.5	Methode zur Vorhersage der Belastung des Arbeitsgedächtnisses durch Bedienaufgaben.....	128
7	Empirische Validierung.....	135
7.1	Konzept des Experiments.....	136
7.2	Versuchsdurchführung.....	142
7.3	Versuchsergebnis und erste Schlussfolgerung.....	144

7.4	Korrektur des Modells für bildzentrierte Eingabe.....	147
7.5	Diskussion der Versuchsergebnisse.....	151
8	Zusammenfassung und Ausblick.....	159
9	Anhänge.....	164
9.1	Anhang A: HPML-Modelle.....	165
9.2	Anhang B: Versuchsprotokoll.....	190
10	Quellen.....	195
10.1	Schriften.....	195
10.2	Normen und Richtlinien.....	201
11	Abkürzungsverzeichnis.....	202
12	Register.....	204

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

»Beschränke die Belastung des Kurzzeitgedächtnisses!« empfiehlt die letzte der acht *goldenen Regeln* von Ben Shneiderman, einem der Pioniere der Software-Ergonomie¹. In seinem Buch »Grundlagen der Mensch-Maschine-Interaktion« ergänzt Markus Dahm diese Regel damit, nicht zu vergessen, dass der Anwender außer der Bedienung der Benutzungsschnittstelle auch noch sein eigentliches Ziel präsent haben sollte, nämlich seine Arbeitsaufgabe (Dahm (2006), S. 154).

Dass ein aktuelles Lehrbuch der Mensch-Maschine-Interaktion diesen Rat ausspricht, weist darauf hin, dass die Orientierung der Bedienung an der Arbeitsaufgabe immer noch nicht selbstverständliche Praxis bei der Gestaltung von Benutzungsschnittstellen für den Computer ist. Neben dem immer wieder zu beobachtenden Mangel an Sorgfalt und Professionalität bei der Auslegung der Schnittstelle zwischen Maschine und nutzendem Menschen ist dieser Mangel auch in einem lückenhaften Wissen darüber begründet, was »Belastung des Kurzzeitgedächtnisses« bedeutet und darüber, wie diese Belastung zu messen und anhand von Modellen vorherzusagen ist, damit eine gute Mensch-Maschine-Schnittstelle bereits im Entwurf gelingt.

Computer sind heute gängiges Werkzeug für eine Reihe geistig sehr anspruchsvoller Arbeitsaufgaben. Eine Klasse solcher Aufgaben ist die bildgestützte Objekterkennung. Sie ist Teil vieler Arbeitsfelder, beispielsweise der ärztlichen Diagnose, der industriellen Qualitätsprüfung, der kriminalistischen Spurensuche, der Gepäcküberwachung in Flughäfen oder der militärischen Aufklärung. Der Computer ist dabei elementarer Teil eines technischen Abbildungssystems, das der Wahrnehmungsunterstützung dient. Um die Leistung eines solchen Abbildungssystems nutzen zu können, muss der Mensch dieses bedienen. Zu der Tätigkeit der Objekterkennung kommt die Tätigkeit der Systembedienung. Beide Tätigkeiten stehen im Wettbewerb um begrenzte geistige Ressourcen des Menschen. Dieser Wettbewerb wirkt leistungsmindernd, da diejenigen Ressourcen, die für die Systembedienung in Anspruch genommen werden, der Objekterkennung nicht zur Verfü-

¹ »Reduce short-term memory load.: *The limitation of human information processing in short-term memory requires that displays be kept simple, multiple page displays be consolidated, window-motion frequency be reduced, and sufficient training time be allotted for codes, mnemonics, and sequences of actions*« (Shneiderman & Plaisant (2005)).

1 Einleitung

gung stehen. Bei den meisten heute marktgängigen Abbildungssystemen ist der Bildschirm, auf den das Abbildungssystem die Abbildung der interessierenden Objekte projiziert, gleichzeitig die grafische Benutzungsschnittstelle zur Bedienung dieses Systems. Der Benutzer nimmt auf der einen Seite den Bildschirm als Objekte seiner unmittelbaren Umgebung wahr und muss zur Bedienung des Systems mit diesem Objekt interagieren. Gleichzeitig nimmt er auf dem Bildschirm die Abbildung der ihm nicht direkt zugänglichen Objekte in einer (Realwelt-)Szene als Ziel seiner Beobachtungstätigkeit wahr (Abbildung 1). Diese Doppelrolle des Bildschirms bewirkt eine Konkurrenz zwischen der Objekterkennung als Haupt- und dem Bedienen des Abbildungssystems als Hilfstätigkeit. Beide Tätigkeiten nehmen vorwiegend den Sehsinn des Menschen in Anspruch.

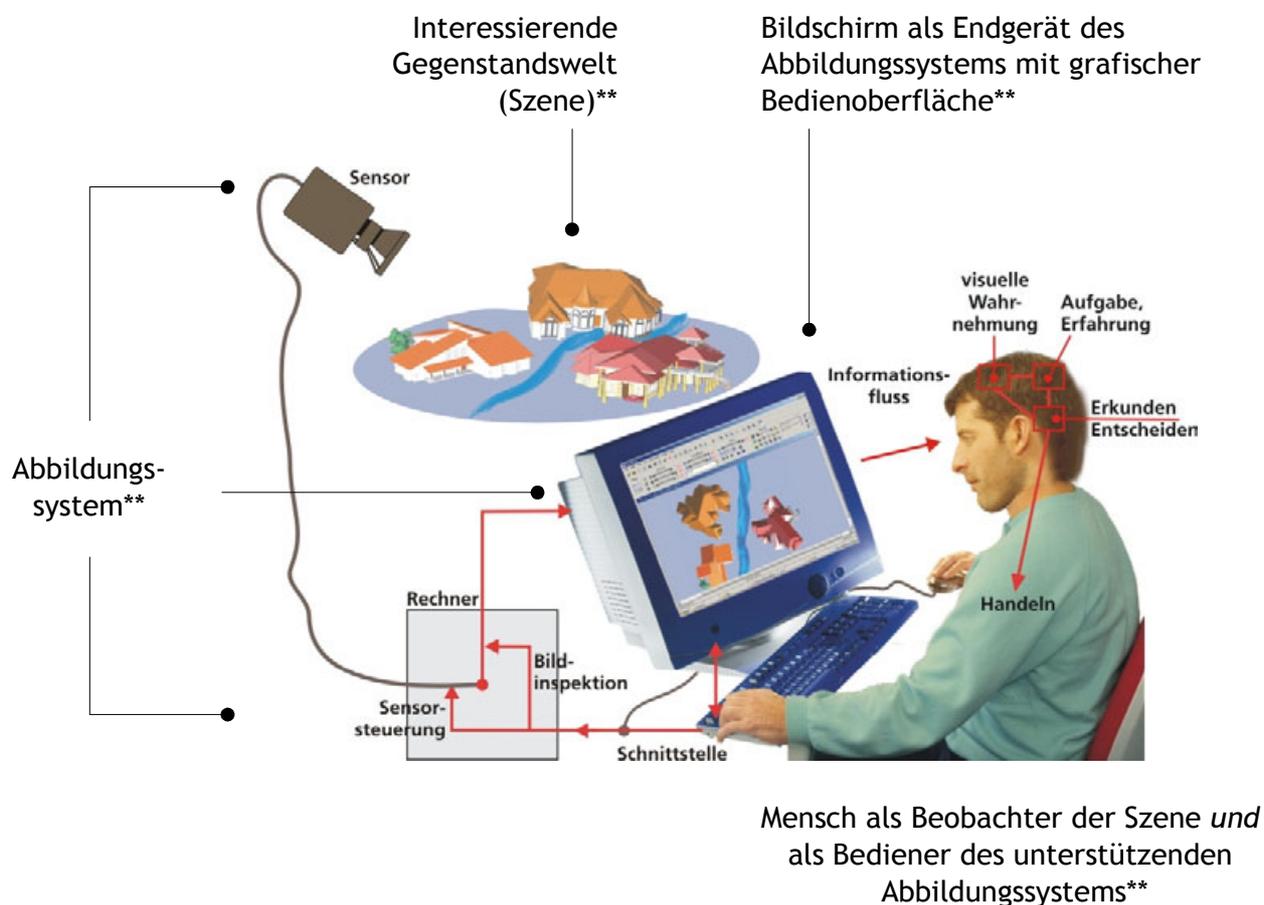


Abbildung 1: Der Mensch am Bildschirmarbeitsplatz eines Abbildungssystems zur Beobachtung einer Szene (nach Geisler & Peinsipp-Byma (2005) mit Ergänzungen durch den Verfasser: **).

Ein Beispiel für den Stand der Technik zeigt Abbildung 2: Der *Geospatial Light Table* der Software Erdas Imagine® Leica Geosystems, einer marktgängigen fotogrammetrischen Software zur Unterstützung der Luft- und Satellitenbildauswertung. Weniger als die Hälfte des Bildschirms ist hier für das Luftbild als der Hauptinformationsquelle für die Arbeitsaufgabe reserviert; mehr als die Hälfte für Bedienelemente, von denen vermutlich jeweils der größere Teil in einem bestimmten Abschnitt der Arbeitsaufgabe nicht verwendet werden wird. Fischer (2004) hat in einer anthropotechnischen Analyse zum Stand der Technik von Luftbildauswertesystemen festgestellt, dass viele Softwaresysteme mit hohem Funktionsumfang, wie z. B. der hier gezeigte *Geospatial Light Table*, mit Grundregeln der Anthropotechnik¹ kollidieren. Der Hauptteil der Kritik konzentriert sich auf das zu hohe visuelle Gewicht und die Auffälligkeit der Bedienelemente. Hier herrscht Handlungsbedarf, um die Entwickler solcher Systeme dabei zu unterstützen, die Schnittstelle zwischen dem Menschen und dem Abbildungssystem so zu gestalten, dass die Konkurrenz zwischen Arbeits- und Bedienungsaufgabe minimiert und damit die Leistung des Menschen bei der Bearbeitung von unterstützten Objekterkennungsaufgaben verbessert werden kann.

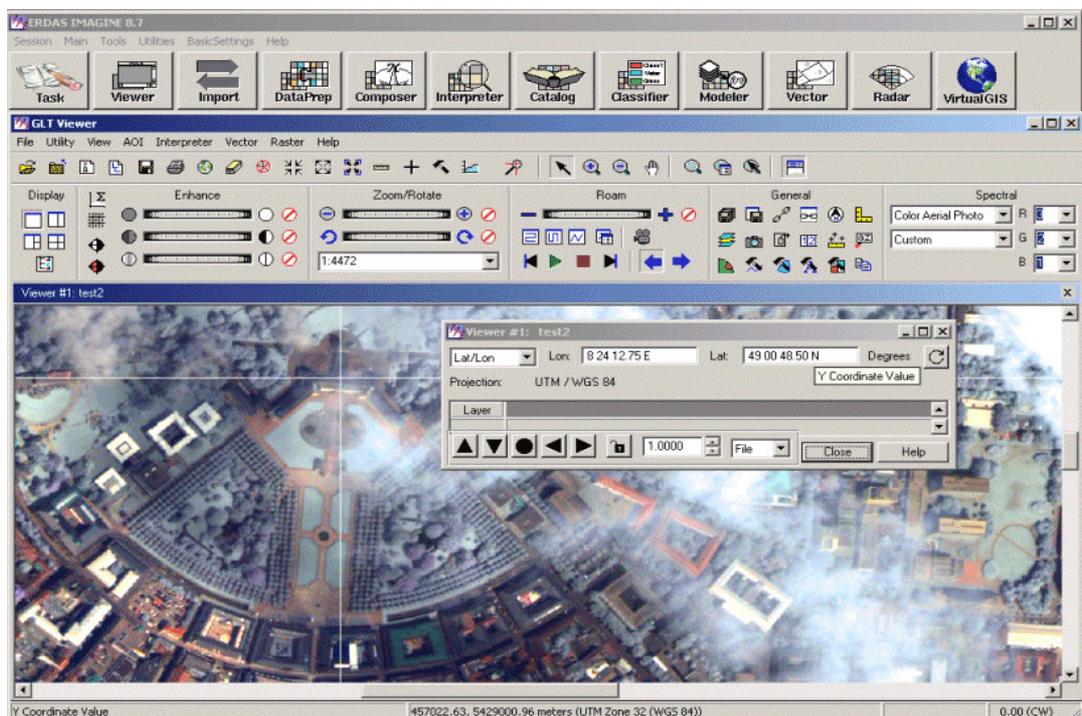


Abbildung 2: Software Erdas Imagine ®: *Geospatial Light Table* (Hersteller Leica Geosystems) zur Unterstützung der Auswertung von Luft- und Satellitenbildern.

1 Die sieben Grundregeln nach Syrbe (2004).

1.2 Ziel der Arbeit und Vorgehensweise

J. Gibson definiert einen Bildschirm als Oberfläche, die Information über weiteres vermittelt als nur über sich selbst¹. Der Bildschirm als Endgerät eines Abbildungssystems, wie in Abbildung 1 gezeigt, stellt dabei zusätzlich zur Benutzungsoberfläche des Abbildungssystems auch ein Fenster zu der interessierenden Szene dar, die sich außerhalb des Bildschirmarbeitsplatzes befindet. Der Benutzer eines Abbildungssystems bewegt sich also gedanklich in zwei Referenzsystemen: in dem Referenzsystem des Bildschirmarbeitsplatzes als Gegenstand seiner unmittelbaren Wahrnehmung und in dem Referenzsystem der abgebildeten Szene als Gegenstand seiner technisch vermittelten Wahrnehmung für die Lösung der Erkennungsaufgabe. Das Referenzsystem des Bildschirmarbeitsplatzes ist eigenbezüglich (egozentrisch) gegenüber dem Benutzer, das Referenzsystem der Szene eigenbezüglich zum Sensor und damit fremdbezüglich (allozentrisch) gegenüber dem Benutzer (siehe Abbildung 3). Der Benutzer eines Computers muss bei der Bearbeitung einer bildgestützten Objekterkennungsaufgabe also nicht nur okulomotorisch, durch Augen- bzw. Blickbewegung, zwischen der Bildschirmfläche mit dem Sensorbild und der Fläche mit den Elementen der Benutzungsoberfläche hin- und her wechseln. Er muss dabei zusätzlich *gedanklich* zwischen den beiden Referenzsystemen hin- und her schalten. Es wird angenommen, dass der Wettbewerb um Ressourcen des Kurzzeitgedächtnisses durch Umschalten zwischen diesen beiden Referenzsystemen eine wesentliche Quelle der Belastung des Menschen bei der Objekterkennung in abgebildeten Realweltszenen am Bildschirmarbeitsplatz ist und für diese Aufgabenklasse als charakteristisch gelten kann. Die zu Grunde liegenden Mechanismen der so genannten mentalen Rotation sind wohl erforschter Gegenstand der kognitiven Psychologie (siehe z. B. Anderson (2004), S. 111 ff.). Die räumliche Orientierung und das räumliche Erinnerungsvermögen, auch im Bezug auf Informationsrepräsentation am Computerbildschirm, sind Gegenstand aktueller Forschung (siehe z. B. Winkelholz & Schlick (2005)). Eine besonders schwer wiegende Belastung wird dabei für Bedienoperationen erwartet, die der geometrischen Manipulation des Abbildes der dargestellten Szene dienen: Drehen, Verschieben, Vergrößern u. ä., da diese Operationen eine räumliche mentale Vorstellung von der Szene erfordern. Eine maßgebliche Grundlage für diese Annahme bilden die Experimente von Brooks (1968). Sie untersuchten bei einer Aufgabe, welche visuell-räumliches Vorstellungsvermögen erfordert, verschiedene

¹ »A display ... is a surface that has been shaped or processed so as to exhibit information for more than just the surface itself« (Gibson (1979), S. 42).

Interaktionsmodalitäten (sprachlich, über Tastatur, durch Zeigen) und stellten signifikante Unterschiede in der Leistung bei dieser Aufgabe, abhängig von der Inanspruchnahme visuell-räumlicher Vorstellung für die Interaktion fest.

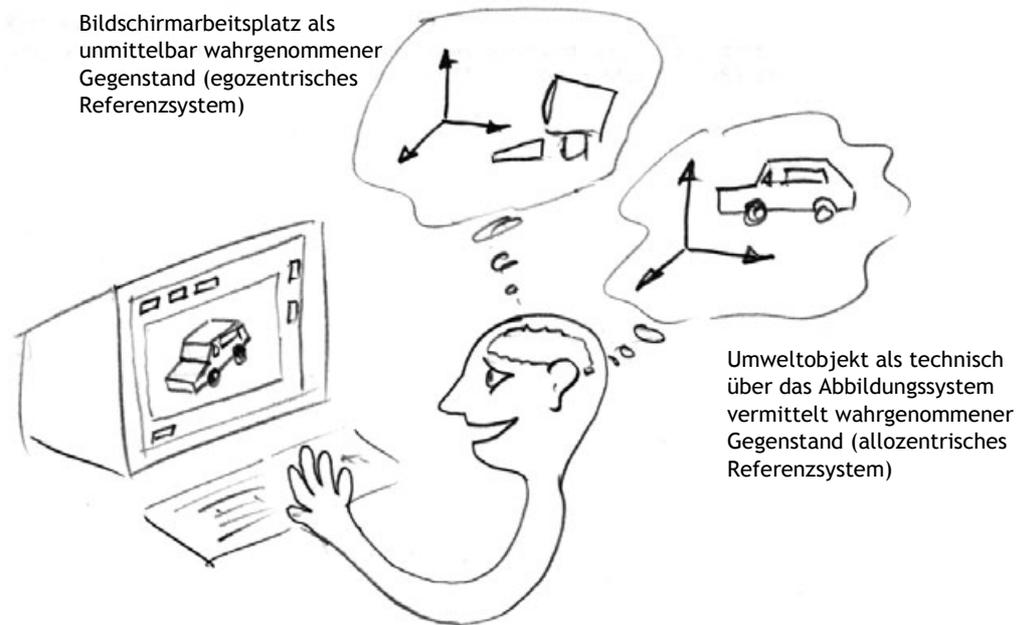


Abbildung 3: Wechsel zwischen der unmittelbaren wahrgenommenen Realität, der Welt des Bildschirmarbeitsplatzes, und der technisch vermittelten Realität, der Szene.

Eine qualitative Analyse der Arbeit von Bildauswertern bei der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern zeigte, dass die Benutzer auch bei der Auswertung statischer Luft- und Satellitenbilder in orthorektifizierter, kartenähnlicher Darstellung, wie z. B. in Abbildung 2 gezeigt, mit wachsender Komplexität der grafischen Benutzungsoberfläche starke Leistungseinbußen zeigten. Diese Leistungseinbußen müssen unabhängig von einer Belastung durch die Umorientierung zwischen dem egozentrischen und dem allozentrischen Referenzsystem sein, da hierfür keine mentale Rotation erforderlich ist. Es ist also erforderlich, zunächst eine Antwort darauf zu suchen, welche grundlegenden belastenden Einflüsse wirken, bevor, darauf aufgebaut, der Einfluss des Umschaltens zwischen den Referenzsystemen dediziert erörtert werden kann. Das Studium einschlägiger Quellen zu dieser Frage ergab, dass auf der einen Seite der jüngere internationale Wissenstandes in der allgemeinen Mensch-Computer-Interaktion (als Referenz sei hier Jacko & Sears (2003) genannt) nicht zielgerichtet die Aufgabenklasse »Bildgestützte Objekterkennung« behandelt. Auf der anderen Seite erschöpft sich der Stand des Wissens

in der Anthropteknik für die bildgestützte Objekterkennung bislang in einer Beschreibung von Phänomenen und allgemein gehaltenen Ratschlägen (siehe z. B. Hoffman & Markman (2001)). Eine modellgestützte Vorhersage der mentalen Belastung des Menschen in Gegenwart eines Wettbewerbs zwischen der Systembedienung und der Erkennungsaufgabe ist, auch ohne Berücksichtigung der Besonderheit des Wettbewerbs zwischen ego- und allozentrischem Referenzsystem, gegenwärtig nicht aus dem Stand des Wissens abzulesen.

Ziel der Arbeit ist es, eine Grundlage für die modellgestützte Vorhersage der Wirkung des Wettbewerbs zwischen der Bedienung eines Abbildungssystems einerseits und der Objekterkennung andererseits auf die Leistung des Menschen bei der bildgestützten Objekterkennung aus Realweltszenen am Bildschirmarbeitsplatz zu gewinnen. Damit wird auf der einen Seite die Grundlage geschaffen, auf der aufbauend ein Wettbewerb höherer Ordnung (dem zwischen verschiedenen Referenzsystemen) für diese Aufgabenklasse modelliert werden kann. Andererseits kann ein so geschaffenes Modell auch für andere Aufgabenklassen, die kein Umschalten zwischen räumlichen Referenzsystemen erfordern, als Grundlage herangezogen werden, um die allgemeine Gestaltung optimal gebrauchstauglicher Mensch-Maschine-Systeme zu unterstützen.

Nach einer Einführung in Begriffe der Arbeitswissenschaft und der Mensch-Maschine-Systemtechnik in Kapitel 2, insbesondere Belastung, Beanspruchung und Leistung, werden dazu in Kapitel 3 Modelle der menschlichen Informationsverarbeitung diskutiert, die zu dem Ziel dieser Arbeit beitragen und insbesondere den Einfluss des Kurzzeit- bzw. Arbeitsgedächtnisses berücksichtigen. Auf der Grundlage dieser Diskussion wird mit Kapitel 4 ein eigenständiger Modellierungsansatz eingeführt. Anschließend wird in Kapitel 5 die Arbeitsaufgabe der bildgestützten Objekterkennung, hier allgemeiner aufgefasst als bildgestützte Szenenerkundung, generisch beschrieben und für eine Modellierung vorbereitet. Diese wird in Kapitel 6 exemplarisch für die Ortsbestimmung als eine Fundamentalaufgabe der Szenenerkundung durchgeführt, zunächst ohne Berücksichtigung von Bedienoperationen. Sie werden im Laufe des Kapitels schrittweise über die ideale zur realen Bedienoperation in das Modell integriert. Daraus wird eine Systematik zur Abschätzung der Belastung des Arbeitsgedächtnisses durch die Bedienaufgaben in Abhängigkeit von der Arbeitsaufgabe entwickelt. Diese Systematik wird mit Kapitel 7 empirisch überprüft, um die Validität des Modellansatzes feststellen zu können. Kapitel 8 schließt die Arbeit mit einer Zusammenfassung sowie der Diskussion der Ergebnisse ab und gibt einen Ausblick auf mögliche weiterführende Untersuchungen und Entwicklungen.

2 Leistungserbringung in Mensch-Maschine-Systemen

2.1 Das Mensch-Maschine-System

Ein Mensch-Maschine-System ist Teil eines so genannten *Arbeitsystems*. In einem Arbeitssystem wirken Mensch und Arbeitsmittel im Arbeitsablauf am Arbeitsplatz in einer Arbeitsumgebung zur Erfüllung einer Arbeitsaufgabe zusammen (ISO 6385). Die Maschine wird in einem Arbeitssystem als *aktives* Arbeitsmittel betrachtet: aktiv in dem Sinne, dass die Maschine nach Betätigung durch den Menschen selbst eine Leistung abgibt. Bei einem Computer als Maschine ist diese Leistung informatorischer Natur. Dient die Leistung der Maschine direkt zur Erfüllung der Arbeitsaufgabe, wird das Arbeitsergebnis also vorwiegend durch die Maschine erbracht, dann befindet sich der Mensch in der Rolle des Bedieners, der die Maschine durch Einstell- und Überwachungsoperationen dazu in die Lage versetzt (siehe z. B. Bubb in Schmidtke (1993), S. 402). Erbringt aber der Mensch selbst das Arbeitsergebnis mit Unterstützung durch die Maschine, dann ist er in der Rolle des Benutzers. Er stellt die Maschine ein und überwacht deren Tätigkeit, um von ihr eine Leistung zu erhalten, die ihm bei der Erfüllung der Arbeitsaufgabe weiterhilft. Die Bedienung der Maschine kann also als Hilfsaufgabe betrachtet werden, welche in Form geeigneter Steuerung und Überwachung des Hilfsmittels Maschine zur Lösung der eigentlichen Arbeitsaufgabe beiträgt. Die Hilfsaufgaben werden aus der Arbeitsaufgabe heraus aktiviert und geben ihr Ergebnis an diese zurück. Sie sind damit eine besondere Klasse von Teilaufgaben der Arbeitsaufgabe. Abbildung 4 illustriert diesen Zusammenhang.

Für den Diskursbereich dieser Arbeit wird der Mensch als Bereitsteller des Arbeitsergebnisses und damit als Benutzer betrachtet. Abbildung 5 zeigt aus dieser Sicht heraus die wesentlichen Teilsysteme und deren Beziehungen (nach Syrbe & Beyerer (2007) mit Modifikationen durch den Verfasser). Die Maschine – hier ein Abbildungssystem – speist die von der Szene mit den interessierenden Objekten gewonnene Abbildung und Kenngrößen des Abbildungsprozesses in die Mensch-Maschine-Schnittstelle (MMS) als Subsystem des Mensch-Maschine-Systems ein. Die MMS transformiert diese Information hinsichtlich der Sinnesmodalität, der Kodierung und der Organisation (Geiser (1990)) in eine für den Menschen im Rahmen seiner Aufgabe günstig wahrnehmbare Form.

2 Leistungserbringung in Mensch-Maschine-Systemen

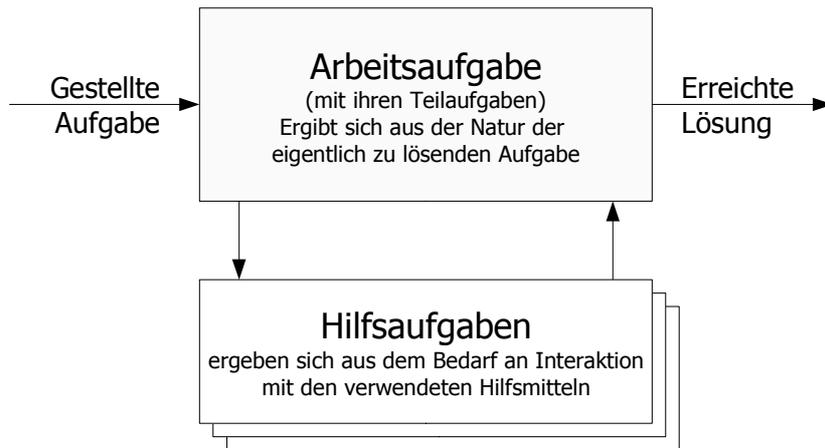


Abbildung 4: Die Wechselwirkung zwischen Arbeits- und Hilfsaufgabe.

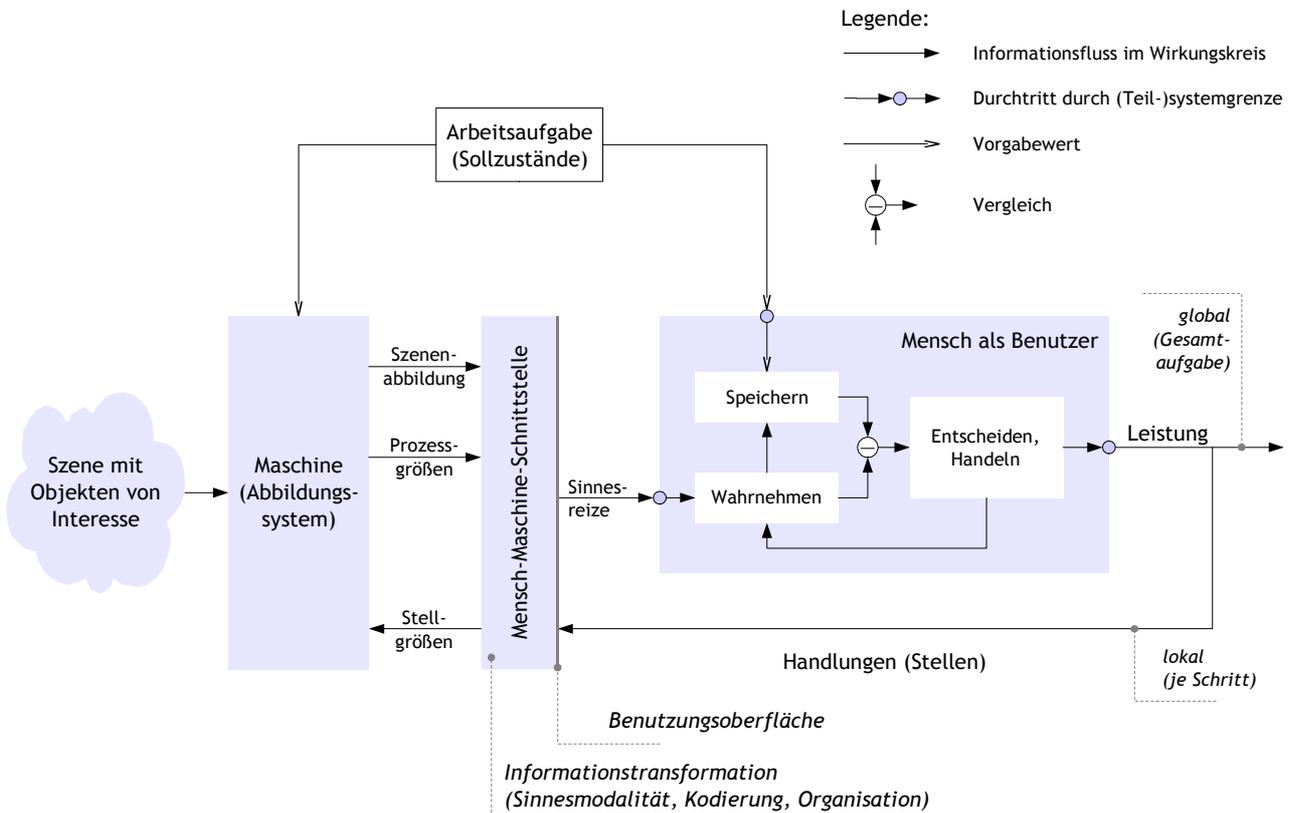


Abbildung 5: Wirkungskreis Maschine-Mensch-Maschine für den Fall des Abbildungssystems als Maschine (nach Syrbe & Beyerer (2007) mit Modifikation durch den Verfasser).

Unter *Sinnesmodalität* werden die Sinne des Menschen verstanden, mit denen er seine Umgebung wahrnimmt. Nach dem gegenwärtigen Stand der Technik dominiert hier der Sehsinn als visuelle Modalität, gefolgt von Hör- und Tastsinn als akustische bzw. taktile Modalität¹. Mit *Kodierung* wird die Art der Umsetzung innerhalb einer Modalität bezeichnet. Für den Sehsinn kann die Kodierung von Information beispielsweise durch Farben oder Formen erfolgen. Die *Organisation* der Information betrifft die räumliche und zeitliche Anordnung einzelner Elemente auf der so genannten Benutzungsoberfläche. Die Benutzungsoberfläche ist die dem Menschen zugewandte Seite der Mensch-Maschine-Schnittstelle². Die Information auf der Benutzungsoberfläche wirkt als Sinnesreiz auf den Menschen. Die MMS muss also einen physikalischen oder chemischen Effekt erzeugen, der von den Sinnen des Menschen empfangen werden kann. Über die Stufen Reiz → Erregung → Empfindung gelangt der Effekt von der Benutzungsoberfläche in die Wahrnehmung des Menschen.

Das Resultat dieser Wahrnehmung speichert der Mensch auf der einen Seite in seinem Gedächtnis und vergleicht es auf der anderen Seite mit bereits im Gedächtnis vorliegender Information. Dieser Vergleich wird gesteuert von der Arbeitsaufgabe, die der Mensch mittels der Maschine zu lösen hat. Sie gibt für den Menschen die Sollzustände vor, welche an der Benutzungsoberfläche ablesbar sein müssen, damit die Arbeitsaufgabe erfüllt wird. Laufen in der Maschine automatisierte Prozesse ab, müssen die Sollzustände auch der Maschine bekannt gegeben werden. Entsprechend dem Ergebnis des Vergleichs von wahrgenommener Ist- mit erwarteter Soll-Information trifft der Mensch Entscheidungen und leitet Handlungen ein. Handlungen wirken auf der einen Seite innerhalb des Menschen auf den Wahrnehmungsprozess zurück und steuern die Reizselektion, beispielsweise über Blickbewegungen. Auf der anderen Seite wirken sie auf das Umfeld des Menschen und erbringen global die Leistung, welche Ziel und Zweck der Arbeitsaufgabe ist. Im Verlaufe der Aufgabenbearbeitung müssen aber im Rahmen der Hilfsaufgaben auch Handlungen getätigt werden, die dazu dienen, die Maschine einzustellen. Diese wirken lokal in Stellschritten auf die Benutzungsoberfläche der MMS und werden von dieser in Stellgrößen für die Maschine transformiert.

1 Der Begriff »haptisch«, häufig auch allgemein für »den Tastsinn betreffend« gebraucht, soll hier für die *Eingabe* durch den Menschen reserviert sein.

2 Häufig wird der Begriff Benutzungsoberfläche (auch Benutzeroberfläche oder Benutzerschnittstelle genannt: Charwat (1994)) im Gegensatz zu der hier benutzten Definition für die gesamte MMS verwendet.

2.2 Belastung und Beanspruchung

Der Mensch in einem Arbeitssystem sieht sich gewissen *Forderungen* gegenübergestellt, die er erfüllen muss. Als Forderung wird hier jede Empfindung verstanden, die den Menschen dazu veranlasst, sich mit ihr zu beschäftigen. Die wesentlichen Forderungen in einem Arbeitssystem gehen von der gestellten Arbeitsaufgabe aus. Sie seien als *Nutzforderungen* bezeichnet. Daneben muss sich der Mensch in einem Arbeitssystem aber auch mit Forderungen auseinandersetzen, deren Quelle nicht die Arbeitsaufgabe ist. Beispielsweise muss er die Zwischenfrage eines Kollegen beantworten oder die defekte Maus an seinem Bildschirmarbeitsplatzes schütteln, um einen Wackelkontakt zu beheben. Auch diese Reize aus der Umgebung interpretiert der Mensch in der Regel als Forderungen, auf die er reagieren wird. Selbst das willentliche Ignorieren solcher Forderungen in der Hoffnung, sie durch Zuhören abklingen zu lassen, ist eine Reaktion, die Ressourcen des Menschen bindet. Solche Forderungen stammen allerdings nicht aus der Arbeitsaufgabe. Ihre Erfüllung trägt nicht zur Erfüllung der Nutzforderung bei, sondern stört diese. Deshalb seien solche Forderungen als *Störforderungen* bezeichnet.

Um Forderungen zu erfüllen, muss der Mensch eine Leistung erbringen. Der Weg von der Forderung zu deren Erfüllung durch Leistung führt über die *Belastung* und die *Beanspruchung* des Menschen. Abbildung 6 stellt den sich daraus ergebenden Zyklus dar, dessen Begriffe in diesem und den folgenden Unterkapiteln erläutert werden.

Während unter »Forderung« der Auslöser für eine Aktivität verstanden werden soll, wird unter dem Begriff der Belastung *B* die äußere Einwirkung auf den Menschen nach Art, Intensität und Dauer qualifizierbar und quantifizierbar gemacht. Nach DIN 33400 gilt die Belastung als »*Gesamtheit der erfassbaren Einflüsse, die im Arbeitssystem auf den Menschen einwirken*«. Dazu gehören neben direkten physikalischen Einwirkungen nach dem Verständnis der Arbeitswissenschaft auch Einwirkungen, die sich aus den sozialen Zwängen im Arbeitssystem ergeben, z. B. einen bestimmten Gruppendruck. Letztere entziehen sich der Messbarkeit als Voraussetzung zur Quantifizierung. Rohmert (1984) hat dazu eine Aufteilung in messbare *Belastungsgrößen* und nicht messbare *Belastungsfaktoren* vorgeschlagen. In dieser Arbeit sollen ausschließlich Belastungsgrößen erörtert werden. Eine Belastungsgröße gibt, anders ausgedrückt, den Widerstand an, gegen den eine Aktion wirken muss, um die auslösende Forderung zu erfüllen.

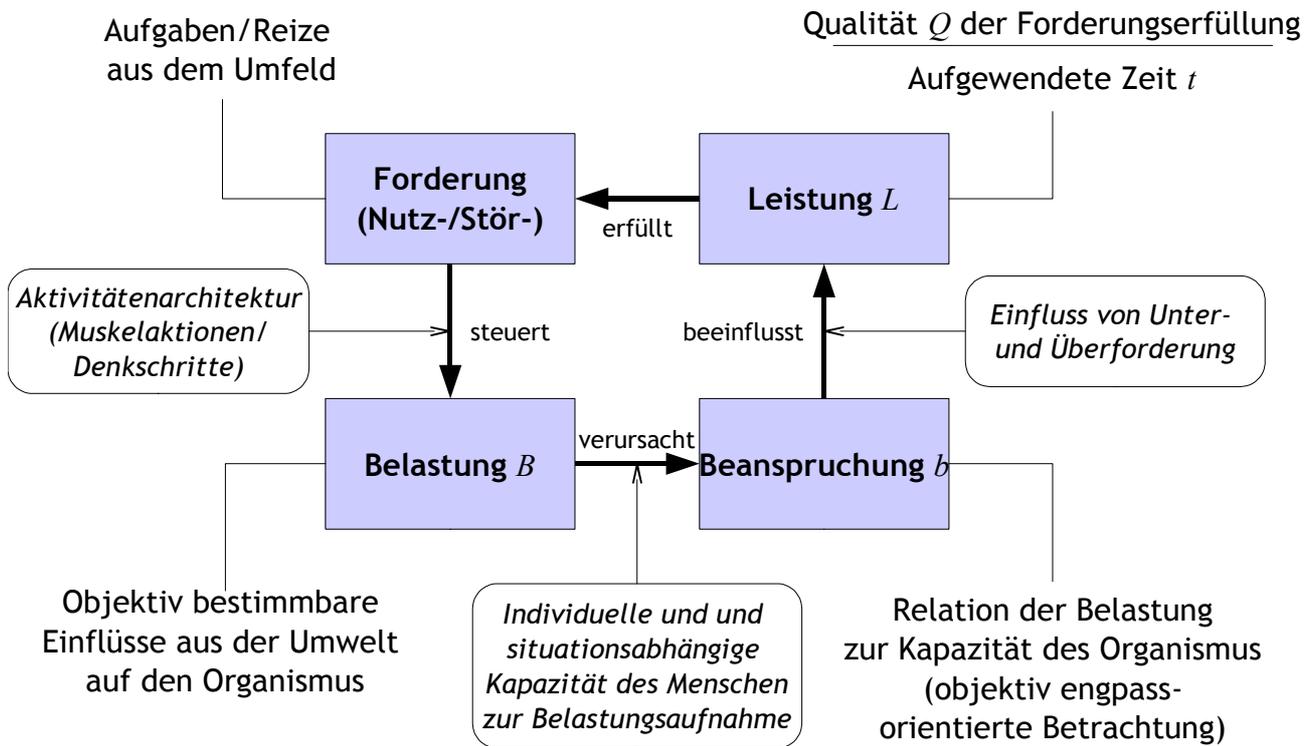


Abbildung 6: Von der Forderung bis zu deren Erfüllung durch Leistung über Belastung und Beanspruchung.

Nach Art der Belastungsgröße wird zwischen »*physisch*« und »*informativ*« unterschieden¹. Eine physische Belastung ist beispielsweise eine zu hebende Last, ausgedrückt in der Einheit Newton. Eine informatorische Belastung kann man z. B. in der Anzahl von Entscheidungen ausdrücken, die zu treffen sind, um eine informatorische Forderung zu erfüllen.

Der Belastung des Menschen wird in der Anthropotechnik dessen *Beanspruchung* gegenübergestellt (DIN 33400). Die Beanspruchung b beschreibt die Wirkung, welche die von außen aufgeprägte Belastung *im* Menschen ausübt, wie sie also seine Kapazitäten in Anspruch nimmt. Diese Wirkung ist von den generellen, mittel- bis langfristigen Anlagen des einzelnen Menschen abhängig, wie z. B. dessen Körperbau bei physischer Belastung. Sie wird aber auch von seinem momentanen, situationsabhängigen Zustand regiert, der bestimmt, inwieweit der Mensch seine prinzipiell vorhandene Kapazität im herrschenden Augenblick mobilisieren kann. Die mobilisierbare Kapazität ist unter anderem eine Funktion des Aktivitätsnive-

¹ Siehe z. B. Charwat (1994); dort wird die physische Belastung allerdings als »*physisch-energetisch*« bezeichnet. Nach Ansicht des Verfassers sind aber auch informatorische Operationen energetisch in dem Sinne, dass für sie Energie aufgewendet werden muss.

aus eines Menschen. Am unteren Ende des Aktivitätsniveaus, bei einem schlafenden Menschen, ist die mobilisierbare Kapazität gleich null. Hier ist jede Belastung eine Überbeanspruchung. Ebenso gleich null ist sie am oberen Ende des Aktivitätsniveaus, nämlich bei Hyperaktivität, die eine völlige Desorganisation des Verhaltens nach sich zieht. Auch hier können keine Ressourcen mehr mobilisiert werden und die Belastung läuft ins Leere. Zwischen diesen Extrema liegt die optimale Aktivierung. Die so genannte »Yerkes-Dodson-Regel« (Yerkes & Dodson (1908)) gibt diesen nichtlinearen Zusammenhang wieder (Abbildung 7)¹.

Die Ermittlung der Beanspruchung kann nach Rohmert (1984) auf zwei Arten erfolgen:

1. als von Arbeitsperson erlebt (subjektiv) oder
2. als objektiv-engpassorientiert.

Die *subjektive* Ermittlung erfolgt meistens mittels so genannter *Rating*-Skalen, die auf einer Befragung von Versuchspersonen fußen. Bei der Beanspruchungsermittlung über solche Verfahren wird angenommen, dass eine Beanspruchung dann vorliegt, wenn der Mensch sie als solche empfindet (Johannsen et al. (1979)). Die gängigsten *Rating*-Skalen sind der *NASA Task Load Index* (NASA TLX), die *Subjective Workload Assessment Technique* (SWAT) und die *Subjective Workload Dominance Technique* (SWORD). Eine Übersicht mit Gegenüberstellung der Eigenschaften geben Pfendler & Schweingruber (1996).

Die *objektiv engpassorientierte* Beanspruchung gibt den Grad der Ausschöpfung eines Belastungspotenzials an, das der Mensch zur Bewältigung einer Belastung aufbieten kann. Deren Ermittlung kann induktiv oder deduktiv vorgenommen werden (nach Laurig in Rohmert (1984), S. 197). Die *induktive* Methode registriert so genannte Beanspruchungsindikatoren, deren Werte bzw. deren Verlauf als abhängig von der Beanspruchung angenommen werden. Dies können physiologische Indikatoren sein, wie z. B. die Herzfrequenz, der elektrische Hautwiderstand oder die Charakteristik der Augenbewegung. Auch die Leistung in gezielt gestellten Nebenaufgaben gilt als Beanspruchungsindikator. Dazu geben Pfendler & Schweingruber (1996) ebenfalls eine bewertende Übersicht.

¹ Auf der Ordinate ist hier die psychische Leistung und nicht die Beanspruchung aufgetragen. Gemeint ist vermutlich das Leistungsvermögen und nicht die tatsächlich erbrachte Leistung. Das Leistungsvermögen ist aber proportional zu der Mobilisierbarkeit der physischen und psychischen Ressourcen eines Menschen, die zur Erbringung einer Leistung benötigt werden.

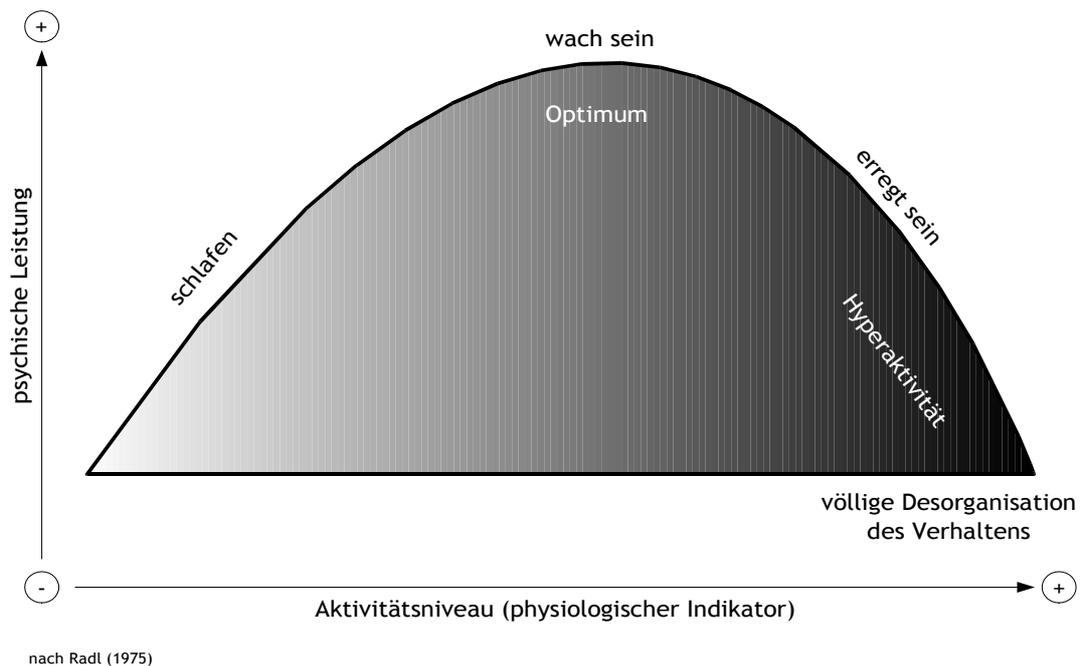


Abbildung 7: Nichtlinearer Zusammenhang zwischen Aktivitätsniveau und psychischer Leistung nach der »Yerkes-Dodson Regel« (gemäß Syrbe (2004) nach Radl (1975)).

Demgegenüber liegt der *deduktiven* Beanspruchungsermittlung ein modellorientierter Beanspruchungsbegriff mit der Beanspruchung als theoretischem Konstrukt zu Grunde. Die Beanspruchung entspricht dabei dem »Grad der Ausschöpfung bestimmter Fähigkeiten durch bestimmte Belastungen« (Rohmert (1984), S. 197). Die Voraussetzung dafür ist, dass sowohl die Belastung als auch die ihr entgegnete Aufnahmefähigkeit des Menschen quantifizierbar und von identischer Dimension sind. Wird ein Mensch beispielsweise durch eine Hebeaufgabe mit einer Kraft F_a belastet und dieser Mensch kann höchstens eine Last von F_{max} bewältigen, dann ist die deduktiv ermittelte Beanspruchung in diesem Fall gleich F_a/F_{max} . Die Fähigkeit des Menschen, eine bestimmte Grenzbelastung zu bewältigen, muss entweder empirisch für den einzelnen Menschen und für den Einzelfall ermittelt oder aus generellen, modellhaften Kenntnissen über den Menschen abgeleitet werden. Anhand einer mechanischen Analogie veranschaulicht Abbildung 8 die Beziehung zwischen Belastung und Beanspruchung. Sie unterscheidet sich von der bei Schmidtke (1993), S. 116 gewählten und weit verbreiteten Analogie, die ebenfalls einen Kragbalken als Beispiel wählt, die Beanspruchung aber mit der Durchbiegung dieses Balkens gleichsetzt.

Abbildung 8 lenkt die Aufmerksamkeit noch auf einen weiteren Aspekt. Wie bei dem hier dargestellten Rahmentragwerk muss man die aus der Aufgabe (hier dem Halten eines Gewichts) anliegende äußere Belastung hinreichend detailliert auf den belasteten Organismus abbilden. Man muss die elementaren tragenden Teile finden und die äußere Last auf selbige abbilden. Elementare tragende Teile sind diejenigen kleinsten Einheiten des Organismus, denen man hinreichend genau eine maximale Belastbarkeit zuordnen kann – im Falle des Rahmentragwerks sind es die Streben, im Falle eines physisch belasteten Menschen die Muskeln einschließlich der Sehnen, Bänder, Knochen etc. Im Falle einer informatorischen Belastung sind es die Bestandteile des Wahrnehmungs- und Denkkapparats (Sinnesorgane, Nervenleitungen und Gehirnareale).

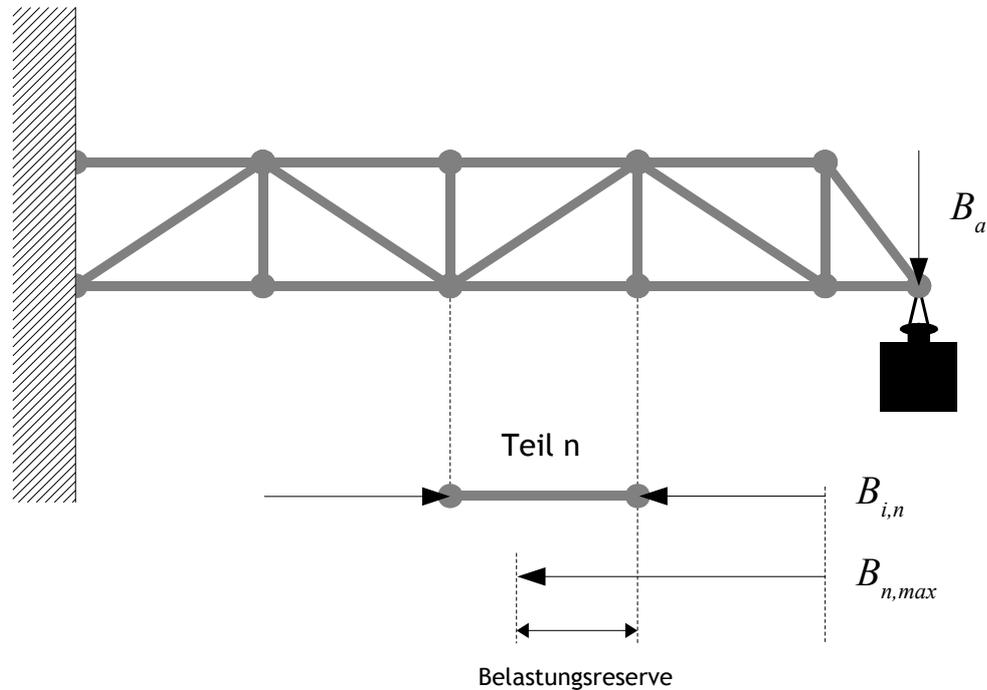
Dieser statische Aspekt der Belastung muss durch den Ablaufaspekt ergänzt werden, welcher die Handlungsfolge beschreibt. Für das Heben einer Last müssen also die Phasen der Bearbeitung der Hebeaufgabe vom Anheben bis zum Wiederabsetzen beschrieben sein, weil in jeder Phase und je nach gewählter Hebetchnik die Körperteile unterschiedlich belastet werden. Erforderlich ist also eine Dekomposition der Aktivitäten zur Forderungserfüllung auf die kleinste Zerlegungsstufe, der man sinnvoll eine Belastbarkeit zuordnen kann.

Ausgehend von der *Aufgabe* als globalem Ziel der Arbeit und als Nutzforderung auf der höchsten Abstraktionsebene zeigt Charwat (1994), S. 32¹ eine hierarchische Dekomposition der Aufgabenerledigung bis hinunter zur Muskelaktion (Abbildung 9). Unterhalb der Aufgabe, beispielsweise dem Führen eines Fertigungsprozesses², ordnet Charwat die *Tätigkeiten* an, welche in ihrer Summe das Arbeitsergebnis liefern bzw. die Forderung erfüllen. Jede Tätigkeit, beispielsweise das Überwachen des Prozesses, wird untergliedert in *Handlungen* als kleinste psychologische Einheiten willensmäßig gesteuerter sensumotorischer oder intellektueller Abläufe, die auf ein Ziel ausgerichtet sind und durch ein Motiv angestoßen werden, z. B. das Suchen, Entdecken und Identifizieren einer Fehlerursache. Eine Handlung wiederum besteht aus *Operationen*, die als unselbständige Teilhandlung, isoliert für sich betrachtet kein bewusstes Ziel erkennen lassen. Beispiel aus Charwat (1994) ist das Einstellen eines Wertes im Rahmen einer Bedienung. Mit der Operation verlässt das Schema den Bereich der Psychologie und tritt mit deren Zerlegung in Bewegungen in die Physiologie ein. Als Bewegung bezeichnet Charwat eine zusammenhängende Regulation der Motorik, die meist unbewusst erfolgt

1 Nach Charwat (1984) bzw. Leontjew (1979).

2 Beispiele für die Gliederungsstufen aus Charwat (1994).

(z. B. die Fixationsbewegung der Augen, um ein neues Blickziel anzusteuern). Jede Bewegung wiederum – und hier endet die Dekomposition – besteht aus einer Folge von Muskelaktionen, also dem An- und Entspannen von Muskelpaaren.



B_a : Belastung^{*)} aus der Tragaufgabe (äußere Belastung)

$B_{i,n}$: Belastung des n-ten Teils (innere Belastung)

$B_{n,max}$: Maximalbelastung des n-ten Teils (hier: Knicklast)

Beanspruchung des n-ten Teils:
$$b_n = \frac{B_{i,n}}{B_{n,max}}$$

*) Belastungen sind hier mechanische Kräfte

Abbildung 8: Mechanische Analogie »Rahmentragwerk« zur Veranschaulichung von äußerer und innerer Belastung sowie der objektiv-engpassorientierten Beanspruchung.

Die Muskelaktion als elementarer motorischer Schritt ist Ziel der Zerlegung, weil sich in der Muskelregung schließlich die Wirkung des Menschen auf seine Umgebung, in der Anthropotechnik also die Maschine, niederschlägt. Eine Zerlegung der Handlung als kleinster psychologischer Einheit nicht nur sensumotorischer, sondern auch intellektueller Abläufe in elementare, geistig zu bewältigende Schritte

ist nach dem Dekompositionsparadigma von Charwat nicht vorgesehen. Denn geistige Schritte dienen für den Gegenstandsbereich der Anthropotechnik der Vorbereitung von Wirkungen auf die Maschine. Nur diese sind der Beobachtung und damit der Beeinflussung zugänglich. Nach dem gegenwärtigen Stand der Technik werden sie nur über Muskelaktionen ausgeübt¹. Entsprechen dem Anliegen dieser Arbeit soll aber auch der Anspruch erhoben werden, den geistigen Teil der Handlungen in feiner granulare Schritte zu zerlegen, um ihn einer genaueren Belastungs- und Beanspruchungsanalyse zugänglich zu machen. Kapitel 4 stellt dafür einen Ansatz vor.

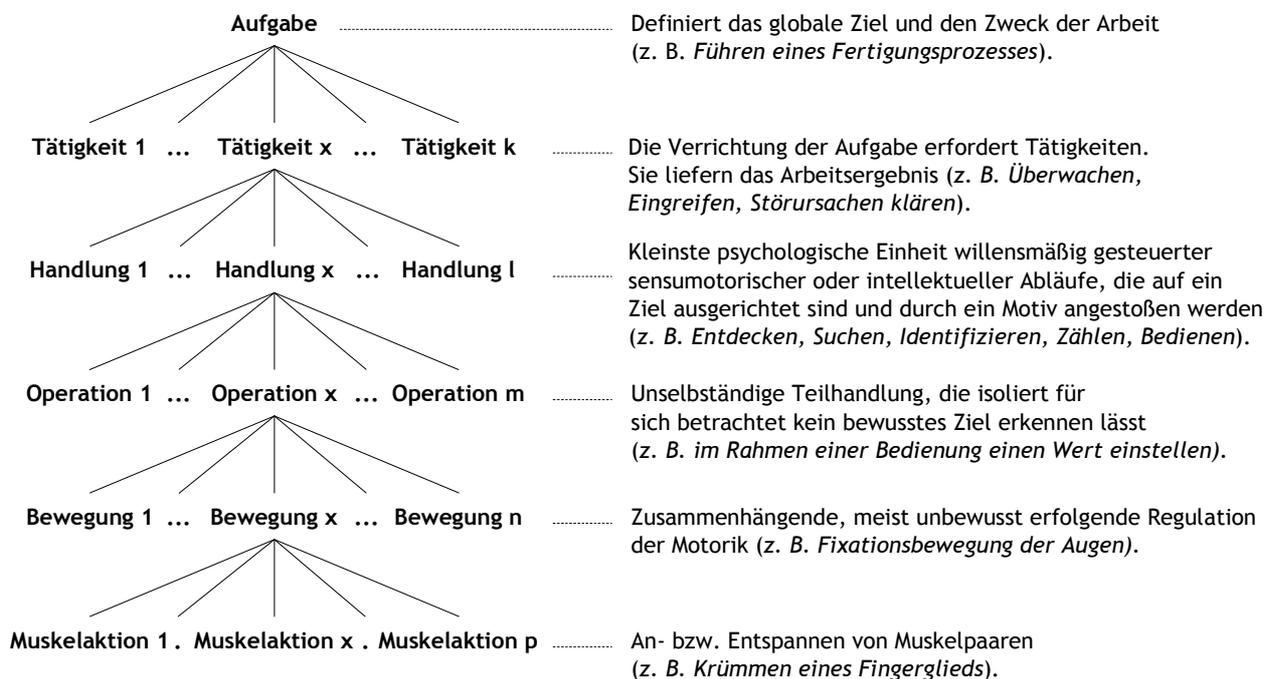


Abbildung 9: Aktivitätenarchitektur: Hierarchische Zerlegung der Bearbeitung einer Aufgabe entsprechend Charwat (1994), S. 32.

Benennen wir Tätigkeiten, Handlungen etc. bis hinunter zur Muskelaktion insgesamt als Aktivitäten, dann liefert das Ergebnis dieser Dekomposition eine hier so genannte *Aktivitätenarchitektur*. Sie beschreibt die zur Lösung einer Arbeitsaufgabe erforderlichen Aktivitäten in ihrer Reihenfolge. Erst mit dieser Struktur ist es möglich, den Vorgang der Forderungserfüllung auf Teile des menschlichen

¹ Wirkungen auf eine Maschine durch reine geistige Tätigkeit sind noch Gegenstand der Forschung, z. B. das so genannte »*Brain Computer Interface*« (Blankertz et al. (2002)).

Organismus abzubilden, damit deren Belastung zu bestimmen (innere Belastung) und so eine Grundlage für die Ermittlung der Beanspruchung zu haben (siehe Abbildung 6, S. 11).

2.3 Die Leistung

Der Mensch, der durch die Belastungen aus Forderungen beansprucht wird, erbringt eine *Leistung*, um die Forderung zu erfüllen. Die vom Menschen aufgewendete Leistung ergibt sich aus der Summe der aufgebrauchten Arbeit in Relation zur aufgewendeten Zeit. Für die physische Leistungserbringung ist diese schlüssig anzugeben, da die Arbeit als *Kraft mal Weg* klar definiert ist. Selbst wenn keine Bewegung ausgeführt und damit kein Weg zurückgelegt wird, z. B. bei einer reinen Halteaufgabe, kann die entsprechende Halteenergie für den Muskel aus physiologischen Daten bestimmt werden. Die aufgewendete Leistung ist also eine Funktion der Belastung. Für die Erfüllung der Forderung ist die aufgewendete Leistung allerdings nebensächlich. Entscheidend ist der Grad der Forderungserfüllung bezogen auf die dafür aufgewendete Zeit. Schmidtke (1993) bezeichnet dies als Qualität Q der Erfüllung einer Aufgabe und berechnet sie aus dem Grad der Übereinstimmung D zwischen Aufgabenstellung T und Aufgabenerfüllung R . Die (Nutz-)leistung L ist dann definiert als erreichte Qualität durch aufgewendete Zeit. Nach Schmidtke (1993), S. 111):

$$D = \frac{(T - R)}{T} \quad \text{Gleichung 2.1}$$

$$Q = 1 - D = \frac{R}{T} \quad \text{Gleichung 2.2}$$

$$L = \frac{Q}{t} \quad \text{Gleichung 2.3}$$

mit

- T ... Aufgabenstellung
- R ... Aufgabenerfüllung
- D ... Erfüllungsgrad
- Q ... Qualität der Erfüllung,
- L ... Leistung,
- t ... aufgewendete Zeit.

Die Dimension des Zählers dieser Gleichung hängt von der Art der Forderung ab. Sie wird von demjenigen bestimmt, der die Arbeitsaufgabe stellt und muss nichts mit der Dimension der Belastung zu tun haben. Im einfachsten Falle kann der erfüllte Umfang der Nutzforderung Q dimensionslos sein und binär auf die Werte 0 und 1 reduziert werden. » 1 « bedeutet, dass die Forderung erfüllt, » 0 «, dass sie nicht erfüllt wurde. Ist letzteres der Fall, spielt die aufgewendete Zeit keine Rolle mehr¹. Erwartet der Aufgabensteller in einem der obigen Beispiele, dass innerhalb einer gegebenen Frist *alle* Risse in der Tragfläche gefunden werden und der Prüfer übersieht nur einen von zehn vorhandenen, ist der Erfüllungsgrad und damit die Nutzleistung gleich null². Wäre er in einem anderen Fall auch mit einem geringeren Erfüllungsgrad zufrieden, stünde dieser im Zähler (z. B. » $0,7$ «, wenn er sieben von zehn Rissen gefunden hat). Hätte es aus Sicht des Aufgabensteller schädliche Wirkung, wenn der Prüfer Risse lokalisiert, wo gar keine sind (Fehlalarme), dann könnte er diese Fehldetektionen von den zutreffenden Detektionen, eventuell gewichtet, abziehen und damit den Gesamterfüllungsgrad mindern.

Die menschliche Leistung wird von der Beanspruchung beeinflusst (siehe Abbildung 6, S. 11). Bei Überbeanspruchung, also einer Belastung, welche die Kapazität des Menschen überschreitet, leidet die Qualität der Forderungserfüllung und damit, bei gleicher aufgewendeter Zeit, die Leistung. Begegnet der Mensch seiner Überbeanspruchung dadurch, dass er sich (falls das möglich ist) mehr Zeit nimmt, um die Qualität aufrecht zu erhalten, wird die Leistung ebenfalls geringer, weil dann der Nenner von Gleichung 2.3 größer wird.

Im günstigen Fall findet bei Überbeanspruchung keine Steigerung der Leistung mehr statt. Im ungünstigen, aber bei Menschen sehr häufigen Fall, bricht die Leistungserbringung komplett zusammen. Aber auch bei erheblicher und anhaltender Unterbeanspruchung stellen Menschen oft nicht die Ihnen maximal mögliche Leistung zur Verfügung. Sie fühlen sich mit anderen Worten unterfordert. Wieland-Eckelmann et al. (1996) empfehlen in diesem Zusammenhang die beanspruchungsoptimale Gestaltung eines Arbeitsplatzes, welche keineswegs beanspruchungsminimal ausfällt. Das Aktivierungsniveau auf der Abszisse der Yerkes-Dod-

1 Ausgenommen der pathologische Fall, dass die aufgewendete Zeit auch » 0 « beträgt; dieser Fall hat jedoch nur akademische und keine praktische Bedeutung.

2 Die Feststellung der Qualität von Prüfaufgaben ist generell problematisch, da der Auftraggeber sich auf die Aussage des Prüfers verlassen muss – sonst bräuchte er sich nicht zu stellen; die Qualität eines Prüfers kann nur durch regelmäßige Tests anhand vorab bekannter Fehlerfälle festgestellt werden; bei solchen Tests kann die Qualität der Lösung einer Prüfaufgabe sicher beurteilt werden.

son-Kurve (Abbildung 7, S. 13) kann auch durch die an einen Menschen gestellten Forderungen induziert werden. Ein unterforderter Mensch entfaltet ein niedriges Aktivitätsniveau, während ein überforderter sich in Hyperaktivität flüchtet.

2.4 Zusammenfassung und Folgerungen für diese Arbeit

Aus den an den Menschen gestellten Forderungen, die sowohl aufgabengetriebene Nutz- als auch aufgabenfremde Störforderungen sein können, resultieren Belastungen, die auf den Menschen wirken. Um die Belastung genau bestimmen zu können, ist eine Aktivitätenarchitektur anzugeben. D. h., der Weg zur Erfüllung der Forderung ist über Tätigkeiten und Operationen bis hinab zu einer Folge von Muskelaktionen und/oder Denkschritten abzubilden.

In dieser Arbeit werden nur Nutzforderungen und die aus ihnen resultierenden Belastungen betrachtet; weiterhin werden nur geistige Tätigkeiten betrachtet, die in Denkschritte zerlegt werden.

Die Belastung beansprucht den Organismus des Menschen. Das Maß der Beanspruchung bei definierter Belastung hängt ab von der individuellen und situationsabhängigen Fähigkeit des jeweiligen Menschen zur Belastungsaufnahme.

In dieser Arbeit wird ein durchschnittlich leistungsfähiger und optimal leistungsbereiter Mensch als Arbeitsperson angenommen.

Die subjektive Ermittlung der Beanspruchung bedient sich der Befragung sowie der Messung abgeleiteter Größen, so genannter Beanspruchungsindikatoren. Die objektive, engpassorientierte Ermittlung der Beanspruchung fußt auf einem Modell zur Abbildung der deduktiv bestimmbar Belastungen auf in ihrer Kapazität bestimmbar Ressourcen des Menschen.

In dieser Arbeit wird die Beanspruchung ausschließlich objektiv engpassorientiert betrachtet und deduktiv bestimmt: $b = B/B_{max}$.

Die Leistung L , die der von der Forderung belastete Mensch erbringt, wird betrachtet als Q/t mit Q als der Qualität der Forderungserfüllung und t als der dafür aufgewendeten Zeit. Die Definition der Qualität einschließlich deren Dimension ist forderungsindividuell und bleibt dem Fordernden überlassen. Beeinflusst wird

2 Leistungserbringung in Mensch-Maschine-Systemen

die Leistung durch die Beanspruchung. Dabei gibt es eine leistungsoptimale Beanspruchung, die zwischen der Null-Beanspruchung als Unterforderung und der Überbeanspruchung als Überforderung liegt.

In dieser Arbeit wird der Einfluss der Beanspruchung auf die Leistung nur dahingehend betrachtet, dass eine Überbeanspruchung die Leistung mindert; graduelle Unterschiede in der Leistungserbringung zwischen Unter- und Überbeanspruchung werden nicht erörtert.

3 Modelle der menschlichen Informationsverarbeitung

Um die Beanspruchung des Menschen im Zuge einer Arbeitsaufgabe bestimmen zu können ist es erforderlich, die aufgabenerfüllenden Aktivitäten auf Teilsysteme innerhalb des Menschen abzubilden, deren Belastbarkeit man bestimmen kann. Dies führt zu der oben eingeführten Aktivitätenarchitektur. Sie besteht aus zwei Teilen: einer *Prozessarchitektur*, aus welcher die zeitliche Abfolge von Prozessschritten ableitbar ist und einer *Systemarchitektur*, die die körperlichen Träger angibt, welche die Prozessschritte realisieren. In den folgenden Abschnitten werden einige Modellierungsansätze aus dem Gebiet der Anthropotechnik und der kognitiven Psychologie beschrieben, die auf dem Weg zum Ziel dieser Arbeit nützlich sind:

- Die *sieben Handlungsschritte* nach Norman (1986) geben ein sehr einfaches Basischema der Interaktion des Menschen mit einem Computer (Kapitel 3.1).
- Das *Stufenmodell der Wahrnehmung* aus Charwat (1994) beschreibt die Abstraktionsstufen vom Empfang eines Reizes bis zur handlungsauslösenden Entscheidung (Kapitel 3.2).
- Das *Drei-Ebenenmodell des menschlichen Verhaltens* nach Rasmussen (1983) unterscheidet menschliches Verhalten in fertigungs-, regel- und wissensbasiert (Kapitel 3.3).
- Das *Warteschlangenmodell* (Schumacher (1981)) beschreibt die Wirkung von Engpässen bei der Bedienung von Forderungsströmen (Kapitel 3.4).
- *Model Human Processor* nach Card et al. (1983) ist ein Architekturmodell der menschlichen Informationsverarbeitung (Kapitel 3.5).
- Die *GOMS-Modellierung* nach Card et al. (1983) dient zur aufgabenorientierten Evaluation der Interaktion des Menschen mit der Maschine (Kapitel 3.6).

Ergänzend dazu werden drei heute gängige kognitive Architekturen kurz eingeführt: EPIC, Soar und ACT-R/PM. Das Kapitel wird geschlossen mit einer Diskussion über die Eignung der beschriebenen Modelle und Architekturen für das Ziel dieser Arbeit.

3.1 Die sieben Handlungsschritte nach Norman

In Norman (1986) ist die Interaktion des Menschen mit einem Gerät in sieben Handlungsschritte unterteilt. Abbildung 10 zeigt die Abfolge der Schritte. Ausgehend von einem zu erreichenden Ziel formuliert der Mensch eine Absicht, plant daraufhin eine Aktion, mit der er das Ziel zu erreichen trachtet und führt die geplante Aktion aus. Die Aktion wirkt auf das Gerät. Norman nennt diese Abfolge den »*Gulf of Execution*«. Ihm stellt er den »*Gulf of Evaluation*« gegenüber, in dem der Mensch die Reaktion des Geräts auf seine Aktion wahrnimmt, diese Wahrnehmung interpretiert, d. h. sie in die Sprache der mit der Absicht aufgebauten Erwartung übersetzt und die Interpretation damit vergleicht. Entsprechend dem Ergebnis dieses Vergleichs prüft der Mensch den Grad der Zielerreichung und formuliert eine anschließende Absicht. Dieses sehr einfache und eingängige Modell der sieben Handlungsschritte bildet einen Leitfaden für die weitere Erörterung der Modelle.

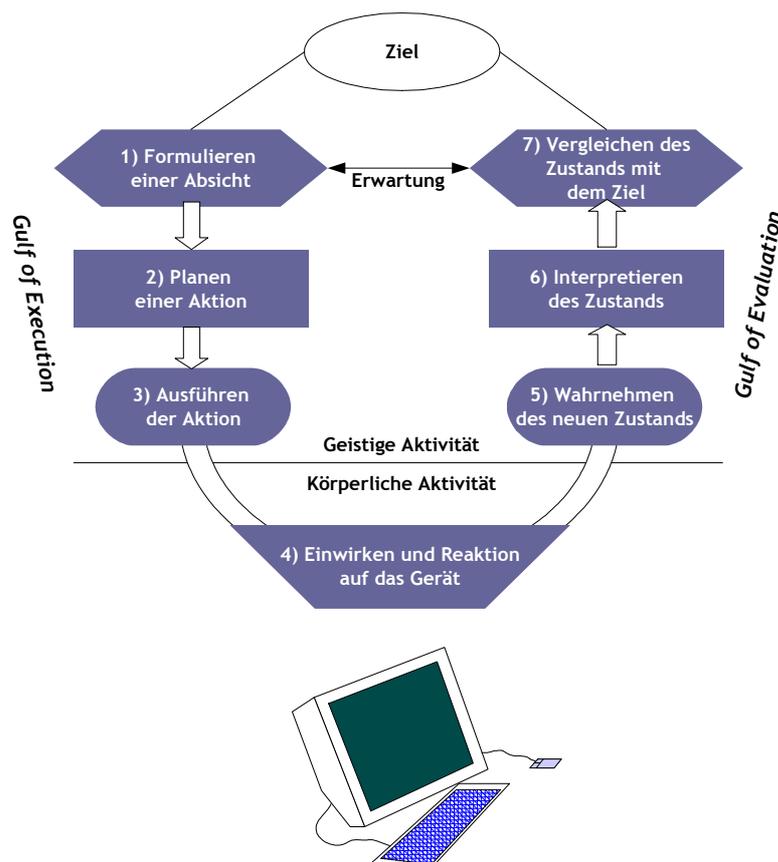
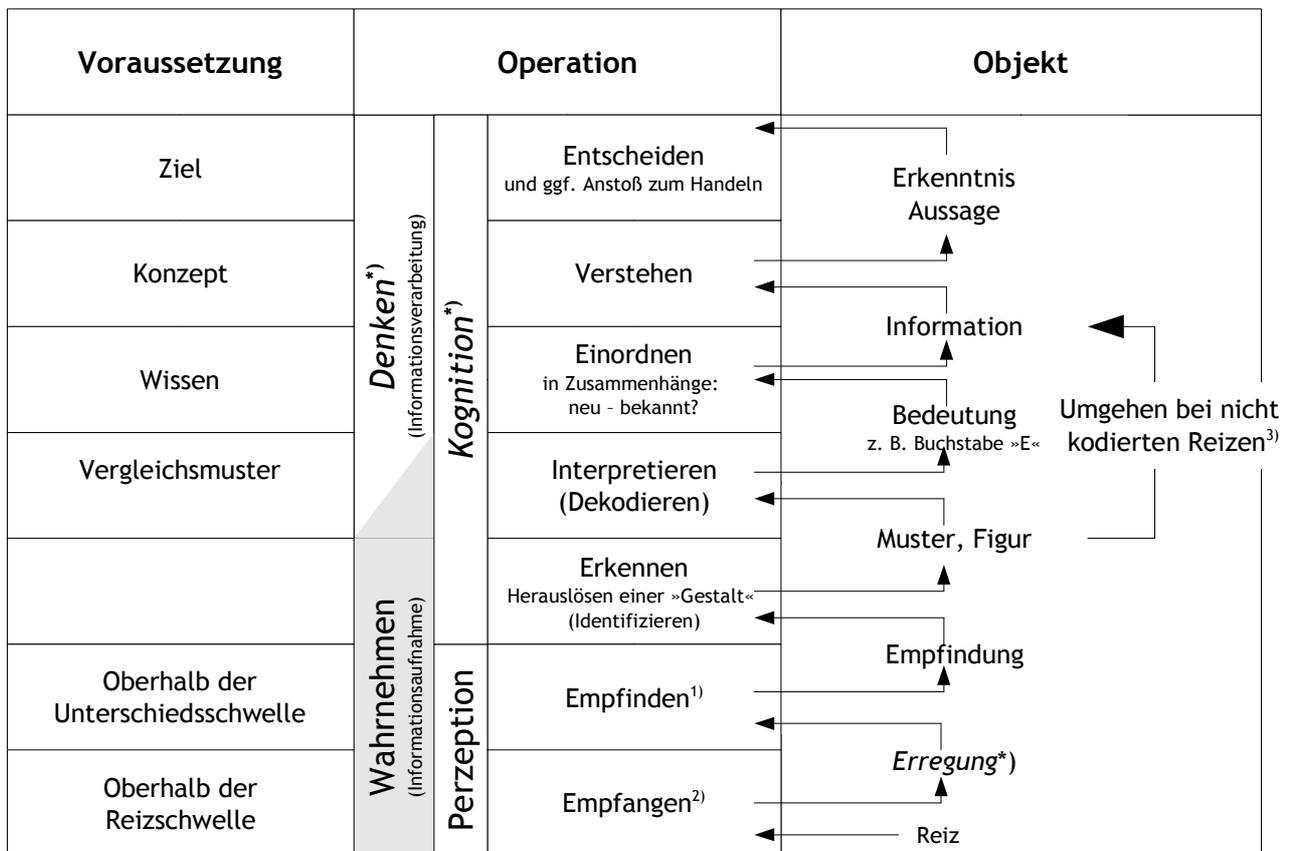


Abbildung 10: Die sieben Handlungsschritte nach Norman (1986) (Skizze nach Olson & Olson (1990) und Übersetzung nach Dahm (2006)).

3.2 Ein Stufenmodell der menschlichen Wahrnehmung

Der »*Gulf of Evaluation*«, also der Weg vom Empfangen der Sinnesreize bis zur handlungsauslösenden Entscheidung erstreckt sich über eine Kette von Schritten. Abbildung 11 zeigt ein Stufenmodell der Wahrnehmung, wie es im Lexikon für Mensch-Maschine-Kommunikation bei Charwat (1994) beschrieben ist (mit Änderungen/Ergänzungen durch den Verfasser). Entsprechend dem Diskursbereich dieser Arbeit wird das Modell hier vorzugsweise anhand der visuellen Wahrnehmung erläutert. Es gilt jedoch allgemein für alle Sinnesmodalitäten.



- *) *Ergänzung* durch den Verfasser
- 1) Im Original: »Unterscheiden«
- 2) Im Original: »Entdecken
- 3) In dieser Arbeit nicht angewendet

Abbildung 11: Stufenmodell der Wahrnehmung nach Charwat (1994), S. 461 mit Modifikation durch den Verfasser.

Reize erregen die Rezeptoren der Sinnesorgane, beispielsweise die Sehzellen in der Netzhaut des Auges, sobald sie eine gewisse Reizschwelle überschreiten. Heben sich Erregungen in ihrer Intensität räumlich oder zeitlich oberhalb einer Unterschiedsschwelle voneinander ab, *empfindet* der Mensch den Reiz. Diese beiden Stufen (Empfangen und Empfinden) werden unter dem Begriff Perzeption zusammengefasst¹. Jede Empfindung kann anschließend erkannt werden. *Erkennen* bedeutet, aus dem empfundenen Reiz eine Gestalt herauszulösen, die als Muster oder Figur ausgeprägt sein kann (im Folgenden soll nur noch von Figur gesprochen und das Muster in diesen Begriff einbezogen werden). Damit ist die so genannte ikonische Stufe erreicht. Ist die Bildfigur kodiert, wie z. B. ein Buchstabe, eine Zahlziffer oder ein Piktogramm, folgt der Takt des Dekodierens. Das Dekodieren erfordert Vergleichsfiguren. Diese ordnen den Figurenklassen Bedeutungsklassen zu. Im Regelfall ist dies nicht ohne Kenntnis des Kontextes möglich, weil die meisten Bildfiguren, isoliert betrachtet, mehrdeutig sind. Beispielsweise kann die Bildfigur »I« als Großbuchstabe I, als römische Zahlziffer für 1 oder als Sinnbild für einen Doppel-T-Träger gedeutet werden. Erst der Zusammenhang mit der Umgebung oder der Aufgabe lässt eine eindeutige Dekodierung zu. In diesem Sinne ist das Dekodieren immer ein *Interpretieren*, also eine kontextabhängige Deutung der Figur.

