

Kognitive Prozesse in Labyrinthaufgaben mit vollständig sichtbarem Wegsystem
bei gesunden Personen

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Humanbiologie
des Fachbereiches Humanmedizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von Stefanie Lis

aus Krefeld

Gießen 2000

Aus dem Medizinischen Zentrum für Psychiatrie

Leiter: Prof. Dr. med. Bernd Gallhofer
des Klinikums der Justus-Liebig-Universität Gießen

Gutachter: Prof. Dr. Gallhofer

Gutachterin: Frau Prof. Dr. Dr. Netter

Tag der Disputation: 16. Mai 2001

Zusammenfassung

Labyrinthaufgaben werden seit Beginn des zwanzigsten Jahrhundert zur Untersuchung von Prozessen spatialer Informationsverarbeitung sowohl im Animal- wie auch im Humanbereich verwendet. Dabei werden sie nicht nur in einer Vielzahl unterschiedlicher Realisierungen, sondern auch im Kontext verschiedener Fragestellungen wie beispielsweise der allgemeinen oder differentiellen Psychologie, der Neuropsychologie oder auch der Psychiatrie eingesetzt. Beim Lösen von Labyrinthaufgaben wird nicht allein eine bestimmte kognitive Funktion beansprucht, sondern zahlreiche Subfunktionen, deren Zusammenspiel als entscheidend für eine erfolgreiche Aufgabenlösung betrachtet wird. Bei Labyrinthaufgaben mit vollständig sichtbarem Wegsystem wird insbesondere eine Koordination zwischen eher perzeptiven und eher aktionalen Subprozessen als entscheidend für eine erfolgreiche Aufgabenlösung angesehen.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist in drei experimentellen Untersuchungen mit gesunden Personen auf der Basis von Verhaltensmessungen während der Labyrinthlösung, Einblick in die bei der Aufgabenbearbeitung eingesetzten kognitiven Subprozesse und ihr Zusammenspiel in Abhängigkeit von Merkmalen der Aufgabe zu gewinnen. In der ersten Untersuchung werden verschiedene Merkmale der präsentierten Labyrinth wie Zahl und Form von Sackgassen variiert. Die Wirkung dieser Manipulationen auf verschiedene Aspekte des Verhaltens, wie die Qualität der Lösung, die Präzision der Bewegung und den Zeitbedarf der Bearbeitung, wird analysiert. In der zweiten Untersuchung werden Reizkomplexität und Bewegungsschwierigkeit variiert. Hier interessiert besonders die Relation zwischen Prozessen der Stimulusanalyse und der Bewegungssteuerung, da als das Hauptmerkmal von Labyrinthaufgaben mit vollständig sichtbarem Wegsystem die Umsetzung der Ergebnisse visueller Reizverarbeitung in Bewegungen angesehen werden kann. In einem dritten Experiment wird die Allokation von Aufmerksamkeitsressourcen auf die zur Lösung notwendigen Arbeitsgedächtnisprozesse und die Kontrolle von Bewegungen untersucht.

Manipulationen der Labyrinthstruktur, mit denen Stimulusanalyse- und Entscheidungsprozesse beeinflusst werden sollten, wirkten sich dabei unterschiedlich auf einzelne Aspekte des Verhaltens aus. So scheinen Stimulusanalyseprozesse, wenn die Instruktion präziser Bewegungen betont wird, vornehmlich in Bewegungspausen abzulaufen. Dagegen finden Entscheidungsprozesse während des Ablaufes von Bewegungen statt. Hinweise auf eine Konkurrenz stimulus- und responsebezogener kognitiver Prozesse um limitierte Ressourcen, etwa der Aufmerksamkeit oder der Speicherkapazität des Arbeitsgedächtnisses, während des Ablaufes der Bearbeitung, ließen sich nicht beobachten. Jedoch wurde entsprechend den aktuellen Anforderungen der Aufgabe an die Bewegungsschwierigkeit von eher paralleler zu serieller Verarbeitung gewechselt. Erschien die Bewegungspräzision weniger wichtig, liefen Stimulusanalyseprozesse zunehmend auch während der Bewegungen ab. Dies legt nahe, daß die Zuteilung von limitierten Ressourcen zu den unterschiedlichen Bereichen kognitiver Verarbeitung schon unmittelbar nach Präsentation der Labyrinth auf der Basis von Vorerfahrungen erfolgt. Die Ergebnisse legen nahe, daß das Verhalten gesunder Personen bei der Bearbeitung von Labyrinth durch eine hohe Adaptivität gekennzeichnet ist, wobei sich kaum Unterschiede zwischen den Geschlechtern nachweisen ließen.

INHALTSVERZEICHNIS

1.	EINLEITUNG	1
2.	STAND DER FORSCHUNG	2
2.1	Kognition und kognitive Subprozesse	2
2.2	Labyrinthaufgaben	5
2.3	Labyrinthaufgaben und die Untersuchung kognitiver Prozesse bei Tieren	6
2.3.1	Typen von Labyrinthaufgaben	6
2.3.2	Strategien der Labyrinthlösung	10
2.3.2.1	Zufälliges Navigationsverhalten	12
2.3.2.2	Taxis-bezogene Navigation	13
2.3.2.3	Praxie-bezogene Navigation	14
2.3.2.4	Routen-bezogene Navigation	15
2.3.2.5	Orts-bezogene Navigation	16
2.3.2.6	Adaptiver Einsatz von Navigationsstrategien	19
2.3.3	Hirnstrukturen bei der Lösung von Labyrinthaufgaben	21
2.4	Labyrinthaufgaben und die Untersuchung kognitiver Prozesse bei Menschen	30
2.4.1	Typen von Labyrinthaufgaben	32
2.4.1.1	Raumlabyrinth	32
2.4.1.2	Tischlabyrinth	38
2.4.1.2.1	Taktil-motorische Tischlabyrinth	38
2.4.1.2.2	Visuell-motorische Tischlabyrinth mit verdecktem Weg	43
2.4.1.2.3	Visuell-motorische Tischlabyrinth mit teilweise sichtbarem Weg	48
2.4.1.3	Vollständig sichtbare Labyrinth	53
2.4.1.3.1	Perceptual Maze Test	54
2.4.1.3.2	Zweidimensionale Simulationen von Labyrinth	58
2.4.2	Intermittierende Variablen bei der Lösung von Labyrinthaufgaben	67
2.4.2.1	Der Einfluß des Alters auf das Lösen von Labyrinthaufgaben	67
2.4.2.2	Der Einfluß des Geschlechtes auf das Lösen von Labyrinthaufgaben	68
2.4.2.3	Der Einfluß von Hemisphärendominanz auf das Lösen von Labyrinthaufgaben	70
2.4.2.4	Der Einfluß von Angst auf das Lösen von Labyrinthaufgaben	71
2.4.2.5	Der Einfluß von Intelligenz auf das Lösen von Labyrinthaufgaben	72
2.4.3	Zusammenfassung	74

3.	FRAGESTELLUNG	76
4.	EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN	87
4.1	Untersuchung 1: Eigenschaften der Labyrinthstruktur und ihr Einfluß auf das Verhalten bei der Labyrinthlösung	87
4.1.1	Einleitung	87
4.1.2	Methode	91
4.1.2.1	Stichprobe	91
4.1.2.2	Allgemeiner Versuchsablauf und Meßapparatur	92
4.1.2.3	Stimulusmaterial, unabhängige Variablen und Versuchspläne	94
4.1.2.3.1	Subuntersuchung 1: Existenz von Entscheidungspunkten (Sackgassen)	95
4.1.2.3.2	Subuntersuchung 2: Anzahl von Entscheidungspunkten (Sackgassen)	96
4.1.2.3.3	Subuntersuchung 3: Länge der Sackgassen	97
4.1.2.3.4	Subuntersuchung 4: Form der Sackgassen (Sackgassen mit und ohne Richtungswechsel)	98
4.1.2.4	Abhängige Variablen	99
4.1.2.4.1	Grundsätzliche Probleme bei der Definition abhängiger Variablen in Labyrinthuntersuchungen	99
4.1.2.4.2	Herleitung der abhängigen Variablen	104
4.1.2.4.2.1	Parameter der Qualität der Labyrinthlösung	104
4.1.2.4.2.2	Parameter der Präzision der Bewegung	108
4.1.2.4.2.3	Parameter des Zeitbedarfes der Labyrinthlösung	109
4.1.2.4.3	Zusammenfassung der abhängigen Variablen	112
4.1.2.5	Hypothesen	113
4.1.2.6	Statistik	113
4.1.3	Ergebnisse	114
4.1.3.1	Subuntersuchung 1: Existenz von Entscheidungspunkten	114
4.1.3.1.1	Qualität der Labyrinthlösung	114
4.1.3.1.2	Präzision der Bewegung während der Labyrinthlösung	116
4.1.3.1.3	Zeitbedarf der Labyrinthlösung	117
4.1.3.2	Subuntersuchung 2: Anzahl von Entscheidungspunkten	120
4.1.3.2.1	Qualität der Labyrinthlösung	120
4.1.3.2.2	Präzision der Bewegung während der Labyrinthlösung	122
4.1.3.2.3	Zeitbedarf der Labyrinthlösung	122
4.1.3.3	Subuntersuchung 3: Länge der Wegalternative an Entscheidungspunkten	126
4.1.3.3.1	Qualität der Labyrinthlösung	126
4.1.3.3.2	Präzision der Bewegung während der Labyrinthlösung	127
4.1.3.3.3	Zeitbedarf der Labyrinthlösung	128

4.1.3.4	Subuntersuchung 4: Form der Sackgasse	131
4.1.3.4.1	Qualität der Labyrinthlösung	131
4.1.3.4.2	Präzision der Bewegung während der Labyrinthlösung	133
4.1.3.4.3	Zeitbedarf der Labyrinthlösung	134
4.1.4	Diskussion	137
4.2	Untersuchung 2: Stimulus- und Reaktionsbezogene Prozesse in Labyrinthaufgaben und ihre Interaktion	146
4.2.1	Einleitung	146
4.2.2	Methode	152
4.2.2.1	Stichprobe	152
4.2.2.2	Allgemeiner Versuchsablauf und Meßapparatur	152
4.2.2.3	Stimulusmaterial, unabhängige Variablen und Versuchspläne	152
4.2.2.3.1	Vergleich 1: Existenz von Entscheidungspunkten und Bewegungsschwierigkeit	154
4.2.2.3.2	Vergleich 2: Komplexität des Stimulus und Bewegungsschwierigkeit	154
4.2.2.4	Abhängige Variablen	155
4.2.2.5	Statistik	155
4.2.3	Ergebnisse	156
4.2.3.1	Vergleich 1: Existenz von Entscheidungspunkten und Bewegungsschwierigkeit	157
4.2.3.1.1	Qualität der Labyrinthlösung	157
4.2.3.1.2	Präzision der Bewegung während der Labyrinthlösung	160
4.2.3.1.3	Zeitbedarf der Labyrinthlösung	162
4.2.3.2	Vergleich 2: Komplexität des Stimulus und Bewegungsschwierigkeit	166
4.2.3.2.1	Qualität der Labyrinthlösung	166
4.2.3.2.2	Präzision der Bewegung während der Labyrinthlösung	166
4.2.3.2.3	Zeitbedarf der Labyrinthlösung	167
4.2.4	Diskussion	171
4.3	Untersuchung 3: Rückmeldung von Bewegungsspur und Wandberührungsfehlern in Labyrinthaufgaben und ihre Interaktion	181
4.3.1	Einleitung	181
4.3.2	Methode	185
4.3.2.1	Stichprobe	185
4.3.2.2	Allgemeiner Versuchsablauf und Meßapparatur	186
4.3.2.3	Stimulusmaterial, unabhängige Variablen und Versuchsplan	186
4.3.2.4	Abhängige Variablen	188
4.3.2.5	Statistik	189
4.3.3	Ergebnisse	189

4.3.3.1	Qualität der Labyrinthlösung	190
4.3.3.2	Präzision der Bewegung während der Labyrinthlösung	193
4.3.3.3	Zeitbedarf der Labyrinthlösung	195
4.3.4	Diskussion	199

5.	ZUSAMMENFASSUNG UND DISKUSSION	204
-----------	---------------------------------------	------------

6.	LITERATUR	216
-----------	------------------	------------

ANHANG A

ANHANG B

ANHANG C

1. Einleitung

Ein Labyrinth ist definiert als ein System von verwickelten Gängen und Sackgassen, das auf dem Weg von einer Startposition zu einer Zielposition durchquert werden muß.

Eingeführt wurde der Begriff in der Antike zur Kennzeichnung von zumindest teilweise unterirdisch angelegten Gebäuden, die aus einer großen Zahl von Kammern und Gängen bestanden und so das Verlassen des Gebäudes schwierig machten. Mit Beginn der europäischen Renaissance wurde der Begriff des Labyrinthes auch auf Irrgärten als Teil von Gartenanlagen angewandt, deren verschlungene Wege durch hohe, nicht durchschaubare Hecken getrennt sind.

Labyrinth und Wege zu ihrer Lösung faszinieren die Menschen seit vielen Jahrhunderten. Vorschläge für Lösungsstrategien reichen von dem erfolgreich eingesetzten "Faden" der Ariadne bis zum letztendlich gescheiterten Versuch des Ikarus, einem Labyrinth zu "entfliegen". Neben diesen überlieferten Strategien lassen sich Richtlinien zur erfolgreichen Lösung von Labyrinthen auch in modernen Nachschlagewerken finden. So bietet die Encyclopaedia Britannica die "hand-on-wall" Strategie als eine - wenn auch nicht immer auf dem kürzesten Weg - zum Ziel führende Labyrinthlösungsstrategie.

Während Labyrinth einerseits zum Schutz vor Feinden z.B. bei der Anlage von Befestigungsanlagen, oder zum Verbergen von Schätzen eingesetzt wurden, sind sie in Form von Irrgärten in englischen, italienischen und französischen Gärten vor allem zwischen dem 15. und 18.ten Jahrhundert zur Unterhaltung der Menschen gebaut worden. Viele dieser oft kunstvoll angelegten Labyrinth wurden Ende des 19. Jahrhunderts zerstört, werden jedoch in den letzten Jahren zunehmend wieder restauriert oder sogar neu angelegt. Dabei benutzen auch heute die Gärtner - ähnlich der Labyrinthlösungsstrategie des Theseus - häufig eine entrollte Schnur, um den Weg aus dem Labyrinth zu finden. Die Faszination von Labyrinthen auf Menschen scheint auch heute noch so hoch zu sein, daß die Art, in der eines der berühmtesten Gartenlabyrinth, das Hampton-Court-Labyrinth, zu lösen ist, in der Encyclopaedia Britannica genau beschrieben ist.

In zahlreichen gotischen Kathedralen, wie z.B. den Kathedralen von Chartres oder Reims, finden sich auf dem Boden Labyrinth aus Steinplatten. Obwohl bis heute keine zufriedenstellende Erklärung für diese mittelalterlichen Labyrinth existiert, wird vermutet, daß sie von Gläubigen benutzt wurden, um eine symbolische Pilgerfahrt ins Heilige Land durchzuführen. Alternativ wird vermutet, daß die Labyrinth eine Art Signatur des Baumeisters darstellen (sie waren häufig mit seinem Namen versehen), mit der er sich als Nachfolger des legendären Baumeisters der Antike, Daedalus, dem Erbauer des Labyrinthes von Minos, kennzeichnet. Interessant ist hierbei, daß es sich eigentlich eher um Pseudolabyrinth handelt, da ihre oft verwinkelt laufenden Wege keine Sackgassen

enthalten, und damit der Weg immer zum Zentrum, bzw. auf dem Rückweg zum Ausgang, führt.

Heute findet man zur Unterhaltung von Menschen angelegte Irrgärten nicht nur als Gartenlabyrinth, sondern auch auf Jahrmärkten oder in Vergnügungsparks. Neben diesen begehbaren Irrgärten existiert eine große Zahl von Labyrinthspielen, die von Labyrinthabbildungen in den Unterhaltungsteilen von Zeitschriften bis zu aufwendigen Computerspielen reichen.

Seit Anfang des letzten Jahrhunderts werden in der Psychologie Labyrinthaufgaben sowohl im Animal- als auch im Humanbereich zur Untersuchung von Kognition eingesetzt. Dabei steht einerseits die Untersuchung verschiedener kognitiver Subfunktionen wie Lern- oder Planungsprozessen im Vordergrund, andererseits interessiert die Funktionsfähigkeit spezifischer Hirnbereiche, die als notwendig für den Ablauf dieser kognitiven Subfunktionen angesehen werden. Dabei wird auch versucht, Labyrinthaufgaben für die Untersuchung gestörter Kognition, z.B. bei Personen mit Hirnschädigung oder bei Vorliegen psychiatrischer Erkrankungen, einzusetzen.

Die vorliegende Arbeit soll zunächst einen Überblick über den Einsatz von Labyrinthaufgaben bei der Untersuchung von Kognition geben. Dabei werden Unterschiede zwischen den verschiedenen experimentellen Ansätzen dargestellt und diskutiert. Besonderer Wert wird hier auf eine Subgruppe von Labyrinthaufgaben gelegt, bei denen die Labyrinth als vollständig sichtbare Stimuli dargeboten werden (Porteus 1965). Diese Art von Labyrinthaufgaben hat sich in den letzten Jahren zur Beschreibung kognitiver Störungen bei schizophren erkrankten Personen als vielversprechendes Instrument erwiesen (Gallhofer et al. 1999).

Grundannahme der vorliegenden Arbeit ist, daß eine erfolgreiche Verwendung von Labyrinthaufgaben zur Identifikation gestörter Kognition jedoch nur dann möglich ist, wenn eine Trennung der einzelnen, an der Aufgabenlösung beteiligten, kognitiven Subfunktionen im Bereich ungestörter Kognition erreicht wird.

Im experimentellen Teil der vorliegenden Arbeit werden verschiedene Aspekte der Bearbeitung von Labyrinthaufgaben untersucht. Ausgehend von der Hypothese, daß eine erfolgreiche Lösung dieser Art von Labyrinthaufgaben durch die Balance zwischen eher perzeptiven und eher aktionalen Subprozessen gekennzeichnet ist, stehen in drei experimentellen Untersuchungen die Auswirkungen von Manipulationen der Stimuluskomplexität, der Bewegungsteuerung und -kontrolle und dem Einfluß dieser Variablen auf die Leistung beim Lösen eines Labyrinths im Vordergrund.

2. Stand der Forschung: Labyrinthaufgaben und die Untersuchung kognitiver Prozesse

2.1 Kognition und kognitive Subprozesse

In der Literatur finden sich eine Vielzahl unterschiedlicher Definitionen von Kognition. Gemeinsam ist den meisten Ansätzen, daß sie Kognition - in Anlehnung an die Verarbeitung technischer Systeme - als Informationsverarbeitung betrachten. Unter Informationsverarbeitung wird dabei die Aufnahme, Transformation und Abgabe von Information verstanden. Im Unterschied zu technischen Systemen führt Informationsverarbeitung in biologischen Systemen jedoch zu einer Veränderung des Systemzustandes des verarbeitenden Systems. Teil des Systemzustandes ist hier das Wissen um die gerade ablaufenden und vergangene Informationsverarbeitungsprozesse, die sie auslösenden Bedingungen und erfolgreiche Aktionen. Durch die Verarbeitung wird dieses Wissen modifiziert oder bestätigt, wodurch zukünftige Verarbeitung beeinflusst wird. Dies führte Krieger (1999, Krieger, Lis & Gallhofer, im Druck a,b) zur Definition von Kognition als wissensbasierter, adaptiver Informationsverarbeitung.

Eine weitere Grundannahme der Kognitionspsychologie ist, daß Kognition als eine Folge von Teilprozessen verstanden werden kann, die jeweils eine spezifische Funktion in der Gesamtverarbeitung übernehmen (s. Überblick bei Krieger 1999).

Ziel kognitionspsychologischer Untersuchungen ist einerseits die Identifizierung einzelner an der Bearbeitung einer Aufgabe beteiligter kognitiver Subprozesse. Andererseits interessieren auch die Eigenschaften ihres Zusammenspieles bei erfolgreichen Lösungen komplexerer Aufgaben.

In den letzten Jahren gewann der kognitionspsychologische Ansatz auch für die Psychiatrie zunehmend an Bedeutung. So werden hier Störungen kognitiver Funktionen als relevant für Entstehung und Aufrechterhaltung psychiatrischer Erkrankungen, wie beispielsweise der Schizophrenie, betrachtet (z.B. Green 1998). Über die Identifizierung selektiv gestörter kognitiver Teilprozesse läßt sich möglicherweise eine Verbindung zwischen rein phänomenologisch erfaßten Symptomen und biologischen Veränderungen im Krankheitsprozeß herstellen (s. Diskussion bei Krieger 1999). Dieses wird von zahlreichen Autoren (Kraepelin 1896, Andreassen 1997a,b) als eine notwendige Voraussetzung für eine Aufdeckung der Ursachen psychiatrischer Erkrankungen, aber auch für eine Abgrenzung einzelner Krankheitsentitäten sowie die Evaluation von Behandlungsstrategien betrachtet.

Die experimentelle Psychologie bietet verschiedene Ansätze zur Untersuchung von kognitiven Teilprozessen an.

Die älteste Methode, die sogenannte Subtraktionsmethode von Donders (1868), geht von einer seriellen Anordnung unabhängiger Teilprozesse aus, d.h. die einzelnen Teilprozesse beginnen jeweils mit ihrer Verarbeitung, wenn der vorhergehende Teilprozeß abgeschlossen ist. Voraussetzung für die Überprüfung dieses Modells ist die Bildung von Paaren von Aufgaben, die - mit Ausnahme des interessierenden Teilprozesses - identische Teilprozesse beanspruchen. Durch die Subtraktion der mittleren Verarbeitungszeiten (Reaktionszeiten, RT) dieser Aufgaben läßt sich die Dauer des interessierenden Teilprozesses schätzen. Ein Beispiel sind Einfach- und Stimulusdiskriminations-Reaktionsaufgaben: Bei der Einfachreaktion werden zwei Typen von Stimuli dargeboten, die unabhängig vom Stimulustyp mit der gleichen motorischen Reaktion beantwortet werden sollen. In der zweiten Aufgabe wird nun die motorische Reaktion ausschließlich nach Stimuli einer der beiden Stimulustypen verlangt. Während für die Lösung der ersten Aufgabe keine Unterscheidung der Stimulustypen notwendig war, erfordert die zweite Aufgabe ihre Diskrimination. Unter Annahme einer seriellen Struktur der Teilprozesse läßt sich durch Subtraktion der Reaktionszeiten zwischen diesen beiden Aufgabentypen der Zeitbedarf des Teilprozesses "Stimulusdiskrimination" schätzen. Sternberg (1969) erweiterte diese Methode im Rahmen seiner "Methode der additiven Faktoren". Dabei ging er davon aus, daß sich die Variation einzelner experimenteller Variablen isoliert auf einzelne Teilprozesse auswirkt. Durch den Einsatz mehrfaktorieller varianzanalytischer Meßwiederholungsdesigns lassen sich Rückschlüsse auf die zugrundeliegende Teilprozeß-Struktur ziehen.

Kennzeichen derartiger Aufgaben ist, daß sie Abfolgen von Stimulusaufnahme, Transformation und Reaktionsabgabe in einer relativ fixen Struktur darstellen. Die einzelnen Aufgaben sind - läßt man etwa Übungseffekte außer acht - weitgehend unabhängig voneinander. Betrachtet man jedoch die Anforderungen an kognitive Verarbeitung in einer natürlichen Welt, wird deutlich, daß dies eine artifizielle Laborsituation darstellt, die den komplexen Anforderungen der Umwelt nur in Teilen gerecht werden kann. So ist Verhalten in einer natürlichen Umwelt immer von einem komplexen Wechselspiel von eher perceptiven Prozessen und offenen oder verdeckten Aktionen (motorische Handlungen oder z.B. Umfokussierung der Aufmerksamkeit auf weitere Reizmerkmale) gekennzeichnet. Diese werden vermutlich schleifenförmig durchlaufen (Miller, Galanter & Pribram 1960 'Test-Operate-Test-Exit', TOTE-Einheit). Darüber hinaus ändert eine Handlung die Umwelt oder, in Bewegungen, zumindest die Relation zur Umwelt, und nimmt damit Einfluß auf folgende Perceptionen. Entsprechend der Definition von Kognition als wissensbasierter, adaptiver Verarbeitung (Krieger 1999) ist die Anpassung des

Verhaltens an vorhergehende Verarbeitung und die Integration von Verarbeitungsergebnissen zentrales Kennzeichen von Kognition. Für erfolgreiches Verhalten in der Umwelt ist oft nicht nur das Funktionieren einzelner Teilprozesse an sich, sondern vor allem auch eine Koordination der einzelnen Teilprozesse notwendig. Dies ist v.a. für sogenannte höhere kognitive Funktionen wie Planung oder Problemlösen („executive functions“ Heaton 1981) anzunehmen. Sie stellen vermutlich nicht einzelne kognitive Teilprozesse dar, sondern eher die Fähigkeit zur Interaktion und Abstimmung von zahlreichen elementaren kognitiven Subprozessen. Liegen Störungen der Kognition vor, werden Beeinträchtigungen von Teilprozessen oft erst im Rahmen dieser komplexen Interaktionen erkennbar. Ein Beispiel hierfür sind Personen mit einer Schädigung des Frontalhirns (Mayes 1988). Bei der Untersuchung relativ isolierter kognitiver Teilprozesse finden sich oft zunächst unauffällige Leistungen. Wird jedoch ein Zusammenspiel von Teilprozessen im Rahmen komplexerer Aufgaben notwendig, werden deutliche Defizite erkennbar (Shallice 1988). Typische Aufgaben, die zur Untersuchung komplexerer Kognitionen verwendet werden, sind z.B. der Wisconsin-Card-Sorting-Test (WCST Heaton 1981) oder auch Labyrinthaufgaben. Dabei stellt sich jedoch das Problem, daß die von der experimentellen Psychologie zur Isolation von Teilprozessen eingeführten Methoden hier oft keinen Eingang in die Untersuchungsanordnungen gefunden haben. Dies hat die Konsequenz, daß man z.B. im Bereich schizophrener Erkrankungen zwar weiß, daß Patienten im WCST schlechter abschneiden, jedoch keine Aussage darüber treffen kann, welcher Teilprozeß bzw. welche Kombination von Teilprozessen für diese Beeinträchtigungen verantwortlich sind. Ob die bei einer Patientengruppe beobachteten Beeinträchtigungen spezifisch für die vorliegende Erkrankung sind, läßt sich hier im Allgemeinen nicht entscheiden (Chapman & Chapman 1978, Cohen 1992, Krieger 1999).

Ein Ziel der vorliegenden Arbeit ist es daher, experimentelle Vorgehensweisen, die auf die Beeinflussung von kognitiven Subfunktionen abzielen, mit einem Aufgabentypus, der zu seiner erfolgreichen Bearbeitung in besonderer Weise das Zusammenspiel perceptiver und motorischer Prozesse notwendig macht, den Labyrinthaufgaben, zusammenzubringen. In Untersuchungen an gesunden Personen soll geklärt werden, inwieweit über die experimentelle Variation von Einflußgrößen Aussagen über die an diesem - komplexen - Aufgabentyp beteiligten Teilprozesse und Teilprozeß-Interaktionen möglich sind.

2.2 Labyrinthaufgaben

In der Psychologie repräsentiert ein Labyrinth eine Abfolge mehrerer Entscheidungspunkte, an denen jeweils mindestens zwei Alternativen zur Wahl angeboten werden. Von den Alternativen ist nur eine für die Aufgabenlösung weiterführend. In der Regel handelt es sich hier um Verzweigungen innerhalb eines Wegsystems, von denen nur ei-

ne Wegalternative zum Ziel führt, während die anderen in Sackgassen enden. Die Aufgabe für Versuchstiere wie Versuchspersonen besteht meist darin, das Wegsystem von einer Startposition zu einer Zielposition zu durchqueren. In Abgrenzung von binären Entscheidungsaufgaben (Nickerson 1973), bei denen in unabhängigen Aufgaben Entscheidungen an einem Entscheidungspunkt getroffen werden müssen, stellen Labyrinth Sequenzen von Entscheidungen dar, bei denen die aktuelle Entscheidung an einem Entscheidungspunkt abhängig ist von korrekten Entscheidungen an früheren Entscheidungspunkten. Darüber hinaus sind sie durch eine wiederholt geforderte Abfolge perceptiver und motorischer Teilprozesse gekennzeichnet. Für eine erfolgreiche Lösung muß die Verarbeitung sensorischer Informationen mit der Abgabe motorischer Aktionen koordiniert werden.

Labyrinthaufgaben werden sowohl im Animal- als auch im Humanbereich zur Untersuchung kognitiver Prozesse eingesetzt. Dabei finden sich zahlreiche unterschiedliche Realisierungen dieser Aufgabe, die sich in einer Vielzahl von Variablen unterscheiden und damit eine Vielzahl einzelner kognitiver Teilprozesse in unterschiedlichem Ausmaß beanspruchen.

2.3 Labyrinthaufgaben und die Untersuchung kognitiver Prozesse bei Tieren

Im Animalbereich gehören Labyrinthaufgaben zu den fest etablierten Untersuchungsparadigmen. Dabei werden verschiedene Spezies, v.a. jedoch Nager, als Versuchstiere verwendet.

Der Haupteinsatzbereich von Labyrinthaufgaben in der experimentellen Psychologie ist die Untersuchung von Mechanismen des räumlichen Lernens und Gedächtnisses. Labyrinth dienen dabei als Modell, in dem unter standardisierten Bedingungen beobachtet werden kann, wie ein Lebewesen einen Weg durch eine Umwelt findet (Navigation).

Bei wiederholter Darbietung des gleichen Labyrinthes wird das Lernen des Tieres analysiert. Dazu werden verschiedene Parameter wie die Anzahl von Eintrittten in Sackgassen oder der Zeitverbrauch für das Durchlaufen des Labyrinthes von einer Startposition zu einer Zielposition zur Beschreibung des Verhaltens gemessen.

2.3.1 Typen von Labyrinthaufgaben

Die ersten Studien mit Labyrinthaufgaben wurden von Small Anfang des 20. Jahrhunderts (1900, 1901) durchgeführt. Er verwendete als Labyrinth eine miniaturisierte Nachbildung des Hampton Court Labyrinthes aus Maschendraht (s. Abb. 2.1). Bald wurde je-

doch erkannt, daß derartige Labyrinth zu komplex sind: Durch eine zu große Breite möglicher Verhaltensalternativen ist eine Isolierung einzelner für das Lösen des Labyrinthes beanspruchter Teilfunktionen fast unmöglich. Aus diesem Grund wurden diese komplexen Labyrinth zunehmend von immer einfacher aufgebauten abgelöst. Diese Entwicklung führte letztendlich zur Skinner-Box (Skinner 1957), als einfachster denkbare Form eines "Labyrinthes" mit extrem eingeschränkten Verhaltensalternativen (Balke-nius 1995).

Heute finden sich in der Literatur zahlreiche Realisierungen von Labyrinthaufgaben (s. auch Abb. 2.1). Sie unterscheiden sich u.a. in der Anzahl zu lernender Entscheidungspunkte (z.B. einfache und multiple, d.h. aus mehreren Elementen und damit Entscheidungspunkten zusammengesetzte Wegsysteme), der Form der einzelnen Elemente (z.B. T- oder Y-förmige Elemente), der Verfügbarkeit und Art sensorischer Informationen (z.B. Labyrinth mit Holzboden im Vergleich zu Labyrinth, bei dem die Wege gleichförmig durch eine opaque Flüssigkeit gefüllt werden) und dem Anreiz für das Erlernen der Labyrinthaufgabe (z.B. Verstärkung in Form von Futter in der Zielregion oder Flucht vor Unterkühlung und Tod in einem mit Wasser gefüllten Labyrinth). Kritisch läßt sich anmerken, daß ein Teil der als Labyrinth bezeichneten Untersuchungsansätze kaum noch die Merkmale von Labyrinthaufgaben als Abfolge von Entscheidungspunkten erfüllt. Denkt man z.B. an ein einfaches T-Labyrinth ist dies wohl eher als einzelne binäre Entscheidungsaufgabe zu betrachten.

Obwohl Labyrinthaufgaben primär zur Untersuchung von Lernprozessen eingeführt wurden, ist für ein erfolgreiches Lösen und Lernen eine Vielzahl unterschiedlicher Prozesse notwendig. Einige Realisierungen von Labyrinth wurden gezielt eingeführt, um die Bedeutung einzelner kognitiver Prozesse zu untersuchen. Ein Beispiel dafür ist das radiale Labyrinth (s. Abb. 2.1, Olton & Samuelson 1976, Olton, Becker & Handelsmann 1980, siehe auch Hodges 1996 zu den unterschiedlichen Fragestellungen in Radial- und Wasserlabyrinth). Bei diesem Labyrinthtyp sind um eine in der Regel runde Startposition verschiedene Arme angeordnet. Beim ersten Betreten eines Armes erhält die Ratte meist in Form von Futter eine Verstärkung. Ein zweites Betreten des gleichen Armes wird dagegen nicht erneut verstärkt. Um diese Aufgabe zu lösen, muß die Ratte während eines Lerndurchganges die bereits betretenen Arme erinnern, d.h. im Arbeitsgedächtnis ('working memory') speichern. Mehrmaliges Betreten des gleichen Armes wird entsprechend als Arbeitsgedächtnisfehler gewertet.