Mit dem Interpretieren ist der Abschnitt der Wahrnehmung beendet. Die Bildfigur liegt mit ihrer dem Kontext entsprechenden Bedeutung vor. Mit dem *Einordnen* dieser Bedeutung in einen Zusammenhang beginnt die Phase des Denkens im Sinne von bewusster Informationsverarbeitung. Die Benennung dieser Phase mit dem Begriff »Denken« ist eine Ergänzung durch den Verfasser, damit alle Phasen eindeutig adressierbar sind; das Originalbild aus Charwat (1994) nennt diese Phase nur »Informationsverarbeitung« und verzichtet auf eine zum Wahrnehmen passende Bezeichnung. Einordnen setzt Wissen voraus und führt zum *Verstehen*. Die eingeordnete Bedeutung als Eingangsgröße in den Verstehensabschnitt wird bei Charwat (1994) als Information bezeichnet. Dies ist wohl nicht als Information im grundlegenden Sinne zu verstehen, denn bereits der Reiz trägt ja Information, sondern eher als spezifische semantische Aussage aufgrund der dekodierten und

1 In Charwat (1994) wird die Erregung nicht erwähnt. Vielmehr wird dort der Reiz nach seiner Entdeckung durch den Vorgang des *Unterscheidens* in eine Empfindung gewandelt. Die vom Verfasser gewählte Modifikation wurde in Anlehnung an die von Müller-Limmeroth in Schmidtke (1993), S. 28 beschriebene Trias »Reiz → Erregung → Empfindung« vorgenommen.

eingeorordneten Figur. Die verstandene Information legt schließlich als (einfache) Aussage oder (höhere) Erkenntnis die Grundlage für die *Entscheidung* als höchste Stufe des Denkens und als die Vorstufe zu bewusstem Handeln.

Neben dem Begriff des Denkens ist durch den Verfasser noch eine weitere Einfügung getroffen worden: Die Phase der Perzeption, die nach Charwat (1994) nur die Stufen Entdecken und Unterscheiden umfasst, ist durch eine Phase der *Kognition* ergänzt, welche die restlichen Stufen bis zur Entscheidung zusammenfasst. Die unterschiedliche Abgrenzung Wahrnehmung/Denken und Perzeption/Kognition sei so begründet, dass Perzeption die rein physikalische Aufnahme von Reizen aus dem Umfeld umfasst, während die Wahrnehmung schon den Übergang zu syntaktischen Basisstrukturen, nämlich Figuren und Mustern beinhaltet. Diese sind zwar in der Phase der Wahrnehmung noch nicht bedeutungsbehaftet, also nicht Ergebnis des Denkens, können aber als Teil der Kognition verstanden werden, da sie bereits eine Syntax besitzen.

Im Modell aus Charwat (1994) werden bei nicht kodierten Reizen die Stufen der Interpretation und der Einordnung umgangen. Die Figur wird unmittelbar als Information im oben genannten Sinne aufgefasst. Diese Ausnahmebehandlung rührt daher, dass das Wahrnehmungsmodell stark an der Tätigkeit des *Lesens* orientiert ist. Für das Lesen leuchtet unmittelbar ein, dass eine Ziffernfigur zuerst als Einzelbuchstabe dekodiert und dann in den Bedeutungszusammenhang eines Wortes und Satzes eingeordnet werden muss, bevor sie verstanden werden kann. Im übertragenen Sinnen gilt dies nach Meinung des Verfassers aber auch für nicht explizit kodierte Information. Jede Bildfigur, die durch Abbildung aus einer Realweltszene gewonnen wurde, trägt implizit die Bedeutung des Gegenstands oder Gegenstandsteils, dessen Abbild es ist. So wird beispielsweise die Luftbildanalyse traditionell auch als »Luftbildlesen« bezeichnet, ähnlich dem Kartenlesen, obwohl die Information auf dem Luftbild, im Gegensatz zur Karte, nicht symbolisch kodiert ist. Für einen kundigen Auswerter spricht aber jede Bildfigur im Luftbild für einen Realweltgegenstand auf der Erde. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird die »Umgebung bei nicht kodierten Reizen« nicht verwendet werden.

3.3 Das Drei-Ebenen-Modell des menschlichen Verhaltens

Nach Rasmussen (1983) lässt sich das menschliche Verhalten abhängig von seinem Automatisierungsgrad in drei Ebenen untergliedern (Abbildung 12).

3 Modelle der menschlichen Informationsverarbeitung

Fertigkeitsbasiertes Verhalten schlägt sich in automatisierten, sensumotorischen Mustern nieder, die, durch eine Empfindung angeregt, ohne bewusste Kontrolle ablaufen. Das fertigkeitbasierte Verhalten reicht von angeborenen Reaktionen, wie der automatischen Blickwendung zu einer auffälligen Bewegung im Umfeld bis hin zu hochtrainierten, oft sehr komplexen Tätigkeiten, wie dem Spielen eines Musikinstruments. Die Automatismen (*skills*) erlauben unterbewusste und damit schnelle Aktionskaskaden aufgrund erkannter Situationsmuster. Übertragen auf die sieben Handlungsschritte von Norman (Abbildung 10, S. 22) wäre das fertigkeitbasierte Verhalten ein »Kurzschluss« zwischen den Schritten 5 und 3, sodass die Wahrnehmung eines neuen Zustands ohne weitere Interpretation direkt in eine Aktion mündet.

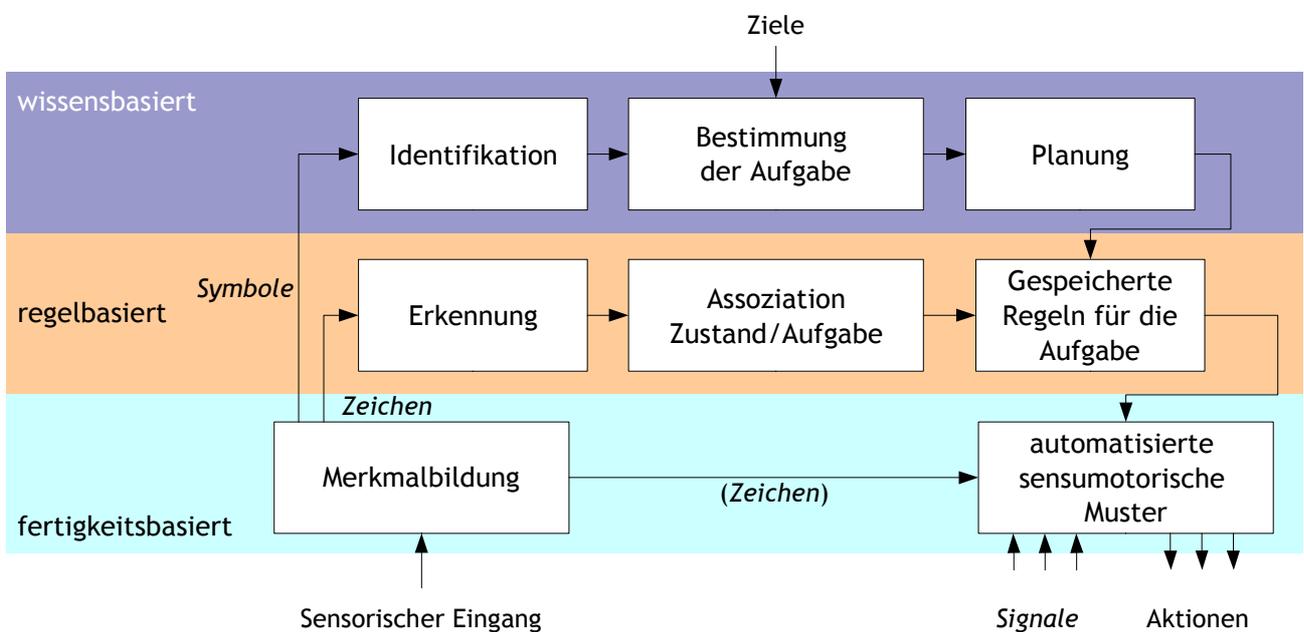


Abbildung 12: Das Drei-Ebenen-Modell des menschlichen Verhaltens nach Rasmussen (1983).

Die Zeichen, die nach Merkmalbildung aus den sensorischen Eingangsdaten gewonnen werden, dienen nach diesem Modell nur dem Initiieren des automatisierten Aktionsmusters. Die Regelung des Aktionsablaufs selbst geschieht aufgrund von Signalen, die selbstverständlich auch als sensorische Eingänge anliegen, allerdings keiner Merkmalbildung unterworfen sind.

Rasmussen (1983) unterscheidet dediziert zwischen Signalen, Zeichen und Symbolen (ebenda S. 261). *Signale* werden dabei als sensorische Daten aufgefasst, die als raum-zeitliche Größen vom Menschen als kontinuierliche Variable verarbeitet werden. Im Stufenmodell nach Charwat (Abbildung 11) können Signale der Ebene

der Empfindung zugeordnet werden. *Zeichen* dagegen zeigen einen Zustand der Umgebung in Beziehung zu gewissen Handlungsmöglichkeiten an. Sie können nicht direkt verarbeitet werden, sondern stoßen nur gespeicherte Verhaltensmuster an. Im Stufenmodell der Wahrnehmung kann man die Zeichen der Ebene der Bedeutungen zuordnen.

Zeichen sind der Eingang in die Ebene des *regelbasierten* Verhaltens. Dabei werden die Zeichen mit Zuständen assoziiert, die aufgrund der Aufgabe erwartet werden. Dieser Vorgang geschieht bewusst mittels eines Denk-Akts. Das Ergebnis dieses Soll-Ist-Vergleichs bestimmt die Auswahl oder Parametrierung derjenigen, vorab bekannten Regel, deren Anwendung den Ist- zum Sollzustand hinführt. Die Ausführung der Regel selbst geschieht wieder mittels eines automatisierten sensu-motorischen Musters. Regelbasiertes Verhalten reicht von komplexen Aktionsabläufen, wie z. B. dem Kochen nach Rezept, bis zu Abläufen, die schon sehr nahe am fertigkeitbasierten Verhalten liegen, wie z. B. dem Ansteuern eines Elements auf dem Bildschirm mittels der Maus. Letzteres besteht zumindest im »Endanflug« aus einem zwar hochfrequenten, aber ständig bewussten Soll-Ist-Abgleich (so genannte Servoregelung). Rasmussen (1983) beschreibt die Grenze zwischen fertigkeit- und regelbasiertem Verhalten fließend (ebenda S. 259). Übertragen auf das Sieben-Schritte-Schema von Norman (Abbildung 10) kann man dessen gesamten Zyklus als regelbasiert betrachten.

Symbole als Eingangsgrößen in die dritte, die *wissensbasierte* Ebene sind nach Rasmussen abstrakte Konstrukte, die nicht nur, wie die Zeichen, gewisse Zustände, sondern funktionale Zusammenhänge wiedergeben. Das Blaulicht eines Feuerwehrautos beispielsweise, das man während einer Autofahrt im Rückspiegel erblickt, zieht als Signal unwillkürlich den Blick an (fertigkeitbasiert, automatisiert), löst als Zeichen die Regel aus, der Feuerwehr Platz zu machen und gibt als Symbol die Information, dass sich möglicherweise irgendwo vor einem ein Unfall ereignet hat. Die Tätigkeit auf der wissensbasierten Ebene besteht nun darin, entsprechend der Ziele den richtigen Satz von Regeln bereitzulegen oder sogar neue Regeln zu bilden. Diese höchste Form des wissensbasierten Verhaltens ist z. B. bei wissenschaftlicher Tätigkeit anzutreffen. Übersetzt auf das Beispiel der Autofahrt mit der Feuerwehr im Rücken bestünde der wissensbasierte Anteil darin, zu überlegen, wie man sich am geschicktesten verhalten sollte, falls im Zuge des wahrscheinlichen Unfalls die Autobahn gesperrt wird.

Symbole nach Rasmussen entsprechen so im Stufenmodell nach Charwat den Ebenen der Information oder der Erkenntnis. In das Handlungsmodell nach Norman lässt sich das wissensbasierte Verhalten als reine geistige Tätigkeit insoweit einordnen, als man es in den Schritt 1 »*Formulieren einer Absicht*« integriert.

3.4 Das Warteschlangen-Modell für Forderungsströme

Die bisher diskutierten Modelle betrachteten keine Ressourcenengpässe bei der Verarbeitung. Sie gehen davon aus, dass jede Forderung im Arbeitssystem, die auf den Menschen als Belastung einwirkt (siehe Abbildung 6, S. 11), auch bedient wird.

Das Warteschlangenmodell nach Schumacher (1981) behandelt die Wirkung von Pufferengpässen auf die Bearbeitung von Forderungen. Abbildung 13 zeigt dieses »Modell der Informationsverarbeitung des menschlichen Gedächtnisses als Bedienungssystem bei gleichrangigen Forderungen« (Schumacher (1981), S. 127). Links liegt ein Strom diskreter Forderungen an, der auf die Wahrnehmung des Menschen wirkt. Der Forderungsstrom ist gekennzeichnet durch seine mittlere Intensität λ und seine momentane Intensität $\lambda_{\Delta n}$. Die Intensität wird in Forderungen je Zeiteinheit ausgedrückt. Die momentane Intensität bedeutet die Intensität im Zeitabschnitt $\{T_{n-1}, T_n\}$ zwischen der $n-1$ 'ten und der n 'ten Forderung. Die Wahrnehmung als erste Stufe des Verarbeitungsprozesses leitet nur Forderungen weiter, die detektiert bzw. als Forderung klassifiziert wurden. Übertragen auf das Stufenmodell der Wahrnehmung in Abbildung 11, S. 23 werden nur Reize durchgelassen, die als notwendige Bedingung erfüllen, dass sie eine *Empfindung* verursachen und als hinreichende Bedingung, dass sie in ihrer *Bedeutung* als Forderung interpretiert werden.

Der von der Wahrnehmung weitergegebene, reduzierte Forderungsstrom trifft auf einen Schalter, der Forderungen durchlässt oder abweist. Der Schalter wird aus dem nachfolgenden Warteraum gesteuert, in welchem die angenommenen Forderungen gepuffert werden. Der Warteraum besitzt eine begrenzte Speicherkapazität, ausgedrückt als maximale Warteraumlänge $l_{w,max}$. Ist der Warteraum voll, wird ein Befehl an den Schalter gegeben, nachfolgende Forderungen abzuweisen.

Die im Warteraum aufgereihten Forderungen unterliegen ebenfalls Verlusten. Die wesentliche Verlustquelle ist laut Schumacher (1981) der Umstand, dass eine Forderung nicht rechtzeitig bedient werden kann und sich nach Ablauf der Frist als so genannte ungeduldige Forderung in den Strom der nicht bedienten Forderungen einreihet. Ein Bedienungsschalter am Ende dieser strikt seriellen Prozesskette bearbeitet schließlich der Reihe nach diejenigen Forderungen, welche sich gerade im Warteraum aufhalten und gibt die bearbeiteten als bediente Forderungen nach außen weiter. Die Bedienung der Forderung alleine stellt noch nicht sicher, dass diese auch ausreichend erfüllt wurde. Eine bediente, aber nicht

ausreichend erfüllte Forderung würde als neue Forderung wieder links an der Wahrnehmung anliegen. Dies zu betrachten liegt allerdings außerhalb des Warteschlangenmodells.

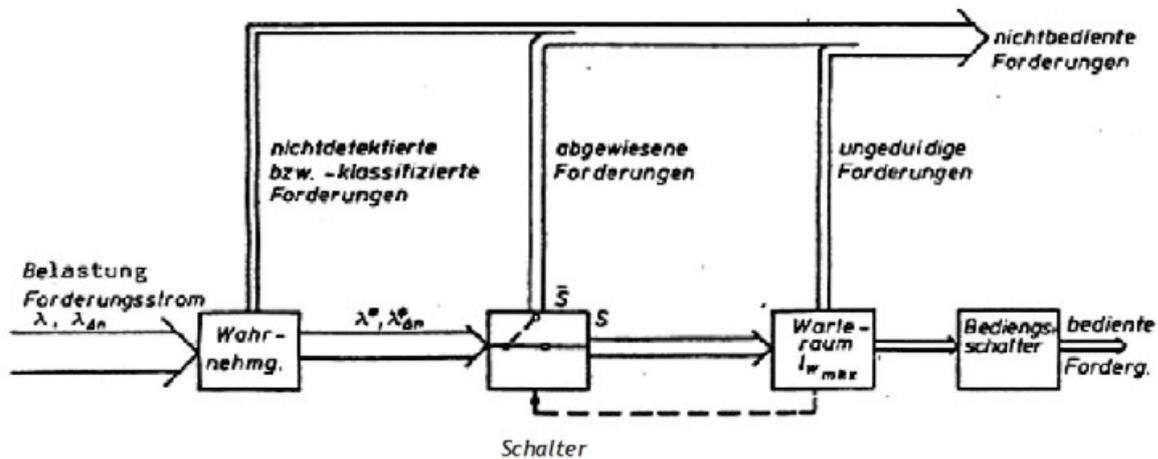


Abbildung 13: Warteschlangenmodell der Bearbeitung eines Forderungsstroms nach Schumacher (1981) (Abdruck mit freundlicher Genehmigung des Autors).

Die Belegung des Warteraums mit Forderungen über die Zeit wird in Schumacher (1981) mit einem so genannten Warteraumdiagramm beschrieben. Abbildung 14 zeigt ein Beispiel. Auf der Abszisse ist die Zeit in diskreten Schritten aufgetragen und auf der Ordinate die Belegung des Warteraums, ebenfalls in diskreten Schritten mit der Einheit »Forderung«. Sobald eine Forderung in den Warteraum eintritt (benummerte vertikale Pfeile) schiebt sie die bereits im Warteraum liegenden Forderungen nach oben. Ist eine Forderung nach einem (hier konstanten) Zeitintervall t_b bedient, fällt sie aus dem Warteraum heraus und die noch wartenden rücken nach. Die in diesem Beispiel gezeigte Abblockstrategie äußert sich darin, dass ab der Forderung 7, welche den Warteraum momentan überfüllen würde, solange keine Forderung mehr angenommen wird, bis der Warteraum leer ist. Erst Forderung 12 wird wieder in den mittlerweile leeren Warteraum gelassen. Die Strategie des Abblockens ist eine von mehreren Strategien, die in Schumacher (1981) untersucht werden. Sie ist häufig bei Menschen zu beobachten, obwohl sie damit zunächst Warteraumkapazität verschenken. Doch ist bei Annahme eines konstanten Forderungsstroms und einer konstanten Bedienrate die Bedienleistung gleich hoch wie bei anderen Strategien, die den Warteraum besser auslasten. Erst wenn der Forderungsstrom nach einer der Forderungen

7 bis 11 eine längere Pause machte, hätte das Abblocken Nachteile. Dann wären diese Forderungen verloren gegangen und die entstehende Pause könnte nicht genutzt werden.

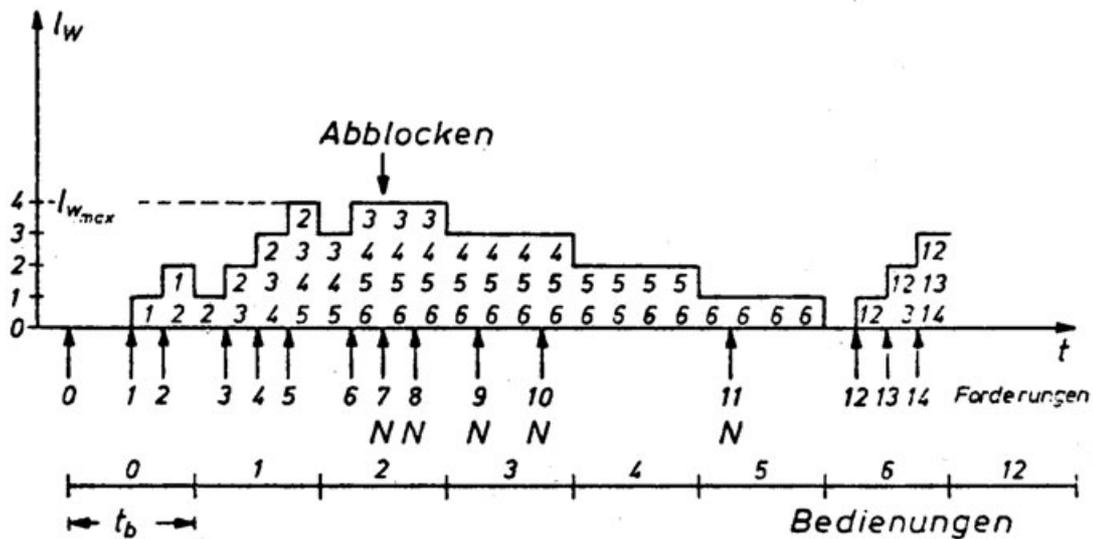


Abbildung 14: Warteraumdiagramm bei Abblockstrategie (aus Schumacher (1981) mit freundlicher Genehmigung des Autors).

Der Warteraum ist eine Metapher für das Gedächtnis des Menschen. Schumacher (1981) hat mit der Begrenzung der Kapazität bereits eine wesentliche Eigenschaft des menschlichen Gedächtnisses untersucht. Um die Leistung und Grenzen des Gedächtnisses genauer unter die Lupe nehmen zu können, muss zusätzlich zu den bisher eingeführten Prozessarchitekturen auch die Systemarchitektur des menschlichen Informationsverarbeitungsapparats beschrieben werden. Im folgenden Kapitel wird mit dem »Model Human Processor« nach Card et al. (1983) eine solche Architektur eingeführt.

3.5 »Model Human Processor« (MHP)

1983 veröffentlichten Stuart Card, Thomas Moran und Allen Newell in Card et al. (1983) ein Modell des Menschen als einem informationsverarbeitenden Prozessor. Sie bezeichneten es mit »Model Human Processor« oder kurz MHP. Der Untertitel einer späteren Veröffentlichung zum MHP »An Engineering Model of Human Performance« (Card et al. (1986)) weist auf das Anliegen der Autoren hin, ein pragmatisches Modell für den Ingenieurgebrauch zu schaffen, das die Gestaltung der

Mensch-Maschine-Schnittstelle unterstützt. Es soll nicht zur Erklärung von Wahrnehmen und Denken des Menschen herangezogen werden, wie viele andere Modelle aus der kognitiven Psychologie (siehe dazu auch Newell (1990), S. 29). Es soll auch nicht nahe legen, der Mensch »funktioniere« wie ein Computer. Vielmehr soll die Anlehnung an das technische Modell der Rechenmaschine die Einbindung des Menschen in ein informationstechnisches Mensch-Maschine-System erleichtern. MHP postuliert drei Prozessoren (siehe Abbildung 15):

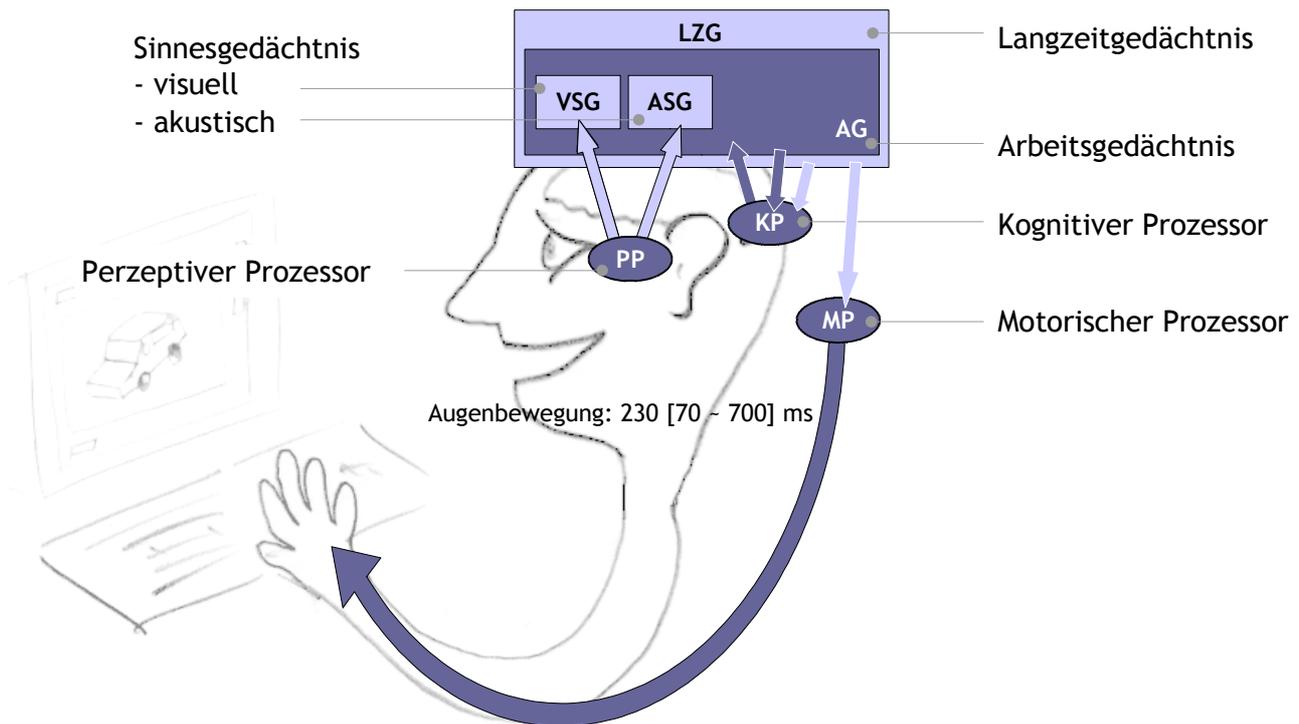


Abbildung 15: Schema der »Model Human Processor« nach Card et al. (1983).

- den perzeptiven Prozessor (*perceptual processor*), der Reize aus den Rezeptoren der Augen und Ohren als Organe des Seh- und des Hörsinnes verarbeitet,
- den kognitiven Prozessor (*cognitive processor*), welcher den Denk-Akt leistet,
- den motorischen Prozessor (*motor processor*), der die Effektoren des Menschen (Gliedmaßen, Stimmorgan etc.) ansteuert.

Diese Prozessoren sind verbunden über drei Speicher im Sinne von Ausprägungen des Gedächtnisses:

3 Modelle der menschlichen Informationsverarbeitung

- das Sinnesgedächtnis, das getrennt für Augen und Ohren die vom perzeptiven Prozessor verarbeiteten Sinnesreize als visuelle bzw. akustische »Bilder« puffert (*visual/ auditory image store*),
- das Arbeitsgedächtnis (*working memory*), welches die Information bereithält, die für den gegenwärtigen Denk-Akt verwendet wird¹,
- das Langzeitgedächtnis (*long-term memory*), das sämtliche im Gehirn des Menschen verfügbare Information speichert.

MHP behandelt nur den visuellen und den akustischen Sinn des Menschen. Diese spielten zur Drucklegung von Card et al. (1983) die ausschließliche Rolle für die Mensch-Maschine-Kommunikation am Computer-Arbeitsplatz und das gilt im Großen und Ganzen noch heute.

In seinen Elementen ähnelt das Modell stark demjenigen von Atkinson & Shifrin (1968), das auch perzeptive Speicher sowie ein Kurzzeit- und Langzeitgedächtnis vorsieht. *Card, Moran & Newell* erweiterten dieses strukturelle Modelle jedoch um spezifische Kenngröße für Prozessoren und Speicher, die sie aus einer breiten Übersicht über eine Vielzahl von Forschungsergebnissen anderen Autoren zusammengetragen und systematisiert haben.

Die Prozessoren des MHP sind mit einer einzigen Kenngröße beschrieben: der Verarbeitungszeit τ , bei Card et al. (1983) mit *Cycle Time* bezeichnet. Sie wird für jeden der drei Prozessoren mit einem mittleren Wert sowie dem Intervall zwischen dem kürzesten und dem längsten bekannten Grenzwert angegeben:

- perzeptiver Prozessor: $\tau_P = 100$ [50 ~ 200] ms,
- kognitiver Prozessor: $\tau_C = 70$ [25 ~ 170] ms,
- motorischer Prozessor: $\tau_M = 70$ [30 ~ 100] ms.

Die Speicher sind gekennzeichnet durch ihre Kapazität μ , die Halbwertszeit ihres Haltevermögens δ (für *decay*: Verfall) und die Kodierungsart κ :

1 Der Begriff *Working Memory* für das Kurzzeitgedächtnis wurde von Baddeley & Hitch (1974) eingeführt, um den funktionalen Charakter dieses Gedächtnisanteils für das Denken hervorzuheben.

- visuelles Sinnesgedächtnis: $\mu_{VSG} = 17$ [7 ~ 17] Zeichen¹
(VSG) $\delta_{VSG} = 200$ [70 ~ 1000] ms
 $\kappa_{VSG} =$ physikalisch
- akustisches Sinnesgedächtnis: $\mu_{ASG} = 5$ [4,4 ~ 6,2] Zeichen
(ASG) $\delta_{ASG} = 1\ 000$ [900 ~ 3500] ms
 $\kappa_{ASG} =$ physikalisch
- Arbeitsgedächtnis (AG):
 - Kapazität
 - * ohne Nutzung des Langzeitgedächtnisses
 $\mu_{AG} = 3$ [2,5 ~ 4,1] Merkeinheiten²
 - * mit Nutzung des Langzeitgedächtnisses
 $\mu_{AG}^* = 7$ [5 ~ 9] Merkeinheiten³
 - Halbwertszeit
 - * Insgesamt $\delta_{AG} = 7\ 000$ [5 000 ~ 226 000] ms
 - * für eine Merkeinheit $\delta_{AG,1} = 73\ 000$ [73 000 ~ 226 000] ms
 - * für drei Merkeinheiten $\delta_{AG,3} = 7\ 000$ [5 000 ~ 34 000] ms
 - Kodierungstyp $\kappa_{AG} =$ Visuell oder akustisch
- Langzeitgedächtnis (LZG) $\mu_{VSG} = \infty$
 $\delta_{VSG} = \infty$
 $\kappa_{VSG} =$ semantisch

Der perzeptive Prozessor wandelt die Reizsignale aus den Rezeptoren in den Sinnesorganen in eine von Card et al. (1983) als *physikalisch* bezeichnete Repräsentationsform und puffert sie in dieser Form in dem jeweiligen Sinnesgedächtnis. Wie Abbildung 15 zeigt, ist das Sinnesgedächtnis im Arbeitsgedächtnis enthalten. Dort liegt die Information allerdings in einer symbolischen Repräsentationsform vor, die als »*Chunk*« bezeichnet wird. Der Begriff *Chunk*, zu deutsch Brocken oder Klumpen, trägt dem Umstand Rechnung, dass Menschen je nach Wissensstand einen Zeichenkomplex, wie z. B. die Buchstabenfolge »M H P« nicht mehr als drei buchstabenförmige, unzusammenhängende Begriffe, sondern als einen einzigen Begriff, nämlich die Kurzform von »*Model Human Processor*«, wahrnehmen und verarbeiten. Der, auch im Deutschen verbreitete, Begriff *Chunk* benennt den Umstand der Ballung von Zeichen zu einem Superzeichen. Solange aber dieser

1 Im Original »*letters*«; nach Ansicht des Verfassers können darunter aber auch allgemein visuell bzw. akustisch kodierte Symbole verstanden werden.

2 auch *Chunk* genannt; Erläuterung siehe unten.

3 Dieses Intervall gibt die »*magical number of seven plus or minus two*« nach Miller (1956) wieder.

Ballungsvorgang nicht weiter diskutiert wird und einfach irgendwelche Informations-Stücke im Gedächtnis betrachtet werden, deren Aufgliederung in Teilstücke unwesentlich ist¹, soll der Begriff *Chunk* vermieden und stattdessen der Begriff »Merkeinheit« verwendet werden.

Je nachdem, ob die Information aus dem visuellen oder dem akustischen Sinnesgedächtnis stammt, wird eine Merkeinheit visuell oder akustisch kodiert. Eine explizite Wandlung der Repräsentationsform innerhalb des Arbeitsgedächtnisses ist im MHP nicht vorgesehen. Sie geschieht implizit durch die Interpretationsweise des kognitiven Prozessors, der Information aus dem Arbeitsgedächtnis liest und auf dieses zurück schreibt.

Im Langzeitgedächtnis (LZG) ist die gesamte Erinnerung des Menschen abgelegt. Sie ist semantisch repräsentiert. Dem LZG wird eine unbegrenzte Kapazität und den in ihm gespeicherten Merkeinheiten unbegrenzte Halbwertszeit zugeschrieben. Damit wird ausgedrückt, dass man bisher noch keine Grenze feststellen konnte.

Im MHP umgibt der Kasten, der das Langzeitgedächtnis repräsentiert, das Arbeitsgedächtnis (Abbildung 15). Damit wird symbolisiert, dass die Begriffe Langzeit- und Arbeitsgedächtnis verschiedene Aktivierungsgrade von Merkeinheiten anzeigen. Mit Langzeitgedächtnis wird der Ruhezustand aller Merkeinheiten im Gehirn bezeichnet, die in ihrer Menge und mit ihren Verbindungen untereinander das gesamte Gedächtnis des Menschen bilden. Das Langzeitgedächtnis ist gewissermaßen die potenzielle Erinnerung. Die Merkeinheiten sind dabei in Form dauerhafter biochemischer Verbindungen gespeichert. Das Arbeitsgedächtnis hingegen ist gleich der Menge der gerade aktivierten Merkeinheiten. Diese Aktivierung geschieht bioelektrisch (siehe z. B. Schmidtke (1993), S. 53). Sie wird vom kognitiven Prozessor geleistet. Die Anzahl der zu einer bestimmten Zeit aktivierten Merkeinheiten und damit die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses ist eng begrenzt und umfasst im Mittel sieben Merkeinheiten (siehe unten).

Das Arbeitsgedächtnis ist kein separates Areal im Gehirn, in das Merkeinheiten aus dem Langzeitgedächtnis geladen werden, wie es eine häufig benutzte, aber unzulässige Analogie mit dem Arbeitsspeicher eines Computers nahe legt (Miyake & Shah (1999), S. 443 f.). Insofern ist der englische Begriff *working memory*, also »arbeitendes Gedächtnis« treffender als die gebräuchliche deutsche Übersetzung Arbeitsgedächtnis.

1 »*Pieces of Information*«, wie es z. B. Olson & Olson (1990) im Zusammenhang mit der Speicherung im Arbeitsgedächtnis bezeichnen.

Jeder Arbeitstakt des kognitiven Prozessors mit der Dauer τ_c wird als »*Recognize-Act-Cycle*« (RAC) beschrieben: Eine für das Arbeitsgedächtnis aktivierte Merkeinheit erkennt eine als Aktion gespeicherte Einheit im LZG (*recognize*). Diese aktiviert wiederum eine neue Merkeinheit für das Arbeitsgedächtnis (*act*). Das *recognize* des kognitiven Prozessors hat nichts mit dem wahrnehmenden Erkennen über die Sinne, das *act* nichts mit dem motorischen Handeln zu tun. Abbildung 16 skizziert diesen Prozess. Es können mehrere kognitive Takte aufeinander folgen und den Inhalt des Arbeitsgedächtnisses solange Schritt für Schritt modifizieren, bis eine Merkeinheit geladen ist, die geeignet ist, einen Takt des motorischen Prozessors auszulösen. Der motorische Prozessor reagiert auf Merkeinheiten im Arbeitsgedächtnis, die als Handlungsanweisung interpretiert werden können. Er setzt diese in Stellbefehle an ein Aktionsorgan des Menschen, z. B. die Hand, um.

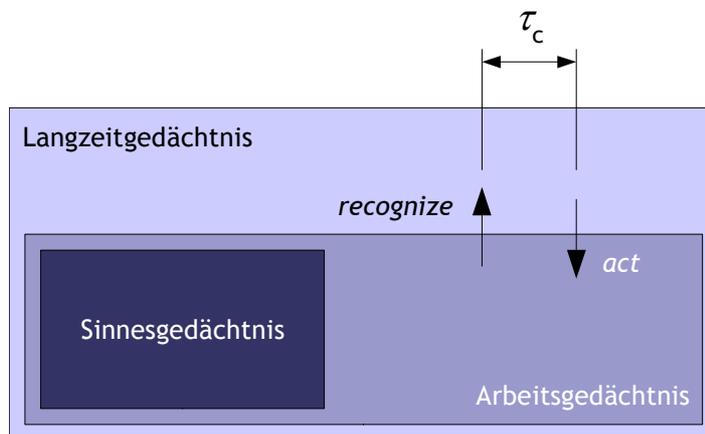


Abbildung 16: Der »*Recognize-Act-Cycle*« (RAC) ist ein Takt des kognitiven Prozessors, der den Inhalt des Arbeitsgedächtnisses durch Zugriff auf das Langzeitgedächtnis ändert.

Ein Beispiel aus Card et al. (1983)

Card et al. (1983) erläutern die Abfolge der Prozessoraktivität und die daraus resultierende Gedächtnisbelastung an einem mehrstufigen Beispiel (ebenda S. 66 - 71). Eine Versuchsperson (VP) sitzt dabei vor einem Bildschirm und muss eine Taste betätigen, sobald ein bestimmtes Ereignis auf dem Bildschirm eintritt. Im einfachsten Fall, der »*simple reaction*«, genügt es, wenn irgendeine Figur, die hier so genannte *Reizfigur*, auf dem vorher leeren Bildschirm erscheint. Die Abfolge der Prozesstakte und die dabei verstreichende Zeit zeigt Tabelle 1 (S. 37). α steht dabei für eine beliebige, auf dem Bildschirm erscheinende Figur, die dadurch zur

Reizfigur wird, dass sie sich deutlich wahrnehmbar vom leeren Bildschirm abhebt. α' steht für deren Korrelat im visuellen Sinnesgedächtnis (VSG) und α'' als deren Repräsentation im Arbeitsgedächtnis (AG). Nachdem α auf dem Bildschirm erschienen ist (Takt 1 vollendet), arbeitet der perzeptive Prozessor in einem Takt der Dauer τ_p und schreibt das Perzept, das Wahrgenommene, als α' in das visuelle Sinnesgedächtnis. Gleichzeitig steht es als Merkeinheit α'' in visueller Repräsentation im AG (Takt 2 vollendet). α'' löst einen *Recognize-Act*-Zyklus des kognitiven Prozessors aus. Es aktiviert den im Langzeitgedächtnis (LZG) ruhenden Aktionsbefehl »*Drücke Taste*«. Dieser steht nach dem Takt des kognitiven Prozessors zunächst im Arbeitsgedächtnis (Takt 3 vollendet). Da »*Drücke Taste*« ein Handlungsbefehl ist, löst diese Merkeinheit einen Takt des motorischen Prozessors aus. Nach dessen Zykluszeit τ_M hat die Hand die Taste gedrückt. Takt 4 ist vollendet und die Aufgabe gelöst. Vom Erscheinen der Reizfigur auf dem Bildschirm bis zum Drücken der Taste verstreicht die Zeit ($\tau_p + \tau_c + \tau_M$) ≈ 240 ms (mit den jeweils mittleren Zykluszeiten für die Prozessoren).

Drei weitere Varianten dieses Versuchs werden in Card et al. (1983) analysiert. Beim »*physical match*« (Tabelle 1, Mitte) wird der Versuchsperson zunächst eine bestimmte Ziffer α als Zielfigur gezeigt, also als wiederzuerkennendes Muster auf dem Bildschirm. Der eigentliche Versuch beginnt nach einer kurzen Pause mit dem Erscheinen der Reizfigur. Nur wenn diese figurlich identisch mit α ist, soll die VP eine Taste drücken. Wird als Zielfigur z. B. der Großbuchstabe **D** gezeigt, dann muss die Reizfigur ebenfalls ein **D** sein, damit die Taste ausgelöst werden darf. Tastendruck nach einem **d** würde als Fehler gewertet. Dieser Versuch fordert einen zusätzlichen Takt des kognitiven Prozessors: Er muss zuerst die wahrgenommene Reizfigur mit der erinnerten Zielfigur vergleichen. Erst nachdem dieser Vergleich als Ergebnis die Identität liefert, wird die Reaktion eingeleitet. Die gesamte Reaktionsdauer beträgt ($\tau_p + 2 \tau_c + \tau_M$) ≈ 310 ms.

Beim »*name match*« (Tabelle 1, unten) als dritter Variante wird gefordert, die Taste nur dann zu drücken, wenn die Reizfigur α_2 logisch dieselbe Ziffer zeigt, wie die Zielfigur α_1 . Hier wäre also **D** gleichwertig mit **d**. Vom kognitiven Prozessor wird dabei ein weiterer Takt gefordert: Das Entziffern der Reizfigur α_2 . Die gesamte Dauer summiert sich damit zu ($\tau_p + 3 \tau_c + \tau_M$) ≈ 380 ms.

Tabelle 1: Taktfolge, Speicherbelegung und verstrichene Zeit im MHP bei einfachen Entscheidungsaufgaben nach Card et al. (1983), S. 70: Hier »simple reaction«, »physical match«, »name match« und »class match«.

Takt	Display	VSG	AG	Hand	Gesamtzeit
Simple reaction: <i>Drücke die Taste, sobald ein Symbol auf dem Bildschirm erscheint</i>					
0. Leerer Bildschirm					
1. Reizfigur erscheint	α				0
2. Reizfigur ins Sinnesgedächtnis laden	α	α'	α''		τ_P
3. Reaktion einleiten	α	α'	α'' . »Drücke Taste«		$\tau_P + \tau_C$
4. Reaktion ausführen	α	α'	α'' . »Drücke Taste«	Taste gedrückt	$\tau_P + \tau_C + \tau_M$
Physical match: <i>Drücke Taste, wenn das neue Symbol figürlich identisch einem vorgegebenen ist.</i>					
0. Zielfigur im Gedächtnis		α'	α''		
1. Reizfigur erscheint	α	α'	α''		0
2. Reizfigur ins Sinnesgedächtnis laden	α	α' . α'	α'' . α''		τ_P
2.1 Reizfigur mit Zielfigur vergleichen	α	α' . α'	α'' . α'' »beide identisch«		$\tau_P + \tau_C$
3. Reaktion einleiten	α	α'	α'' . α'' »Drücke Taste«		$\tau_P + 2 \tau_C$
4. Reaktion ausführen	α	α'	α'' . α'' »Drücke Taste«	Taste gedrückt	$\tau_P + 2 \tau_C + \tau_M$
Name match: <i>Drücke Taste, wenn das neue Symbol gleichbedeutend mit einem vorgegebenen ist</i>					
0. Zielziffer im Gedächtnis		α_1'	α_1'' : \mathcal{A}		
1. Reizfigur erscheint	α_2	α_1'	α_1'' : \mathcal{A}		0
2. Reizfigur ins Sinnesgedächtnis laden	α_2	α_1' . α_2'	α_2'' α_1'' : \mathcal{A}		τ_P
2.01 Reizfigur entziffern	α_2	α_1' . α_2'	α_2'' : \mathcal{A} α_1'' : \mathcal{A}		$\tau_P + \tau_C$

3 Modelle der menschlichen Informationsverarbeitung

Takt	Display	VSG	AG	Hand	Gesamtzeit
2.1 Entzifferte Reizfigur mit Zielziffer vergleichen	α_2	α_1' α_2'	α_2'' : a α_1'' : A »beide identisch«		$\tau_p + 2 \tau_c$
3. Reaktion einleiten	α_2	α_2'	α_2'' : a α_1'' : A »Drücke Taste«		$\tau_p + 3 \tau_c$
4. Reaktion ausführen	α_2	α_2'	α_2'' : a α_1'' : A »Drücke Taste«	Taste gedrückt	$\tau_p + 3 \tau_c + \tau_M$
Class match: Drücke Taste, wenn das neue Symbol zur gleichen Klasse wie das vorgegebene gehört					
0. Zielklasse im Gedächtnis		α'	α'' : A: Buchstabe		
1. Reizfigur erscheint	β	α'	α'' : A: Buchstabe		0
2. Reizfigur ins Sinnesgedächtnis laden	β	β'	β'' α'' : A: Buchstabe		τ_p
2.01 Reizfigur entziffern	β	β'	β'' : B α'' : A: Buchstabe		$\tau_p + \tau_c$
2.02 Ziffer klassifizieren	β	β'	β'' : B: Buchstabe α'' : A: Buchstabe		$\tau_p + 2 \tau_c$
2.1 Mit Zielklasse vergleichen	β	β'	β'' : B: Buchstabe α'' : A: Buchstabe »beide identisch«		$\tau_p + 3 \tau_c$
3. Reaktion einleiten	β	β'	β'' : B: Buchstabe α'' : A: Buchstabe »Drücke Taste«		$\tau_p + 4 \tau_c$
4. Reaktion ausführen	β	β'	β'' : B: Buchstabe α'' : A: Buchstabe »Drücke Taste«	Taste gedrückt	$\tau_p + 4 \tau_c + \tau_M$

Der »class match« (Tabelle 1, S. 38) schließlich verlangt von der Versuchsperson zu erkennen, dass es sich bei Zielfigur α und Reizfigur β um dieselbe Symbolklasse handelt. So müssen z. B. beide Figuren ein Buchstabe oder beide eine Zahlziffer sein, um eine korrekte Reaktion auszulösen. Zum Entziffern des Symbols selbst

kommt für den kognitiven Prozessor das Klassifizieren hinzu. Die gesamte Reaktion dauert also $(\tau_P + 4 \tau_C + \tau_M) \approx 450$ ms. - Card et al. (1983) belegen diese Modellvorhersagen mit Versuchsergebnissen.

3.6 Das GOMS-Modell

3.6.1 Struktur von GOMS

GOMS steht für »Goals, Operators, Methods and Selection Rules«. Card et al. (1983) veröffentlichten dieses kognitive Modell in demselben Werk wie den MHP mit dem Ziel, gegebene Interaktionsabläufe zu simulieren, um sie besser zu verstehen, Schwierigkeiten in der Interaktion aufzudecken und dementsprechend Verbesserungen durchführen zu können (Dahm (2006))¹. GOMS ist weniger ein Modell als eine Methode zur Modellierung menschlicher Tätigkeit als hierarchische Abarbeitung von Zielen. Ein Ziel (*Goal*) wird mittels einer Methode (*Method*) erreicht, die aus einer Menge alternativer Methoden anhand bestimmter Regeln (*Selection Rules*) ausgewählt wurde. Die Methode selbst besteht aus einer Kette basaler Operatoren (*Operators*), die nicht weiter zerlegt werden. Die Ziele werden, ausgehend von *einem* Hauptziel, durch eine hierarchische Zerlegung der Aufgabe in Teilaufgaben ermittelt. GOMS selbst leistet keine eigentliche Aufgabenanalyse (*Task Analysis*), sondern erlaubt, deren Ergebnis in einer für die Analyse der Interaktion nützlichen Weise auszudrücken (Kieras (2003)). Die Methode der *Hierarchical Task Analysis* (HTA: siehe z. B. Annett et al. (1971) und Annett (2003)) korrespondiert besonders gut mit GOMS.

Das folgende, einfache Beispiel aus Kieras (1994) veranschaulicht die Anwendung des GOMS-Modells. In dem Beispiel ist die Aufgabe zu lösen, eine Datei in einem Computer durch so genannte direkte Manipulation in ein anderes Verzeichnis zu verschieben (»*move a file*«).

```

Method for goal: move a file
  Step 1. Accomplish goal: drag file to destination
  Step 2. Return with goal accomplished

Method for goal: drag item to destination ←
  Step 1. Locate icon for item on screen
  Step 2. Move cursor to item icon location

```

¹ Die Basisvariante von GOMS wird auch als CMN-GOMS bezeichnet mit CMN für Card, Moran & Newell nach Card et al. (1983).

3 Modelle der menschlichen Informationsverarbeitung

```
Step 3. Hold mouse button down
Step 4. Locate destination icon on screen
Step 5. Move cursor to destination icon
Step 6. Verify that destination icon is reverse-video
Step 7. Release mouse button
Step 8. Return with goal accomplished
```

Jede Methode besteht aus Schritten (*Steps*), die entweder einen Operator darstellen, oder die Erreichung eines Teilziels verlangen, also eine Teilaufgabe beschreiben: im obigen Beispiel Step 1 bei »move a file«. Gibt es mehrere Methoden, ein solches Teilziel zu erreichen, wird eine *selection rule* angewendet, um unter den gegebenen Bedingungen die passende Methode anzuwenden. Ein Beispiel für den Fall, dass mehrere Interaktionswege offen stehen, ist:

```
Selection rule set for goal: move a file
  If hand is on the mouse, then
    accomplish goal: drag file to destination
  If both hands are on keyboard, then
    accomplish goal: ctrl-x + ctrl-v
  If ...
  ...
  Return with goal accomplished
```

Die Operatoren in GOMS können extern oder intern sein (Kieras (1994)). Externe Operatoren sind beobachtbar. Sie kennzeichnen Operationen in direkter Wechselwirkung mit der Benutzungsschnittstelle. Dies können Perzeptionsoperationen sein, wie z. B. die Fixierung eines Gegenstandes mit den Augen, oder Eingabeoperationen, wie z. B. das Drücken einer Taste. Interne Operatoren kennzeichnen dagegen die nichtbeobachtbaren, mentalen Schritte, die sich innerhalb des Gehirns abspielen. Sie können bislang nur hypothetisch erschlossen werden, z. B. durch Modelle wie das für die Stufen der Wahrnehmung nach Abbildung 11, S. 23.

GOMS sieht für beide Klassen von Operatoren Primitive vor, die typischerweise und wiederholt angewendet werden und für die mittlere Ausführungszeiten angegeben sind. In Dahm (2006) wird eine Auswahl der wesentlichen Operatoren aufgelistet (Tabelle 2):

Tabelle 2: Operatorprimitive des GOMS-Modells (nach Dahm (2006)).

Operatorprimitiv	Kürzel	Dauer
Tastatureingabe	K (<i>Keying</i>)	0,2 [0,08 ~ 1,2] ¹ Sekunden
Zeigen mit der Maus	P (<i>Pointing</i>)	1,1 Sekunden (s. unten: Regel von Fitts)
Wechsel Maus-Tastatur	H (<i>Homing</i>)	0,4 Sekunden
Gedanklich Vorbereiten	M (<i>Mentally Prepare</i>)	1,35 Sekunden für das sich Klarmachen eines Ziels und die Anwendung einer Auswahlregel (s. unten: Regel von Hick)
Warten	R (<i>Responding</i>)	n Sekunden für die Wartezeit, bis der Computer die Funktion ausgeführt hat

Exkurs: Die Regeln von Fitts und Hick

In Tabelle 2 werden bei den Operationen »Zeigen mit der Maus« (P) und »Gedankliches Vorbereiten« (M) die Regeln von Fitts bzw. von Hicks herangezogen, um deren mittlere Dauer anzugeben.

Die *Regel von Fitts* (Fitts (1954)) gibt die Zeit zum Positionieren eines Zeigers auf einer Zielfläche als Funktion der Größe der Zielfläche und des Zeigerabstand von der Zielfläche beim Start des Positionierens an (Abbildung 17). Mit D als dem Abstand des Zeigers zu Beginn des Positioniervorgangs und S als Breite der Zielfläche kann laut Fitts die mittlere Positionierdauer t_{pos} auf:

¹ Vor der eckigen Klammer steht die mittlere Dauer und in der eckigen Klammer der kürzeste und der längste gemessene Dauer.

$$t_{pos} = a + b \cdot \log_2 \left(\frac{D}{S} + 1 \right) \quad \text{Gleichung 3.1}$$

a und b sind dabei Konstanten, die aus Experimenten ermittelt werden müssen. Die Regel von Fitts gilt für alle Operationen des Zeigens auf eine bestimmte Stelle, unabhängig von dem technischen Hilfsmittel. Zur Zeit ihrer Entstehung wurde diese Regel für das Ansteuern von Tasten mit dem Finger formuliert. Eine lange Reihe von Forschungsarbeiten hat die Regel von Fitts verbessert und an bestimmte Randbedingungen angepasst. Siehe dazu z. B. Oel et al. (2001) und Oel (2002).

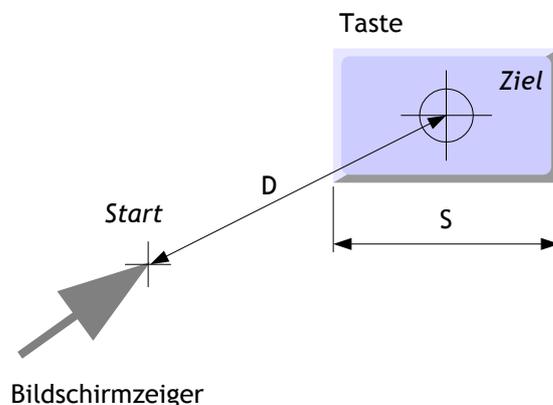


Abbildung 17: Parameter für die Regel von Fitts zur Bestimmung der Positionierdauer.

Die *Regel von Hick*, genauer von Hick und Hyman (Hick (1952), Hyman (1953) nach Charwat (1994), S. 214) beschreibt die Reaktionszeit t_{wahl} des Menschen bei einer Auswahl, abhängig von der Anzahl der Alternativen:

$$t_{wahl} = c + k \cdot \log_2(n + 1) \quad \text{Gleichung 3.2}$$

mit

- n ... Anzahl gleichwahrscheinlicher Alternativen,
- c ... Konstante für eine bestimmte Konfiguration,
- k ... Lernfaktor: Konstante, die mit zunehmender Fertigkeit kleiner wird.

Abbildung 18 illustriert den funktionalen Zusammenhang für verschiedene k , also unterschiedliche Fertigungsgrade. Sind die Alternativen ungleich wahrscheinlich, steht an der Stelle von $(n+1)$ in Gleichung 3.2 die Entropie h der Alternativen (siehe dazu Card et al. (1983), S. 77).

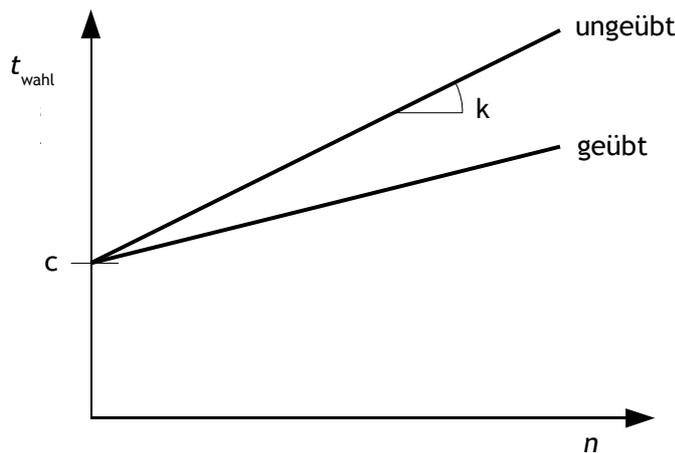


Abbildung 18: Beispiel für die Reaktionszeit für die Wahl zwischen n gleich wahrscheinlichen Alternativen nach der Regel von Hick-Hyman.

Nach dem GOMS-Modell kann die Interaktion des Menschen mit einem Gerät also letztlich in eine Kette von Operatorenanwendungen heruntergebrochen werden, denen, wie oben angeführt, jeweils eine gewisse Zeitdauer zugeordnet werden kann. In Summe ergibt sich dann die geschätzte Gesamtdauer der Interaktion.

Die Aufeinanderfolge der Operatorprimitive ist nicht beliebig. Card et al. (1983) geben einige heuristische Regeln an, welches Primitiv auf ein anderes folgen darf. Diese Heuristiken sind allerdings stark fallabhängig und nicht immer einfach anzuwenden. So besagt die Regel 0, dass allen K s ein M vorauszugehen hat (Tabelle 2), ebenso wie allen P s, allerdings nur für solche P s, die einen Befehl auswählen, nicht aber dessen Argumente (nach Dahm (2006), S. 105). Diese Komplexität und der heuristische Charakter dieser Sequenzregeln erschweren die praktische Anwendung von GOMS.

3.6.2 GOMS und MHP

Die Beziehung zwischen MHP und GOMS schlägt sich zum einen darin nieder, dass die Kenngrößen von Operatorprimitiven aus dem MHP abgeleitet werden können (siehe Tabelle 2, S. 41). Zum anderen wird die Nutzung des Arbeitsgedächtnisses auf einem einfachen, aber für viele Zwecke ausreichenden Abstraktionsniveau modelliert. Vergleichbar zum Warteraumdiagramm des Warteschlangenmodells (siehe Abbildung 14, S. 30) wird die Belegung des Arbeitsgedächtnisses durch Merkeinheiten, die im Verlaufe der Aufgabenbearbeitung anfallen, modelliert. Abbildung 19 zeigt für die Aufgabe der Textbearbeitung ein Beispiel aus Card et al. (1983). Aufeinander folgende Operatoren (links) erzeugen Merkeinheiten (senkrechter Balken in der Mitte) und lesen bei Bedarf deren Werte wieder aus (Pfeile an den senkrechten Balken). Das Belegungsdiagramm rechts gibt die Anzahl der Einheiten an, mit denen das Arbeitsgedächtnis zu jedem Operatortakt belegt ist. Es kann analog zu dem Warteraumdiagramm im Warteschlangenmodell gesehen werden (Abbildung 14), mit dem Arbeitsspeicher als Warteraum.

Die abgebildete Operatorenfolge zeigt einen bei Card et al. (1983) so genannten »*Unit Task*«, hier das Übernehmen eines Einfügevermerks von einem gedruckten Manuskript in eine Textdatei auf dem Rechner. Ein *Unit Task* stellt einen in sich geschlossenen und überschaubaren Aufgabenabschnitt dar, in dessen Verlauf das Arbeitsgedächtnis nicht überlastet wird und nach dessen Abschluss es weitgehend entlastet und frei für folgende Aufgaben ist. Eine geschickte Zerlegung der Gesamtaufgabe in solche *Unit Tasks* sorgt für eine gleichmäßige Auslastung des Arbeitsgedächtnisses.

Die Wechselwirkung mit dem Arbeitsgedächtnis ist in den GOMS-Operatoren meist implizit enthalten. Die Variante NGOMSL (*Natural GOMS Language* nach Kieras (1988)) sieht Operatorprimitive, welche diese Wechselwirkung explizit machen: *Retain* für Behalten und *Recall* für Erinnern und *Forget* für Vergessen. Ein Beispiel aus Kieras (1994), S. 26 f.:

- Step i. Find-menu-item »CUT« at position X,Y and
retain item position.

- Step i+n. **Recall** item position and
Move-mouse-to item-position.

- Step i+n+m. **Forget** item position.

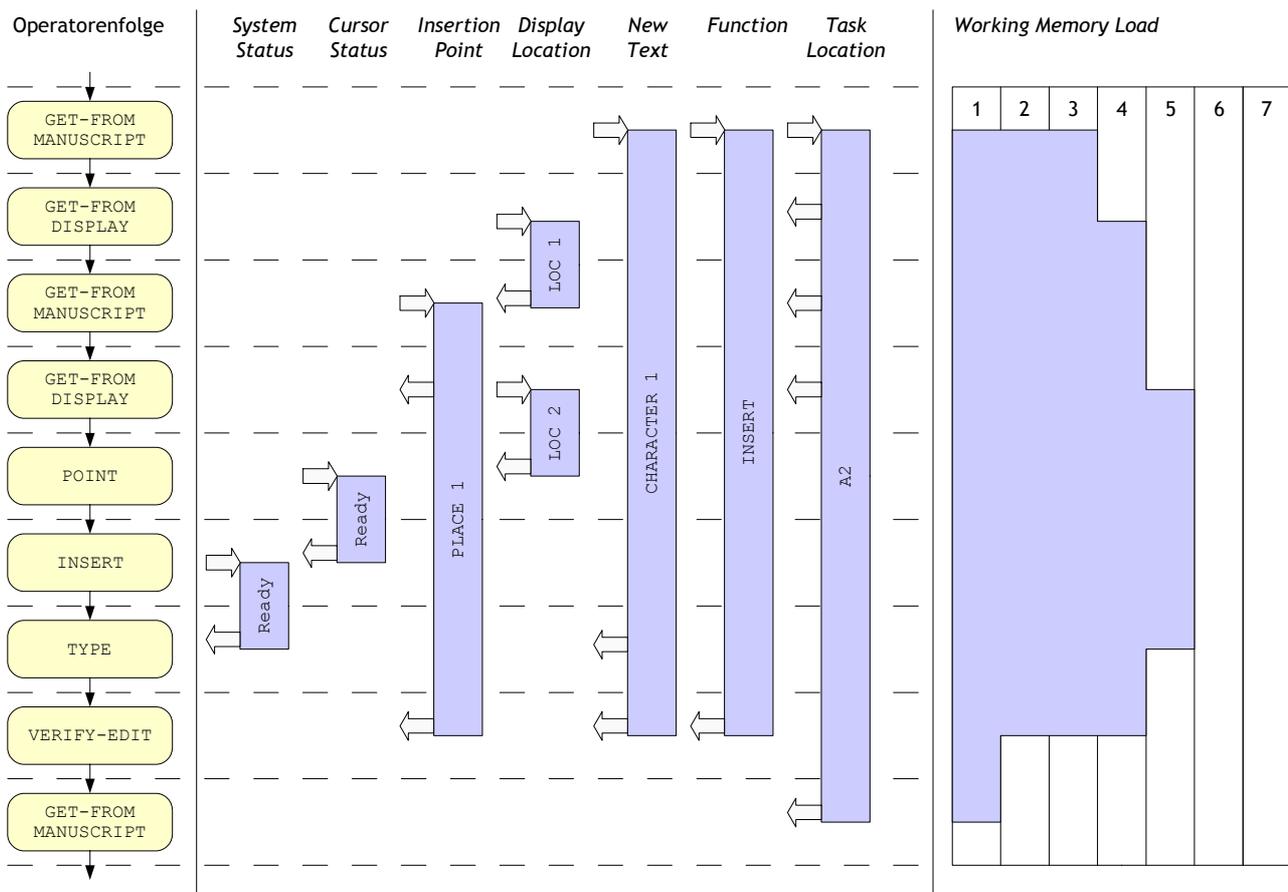


Abbildung 19: Hypothetische Belastung des Arbeitsgedächtnisses (*Working Memory*) für einen »UnitTask« in der Textbearbeitung nach Card et al. (1983), S. 393.

Nach Abbildung 19 ist das *Retain* ein Pfeil nach rechts in die Merkeinheit hinein, das *Recall* ein Pfeil nach links aus der Merkeinheit heraus. Das *Forget* wäre das Ende eines senkrechten Balkens. Das Vergessen als Operation zu modellieren wirkt jedoch Schwierigkeiten auf, wie weiter unten diskutiert wird (Kapitel 3.8).

Eine weitere Variante von GOMS ist CPM-GOMS, wobei CPM für »*Cognitive-Perceptual-Motor*« steht (John (1990), John & Gray (1995)). CPM-GOMS verfeinert den Katalog der Operatorprimitive, indem er diese auf die drei Prozessoren des MHP verteilt. Es wird angenommen, dass diese drei Prozessoren parallel zueinander tätig sein können. Allerdings sind sie in ihren Ein- und Ausgängen voneinander abhängig, sodass sich eine Art Netzplan ergibt (daher auch die zweite gängige Expansion von CPM: »*Critical Path Method*«). Abbildung 20 zeigt ein Musterbeispiel aus John & Kieras (1996). Das hier modellierte stereotype Ziel READ-SCREEN, also das Lesen einer Information vom Bildschirm, wird eingeleitet durch den kognitiven Akt des Beabsichtigens, sich mit der Bildschirminformation

3 Modelle der menschlichen Informationsverarbeitung

zu befassen. Dem folgt der ebenfalls kognitive Akt, eine Augenbewegung zu dem Zielort am Bildschirm einzuleiten. Diese äußert sich in dem motorischen Akt der Augenbewegung (unten) und dem anschließenden perzeptiven Akt des Wahrnehmens dieser Information (oben). Die Aktion schließt mit dem wiederum kognitiven Akt des Prüfens, ob die richtige Information gefunden wurde.

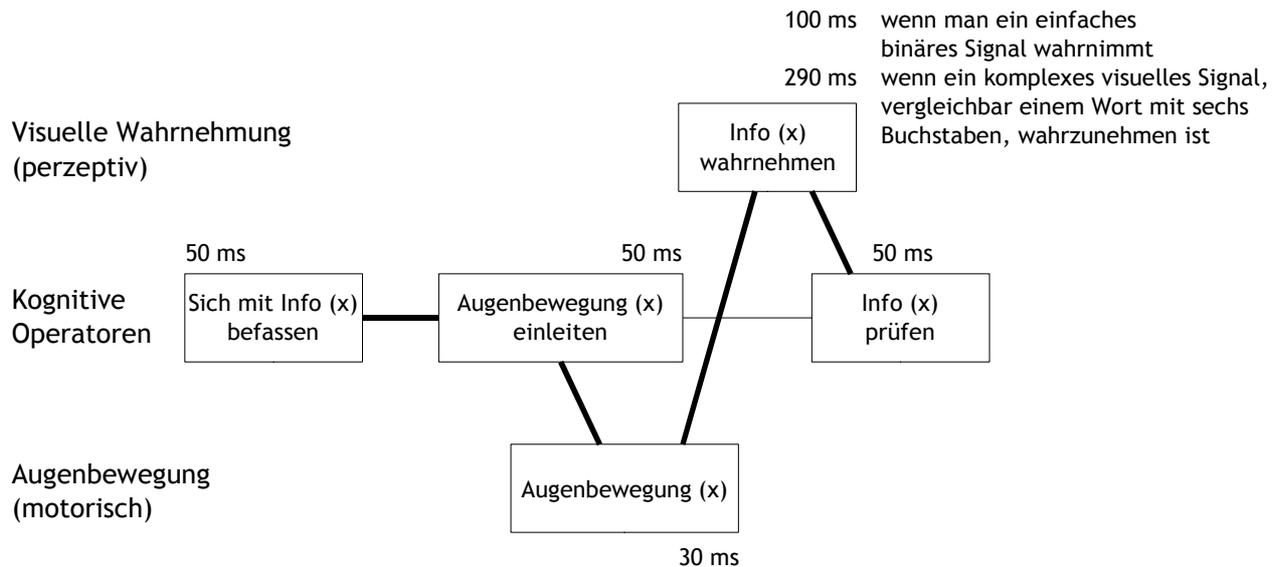


Abbildung 20: Beispiel für ein Muster zur Erstellung eines CPM-GOMS-Modells für das Ziel (*Goal*) »READ-SCREEN« (nach John & Kieras (1996), S. 339).

Die fett eingezeichnete Verbindungslinie stellt den kritischen Pfad dar. Er nimmt hier durchschnittlich 280 ms für ein einfaches und 470 ms für ein komplexes visuelles Signal in Anspruch¹.

Mit CPM-GOMS lässt sich die Belastung der kognitiven, perzeptiven und motorischen Ressourcen gut analysieren. Die Belastung des Arbeitsgedächtnisses wird allerdings nicht über das in CMN-GOMS hinausgehende Maß vertieft.

Die jüngste Weiterentwicklung von GOMS ist »*Multitasking GOMS*« (MT-GOMS: Urbas et al. (2006), Leuchter et al. (2004)²). MT-GOMS stellt ein Simulationssystem bereit, mit dem die gleichzeitige Bearbeitung von Primär- und Sekundäraufgaben und die Auflösung von Konflikten, die daraus entstehen, modelliert werden kann. Wesentliche Ergänzung von MT-GOMS gegenüber

¹ Die Zykluszeiten in der Abbildung 20 entsprechen nicht genau den Angaben aus Card et al. (1983) (siehe Kapitel 3.5); die Abweichung wird in John & Kieras (1996) nicht weiter begründet.

² Deutsche Patentanmeldung 102004031980.4: »Entwurfsunterstützung durch Bedienermodellierung im Kraftfahrzeugbereich«.

CPM-GOMS ist, dass Methoden nach ihrer Unterbrechbarkeit und Wiederaufnehmbarkeit charakterisiert werden können. Diese GOMS-Variante findet Ihre Anwendung schwerpunktmäßig bei der Modellierung der Interaktion eines Kraftfahrzeugführers mit so genannten *Infotainment*-Anwendungen, wie z. B. einem Autoradio oder einem Kraftfahrzeugnavigationsystem.

3.7 Kognitive Architekturen

Eine kognitive Architektur ist die »*Verkörperung einer wissenschaftlichen Hypothese über diejenigen Aspekte der menschlichen Kognition, die verhältnismäßig konstant über die Zeit und verhältnismäßig unabhängig von der Aufgabe sind*« (Byrne (2003), S. 98 nach Young in Gray et al. (1997)). Der in Kapitel 3.5 beschriebene *Model Human Processor* und das daran angelehnte GOMS gelten als Basis einer Reihe weiter ausgearbeiteter kognitiver Architekturen, von denen im folgenden mit besonderem Augenmerk auf die Kapazitätsgrenzen des Arbeitsgedächtnisses kurz eingeführt werden:

- EPIC (Kapitel 3.7.1),
- Soar (Kapitel 3.7.2),
- ACT-R/PM (Kapitel 3.7.3).

Die Rolle des Arbeitsgedächtnisses im Bezug auf gängige kognitive Modelle, u. a. die oben Genannten, wird ausführlich und systematisch diskutiert in Miyake & Shah (1999).

3.7.1 EPIC

Die EPIC-Architektur (*Executive-Process/Interactive Control*) von D. E. Kieras und D. E. Meyer (Meyer & Kieras (1997-1) und Meyer & Kieras (1997-2)) kann man als eine tiefer ausgearbeitete und detailliertere Fassung des MHP betrachten. Die perzeptive Prozessorik ist untergliedert in einen auditorischen, einen visuellen und einen taktilen, die motorische Prozessorik in einen manuellen, vokalen (Sprache) und okulomotorischen (Augenbewegung) Prozessor. Das Arbeitsgedächtnis ist Teil des kognitiven Prozessors und enthält einen kognitiven und einen perzeptiven Teil. Der perzeptive Teil ist den perzeptiven Prozessoren zugeordnet. Der kognitive Teil steht in Wechselwirkung mit einem Interpretierer für die Abarbeitung von

Produktionsregeln (Verkettung von Bedingung und Aktion). Für die Speicherung dieser Regeln ist dem (deklarativen) Langzeitgedächtnis ein prozedurales Produktionengedächtnis beigelegt.

EPIC ist für die Modellierung multipler, simultaner Aufgabenbewältigung ausgelegt. Alle Prozessoren können parallel zueinander arbeiten. Der Schwerpunkt liegt auf reaktiven Aufgaben und konzentriert sich auf perzeptive und motorische Prozesse, was die Architektur für vorwiegend kognitive Aufgaben nicht besonders geeignet erscheinen lässt (Jürgensohn et al. (2002), S. 166). Die Begrenzung in der Kapazität des Arbeitsgedächtnisses wird in EPIC über die Verfallszeit des perzeptiven Anteils modelliert. Eine Kapazitätsbegrenzung des kognitiven Teils, also im Bezug auf die gespeicherten Produktionsregeln, ist nicht vorgesehen (Kieras et al. in Miyake & Shah (1999), S. 212).

3.7.2 Soar

Während EPIC den perzeptiven Aspekt und reaktive Aufgaben betont, liegt der Schwerpunkt von Soar auf der Wissensverarbeitung im Sinne von Problemlösen als schrittweiser Transformation eines Ausgangs- in einen Endzustand (Jürgensohn et al. (2002), S. 165). Soar als Abkürzung für »*state, operator, action, result*« fußt auf den Arbeiten von Allen Newell zu einer einheitlichen Theorie der Kognition (Newell (1990))¹.

In Soar steht ein dynamisches (Kurzzeit-)Gedächtnis namens SDM (*Soar's Dynamic Memory*), in Wechselwirkung mit einem (Langzeit-)Produktionengedächtnis. Soar-Modelle können lernen, indem sie neue Produktionen erzeugen. Der Begriff »Arbeitsgedächtnis« wird in Soar nicht verwendet. Das SDM hat aber den Charakter eines Arbeitsgedächtnisses. Mit einer Kapazitätsbegrenzung des SDM setzt sich Soar nicht auseinander. Soar sieht als Ziel vielmehr, bei unbegrenztem Regelspeicher im LZG die Regelbearbeitung so zu optimieren, dass sie mit einer sehr geringen Belastung des SDM auskommt (Young & Lewis in Miyake & Shah (1999), S. 224 ff.).

¹ Newell ist Mitautor von Card et al. (1983) und damit einer der Begründer des MHP.

3.7.3 ACT-R/PM

ACT-R/PM ist eine Erweiterung der kognitiven Architektur ACT-R (Anderson (1993)), die auf der »*Adaptive Control of Thought*«-Theorie von John R. Anderson (Anderson (1976)) fußt². »R« steht dabei für *rational* und »PM« für *perceptual/motor*. Wie in EPIC und Soar werden auch in ACT-R Produktionsregeln abgearbeitet. Das Gedächtnis ist, wie bereits bei EPIC beschrieben, in einen prozeduralen und einen deklarativen Teil zergliedert. Der deklarative Teil repräsentiert explizites Wissen in Form von Fakten. Prozedurales Wissen ist implizit und repräsentiert Methoden, um Fakten zu generieren oder zu modifizieren. Fakten werden in ACT-R als *Chunks* gehalten, die als semantisches Netz miteinander in Beziehung stehen. Über die Rolle des *Chunk* als Merkeinheit, also als Ballung einer Kette von Zeichen hinaus, wie sie mit dem MHP auf Seite 33 eingeführt wurde, ist ein *Chunk* in ACT-R eine logische Verknüpfung von Einheiten zu einem Faktum. So wird z. B. das Faktum »3+4=7« in ACT-R ein *Chunk* vom Typ »*Addition-Fakt*« (Anderson & Lebiere (1998), S. 6).

Ein wesentliches Konzept in ACT-R ist der Zielestapel (*goal buffer*), der als dritter Teil des Gedächtnisses das deklarative und das prozedurale Segment ergänzt. Der Zielestapel verwaltet eine im Allgemeinen hierarchische Zielestruktur, bei der die Unter- und Oberziele in der Hierarchie in einem Stapel abgelegt und aus diesem sequenziell abgearbeitet werden. Damit kann eine Ziele-Abarbeitung wie z. B. in GOMS (Kapitel 3.6) als kognitives Konstrukt repräsentiert werden. Im Gegensatz zu dem Warteraum im Warteschlangenmodell (Kapitel 3.4) puffert der Zielestapel in ACT-R nicht nur Ziele, die als Forderungen von außen herangetragen werden, sondern auch Ziele, die sich »von innen« im Laufe der Aufgabebearbeitung ergeben.

ACT-R/PM erweitert den nahezu ausschließlich kognitiven Ansatz von ACT-R durch Perzeptions- und Motorikmodule, welche die Schnittstelle zum physischen Umfeld des Menschen einbeziehen (Byrne & Anderson (1998), Byrne (2001)). ACT-R/PM orientiert sich dabei an EPIC (siehe oben) und definiert keine grundlegend neuen Konzepte für Perzeption und Motorik. Vielmehr bindet es bekannte Konzepte an ACT-R an, sodass eine sehr mächtige Architektur zur Verfügung steht, die allerdings auch sehr komplex in der Anwendung ist.

Die Begrenzung der Kapazität des Arbeitsgedächtnisses wird in ACT-R dadurch modelliert, dass *Chunks* einen Aktivierungsgrad besitzen, der steuert ob und wenn ja, wie rasch er abgerufen werden kann. Die Gesamt-Aktivierungskapazität

² ACT steht mittlerweile auch als Kürzel für »*Atomic Components of Thought*« (Anderson & Lebiere (1998)).

(*attentional energy*) ist in dem Sinne limitiert, dass die Summe der Aktivierungsgrade aller *Chunks* eine bestimmte Schwelle nicht überschreiten kann. Die Kapazitätsbegrenzung wird also nicht über eine konstant maximale Zahl von, z. B. sieben *Chunks*, sondern über die Summe von deren Aktivierungsgraden gesetzt (Lovett et al. in Miyake & Shah (1999), S. 176).

3.8 Zusammenfassung und Folgerungen für diese Arbeit

Wie in Kapitel 2.2 eingeführt, wird für die deduktive Bestimmung der objektiv-engpassorientierten Beanspruchung zweierlei benötigt: das Modell eines Prozesses, der den Arbeitsablauf abbildet sowie das Modell eines Trägers, auf dem dieser Prozess abläuft und der die verfügbaren Ressourcen bereitstellt. Für die Modellierung des Trägers, zeigt sich der *Model Human Processor* (MHP) als geeignete Systemarchitektur (Kapitel 3.5). MHP bildet die Informationsverarbeitung im Menschen vom Reizempfang über die Entscheidung bis zur Auslösung von Handlungen auf drei Prozessoren (perzeptiv, kognitiv und motorisch) und drei Speicher (Sinnesgedächtnisse, Arbeitsgedächtnis und Langzeitgedächtnis) ab. Er gibt die Beziehung zwischen diesen Elementen an und ordnet sowohl den Prozessoren wie auch den Speichern charakteristische Kenngrößen zu: für die Prozessoren eine Zykluszeit und für die Speicher Kapazität und Halbwertszeit des Haltevermögens von Merkeinheiten.

Für die Bestimmung der Beanspruchung als Verhältnis von wirkender zu tragbarer Belastung ($b = B/B_{max}$) kann die Kenngröße der Prozessoren, die Zykluszeit, nicht direkt als Grenzgröße verwendet werden, da keine Belastung in der Einheit »Zeit« auf den Menschen einwirkt. Zeit wirkt dennoch belastend auf den Menschen; nämlich dadurch, dass die zur Bearbeitung einer Aufgabe verfügbare Zeit begrenzt ist. Insofern bildet sie eine kapazitätsbegrenzende Größe, die allerdings nicht auf den einzelnen Takt eines Prozessors, sondern auf den gesamten Prozess der Aufgabenbearbeitung bezogen ist.

Speicherkapazität und Halbwertszeit als Kenngrößen der drei Speicher sind hingegen als begrenzende Größen verwendbar. Das Langzeitgedächtnis spielt hierfür keine Rolle, da ihm unbegrenzte Kapazität und Halbwertszeit zugeschrieben werden. Arbeits- und Sinnesgedächtnis besitzen jedoch eine endliche Kapazität und Halbwertszeit. Gelingt es, die Bearbeitung der Aufgabe in eine Folge von Belegungen der Sinnesgedächtnisse mit Perzepten und des Arbeitsgedächtnisses mit

Merkeinheiten abzubilden, lässt sich daraus die Beanspruchung des Gedächtnisses vorhersagen und es lassen sich Prozessabschnitte mit Überbeanspruchung feststellen.

Das auf dem MHP basierende GOMS-Modell (Kapitel 3.6) erlaubt die formale Abbildung der Aufgabenbearbeitung auf elementare Handlungsprimitive, so genannte Operatoren. Für diese ist eine mittlere Bearbeitungszeit angeben, sodass man die Gesamtzeit der Aufgabenbearbeitung bestimmen und den zeitlichen Verlauf analysieren kann. Die Zeit ist allerdings, wie oben angeführt, keine belastungswirksame Größe, sondern bestimmt die Leistung nur über den Nenner der Leistungsgleichung. Einen Beitrag zur Modellierung der erreichbaren Qualität leistet GOMS mittels der Analyse der Auslastung des Arbeitgedächtnisses. Diese wird allerdings nicht wesentlich über die anhand Abbildung 19, S. 45 gezeigte, qualitative Betrachtung hinaus formal ausgearbeitet. Auch die auf der Basisfassung CMN-GOMS aufbauende Varianten werden hier nicht genauer. CPM-GOMS bezieht zwar die perzeptive und motorische Prozessorik ein, ohne allerdings die Verwaltung der zugehörigen Speicher eingehender zu modellieren. NGOMSL hält mit *Retain*, *Recall* und *Forget* zwar Operatorprimitive für die Wechselwirkung mit dem Arbeitgedächtnis vor, wirft aber damit mehr Fragen auf, als Antworten gegeben werden. Werden diese Operatorprimitive durch einen zusätzliche Takt des kognitiven Prozessors realisiert oder sind sie integraler Teil solcher Takte? Während man letzteres für *Retain* und *Recall* noch ohne Bruch mit dem MHP annehmen kann, gelingt dies für *Forget* nicht. Ein kognitiver Takt, der eine Merkeinheit zielgerichtet aus dem Arbeitsgedächtnis löscht, widerspricht dem MHP, da der *Recognize-Act-Cycle* (RAC: Abbildung 16, S. 35) immer mit der Neubelegung eines Teils des Arbeitsgedächtnisses verbunden ist. Jeder kognitive Takt ist ein bewusster Akt. Versucht man eine Merkeinheit bewusst aus dem AG zu entfernen, muss diese Merkeinheit Gegenstand des RAC werden und wird damit Gegenstand des Arbeitsgedächtnisses.

Anhand dieser Betrachtung des *Forget*-Operators wird auch eine Schwäche der bisher erörterten Betrachtung der Belastung des Arbeitsgedächtnisses als Warteraum offenbar, wie sie anhand von GOMS mit Abbildung 19 analog zu dem Warteraumdiagramm des Warteschlangenmodells (Abbildung 14, S. 30) gezeigt wurde. Während die Forderungen im Warteschlangenmodell, nach ihrer Bedienung »logisch« aus dem Warteraum verschwinden, weil sie mit der Bedienung ihre Forderungscharakter einbüßen, kann man das für Merkeinheiten im Arbeits- und Sinnesgedächtnis, die ja durch eine physikalische Aktivierung gekennzeichnet sind, nicht behaupten, ohne einen aktiven Schritt anzugeben, der ihre Aktivierung löscht. Dies wäre aber, wie oben erörtert, ein Widerspruch in sich. Man muss also

davon ausgehen, dass eine einmal im AG aktivierte Merkeinheit solange Element des AG bleibt, bis sie entweder durch Alterung verfallen ist (*decay*) oder über die Kapazitätsgrenze hinaus verdrängt wird. Welche dieser Ursachen die jeweils verantwortliche für einen Abwurf ist, wird als schwer klärbar erachtet¹. Alleine der Umstand, dass die Merkeinheit nicht mehr gebraucht wird, löst nicht ihren Abwurf aus dem Gedächtnis aus - denn dazu wäre ein Blick in die Zukunft erforderlich, die durch keinen theoretischen Ansatz gedeckt ist.

GOMS betrachtet die Belegung des Arbeitsgedächtnisses nur dahingehend, wie viele Merkeinheiten gleichzeitig gehalten werden müssen, um eine Aufgabe zu lösen. Es berücksichtigt nicht, dass Merkeinheiten im AG noch Platz belegen, obwohl sie nicht mehr gebraucht werden. Abbildung 21 veranschaulicht anhand eines fiktiven Beispiels, angelehnt an Abbildung 19, welchen Unterschied es ausmacht, ob man, wie bei GOMS, mit einer impliziten Funktion des Vergessens die »erledigten« Merkeinheiten aus dem AG entfernt und die noch unerledigten nachrücken lässt (links); oder ob man die Einheiten unter der Annahme, dass der zeitliche Verfall noch nicht wirksam wird, im AG belässt (rechts). Im letzteren Fall wäre die zuerst eingeschriebene aber zuletzt abgerufene Merkeinheit A vor dem sechsten Schritt, der A benutzt, bereits verdrängt worden.

Aus dieser Überlegung heraus erscheint GOMS samt seiner Varianten, als keine unmittelbar geeignete Modellierungstechnik für das Problem, wie man die kognitive Beanspruchung durch die Bedienung im Wettbewerb mit der Beanspruchung durch die Arbeitsaufgabe so modelliert, dass eine relative Vorhersage des Einflusses verschiedener Interaktionsformen auf die Leistung in der Arbeitsaufgabe erreicht werden kann. Von den in Kapitel 3.7 diskutierten kognitiven Architekturen erreicht alleine ACT-R mit seinem Modell des Arbeitsgedächtnisses als die gewichtete Summe der Aktivierungsgrade von Merkeinheiten die erforderliche Ausdrucksmächtigkeit. Allerdings ist der kognitive Überbau bei ACT-R, das sich ja hauptsächlich dem Problemlösen widmet, so hoch, dass ACT-R entsprechend dem Ziel dieser Arbeit nicht angemessen erscheint. Die beiden anderen Architekturen, Soar und EPIC kommen ebenfalls nicht in Frage. Soar ist stark in der Kognition, vernachlässigt aber in einem für eine wahrnehmungsorientierte Arbeitsaufgabe nicht vertretbar starken Maß die Perzeption. EPIC ist komplementär dazu stark bei der Modellierung der perzeptiven und motorischen Aspekte, aber zu schwach bei der Kognition, die aber bei der bildgestützten oder anderen Arbeits-

1 Aus Olson & Olson (1990), S. 250: »*In neither of this analyses do we know, if the critical variable is the peak load in WM (in which we assume things are 'bumped out') or the length of the stay of each item (where we assume that information decays with time).*«.

aufgaben eine Schlüsselrolle spielt, auch wenn sie hier nicht in letztem Detail ausmodelliert werden muss. Überdies wird EPIC noch eher als ein Forschungs-, denn als eine praktisch anwendbare Methode betrachtet (Crystal & Ellington (2004)).

Da der MHP aber als grundsätzlich geeignet für die mit dieser Arbeit zu beantwortende Frage erscheint, soll der Versuch unternommen werden, aus diesem Konzept heraus auf direktem Wege Modelle zu erstellen, mit denen die Hypothese geprüft wird, dass die Bedienung eines Geräts als Hilfsaufgabe je nach gewählter Interaktionstechnik die Leistung in der Arbeitsaufgabe durch Wettbewerb bei der Gedächtnisbeanspruchung beeinträchtigt.

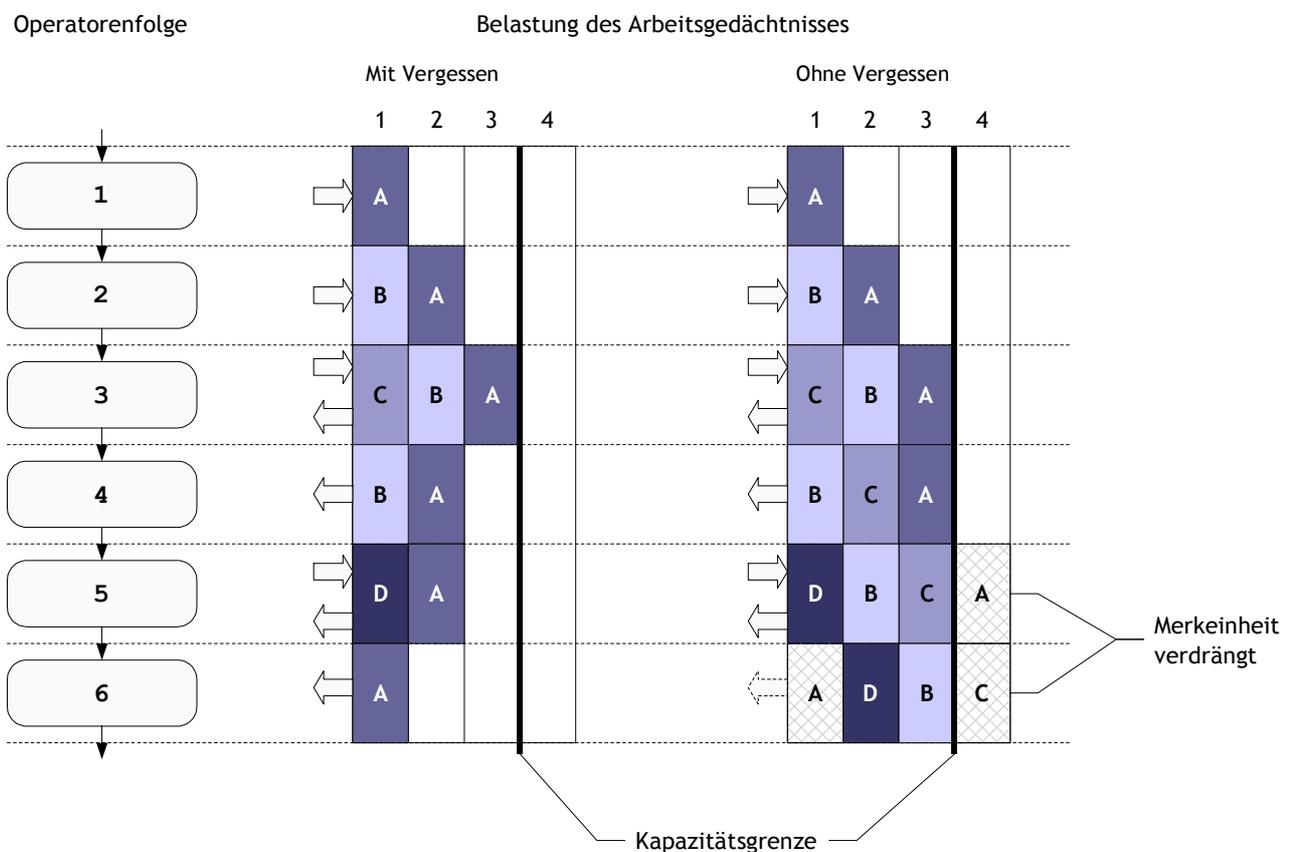


Abbildung 21: Gegenüberstellung einer fiktiven Belastung des Arbeitsgedächtnisses mit Merkeinheiten: links mit automatischem Vergessen nicht mehr benötigter Einheiten, wie bei GOMS vorgesehen (vgl. Abbildung 19); rechts ohne dieses Vergessen.

4 HPML: Grafische Ablaufbeschreibung für den *Model Human Processor*

4.1 Übergänge zwischen den Prozess-Takten

Die Verrichtung einer Tätigkeit durch den Menschen wird im MHP (Kapitel 3.5, S. 30) als eine bestimmte Abfolge von Takten der drei Prozessoren beschrieben. Für die Veranschaulichung des Ablaufs sollen die Takte der Prozessoren (perzeptiv, kognitiv, motorisch) durch grafische Symbole als Knoten (hier so genannte *Prozessorknoten*) und die Übergänge zwischen Takten als gerichtete Kanten in einem Graphen repräsentiert werden. Die Kanten, als Pfeile dargestellt, geben die möglichen Übergänge an, wie sie vom Verfasser aus dem MHP geschlossen werden (Card et al. (1983) sagen dazu direkt nichts aus) und bilden damit die Syntax für eine grafische Beschreibungssprache, die hier mit HPML bezeichnet wird: *Human Processor Modelling Language*. Abbildung 22 zeigt die Notation.

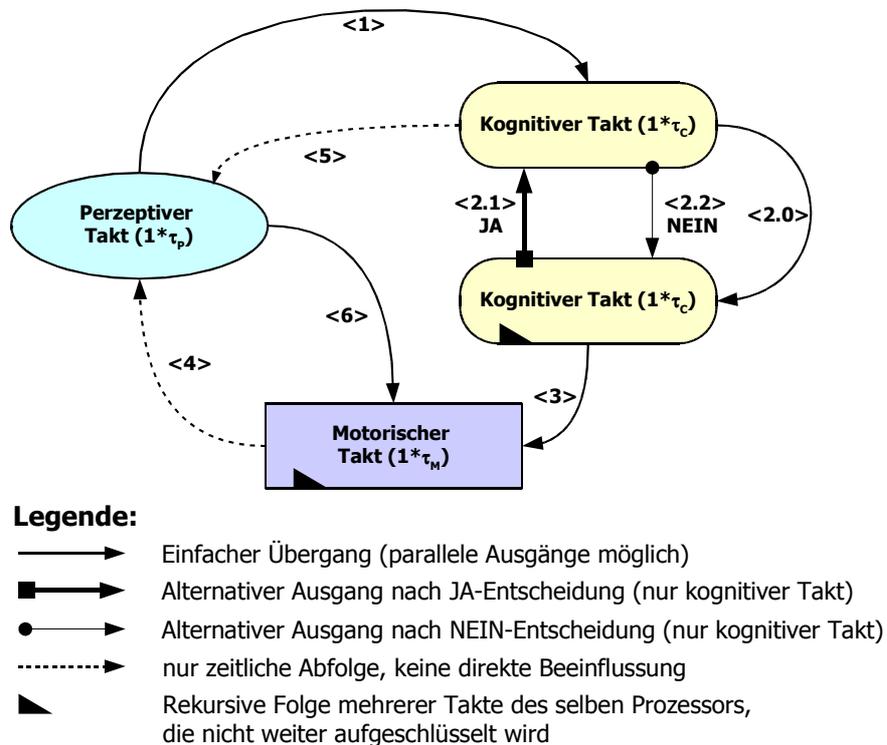


Abbildung 22: Grafische Symbole der HPML für die Takte der drei Prozessoren des MHP (Prozessorknoten) und die erlaubten Übergänge als gerichtete Kanten; sie werden im folgenden Text erläutert.

Die Übergänge haben folgende Bedeutung:

- <1> Mit dem physikalischen Einschreiben eines Perzepts in das Sinnesgedächtnis liegt dieses gleichzeitig symbolisch als Merkeinheit im Arbeitsgedächtnis vor und parametriert damit einen folgenden *Recognize-Act-Cycle* des kognitiven Prozessors.
- <2> Der kognitive Takt kann eine Entscheidung fällen, die zu nachfolgenden kognitiven Takten mit unterschiedlicher Zielsetzung führt. Hier ist die Entscheidung mit den Pfeilen <2.1> für den JA- und <2.2> für den NEIN-Fall auf eine binäre Entscheidung reduziert. Entscheidungen mit mehr als zwei Alternativen werden in dieser Arbeit nicht betrachtet. Übergänge von einem kognitiven Takt zu einem nächsten ohne Entscheidung werden mit <2.0> bezeichnet. Es können beliebig viele kognitive Takte aneinandergereiht werden (vgl. die Fallbeispiele aus Card et al. (1983) in Tabelle 1, S. 37).
- <3> Bei bewusstem Handeln bereitet ein Takt des kognitiven Prozessors die Aktion vor, indem er die Handlung parametriert und aktiviert (prämotorischer kognitiver Takt). Einem prämotorischen kognitiven Takt kann gleichzeitig ein weiterer kognitiver Takt folgen. Muss beispielsweise während einer komplexeren Denkaufgabe mit mehreren kognitiven Takten bei einem bestimmten Zwischenergebnis eine Taste gedrückt werden, so läuft der Tastendruck nach dem kognitiven Auslösen automatisiert ab und benötigt auf seinem Weg keine kognitive Kontrolle, sondern folgt einem automatisierten sensumotorischen Muster auf der fertigkeitbasierten Verhaltensebene (siehe Abbildung 12, S. 26). Der kognitive Prozessor ist sofort wieder frei für den nächsten Takt.
- <4> Von einem motorischen Takt aus ist nur *ein* Übergang vorgesehen, nämlich der zum perzeptiven Takt. Dieser Übergang ist gestrichelt gezeichnet. Damit wird angezeigt, dass es sich ausschließlich um eine zeitliche Abfolge handelt. Der perzeptive Takt des Auges läuft selbständig mit einer bestimmten Taktrate ab. Die Information zur Wirkungskontrolle eines motorischen Takts wird aus dem Perzept des jeweils nächsten perzeptiven Takts entnommen. Auch wenn die Aktion darin besteht, ein Sinnesorgan auszurichten, z. B. mittels einer Augenbewegung (siehe Kapitel 5.3, S. 72), wird das in HPML nicht als eine direkte Parametrierung des perzeptiven Takts betrachtet, da ja auf die Rezeption in den Sinneszellen kein Einfluss genommen wird.

- <5>Wartet der kognitive Prozessor, ohne dass eine Aktion erforderlich wäre, auf ein Ereignis, das durch ein Perzept ausgelöst wird, dann tritt dieser Übergang in Kraft. Er ist ebenfalls gestrichelt gezeichnet, weil er eine reine zeitliche Abfolge bedeutet und eine direkte Steuerung des perzeptiven Prozessors aus dem kognitiven in HPML ausgeschlossen wird.
- <6>Bei fertigkeitbasiertem Handeln (Abbildung 12, S. 26) löst ein Sinneseindruck unmittelbar eine Handlung aus, ohne dass der kognitive Prozessor zwischengeschaltet werden muss.

Prozessorknoten stehen für elementare mentale Aktionen, die sich aus der Dekomposition der Aufgabe ergeben. Während die Dekomposition nach Charwat (1994), wie sie in Abbildung 9, S. 16 gezeigt ist, die Operationen in physisch-motorische Aktivitäten zerlegt, nämlich Bewegungen und darunter Muskelaktionen, bildet ein HPML-Graph die im Menschen ablaufenden mentalen Schritte auf die Architektur des MHP ab. Der motorische Takt im MHP ist ebenfalls mentaler Natur. Er setzt den Auslöseimpuls für eine Bewegung, beschreibt aber nicht dessen physische Realisierung durch Bewegung und Muskelaktion.

Jeder Prozessorknoten wird im HPML-Graph mit der mentalen Aktion beschriftet, für die er steht (siehe z. B. Abbildung 23). Die Verbindung der Prozessorknoten mittels der gerichteten Kanten definiert einen Ablauf, in dem die Knoten in Schleifen eingebunden werden können. Damit ist die Anzahl der Takte, für die ein Prozessorknoten steht, von der Anzahl der Schleifendurchläufe abhängig. Soll eine Folge von Takten eines Prozessors zur besseren Übersicht nicht weiter aufgeschlüsselt werden, so kann der Prozessorknoten am unteren Rand mit einer halben Pfeilspitze (▴) versehen werden (siehe Abbildung 22). Diese steht stellvertretend für eine grafisch nicht weiter aufgelöste Taktfolge (Rekursionssymbol). Eine solche Rekursion ist möglich für kognitive Schritte, wenn z. B. eine gedankliche Assoziationskette abgearbeitet wird, und für motorische Schritte, wenn fertigkeitbasiert eine Kaskade von motorischen Takten ausgelöst wird. Diese werden dann als motorische »Salve« abgefahren, ohne dass eine Rückmeldung erfolgt (»bursts of preprogrammed motor instructions«: Card et al. (1983), S. 34).

Beispiel aus Card et al. (1983)

Zur Veranschaulichung der Ablaufbeschreibung sollen die Beispielaufgaben der »simple reaction«, des »physical match« und des »class match« aus Kapitel 3.5, Tabelle 1 (S. 37 f.) als HPML-Graph nach Abbildung 22 nachvollzogen werden. Dies zeigt

Abbildung 23. Während die Beispiele aus Card et al. (1983) nur die JA-Kette zeigen, also den Fall, in dem tatsächlich die Reizfigur dem aktionsauslösenden Ziel entspricht, veranschaulicht Abbildung 23, dass es sich bei den kognitiven Takten auch um Entscheidungen handelt. Im NEIN-Fall kann der nächste Takt des perceptiven Prozessors abgewartet werden, der möglicherweise eine neue Reizfigur erfasst. Dieser Übergang wird durch die gestrichelte Rückführung vom jeweils entscheidenden kognitiven zum perceptiven Prozessorknoten symbolisiert. Der Übergang ist vom Typ $\langle 5 \rangle$, zeigt also eine reine zeitliche Abfolge an.

Physical match, *name match* und *class match* haben vor den motorischen Takt einen kognitiven Takt geschaltet, der explizit die Aktion auslöst. Dieser Auslösetakt fällt bei der *simple reaction* mit dem kognitiven Takt der Feststellung einer Reizfigur zusammen. Die Reaktionsauslösung wird deshalb nicht ausdrücklich eingetragen.

4.2 Durchsatz im Arbeitsgedächtnis

Jeder kognitive Takt wird durch Merkeinheiten im Arbeitsgedächtnis ausgelöst. Er verändert die Belegung des Arbeitsgedächtnisses, indem er eine weitere Merkeinheit im LZG aktiviert und sie damit zum Inhalt des Arbeitsgedächtnisses macht (*Recognize-Act-Cycle*: siehe Abbildung 16, S. 35). Diese Veränderung der AG-Belegung sei hier als *Durchsatz* bezeichnet. Das Durchsatzprinzip postuliert, dass eine einmal ins AG geladene Merkeinheit nur durch zeitlichen Verfall oder Verdrängung verloren geht. Ein aktives Vergessen ist nicht vorgesehen. Dieses Prinzip beschreibt also das im rechten Block von Abbildung 21, S. 53 postulierte Belegungsverhalten des Arbeitsgedächtnisses.

Der Durchsatz betrifft alle Übergänge aus Abbildung 22, die in einen kognitiven Takt hinein führen, also $\langle 1 \rangle$ und $\langle 2.x \rangle$. Da die Aufnahmefähigkeit des Arbeitsgedächtnisses begrenzt ist (im Durchschnitt sieben Merkeinheiten: μ_{AG}^* , S. 33), verdrängt jeder kognitive Takt vormalig aktivierte Merkeinheiten aus dem Arbeitsgedächtnis. Nebenher verblasst die Aktivierung der Merkeinheiten für das Arbeitsgedächtnis mit der Zeit (*decay*: im Durchschnitt zwischen 7 s und 73 s: δ_{AG} , S. 33). Der Durchsatz von Merkeinheiten im Arbeitsgedächtnis soll durch die so genannte *Durchsatztafel* veranschaulicht werden, wie sie Abbildung 24 am Basis-Beispiel der »*Simple-Reaction*« einführt (Kapitel 3.6.1: Tabelle 1, S. 37 f.).

4 HPML: Grafische Ablaufbeschreibung für den Model Human Processor

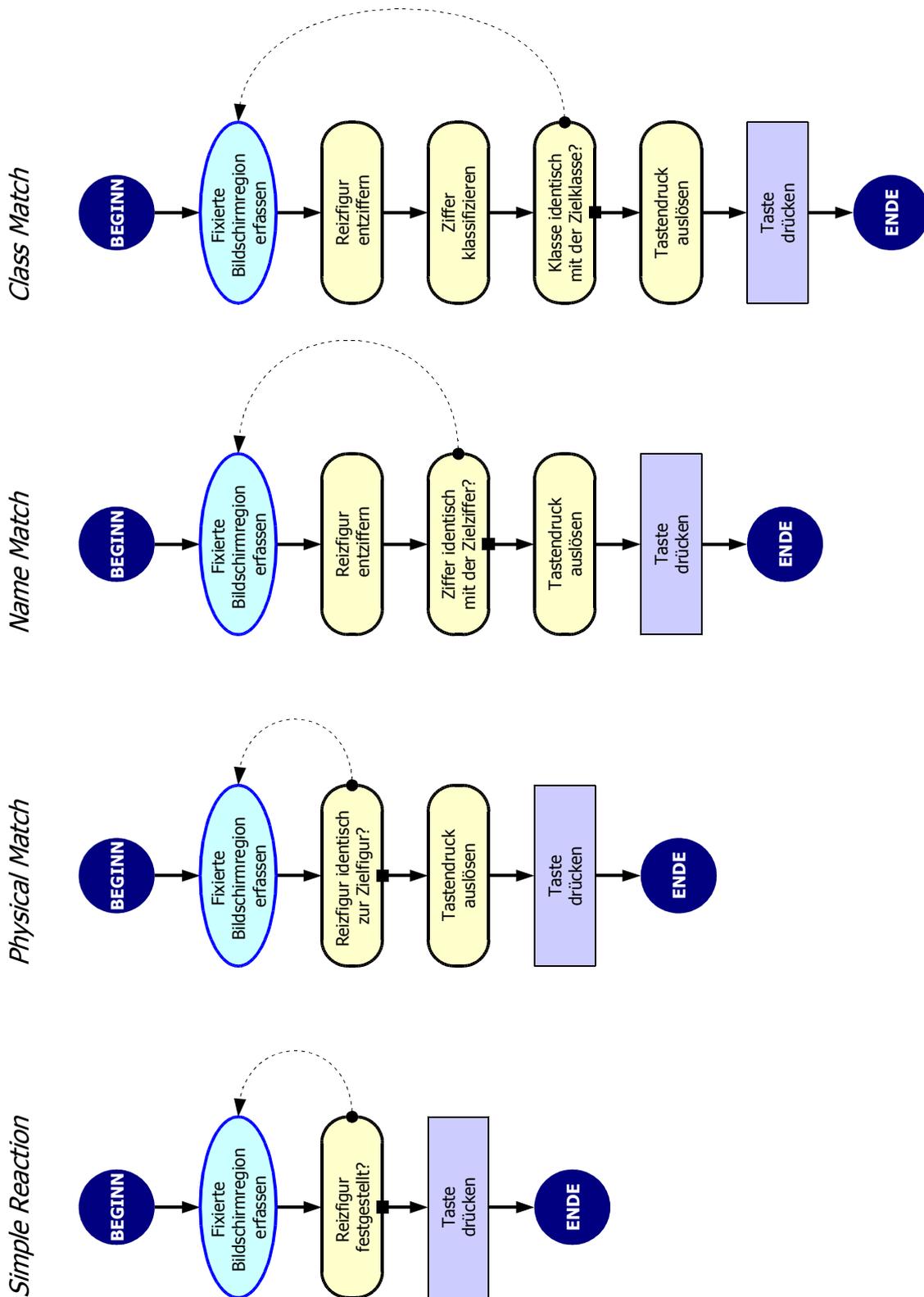


Abbildung 23: Abbildung der MHP-Beispiele aus Tabelle 1, S. 37 auf den HPML-Graphen aus Abbildung 22.

Jede Zeile stellt einen Prozess-Takt dar, der in den linken beiden Spalten benummert und benannt und in der dritten Spalte einem der drei Prozessoren mit dessen mittlerer Zykluszeit zugeordnet ist (Symbole entsprechend Abbildung 22).

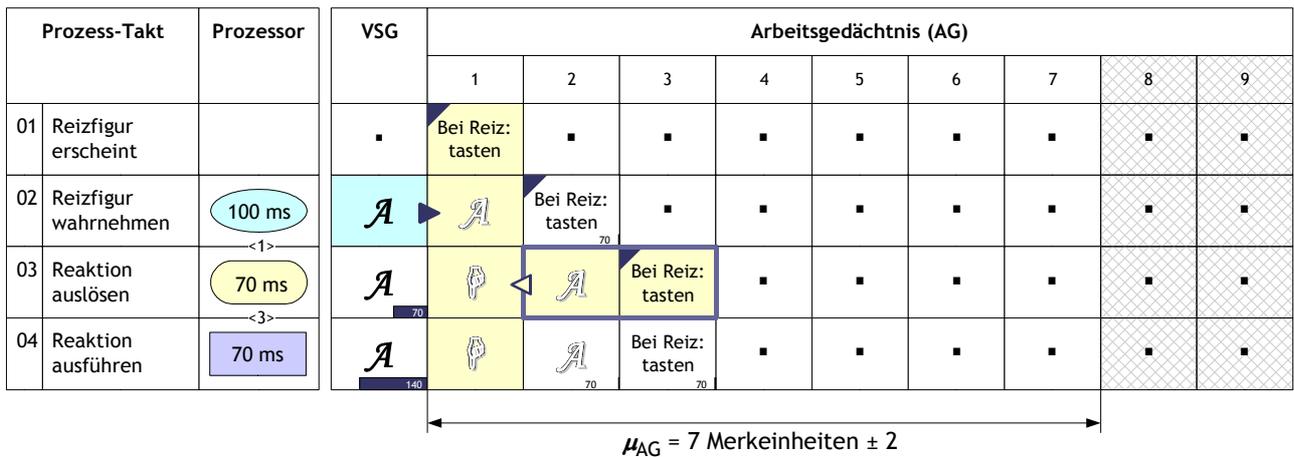
Die folgenden, abgesetzten Spalten repräsentieren die Belegung des Gedächtnisses. Links ist eine Spalte für das visuelle Sinnesgedächtnis (VSG) vorgesehen. Ihr folgen neun Spalten für Merkeinheiten im Arbeitsgedächtnis. Sie entsprechen der für MHP angegebenen durchschnittliche Kapazität $\mu_{AG}^* = 7 [5 \sim 9]$ (mit Nutzung des LZG, siehe S. 33). Die achte und die neunte Spalte sind besonders hinterlegt, um zu zeigen, welche Merkeinheiten die durchschnittliche Kapazität überschreiten, aber noch im Toleranzbereich liegen.

Die Funktionsweise des Durchsatzprinzips sei anhand der *simple reaction* erläutert. Bevor die Reizfigur auf dem Bildschirm erscheint, sei die gestellte Aufgabe »sobald eine Figur auf dem Bildschirm erscheint, drücke die Taste«, hier abgekürzt mit »Bei Reiz tasten« im Bewusstsein der Versuchsperson (VP) verankert und damit im Arbeitsgedächtnis aktiv. Sie stellt gewissermaßen die Erwartung der VP dar, dass bald etwas auf dem Bildschirm erscheinen wird und sie dann die Taste zu betätigen hat. Wäre die entsprechende Reaktion bei der Versuchsperson so weit gedrillt, dass es keines Bewusstseins der Aufgabe bedürfte, wäre auch kein kognitiver Takt erforderlich; es würde sich um eine reflexartige Reaktion, also um einen Übergang vom Typ <6> im HPML-Graphen handeln.

Die Aufgabe ist hier als eine einzelne Merkeinheit repräsentiert, dem notwendigen Minimum¹. Die Repräsentation der Aufgabe im Arbeitsgedächtnis ergänzt die Darstellung aus Card et al. (1983), wie sie in Tabelle 1 abgebildet ist. Die Notwendigkeit dieser Ergänzung wird unten bei Takt 03 erläutert. Nachdem eine Figur auf dem Bildschirm erschienen ist (Zeile 01) arbeitet der visuell-perzeptive Prozessor, um sie wahrzunehmen (Zeile 02). Nach ca. 100 ms steht ein physikalisches Abbild im VSG. Dies aktiviert gleichzeitig eine entsprechende visuelle Merkeinheit im Arbeitsgedächtnis (AG-Feld 1). Die Aufgabe wird hier nicht aktiviert. An ihrem unteren Rand beginnt ein Balken für den zeitlichen Verfall zu laufen (weitere Erläuterung siehe unten).

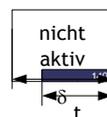
1 Komplexere Aufgabe wären in ihrer Gesamtheit in der Regel im LZG abgelegt; es bedarf jedoch wenigstens eines Ankers im AG.

4 HPML: Grafische Ablaufbeschreibung für den Model Human Processor



Erläuterung

- ▀ ... Aufgabenbestimmende Merkeinheit
- <n> ... Typ des Übergangs zwischen Prozess-Takten
- \mathcal{A} ... Wahrgenommenes Symbol als Perzept (VSG)
- \mathcal{A} ... Wahrgenommenes Symbol als Merkeinheit (AG)
- ... Unbekannte Belegung der Gedächtnisstelle
- \mathcal{P} ... Handlungsbefehl (Tastendruck)
- ▶ ... Aktivierung einer neuen Merkeinheit durch Perception
- ◀ ... Aktivierung einer neuen Merkeinheit durch Kognition
- ◀▶ ... Aktivierung durch mehrere Merkeinheiten



- t ... Speicherdauer der Merkeinheit seit letzter Aktivierung (in ms)
- δ ... Halbwertszeit für den Speicherinhaltsverfall (laut MHP)
 - $\delta_{VSG} = 200$ ms
 - $\delta_{AG} = 7\ 000$ ms

Abbildung 24: AG-Durchsatztafel am Beispiel der »Simple-Reaction« (siehe Tabelle 1, S. 37).

Im nächsten Takt - Zeile 03 - arbeitet der kognitive Prozessor und aktiviert eine neue Merkeinheit, nämlich den Handlungsbefehl »Drücke Taste« (*Recognize-Act-Cycle*). Dazu benötigt er sowohl die Merkeinheit der gerade wahrgenommenen Figur als auch diejenige für die Aufgabe, also die quasi vorgedachte Verknüpfung zwischen dem Erscheinen einer Figur und dem Tastendruck. Beide werden gemeinsam aktiviert und generieren die neue, die handlungsauslösende Einheit. Bei der Aufgabe erlischt der Balken für den zeitlichen Verfall wieder. Sie wurde ja eben aktiviert. Jede frisch aktivierte Merkeinheit wird links platziert. Dies trifft hier für den Handlungsbefehl zu. Die bisherigen Merkeinheiten wandern nach rechts.

Für nicht aktive Einheiten sowohl im VSG als auch im AG setzt zeitlicher Verfall ein. Er ist durch einen Balken am unteren Rand eines Feldes gekennzeichnet. Dies ist in Zeile 03 deutlich für das Perzept im VSG zu sehen. Es ist nach dem kognitiven Takt bereits 70 ms alt. Der Balken ist so normiert, dass er beim Erreichen der Halbwertszeit die gesamte Breite des Feldes überspannen würde: im

VSG also mit $\delta_{\text{VSG}} = 200$ ms. Der relative zeitliche Verfall im Arbeitsgedächtnis ist bei den verstrichenen 70 ms dagegen viel kleiner, da dort $\delta_{\text{AG}} = 7\,000$ ms beträgt (siehe AG-Feld 2). Nach der Ausführung der Aktion, also nach weiteren 70 ms, verfallen sowohl das Perzept der gesehenen Figur im Sinnesgedächtnis als auch deren Repräsentation im Arbeitsgedächtnis weiter. Die Merkeinheit für die Handlung jedoch verfällt noch nicht, da sie ja für die Handlungsausführung aktiviert bleiben muss.

Wie aus Abbildung 24 sofort zu erkennen, ist die Beanspruchung durch die »*simple reaction*« sehr gering. Die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses ist mit maximal drei von sieben durchschnittlich möglichen Merkeinheiten zu ca. 40 % beansprucht. Der zeitliche Speicherverfall schöpft bei einer maximal auftretenden Alterung von 70 ms nur 1 % des zeitlichen Haltepotenzials von durchschnittlich sieben Sekunden aus. Lediglich das Perzept im Sinnesgedächtnis beansprucht bei gleicher Alterung das zeitliche Haltepotenzial zu etwa 70 %.

Angewendet auf den *physical match* nach Tabelle 1 ergibt sich die in Abbildung 25 dargestellte Durchsatztafel. Beim Erscheinen der Reizfigur (Zeile 01) ist bereits eine Figur geladen: die *Zielfigur*, mit dem die neu erscheinende zu vergleichen ist. Sie soll hier als alleiniger Repräsentant für die Aufgabe dienen, da die Versuchsperson sich diese Figur nur im Zusammenhang damit merkt, nach Erscheinen einer identisch aussehenden Reizfigur die Taste zu drücken.

In Zeile 02 wird die Reizfigur perzeptiv erfasst. Der weitere kognitive Takt, dargestellt in Zeile 03, besteht nun darin, die beiden Figuren zu vergleichen. Dazu wird die Zielfigur »0: \mathcal{A} « gemeinsam mit der Reizfigur »1: \mathcal{A} « im AG aktiviert. Beide sind dadurch aufgefrischt und die Verfallsfrist beginnt von vorne zu laufen. Das Ergebnis der Gegenüberstellung ist in diesem Fall die Feststellung der Gleichheit, deren Ergebnis wieder als eigene Merkeinheit abgelegt wird. Erst diese löst dann in einem vierten Takt die Handlung aus. Während der Reaktionsausführung verblasst das visuelle Perzept im VSG bereits nach Überschreiten der Halbwertszeit von 200 ms. Dies spielt hier jedoch keine Rolle mehr, da die Handlung bereits ausgeführt wird. - Die Beanspruchung des Arbeitsgedächtnisses beim *physical match* ist höher als bei der *simple reaction*, schöpft die Grenzen jedoch weder im Bezug auf die Aufnahmekapazität noch auf die Verfallszeit aus.

Überspringen wir den *name match* und gehen direkt über zum *class match*, wie er aus Card et al. (1983) in Tabelle 1, S. 38 beschrieben ist. Beim *class match* muss sich die Versuchsperson von der Zielfigur nur merken, zu welcher Klasse von Ziffern sie gehört. Die Taste darf nur dann gedrückt werden, wenn die Reizfigur zur selben Klasse wie die Zielfigur gehört. Abbildung 26 zeigt den Ablauf und den Durchsatz im Arbeitsgedächtnis. Bevor die Reizfigur auf dem Bildschirm er-

4 HPML: Grafische Ablaufbeschreibung für den Model Human Processor

scheint, liegt die Zielklasse im Arbeitsgedächtnis vor (»0: Buchstabe« im AG-Feld 1, Zeile 01)¹. Sie wird als aktiviert betrachtet, da die VP, in Erwartung der Reizfigur, sich deren laufend erinnern muss. Mit »0: Buchstabe« sei auch die Aufgabe re-präsentiert.

Prozess-Takt	Prozessor	VSG	Arbeitsgedächtnis (AG)											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9			
01	Reizfigur erscheint		▪	0: <i>A</i>	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪
02	Reizfigur wahrnehmen (100 ms)	<i>A</i> →	1: <i>A</i>	0: <i>A</i> 70	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪
03	Mit Zielfigur vergleichen (70 ms)	<i>A</i> ←	beide gleich	1: <i>A</i>	0: <i>A</i>	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪
04	Reaktion auslösen (70 ms)	<i>A</i> ←	<i>A</i>	beide gleich	1: <i>A</i> 70	0: <i>A</i> 70	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪
05	Reaktion ausführen (70 ms)	<i>A</i> ←	<i>A</i>	beide gleich	1: <i>A</i> 140	0: <i>A</i> 140	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪

Erläuterung

- 0: ... Merkeinheiten für die Zielfigur
- 1: ... Merkeinheiten für die Reizfigur

Abbildung 25: AG-Durchsatztafel für das Beispiel »Physical Match« (siehe Tabelle 1, S. 37).

Nachdem die Reizfigur - es sei hier ein *z* - auf dem Bildschirm erschienen ist, wird sie im Takt 02 perzeptiv erfasst und über das VSG ins Arbeitsgedächtnis geschrieben. In den folgenden Takten 03 und 04 wird die Bildfigur dieses *z*'s nun als »Z« dekodiert und als Buchstabe klassifiziert. Im Takt 05 wird schließlich die Feststellung getroffen, dass beide Figuren zur Klasse Buchstabe gehören. Dies geschieht unter Aktivierung der Merkeinheiten für die Zielklasse (0: Buchstabe) und derjenigen der Reizfigur (1: Buchstabe). Die resultierende Einheit (»beide gleich«) aktiviert im Takt 06 die Einheit für die Reaktion, welche schließlich im Takt 07 die Handlung auslöst.

Gegenüber der *simple reaction* und dem *physical match* stellen wir beim *class match* eine höhere Beanspruchung der Kapazität des Arbeitsgedächtnisses fest. Die aus der Aufgabe entstandenen Merkeinheiten belegen das AG nun bis zur Stelle 6. Die relevante Belastung zählt jedoch nur bis zur Stelle 4. Hier liegt in Schritt 04 die aufgabenbestimmende Merkeinheit »0: Buchstabe« vor ihrer entscheidenden Nutzung in Schritt 05.

¹ »0:« steht dabei für den 0-ten Schritt und nicht dafür, dass die »0« ein Buchstabe sei.

Prozess-Takt	Prozessor	VSG	Arbeitsgedächtnis (AG)											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9			
01	Reizfigur erscheint		■	0: Buchstabe	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
02	Reizfigur wahrnehmen (100 ms)	z	1: z	0: Buchstabe 70	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
03	Als »Z« entziffern (70 ms)	z	1: Z	1: z	0: Buchstabe 140	■	■	■	■	■	■	■	■	
04	Als Buchstabe klassifizieren (70 ms)	z	1: Buchstabe	1: Z	1: z	0: Buchstabe 210	■	■	■	■	■	■	■	
05	Klassen vergleichen (70 ms)	z	beide gleich	1: Buchstabe	0: Buchstabe	1: Z	1: z	■	■	■	■	■	■	
06	Reaktion auslösen (70 ms)	z	beide gleich	1: Buchstabe	0: Buchstabe	1: Z	1: z	■	■	■	■	■	■	
07	Reaktion ausführen (70 ms)	z	beide gleich	1: Buchstabe	0: Buchstabe	1: Z	1: z	■	■	■	■	■	■	

Erläuterung

- 0: Buchstabe ... Zielklasse
- z ... Reizfigur
- ← ... Umsetzungspfeil

Abbildung 26: AG-Durchsatztafel für das Beispiel des »Class Match« (siehe Tabelle 1, S. 38).

Die Verdrängung von alten durch neue Aktivierungen legt das Bild eines Durchlaufpuffers (*Pipeline*) nahe. Dieses Bild führt aber auf eine falsche Fährte. Denn die Merkeinheiten werden nicht einfach durch das Arbeitsgedächtnis geschoben, wie durch eine Röhre und fallen heraus, wenn sie an deren Ende gelangt sind. Vielmehr kann es vorkommen, dass eine Merkeinheit, die noch aktiviert ist, aber seit einigen kognitiven Takten nicht mehr verwendet wurde, bei einem nächsten Takt wieder benutzt wird. Damit gelangt sie, um im Bild der Pipeline zu bleiben, wieder näher an deren Eingang. Es kann also durchaus eine Umsortierung innerhalb der »Pipeline« stattfinden, wie im Beispiel des *class match* in Abbildung 26 zu sehen ist: Von Takt 04 nach 05 wird die Merkeinheit »0: Buchstabe« durch ihre Aktivierung wieder weiter nach links gerückt (gekennzeichnet durch das ↰-Symbol).

4.3 Die Verdrängungsharfe zur Analyse der Beanspruchung des Arbeitsgedächtnisses

Mit der Durchsatztafel für Merkeinheiten im Arbeitsgedächtnis, wie sie mit Abbildung 24 für die *simple reaction* eingeführt und mit den Abbildungen 25 und 26 für *physical* und *class match* nach dem Vorbild von Card et al. (1983) weiter ausgeführt wurden, lässt sich für eine Folge perzeptiver, kognitiver und motorischer Prozess-Takte die Belastung des Arbeitsgedächtnisses mit aufgabenbezogenen Merkeinheiten sowie deren Verfall über die Zeit nachvollziehen. Eine leistungsmindernde Überbeanspruchung liegt dann vor, wenn diejenigen Merkeinheiten durch Verdrängung oder Verfall verloren gehen, die für einen nachfolgenden kognitiven Takt benötigt werden.

Als Indikation für die Überbeanspruchung sollen alle Merkeinheiten sortiert nach der Stelle im Arbeitsgedächtnis aufgetragen werden, an der sie vor ihrer Verwendung durch einen kognitiven Takt stehen. Eine dementsprechende Darstellung führt Abbildung 27 am Beispiel der *simple reaction* ein. Der obere Teil der Abbildung wiederholt die Durchsatztafel von Abbildung 24. Der untere Teil zeigt die hier so genannte *Verdrängungsharfe*. Jede Zeile in der Verdrängungsharfe wird durch eine Merkeinheit gebildet, die in einem der kognitiven Prozess-Takte genutzt wird. In der zweiten Spalte von links ist angegeben, ab welchem Prozess-Takt diese Einheit vorliegt, in der folgenden Spalte, in welchem Takt ihre so genannte *kritische Erinnerung* erfolgt. Als kritische Erinnerung gilt diejenige von möglicherweise mehreren Nutzungen der Merkeinheit, vor deren Takt sie am weitesten verdrängt wurde. Die in der Verdrängungsharfe folgenden Spalten zeigen die Stellen im Arbeitsgedächtnis an. Für jede betroffene Merkeinheit ist ein Balken bis zu derjenigen Stelle gezogen, zu der die Merkeinheit vor der kritischen Erinnerung verschoben wurde.

Im Falle der *simple reaction* liegt die aufgabenbestimmende Merkeinheit »Bei Reiz tasten« bereits im Takt 01 vor, wird im Takt 03 genutzt und liegt vor diesem Takt an Stelle 2 im Arbeitsgedächtnis.

Angewendet auf alle der in Kapitel 4.2 mit Durchsatztafeln analysierten Aufgaben ergibt sich die Gegenüberstellung von Abbildung 28. Daraus ist erkennbar, dass in den diskutierten Fällen immer die aufgabenbestimmende Merkeinheit die kritische Merkeinheit ist, d. h. diejenige von allen, die am weitesten verdrängt wurde. Alle anderen genutzten Merkeinheiten haben nur eine Verdrängungstiefe

von 1. Je komplexer die Aufgabe ist, desto höher ist nicht nur die Anzahl der kognitiven Takte, sondern desto höher ist auch die maximal erreichte Verdrängungstiefe.

Aus der Verdrängungsharfe lässt sich folgendes ablesen:

A) Nimmt man eine feste Schwelle für die erlaubte Verdrängungstiefe an (z. B. $\mu_{AG} = 7$), dann kann man für ein bestimmtes Modell der Aufgabenlösung feststellen, ob die Aufgabe auf diesem Wege mit der Kapazität des Arbeitsgedächtnisses überhaupt lösbar ist. Wenn auch nur eine genutzte Merkeinheit in der Verdrängungsharfe diese Schwelle überschreitet, wäre die Aufgabe so nicht lösbar. Kann eine verlorene Merkeinheit überhaupt nicht mehr wiedergewonnen werden, müsste die Bearbeitung der Aufgabe abgebrochen werden. Nicht reaktivierbar sind beispielsweise Merkeinheiten, die aufgrund der Wahrnehmung eines kurzen, flüchtigen Ereignisses gewonnen wurden. Merkeinheiten, die im Langzeitgedächtnis verankert sind, können reaktiviert werden. Dies erfordert jedoch wenigstens einen weiteren kognitiven Takt, der Zeit in Anspruch nimmt, die kognitive Belastung erhöht und wiederum andere Merkeinheiten verdrängt. In vielen Fällen muss man bei der aktiven Erinnerung in mehreren kognitiven Takten eine Assoziationskette bis hin zu der zu erinnernden Einheit nachvollziehen. Dies vervielfacht die Gefahr der Verdrängung anderer, für die Aufgabe wesentlicher Merkeinheiten. Und es erhöht die Gefahr der Ablenkung, wenn man auf dem Assoziationsweg zu der Zieleinheit an Einheiten hängen bleibt, die einen auf einen anderen Weg führen¹.

B) Nimmt man *keine* feste Schwelle für die Verdrängungstiefe an, sondern geht eher davon aus, dass mit höherer Verdrängungstiefe schlicht die Wahrscheinlichkeit des Vergessens steigt, dann kann man anhand der Verdrängungsharfe wenigstens verschiedene Varianten der Aufgabenlösung gegenüberstellen und diejenige bevorzugen, welche die geringste maximale Verdrängungstiefe aufweist, selbst wenn diese die Schwelle von 7 überschreitet.

¹ Wie der vertraute Effekt des Hängenbleibens an einem nicht gesuchten, aber Interesse erweckenden Wort, während man ein Lexikon nach einem bestimmten Begriff durchblättert.

4 HPML: Grafische Ablaufbeschreibung für den Model Human Processor

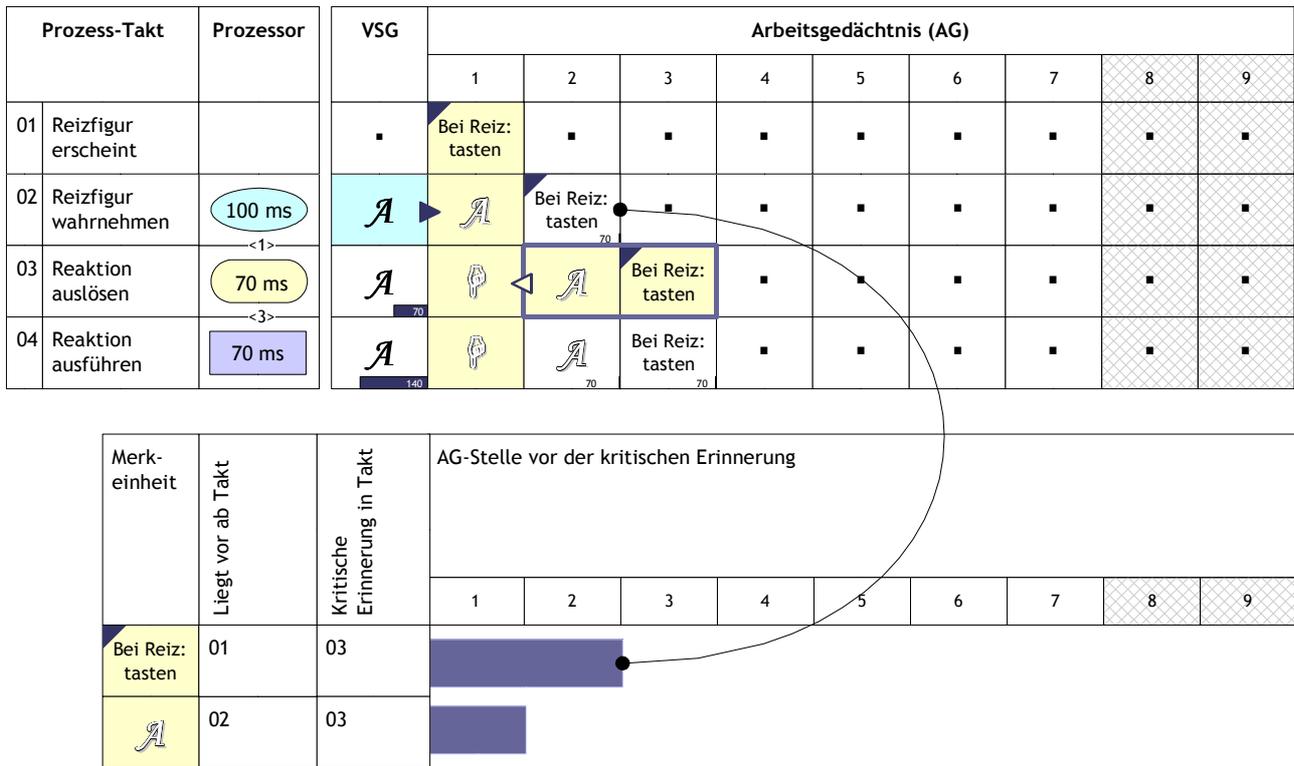


Abbildung 27: Die Verdrängungsharfe am Beispiel der *simple reaction* (vgl. Abbildung 24).

Die Darstellungsformen der Durchsatztafel und der daraus abgeleiteten Verdrängungsharfe sind, dies sei hier angemerkt, nur eine grobe Näherung an die tatsächlichen Verhältnisse. Zum einen ist für einen bestimmten Menschen nicht bekannt, wie viel Information er jeweils als *eine* Merkeinheit speichert - das hängt von seinem individuellen Ausbildungs- und Erfahrungsgrad ab. Zum anderen sind die Angaben für μ und δ aus dem MHP in weiten Intervallen angegeben, deren tatsächliche Werte nicht nur von dem untersuchten Menschen selbst sondern auch von der spezifischen Situation abhängen, in der er sich gerade befindet. Die hier eingeführte Kapazitätsbetrachtung kann also ausschließlich eine Tendenz liefern, bei welchen Aufgaben *im Mittel* mit einem Vergessen von Merkeinheiten durch Verdrängung zu rechnen ist.

Bevor diese Beanspruchungsbetrachtung auf die bildgestützte Szenenerkundung am Bildschirmarbeitsplatz angewendet wird, soll im folgenden Kapitel in die Szenenerkundung als Arbeitsaufgabe mit ihren Tätigkeiten eingeführt und anschließend zusammen mit den Bedientätigkeiten der Einstellung am Abbildungssystem mittels der HPML beschrieben werden.

4.3 Die Verdrängungsharfe zur Analyse der Beanspruchung des Arbeitsgedächtnisses

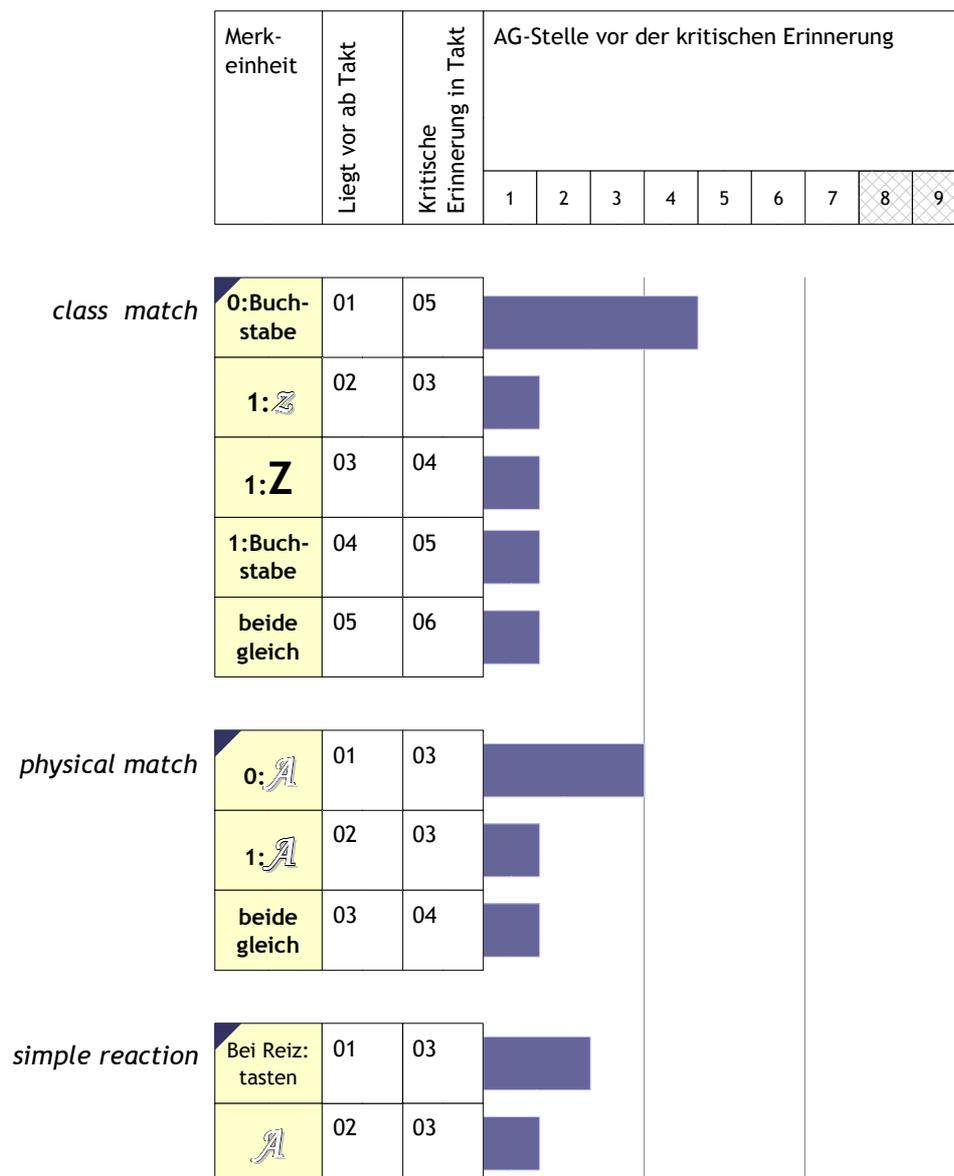


Abbildung 28: Gegenüberstellung der Verdrängungsharfen für *simple reaction*, *physical match* und *class match*.

5 Bildgestützte Szenenerkundung als Arbeitsaufgabe

5.1 Die Szene

Aufgabe der Szenenerkundung ist es, Ereignisse einer interessierenden Gegenstandsklasse in einem bestimmten räumlichen und zeitlichen Ausschnitt der Realwelt zu bestimmen. Dieser räumliche, zeitliche und gegenständliche Ausschnitt sei unter dem Begriff *Szene* zusammengefasst. Die Grenzen der Szene in den genannten Dimensionen seien als deren Hülle bezeichnet (Abbildung 29 und Beispiele unten).

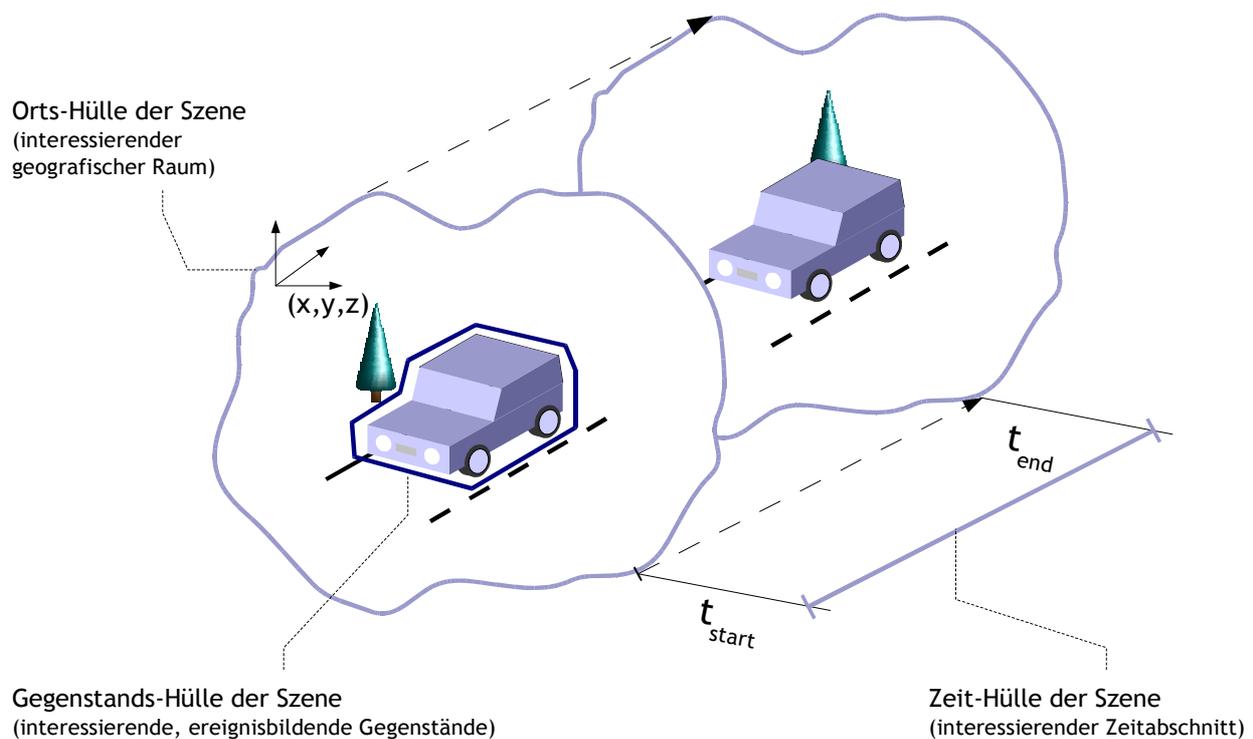


Abbildung 29: Definition der Szene.

Beispiele:

Ein Augenarzt bestimmt ein Ereignis der Klasse »Entzündung« (Gegenstandshülle) im linken Auge eines Patienten (räumliche Hülle) vier Wochen \pm zwei Tage nach der Verschreibung von Augentropfen (zeitliche Hülle).

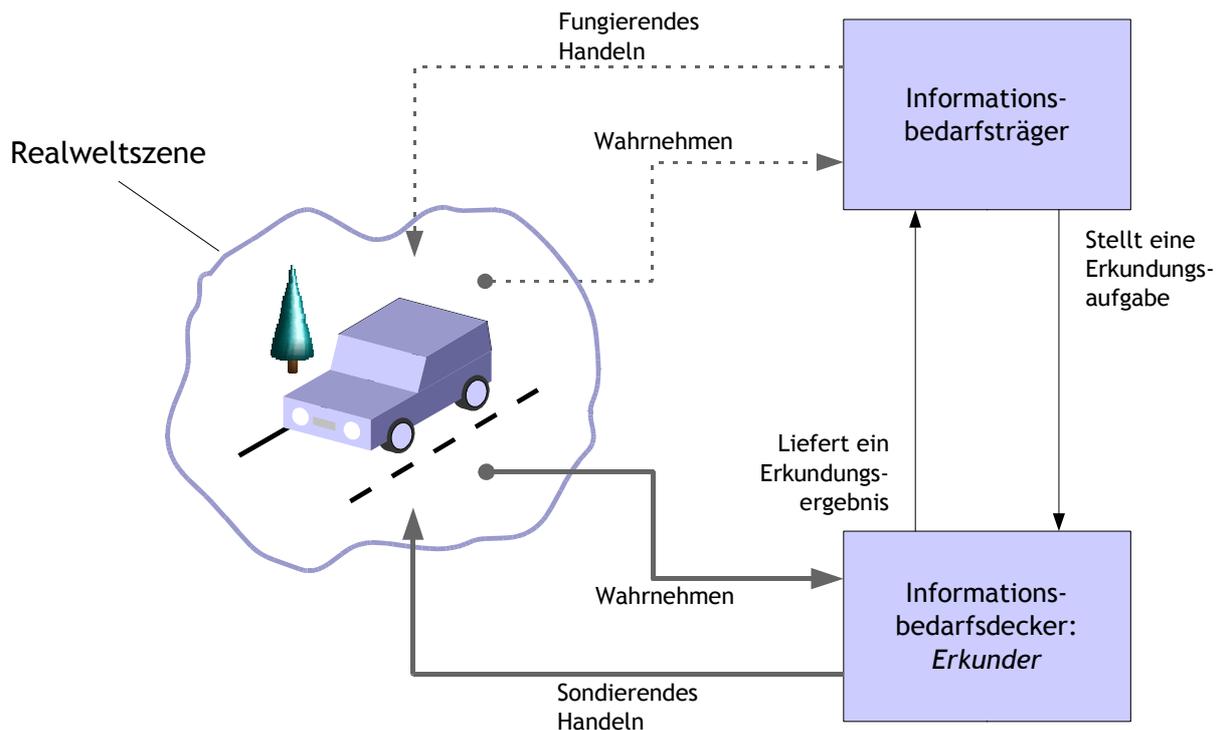
Ein Wachmann bestimmt ein Ereignis der Klasse »Person« (Gegenstandshülle) in einem zu schützenden Betriebsgelände (räumliche Hülle) spätestens eine Minute nach Eintreffen eines Alarms (zeitliche Hülle).

Ein Güteprüfer bestimmt ein Ereignis der Klasse »Riss« (Gegenstandshülle) in der Flügelwurzel eines Flugzeugs (räumliche Hülle) nach der 300sten und vor der 325sten Flugstunde (zeitliche Hülle).

Das Ergebnis der Szenenerkundung ist Information über diejenigen Ereignisse der Szene, die für eine weiterführende Aufgabe relevant sind. Die Relevanz wird bestimmt durch den Grund, aus dem heraus die Szenenerkundung vorgenommen wird. Sie ist in der Regel kein Selbstzweck, sondern Teil einer umfassenden Aufgabe. Um die Szenenerkundung als Arbeitsaufgabe isolieren zu können, sei angenommen, dass eine bestimmte, als *Informationsbedarfsträger* bezeichnete Auftraggeberinstanz in irgendeiner Weise und zu irgendeinem Zweck mit der Szene wechselwirken will (hier als fungierendes Handeln bezeichnet) und dazu Bedarf an Information über die Szene habe. Zur Deckung dieses Informationsbedarfs erteile sie einen Erkundungsauftrag an eine Auftragnehmerinstanz, den hier so genannten *Erkunder*, der den spezifischen Informationsbedarf deckt. Auch diese Instanz muss mit der Szene wechselwirken; allerdings nur zu dem Zweck, Information über sie zu gewinnen (hier als sondierendes Handeln bezeichnet). Abbildung 30 illustriert diese Aufgabenteilung. Informationsbedarfsträger und -decker sind abstrakte Einheiten. Sie können, müssen aber nicht personell getrennt sein. Beauftragt eine Ehefrau einen Privatdetektiv, um verdeckte Information über ihren Gatten zu gewinnen, sind beide Instanzen verschiedene Personen. Der Detektiv wird sich hüten, fungierend zu handeln und sein sondierendes Handeln mit äußerster Vorsicht gestalten. Im Beispiel des Augenarztes auf Seite 69 sind beide Instanzen eins, weil der Arzt höchstwahrscheinlich selbst die Therapie einleiten wird, die sich aus seiner Diagnose herleitet.

Die Szenenerkundung als Arbeitsaufgabe ist also eine beauftragte Wahrnehmung. Die *bildgestützte* Szenenerkundung löst diese Aufgabe, indem sie *Bildereignisse* bestimmt, die von einem Abbildungssystem aus der Realweltszene heraus erzeugt werden. Bildereignisse sind Abbildungen von Szenenereignissen auf den Bild-

schirm. Sie zu bestimmen heißt, diejenigen visuellen Reize auf dem Bildschirm, die von interessierenden Szenenereignissen hervorgerufen werden, zu erkennen und zu verstehen. Das sondierende Handeln besteht dementsprechend im Wesentlichen darin, das Abbildungssystem so einzustellen, dass es die relevanten Szenenereignisse in einer für die Szenenerkundung optimalen Weise in Bildereignisse überführt.



---- ► Die Interaktion des Bedarfsträgers mit der Szene wird in dieser Arbeit nicht vertieft

Abbildung 30: Abgrenzung der Szenenerkundung als beauftragte Wahrnehmung.

5.2 Das Erkunden als Prozess

Das Stufenmodell der Wahrnehmung aus Kapitel 3.2, S. 23 verlangt, dass ein einzelner Reiz in einer Reihe aufeinander aufbauender Stufen direkt zur Entscheidung führt. Folgt man der Aufgabenteilung aus Abbildung 30, dann ist die abschließende Entscheidung der Szenenerkundung diejenige, die den Anstoß zur Übermittlung der Ereignisbeschreibung an den Auftraggeber gibt. Von der Übernahme des Erkundungsauftrags bis zu dessen Abschluss werden aber bei einer realistisch komplexen Aufgabe viele Reize verarbeitet und eine Reihe von Ent-

scheidungen getroffen, bis dieser Abschluss erreicht ist. So wird der Güteprüfer in einem der obigen Beispiele, selbst wenn ihm der Riss sofort nach dem Einschalten seines Prüfsichtgerät ins Auge fällt, nicht in einem Zuge ohne weiteres Hinsehen einen Prüfbericht verfassen und darin feststellen, dass das Flugzeug schadhaft ist. Vielmehr wird er auch das Umfeld auf weitere Risse prüfen und den Riss genauer in Augenschein nehmen bevor er zu der eigentlichen Entscheidung gelangt, die seine Aufgabe von ihm fordert. In der Regel fällt ihm solch ein Riss auch erst nach einigen Schritten des gezielten Suchens auf.

Das sequenzielle Aufnehmen von Reizen mit dem Ziel, sich ein für die Lösung der Aufgabe hinreichendes Bild der Szene zu machen, ist der *Prozess des Erkundens*. Es besteht aus einer örtlichen und zeitlichen Durchmusterung der Szene mittels ihrer Abbildung. Die Durchmusterung verkörpert sich in einer Folge visueller Fixationen, die jeweils einen engeren Ortausschnitt des Szenenbildes für einen gewissen Zeitabschnitt erfassen. Im Lexikon der Mensch-Maschine-Kommunikation (Charwat (1994), S. 460) ist ein einfaches Modell für das Erkunden und die Einflüsse darauf abgebildet (Abbildung 31). Die Erkundung wird danach durch Ereignisse gesteuert. Im Falle der bildgestützten Szenenerkundung sind dies die Bildereignisse. Die visuelle Auffälligkeit eines Bildereignisses erleichtert dessen Perzeption. Das Abbildungssystem muss so beschaffen und eingestellt sein, dass es die zu erkennenden Ereignisse der Gegenstandswelt in Bildereignisse mit ausreichender Auffälligkeit abbildet. Damit wird der Prozess der Erkundung als einer Folge von Wahrnehmungen durch die Auffälligkeit der Bildereignisse gelenkt. Voraussetzung dafür, dass Erkundung überhaupt stattfindet, ist die Konzentration bzw. die Aufmerksamkeit des Beobachters, die durch dessen Motivation und/oder Erwartung willentlich gelenkt, durch Monotonie, psychische Sättigung und/oder Ermüdung gemindert wird. Der Einfluss von Motivation, Monotonie, psychischer Sättigung und Ermüdung wird in dieser Arbeit nicht weiter untersucht, sondern als konstant auf günstigem Niveau angenommen. Die Annahme der günstigsten Umstände sei hier als *Opportunitätsprinzip* bezeichnet. Der Einfluss der Erwartung wird dagegen in Betracht gezogen. Die Erwartung wird zum einen durch die Parameter des Erkundungsauftrags bestimmt (Orts-, Zeit- und Gegenstandshülle). Zum anderen entwickelt sie sich im Laufe der Erkundung mit fortschreitender Kenntnis über die Szene.

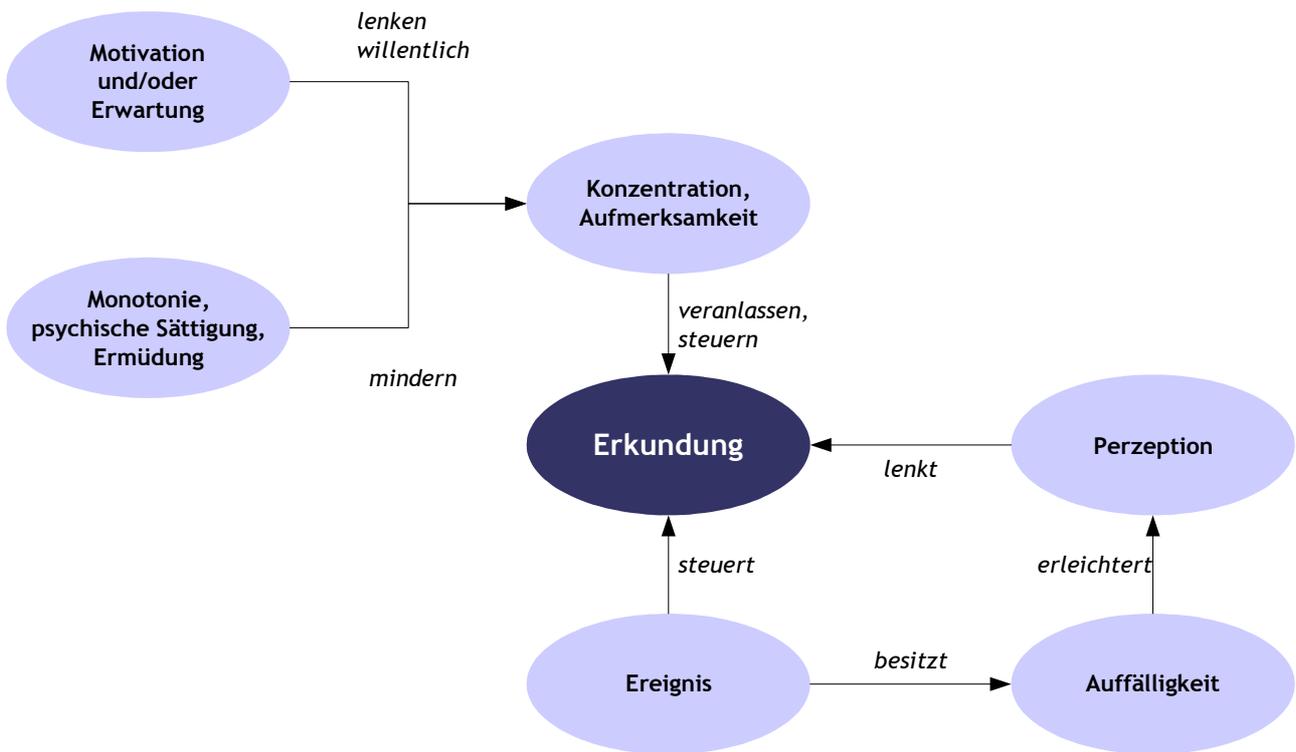


Abbildung 31: Erkunden und die Einflüsse darauf (aus Charwat (1994), S. 460).

5.3 Die Rolle der Blickbewegung

Die Szenenerkundung wird als eine Arbeitsaufgabe angesehen, die durch Willensanstrengung bearbeitet wird. Deshalb kann man davon ausgehen, dass die Folge der Fixationen einer bewussten Leistung des Beobachters entspringt. Man spricht dabei von intentionalem, also absichtsbefahertem Sehen. Am Bildschirmarbeitsplatz ist die zu überblickende Fläche relativ klein, sodass Augenbewegungen in der Regel ausreichen, um von einer zur nächsten Fixation zu wechseln. Solche Augenbewegungen werden als Sakkaden bezeichnet (siehe Abbildung 32)¹. Betrachtet man die Blickbewegung als eine Handlung, für die es einen Anstoß geben muss, dem wiederum eine Entscheidung vorausgeht, dann befindet man sich an der Endstufe des Stufenmodells der Wahrnehmung aus Kapitel 3.2, S. 23. Vom Erfassen des Reizes bei einer visuellen Fixation bis zur Entscheidung, wohin man die nächste Fixation lenken will, müssen also alle Stufen durchlaufen worden sein.

¹ Zur Vertiefung des Themas »Blickbewegungen in der Mensch-Maschine-Systemtechnik« sei auf Rötting & Seifert (1999) verwiesen.

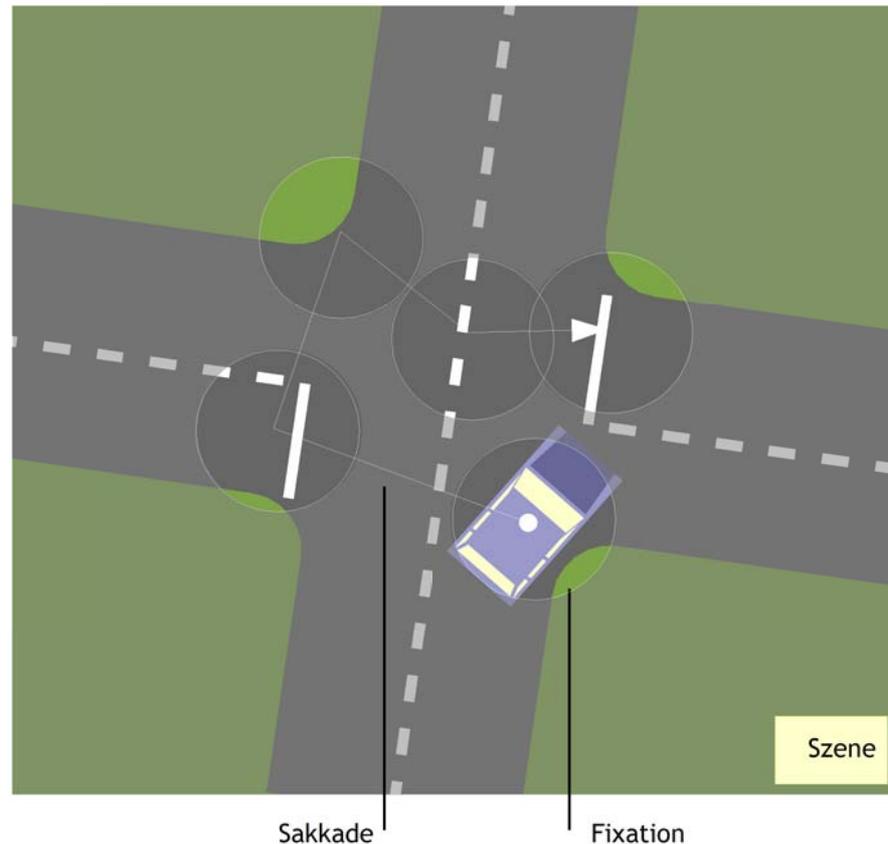


Abbildung 32: Fiktive Durchmusterung eines Szenenbildes durch eine Folge visueller Fixationen, verbunden durch Blicksprünge (Sakkaden).