Von diesen, auf einen Lösungsdurchgang bezogenen Gedächtnisleistungen lassen sich Gedächtnisleistungen trennen, die eine Speicherung von Informationen über verschiedene Untersuchungsdurchgänge hinweg erfordern. Erhält die Ratte z.B. nur in einem

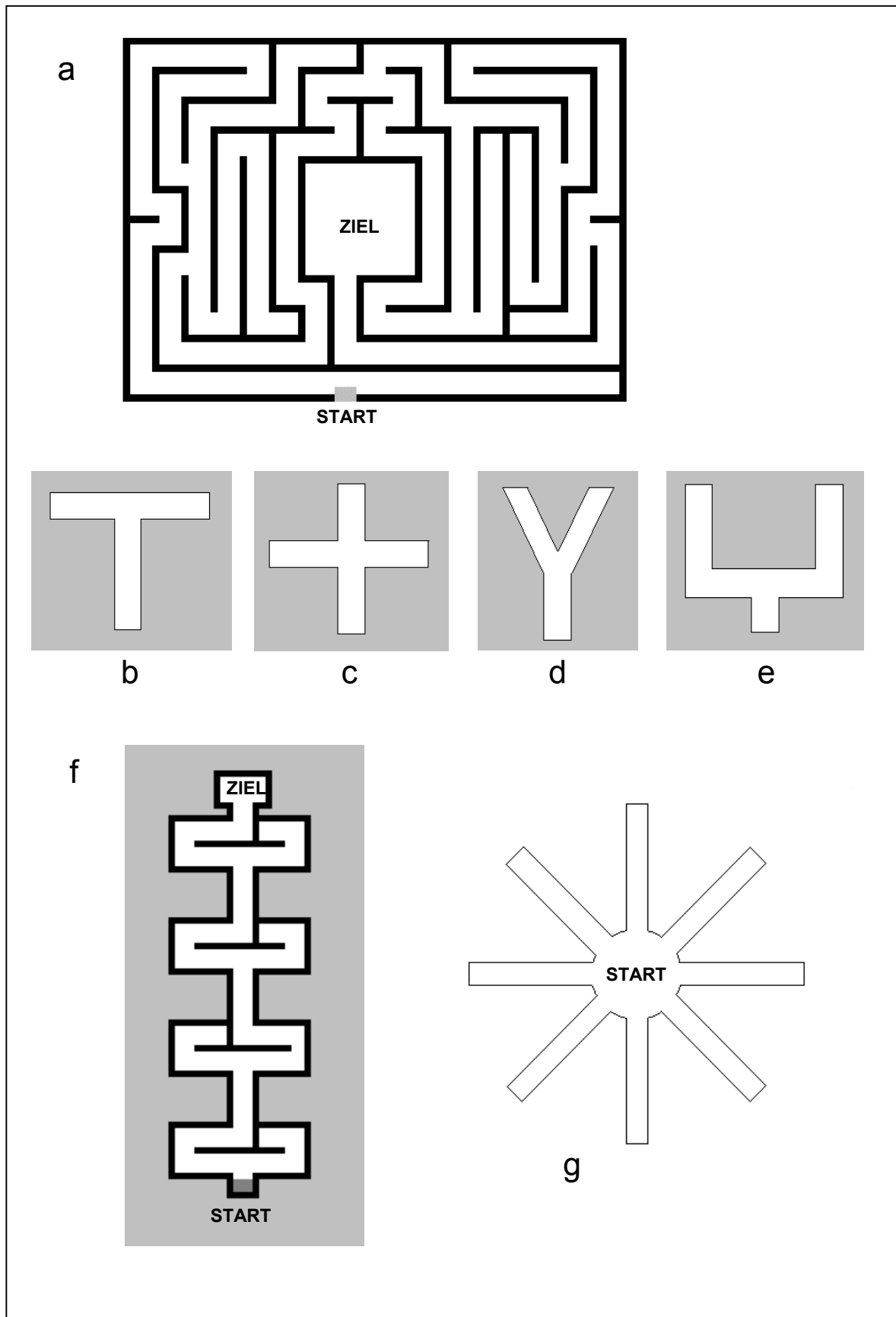


Abb. 2.1: Labyrinthstrukturen a. Grundriß des Hampton-Court-Labyrinthes, b. einfaches T-Labyrinth, c. Plus-Labyrinth, d. einfaches Y-Labyrinth, e. einfaches U-Labyrinth, f. lineares Labyrinth, g. radiales Labyrinth

Teil der Arme des Labyrinthes eine Verstärkung, muß sie die Position dieser mit Verstärkung verbundenen Arme über die verschiedenen Durchgänge hinweg erinnern. Betritt die Ratte in späteren Übungsdurchgängen Arme des Labyrinthes, die noch nie mit einer Verstärkung verbunden wurden, gilt dies als "Referenzgedächtnis"-Fehler ('reference-memory-error').

Analysiert man das Verhalten innerhalb eines komplexen, d.h. aus mehreren Entscheidungspunkten bestehenden Labyrinthes, zeigen sich abhängig vom Muster des Wegsystems Unterschiede im Verhalten an den einzelnen Entscheidungspunkten. Die Schwierigkeit bei der Auswahl der korrekten Wegalternative – erfaßt über die Wahrscheinlichkeit mit der eine Sackgasse betreten wird – erwies sich dabei als relativ invariant gegenüber experimentellen Manipulationen. So blieb der relative Unterschied z.B. nach Ausschaltung sensorischer Information (Weaver & Stone 1928), bei verschiedenen Verstärkungsbedingungen (Tolman & Honzik 1930) und sogar über mehrere Trainingsdurchläufe hinweg (Ballachey & Buel 1934, Walthall 1948) erhalten.

Zum Teil kann dies durch spezifische Verhaltenstendenzen bei der Lösung von Labyrinth erklärt werden. So beschrieben Dashiell & Bayroff (1931) die Tendenz der Ratte zu alternierenden Rechts- und Linkswendungen beim Durchlaufen eines Labyrinthes. Kommt die Anordnung der Sackgassen dieser Tendenz entgegen, erzielen die Ratten schneller eine fehlerfreie Lösung (s. Abb. 2.2). Hat die Ratte die Zielregion einmal erreicht, treten Ziel-orientierte Tendenzen hinzu: So betreten Ratten eher auf das Ziel hinggerichtete Sackgassen als vom Ziel fortweisende Sackgassen (Spence & Shipley 1934, Hull 1932). Kritisch ist hier jedoch einzuwenden, daß sich abhängig von dem Muster des verwendeten Labyrinthes und dem Ausmaß an Training die verschiedenen Tendenzen überlagern und sich somit das Verhalten an Entscheidungspunkten, bzw. die Schwierigkeit von Sackgassen, meist nur schlecht vorhersagen läßt (s. z.B. Dashiell 1930). Zusätzlich ließen sich mit Hilfe relativ einfacher Labyrinth (einfaches T-Labyrinth, radiales Labyrinth) für einzelne Tiere individuelle Tendenzen zeigen, wie z.B. die Bevorzugung der linken oder rechten Seite an einem Entscheidungspunkt. Derartige individuell unterschiedliche Tendenzen erschweren ebenfalls als konfundierende Variablen eine a priori Abschätzung der Schwierigkeit von Sackgassen (s. Woodworth & Schlosberg, 1954, 'search strategies' bei Hodges 1996).

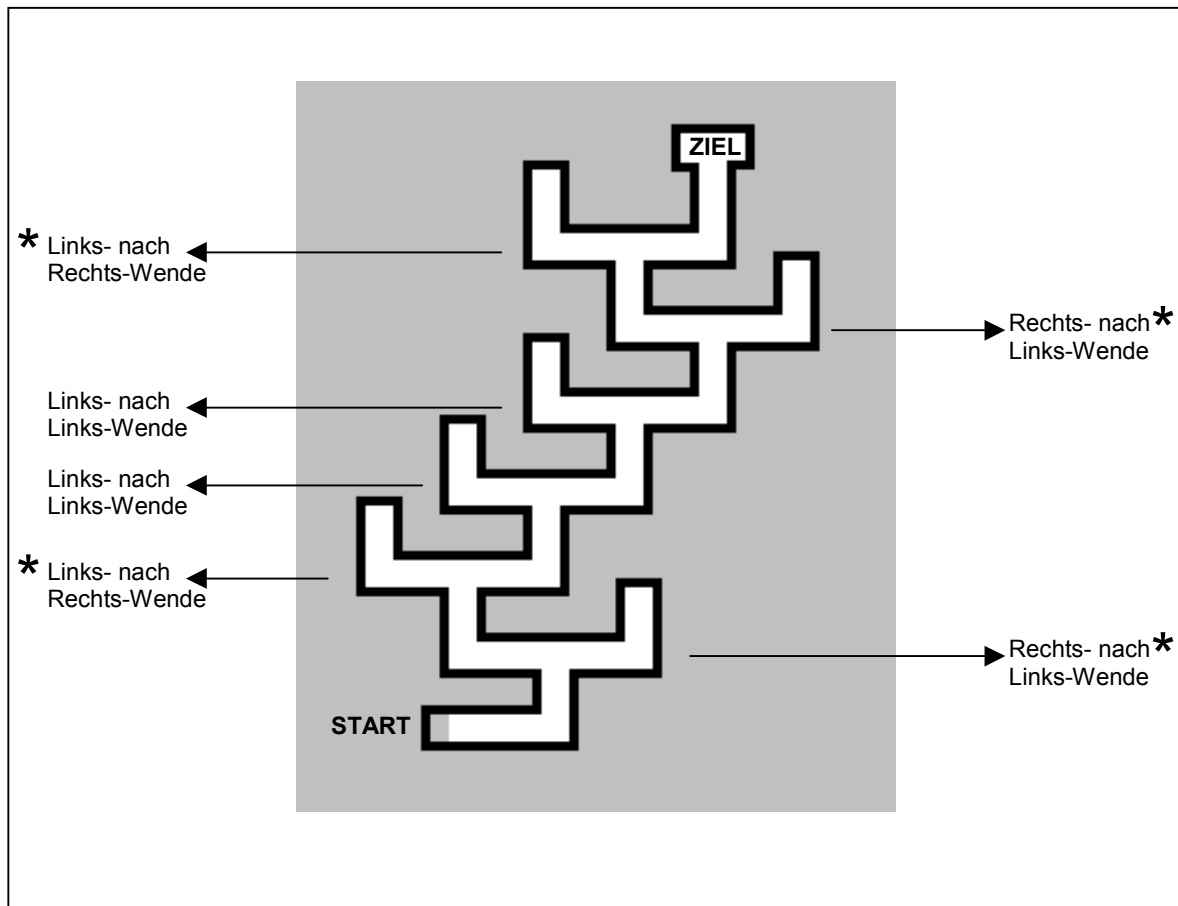


Abb.2.2: Multiples U-Labyrinth

Für die einzelnen Sackgassen ist die Folge der Richtungswechsel angegeben (Links-nach Rechts-Wende: Für das Betreten der Sackgasse ist eine Links-Wende notwendig, nachdem der letzte auf dem Weg ausgeführte Richtungswechsel eine Wende nach Rechts verlangte.). Mit * gekennzeichnete Sackgassen werden aufgrund der Tendenz zu alternierenden Richtungswechseln mit einer höheren Wahrscheinlichkeit betreten als die nicht markierten Sackgassen.

2.3.2 Strategien der Labyrinthlösung

Bei der Verwendung von Labyrinth zur Untersuchung spatialen Lernens stand die Frage im Vordergrund, wie die Ratte lernt, eine von mehreren Wegalternativen zu wählen, um eine Zielposition zu erreichen. Dabei zeigte sich schon in frühen Arbeiten, daß abhängig von verfügbaren Informationsquellen und dem Grad an Vorerfahrung mit dem Labyrinth die zugrundeliegenden Prozesse variieren, d.h. das Verhalten an die Umwelt adaptiert wird.

In einer Reihe von Experimenten wurde Anfang des 20.ten Jahrhunderts versucht zu bestimmen, welche sensorischen Informationen die Ratte bei der Labyrinthlösung nutzt (Watson 1907, Carr 1917, Honzik 1936). Dabei zeigte sich, daß sie in der Lage ist, die Ausschaltung von Informationen aus einzelnen sensorischen Modalitäten zu kompensieren: Eine isolierte Ausschaltung visueller, akustischer, olfaktorischer, taktiler oder ki-

nästhetischer Stimuli bewirkte allenfalls minimale Konsequenzen für das Lösen des Labyrinthes. Wurden jedoch Informationen aus mehreren sensorischen Kanälen gleichzeitig ausgeschaltet, verschlechterte sich die Lernleistung deutlicher. Wurden visuelle, akustische und olfaktorische Stimuli gleichzeitig blockiert, führte dies annähernd zu einer Unfähigkeit, den Weg durch das Labyrinth zu erlernen. Im Gegensatz dazu wirkte sich eine derartige extreme Einschränkung des Input kaum aus, wenn die Ratte die Labyrinthlösung in einer ausgedehnten Übungsphase bereits gelernt hatte. Dieser Unterschied während und nach der Lernphase, spricht für die Beanspruchung unterschiedlicher kognitiver Prozesse bei der Labyrinthlösung abhängig vom Ausmaß des Trainings.

Sensorische Informationen aus der räumlichen Umwelt bilden die Grundlage für den Erwerb von zielgerichtetem Verhalten im Raum, wie es für die erfolgreiche Lösung von Labyrinthaufgaben notwendig ist. Dabei liegen sensorische Informationen jedoch nicht nur als Ergebnis der Wahrnehmung externer Merkmale der Umwelt vor. Aus der durchgeführten Bewegung im Raum lassen sich auch interne, d.h. durch das Tier generierte Informationen gewinnen. Beide Arten von Informationen haben sich als relevant für das Lösen von Labyrinthaufgaben erwiesen.

Im Bereich externer Informationen lassen sich Informationen aus der unmittelbaren Labyrinthumgebung (intra-Labyrinth-Reize wie z.B. der spezifische Geruch an einer Stelle des Labyrinthes) von Stimuli unterscheiden, die außerhalb des Labyrinthes liegen, wie z.B. das Licht eines Fensters oder Geräusche, die durch eine Tür dringen. Sind diese Informationen im Sinne von Orientierungspunkten potentiell nützlich für eine Richtungsentscheidung, spricht man von Landmarken (Blades 1991). Einzelne Landmarken können als Hinweisreize auf die Position einer Zielregion fungieren. Liefern Landmarken zeitlich und räumlich stabile Orientierungspunkte, können sie als Wegweiser oder Ankerpunkte beim Finden des Weges dienen. Tritt eine Landmarke in Kombination mit mindestens zwei weiteren Landmarken auf, kann sie zur exakten Bestimmung der eigenen Position im Raum benutzt werden. Dabei ist die Beschreibung des Ortes einer Landmarke nur unter Annahme eines räumlichen Bezugssystems möglich, d.h. die Position eines Objektes wird immer in Relation zu etwas bestimmt. Wird mit Hilfe einer Landmarke eine Richtung in bezug auf die eigene Position, bzw. auf die eigene Ausrichtung im Raum, bestimmt, spricht man von egozentrischer Orientierung. Wird die Richtung dagegen in bezug auf die Relation zwischen verschiedenen Landmarken, bzw. einer Landmarke und einer Referenzrichtung, bestimmt, spricht man von allozentrischer Orientierung. Bei der allozentrischen Orientierung wird die eigene Position als eines von mehreren im Raum lokalisierbaren Objekten verstanden. Ego- und allozentrisches räumliches Referenzsystem sind als abhängig voneinander zu betrachten. Unter Kenntnis

des Winkels zwischen der eigenen räumlichen Ausrichtung und der Referenzrichtung läßt sich die allozentrische Ausrichtung aus der egozentrischen Orientierung berechnen (s. Redish 1999, S. 25). Darüber hinaus konnte Ratcliff (1991) zeigen, daß Defizite bei der egozentrischen Orientierung die allozentrische Orientierung stören, während Defizite bei der allozentrischen Orientierung die egozentrische Orientierung unbeeinträchtigt lassen.

Im Gegensatz zu Informationen über externe Reize lassen sich auch intern durch eigene Bewegungen generierte Informationen (wie Signale von vestibulärem System oder Muskelspindelrezeptoren) zur Orientierung im Raum nutzen. In Relation zu einem Startpunkt läßt sich durch Verrechnung interner Informationen über Winkel und Geschwindigkeit von Bewegung die eigene aktuelle Position ohne Wissen über die räumliche Umwelt berechnen.

In den letzten Jahrzehnten beschäftigten sich eine Vielzahl verschiedener Studien mit der Nutzung dieser verschiedenen Informationen und Einflußfaktoren auf ihren Einsatz bei der Lösung von Labyrinthaufgaben. Dabei wurde das Phänomen des räumlichen Lernens nicht nur mit verhaltensbezogenen Methoden analysiert, sondern sowohl Modelle wie auch Methoden der Neurophysiologie, Neuropharmakologie und Neuroanatomie eingesetzt. Aufbauend auf diesem umfassenden Pool von Forschungsergebnissen faßte Redish (1999) mögliche Mechanismen der Orientierung im Raum in fünf Strategien zu einer Taxonomie von Navigationsverhalten bei Nagern zusammen. Er unterscheidet zufälliges Navigationsverhalten, Taxis-bezogene Navigation, Praxie-bezogene Navigation, Routen-bezogene Navigation und Orts-bezogene Navigation. Dabei ist jedoch davon auszugehen, daß es sich nicht um unabhängige Strategien handelt, sondern sie abhängig von der Realisierung der Labyrinthaufgabe, den zur Verfügung stehenden Informationsquellen und dem Ausmaß von Erfahrung mit einer räumlichen Umgebung mit unterschiedlicher Priorität und in unterschiedlichem Ausmaß eingesetzt werden.

2.3.2.1 Zufälliges Navigationsverhalten

Als zufällige Navigation („random navigation“) läßt sich das Verhalten eines Tieres charakterisieren, wenn es das erste Mal in ein unbekanntes Labyrinth gesetzt wird. Das Tier besitzt in diesem Fall keine Informationen über seine Umwelt und damit verbunden über die Lokalisation der Zielposition. Im Gegensatz zu Untersuchungen an Menschen ist davon auszugehen, daß auch die Existenz einer Zielregion per se nicht bekannt ist. Die Zielposition wird hier durch Explorieren der Umgebung, d.h. in einer Art „trial and error“ Strategie beim Erkunden von Weg und Sackgassen, zufällig erreicht.

2.3.2.2 Taxis-bezogene Navigation

Ist dagegen ein Hinweisreiz vorhanden, der unmittelbar Informationen über die zu erreichende Zielposition gibt, kann dieser Reiz und damit das Ziel in einer einfachen motorischen Reaktion direkt angesteuert werden. Diese einfache Assoziation zwischen einem Stimulus und einer Reaktion bezeichnet Redish als Taxis-bezogene Navigations-Strategie. Der Begriff ist angelehnt an den Begriff der ‚Taxis‘, der in der Verhaltensforschung ein Orientierungsverhalten wie die Phototaxis als Orientierungsverhalten auf Licht bezeichnet. Synonym findet sich im angelsächsischen Raum der Begriff der 'beaconing strategy' (‚Leuchtturm-Strategie‘) oder auch der 'guidance' (s. O'Keefe & Nadel 1978) und des 'piloting' (s. Gallistel 1990).

Für eine derartige Strategie werden lediglich einfache räumliche Parameter im Sinne einer egozentrischen Orientierung benötigt, d.h. die Relation zwischen einem Teil des eigenen Körpers und dem Hinweisreiz (Schöne 1984). Die bei dieser Strategie verwendeten Stimuli sind meist sensorische Informationen innerhalb des Labyrinthes wie Unterschied im Geruch oder Merkmale des Bodenbelages. Als Hinweisreize können jedoch auch einzelne, besonders markante Landmarken dienen.

Während diese Strategie schnell zu erlernen ist, hat sie jedoch den Nachteil einer fehlenden Flexibilität. Erfolgt eine Zielannäherung allein auf der Basis der Ansteuerung eines einzelnen Reizes, bricht das Verhalten nach Wegfall dieses einen Stimulus vollständig zusammen.

Eine Taxis-bezogene Strategie läßt sich unter anderem zur Lösung des sogenannten Wasser-Labyrinthes (‚water maze‘, Morris 1981) einsetzen. Bei diesem häufig verwendeten Untersuchungsansatz wird die Ratte in einen meist runden, mit Wasser gefüllten Tank gesetzt, in dem sich eine Plattform befindet. Um einer Unterkühlung, bzw. im Extremfall dem Ertrinken zu entgehen, versucht die Ratte diese Plattform zu erreichen. Ist die Plattform sichtbar, kann sie unmittelbar angesteuert werden. Eine Variation dieser Untersuchungsanordnung besteht darin, die Plattform im vorher eingefärbtem Wasser zu versenken, so daß sie von der Ratte nicht mehr direkt angesteuert werden kann. Wird diese versenkte Plattform mit einem Hinweisreiz versehen (z.B. einer über der Plattform angebrachten Lampe), ist auch hier das Erreichen der Plattform mit alleinigem Einsatz einer Taxis-bezogenen Strategie möglich: Der Hinweisreiz wird als Landmarke benutzt, die direkt angesteuert werden kann. Einschränkend ist hier zu bemerken, daß das Wasser-Labyrinth zwar eine visuospatiale Orientierungsaufgabe darstellt, die die Untersuchung von Navigationsverhalten unter gut kontrollierbaren, restriktiven Bedingungen erlaubt, jedoch keine echte Labyrinthaufgabe im Sinne einer Sequenz von Entscheidungspunkten repräsentiert.

Alternativ läßt sich eine Taxis-bezogene Strategie auch in einem einfachen T-Labyrinth beobachten: Werden korrekter Weg und Sackgasse z.B. mit unterschiedlichen Bodentexturen belegt, lernt die Ratte eine assoziative Verknüpfung zwischen einer bestimmten Textur und einer darauf folgenden Verstärkung.

Zahlreiche Studien belegen einen Zusammenhang zwischen der Taxis-bezogenen Navigation und phylogenetisch älteren Hirnstrukturen wie dem Colliculus superior und den Basalganglien. Zusätzlich ist aber auch der parietaler Kortex in hohem Maße involviert (Übersicht s. Redish 1999).

2.3.2.3 Praxie-bezogene Navigation

Im Gegensatz zu der an externen Reizen orientierten Taxis-bezogenen Strategie, besteht die Praxie-bezogene Navigation (angelehnt an den griechischen Begriff der Praxis für Ausübung, bzw. Apraxie in der Neuropsychologie: Unfähigkeit zur Verbindung einzelner motorischer Bewegungen zu einer Handlungssequenz) im Erlernen des Weges durch das Labyrinth als einer komplexen, aber stereotypen Sequenz von Bewegungen. Dabei wird die Position im Raum allein auf der Basis von durch eigene Bewegungen generierten Informationen bestimmt, was zu dem synonym verwendeten Begriff der kinästhetischen Strategie führte (analog auch: 'response'-bezogene Strategie oder 'orientation' O'Keefe & Nadel 1978). Die Position im Raum wird dabei egozentrisch definiert, d.h. in Relation auf Bewegungen und Wendungen des eigenen Körpers. Sie ist damit unabhängig von Wissen über die räumliche Konstellation der Umwelt.

Wie die Taxis-bezogene Strategie kann auch die Praxie-bezogene Strategie als einfaches Stimulus-Response-Verhalten beschrieben werden. Durch das Setzen des Tieres an eine bestimmte Stelle im Labyrinth (auslösender Stimulus, s. Tinbergen 1969) wird die Response - eine im Allgemeinen komplexe Sequenz motorischer Reaktionen - gestartet. Kennzeichen dieser Strategie ist dabei, daß die Bewegungssequenz zwar durch einen Stimulus initiiert wird, dann jedoch als Folge automatisch-ballistischer Bewegungen ohne weiteren externen sensorischen Input bis zum Ende durchlaufen wird (Redish 1999).

Jedoch ist auch diese Strategie durch mangelnde Flexibilität gekennzeichnet. Wird die Ratte innerhalb eines Labyrinthes an verschiedene Startpositionen gesetzt oder auch in unterschiedlichen Ausrichtungen an eine identische Startposition, kann die Ausführung eines stereotypen Bewegungsablaufes nicht mehr zu einer erfolgreichen Lösung führen. Frühe Studien schienen den Einsatz einer Praxie-bezogenen Strategie intern gesteuerter, stereotyper Bewegungsabläufe bei der Lösung bereits gelernter Wege durch Labyrinth mit multiplen Entscheidungspunkten nahe zu legen. So sind Ratten nach einer

intensiven Trainingsphase in der Lage, den Weg durch ein Labyrinth auch ohne externe sensorische Informationen zu finden (Honzik 1936, Watson 1907). Jedoch bewirkte eine Verkürzung einzelner Wegabschnitte eines gut gelernten Labyrinthes, daß die Ratten mit der – jetzt nach einem kürzeren Wegstück positionierten – Wand kollidierten (Carr & Watson 1908, Dennis 1932).

Daß Praxie-bezogene nicht als alleinige Strategien eingesetzt werden, belegen Studien, die zeigen, daß die Tiere in der Lage sind, ihren Weg durch das Labyrinth auch dann zu finden, wenn sie an einem variablen Punkt des Weges, d.h. nicht an einer immer identischen Startposition, in das Labyrinth gesetzt werden (Carr & Watson 1908). Nach einer kurzen Orientierungsphase durchlaufen die Ratten den Rest des Labyrinthes schnell und fehlerfrei. Da hier das Aufbrechen einer stereotypen Bewegungssequenz notwendig ist, kann dies nicht allein mit Hilfe einer Praxie-bezogenen Strategie erklärt werden.

Praxie-bezogene Strategien hängen vom Ausmaß des Trainings in einem bestimmten Labyrinth ab. Beim Lernen sind visuelle, akustische oder olfaktorische Informationen notwendig. Ohne diese sind die Tiere nicht in der Lage, den Weg durch ein Labyrinth zu erlernen (Honzik 1936).

Untersuchungen zum Transfer von Lernen zwischen verschiedenen Arten der Lokomotion belegen, daß der Aufbau dieser stereotypen Bewegungsmuster nicht allein auf dem Erlernen einer bestimmten Sequenz von Muskelaktivierungen beruhen: Schon 1930 zeigte Macfarlane, daß bei Ratten, die gelernt hatten, ein Labyrinth schwimmend zu durchqueren, der Transfer auf eine andere Art der Fortbewegung, nämlich das Durchwaten des Wassers, ohne Leistungseinbußen möglich war.

Praxie-bezogene Strategien erfordern die Fähigkeit, sowohl die Entfernung (Translations-Information) als auch die Winkel (Rotations-Information) von Bewegungsänderungen zu erfassen. Die Verarbeitung von propriozeptiv-vestibulären Informationen zu Richtungsvektoren - ursprünglich von Mittelstaedt & Mittelstaedt-Burger (1973) als idiotetische Orientierung bezeichnet - wird in der angelsächsischen Literatur auch als 'dead reckoning' bezeichnet.

Eine gut untersuchte Art von Navigationsverhalten ist die Pfadintegration, die als Spezialfall der Praxie-bezogenen Strategie betrachtet werden kann. Unter Pfadintegration versteht man die Fähigkeit eines Individuums, von jeder beliebigen, erreichten Position in der Umwelt auf direktem Weg zum Ausgangspunkt („home base“) zurückzukehren. Diese Fähigkeit läßt sich in einer großen Zahl von Spezies - von Ameisen (Wehner & Srinivasan 1981) bis zu Wüstenspringmäusen (Mittelstaedt & Glasauer 1991), und auch beim Menschen (Beritashvili 1965) – zeigen. Sie ist unabhängig von der Komplexität des vom Startpunkt aus zurückgelegten Weges, sowie der Existenz von Hinweisreizen.

Pfadintegration läßt sich als Integration interner vestibulärer Signale und motorischer Efferenzkopien verstehen (Mittelstaedt & Mittelstaedt 1980). Hierbei ist die aktive Fortbewegung die Grundlage für die Berechnung eines Rückkehrvektors (Alyan & Jander 1994). Obwohl Pfadintegration allein aufgrund sequentiell verarbeiteter Bewegungsinformationen möglich ist, ist meist eine Kumulation von Fehlern zu beobachten (Etienne, Maurer & Seguinot 1996). Zur Erreichung einer höheren Zielgenauigkeit werden deshalb zusätzlich sensorische Informationen über Landmarken bei der Erstellung motorischer Programme einbezogen ('allothetische Orientierung' nach Mittelstaedt & Mittelstaedt-Burger 1973, s.a. Etienne 1992, Etienne et al. 1995, Etienne, Maurer & Seguinot 1996).

2.3.2.4 Routen-bezogene Navigation

Die Strategie der Routen-bezogenen Navigation läßt sich als eine Kombination von Taxis- und Praxie-bezogenen Navigationsstrategien verstehen und als eine Kette von Stimulus-Response-Folgen beschreiben. Spezifische sensorische Informationen (Landmarken) verknüpfen als auslösende Stimuli (Tinbergen 1969) Taxis- und Praxie-bezogene Strategien zu einer Verhaltenssequenz.

Die einzelnen Landmarken dienen hier als Wegzeichen oder Ankerpunkte, die begrenzte räumliche Information mit einer Handlungsanweisung verbinden. Die Handlungsanweisung liefert dabei die Informationen, wie von einem gegebenen Startpunkt, dem Wegzeichen, der Weg bis zur nächsten Landmarke zu finden ist. Die Abfolge verschiedener Wegzeichen bilden die Route. Dabei ist Routenwissen sequentiell, d.h. zeitlich organisiert (Golledge et al. 1993). Routen-bezogene Navigation beruht vermutlich auf einer egozentrischen Repräsentation der Umwelt. Dabei werden bei dieser Strategie bevorzugt Stimuli innerhalb des Labyrinthes (z.B. unterschiedliche Gerüche) zur Steuerung des Verhaltens verwendet (Hodges 1996).

Diese Routen-bezogene Strategie ähnelt dem schon von Tolman (1948) beschriebenen Konzept der 'strip maps'. Tolman ging davon aus, daß in diesen Karten sehr eingeschränkte Teile der räumlichen Umwelt repräsentiert sind (s. auch Konzept der Wegkarte bei O'Keefe & Nadel 1978).

2.3.2.5 Orts-bezogene Navigation

Anders als die zeitlich organisierte Wegekarte der Routen-bezogenen Navigation basiert die Orts-bezogene Navigationsstrategie auf der Bildung einer mentalen "Überblickskarte" der Umwelt. Während die Wegkarte sequentielle Informationen über Richtungswechsel und auf dem Weg liegende Landmarken zeitlich repräsentiert, stellt die Überblicks-

karte eine allozentrische räumliche Codierung der Relationen zwischen verschiedenen Landmarken dar (Goolledge et al. 1993).

Die Idee, daß Ratten zur Lösung eines Labyrinthes eine mentale Landkarte konstruieren, geht im wesentlichen auf zwei Beobachtungen zurück.

Zum einen beobachtete bereits Small (1900, 1901), daß Ratten in der Lage sind beim Durchlaufen des Labyrinthes den kürzeren von zwei Wegen zu wählen und auch eine erst in einer späten Phase des Training eingeführte Abkürzung zu nutzen. Dies führte ihn zu der Vermutung, daß die Ratten nicht einen bestimmten Weg, sondern den 'place' gelernt hatten ('place learning').

Zum anderen zeigte Blodgett (1929) als einer der ersten Autoren bei Ratten latentes Lernen in Labyrinthaufgaben: Hatten die Tiere vor Beginn oder auch während der eigentlichen Trainingsphase die Möglichkeit, das Labyrinth zu explorieren, fanden sie später schneller den Weg zu einer mit Futter assoziierten Zielregion (s. auch Lashley 1918, Haney 1931, Thistlethwaite 1951).

Diese Ergebnisse führten zu der Vermutung, daß die Ratte in der Lage ist, eine interne Repräsentation der Umgebung, ähnlich einer mentalen Landkarte, aufzubauen, in der die räumlichen Relationen von Zielregion und verschiedenen Landmarken zueinander codiert sind. Tolman prägte für diese mentale Repräsentation der räumlichen Umwelt den Begriff der "kognitiven Landkarte" ("cognitive map", Tolman 1948) und grenzte diese von den bis zu diesem Zeitpunkt populären behavioralen Stimulus-Response Modellen ab. Im Prinzip sind diese kartenartigen Repräsentationen der räumlichen Umwelt unabhängig vom aktuellen Blickpunkt, und erlauben einem Organismus die mentale Einnahme beliebiger Blickpunkte, ohne daß eine physikalische Änderung der Position innerhalb der Umwelt notwendig ist (O'Keefe & Nadel 1978).

Für den Aufbau einer kognitiven Karte ist dabei nicht eine einzelne Landmarke entscheidend, sondern ein räumliches Bezugssystem mehrerer Landmarken. Dabei besitzen Labyrinth-externe Reize eine höhere Bedeutung für den Aufbau einer kognitiven Landkarte als Labyrinth-interne Stimuli (Suzuki, Augerinos & Black 1980).