Mit Blick auf den MHP liegt zunächst die Vorstellung nahe, dass jeder Stufe des Stufenmodells der Wahrnehmung in unmittelbarer zeitlicher Folge ein perceptiver oder kognitiver Prozess-Takt des MHP zuzuordnen ist. So ist das Stufenmodell jedoch *nicht* zu verstehen. Vielmehr ist das Ergebnis der jeweils vorangehenden Stufe Voraussetzung für die nachfolgende. Ob dieses Ergebnis in dem unmittelbar vorausgehenden Takt erbracht wurde oder als Ergebnis eines weiter zurückliegenden Takts noch im Arbeitsgedächtnis (AG) gespeichert vorliegt, ist im Stufenmodell ohne Belang.

Die beiden Stufen der Perzeption, Empfangen und Empfinden, sind dem perceptiven Prozessor zuzuordnen (Abbildung 33). Die Empfindung kann als das ins Sinnesgedächtnis eingeschriebene Perzept aufgefasst werden, die Figur als deren Repräsentation in Form einer Merkeinheit im Arbeitsgedächtnis. Laut MHP geschieht dies gleichzeitig, da Perzept im Sinnes- und Merkeinheit im Arbeitsgedächtnis nur verschiedene Repräsentationen derselben Information sind. Vom

Auftreten des Reizes bis zum Vorliegen der Figur verstreicht also ein Takt des perzeptiven Prozessors mit der Zykluszeit τ_p . In den folgenden Stufen ist der kognitive Prozessor tätig.

Ist aufgrund des Kontextes und der Erwartung des wahrnehmenden Menschen sofort klar, dass eine bestimmte Bildfigur einer bestimmten Entscheidung für eine Handlung zuzuordnen ist, dann genügt ein einziger kognitiver Takt, um die Stufen bis zur Entscheidung zu vollenden. In dem Beispiel der *simple reaction* aus Tabelle 1 (S. 37) ist schon das bloße Auftreten irgendeiner Reizfigur verknüpft mit der handlungsauslösenden Entscheidung, die vorgegebene Taste zu drücken. In anderen Fällen können mehrere kognitive Takte vom Erkennen bis zum Entscheiden erforderlich sein. Reagiert der Mensch reflexartig auf einen Reiz, fällt der kognitive Anteil vollständig weg. Die Voraussetzungen für die Handlungsauslösung durch bestimmte Reize sind entweder schon von Geburt an gelegt, beispielsweise die unwillkürliche Blickwendung zu einem Blinklicht in der Peripherie des Sehfeldes. Oder sie sind bewusst eingeübt (fertigkeitbasiertes Verhalten nach dem Drei-Ebenen-Modell, Kapitel 3.3). Abbildung 33 illustriert diese Zuordnung.

Damit kann man ohne Bruch mit dem Stufenmodell der Wahrnehmung die Sakkadenfolge den Prozessoren des MHP zuordnen, was mit Abbildung 34 illustriert wird. Für einer reflexartige Sakkade ohne kognitiven Takt ergibt sich für jede Blicksprung eine Mindestzeit von $(\tau_p + \tau_M)$. Card et al. (1983) geben die Zykluszeit zwischen zwei Fixationen mit 230 [70 ~ 700] ms an (Abbildung 15, S. 31). Sie besprechen nicht, welche Prozesse hinter der Augenbewegung stecken, sondern nehmen diese als unabhängigen Vorgang an. Betrachten wir die untere Grenze, dann liegt diese mit 70 ms nicht weit entfernt von $(\tau_p + \tau_M = 80 \text{ ms})$, wenn man für die beiden Prozessoren die jeweils kürzest angegebene Zykluszeit annimmt (50 ms + 30 ms). Die mittlere Zykluszeit von 230 ms entspricht etwa derjenigen bei einfachster kognitiver Betätigung, wobei hier für die einzelnen Prozessoren ebenfalls die mittleren Zeiten angenommen werden ($1 \cdot \tau_p + 1 \cdot \tau_C + 1 \cdot \tau_M = 100 \text{ ms} + 70 \text{ ms} + 70 \text{ ms} = 240 \text{ ms}$). Es spricht also einiges dafür, dass die Blickbewegung auch mit dem MHP erklärt werden kann; vor allem, weil das einfachste intentionale Sehen, bei dem jeder Fixationswechsel durch wenigsten einen kognitiven Takt angestoßen und gesteuert wird, annähernd mit dem angegebenen Mittelwert von 230 ms übereinstimmt. Die längste Zykluszeit der Blickbewegung von 700 ms überschreitet die Summe der Maximalzeiten für die Prozessoren (200 ms + 170 ms + 100 ms = 470 ms). Dies lässt sich jedoch dadurch erklären, dass bei komplexeren Szenen mehrere kognitive Takte notwendig sein können, um einen Blickwechsel zu steuern.

Für die weiteren Überlegungen in dieser Arbeit wird also angenommen, dass die Blickbewegung beim Erkunden einer Szene im Sinne des intentionalen Sehens durch wenigstens einen kognitiven Takt gesteuert wird, dem ein perzeptiver Takt vorausgeht und ein motorischer folgt, nämlich der für die Ansteuerung der Augenmuskeln.

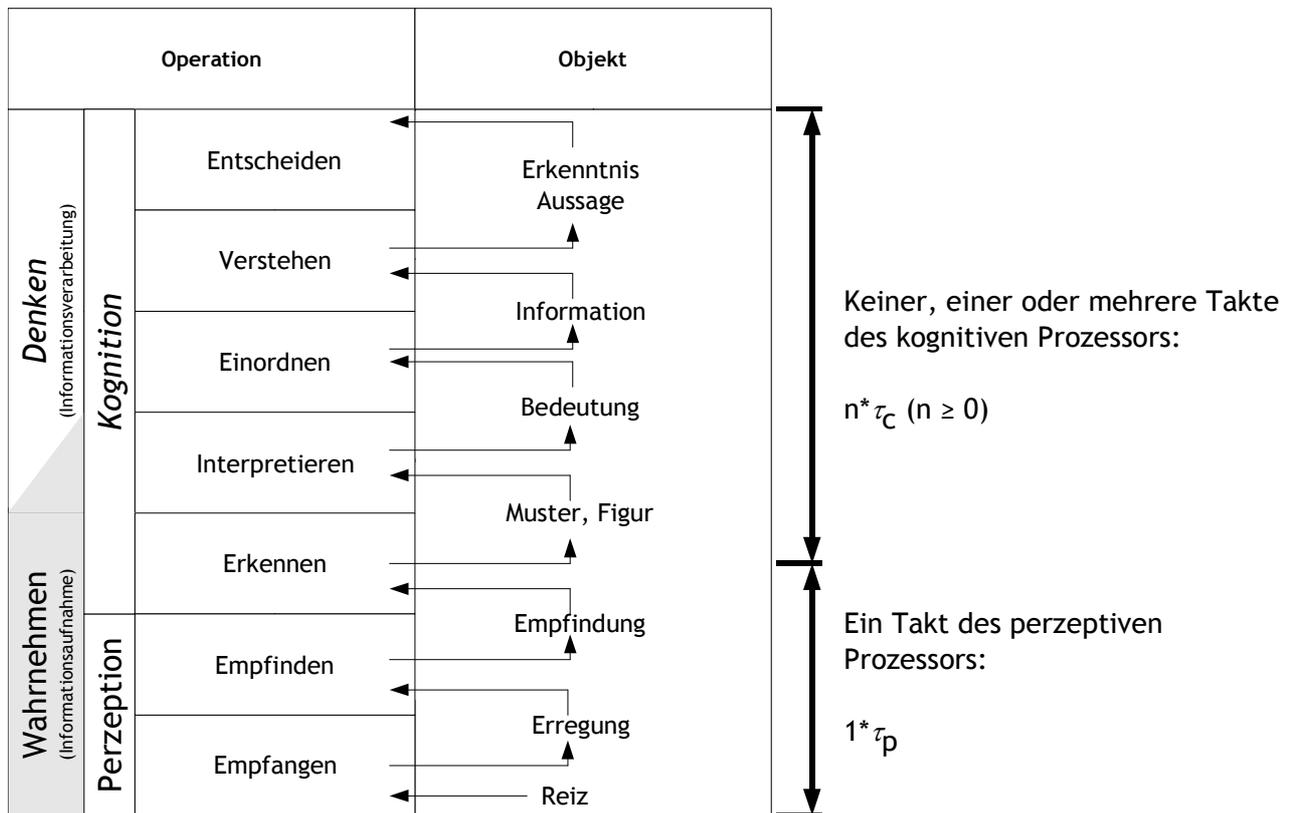


Abbildung 33: Zuordnung der Prozessortakte aus dem *Model Human Processor* (MHP: Kapitel 3.5) auf das Stufenmodell der Wahrnehmung (Abbildung 11, S. 23).

5.4 Visuelle Integration

Die Erkundung schafft also über eine Folge von Fixationen hinweg ein integriertes Bild der Szene. Dies entspricht dem Zyklusmodell der Wahrnehmung nach Neisser (1975) (Abbildung 35). Reize aus dem Umfeld und die daraus folgenden Perzepte, also deren physikalische Repräsentation im visuellen Sinnesgedächtnis (siehe Kapitel 3.5), verändern Schemata im Gedächtnis des Menschen. Diese Schemata wiederum prägen die Erwartung bezüglich der Szene, welche die Aufmerksamkeit als wesentliche Einflussgröße der Erkundung willentlich lenkt (siehe Ab-

bildung 31, S. 72). Die Erkundung selbst tastet das Umfeld perzeptiv ab, erfasst dabei Reize und gewinnt daraus Perzepte. Der Zyklus ist geschlossen. Neisser hat für die Gedächtnis-Schemata den Begriff der *kognitiven Landkarte* geprägt. Diese Metapher ist in zweierlei Hinsicht treffend. Eine Landkarte ist einerseits eine beschränkte symbolische Repräsentation einer Szene. Eine kartierte Szene kann als erkundet gelten, was denjenigen Gegenstandsbereich betrifft, der mit den Symbolen der Kartenlegende ausgedrückt werden kann. Zum anderen ist sie die Grundlage für die Orientierung im repräsentierten Gelände. Diese Orientierung ist vordergründig eine räumliche. Aber sie dient auch der perzeptiven Antizipation also der geistigen Vorwegnahme eines zu erwartenden Reizes. Diese Vorwegnahme schärft gewissermaßen die Sinne für die Klasse der zu erwartenden Reize. Diese Schärfung findet aber nicht im Sinnesorgan statt, sondern im Arbeitsgedächtnis.

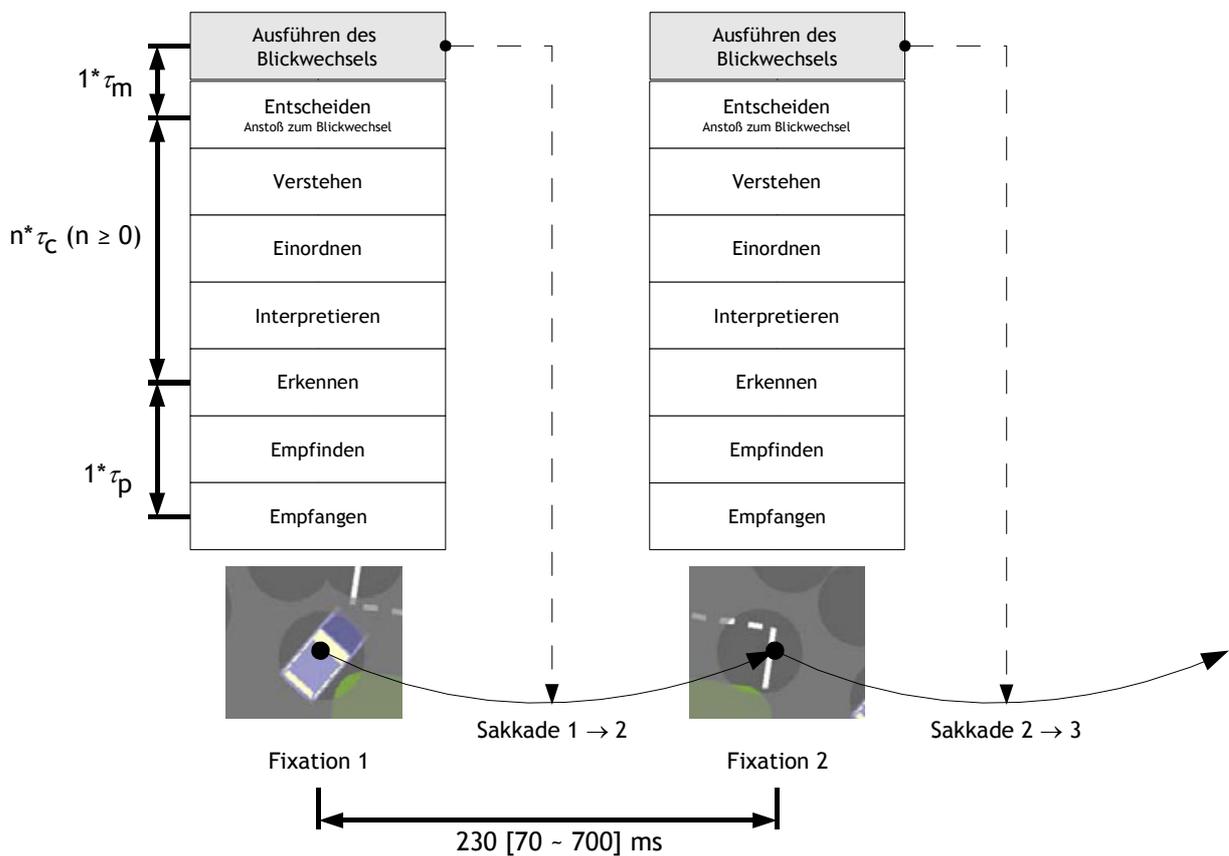
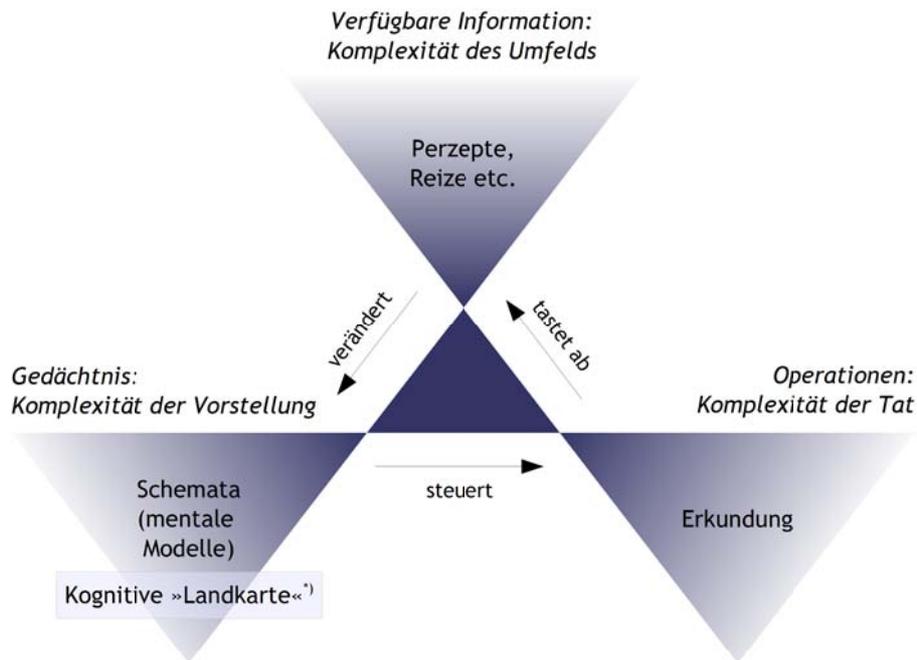


Abbildung 34: Durchlaufen der Wahrnehmungsstufen nach Abbildung 33 für den Blickwechsel (Abbildung 32).

Wie in Kapitel 3.5 am *Model Human Processor* ausgeführt, liegt ein Perzept, sobald es in das Sinnesgedächtnis geschrieben ist, auch als Merkeinheit im Arbeitsgedächtnis vor. Merkeinheiten im AG sind aber aktivierte Inhalte des Langzeitgedächtnisses. Die Aktivierung im LZG arbeitet über Assoziationsketten. Dabei sind verschiedene Pfade zu einer bestimmten Merkeinheit begehbar. Die perzeptive Schärfung bedeutet sozusagen das »Auslegen« einer günstigen Assoziationskette durch Setzen eines entsprechenden Ankers im Arbeitsgedächtnis.



*) Ergänzung durch den Autor

Abbildung 35: Wahrnehmungszyklus nach Neisser (1975) mit Erweiterung nach Rauterberg (1999) (*kursiv* geschriebene Ergänzungen).

Wesentlich für die flüssige Bearbeitung der Erkundungsaufgabe ist es also, dass jede in einem RAC neu aktivierte Merkeinheit Teil einer Kette von Assoziationen ist, welche die visuellen Fixationen zu einer Feststellung über die Szene hin konvergieren lassen. Ungünstig für die Bearbeitung einer Erkundungsaufgabe ist es, wenn die Assoziationskette aus der Gegenstandswelt der Szene herausspringt. Dies ist aber der Fall, wenn sich der Erkunder zwischendurch zur Bearbeitung von Bedienungsaufgaben in der Welt des Bildschirmarbeitsplatzes orientieren muss. In welchem Maße dies für die Lösung der Szenenerkundung als Arbeitsaufgabe erträglich und wie es durch bestimmte Interaktionsformen für die Bedienungsaufgaben beeinflusst wird, ist Gegenstand der folgenden Kapitel.

6 Analyse der Ressourcenkonkurrenz bei der Szenenanalyse am Bildschirmarbeitsplatz

6.1 Ortsbestimmung als Fundamentalaufgabe der Szenenerkundung

Die Szenenerkundung als Arbeitsaufgabe hat das Ziel, Ereignisse einer interessierenden Gegenstandsklasse in einem bestimmten räumlichen und zeitlichen Ausschnitt der Realwelt zu bestimmen (wie in Kapitel 5.1, S. 68 f. ausgeführt). Es wird angenommen, dass der Erkunder die Szene »an sich« kennt. Das heißt, der interessierende Gegenstandsbereich innerhalb der durch den Auftrag gegebenen zeitlichen und örtlichen Szenenhülle ist ihm vertraut. Unbekannt sind dem Erkunder spezifische, den Auftraggeber interessierende Ereignisse innerhalb dieser Hülle. Diese Ereignisse gilt es zu bestimmen. So kennt der Wachmann in einem der Beispiele auf S. 69 das Betriebsgelände an sich schon vor der Erkundung, nicht jedoch dessen aktuellen Zustand im Bezug auf mögliche Eindringlinge.

Die Erkundungsaufgabe zur Ereignisfeststellung gliedert sich damit in drei fundamentale Teilaufgaben, hier auch als Fundamentalaufgaben bezeichnet:

- Sachbestimmung,
- Zeitbestimmung und
- Ortsbestimmung.

Die reine *Sachbestimmung* bedeutet das Feststellen desjenigen Sachverhalts, der einen bestimmten Ort zu einer bestimmten Zeit kennzeichnet. Sie muss also an einem fest umrissenen Ort und bei eingefrorener Zeit die Menge der möglichen und im Sinne des Auftrags relevanten Sachverhalte solange durchprüfen, bis der zutreffende gefunden ist. Beispiel: Der Wachmann untersucht nach einer Alarmmeldung im Videobild eines bestimmten Zaunabschnitts eine bestimmte Auffälligkeit daraufhin, ob sie die Spuren eines unerlaubten Eindringens zeigt. Die reine *Zeitbestimmung* sucht dagegen den Zeitabschnitt festzustellen, in dem ein bestimmter Sachverhalt sich an einem bestimmten Ort ereignet. Hier gilt es, einen fest umrissenen Ort so lange zu beobachten, bis dort ein relevanter Sachverhalt auftritt. Beispiel: Der Wachmann hält einen bestimmten Zaunabschnitt permanent im Auge und prüft, ob ein unerlaubtes Übertreten vorliegt oder nicht. Umgekehrt be-

deutet die reine *Ortsbestimmung* das Feststellen des Ortes eines fest umrissenen Sachverhalts bei eingefrorener Zeit. Beispiel: Der Wachmann durchmustert das nach einer Eindringmeldung aufgenommene Überblicksbild des Betriebsgeländes danach, wo die vermutlich eingedrungene Person sich zum Zeitpunkt der Aufnahme aufgehalten hat.

Jede dieser Teilaufgaben kann für sich genommen eine vollständige Erkundungsaufgabe darstellen und entsprechend beauftragt werden. Meistens besteht die Erkundungsaufgabe jedoch aus einer Mischung dieser drei Teilaufgaben, wobei die Sachbestimmung immer enthalten ist. Denn auch bei der Orts- bzw. Zeitbestimmung ist jeder Orts- oder Zeitabschnitt innerhalb des vorgegebenen Gebiets daraufhin zu untersuchen, ob der gesuchte Sachverhalt dort vorliegt oder nicht.

Die weitere Untersuchung in dieser Arbeit wird auf die *Ortsbestimmung*, konzentriert. Sie beherrscht eine Vielzahl von Anwendungsfällen und verlangt bei ausgedehnten Szenen erfahrungsgemäß häufige Veränderungen der Einstellung des Abbildungssystems. Die Ortsbestimmung besteht in ihrer Grobstruktur darin, dass anhand der Abbildung die gesamte Szene abschnittsweise daraufhin untersucht wird, ob in dem jeweils betrachteten Abschnitt das gesuchte Ereignis, im folgenden als *Zielereignis* bezeichnet, vorliegt oder nicht. Die Suche wird abgebrochen, wenn

- die Szene vollständig abgesucht ist *oder*
- die Anzahl der maximal erwarteten Ereignisse erreicht ist *oder*
- die vom Auftraggeber eingeräumte Frist verstrichen ist.

Die Suche besteht aus einer Folge visueller Fixationen (siehe Kapitel 5.3). Bei jeder Fixation werden Voraussetzungen in folgender Sequenz geprüft:

- [1] Ist der Szenenhintergrund erkannt?
- →→ [2] Ist ein Zielverdacht wahrnehmbar?
- →→ [3] Ist der Zielverdacht ein Ziel?

Diese drei Fragen bilden die wesentlichen kognitiven Aktivitäten bei der Aufgabe »Ortsbestimmung«. Der Doppelpfeil zeigt einen Voraussetzungscharakter an: Nur, wenn die jeweils vorausgehende Frage mit JA beantwortet werden kann, gleichgül-

tig, ob durch einen unmittelbar vorausgehenden Wahrnehmungsakt oder aus der Erinnerung, kann die Folgefrage angegangen werden. Ist auch die letzte Frage [3] mit JA beantwortet, kann ein Abschnitt in der Ortsbestimmung vollendet werden.

Dieser Aktivitätenablauf soll in HMPL entsprechend Kapitel 4.1. übertragen werden. Abbildung 36 gibt dies wieder. Am Beginn der Erkundung wird die vom Auge fixierte Bildregion mit einem Takt des perzeptiven Prozessors erfasst und als Perzept ins visuelle Sinnesgedächtnis geschrieben. Der Prozessorknoten für diesen perzeptiven Schritt ist zusätzlich mit einem schwarzen Punkt versehen. Er kennzeichnet, dass es sich hier um eine Perzeption des Szenenbildes handelt, abgesetzt von später behandelten Perzeptionen des Bildschirmarbeitsplatzes.

Als Merkeinheit interpretiert, steht das in diesem Takt erfasste Perzept den folgenden Takten des kognitiven Prozessors zur Verfügung. Die Takte [1] bis [3] müssen nicht direkt nach jeder Fixation allesamt in dieser Reihenfolge kognitiv bearbeitet werden. Deshalb läuft ein Pfeil vom Übergangstyp <1> in *jede* dieser kognitiv zu lösenden Aufgaben. Jeder dieser Übergänge ist also möglich. Nur muss gewährleistet sein, dass die o. g. Voraussetzungen erfüllt sind. Dies wird auch in der Grafik durch den Doppelpfeil von [1] nach [2] und von [2] nach [3] symbolisiert. Weiterhin wird die Möglichkeit eingeräumt, dass ein kognitiver Schritt sich über mehrere Takte des kognitiven Prozessors erstreckt, die hier inhaltlich nicht weiter aufgelöst werden sollen. Dies wird mit dem Rekursionssymbol auf dem Rand einiger kognitiver Takte gekennzeichnet. So kann der Erkunder bei [1], der Erkennung des Szenenhintergrundes in der fixierten Bildregion, ohne Fixationswechsel durchaus einige Takte der Überlegung durch Abrufen verschiedener Vergleichsmuster aus dem Gedächtnis aufwenden, bis er den Hintergrund der wahrgenommenen Region als erkannt speichert. Demgegenüber muss [2] - die Prüfung, ob ein Zielverdacht vorliegt - in einem einzigen Takt beantwortet werden. Denn hier geht es ausschließlich darum, ob eine bestimmte Auffälligkeit in der visuellen Fixation einen Zielverdacht auslöst. Jede genauere Überlegung dazu bleibt dem im JA-Fall folgenden Schritt vorbehalten, nämlich der Prüfung [3], ob der Verdacht gerechtfertigt ist oder nicht. Dass [2] mit nur *einem* Takt modelliert ist, trägt dem Umstand Rechnung, dass dieser der zentrale Takt für die Ortsbestimmung ist. Die genauere kognitive Zerlegung von [1] bzw. [2] würden für die Ortsbestimmung nichts Wesentliches beitragen.

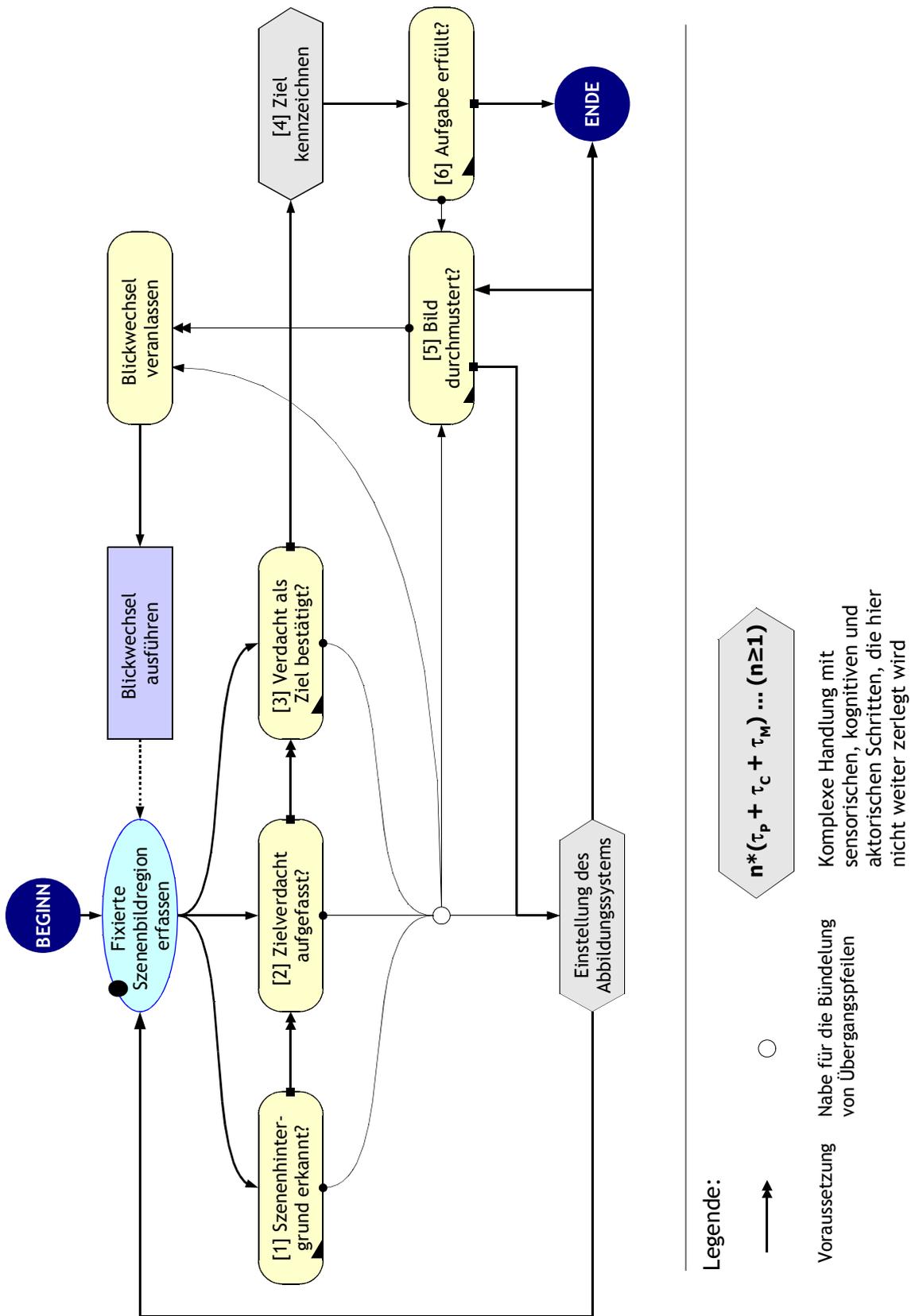


Abbildung 36: Darstellung der Fundamentalaufgabe »Ortsbestimmung« in HPML.

Kann der Szenenhintergrund in einer bestimmten Fixation nicht erkannt werden ([1]), muss, falls noch nicht geschehen, die Umgebung abgetastet werden, damit sich aus der Gesamtschau das Verständnis dafür erschließt. Sticht in der gerade fixierten Bildregion keine Auffälligkeit ins Auge, die auf ein Ziel hindeuten könnte ([2]), muss die nächste Bildregion in Augenschein genommen werden. Konnte eine solche Auffälligkeit festgestellt, sie aber nicht als Ziel bestätigt werden ([3]), muss ebenfalls der nächste Bildbereich untersucht werden. Die weitere visuelle Abtastung ist aber nur dann sinnvoll, wenn die Abbildung noch nicht vollständig durchmustert worden ist. Diese Prüfung wird im kognitiven Takt [5] unternommen. Gibt es noch unbeschauten Regionen auf dem Bild, wird ein Wechsel der Fixation vorgenommen, der zunächst durch einen kognitiven Takt »*Blickwechsel veranlassen*« parametrisiert und durch den motorischen Takt »*Blickwechsel ausführen*« umgesetzt wird. An das Ende der Blickwechselbewegung schließt sich der nächste Perzeptionstakt an. Der Kreis ist geschlossen.

Von der Nabe, welche die Nein-Pfeile aus [1] bis [3] zusammenfasst, ist zusätzlich ein direkter Pfad zu »*Blickwechsel veranlassen*« gelegt. Damit wird ausgedrückt, dass die explizite Prüfung in [5], ob das Bild bereits durchmustert ist, nicht zwingend vorgenommen wird, sondern nur als Voraussetzung gelegt sein muss. Damit wird der Praxis Rechnung getragen, dass meist zu Beginn einer Erkundung das Bild auf einem Routinepfad visuell abgetastet wird und man erst nach dieser Routinedurchmusterung beginnt, sich darüber Gedanken zu machen, ob man wirklich schon jeden relevanten Fleck beschaut hat.

Kann ein Zielverdacht aus [3] heraus bestätigt werden, muss die entsprechende Stelle im Bild für die Ergebnismeldung gekennzeichnet werden (stellvertretend für den Ort in der Szene). Die dafür erforderliche Kennzeichnungsoperation [4] wird hier nicht weiter zerlegt, sondern ist als so genannte *komplexe Operation* durch ein gefülltes Sechseck repräsentiert. Nach jeder Zielkennzeichnung wird gefragt, ob die Aufgabe damit erfüllt ist. Dies schlägt sich in dem kognitiven Takt [6] nieder. Die Aufgabe kann erfüllt sein, wenn eine vorgegebene Anzahl von Zielen geortet ist oder (falls keine Zahl vorgegeben) die Frist zur Bearbeitung abgelaufen ist. Ist die Aufgabe erfüllt (JA-Antwort auf [6]), dann ist die Arbeitsaufgabe gelöst. Im NEIN-Fall ist wieder zu fragen, ob die Abbildung bereits durchmustert ist und, falls nicht, ein Fixationswechsel einzuleiten.

Bevor der Fall diskutiert wird, dass eine der Fragen [1] bis [3] mit NEIN oder die Frage [5] mit JA beantwortet werden muss, also Einstelloperationen am Abbildungssystem fällig werden (hier durch eine gleichnamige komplexe Operation zunächst als Platzhalter vertreten), soll für die bedienungsfreie Bearbeitung der Ortsbestimmung der Durchsatz im Arbeitsgedächtnis bestimmt werden.

6.2 Durchsatz im Arbeitsgedächtnis bei der bedienungsfreien Ortbestimmung

Die Erörterung des Durchsatzes von Merkeinheiten bei der Ortsbestimmung wird hier entsprechende Abbildung 36 auf das Suchen nach einem Zielverdacht ([2]) und die daran anschließende Zielerkennung ([3]) beschränkt. Die Erkennung des Szenenhintergrundes ([1]) ist Voraussetzung für die Zielerkennung und kann somit von den folgenden Schritten [2] und [3] getrennt werden. Da sie nicht die wesentliche Tätigkeit bei der Ortsbestimmung ist, soll sie hier zur Beschränkung des Aufwands nicht weiter diskutiert werden.

Das Durchsatzschema, wie in Kapitel 4.2, S. 57 f. eingeführt, setzt zu Beginn der Bearbeitung voraus, dass aufgabenbestimmende Merkeinheiten vorab geladen, das heißt dem Erkunder gegenwärtig sind. Die reine Aufgabe der Ortsbestimmung besteht darin, bei festgehaltener Zeit innerhalb der räumlichen Szenenhülle eine vom Bedarfsträger geforderte Zielfigur zu finden. Diese Zielfigur muss dem Erkunder also auf jeden Fall gegenwärtig sein. Sie sei im Folgenden von dem Symbol »« vertreten.

Für die Tätigkeit [2], dem Auffassen eines Zielverdachts, ist die Zielfigur als solche meist zu komplex. Dafür muss ein einfaches, auf den ersten Blick erfassbares Auffälligkeitsmerkmal bekannt sein, das dem Erkunder als *Auffälligkeitserwartung* gegenwärtig ist. Wer beispielsweise einen Briefkasten sucht, wird in Deutschland wahrscheinlich seinen Blick für die Farbe gelb schärfen. Nicht nur Briefkästen tragen diese Farbe. Einen Briefkasten von einem anderen gelben Objekt zu unterscheiden ist jedoch bereits Aufgabe der Zielerkennung [3]. Es bleibt hier offen, von welcher Qualität ein solches Auffälligkeitsmerkmal ist. Wesentlich ist nur, dass es existiert, der Erkunder es vorher aus der Zielfigur abgeleitet hat und es ihm gegenwärtig ist. Die Auffälligkeitserwartung sei mit »« symbolisiert. Neben diesen beiden zielbezogenen Größen muss dem Erkunder nun nur noch seine Gesamtlage gegenüber dem Bildschirm und damit gegenüber dem dargestellten Szenenbild gegenwärtig sein. Dies sei mit »« symbolisiert. - Die Systematik der Durchsatztafel verlangt, dass man sich jeweils auf eine bestimmte Abfolge von Perzeptions-, Kognitions- und Aktionstakten festlegt. Diese sollte charakteristisch für reale Abläufe sein.

6.2.1 Erfolgslose Suche nach einem Zielverdacht

Mit der Durchsatztafel in Abbildung 37 wird zuerst derjenige Ablauf analysiert, der sich ergibt, wenn man die Szenenabbildung über mehrere Blickwechsel hinweg *erfolglos* nach einem Zielverdacht abtastet. Er entspricht der mit Abbildung 38 aufgetragenen Folge perzeptiver, kognitiver und motorischer Takte (als Ausschnitt des Gesamtprozesses in Abbildung 36). Die erste Zeile (01) zeigt eine postulierte Startbelegung des Arbeitsgedächtnisses mit der Auffälligkeitserwartung \oplus , der Zielfigur \star und der Lage \square des Erkunders gegenüber dem Bild(-schirm). Alle drei Größen sind hier jeweils als eine einzige Merkeinheit repräsentiert. Dies ist für die Auffälligkeitserwartung zwingend, nicht jedoch für die Zielfigur und die Lage gegenüber dem Bildschirm. Für diese beiden ist es jedoch möglich und wahrscheinlich. Deshalb ist es sowohl zulässig als auch sinnvoll, die Beschränkung auf *eine* Merkeinheit vorzunehmen; denn es geht hier um eine Grenzfallbetrachtung. Wird das Arbeitsgedächtnis also bereits bei der Repräsentation der genannten Größen durch *eine* Merkeinheit bis an die Grenze beansprucht, wird es bei Repräsentation über mehrere Merkeinheiten sicher überbeansprucht.

Die Reihenfolge ist so gewählt, dass die Auffälligkeitserwartung ganz links steht und farbig hinterlegt ist. Sie ist zu Beginn der Erkundung im AG aktiv, weil sie diejenige Größe darstellt, die bei der Tätigkeit [2] als erste herangezogen wird. Obwohl die Auffälligkeitserwartung als erste gegenwärtig sein muss, ist doch das Feld der Zielfigur mit dem blauen Dreieck oben links als aufgabenbestimmende Merkeinheit gekennzeichnet; denn die Auffälligkeitserwartung ist aus der Zielfigur abgeleitet und ohne die Gegenwart der Zielfigur wäre jene wertlos. Wie in Abbildung 24 (S. 60) eingeführt, wird am unteren Rand des Feldes für jede Merkeinheit die Alterung mitgeführt. Die Auffälligkeitserwartung startet, da aktiv, mit null Sekunden. Die beiden anderen könnten bereits ein etwas höheres Speicheralter besitzen. Dies ist jedoch unbestimmt, wird demzufolge hier ignoriert und es wird ebenfalls ein Start-Alter von null Sekunden angenommen.

6.2 Durchsatz im Arbeitsgedächtnis bei der bedienungsfreien Ortbestimmung

Prozess-Takt	Prozessor	VSG	Arbeitsgedächtnis (AG)											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9			
01 Bild erscheint		▪	+	✈	🖥	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪
02 Fixiertes Feld erfassen	100 ms	🌀	1: 🌀	+	✈	🖥	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪
03 [2] Zielverdacht wahrgenommen?	70 ms	🌀	1: ✘	1: 🌀	+	✈	🖥	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪
04 Blickwechsel veranlassen	70 ms	🌀	1: ↻	🖥	1: ✘	1: 🌀	+	✈	▪	▪	▪	▪	▪	▪
05 Blickwechsel ausführen	70 ms	🌀	1: ↻	🖥	1: ✘	1: 🌀	+	✈	▪	▪	▪	▪	▪	▪
06 Fixiertes Feld erfassen	100 ms	🌀	2: 🌀	1: ↻	🖥	1: ✘	1: 🌀	+	✈	▪	▪	▪	▪	▪
07 [2] Zielverdacht wahrgenommen?	70 ms	🌀	2: ✘	2: 🌀	+	1: ↻	🖥	1: ✘	1: 🌀	✈	▪	▪	▪	▪
08 Blickwechsel veranlassen	70 ms	🌀	2: ↻	1: ↻	🖥	2: ✘	2: 🌀	+	1: ✘	1: 🌀	✈	▪	▪	▪
09 Blickwechsel ausführen	70 ms	🌀	2: ↻	1: ↻	🖥	2: ✘	2: 🌀	+	1: ✘	1: 🌀	✈	▪	▪	▪
10 Fixiertes Feld erfassen	100 ms	🌀	3: 🌀	2: ↻	1: ↻	🖥	2: ✘	2: 🌀	+	1: ✘	1: 🌀	✈	▪	▪
11 [2] Zielverdacht wahrgenommen?	70 ms	🌀	3: ✘	3: 🌀	+	2: ↻	1: ↻	🖥	2: ✘	2: 🌀	1: ✘	1: 🌀	✈	▪
12 Blickwechsel veranlassen	70 ms	🌀	3: ↻	2: ↻	🖥	3: ✘	3: 🌀	+	1: ↻	2: ✘	2: 🌀	1: ✘	1: 🌀	✈
13 Blickwechsel ausführen	70 ms	🌀	3: ↻	2: ↻	🖥	3: ✘	3: 🌀	+	1: ↻	2: ✘	2: 🌀	1: ✘	1: 🌀	✈
14 Fixiertes Feld erfassen	100 ms	🌀	4: ✘	3: ↻	2: ↻	🖥	3: ✘	3: 🌀	+	1: ↻	2: ✘	1: 🌀	2: ✘	1: ✘

Erläuterung

- ✈ ... Zielfigur, die wiederzuerkennen ist
- +
- 🖥 ... Repräsentant für die Auffälligkeitserwartung
- 🖥 ... Repräsentant des Bildschirmarbeitsplatzes
- 🌀, 🌀, 🌀, 🌀 ... Fixierte Bildmuster, die keinen Zielverdacht darstellen
- ✘ ... Feststellung, dass fixiertes Muster *kein* Zielverdacht ist
- ↻ ... Blickwechsel

Abbildung 37: AG-Durchsatztafel für das Suchen einer Zielfigur: Hier die über drei Fixationen erfolglose Suche nach einem Zielverdacht (Teilaufgabe [2] nach Abbildung 38).

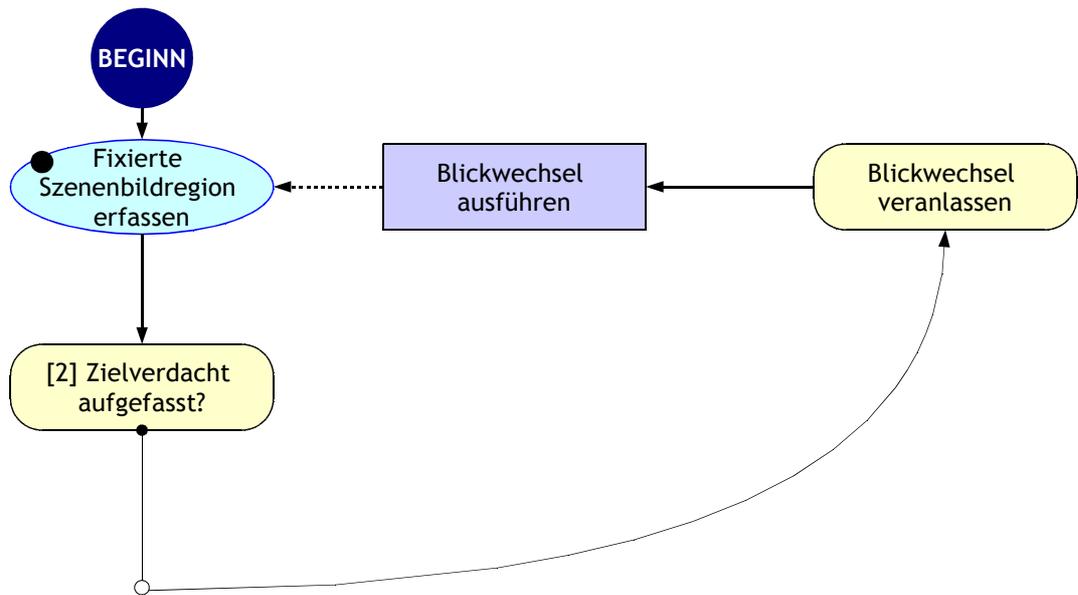


Abbildung 38: Teil des Prozesses von Abbildung 36 bei wiederholt erfolgloser Suche nach einem Zielverdacht in der Fixationsfolge.

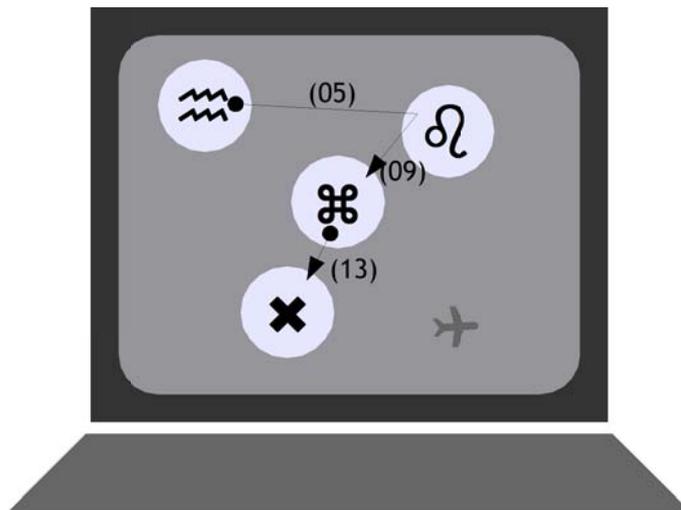


Abbildung 39: Illustration eines Abschnitts der Bilddurchmusterung mit erfolgloser Suche nach einem Zielverdacht, wie in Abbildung 37 analysiert; die in Klammern gesetzten Zahlen geben den motorischen Schritt aus Abbildung 37 an.

Abbildung 39 veranschaulicht die exemplarische, fiktive Fixationsfolge, deren AG-Durchsatz mit Abbildung 37 aufgetragen ist. Die ersten drei Blicke werden auf Reizfiguren gerichtet, die keine genügende Ähnlichkeit mit der Auffälligkeitserwartung haben. Mit der Perzeption der ersten Reizfigur »« (Takt 02) wird deren Perzept als Merkeinheit ins Arbeitsgedächtnis geladen und verschiebt damit die Startbelegung. Um die Zählung zu erleichtern, ist jedes neue Perzept mit einer

laufenden Nummer versehen; hier also »1:⊗«². Der anschließende kognitive Takt 03 beantwortet die Frage [2]. Er prüft die gerade erfasste Reizfigur daraufhin, ob sie mit der Auffälligkeitserwartung ausreichend übereinstimmt und damit einen Zielverdacht darstellt. Dafür müssen sowohl die Merkeinheit für die Auffälligkeitserwartung als auch die des gerade erfassten Perzepts aktiv sein. Das Ergebnis, dass keine Ähnlichkeit vorliegt, bildet eine neue Merkeinheit »1:✕«³. Die »1« stellt dabei den Bezug zu der als erstes wahrgenommenen Reizfigur dar. Diese neue Merkeinheit bildet die Voraussetzung für den kognitiven Folgetakt: das Veranlassen des Fixationswechsels durch eine Blickbewegung (Takt 04). In diesem Fall wird angenommen, dass der direkte Weg zum Blickwechsel und nicht derjenige über den kognitiven Takt [5], also einer bewussten Prüfung der bisherigen Bildabdeckung gewählt wird. Ziel dieser Betrachtung ist es ja, die Verhältnisse im Grenzfall des kognitiven Mindestaufwands zu untersuchen. - Für das Veranlassen des Blickwechsels ist die Kenntnis über die aktuelle Blicklage gegenüber dem Bildschirm maßgebend und muss dafür aktiviert werden. Das Symbol  rückt daher in der Darstellung nach links.

Mit dem motorischen Vollzug des Blickwechsels endet die Bearbeitung der ersten Fixation. Als Zwischenbilanz stellt man fest, dass sich keine von den zu Beginn geladenen Merkeinheiten sowohl im Bezug auf die Speicherbelegung als auch die Verfallszeit im kritischen Bereich befinden. Die Einheit »⊗«⁴ für die Zielfigur wurde allerdings noch nicht verwendet und liegt am nächsten an der »Abwurfkante«.

Mit der Perzeption der Reizfigur »Ω«⁵ im nächsten fixierten Bildausschnitt (Takt 06) beginnt der gleiche Ablauf, wie bereits bei 01 - 05. Am Schluss, beim motorischen Takt 09, steht die Zielfigur »⊗«⁶ allerdings bereits auf der neunten Speicherstelle und damit schon an der Grenze der Kapazität des Arbeitsgedächtnisses von $\mu_{AG} = 7$ [5 ~ 9] Merkeinheiten (siehe Kapitel 3.5). Dies liegt daran, dass durch Perzeption und Kognition der neuen Reizfigur weitere Merkeinheiten aktiviert werden mussten und alte, obwohl sie nicht mehr benötigt werden, nach wie vor Speicherstellen belegen. Die kognitive Vorbereitung des nächsten Blickwechsels in Takt 08 aktiviert neben der Gesamtlage »«⁷ zum Bildschirmarbeitsplatz auch den vorigen Blickwechsel »1:⊗«⁸. Jede Merkeinheit für den Blickwechsel sei damit so aufgefasst, dass sie zusammen mit der Gesamtlage die aktuelle Fixationslage ergibt.

Nach der folgenden, wiederum erfolglosen Fixation auf die dritte Reizfigur »⊗«⁹ steht »⊗«¹⁰ bereits auf der zwölften Stelle und sollte damit der Theorie nach bereits nicht mehr im Arbeitsgedächtnis verfügbar sein. Abbildung 40 veranschaulicht die Wanderung der aufgabenbestimmenden Merkeinheit für die Zielfigur nach drei aufeinander folgenden visuellen Fixationen auf Reizfiguren ohne Ähnlichkeit zur

Auffälligkeitserwartung. Man erkennt, dass sie mit jeder weiteren, im Sinne von Frage [2] erfolglosen, Fixation unaufhaltsam nach rechts und damit aus dem Arbeitsgedächtnis heraus rückt. Um die Zielfigur wieder nach links zu bringen, müsste sie von einem kognitiven Takt verwendet werden. Dieser war aber bisher weder erforderlich noch vorgesehen.

Die Auffälligkeitserwartung » \updownarrow « zeigt dagegen eine völlig andere Wanderungscharakteristik, wie Abbildung 40 ebenfalls veranschaulicht. Ab der dritten Fixation ist der eingeschwungene Zustand erreicht und sie pendelt zwischen den Gedächtnisstellen 3 und 7 hin und her. Das Erreichen des eingeschwungenen Zustands erkennt man daran, dass in der anschließenden, hier nur mit dem Perzeptionstakt angedeuteten Fixation (Takt 14) die Auffälligkeitserwartung an der gleichen Stelle steht, wie zu Beginn des vorhergehenden Zyklus'. Wendet man die Verdrängungsharfe, wie in Kapitel 4.3 (S. 64) eingeführt, auf den hier diskutierten Ablaufabschnitt an, ergibt sich die Situation, wie sie in Abbildung 41 gezeigt ist. Für die Zielfigur selbst lässt sich dabei keine Aussage treffen, da sie in diesem Ablaufabschnitt nie genutzt wird. Die Auffälligkeitserwartung ist am weitesten verdrängt und liegt vor ihrer kritischen Erinnerung auf Speicherstelle 7. Sie wird also, auch bei theoretisch endloser Wiederholung erfolgloser Fixationen, immer in einem Gedächtnisstellen-Intervall bleiben, das stetes Bewusstsein sicherstellt und keinen zusätzlichen Erinnerungsschritt verlangt.

»Zusätzlicher Erinnerungsschritt« heißt: Wird eine später erforderliche Merkeinheit vorzeitig aus dem Arbeitsgedächtnis verdrängt oder verfällt sie zeitlich, bedeutet dies nicht zwingend, dass sie endgültig vergessen ist. In der Regel liegen sowohl die Auffälligkeitserwartung als auch die Zielfigur im Langzeitgedächtnis vor oder sind (zumindest für die Zielfigur ist dies wahrscheinlich) aus der Beschreibung der Erkundungsaufgabe nachlesbar. Das eine wie das andere zieht jedoch zusätzlichen kognitiven Aufwand nach sich (siehe Kapitel 4.3).

Die nächstfolgende Verdrängungstiefe besitzen die Gesamtlage zum Bildschirm sowie die beiden Blickwechselrichtungen mit 6 bzw. 4 Speicherstellen. Der dritte Blickwechsel ist nicht mehr aufgeführt. Er wird erst später verwendet und, da der eingeschwungene Zustand erreicht ist, nicht weiter verdrängt als seine beiden Vorgänger. Schließlich bleiben die Perzepte der Reizfiguren. Sie werden immer sofort im Takt nach ihrer Perzeption verwendet und danach nicht mehr benötigt. Diejenigen Merkeinheiten, welche die Nicht-Übereinstimmung des Perzepts mit der Auffälligkeitserwartung repräsentieren (**1:*** etc.) werden in der Verdrängungsharfe nicht aufgeführt. Sie dienen ausschließlich dazu, den folgenden Blickwechsel zu initiieren und werden ansonsten nicht verwendet.

6.2 Durchsatz im Arbeitsgedächtnis bei der bedienungsfreien Ortbestimmung

Die Alterung der Merkeinheiten im Arbeitsgedächtnis gelangt nie auch nur in die Nähe der Verfallsgrenze im Sinne der Halbwertszeit δ_{AG} , deren Untergrenze von Card et al. (1983) mit 5 000 ms angegeben wird (siehe Kapitel 3.5). Damit kann festgestellt werden, dass die Verdrängung durch neu aktivierte Merkeinheiten über den Verfall durch Alterung dominiert. Dagegen kommen die physikalischen Repräsentationen der Reizfiguren im visuellen Sinnesgedächtnis regelmäßig an die Grenze der durchschnittlichen Verfallshalbwertszeit von $\delta_{VSG} = 200$ ms. Dies spielt jedoch keine Rolle, da sie nach dem Übergang in eine Merkeinheit des Arbeitsgedächtnisses nicht mehr verwendet werden. *Die Alterung wird deshalb in der weiteren Analyse nicht mehr betrachtet.*

Prozess-Takt	Prozessor	VSG	Arbeitsgedächtnis (AG)											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9			
01 Bild erscheint		•	+	✈	📄	•	•	•	•	•	•	•	•	•
02 Fixiertes Feld erfassen	100 ms	🌀 → 1:🌀	+	✈	📄	•	•	•	•	•	•	•	•	
03 [2] Zielverdacht wahrgenommen?	70 ms	🌀 1:✘ ← 1:🌀	✘	+	✈	📄	•	•	•	•	•	•	•	
04 Blickwechsel veranlassen	70 ms	🌀 1:🔄 ← 📄	📄	✘	+	✈	📄	•	•	•	•	•	•	
05 Blickwechsel ausführen	70 ms	🌀 1:🔄 📄	📄	✘	+	✈	📄	•	•	•	•	•	•	
06 Fixiertes Feld erfassen	100 ms	🌀 → 2:🌀	1:🔄	📄	1:✘	1:🌀	+	✈	•	•	•	•	•	
07 [2] Zielverdacht wahrgenommen?	70 ms	🌀 2:✘ ← 2:🌀	+	1:🔄	📄	1:✘	1:🌀	✈	•	•	•	•	•	
08 Blickwechsel veranlassen	70 ms	🌀 2:🔄 ← 1:🔄	📄	2:✘	2:🌀	+	1:✘	1:🌀	✈	•	•	•	•	
09 Blickwechsel ausführen	70 ms	🌀 2:🔄 1:🔄	📄	2:✘	2:🌀	+	1:✘	1:🌀	✈	•	•	•	•	
10 Fixiertes Feld erfassen	100 ms	🌀 → 3:🌀	2:🔄	1:🔄	📄	2:✘	2:🌀	+	1:✘	1:🌀	✈	•	•	
11 [2] Zielverdacht wahrgenommen?	70 ms	🌀 3:✘ ← 3:🌀	+	2:🔄	1:🔄	📄	2:✘	2:🌀	✈	1:✘	1:🌀	✈	•	
12 Blickwechsel veranlassen	70 ms	🌀 3:🔄 ← 2:🔄	📄	3:✘	3:🌀	+	1:🔄	2:✘	2:🌀	1:✘	1:🌀	✈	•	
13 Blickwechsel ausführen	70 ms	🌀 3:🔄 2:🔄	📄	3:✘	3:🌀	+	1:🔄	2:✘	2:🌀	1:✘	1:🌀	✈	•	
14 Fixiertes Feld erfassen	100 ms	✘ → 4:🌀	3:🔄	2:🔄	📄	3:✘	3:🌀	+	1:🔄	2:✘	•	•	•	

Abbildung 40: Wanderung der der Auffälligkeitserwartung und der aufgabenbestimmenden Merkeinheit für die Zielfigur nach drei aufeinander folgenden visuellen Fixationen auf Reizfiguren ohne Ähnlichkeit zur Auffälligkeitserwartung.

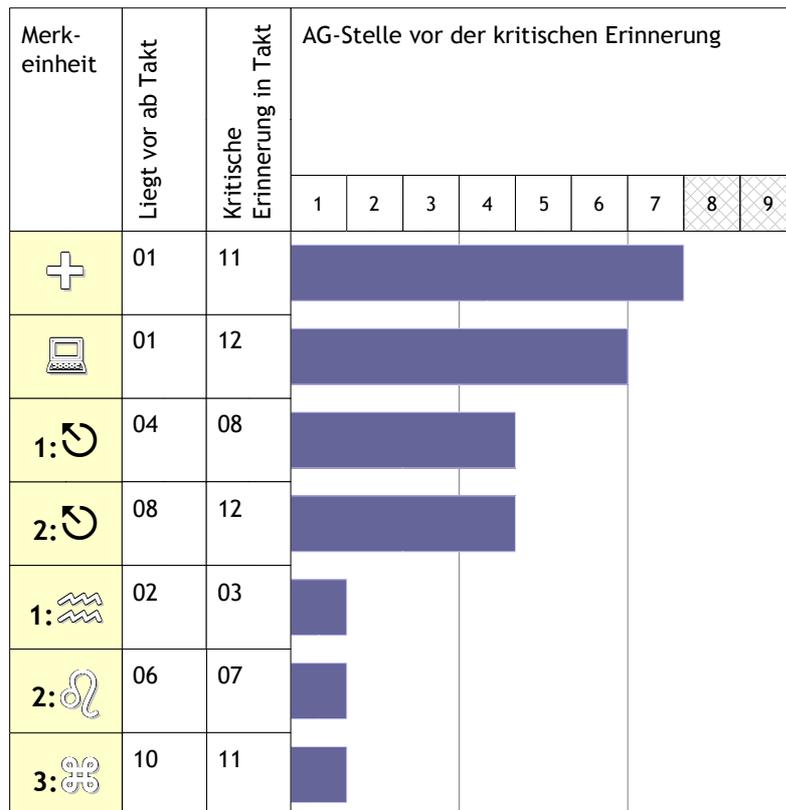


Abbildung 41: Verdrängungsharfe für den Ablauf aus Abbildung 37.

6.2.2 Erfolgreiche Suche nach einem Zielverdacht

Der Durchsatz im Arbeitsgedächtnis ändert sich, sobald in einer Fixation ein Zielverdacht gefunden wird. Unter der Voraussetzung, dass es sich hier trotz des anfänglichen Verdachts doch nicht um eine Zielfigur handelt, soll der entsprechende Ablauf auf seinen AG-Durchsatz analysiert werden. Den Ablauf veranschaulicht Abbildung 42, den AG-Durchsatz Abbildung 44. Die fiktive Fixationsfolge ist mit Abbildung 43 illustriert.

Die Startbelegung des Arbeitsgedächtnisses ist dieselbe wie im vorher diskutierten Fall. Wie dort besteht die erste kognitive Tätigkeit darin, die Reizfigur mit der Auffälligkeitserwartung zu vergleichen (im Sinne von Tätigkeit [2]). Hier führt dieser Vergleich aber zu einem positiven Ergebnis, symbolisiert mit »1:V✓«, wobei »V« für Verdacht steht (Takt 03). Dieser löst als folgenden kognitiven Takt damit

die Bearbeitung der Frage [3] aus, ob der Zielverdacht auch bestätigt werden kann. Dafür wird - in Takt 04 - erstmals die Merkeinheit der Zielfigur selbst als Referenz benötigt und damit aktiviert.

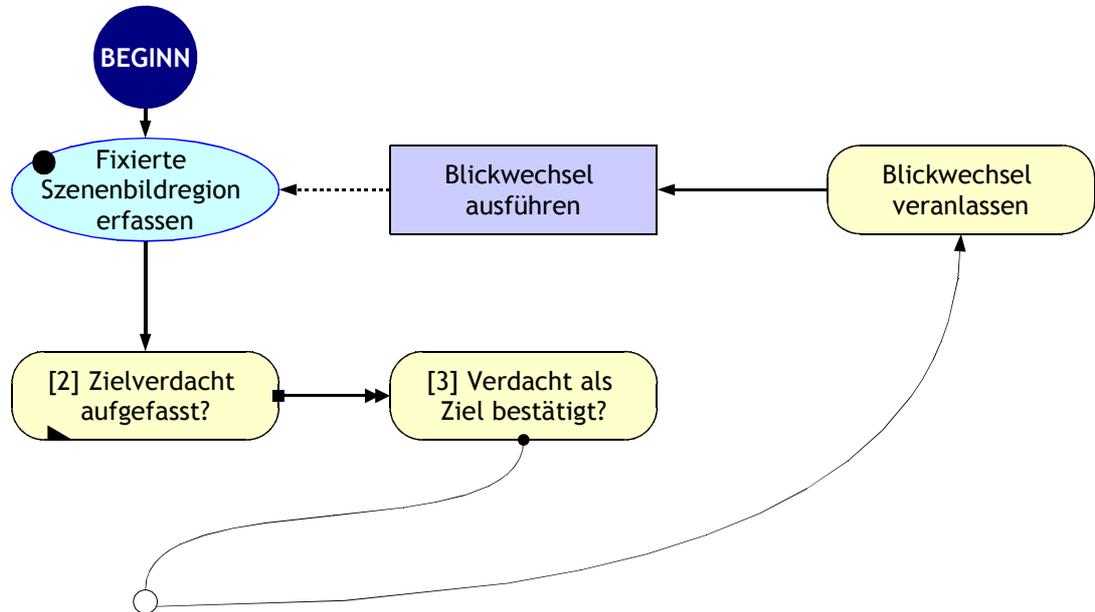


Abbildung 42: Teilprozess des Prozesses von Abbildung 36 bei erfolgreicher Suche nach einem Zielverdacht, der allerdings keine Zielfigur darstellt.

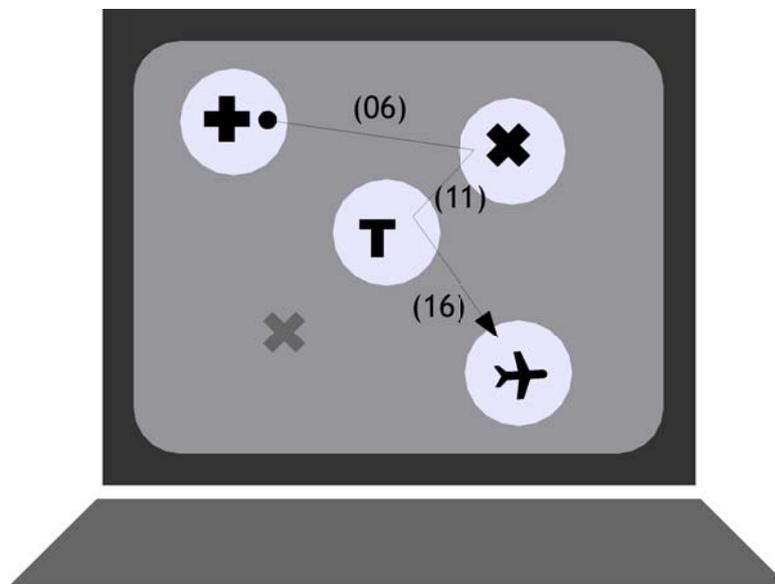


Abbildung 43: Illustration eines Abschnitts der Bilddurchmusterung mit mehrfach erfolgreicher Suche nach einem Zielverdacht.

Die Wanderung der Auffälligkeitserwartung und der Zielfigur durch das Arbeitsgedächtnis ergibt sich dann, wie in Abbildung 45 dargestellt. Der eingeschwungene Zustand ist mit Takt 12 erreicht, wieder erkennbar daran, dass die beiden betrachteten Merkeinheiten am Beginn des Folgezyklus (Takt 17) an der gleichen Stelle stehen, wie in Takt 12. Die Zielfigur wandert nun nicht mehr unaufhaltsam aus dem Gedächtnis heraus, sondern bleibt in einem Gedächtniskorridor zwischen den Speicherstellen 3 und 9. Gleiches gilt für die Auffälligkeitserwartung. Die Verdrängungsharfe dafür zeigt die mit Abbildung 46 dargestellte Charakteristik. Zielfigur und Auffälligkeitserwartung schöpfen die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses bis an den Rand der Toleranz aus. Aber auch die Merkeinheit für die Gesamtlage dringt mit der 8 als kritischer Stelle bereits in dieses Feld vor. Die Einheiten für die Blickwechsel werden ebenfalls weiter verdrängt als im vorher diskutierten Ablauf und landen nun auf der Position 6. Dies ist noch hinreichend weit von der kritischen Grenze entfernt.

6.2.3 Die Orientierung bei der Durchmusterung

Fügte man in den Zyklus die Beantwortung der Frage [5] »Abbildung durchmuster?« ein, sodass sich der mit Abbildung 47 dargestellte Prozess ergäbe, wird klar, dass sowohl die Auffälligkeitserwartung als auch die Zielfigur mit Sicherheit über die »Abwurfkante« bei neun Merkeinheiten geschoben wird. Man muss dazu den Teilprozess der Beantwortung von [5] nicht tiefer analysieren, denn es kann als sicher gelten, dass dafür weder die Auffälligkeitserwartung noch die Zielfigur aktiviert werden müssen, während man dies für die Gesamtlage  sicher annehmen kann. Selbst wenn also die Bearbeitung von [5] nur einen einzigen kognitiven Takt benötigt, sorgt dieser dafür, dass die Auffälligkeitserwartung weiter verdrängt, die Wahrscheinlichkeit einer Überbeanspruchung des Arbeitsgedächtnisses also erhöht wird. Die tiefere Analyse von [5] soll hier unterbleiben. Es ist anzunehmen, dass dieser Schritt einen nicht geringen Komplexitätsgrad aufweist und möglicherweise nicht alleine durch eine Folge kognitiver Takte gelöst werden kann, sondern dass er eine separate Durchmusterung des gesamten Bildes erfordert, mit der sich der Erkunder vergewissert, ob er schon alle Bildregionen beschaut hat. [5] müsste dann als komplexe Operation modelliert werden. Die visuell-mentale Indexierung (FINST¹ nach Pylyshyn (1989) aus Winkelholz & Schlick (2005)) steht hier als hilfreiches Modellierungskonzept zur Verfügung.

1 FINST = FINger INSTantiations

6.2 Durchsatz im Arbeitsgedächtnis bei der bedienungsfreien Ortbestimmung

Prozess-Takt	Prozessor	VSG	Arbeitsgedächtnis (AG)											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9			
01 Bild erscheint		▪	+	✈	📺	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪
02 Fixierte Szenen- bildregion erfassen	100 ms	+	1:+	+	✈	📺	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪
03 [2] Zielverdacht wahrgenommen?	70 ms	+	1:V✓	1:+	+	✈	📺	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪
04 [3] Verdacht als Ziel bestätigt?	70 ms	+	1:Z✗	1:+	✈	1:V✓	+	📺	▪	▪	▪	▪	▪	▪
05 Blickwechsel veranlassen	70 ms	+	1:↻	↻	1:Z✗	1:+	✈	1:V✓	+	▪	▪	▪	▪	▪
06 Blickwechsel ausführen	70 ms	+	1:↻	↻	1:Z✗	1:+	✈	1:V✓	+	▪	▪	▪	▪	▪
07 Fixierte Szenen- bildregion erfassen	100 ms	✗	2:✗	1:↻	📺	1:Z✗	1:+	✈	1:V✓	+	▪	▪	▪	▪
08 [2] Zielverdacht wahrgenommen?	70 ms	✗	2:V✓	2:✗	+	1:↻	📺	1:Z✗	1:+	✈	1:V✓	+	1:V✓	+
09 [3] Verdacht als Ziel bestätigt?	70 ms	✗	2:Z✗	2:✗	✈	2:V✓	+	1:↻	📺	1:Z✗	1:+	1:V✓	1:+	1:V✓
10 Blickwechsel veranlassen	70 ms	✗	2:↻	1:↻	📺	2:Z✗	2:✗	✈	2:V✓	+	1:Z✗	1:+	1:+	1:+
11 Blickwechsel ausführen	70 ms	✗	2:↻	1:↻	📺	2:Z✗	2:✗	✈	2:V✓	+	1:Z✗	1:+	1:+	1:+
12 Fixierte Szenen- bildregion erfassen	100 ms	T	3:T	2:↻	1:↻	📺	2:Z✗	2:✗	✈	2:V✓	+	1:Z✗	1:Z✗	1:Z✗
13 [2] Zielverdacht wahrgenommen?	70 ms	T	3:V✓	3:T	+	2:↻	1:↻	📺	2:Z✗	2:✗	✈	2:V✓	2:V✓	2:V✓
14 [3] Verdacht als Ziel bestätigt?	70 ms	T	3:Z✗	3:T	✈	3:V✓	+	2:↻	1:↻	📺	2:Z✗	2:✗	2:✗	2:✗
15 Blickwechsel veranlassen	70 ms	T	3:↻	2:↻	📺	3:Z✗	3:T	✈	3:V✓	+	1:↻	2:Z✗	2:Z✗	2:Z✗
16 Blickwechsel ausführen	70 ms	T	3:↻	2:↻	📺	3:Z✗	3:T	✈	3:V✓	+	1:↻	2:Z✗	2:Z✗	2:Z✗
17 Fixierte Szenen- bildregion erfassen	100 ms	✈	4:✈	3:↻	2:↻	📺	3:Z✗	3:T	✈	3:V✓	+	1:↻	1:↻	1:↻

Erläuterung

+, ✗, T ... Fixierte Bildmuster, die einen Zielverdacht darstellen, aber keine Zielfigur

V✓ / ✗ ... Feststellung, dass fixiertes Muster ein/kein Zielverdacht ist

Z✓ / ✗ ... Feststellung, dass fixierter Zielverdacht ein/kein Ziel ist

Abbildung 44: AG-Durchsatztafel für den Fall, dass in jeder von drei Fixationen die Reizfigur einen Zielverdacht erregt, aber nicht der Zielfigur entspricht.

6 Analyse der Ressourcenkonkurrenz bei der Szenenanalyse am Bildschirmarbeitsplatz

Prozess-Takt	Prozessor	VSG	Arbeitsgedächtnis (AG)										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9		
01	Bild erscheint	•	+	✈	🖥	•	•	•	•	•	•	•	•
02	Fixierte Szenen- bildregion erfassen	100 ms	+	1:+	+	✈	🖥	•	•	•	•	•	•
03	[2] Zielverdacht wahrgenommen?	70 ms	+	1:V✓	1:+	+	✈	🖥	•	•	•	•	•
04	[3] Verdacht als Ziel bestätigt?	70 ms	+	1:Z✗	1:+	✈	1:V✓	+	🖥	•	•	•	•
05	Blickwechsel veranlassen	70 ms	+	1:↻	🖥	1:Z✗	1:+	✈	1:V✓	+	•	•	•
06	Blickwechsel ausführen	70 ms	+	1:↻	🖥	1:Z✗	1:+	✈	1:V✓	+	•	•	•
07	Fixierte Szenen- bildregion erfassen	100 ms	✗	2:✗	1:↻	🖥	1:Z✗	1:+	✈	1:V✓	+	•	•
08	[2] Zielverdacht wahrgenommen?	70 ms	✗	2:V✓	2:✗	+	1:↻	🖥	1:Z✗	1:+	✈	1:V✓	•
09	[3] Verdacht als Ziel bestätigt?	70 ms	✗	2:Z✗	2:✗	✈	2:V✓	+	1:↻	🖥	1:Z✗	1:+	1:V✓
10	Blickwechsel veranlassen	70 ms	✗	2:↻	1:↻	🖥	2:Z✗	2:✗	✈	2:V✓	+	1:Z✗	1:+
11	Blickwechsel ausführen	70 ms	✗	2:↻	1:↻	🖥	2:Z✗	2:✗	✈	2:V✓	+	1:Z✗	1:+
12	Fixierte Szenen- bildregion erfassen	100 ms	T	3:T	2:↻	1:↻	🖥	2:Z✗	2:✗	✈	2:V✓	+	1:Z✗
13	[2] Zielverdacht wahrgenommen?	70 ms	T	3:V✓	3:T	+	2:↻	1:↻	🖥	2:Z✗	2:✗	✈	2:V✓
14	[3] Verdacht als Ziel bestätigt?	70 ms	T	3:Z✗	3:T	✈	3:V✓	+	2:↻	1:↻	🖥	2:Z✗	2:✗
15	Blickwechsel veranlassen	70 ms	T	3:↻	2:↻	🖥	3:Z✗	3:T	✈	3:V✓	+	1:↻	2:Z✗
16	Blickwechsel ausführen	70 ms	T	3:↻	2:↻	🖥	3:Z✗	3:T	✈	3:V✓	+	1:↻	2:Z✗
17	Fixierte Szenen- bildregion erfassen	100 ms	✈	4:✈	3:↻	2:↻	🖥	3:Z✗	3:T	✈	3:V✓	+	1:↻

Abbildung 45: Wanderung von Auffälligkeitserwartung und Zielfigur bei über drei Fixationen erfolgreicher Feststellung eines Zielverdachts.

6.2 Durchsatz im Arbeitsgedächtnis bei der bedienungsfreien Ortbestimmung

Merk- einheit	Liegt vor ab Takt	Kritische Erinnerung in Takt	AG-Stelle vor der kritischen Erinnerung								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
+	01	13	[Bar chart showing 9 units of displacement]								
✈	01	14	[Bar chart showing 9 units of displacement]								
🖨	01	15	[Bar chart showing 8 units of displacement]								
1: ↻	05	10	[Bar chart showing 6 units of displacement]								
2: ↻	10	15	[Bar chart showing 6 units of displacement]								
1: +	02	03	[Bar chart showing 1 unit of displacement]								
2: ✕	07	08	[Bar chart showing 1 unit of displacement]								
3: T	12	13	[Bar chart showing 1 unit of displacement]								

Abbildung 46: Verdrängungsharfe für den Ablauf aus Abbildung 44.

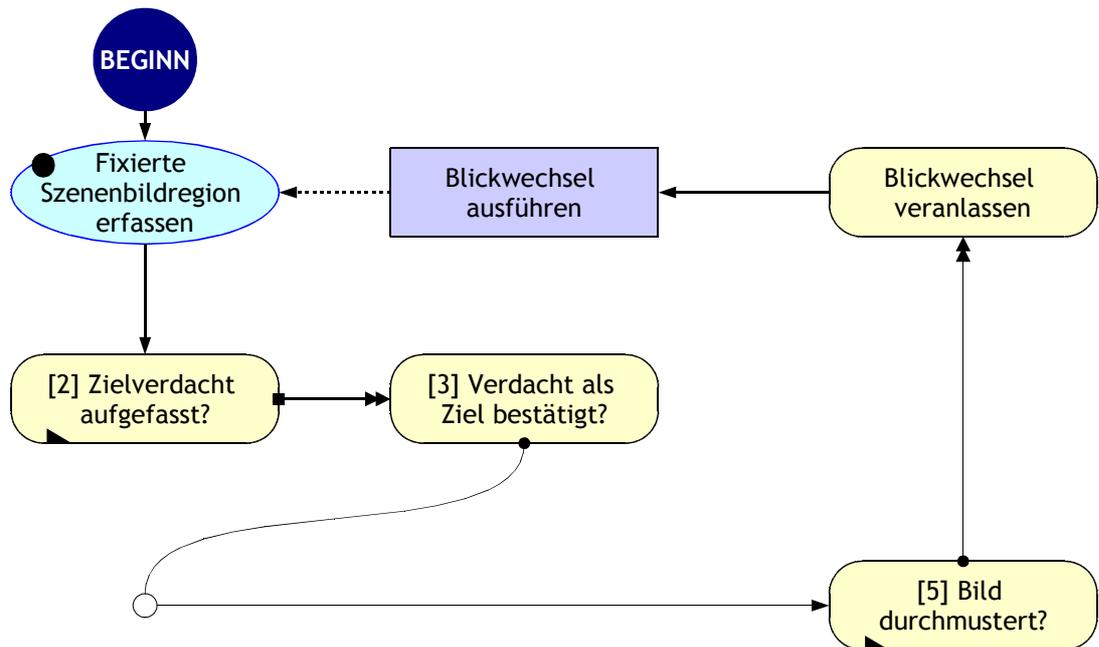


Abbildung 47: Teilprozess wie in Abbildung 42, aber mit Prüfung auf vollständige Durchmusterung des Bildes.

6.2.4 Fazit zur bedienungsfreien Ortsbestimmung

Die Betrachtung des Durchsatzes von Merkeinheiten im Arbeitsgedächtnis bei der elementaren Aufgabe der bildgestützten Ortbestimmung einer Zielfigur zeigt, dass bereits ohne irgendwelche weitere Interaktion mit dem Abbildungssystem die aufgabenbestimmenden Merkeinheiten im Laufe des Prozesses so weit verdrängt werden, dass zusätzliche perzeptive und kognitive Aktivität die Wahrscheinlichkeit ihres Vergessens stark erhöht. Diese Wahrscheinlichkeit steigt mit der perzeptiv/kognitiven Zusatzbelastung. Im folgenden Kapitel wird deshalb diskutiert, wie hoch diese Zusatzbelastung einzuschätzen ist, die sich bei charakteristischen Einstelloperationen am Abbildungssystem für verschiedene Interaktionstechniken ergibt.

6.3 Die Bedienhandlungen zur Einstellung des Abbildungssystems

6.3.1 Einzustellende Funktionen am Abbildungssystem

Die einzustellenden Funktionen an einem Abbildungssystem seien hier in zwei fundamentale Kategorien eingeteilt

- Einstellen der Bildqualität und
- Einstellen der Abbildungsgeometrie.

Die Einstellungen der Bildqualität sind hauptsächlich:

- Helligkeit einstellen,
- Kontrast ändern,
- Farbcharakteristik anpassen.

Unter die Einstellungen der Abbildungsgeometrie fallen hauptsächlich:

- Verschieben des Abbildungsmittelpunkts,
- Vergrößern oder Verkleinern (»Zoomen«),
- Drehen.

Es gibt unter diesen Kategorien noch viele weitere Varianten. Doch die oben angegebenen werden erfahrungsgemäß am häufigsten angewendet. Die Expansion des Platzhalters »*Einstellung des Abbildungssystems*« in Abbildung 36, S. 81 führt zu der Darstellung in Abbildung 48. Die NEIN-Pfeile aus den kognitiven Schritten [1] bis [3] der Arbeitsaufgabe führen zu drei Fragen nach möglichen Ursachen dafür, dass der Szenenhintergrund nicht erkannt, ein Zielverdacht nicht festgestellt oder ein Zielverdacht nicht bestätigt werden kann, die in der Einstellung des Abbildungssystems begründet sein können:

- [7] Ist die Bildqualität ausreichend?
- →→ [8] Ist die Vergrößerung ausreichend?
- →→ [9] Ist der Betrachtungswinkel geeignet?

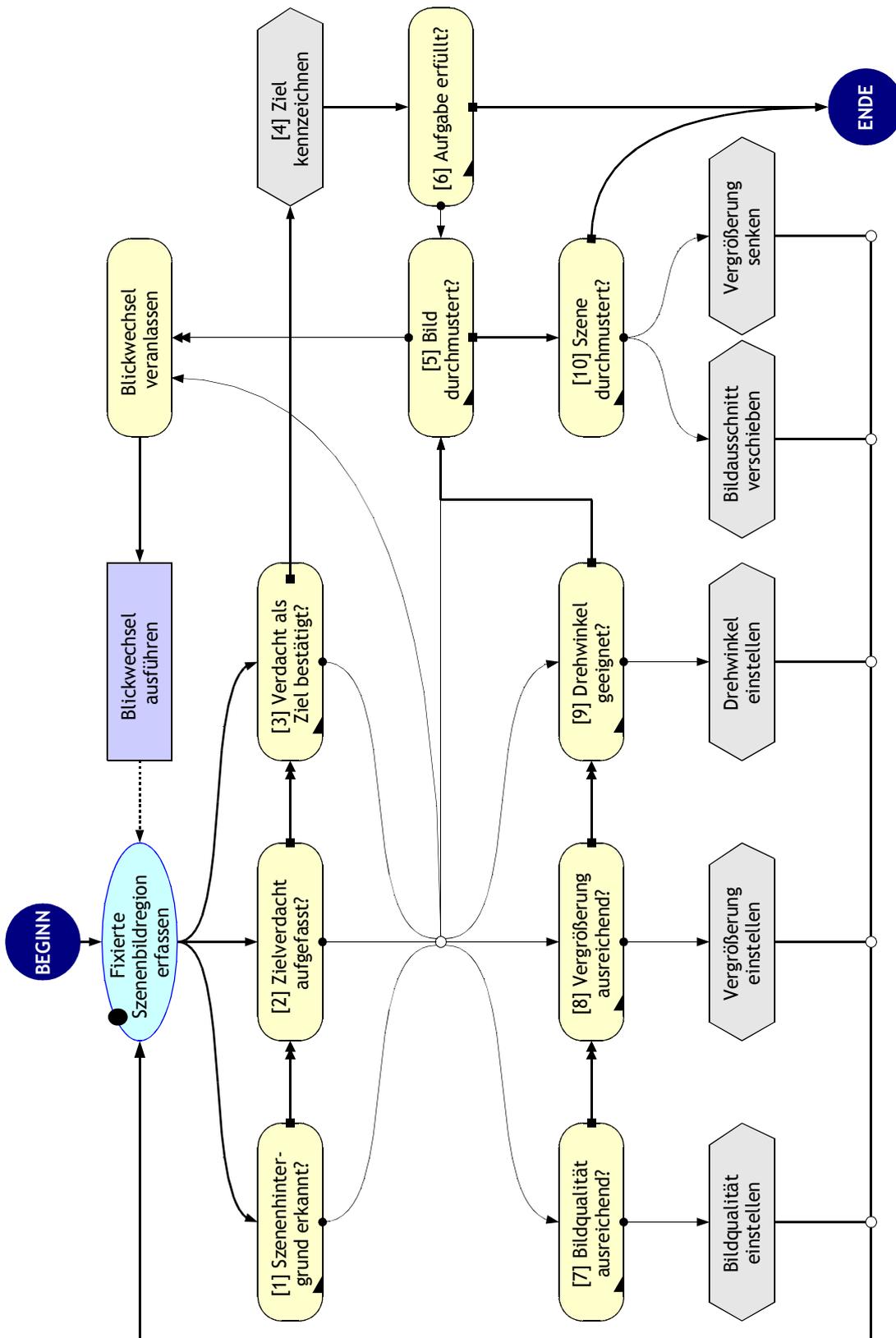


Abbildung 48: Gesamtprozess der bildgestützten Ortbestimmung unter Einschluss von Einstelloperationen am Abbildungssystem (Erweiterung von Abbildung 36, S. 81).

Diese Fragen bilden Teilaufgaben der Bedienaufgabe »Einstellen des Abbildungssystems«. Auch sie seien wieder so aufgefasst, dass die positive Antwort auf die vorhergehende Frage Voraussetzung für das Angehen der nachfolgenden ist. Ohne ausreichende Bildqualität ist ein Urteil über die Eignung des Vergrößerungsfaktors nicht möglich. Denn ein Urteil über den Vergrößerungsfaktor bedingt die Sichtbarkeit von bedeutungstragenden Strukturen. Ohne ausreichende Vergrößerung ist die Einstellung des Betrachtungswinkels müßig. Hat der Erkunder in einem Luftbild beispielsweise ein Fahrzeug entdeckt und will dieses identifizieren, so wird er nicht zuerst das Gesamtbild drehen, sondern die Fahrzeugsignatur vergrößern, um dann bei ausreichender Detailsichtbarkeit den besten Betrachtungswinkel für die Identifizierung suchen. Wichtig ist hierbei, dass es nicht um absolute Kriterien geht, sondern um die jeweilige Einschätzung des Erkunders. Es ist durchaus möglich, dass er zunächst mit dem Drehwinkel spielt und erst nach einigen Versuchen feststellt, dass er eigentlich erst näher heran-*zoomen* müsste. Die vorgeschlagene Reihenfolge gibt nur die bei jeweils zutreffender Einschätzung sinnvolle und deshalb wahrscheinlichste Sequenz an.

Müssen die Fragen [7] bis [9] mit JA beantwortet werden, heißt dies, dass trotz ausreichender Qualität der Bilddarstellung auf dem gerade fixierten Bildausschnitt weder der Szenenhintergrund erkannt (aus [1]), noch ein Zielverdacht erfasst (aus [2]), noch ein Ziel identifiziert werden konnte (aus [3]). Lautet dann die Antwort auf die als nächstes zu stellende Frage [5], ob der gegenwärtig dargestellte Bildausschnitt bereits vollständig durchmustert wurde, auch JA, muss die nächste Frage lauten, ob bereits die gesamte Szene durchmustert wurde ([10]). Ist dies nicht der Fall, gilt es, den abgebildeten Szenenausschnitt so zu verändern, dass bisher noch nicht oder noch nicht ausreichend durchmusterte Szenenareale dargestellt werden. Dies kann auf zweierlei Weise geschehen: einmal, indem der Erkunder bei gleich bleibendem Vergrößerungsfaktor den Abbildungsmittelpunkt verschiebt; zum zweiten dadurch, dass er den Vergrößerungsfaktor senkt, um (wieder) einen größeren Überblick zu gewinnen.

6.3.2 Durchsatz im Arbeitsgedächtnis bei idealer Bedienung

Der Durchsatz von Merkeinheiten im Arbeitsgedächtnis soll für den Fall diskutiert werden, dass für eine bestimmte Fixation ein Zielverdacht zwar wahrgenommen, er aber wegen ungünstiger Abbildungseigenschaften nicht als Ziel bestätigt werden

kann. Exemplarisch wird dabei zuerst die Helligkeit verbessert, danach der Vergrößerungsfaktor und schließlich der Drehwinkel. Abbildung 49 zeigt den Teilablauf und Abbildung 50 die zugehörige AG-Durchsatztafel.

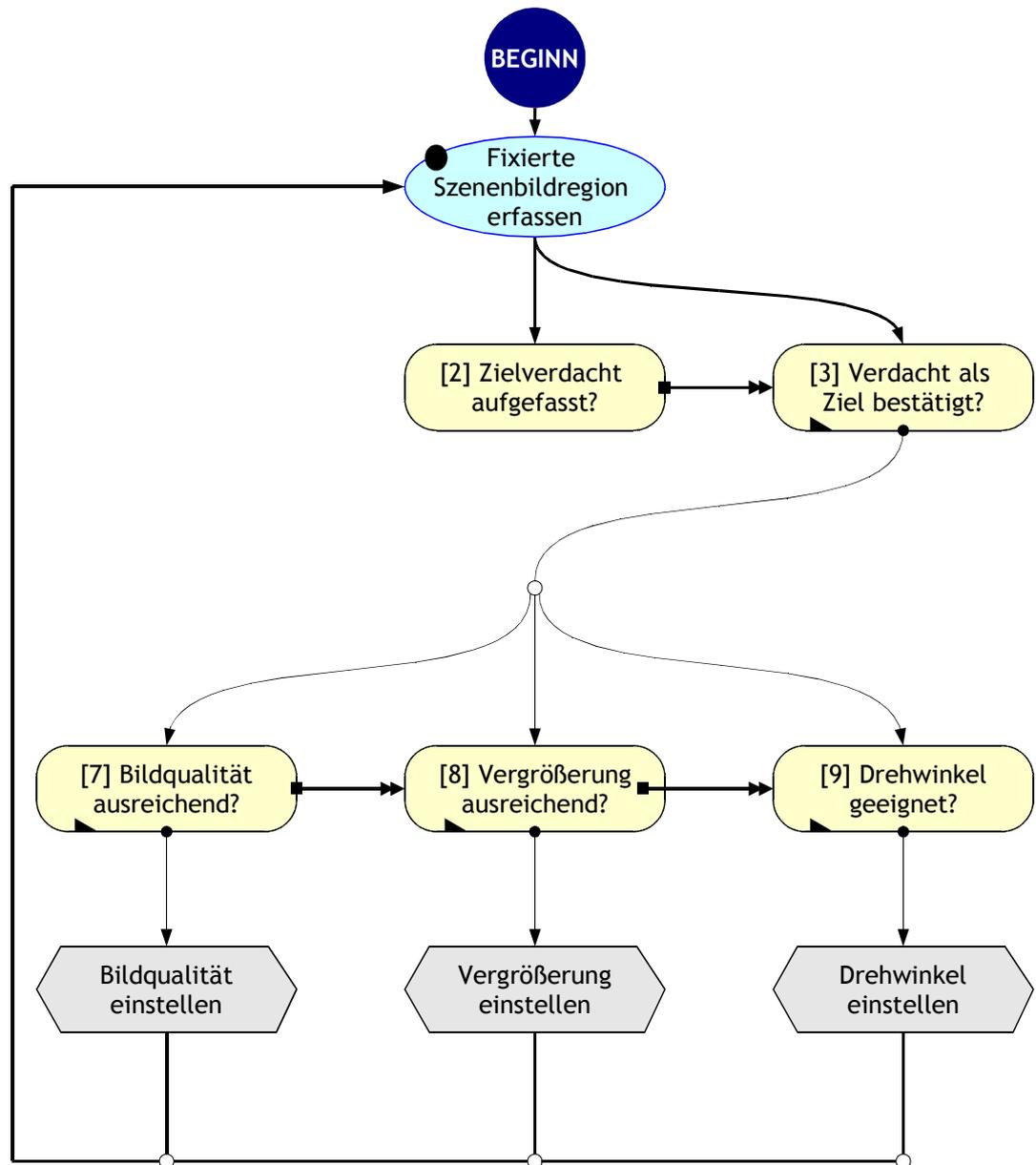


Abbildung 49: Exemplarischer Teilablauf aus Abbildung 48 mit Einstelloperationen am Abbildungssystem.

6.3 Die Bedienhandlungen zur Einstellung des Abbildungssystems

Prozess-Takt	Prozessor	VSG	Arbeitsgedächtnis (AG)									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	
01 Bild erscheint		▪	+	✈	🖥	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪
02 Fixierte Szenen- bildregion erfassen	100 ms	✈	1:■	+	✈	🖥	▪	▪	▪	▪	▪	▪
03 [2] Zielverdacht wahrgenommen?	70 ms	✈	1:V✓	1:■	+	✈	🖥	▪	▪	▪	▪	▪
04 [3] Verdacht als Ziel bestätigt?	70 ms	✈	1:Z✗	1:■	✈	1:V✓	+	🖥	▪	▪	▪	▪
05 [7] Bildqualität ausreichend?	70 ms	✈	1:zu dunkel	1:■	✈	1:Z✗	1:V✓	+	🖥	▪	▪	▪
06 Befehl »HELLER« veranlassen	70 ms	✈	»HELLER«	1:zu dunkel	1:■	✈	1:Z✗	1:V✓	+	🖥	▪	▪
07 Befehl »HELLER« ausführen	70 ms	✈	»HELLER«	1:zu dunkel	1:■	✈	1:Z✗	1:V✓	+	🖥	▪	▪
08 Fixierte Szenen- bildregion erfassen	100 ms	✈	2:✈	»HELLER«	1:zu dunkel	1:■	✈	1:Z✗	1:V✓	+	🖥	▪
09 [3] Verdacht als Ziel bestätigt?	70 ms	✈	2:Z✗	2:✈	✈	»HELLER«	1:zu dunkel	1:■	1:Z✗	1:V✓	+	🖥
10 [8] Vergrößerung ausreichend?	70 ms	✈	2:zu klein	2:✈	✈	2:Z✗	»HELLER«	1:zu dunkel	1:■	1:Z✗	1:V✓	+
11 Befehl »GRÖßER« veranlassen	70 ms	✈	»GRÖßER«	2:zu klein	2:✈	✈	2:Z✗	»HELLER«	1:zu dunkel	1:■	1:Z✗	1:V✓
12 Befehl »GRÖßER« ausführen	70 ms	✈	»GRÖßER«	2:zu klein	2:✈	✈	2:Z✗	»HELLER«	1:zu dunkel	1:■	1:Z✗	▪
13 Fixierte Szenen- bildregion erfassen	100 ms	✈	3:✈	»GRÖßER«	2:zu klein	2:✈	✈	2:Z✗	»HELLER«	1:zu dunkel	1:■	1:Z✗
14 [3] Verdacht als Ziel bestätigt?	70 ms	✈	3:Z✗	3:✈	✈	»GRÖßER«	2:zu klein	2:✈	2:Z✗	»HELLER«	1:zu dunkel	1:■
15 [9] Drehwinkel geeignet?	70 ms	✈	3:Winkel ungünstig	3:✈	✈	3:Z✗	»GRÖßER«	2:zu klein	2:✈	2:Z✗	»HELLER«	1:zu dunkel
16 Befehl »DREHEN« veranlassen	70 ms	✈	»DREHEN«	3:Winkel ungünstig	3:✈	✈	3:Z✗	»GRÖßER«	2:zu klein	2:✈	2:Z✗	»HELLER«
17 Befehl »DREHEN« ausführen	70 ms	✈	»DREHEN«	3:Winkel ungünstig	3:✈	✈	3:Z✗	»GRÖßER«	2:zu klein	2:✈	2:Z✗	▪
18 Fixierte Szenen- bildregion erfassen	100 ms	✈	1:✈	»DREHEN«	3:Winkel ungünstig	3:✈	✈	3:Z✗	»GRÖßER«	2:zu klein	2:✈	2:Z✗

Abbildung 50: AG-Durchsatztafel für *ideale Bedienung* des Abbildungssystems während der Bearbeitung der Teilaufgabe [3] (Zielverdacht bestätigen); die Bedientakte sind graublau hinterlegt.

Bis Takt 04 ist der Durchsatz gleich dem in Abbildung 44, S. 93. Dann löst jedoch die Erkenntnis, dass das erfasste Perzept zwar einen Zielverdacht erregt, als Ziel jedoch nicht bestätigt werden kann, die Prüfung der Bildqualität aus; also die Bearbeitung des kognitiven Schritts [7], der hier mit NEIN beantwortet wird.

Warum wurde aber diese Frage nicht schon bei dem Ablauf in Abbildung 44 gestellt und auf dem JA-Ausgang verlassen? Die Antwort darauf ist, dass die menschliche Informationsverarbeitung nicht der Abarbeitung eines Flussdiagramms gleicht, sondern die Kette der kognitiven Verarbeitung von Reizen ist, wobei jeder Reiz aus einer Vielzahl möglicher kognitiver Operationen die aus Erfahrung bevorzugte aktiviert. Deshalb wird die durch [7] repräsentierte Frage nach der Bildqualität nicht »gezündet«, wenn diese außer Zweifel steht. Der kognitive Takt [7] repräsentiert also die »Bewusstwerdung« der mangelnden Bildqualität. Sie muss bewusst werden, um die nachfolgende Einstellhandlung zu initiieren. Die Einstellhandlung ist hier extrem vereinfacht modelliert. Sie wird in Takt 06 initiiert und in Takt 07 ausgeführt. (alle Bedienschritte sind in der Abbildung graublau hinterlegt). Diese Vereinfachung ist eine Idealisierung, die davon ausgeht, dass der Einstellschritt mit nur einem veranlassenden kognitiven und einem ausführenden motorischen Takt getätigt werden kann und eine feststellbare Wirkung dieser Einstellung sicher eintritt. Die Analyse des Durchsatzes von Merkeinheiten in Gegenwart von Einstelloperationen soll hier eine idealisierte Basis für die weitere Diskussion des kognitiven Aufwands für realistische Bedienhandlungen legen.

In der Darstellung wird angenommen, dass das Hellerstellen des Bildes sofort einen von der Helligkeit her zufriedenstellenden Zustand erreicht. Im Folgezyklus, der mit Takt 08 einsetzt, ist es nun nicht mehr erforderlich, auf einen Zielverdacht hin zu prüfen. So setzt der wiederholte Versuch der Bestätigung des Zielverdachts unmittelbar ein (Takt 09). Hier wird angenommen, dass in dem fixierten Feld bei inzwischen ausreichender Helligkeit erkennbar wird, dass die Figur für eine Zielbestätigung zu klein dargestellt ist. Dies löst das Initiieren und Ausführen einer Vergrößerungsoperation aus, mit der gleichen Idealisierung wie oben. Schließlich wiederholt sich der Vorgang ab Takt 13 bis Takt 17 für das Einstellen der Drehung.

Die Modellierung wird nun nicht mehr fortgesetzt, sondern von dieser Stelle aus die Wanderung entscheidender Merkeinheiten betrachtet. Sie ist in Abbildung 51 dargestellt. Man erkennt, dass die aufgabenbestimmende Merkeinheit für die Zielfigur in einem Korridor zwischen der dritten und der fünften Speicherstelle bleibt. Die nach jeder Einstelloperation erneut erforderliche Bewusstwerdung der Zielfigur sorgt dafür, dass deren Merkeinheit immer wieder zurückgeholt wird. Die Idealisierung der Einstelloperation mit nur einem kognitiven Takt drängt die Zielfigur nicht sehr weit zurück. Die Verdrängungsharfe, beschränkt auf die Zielfigur, zeigt Abbildung 52. Auffälligkeitserwartung und Gesamtlage wandern dagegen aus dem Bewusstsein heraus, da sie nicht kognitiv verwendet werden. Beides ist aber tragbar, da die Auffälligkeitserwartung immer aus der Zielfigur abgeleitet und die

6.3 Die Bedienhandlungen zur Einstellung des Abbildungssystems

Gesamtlage durch einen orientierenden Blick wieder hergestellt werden kann. Dies zieht zwar zusätzlichen kognitiven und perzeptiven Aufwand nach sich. Beide Größen geraten jedoch nie in vollständige Vergessenheit.

Prozess-Takt	Prozessor	VSG	Arbeitsgedächtnis (AG)									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	
01 Bild erscheint		▪	+	✈	🖥	▪	▪	▪	▪	▪	▪	
02 Fixierte Szenen- bildregion erfassen	100 ms	✈	1:■	+	✈	🖥	▪	▪	▪	▪	▪	
03 [2] Zielverdacht wahrgenommen?	70 ms	✈	1:V✓	1:■	+	✈	🖥	▪	▪	▪	▪	
04 [3] Verdacht als Ziel bestätigt?	70 ms	✈	1:Z✗	1:■	✈	1:V✓	+	🖥	▪	▪	▪	
05 [7] Bildqualität ausreichend?	70 ms	✈	1:zu dunkel	1:■	✈	1:Z✗	1:V✓	+	🖥	▪	▪	
06 Befehl »HELLER« veranlassen	70 ms	✈	»HELLER«	1:zu dunkel	1:■	✈	1:Z✗	1:V✓	+	🖥	▪	
07 Befehl »HELLER« ausführen	70 ms	✈	»HELLER«	1:zu dunkel	1:■	✈	1:Z✗	1:V✓	+	🖥	▪	
08 Fixierte Szenen- bildregion erfassen	100 ms	✈	2:☁	»HELLER«	1:zu dunkel	1:■	✈	1:Z✗	1:V✓	+	🖥	
09 [3] Verdacht als Ziel bestätigt?	70 ms	✈	2:Z✗	2:☁	✈	»HELLER«	1:zu dunkel	1:■	1:Z✗	1:V✓	+	🖥
10 [8] Vergrößerung ausreichend?	70 ms	✈	2:zu klein	2:☁	✈	2:Z✗	»HELLER«	1:zu dunkel	1:■	1:Z✗	1:V✓	+
11 Befehl »GRÖßER« veranlassen	70 ms	✈	»GRÖßER«	2:zu klein	2:☁	✈	2:Z✗	»HELLER«	1:zu dunkel	1:■	1:Z✗	1:V✓
12 Befehl »GRÖßER« ausführen	70 ms	✈	»GRÖßER«	2:zu klein	2:☁	✈	2:Z✗	»HELLER«	1:zu dunkel	1:■	1:Z✗	
13 Fixierte Szenen- bildregion erfassen	100 ms	✈	3:☁	»GRÖßER«	2:zu klein	2:☁	✈	2:Z✗	»HELLER«	1:zu dunkel	1:■	1:Z✗
14 [3] Verdacht als Ziel bestätigt?	70 ms	✈	3:Z✗	3:☁	✈	»GRÖßER«	2:zu klein	2:☁	2:Z✗	»HELLER«	1:zu dunkel	1:■
15 [9] Drehwinkel geeignet?	70 ms	✈	3:Winkel ungünstig	3:☁	✈	3:Z✗	»GRÖßER«	2:zu klein	2:☁	2:Z✗	»HELLER«	1:zu dunkel
16 Befehl »DREHEN« veranlassen	70 ms	✈	»DREHEN«	3:Winkel ungünstig	3:☁	✈	3:Z✗	»GRÖßER«	2:zu klein	2:☁	2:Z✗	»HELLER«
17 Befehl »DREHEN« ausführen	70 ms	✈	»DREHEN«	3:Winkel ungünstig	3:☁	✈	3:Z✗	»GRÖßER«	2:zu klein	2:☁	2:Z✗	
18 Fixierte Szenen- bildregion erfassen	100 ms	✈	1:☁	»DREHEN«	3:Winkel ungünstig	3:☁	✈	3:Z✗	»GRÖßER«	2:zu klein	2:☁	2:Z✗

Abbildung 51: Wanderung von Zielfigur, Auffälligkeitserwartung und Gesamtlage in Gegenwart einer idealen Einstelloperationen (vgl. Abbildung 50).

6 Analyse der Ressourcenkonkurrenz bei der Szenenanalyse am Bildschirmarbeitsplatz

Merk- einheit	Liegt vor ab Takt	Kritische Erinnerung in Takt	AG-Stelle vor der kritischen Erinnerung									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	
✈	01	09*)										

*) Nach dem ersten Takt der Einstellung

Abbildung 52: Verdrängungsharfe für die aufgabenbestimmenden Merkeinheiten bei idealer Bedienung innerhalb der Arbeits-Teilaufgabe [3].

Die bis hierher diskutierten Einstelloperationen erfordern in der dargestellten Idealform keinen Blickwechsel. Der Blick bleibt bei der Einstellung von Helligkeit, Vergrößerung und Drehwinkel auf dieselbe Stelle des Bildes fixiert, zumindest bei der hier vorgenommenen, idealisierten Modellierung der Einstelloperation. Die verbleibenden Einstelloperationen in Abbildung 48 »Bildausschnitt verschieben« und »Vergrößerung senken« sind Folge der Erkenntnis, dass zwar das gegenwärtig auf dem Bildschirm stehende Bild, nicht aber die gesamte Szene durchmustert ist. Um eine Grundlage für eine Einstelloperation zu schaffen, welche die Fixation innerhalb der Szene beeinflusst, muss zusätzlich zur Gesamtlage des Erkunders gegenüber dem Bildschirm (🖥) auch seine virtuelle Gesamtlage gegenüber der Szene repräsentiert werden. Dies zu modellieren soll hier zurückgestellt und weiterführenden Arbeiten überlassen bleiben. Denn es ist zu erwarten, dass diese Repräsentation durch das Erfordernis einer perspektivischen Transformation zwischen der flachen Abbildung eines Szenenausschnitts auf dem Bildschirm und der im allgemeinen dreidimensionalen Realweltszene eine Dimension an Komplexität öffnet, welche die Grenzen vorliegender Arbeit sprengen würde. Deshalb soll sich die tiefere Analyse der kognitiven Beanspruchung durch Einstelloperationen auf diejenigen beschränken, bei denen der Mittelpunkt der Fixation auf dem Bildschirm erhalten bleibt.

6.4 Modellierung realer Bedienoperationen

6.4.1 Untersuchte Interaktionstechniken

Im vorigen Abschnitt wurde die Bedienoperation quasi ideal mit nur einem kognitiven Takt zur Vorbereitung, einem motorischen für die Ausführung und ohne zusätzlichen perzeptiven Takt modelliert, der nur für die Bedienung nötig wäre. In diesem Abschnitt wird der reale Fall analysiert, in dem der Erkunder eine Eingabevorrichtung betätigen muss, um den erwünschten Stelleffekt zu erreichen. Orientiert am Stand der Technik werden exemplarisch die folgenden Eingabevorrichtungen und Eingabetechniken modelliert und analysiert:

- *GUI_*: Eingabe auf einer grafischen Benutzungsoberfläche (GUI¹);
- *TST_*: Tastatureingabe;
- *SPR_*: Spracheingabe.

Die Entscheidung für diese Auswahl unter einer größeren Menge von Interaktionstechniken ist wie folgt begründet:

- Die Systembedienung über eine grafische Benutzungsoberfläche (*GUI_*) ist die nach dem Stand der Technik, bezogen auf marktgängige Produkte, beherrschende Interaktionstechnik (Kapitel 1.1 und Abbildung 2, S. 3);
- die meisten marktgängigen Produkte bieten parallel zur Einstellung über *GUI* die Bedienung über die Tastatur an: als Alternative für geübte Benutzer oder als Rückfallposition bei Ausfall oder Fehlen einer Mausbedienung;
- die Spracheingabe (*SPR_*) ist noch wenig verbreitet und dem Verfasser ist kein marktgängiges Produkt bekannt, welches diese Eingabeart generell anbietet; die Technologie der Spracheingabe schreitet aber voran und soll hier auf ihre prinzipielle Eignung im Vergleich mit anderen Eingabetechniken untersucht werden, um ihr Potenzial für den Anwendungsbereich »bildgestützte Szenenerkundung« abschätzen zu können.

Unter den genannten Interaktionstechniken werden verschiedene, charakteristische Interaktionsvarianten untersucht. Bei der grafischen Benutzungsoberfläche (*GUI_*) sind es die Varianten

1 »*Graphical User Interfaces*«.

- *GUI_vR*: Virtueller Schieberegler,
- *GUI_vT*: Virtuelle Taste und
- *GUI_bz*: Bildzentrierte Eingabe.

Abbildung 53 zeigt jeweils ein Beispiel für diese Dialogelemente.

Die *GUI*-basierten Bedienelemente sind virtuelle Surrogate realer Einstellvorrichtungen. Statt beispielsweise die Hand und mit ihr die Finger direkt zu einem greifbaren Schieber oder einer fühlbaren Taste zu bewegen, geschieht dies ersatzweise über die Maus, mit der der Bildschirmzeiger auf das virtuelle Element am Bildschirm geführt wird. Das Niederdrücken der Maustaste entspricht dem Drücken der virtuellen Taste bzw. dem Greifen des Schiebers. Während bei dem virtuellen Schieberegler keine weiteren Untervarianten mehr betrachtet werden, wird die Bedienung über virtuelle Tasten nochmals aufgeteilt in die *schrittweise* und die *gleitende* Betätigung. Bei der schrittweisen Betätigung (*GUI_vT_sm*) löst jeder Tastendruck einen festen Stellschritt am Abbildungssystem aus. Um einen weiteren Takt auszulösen, muss die Taste erneut betätigt werden. Dagegen schreitet bei der gleitenden Betätigungsvariante (*GUI_vT_gl*) die Einstellung des Systems ab dem Niederdrücken der Taste solange kontinuierlich fort, bis diese wieder losgelassen wird oder die Grenze des Einstellbereichs erreicht ist.

Bildzentrierte Direkteingabe (*GUI_bz*) bedeutet, dass der Erkunder zur Manipulation von Parametern des Abbildungssystems seine Eingabe direkt in die Bilddarstellung richtet: entweder mittels einer Berühreingabetechnik (»*Touchscreen*« oder Eingabestift) oder ersatzweise mit dem mausgeführten Zeiger mitten im Bild:

- *GUI_bz_tch*: Unmittelbare Berühreingabe auf dem Bildschirm;
- *GUI_bz_msz*: Eingabe über den Mauszeiger direkt ins Bild.

Diese Eingabevariante erscheint für das Verschieben und Drehen besonders nahe liegend, da sie dem körperlichen Anfassen, z. B. einer Fotografie, unmittelbar entspricht. Aber auch das Vergrößern/Verkleinern oder das Heller/Dunkler-Stellen kann durch ein Hinauf- bzw. Hinunterziehen des Fingers bzw. Mauszeigers im Bild gesteuert werden, wenn es auch nicht gleichermaßen intuitiv erscheint, wie das Bewegen und Drehen¹.

1 Die gleichzeitige Manipulation von Bildhelligkeit und Kontrast durch bildzentrierte Eingabe findet bspw. Anwendung bei dem »*German Airforce Aerial Imagery Exploitation System*« der Fa. EADS Deutschland GmbH für die Luftbildauswertung der Bundesluftwaffe.

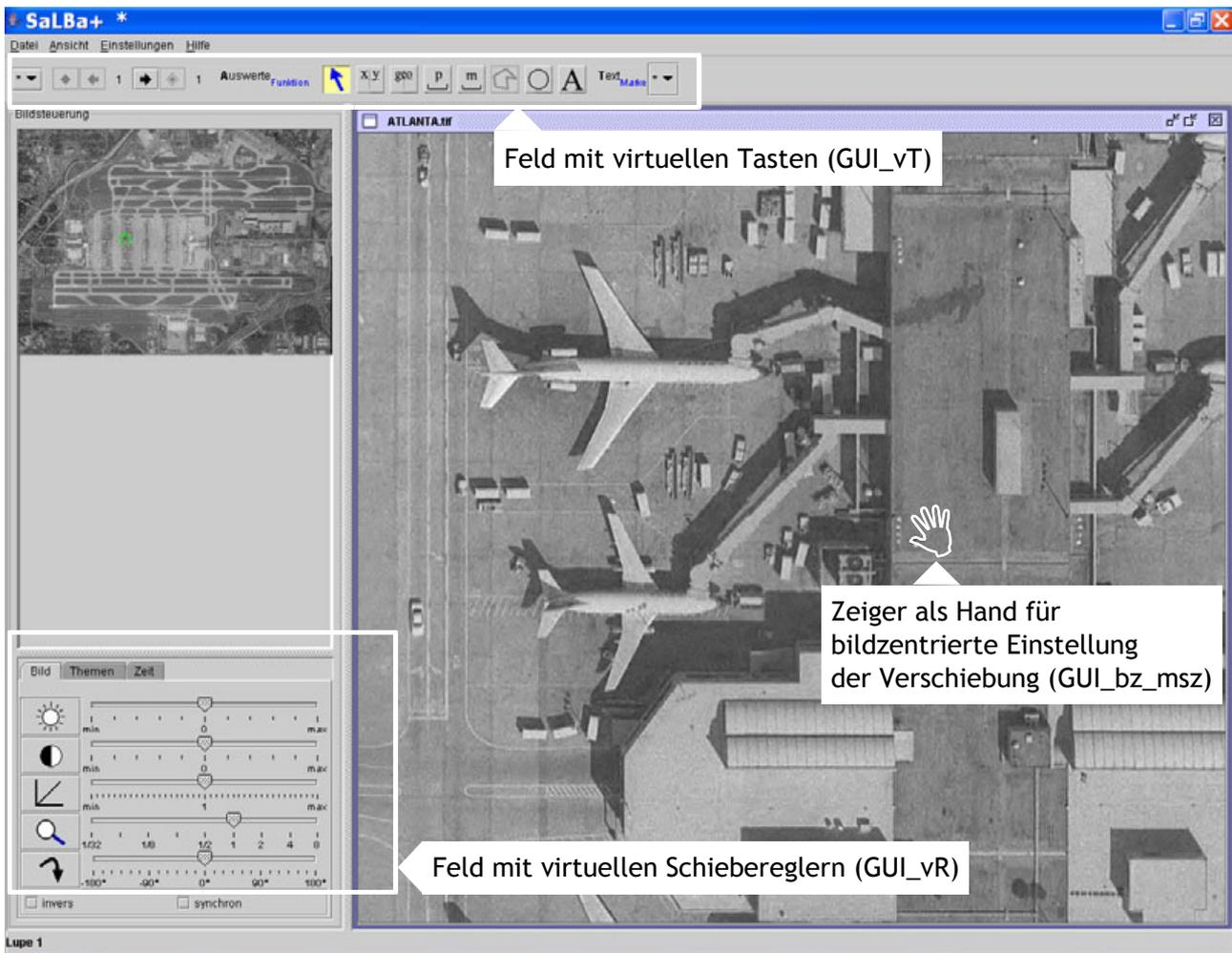


Abbildung 53: Ausgewählte Dialogelemente auf der grafischen Benutzeroberfläche einer Bildarstellungssoftware (»SalBa+« des Fraunhofer IITB).

Auch bei der »echten« Tastatureingabe ($TST_{_}$) werden die beiden Varianten (TST_{sm} : schrittweise, TST_{gl} : gleitend) betrachtet. Hier wird jedoch zusätzlich unterschieden, ob der Benutzer den Blick zur Tastatur richten muss, um die Taste zu treffen (TST_{\dots_mB}) oder ob er, geübt an der Tastatur, die Taste blind treffen kann (TST_{\dots_oB}).

Schließlich wird bei der Spracheingabe ($SPR_{_}$), also der Eingabe über gesprochene Kommandos, wie bei den Tastatureingaben unterschieden zwischen

- SPR_{sm} : schrittweiser und
- SPR_{gl} : gleitender Eingabe.

Hier ist bei der gleitenden Eingabe zu beachten, dass zur Beendigung des Einstellvorgangs ein »Stopp«-Kommando erforderlich ist, welches bei der Tasteneingabe dem Loslassen der Taste entspricht.

Zusammengefasst werden also die folgenden Varianten untersucht (Tabelle 3):

Tabelle 3: Diskutierte Interaktionsvarianten für die Einstellung eines Abbildungssystems am Bildschirmarbeitsplatz.

<i>GUI_vR</i>	GUI / virtueller Schieberegler
<i>GUI_vT_sw</i>	GUI / virtuelle Taste / schrittweises Einstellen
<i>GUI_vT_gl</i>	GUI / virtuelle Taste / gleitendes Einstellen
<i>GUI_bz_tch</i>	GUI / bildzentriertes Einstellen / Berühreingabe (»Touchscreen« o. ä.)
<i>GUI_bz_msz</i>	GUI / bildzentriertes Einstellen / über Mauszeiger
<i>TST_sw_mB</i>	Tastatur / schrittweises Einstellen / mit Blick zur Taste
<i>TST_sw_oB</i>	Tastatur / schrittweises Einstellen / ohne Blick zur Taste
<i>TST_gl_mB</i>	Tastatur / gleitendes Einstellen / mit Blick zur Taste
<i>TST_gl_oB</i>	Tastatur / gleitendes Einstellen / ohne Blick zur Taste
<i>SPR_sw</i>	Spracheingabe / schrittweises Einstellen
<i>SPR_gl</i>	Spracheingabe / gleitendes Einstellen

6.4.2 Modellierung des Einstellvorgangs für ausgewählte Interaktionstechniken

Wie oben begründet, sollen hier nur diejenigen Einstellaufgaben untersucht werden, welche eine feste Fixation im Szenenbild betreffen: also das Einstellen der Bildqualität, des Vergrößerungsfaktors und des Drehwinkels (als Folge des Neinausgangs der kognitiven Takte [7], [8] oder [9]). Die Modellierung der Eingabe erfolgt in der HPML. Die Modelle für alle Varianten sind in Anhang A (S. 165 ff.) einander gegenübergestellt. Nachfolgend soll das Modellierungsprinzip stellvertretend an den folgenden fünf Varianten erläutert werden:

- schrittweises Einstellen mit Spracheingabe (*SPR_sw*),
- gleitendes Einstellen mit Spracheingabe (*SPR_gl*),
- schrittweises Einstellen über Tasteneingabe mit Blick zur Taste (*TST_sw_mB*),

- Einstellen mit virtuellem Schieberegler (*GUI_vR*),
- bildzentrierte Eingabe mit Maus (*GUI_bz_msx*).

6.4.2.1 Modell für die schrittweise Einstellung mit Spracheingabe (*SPR_sm*)

Abbildung 54 zeigt das HPML-Modell für die schrittweise Einstellung mittels Spracheingabe. Die fett umrandeten Takte kennzeichnen dabei, wie in allen anderen Fällen auch, den so genannten *günstigsten* Pfad. Dieser wird in weiter unten in Kapitel 6.4.3 erörtert. Der Einstieg in den Ablauf erfolgt aus den NEIN-Ausgängen der kognitiven Takte [7], [8] oder [9] (siehe Abbildung 48), welche eine mangelhafte Einstellung des Abbildungssystems bezüglich Bildqualität, Vergrößerung oder Drehwinkel feststellen. Die Einstellung beginnt mit dem kognitiven Takt /a/, der das Aussprechen des Kommandos veranlasst. Er ist als rekursiver Takt modelliert, da es möglicherweise mehrerer Takte bedarf, um das richtige Sprachkommando aus dem Gedächtnis zu holen. Darauf folgt sofort der motorische Takt /b/, welcher das Sprachkommando ausführt. Wenn der Befehl mehr als eine Silbe enthält, kann angenommen werden, dass das Sprechen aus einer Kaskade mehrerer motorischer Takt besteht. Daher wird auch dieser Takt rekursiv modelliert.

Da hier eine schrittweise Einstellung modelliert wird, löst das Kommando nur einen einzelnen Stellschritt aus. Der perzeptive Prozessor ist sofort frei, die weiter auf derselben Bildschirmregion ruhende Fixation zu verarbeiten. Dies geschieht im anschließenden perzeptiven Takt /c/. Er ist mit einem schwarzen Punkt gekennzeichnet, was anzeigt, dass er sich auf das Szenenbild richtet. Die kognitive Verarbeitung des neu aufgenommenen Perzepts muss nun als erstes prüfen, ob der Stellbefehl dahingehend erfolgreich war, dass er die Szenenabbildung erkennbar verändert hat. Dies geschieht im kognitiven Takt /d/ mit der Frage »Veränderung erkannt?«. Kann diese Frage mit JA beantwortet werden, folgt der Wiedereintritt in die Arbeitsaufgabe, also in eine der Fragen [1] bis [3]. Kann die mit dem entsprechenden kognitiven Takt der Arbeitsaufgabe gestellte Frage mit JA beantwortet werden, war der Stellschritt erfolgreich und es geht weiter in der Arbeitsaufgabe. War er nicht erfolgreich, kann also der Szenenhintergrund noch nicht erkannt bzw. ein Zielverdacht nicht aufgefasst oder bestätigt werden, muss die Einstellung fortgesetzt werden. Der Nein-Ausgang führt wieder zurück zu dem kognitiven Takt /a/, der nun erneut das Sprechen des Einstellkommandos veranlasst.

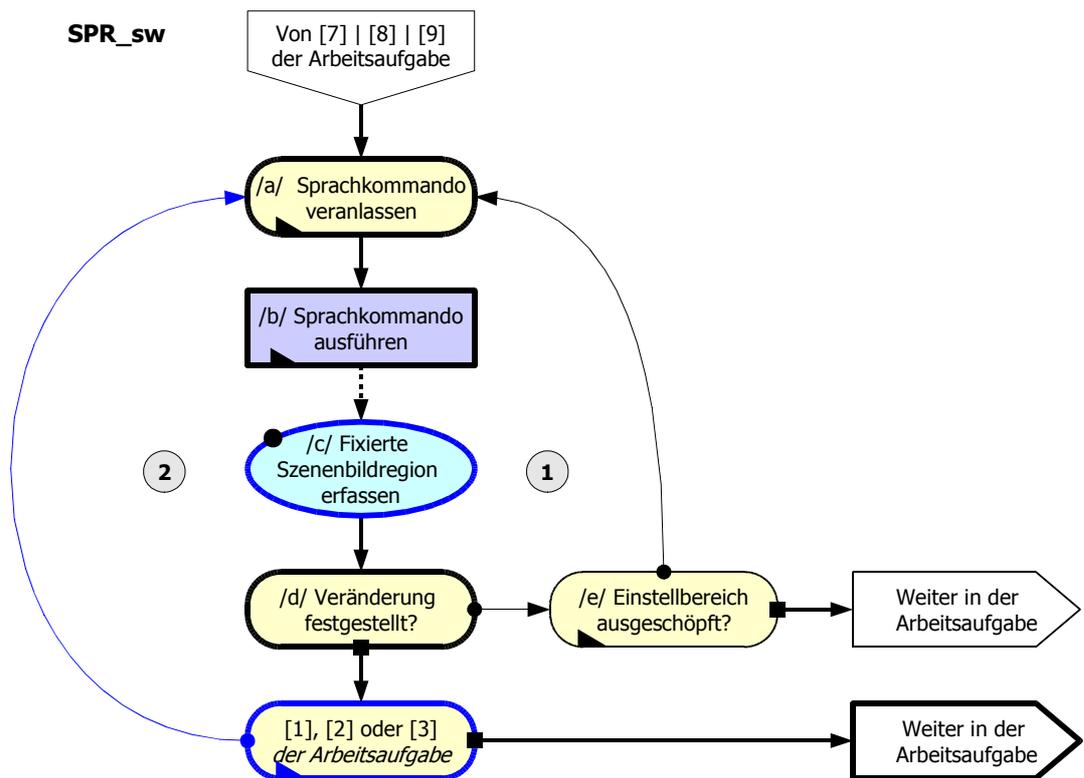


Abbildung 54: HPML-Modell der schrittweisen Einstellung mit Spracheingabe (*SPR_sw*).

Kann trotz des Stellbefehls keine Veränderung erkannt werden (NEIN-Ausgang von Takt /d/) ist die Ursache entweder darin zu suchen, dass der Stellschritt noch nicht für eine merkliche Veränderung ausreichte oder dass der Einstellbereich ausgeschöpft ist. Dies wird im kognitiven Takt /e/ geprüft. Auch dieser Takt ist als rekursiv modelliert, da die Antwort auf die Frage in /e/ möglicherweise mehrerer Erinnerungsschritte bedarf. Im einen Fall muss ein weiterer Stellschritt veranlasst werden (zurück zu /a/). Im anderen Fall ist ein weiterer Stellversuch nutzlos und der Erkunder kehrt zurück zur Arbeitsaufgabe. Es soll hier nicht diskutiert werden, welche Schlüsse er aus diesem Umstand innerhalb der Arbeitsaufgabe zieht. Dies ist für die Modellierung des Einstellvorgangs ohne Belang.

Der so modellierte Ablauf der schrittweisen Einstellung mittels Spracheingabe enthält zwei Schleifen. Die eine (②) führt von /a/ über /d/ in die Arbeitsaufgabe und zurück zu /a/. Sie wird so lange durchlaufen, wie eine Veränderung im Szenenbild zwar erkennbar, die maßgebliche Arbeits-Teilaufgabe aber noch nicht lösbar ist. Die andere Schleife (①) führt von /a/ über /e/ zurück nach /a/ und wird gegebenenfalls solange durchlaufen, bis das Einstellkommando erkennbare Veränderungen im Szenenbild erzeugt und der Einstellbereich noch nicht erschöpft ist.

6.4.2.2 Modell für die gleitende Einstellung mit Spracheingabe (*SPR_{gl}*)

Bei der gleitenden Einstellung genügt *ein* Kommando, um eine fortlaufende Veränderung des Szenenbildes in Gang zu setzen. Sie muss gegebenenfalls durch ein Stopp-Kommando beendet werden, falls die Einstellung nicht schon vorher gegen den Anschlag des Einstellbereichs fährt. Diese Art der Einstellung ist in Abbildung 55 modelliert.

Dieses Modell gleicht demjenigen für die schrittweise Einstellung in den Takten /a/ bis /e/. Es unterscheidet sich von diesem dadurch, dass die Rückführung aus den Takten der Arbeitsaufgabe in den beiden Schleifen direkt in den perzeptiven Takt /c/ gerichtet ist. Da die Einstellung, einmal angestoßen, von selbst läuft, ist kein motorischer Takt mehr erforderlich. Vielmehr muss der kognitive Takt /d/, der den Stellerfolg beurteilen soll, zyklisch das jeweils jüngste Perzept aus der aktuellen Fixation auswerten. Der weitere Unterschied ist das Stopp-Kommando, das mit Takt /f/ eingeleitet wird und das fällig wird, wenn aus der Arbeitsaufgabe heraus der gewünschte Einstellzustand des Bildes erreicht ist. Die Ausführung des Stoppkommandos ist als motorischer Takt modelliert, der hier als »Sackgasse« endet. Nach dem Opportunitätsprinzip wird hier angenommen, dass das Stopp-Kommando zu einem sofortigen Stopp führt. Auf eine Rückmeldungsschleife, die den Erfolg des Kommandos prüft, wird deshalb verzichtet.

6.4.2.3 Modell für das schrittweise Einstellen über Tasteneingabe mit Blick zur Taste (*TST_{sw}_{mB}*)

Das Modell für die Tasteneingabe hat eine wesentlich komplexere Struktur als dasjenige für die Spracheingabe. Abbildung 56 zeigt dieses Modell. Es kann in drei Blöcke aufgeteilt werden.

- A) Ansteuern der Taste mit einem Finger,
- B) Blick zurück zum Szenenbild und
- C) Einstellen.

Block A fasst alle perzeptiven, kognitiven und motorischen Takte zusammen, die zum Ansteuern der Taste mit dem Finger erforderlich sind. Die Variante *TST_{sw}_{mB}* geht von der Voraussetzung aus, dass die Hand vor dem Einstellvorgang nicht an der Tastatur, sondern an einer beliebigen Stelle liegt, so dass auch ein geübter Benutzer eine Blickwendung zur Tastatur benötigt, um mit dem Bedenfinger die richtige Taste zu treffen.

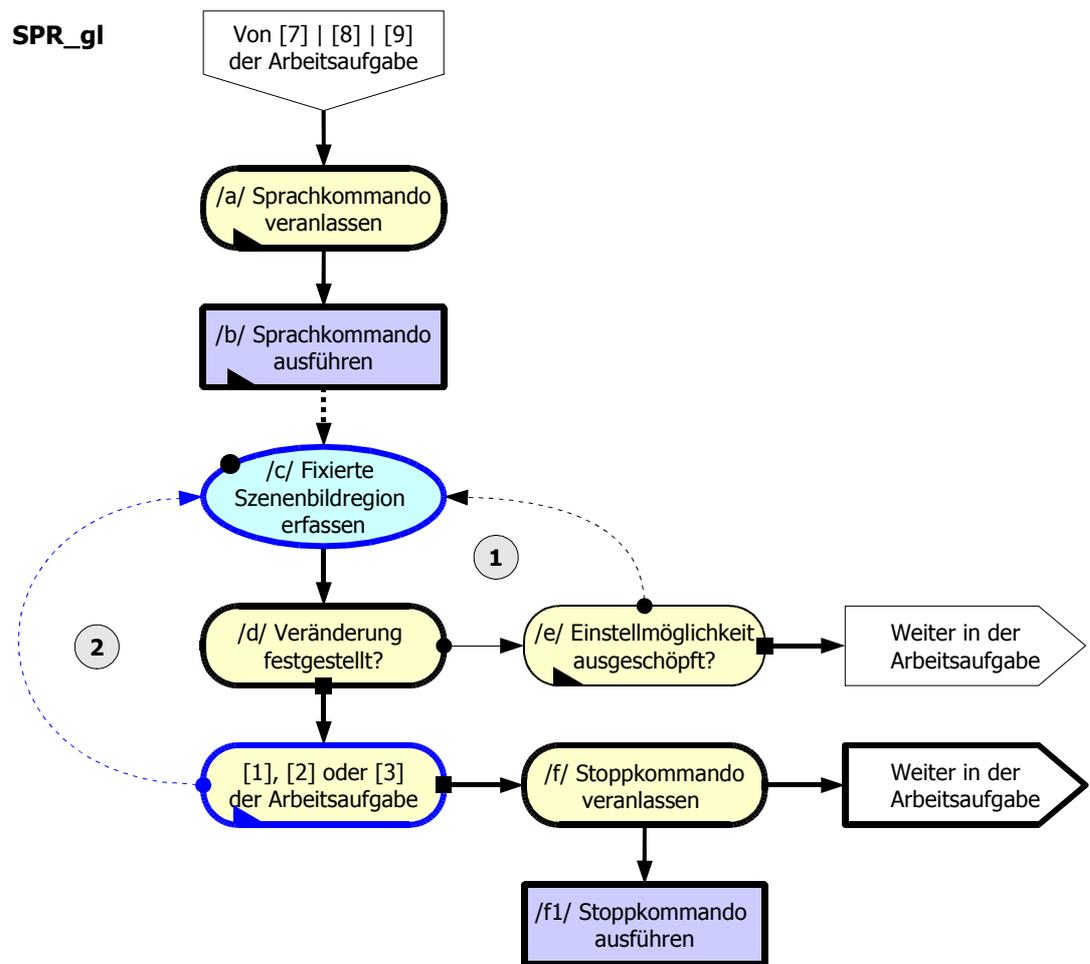


Abbildung 55: HPML-Modell der gleitenden Einstellung mit Spracheingabe (*SPR_gI*).

In der Annahme, dass der Erkunder nach dem Feststellen einer Unzulänglichkeit in der Szenenabbildung sofort weiß, welche Taste er für die Korrektur zu betätigen hat (Opportunitätsprinzip), besteht der erste Takt dieses Einstellvorgangs darin, den Blick vom Szenenbild hin zu dieser Taste zu wenden. Dies geschieht mit dem kognitiven Takt /a/. Motorisch wird dieser kognitive Vorbereitungstakt bimodal parallel ausgeführt. Zum einen wird der Blick zur Taste hin gewendet (Takt /c/); zum anderen wird dies synchron begleitet von der Bewegung der Bedienhand ebenfalls auf die Taste zu (Takt /d/). Auge und Hand bilden ein sehr eng gekoppeltes sensumotorisches System. Blick- und Handbewegung agieren synchron und koordiniert, wenn das zu greifende Ziel örtlich bekannt ist (siehe z. B. Smith et al. (2000)). Dieses Verhalten kann man an sich selbst und an anderen leicht beobachten und bestätigen.

Wegen der mit /c/ eingeleiteten Blickbewegung wendet sich der visuelle Fokus ab vom Szenenbild hin zur Tastatur. Der nächste Takt des perzeptiven Prozessors verarbeitet also eine neue Fixation, die im nachfolgenden kognitiven Takt /g/ daraufhin geprüft wird, ob die Zieltaste bereits erfasst ist. Falls nicht, wird die Schleife ① zurück zu Takt /a/ geschlossen, der die Fortsetzung der Blickwendung steuert, die weiter durch eine synchrone Weiterbewegung der Hand begleitet wird. Sobald die Taste visuell erfasst ist, Takt /g/ also mit JA beantwortet werden kann, tritt der Prozess in die Schleife ② ein: mit dem kognitiven Takt /h/, der fragt, ob auch der Finger sich bereits auf der Taste befindet. Durch die mit /d/ ausgeführte synchrone Bewegung der Hand auf die Taste zu ist zu erwarten, dass der Finger sich bereits in der Nähe der Taste befindet.

Eine separate anschließende Blickwendung, die wieder von der Taste wegführt, um alleine den Finger zu suchen, ist also nicht mehr erforderlich. Selbst wenn der Bedienfinger sich noch nicht im Blickfeld befinden sollte, ist der kinästhetische Sinn des Menschen ausreichend, um die Hand in die Nähe des Ziels zu führen. Für die Feinsteuerung genügt die Messgenauigkeit des kinästhetischen Sinns hingegen in der Regel nicht. Die Schleife ② bildet also einen Regelkreis, der bei unveränderter visueller Fixation den »Lande-anflug« des Fingers auf die Taste steuert.

An dieser Stelle ist darauf hinzuweisen, dass die Interaktionsvariante *TST_..._mB* ausdrücklich den Fall modelliert, in dem der Erkunder die Hand zu Beginn der Einstelloperation *nicht* in einer klar definierten Position gegenüber der Tastatur liegen hat. Es ist allgemein bekannt, dass Menschen nach ausreichender Übung außergewöhnliche Leistungen im Benutzen der Tastatur erreichen können. Voraussetzung ist allerdings immer, dass die Hände in einer definierten Lage zur Tastatur positioniert werden. Für die hier untersuchten Einstelloperationen ist dieser Fall mit der Variante *TST_..._oB* behandelt. Die Modelle dafür sind im Anhang A auf den Seiten 174 und 178 dargestellt.

Ist der Finger auf der Taste zu liegen gekommen, die Frage von Takt /h/ also mit JA beantwortet, geht der Ablauf in den nächsten Block, den Block B über, der den Blick zurück zum Szenenbild führt. Dies geschieht wiederum in einem rückgekoppelten Prozess in der Schleife ③, die vom kognitiven Takt /i/ als veranlassendem Takt für den Blickwechsel über dessen motorische Ausführung mit /j/, das Erfassen der visuellen Fixation mit /k/ und der kognitiven Bewertung in /l/, ob die Ausgangsstelle im Szenenbild erreicht sei, zurück zu /i/ führt.

Ist die Stelle im Szenenbild, von der aus der Erkunder die Einstelloperation einleitete, wieder fixiert, kann schließlich die Einstellung selbst durch Betätigen der Taste eingeleitet werden. Dies geschieht im Block C, beginnend mit dem kognitiven Takt /m/, der den Tastenanschlag veranlasst. Die Variante *TST_sw_...* sieht

vor, dass je Tastenanschlag nur *ein* definierter Stellschritt ausgelöst wird. Die Taste muss also vor dem nächsten Stellbefehl wieder losgelassen werden. In der Annahme, dass der Erkunder auf diese Eingabeart trainiert ist, löst der prämotorisch-kognitive Takt /m/ also zwei aufeinander folgende motorische Takte aus, mit denen die Taste zuerst niedergedrückt und sofort wieder losgelassen wird (/n/ und /o/). Dies ist eine Spezialisierung der Rekursion des motorischen Takts in HPML. Aus dem in /p/ erfassten neuen Perzept wird mit /q/ festgestellt, ob sich eine Veränderung des Szenenbildes entsprechend der Einstellung ergeben hat. Falls ja, wird die intendierte Teilaufgabe der Arbeitsaufgabe bearbeitet, die bei negativer Antwort mit der Schleife ④ zu einem weiteren Stellbefehl durch Tastendruck zurückführt. Kann in /q/ keine Veränderung festgestellt werden, folgt, ähnlich wie bereits bei den Modellen für die Spracheingabe, die Frage, ob der Einstellbereich schon ausgeschöpft ist. Der entsprechende kognitive Takt /r/ führt im Nein-Fall in Schleife ⑤ zurück zur Initiierung eines weiteren Tastendrucks, im Ja-Fall zurück in die Arbeitsaufgabe.

6.4.2.4 Modell für die Einstellung mit virtuellem Schieberegler (*GUI_vR*)

Abbildung 57 zeigt die Modellierung des Interaktionsvariante *GUI_vR*. Wie bei der oben beschriebenen Tasteneingabe kann der Einstellablauf in mehrere Blöcke gegliedert werden. Hier sind es vier Blöcke:

- A) Ansteuern des Schiebers mit dem Bildschirmzeiger,
- B) Blick zurück zum Szenenbild,
- C) Einstellvorgang und
- D) Einstellung beenden.

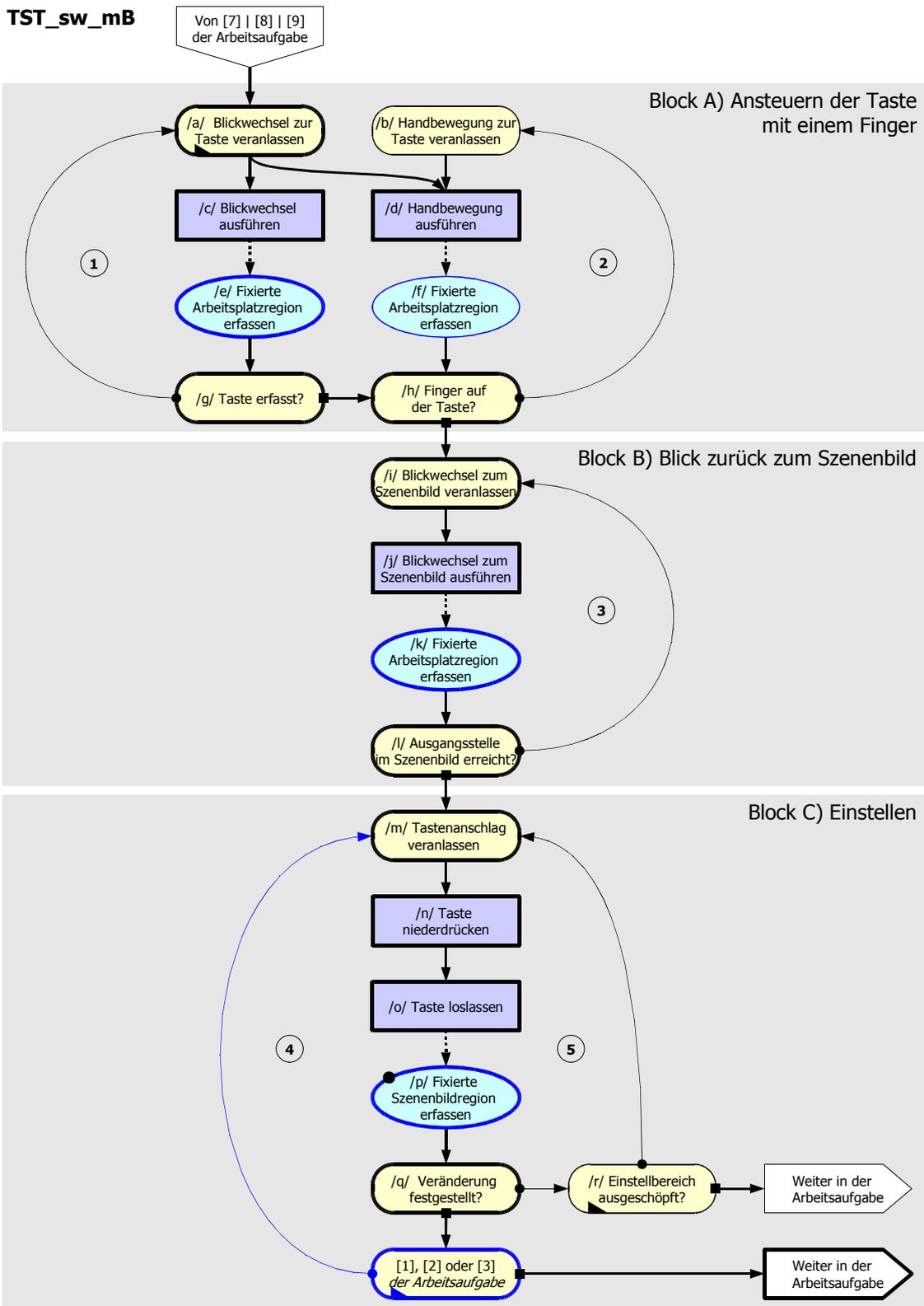


Abbildung 56: HPML-Modell der schrittweisen Einstellung über Tasteneingabe, wobei ein Blick zur Taste zu Beginn erforderlich ist (*TST_sw_mB*).

Block A, das Ansteuern des Schiebereglers mit dem Bildschirmzeiger, gleicht dem ersten Block der Variante *TST_..._mB*. Es wird, wie in den anderen Fällen auch, angenommen, dass beim Erkunder mit dem Feststellen der Ursache einer unzureichenden Bildeinstellung unmittelbar eine Reaktion ausgelöst wird, die auf das entsprechende Einstellelement hin steuert. Im Fall von *GUI_vR* ist dies das Einleiten einer Blickwendung hin zu dem virtuellen Schieberegler (kognitiver Takt /a/). Dies geschieht unter der Annahme, dass der Schieberegler immer an derselben Stelle auf der grafischen Benutzungsoberfläche angeordnet ist und der Erkunder aufgrund von Training und Erfahrung intuitiv seinen Blick dorthin wendet. Auch hier gilt wieder das Opportunitätsprinzip, d. h. die Annahme günstigster Voraussetzungen.

Wie für die Tasteneingabe bereits beschrieben, folgt auch hier die Hand dem Blick, allerdings nur indirekt über die Maus. Die kinästhetische Rückmeldung gibt dem Bediener nur Auskunft über die Richtung der Bewegung, liefert aber, im Gegensatz zum direkten Ansteuern einer Taste, keine absolute Information über die erreichte Position. Dies kann nur durch Rückmeldung über den visuellen Kanal erfolgen. Dafür ist auf der rechten Hälfte dieses Blocks eine zusätzliche innere Schleife einmodelliert, die Schleife ②, welche über eine visuelle Fixation mittels des perzeptiven Taktes /f/ die aktuelle Position des Zeigers erfasst. Wiederum dem Opportunitätsprinzip folgend wird angenommen, dass der Zeiger wegen seiner Bewegung in der Peripherie des Gesichtsfelds wahrgenommen werden kann, so dass kein separater Blickwechsel nur zur Suche und Verfolgung des Zeigers erforderlich ist. - Ist der Zeiger erfasst (JA-Ausgang von Takt /g/), spannt sich der äußere Regelkreis mit der Schleife ③ auf, der ihn auf den »Griff« des virtuellen Schiebers hin führt. Wenn schließlich dies erfüllt ist, mündet der Ja-Ausgang des Taktes /i/ in das »Greifen« des virtuellen Griffs durch Niederdrücken der Maustaste mit dem kognitiven Takt /j/ und dem parallel abgehenden motorischen Takt »Maustaste drücken«. Damit ist die Vorbereitung für die Einstelloperation erledigt.

Der folgende Block B zeigt den Ablauf der Rückkehr des Blicks zum Szenenbild mit der Schleife ④ zwischen den Takten /k/ und /n/. Er unterscheidet sich strukturell nicht von dem bei *TST_..._mB*. Dagegen besitzt Block C, der Block für den eigentlichen Einstellvorgang, eine etwas andere Struktur. Die Einstellung mittels des Schiebereglers erscheint gleitend, wird aber hier als stückweise Bewegung mittels der Maus modelliert. Ist nach festgestellter Veränderung im Bild nach einem Verschiebeschritt die Teilaufgabe der Arbeitsaufgabe gelöst oder bei nicht merklicher Veränderung festgestellt, dass die Grenze des Einstellbereichs erreicht ist,

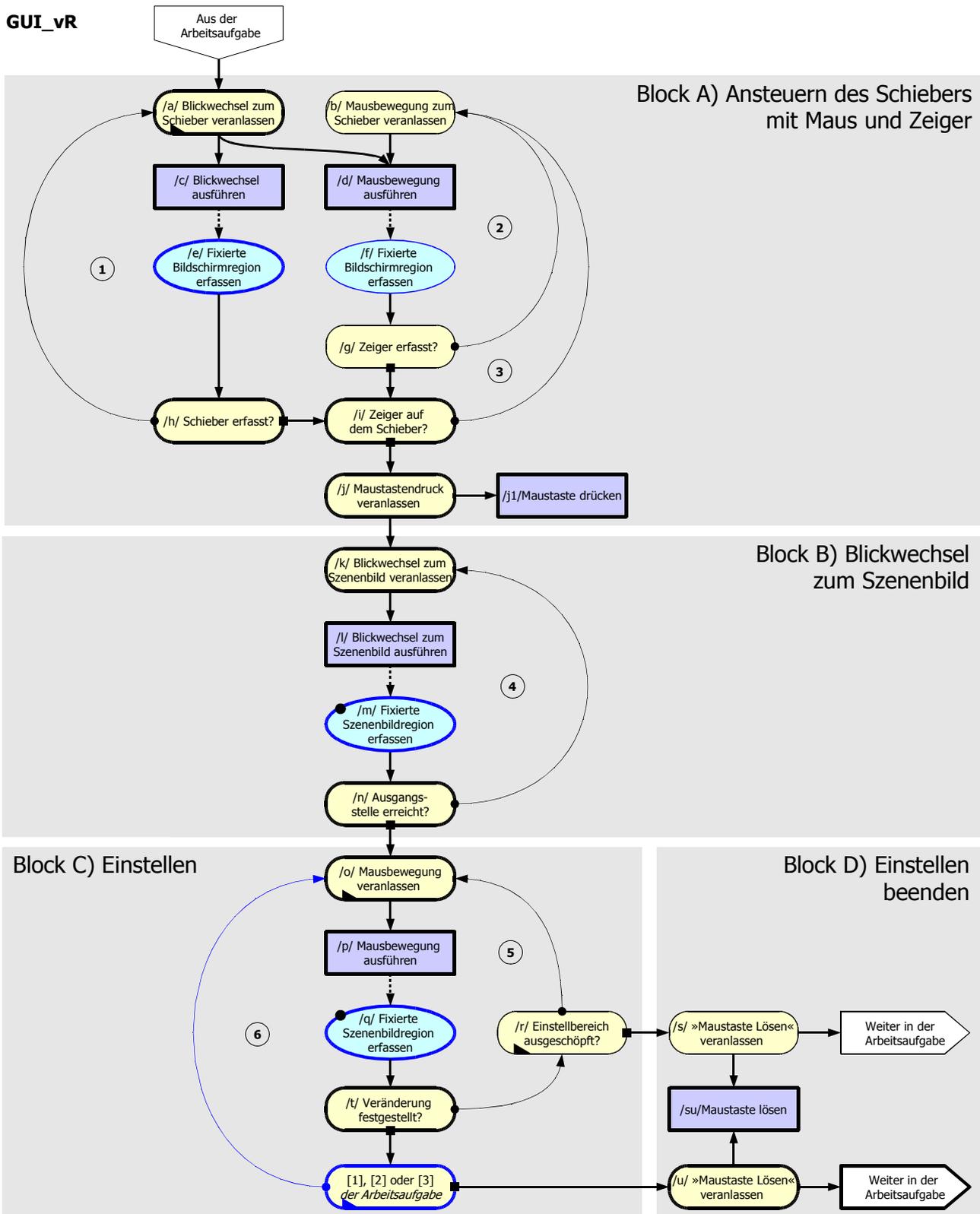


Abbildung 57: HPML-Modell der Bedienung über virtuellen Schieberegler (GUI_vR).

wird kein Verschiebeschritt mehr angeschlossen. Die Hand mit der Maus kommt zum Stehen und der Bediener gelangt in den letzten Block D, dem Beenden des Einstellvorgangs, der nur aus dem Lösen der Maustaste besteht.

6.4.2.5 Modell für die bildzentrierte Eingabe mit Mauszeiger (*GUI_bz_msz*)

Allen Untervarianten der bildzentrierten Einstellung *GUI_bz* ist gemeinsam, dass der Benutzer mit dem Zeigeelement direkt auf die Bilddarstellungsfläche wirkt. Dies kann im Falle eines berührungsempfindlichen Bildschirms direkt ein Finger, möglicherweise ein Eingabestift oder, ersatzweise, der Mauszeiger als Stellvertreter der Hand sein. Hier soll die letztgenannte Variante modelliert werden.

Das Modell dafür in Abbildung 58 ist, wie schon das für die Tasten- und Schieberegleringabe, in drei Blöcke gegliedert:

- A) Positionieren des Zeigers im Bild,
- B) Einstellen und
- C) Einstellen beenden.

Zunächst muss der Erkunder sicherstellen, dass der Mauszeiger an einer passenden Stelle im Bild positioniert ist. Besteht die Einstellaufgabe beispielsweise im Verändern der Helligkeit oder des Vergrößerungsfaktors und die Interaktion ist so gestaltet, dass man mit dem Auf- und Abwärtsschieben Helligkeit bzw. Vergrößerung reguliert, wäre die Bildmitte eine günstige Startposition. Bei der Drehung, versinnbildlicht als Angreifen an einem virtuellen Hebel, dessen Achse in der Bildmitte gelagert ist, wäre eine Position am Rande des Bildes günstig. Es sei wiederum dem Opportunitätsprinzip geschuldet, dass angenommen wird, der Erkunder kenne sofort und ohne weiteres Überlegen die passende Position. Dies zu kennen, wird als trainierbar eingeschätzt. Nicht trainierbar - und deshalb auszumodellieren - ist die Führung des Mauszeigers zu dieser passenden Position. Denn die Lage des Mauszeigers zu Beginn der Einstellung ist von unbekanntem vorausgehenden Operationen abhängig und nicht festlegbar.

Die erste Schleife im Block A (①) dient deshalb dem Auffinden des Zeigers. Dieser wird dazu mittels der Maus so lange bewegt, bis er in der Peripherie des Gesichtsfelds auffällt. Der Erkunder braucht dafür nicht den Blick vom Szenenbild abzuwenden (im Gegensatz zu den oben beschriebenen Varianten *TST_..._mB* und *GUI_vR*). Ist der Mauszeiger gefunden, folgt die nächste Schleife ②, die ihn auf die passende Stelle im Bild positioniert. Damit ist die Vorbereitung abgeschlossen und der Block für die eigentliche Einstellung kann folgen. Sie be-

ginnt mit dem Niederdrücken der Maustaste, veranlasst mit Takt /i/. Ab dem folgenden Takt /j/ ist der Ablauf für das Einstellen selbst sowie dessen Beendigung identisch mit dem für *GUI_vR* (siehe Abbildung 57).

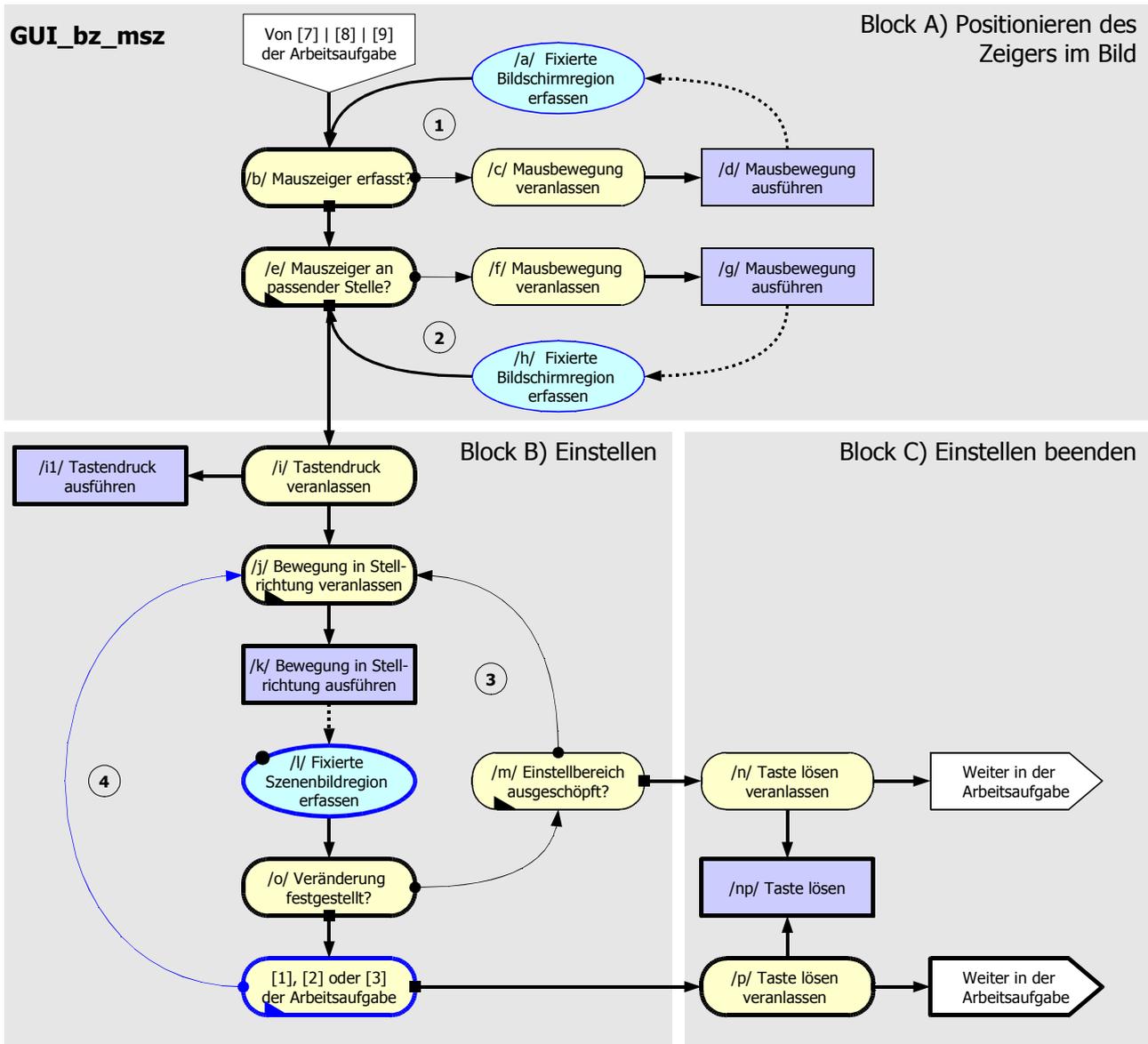


Abbildung 58: HPML-Modell der bildzentrierten Einstellung mit Maus und Zeiger (*GUI_bz_msz*).

6.4.3 Durchsatz im Arbeitsgedächtnis bei realer Bedienung

Mit den Ergebnissen aus Kapitel 6.4.2 und Anhang A liegen HPML-Modelle für ausgewählte Interaktionstechniken vor. Damit kann die Analyse des AG-Durchsatzes der idealen Bedienoperation, wie sie in Abbildung 50 (Seite 101) skizziert wurde, der von realen Bedienoperationen gegenübergestellt werden. Dies wird am Beispiel von *SPR_{sm}* als einer augenscheinlich weniger komplexen und *GUI_{VR}* als einer augenscheinlich stärker komplexen Variante erläutert. Die Darstellung der Verdrängung von Merkeinheiten im Arbeitsgedächtnis mittels der Durchsatztafel verlangt, dass man sich auf einen bestimmten von vielen möglichen Abläufen entscheidet. Begonnen wird mit dem »günstigsten Pfad«, d. h. der kürzestmöglichen Folge perzeptiver, kognitiver und motorischer Takte.

Für *SPR_{sm}* ist der günstigste Pfad in Abbildung 59 gezeigt. Er beginnt mit dem Veranlassen des Sprachkommandos in /a/, dessen Ausführung in /b/ und der Perzeption der veränderten Abbildung in /c/. Unter der Idealannahme, dass diese Veränderung sofort eingetreten und auch hinreichend stark ist, geht der Pfad weiter mit dem Feststellen der eingetretenen Veränderung in /d/ und endet mit der positiven Beantwortung der auslösenden Frage aus der Arbeitsaufgabe. Die Durchsatztafel für diesen günstigsten Pfad zeigt Abbildung 60. Bis zum Takt 05 ist derselbe Verlauf wie in Abbildung 50, der Durchsatztafel für die insgesamt ideale Bedienung, eingezeichnet. Die darauf folgenden Takte von 06 bis 09 stellen den günstigsten Pfad für *SPR_{sm}* dar. Aus der Durchsatztafel lässt sich die Verdrängung kritischer Merkeinheiten erkennen. Die Zielfigur wird in Takt 10 wieder verwendet und liegt davor auf der AG-Stelle 6, also noch deutlich entfernt von der kritischen Grenze. Zusätzlich spielt noch die Merkeinheit für dasjenige Perzept eine Rolle, aufgrund dessen der Erkunder das Urteil eines zu dunklen Bildeindruck fällt (1: ). Es wird in Takt 09 wieder verwendet um festzustellen, ob das Sprachkommando gewirkt hat und steht vorher auf AG-Stelle 4, also auch noch im unkritischen Bereich.