Werden nach einer Trainingsphase einzelne Labyrinth-externe Landmarken eliminiert, bleibt dies ohne gravierende Folgen für die Fähigkeit der Ratte, das Ziel zu finden. Dagegen führt ein Umordnen der Landmarken in eine andere räumliche Relation zueinander zu einem Zusammenbruch des gelernten Verhaltens. Werden die Landmarken - unter Beibehaltung ihrer räumlichen Anordnung zueinander - in Relation zum Labyrinth gedreht, wählten Ratten die Wegalternativen entsprechend deren Relation zu den nun veränderten Landmarken (siehe z.B. die Untersuchung mit radialen Labyrinthen von Suzuki, Augerinos & Black 1980, s.a. Abb.2.1).

Hinweise auf die Bedeutung von Landmarken für räumliches Lernen liefern auch Untersuchungen mit linearen Labyrinth (s. Abb. 2.1). Im Gegensatz zu Labyrinth mit kreisförmig laufenden Wegen sind lineare Labyrinth für Ratten sehr schwierig zu lernen (Buel 1934). Der Hauptunterschied zwischen diesen beiden Labyrinthtypen dürfte darin liegen, daß die Entscheidungspunkte bezüglich Labyrinth-interner und -externer Merkmale im linearen Labyrinth sehr ähnlich sind, während sie sich in anderen Labyrinthtypen deutlicher unterscheiden.

Beim Wasser-Labyrinth befindet sich in einem großen, runden mit Wasser gefüllten Tank eine unter die Wasseroberfläche absenkbare, transparente Plattform, die die Ratte schwimmend erreichen kann. Mit Hilfe dieser Anordnung, in der innerhalb des Labyrinthes keine Orientierungspunkte für die Ratte existierten, konnte Morris (1981) zeigen, daß die Ratte unabhängig von ihrer Startposition im Tank lernte, die unter die Wasseroberfläche abgesenkte und damit nicht sichtbare Plattform zu finden.

Wird bei der Navigation eine Landkarte gelernt - postulieren O'Keefe & Nadel (1978) - sollte sich das Verhalten bimodal aufteilen: Während die Fähigkeit zur Lokalisation der eigenen Position wie auch der Zielposition innerhalb einer räumlichen, mentalen Karte einem "Alles-oder-Nichts"-Gesetz unterliegen sollte, werden beim Einsatz einer Routenbezogenen Strategie die einzelnen Elemente der Stimulus-Response-Kette während des Trainings schrittweise verkettet. Barnes et al. (1997) stützen diese Hypothese empirisch durch die Analyse der Verteilungen von Längen vergangener Wege. Zu Beginn der Trainingsphase zeigte sich eine bimodale Verteilung der Weglängen: Entweder waren die Ratten in der Lage, einen kurzen Weg zum Ziel zu benutzen, oder sie zeigten deutlich längere Wege, die mit dem Suchen des Ziels verbunden waren. Mit zunehmender Übung näherte sich diese bimodale Verteilung einer eingipfeligen Verteilung mit dem Gipfel auf dem kurzen Weg an.

Die genaue Struktur von kognitiven Landkarten ist bis heute umstritten (s. Diskussion bei Kitchin 1994, Bennet 1996). Dabei reichen die Standpunkte von der Annahme einer kognitiven Landkarte als einem in Neuronen realisierten, exakten dreidimensionalen Modell der Welt mit festen geometrischen Eigenschaften (O'Keefe & Nadel 1978) über die Verwendung des Begriffes als hypothetisches Konstrukt (Siegel & Cousins 1985) oder Aktionsplan (Gärling, Book & Lindenberg 1984) bis zum Negieren der Existenz einer derartigen mentalen Repräsentation per se (Bennet 1996).

Kritisch ist hierbei zu erwähnen, daß Tolman (1948) in sein Konzept der kognitiven Landkarte ursprünglich sowohl Wegkarten ('strip maps') als auch Überblickskarten ('comprehensive maps') einbezog, die er als Extreme auf einem Kontinuum beschrieb:

"... such cognitive maps may be usefully characterized as varying from a narrow strip variety to a broader comprehensive variety." (S. 193)

Dabei ging er jedoch abhängig von der Breite der kognitiven Karte von einer unterschiedlichen Qualität bei der Nutzung dieser mentalen Repräsentationen für die Bewältigung von Veränderungen in der räumlichen Umwelt aus:

"The difference between such strip maps and such comprehensive maps will appear only when the rat is later presented with some change within the given environment. Then, the narrower and more strip-like the original map, the less will it carry over successfully to the new problem; whereas, the wider and the more comprehensive it was, the more adequately it will serve in the new set-up. In a strip map the given position of the animal is connected by only a relatively simple and single path to the position of the goal. In a comprehensive map a wider arc of the environment is represented, so that, if the starting point of the animal be changed or variations in the specific routes be introduced, this wider map will allow the animal still to behave relatively correctly and to choose the appropriate new route." (S. 193)

2.3.2.6 Adaptiver Einsatz von Navigationsstrategien

Eine Vielzahl von Studien hat sich mit der Frage beschäftigt, welche Faktoren Einfluß auf den Einsatz der verschiedenen Navigationsstrategien nehmen. Dabei zeigte sich, daß ihr Einsatz durch verschiedene Charakteristika der Aufgaben (Typ der Labyrinthaufgabe s. Hodges 1996, Verfügbarkeit räumlich-zeitlich stabiler Labyrinth-interner oder -externer Landmarken, z.B. Biegler & Morris 1993), durch das Ausmaß der Erfahrung mit einer spezifischen räumlichen Umgebung (z.B. Packard & McGaugh 1996) oder auch durch organismische Merkmale des Versuchstieres (z.B. Alter, Dysfunktionen spezifischer Hirnbereiche, z.B. Barnes, Nadel & Honig 1980) beeinflusst werden.

Eine Voraussetzung für den Erwerb und Einsatz einer allozentrischen Orts-bezogenen Strategie ist die Existenz zeitlich-räumlich stabiler Landmarken: Hat eine Landmarke eine fixe Position, lernen Ratten, das Futter an einer bestimmten Position relativ zur Landmarke zu finden. Wird dagegen die Position der Landmarke - unter Beibehaltung der Position des Futters relativ zur Landmarke - im Raum verändert, sucht die Ratte in der Nähe der Landmarke. Die Landmarke dient hier als ein mit Futter assoziierter Hinweisreiz im Sinne einer Taxis-bezogenen Strategie. Eine Nutzung dieses sich in der Position verändernden Reizes als lokale Landmarke, d.h. als lokalen Referenzpunkt im Raum, zu dem das Futter in einer bestimmten räumlichen Relation zu finden ist, und damit der Einsatz einer Orts-bezogenen Strategie, war nicht möglich (Biegler & Morris 1993).

Grundsätzlich beeinflusst die Zahl verfügbarer Landmarken die Auswahl der Strategien. Eine große Zahl von Landmarken führt eher zur Entwicklung von Orts-bezogener Navi-

gation. Ein Mangel an Landmarken begünstigt die Entwicklung einer Praxie-bezogener Strategie (McDonald & Pellegrino 1993).

Ein Vergleich der Geschwindigkeit beim Erwerb Orts- und Praxie-bezogener Strategien läßt eine prinzipielle Bevorzugung Orts-bezogener Strategien vermuten: Tolman, Ritchie & Kalish (1946) zeigten, daß Ratten schneller lernen, eine bestimmte Position im Raum aufzusuchen als eine bestimmte motorische Reaktion, z.B. eine Linkswendung, durchzuführen. Dabei beobachteten sie, daß immer zuerst eine Orts-bezogene Strategie eingesetzt wurde. Erst später während des Lernens - und dabei nur bei einem Teil der Tiere - waren Routen-bezogene Strategien als Kombination von Taxis- und Praxie-bezogenen Strategien beobachtbar. In eine vergleichbare Richtung deuten Ergebnisse zur Verteilung von Landmarken im Raum bei radialen Labyrinthen (O'Keefe & Conway 1980). Sind die Landmarken eng um den Arm mit der Zielregion angeordnet, lernen die Ratten langsamer diesen Arm auszuwählen, als wenn die Landmarken weiträumig im Raum verteilt waren. Während letzteres für den Einsatz einer allozentrischen Codierung, bzw. einer Orts-bezogenen Strategie spricht, werden bei der ersten Anordnung die Landmarken vermutlich eher als Hinweisreiz verarbeitet, der mit einer Verstärkung in einem bestimmten Arm des Labyrinthes assoziiert ist.

Packard & McGaugh (1996) konnten jedoch in einem Plus-Labyrinth (vgl. Abb.2.1) zeigen, daß die Bevorzugung einer Praxie- oder Orts-bezogenen Strategie von der Trainingsvorgeschichte der Tiere abhängt. Ähnlich wie Vorerfahrung scheint sich auch das Alter der Tiere auf die Auswahl der Strategie auszuwirken. So zeigten Barnes, Nadel & Honig (1980) in einem T-Labyrinth bei allen Tieren Praxie-bezogene Strategien. Jedoch ließen sich bei jungen Tieren häufiger auch Orts-bezogene Strategien beobachten als bei alten Tieren. Prinzipiell gibt es Hinweise darauf, daß sich die Fähigkeit zur Nutzung labyrinth-interner und externer Landmarken mit Fortschreiten der individuellen Entwicklung des Tieres verbessern (Schenk 1985). So lernen Ratten früher in der Ontogenese Landmarken einzeln als Hinweisreize zu nutzen (Taxis-bezogene Strategie), als die Relationen zwischen verschiedenen Landmarken für das Finden einer Plattform in einem Wasserlabyrinth zu nutzen (Rudy, Stadler-Morris & Albert 1987).

Die skizzierten Ergebnisse sprechen dafür, daß die verschiedenen Strategien unabhängig voneinander existieren. Die Beeinflussung des Einsatzes verschiedener Strategien durch experimentelle Variationen der Versuchsanordnungen werden durch Läsionsstudien gestützt. Sie liefern eine große Anzahl von Hinweisen darauf, daß nach spezifischen Hirnläsionen einzelne Strategien bevorzugt eingesetzt werden, und andere nicht mehr verfügbar sind (s.u.).

Neuere Animalstudien deuten jedoch zunehmend darauf hin, daß egozentrische Stimulus-Reaktions-orientierte Strategien und allozentrische Orts-bezogene Strategien beim spatialen Lernen kooperativ eingesetzt werden und gemeinsam zum Aufbau mentaler Repräsentationen der Umgebung beitragen. So sehen z.B. Gallistel & Cramer (1996) ein Zusammenspiel von Praxie- und Taxis-bezogener Navigation als Voraussetzung für die Konstruktion einer kognitiven Landkarte.

Ein Beispiel für ein Zusammenspiel verschiedener Strategien zeigt sich auch bei der Pfadintegration, einer Praxie-bezogene Strategie. Bei einer geeigneten Umwelt (Existenz von Landmarken) werden zusätzlich zu dem intern auf der Basis von Bewegungen generierten sensorischen Input externe sensorische Informationen über die Orientierung zu visuellen Landmarken genutzt, um eine höhere Präzision zu erreichen (Etienne 1992, Etienne, Maurer & Seguinot 1996). Bringt man jedoch intern generierte und extern wahrgenommene Informationen in Konflikt zueinander, läßt sich - abhängig von experimentellen Manipulationen wie z.B. der Position der Landmarke oder ihrer Komplexität - wiederum eine Bevorzugung der einen oder anderen Strategie provozieren.

Ähnliche Befunde liefern Untersuchungen mit einem radialen Labyrinth: Bringt man Informationen von Labyrinth-internen Hinweisreizen mit Labyrinth-externen Landmarken in Kongruenz, liegt die Leistung bei der Lösung des Labyrinthes über der bei einer zufälligen Relation der beiden Informationsquellen (Hodges & Green 1986).

2.3.3 Hirnstrukturen bei der Lösung von Labyrinthaufgaben

An der anatomischen Implementierung (Marr 1982) räumlicher Orientierungsprozesse sind eine große Zahl unterschiedlicher Hirngebiete beteiligt. Sie bilden in komplexer Interaktion miteinander die Grundlage der verschiedenen beteiligten funktionellen Systeme. Obwohl die meisten Autoren bezüglich der Beteiligung verschiedener Hirngebiete wie z.B. dem Parietalkortex oder auch des Hippocampus übereinstimmen, existiert auch eine Vielzahl konkurrierender Modelle möglicher Verschaltungen und spezifischer Subfunktionen bei der Erklärung von Verhalten im Raum. Im folgenden sollen einige Aspekte der zentralnervösen Realisierung kurz skizziert werden (für eine detailliertere Darstellung s. z.B. Redish 1999).

Eine wesentliche Grundlage für Verhalten im Raum bilden eingehende externe sensorische Informationen. Dabei ist die Wahrnehmung der räumlichen Relation von Objekten immer abhängig vom aktuellen Blickpunkt ('local view') und stellt damit eine egozentrische Codierung dar. Man denke hier z.B. an die Abbildung der Umwelt auf der Retina, von der aus Informationen in retinotopischem Organisationsprinzip gesichtsfeldabhän-

gig an nachgeordnete Verarbeiter wie Colliculi superiores, Geniculatum oder primäre und sekundäre sowie assoziatorische visuelle Kortexareale geleitet werden. Der Blickpunkt besteht aus einem bestimmten sensorischen Input an einer bestimmten Position mit einer bestimmten Orientierung in einer spezifischen Umgebung und beschreibt damit eine bestimmte Raumposition in einer bestimmten Ausrichtung.

Die Ergebnisse zahlreicher Studien legen nahe, daß der posteriore parietale Kortex wesentlich an der Repräsentation von Raum beteiligt ist. Aus Untersuchungen an Primaten ist die Existenz zweier funktionell spezialisierter visueller Systeme gut belegt (Ungerleider & Mishkin 1982, Mishkin, Ungerleider & Macko 1983). Beide Systeme bekommen ihren initialen Input aus der Area Striata. Das occipitotemporale System ('ventraler stream') ist dabei für die Identifikation von Objekten ('what') zuständig, während das occipitoparietale System ('dorsal stream') vor allem für die Verarbeitung räumlicher Relationen zwischen Objekten ('where') zuständig ist. Eine vergleichbare Spezialisierung läßt sich auch bei Nagern nachweisen (Kolb et al. 1994). Sowohl vom posterioren Parietalkortex als auch vom inferotemporalen Kortex führen Projektionsbahnen u.a. zum frontalen Kortex und zum Hippocampus. Die funktionelle Aufteilung zwischen den beiden Faserzügen für räumliche Wahrnehmung und Objekt-Bedeutung bleibt hier wahrscheinlich auch im weiteren Verlauf erhalten, wie man aus den Projektionen dieser beiden Systeme in verschiedene Areale des frontalen Kortex schließen kann.

Obwohl Übereinstimmung darüber herrscht, daß der posteriore parietale Kortex an der Verarbeitung räumlicher Informationen beteiligt ist, ist seine genaue Bedeutung noch umstritten. So ist z.B. unklar, inwieweit es sich bei den Repräsentationen von Raum um eine egozentrische Codierung handelt, wie z.B. von Stein vertreten wird (1991, 1992), oder um eine eher allozentrische Codierung (Kesner, Farnsworth & DiMattia 1989, Traverse & Latt 1986, King & Corwin 1992, Semmes et al. 1963).

Dabei wird auch eine Rolle dieses Kortexbereiches bei der Verbindung ego- und allozentrischer Repräsentationen diskutiert. Eine wichtige Bedeutung hat hier die Bewegung im Raum. Als Grundlage für Bewegungen im Raum wird die Umrechnung von Koordinaten sensorischer Informationen und Koordinaten motorischer Aktionen in ein gemeinsames Bezugssystem betrachtet, d.h. Repräsentationen sensorischer Stimuli von der Rezeptoroberfläche wie z.B. der Retina müssen in Koordinaten eines Effektors wie z.B. der Hand transformiert werden. Stein (1992) vermutet, daß der posteriore parietale Kortex ein neuronales Netzwerk darstellt, das einen Set sensorischer Vektoren in einen gemeinsamen Bezugsrahmen transformiert. Parietale Neurone könnten hier die Position von Objekten in Koordinaten von Bewegung repräsentieren (Colby & Goldberg 1999). Diese egozentrische Repräsentation von Raum wird vermutlich kontinuierlich durch - auf der Basis von Bewegungen - selbstgenerierten Informationen aktualisiert (Recce & Har-

ris 1996). Dabei ist hervorzuheben, daß Zellen des posterioren parietalen Kortex sowohl sensorischen Input vom visuellen, akustischen, somatosensorischen und vestibulärem System, als auch Informationen über Bewegungen wie die der Augen, des Kopfes oder der Gliedmaßen erhalten (Stein 1992, McNaughton et al. 1994, Colby & Duhamel 1991). Durch die Integration verschiedener egozentrischer Informationen könnte der posteriore parietale Kortex die Voraussetzung für die Bildung allozentrischer räumlicher Codierungen bilden, die letztendlich in anderen Hirnbereichen wie z.B. dem Hippocampus, aufgebaut werden (Save et al. 1998). Hierbei ist herauszuheben, daß von der Arbeitsgruppe um Goodale zunehmend die Bedeutung des occipitoparietalen System für die visuo-motorische Kontrolle von Bewegungen hervorgehoben wird (Goodale 1995, Goodale & Humphrey 1998).

Eine weitere Funktion des Parietalkortex für Verhalten im Raum liegt im Bereich räumlicher Aufmerksamkeitsprozesse. Parietale Neuronen zeigen eine Modulation ihrer Aktivität abhängig von Aufmerksamkeitsprozessen (s. Colby & Goldberg 1999). Bewegt sich das Tier auf ein bestimmtes sensorisches Ziel hin, zeigen sich erhöhte Entladungsraten der parietalen Neurone. Sie reagieren jedoch auch dann mit einer Erhöhung der Feueraten, wenn das Tier lediglich seine Aufmerksamkeit auf ein bestimmtes sensorisches Ziel richtet (Stein 1992).

Grundsätzlich scheint der parietale Kortex der rechten Hemisphäre eine besondere Bedeutung für die Navigation im Raum zu besitzen. So zeigten McDaniel et al. (1995) in einer Wasser-Labyrinth-Aufgabe, daß Ratten sowohl nach links- als auch nach rechts-hemisphärischer Läsion des posterioren parietalen Kortex nicht mehr in der Lage waren, Praxie-bezogene, d.h. egozentrische Strategien zur Lösung des Labyrinthes einzusetzen. Im Gegensatz zu Ratten mit einer Läsion der rechten Hemisphäre, waren Ratten mit einer linkshemisphärischen Schädigung jedoch fähig, alternativ mit Hilfe visueller, Labyrinth-externer Reize eine Orts-bezogene Strategie zur Labyrinthlösung einzusetzen. Dies deutet daraufhin, daß der rechte posteriore parietale Kortex zumindest an der Bereitstellung von Informationen beteiligt ist, die für eine allozentrische Codierung von Raum notwendig sind.

Aus dem dorsalen und ventralen visuellen System ziehen Projektionen zum Hippocampus. Dem Hippocampus wurde bereits in den Arbeiten von O'Keefe & Nadel (1978) eine zentrale Bedeutung bei der Bildung mentaler Repräsentationen von Raum zugesprochen. O'Keefe & Nadel formulierten ursprünglich die Hypothese, daß der Hippocampus sowohl für den Aufbau als auch die Speicherung der kognitiven Landkarten zuständig ist. Neuere Untersuchungen legen jedoch nahe, daß nur die Bildung der Landkarte im Hippocampus anzusiedeln ist, und die Speicherung vermutlich in anderen Bereichen des Gehirns erfolgt (O'Keefe 1983, O'Keefe & Speakman 1987). Heute herrscht weitgehend

Übereinstimmung darüber, daß der Hippocampus eine entscheidende Rolle bei der Verarbeitung räumlicher Informationen und dem Aufbau allozentrischer Repräsentationen spielt (siehe den Überblick in Jarrard 1993, Redish & Touretzky 1997, Redish 1999).

Mit Hilfe elektrophysiologische Ableitungen ließen sich im Hippocampus Pyramidenzellen, sogenannte Platzneurone ('place cells'), identifizieren, deren Aktivität in engem Zusammenhang zur Lokalisation des Tieres im Raum steht (O'Keefe & Nadel 1978). Abhängig von der Position des Tieres innerhalb einer Umgebung, ändert sich das Feuerverhalten dieser Neurone. Jede einzelne Zelle reagiert auf einen bestimmten begrenzten Bereich der Umgebung ('place field') mit einer Erhöhung des Feuerverhaltens und codiert so die aktuelle Position des Tieres in dieser Umgebung. Platzneurone richten sich generell eher nach distalen Hinweisreizen, d.h. außerhalb des Labyrinthes liegenden Landmarken (Miller & Best 1980, Shapiro et al. 1989). Welches Platzneuron an einer bestimmten Position aktiv ist, ist davon abhängig, welche Landmarke aktuell beachtet wird.

Neben diesen für räumliche Informationen sensitiven Platzneuronen konnten in verschiedenen Hirnstrukturen sogenannte "head-direction cells" nachgewiesen werden. Das Feuerverhalten dieser Neurone korreliert mit der Richtung des Kopfes (Taube et al. 1990a, 1990b). Zu Hirngebieten, in denen "head direction cells" identifiziert werden konnten, gehören das Präsubiculum, der anteriore Thalamus und auch der posteriore Parietalkortex. Diese Neurone zeigen selektiv bei bestimmten Orientierungen des Kopfes erhöhte Feuerraten. Dabei ist nicht der Winkel zwischen Körper und Kopf relevant, sondern die Orientierung des Kopfes relativ zu einer Umgebung. Bei gleicher Orientierung des Kopfes bleibt das Feuerverhalten auch an unterschiedlichen Positionen der Umgebung identisch (Taube et al. 1990a, 1990b). Dies läßt darauf schließen, daß diese Zellen die Ausrichtung eher allozentrisch, d.h. in bezug auf eine Referenzrichtung, als egozentrisch codieren. Abhängig vom Hirnbereich reagieren die "head-direction cells" unterschiedlich auf verschiedene experimentelle Manipulationen wie die Rotation einzelner distaler Hinweisreize oder das Vorhandensein visuellen Inputs (beleuchtete vs. Abgedunkelte Umgebung; Mizumori & Williams 1993, Taube et al. 1996, McNaughton et al. 1994, Taube & Muller 1995), so daß ihnen vermutlich unterschiedliche Funktionen bei der Richtungscodierung zukommen. 'Head-direction cells' codieren so wahrscheinlich Winkel-Informationen, wie sie z.B. auch bei der Praxie-bezogenen Strategie benötigt werden. Die "head-direction cells" könnten eine Bedeutung für die Umsetzung einer egozentrisch codierten Repräsentation in eine allozentrische besitzen. So gehen Recce & Harris (1996) davon aus, daß der Hippocampus eine durch intern über Bewegungen generierte egozentrische Raumcodierung "Schnappschuß"-artig speichert. Sie wird mit Hilfe der Aktivität von 'head direction cells' so rotiert, daß sie eine möglichst hohe Über-

einstimmung zu der im Hippocampus gespeicherten allozentrischen Landkarte aufweist. Die Platzneurone zeigen dabei dann ein von der Richtung unabhängiges Feuerverhalten und liefern vermutlich Informationen über die aktuelle Position im Raum.

Neben Platzneuronen und "head direction cells" existiert im Primaten-Hippocampus mit den sogenannten "spatial view cells" eine weitere Art von an der Navigation im Raum beteiligten Zellen (Rolls 1999, Georges, Rolls & Robertson 1999). Diese codieren vermutlich den Blick auf die Umwelt innerhalb einer allozentrischen Repräsentation von Raum, d.h. wo in einer bestimmten Umgebung ein bestimmtes Objekt gesehen wurde. Diese Zellen lassen sich bei Affen identifizieren, die sich frei im Raum bewegten. Sie reagieren, wenn der Affe auf einen bestimmten Ausschnitt der Umgebung schaute. Im Gegensatz zu Platzneuronen sprechen diese Zellen jedoch nicht auf eine bestimmte Lokalisation des Tieres im Raum an. Dabei bleibt die Reaktion - zumindest bei einem Teil dieser Zellen - auch dann erhalten, wenn Teile des Blickausschnittes verstellt werden oder die Umgebung abgedunkelt wird.

Nach Läsion des Hippocampus oder auch des enthorhinalen Kortex lassen sich bei Ratten Beeinträchtigung von orts-bezogenen Strategien beobachten, während Taxis- und Praxie-bezogene Strategien vermutlich unbeeinträchtigt bleiben (Oliveira et al. 1997, Rasmussen, Barnes & McNaughton 1989, Glenn & Mumby 1998). So sind die Tiere nach Hippocampus-Läsionen in der Lage, im Wasserlabyrinth eine verdeckte Plattformen mit Hilfe visueller Hinweisreize zu finden. Sie zeigen jedoch deutliche Defizite, wenn die Lokalisation der Plattform durch ihre Position im Raum definiert ist (Packard & McGaugh 1992). Dabei scheint für eine Beeinträchtigung von Orts-bezogenen Navigationsstrategien eine bilaterale Schädigung des Hippocampus notwendig zu sein (Li, Matsumoto & Watanabe 1999). Sowohl der Erwerb als auch der spätere Abruf einer im radialen Labyrinth gelernten Orts-bezogenen Strategie war nach bilateraler Hippocampus-Läsion gestört. Taxis-bezogene Strategien (Geruch als Hinweisreiz) dagegen blieben sowohl nach unilateralen wie auch nach bilateralen Läsionen erhalten.

Obwohl die meisten Studien nach Hippocampus-Läsionen erhaltene Praxie-bezogene Strategien zeigen, sind die experimentellen Befunde nicht durchgängig eindeutig. So beobachteten Winocur & Breckenridge (1973) in einem komplexen Labyrinth, daß Ratten nach Hippocampus-Läsion deutliche Beeinträchtigungen beim Erwerb einer Praxie-bezogenen Strategie zeigten. Dieses Defizit beim Erlernen einer Bewegungssequenz konnte durch die Verfügbarkeit von markanten Landmarken kompensiert werden. Die Autoren diskutieren dies als Hinweis darauf, daß der Hippocampus auch bei der Verarbeitung von Hinweisreizen und der Organisation von Bewegungssequenzen eine Bedeutung besitzt.

Ein weiterer Hirnbereich, der vermutlich wesentlich an der Verarbeitung von Rauminformationen beteiligt ist, ist der Frontalkortex. Dieser Hirnbereich ist phylogentisch durch eine starke Flächenzunahme gekennzeichnet und macht beim Menschen ca. ein Drittel der Kortexoberfläche aus (Creutzfeld 1983). Er läßt sich grob in den Motorkortex, den prämotorischen Kortex mit dem frontalen Augenfeld, sowie den dorsalen und ventralen Präfrontalkortex einteilen (Passingham 1995). Diese vier Bereiche sind vermutlich in unterschiedlicher Weise und unterschiedlichem Ausmaß in die Verarbeitung von Rauminformationen involviert.

Während der Motorkortex (Area 4) für die finale Kontrolle willkürlicher und weniger automatisierter Bewegungen verantwortlich ist, besteht die Aufgabe der prämotorischen Areale (Area 6) in der Programmierung dieser Bewegungen im Raum. Area 4 erhält zahlreiche Afferenzen aus dem prämotorischen Kortex, aber auch - v.a. bei nicht gelernten Bewegungen - aus den Basalganglien und dem Cerebellum. Diese beiden Inputbahnen werden über anteriore bzw. posteriore Thalamuskernere vermittelt (Passingham 1995). Ein wesentlicher Aspekt bei der Bewegungsprogrammierung ist hier die Verrechnung von wahrgenommenen Raumkoordinaten unter Einbeziehung der aktuellen Stellung von Muskeln und Gelenken. Daher erhalten die motorischen Kortexareale zusätzlich zu den aus dem Thalamus stammenden Afferenzen Informationen aus dem Parietallappen. Die Bewegungsprogrammierung durch die prämotorischen Areale besteht nicht zuletzt darin zu bestimmen, welche Muskelaktivierung zu welcher Zeit selektiert werden soll. Dabei verrechnet der laterale Anteil von Area 6 eher externe Hinweisreize, während der mediale an der Sequenzierung von Bewegungen beteiligt ist, die ohne diese externe Information induziert werden.

Teil der prämotorischen Areale ist das „frontale Augenfeld“ (Area 8). Ähnlich wie Area 6 an der Steuerung der Extremitäten beteiligt ist, ist das frontale Augenfeld für die Kontrolle der Augenbewegungen verantwortlich. Es erhält zahlreiche Afferenzen aus dem Parietalkortex ('where'), aber auch aus dem inferotemporalen visuellen Assoziationskortex ('what'). Die Verrechnung der aus diesen Kortexbereichen stammenden Informationen ermöglicht eine adäquate Steuerung der Augen bei der Suche, Identifikation und Abtastung von Gegenständen im Raum.

Auch der dorsale Präfrontalkortex (Area 9 und 46) erhält Informationen aus den 'what'- und 'where' - Systemen (Wilson et al. 1993). Zusätzlich jedoch ist er (Area 46) reziprok mit hippocampalen Strukturen verschaltet (Selemon & Goldman-Rakic 1988). Es ist daher anzunehmen, daß eine wesentliche Aufgabe des dorsalen Präfrontalkortex die Selektion von Objekten und Zielpositionen im Raum auf der Basis aktueller Stimulusinformationen und mentaler Repräsentationen von Raum ist. Dies betrifft auch die Sequen-

zierung von Bewegungen, wenn z.B. zum Erreichen eines Ziels nacheinander mehrere Schritte in einer räumlichen Umwelt notwendig sind (Kolb & Wishaw 1995).

Der ventrale Präfrontalkortex (Area 11, 12, 13, 14) erhält ähnliche Afferenzen wie der dorsale. Er ist jedoch zusätzlich reziprok eng mit dem limbischen System, insbesondere mit dem Hypothalamus und den Amygdala verknüpft. Diese Verbindung mit dem 'Reward'-System legt nahe, daß seine Bedeutung für Wahrnehmung und Handeln im Raum darin besteht, Stimuli auf ihre verstärkenden Eigenschaften hin zu überprüfen und Verhalten in Hinblick auf eine Maximierung positiver Konsequenzen zu sequenzieren.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß der Frontalkortex eine zentrale Bedeutung für die Planung, Sequenzierung und Steuerung von Verhalten im Raum hat (Damasio & Anderson 1993). Durch die Größenzunahme dieser Strukturen und den sich damit ergebenden Zuwachs an Verarbeitungskapazität in der phylogenetischen Entwicklung ist das Frontalhirn wahrscheinlich entscheidend in die Fähigkeit höherer Säuger involviert, vor der Initiierung motorischen Verhaltens Probleme im Raum symbolisch auf der Ebene mentaler Repräsentationen zu simulieren und zu lösen (Kesner & Jackson-Smith 1992, Krieger 1999). Man kann annehmen, daß die dabei notwendigen „cognitive maps“ nicht zuletzt von hippocampalen Strukturen zur Verfügung gestellt werden (Redish 1999). Die notwendigen Manipulationen und Transformationen dieser Informationen und der gerade aktuellen Stimulusgegebenheiten dagegen werden von frontalen Strukturen geleistet (Jung et al. 1998). Beides zusammen läßt sich vermutlich als zerebrales Substrat eines Arbeitsgedächtnisses (Baddeley 1986) für Raumorientierung (Becker, Walker & Otto 1980) ansehen.

Aufgrund der Bedeutung frontaler Strukturen für Prozesse der Raumorientierung finden sich in der Literatur zahlreiche Untersuchungen, die die Bedeutung dieses Hirnbereiches im Animalbereich mit Hilfe von Labyrinthaufgaben untersuchen (s. Übersichten z.B. bei Fritts et al. 1998, Kesner, Farnsworth & DiMattia 1989, Ragozzino & Kesner 1999). Dabei standen v.a. die Folgen neurochemisch (Ragozzino & Kesner 1999) oder chirurgisch (Fritts et al. 1998) induzierter Läsionen im ventralen Präfrontalkortex von Ratten im Vordergrund des Interesses. Sie verursachten z.B. in radialen Labyrinthen eine deutliche Abnahme der Leistung, die als Hinweis auf gestörte Funktionen des Arbeitsgedächtnisses interpretiert wurden. Ähnliche Befunde zeigte die Infusion von Scopolamin in mediale, prälimbische präfrontale Strukturen von Ratten (Ragozzino & Kesner 1999). Die muskarine Rezeptorblockade führte hier ebenfalls zu einer Reduktion der Leistungsfähigkeit des Arbeitsgedächtnisses in radialen Labyrinthen. Dieses Defizit ließ sich durch die Gabe cholinergischer Agonisten aufheben. Auch durch eine Blockade dopaminergischer D1-Rezeptoren im Ratten-Präfrontalhirn konnte die Lösung radialer Labyrinthee beeinträchtigt werden (Seamans, Floresco & Philips 1998).

An der Umsetzung von Informationen in Motorik sind vermutlich die Basalganglien als eine wesentliche Schaltstelle im Gehirn beteiligt (s. Redish 1999). Generell wird dieses Kerngebiet mit dem Aufbau von Assoziationen zwischen Stimulus und Verstärkung sowie der Sequenzierung von Verhalten in Beziehung gesetzt. Dabei scheint das dorsale Striatum mit dem Nucleus Caudatus in Beziehung zu eher stereotypen Bewegungsabfolgen zu stehen, während das ventrale Striatum mit dem Nucleus Accumbens eher mit lokomotorischen Bewegungen in Verbindung gebracht wurde. Kennzeichen beider Strukturen ist die Verbindung eines Inputs mit motorischen Aktionen. Jedoch bezieht der Nucleus Caudatus seine Eingangsinformationen wahrscheinlich direkt aus sensorischen Signalen, vermutlich über den parietalen Kortex oder das Cingulum, während der Nucleus Accumbens Informationen über die räumliche Position von den Platzneuronen des Hippocampus und dem Subiculum kommend verarbeitet.