Ein stark verändertes Bild ergibt die Betrachtung der Einstellung über *GUI_{VR}*. Der günstigste Pfad, dargestellt in Abbildung 61, verläuft so, dass der virtuelle Schieberegler bereits mit der ersten Blickwendung aus dem Szenenbild heraus gefunden wird (Takte /a/, /c/, /e/ und /h/) und der Zeiger entweder durch Zufall oder Geschick bereits auf dem Regler liegt (Takt /i/). Die erste Blick zurück zum Szenenbild trifft bereits die Ausgangsstelle (Takte /k/ bis /n/) und der erste Stellschritt genügt, um die notwendige Darstellungsverbesserung zu erreichen (Takte /o/ bis /u/, ohne /r/ und /s/). Diese Folge kann für die gegebene Interaktionstechnik nicht mehr verkürzt werden.

Die Durchsatztafel für diesen günstigsten Pfad zeigt Abbildung 62. Wie schon für *SPR_{sw}* ist bis zum Takt 05 derselbe Verlauf wie für die insgesamt ideale Bedienung, eingezeichnet. Die darauf folgenden Takte stellen den günstigsten Pfad für *GUI_{vR}* dar. Sie sind entsprechend der Blöcke A, B, C und D zusammengefasst (links von den Taktnummern). Aus der Gegenüberstellung der Verdrängungsharfen von idealer Bedienung und realer Bedienung mittels *SPR_{sw}* und *GUI_{vR}* auf dem jeweils günstigsten Pfad in Abbildung 63 lässt sich lesen, dass die augenscheinlich höhere Komplexität von *GUI_{vR}* gegenüber *SPR_{sw}* sich auch in einer deutlich höheren Gedächtnisbelastung niederschlägt. Dies betrifft nicht nur die Verdrängungsspanne, sondern auch die Anzahl der überhaupt länger als über einen kognitiven Takt hinaus zu merkenden Einheiten. *SPR_{sw}* dagegen liegt nahe an den Verhältnissen bei idealer Bedienung. Die Spracheingabe auf dem günstigsten Pfad unterscheidet sich ausschließlich deshalb von der idealen Bedienung, weil bei dieser der Schritt des Feststellens der Veränderung wegidealisiert wurde. Vergleicht man die Durchsatztafeln für die ideale Bedienung in Abbildung 50, S. 101 mit jener für die günstigste Spracheingabe in Abbildung 60, so unterscheidet sich die für *SPR_{sw}* strukturell nur durch den Takt 09 für Takt /d/, dem Feststellen der Veränderung nach dem Einstellschritt. Würde man diesen zur idealen Bedienung hinzufügen, so ergäbe sich kein Unterschied in der Verdrängungsharfe und damit der Gedächtnisbelastung mehr.

Die Gedächtnisbelastung durch *GUI_{vR}* ist hingegen so hoch, dass nach der Annahme einer maximal auf neun Stellen begrenzten Kapazität des Arbeitsgedächtnisses eine Überbeanspruchung vorliegt. Drei der vier über eine längere Spanne zu merkenden Einheiten werden entsprechend der hier angestellten Modellbetrachtung vor ihrer kritischen Verwendung bereits aus dem AG entfernt. Ist dem Erkunder dieser Effekt vertraut, kann er dem Vergessen durch zusätzlich eingeschobene Erinnerungsschritte begegnen. Diese ziehen die allerdings den gesamten Ablauf in die Länge ziehen und nehmen mehr Zeit in Anspruch.

An dieser Stelle soll dem hier postulierten Durchsatzprinzip das herkömmliche Prinzip gegenübergestellt werden, wie es dem Warteschlangenmodell entspricht und in Abbildung 19, S. 45 im Zusammenhang mit GOMS beschrieben wird. Angenommen, jede geladene Merkeinheit, die im Zuge der Operation nicht mehr benötigt wird, würde das AG entlasten und könnte damit aus der Durchsatztafel entfernt werden. Dann ergäben sich für die ideale Bedienung und die reale Bedienung mit *SPR_{sw}* bzw. *GUI_{vR}* die in den Abbildungen 64, 65 und 66 dargestellten Tafeln.

Die Gegenüberstellung der entsprechenden Verdrängungsharfen zeigt Abbildung 67. Wie zu erwarten, fällt die Verdrängung geringer aus als bei der Annahme des Nicht-Vergessens. Besonders auffällig ist jedoch, dass die Zielfigur als aufgabenbestimmende Merkeinheit in allen drei Fällen vor der kritischen Erinnerung auf der gleichen AG-Stelle steht, nämlich der Stelle 4. Träfe die Annahme des impliziten Vergessens also zu, dürfte es keinen nennenswerten Unterschied zwischen diesen Interaktionstechniken im Bezug auf das Erinnern der Zielfigur geben. Im später beschriebenen Experiment (Kapitel 7) wird geprüft werden, ob solche Unterschiede festzustellen sind.

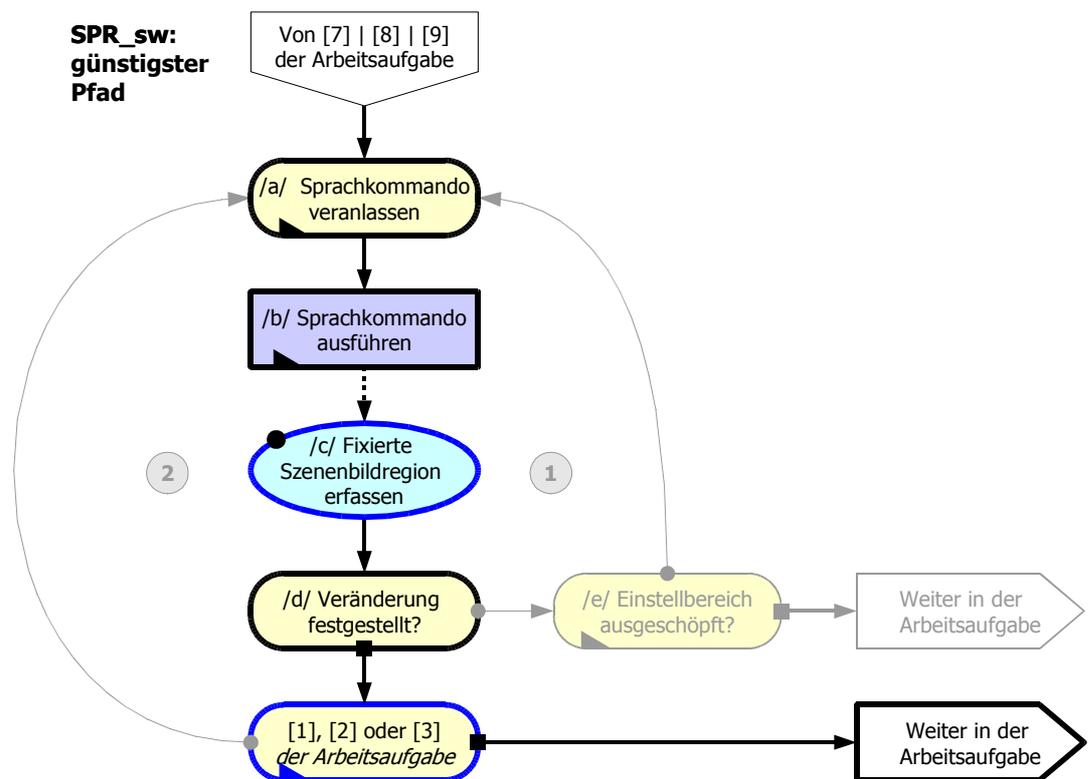


Abbildung 59: Günstigster Pfad bei SPR_{sw} (aus Abbildung 54): Die nicht berücksichtigten Prozessorknoten und Übergänge sind blass dargestellt.

Prozess-Takt	Prozessor	VSG	Arbeitsgedächtnis (AG)																	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9									
01 Bild erscheint		▪	+	✈	📄	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪
02 Fixierte Szenenbidregion erfassen	100 ms <1>	✈	✈	+	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈
03 [2] Zielverdacht wahrgenommen?	70 ms <2.2>	✈	1: ✈	+	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈
04 [3] Verdacht als Ziel bestätigt?	70 ms <2.2>	✈	1: ✈	1: ✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈
05 [7] Bildqualität ausreichend?	70 ms <2.2>	✈	1: zu dunkel	1: ✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈
06 /a/ Sprachkommando veranlassen	70 ms <3>	✈	✈	1: zu dunkel	1: ✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈
07 /b/ Sprachkommando ausführen	70 ms <4>	✈	✈	1: zu dunkel	1: ✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈
08 /c/ Fixierte Szenenbidregion erf.	100 ms <1>	✈	2: ✈	✈	1: zu dunkel	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈
09 /d/ Veränderung festgestellt?	70 ms <2.1>	✈	Mod 1 > 2: Ja	2: ✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈
10 [3] Verdacht als Ziel bestätigt?	70 ms	✈	1: ✈	2: ✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈	✈

Abbildung 60: AG-Durchsatztafel für den günstigsten Pfad beim Einstellens der Bildhelligkeit mit *SPR_{sw}* (vgl. Abbildung 50, S. 101 für die ideale Bedienung).

6 Analyse der Ressourcenkonkurrenz bei der Szenenanalyse am Bildschirmarbeitsplatz

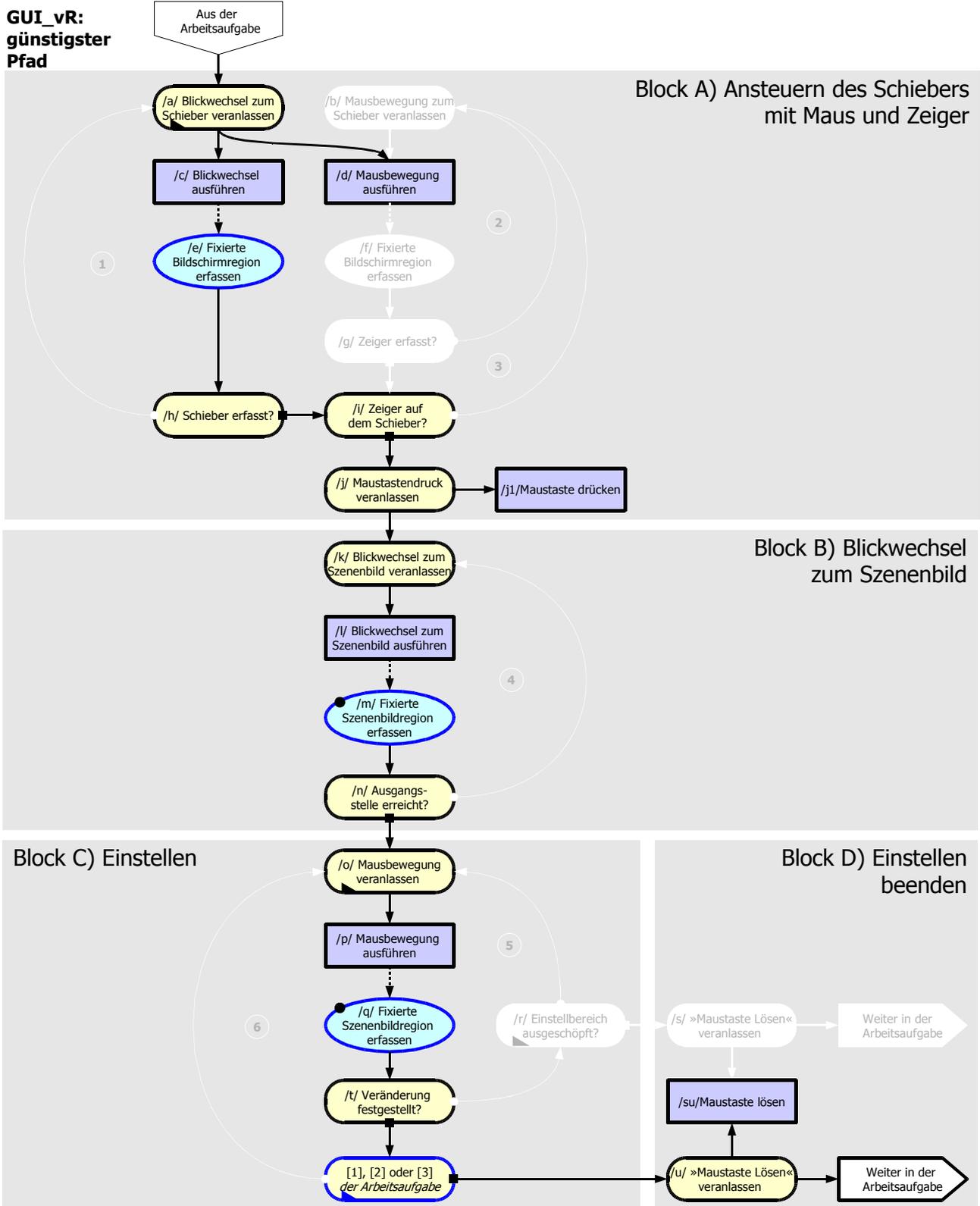


Abbildung 61: Günstigster Pfad bei *GUI_vR* (aus Abbildung 57, S. 117): Die nicht berücksichtigten Prozessorknoten und Übergänge sind blass dargestellt.

6 Analyse der Ressourcenkonkurrenz bei der Szenenanalyse am Bildschirmarbeitsplatz

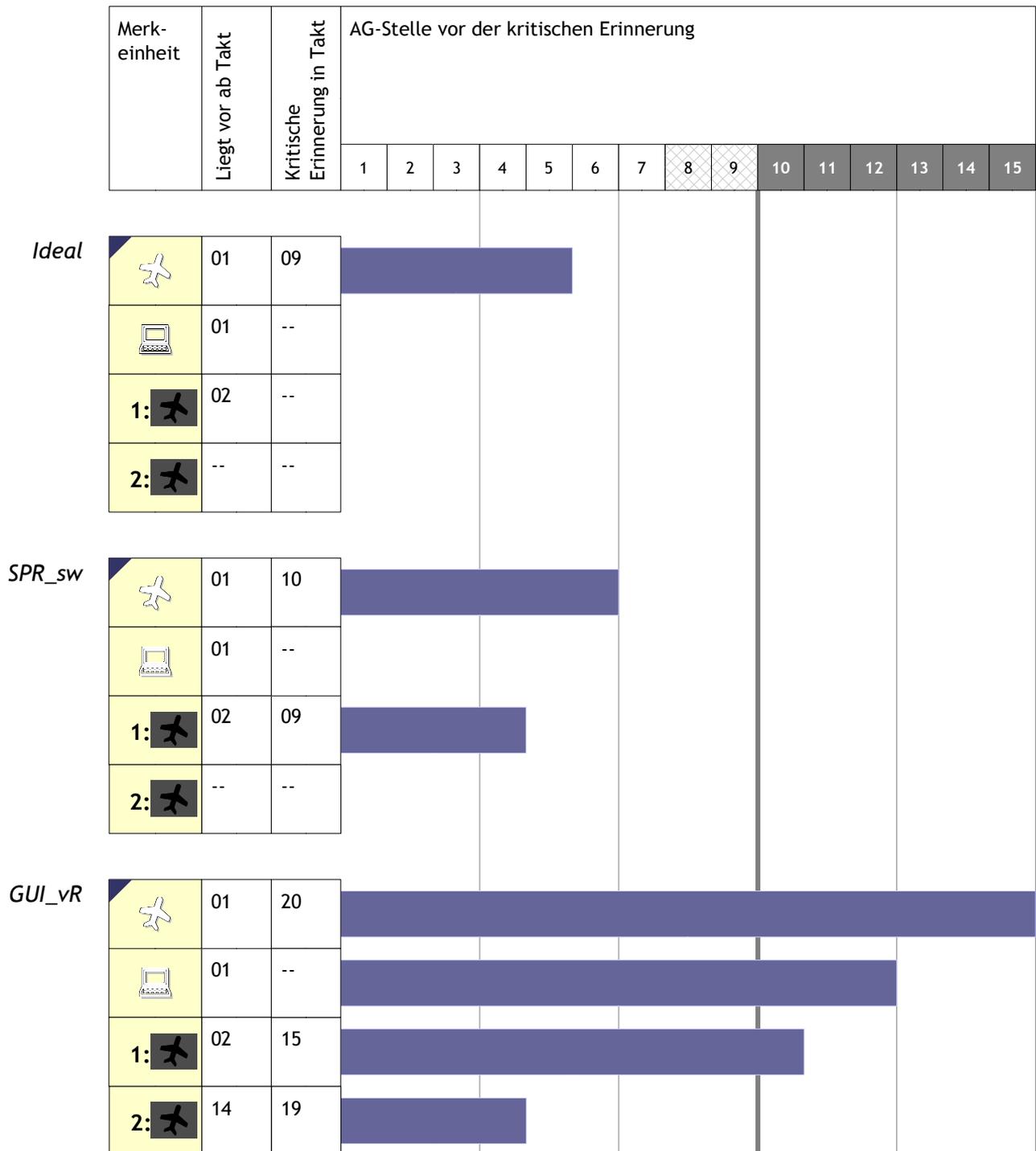


Abbildung 63: Gegenüberstellung der Verdrängung kritischer Merkeinheiten bei idealer Bedienung und realer Bedienung mittels *SPR_sw* und *GUI_vR* auf dem jeweils günstigsten Pfad.

6.4 Modellierung realer Bedienoperationen

Prozess-Takt	Prozessor	VSG	Arbeitsgedächtnis (AG)									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	
01 Bild erscheint		▪	+	✈	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪
02 Fixierte Szenen- bildregion erfassen	100 ms <1>	✈	1:■	+	✈	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪
03 [2] Zielverdacht wahrgenommen?	70 ms <2.2>	✈	1:V✓	1:■	+	✈	▪	▪	▪	▪	▪	▪
04 [3] Verdacht als Ziel bestätigt?	70 ms <2.2>	✈	1:Z✗	1:■	✈	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪
05 [7] Bildqualität ausreichend?	70 ms <2.2>	✈	1:zu dunkel	1:■	✈	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪
06 Befehl »HELLER« veranlassen	70 ms <3>	✈	»HELLER«	1:zu dunkel	✈	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪
07 Befehl »HELLER« ausführen	70 ms <4>	✈	»HELLER«	✈	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪
08 Fixierte Szenen- bildregion erfassen	100 ms <1>	✈	2:✈	✈	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪
09 [3] Verdacht als Ziel bestätigt?	70 ms <2.1>	✈	2:Z✗	2:✈	✈	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪
10 [8] Vergrößerung ausreichend?	70 ms <2.2>	✈	2:zu klein	2:✈	✈	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪
11 Befehl »GRÖßER« veranlassen	70 ms <3>	✈	»GRÖßER«	2:zu klein	✈	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪
12 Befehl »GRÖßER« ausführen	70 ms <4>	✈	»GRÖßER«	✈	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪
13 Fixierte Szenen- bildregion erfassen	100 ms <1>	✈	3:✈	✈	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪
14 [3] Verdacht als Ziel bestätigt?	70 ms <2.1>	✈	3:Z✗	3:✈	✈	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪
15 [9] Drehwinkel geeignet?	70 ms <2.2>	✈	3:Winkel ungünstig	3:✈	✈	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪
16 Befehl »DREHEN« veranlassen	70 ms <3>	✈	»DREHEN«	3:Winkel ungünstig	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪
17 Befehl »DREHEN« ausführen	70 ms <4>	✈	»DREHEN«	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪
18 Fixierte Szenen- bildregion erfassen	100 ms	✈	1:✈	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪

Abbildung 64: Ideale Bedienung, wie in Abbildung 50, S. 101, aber mit sofortiger Entlastung von nicht mehr nötigen Merkeinheiten.

6 Analyse der Ressourcenkonkurrenz bei der Szenenanalyse am Bildschirmarbeitsplatz

Prozess-Takt	Prozessor	VSG	Arbeitsgedächtnis (AG)									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	
01 Bild erscheint		▪	+	✈	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪
02 Fixierte Szenenbildregion erfassen	100 ms <1>	✈	1: ✈	+	✈	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪
03 [2] Zielverdacht wahrgenommen?	70 ms <2.2>	✈	1:V ✓	1: ✈	+	✈	▪	▪	▪	▪	▪	▪
04 [3] Verdacht als Ziel bestätigt?	70 ms <2.2>	✈	1:Z ✗	1: ✈	✈	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪
05 [7] Bildqualität ausreichend?	70 ms <2.2>	✈	1:zu dunkel	1: ✈	✈	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪
06 /a/ Sprachkommando veranlassen	70 ms <3>	✈	»HELLER«	1:zu dunkel	1: ✈	✈	▪	▪	▪	▪	▪	▪
07 /b/ Sprachkommando ausführen	70 ms <4>	✈	»HELLER«	1: ✈	✈	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪
08 /c/ Fixierte Szenenbildregion erf.	100 ms <1>	✈	2: ✈	1: ✈	✈	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪
09 /d/ Veränderung festgestellt?	70 ms <2.1>	✈	Mod 1>2: Ja	2: ✈	1: ✈	✈	▪	▪	▪	▪	▪	▪
10 [3] Verdacht als Ziel bestätigt?	70 ms	✈	1:Z ✓	2: ✈	✈	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪

Abbildung 65: Reale Bedienung mit *SPR_{sw}*, wie in Abbildung 60, S. 123, aber mit sofortiger Entlastung von nicht mehr nötigen Merkeinheiten.

6.5 Methode zur Vorhersage der Belastung des Arbeitsgedächtnisses durch Bedienaufgaben

Die oben beschriebene Belastungsanalyse zeigte, dass verschieden komplexe Interaktionstechniken unterschiedliche Anforderungen an das Erinnern aufgabenrelevanter Merkeinheiten stellen. Die Analyse wurde bisher nur exemplarisch an ausgewählten Beispielen und für den jeweils günstigsten Pfad vorgenommen. Will man den allgemeinen Fall modellieren, um verschiedene Interaktionstechniken hinsichtlich ihrer durchschnittlichen Verdrängungswirkung vergleichen zu können, steht man vor der Schwierigkeit, vorhersagen zu müssen, wie viele Schleifendurchläufe jeweils erforderlich sind. Die Häufigkeit des Durchlaufens von Schleifen ist von verschiedenen Randbedingungen abhängig. So wird beispielsweise die Anzahl der Läufe durch die Schleife ① bei *GUI_{VR}* (Abbildung 57, S. 117) davon bestimmt, wie weit der virtuelle Schieberegler von dem zu Beginn fixierten Bildbereich entfernt liegt, wie gut der Erkunder dessen Lage auf dem Bildschirm kennt

6.5 Methode zur Vorhersage der Belastung des Arbeitsgedächtnisses durch Bedienaufgaben

Prozess-Takt	Prozessor	VSG	Arbeitsgedächtnis (AG)																				
			1	2	3	4	5	6	7	8	9												
01 Bild erscheint		▪	+	✈	🖥	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪			
02 Fixierte Szenen- bildregion erfassen	100 ms <-1>	✈	1: ✈	+	✈	🖥	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪			
03 [2] Zielverdacht wahrgenommen?	70 ms <-2.2>	✈	1: V ✓	1: ✈	+	✈	🖥	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪			
04 [3] Verdacht als Ziel bestätigt?	70 ms <-2.2>	✈	1: Z ✗	1: ✈	✈	🖥	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪			
05 [7] Bildqualität ausreichend?	70 ms <-2.2>	✈	1: zu dunkel	1: ✈	✈	🖥	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪			
A	06 /a/ Blickw. zum Schieber veranlass.	70 ms <-3>	✈	1: ↻	1: zu dunkel	1: ✈	✈	🖥	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪			
	07 /c/ Blick zum Schieber ausführen	70 ms <-4>	✈	1: ↻	1: ✈	✈	🖥	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪			
	08 /e/ Fixierte Bild- schirmregion erfass.	100 ms <-1>	✍	✍	1: ↻	1: ✈	✈	🖥	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪		
	09 /h/ Schieber erfasst?	70 ms <-2.1>	✍	✍ ✓	✍	1: ✈	✈	🖥	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪		
10 /i/ Zeiger auf dem Schieber?	70 ms <-2.1>	✍	✍ ✓	✍	1: ✈	✈	🖥	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪		
11 /j/ Maustasten- druck veranlassen	70 ms <-2.0>	✍	✍	✍ ✓	1: ✈	✈	🖥	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪		
B	12 /k/ Blick zum Szenenbild veranl.	70 ms <-3>	✍	2: ↻	🖥	1: ✈	✈	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪		
	13 /l/ Blick zum Szenenbild ausf.	70 ms <-4>	✍	2: ↻	1: ✈	✈	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪		
	14 /m/ Fixierte Sze- nenbildregion erf.	100 ms <-1>	✈	2: ✈	1: ✈	✈	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪		
15 /n/ Ausgangsstelle erreicht?	70 ms <-2.1>	✈	2: ↻ ✓	2: ✈	1: ✈	✈	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪		
C	16 /o/ Mausbewegung veranlassen	70 ms <-3>	✈	✍ →	2: ↻ ✓	2: ✈	✈	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪		
	17 /p/ Mausbewegung ausführen	70 ms <-4>	✈	✍ →	2: ✈	✈	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪		
	18 /q/ Fixierte Sze- nenbildregion erf.	100 ms <-1>	✈	3: ✈	2: ✈	✈	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	
	19 /t/ Veränderung festgestellt?	70 ms <-2.1>	✈	Mod 2>3: Ja	3: ✈	2: ✈	✈	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	
20 [3] Verdacht als Ziel bestätigt?	70 ms <-2.1>	✈	1: Z ✓	3: ✈	✈	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	
D	21 /u/ »Maustaste lösen« veranlassen	70 ms <-2.1>	✍	✍	1: Z ✓	3: ✈	✈	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪

Abbildung 66: Reale Bedienung mit GUI_vR, wie in Abbildung 62, S. 125, aber mit sofortiger Entlastung von nicht mehr nötigen Merkeinheiten.

6 Analyse der Ressourcenkonkurrenz bei der Szenenanalyse am Bildschirmarbeitsplatz

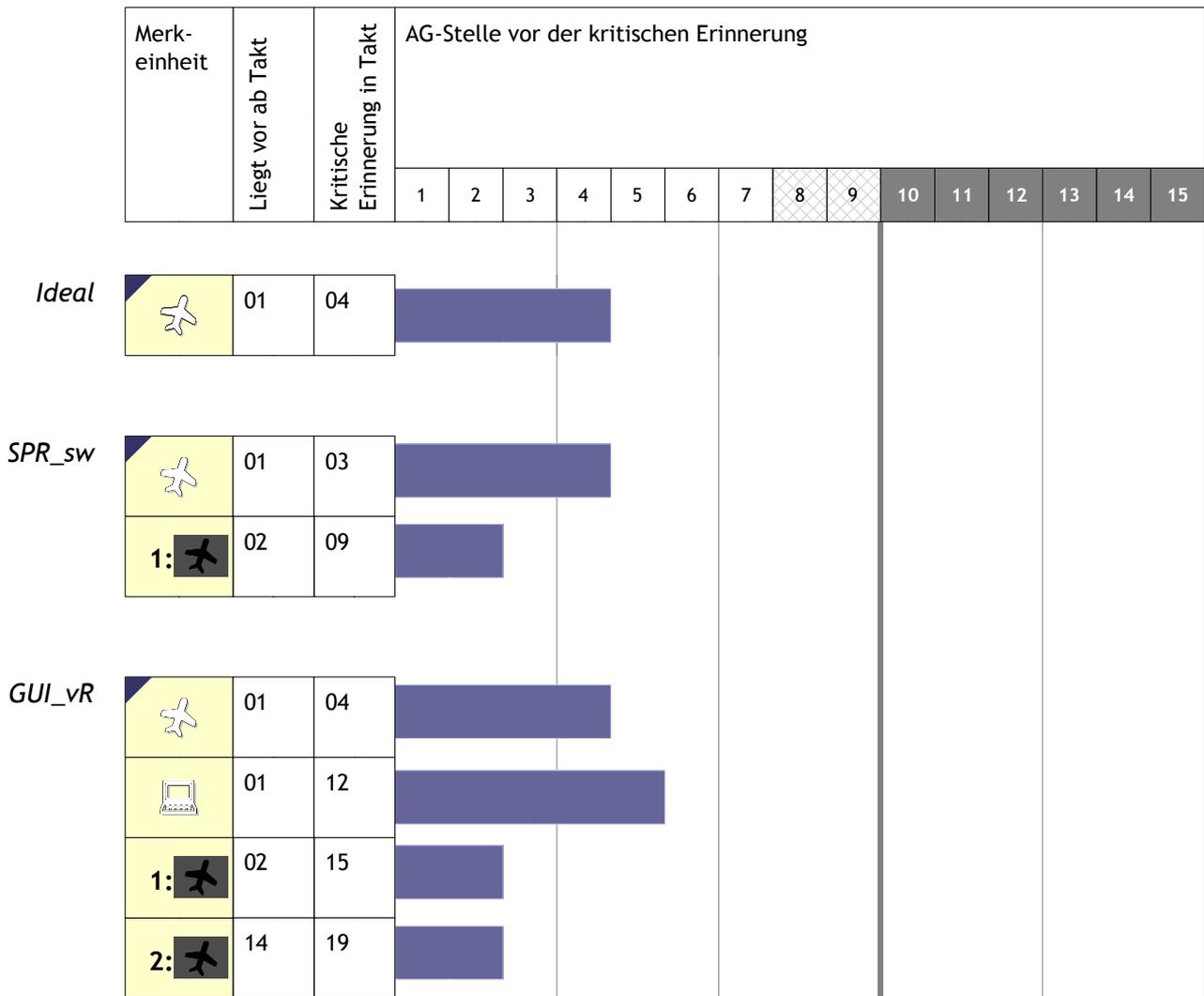


Abbildung 67: Gegenüberstellung der Verdrängung kritischer Merkeinheiten bei idealer Bedienung und realer Bedienung mittels *SPR_sw* und *GUI_vR* unter der Annahme des impliziten Vergessen nicht mehr benötigter Merkeinheiten entsprechend der Durchsatztafeln in den Abbildungen 64, 65 und 66.

und damit seine Blickbewegung zielgerichtet einleitet und wie auffällig sich der Schieberegler von benachbarten Elementen abhebt. Eine Möglichkeit dazu ist es, eine Menge repräsentativer Randbedingungskonstellationen zu definieren, dafür die Gedächtnisbelastung mit den Werkzeugen der Durchsatztafel und der Verdrängungsharfe zu analysieren und dann eine mittlere Belastung zu ermitteln. Bereits für wenige Randbedingungskonstellationen, von denen keineswegs klar ist, wie repräsentativ sie sind, würde der Aufwand dafür aber über eine vertretbare

Grenze steigen. Es gilt also, ein einfacher zu ermittelndes Maß zu finden, mit dem die Belastungen aus verschiedenen Interaktionstechniken verglichen werden können.

Ein solches Maß kann gebildet werden, wenn man die Komplexität der Modelle einander gegenüberstellt. Die Komplexität sei ausgedrückt als die Summe der Prozessorknoten in einem HPML-Modell, jeweils gewichtet mit der Anzahl der Schleifen, in die ein Prozessorknoten eingebunden ist, plus 1. Die »1« stellt als Grundgewicht sicher, dass jeder Prozessorknoten mit wenigstens einem Takt berücksichtigt wird, auch wenn er nicht in eine Schleife eingebunden ist. Das so berechnete Komplexitätsmaß des HPML-Modells einer Interaktionstechnik soll als Indikator B^* für die Belastung B einer Interaktionstechnik θ gelten (im Folgenden auch als *indizierte Belastung* bezeichnet) und kann mit Gleichung 6.1 berechnet werden:

$$B^*(\theta) = \sum_{i=1}^z (S(i) + 1) \quad \text{Gleichung 6.1}$$

mit

- B^* ... Indikator für die Belastung,
- θ ... Interaktionstechnik (z. B. *GUI_vR*),
- i ... Zähler über die Prozessorknoten im HPML-Modell (/a/, /b/, ...),
- z ... Anzahl der Prozessorknoten im Modell,
- $S(i)$... Anzahl der Schleifen, in die der i -te Prozessorknoten eingebunden ist.

Das Grundgewicht »1« wird herausgezogen, so dass sich Gleichung 6.2 ergibt:

$$B^*(\theta) = z + \sum_{i=1}^z S(i) \quad \text{Gleichung 6.2}$$

Die Berechnung des Belastungsindikators soll am übersichtlichen Beispiel der Interaktionstechnik *SPR_gl* erläutert werden (Abbildung 68). Die dort unter das HPML-Modell gezeichnete Tabelle listet diejenigen Größen auf, die in die Berechnung des Indikators eingehen. In der linken Spalte »Knoten i« sind die Prozessknoten des Modells untereinander gestellt. Die folgende Spalte ordnet jedem Knoten die Schleifen zu, in welche dieser eingebunden ist. Der Prozessorknoten /a/ beispielsweise ist rekursiv, also in seine innere Schleife »a« eingebunden. Knoten /c/ hingegen ist in die äußeren Schleifen ① und ② eingebunden. Die Spalte »Schleifengewicht«, also das $S(i)$ der Gleichung 6.2, zählt die Anzahl der

Schleifen, die in der vorigen Spalte eingetragen sind. Damit jeder Prozessorknoten unabhängig von seiner Schleifeneinbindung gezählt wird, ist in der Spalte »Grundgewicht« für jeden Knoten eine »1« eingetragen. Das Gesamtgewicht wird dann in der folgenden Spalte als Summe aus Grund- und Schleifengewicht gebildet. In der letzten Spalte »Günstigster Pfad« sind diejenigen Knoten mit dem Gewicht »1« versehen, die auch unter günstigsten Umständen zwingend bearbeitet werden müssen.

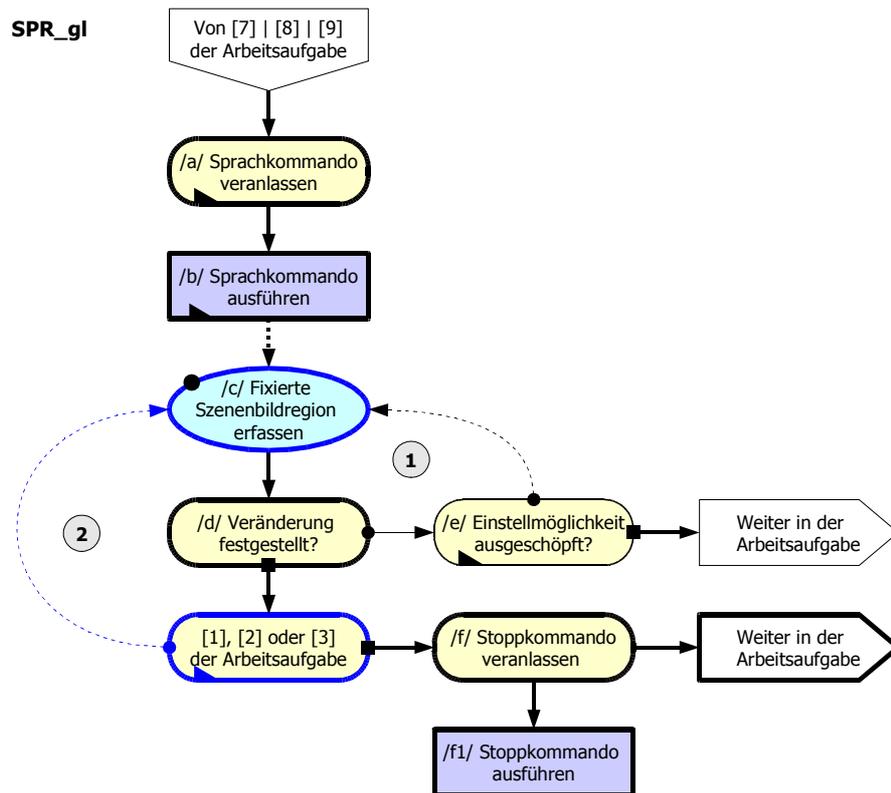
Der Belastungsindikator B^* wird aus der Summe der Einträge in der Spalte »Gesamtgewicht« bzw. für den günstigsten Pfad aus dessen Spaltensumme ermittelt. Dies kann nach der Zuordnung der Knoten zu den jeweiligen Prozessoren jeweils einen kognitiven, perzeptiven und motorischen Belastungsindikator ergeben: B^*_k , B^*_p , B^*_m . Die Summe über alle drei bildet den Indikator der Gesamtbelastung. Verdrängungswirkung im Arbeitsgedächtnis haben nur perzeptive und kognitive Takte. Deshalb ist der AG-wirksame Teil des Belastungsindikators B^*_{AG} die Summe aus B^*_k und B^*_p . Dieselbe Berechnung wird auch für den günstigsten Pfad vorgenommen.

Abbildung 69 zeigt die berechneten Belastungsindikatoren (siehe Anhang A) als Säulendiagramm, sortiert nach der Höhe des Indikators für die Gesamtbelastung und in sich aufgeteilt nach den Indikatoren für die drei Prozessoren des MHP. Als Kurve überlagert ist der Indikator der Gesamtbelastung für den günstigsten Pfad. Eine erste Sichtung der so gegenübergestellten Indikatorwerte zeigt:

1. Es bestehen deutliche Unterschiede in der indizierten Belastung zwischen den modellierten Interaktionstechniken und ihrer Varianten: *GUI_vR* als Variante mit der höchsten indizierten Belastung weist einen mehr als dreimal so hohen Wert wie das am niedrigsten indizierte *SPR_gl* auf.
2. Die Relationen zwischen den Teilbelastungen der drei Prozessoren sind ähnlich über alle modellierten Varianten;
3. Die Belastung durch die Abarbeitung des günstigsten Pfads steigt nicht monoton mit der Gesamtbelastung: D. h. die Mächtigkeit des Überbaus durch Takte, die unter günstigst denkbaren Umständen nicht erforderlich wären, korreliert nicht mit der indizierten Gesamtbelastung.
4. Die Spracheingabe wird mit den beiden Varianten *SPR_gl* und *_sm* als am belastungsärmsten indiziert; alle anderen Interaktionstechniken verteilen sich mit Ihren Varianten über die Skala.

6.5 Methode zur Vorhersage der Belastung des Arbeitsgedächtnisses durch Bedienungsaufgaben

5. Für alle Interaktionsvarianten ist zu erkennen, dass die gleitende Eingabe ($_gl$) einen niedrigeren Gesamt-Belastungsindikator liefert als die schrittweise ($_sw$).
6. Der größte Sprung in der Gesamtbelastung ist der von TST_sw_oB zu TST_gl_mB ; es ist gleichzeitig der Sprung von den Interaktionstechniken, die keine separaten Blickschritte für die Bedienung benötigen zu denen, die solches erfordern.



Knoten: <i>i</i>	In der Schleife	Schleifen- gewicht: $S(i)$	Grund- gewicht	Gesamt- gewicht	Günstigster Pfad
/a/	a	1	1	2	1
/b/	b	1	1	2	1
/c/	1 & 2	2	1	3	1
/d/	1 & 2	2	1	3	1
/e/	e & 1	2	1	3	1
/f/			1	1	1
/f1/			1	1	1
Summe <u>perzeptiv</u> : B^*_p				3	1
Summe <u>kognitiv</u> : B^*_k				9	3
AG-wirksam : B^*_{AG}				12	4
Summe <u>motorisch</u> : B^*_m				3	2
Gesamt : B^*				15	6

Abbildung 68: Berechnung des indizierten Belastung B^* ($\theta = SPR_gl$).

6 Analyse der Ressourcenkonkurrenz bei der Szenenanalyse am Bildschirmarbeitsplatz

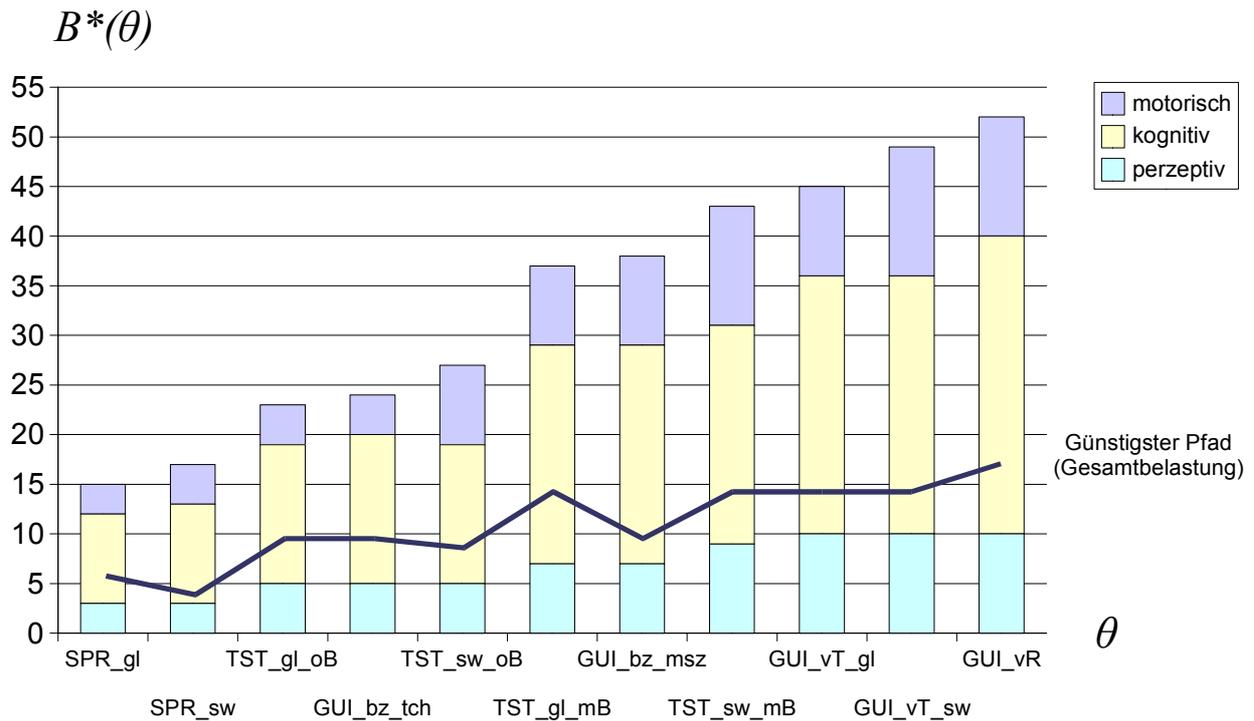


Abbildung 69: Nach Gleichung 6.2 berechnete Werte des Belastungsindikators B^* für die modellierten Interaktionstechniken θ .

Dass die nach Gleichung 6.2 berechneten Belastungsindikatoren mit der tatsächlichen Belastung durch die Interaktion korrelieren, muss empirisch validiert werden. Dies ist Gegenstand des folgenden Kapitels.

7 Empirische Validierung

Die Belastung durch die Bedienoperationen wirkt sich in zweierlei Hinsicht auf die Nutzleistung als erfülltem Nutzforderungsumfang im Verhältnis zu beanspruchter Zeit aus ($L = Q/t$; Gleichung 2.3, S. 17):

1. durch die von den Interaktionsschritten beanspruchte Zeit und
2. durch die Verdrängung relevanter Merkeinheiten aus dem Arbeitsgedächtnis.

Die von der Interaktion beanspruchte Zeit wirkt sich auf den Nenner der Leistungsgleichung aus. Je höher die Gesamtbelastung durch Interaktionsschritte, desto geringer die Leistung. Die Verdrängung relevanter Merkeinheiten kann sich dagegen auf Zähler und Nenner auswirken:

- *Auf den Zähler:* Wird eine später relevante Merkeinheit während der Interaktion aus dem AG verdrängt und ist nicht mehr aus dem Langzeitgedächtnis oder aus externen Quellen reaktivierbar, sinkt die Leistung durch nicht erfüllten Forderungsumfang (z. B. Fehl- oder Nichtdetektionen).
- *Auf den Nenner:* Wird sie verdrängt, ist aber reaktivierbar, nimmt die Reaktivierung Zeit in Anspruch, die zur Auffrischung der Erinnerung, ggf. durch Nachschauen, benötigt wird.

Höhere Gesamtbelastung B_{ges} (perzeptiv + kognitiv + motorisch) für die Bedienung muss sich demnach wegen des höheren Zeitbedarfs für die Interaktion in niedrigerer Nutzleistung niederschlagen (Erhöhung des Nenners). Eine höhere AG-wirksame Teilbelastung B_{AG} (perzeptiv + kognitiv) muss sich sowohl durch die verdrängungsinduziert geminderte Aufgabenerfüllung (Verkleinerung des Zählers) als auch durch die bei Verdrängung eventuell eingeschobenen Erinnerungsschritte (Erhöhung des Nenners) in einer Minderung der Nutzleistung auswirken.

Ein Experiment soll zum einen zeigen, ob es Unterschiede in der Nutzleistung bei Erkundungsaufgaben am Bildschirmarbeitsplatz bei Verwendung unterschiedlicher Interaktionstechniken gibt und ob diese Unterschiede mit der indizierten Gesamtbelastung B^*_{ges} aus den Modellen nach Abbildung 69, S. 134 korrelieren. Zum anderen soll es zeigen, ob die vorhergesagte Verdrängung relevanter Merkeinheiten nachweisbar ist und mit der AG-wirksamen indizierten Teilbelastung B^*_{AG} korreliert.

7.1 Konzept des Experiments

Basis eines Versuchs, der die oben gestellten Fragen beantworten soll, ist eine bestimmte Erkundungsaufgabe. Sie sollte ohne besondere Vorkenntnisse zu lösen sein, um den Kreis möglicher Versuchspersonen wenig einzuengen. Aufgaben aus spezifischen Berufsdomänen, wie sie bis hierher des Öfteren exemplarisch angeführt wurden, scheiden damit aus.

Das Experiment besitzt folgende Struktur:

- (1) Die Versuchsperson bekommt die Aufgabe (Nutzforderung) gestellt, eine vorgegebene *Zielfigur* in einem Versuchsbild zu finden. Die Zielfigur besteht aus einer Kombination zweier benachbarter, einfacher geometrischer Elementarformen. In dem Versuchsbild sind vor einem texturierten Hintergrund die Zielfigur und eine bestimmte Menge weiterer, ähnlicher Figuren als Reizfiguren abgebildet sind. Abbildung 70 zeigt das Beispiel eines Versuchsbildes, Abbildung 71 die Menge der verwendeten Elementarformen und das Konstruktionsprinzip für die Zielfiguren. Der Hintergrund ist texturiert, um die Kontraste zu den Reizfiguren etwas zu verschlechtern und die Aufgabe damit zu erschweren.
- (2) Die Zielfigur wird nach einer zufällig langen Wartezeit (mindestens eine, höchstens 15 Sekunden) vor dem vollständig weißen Bildschirm für sehr kurze Zeit (20 ms) eingeblendet. Danach erscheint sofort und bildschirmfüllend die Benutzungsoberfläche des für den Versuch vorgesehenen Bilddarstellungsprogramms mit dem Versuchsbild (Beispiel Abbildung 72).
- (3) Das Versuchsbild wird sofort einsetzend und sehr zügig dunkler oder heller, bis es nach zehn Sekunden komplett schwarz bzw. weiß ist. Die Richtung dieser Veränderung kennt die Versuchsperson nicht im Vorhinein. Die Versuchsperson hat also vom Erscheinen des Versuchsbildes maximal zehn Sekunden Zeit, die Zielfigur zu finden.
- (4) Die Versuchsperson kann während dieser zehn Sekunden bis zu einem gewissen Grade gegensteuern und das Versuchsbild entweder aufhellen oder abdunkeln. Zum Schluss wird die Abbildung aber auch bei Gegensteuern bis zum Anschlag vollständig schwarz oder weiß.
- (5) Das Gegensteuern geschieht mit einer der oben modellierten Interaktionstechniken. Diese ist als abhängige Variable Gegenstand der Bewertung.

(6) Konnte die Versuchsperson die Zielfigur nicht innerhalb der Darstellungsdauer von zehn Sekunden finden, wird ihr sofort eine Zusammenstellung verschiedener Reizfiguren auf Papier vorgelegt. Sie soll dann auf dieser so genannten »Nachzüglertafel« versuchen, ohne Zeitdruck die Zielfigur wiederfinden (Abbildung 73).

(7) Registriert werden:

- Der Sucherfolg im Versuchsbild als Qualität Q_A der Aufgabenerfüllung:
 - $Q_A = 1$, wenn Zielfigur innerhalb der 10 s gefunden;
 - $Q_A = 0$, wenn innerhalb der 10 s nicht oder falsch gefunden;
- die bis zum Finden verstrichene Zeit t ;
- im Falle, dass die Zielfigur im Versuchsbild nicht gefunden wurde und die Versuchsperson auch keine falsche Figur detektiert hat, der Sucherfolg Q_N auf der Nachzüglertafel:
 - $Q_N = 1$, wenn auf der Nachzüglertafel gefunden;
 - $Q_N = 0$, wenn auf der Nachzüglertafel nicht oder falsch gefunden.

Eine schematische Übersicht über einen Versuch gibt Abbildung 74.

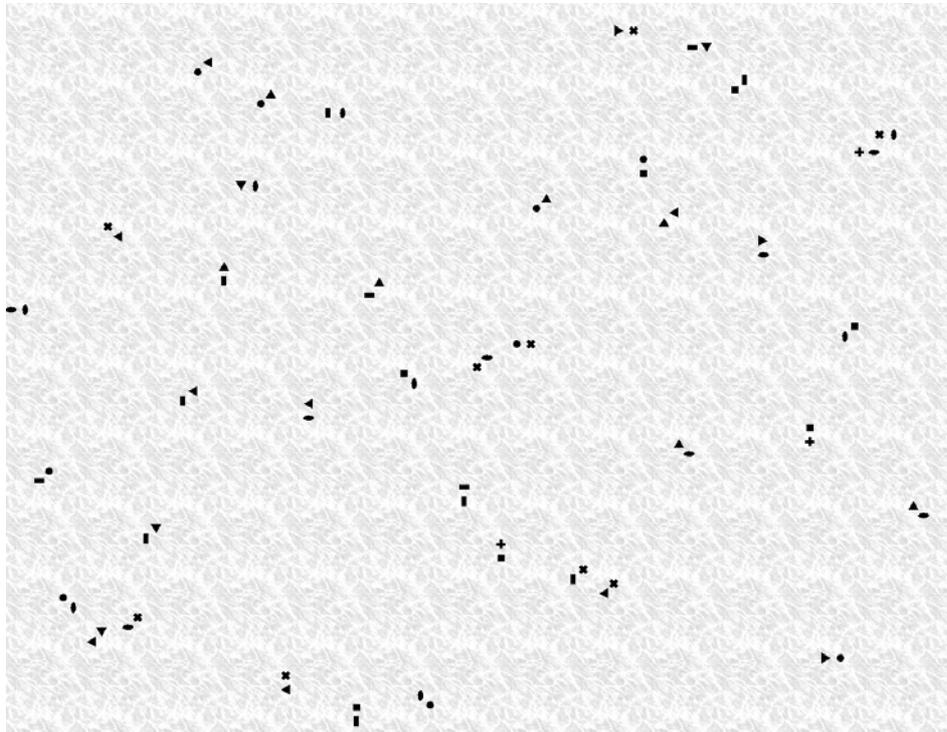


Abbildung 70: Beispiel eines Versuchsbildes mit Reizfiguren vor texturiertem Hintergrund; eine der Reizfiguren ist identisch mit der Zielfigur.

7 Empirische Validierung

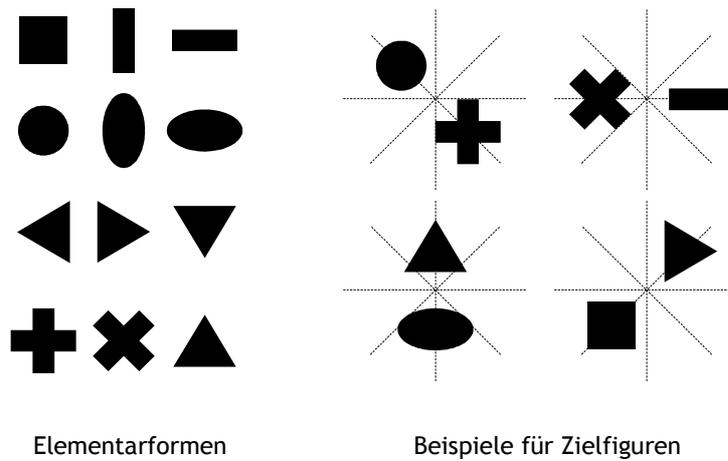


Abbildung 71: Konstruktion der Zielfiguren aus Elementarformen. Die gestrichelten Linien dienen hier nur der Orientierung. Sie wurden im Versuch nicht gezeigt.

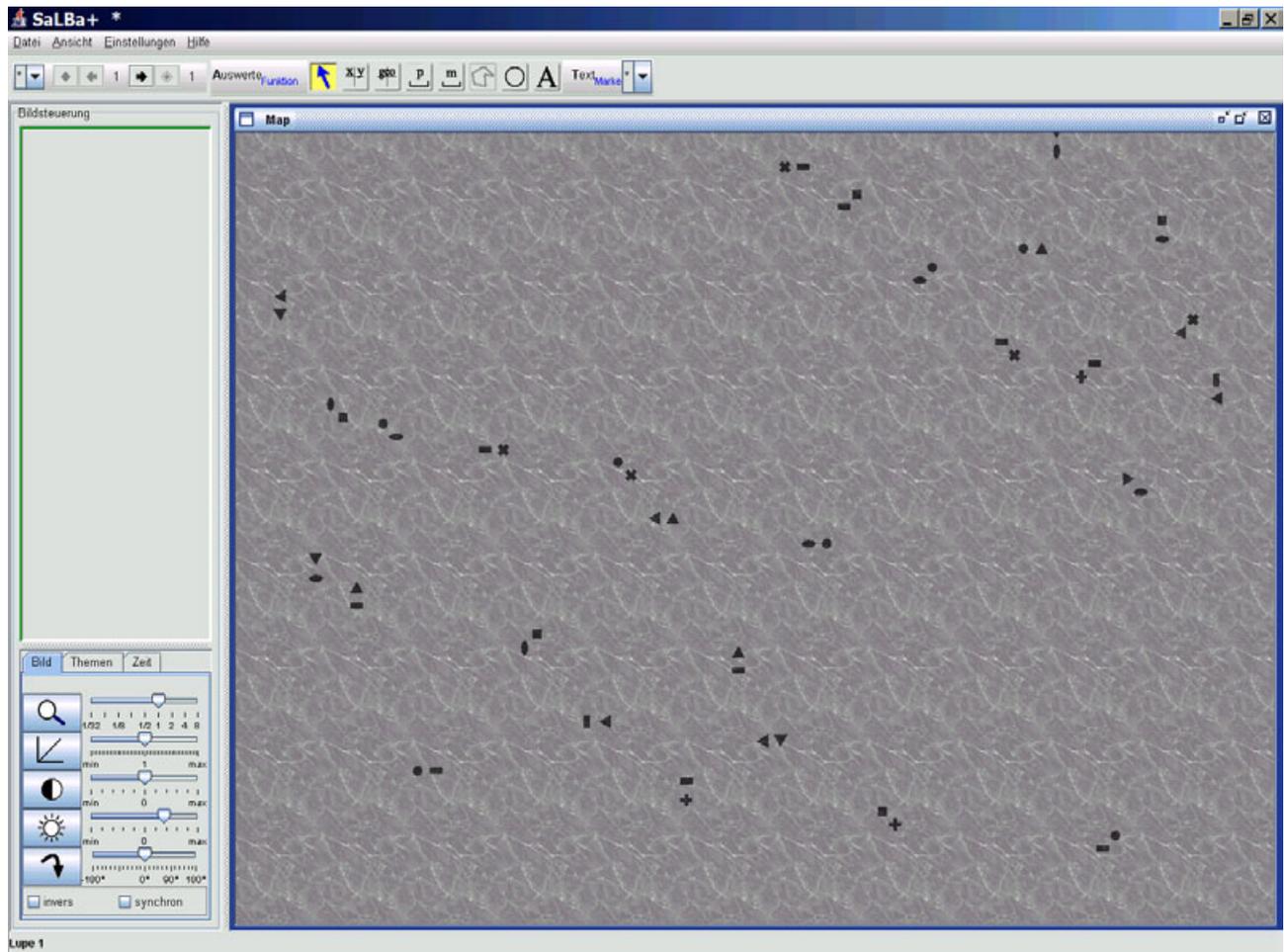


Abbildung 72: Das für im Experiment verwendete Bilddarstellungsprogramm »SaLba+« des Fraunhofer IITB mit einem Versuchsbild.

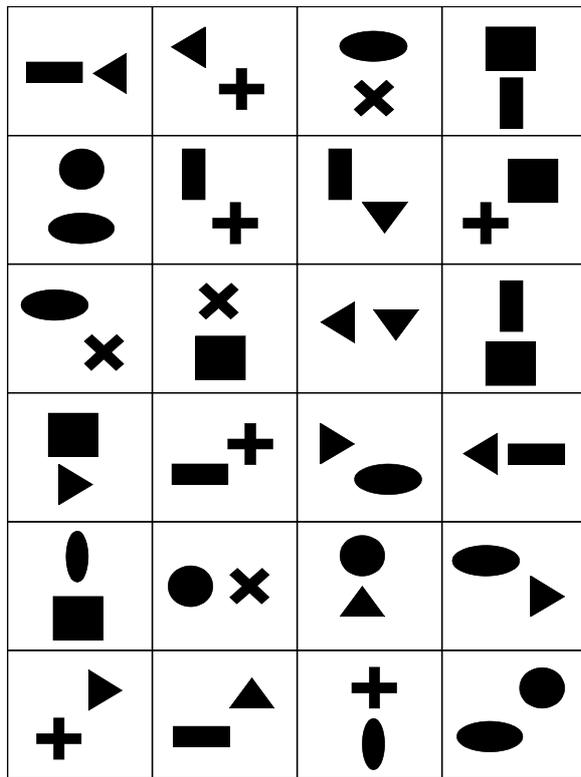


Abbildung 73: Eine der Nachzügler tafeln mit einer Auswahl von Reizfiguren zur Feststellung der Erinnerungsqualität.

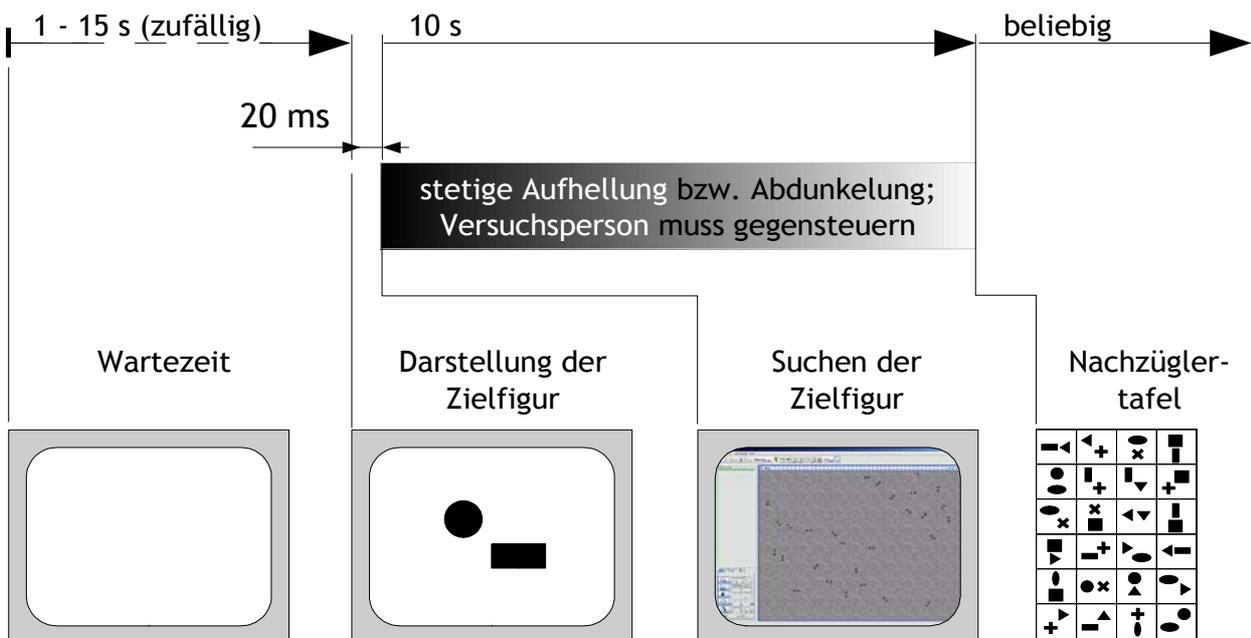


Abbildung 74: Schematische Übersicht über den Ablauf eines Versuchs.

Durch die sehr kurze Präsentation der Zielfigur und den sofort einsetzenden Zwang zur Interaktion mit dem Darstellungsprogramm, um die Helligkeit nachzuregulieren, soll erreicht werden, dass die Versuchsperson keine Gelegenheit hat, sich die Zielfigur aktiv zu merken, bevor irgendwelche Interaktionen einsetzen und damit ins Langzeitgedächtnis zu überführen. Es wird erwartet, dass die Zielfigur damit als aufgabenrelevante Merkeinheit zunächst nur im Arbeitsgedächtnis repräsentiert ist (wie die mit » \star « symbolisierte Figur in den oben erörterten Durchsatztafeln). Die Konkurrenz der Arbeitsaufgabe »Finde die Zielfigur im Versuchsbild« mit der Bedienaufgabe »Regle die Bildhelligkeit so, dass die Figuren im Versuchsbild erkennbar sind« um die Ressource Arbeitsgedächtnis sollte sich dann umso eher in einem Vergessen der Zielfigur niederschlagen, je belastender für das Arbeitsgedächtnis die Interaktion zur Helligkeitsregelung ist.

Die Nachzüglertafel soll dabei diejenigen Fälle auffangen, in denen die Versuchsperson sich zwar die Zielfigur über die zehn Sekunden merken konnte, wegen einer ungünstigen Suchstrategie aber nicht erfolgreich war, z. B. wenn die Suche links oben begonnen wurde, die Zielfigur im Versuchsbild aber rechts unten eingezeichnet war. Die Fähigkeit der Versuchsperson, sich die Zielfigur bis zum Ende des Versuchs überhaupt merken zu können, wird hier als *Erinnerungsqualität* Q_E bezeichnet. Er ist wie folgt definiert:

$$Q_E = \max(Q_A, Q_N) \quad \text{Gleichung 7.1}$$

Die Erinnerungsqualität ist also immer dann gleich 1, wenn die Versuchsperson entweder die Zielfigur rechtzeitig im Versuchsbild wiedergefunden hat oder sich andernfalls nach Erlöschen des Versuchsbilds noch an sie erinnern konnte. Die Erinnerungsqualität ist also das Maß für die Beeinträchtigung der Arbeitsaufgabe durch die Verdrängungswirkung der Bedienaufgabe im Arbeitsgedächtnis. Q_E ist der B^*_{AG} gegenüberzustellen.

Die Leistung in der Arbeitsaufgabe L_A , definiert als

$$L_A = \frac{Q_A}{t} \quad \text{Gleichung 7.2}$$

berücksichtigt dagegen nur den Sucherfolg Q_A im Versuchsbild und setzt ihn in Relation zu der dafür aufgewendeten Zeit t . L_A ist B^*_{ges} gegenüberzustellen.

Die Entscheidung für die Helligkeitsregelung als untersuchter Einstelloperation ergibt sich aus der Methode, die Versuchsperson durch die erzwungenen Helligkeitsänderung des Versuchsbildes unter Zeitdruck zu setzen. So vermittelt, kann

die Information über die verstreichende Zeit von der Versuchsperson in vollständiger Einheit mit dem Versuchsbild wahrgenommen werden. Es muss keine Aufmerksamkeit zwischendurch auf andere Informationsquellen, wie z. B. eine ablaufende Uhr, gerichtet werden, was die Ergebnisse verfälschen könnte.

Um den Aufwand für das Experiment in einem vertretbaren Rahmen zu halten, werden nur ausgewählte Interaktionstechniken untersucht. Jede der drei Klassen (*GUI_*, *TST_* und *SPR*) soll durch wenigstens eine Variante vertreten sein. Das schrittweise (*_sw*) sollte gegenüber dem gleitenden Einstellen (*_gl*) bevorzugt werden, da es vermutlich gegen die erzwungene Helligkeitsänderung des Versuchsbildes eine einfachere und leichter lernbare Gegensteuerung ermöglicht. Die für den Versuch gewählten Interaktionsvarianten sollten bezüglich ihrer indizierten Belastung $B^*(\Theta)$ genügend weit verteilt sein, damit auch in Gegenwart stärker streuender Versuchsergebnisse eine Aussage möglich ist. Abbildung 75 zeigt noch einmal die indizierte Belastung über die modellierten Interaktionstechniken aus Abbildung 69, wobei die für das Experiment gewählten Varianten fett umrandet sind. Die Wahl fiel auf:

- *GUI_νR* als Variante mit der höchsten indizierten Belastung,
- *SPR_sw* als der zweitniedrigst indizierten Belastung (die niedrigste, *SPR_gl*, scheidet wegen der Bevorzugung schrittweisen Einstellens, s. o., aus),
- *TST_sw_mB* als Vertreter von TST und einer im Mittelfeld liegenden Interaktionstechnik (*TST_sw_οB* scheidet aus, weil man dazu Versuchspersonen bräuchte, welche das blinde Schreiben auf einer Tastatur beherrschen müssten),
- *GUI_bz_msz* als Vertreter der bildzentrierten Eingabe (der Abstand in der indizierten Belastung zu *TST_sw_mB* ist zwar gering, diese Variante ist aber apparativ leichter zu realisieren als die Alternative der direkten Berühreingabe, *GUI_bz_tch*, die überdies recht nahe bei *SPR_sw* liegt).

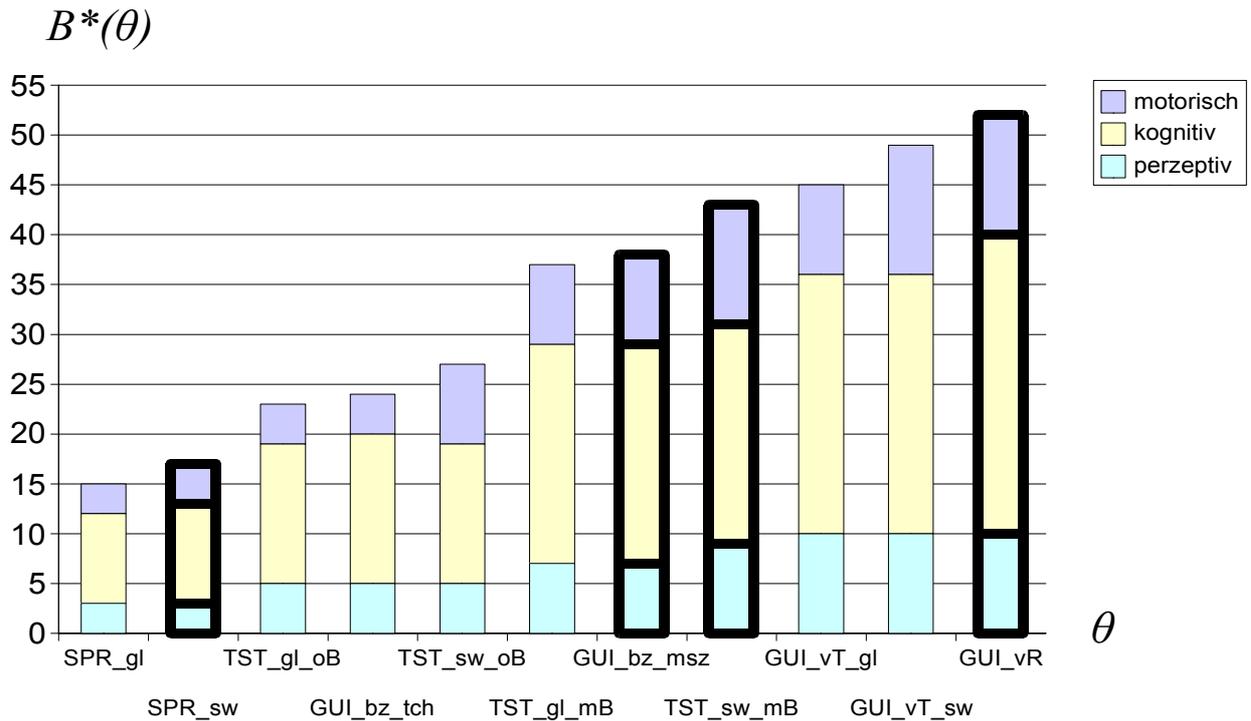


Abbildung 75: Die für das Experiment ausgewählten Interaktionsvarianten (fett umrandet).

7.2 Versuchsdurchführung

Die Versuche wurden mit fünf Versuchspersonen (VP) durchgeführt. Zwei waren weiblich, drei männlich. Alle VP waren Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Informations- und Datenverarbeitung IITB in Karlsruhe. Das Lebensalter der Versuchspersonen lag zwischen 23 und 45 Jahren. Alle VP waren geübt im Umgang mit Arbeitsplatzrechnern. Sie nahmen freiwillig an den Versuchen teil und wurden für die Teilnahme nicht extra honoriert. Die Versuche wurden in den Räumen des Fraunhofer IITB durchgeführt. Jede VP wurde auf zwei Wochen verteilt vier Versuchsdurchgängen mit jeweils einer anderen Interaktionstechnik unterzogen. Die Reihenfolge der Interaktionstechniken war für jede Person verschieden. Damit verteilte sich ein möglicher Lerneffekt gleichmäßig über die untersuchten Interaktionstechniken. Jeder Durchgang für eine bestimmte Interaktionstechnik dauerte ca. eine Stunde und folgte dem in Abbildung 76 dargestellten Verlauf:

- I) Jeder Durchgang wurde eingeleitet mit einer Serie von zwölf Eingewöhnungsversuchen, bei denen die Versuchsperson die Zielfigur ohne jegliche Einstellung am Abbildungssystem finden sollte. Hierfür wurde das Versuchsbild ohne hinterlegte Textur bildschirmfüllend dargestellt. Das automatische heller- bzw. dunkler Werden des Versuchsbildes, das die VP in dieser Phase nicht beeinflussen konnte, ging langsamer vonstatten als bei den anschließenden Versuchen mit der Möglichkeit des Gegensteuerns. Ansonsten hätten die VP keine Chance gehabt, eine Zielfigur zu finden. Da interaktionsfrei, war diese Eingewöhnungsphase im Prinzip für jede Interaktionstechnik gleich. Nur die Reihenfolge der präsentierten Zielfiguren wurde getauscht.
- II) Nach einer kurzen Pause wurde der VP die zu untersuchende Interaktionstechnik erläutert und sie durfte sich mit dieser anhand einer selbst gewählten Anzahl von Versuchen ohne Zeitdruck und ohne dass die Ergebnisse protokolliert wurden, vertraut machen.
- III) Nach wiederum einer kurzen Pause begann die eigentliche Versuchsserie nach dem Schema von Abbildung 74, S. 139, nun aber mit Zeitdruck. Die ersten zwölf Versuche wurden der VP gegenüber als Training deklariert, dessen Ergebnis aber auch schon registriert wurde. In der späteren Auswertung wurde dieser Serie aber nicht gesondert behandelt. Das Deklarieren als Training diente nur dazu, dass sich die Versuchspersonen nicht von Beginn an zu stark unter Druck fühlten mit der Folge, sich damit von anfänglichen Misserfolgen frustrieren zu lassen und keinen Ehrgeiz mehr zu entfalten.
- IV) Nach wiederum einer kurzen Pause wurde die Serie fortgesetzt, diesmal gegenüber der Versuchsperson aber als gewerteter, »scharfer« Versuch deklariert.

Als Versuchssystem wurde ein handelsüblicher *Personal Computer* mit Maus und Tastatur zur haptischen Eingabe und einem 21-Zoll-Flachbildschirm zur visuellen Ausgabe bereitgestellt. Weitere technische Daten sind in Anhang B (S. 190) verzeichnet.

Bei den Interaktionstechniken mit Mausbenutzung (*GUI_vR* und *GUI_bz_msz*) durfte die VP die Hand erst im dem Augenblick an die Maus legen, ab dem das Versuchsbild erschien. Davor durfte sie ihre Hand nur in Nähe der Maus ablegen. Der Bildschirmzeiger wurde zu Beginn jedes Versuchs irgendwo hinter dem Rand des Bildschirms versteckt, so dass die VP den Zeiger zuerst suchen musste. Bei der Tastatenbenutzung durfte die Versuchsperson ebenfalls die Hand erst mit Erscheinen des Versuchsbildes an die Tastatur führen.

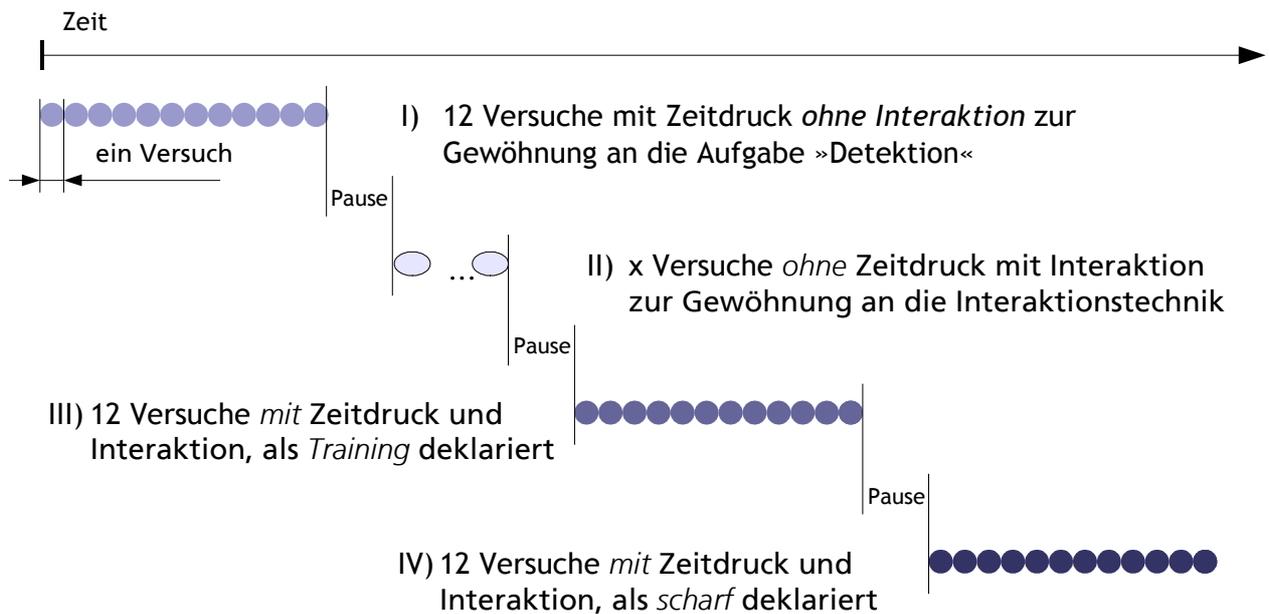


Abbildung 76: Versuchsablauf je Interaktionstechnik.

Die Spracheingabe wurde hilfsweise durch Einschalten einer dritten Person realisiert, welche auf das Sprechkommando der VP die entsprechende Taste betätigte. Die Erkennungsleistung der gewählten Spracheingabesoftware war zwar sehr gut. Aber der Prozess der maschinellen Sprachinterpretation konkurrierte mit dem rechenintensiven und zeitkritischen Prozess der erzwungenen Helligkeitsänderung des Versuchsbildes. Daraus folgende Verzögerungen wirkten stark störend für die VP und hätten die Verwertbarkeit der Versuchsergebnisse in Frage gestellt¹. Die Protokolle der Versuche mit Ablauf und Ergebnissen stehen in Anhang B ab S. 190.

7.3 Versuchsergebnis und erste Schlussfolgerung

Als erstes Ergebnis zeigt Abbildung 77 die kumulierte Entwicklung der Erinnerungsqualität der mittleren Versuchsperson VPM über die 24 Versuche. Die VPM ist charakterisiert durch den Mittelwert aller fünf VP für jeden Versuch. Ihre Erinnerungsqualität $Q_{[E,VPM]}$ für den k -ten Versuch wird nach Gleichung 7.3 berechnet. Der hier aufgetragene *kumulierte Mittelwert* ist der Mittelwert der Erinnerungs-

¹ Eine technische Lösung für dieses Problem ist möglich, z. B. durch Verteilen der Prozesse auf verschiedene Prozessoren, konnte aber wegen des engen Zeitrahmens für die Versuche nicht mehr hergestellt werden.

qualität der VPM über alle k Versuche bis zum m -ten Versuch. Er wird nach Gleichung 7.4 berechnet. Durch die kumulierte Darstellungsform ist ein glatter Verlauf erreicht und eine Entwicklung erkennbar. Rechts neben dem letzten Versuch ist als so genannter »Verlaufsmittelwert« der Mittelwert aller Einträge in diesem Diagramm für die entsprechende Interaktionstechnik aufgetragen (Gleichung 7.5). Die Differenz zwischen Verlaufsmittelwert und letztem kumulierten Mittelwert (aufgetragen beim 24sten Versuch) kann als Maß für die mittlere Steigerung von Q betrachtet werden.

$$Q_{[E, VPM]}(k) = \frac{1}{5} \sum_{VPI}^{VP5} Q_{[E, VPI]}(k) \quad \text{Gleichung 7.3}$$

$$\bar{Q}_{[E, VPM]}(m) = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m Q_{[E, VPM]}(k) \quad \text{Gleichung 7.4}$$

$$\tilde{Q}_{[E, VPM]}(m) = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \bar{Q}_{[E, VPM]}(k) \quad \text{Gleichung 7.5}$$

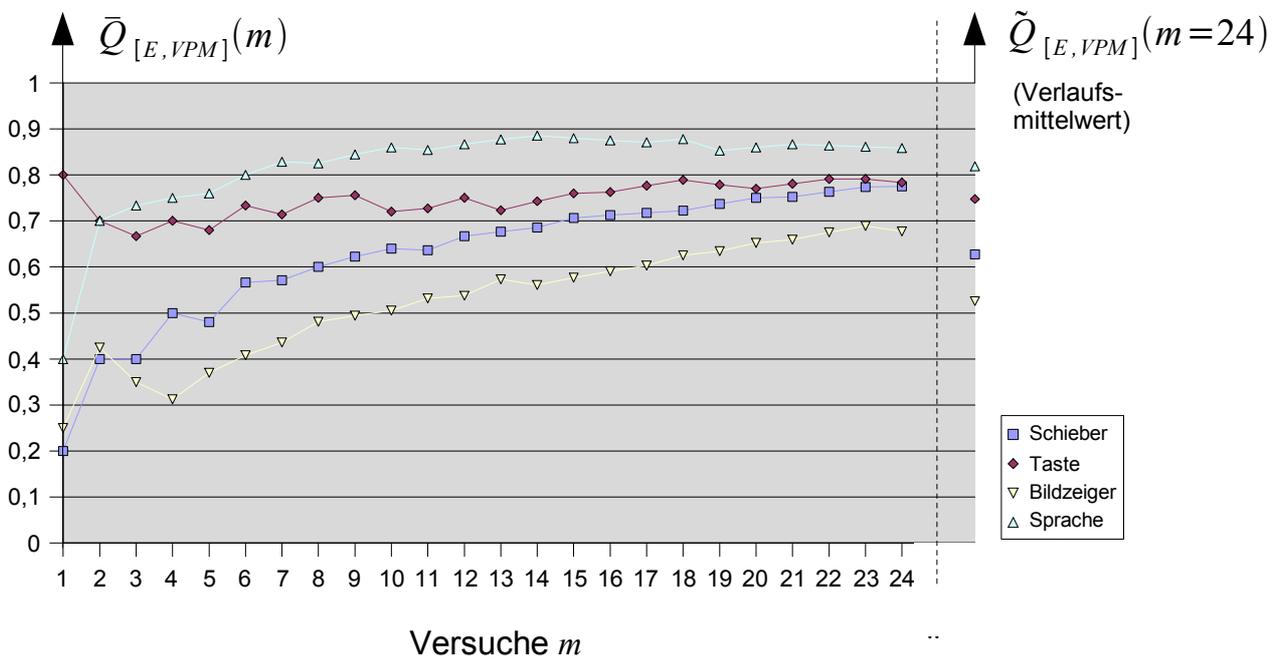


Abbildung 77: Über 24 Versuche kumuliert und gemittelt aufgetragene Erinnerungsqualität der mittleren Versuchsperson VPM (siehe Gleichung 7.4) sowie der Verlaufsmittelwert für $m=24$ (siehe Gleichung 7.5).

Vergleicht man dieses Versuchsergebnis mit der Erwartung aus den Modellen nach Abbildung 78, dann lässt sich feststellen, dass die Spracheingabe dank der geringsten AG-Belastung die höchste Erinnerungsqualität aufweist. Dies unterstützt die Hypothese, dass eine geringe interaktionsinduzierte AG-wirksame Belastung die Wahrscheinlichkeit einer Verdrängung der aufgabenrelevanten Merkeinheit aus dem Arbeitsgedächtnis, in diesem Fall der Zielfigur, senkt. Die Mittelwerte der Interaktionstechniken TST_sw_mB und GUI_vR laufen zwar mit wachsender Versuchszahl dicht aufeinander zu, zeigen aber in ihrer Gesamtentwicklung ein hypothesenentsprechendes Verhalten dadurch, dass die modellmäßig höher belastende GUI_vR über weite Strecken eine geringere Erinnerungsqualität als die Tastatureingabe aufweist.

Die bildzentrierte Eingabe GUI_bz_msz allerdings zeigt nicht einmal ansatzweise einen hypothesengerechten Verlauf. Ihre Erinnerungsqualität liegt durchgängig und deutlich unter dem der anderen, wo er doch laut Modell zwischen Taste und Sprache, wenigstens aber in der Nähe der Tasteneingabe liegen sollte.

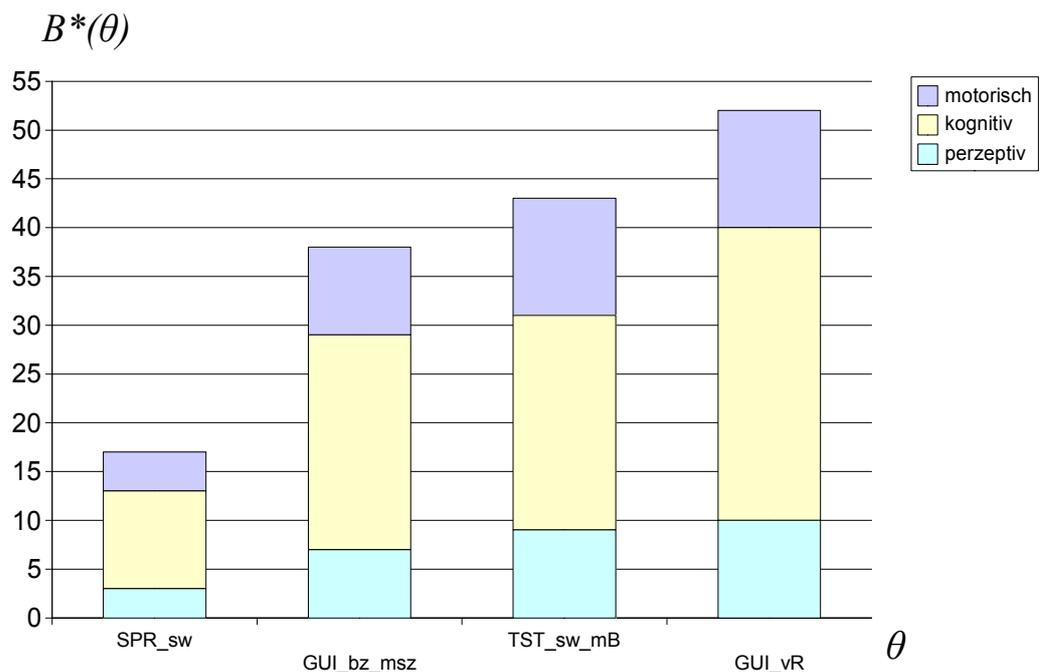


Abbildung 78: Belastungsindikatoren für die experimentell untersuchten Interaktionstechniken (Auszug aus Abbildung 75, S. 142).

Die experimentell ermittelte Nutzleistung L_A in der Arbeitsaufgabe ist dargestellt in Abbildung 79. Die Berechnung der Leistungsmittel für die VPM sowie des Verlaufsmittelwerts erfolgen anders als die für die Erinnerungsqualität. Die Leistung der mittleren Versuchsperson über m Versuche sei die Summe aller von den

VP_i erbrachten Ergebnisse Q_A über die m Versuche geteilt durch gesamte von den VP_i dafür beanspruchte Zeit t , also die durch alle VP insgesamt erbrachte Leistung. Dies drückt Gleichung 7.6 aus. Q_A ist, wie auf S. 137 eingeführt, die Qualität der Aufgabenerfüllung und ist nur dann gleich 1, wenn die VP die Zielfigur innerhalb des 10-Sekunden-Intervalls der Präsentation des Versuchsbildes gefunden hat. Ansonsten ist Q_A gleich null. Der Verlaufsmittelwert wird nach Gleichung 7.7 analog zur Erinnerungsqualität berechnet.

$$L_{[A, VPM]}(m) = \frac{\left(\sum_{k=1}^m \sum_{VPi}^{VP5} Q_{[A, VPi]}(k) \right)}{\left(\sum_{k=1}^m \sum_{VPi}^{VP5} t_{VPi}(k) \right)} \quad \text{Gleichung 7.6}$$

$$\tilde{L}_{[A, VPM]}(m) = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m L_{[A, VPM]}(k) \quad \text{Gleichung 7.7}$$

Der Verlauf der Nutzleistung bestätigt auf der einen Seite die günstige Rolle der Spracheingabe und - wenn auch in schwächerer Ausprägung - die Reihenfolge von Taste und Schieberegler im Bezug auf die indizierte Belastung. Sie untermauert aber auch, dass die Modellvorhersage für die bildzentrierte Eingabe GUI_{bz_msz} sich in keiner Weise durch die Versuchsergebnisse decken lässt. Diese Diskrepanz wird zum Anlass genommen, zu überprüfen, ob die Modelle die im Versuch angewendeten Interaktionstechniken hinreichend genau wiedergeben.

7.4 Korrektur des Modells für bildzentrierte Eingabe

Bei der Überprüfung der Modelle stellte sich heraus, dass die Implementierung von GUI_{bz_msz} in der Versuchsumgebung nicht der Modellierung laut Abbildung 58, S. 119 entsprach. Das ursprüngliche Modell sah vor, dass man nach dem Positionieren des Zeigers im Bild durch Hin- und Herschieben der Maus bei gedrückter Maustaste ohne Absetzen eine gleitende Einstellung tätigen kann. Implementiert war die Einstellung aber so, dass die Versuchsperson beim Erreichen des Bildrandes die Maus absetzen und gegenüber diesem Bildrand neu aufsetzen musste. Dabei war die Maustaste beim Absetzen zu lösen und beim Wiederaufsetzen neu zu drücken.

Anstatt einer Implementierungsänderung und einer aufwändigen neuen Versuchsserie wurde das HPML-Modell von GUI_{bz_msz} der Implementierung angepasst. Das entsprechende Modell zeigt Abbildung 80. Diese Variante wird mit $GUI_{bz_msz}^*$ bezeichnet. Gegenüber GUI_{bz_msz} ist der Block B1 »Zeiger neu ansetzen« eingefügt. Die nach Gleichung 6.1 berechnete indizierte Belastung wird in Abbildung 81 aufgeschlüsselt. Abbildung 82 stellt alle modellierten Interaktionstechniken einschließlich $GUI_{bz_msz}^*$ einander gegenüber. Die beim Versuch Berücksichtigten sind fett umrandet. Die Gegenüberstellung zeigt $GUI_{bz_msz}^*$ als die belastungsintensivste Interaktionstechnik. Diese Modellerwartung wird durch die Versuchsergebnisse, wie oben bereits diskutiert, gestützt.

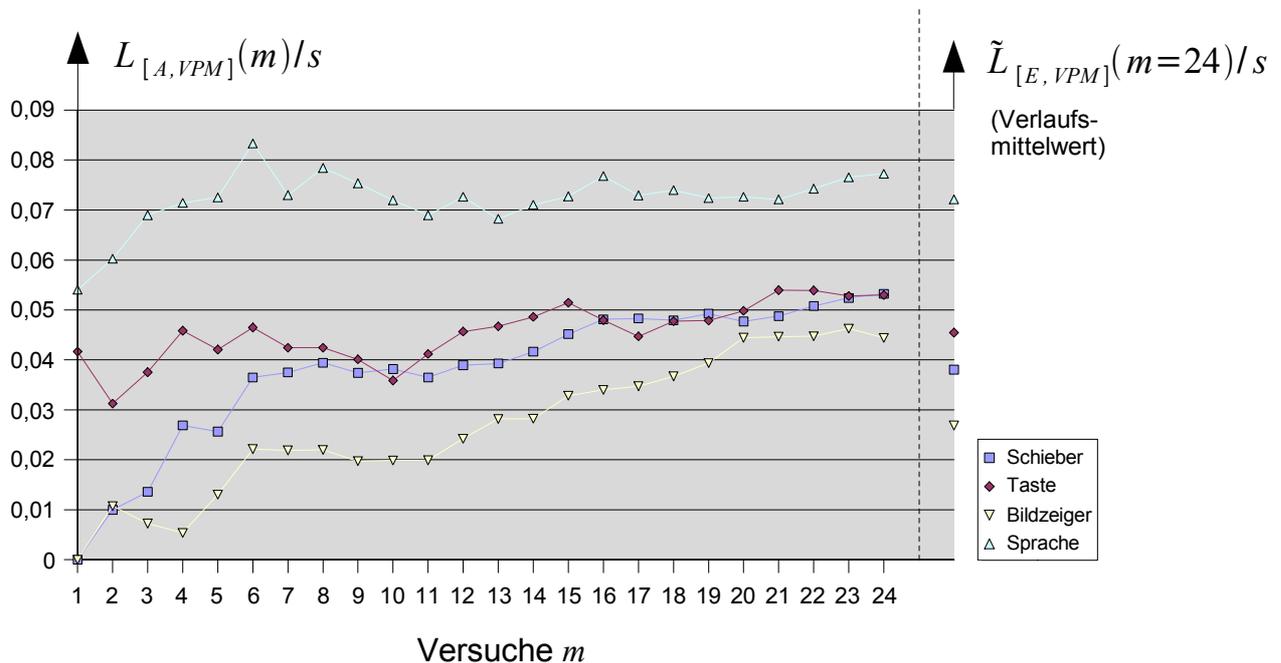


Abbildung 79: Über 24 Versuche kumuliert und gemittelt aufgetragener Nutzleistung L_A der VPM (siehe Gleichung 7.6) sowie der Verlaufsmittelwert (siehe Gleichung 7.7).

7 Empirische Validierung

Knoten: <i>i</i>	In der Schleife	Schleifen- gewicht: $S(i)$	Grund- gewicht	Gesamt- gewicht	Günstigster Pfad
/a/	1	1	1	2	
/b/	1	1	1	2	1
/c/	1	1	1	2	
/d/	1	1	1	2	
/e/	e & 2	2	1	3	1
/f/	2	1	1	2	
/g/	2	1	1	2	
/h/	2	1	1	2	
/i/	6	1	1	2	1
/i1/			1	1	1
/j/	3 & 6	2	1	3	
/k/	k & 5 & 6 & 7	4	1	5	1
/l/	3 & 4 & 6	3	1	4	
/m/	3 & 4 & 6	3	1	4	
/n/	5 & 6 & 7	3	1	4	1
/o/	3 & 4 & 6 & o	4	1	5	
/p/	3 & 4 & 6	3	1	4	
/q/	5 & 6 & 7	3	1	4	1
/r/	6	1	1	2	
/r1/			1	1	
/s/	5 & 6 & 7	3	1	4	1
/t/	5 & 6	2	1	3	
/u/	u & 6	2	1	3	
/v/			1	1	
/w/			1	1	1
/w1/			1	1	1
Summe <u>perzeptiv</u> : B_p^*				12	1
Summe <u>kognitiv</u> : B_k^*				42	6
AG-wirksam : B_{AG}^*				54	7
Summe <u>motorisch</u> : B_m^*				15	3
Gesamt: B^*				69	10

Abbildung 81: Indizierte Belastung für $GUI_{b\alpha_{ms}\alpha^*}$.

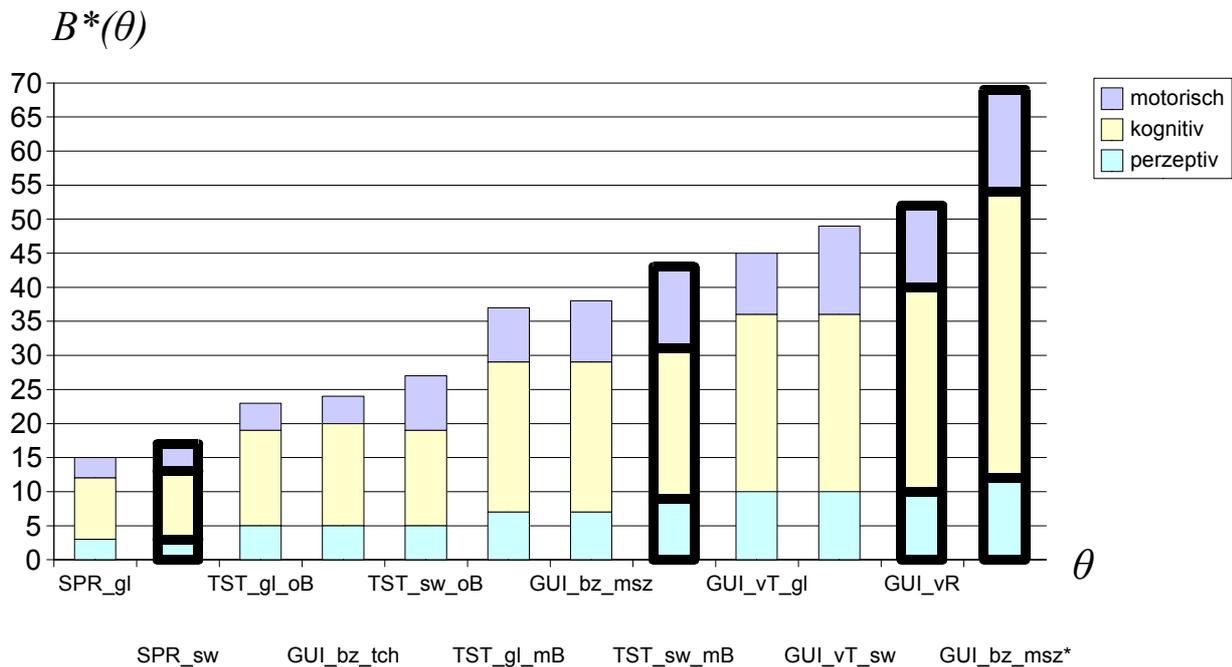


Abbildung 82: Gegenüberstellung der modellierten Interaktionstechniken inkl. $GUI_bz_msz^*$.

7.5 Diskussion der Versuchsergebnisse

Korrelieren die Erinnerungsqualität Q_E mit B^*_{AG} und L_A mit B^*_{ges} , dann gilt als untermuert, dass

- die Interaktion mit dem Abbildungssystem sich bei der Bearbeitung visueller Detektionsaufgaben umso stärker leistungsmindernd auf die Detektion wirkt, je belastender die Interaktionen sind;
- die Leistungsminderung wesentlich durch die Belastung der Ressource »Arbeitsgedächtnis« hervorgerufen wird;
- die Modellierung mit HPML und die darauf gestützte Berechnung eines Belastungsindikators eine hinreichend gute, modellgestützte Bewertung von Interaktionstechniken im Bezug auf ihre kognitive und perzeptive Belastung erlaubt;
- auch nicht mehr benötigte Merkeinheiten Stellen im AG beanspruchen und dadurch ggf. benötigte Merkeinheiten verdrängen, die einige Takte im AG verharren müssen, bevor sie wieder verwendet werden.

Die nachfolgenden Diagramme zeigen den Zusammenhang zwischen den Modellvorhersagen und Versuchsergebnissen für die Erinnerungsqualität Q_E als Funktion von B^*_{AG} und die Nutzleistung L_A als Funktion von B^*_{ges} .

7.5.1 Erinnerungsqualität

Abbildung 83 zeigt die über die 24 Versuche gemittelte Erinnerungsqualität, aufgetragen über der indizierten Belastung des Arbeitsgedächtnisses B^*_{AG} aus den HPML-Modellen der Interaktionstechniken. Es sind sowohl die Werte für die mittlere Versuchsperson VPM als auch für die einzelnen Versuchspersonen VP_i aufgetragen (Werte siehe Tabelle 4). Die Werte für die VP1 bis VP5 wurden einer linearen Regression unterzogen. Die ermittelte Regressionsgrade ist mit ihren Kennwerten in Abbildung 83 eingetragen.

Man erkennt aus dem Diagramm, dass die Erinnerungsqualität der mittleren Versuchsperson VPM sich annähernd linear zu dem Belastungsindikator des Arbeitsgedächtnisses verhält. Aus Sicht der VPM, die als Repräsentant für den Durchschnittsbenutzer gelten soll, kann also eine gute Übereinstimmung des Modells mit der Realität festgestellt werden.

Im Gegensatz zur mittleren Versuchsperson streuen die einzelnen Versuchspersonen allerdings nicht nur stark um die Mittelwerte herum, sondern folgen auch nicht alle dem linearen Verlauf der VPM. Alleine die VP5 und in Grenzen die VP2 zeigen eine monoton abfallende Erinnerungsqualität mit ansteigender Belastung des Arbeitsgedächtnisses. Die anderen drei springen hin und her. Derartige Streuungen müssen bei komplexeren Experimenten in der Anthropotechnik in Kauf genommen werden, da kaum vorhersagbar und einstellbar ist, in welchem Aktivierungszustand sich die Versuchspersonen befinden. Nach der Yerkes-Dodson-Regel beeinflusst der Aktivierungszustand die psychische Belastbarkeit jedoch erheblich (siehe Abbildung 7, Seite 13). Auch die Erhöhung der Zahl der Versuchspersonen würde diesen Effekt nicht wesentlich dämpfen.

Der durch die Standardabweichung der Regression gebildete Streifen um die Regressionsgerade fängt bei $B^*_{AG} = 0$ den Q -Wert von 1 ein. Dies stützt die Validität des HPML-Modells, das ja vorhersagt, dass bei verschwindender Belastung des AG durch die Bedienung die Erinnerung an die Zielfigur nicht beeinträchtigt ist. Die geringste Streuung weist die Spracheingabe (SPR_{sm}) auf. Dort ragt aber die VP1 mit einer sehr niedrigen Erinnerungsqualität auffällig heraus. Betrachtet man das Ergebnis der VP1 bei SPR_{sm} als Ausreißer und nimmt es aus der Berechnung der Regressionsgeraden heraus, ergibt sich der in Abbildung 84 dargestellte Verlauf

mit neuen Parametern der Regressionsgeraden. Während die Standardabweichung sich nur geringfügig verringert, stößt die bereinigte Regression nun fast direkt bei 1,0 durch die Q -Achse und erfüllt mit sehr guter Näherung die Erwartung aus dem Modell.

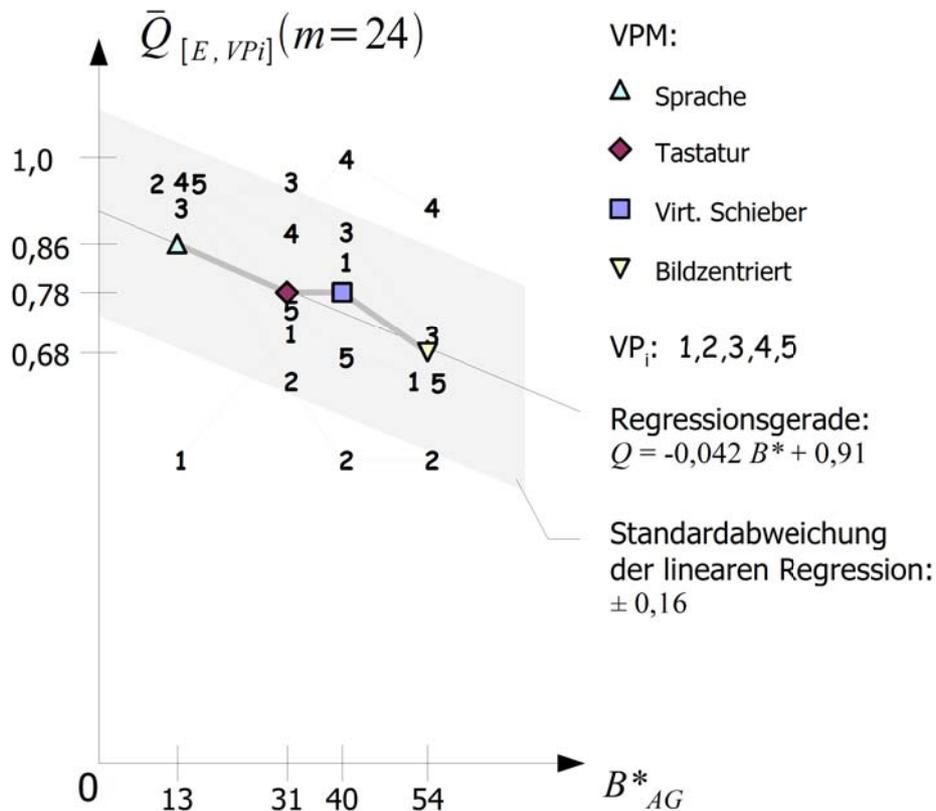


Abbildung 83: Experimentell ermittelte Erinnerungsqualität als Funktion über der indizierten Belastung der Arbeitsgedächtnisses. Hier: kumuliert über alle Versuche und aufgetragen sowohl für die mittlere Versuchsperson VPM (Symbole) als auch für die einzelnen Versuchspersonen VP_i (Nummern); Zahlenwerte siehe Tabelle 4.

7 Empirische Validierung

Tabelle 4: Zuordnung der mittleren Erinnerungsqualität der Versuchspersonen über 24 Versuche zu der indizierten Belastung des Arbeitsgedächtnisses.

Θ	B^*_{AG}	$\bar{Q}_E(m=24)$					
		VPM	VP1	VP2	VP3	VP4	VP5
<i>SPR_sw</i>	13	0,86	0,5	0,96	0,92	0,96	0,96
<i>TST_sw_mB</i>	31	0,78	0,71	0,63	0,96	0,88	0,63
<i>GUI_vR</i>	40	0,78	0,83	0,50	0,88	1,00	0,67
<i>GUI_bz_msz*</i>	54	0,68	0,63	0,50	0,71	0,92	0,63

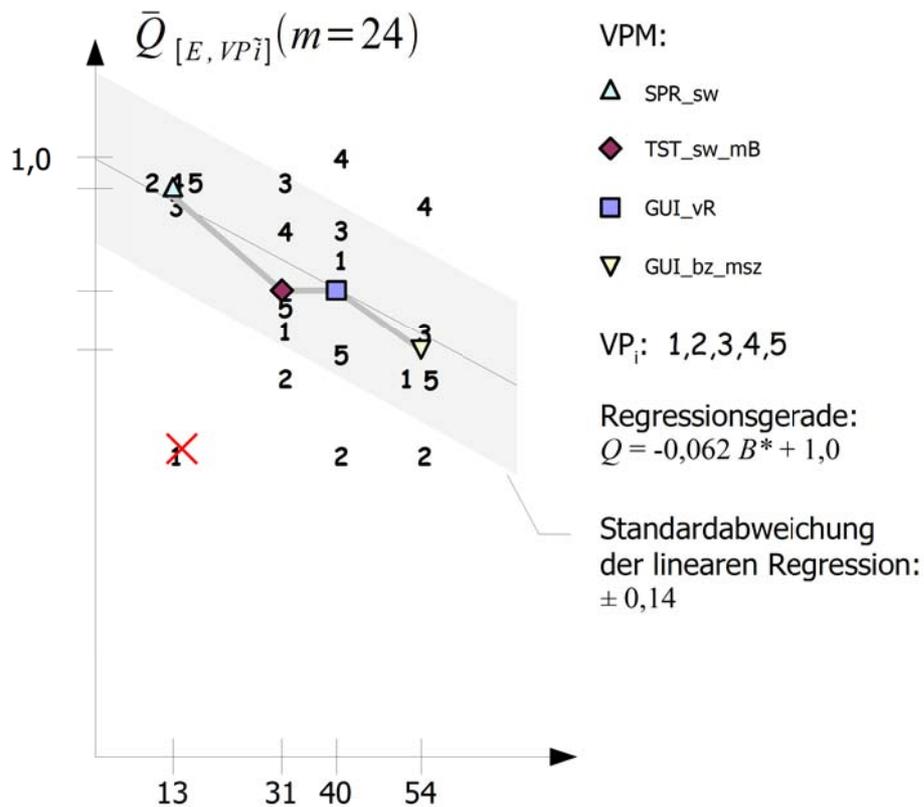


Abbildung 84: Regressionsgerade wie in Abbildung 83, aber ohne den als Ausreisser betrachteten Wert $\bar{Q}_{[E,VP1]}$ für *SPR_sw*.

7.5.2 Leistung

Abbildung 85 stellt die Leistung L_A in 24 Versuchen, kumuliert aufgetragen über der indizierten Gesamtbelastung B^*_{ges} aus dem HPML-Modell dar. Die Leistung ist mit 100 multipliziert, um besser lesbare Werte zu erhalten. Ihr Verlauf ähnelt dem für die Erinnerungsqualität in Abbildung 83 und zeigt ebenfalls eine annähernd lineare Korrelation des Versuchsergebnisses mit der prädizierten Gesamtbelastung, welche ja auch die motorischen Prozessortakte einbezieht. Diese belasten zwar nicht das Arbeitsgedächtnis, nehmen aber Zeit in Anspruch und beeinflussen auf diesem Wege die Leistung. Die entsprechenden Zahlenwerte sind in Tabelle 5 zusammengestellt. Tabelle 6 zeigt die Qualitäts- und Zeitbeiträge der Leistung für die mittlere Versuchsperson. Die einzelnen Versuchspersonen streuen in ihrer Leistung wie bei der Erinnerungsqualität stark um die Regressionsgerade herum, während die mittlere Versuchsperson sich der Geraden gut annähert. Anders als bei der Erinnerungsqualität kann aus dem HMPL-Modell keine logische Referenzleistung für $B^*_{ges} = 0$ angegeben werden und damit der L -Achsenabschnitt der Regressionsgeraden zur Validierung des Modells herangezogen werden. Allerdings liegt der errechnete Durchstoßpunkt von $L_A = 0,09$ nahe bei dem Wert von $L_A = 0,1$ der sich ergäbe, wenn alle VP in jedem Versuch erfolgreich wären und dafür die eingeräumte Grenzzeit von 10 s benötigen würden. Insofern zeigt die Regression auch diesbezüglich ein plausibles Verhalten, was die Modellannahme stützt.

Auffällig an dem Verlauf von L_A im Vergleich zu Q_E ist, dass sich die Spracheingabe bei der Leistung deutlicher nach oben absetzt als bei der Erinnerungsqualität. Betrachtet man in die Einzelbeiträge zur Leistungsberechnung, nämlich die Summe von Q_A über alle Versuche und alle Versuchspersonen und die entsprechende Summe der benötigten Zeiten t , so fällt auf, dass SPR_{sw} sich insbesondere in der Anzahl der erfolgreichen Detektionen, also in Q_A von den anderen Interaktionstechniken unterscheidet¹. Die Aussage einer der Versuchspersonen hilft, diesen Effekt zu erklären. Diese Versuchsperson gab kund, dass sie sich im Laufe der Versuche mit GUI_{vR} folgende Taktik zurecht legte: Sie startete nach dem Verlöschen der Zielfigur und dem Erscheinen des Versuchsbildes nicht sofort mit der Bedienung, sondern nahm sich einen Augenblick Zeit, sich die Zielfigur einzuprägen. Erst dann begann sie mit der Interaktion. Diese Methode beeinflusst zunächst nur die Zeit, indem man ein paar Sekunden verstreichen lässt, bevor man mit der Helligkeitseinstellung beginnt. Da aber die automatische Helligkeitsänderung bei den Versuchen sehr rasch fortschritt, war es höchst wahrscheinlich, dass die restli-

¹ Die Anzahl der Fehldetektionen fiel kaum ins Gewicht. In der überwiegenden Zahl der Versuche entdeckten die VP die Zielfigur entweder richtig oder überhaupt nicht.

che Zeit nicht mehr ausreichte, um die Zielfigur im Versuchsbild zu finden. Durch den eingeschobenen Zeitabschnitt zum Einprägen der Zielfigur war die Wahrscheinlichkeit aber erhöht, sie auf der Nachzüglertafel zu finden. Die Spracheingabe ist also in diesem Fall zusätzlich dadurch überlegen, dass sie die Versuchspersonen nicht dazu einlädt, mit der Einstellung zu zögern um die Zielfigur einzulernen. Dies erklärt den überproportionalen Vorteil von SPR_{sw} bei der Leistung im Vergleich zur Erinnerungsqualität.

In dem Verlaufsdiagramm Abbildung 79, S. 148 für die Leistung über alle 24 Versuche hinweg ist der so genannte Verlaufsmittelwert dem Gesamtleistungswert gegenübergestellt. In Abbildung 86 sind diese Werte über B^*_{ges} aufgetragen und für jede Interaktionstechnik ist die Differenz $(L_A - \tilde{L}_A)$ gebildet. Diese gibt den Lernerfolg der VPM innerhalb der 24 Versuche wieder. Auch Differenz zeigt über B^*_{ges} einen nahezu linearen Verlauf, der zu höheren B^*_{ges} hin ansteigt. Offensichtlich ist eine Interaktionstechnik umso schwerer zu lernen, je belastender sie ist. Auffällig ist der Knick von TST_{sw}_{mB} nach GUI_{vR} . Es scheint, dass sich die Interaktionstechniken, die Maus und Zeiger benötigen, in der Erlernbarkeit von den anderen negativ absetzen. Der Knick stammt daher, dass die Gesamtleistungen von TST_{sw}_{mB} und GUI_{vR} sich im Versuch als annähernd gleich zeigten, wogegen das HPML-Modell einen geringen Unterschied vorhersagt. Dagegen verhalten sich die Verlaufsmittelwerte eher modellgerecht. Hier besteht Anlass, das Modell weiterzuentwickeln, was aber nicht mehr Gegenstand dieser Arbeit ist.

Tabelle 5: Zuordnung der Leistung der Versuchspersonen über 24 Versuche zu der indizierten Gesamtbelastung.

Θ	B^*_{Ges}	$100 * L_A (m=24)$					
		VPM	VP1	VP2	VP3	VP4	VP5
SPR_{sw}	17	7,73	2,25	9,30	13,51	9,14	6,88
TST_{sw}_{mB}	43	5,30	5,10	6,90	6,61	3,32	6,90
GUI_{vR}	52	5,32	6,90	1,27	9,44	8,00	2,58
$GUI_{bz}_{msz}^*$	69	4,44	4,92	4,95	6,67	3,89	2,36

Tabelle 6: Größen für die Berechnung der Gesamtleistung über alle VP_i.

	<i>SPR_sw</i>	<i>TST_sw_mB</i>	<i>GUI_vR</i>	<i>GUI_bz_msz*</i>
$\sum Q_A$	70	52	56	43
$\sum t /s$	906	981	1052	968
$L_A * 100 /s$	7,73	5,30	5,32	4,44

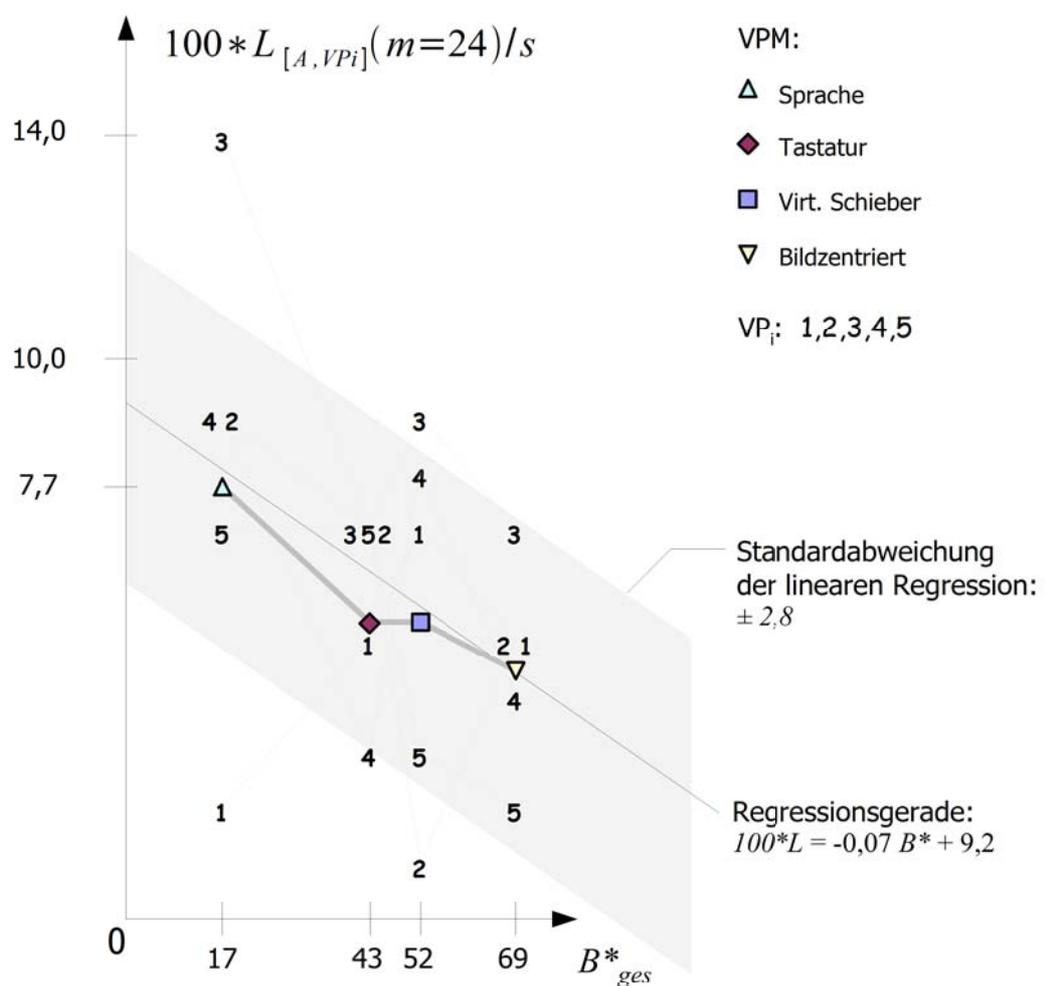


Abbildung 85: Experimentell ermittelte Leistung als Funktion über der indizierten Gesamtbelastung; hier: Kumuliert über alle Versuche und aufgetragen sowohl für die mittlere Versuchsperson VPM (Symbole) als auch für die einzelnen Versuchspersonen VP_i (Nummern); Einzelwerte siehe Tabelle 5.

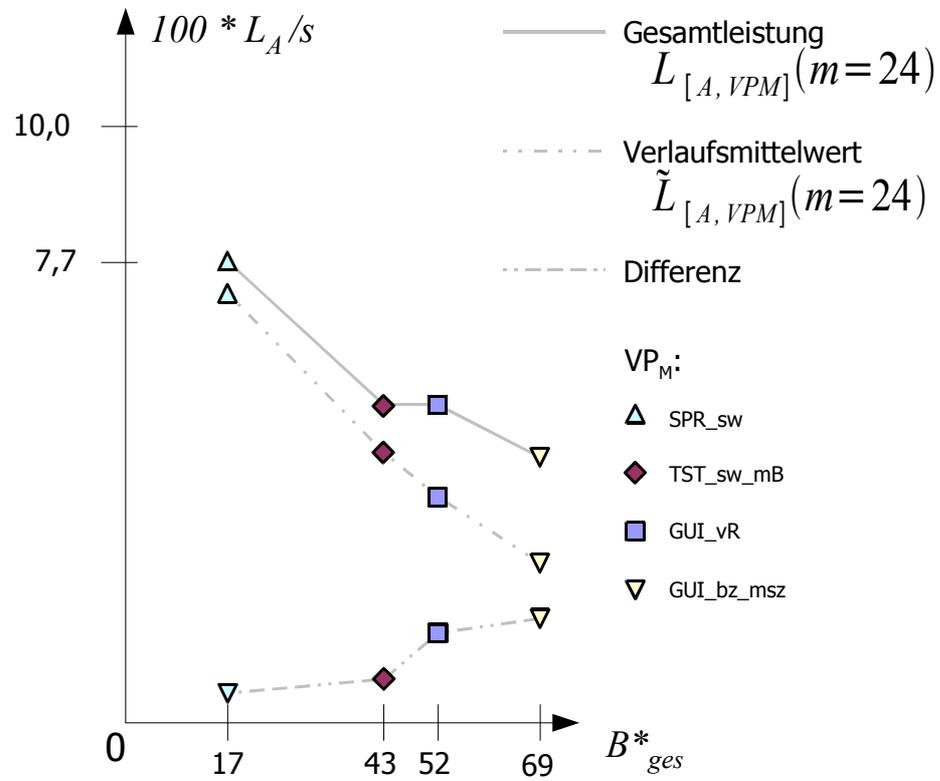


Abbildung 86: Gegenüberstellung von Gesamtleistung und Verlaufsmittelwert der Leistung für die VPM.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel vorliegender Arbeit war es, die Konkurrenz um Gedächtnisressourcen des Menschen zwischen der Bedienung einer Maschine als Hilfsmittel zur Lösung einer Arbeitsaufgabe einerseits und der eigentlichen Lösung der Arbeitsaufgabe andererseits zu untersuchen und einen Einfluss dieser Konkurrenz auf die Leistung des Menschen abhängig von verschiedenen Interaktionstechniken modellhaft vorherzusagen um damit den Entwurf von Mensch-Maschine-Systemen zu verbessern. Als Beispiel für die Arbeitsaufgabe wurde die bildgestützte Szenenerkundung mit Hilfe eines technischen Abbildungssystems betrachtet. Eine Szene kann dabei irgendein Ausschnitt der Realwelt sein. Ein Abbildungssystem ist z. B. eine Kamera mit angeschlossenem Bildverarbeitungsrechner und einem Bildschirmarbeitsplatz als Schnittstelle zum Menschen. Die Erkundung komplexer Szenen durch Bildauswertung, z. B. in der Videoüberwachung, der militärischen Aufklärung, der medizinischen Diagnose, der industriellen Qualitätsprüfung etc. ist eine schwierige Aufgabe, welche die geistigen Ressourcen des Menschen stark in Anspruch nimmt. Geistige Zusatzbelastung, z. B. durch Bedienung, wirkt sich dabei schädlich aus. Viele handelsübliche Softwareprodukte zur Unterstützung der Bildauswertung mit meistens GUI-basierter Standard-Benutzungsoberfläche nehmen darauf ungenügend Rücksicht. Dies ist ein Mangel im Stand der Technik.

Zum Erreichen des Ziels wurde die zu untersuchende Situation zuerst in die Begriffswelt der Anthropotechnik überführt. Dazu wurde ein Zyklus definiert, der sich von den Forderungen an den Menschen über die dadurch auf den Organismus wirkenden Belastungen und die resultierende Beanspruchung verfügbarer physischer und psychischer Kapazitäten bis zur erbrachten Leistung erstreckt, welche die Forderungen erfüllt. Als Forderung wird hier jede Empfindung verstanden, die den Menschen dazu veranlasst, sich mit ihr zu beschäftigen. Es wird in Nutzforderungen aus der Arbeitsaufgabe und Störforderungen aus dem Umfeld unterschieden. In dieser Arbeit wurden nur Nutzforderungen betrachtet.

Die Erörterung der Beanspruchung beschränkte sich auf die objektiv-engpassorientierte Beanspruchung. Sie erfordert eine objektiv bestimmbare Belastung und eine objektiv bestimmbare Kapazität des belasteten Organismus. Dazu ist die Bearbeitung der Arbeitsaufgabe und der Bedienungsaufgaben so in Einzelaktivitäten zu zerlegen, dass diese auf Einheiten des menschlichen Organismus mit bestimmbarer Kapazität abgebildet werden können. Die Nutzleistung, definiert als die Qualität der Erfüllung der Nutzforderung geteilt durch die dabei aufgewendete Zeit,

wird von der Beanspruchung im wesentlichen dahingehend beeinflusst, dass eine Überbeanspruchung die Qualität sinken lässt oder zum Erreichen der geforderten Qualität mehr Zeit aufgewendet werden muss.

Für die Abbildung der Aktivitäten auf den Menschen als Leistungsträger wurden gängige Modelle der menschlichen Informationsverarbeitung erörtert. Basierend auf den grundlegenden Modellen von Norman (1986) mit den sieben Handlungsschritten der Interaktion des Menschen mit einem Computer, dem Stufenmodell der Wahrnehmung aus Charwat (1994) und dem Drei-Ebenenmodell des menschlichen Verhaltens nach Rasmussen (1983) wurde mit dem Warteschlangenmodell von Schumacher (1981) eine Systematik vorgestellt, die das Verhalten des Menschen bei der Bedienung konkurrierender Forderungsströmen beschreibt. Diese, noch abstrakt gehaltene Systematik wird vom *Model Human Processor* (MHP) nach Card et al. (1983) um eine konkrete Modell-Architektur des Menschen als Informationsverarbeiter mit drei Prozessoren und drei Speichern ergänzt. Der dem kognitiven Prozessor zugeordnete Speicher, das Arbeitsgedächtnis, spielt eine zentrale Rolle bei der bewussten Aufgabenbearbeitung. Er hat eine begrenzte und nach dem Stand des Wissens verlässlich abschätzbare Kapazität von ca. sieben Merkeinheiten, die als *Chunks* (Ballungen) zusammengehöriger Zeichen aufzufassen sind.

Auf Grundlage des MHP wurde mit Card et al. (1983) das GOMS-Modell entwickelt, welches eine mittlerweile breit praktizierte Methode zur Modellierung und nachgehenden Analyse der Mensch-Maschine-Interaktion ist, insbesondere deren Zeitbudget. Dennoch ist GOMS nicht ausreichend feingranular, um das gesteckte Ziel dieser Arbeit zu erreichen. Vor allem modelliert GOMS die Verwaltung des Arbeitsgedächtnisses nur sehr oberflächlich und in einer Weise, die davon ausgeht, dass nicht mehr benötigte Merkeinheiten nach ihrer letzten Verwendung im Zuge einer Aufgabenbearbeitung im Arbeitsgedächtnis keinen Platz mehr in Anspruch nehmen. Es wird gezeigt, dass diese Annahme unplausibel ist. Sowohl Weiterentwicklungen von GOMS als auch alternative Modellierungstechniken und kognitive Architekturen lösen dieses Problem nicht oder sind (soweit grundsätzlich in der Lage, damit umzugehen, wie z. B. ACT-R) übermäßig aufwändig und eher dem Gewinnen von Erkenntnis über die menschliche Kognition als der Modellierung praktischer Mensch-Maschine-Probleme gewidmet.

Deshalb wurde entschieden, direkt auf dem MHP aufgebaut eine dedizierte, einfache Modellierungssprache zu entwickeln, die hier mit HPML: »*Human Processor Modelling Language*« bezeichnet wird. HPML definiert zuerst einen Graphen mit Knoten, welche Takte auf den drei Prozessoren des MHP repräsentieren (Pro-

zessorknoten) und den möglichen Übergängen von Takten dieser Prozessoren als gerichtete Kanten. Es wird postuliert, dass jeder Takt eines perzeptiven Prozessors eine neue Merkeinheit durch Wahrnehmung »von außen« in das Arbeitsgedächtnis schreibt, während der kognitive Prozessor dies im Rahmen eines *Recognize-Act-Cycle* (RAC) von innen tut. Mit der Einführung einer Durchsatztafel kann für eine feste Folge von Prozess-Schritten der Durchsatz von Merkeinheiten im Arbeitsgedächtnis dargestellt werden. Diesem Durchsatz liegt die Modellvorstellung zu Grunde, dass eine Merkeinheit durch neu hinzukommende Einheiten »nach hinten« durchgeschoben wird und, falls sie nicht rechtzeitig von einem RAC wieder verwendet wird, aus dem Arbeitsgedächtnis heraus fällt. Bei hinreichend intensivem Verkehr im Arbeitsgedächtnis spielt dann der zeitliche Verfall (*decay*) nur noch eine untergeordnete Rolle. Mit der Darstellungsform »Verdrängungsharfe« werden die im Laufe einer Aufgabenbearbeitung verwendeten Merkeinheiten sortiert nach derjenigen Stelle in der Durchsatztafel aufgetragen, auf der sie vor einer Wiederverwendung am weitesten nach hinten gerückt sind. Die Verdrängungsharfe zeigt damit die Beanspruchung des Arbeitsgedächtnisses durch die belastenden Merkeinheiten an und lässt eine Abschätzung der Überbeanspruchung zu. Dies muss eine Abschätzung bleiben, da die Ballung von elementaren Gedächtniselementen zu Merkeinheiten, das so genannte *Chunking*, individuell für jeden Menschen und schwer vorherzusagen ist. Dennoch genügt diese Abschätzung als qualifizierte Methode, Varianten der Benutzungsschnittstelle in Mensch-Maschine-Systemen aufgabenorientiert zu bewerten und in einer Rangfolge zu ordnen, aus der man die für das System optimale Variante bestimmen kann.

Anschließend wurde die Arbeitsaufgabe der bildgestützten Szenenerkundung als beauftragte Wahrnehmung systematisch erschlossen und als ein Prozess beschrieben, dessen Kernelement die Blickbewegung ist, d. h. der stete Wechsel der visuellen Fixation mit dem Ziel, die Szene durch visuelle Integration zu erschließen. Mit der Ortsbestimmung, d. h. der Lokalisierung eines bestimmten Gegenstands in der Szene wurde eine zugleich fundamentale und überschaubare Teilaufgabe herausgegriffen und mit HPML modelliert. Zunächst wurde dabei angenommen, dass die Arbeitsaufgabe ohne jegliche Hilfsaufgaben zur Systemeinstellung gelöst wird, um eine modellhafte Basisbelastung des Arbeitsgedächtnisses zu erhalten. Daran anschließend wurde das Modell durch charakteristische Einstelllaufgaben am Abbildungssystem ergänzt, wobei nur das Einstellen der Bildqualität (Helligkeit, Kontrast etc.) exemplarisch mit Durchsatztafel und Verdrängungsharfe ausmodelliert wurden. Im ersten Schritt wurde eine quasi ideale Bedienung angenommen, die sich in einem kognitiven Takt zum Formulieren des Stellbefehls,

einem motorischen zu dessen Auslösung und einem perzeptiven zur Wahrnehmung des Erfolgs erschöpft. Im Vergleich dazu wurden reale Bedienungen modelliert. Dafür wurde eine Auswahl getroffen, die sich in verschiedenen Varianten der Interaktion mittels Maus oder Berühreingabe auf einer grafischen Benutzungsoberfläche (GUI), sowie mehreren Varianten zur Tastatur- und Spracheingabe niederschlug. Von den erstellten HPML-Modellen der Bildqualitäts-einstellung mit diesen Interaktionstechniken wurden die augenscheinlich komplexeste Variante, die Verwendung eines virtuelles Schieberegler auf einer GUI und die augenscheinlich einfachste, die Spracheingabe mit Durchsatztafel und Verdrängungsharfe analysiert und der idealen Bedienung gegenübergestellt. Es zeigte sich, dass die Spracheingabe einer der idealen Bedienung ähnlich geringen Belastung ausgesetzt ist, während die GUI-Eingabe einer sehr hohen Belastung unterworfen ist. Daneben wurde diese drei Fälle auch so modelliert, wie es dem GOMS-Modell zu Grunde liegt, dass also abgearbeitete Merkeinheiten das Arbeitsgedächtnis nicht mehr belasten. Für diese, als unplausibel erachtete Betrachtungsweise stellte sich kein wesentlicher Unterschied in der Belastung des Arbeitsgedächtnisses zwischen den modellierten Interaktionstechniken ein.

Da Durchsatztafel und Verdrängungsharfe immer nur eine konkrete Folge von Prozessortakten beschreiben, der HPML-Graph mittels seiner in Schleifen eingebundenen Prozessorknoten aber eine Mannigfaltigkeit an möglichen Taktfolgen in sich trägt, wurde ein Maß entwickelt, welches die Prozessorknoten im HPML-Modell mit denjenigen Schleifen gewichtet, in die sie eingebunden sind. Dieses Maß wird als Belastungsindikator gewertet. Es beschreibt zwar nicht die tatsächliche Belastung einer Person, kann aber zwei Modelle bezüglich ihres Belastungspotenzials vergleichen. Neben den Indikator für die Gesamtbelastung, der alle Prozessoren einbezieht, wird ein Indikator für die Belastung des Arbeitsgedächtnisses gestellt. Er berücksichtigt nur diejenigen Prozessoren, welche Verkehr im Arbeitsgedächtnis erzeugen und es damit belasten.

Mit diesen Belastungsindikatoren wurde auch die Grundlage für eine experimentelle Untersuchung geschaffen, welche die in Versuchen erbrachte Leistung bei Erkundungsaufgaben inkl. Bedienung des Abbildungssystems einer Modellvorhersage in Form des Indikators gegenüberstellen konnte. Die Versuche bestanden in einer visuellen Suchaufgabe, bei der die Versuchsperson eine vorgegebene Zielfigur in einem Versuchsbild unter vielen ähnlichen Figuren wiederfinden sollte. Die Besonderheit des Versuchs bestand darin, dass die Zielfigur überraschend und nur für 20 ms gezeigt wurde und dann sofort das Versuchsbild erschien, welches rasch dunkler oder heller wurde, um nach zehn Sekunden ganz zu verschwinden.

Die Versuchsperson konnte dem gegensteuern, musste dies aber parallel zum Suchen tun und gleichzeitig die nur kurz wahrgenommene Zielfigur in Erinnerung behalten. Registriert wurde die verstrichene Zeit bis zur Detektion und die Erinnerungsqualität, d. h. ob die Versuchsperson die Zielfigur entweder im Versuchsbild gefunden hatte oder sich wenigstens nach dem Verschwinden des Versuchsbilds richtig erinnern konnte.

Vier der zwölf modellierten Interaktionstechniken wurden experimentell untersucht. Nach Auswertung der Ergebnisse kann folgendes festgestellt werden:

- Die Werte für die Erinnerungsqualität bei Anwendung der untersuchten Interaktionstechniken unterscheiden sich deutlich voneinander und korrelieren annähernd linear mit den Belastungsindikatoren aus den HPML-Modellen. Da diese Indikatoren als Maß für die Belastung des Arbeitsgedächtnisses gebildet wurden, kann geschlossen werden, dass die Belastung des Arbeitsgedächtnisses Ursache für Unterschiede in der Erinnerungsqualität ist. Die Erinnerungsqualität ist wesentliche Einflussgröße auf die Leistung bei der visuellen Ortsbestimmung als Fundamentalaufgabe einer visuellen Szenenerkundung. Maßgeblich ist dabei das Erinnern der Zielfigur als aufgabenbestimmende Merkeinheit.
- Die Annahme, dass abgearbeitete Merkeinheiten das Arbeitsgedächtnis nicht mehr belasten, wie sie z. B. im GOMS-Modell Anwendung findet, kann damit nicht mehr gehalten werden. Unter dieser Annahme dürften sich die Interaktionstechniken in ihrer Wirkung auf das Arbeitsgedächtnis nicht wesentlich unterscheiden (siehe Abbildung 67, S. 130 im Vergleich zu Abbildung 63, S. 126). Die Verdrängung überwiegt offensichtlich und es ist plausibel, dass der Kurzzeitcharakter des Arbeitsgedächtnisses eher von der schnellen Verdrängung durch immer neue Merkeinheiten denn aus dem Verfall über die Zeit herrührt.

Die Gestaltung der Interaktion für die Systembedienung in ihrer Rolle als Hilfsaufgabe bei geistig anspruchsvollen Arbeitsaufgaben hat, wie in dieser Arbeit nachgewiesen wurde, maßgeblichen Einfluss auf die Leistung in der Arbeitsaufgabe. Daraus folgt die Forderung nach dem optimierenden Entwurf für die Mensch-Maschine-Schnittstelle. Mit HPML wurde eine Modellierungssprache entwickelt, die eine gute Basis dafür ist, auf verhältnismäßig einfache Weise relative Vorhersagen über die Belastung des Arbeitsgedächtnisses zu treffen und damit die Gebrauchstauglichkeit von Interaktionstechniken bereits in der Entwurfsphase zu beurteilen. Weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeit ist zu leisten, um zum einen den hier begonnenen Modellierungsansatz durch weitere Experimente fester zu validieren

und ihn durch Softwareunterstützung zu einem Werkzeug für die Praktiker in der Mensch-Maschine-Systemtechnik zu formen. Zum anderen ist der Ansatz dahingehend zu erweitern, dass der Wettbewerb durch mentales Umschalten zwischen dem egozentrischen Referenzsystem des Benutzers und dem allozentrischen Referenzsystem der Sensorik (siehe Kapitel 1.2) in den Modellierungsrahmen integriert und damit eine Grundlage für die systematische Gestaltung von Mensch-Maschine-Systemen mit interaktiver Sensorsteuerung gelegt wird.

9 Anhänge

Anhang A (S. 165 ff.): HPML-Modelle

Anhang A zeigt die vollständigen HPML-Modelle aller in dieser Arbeit diskutierten Interaktionstechniken und die Berechnung der indizierten Belastung B^* für jedes dieser Modelle.

Anhang B (S. 190 ff.): Versuchsprotokoll

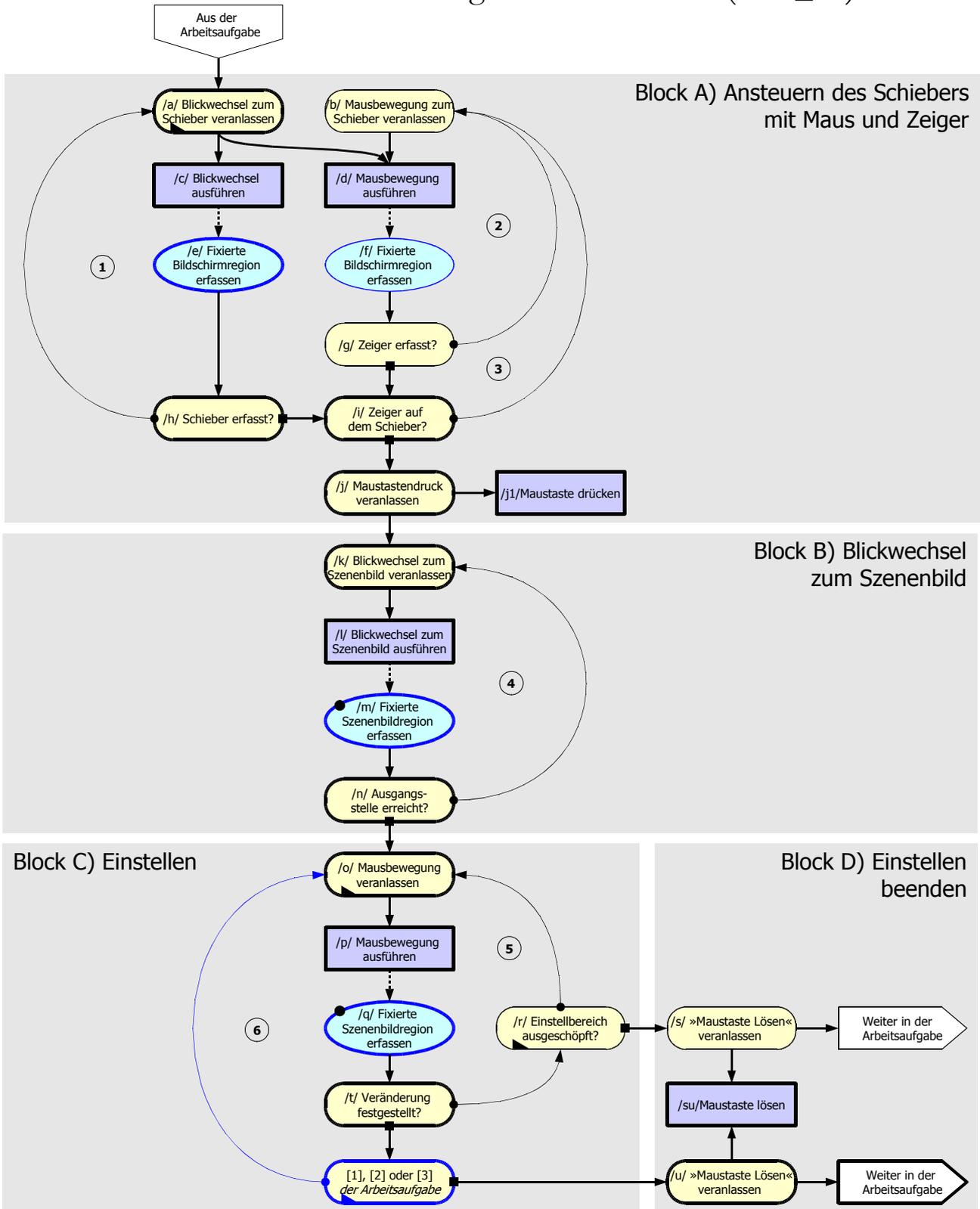
In Anhang B sind die Roh-Ergebnisse der fünf Versuchspersonen aus den Versuchen für diejenigen vier Interaktionstechniken protokolliert, die dem Experiment unterzogen wurden. Weiterhin ist die gerätetechnische Versuchsanordnung angegeben.

9.1 Anhang A: HPML-Modelle

Inhalt Anhang A

<i>GUI_vR</i>	GUI / Virtueller Schieberegler	S. 166 f.
<i>GUI_vT_sw</i>	GUI / Virtuelle Taste / schrittweises Einstellen	S. 168 f.
<i>GUI_vT_gl</i>	GUI / Virtuelle Taste / gleitendes Einstellen	S. 170 f.
<i>TST_sw_mB</i>	Tastatur / schrittweises Einstellen / mit Blick zur Taste	S. 172 f.
<i>TST_sw_oB</i>	Tastatur / schrittweises Einstellen / ohne Blick zur Taste	S. 174 f.
<i>TST_gl_mB</i>	Tastatur / gleitendes Einstellen / mit Blick zur Taste	S. 176 f.
<i>TST_gl_oB</i>	Tastatur / gleitendes Einstellen / ohne Blick zur Taste	S. 178 f.
<i>GUI_bz_tch</i>	GUI / bildzentriertes Einstellen / Berühreingabe (»Touchscreen« o.ä.)	S. 180 f.
<i>GUI_bz_msz</i>	GUI / bildzentriertes Einstellen / über Mauszeiger	S. 182 f.
<i>GUI_bz_msz*</i>	GUI / bildzentriertes Einstellen / über Mauszeiger mit Neuansetzen	S. 184 f.
<i>SPR_sw</i>	Spracheingabe / schrittweises Einstellen	S. 186 f.
<i>SPR_gl</i>	Spracheingabe / gleitendes Einstellen	S. 188 f.

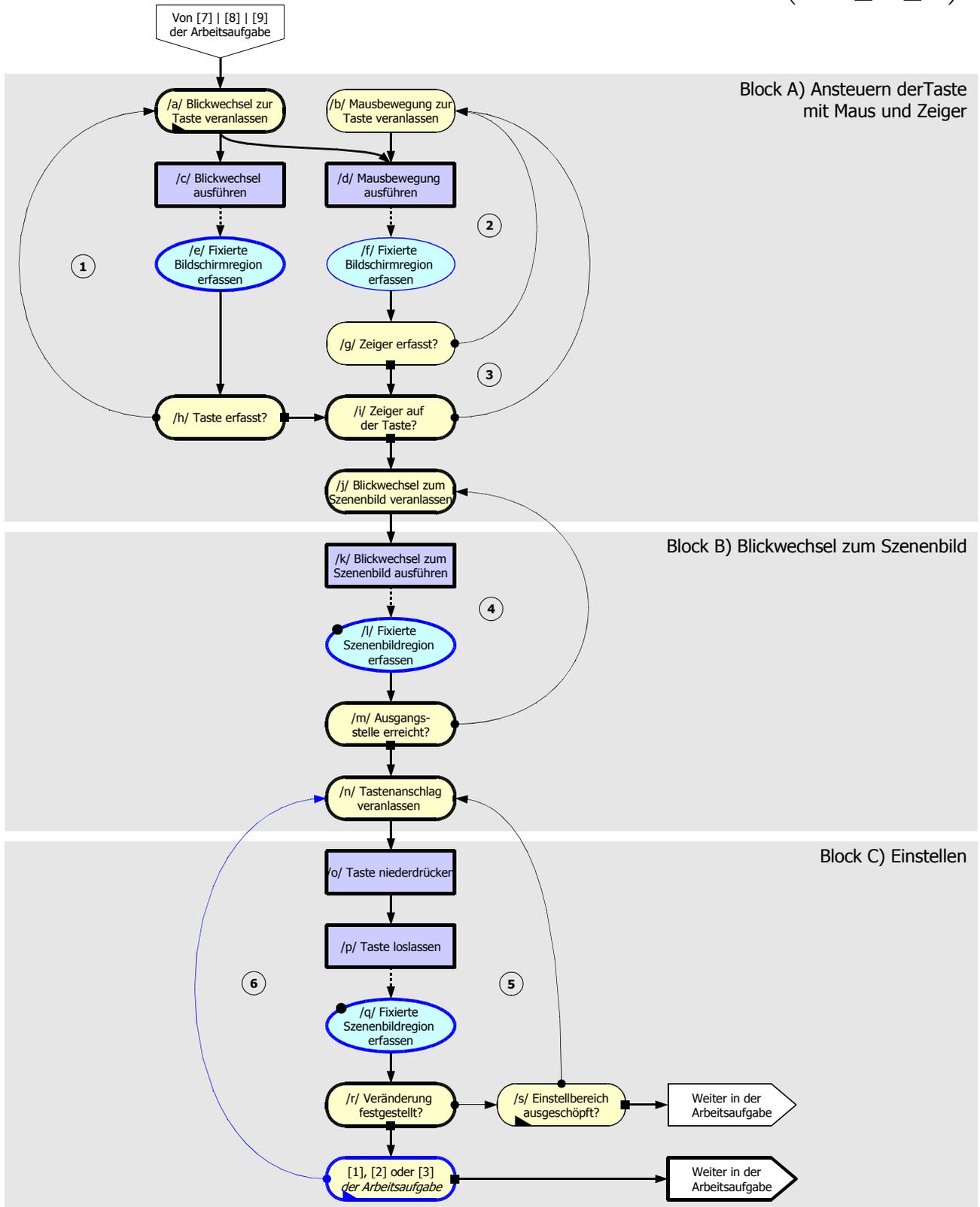
Einstellen mit virtuellem Schieberegler auf einer GUI (GUI_vR)



Belastungsindikatoren GUI_{vR}

Knoten: i	In der Schleife	Schleifen- gewicht: $S(i)$	Grund- gewicht	Gesamt- gewicht	Günstigster Pfad
/a/	a & 1	2	1	3	1
/b/	2 & 3	2	1	3	
/c/	1	1	1	2	1
/d/	2 & 3	2	1	3	1
/e/	1	1	1	2	1
/f/	2 & 3	2	1	3	
/g/	2 & 3	2	1	3	
/h/	1	1	1	2	1
/i/	3	1	1	2	1
/j/			1	1	1
/j1/			1	1	1
/k/	4	1	1	2	1
/l/	4	1	1	2	1
/m/	4	1	1	2	1
/n/	4	1	1	2	1
/o/	o & 5 & 6	3	1	4	1
/p/	5 & 6	2	1	3	1
/q/	5 & 6	2	1	3	1
/r/	r & 5	2	1	3	
/s/			1	1	
/su/			1	1	1
/t/	5 & 6	2	1	3	1
/u/			1	1	1
Summe <u>perzeptiv</u> : B^*_p				10	3
Summe <u>kognitiv</u> : B^*_k				30	9
AG-wirksam: B^*_{AG}				40	12
Summe <u>motorisch</u> : B^*_m				12	6
Gesamt: B^*				52	18

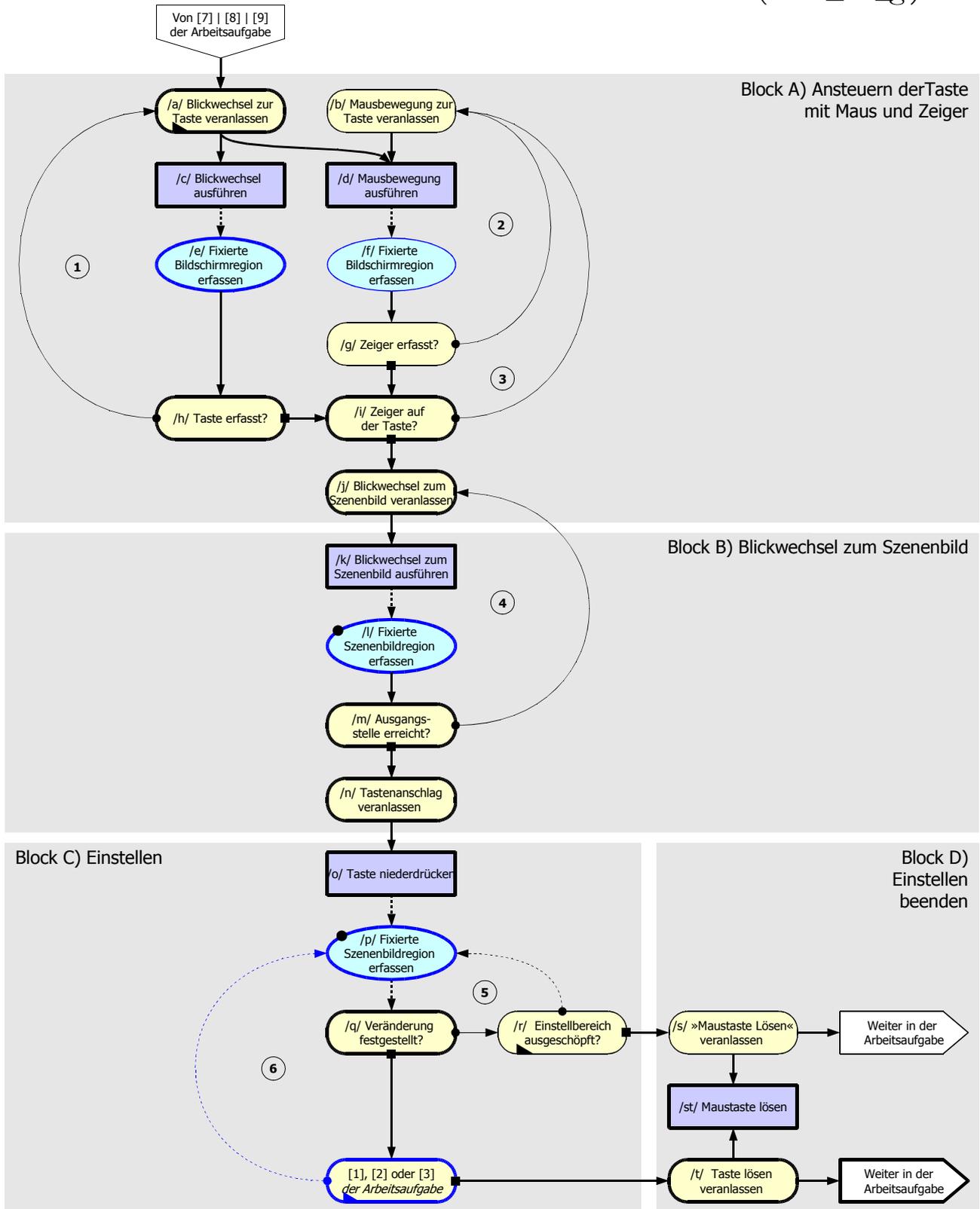
Schrittweises Einstellen mit virtueller Taste auf einer GUI (*GUI_vT_sm*)



Belastungsindikatoren $GUI_{\nu T_{sm}}$

Knoten: i	In der Schleife	Schleifen- gewicht: $S(i)$	Grund- gewicht	Gesamt- gewicht	Günstigster Pfad
/a/	a & 1	2	1	3	1
/b/	2 & 3	2	1	3	
/c/	1	1	1	2	1
/d/	2 & 3	2	1	3	1
/e/	1	1	1	2	1
/f/	2 & 3	2	1	3	
/g/	2 & 3	2	1	3	
/h/	1	1	1	2	1
/i/	3	1	1	2	1
/j/	4	1	1	2	1
/k/	4	1	1	2	1
/l/	4	1	1	2	1
/m/	4	1	1	2	1
/n/	5 & 6	2	1	3	1
/o/	5 & 6	2	1	3	1
/p/	5 & 6	2	1	3	1
/q/	5 & 6	2	1	3	1
/r/	5 & 6	2	1	3	1
/s/	s & 5	2	1	3	
Summe <u>perzeptiv</u> : B^*_p				10	3
Summe <u>kognitiv</u> : B^*_k				26	7
AG-wirksam: B^*_{AG}				36	10
Summe <u>motorisch</u> : B^*_m				13	5
Gesamt: B^*				49	15

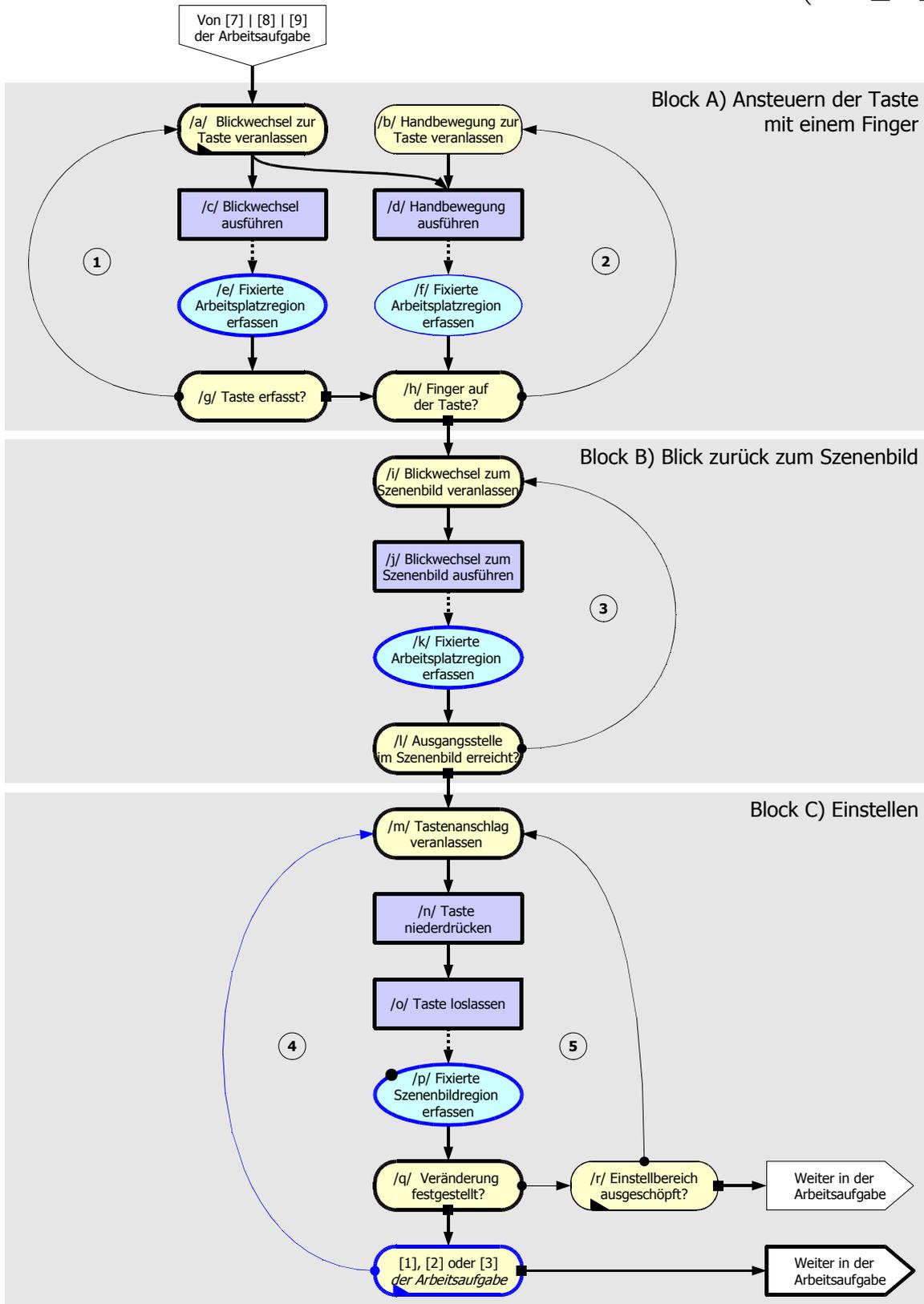
Gleitendes Einstellen mit virtueller Taste auf einer GUI (*GUI_vT_gl*)



Belastungsindikatoren $GUI_{\nu T_{gl}}$

Knoten: i	In der Schleife	Schleifen- gewicht: $S(i)$	Grund- gewicht	Gesamt- gewicht	Günstigster Pfad
/a/	a & 1	2	1	3	1
/b/	2 & 3	2	1	3	
/c/	1	1	1	2	1
/d/	2 & 3	2	1	3	1
/e/	1	1	1	2	1
/f/	2 & 3	2	1	3	
/g/	2 & 3	2	1	3	
/h/	1	1	1	2	1
/i/	3	1	1	2	1
/j/	4	1	1	2	1
/k/	4	1	1	2	1
/l/	4	1	1	2	1
/m/	4	1	1	2	1
/n/			1	1	1
/o/			1	1	1
/p/	5 & 6	2	1	3	1
/q/	5 & 6	2	1	3	1
/r/	r & 5	2	1	3	
/s/			1	1	
/st/			1	1	1
/t/			1	1	1
Summe <u>perzeptiv</u> : B^*_p				10	3
Summe <u>kognitiv</u> : B^*_k				26	8
AG-wirksam : B^*_{AG}				36	11
Summe <u>motorisch</u> : B^*_m				9	5
Gesamt: B^*				45	16