Vermutlich werden hier in beiden Systemen bei der Verknüpfung von Eingangsinformationen und motorischen Aktionen Informationen über Verstärkungsbedingungen und emotionale Bedeutung integriert. Dabei sind wahrscheinlich dopaminerge Bahnen des mesolimbischen Systems aus der ventralen tegmentalen Area einerseits, sowie Projektionen aus der Amygdala andererseits von Bedeutung.

Dem Nucleus Caudatus könnte so sowohl Bedeutung für Stimulus-orientierte Strategien (Taxis-bezogene Navigation) als auch für die durch einen bestimmten sensorischen Input ausgelöste Sequenzierung von motorischen Aktionen im Rahmen der Praxie-bezogenen Navigationsstrategie zukommen. Darüber hinaus könnte der Nucleus Caudatus damit auch eine wichtige Funktion allgemein für das prozedurale Gedächtnis besitzen (Mishkin & Appenzeller 1987, Cook & Kesner 1988, White 1989), d.h. um das Wissen, wie unterschiedliche Operationen ausgeführt werden (Anderson 1995).

Läsionsstudien zeigen, daß nach Läsionen des Nucleus Caudatus Navigationsverhalten gestört ist, wenn Hinweisreize einbezogen werden müssen. Haben die Tiere die Aufgabe, in einem Wasser-Labyrinth eine durch einen Hinweisreiz markierte versenkte Plattform zu erreichen, ergeben sich deutliche Defizite. Ist die Position der Plattform dagegen durch ihren Ort definiert, sind die Tiere ohne Schwierigkeiten in der Lage, die Plattform zu finden (Packard & McGaugh 1992). Ähnliche Defizite zeigen sich, wenn eine vorher sichtbare Plattform in ihrer Position verschoben wird. Tiere mit einer Läsion des Nucleus Caudatus ignorieren verfügbare visuelle Hinweisreize und suchen die Plattform an dem Ort, an dem sie sich früher befunden hatte (McDonald & White 1994). In eine vergleichbare Richtung deuten experimentelle Befunde, die zeigen, daß die Injektion von Amphetamin in den Nucleus Caudatus eine Verbesserung der Leistung bei der Lokalisation einer mit Hinweisreiz versehenen, abgesenkten Plattform bewirkt (Packard 1994).

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß bei der Lösung von Labyrinthaufgaben unterschiedliche Navigationsstrategien zum Einsatz kommen. Sie stehen vermutlich zumindest zum Teil mit der Nutzung unterschiedlicher Hirnstrukturen in Verbindung. Dabei sind jedoch weder die einzelnen Navigationsstrategien noch die verschiedenen Hirnstrukturen als funktionell unabhängige Systeme zu sehen. Für Verhalten im Raum bedarf es eines, bislang noch nicht vollständig aufgeklärten, komplexen Zusammenspiels verschiedener Funktionssysteme, an denen eine Vielzahl verschiedener Hirnstrukturen - auch über die hier skizzierten Hirnbereiche hinausgehend - beteiligt sind.

Prinzipiell hat sich dabei die Vereinfachung komplexer Labyrinthaufgaben zu einfacheren Versuchsanordnungen als sinnvolle Vorgehensweise erwiesen, um eine Vielzahl von Einflußfaktoren auf Navigationsverhalten im Raum zu untersuchen und zu isolieren. Da die unterschiedlichen Anordnungen jedoch unterschiedliche Bereiche kognitiver Funktionen akzentuieren, ist bei einer Zusammenfassung von Befunden unterschiedlicher Labyrinthaufgaben immer Vorsicht geboten.

Jedoch haben diese vereinfachten Labyrinthaufgaben komplexere Labyrinth nicht völlig verdrängt. So verwendeten Becker et al. (1990) - ähnlich den ersten Arbeiten von Small (1901) - eine Modifikation des Hampton Court Labyrinthes bei der Untersuchung von Auswirkungen einer Protein- und Tryptohan-reduzierten Diät auf spatiale Lernprozesse. Die Stärke komplexerer Labyrinth mag darin liegen, daß bei ihrer Lösung Beeinträchtigungen erkennbar werden, die in einfacheren Labyrinth nicht beobachtbar sind. So zeigte Goodrick (1972), daß Alterseffekte bei Ratten weder in einem einfachen Laufgang, noch in Labyrinth mit einem oder vier Entscheidungspunkten meßbar werden. Erst bei Verwendung eines 14-elementigen Labyrinthes zeigten ältere Tiere eine deutliche Verlangsamung beim Erwerb des Labyrinthweges.

Neben den skizzierten, eher Grundlagen-orientierten Studien findet sich die Verwendung von Labyrinthaufgaben im Animalbereich auch in einer Vielzahl von anwendungsorientierten Untersuchungen. So dient das Verhalten in Labyrinthaufgaben als Modell bei der Evaluation von pharmakologischen Substanzen. Beispielsweise wird das Wasser-Labyrinth in Vergleichen der Wirkung verschiedener neuroleptischer Substanzen eingesetzt (Skarsfeldt 1996).

2.4 Labyrinthaufgaben und die Untersuchung kognitiver Prozesse bei Menschen

Ähnlich wie im Animalbereich werden Labyrinthaufgaben auch bei Menschen bereits seit Beginn des 20.ten Jahrhunderts eingesetzt. Sie werden in einer Vielzahl unterschiedlicher Forschungsbereiche von allgemeinspsychologischen Fragestellungen bis zum Einsatz als psychometrisches Testverfahren verwendet. Dabei stehen abhängig von der jeweiligen Fragestellung unterschiedliche kognitive Funktionen, wie spatiale Lernprozesse oder Planungsprozesse, im Mittelpunkt des Interesses.

Labyrinthaufgaben existieren in einer großen Anzahl unterschiedlicher Realisierungen. Die verschiedenen Versuchsanordnungen reichen von begehbaren Raumlabyrinthen (Hicks & Carr 1912, Schmitz 1995, 1997), über Tischlabyrinth (Perrin 1914) bis zu Labyrinthaufgaben, in denen das gesamte Labyrinth sichtbar ist (Porteus 1965, Chapuis 1959a, Elithorn 1955). Dabei sind die Aufgaben in unterschiedlichem Ausmaß an im Animalbereich verwendete Untersuchungsanordnungen angelehnt. Während z.B. die von Elithorn entwickelten Labyrinthaufgaben kaum Ähnlichkeit mit im Animalbereich verwendeten Aufgaben besitzen, finden sich auch enge Anlehnungen z.B. an Oltons radiales Labyrinth (Olton & Samuelson 1976, z.B. bei Feigenbaum, Polkey & Morris 1996, Glassman, Leniek & Haegerich 1998).

Die verschiedenen experimentellen Anordnungen von Labyrinthaufgaben unterscheiden sich u.a. hinsichtlich der Verfügbarkeit interner und externer sensorischer Informationen während der Aufgabenlösung. Die einzelnen Labyrinth werden dabei einmalig oder wiederholt zur Bearbeitung vorgegeben. Abhängig vom Typ der Labyrinthaufgabe werden vermutlich unterschiedliche kognitive Funktionen beansprucht (s. z.B. Flitman et al. 1997).

Eine Untersuchung des Zusammenhanges zwischen kognitiven Funktionen und Hirnstrukturen ist bei Menschen nicht wie im Animalbereich durch das gezielte Setzen spezifischer Läsionen möglich. Statt dessen werden im Rahmen der Neuropsychologie die Folgen „natürlicher“ Läsionen, nach Hirnverletzungen oder operativen Eingriffen, analysiert. Dabei besteht prinzipiell das Problem, daß die Schädigungen nicht gezielt einzelne Hirnbereiche betreffen, sondern meist unterschiedliche Strukturen in Mitleidenschaft gezogen sind. Darüber hinaus ist es schwierig, Gruppen von Personen mit in bezug auf Lokalisation und Ausmaß vergleichbaren Hirnschädigungen zu bilden. Dies ist vor allem bei der Bewertung älterer Studien relevant, da vor der Einführung moderner bildgebender Verfahren wie der computergestützten Tomographie (CT) eine präzise Erfassung geschädigter Hirnstrukturen kaum möglich war.

Bei der Untersuchung von Personen nach einer operativen Entfernung von Hirngebieten besteht häufig das Problem, daß durch die eine Operation notwendig machende Grunderkrankung das System bereits vor der Läsion beeinträchtigt war. Berücksichtigt man Studien zur Plastizität von Hirnstrukturen, stellt sich dabei die Frage, inwieweit damit ein Rückschluß auf den Zusammenhang von Funktionen und Hirnstrukturen in einem gesunden System möglich ist. Die Entwicklung kompensatorischer Strategien dürfte die bei einer Aufgabenlösung eingesetzten kognitiven Prozesse im Vergleich zu einem gesunden zerebralen Verarbeitungssystem ändern. So zeigen Patienten mit Schädigung der rechten, posterioren Hemisphäre häufig eine Unfähigkeit sich in einer komplexen, räumlichen Umgebung zurechtzufinden. Bei diesen Patienten läßt sich oft die Ausbildung einer verbal geleiteten Strategie beobachten, bei der sie z.B. einzelne, isolierte Details als Landmarken verwenden. Bei einer Orientierung in der Umwelt werden diese Landmarken dann mit Hilfe einzelner Details wiedererkannt und im Sinne einer Routenbezogenen Navigationsstrategie als verbal codierte Liste verwendet (Clarke, Assal & Tribolet 1993).

Neben Läsionsstudien ermöglichen heute funktionelle bildgebende Methoden (z.B. Elektroenzephalographie (EEG), Positronenemissionstomographie (PET), funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT)) eine Darstellung von Maßen der Hirnaktivität in einem ungeschädigten System. Mit der Weiterentwicklung von Papier-und-Bleistift-Verfahren zu computergestützten Labyrinthaufgaben (z.B. Karnath, Wallesch & Zimmermann 1991, Elithorn & Mornington 1982, Gallhofer et al. 1999, Krieger et al. 1998, im Druck b) wird eine zeitgleiche Erhebung von Hirnaktivität und Verhalten möglich. Dabei kann auf der Verhaltensebene durch den Einsatz moderner Computer das Verhalten während der Lösung von Labyrinthen mit hoher, bis in den Millisekundenbereich reichender Präzision gemessen werden. Jedoch ist es heute noch nicht möglich, diese zeitvariierenden Verhaltensmerkmale mit dem Wechsel von Aktivierungsmustern in unterschiedlichen Hirnstrukturen eindeutig in Verbindung zu setzen. Dies mag einerseits an der schlechten zeitlichen Auflösung einzelner bildgebender Methoden wie PET und fMRT liegen, andererseits auch durch grundsätzliche konzeptuelle Probleme wie im EEG erklärlich sein (Krieger 1999).

Was die hier eingesetzten Untersuchungsanordnungen betrifft, basieren die meisten experimentellen Paradigmen auf der Idee der Subtraktionsmethode von Donders (1868, siehe Frakoviak et al 1997, Friston 1997a,b). Jedoch ermöglicht dieser Ansatz nur dann eine eindeutige Zuordnung von Aktivierungsmustern – und auch Reaktionszeitabschnitten - zu kognitiven Teilfunktionen, wenn die verwendeten Aufgaben sich lediglich in der Beanspruchung eines einzelnen kognitiven Subprozesses unterscheiden. Bezüglich der

an der Lösung von Labyrinthen beteiligten Prozesse ergibt sich hier das Problem, geeignete Kontrollaufgaben zu entwickeln. Diese sollten – im Idealfall - bis auf die in Frage stehende Teilfunktion nicht nur identische Prozesse wie die Labyrinthaufgaben, sondern auch identische Interaktionen zwischen diesen Prozessen notwendig machen. Nur unter dieser Voraussetzung sind Unterschiede zwischen Hirnaktivierungen im Vergleich der beiden Aufgaben eindeutig interpretierbar.

2.4.1 Typen von Labyrinthaufgaben

Im folgenden sollen die verschiedenen im Humanbereich eingesetzten Labyrinthaufgaben skizziert werden. Trotz einer großen Anzahl existierender Realisierungen dieser Aufgaben lassen sie sich in mehreren Hauptgruppen, den Raumlabyrinthen, Tischlabyrinthen und vollständig sichtbaren Labyrinthen, zusammenfassen.

2.4.1.1 Raumlabyrinth

Unter Raumlabyrinthen ("body maze") versteht man - analog den im Animalbereich verwendeten Labyrinthen - von Menschen betretbare Wegsysteme mit Wegverzweigungen, an denen in der Regel nur eine Wegalternative das Erreichen eines Zieles ermöglicht. Als Raumlabyrinth dienten dabei z.B. Wege, die durch in ca. 75cm Höhe gespannte Drähte gebildet wurden (Hicks & Carr 1912). Es finden sich aber auch sogenannte "trough"-Labyrinth (Wannen-Labyrinth, Brown 1932), die aus Wannen-artigen Bauelementen zusammengefügt wurden, Labyrinth in Vergnügungsparks (Perrin 1914), oder an das radiale Labyrinth angelehnte Untersuchungsanordnungen (Glassman, Leniek & Haegerich 1998, Foreman, Warry & Murray 1990). Darüber hinaus wurden mehrstöckige Gangsysteme (Schmitz 1999) oder Gebäude mit ausgedehnten Wegsystemen (Schmitz 1999) verwendet. Dabei variieren in den einzelnen Untersuchungen Art und Ausmaß verfügbarer sensorischer Informationen. Relativ häufig wird die Verfügbarkeit visueller sensorischer Informationen durch Verbinden der Augen (Hick & Carr 1912) oder Abdunkeln des Raumes (Schmitz 1995) reduziert.

Auch in der Klinik für psychische und nervöse Krankheiten in Giessen, dem heutigen Zentrum für Psychiatrie am Klinikum der Justus-Liebig-Universität, wurden Anfang des 20.ten Jahrhunderts unter der Leitung von Prof. Robert Sommer Untersuchungen zur Orientierungsfähigkeit bei psychisch erkrankten und intelligenzgeminderten Personen durchgeführt (Storch 1932). Dazu wurde im Garten der Klinik ein Wegesystem aufgebaut, in dem die Probanden einen vom Versuchsleiter vorgegebenen Weg nachgehen sollten. In Einzelfallbeschreibungen analysierte Storch verschiedene Fehlertypen. Schon

in seiner Beschreibung finden sich Hinweise auf das Vorliegen unterschiedlicher Navigationsstrategien, die von ihm in eine Hierarchie gesetzt wurden:

" ... ergibt sich mit großer Deutlichkeit, daß es in der Fähigkeit der Orientierung Stufen oder Schichten gibt und daß man einer primitiv-elementaren Funktionsweise, die mehr auf einem anschaulich-psychomotorischen Verständnis beruht, eine auf höherer Stufe stehende Orientierungsfähigkeit gegenüberstellen kann, die auf einem anschaulich-intellektuellen Erfassen des Zueinanders der Teile des Ganzen beruht. ..." (S. 93).

Ähnlich wie im Animalbereich werden Raumlabyrinth - variierend in der Komplexität des Labyrinthmusters - auch im Humanbereich vor allem zur Untersuchung von Prozessen spatialen Lernens eingesetzt. Besondere Bedeutung besitzt dies im Rahmen der 'environmental psychology', (McAndrew 1993) einem interdisziplinären Forschungsbereich von Psychologie und Geographie, der sich u.a. mit Prozessen der Raumorientierung in künstlichen und natürlichen Umwelten beschäftigt. Hier werden statt artifiziellen Labyrinth jedoch meist - trotz der damit verbundenen Schwierigkeit der Kontrolle von Einflußfaktoren - natürliche Umgebungen verwendet.

In den ersten Arbeiten, die sich mit menschlichem Verhalten in begehbaren Labyrinth beschäftigten, interessierten u.a. die Parallelen zwischen dem Verhalten von Tieren und Menschen. So analysierten Hick & Carr (1912) das Verhalten von Menschen in einem Raumlabyrinth, das analog zu einem im Tierversuch verwendeten Labyrinth aufgebaut wurde. Sie untersuchten Erwachsene und Kinder, die in mehreren Durchgängen mit verbundenen Augen den Weg durch das Labyrinth lernen sollten. Hick & Carr verglichen die Leistung dieser beiden Gruppen mit der von Ratten, und fanden, daß alle drei Gruppen annähernd die gleiche Anzahl von Trials benötigten, um das Labyrinth fehlerfrei zu durchlaufen. Dabei zeigten sich jedoch vor allem während des ersten Durchlaufs deutliche Unterschiede im Verhalten zwischen Ratten und Menschen: Während die Ratten Sackgassen wiederholt betraten, suchten die erwachsenen Personen die gleiche Sackgasse nur ein einziges Mal auf. Hier kommt sicherlich ein wesentlicher Unterschied zwischen Untersuchungen im Human- und Animalbereich zum Tragen: Im Gegensatz zu Ratten wissen menschliche Probanden vom Anfang der Untersuchung an, daß es Ziel der Aufgabe ist, eine Zielposition zu erreichen und dabei das Betreten von Sackgassen zu vermeiden. Trotz dieser Unterschiede ist es überraschend, wie sehr sich das Verhalten von Ratten und Menschen im Labyrinth ähneln kann. So verglichen Woodworth & Schlosberg (1954) die relativen Häufigkeiten, mit denen die unterschiedlichen Sackgassen betreten wurden, zwischen Menschen und Ratten. Dazu re-analysierten sie die Daten verschiedener Studien, die die gleichen Labyrinthmuster verwendet hatten. Für die meisten Sackgassen zeigten sich dabei relativ hohe Übereinstimmungen zwischen den relativen Schwierigkeiten. Lediglich eine der Sackgassen differierte deutlich zwischen

Menschen und Ratten: Während sie von annähernd keiner Ratte betreten wurde, erwies sie sich als die für Menschen am schwierigsten zu vermeidende. Die Autoren erklären dies, mit der Tendenz der Ratten zu alternierenden Rechts- und Linkswendungen, die ein Vermeiden dieser speziellen Sackgasse begünstigte, ohne jedoch eine Erklärung für die hohe Schwierigkeit dieser Sackgasse bei Menschen geben zu können. Ähnlich unterschiedlich verhalten sich Menschen und Ratten beim Erlernen linearer Labyrinth (s.o.). Während sie für Ratten extrem schwierig zu erlernen sind, sind Menschen in der Lage diese Labyrinth - vermutlich mit Hilfe verbaler Codierungsstrategien - relativ schnell zu lernen (Woodworth & Schlosberg 1954).

Schon Brown (1932) interpretierte die Ergebnisse seiner Studie zur Verwendung von Hinweisreizen beim Lernen eines Labyrinthes als Hinweis auf einen sich aus verschiedenen Stufen zusammensetzenden Lernprozeß: Nach einer Phase genereller Orientierung werden zunächst Anfang, Ende und einzelne Zwischenstücke des Labyrinthweges gelöst. Daran schließt sich nach und nach die Bewältigung der anderen Elemente des Labyrinthes an, wobei hier in den frühen Stufen des Lernprozesses die Verfügbarkeit von Landmarken den Lernprozeß beschleunigen kann. In einer letzten Phase wird die Lösung als eine Sequenz von Vorwärts- und Seitwärtsbewegungen automatisiert.

Siegel & White (1975) entwickelten ein Stufen-Modell zum Erwerb räumlichen Wissens, bei dem die verschiedenen Stufen des Lernprozesses durch den Einsatz unterschiedlicher Navigationsstrategien gekennzeichnet sind. In einer ersten Orientierungsphase werden Landmarken identifiziert, die als Merkmale der Umgebung potentiell für eine Orientierung im Raum genutzt werden können. Sie stellen lediglich Merkmale der Umgebung dar, die später erinnert werden können. Erst in einer zweiten Stufe schließt sich die Entwicklung von Routenwissen an, bei der die Landmarken als Ankerpunkte auf einem Weg genutzt werden und mit bestimmten Handlungen assoziiert werden. Mit zunehmender Übung wird die Routen-bezogene Strategie dann immer mehr durch eine Orts-bezogene Strategie ersetzt, bei der auf der Basis von Überblickswissen die räumlichen Beziehungen zwischen Landmarken zur Orientierung verwendet werden. Die Entwicklung von Routen-bezogenen Strategien wurde als Voraussetzung für die Entwicklung Orts-bezogener Strategien betrachtet. Eine vergleichbare Entwicklung wurde dabei auch für die Ontogenese postuliert (Siegel & White 1975, Piaget, Inhelder & Szeminska 1960, s. auch Lehnung et al. 1998).

Die Unterscheidung von eher Routen- oder eher Landkarten-bezogenen Repräsentationen der räumlichen Umwelt zieht sich - ähnlich dem tierexperimentellen Bereich - durch eine Vielzahl verschiedener Konzepte (s. auch O'Keefe & Nadel 1978, Byrne 1982, Thorndike & Hayes-Roth 1982). Eine stufenweise Entwicklung unterschiedlicher Strate-

gien wird jedoch zunehmend in Frage gestellt (s. Montello 1998). Stattdessen wird eher vermutet, daß für Routen-bezogene Strategien relevante Informationen gleichzeitig mit für Orts-bezogene Strategien relevanten Informationen akkumuliert werden (Hirtle & Hudson 1991, Devlin 1976). Montello (1998) zieht die Entwicklung von reinem Routenwissen in natürlichen Situationen per se in Zweifel. Nach seiner Einschätzung seien hier immer auch Elemente von Überblickswissen, d.h. Wissen um die räumlichen Relationen zwischen Landmarken, integriert.

Dabei bieten Routen-bezogene Strategien möglicherweise in der Realität Vorteile gegenüber Orts-bezogenen Strategien (Thorndike & Hayes-Roth 1982). So zeigte Appleyard (1970) in einer natürlichen Situation eine eindeutige Bevorzugung von Routenwissen. Er ließ Bewohner eines Viertels von Ciudad Guayana in Venezuela Karten ihres Wohnviertels zeichnen. Dabei benutzen 75% der Befragten Routen-artige Darstellungen, während nur 25% überblicksartige Karten zeichneten. Diese Bevorzugung Routen-bezogener Karten gilt auch für eine sehr vertraute Umgebung wie die unmittelbare Nachbarschaft der Wohnung. Es zeigte sich ein Zusammenhang zu der Art der Fortbewegung der Personen: Benutzten sie normalerweise ein Auto, hatten ihre Darstellungen deutlicher eine überblicksartige Qualität. Benutzen sie dagegen einen Bus, waren die Abbildungen relativ unzusammenhängend.

Es existiert eine große Zahl von Studien, die den Einfluß unterschiedlicher Lernmaterialien auf den Einsatz verschiedener Navigations-Strategien untersuchen. Dabei wird das Wissen über eine räumliche Umwelt entweder über die direkte Erkundung der Umgebung durch „Durchlaufen“ - ähnlich wie in Labyrinthaufgaben - oder mit Hilfe von Übersichtskarten vermittelt. Personen, die eine Umgebung mit Hilfe einer Karte kennengelernt haben, zeigen gutes Überblickswissen, wie es bei Orts-bezogenen Strategien eingesetzt wird. Lernten die Probanden eine Umgebung dagegen durch "aktives Durchlaufen", verfügten sie im Vergleich zu den "Karten-Lernern" über schlechteres Überblickswissen, jedoch besseres Routenwissen (Mooser 1988, Thorndyke & Goldin 1982). Sollten Probanden eine Umgebung entweder als Route oder Ort verbal beschreiben, setzten Probanden, die die Umgebung anhand einer Karte gelernt hatten, abhängig von den Merkmalen der Umgebung entweder eher Routen- oder Orts-bezogene Beschreibungen ein (Taylor & Tversky 1996). Probanden mit aktiver Navigationserfahrung beschrieben die Umwelt dagegen Routen-bezogen wesentlich präziser als Orts-bezogen. Ähnlich wie im Animalbereich zeigt sich auch bei Menschen, daß sie die verschiedenen Strategien in Abhängigkeit von verfügbaren Informationen in der Umwelt einsetzten: So führt eine mit zahlreichen Landmarken versehene Umgebung zu deren Nutzung bei der Entwicklung von Routen-bezogenen Strategien (Acredolo & Evans 1980).

Zusammenhänge zwischen kognitiven Prozessen bei der Orientierung in einer weiträumigen Umwelt und beanspruchten zerebralen Strukturen basieren nahezu ausschließlich auf der Untersuchung von Patienten mit Hirnläsionen. So untersuchten beispielsweise Semmes et al. (1955) Patienten mit Schußwunden in einer Aufgabe, bei der die Patienten mit Hilfe taktil oder visuell dargebotener Landkarten einen bestimmten Weg ablaufen sollten. Dabei zeigten sich deutliche Defizite bei Läsionen des parietalen Kortex, die unabhängig von der Lateralisierung der Schädigung auftraten. Eine methodenkritische Darstellung verschiedener Einzelfallbeschreibungen von Patienten mit räumlichen Orientierungsstörungen nach Hirnschädigungen findet sich unter Berücksichtigung unterschiedlicher Strategien der Orientierung im Raum bei Aguirre & D'Esposito (1999, s. auch Aguirre, Zarahn & D'Esposito 1998). Die Autoren identifizieren dabei vier Gruppen von Orientierungsstörungen und setzen sie in Beziehung zu Schädigungen bestimmter Hirnstrukturen. Sie unterschieden Patienten (1) mit Beeinträchtigungen bei der Nutzung egozentrischer Repräsentationen von Raum, (2) mit Defiziten bei der Ausrichtung in eine bestimmte Richtung einer räumlichen Umwelt, (3) mit Problemen bei der Nutzung von Umweltmerkmalen als Landmarken ('landmark agnosia') und (4) mit Einschränkungen der Fähigkeit zum Aufbau neuer Repräsentationen ('anterograde disorientation'). Aguirre & Esposito setzen diese verschiedenen Gruppen gestörten Orientierungsverhaltens in Beziehung zu Schädigung des posterioren parietalen Kortex, des posterioren Cingulum mit seinen 'head direction cells', des Gyrus lingualis und des Parahippocampus mit seinen 'spatial view cells'.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die meisten Untersuchungen, die begehbare Raumlabyrinth verwenden, am Anfang des 20.ten Jahrhunderts durchgeführt wurden. Danach findet man nur vereinzelt derartige Untersuchungen. Stattdessen überwiegen Studien, die das Verhalten in natürlichen Umgebungen untersuchen. Dabei ist kritisch einzuwenden, daß eine experimentelle Kontrolle und damit auch die Untersuchung des Einflusses verschiedener Faktoren hier nur schwer zu realisieren ist. Mit der Entwicklung leistungstarker Computer scheint sich jetzt jedoch eine alternative Untersuchungsmöglichkeit von Navigationsverhalten im Raum beim Menschen zu ergeben. In 3-dimensionalen Simulationen von Umwelt läßt sich relativ einfach eine Vielzahl von Einflußgrößen - wie Art und Menge sensorischer Informationen innerhalb und außerhalb der Labyrinthwege oder auch Dominanz von Landmarken - manipulieren. Erste Untersuchungen weisen darauf hin, daß Navigation in einer virtuellen Umwelt ein geeignetes Modell für Navigation in einer realen Umwelt darstellen könnte (s. Diskussion bei Garling et al. 1997, Rossano et al. 1999, Aginsky et al. 1997, s. auch Matsumara et al. 1999 zum Vergleich der Aktivität von Platzneuronen von Affen bei Bewegung in einem realen,

3-dimensionalen oder einem 2-dimensionalen virtuellen Raum). Über eine Verbesserung der experimentellen Kontrolle hinaus, ermöglicht der Einsatz von computer-simulierten Umwelten auch die Erfassung zusätzlicher Meßgrößen wie z.B. die Erfassung der Hirnaktivität mit Hilfe von PET, fMRT oder EEG.

Maguire et al. (1998) untersuchten so mit Hilfe von Messungen des regionalen zerebralen Blutflusses im PET das Verhalten in einer bekannten, aber komplexen virtuellen Stadt. Dabei konnten sie deutliche Parallelen zwischen Ergebnissen zum Navigationsverhalten aus dem Animalbereich und Navigationsverhalten bei Menschen aufzeigen. Vor Beginn der eigentlichen Untersuchung hatten die Probanden Gelegenheit, die Stadt zu explorieren. Danach wurden sie in zwei experimentelle Gruppen unterteilt: Während es der einen Gruppe möglich war, direkt von ihrem Startpunkt zum Ziel zu gehen, wurden bei der anderen Gruppe ein Teil der Wege versperrt, so daß sie einen Umweg wählen mußte. Das Navigationsverhalten der beiden Gruppen wurde mit einer Kontrollbedingung verglichen, in der die Probanden einem durch Pfeile markierten Weg folgen sollten. Die Autoren gingen davon aus, daß die Probanden in der experimentellen Bedingung im Gegensatz zur Kontrollaufgabe eine während der Explorationsphase aufgebaute interne Repräsentation der räumlichen Umgebung zur Lösung der Aufgabe benutzten. Bei erfolgreichen Lösungen des Weges zeigte sich im Kontrast zu der Kontrollaufgabe eine Aktivierung des rechten Hippocampus. Dabei wurde ein Zusammenhang zwischen der Akkuratheit der Zieltrajektorie einerseits und der Aktivität im rechten Hippocampus und rechten inferioren parietalen Kortex andererseits erkennbar. Die Aktivität in beiden Hirnarealen nahm mit der Präzision der Richtung zu. Die Autoren interpretieren dies als einen Hinweis darauf, daß der Hippocampus eine allozentrische Repräsentation von Raum bereitstellt, die zum Navigieren von einer beliebigen Startposition zu einer beliebigen Zielregion benutzt werden kann. Mit Hilfe dieser Informationen wird zusammen mit Informationen über die momentane Ausrichtung eine egozentrische Repräsentation im inferioren parietalen Kortex generiert, mit deren Hilfe die notwendigen Koordinaten von Bewegungen für das Erreichen des Zieles bestimmt werden. Je schneller sich die Probanden dabei durch die virtuelle Umgebung bewegten, eine desto höhere Aktivität des rechten Nucleus Caudatus ließ sich zeigen. (Einschränkend ist zu bemerken, daß hier nur Daten präsentiert wurden, die sich auf die experimentelle Gruppe beziehen, die keinen Umweg wählen mußte. Inwieweit dies auch bei der Auswahl von Umwegen zutrifft, bleibt offen. Eine mögliche Erklärung für das Fehlen eines Zusammenhanges zwischen den beiden Maßen in dieser Gruppe, mag darin liegen, daß bei der Planung von Umwegen Bewegungspausen auftreten, die zu einer Verzerrung der Messung der Geschwindigkeit der Bewegung in dieser Gruppe führen.) Ein Unterschied zeigte sich auch zwischen der Aktivierung verschiedener Hirnareale beim Vergleich erfolgreicher Lösun-

gen und Lösungen, bei denen der Proband nicht in der Lage war, die Zielposition zu erreichen. Die erfolgreichen Lösungen waren mit einer stärkeren Aktivierung von rechtem und linkem Hippocampus, linkem lateralen temporalen Kortex, linkem frontalen Kortex und dem Thalamus verbunden. Auch bei einem Vergleich der beiden experimentellen Gruppen ließ sich eine stärkere Aktivierung des linken Frontalhirns beobachten: Mußte das Ziel über einen Umweg erreicht werden, war die Aktivität in diesem Hirnareal erhöht. Dieses Ergebnis steht in Einklang mit einer Funktion dieses Hirnbereiches bei Planungs- und Entscheidungsprozessen. Die Studie von Maguire und Coautoren belegt einerseits eindrucksvoll die Nützlichkeit von computergestützten Verfahren bei der Untersuchung von Navigationsverhalten. Sie zeigt andererseits aber auch deutlich, wie bedeutend eine sinnvolle Auswahl von Kontrollaufgaben für die Interpretation von beobachteten Effekten und kognitiven Teilprozessen ist.

2.4.1.2 Tischlabyrinth

2.4.1.2.1 Taktil-motorische Tischlabyrinth

Tischlabyrinth (synonym Stift-Labyrinth, Fingerlabyrinth bzw. "stylus maze", "finger maze", "hand maze") lassen sich als miniaturisierte, d.h. nicht betretbare, Versionen von Raumlabyrinthen beschreiben. Weg und Sackgassen werden dabei als Vertiefungen in eine Unterlage eingelassen. Die Probanden haben die Aufgabe, das Labyrinth mit Hilfe des Fingers oder eines Blei- bzw. Metallstiftes - meist mit verbundenen Augen - zu durchfahren. Beim Wählen einer falschen Route wurde in manchen Untersuchungen ein akustisches Feedback gegeben (z.B. Corkin 1965). Das erste Tischlabyrinth wurde von Perrin (1914) eingeführt, der - wie Small (1900) bei der Untersuchung von Ratten - als Labyrinthstruktur den Grundriß des Hampton Court Labyrinthes verwendete. Eine besondere Realisierung von Tischlabyrinthen, die dem Hochlabyrinth im Animalbereich entspricht, ist das sogenannten "High Relief Finger Maze", das 1928 von Miles eingeführt wurde. Bei diesem Labyrinthtyp wurde statt eines vertieften Weges mit Hilfe von Drahtkrampen ein "erhöhter" Weg gebaut, der dann mit dem Fingerkuppe - bei geschlossenen Augen - nachgefahren wird. Die verschiedenen Apparate liegen dabei - abhängig von der jeweiligen Arbeitsgruppe - in sehr unterschiedlichen Realisierungen bzgl. Form und Anzahl von Wegelementen, sowie Anzahl von Sackgassen vor. In frühen Arbeiten finden sich detaillierte Angaben zum Bau derartiger Labyrinthapparaturen, zum Teil mit exakten Kostenkalkulationen wie in der Arbeit von Corey (1931) "An inexpensive finger maze" (s.a. Chou 1929, Whisler 1934).

Das Haupteinsatzgebiet von taktil-motorischen Tischlabyrinthen liegt - ähnlich den Raumlabyrinthen - im Bereich des spatialen Lernens. Das Verhalten in taktil-motorischen Tischlabyrinthen ist jedoch nur eingeschränkt vergleichbar mit dem Orientierungsverhalten im dreidimensionalen Raum (Batalla 1936, Orbach 1959, Sonnenfeld 1985, Feldkamp 1989). In der Regel verfügt der Proband nicht über visuelle Informationen und nur eingeschränkt über Informationen aus Eigenbewegungen. Darüber hinaus ergeben sich keine Änderungen der Perspektive. Im Gegensatz zu Raumlabyrinthen bleibt die Lokalisation des Körpers bei Tischlabyrinthen in Relation zum Labyrinth während der gesamten Aufgabenlösung konstant und liefert damit potentiell einen stabilen Orientierungspunkt im Raum. Interne Informationen, wie sie bei der Bewegung des Armes oder der Hand entstehen, werden in bezug auf den Körper als stabilen räumlichen Orientierungspunkt in Relation zum Labyrinthmuster generiert. Während im Raumlabyrinth durch die permanent wechselnde Position der eigenen Person die Bestimmung der eigenen Position in Relation zum Muster des Labyrinthes aktualisiert werden muß, bleibt die Relation zwischen Körper und Labyrinth beim Tischlabyrinth identisch. Über interne Informationen wie die Stellung der Gelenke kann die aktuelle Position des Stiftes im Raum bestimmt werden, was eine allgemeine räumliche Orientierung erleichtern könnte. Zusätzlich ist es den Probanden in der Regel erlaubt, durch ein Abtasten der Begrenzung des Labyrinthes Informationen über die Größe zu erhalten, was im Vergleich zu Raumlabyrinthen eine weitere Hilfe bei der Orientierung im Raum darstellt. Teilweise werden die Probanden auch durch den Versuchsleiter - durch Führen der Hand - mit der Position der Zielregion vertraut gemacht (s. z.B. Corkin 1965).

Visuelle Informationen sind in der Regel durch Verbinden der Augen oder ein Abschirmen des Labyrinthes, z.B. durch einen Vorhang, ausgeschlossen, so daß die Probanden allein auf durch Bewegung generierte, taktile und propriozeptive Informationen, z.B. aus Muskelspindeln oder Gelenkkapseln, angewiesen sind. Berücksichtigt man die hohe Bedeutung visueller Informationen, z.B. für die Auswahl und den Einsatz von Landmarken bei Nacht-aktiven Tieren, dürfte dies einen Entzug von im Normalfall für den Menschen wichtigen sensorischen Informationen bei der Orientierung im Raum darstellen.

Es ist zu vermuten, daß durch eine Begrenzung der verfügbaren sensorischen Informationen bereits eine Beeinflussung der zur Labyrinthlösung eingesetzten Strategien in Richtung einer kinästetischen Strategie (Buchholz 1973) erfolgt. Andererseits konnte Perrin (1914) zeigen, daß die Leistung bei der Lösung eines Labyrinthes auch nach Drehung der Labyrinthvorlage erhalten blieb. Ähnlich führt auch ein Wechsel der bei der Labyrinthbearbeitung verwendeten Hand (linke Hand nach rechter Hand) nicht zu einem deutlichen Abfall in der Leistung (Perrin 1914, Davies 1933). Diese Ergebnisse sprechen eher für den Aufbau und Einsatz einer allozentrischen Raumcodierung im Sinne einer

kognitiven Landkarte (s. auch Launay 1983). Zur Untersuchung kinästetischen Lernens wurden auch komplexe Wege ohne Verzweigungen verwendet, die trotz des Fehlens von Verzweigungspunkten als "kinästhetische Labyrinth" bezeichnet wurden (s. Denenberg 1960).

Entscheidend für die Anzahl von Fehlern ist u.a., ob die Probanden eine Verzweigung als Verzweigungspunkt wahrnehmen. So erwies sich das Durchfahren des Labyrinthes mit dem Finger im Vergleich zur Verwendung eines Stiftes als einfacher. Die Probanden machten mit dem Finger weniger Fehler als mit einem Stift (Miles 1928, Walsh & Water 1944). Dies läßt sich vermutlich darauf zurückführen, daß die Personen durch den taktillen Kontakt mit dem Finger die einzelnen Entscheidungspunkte wahrnehmen. Ähnlich dürfte auch eine schnellere Lösung von sogenannten "elevated finger"-Labyrinthen, d.h. Labyrinthen bei denen ein erhöhter Weg mit dem Finger nachgefahren wird, im Vergleich zu Stiftlabyrinthen erklärbar sein (Husband 1928, s.a. Nyswander 1929).

In den ersten Jahrzehnten des 20.ten Jahrhunderts wurden Fingerlabyrinth häufig - alternativ zu Raumlabyrinthen - zur Untersuchung spatialen Lernens eingesetzt. Dabei wurde auf der Basis introspektiver Berichte der Probanden der Einsatz verschiedener Lösungsstrategien unterschieden. Husband (1931b) beschrieb bei Lernversuchen mit einem Fingerlabyrinth, das aus vier U-förmigen Elementen bestand, den Einsatz verbaler, motorischer und visueller Strategien. Die verschiedenen Strategien wurden auch kombiniert oder während der einzelnen Durchgänge von einem Probanden gewechselt. Die meisten Probanden setzten eine verbale Strategie (counting) ein, die sich im Verlauf der Lernkurven auch als die effektivste Strategie erwies. Die wenigsten Probanden beschrieben die Verwendung einer visuellen Strategie (imagery), obwohl sich die motorische Strategie anhand der Lernkurven als die am wenigsten erfolgreichste auswies. Zu ähnlichen Ergebnissen kam auch Davis (1933) in einer Untersuchung mit einem Fingerlabyrinth. Nachdem die Probanden das Labyrinth wiederholt fehlerfrei durchlaufen hatten, veränderte Davis die Ausrichtung des Labyrinthes in Relation zum Probanden durch eine 180° Drehung. Nach dieser Manipulation - über die die Probanden informiert wurden, zeigten Personen, die den Einsatz einer primär kinästetisch-taktilen Strategie angegeben hatten, mehr und qualitativ andere Fehler.

Fingerlabyrinth werden heute vornehmlich als Anordnungen zur Untersuchung von Lernprozessen bei Kontrolle und Programmierung motorischer Abläufe verwendet (Grosse, Wilson & Fox 1991, van Mier, Hulstijn & Petersen 1993). Darüber hinaus werden sie zur Untersuchung von Lernprozessen bei Personen mit Beeinträchtigungen des

visuellen Systems eingesetzt (Cleaves & Royal 1979, Warren 1974, Botrill 1968, Berg & Worchel 1956, s. auch Duncan 1934).

Die bei der Lösung taktil-motorischer Tischlabyrinth eingesetzten Hirnstrukturen untersuchten van Mier et al. (1998) mit Hilfe von PET. In verschiedenen Aufgaben versuchten sie, einzelne Aspekte der Ausführung von Bewegungen zu isolieren und diese mit der Beanspruchung unterschiedlicher Hirnstrukturen in Verbindung zu bringen. Als Aufgaben wurden eine Ruhebedingung ohne Bewegung, das schnelle und langsame Nachfahren eines Quadrates sowie das Durchfahren eines neuen, bzw. eines trainierten Labyrinthes eingesetzt. Mit Ausnahme der Aufgabe, ein Quadrat langsam zu durchfahren, waren die Probanden bei allen Aufgaben instruiert, diese so schnell wie möglich zu lösen, dabei jedoch Fehler zu vermeiden. Die Lösung der Aufgaben erfolgte ohne visuelle Kontrolle in einer kontinuierlichen Bewegung, d.h. durch Führen eines Stiftes in den Vertiefungen einer auf einem graphischen Tablett befestigten Schablone.

Um Anteile der Verarbeitung, die eng mit der motorischen Implementierung zusammenhängen von eher abstrakten Codierungen zu trennen, ließen van Mier et al. eine Hälfte der rechtshändigen Probanden die Aufgabe mit der rechten, die andere Hälfte dagegen mit der linken Hand bearbeiten. Dabei zeigte sich, daß nur ein kleiner Teil, der bei den verschiedenen Aufgaben zu beobachtenden Gehirnaktivität abhängig von der verwendeten Hand war. Wurde die rechte Hand verwendet, zeigte sich eine Aktivierung im linken primär motorischen Kortex und im rechten anterioren Cerebellum. Bei Verwendung der linken Hand dagegen wurden vergleichbare Hirnareale der entgegengesetzten Hemisphäre aktiviert. Dabei ließen sich in den verwendeten Verhaltensparametern zwischen links- und rechtshändigen Lösungen keine Unterschiede nachweisen.

In Abhängigkeit vom Ausmaß, in dem die Lösung eines Labyrinthes trainiert worden war, zeigten sich Änderungen im Verhalten (in Form schnellerer und fehlerfreierer Lösungen mit weniger Pausen), die mit Änderungen der aktivierten Hirnregionen einhergingen. Während die Aktivität mit zunehmender Übung im rechten dorsalen prämotorischen Kortex abnahm, zeigte sich eine Zunahme der Aktivität im supplementär-motorischen Areal. Dieses veränderte Muster aktivierter Hirnareale konnte unabhängig von der Hand, die die Probanden bei der Bearbeitung der Labyrinth verwendeten, beobachtet werden. Die unterschiedliche Beeinflussung von rechtem dorsalen prämotorischen Kortex und supplementär-motorischem Areal wird durch den unterschiedlichen Einsatz externer und interner Informationen erklärt. Während der Phase ungeübter Bewegungen basieren diese vermutlich stark auf externem sensorischem Input, der über den dorsalen prämotorischen Kortex kontrolliert wird. Die supplementär-motorischen Areale werden dagegen stärker mit der Kontrolle stark überlearnter, selbst-initiiertes und über interne Informatio-

nen gesteuerten Bewegungen in Verbindung gesetzt. Eine vergleichbare Entwicklung läßt sich bei Labyrinthlösungen beobachten. Ist das Labyrinth unbekannt, scheint eine diskrete Planung und Durchführung der Bewegung für einzelne Labyrinthsegmente stattzufinden. Diese einzelnen Elemente werden mit zunehmender Übung zu längeren Sequenzen verkettet, bis die gesamte Bewegungssequenz letztendlich in einer Einheit verbunden ist (s. auch van Mier, Hulstijn & Petersen 1993).

Unabhängig von der Übung und der benutzten Hand zeigte der dorsale prämotorische Kortex eine deutlichere Aktivierung über der linken Hemisphäre, wenn eine schnelle Aufgabenlösung gefordert wurde. Dieses Hirngebiet wurde mit der zeitlichen Struktur von Prozessen der Bewegungsplanung in Beziehung gesetzt. Sowohl bei untrainierten als auch bei geübten Bewegungen ist die zeitliche Planung von Bewegung entscheidend. Nur durch ein präzises Timing von Beschleunigung und Abbremsen der Bewegung läßt sich eine schnelle Bewegung erreichen. War dagegen eine langsame Bewegung beim Durchfahren des Quadrates gefordert, bei der die Probanden explizit aufgefordert waren, Richtungswechsel erst nach Berührung der Wand vorzunehmen, zeigte sich eine deutlich schwächere Aktivierung der linken dorsalen prämotorischen Kortexareale.

Im Vergleich zu einer Ruhebedingung ohne Bewegung zeigten inferiorer und superiorer parietaler Kortex über beiden Hemisphären eine Aktivierung, wenn eine Bewegung gefordert war. Dabei war die Aktivität über der rechten Hemisphäre abhängig vom Ausmaß des Trainings. Wurde ein Labyrinth zum ersten Mal bearbeitet, war der parietale Kortex stärker aktiviert. Dies wird mit Prozessen der Aufnahme räumlicher sensorischer Informationen und der Zuweisung von Aufmerksamkeit auf bestimmte Aspekte der räumlichen Umwelt in Verbindung gesetzt. Bei geübten Bewegungen, wie dem Nachfahren eines Quadrates oder eines trainierten Labyrinthes, ist dies von geringerer Bedeutung als bei ungeübten Bewegungen wie z.B. beim Durchfahren eines unbekanntes Labyrinthes. Im Gegensatz zu diesen vom Ausmaß des Trainings abhängigen Effekten über dem parietalen Kortex der rechten Hemisphäre, zeigte sich über der linken Hemisphäre bei der Durchführung von Labyrinthaufgaben eine deutlichere Aktivierung als beim Nachfahren des Quadrates.

Neben der Bedeutung des Kleinhirns für die konkrete Ausführung von Bewegungen (ipsilaterale anteriore Areale werden aktiviert), scheint es auch in kognitive Prozesse involviert zu sein. So läßt sich bei der Lösung unbekannter Labyrinthe eine linkshemisphärische Aktivierung des Kleinhirns beobachten, die mit zunehmender Übung abnimmt und auch beim Nachfahren von Quadraten eine niedrigere Aktivierung zeigt. Im Gegensatz zu diesen übungsabhängigen Aktivierungen der linken Kleinhirnhemisphäre, zeigen sich rechtshemisphärisch Aktivierungen, die - ähnlich wie im linken dorsalen prämotorischen

Kortex zu beobachten - auftraten, wenn die Bewegungen schnell ausgeführt werden sollen.

Kritisch läßt sich einwenden, daß in den verwendeten Aufgaben verschiedene Faktoren konfundiert sind. So stellt das Nachfahren des Quadrates mit 4 gleichgerichteten Richtungswechseln eine deutlich weniger komplexe Bewegung dar als das Labyrinth mit 7 Richtungswechseln, bei denen die korrekte Richtung abhängig vom Entscheidungspunkt variierte. Während die Quadrate mit einer auf die Geschwindigkeit zielenden Instruktion verbunden waren, wurde bei den Labyrinthen in mehreren (Trainings-) Durchläufen eine kombinierte Geschwindigkeits- und Fehler-bezogene Instruktion gegeben. Zur Kontrolle der Auswirkungen von unterschiedlichen Bewegungsgeschwindigkeiten in den einzelnen Durchläufen auf die Hirnaktivierungsmuster sollte das Quadrat in getrennten Durchläufen langsam und schnell gelöst werden. Bei der langsamen Lösung sollten Richtungswechsel erst nach Berühren der Wand durchgeführt werden. Inwieweit dies jedoch einer Kontrollbedingung im Sinne einer nicht-geübten Bewegung entspricht, oder vielmehr eine bewußt gesteuerte Verlangsamung verbunden mit einem bewußten Herbeiführen von Wandberührungen darstellt, ist fraglich. Eine Analyse von Aktivitätsvariationen während des Erlernens des Quadrates hätte wahrscheinlich eine direktere Abschätzung der unter motorischer Übung auftretenden Geschwindigkeitseffekte erlaubt. Die Auswirkungen der Verarbeitung von Entscheidungspunkten, d.h. der Auswahl einer von zwei dort möglichen motorischen Reaktionen, läßt sich nur schwer von den Effekten einer noch nicht optimierten Bewegungsprogrammierung und -steuerung abgrenzen.

2.4.1.2.2 Visuell-motorische Tisch-Labyrinth mit verdecktem Weg

Bei Untersuchungen mit den beschriebenen Finger- oder Stift-Tischlabyrinthen werden visuelle Informationen bei der Aufgabenlösung ausgeschlossen. Im Gegensatz dazu stellen visuelle Tischlabyrinth mit verdecktem Weg ("visual stylus maze", "stepping stone maze", "covert maze") eine Gruppe von Labyrinthaufgaben dar, bei denen die Versuchsanordnung sichtbar, der Weg durch das Labyrinth jedoch "verdeckt" ist.

Bei der klassischen Form der verdeckten Labyrinth handelt es sich zumeist um ein Brett, auf dem regelmäßige Reihen von Metallpunkten (s. Abb. 2.3 in Anlehnung an Milner 1965) befestigt sind. Durch Berühren dieser Metallpunkte mit einem Stift soll ein "verdeckter", vom Probanden zu identifizierender Weg nachgefahren werden. In der Regel wird beim Berühren von Metallpunkten, die außerhalb des zu findenden Weges liegen, ein akustisches Feedback gegeben, das den Probanden über das Auftreten eines Fehlers informiert. Es liegen jedoch auch Versuchsanordnungen vor, bei denen für korrekte und falsche Entscheidungen unterschiedliche Rückmeldungen gegeben werden (Pögelt et al. 1984), oder nur korrekte Entscheidungen rückgemeldet (Canavan 1983)

werden. Verdeckte Labyrinth werden in wiederholten Durchgängen zur Untersuchung spatialer Lernprozesse verwendet. Über verschiedene Versuchsdurchläufe hinweg besteht die Aufgabe des Probanden darin, den verdeckten Weg zu erinnern.

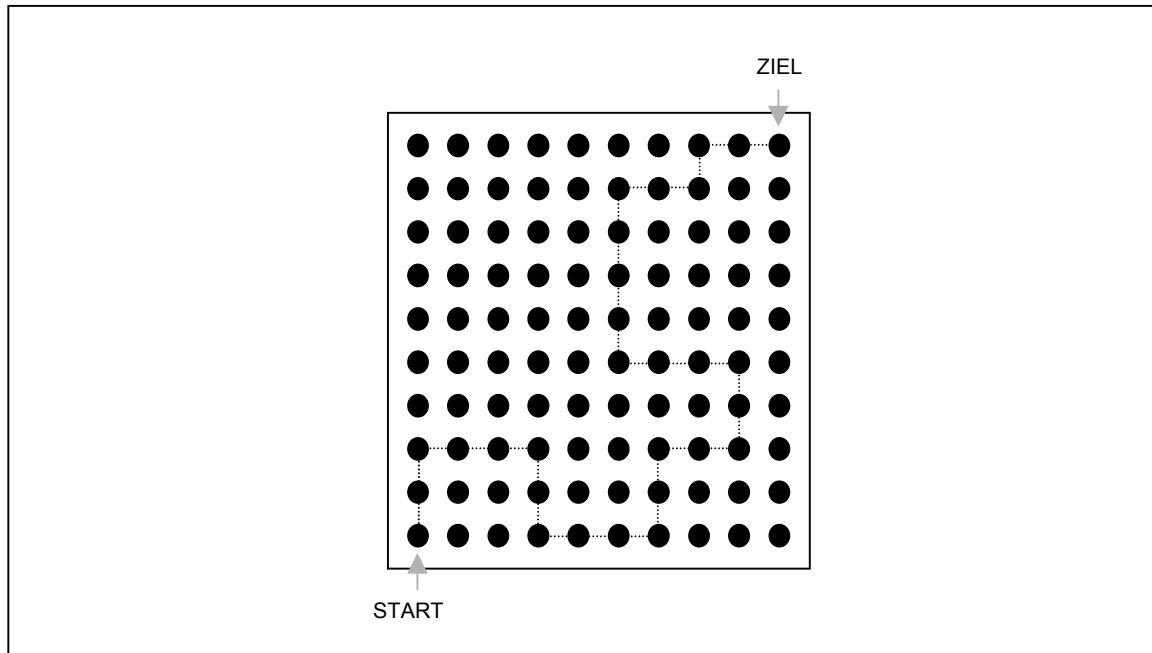


Abb.2.3: Visuell-motorisches Tischlabyrinth mit verdecktem Weg in Anlehnung an Milner (1965) Der zu findende Weg ist als gestrichelte Linie eingezeichnet, ist jedoch für den Probanden bei der Untersuchung nicht sichtbar.

Im Gegensatz zu taktil-motorischen Tischlabyrinthen erfolgt die Aufgabenlösung unter visueller Kontrolle. Obwohl das visuelle System nicht unmittelbar Informationen über den zu verfolgenden Weg liefert, dürfte es für die Aufgabenlösung nützliche Informationen im Sinne einer allgemeinen Orientierung bereitstellen. So sind z.B. am Rand der Apparatur die zur Verfügung stehenden Antwortalternativen durch das "Nicht-Existieren" von Punkten über den Rand der Apparatur hinaus eingeschränkt. Während der Aufbau einer Repräsentation des Raumes und des Weges bei taktil-motorischen Labyrinthen auf der Transformation von Bewegungen beruht, stehen hier visuelle Informationen als zusätzliche Informationsquelle zur Verfügung. Eine Nutzung dieser visuellen Informationen im Sinne von Landmarken dürfte aufgrund der Uniformität der Versuchsanordnung jedoch nur eingeschränkt möglich sein.

Vermutlich unterscheiden sich visuell-motorische Labyrinth von taktil-motorischen Tischlabyrinthen auch in ihrer Komplexität. Bei vergleichbaren "Weglängen" ist eine Auswahl zwischen Entscheidungsalternativen bei taktil-motorischen Labyrinthen nur beim Auftreten von Sackgassen notwendig. Bei visuell-motorischen Labyrinthen stellt jedoch jede motorische Reaktion, d.h. jeder Schritt zwischen den Metallpunkten eine Entscheidungssituation dar. Zusätzlich liegen nicht nur zwei Responsealternativen wie an

der einfachen Verzweigung eines Weges vor, sondern es stehen - vernachlässigt man die besondere Situation am Rand - jeweils drei verschiedene Reaktionen zur Verfügung. Abhängig von der vom Probanden eingesetzten Strategie läßt sich vermutlich eine Reduktion der Komplexität erreichen: So kann eine sprachliche Codierung ("2 hoch, 3 rechts, ...") die Anzahl zu erinnernder Entscheidungen, z.B. im Labyrinth von Milner von 28 auf 12 Entscheidungen, reduzieren (s. Abb. 2.3). Darüber hinaus entstehen im Vergleich zu taktil-motorischen Tischlabirynthen zusätzliche Möglichkeiten für das Verletzen von durch die Instruktion gegebenen Regeln, wie z.B. daß die Punkte nur in x- oder y-Richtung, nicht jedoch in diagonaler Ausrichtung gewählt werden dürfen.

Die Ergebnisse von Untersuchungen mit hirngeschädigten Personen weisen jedoch darauf hin, daß die Leistung in taktil-motorischen und visuell-motorischen Labirynthen eine hohe Ähnlichkeit besitzt (Milner 1965, Corkin 1965). Allerdings zeigen sich auch Unterschiede: So variiert in Finger-Labirynthen die Leistung von Patienten mit Frontalhirnschädigung abhängig von der Seite der Läsion (Corkin 1965). In visuell-motorischen Labirynthen konnte dies bei der gleichen Patientengruppe nicht beobachtet werden (Milner 1965).

Ursprünglich eingeführt von Barker (1931), verwendete Milner (1965) Labirynthaufgaben als non-verbales Material bei der Untersuchung der Lernfähigkeit von Patienten mit Hippocampus-Läsionen. Bei verschiedenen Patienten ließen sich abhängig von Ort, Lateralisierung und Größe der Läsion Unterschiede im Verhalten bei der Lösung von Labirynthaufgaben zeigen.

Patienten mit bilateraler Hippocampus-Läsion zeigten dabei die stärksten Beeinträchtigungen bis hin zur vollständigen Unfähigkeit, den Weg durch das Labyrinth zu lernen (Milner 1965). Ausführliche Untersuchungen liegen hier zu dem Patienten H.M. vor. Bei H.M. wurde aufgrund einer Therapie-resistenten, progredienten Epilepsie 1953 von Scoville (1968) eine bilaterale mediotemporale Resektion durchgeführt. Seit dieser Operation leidet H.M. an einer schweren anterograden Amnesie, ohne daß jedoch sein allgemeines intellektuelles Leistungsvermögen reduziert ist. Im alltäglichen Leben waren bei H.M. Beeinträchtigungen der räumlichen Orientierungsfähigkeit zu beobachten. So war er nicht in der Lage, eine Beschreibung der Räumlichkeiten seines Arbeitsplatzes oder des Weges zu geben, den er täglich zu seinem Arbeitsplatz zurücklegte. Dagegen erinnert er räumliche Umgebungen, in denen er vor der Operation gelebt hatte. So konnte er - von einer Position in der Nachbarschaft der Wohnung, in der er vor der Operation gelebt hatte - den Weg zu dieser ehemaligen Wohnung ohne Probleme finden (Milner, Corkin & Teuber 1968).

H.M. wurde in den der Operation folgenden Jahren wiederholt intensiv neuropsychologisch untersucht. In Labyrinthuntersuchungen war H.M. nicht in der Lage, den Weg durch das 10x10 Punkte Labyrinth von Milner zu erlernen. Auch nach 215 Übungsdurchgängen zeigte H.M. weder eine Reduktion der Fehlerzahl noch des Zeitverbrauches. Lediglich innerhalb der ersten Trials war eine geringe Abnahme in der Gesamtverarbeitungszeit zu beobachten, die Milner auf der Basis von Ergebnissen zur Verbesserung einfacher motorischer Fertigkeiten bei H.M. (z.B. Aufgaben zum spiegelbildlichen Nachfahren von Formen, Milner 1962, Corkin 1968) auf eine zunehmende Übung beim Führen des Stiftes zurückführte. Wurde die Anzahl von Entscheidungspunkten so stark reduziert ($N=8$), daß sie in die Spanne des "immediate memory" paßten, war H.M. in der Lage, den Weg durch das Labyrinth mit der extrem hohen Anzahl von 155 Trials zu lernen und über einige Tage hinweg zu behalten (Milner, Corkin & Teuber 1968). Dabei traten v.a. gegen Ende des Labyrinthweges gehäuft Fehler auf, die einen Richtungswechsel auf das Ziel hin antizipierten. Ein Transfer dieser Leistung auf ein um 2 Entscheidungspunkte verlängertes Labyrinth war nicht möglich.

Vergleichbare Defizite ließen sich bei H.M. auch in taktil-motorischen Fingerlabirynthen zeigen (Corkin 1965). Nur bei extremer Verkürzung des Labyrinthweges war H.M. in der Lage, den Weg mit einer extrem hohen Anzahl von Übungsdurchläufen zu erlernen. Bei längeren Labyrinthwegen ließ sich keine Reduktion der Anzahl von Fehlern beobachten. Jedoch zeigte sich während der ersten Durchläufe eine Reduktion der für einen Labyrinthdurchlauf benötigten Zeit. Corkin interpretierte dies als die Unfähigkeit, ein Muster aus Bewegungsabläufen, d.h. eine Sequenz unterschiedlicher Richtungsänderungen zu lernen, was sich in unveränderten Fehlerzahlen ausdrückt. Jedoch lerne H.M. propriozeptive motorische Fertigkeiten, was zu einer Reduktion des Zeitverbrauches führte. Ein Absinken des Zeitbedarfes über Versuchsdurchläufe wird als Maß für implizites Lernen betrachtet. Dabei kann die Zeitverbesserung entweder als Aufbau propriozeptiven Wissens interpretiert werden (Corkin 1965), oder aber auch alternativ als eine Änderung in der Strategie wie z.B. eine schnellere Korrektur von Fehlern (Nissen, Willingham & Hartman 1989). Ähnlich wie bei H.M. ist auch bei Patienten mit einem Korsakoff-Syndrom eine anterograde Amnesie ein zentrales Symptom. Auch sie sind nicht in der Lage, den Weg durch ein Stift-Labyrinth ohne visuelle Kontrolle zu erlernen. Sind die Eingänge der Sackgassen dagegen blockiert, zeigen diese Patienten in den ersten Durchgängen eine Zunahme der Geschwindigkeit beim Durchfahren des Weges. Während sich eine gesunde und klinische Kontrollgruppe jedoch in weiteren Durchgängen kontinuierlich verbessern, sind Patienten mit Korsakoff-Syndrom dazu nicht in der Lage. Nissen, Willingham & Hartman (1989) interpretieren die anfängliche Verbesserung als den Erwerb von strategischem Wissen, das unabhängig von einem bestimmten zu ge-

henden Weg zu einer Zunahme der Bewegungsgeschwindigkeit führen würde. So lernen die Patienten nicht eine spezifische Sequenz von Richtungswechseln auf dem Weg, sondern das schnelle Korrigieren von Bewegungen. Einschränkend muß jedoch der geringe Stichprobenumfang von 7 Patienten erwähnt werden und das Fehlen einer experimentellen Kontrolle dieser Hypothese, z.B. in Form des Durchlaufens unterschiedlicher Wege.

Eine Beeinträchtigung spatialer Lernprozesse in visuell-motorischen Tisch-Labyrinthen mit verdecktem Weg ließ sich auch nach einseitiger Temporallappen-Lobektomie beobachten (Milner 1965). Hier erwies sich die Seite der Schädigung als relevant: Während bei rechtsseitiger Läsion deutliche Defizite beim Lernen der Aufgaben auftraten, zeigten sie sich bei vergleichbaren Schädigungen der linken Hemisphäre nicht. Statt dessen waren bei linksseitiger Schädigung Probleme beim Erlernen verbalen Materials beobachtbar.

Defizite in visuell-motorischen Labyrinthlösungen ergaben sich jedoch auch nach Läsionen in anderen Kortextbereichen. Bei Schädigungen des Parietallappens war die Labyrinthlösung dann beeinträchtigt, wenn die Läsion die rechte Hemisphäre betraf und ein relativ großes Hirnareal umfaßte. Einschränkend ist hier zu sagen, daß die von Milner untersuchten Patienten bei rechtsseitiger Schädigung des Parietallappens auch die größeren Läsionen zeigten. Am Fall der Patientin J.Du. beschreibt Milner (1965) die Defizite bei großen Läsionen des rechten Parietallappens als ein Verlieren der Orientierung, bei dem die Patientin anscheinend weder in der Lage war anzugeben, aus welcher Richtung sie kam, noch in welche Richtung sie weiter gehen sollte. Dabei ist zu erwähnen, daß sie sich innerhalb des Krankenhauses orientieren und ihren Weg finden konnte.

Auch bei Patienten mit Läsionen im Frontallappen ließen sich reduzierte Leistungen beobachten. Dabei zeigte sich eine Tendenz zu stärkeren Defiziten, wenn die Läsion die rechte Hemisphäre betraf (s. auch Corkin 1965). Im Unterschied zu den anderen Patientengruppen ließen sich Fehler auch auf die Unfähigkeit der Patienten zurückführen, eine spezifische Instruktion umzusetzen. Bei Verlassen des Weges waren die Probanden instruiert, auf den letzten korrekten Punkt zurückzugehen und von dort weiter ihren Weg zu suchen. Obwohl Patienten mit Schädigung des Frontalhirns diese Instruktion verbalisieren konnten, waren sie während der Labyrinthlösung nicht in der Lage, dies auch in Verhalten umzusetzen. Zusätzlich zu diesen Regelverletzungen ließen sich häufig Perseverationen, d.h. Wiederholungen von gleichartigen Fehlern, beobachten. Milner (1965) grenzt dies explizit von den Perseverationsfehlern ab, die im Wisconsin Card Sorting Test (WCST) zu beobachten sind. So waren Perseverationsfehler im WCST bei

guten Labyrinthlösern beobachtbar, bzw. Perseverationsfehler in den Labyrinthaufgaben bei Personen mit unauffälligen Fähigkeiten im WCST (Milner 1963).

Erste Hinweise drauf, welche Hirnstrukturen bei gesunden Personen in der Lösung visuell-motorischer Tisch-Labyrinth mit verdecktem Weg involviert sind, lieferte eine von van Horn et al. (1994, 1998) durchgeführte PET-Untersuchung. Waren die Labyrinth unbekannt, zeigte sich eine deutliche Aktivierung über frontalen Hirnbereichen. Bei zunehmender Vertrautheit mit dem Labyrinthweg schwächte sich diese Aktivierung zunehmend ab. Unabhängig von der Vertrautheit des Labyrinthweges zeigten sich Aktivierungen der primären visuellen Areale, medialer und inferiorer temporaler Gyri sowie des linken Hippocampus.

Obwohl sich bei verschiedenen Läsionsorten Beeinträchtigungen von spatialem Lernen in Labyrinthaufgaben beobachten lassen, - so betont bereits Milner (1965) "... it seems likely that the anterior and posterior regions contribute in qualitatively different ways to performance on this spatial learning task" (S. 336) - ist unklar, welche Funktionen die einzelnen Hirnareale in der Verarbeitung übernehmen. Daher erscheint eine Ergänzung neuropsychologischer Forschungsstrategien, die eher auf der Auswahl von einzelnen Patientengruppen beruht, durch eine eher experimentelle Strategie mit in unterschiedlichen Aufgaben realisierten Kontrollbedingungen notwendig.