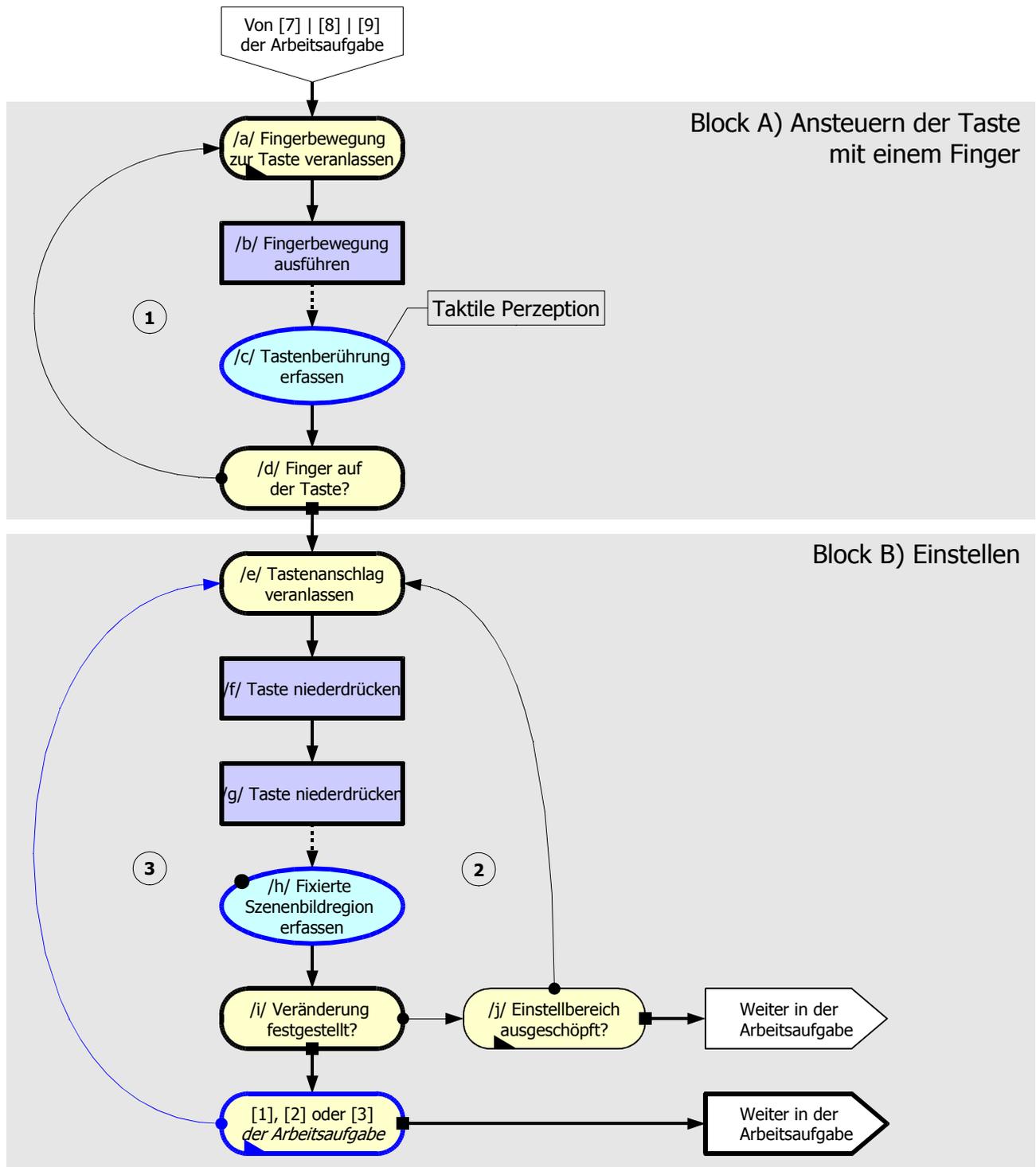
Schritt. Einstellen mit realer Taste mit Blick zur Taste (*TST_sw_mB*)



Belastungsindikatoren TST_{sw_mB}

Knoten: i	In der Schleife	Schleifen- gewicht: $S(i)$	Grund- gewicht	Gesamt- gewicht	Günstigster Pfad
/a/	a & 1	2	1	3	1
/b/	2	1	1	2	
/c/	1	1	1	2	1
/d/	2	1	1	2	1
/e/	1	1	1	2	1
/f/	2	1	1	2	
/g/	1	1	1	2	1
/h/	2	1	1	2	1
/i/	3	1	1	2	1
/j/	3	1	1	2	1
/k/	3	1	1	2	1
/l/	3	1	1	2	1
/m/	4 & 5	2	1	3	1
/n/	4 & 5	2	1	3	1
/o/	4 & 5	2	1	3	1
/p/	4 & 5	2	1	3	1
/q/	4 & 5	2	1	3	1
/r/	r & 5	2	1	3	
Summe <u>perzeptiv</u> : B^*_p				9	3
Summe <u>kognitiv</u> : B^*_k				22	7
AG-wirksam : B^*_{AG}				31	10
Summe <u>motorisch</u> : B^*_m				12	5
Gesamt: B^*				43	15

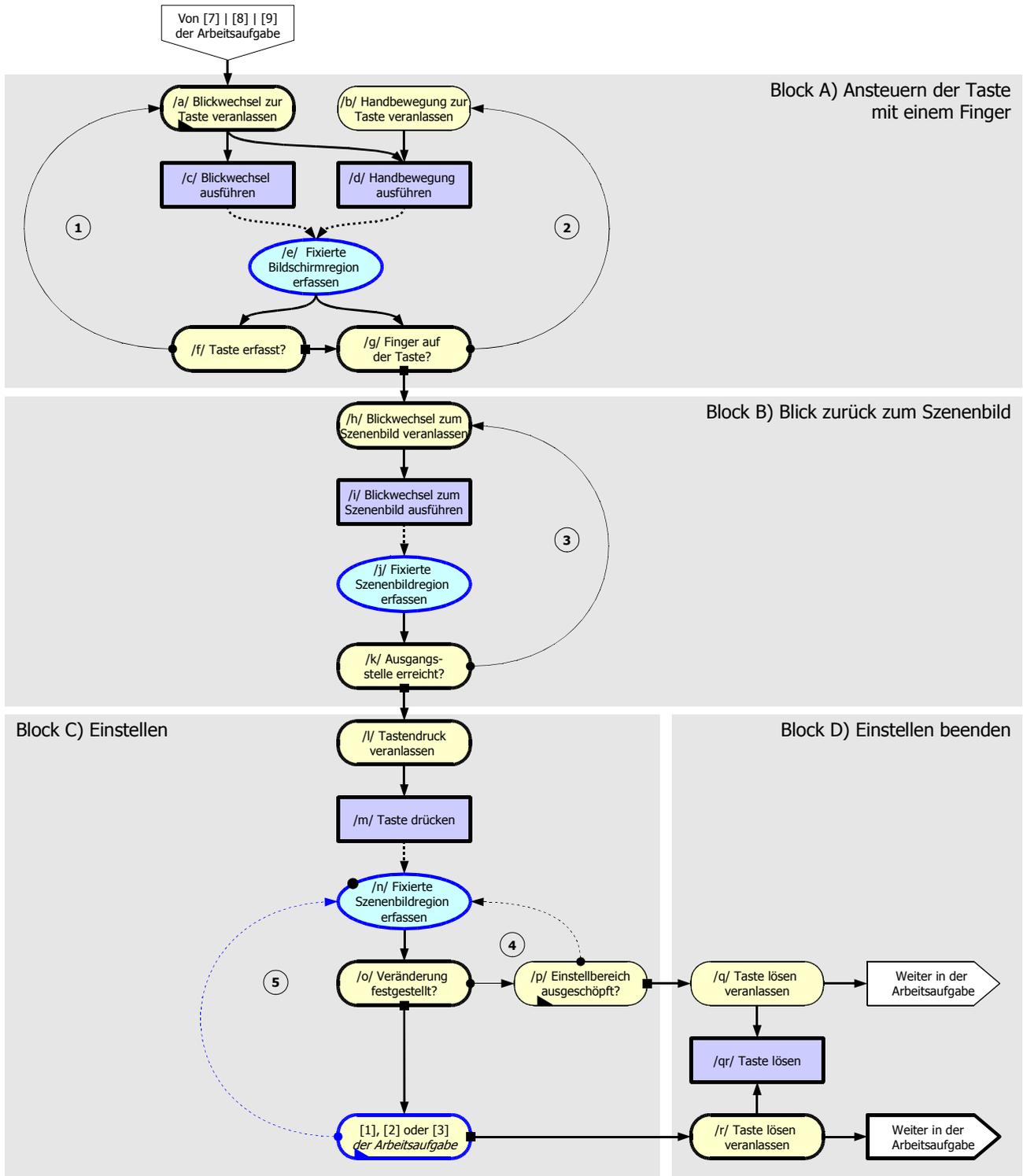
Schrittweise Einstellen mit realer Taste ohne Blick zur Taste (*TST_sw_oB*)



Belastungsindikatoren TST_{sw_oB}

Knoten: i	In der Schleife	Schleifen- gewicht: $S(i)$	Grund- gewicht	Gesamt- gewicht	Günstigster Pfad
/a/	a & 1	2	1	3	1
/b/	1	1	1	2	1
/c/	1	1	1	2	1
/d/	1	1	1	2	1
/e/	2 & 3	2	1	3	1
/f/	2 & 3	2	1	3	1
/g/	2 & 3	2	1	3	1
/h/	2 & 3	2	1	3	1
/i/	2 & 3	2	1	3	1
/j/	j & 2	2	1	3	1
Summe <u>perzeptiv</u> : B_p^*				5	2
Summe <u>kognitiv</u> : B_k^*				14	4
AG-wirksam : B_{AG}^*				19	6
Summe <u>motorisch</u> : B_m^*				8	3
Gesamt: B^*				27	9

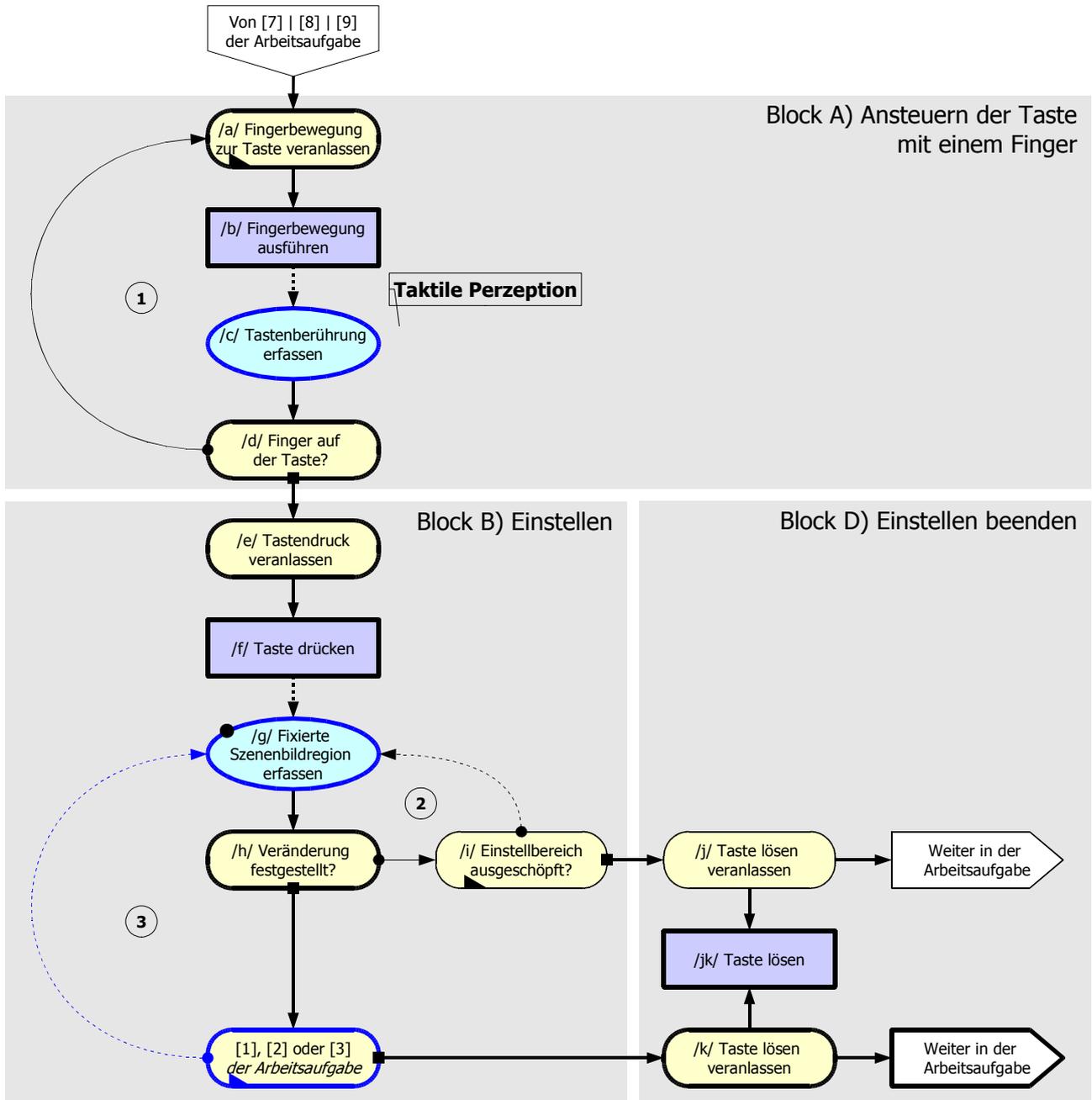
Gleitendes Einstellen mit realer Taste mit Blick zur Taste (*TST_{gl}MB*)



Belastungsindikatoren TST_{gl_mB}

Knoten: i	In der Schleife	Schleifen- gewicht: $S(i)$	Grund- gewicht	Gesamt- gewicht	Günstigster Pfad
/a/	a & 1	2	1	3	1
/b/	2	1	1	2	
/c/	1	1	1	2	1
/d/	2	1	1	2	
/e/	1	1	1	2	1
/f/	1	1	1	2	1
/g/	2	1	1	2	1
/h/	3	1	1	2	1
/i/	3	1	1	2	1
/j/	3	1	1	2	1
/k/	3	1	1	2	1
/l/			1	1	1
/m/			1	1	1
/n/	4 & 5	2	1	3	1
/o/	4 & 5	2	1	3	1
/p/	p & 4	2	1	3	
/q/			1	1	
/qr/			1	1	1
/r/			1	1	1
Summe <u>perzeptiv</u> : B^*_p				7	3
Summe <u>kognitiv</u> : B^*_k				22	8
AG-wirksam: B^*_{AG}				29	11
Summe <u>motorisch</u> : B^*_m				8	4
Gesamt: B^*				37	15

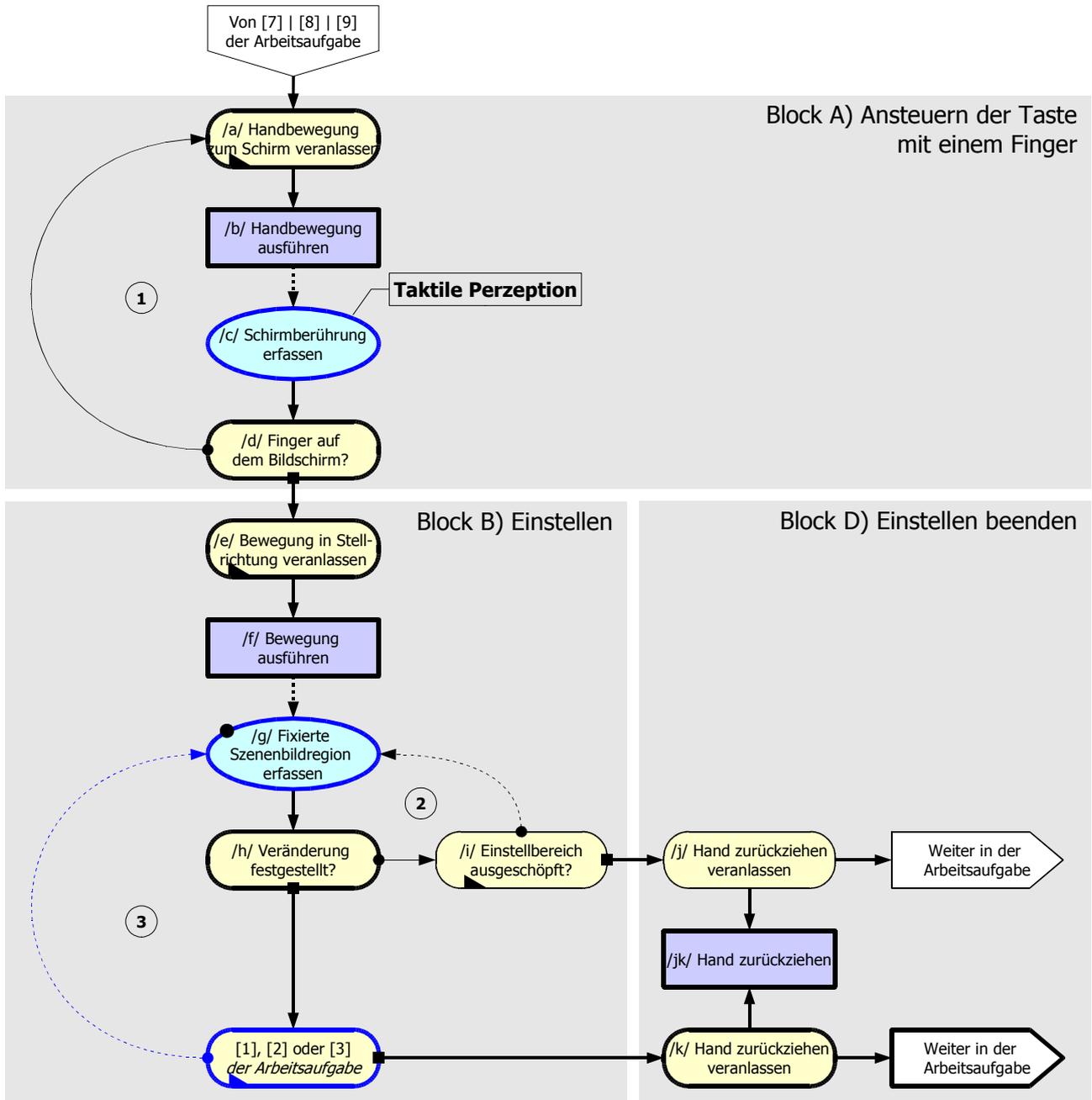
Gleitendes Einstellen mit realer Taste ohne Blick zur Taste (*TST_{gl}-oB*)



Belastungsindikatoren TST_{gl_oB}

Knoten: i	In der Schleife	Schleifen- gewicht: $S(i)$	Grund- gewicht	Gesamt- gewicht	Günstigster Pfad
/a/	a & 1	2	1	3	1
/b/	1	1	1	2	1
/c/	1	1	1	2	1
/d/	1	1	1	2	1
/e/			1	1	1
/f/			1	1	1
/g/	2 & 3	2	1	3	1
/h/	2 & 3	2	1	3	1
/i/	i & 2	2	1	3	
/j/			1	1	
/jk/			1	1	1
/k/			1	1	1
Summe <u>perzeptiv</u> : B^*_p				5	2
Summe <u>kognitiv</u> : B^*_k				14	5
AG-wirksam : B^*_{AG}				19	7
Summe <u>motorisch</u> : B^*_m				4	3
Gesamt: B^*				23	10

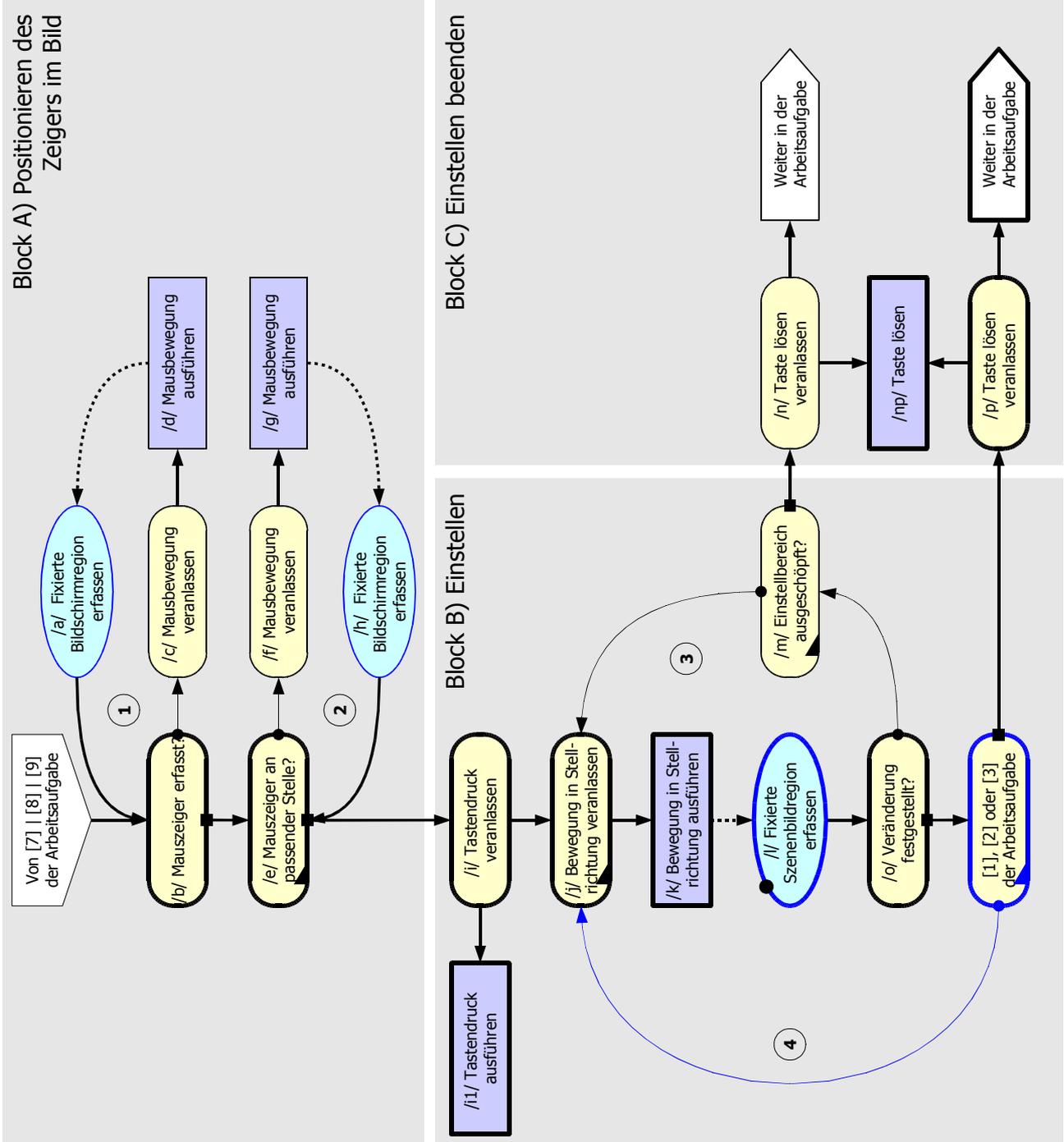
Einstellen durch Berührungseingabe direkt ins Bild (*GUI_bz_tch*)



Belastungsindikatoren GUI_{bz_tcb}

Knoten: i	In der Schleife	Schleifen- gewicht: $S(i)$	Grund- gewicht	Gesamt- gewicht	Günstigster Pfad
/a/	a & 1	2	1	3	1
/b/	1	1	1	2	1
/c/	1	1	1	2	1
/d/	1	1	1	2	1
/e/	e	1	1	2	1
/f/			1	1	1
/g/	2 & 3	2	1	3	1
/h/	2 & 3	2	1	3	1
/i/	i & 2	2	1	3	
/j/			1	1	
/jk/			1	1	1
/k/			1	1	1
Summe <u>perzeptiv</u> : B^*_p				5	2
Summe <u>kognitiv</u> : B^*_k				15	5
AG-wirksam : B^*_{AG}				20	7
Summe <u>motorisch</u> : B^*_m				4	3
Gesamt: B^*				24	10

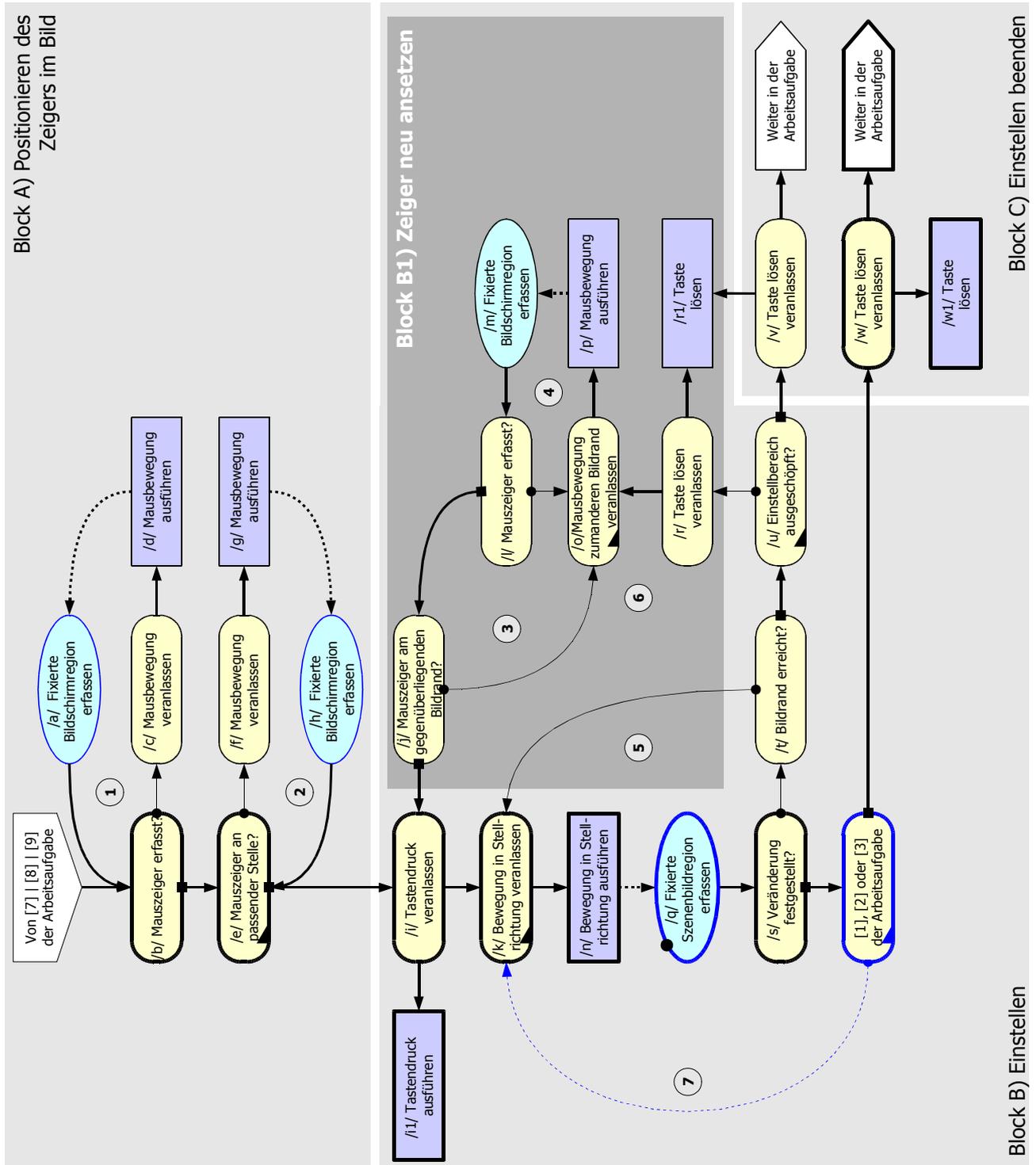
Einstellen über Mauszeiger im Bild (*GUI_bz_msz*)



Belastungsindikatoren GUI_{bz_msz}

Knoten: i	In der Schleife	Schleifen- gewicht: $S(i)$	Grund- gewicht	Gesamt- gewicht	Günstigster Pfad
/a/	1	1	1	2	
/b/	1	1	1	2	1
/c/	1	1	1	2	
/d/	1	1	1	2	
/e/	e & 2	2	1	3	1
/f/	2	1	1	2	
/g/	2	1	1	2	
/h/	2	1	1	2	
/i/			1	1	1
/i1/			1	1	1
/j/	j & 3 & 4	3	1	4	1
/k/	3 & 4	2	1	3	1
/l/	3 & 4	2	1	3	1
/m/	m & 3	2	1	3	
/n/			1	1	
/np/			1	1	1
/o/	3 & 4	2	1	3	1
/p/			1	1	1
Summe <u>perzeptiv</u> : B^*_p				7	1
Summe <u>kognitiv</u> : B^*_k				22	6
AG-wirksam : B^*_{AG}				29	7
Summe <u>motorisch</u> : B^*_m				9	3
Gesamt: B^*				38	10

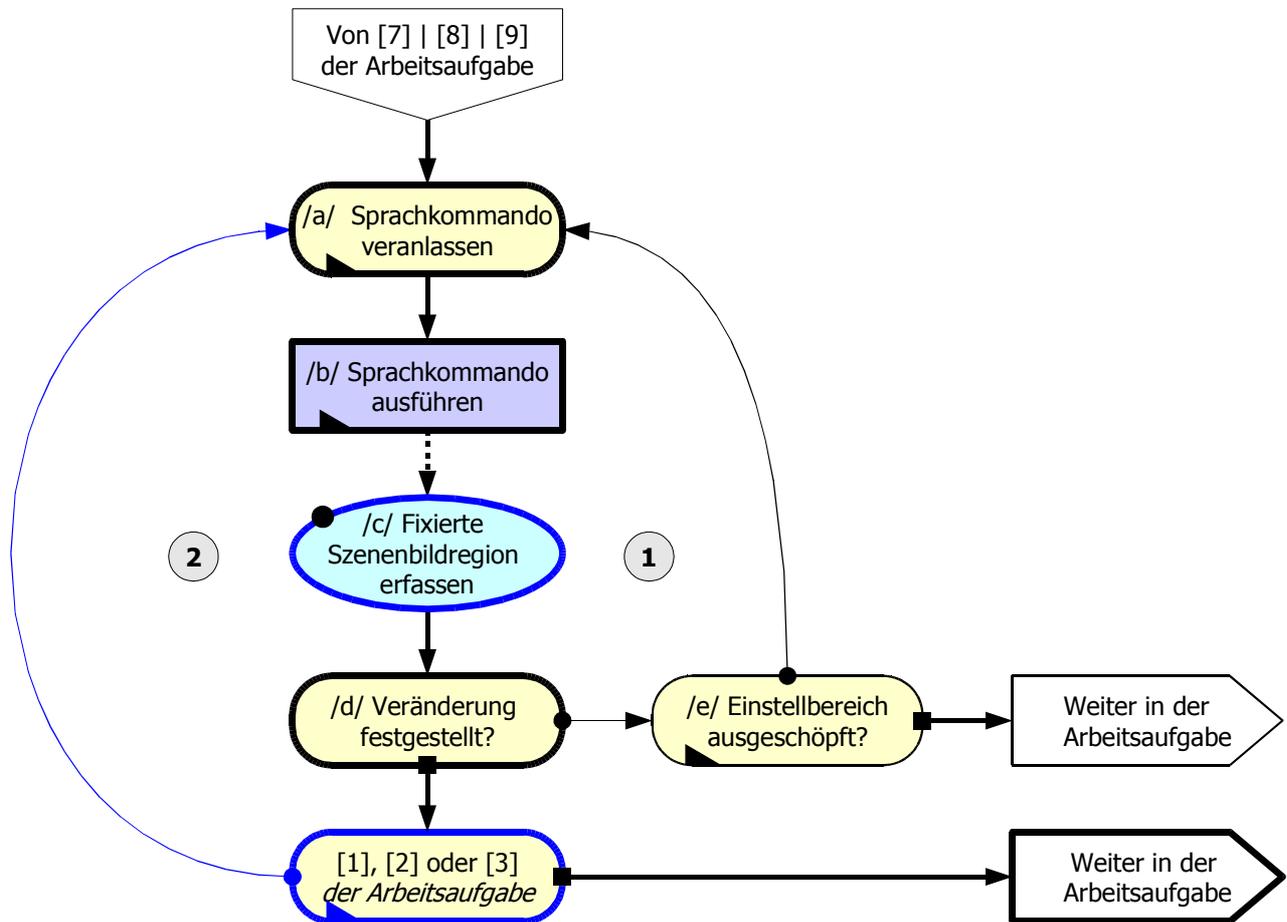
Einstellen über Mauszeiger im Bild mit Neuansetzen ($GUI_bz_msz^*$)



Belastungsindikatoren $GUI_{bz_{msz}^*}$

Knoten: i	In der Schleife	Schleifen- gewicht: $S(i)$	Grund- gewicht	Gesamt- gewicht	Günstigster Pfad
/a/	1	1	1	2	
/b/	1	1	1	2	1
/c/	1	1	1	2	
/d/	1	1	1	2	
/e/	e & 2	2	1	3	1
/f/	2	1	1	2	
/g/	2	1	1	2	
/h/	2	1	1	2	
/i/	6	1	1	2	1
/i1/			1	1	1
/j/	3 & 6	2	1	3	
/k/	k & 5 & 6 & 7	4	1	5	1
/l/	3 & 4 & 6	3	1	4	
/m/	3 & 4 & 6	3	1	4	
/n/	5 & 6 & 7	3	1	4	1
/o/	3 & 4 & 6 & o	4	1	5	
/p/	3 & 4 & 6	3	1	4	
/q/	5 & 6 & 7	3	1	4	1
/r/	6	1	1	2	
/r1/			1	1	
/s/	5 & 6 & 7	3	1	4	1
/t/	5 & 6	2	1	3	
/u/	u & 6	2	1	3	
/v/			1	1	
/w/			1	1	1
/w1/			1	1	1
Summe <u>perzeptiv</u> : B_p^*				12	1
Summe <u>kognitiv</u> : B_k^*				42	6
AG-wirksam: B_{AG}^*				54	7
Summe <u>motorisch</u> : B_m^*				15	3
Gesamt: B^*				69	10

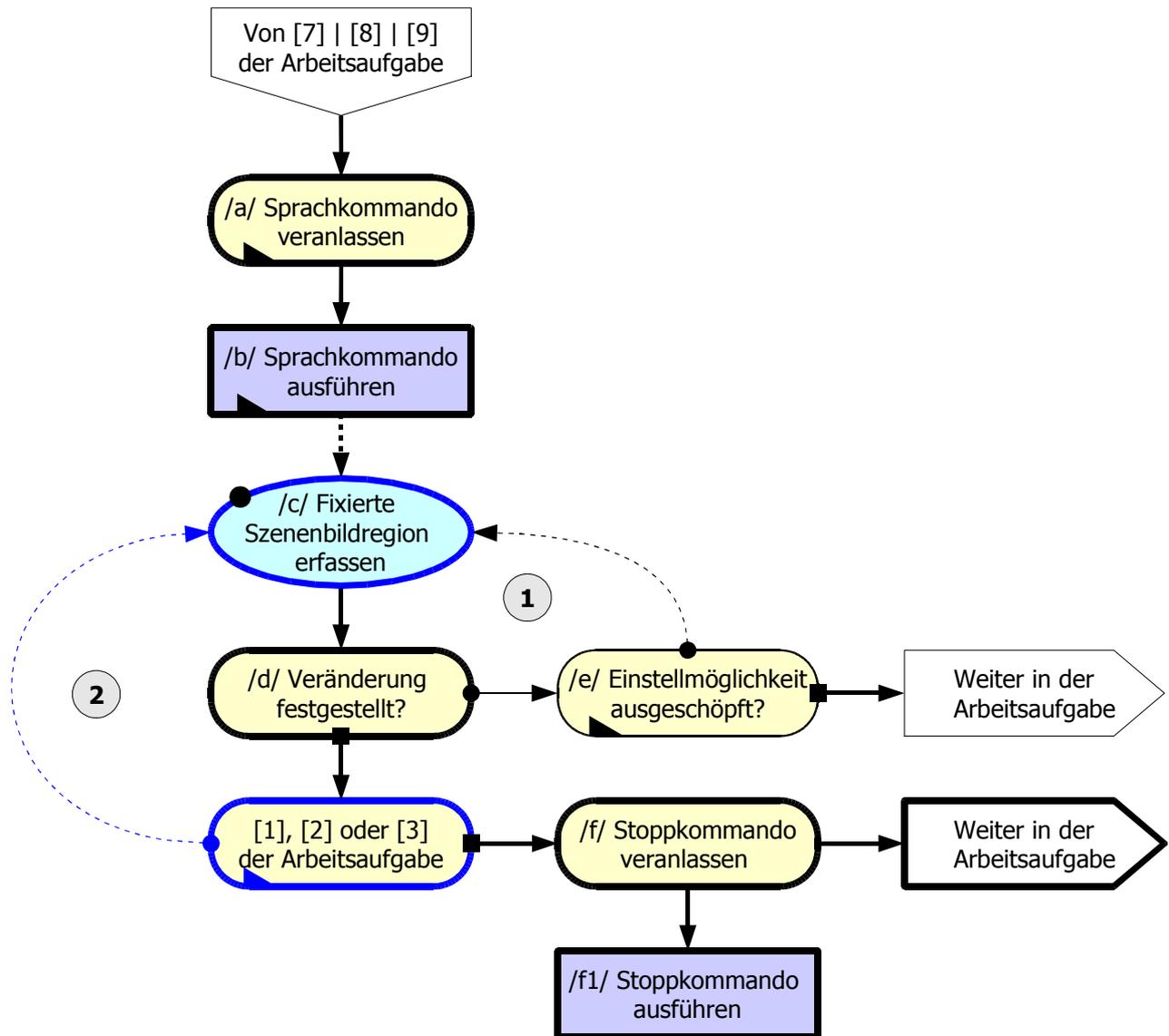
Schrittweises Einstellen mittels Spracheingabe (*SPR_{sm}*)



Belastungsindikatoren SPR_{sm}

Knoten: i	In der Schleife	Schleifen- gewicht: $S(i)$	Grund- gewicht	Gesamt- gewicht	Günstigster Pfad
/a/	a & 1 & 2	3	1	4	1
/b/	b & 1 & 2	3	1	4	1
/c/	1 & 2	2	1	3	1
/d/	1 & 2	2	1	3	1
/e/	e & 1	2	1	3	
Summe <u>perzeptiv</u> : B^*_p				3	1
Summe <u>kognitiv</u> : B^*_k				10	2
AG-wirksam : B^*_{AG}				13	3
Summe <u>motorisch</u> : B^*_m				4	1
Gesamt: B^*				17	4

Gleitendes Einstellen mittels Spracheingabe (*SPR_{gl}*)



Belastungsindikatoren SPR_{gl}

Knoten: i	In der Schleife	Schleifen- gewicht: $S(i)$	Grund- gewicht	Gesamt- gewicht	Günstigster Pfad
/a/	a	1	1	2	1
/b/	b	1	1	2	1
/c/	1 & 2	2	1	3	1
/d/	1 & 2	2	1	3	1
/e/	e & 1	2	1	3	1
/f/			1	1	1
/f1/			1	1	1
Summe <u>perzeptiv</u> : B^*_p				3	1
Summe <u>kognitiv</u> : B^*_k				9	3
AG-wirksam : B^*_{AG}				12	4
Summe <u>motorisch</u> : B^*_m				3	2
Gesamt: B^*				15	6

9.2 Anhang B: Versuchsprotokoll

1. Übersicht und Legende

Datum der Versuche je Versuchsperson (VP) und Interaktionstechnik

	VP1	VP2	VP3	VP4	VP5
GUI_vR	10.08.2005	26.07.2005	11.08.2005	15.08.2005	28.07.2005
SPR_sw	28.07.2005	11.08.2005	08.08.2005	09.08.2005	10.08.2005
TST_sw_mB	25.07.2005	02.08.2005	02.08.2005	27.07.2005	08.08.2005
GUI_bz_msz*	04.08.2005	09.08.2005	27.07.2005	02.08.2005	05.08.2005

Konfiguration des Rechnerarbeitsplatzes

CPU:	AMD Athlon XP 64, 2 Ghz
RAM:	2 GigaByte Kapazität
Festplatte	153 GigaByte Kapazität
Grafikkarte:	NVidia GeForce 6600 GT
Bildschirm:	Samsung Synch Master 213, TFT, 21-Zoll Diagonale, 1280x1024 Pixel
Tastatur:	Cherry, G81-3000LRNDE-0
Maus:	Logitech Premium Optical Wheel
Betriebssystem:	Microsoft Windows XP

Legende für die Tabellen

Q_A	Qualität der Aufgabenlösung: Zielfigur im Versuch gefunden (1) oder nicht gefunden (0)
t	Verstrichene Zeit in Sekunden vom Start bis zum Lokalisieren der als Zielfigur interpretierten Reizfigur
Q_E	Qualität der Erinnerung: Zielfigur im Versuch oder in der Nachzüglerkarte gefunden (1) oder überhaupt nicht gefunden (0)
fett	Wegen Fehlmessung geschätzter Wert (Mittelwert über die gemessenen Werte der VP für die jeweilige Interaktionstechnik)

Versuchsleitung und -betreuung

Susanne Lamprecht
 Jürgen Geisler

2. Protokolle (Folgeseiten)

9.2 Anhang B: Versuchsprotokoll

GUI_vR						Zielfigur	Reizbild wird ...
Datum	VP1 10.08.2005	VP2 26.07.2005	VP3 11.08.2005	VP4 15.08.2005	VP5 28.07.2005		
1: Q _A	0		0	0	0	✘	heller
1: t	10		10	10	10	○	
1: Q _E	0		0	1	0	▲	dunkler
2: Q _A	0	0	0	0	1	+	
2: t	10	10	10	10	10	●▲	dunkler
2: Q _E	1	0	0	1	1	■	heller
3: Q _A	1	0	0	0	0	○	dunkler
3: t	7	10	10	10	10	●▲	
3: Q _E	1	0	0	1	0	■	heller
4: Q _A	1	0	1	1	0	○	dunkler
4: t	7	10	5	7	10	✘	
4: Q _E	1	0	1	1	1	●	dunkler
5: Q _A	0	0	0	1	0	▶	heller
5: t	10	10	10	10	9	+	
5: Q _E	0	0	1	1	0	▲	heller
6: Q _A	1	0	1	1	1	■	heller
6: t	8	10	6	8	8	+	
6: Q _E	1	1	1	1	1	▲	heller
7: Q _A	0	0	1	1	0	✘	heller
7: t	10	10	6	10	10	●▲	
7: Q _E	0	0	1	1	1	■	heller
8: Q _A	0	0	1	1	0	○	dunkler
8: t	5	10	4	6	10	■	heller
8: Q _E	0	1	1	1	1	■	dunkler
9: Q _A	0	0	0	1	0	▲	dunkler
9: t	10	10	10	6	10	▼▲	heller
9: Q _E	1	1	1	1	0	▶	dunkler
10: Q _A	1	0	0	1	0	▲	heller
10: t	6		10	9	10	■	heller
10: Q _E	1	0	1	1	1	●	dunkler
11: Q _A	0	0	1	0	0	○	heller
11: t	10	10	9	10	10	✘	dunkler
11: Q _E	1	0	1	1	0	▶	dunkler
12: Q _A	1	0	1	1	0	▶	heller
12: t	10	10	8	8	10	●	dunkler
12: Q _E	1	1	1	1	1	○	heller
13: Q _A	1	0	1	0	0	■	heller
13: t	10	10	6	10	10	+	dunkler
13: Q _E	1	0	1	1	1	▶	heller
14: Q _A	1	0	1	1	0	■	heller
14: t	5	10	7	7	10	▶	heller
14: Q _E	1	1	1	1	0	▶	heller
15: Q _A	0	1	1	1	1	▶	heller
15: t	10	10	4	6	10	■	heller
15: Q _E	1	1	1	1	1	+	heller
16: Q _A	1	0	1	1	1	+	heller
16: t	10	10	6	7	9	▶	heller
16: Q _E	1	0	1	1	1	+	heller
17: Q _A	1	0	1	0	0	▶	heller
17: t	6	10	4	0	0	▶	heller
17: Q _E	1	0	1	1	1	▶	heller
18: Q _A	0	0	1	1	0	○	dunkler
18: t	10	10	10	7	10	✘	dunkler
18: Q _E	1	1	1	1	0	+	dunkler
19: Q _A	1	0	1	1	0	+	dunkler
19: t	9	10	5	6	10	○	dunkler
19: Q _E	1	1	1	1	1	○	dunkler
20: Q _A	0	1	0	0	0	■	dunkler
20: t	10	8	10	10	10	▶	heller
20: Q _E	1	1	1	1	1	○	heller
21: Q _A	1	0	1	0	1	○	heller
21: t	7	10	6	10	10	○	heller
21: Q _E	1	0	1	1	1	○	heller
22: Q _A	1	0	1	1	1	○	heller
22: t	9	10	5	10	8	✘	heller
22: Q _E	1	1	1	1	1	■	dunkler
23: Q _A	1	1	1	1	0	■	dunkler
23: t	9	10	9	8	10	■	dunkler
23: Q _E	1	1	1	1	1	■	dunkler
24: Q _A	1	0	1	1	0	▶	dunkler
24: t	5	10	10	6	10	○	dunkler
24: Q _E	1	1	1	1	0	○	dunkler

9 Anhänge

SPR_sw

Datum	VP1	VP2	VP3	VP4	VP5	Zielfigur	Reizbild wird ...
	28.07.2005	11.08.2005	08.08.2005	09.08.2005	10.08.2005		
1: Q _A	0	0	1	1	0	✘	heller
1: t	10	10	7	5	5	○	
1: Q _E	0	0	1	1	0	●	dunkler
2: Q _A	1	0	1	1	0	▲	dunkler
2: t	10	10	9	7	10	+	
2: Q _E	1	1	1	1	1	+	dunkler
3: Q _A	0	1	1	0	1	●▲	dunkler
3: t	10	5	3	10	5	●▲	
3: Q _E	0	1	1	1	1	●	heller
4: Q _A	0	1	1	1	0	■	heller
4: t	10	8	4	6	10	✘■	
4: Q _E	0	1	1	1	1	✘	dunkler
5: Q _A	0	0	1	1	1	●	dunkler
5: t	10	10	6	6	7	▶	
5: Q _E	0	1	1	1	1	▶	heller
6: Q _A	1	1	1	1	1	┌+	heller
6: t	10	5	6	8	6	┌+	
6: Q _E	1	1	1	1	1	┌+	heller
7: Q _A	0	0	1	0	0	▲	heller
7: t	10	10	6	10	10	▲	
7: Q _E	1	1	1	1	1	✘▲	heller
8: Q _A	0	1	1	1	1	●┌	heller
8: t	10	8	4	5	5	●┌	
8: Q _E	0	1	1	1	1	●┌	dunkler
9: Q _A	0	1	0	1	0	▲	dunkler
9: t	10	4	10	5	10	▲	
9: Q _E	1	1	1	1	1	▼▲	dunkler
10: Q _A	0	0	0	1	1	▲┌	dunkler
10: t	10	10	10	7	7	▲┌	
10: Q _E	1	1	1	1	1	▲┌	heller
11: Q _A	0	1	1	0	0	●	heller
11: t	10	7	9	10	10	●	
11: Q _E	0	1	1	1	1	✘	dunkler
12: Q _A	0	1	1	1	1	▶●	dunkler
12: t	10	5	5	6	7	▶●	
12: Q _E	1	1	1	1	1	▶●	heller
13: Q _A	0	0	1	0	0	■	heller
13: t	10	10	5	10	10	■	
13: Q _E	1	1	1	1	1	+	dunkler
14: Q _A	0	1	1	1	1	+	dunkler
14: t	10	8	6	4	8	+	
14: Q _E	1	1	1	1	1	●	heller
15: Q _A	0	1	1	1	1	■	heller
15: t	10	7	8	9	8	■	
15: Q _E	0	1	1	1	1	┌	dunkler
16: Q _A	1	1	0	1	1	┌+	dunkler
16: t	4	4	4	4	5	┌+	
16: Q _E	1	1	0	1	1	┌+	dunkler
17: Q _A	0	0	1	0	0	■	dunkler
17: t	10	10	6	10	10	■	
17: Q _E	0	1	1	1	1	▶	heller
18: Q _A	1	1	1	0	1	●✘	heller
18: t	7	10	8	10	10	●✘	
18: Q _E	1	1	1	1	1	●✘	dunkler
19: Q _A	0	1	0	0	0	▲▼	dunkler
19: t	10	4	4	4	10	▲▼	
19: Q _E	0	1	0	0	1	▲▼	heller
20: Q _A	0	1	1	1	0	┌▲	heller
20: t	10	4	10	5	10	┌▲	
20: Q _E	1	1	1	1	1	┌▲	dunkler
21: Q _A	1	0	1	1	0	●	dunkler
21: t	10	10	8	9	10	●	
21: Q _E	1	1	1	1	1	●	dunkler
22: Q _A	0	1	1	1	1	▲	dunkler
22: t	10	4	3	5	8	▲	
22: Q _E	0	1	1	1	1	┌	heller
23: Q _A	0	1	1	1	1	●✘	heller
23: t	10	4	3	10	3	●✘	
23: Q _E	0	1	1	1	1	●✘	heller
24: Q _A	10	1	1	0	1	▶●	heller
24: t	10	5	4	10	5	▶●	
24: Q _E	0	1	1	1	1	▶●	

9.2 Anhang B: Versuchsprotokoll

TST_sw_mB

Datum	VP1	VP2	VP3	VP4	VP5	Zielfigur	Reizbild wird ...
	25.07.2005	02.08.2005	02.08.2005	27.07.2005	08.08.2005		
1: Q _A	0	0	1	0	1	✘	heller
1: t	10	10	9	10	9	○	
1: Q _E	1	0	1	1	1	○	
2: Q _A	0	0	1	0	0	▲	dunkler
2: t	10	10	8	10	10	+	
2: Q _E	1	0	1	1	0	+	
3: Q _A	0	1	0	1	0	●▲	dunkler
3: t	8	3	10	6	10	●▲	
3: Q _E	0	1	1	1	0	○	
4: Q _A	0	1	1	1	0	■	heller
4: t	8	8	8	3	10	✘■	
4: Q _E	0	1	1	1	1	✘■	
5: Q _A	0	0	1	0	0	●	dunkler
5: t	8	7	4	10	10	●	
5: Q _E	0	0	1	1	1	▶	
6: Q _A	1	1	0	0	1	┌	heller
6: t	8	9	10	10	7	┌+	
6: Q _E	1	1	1	1	1	┌+	
7: Q _A	0	0	1	0	0	▲	heller
7: t	8	10	10	10	10	▲	
7: Q _E	0	0	1	1	1	✘▲	
8: Q _A	0	1	0	0	1	○┌	heller
8: t	10	10	10	10	7	○┌	
8: Q _E	1	1	1	1	1	○┌	
9: Q _A	1	0	0	0	0	▲	dunkler
9: t	8	7	10	10	10	▲	
9: Q _E	1	0	1	1	1	▼▲	
10: Q _A	0	0	0	0	0	▲	dunkler
10: t	8	10	10	10	9	▲	
10: Q _E	0	0	1	1	0	┌	
11: Q _A	1	1	1	0	1	●	heller
11: t	8	5	10	10	6	●	
11: Q _E	1	1	1	0	1	✘●	
12: Q _A	1	1	1	0	1	▶●	dunkler
12: t	8	2	2	10	6	▶●	
12: Q _E	1	1	1	1	1	▶●	
13: Q _A	1	0	1	0	0	■	dunkler
13: t	8	5	5	7	6	■	
13: Q _E	1	0	1	0	0	┌	
14: Q _A	0	1	1	1	0	┌▲	dunkler
14: t	10	6	7	7	10	┌▲	
14: Q _E	1	1	1	1	1	┌▲	
15: Q _A	1	1	0	1	1	▶	heller
15: t	8	9	10	9	9	▶	
15: Q _E	1	1	1	1	1	○	
16: Q _A	0	0	0	0	0	■	heller
16: t	6	10	10	10	10	+	
16: Q _E	0	1	1	1	1	+	
17: Q _A	0	0	0	0	0	▲▼	dunkler
17: t	10	10	10	10	10	▲▼	
17: Q _E	1	1	1	1	1	▲▼	
18: Q _A	1	1	1	0	1	●✘	heller
18: t	10	4	3	10	10	●✘	
18: Q _E	1	1	1	1	1	○	
19: Q _A	1	0	1	0	0	○✘	heller
19: t	4	10	9	7	10	○✘	
19: Q _E	1	1	1	0	0	┌	
20: Q _A	0	1	0	1	1	┌	heller
20: t	6	5	6	5	6	┌	
20: Q _E	0	1	0	1	1	+	
21: Q _A	1	1	1	1	1	+	dunkler
21: t	4	4	7	6	7	+	
21: Q _E	1	1	1	1	1	○	
22: Q _A	0	1	0	0	1	▲	dunkler
22: t	10	3	10	10	5	▲	
22: Q _E	1	1	1	1	1	┌	
23: Q _A	0	0	1	0	0	■	dunkler
23: t	10	5	3	10	10	■	
23: Q _E	1	0	1	1	1	▶	
24: Q _A	1	0	0	1	0	○	heller
24: t	5	5	10	7	7	○	
24: Q _E	1	0	1	1	0	○	

9 Anhänge

GUI_bz_msz*

Datum	VP1 04.08.2005	VP2 09.08.2005	VP3 27.07.2005	VP4 02.08.2005	VP5 05.08.2005	Zielfigur	Reizbild wird ...
1: Q _A	0	0	0	0	0	✘	heller
1: t	10	10	5	10	10	○	
1: Q _E	0	1	0	0	0	▲	dunkler
2: Q _A	0	0	0	1	0	+	
2: t	10	10	10	8	10	●▲	dunkler
2: Q _E	0	0	1	1	1	■	heller
3: Q _A	0	0	0	0	0	✘	
3: t	10	10	5	10	10	●▲	dunkler
3: Q _E	0	0	0	1	0	■	heller
4: Q _A	0	0	0	0	0	○	dunkler
4: t	8	10	10	10	10	✘	
4: Q _E	0	0	0	1	0	●	dunkler
5: Q _A	0	1	1	0	0	▶	heller
5: t	10	7	7	10	10	+	
5: Q _E	0	1	1	1	0	▶	heller
6: Q _A	0	0	1	1	1	┌	heller
6: t	10	10	4	7	10	+	
6: Q _E	0	0	1	1	1	+	heller
7: Q _A	1	0	0	0	0	▲	heller
7: t	9	10	10	10	10	✘	
7: Q _E	1	0	0	1	1	✘	heller
8: Q _A	0	0	1	0	0	○	heller
8: t	10	8	5	10	10	┌	
8: Q _E	1	0	1	1	1	┌	dunkler
9: Q _A	0	0	0	0	0	▲	dunkler
9: t	10	5	10	7	10	▼▲	dunkler
9: Q _E	1	0	1	0	1	▼	dunkler
10: Q _A	1	0	0	0	0	▲	heller
10: t	7	10	10	10	10	┌	
10: Q _E	1	0	0	1	1	●	heller
11: Q _A	0	0	0	0	1	✘	
11: t	10	10	10	10	10	✘	dunkler
11: Q _E	0	1	1	1	1	✘	dunkler
12: Q _A	0	1	1	1	0	▶	heller
12: t	10	5	4	5	10	●	dunkler
12: Q _E	0	1	1	1	0	▶	dunkler
13: Q _A	0	1	1	1	0	▲	dunkler
13: t	10	4	3	4	10	┌	
13: Q _E	1	1	1	1	1	┌	dunkler
14: Q _A	0	0	1	0	0	●	dunkler
14: t	6	9	4	10	5	●	heller
14: Q _E	0	0	1	1	0	✘	heller
15: Q _A	1	1	1	1	0	○	heller
15: t	7	10	7	8	5	✘	heller
15: Q _E	1	1	1	1	0	■	heller
16: Q _A	1	0	0	0	1	▶	heller
16: t	8	6	10	10	3	▶	heller
16: Q _E	1	0	1	1	1	▶	heller
17: Q _A	1	0	1	0	0	▶	heller
17: t	8	7	8	10	10	○	dunkler
17: Q _E	1	0	1	1	1	■	dunkler
18: Q _A	1	0	0	1	1	+	heller
18: t	9	10	10	6	8	+	heller
18: Q _E	1	1	1	1	1	┌	heller
19: Q _A	1	1	1	0	0	┌	dunkler
19: t	2	4	3	0	5	+	heller
19: Q _E	1	1	1	1	0	+	dunkler
20: Q _A	1	1	1	1	1	●	heller
20: t	4	5	3	6	5	✘	dunkler
20: Q _E	1	1	1	1	1	✘	heller
21: Q _A	1	1	0	0	0	■	heller
21: t	9	7	5	10	10	┌	heller
21: Q _E	1	1	0	1	1	┌	heller
22: Q _A	1	1	0	0	0	▶	heller
22: t	6	7	10	10	10	▶	heller
22: Q _E	1	1	1	1	1	▶	heller
23: Q _A	0	1	1	1	0	+	dunkler
23: t	10	3	7	5	10	○	dunkler
23: Q _E	1	1	1	1	1	○	dunkler
24: Q _A	0	0	0	0	0	▲	dunkler
24: t	0	4	5	10	10	▼	dunkler
24: Q _E	1	0	0	1	0	▼	dunkler

10 Quellen

10.1 Schriften

- Anderson (1976) Anderson, J. R. Language, Memory and Thought. Hillsdale, N. J.: Erlbaum, 1976
- Anderson (1993) Anderson, J. R. Rules of the Mind. NJ: Erlbaum, 1993
- Anderson (2004) Anderson, J. R. Cognitive Psychology and its Implications. New York: Wort Publishers, 2004
- Anderson & Lebiere (1998) Anderson, John R.; Lebiere, C. The Atomic Components of Thought. Mahwah, New Jersey; London: Lawrence Erlbaum, 1998
- Annett (2003) Annett, J. Hierarchical Task Analysis. In: Hollnagel, E. (Ed.): Handbook of Cognitive Task Design. Mahwah (NJ), London: Lawrence Erlbaum, 2003, pp. 17
- Annett et al. (1971) Annett, J; Duncan, K.; Stammers, R. B.; Gray, M. J. Task Analysis. London: Her Majesty's Stationary Office, 1971
- Atkinson & Shifrin (1968) Atkinson, R. C.; Shiffrin, R. M. Human memory: A proposed system and its control process. The Psychology of Learning and Motivation, 2, 89 - 195, 1968
- Baddeley & Hitch (1974) Baddeley, A. D.; Hitch, G. Working Memory. In: Bower, G. (Ed.), Recent advances in learning and motivation (vol. 8). New York: Academic Press, 1974
- Blankertz et al. (2002) Blankertz, B.; Curio, G.; Müller, K.-R. Classifying Single Trial EEG: Towards Brain Computer Interfacing. In: Diettrich, T. G.; Becker, S.; Ghahramani, Z. (eds.). Advances in Neural Inf. Proc. Systems (NIPS 01), 14 (2002)
- Brooks (1968) Brooks, L. R. Spatial and verbal components of the act of recall. Canadian Journal of Psychology. 22 (1968), 349-368
- Byrne (2001) Byrne, M. D. ACT-R/PM and Menu Selection: Applying a Cognitive Architecture to HCI. International Journal of Human-Computer Studies, 55 (2001), 41 - 84

- Byrne (2003) Byrne, M. D. Cognitive Architecture. In: Jacko, J. A.; Sears, A. (Eds.). *The Human-Computer Interaction Handbook*. Mahwah (NJ), London: Lawrence Erlbaum, 2003, 97 - 117
- Byrne & Anderson (1998) Byrne, M. D.; Anderson J. R. Perception and Action. In: Anderson, J. R.; Lebiere, C. *The Atomic Components of Thought*. Mahwah, New Jersey; London: Lawrence Erlbaum, 1998, 167 - 200
- Card et al. (1983) Card, S.; Moran, T.; Newell, A. *The Psychology of Human-Computer Interaction*. Hillsdale, N. J. Erlbaum, 1983
- Card et al. (1986) Card, S. K.; Moran, T. P.; Newell, A. *The Model Human Processor - An Engineering Model of Human Performance*. In K. Boff, L. Kaufman, J. P. Thomas (Eds.): *Handbook of Human Performance, Vol. II (Cognitive Processes and Performance)*. New York John Wiley & Sons, 1986, pp. 45-1 - 45-35
- Charwat (1984) Charwat, H. J. Bedienen, Ortung und Navigation. Sonderdruck Kolloquium Leitwarten (1984)3, S. 661 – 670
- Charwat (1994) Charwat, H. J. *Lexikon der Mensch-Maschine-Kommunikation*. München: R. Oldenbourg, 1994
- Crystal & Ellington (2004) Crystal, A.; Ellington, B. Task analysis and human-computer interaction: approaches, techniques, and levels of analysis. *Proceedings of the Tenth Americas Conference on Informations Systems*. New York, August 2004
- Dahm (2006) Dahm, M. *Grundlagen der Mensch-Computer-Interaktion*. München: Pearson, 2006
- Fischer (2004) Fischer, Y. *Anthropotechnische Analyse zum Stand der Technik von Luftbildauswertesystemen*. Karlsruhe, Fraunhofer-Institut für Informations- und Datenverarbeitung (IITB), Interner Bericht, Mai 2004
- Fitts (1954) Fitts, P. M. The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, Vol. 47, No. 6, 1954, pp. 381 - 391
- Geiser (1990) Geiser, G. *Mensch-Maschine-Kommunikation*. München: Oldenbourg, 1990

- Geisler & Peinsipp-Byma (2005) Geisler, J.; Peinsipp-Byma, E. Wenn Bedienung stört: Überlastung des Arbeitsgedächtnisses durch Bedienungsaufgaben am Beispiel der interaktiven Bildauswertung. In: Grandt, M. (Hrsg): Komfort als Entwicklungskriterium in der Systemgestaltung, DGLR-Bereich 2005-05 (47. Fachausschusssitzung Anthropotechnik), 25. und 26. 10. 2005, S. 41 - 53
- Gibson (1979) Gibson, J. J. The Ecological Approach to Visual Perception. New York: Houghton Mifflin, 1979
- Gray et al. (1997) Gray, W. D.; Young R. M.; Kirschenbaum, S. S. Introduction to this special issue on cognitive architectures and human-computer interaction. *Human-Computer Interaction*, 12 (1997), 301 - 309
- Hick (1952) Hick, W. E. On the Rate of Gain of Information. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 4 (1952), 11-26
- Hoffman & Markman (2001) Hoffman, R. R.; Markman, A. B. (eds.). *Interpreting Remote Sensing Imagery: Human Factors*. Boca Raton, Florida: Lewis Publishers, 2001
- Hyman (1953) Hyman, R. Stimulus Information as a Determinant of Reaction Time. *Journal of Experimental Psychology* 45 (1953), 188 -196
- Jacko & Sears (2003) Jacko, J. A.; Sears, A. (Eds.). *The Human-Computer Interaction Handbook*. Mahwah (NJ), London: Lawrence Erlbaum, 2003
- Johannsen et al. (1979) Johannsen, G.; Moray, N.; Pew, R.; Rasmussen, J.; Sanders, A.; Wickens, C. Final Report of Experimental Psychology Group. In: Moray (ed.): *Mental Workload, it's Theory and Measurement*. New York: Plenum Press, 1979, 101 - 114
- John (1990) John, B. E. Extensions of GOMS Analysis to Expert Performance Requiring Perception of Dynamic Visual and Auditory Information. In: *Proceedings of CHI 1990*. New York: ACM, 1990, 107 - 115
- John & Gray (1995) John, B. E.; Gray, W. D. CPM-GOMS: An Analysis Method for Tasks With Parallel Activities. In: *Human Factors in Computing Systems (CHI 1995)*. New York: ACM, 1995, 393 - 394

- John & Kieras (1996) John, B. E.; Kieras, D. E. The GOMS Family of User Interface Analysis Techniques: Comparison and Contrast. In: ACM Transactions on Computer-Human Interaction, Vol. 3, No. 4, December 1996, 320 - 351
- Jürgensohn et al. (2002) Jürgensohn, T.; Niessen, C.; Leuchter, S. Bedienermodellierung: Beispiele. In: Timpe, K.-P.; Kolrep, H. (Hrsg.). Mensch-Maschine-Systemtechnik: Konzepte, Modellierung, Gestaltung, Evaluation. Düsseldorf: Symposium, 2002, 159 - 177
- Kieras (1988) Kieras, D. E. Towards a practical GOMS model methodology for user interface design. In: M. Helander (Ed.), Handbook of human-computer interaction. Amsterdam: Elsevier, 1988, 67-85
- Kieras (1994) Kieras, D. A Guide to GOMS Task Analysis. University of Michigan: Technical Report, Spring 1994
- Kieras (2003) Kieras, D. Model-Based Evaluation. In: Jacko, J. A.; Sears, A. (Eds.). The Human-Computer Interaction Handbook. Mahwah (NJ), London: Lawrence Erlbaum, 2003
- Leontjew (1979) Leontjew, A. N. Tätigkeit, Bewusstsein, Persönlichkeit. Berlin: Volk und Wissen, 1979
- Leuchter et al. (2004) Leuchter, S. Schulze-Kissing, D.; Urbas, L. Entwurfsunterstützung durch Bedienermodellierung im Kraftfahrzeug-Bereich. In: Grandt, M. (Hrsg): Verlässlichkeit der Mensch-Maschine-Interaktion. DGLR-Bericht 2004-03 (46. Fachausschusssitzung Anthropotechnik), 12. und 13. 10. 2004, S. 87 - 95
- Meyer & Kieras (1997-1) Meyer, D. E.; Kieras, D. E. A computational theory of executive cognitive processes and multiple task performance. Part 1. Basic mechanisms. Psychological Review 104, No. 4, 3 – 65, 1997
- Meyer & Kieras (1997-2) Meyer, D. E.; Kieras, D. E. A computational theory of executive cognitive processes and multiple task performance. Part 2. Accounts of Psychological Refractory-Period Phenomena. Psychological Review 104, No. 4, 749-791, 1997

- Miller (1956) Miller, G. A. The magical number of seven plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review* 63, 81 - 97, 1956
- Miyake & Shah (1999) Miyake, A.; Shah, P. Toward Unified Theories of Working Memory. In: Miyake, A.; Shah, P. (eds.). *Models of Working Memory*. Cambridge University Press, 1999, p. 442 - 481
- Neisser (1975) Neisser, U. *Kognition und Wirklichkeit*. Stuttgart: Klett-Kotta, 1975
- Newell (1990) Newell, A. *Unified theories of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1990
- Norman (1986) Norman, D. A. *Cognitive Engineering*. In: D. A. Norman & S. W. Draper (Eds.). *User centered system design: New perspectives on human-computer interaction* (pp. 31 - 61). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, 1986
- Oel (2002) Oel, P. *Optimierung der Bedienzeit von mausgesteuerten grafischen Mensch-Maschine-Schnittstellen*. Aachen: Shaker, 2002
- Oel et al. (2001) Oel, P.; Schmidt, P.; Schmitt, A. Time Prediction of Mouse-based Cursor Movements. *Proceedings of Joint AFIHM-BCS Conference on Human-Computer Interaction IHM-HCI'2001*. Lille, France, Sept. 10-14, 2001. Volume II, pp. 37-40. Cépaduès-Éditions, Toulouse, 2001
- Olson & Olson (1990) Olson, J. R.; Olson, G. M. The Growth of Cognitive Modeling in Human-Computer-Interaction Since GOMS. In: *Human -Computer Interaction*, 1990, Vol. 5, pp. 221-265
- Pfendler & Schweingruber (1996) Pfendler, C.; Schweingruber, J. Übersicht über rechnergestützte Methoden zur Beanspruchungsermittlung. *Wachtberg: Forschungsinstitut für Funk und Mathematik der Forschungsgesellschaft für Angewandte Naturwissenschaften e. V. Forschungsbericht Nr. 467*, 1996
- Pylyshyn (1989) Pylyshyn, Z. W. The role of location indexes in spatial perception: A sketch of FINST spatial index model. *Cognition*, 1989, 32, 65-97

- Radl (1975) Radl, G. W. Psychische Beanspruchung und Arbeitsunfall. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung, Technischer Überwachungs-Verein Rheinland e. V., Institut für Unfallforschung. Forschungsbericht 145. Dortmund, 1975
- Rasmussen (1983) Rasmussen, J. Skills, Rules, and Knowledge; Signals, Signs, and Symbols, and Other Distinctions. In: Human Performance Models. IEEE SMC-13, No. 3, May/June 1983, pp. 257 – 266
- Rauterberg (1999) Rauterberg, M. Activity and Perception: an Action Theoretical Approach. Systematica 14:1-6, 1999
- Rohmert (1984) Rohmert, W. Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 38, 193-200, 1984
- Rötting & Seifert (1999) Rötting, M; Seifert, K. (Hrsg.). Blickbewegungen in der Mensch-Maschine-Systemtechnik. Sinzheim: Pro-Universitäre-Verlage, 1999
- Schmidtke (1993) Schmidtke, H. (Hrsg.). Ergonomie. München, Wien: Carl Hanser, 1993
- Schumacher (1981) Schumacher, W. Bedienungsstrategien des Menschen bei konkurrierenden Forderungen in Mensch-Maschine-Systemen. VDI-Fortschrittsbericht, Reihe 10, Nr. 11. Düsseldorf: VDI, 1981
- Shneiderman & Plaisant (2005) Shneiderman, B.; Plaisant, C. Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction. 4. Auflage. Addison-Wesley, 2005
- Smith et al. (2000) Smith, B. A.; Ho, J.; Ark, W.; Zhai, S. Hand eye coordination patterns in target selection. Proceedings of the symposium on Eye tracking research & applications. Palm Beach Gardens, Florida, United States, pp. 117 - 122, 2000
- Syrbe (2004) Syrbe, M. Anthropotechnik/Ergonomie als Basiswissen. Vorlesung Fakultät für Informatik, Universität Karlsruhe (TH). Karlsruhe: Fraunhofer Institut für Informations- und Datenverarbeitung (IITB), 2004
- Syrbe & Beyerer (2007) Syrbe, M., Beyerer, J. Mensch-Maschine-Wechselwirkungen, Anthropotechnik. In: Czichos, H.; Hennecke, M. (Hrsg.). Hütte – Das Ingenieurwissen, 33. Auflage. Berlin: Springer, 2007, Kapitel K in Vorbereitung.

- Urbas et al. (2006) Urbas, L., Heinath, M.; Leuchter, S. Bedienermodellgestützte Bewertung des Ablenkungspotenzials von Komfortsystemen im KFZ in frühen Phasen der Systementwicklung. KI - Künstliche Intelligenz. Spec. Issue on Automotive User Interfaces. 2006 (in Vorbereitung)
- Wieland-Eckelmann et al. (1996) Wieland-Eckelmann, R.; Baggen, R.; Saßmannshausen, A.; Schwarz, R.; Schmitz, U.; Ademmer, C.; Rose, M. Gestaltung beanspruchungsoptimaler Bildschirmarbeit. Berlin: Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsmedizin, Fb 12.002, 1996
- Winkelholz & Schlick (2005) Winkelholz, C.; Schlick, C. A production system for the serial recall of object-locations in a graphical layout structure. In: Proceedings of the 12th Annual ACT-R Workshop, 2005
- Yerkes & Dodson (1908) Yerkes, R. M.; Dodson, J. D. The Relation of Strength of Stimulus to Rapidity of Habit-Formation. Journal of Comparative Neurology and Psychology, 18, 459-482., 1908

10.2 Normen und Richtlinien

- DIN 33400 Gestalten von Arbeitssystemen nach arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen
- ISO 6385 Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen

11 Abkürzungsverzeichnis

Die Seitenzahlen weisen auf die Stelle der ersten Erwähnung hin.

Kürzel	Erläuterung	
AG	Arbeitsgedächtnis	S. 33
b	Beanspruchung	S. 11
B	Belastung	S. 10
B^*	Belastungsindikator (aus dem \rightarrow HPML-Modell)	S. 131
B^*_{AG}	Indikator für die Belastung des Arbeitsgedächtnisses	S. 131
B^*_K	Indikator für die kognitive Belastung	S. 132
B^*_M	Indikator für die motorische Belastung	S. 132
B^*_P	Indikator für die perzeptive Belastung	S. 132
D	Aufgabenerfüllungsgrad (<i>Degree</i>)	S. 17
GUI	<i>Graphical User Interface</i> (Grafische Benutzungsoberfläche)	S. 105
GUI_bz	Bedienung über bildzentrierte Eingabe auf einer \rightarrow GUI	S. 106
GUI_bz_msz	Bedienung über bildzentrierte Eingabe auf einer \rightarrow GUI mittels Mauszeiger	S. 106
GUI_bz_tch	Bedienung über bildzentrierte Eingabe auf einer \rightarrow GUI mittels Berühreingabe	S. 106
GUI_vR	Bedienung über virtuellen Schieberegler auf einer \rightarrow GUI	S. 106
GUI_vT	Bedienung über virtuelle Tastatur auf einer \rightarrow GUI	S. 106
GUI_vT_gl	Gleitenden Bedienung über virtuelle Tastatur auf einer \rightarrow GUI	S. 106
GUI_vT_sw	Schrittweise Bedienung über virtuelle Tastatur auf einer \rightarrow GUI	S. 106
HPML	<i>Human Processor Modelling Language</i>	S. 54
k	Nummer eines Versuchs	S. 144
λ	Intensität des Forderungsstroms (Schumacher (1981))	S. 28
L	Leistung, allgemein	S. 17
\tilde{L}_A	Verlaufsmittelwert der Leistung	S. 147

Kürzel	Erläuterung	
L_A	Leistung in der Arbeitsaufgabe	S. 140
LZG	Langzeitgedächtnis	
m	Nummer des Versuchs $\rightarrow k$, bis zu dem kumuliert aufgetragen wird	S. 145
MHP	<i>Model Human Processor</i> nach Card et al. (1983)	S. 30
MMS	Mensch-Maschine-Schnittstelle	S. 7
Θ	Interaktionstechnik	S. 131
\bar{Q}	kumulierter Mittelwert der Qualität	S. 144
\tilde{Q}	Verlaufsmittelwert der Qualität	S. 145
Q_A	Grad der Aufgabenerfüllung (Qualität)	S. 137
Q_E	Erinnerungsqualität	S. 140
Q_N	Sucherfolg auf der Nachzüglertafel	S. 137
R	Aufgabenerfüllung (<i>Result</i>)	S. 17
RAC	<i>Recognize-Act-Cycle</i>	S. 35
SPR_gl	Spracheingabe, gleitend	S. 107
SPR_sw	Spracheingabe, schrittweise	S. 107
t	Zeit, während der eine Leistung $\rightarrow L$ erbracht wird	S. 17
T	Aufgabenstellung (<i>Task</i>)	S. 17
TST_	Tastatureingabe	S. 105
TST_..._mB	Tastatureingabe mit Blickwechsel zur Taste	S. 107
TST_..._oB	Tastatureingabe ohne Blickwechsel zur Taste	S. 107
TST_gl	Tastatureingabe, gleitend	S. 107
TST_sw	Tastatureingabe, schrittweise	S. 107
VP	Versuchsperson	S. 35
VPM	Mittlere Versuchsperson	S. 144
VSG	Visuelles Sinnesgedächtnis	S. 33
z	Anzahl der Prozessorknoten in einem \rightarrow HPML-Modell	S. 131

12 Register

Die Einträge im Register weisen in der Regel auf diejenigen Seiten hin, auf denen der Begriff erläutert wird.

A

Abbildungssystem.....	2ff.
Abbildungssystem, Einstellungen.....	97
Aktivitätenarchitektur.....	16
Anthropotechnik.....	3, 11, 15
Arbeitsaufgabe.....	7, 10
Arbeitsgedächtnis.....	32ff.
Arbeitssystem.....	7, 10

B

Beanspruchung.....	10f.
Belastung.....	10f.
Belastungsindikator.....	131ff.
Benutzungsoberfläche.....	9
Bildschirmarbeitsplatz.....	2, 4
Blickbewegung.....	72

C

Chunk.....	33f.
------------	------

D

Drei-Ebenen-Modell.....	25f.
Durchsatz.....	57, 59
Durchsatztafel.....	57

E

Erkunden.....	70f.
---------------	------

F

Fertigkeitsbasiert.....	26f.
Fixation.....	71f., 74f.
Forderung.....	10f.

G

GOMS.....	39ff.
-----------	-------

H

Hilfsaufgabe.....	7ff., 53
-------------------	----------

I

Interaktionstechnik.....	105, 108
--------------------------	----------

K

Kognition.....	25, 47
Kognitiv.....	31, 34f.
Kurzzeitgedächtnis.....	1, 4, 32

L

Langzeitgedächtnis.....	32ff.
Leistung.....	17ff.

M

Mensch-Maschine-System.....	7, 31
Merkeinheit.....	33ff.
Model Human Processor (MHP).....	30

O

Operation.....14, 19
 Opportunitätsprinzip.....71
 Ortsbestimmung.....78ff., 82

P

Perzept.....36
 Perzeption.....24f.
 Perzeptiv.....31ff.

R

Recognize-Act-Cycle.....35
 Regelbasiert.....27
 Reizfigur.....35ff., 86f.

S

Sakkade.....72ff.
 Sinnesgedächtnis.....32f.
 Spracheingabe.....105
 Stufenmodell.....23
 Szenenerkundung.....68ff.

T

Tastatureingabe.....105, 107
 Tätigkeit.....14, 16

W

Wissensbasiert.....21, 27

Z

Zielfigur.....36ff., 83f.

Lehrstuhl für Interaktive Echtzeitsysteme
Universität Karlsruhe (TH)

Fraunhofer-Institut für Informations- und Datenverarbeitung
IITB Karlsruhe

ISSN: 1863-6489
ISBN-13: 978-3-86644-070-8
ISBN-10: 3-86644-070-7

www.uvka.de