2.4.1.2.3 Visuell-motorische Tisch-Labyrinth mit teilweise-sichtbarem Weg

Eine Modifikation des "verdeckten" Labyrinthes entwickelte die Arbeitsgruppe um Wallesch (Wallesch et al. 1990, s. Abb. 2.4). Ermöglicht durch die schnelle Entwicklung und Kostensenkung bei Computersystemen wurde hier das Brett mit Metallpunkten durch die Vorgabe eines verdeckten Labyrinthes auf einem Computerbildschirm ersetzt. Mit Hilfe einer Tastatursteuerung läßt sich bei dieser Aufgabe eine Maske über den Bildschirm schieben, die jeweils nur einen bestimmten Ausschnitt eines Labyrinthes zeigt, den Rest jedoch verdeckt. Durch Betätigen der Pfeiltasten der Tastatur läßt sich dieser Ausschnitt über den Bildschirm bewegen, und damit das Labyrinth ausschnittsweise explorieren. Diese Untersuchungsanordnung erinnert an frühe Realisierungen von Labyrinthaufgaben von Perkins (1927). Er präsentierte ein komplexes Labyrinthmuster auf einem Blatt Papier. Die Probanden saßen dabei auf einem erhöhten Stuhl und schauten durch eine Röhre, die nur einen schmalen Ausschnitt des Labyrinthes sichtbar ließ. Durch Bewegung dieser Röhre durchfuhren sie das Labyrinth bis zu einer Zielposition. Die Idee war dabei, den Probanden wie in einem Raumlabyrinth nur eine beschränkte Nutzung visueller Informationen zu gestatten.

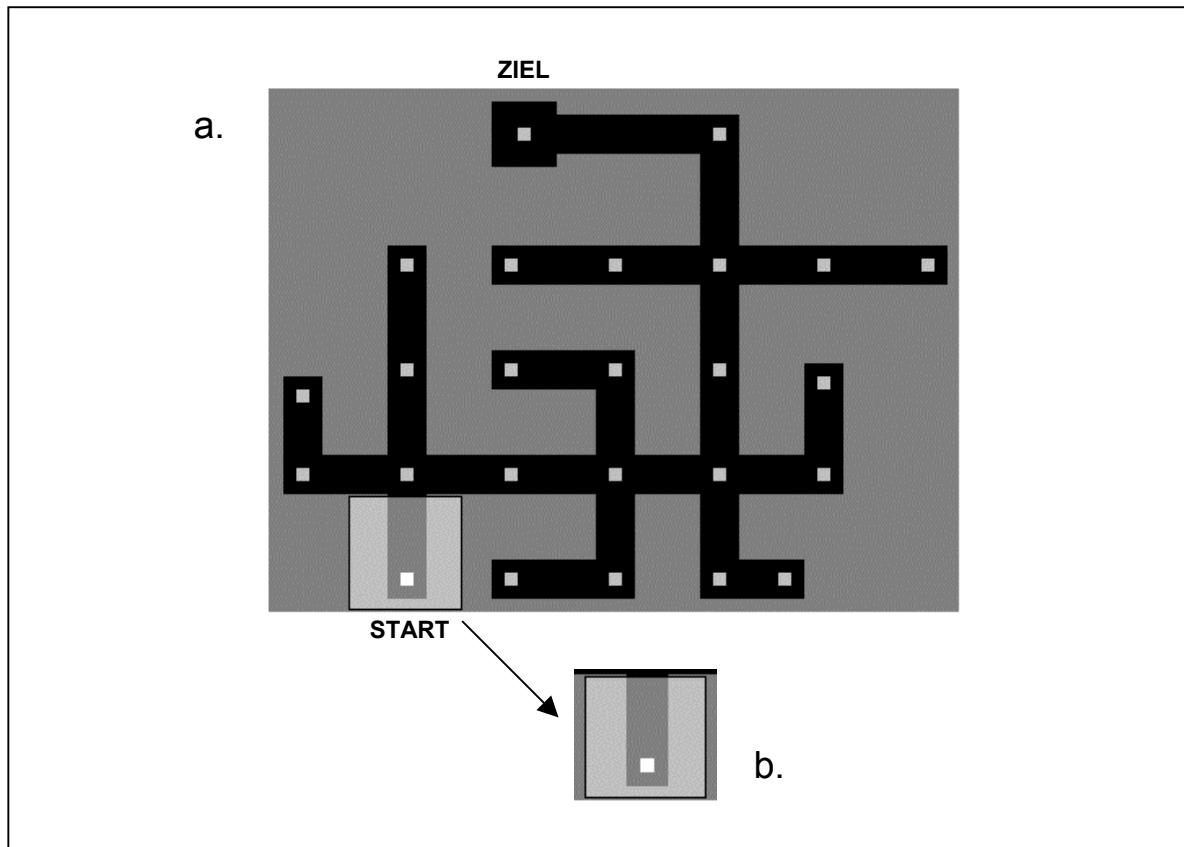


Abb.2.4: Visuell-motorisches Tischlabyrinth mit teilweise sichtbarem Weg in Anlehnung an Wallesch et al. (1990)

a. Labyrinthstruktur mit den verschiedenen Schritten (eingezeichnet als Quadrate). Diese Struktur ist jedoch bis auf ein Fenster (b.) für den Probanden nicht sichtbar.

Wie bei den visuell-motorischen Tischlabyrinthen von Milner (1965) ist auch bei den Labyrinthen mit teilweise-sichtbarem Weg - analog den Bewegungen zwischen den Metallpunkten - die motorische Aktion in diskrete Schritte zerlegt. Durch einen Tastendruck auf eine von vier Richtungstasten kann das Fenster um jeweils einen Schritt in x- oder y-Richtung verschoben werden. Diese Sequenzierung der motorischen Reaktion wird zusätzlich dadurch verstärkt, daß ein Druck der Richtungstaste nur dann zu einer Bewegung des Cursors führte, wenn sich dieser nach einer Bewegung wieder in Ruhe befand (Bei einer Bewegungsgeschwindigkeit von 1cm/sec und einer Bewegungsweite pro Schritt von 2.5cm ergeben sich so diskrete Zeiteinheiten mit einer Mindestlänge von 2.5 sec pro Reaktion). Durch einen Beep-Ton wurde ein zu schnelles Betätigen der Richtungstasten zurückgemeldet.

Anders als bei den von Milner (1965) verwendeten Labyrinthen ist hier jedoch nicht bei jedem Schritt eine Entscheidungssituation gegeben. Ob eine Reaktionsauswahl verlangt ist, kann der Proband durch die Analyse des jeweiligen Labyrinthausschnittes erkennen. Im Gegensatz zu den von Milner verwendeten Labyrinthen sind visuelle Informationen in

wesentlich größerem Umfang für die Labyrinthlösung nutzbar. So ist zumindest die Identifizierung von Schritten mit und ohne Sackgassen, sowie die Anzahl von Wegalternativen visuell erschließbar. Inwieweit diese Informationen ausreichen, um sie im Sinne von Landmarken für eine Navigationsstrategie nutzbar zu machen, bleibt offen.

Im Gegensatz zu den visuellen Informationen dürfte die Rolle intern über Bewegungen generierter Informationen in diesen Labyrinthaufgaben vor allem im Vergleich zu Raum- und taktil-motorischen Tischlabirynthen mit verdecktem Weg gering sein. Die motorischen Abläufe sind sehr gleichförmig und sind – als Tastenbetätigungen – nur indirekt mit der räumlichen Anordnung des Labyrinthes verbunden. Im Gegensatz zu den eingeschränkten Möglichkeiten kinästhetischen Lernens, ermöglicht die Sequenzierung der Bewegung in Einzelschritte jedoch - ähnlich wie bei den von Milner verwendeten Labyrinthaufgaben - eine verbale Codierung des Weges.

Zu berücksichtigen ist zusätzlich, daß die in diesen Labyrinthaufgaben verwendeten Zeitmessungen keine echten Reaktionszeiten darstellen. Während der Verschiebung des Fensters über das Labyrinth nach einem Tastendruck ist für eine Sekunde - was für im Millisekundenbereich ablaufende kognitive Prozesse eine relativ lange Dauer darstellt - eine Analyse des Labyrinthausschnittes möglich, ohne daß die Richtungstaste erneut betätigt werden kann.

Visuell-motorische Labyrinthaufgaben mit teilweise sichtbarem Weg wurden zur Untersuchung der Flexibilität mentaler Planungsprozesse bei Patienten mit Schädigung frontaler, parietaler oder temporaler Hirnareale (Karnath, Wallesch & Zimmermann 1991, Karnath & Wallesch 1992) und Parkinson'scher Erkrankung (Wallesch et al. 1990) eingesetzt. Die Aufgaben wurden dabei wiederholt bis zum Erreichen einer fehlerfreien Lösung präsentiert.

Karnath, Wallesch & Zimmermann (1991) gingen davon aus, daß eine fehlerfreie Lösung dieser Labyrinthaufgaben nur auf der Basis der Erstellung und Nutzung einer mentalen Repräsentation der Struktur des Labyrinthes im Sinne einer kognitiven Landkarte (Tolman 1948) möglich ist. Da die Struktur des Labyrinthes bei der ersten Darbietung jedoch unbekannt ist und noch keine mentale Landkarte aufgebaut wurde, kann der Weg hier nur durch 'Versuch-und-Irrtum' gefunden werden. Ähnlich wie in Untersuchungen zum Verhalten von Ratten in Labirynthen lassen sich auch hier beim ersten Durchlauf eines unbekanntes Labyrinthmusters unterschiedliche Wahrscheinlichkeiten für die Auswahl von Wegalternativen beobachten, die z.T. durch frühere Erfahrungen in ähnlichen Situationen beeinflusst werden (s. auch Woodworth & Schlosberg 1954). Karnath, Wallesch & Zimmermann (1991) nutzen dies, um bei der Lösung von unbekanntes Labirynthen auftretende Verhaltenstendenzen zu untersuchen. In Relation zu gesunden Kontrollproban-

den, zeigten Patienten dabei - abhängig von der Lokalisation der Hirnschädigung und der Dauer ihres Bestehens - sowohl andere Tendenzen als auch einen unterschiedlichen Zeitbedarf für das Treffen einer Entscheidung. Patienten mit frontomedialer Läsion wählten unabhängig von der Zeit seit Bestehen der Läsion öfter andere Wegalternativen als gesunde Personen. Dieses abweichende Verhalten ließ sich tendenziell auch für die Gruppe akuter retrorolandischer Läsionen und chronischer parietaler Läsionen beobachten, obwohl diese nach Adjustierung des Signifikanzniveaus keine statistische Signifikanz erreichten, und die Autoren sie deshalb nicht weiter kommentierten. Wählten die beiden Patientengruppen mit akuten Läsionen (frontomedial, bzw. retrorolandisch) den Kontrollprobanden vergleichbare Wegalternativen, wandten sie weniger Zeit für das Treffen dieser Entscheidung auf.

Patienten mit chronischen Läsionen unterschieden sich bei einer wiederholten Präsentation desselben Labyrinthmusters nicht von gesunden Probanden. Lediglich bei Patienten mit chronischen frontomedialen Läsionen läßt sich - ähnlich den Ergebnissen von Milner (1965) - ein gehäuftes Auftreten von Regelverletzungen beobachten. Diese Fehler scheinen jedoch - entgegen den Vermutungen Milners - nicht spezifisch für frontale Läsionen per se, sondern abhängig von Dauer und betroffenem Bereich des Frontalhirns zu sein: Weder die Gruppe von Patienten mit akuten frontomedialen Läsionen noch die mit chronischen frontolateralen Läsionen zeigte eine von Kontrollprobanden abweichende Zahl von Regelverletzungen. Darüber hinaus scheint das Verletzen von Regeln ein Verhalten zu sein, daß auch gesunde Personen in Situationen zeigen, bei denen sie mit neuen Anforderungen in einer schwierigeren Aufgabe konfrontiert sind. So ließ sich bei allen Probanden - unabhängig vom Vorliegen einer Hirnschädigung - während der ersten Darbietung eines Labyrinthes das Verletzen von Regeln beobachten. Diese Fehler reduzierten sich mit der wiederholten Darbietung der Labyrinth. In der Gruppe der Patienten mit chronischer frontomedialer Läsion ist diese Reduktion allerdings geringer als in den anderen Gruppen. Patienten mit akuter frontomedialer Läsion benötigten hier mehr Schritte zum Durchqueren des Labyrinthes, betraten öfter Sackgassen bis zum Ende und machten mehr Perseverationsfehler. Im Gegensatz zu den Patienten mit chronischer Läsion und akuter retrorolandischer Läsion benötigt diese Patientengruppe auch mehr Lerndurchgänge bis zum Erreichen des Kriteriums einer fehlerfreien Labyrinthlösung.

Bei der Analyse des Verhaltens bei der Labyrinthlösung ließen sich weder bei der erstmaligen Labyrinthdarbietung noch bei der ersten fehlerfreien Lösung am Ende einer Lernphase Unterschiede zwischen den verschiedenen Gruppen in globalen Parametern der Labyrinthlösung, wie beispielsweise dem Gesamtzeitverbrauch und der Fehlerrate, beobachten. Dies wird von den Autoren als Hinweis auf einerseits intakte Planungspro-

zesse sowie andererseits auf ungestörte Prozesse bei der Nutzung mentaler Repräsentationen betrachtet.

Die während des ersten Kontaktes mit dem Labyrinthstimulus zu beobachtenden Abweichungen bei der Auswahl von Entscheidungsalternativen bei Patienten mit frontomedialen Läsionen legen die Existenz veränderter Erwartungen nahe. Die Autoren sehen in den diesen Veränderungen zugrunde liegenden Prozessen eine mögliche Ursache für eine langsamere Nutzung von Erfahrungen beim Aufbau einer mentalen Repräsentation der räumlichen Umwelt. Einschränkend ist zu bemerken, daß die - obwohl sorgfältig hinsichtlich Alter, IQ und Variablen wie die Größe der Läsion ausgewählten - Stichproben unterschiedliche Grunderkrankungen besaßen, die Läsionen in unterschiedlichem Maß die linke oder rechte Hemisphäre betrafen und die Händigkeit der Patienten variierte.

Karnath & Wallesch (1992) untersuchten dieselbe Patientengruppe auch hinsichtlich der Flexibilität mentaler Planungsprozesse. Dazu ließen sie die Probanden zunächst ein bestimmtes Labyrinthmuster erlernen. Danach wurden sie aufgefordert, das Labyrinth rückwärts von der Zielregion zur Startregion, bzw. in gespiegelter Form zu durchfahren. Zur Lösung dieser Aufgabe soll dabei die mentale Reorganisation der - während der Lernphase aufgebauten - kognitiven Landkarte und ihre Anpassung an eine neue, jedoch verwandte Situation notwendig sein.

Ähnlich wie in der Untersuchung von Karnath, Wallesch & Zimmermann (1991) machen Patienten mit akuter Schädigung des Frontalhirns mehr Fehler als Patienten mit akuter retrorolandischer Schädigung oder gesunde Kontrollen. Die Autoren interpretieren diesen Befund als Hinweis auf ein beeinträchtigtes "attentional supervisory system". Nach Shallice (1988) wird dieses System bei der Lösung von Aufgaben eingesetzt, die nicht durch den Einsatz überlernter Handlungen bewältigt werden können, sondern für die eine Aufstellung oder Modifikation eines Plan notwendig ist. Shallice siedelt den Sitz dieses Systems im Frontalhirn an.

Beim Vorliegen chronischer Hirnschädigungen ließen sich Patienten mit frontomedialer, frontolateraler, temporaler oder parietaler Läsion nicht voneinander oder von gesunden Kontrollen unterscheiden. Das Fehlen von Defiziten in der Gruppe der chronisch erkrankten Patienten diskutieren die Autoren als Hinweis auf eine Erholung der Funktionen oder auf die Schwierigkeit der Aufgabe: So sei möglicherweise ein Planen über einen längeren Zeitraum notwendig, um eventuell doch existierende Beeinträchtigungen erkennen zu lassen.

Kritisch läßt sich anmerken, daß im Gegensatz zu den Arbeiten von Milner (1965) relativ einfache Labyrinth verwendet wurden. Darüber hinaus stellt sich die Frage, inwieweit hier auch Details der Versuchsanordnungen wie z.B. das Blockieren einer motorischen

Reaktion nach erfolgtem Tastendruck für 2.5sec, bzw. eine Analysezeit von 1 sec in der keine Reaktion erfolgen konnte, eine Reduktion der zeitlichen Auflösung darstellt, die zur Verdeckung von Gruppenunterschieden z.B. in Form von Bodeneffekten bei den gesunden Kontrollprobanden führt. Darüber hinaus wäre denkbar, daß die verschiedenen Probandengruppen unterschiedliche Strategien des Umgehens mit dieser Restriktion entwickeln. Leider berichten die Autoren nicht, wie häufig "zu frühe" Reaktionen auftraten, so daß eine Beurteilung der Bedeutung dieses Effektes als konfundierende Variable nicht möglich ist.

2.4.1.3 Vollständig sichtbare Labyrinth

Eine letzte Gruppe von Labyrinthaufgaben stellen Anordnungen dar, bei denen die Labyrinth vollständig sichtbar sind. Dabei lassen sich im wesentlichen die von Elithorn (1955) eingeführten „perzeptuellen“ Labyrinth ('perceptual maze', s. Abb.2.5a) und auf Porteus zurückgehende Labyrinthaufgaben (s. Abb.2.6) unterscheiden. Beide Typen von Labyrinthaufgaben wurden ursprünglich als Papier-und-Bleistift-Verfahren eingeführt, und liegen heute - zumindest im Rahmen experimenteller Anordnungen - auch als computergestützte Verfahren vor. In ihrer ursprünglichen Form wurden beide Verfahren als psychometrische Testverfahren angelegt.

Im Unterschied zu den bislang skizzierten Realisierungen von Labyrinthaufgaben steht bei dieser Gruppe von Labyrinthaufgaben nicht die Untersuchung von spatialem Lernen im Vordergrund: Die einzelnen Labyrinthvorlagen werden jeweils nur einmal zur Bearbeitung vorgelegt. Beiden Labyrinthaufgaben ist gemein, daß eine visuelle Exploration des Labyrinthes als Ganzes möglich ist. Damit ist bereits bei der ersten Präsentation eines Labyrinthes das Vermeiden von Fehlern, d.h. die Auswahl der korrekten Wegalternative, möglich. Eine letztendlich durch 'Versuch und Irrtum' geprägte Phase ('zufällige Navigationsstrategie'), in der das Labyrinth durch offene motorische Aktionen exploriert wird, entfällt. Dabei ist allerdings zu vermuten, daß auch in diesen Labyrinthen eine Explorationsphase stattfindet. Sie kann jedoch hier ohne offene motorische Reaktionen - im Sinne von Stiftbewegungen oder Tastendruck - als verdeckter Prozeß, allenfalls über die Bewegung der Augen beobachtbar, durchgeführt werden. Dabei stellt sich die Frage, inwieweit hier, wo allein über die direkte Verarbeitung visueller Informationen eine Aufgabenlösung erzielt werden kann, der Aufbau mentaler Repräsentationen im Sinne allozentrischer kognitiver Landkarten als Strategie zur Aufgabenlösung eingesetzt wird.

2.4.1.3.1 Perceptual Maze Test

Beim Perceptual-Maze-Test ('multiple choice maze') besteht das Labyrinth aus einer netzartigen Anordnung von Wegen. Die Schnittpunkte der Wege bilden dabei Entscheidungspunkte, bei denen eine Auswahl einer Wegalternative verlangt ist. Einige der Entscheidungspunkte sind mit Kreisen markiert. Anders als in den anderen Labyrinthaufgaben führen alle Wegalternativen aus dem Wegenetz. Aufgabe der Probanden ist es, den Weg durch das Wegenetz zu finden, bei dem eine maximale Anzahl von Kreisen berührt wird. In der Regel wird die maximale Anzahl von Kreisen, die beim Durchqueren des Labyrinthes angefahren werden kann, als Zielkriterium angezeigt. Eine räumliche bestimmte Zielposition ist nicht vorgegeben. Für das Durchfahren des Wegenetzes gelten bestimmte Regeln. So muß der Weg den Wegen des Netzes folgen. Der Lösungsweg darf in Y-Richtung nur Bewegungen nach oben, nicht jedoch nach unten enthalten (s. Abb. 2.5b und c).

Die dargebotenen Labyrinthmuster variieren in der Komplexität des Wegnetzes (Anzahl von Reihen und Spalten im Netz), der Sättigung (Anteil von Schnittstellen mit einem Kreis) und der Anordnung der Kreise (Davies & Davies 1965, Elithorne et al. 1964) und werden jeweils nur einmal zur Bearbeitung vorgelegt. Die Probanden sind dabei instruiert, den Weg innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls so schnell wie möglich zu finden.

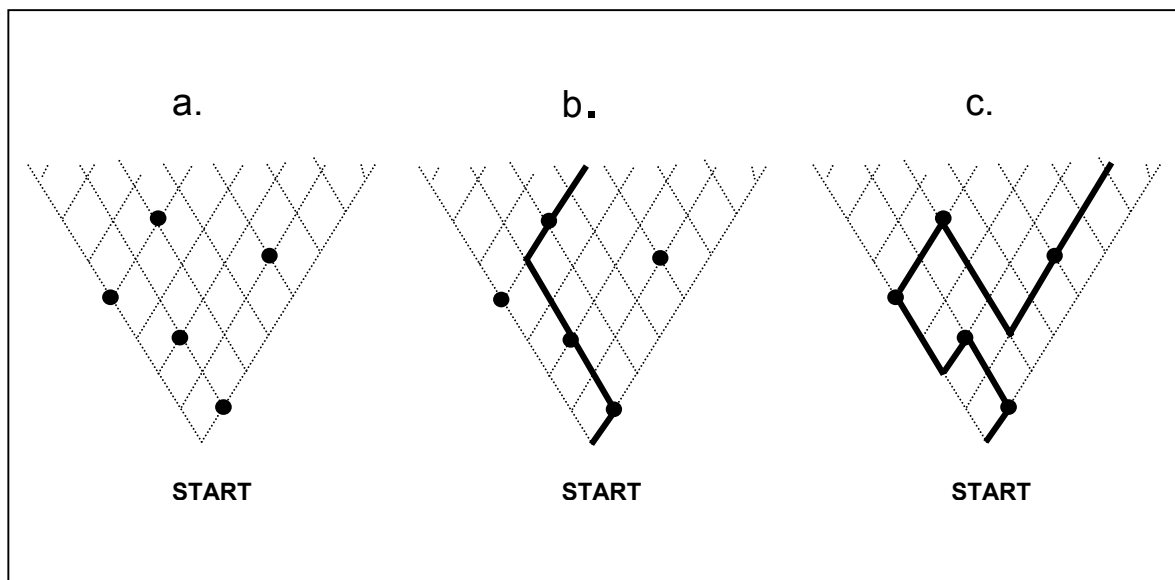


Abb.2.5: Labyrinth in Anlehnung an die Items des Perceptual-Maze-Test (a) mit einem korrekten Lösungsweg (b.) und einem die Instruktion verletzenden, nicht zulässigen Weg (c.)

Ursprünglich wurde diese Aufgabe von Elithorn (1955) als psychologisches Testverfahren eingeführt. Ziel war die Konstruktion einer einfachen Aufgabe, die sensitiv für das Vorliegen von Schädigungen des Frontallappens, z.B. bei Patienten nach präfrontaler Leukotomie, sein sollte. Zunächst als Papier-und Bleistift-Test konzipiert (bei dem sogar zunächst aus Kostengründen die Lösung mit Hilfe eines Holzstiftes angezeigt wurde), liegen heute Realisierungen dieser Aufgabe als computergestütztes Untersuchungsverfahren vor (Elithorn & Mornington 1982, als Teil der computergestützten Testbatterie "automated psychological test system", APT, Levander & Elithorn 1986, Levander 1987). Dabei wurde die bei der Bearbeitung des Labyrinthes geforderte Bewegung, die in der Papier-und-Bleistift-Version als kontinuierliches Nachfahren der Wegstrecken mit einem Stift realisiert war, ähnlich wie bei den visuell-motorischen Labyrinthen, durch das Drücken von Richtungstasten ersetzt.

In verschiedenen Studien hat sich der Perceptual Maze Test als sensitiv für Störungen kognitiver Funktionen nach Schädigung von frontalen, anterior temporalen und parietalen Hirnbereichen erwiesen. Anders als in Untersuchungen zu Raumlabyrinthen (z.B. Semmes et al. 1955) ließen sich hier, z.B. nach parietalen Läsionen, deutlichere Beeinträchtigungen nach Schädigung der rechten als der linken Hemisphäre beobachten (Elithorn 1955, 1964, Benton et al. 1963, Archibald 1978). Kritisch ist anzumerken, daß nach Einführung einer visuellen Reaktionsaufgabe als Kontrollaufgabe kein Einfluß der betroffenen Hemisphäre mehr zu beobachten war (Colonna & Faglioni 1966).

Bei einzelnen Labyrinth-Stimuli fanden sich unterschiedliche Sensitivitäten für frontale und posteriore Läsionen (Elithorn 1964). Dieses Ergebnis läßt sich als Hinweis darauf werten, daß die Leistungseinbußen beim Labyrinthlösen auf die Störung unterschiedlicher kognitiver Subfunktionen zurückführbar sind. Elithorn selber betonte bereits in seiner ersten Arbeit (1955), daß die bei der Bearbeitung von Labyrinthmustern eingesetzten kognitiven Prozesse vermutlich abhängig von der Schwierigkeit variieren. Unterschiedliche Schwierigkeiten der einzelnen Labyrinthvorlagen wurden dabei von Elithorn empirisch überprüft. Er vermutete, daß einfachere Muster mit Hilfe visuospatialer Scanning-Prozesse gelöst werden. Diese Prozesse würden dann jedoch mit zunehmender Schwierigkeit des Musters durch sequentiell ablaufende Suchprozesse nach dem Prinzip von 'Versuch-und-Irrtum' bearbeitet. Als wichtige Einflußgröße auf die Leistung in diesen Labyrinthaufgaben sieht Elithorn die Anzahl der in Wahrnehmungsprozessen gleichzeitig manipulierbaren Elemente. So verlangt diese Art von Aufgaben die Extraktion relevanter Reizmerkmale aus einer Vielzahl irrelevanter Bereiche des Wegnetzes und ihre Kombination zu einem Lösungsweg.

Neben diesen von Elithorn beschriebenen, in die Aufgabenlösung involvierten Prozessen, findet man den Perceptual Maze Test als Instrument zur Untersuchung von allgemeiner Intelligenz, visuospatialen Skills, visuell gesteuerten motorischen Planungsprozessen und der Fähigkeit zum Befolgen von Regeln (Levander 1987). Im Vergleich zu anderen Typen von Labyrinthaufgaben ist zu vermuten, daß diese Aufgabe in stärkerem Maße auch sprachgebundene Prozesse involviert, wie z.B. das Zählen berührter Kreise und den Vergleich mit der angegebenen Anzahl maximal erreichbarer Kreise.

Klinterberg, Levander & Schalling (1987) beschrieben bei der Lösung dieser Labyrinthaufgaben zwei verschiedene kognitive Stile. Sie unterschieden eine impulsiv-globale von einer eher reflektiert-sequentiellen Strategie. Zur Unterscheidung dieser beiden Strategien verwendeten sie als Parameter der Labyrinthlösung eine initiale Inspektionszeit (Zeit bis zur Ausführung der ersten motorischen Reaktion) und die Anzahl von Korrekturen (Entscheidungen, die durch Zurückgehen auf dem Weg ungültig für den Lösungsweg gemacht wurden). Von diesen eine Strategie kennzeichnenden Parametern unterschieden sie Parameter, die die Fähigkeit zur Wahrnehmung globaler Muster in einem Stimulus-Areal darstellen sollten: Hier verwendeten sie die Anzahl nicht identifizierter Wegpunkte und Zeitparameter, wie die mittlere Reaktionszeit an Wegverzweigungen, an denen eine korrekte Entscheidung getroffen wurde. Kritisch ist anzumerken, daß die Zuordnung der entwickelten Parameter zu den einzelnen postulierten Domänen kognitiver Prozesse nicht weiter empirisch belegt wurde.

Klinterberg, Levander und Schalling (1987) setzten impulsiv-globale und reflektiert-sequentielle Strategien in Beziehung zur Lateralisierung von Funktionen in den Hemisphären (Levander, Levander & Schalling 1989) und Geschlechtsunterschieden. Die linke Hemisphäre ist auf die Verarbeitung von Sprache spezialisiert, und kognitive Prozesse, die hier ablaufen, sind durch eine reflektiert-sequentielle Strategie gekennzeichnet. Die rechte Hirnhälfte dagegen ist überlegen bei der Verarbeitung visuospatialer Muster. Ihre kognitiven Prozesse sind als impulsiv-global beschreibbar. Je stärker die Lateralisierung der Funktionen, desto deutlicher werden diese Strategieunterschiede bei Vorlage eines geeigneten Reizes zu Tage treten. Bei Männern und bei rechtshändigen Personen soll nach Klinterberg, Levander und Schalling die Funktionslateralisierung stärker als bei Frauen und Linkshändern sein. Daher sollten sie deutlichere Anzeichen für ein impulsiv-globales Vorgehen bei der Bearbeitung der Stimulusvorlagen des Perceptual Maze Test zeigen. Partiiell konnten diese Hypothesen bestätigt werden. So benötigen linkshändige Frauen die längsten initialen Inspektionszeiten. Jedoch leidet die Studie daran, daß die Gruppen der linkshändigen Personen im Vergleich zu den Rechtshändern sehr klein wa-

ren (n=5 vs. n=21). Auch zeigten nicht die rechtshändigen sondern die linkshändigen Männer die am deutlichsten impulsiv-globale Strategie.

Ähnliche Strategie-Unterschiede sind auch in Abhängigkeit von den Persönlichkeitsdimensionen Extraversion/Introversion (Howard & McKillen 1990, Weinman 1987) beobachtbar. Extravertierte Personen tendieren zu impulsiv-globalen, introvertierte zu reflektiert-sequentiellen Labyrinthlösungen. Jedoch zeigte eine genauere Analyse von Fehlertypen, daß die höhere Zahl von Fehlern in der ersten Gruppe nicht gehäuft an den einzelnen Entscheidungspunkten auftritt (Weinman 1987, 1982).

Extraversion, bzw. Introversion lassen sich nicht mit einer prinzipiellen Bevorzugung von Geschwindigkeits- bzw. Akkuratheits-orientierter Strategie gleichsetzen. In visuell-motorischen Tischlabyrinthen erlernten Probanden mit hohen Introversionswerten das Labyrinth nicht nur akkurater, sondern auch schneller als Personen mit hohen Extraversionswerten (Malhotra, Malhotra & Jerath 1989). Ein Einfluß des Geschlechtes auf die Leistung wird von den Autoren nicht berichtet. Kritisch ist einzuwenden, daß die Autoren nur unpräzise Angaben bezüglich der Definition der abhängigen Variablen machen. So scheinen ihre Maße für Geschwindigkeit (Zeit bis zum dreifachen fehlerfreien Lösen der Labyrinth) und für Akkuratheit (Anzahl von Fehlern und Übungsdurchgängen) voneinander abhängig. Werden mehr Durchgänge benötigt, wird damit notwendigerweise auch mehr Zeit aufgewendet. Eine Trennung von Geschwindigkeits- oder Akkuratheitsbevorzugenden Strategien erscheint aufgrund dieser Parameterisierung schwer möglich.

Ghatan et al. (1995) untersuchten mit Hilfe von PET-Scans die bei der Lösung des Perceptual Maze Test beanspruchten Hirnstrukturen. Als Kontrollaufgaben verwendeten sie neben einer Ruhebedingung mit einem leeren Bildschirm eine weitere Kontrollbedingung, in der die Labyrinthgitter ohne zu berührende Kreise dargeboten wurden. Hier sollten die Probanden den Cursor durch zufälliges Betätigen der Taste durch das Wegesystem lenken. Im Vergleich zu der Ruhebedingung zeigten sich bei Bearbeitung der Labyrinthaufgaben u.a. über beiden Hemisphären deutliche Aktivierungen sekundärer visueller, sowie prämotorischer und präfrontaler Hirnareale. Mit einer Betonung der rechten Hemisphäre wurde eine Aktivierung des posterioren parietalen Kortex erkennbar. Vergleichbare, wenn auch weniger deutlich ausgeprägte Unterschiede ließen sich auch dann beobachten, wenn statt der Ruhebedingung die Kontrollaufgabe als Vergleichsmaßstab verwendet wurde.

Heute findet sich der Perceptual Maze Test u.a. in der Neuropsychologie als Instrument zur Untersuchung von Frontalhirnleistungen (Della et al. 1998), sowie im Rahmen gerontopsychiatrischer Untersuchungen (Poethig, Pögel & Roth 1985). Er wurde auch zur

Untersuchung der Wirkung unterschiedlicher psychopharmakologischer Substanzen wie etwa von Alkohol (Ingvar et al. 1998) oder von Neuroleptika (Elithorn, Mornington & Stavrou 1982) eingesetzt. Zur Differenzierung derartiger Substanzen hat sich diese Art der Labyrinthaufgabe bis jetzt jedoch nur als eingeschränkt nützlich erwiesen (King & Henry 1992).

2.4.1.3.2 Zweidimensionale Simulationen von Labyrinthen

Eine weitere Gruppe von Labyrinthaufgaben, bei denen das Labyrinth als Ganzes sichtbar ist, sind Aufgaben, bei denen ein Wegsystem in zweidimensionaler Darstellung Landkarten-ähnlich dargeboten wird (s. Abb. 2.6). Der Proband hat die Aufgabe, dieses Wegsystem von einem bestimmten Startpunkt zu einer vorgegebenen Zielregion zu durchfahren. In der Regel wird dabei ein Stift verwendet, der eine Spur des bereits gegangenen Weges hinterläßt. Die Struktur der verwendeten Labyrinthmuster erinnert dabei stark an die im Animalbereich verwendeten Labyrinth und reicht von sehr einfachen bis zu an den Grundriß des Hampton Court Labyrinthes angelehnten Vorlagen. In der Regel wird jedes Labyrinth nur einmal präsentiert und bei erfolgreicher Lösung ein als schwieriger eingeschätztes Labyrinthmuster vorgelegt.

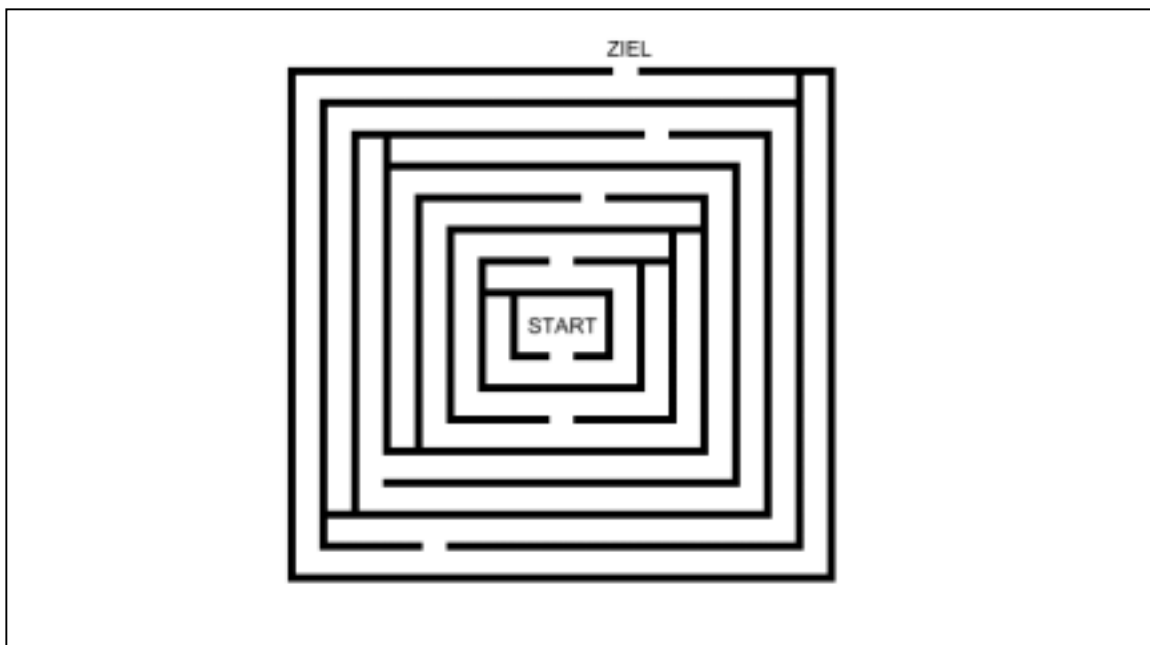


Abb. 2.6: Labyrinth in Anlehnung an die Items des Labyrinth-Test von Porteus (Porteus 1965)

Diese Art von Labyrinthaufgaben wird heute vor allem mit dem von Porteus (1914) entwickelten Labyrinthtest assoziiert. Mit den Erfolgen der Montessori-Pädagogik bei geistig behinderten Kindern zu Beginn des 20.ten Jahrhunderts, stellte sich das Problem, wie Kinder ausgewählt werden können, die von derartigen pädagogischen Programmen möglichst stark profitieren würden. Die zur Verfügung stehenden psychologischen Meßinstrumente, wie z.B. der Binet-Test, zeigten sich bald als zu abhängig von Bildung und verbalen Fähigkeiten. Aus dem Bemühen ein Verfahren zu konstruieren, daß sogenannte "praktische Intelligenz", definiert als ".. the ability to deal with things rather than words .." (Porteus 1965, Seite 2), erfaßt, entstand so der erste Labyrinth-Test in Melbourne, Australien. Der Labyrinth-Test sollte die Fähigkeit zur Planung und Voraussicht auf einem einfachen, der pädagogischen Fragestellung adäquaten Niveau erfassen.

Derartige Labyrinthaufgaben werden heute als Aufgaben zur Untersuchung von problemlösendem Denken verwendet. Dabei sollen sie v.a. visuell-räumliche Planungsprozesse und prozessorientiertes Problemlösen erfassen (s. von Cramon, Mai & Ziegler 1995, Lezak 1976). Sie ähneln damit Verfahren wie z.B. dem "Turm von Hanoi" (Simon 1975).

Planungsprozesse sind v.a. für die Lösung von Problemen von Bedeutung. Dabei läßt sich ein Problem definieren als die Transformation eines gegebenen Ausgangszustands (IST) in einen Zielzustand (SOLL). Abhängig von der Präzision mit der Ausgangs- und Zielzustand, sowie die notwendigen Transformationen bekannt sind, unterscheidet man schlecht- von gut-definierten Problemen. Sind Ziel- und Start-Zustand sowie die notwendigen Operationen bekannt, liegt kein "Problem", sondern lediglich eine "Aufgabe" vor (Hussy 1984). Als Komponenten von Problemlösungsprozessen werden u.a. Problemidentifikation und -analyse, die Auswahl und Modifikation von Lösungsstrategien in Abhängigkeit von Feedback sowie eine Bewertung der Effizienz betrachtet. Diesen Komponenten werden Steuerungs- oder Kontrollfunktionen zugeschrieben. Dies führte zu ihrer Bezeichnung als "exekutive Funktionen". Sie lassen sich trennen von elementareren Prozessen wie Stimulusdiskrimination, Merkmalsvergleichen oder Auswahl von Reaktionsalternativen (s. auch Metakomponenten und Komponenten niedrigerer Ordnung, Sternberg 1996).

Bei Labyrinthaufgaben handelt es sich am ehesten um ein "gut-definiertes" Problem, bei dem Ausgangs- und Zielzustand bekannt sind. Durch die Instruktion wird der Weg zur Lösung im Prinzip gegeben. Trotzdem bedarf es einer Problemlösung im Sinne der Auswahl einer Lösungsstrategie, sowie einer Anpassung dieser Strategie abhängig von Erfolg oder Mißerfolg. Dabei ist zu vermuten, daß Labyrinthaufgaben mit zunehmender Erfahrung eher als Aufgaben, denn als Probleme zu betrachten sind (s. auch Karnath,

Wallesch & Zimmermann 1991 zur Veränderung von "non-routine" zu "routine"-Situationen im Kontext von Labyrinthaufgaben).

Soll ein Ausgangszustand in einen Zielzustand übersetzt werden, sind Planungsprozesse notwendig. Planen läßt sich hier als ein in der Vorstellung durchgeführtes "Probehandeln" verstehen. Dabei werden Handlungsketten erstellt, die sich aus einzelnen Aktionen zusammensetzen. Beim Planen werden die einzelnen Aktionen auf ihre Konsequenzen hin überprüft und gegebenenfalls zu Handlungsketten verbunden. Diese werden dann wiederum in Bezug auf ihre Konsequenzen bewertet (Dörner 1990). Ein Plan läßt sich dabei als mentale Repräsentation des Ablaufes einer künftigen Handlung verstehen (von Cramon 1988). Er ist abhängig von Vergangenheit und Gegenwart und bezieht sich auf die Zukunft (Cranach et al. 1980). Hirnanatomisch wird mit Planungsprozessen das Frontalhirn in Beziehung gesetzt. Fuster (1989) schlägt den präfrontalen Kortex als übergeordnetes funktionelles System vor, das eine zeitliche Strukturierung von Verhalten auf dem Hintergrund eines sie verbindenden Zieles vornimmt. Ein derartiges System muß fähig sein, ein in der Zukunft liegendes Ziel zu antizipieren, einen Plan einschließlich der bereits abgearbeiteten Teilschritte bis zum Erreichen des Zieles zu speichern und interferierende Einflüsse zu regulieren.

An Porteus angelehnte Labyrinthaufgaben fanden sich im Lauf der Zeit in zahlreichen Zusammenstellungen wie beispielsweise dem „Graphischen“ Test von Buysse (s. Decroly & Buysse 1928), dem „Binetarium“ von Norden (1953) dem „Performance“-Test von Pinter & Paterson (s. Yoakum & Yerkes 1928) oder dem Labyrinth-Test von Chapuis (1959). Auch heute noch werden derartige Labyrinthaufgaben als psychometrische Untersuchungsinstrumente verwendet. Meist sind sie Teil einer umfassenderen Testbatterie. Ihr Einsatz reicht dabei von Intelligenztests bei Kindern z.B. als Teil der 'Wechsler Intelligence Scale' (WISC-R, Wechsler 1974, HAWIVA Eggert 1975, LT-P: Labyrinth-Test nach Porteus von Kramer 1971, s. auch CFT1 Weiss & Osterland 1977), über graphomotorische Entwicklungstests (Rudolf 1986) bis zur Verwendung in der Gerontopsychiatrie (Nürnberger-Alters-Inventar, NAI, Oswald & Fleischmann 1995, s. auch Mack & Patterson 1995, Mueller et al. 1990).

Porteus selber legte im Verlauf der Jahre zahlreiche Überarbeitungen der ursprünglichen Labyrinthserie vor, die durch Parallelformen für Meßwiederholungen und komplexere Vorlagen für die Untersuchung Erwachsener erweitert wurde (Porteus 1915, 1919, 1924, 1933, 1942, 1950, 1955, 1959a,b, 1965). Die verschiedenen Realisierungen variieren hinsichtlich der Anzahl von Versuchen, die ein Proband bei der Lösung eines einzelnen Labyrinthes hat, und der jeweiligen Art der Auswertung zu einem Testscore. So sieht Porteus z.B. - abhängig von den Schwierigkeitsstufen - nach Betreten einer Sackgasse

den Abbruch des aktuellen Lösungsversuches und eine erneute Vorlage des gleichen Labyrinthes vor. Bei Chapuis (1959) werden abhängig von der Eindringtiefe in eine Sackgasse unterschiedliche hohe Fehlerpunkte vergeben, bzw. zusätzlich zu der Anzahl von Fehlern die Bewertung des Zeitbedarfes in den Testscore mit einbezogen. Bei Porteus erfolgt die Auswertung über die Anzahl korrekt gelöster Labyrinthmuster. Dabei wird den einzelnen Schwierigkeitsstufen der Labyrinthvorlagen eine bestimmte Altersstufe, d.h. ein bestimmtes Testalter, zugeordnet. Fehler bei der Labyrinthlösung werden in Form einer Verminderung des Testalters verrechnet. Das Testalter soll die Fähigkeit eines Individuums zu Planungsprozessen abbilden.

Zusätzlich zur Bestimmung des Testalters gibt Porteus (1945) Richtlinien für eine qualitative Auswertung. Diese Auswertung bezieht sich vor allem auf die motorische Ausführung der Labyrinthlösung. Hier werden Fehler wie das Durchkreuzen von "Wänden", das Abheben des Stiftes vom Blatt während der Aufgabenlösung, sowie die Geschicklichkeit bei der Ausführung bewertet. Ähnlich der qualitativen Auswertung von Porteus gibt auch Chapuis (1959) - angelehnt an graphologische Methoden - Kriterien für die Bewertung von Variablen wie der Strichführung oder der Druckstärke an. Er wertet sie als Hinweise auf das Vorliegen bestimmter charakterlicher Merkmale, wie Selbstvertrauen, Selbstkontrolle oder Aktivität (Labyrinth-Test von Chapuis als "Charaktertest", Chapuis 1959).

Die qualitative Analyse (Q-Score) wurde von Porteus (1917, 1945) für die Beurteilung von straffälligen Jugendlichen eingeführt. Er ging davon aus, daß sich in diesem Wert impulsives, sich selbstüberschätzendes oder planloses Verhalten ausdrücke. Es spiegele sich aber auch die Tendenz, sich so sehr auf das Finden des Weges durch das Labyrinth zu konzentrieren, daß andere Aspekte der Aufgabenlösung, wie z.B. die motorische Umsetzung, vernachlässigt würden. Eine Trennung dieser beiden Bereiche anhand der qualitativen Auswertung ist jedoch nicht möglich. Die frühen Überlegungen von Porteus, daß der Q-Score ein eher uneinheitliches Maß darstellt, wurden durch spätere Studien bestätigt. Als Maß für impulsives Verhalten scheint dieser Score auch deshalb problematisch, da er durch die Durchführung der Aufgabe mit der nicht-dominanten Hand drastisch erhöht werden kann (Briggs 1963). Docter (1960a) zeigte, daß die einzelnen in den Q-Score eingehenden Fehlerkategorien untereinander nur schwach korrelieren. Für einzelne Fehlerkategorien ließ sich darüber hinaus ein höherer Zusammenhang zu der quantitativen Auswertung in Form des Testalters zeigen als zu den anderen qualitativen Fehlerkategorien. Eine faktorenanalytische Auswertung ergab zusätzliche Hinweise darauf, daß die Varianz der qualitativen Fehler nicht durch einen einheitlichen Faktor zu erklären ist und damit auch nicht allein auf das Konstrukt "Impulsivität" zurückgeführt werden kann. Trotz der Kritik an der Nutzung des Porteus Labyrinth-Test für die

Messung von impulsivem Verhalten (s. auch O'Keefe 1975, Milich & Kramer 1984) wird er in zahlreichen Arbeiten verwendet. Impulsivität wird dabei häufig als die Tendenz zu schnellen, nicht kontrollierten Reaktionen verstanden, die mit einer hohen Anzahl fehlerhafter Lösungen einhergeht. Dabei wird die Dimension Reflektiertheit - Impulsivität als kognitiver Stil verstanden (Kagan 1966). Korrelationen zwischen verschiedenen Ratingskalen für Impulsivität und dem Q-Score ließen sich sowohl bei Kindern (Nathawat & Bordia 1988) als auch bei Erwachsenen (Helmers, Young & Pihl 1995) zeigen.

Haupteinsatzbereich der Porteus-Labyrinth ist die Untersuchung von geistig behinderten, verhaltensauffälligen und hyperaktiven Kindern (Palkes, Stewart & Freedman 1971, Solanki & Sen 1980, Gow & Ward 1982a,b, Nathawat & Bordia 1988, s. auch Bondy et al. 1971) oder jugendlichen Straftätern (Docter & Winder 1954, Porteus 1954). Porteus weitete die Anwendung auch auf die Unterscheidung krimineller und nicht-krimineller Erwachsener, sowie von Studenten oder Arbeitnehmern mit zufriedenstellenden oder unbefriedigenden Leistungen aus und hält einen prognostischen Einsatz in diesen Bereichen für möglich (Porteus 1945). Neben der Beschreibung von Verhaltensauffälligkeiten wird der Porteus-Labyrinth-Test auch zur Beurteilung des Erfolges therapeutischer Interventionen v.a. bei hyperaktiven Kindern eingesetzt (Klein 1990, Connors & Taylor 1980, Firestone et al. 1978, Greenberg, Deem & McMahon 1972, Bugental et al. 1978, Palkes, Stewart & Kahana 1968).

Neben der Objektivierung impulsiven Verhaltens, zu dem v.a. der Q-Score herangezogen wird, wird der Porteus-Labyrinth-Test zumeist zur Untersuchung von Beeinträchtigungen der Planungsfähigkeit - in der Regel erfaßt über das Testalter - eingesetzt. Hier fungiert er nicht zuletzt als neuropsychologisches Untersuchungsinstrument, daß eine Beeinträchtigung beim Labyrinthlösen mit Dysfunktionen des Frontalhirns in Verbindung setzt (Kondo 1996, Peterson et al. 1990). Dies wird durch Studien gestützt, die Patienten mit postoperativen frontalen Schädigungen mit dem Porteus-Labyrinth-Test untersuchten. Ausgehend von den Arbeiten von Moniz (1937) wurde die präfrontale Leukotomie als Behandlung verschiedener psychiatrischer Erkrankungen wie z.B. Psychosen oder Zwangserkrankungen eingesetzt (Andy 1966). Riddle & Roberts (1978) unterstreichen die Bedeutung der Porteus-Labyrinth für die Objektivierung von operativ bedingten Schädigungen des Frontalhirns. Durch einen Mangel an geeigneten Untersuchungsverfahren seien Beeinträchtigungen intellektueller Funktionen nach psychochirurgischen Eingriffen in frontalen Hirnbereichen lange unterschätzt worden. Riddle & Roberts (1978) zeigen in einem methodenkritischen Überblick, daß die Folgen derartiger chirurgischer Eingriffe selbst durch den Labyrinth-Test - z.B. durch eine ungenügende Berücksichtigung von Übungseffekten - noch unterschätzt wurden.

Beeinträchtigungen im Labyrinth-Test sind abhängig von der Lokalisation der frontalen Läsion und der Dauer seit dem operativen Eingriff (Riddle & Roberts 1978). So führen posteriore Läsionen des Frontalkortex zu stärkeren Beeinträchtigungen als anteriore. Je kürzer die Zeit zwischen dem Auftreten der Schädigung und der Untersuchung mit dem Labyrinth-Test, desto deutlichere Defizite werden erkennbar. Dabei liegen auch nach ca. 3 Monaten, einem häufig eingesetzten Zeitraum für eine Kontrolluntersuchung, die Leistungen meist deutlich unter dem voroperativen Niveau. Langzeit-Follow-ups liegen nur vereinzelt vor und sprechen eher für auch nach Jahren noch existierende Defizite im Labyrinth-Test.

Während Auswirkungen von Schädigungen des Frontalhirns auf die Leistung im Porteus-Labyrinth-Test weitgehend als gesichert betrachtet werden können, liegen widersprüchliche Ergebnisse zu den Auswirkungen von Temporallappen-Läsionen vor. Während Meier & French (1966) weder nach links- noch nach rechtsseitiger Temporallappen-Lobektomie Beeinträchtigungen im Labyrinth-Test beobachten konnten, berichtet Porteus (1945, 1956) von Defiziten beim Labyrinthlösen nach Schädigung temporaler Hirnbereiche.

Während Patienten mit einer Amnesie deutliche Defizite bei der Lösung von taktil-motorischen oder visuell-motorischen Labyrinthaufgaben mit verdeckten Wegen (z.B. Milner, Corkin & Teuber 1968, Corkin 1965) zeigen, lassen sich derartige Beeinträchtigungen beim Bearbeiten von vollständig sichtbaren Porteus-Labyrinthaufgaben nicht beobachten (Brooks & Baddeley 1976).

Mit der Untersuchung der Gehirnaktivität gesunder Probanden während des Lösen vollständig sichtbarer Labyrinth beschäftigten sich Tremblay et al. (1994). Sie boten Labyrinth aus dem Stimulusmaterial von Porteus (1965) und Wechsler (1974) dar, die die Probanden in Form eines Papier-und-Bleistift-Verfahren lösen sollten. Um die für das Lösen eines Labyrinthes spezifischen kognitiven Prozesse zu isolieren, verwendeten sie eine Kontrollaufgabe, bei der der Weg durch das Labyrinth in Form einer gepunkteten Linie sichtbar war. Während Labyrinth-"unspezifische" kognitive Prozesse wie die Aufnahme und Analyse eines visuellen Stimulus oder die Kontrolle und Ausführung der Bewegung in beiden Aufgaben vergleichbar waren, unterschieden sie sich in Labyrinth-"spezifischen" Prozessen, nämlich dem Treffen von Entscheidungen. Die bei der Aufgabenlösung beanspruchten Hirnstrukturen wurden mit Hilfe einer EEG-Kohärenzanalyse untersucht. Die Kohärenz, als Analogon zu Korrelationskoeffizienten zwischen der elektrophysiologischen Hirnaktivität an Paaren von Elektroden im Frequenzraum, soll dabei ein Indikator für den Informationsfluß zwischen verschiedenen Hirnstrukturen sein. Ähnlich wie in anderen Studien zur zerebralen Bearbeitung von La-

byrinthaufgaben zeigt sich auch hier eine Beteiligung zahlreicher unterschiedlicher Hirnbereiche. Im Vergleich zu Kontrollaufgaben wurden beim Lösen von Labyrinthen deutliche präfrontale Kohärenzzunahmen beobachtet, die als Korrelat verstärkt beanspruchter Planungsprozesse unter Nutzung des Arbeitsgedächtnisses gewertet wurden. Darüber hinaus zeigen sich auch Änderungen in posterioren Regionen, die mit erhöhten Anforderungen an räumlich-perzeptive Prozesse in Verbindung gesetzt werden. Ein Anstieg der Kovariation zwischen posterioren und linkshemisphärisch-zentralen Elektrodenpositionen wurde als Hinweis auf verstärkte Anforderungen an die Koordination perzeptiver und motorischer Prozesse interpretiert.

Daß die Bearbeitung eines gut gelernten, vollständig sichtbaren Labyrinthmusters andere kognitive Prozesse erfordert als die eines gelernten visuell-motorischen Labyrinthes mit teilweise verdecktem Weg, zeigt eine Studie von Flitman et al. (1997). Er verglich die bei Bearbeitung dieser beiden Typen von Labyrinthaufgaben gemessenen Verhaltensdaten sowie die Aktivierung verschiedener Hirnbereiche mit Hilfe von PET.

Zur Lösung von Labyrinthen mit teilweise verdecktem Weg benötigten die Probanden auch nach der Lernphase deutlich länger als bei vollständig sichtbarem Weg. Dabei ist das Verhalten in den beiden Labyrinthtypen über die 11 untersuchten Probanden hinweg jedoch relativ hoch korreliert.

In Vergleich zu den vollständig sichtbaren Labyrinthen war bei Vorlage von Labyrinthen mit teilweise verdecktem Weg über der rechten Hemisphäre eine höhere Aktivierung im anterioren Cingulum, in Area 19 und in posterioren inferioren temporalen Bereichen zu beobachten. Über der linken Hemisphäre war die Aktivierung im dorsolateralen Frontalkortex (Area 6 und 8), im Gyrus angularis und dem mittleren temporalen Gyrus höher. Die Autoren setzen dies in Beziehung zur Wahrnehmung von Bewegung (Verschieben des Fensters), zur Verarbeitung der Form des im Fenster sichtbaren Labyrinthauschnittes bei der Rekonstruktion des Labyrinthmusters, zu höheren Anforderungen an Aufmerksamkeitsprozesse und möglicherweise zum Einbeziehen sprachlicher Prozesse. In der Aktivierung rechtshemisphärischer frontaler Hirnbereiche, die mit dem Einsatz von Prozessen des Arbeitsgedächtnisses v.a. bei der Verarbeitung spatialer Informationen in Verbindung gesetzt werden, zeigte sich - entgegen der Erwartung der Autoren - keine unterschiedliche Aktivierung in den beiden Aufgaben. Ähnlich ließ sich ebenfalls keine unterschiedliche Aktivierung hippocampaler Hirnbereiche beobachten. Dabei ist zu betonen, daß sich Flitman et al. (1997) auf die Analyse bereits gelernter Labyrinthe beschränkten. Prozesse, die bei der Lösung unbekannter Labyrinthe von Bedeutung sind, wie z.B. Planungs- und Sequenzierungsprozesse, und mit einer Aktivität frontaler Hirnbereiche in Beziehung gesetzt werden (Fuster 1989, Mesulam 1985), bleiben hier unberücksichtigt.

Schon Anfang des 20.ten Jahrhunderts wurde versucht, Labyrinthaufgaben für die Untersuchung kognitiver Störungen bei psychiatrischen Erkrankungen nutzbar zu machen. Schon 1911 stellte Kent in Einzelfallbeobachtungen Abweichungen kognitiver Funktionen bei Dementia Praecox während der Lösung von Labyrinthaufgaben vor. Parallel zur Erfassung der kognitiven Leistungsfähigkeit nach psychochirurgischen Eingriffen durch Labyrinth entwickelte sich auch mit dem Einsatz psychopharmakologischer Behandlungsstrategien das Interesse am Einfluß der verwendeten Substanzen auf die Leistung bei derartigen Aufgaben. So wurde eine Verbesserung von Leistungen im Labyrinth-Test nach Behandlung mit z.B. Chlorpromazin erwartet. Jedoch gelangte Porteus selber (1957a,b, 1965, Porteus & Barclay 1957) schnell zu der Einschätzung, daß eine kontinuierliche psychopharmakologische Behandlung zu deutlichen Leistungseinbußen führt:

"Recent research seems to point definitely to the fact that the changes that follow the continued use of one of the most effective of the tranquilizing drugs, chlorpromazine, include losses in alertness and capacity for successful prehearsal as measured by the Maze, and these occur in spite of the fact the psychotic symptoms subside so that improved patients are easier to live with." (Porteus 1958, S. 253)

Auch Wildman & Wildman (1975) zeigten einen massiven Leistungsabfall beim Labyrinthlösen schizophrener Patienten unter Medikation mit Chlorpromazin im Vergleich zu unmedizierten oder Patienten, bei denen die Substanz wieder abgesetzt worden war. Peters & Johns (1951) finden eine deutliche Verbesserung chronisch schizophrener Patienten im Labyrinth-Test in Folge einer 4-monatigen Gruppen-Psychotherapie im Vergleich zu einer routinemäßigen Betreuung.

In den letzten Jahren verwendeten Gallhofer et al. (1996a, b,1997) - angelehnt an den Labyrinth-Test von Porteus - computergestützte Labyrinthaufgaben zur Untersuchung von Patienten mit einer schizophrenen Erkrankung. Dabei konnten sie abhängig von der Erkrankungsdauer der Patienten längere Bearbeitungszeiten und längere Wege bei der Lösung von Labyrinth zeigen. Waren die Patienten länger erkrankt, zeigten sich diese Defizite besonders deutlich. Labyrinthaufgaben wurden hier auch zur Differenzierung der Wirkung unterschiedlicher neuroleptischer Substanzen eingesetzt (s. auch Meyer-Lindenberg et al. 1997). Dabei zeigten sich unter der Behandlung mit konventionellen neuroleptischen Substanzen wie z.B. Haloperidol deutlichere Beeinträchtigungen des Labyrinthlösungsverhaltens als bei unmedizierten oder mit atypischen Neuroleptika behandelten Patienten. Diese Effekte zeigten sich v.a. bei der Länge der zur Lösung eines Labyrinthes benötigten Wege und der Anzahl von - laut Instruktion zu vermeidenden - Wandberührungen.

Obwohl Modifikationen des Labyrinth-Tests nach Porteus (1965) bis heute eingesetzt werden, wird ihre Qualität als psychometrisches Instrument in Zweifel gezogen (s. Bri-

ckenkamp 1997). So gelten die verschiedenen Schwierigkeitsstufen von Labyrinthmustern als nicht empirisch belegt, es fehlen aktuelle Normen, sowie Untersuchungen der klassischen Gütekriterien für psychologische Tests wie Auswertungs-Objektivität, Reliabilität und Validität (Lienert 1961). Falls Reliabilitäten angegeben werden, sind diese relativ niedrig (z.B. für Test-Retest-Korrelationen bei gesunden Probanden $r=.29$, bzw. beim Vergleich der Parallelförmigen in einer klinischen Stichprobe $r=.55$, Porteus 1958, s.auch Docter 1960b). Im Gegensatz dazu wurde jedoch das Verhalten von Probanden bei der Lösung von Labyrinthaufgaben bei Meßwiederholungen nach einem Jahr als "...in geradezu frappierender Weise gleich ..." beschrieben (Chapuis 1959, Seite 95). Da die Durchführung der Untersuchung zum Teil von der Bewertung der Leistung abhängt, ergibt sich zumindest im Testverfahren von Porteus auch die Gefahr einer mangelnden Durchführungsobjektivität: Porteus (1965) fordert den Abbruch einer Labyrinthbearbeitung, wenn eine Sackgasse bis zu einem bestimmten Punkt betreten wurde, der Proband den Stift von der Papier-Vorlage abhob oder eine "Wand" durchkreuzte.

Vergleichbare Einwände bzgl. methodischer Probleme gelten auch für andere an Porteus angelehnte Versionen von Labyrinth-Tests (z.B. Labyrinth-Test von Chapuis 1959, Kramer 1971).

Ausgehend von den Nachteilen der aufwendigen Auswertung und der Begrenzung des Labyrinth-Tests auf die Messung von Einzelpersonen schlugen Nevo, Arronson & Israeli (1984) eine Modifikation vor. Sie legten Probanden 20 verschiedene Labyrinth vor. Diese waren jeweils durch einen Startpunkt und drei Ausgänge gekennzeichnet. Aufgabe des Probanden war zu beurteilen, ob und welche Ausgänge vom Startpunkt aus erreichbar waren. Im Gegensatz zu den ursprünglichen Aufgaben bestand die Aufgabenlösung hier also nicht in einem korrekten Durchfahren des Labyrinthes, sondern in der Auswahl einer von fünf möglichen Antworten (1-3: Ausgang 1, 2 oder 3 ist der einzige Weg aus dem Labyrinth, 4: es gibt mehrere Ausgänge, 5: kein Ausgang kann von der Startposition erreicht werden). Durch dieses Procedere ließ sich eine einfache Auswertung erreichen, die zu relativ guten Werten in Split-Half- ($r=.858$) und Test-Retest-Reliabilitäten ($r=.752$) führte. Der modifizierte Labyrinth-Test kann einfach als Gruppentestverfahren eingesetzt werden.

Ein Vergleich zwischen der Leistung in diesen Aufgaben und den klassischen Porteus-Labyrinth deutet jedoch darauf hin, daß beide Verfahren mit einer Korrelation von $r=.490$ nicht äquivalent sind. Dies erscheint nicht verwunderlich, da in dieser Form der Labyrinthaufgabe z.B. die Koordination von perzeptiven und motorischen Prozessen in den Hintergrund tritt. Auch entfällt die Möglichkeit zu Verhaltensbeobachtungen und zur Analyse der von Porteus als qualitative Leistung bezeichneten Fähigkeiten.

Trotz der skizzierten psychometrischen Probleme und der Aufwendigkeit der qualitativen Auswertung finden sich bis heute zahlreiche Publikationen, die den Porteus-Labyrinth-Test einsetzen. Dies mag darin begründet sein, daß derartige Labyrinthaufgaben eine hohe Oberflächenplausibilität besitzen. Von den Probanden wird in Form des Durchfahrens des Labyrinthes ein beobachtbares Verhalten verlangt, daß derartige Aufgaben als standardisierte Situationen für Verhaltensbeobachtungen geeignet macht (Kramer 1971). Darüber hinaus existieren kaum alternative Testverfahren zur Diagnostik von Problemlösungsleistungen, die eine bessere Qualität hinsichtlich der klassischen psychologischen Testgütekriterien erreichen (von Cramon & von Cramon 1995).

In der Literatur finden sich bis in die letzten Jahre Publikationen, die den Porteus-Labyrinth-Test für ein zu selten eingesetztes Instrument zur nonverbalen Untersuchung exekutiver Funktionen halten (Krikorian & Bartok 1998, Parker & Crawford 1992). Durch die Erstellung neuer Normierungen wird versucht einen Teil der Schwächen dieses Verfahrens zu korrigieren (Krikorian & Bartok 1998).

2.4.2 Intermittierende Variablen bei der Lösung von Labyrinthaufgaben

Für die einzelnen Typen von Labyrinthaufgaben wurde versucht, den Einfluß verschiedener Faktoren, wie Geschlecht, Alter oder allgemeine Intelligenz auf die Leistung beim Lösen von Labyrinthen zu untersuchen. Derartige Faktoren erlauben eine weitere Spezifikation der Eigenschaften menschlicher Informationsverarbeitung zusätzlich zur Charakterisierung durch experimentelle Variationen.

2.4.2.1 Der Einfluß des Alters auf das Lösen von Labyrinthaufgaben

Ein Einfluß des Alter auf die Leistung in Labyrinthaufgaben wurde in zahlreichen Untersuchungen mit unterschiedlichen Labyrinthaufgaben gezeigt. Dabei nehmen im Verlauf des Kindes- und Jugendalters Zeitbedarf und Fehlerzahl beim Lernen von Labyrinthen zunächst ab (Gould & Perrin 1916, Kallenbach 1979). Mit zunehmendem Alter ist dann wieder ein Abfall in den Leistungen zu beobachten. Er wird sowohl beim Erlernen von Laybrinthmustern (Gould & Perrin 1916, Mordock 1968, Takemoto et al. 1957), als auch beim Lösen von unbekanntem Labyrinthen mit sichtbarer Labyrinthstruktur erkennbar (Elithorn 1955, Davies 1965, Porteus 1959, Porteus, Bochner & Russel 1967, Chapuis 1959b). Die Leistung scheint sich v.a. jenseits des 60.ten Lebensjahres abrupt zu verschlechtern (Porteus, Bochner & Russel 1967, Pöthig, Pögelt & Roth 1985). Elithorn (1955) wertete die Altersabhängigkeit des Perceptual-Maze-Test sogar als Hinweis darauf, daß er sensitiv für organische Hirnschädigungen sei.

Kritisch ist hier jedoch anzumerken, daß zahlreiche Labyrinthaufgaben die für die Bearbeitung der Labyrinth notwendige Zeit als Leistungsparameter verwenden, oder sie mit der Fehlerzahl zu einem gemeinsamen Punktwert verrechnen. Damit stellt sich die Frage, inwieweit die bei zunehmendem Alter zu beobachtenden Leistungsminderungen lediglich auf eine allgemeine Verlangsamung zurückzuführen sind. Diese Vermutung wird durch Arbeiten von Weinman (1986) gestützt. Dennoch werden auch qualitative Änderungen im Lösungsverhalten erkennbar, die wahrscheinlich mit einer Reduktion der Fähigkeit zu Planungsprozessen in Verbindung stehen (Weinman 1986, Daigneault, Braun & Whitaker 1992).

2.4.2.2 Der Einfluß des Geschlechts auf das Lösen von Labyrinthaufgaben

Unterschiede zwischen den Geschlechtern bei der Lösung von Labyrinthaufgaben werden seit deren Einführung als Meßinstrument menschlicher Kognition diskutiert. Geschlechtsunterschiede wurden in verschiedenen Typen von Labyrinthaufgaben und bei Probanden unterschiedlichen Alters untersucht. Die Ergebnisse zeigen dabei jedoch ein eher uneinheitliches Bild. Sie reichen von einer Überlegenheit männlicher Probanden (z.B. Davies 1965, Kallenbach 1979, Zenhausern & Nickel 1979, Pöthig, Pögelt & Roth 1985, Klinteberg, Levander & Schalling 1987), über vergleichbare Leistungen beider Geschlechter (McGeoch & Irion 1961, von Bracken 1952, von Bracken & Kanter 1960, Alvis, Ward & Dodson 1989) bis zur Überlegenheit weiblicher Probanden (Cotler & Palmer 1970, Biersner 1980). Dabei scheint der Unterschied zwischen den Geschlechtern bei Labyrinthaufgaben, die primär auf taktilen statt auf visuellen Informationen beruhen, weniger deutlich ausgeprägt zu sein (Alvis, Ward & Dodson 1989, Biersner 1980). Einen ähnlichen Einfluß der Modalität auf die Ausprägung von Geschlechtsunterschieden findet sich auch in anderen spatialen Aufgaben. So sind Leistungsunterschiede zwischen Männern und Frauen bei mentalen Rotationsaufgaben durch die Modalität beeinflussbar (Berthiaume et al 1993). Jedoch sind die Ergebnisse zu Geschlechtsunterschieden auch dann widersprüchlich, wenn Labyrinthaufgaben und Stichproben vergleichbar sind. So konnten Nathawat & Bordia (1988) im Porteus-Labyrinth-Test keine Unterschiede zwischen männlichen und weiblichen Schulkindern zeigen, während Krikorian & Bartok (1998) leichte Leistungsvorteile für die männlichen Kinder beobachteten.

Diskutiert wurde auch, inwieweit Geschlechtsunterschiede abhängig von den verschiedenen Parametern der Labyrinthleistung nachweisbar sind. So wurde häufig beobachtet, daß die Fehlerhäufigkeiten vergleichbar sind, Männer jedoch weniger Zeit benötigen und in Lernversuchen früher eine stabile Leistung erreichen (Kallenbach 1979, Schumacher 1979, Ziegler 1987, Zimmermann 1988). Cotler & Palmer (1970) fanden keine Zeitunterschiede zwischen den Gruppen, aber weniger Fehler bei den Frauen. Diese Ergeb-

nisse führten zu der Annahme, daß Frauen eher reflektiert-sequentielle Strategien mit einer Betonung der Fehlerminimierung bevorzugen. Männer dagegen neigen zu impulsiv-globalen Strategien mit einer Betonung der Verarbeitungsgeschwindigkeit (Klinterberg, Levander & Schalling 1987).

Davies (1965) berichtet eine Abhängigkeit der Geschlechtsunterschiede vom Alter: Im Perceptual Maze Test ließen sich für die Altersgruppen von 20-60 Jahren mehr korrekt bearbeitete Labyrinth in der Gruppe der Männer zeigen. Dieser Unterschied verschwand jedoch in den höheren Altersgruppen (60-80 Jahre). Inwieweit dies Konsequenzen für das Verständnis von altersabhängigen Veränderungen hat, bleibt offen. Jedoch scheint es sinnvoll, Veränderungen mit zunehmendem Alter unter Berücksichtigung verschiedener Startegien bei der Labyrinthlösung neu zu beleuchten.

Instruktion, Angst und Leistungsmotivation beeinflussen die Ausprägung von Geschlechtsunterschieden, wie in verschiedenen Studien mit taktil-motorischen, multiplen T-Labyrinthen in der Arbeitsgruppe von Buchholz an der Philipps-Universität Marburg gezeigt werden konnte. Wird durch die Instruktion besonderer Wert auf die Geschwindigkeit der Aufgabenlösung gelegt, zeigen sich schnellere Zeiten bei männlichen im Vergleich zu weiblichen Probanden (Schuhmacher 1979, Ziegler 1987, s.auch Kallenbach 1979). Dabei nimmt die Geschwindigkeit bei weiblichen Probanden mit steigender Ängstlichkeit deutlicher ab. Bei Akkuratheitsinstruktion, d.h. der Betonung der Vermeidung von Fehlern, lassen sich keine Geschlechterunterschiede im Zeitbedarf beobachten (Alvis, Ward & Dodson 1989). Untersucht man Labyrinthleistungen in Wettbewerbssituationen, zeigen sich für beide Geschlechter sehr unterschiedliche Zusammenhänge zwischen diesen Variablen: Frauen mit hoher Leistungsmotivation und hoher Leistungs-Angst lösen das Labyrinth am langsamsten, während Männer mit hoher Leistungsmotivation und hoher Leistungs-Angst die schnellsten Lösungen erbrachten (Ziegler 1987). Unter Wettbewerbsbedingungen versuchen männliche Probanden die Zeit, weibliche Probanden dagegen eher die Fehler zu reduzieren (Zimmermann 1988). Finden Untersuchungen in wettbewerbsfreier Lernatmosphäre statt, besteht für die Probanden die Möglichkeit zur Auswahl individueller Lösungsstrategien. Hier lassen sich keine Zeitunterschiede zwischen männlichen und weiblichen Studenten nachweisen (Schmitz 1999). Ähnliche Ergebnisse zeigen sich auch in dreidimensionalen Raumlabyrinthen (Schmitz 1995, 1997, 1999).

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß Geschlechtsunterschiede in Labyrinthaufgaben durch zahlreiche Faktoren beeinflusst werden und sich eine Überlegenheit eines Geschlechtes nur in einzelnen Variablen und nur abhängig von spezifischen Bedingungen nachweisen läßt.

2.4.2.3 Der Einfluß von Hemisphären-Dominanz auf das Lösen von Labyrinthaufgaben

Schon seit Broca (1865) geht man davon aus, daß die beiden Hemisphären des Gehirns in unterschiedlicher Weise in den Ablauf kognitiver Funktionen einbezogen sind. Diese funktionelle Asymmetrie findet eine Entsprechung in einer Asymmetrie hirnanatomischer Strukturen.

Broca führte den Begriff der Hemisphärendominanz ein. Dabei bezeichnete er die Hemisphäre, die für sprachliche Prozesse verantwortlich ist als die dominante Hemisphäre. Heute wird die Spezialisierung der Hemisphären durch eine Vielzahl von Untersuchungen gestützt, wie z.B. die Untersuchungen kognitiver Prozesse bei Split-brain Patienten, d.h. Patienten bei denen die Verbindung zwischen den beiden Hälften des Gehirns durch eine Durchtrennung des Corpus Callosum weitgehendst unterbrochen ist (s. Sperry 1982).

Die dominante, d.h. in der Regel die linke, Hemisphäre wird mit der Verarbeitung sprachlicher Inhalte und rechnerisch-logischer Aufgaben verbunden. Die nicht-dominante, also die rechte, Hemisphäre dagegen sei auf visuell-räumliche Verarbeitungsprozesse spezialisiert.

Daraus ergab sich die Hypothese, daß Personen mit einer Dominanz der rechten Hemisphäre bessere Labyrinth-Löser sind als Personen mit Dominanz der linken Hemisphäre. Zenhausern & Nickel (1979) bestätigten diese Hypothese für die Lösung taktil-motorischer Tischlabyrinth. Mit Hilfe eines Fragebogen-Verfahrens wurden Probanden als eher rechts- bzw. eher linksdominant eingestuft. Beim Lösen von Labyrinth benötigten die rechts-dominanten Probanden weniger Durchläufe bis zum Erlernen des Labyrinthes. Darüber hinaus zeigten sie kürzere Bearbeitungszeiten innerhalb der einzelnen Durchläufe. Ähnlich beschreibt auch Beer (1988) eine Überlegenheit von rechts-dominanten Probanden hinsichtlich der Fehlerzahl beim Lösen eines Fingerlabyrinthes im Vergleich zu links-dominanten Probanden.

Die Bedeutung der Hemisphärendominanz findet sich häufig bei der Diskussion von Geschlechtsunterschieden. So wurde versucht, Unterschiede in den Leistungen bei visuell-räumlichen Aufgaben mit einer unterschiedlich stark ausgeprägten Hemisphärenspezialisierung in Verbindung zu setzen. Männer sollen eine stärkere Hemisphärenspezialisierung besitzen als Frauen. Ähnliche Unterschiede werden auch für die Händigkeit diskutiert. Im Vergleich zu Rechtshändern sollen Linkshänder keine oder eine umgekehrte Hemisphärenasymmetrie zeigen. Die Gültigkeit dieser Hypothesen ist jedoch umstritten (s. Kolb & Wishaw 1995, Schmitz 1999, McGlone 1980) und auch Untersuchungen auf der Basis dieser Überlegungen (Klinteberg, Levander & Schalling 1987) lieferten widersprüchliche Ergebnisse (s.o.). Teilweise kann die Bevorzugung unterschiedlicher Strate-

gien einfacher als durch Geschlechts- und Lateralisierungsphänomene durch die Wirkung intervenierender Variablen erklärt werden: Abhängig von Details der eingesetzten Untersuchungs-Methodik können emotionale Faktoren die Labyrinthlösung beeinflussen. So führt eine Tempo-Instruktion, wie bei Klinteberg, Levander & Schalling (1987) verwendet, abhängig vom Angstlevel der weiblichen Probanden zur Verstärkung von Geschlechtseffekten (Schumacher 1979, Ziegler 1987).

Neben allein auf der Hemisphären-Dominanz beruhenden Erklärungen von Geschlechtsunterschieden ist sicherlich die Kontrolle zusätzlicher, nicht biologischer Faktoren notwendig. So zeigen Mädchen schlechtere Leistungen als Jungen, wenn eine Aufgabe als stark räumliche Fähigkeiten beanspruchend beschrieben wird. Wird dagegen betont, daß es sich um eine Aufgabe handelt, die frei von der Beanspruchung räumlicher Fähigkeiten ist, verschwindet der Unterschied zwischen den Geschlechtern (Sharps et al. 1993).

2.4.2.4 Der Einfluß von Angst auf das Lösen von Labyrinthaufgaben

Der Einfluß von Angst auf kognitive Prozesse ist in der Psychologie seit langem bekannt (Heckhausen 1980, Alpert & Haber 1960). Auch bei der Lösung von Labyrinthaufgaben konnte in verschiedenen Studien ein Zusammenhang zwischen der Leistung und der Höhe von Angst gezeigt werden. Erhöhte Angst führt zu einer Zunahme des Zeitbedarfes (Cotler & Palmer 1970, Fröhlich & Euler 1967, Zimmermann 1988), der Fehler (Farber & Spence 1953) oder auch zu beidem gleichzeitig (Palermo et al. 1956). Bei hohen Angstwerten treten vermehrt Abbrüche der Untersuchung auf (Neidhart 1981). In Tischlabyrinthen gaben Probanden an, zur Erreichung eines höheren Gefühls der Sicherheit Umwege zu wählen oder die Verarbeitungsgeschwindigkeit zu reduzieren (Feldkamp 1989). Der Einsatz von Entspannungsmethoden führt neben einer Reduktion der Angst auch zu besseren Leistungen im Porteus-Labyrinth-Test (Owen & Lanning 1982).

Schmitz (1995) zeigte den unterschiedlichen Effekt verschiedener Komponenten von Angst auf die Leistung in einem Raumlabyrinth. Sie unterschied allgemeine Ängstlichkeit ('anxiety') von Aufgaben-orientierter Furcht ("fear"). Während beide Arten von Angst Einfluß auf den Zeitverbrauch nahmen (Je höher die Angst, desto länger die benötigte Zeit zum Durchqueren des Labyrinthes.), zeigte sich nur bei Aufgaben-spezifischer Angst ein Zusammenhang zu der Anzahl von Fehlern: Je höher die Aufgaben-spezifische Angst, desto höher die Fehlerzahl. Schmitz beobachtet in ihrer Studie v.a. bei der Exploration eines neuen Labyrinthes Geschlechtsunterschiede im Sinne besserer Leistungen bei männlichen Probanden. Diesen Unterschied führt sie auf den Einfluß der bei weiblichen Probanden in verschiedenen Angstfragebögen durchgängig höheren Angstwerte zurück. Die Höhe der Angst beeinflußt zumindest tendentiell auch die einge-

setzte Navigations-Strategie (Schmitz 1999). Probanden mit hohen Angstwerten berichten eine größere Anzahl von wahrgenommenen Landmarken, während bei niedriger Angst eher richtungsbezogene Orientierungsinformationen angegeben werden; d.h., wenn ängstliche Probanden langsamer ein Labyrinth durchqueren, erwerben sie umfangreicheres Wissen über Landmarken, die in frühen Stufen des Lernens ein sicheres Finden des Weges ermöglichen (s. Schmitz 1995). Dies scheint auch für die Interpretation von Geschlechtsunterschieden relevant, da sich bei weiblichen Probanden häufig höhere Werte in Angst-Ratings zeigen (Lawton 1994).

Ähnlich den Ergebnissen von Schmitz (1995, 1997, 1999) ließ sich auch in klinischen Stichproben ein Zusammenhang zwischen Leistungen in Labyrinthaufgaben und verschiedenen Aspekten von Angst zeigen (Gass, Ansley & Boyette 1994). Während allgemeine Angst keinen Einfluß auf die Leistung in Labyrinthaufgaben hatte, zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang zu einem Angstwert, der hoch spezifische Ängste erfaßt.

2.4.2.5 Der Einfluß von Intelligenz auf das Lösen von Labyrinthaufgaben

Der Zusammenhang zwischen der Leistung in Labyrinthaufgaben und allgemeiner Intelligenz ist immer wieder Gegenstand von Untersuchungen gewesen. Die Ergebnisse sind widersprüchlich.

Eine mögliche Erklärung liegt darin, daß Intelligenz mit einer Vielzahl unterschiedlicher Testverfahren, den sogenannten Intelligenztests, gemessen wird. Die Leistung in diesen Verfahren wird dabei üblicherweise als Intelligenzquotient (IQ) ausgedrückt. Empirisch bestimmten Punktwerten in einem Intelligenztest werden unter Berücksichtigung von Populationsparametern Intelligenzquotienten zugeordnet. Binet drückte die Leistung von Kindern in einem Testverfahren im sogenannten Intelligenzalter aus, d.h. dem Alter, in dem Kinder normalerweise einen bestimmten Testwert erreichen (s. Zimbardo 1983). Der IQ wurde definiert als das Verhältnis zwischen dem Intelligenzalter (IA) und dem tatsächlichen Lebensalter (LA) des Kindes ($IQ = \frac{IA}{LA} * 100$). Entsprechen sich die beiden Leistungen, ergibt sich ein IQ von 100, der einer für das betreffende Lebensalter durchschnittlichen Leistung in einem Testverfahren entspricht.

Daraus folgt, daß der IQ letztendlich immer von der empirisch bestimmten Verteilung von Testwerten eines bestimmten Testverfahrens in einer bestimmten Population abhängt. Dies führte zu der Definition von Intelligenz als "das, was Intelligenztests messen" (Zimbardo 1983).

Intelligenztests liegen in einer Vielzahl unterschiedlicher Verfahren vor, die alle nur einen Ausschnitt möglicher Leistungen erfassen. Es stehen Verfahren, die in Subtests verschiedene Leistungsbereiche erfassen (z.B. IST Amthauer 1970, HAWIE Wechsler

1974) Verfahren gegenüber, die lediglich aus einer Aufgabe (Progressive oder Coloured Matrices, Raven 1938, 1976) bestehen. In den einzelnen Testverfahren variiert der Anteil von eher verbalen gegenüber non-verbalen Subtests, sowie die Einbeziehung der Verarbeitungsgeschwindigkeit in die Bewertung.

Zusätzlich ergibt sich das Problem, daß die Intelligenzquotienten als normierte Werte mit Parametern der Labyrinthlösung verrechnet werden, für die häufig - v.a. bei eher experimentellen Untersuchungen - keine entsprechenden Normierungen vorliegen; d.h. ein alterskorrigierter Wert wird mit einem alterskonfundierten Wert verglichen, was möglicherweise zu einer Verzerrung des Zusammenhanges zwischen den beiden Maßen führt.

Auf der anderen Seite finden sich auch bei den Labyrinthaufgaben - neben Unterschieden, die durch die verschiedenen Typen von Aufgaben gegeben sind - verschiedene Parameter zur Beschreibung der Leistung beim Labyrinthlösen, die dann in die Korrelationsberechnungen einbezogen wurden. So werden die Anzahl von Durchgängen bis zur fehlerfreien Bearbeitung eines Labyrinthes, die Zeit oder auch aus verschiedenen Parametern berechnete Indizes (s. Kallenbach 1976, 1979) verrechnet.

Prinzipiell zeigen sich bei den meisten Untersuchungen eher geringe Zusammenhänge ($r=0.1$ - $r=0.5$) zwischen IQ und Parametern der Labyrinthlösung. Dies gilt für die Verwendung von "high relief" Finger-Labyrinthen (Thompson & Witryol 1946) und visuell-motorischen Labyrinthen mit verdecktem Weg (Bracken & Kanter 1960, Kallenbach 1979) ebenso wie für den Porteus-Labyrinth-Test (Tizard 1951, Krikorian & Bartok 1998). Höhere Zusammenhänge scheinen sich einerseits bei der Untersuchung von Personen mit unterdurchschnittlichem Intelligenzniveau wie z.B. bei Sonderschülern (Kanter 1967, Ellis et al. 1960) zu zeigen, andererseits bei der Verwendung von non-verbalen Intelligenztest wie den "Progressive Matrices" von Raven (Raven 1938, 1976, z.B. beim Perceptual Maze Test, Davies 1965 oder dem Porteus-Labyrinth-Test, Nathawat & Bordia 1988).

Auf dem Hintergrund der Einführung von Informationsverarbeitungsmodellen in die Psychologie und der zunehmenden Kritik an Konzepten eines "allgemeinen Intelligenzfaktors" scheint die Frage zwischen dem Zusammenhang von IQ und Leistungen in Labyrinthaufgaben falsch gestellt. Dies mag zusätzlich daran veranschaulicht werden, das z.B. der Porteus-Labyrinth-Test selber als Instrument zur non-verbalen Messung von Intelligenz eingeführt wurde.

2.4.3 Zusammenfassung

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß sich Labyrinthaufgaben als ein sinnvolles Instrument zur Untersuchung räumlicher Orientierungsprozesse erwiesen haben. Dabei sind Labyrinthaufgaben jedoch nicht als ein einheitliches Untersuchungsinstrument zu verstehen. Sie induzieren abhängig von der Realisierung der Labyrinthstruktur, den zur Verfügung stehenden sensorischen Informationen und anderen Faktoren, wie z.B. der Instruktion, unterschiedliche kognitive Strategien und kognitive Prozesse. Zur Lösung der verschiedenen Labyrinthaufgaben sind nicht nur isolierte kognitive Subfunktionen, die an wahrscheinlich lokalisierbare Hirnstrukturen gebunden sind, notwendig, sondern es liegt vermutlich eine komplexe Interaktion einer großen Anzahl verschiedener Funktionen und Hirnareale vor.

Labyrinthaufgaben haben sich als sensitiv gegenüber Schädigungen zerebraler Strukturen erwiesen. Problematisch ist jedoch, daß sich die einzelnen Läsionen weniger in einem Alles-oder-Nichts-Prinzip, sondern vielmehr graduell auf die Lösung von Labyrinthaufgaben auswirken. Dies ist vornehmlich durch die Überlappung von Funktionen der an der Labyrinthlösung beteiligten Hirnareale und den sich dadurch ergebenden Möglichkeiten zur Kompensation von Defiziten erklärlich. Eine Ausnahme mag hier das Auftreten spezifischer Fehlertypen bei Schädigung des Frontalhirns sein.

Auf der Basis von Labyrinthaufgaben allein ist es schwer möglich, die einzelnen an der Lösung beteiligten Subprozesse und ihre Relation zueinander zu bestimmen. Bei der Interpretation gestörter Kognition werden daher meist Zusatzinformationen aus anderen Testverfahren herangezogen und indirekt auf die beteiligten Prozesse geschlossen.

Die Leistung in Labyrinthaufgaben ist immer von zahlreichen Faktoren abhängig. Neben der Gestaltung der Reize, der Art der Response ist hier u.a. auch die Instruktion von besonderer Bedeutung. Werden diese Faktoren bei der Realisierung von Labyrinthaufgaben nicht hinreichend berücksichtigt oder auch in Studien nicht berichtet, kann dies zu scheinbar widersprüchlichen Ergebnissen, wie z.B. bei der Bewertung von Geschlechtsunterschieden, führen. So formulierte bereits 1965 Porteus in bezug auf den von ihm entwickelten Labyrinthtest:

" ... without uniformity of form and method, only confusion can result. It should be emphasized that the method and rules set forth herein are an essential part of the tests themselves. In other words, the rules make the game." (Porteus, 1965, S. 246).)

Auf der anderen Seite jedoch ist die einfache experimentelle Modifizierbarkeit von Labyrinthaufgaben eine potentielle Stärke dieser Aufgaben. Ist man an der Zusammensetzung und Beeinflußbarkeit einzelner kognitiver Subprozesse interessiert, sollten Laby-

rinthaufgaben eine Vielzahl von Möglichkeiten bieten, die bei einer Lösung eingesetzten kognitiven Prozesse zu manipulieren.

3. Fragestellung

Labyrinthaufgaben haben sich als nützliche Instrumente bei der Untersuchung kognitiver Prozesse erwiesen. Dabei beanspruchen sie jedoch nicht isoliert eine bestimmte kognitive Leistung, sondern eine Vielzahl unterschiedlicher elementarer kognitiver Subprozesse, die in komplexer Interaktion miteinander das Verhalten bei der Lösung von Labyrinthaufgaben bestimmen.

Eine Differenzierung der einzelnen beanspruchten kognitiven Prozesse ist oft nur schwer möglich. So kann eine schlechte Leistung in Labyrinthaufgaben z.B. auf verlangsamte motorische Abläufe, Probleme bei der Strukturierung komplexer visueller Reizvorlagen, eine eingeschränkte sensomotorische Koordination, eine verminderte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses, verminderte Aufmerksamkeit, Probleme bei Aufbau und Nutzung mentaler Repräsentationen, bei Planung und Sequenzierung von Prozessen oder einer Koordination dieser verschiedenen Subprozesse, zurückzuführen sein.

Die Vielzahl der beanspruchten kognitiven Prozesse stellt dabei einerseits einen Vorteil von Labyrinthaufgaben dar. Der Einsatz und die Koordinierung unterschiedlichster kognitiver Prozesse entspricht den Anforderungen des alltäglichen Lebens. Damit sind Labyrinthaufgaben - zumindest im Vergleich zu den typischen "Labor"-Aufgaben der klassischen Reaktionszeiterlegung - sehr realitätsnahe Untersuchungsanordnungen, bei denen die Hoffnung besteht, kognitive Prozesse in einer Form zu untersuchen, die Aussagen über die Fähigkeit zulässt, die alltäglichen Anforderungen der Umwelt zu bewältigen.

Andererseits liegt in der Vielzahl notwendiger und miteinander interagierender kognitiver Prozesse auch ein Nachteil dieser Aufgaben. Soll nicht nur eine allgemeine Beurteilung im Sinne einer "beeinträchtigten" Leistung vorgenommen werden, sondern eine gestörte kognitive Funktion im Rahmen psychiatrischer Grundlagenforschung isoliert und exakt beschrieben werden, ist die Verwendung von Labyrinthen als Untersuchungsparadigma problematisch, da die einzelnen an der Bearbeitung der Aufgaben beteiligten kognitiven Funktionen oft nur schwer zu trennen sind. Dieser Aspekt spielt auch eine Rolle, wenn Labyrinth zur Aktivierung von Hirnstrukturen in der Forschung mit bildgebenden Methoden eingesetzt werden. Schon seit Ende des 19.ten Jahrhunderts wird versucht, kognitive Teilfunktionen zerebral zu lokalisieren (Farah 1988, Shallice 1988, Zeki 1993). Mit der Entwicklung bildgebender Verfahren rückte diese Fragestellung in den letzten Jahrzehnten zunehmend in das Interesse der kognitionpsychologischen Forschung (Posner 1993). Dabei interessiert nicht nur die Beanspruchung einzelner Hirnstrukturen bei gesunder Kognition, sondern auch der Zusammenhang zwischen gestörter Kognition und dysfunktionalen Hirnstrukturen z.B. in der klinischen Neuropsychologie oder im Kontext

psychiatrischer Grundlagenforschung. Eine Zuordnung von räumlich und zeitlich lokalen zerebralen Aktivierungsmustern zu kognitiven Prozessen erscheint jedoch nur auf der Basis klar definierter theoretischer Annahmen bezüglich der in einem bestimmten Untersuchungsparadigma ablaufenden Subfunktionen und ihrem Timing möglich (Marr 1982, Friston 1997a).

Um den Einsatz von Labyrinthaufgaben als vielversprechendes und vor allem realitätsnahes Untersuchungsparadigma bei der Untersuchung zerebraler Aktivität zu ermöglichen, ist daher die Entwicklung algorithmischer Modellvorstellungen (Marr 1982) mit Hypothesen darüber, wann in der Verarbeitung von Labyrinthen welche Subfunktionen beansprucht werden, notwendig. Dies wiederum setzt eine umfassende Kenntnis der stimulus- und instruktionsseitigen Determinanten der Labyrinthverarbeitung sowie der Auswirkungen von unterschiedlichen motorischen Verhaltensweisen und von intervenierender Variablen wie etwa Aufmerksamkeit, Geschlecht und emotionalen Faktoren auf die Lösung voraus. Die Analyse von Effekten dieser Faktoren auf Verhaltensmaße der Labyrinthlösung ist denn auch zentrales Anliegen der vorliegenden Arbeit. Ein wesentliches Ziel ist dabei die systematische, isolierende Variation (Zimbardo 1983) von Merkmalen der Labyrinthaufgaben, d.h. von Merkmalen der Labyrinthstruktur, aber auch Merkmalen der zur Lösung der Labyrinth notwendigen Bewegungen.

Die Forderung nach Kontrollbedingungen für Labyrinthaufgaben ist in der Literatur häufig gestellt worden. So sah es schon O'Neil (1978) als notwendig an, daß zusätzlich zu Labyrinthaufgaben immer weitere Untersuchungen durchgeführt werden, die eine Abschätzung der Bedeutung verschiedener perceptiver und kognitiver Prozesse für die Lösung erlauben. Über Korrelationen zwischen diesen Verfahren und Parametern der Labyrinthlösung seien Aussagen über die auf verschiedenen Stufen des Labyrinthlernprozesses beanspruchten kognitiven Funktionen möglich (s. z.B. Kallenbach 1979).

Ein vergleichbares Vorgehen findet man in neuropsychologischen Arbeiten, die Labyrinthaufgaben einsetzen (Milner 1965, Corkin 1965). Bei der Suche nach Dissoziationen (s. Krieger 1999) wird durch den Einsatz zusätzlicher, meist testpsychologischer Untersuchungsinstrumente versucht, die funktionalen Folgen von lokalisierten Läsionen einzugrenzen. Eine verwandte Forschungsstrategie ist es, Gruppen von Patienten mit unterschiedlichen Hirnschädigungen zu bilden, die sich in zusätzlich eingesetzten Untersuchungsinstrumenten nicht in ihrer Leistung unterscheiden. Lassen sich trotzdem Unterschiede bei der Lösung von Labyrinthaufgaben beobachten, werden diese auf kognitive Funktionen zurückgeführt, die nur bei Bearbeitung der Labyrinthaufgaben, nicht jedoch in den anderen eingesetzten Untersuchungsinstrumenten beansprucht werden (s. z.B. Karnath, Wallesch & Zimmermann 1991).

Bei dem Vorgehen, Labyrinthaufgaben mit testpsychologischen Untersuchungsinstrumenten zu kombinieren, ergibt sich jedoch das grundsätzliche Problem, daß sich die zusätzlichen Kontrollmessungen in einer Vielzahl von Faktoren von den interessierenden Labyrinthaufgaben unterscheiden. So variieren z.B. die Aufgaben meist hinsichtlich der Art der geforderten kognitiven und motorischen Reaktion, der Art und Komplexität des Stimulusmaterials oder auch der Betonung von eher Geschwindigkeits- oder Akkuratheits-bezogenen Lösungen durch die Instruktion. Nur dann, wenn in den Kontrollmessungen keinerlei Leistungseinbußen im Vergleich zu einem Normierungskollektiv oder gegenüber Vergleichsgruppen erkennbar werden, kann man davon ausgehen, daß die in dem entsprechenden Verfahren erfaßten Funktionen nicht für die Leistungseinbußen im Labyrinth verantwortlich sind. Vorausgesetzt wird jedoch, daß das Ausmaß der Beanspruchung der in Frage stehenden Subfunktionen in den Labyrinthaufgaben und den Zusatzmessungen vergleichbar ist. So ist denkbar, daß die Anforderungen an einen kognitiven Teilprozeß in einem Zusatzinstrument vergleichsweise niedrig sind, und die Aufgaben auf diesem Niveau von Patienten gerade noch erfolgreich bewältigt werden können. In Labyrinthaufgaben dagegen könnten die Anforderungen an dieselben kognitiven Prozesse die Leistungsmöglichkeiten übersteigen. Jedoch ist schon die Voraussetzung eines identischen Leistungsniveaus bei der Untersuchung klinischer Stichproben im Vergleich zu Kontrollkollektiven nahezu unerfüllbar, da sich hier fast immer - häufig unspezifische - Leistungseinbußen beobachten lassen. Darüber hinaus sind Labyrinthaufgaben in ihrer Beanspruchung kognitiver Prozesse so komplex, daß selbst dann, wenn es möglich ist, einzelne Teilfunktionen als unbeeinträchtigt zu identifizieren, eine Isolierung der einer schlechten Labyrinthleistung zugrunde liegenden Funktion noch nicht erreicht ist.

In der vorliegenden Arbeit soll versucht werden, in einer Serie von Experimenten mit gesunden Probanden Informationen über die an der Labyrinthlösung beteiligten kognitiven Prozesse zu gewinnen. Zum Ausschluß von Alternativerklärungen werden dabei unter Konstanthaltung der die Aufgabe charakterisierenden Faktoren isoliert einzelne Merkmale der Labyrinthaufgabe experimentell variiert. Die Konstruktion der in den verschiedenen Experimenten verwendeten Aufgaben folgt der Idee der Donders'schen Subtraktionsmethode (Donders 1868, s. 2.1). Es werden Paare von Aufgaben gebildet, die - mit Ausnahme eines interessierenden Aspektes - identische kognitive Teilfunktionen beanspruchen. Entsprechend der "Methode der additiven Faktoren" (Sternberg 1969) als Verallgemeinerung der Methode von Donders wird durch den Einsatz meist zweifaktorieller varianzanalytischer Designs versucht, Rückschlüsse auf die zugrundeliegenden kognitiven Teilprozesse zu ziehen. Dabei werden Haupteffekte in der Varianzanalyse als

Hinweis auf das Vorliegen einer Wirkung der experimentellen Variablen auf einen bestimmten hypothetischen Teilprozeß gewertet. Es wird davon ausgegangen, daß dessen Eigenschaften mit Hilfe der verwendeten unabhängigen Variablen charakterisierbar sind. Beim Vorliegen von Interaktionen zwischen unabhängigen Variablen kann man davon ausgehen, daß im allgemeinen zusätzliche, bislang weniger bekannte Subfunktionen beteiligt sind. Die interagierenden Variablen können hier erste Hinweise für deren Charakterisierung geben. Interaktionen zwischen Gruppierungsfaktoren, etwa dem Geschlecht der Probanden, und experimentell manipulierten Größen können als Hinweis darauf dienen, daß in der einen Gruppe bestimmte kognitive Subprozesse beansprucht werden, und in der anderen nicht, d.h. daß sich die Organisation der Verarbeitungsprozesse identischer Stimuli unterscheidet.

Traditionell werden bei der Untersuchung von Labyrinthlösungsprozessen vergleichsweise globale quantitative Maße erfaßt. So geht beispielsweise in die Lösungszeit sowohl die Zeit, in der ein Proband einen Stift oder Cursor durch ein Labyrinth bewegt, wie auch die Zeit ein, in der die Unsicherheit über die nächsten zu vollziehenden Lösungsschritte so groß ist, daß die Bewegung sistiert. Es ist anzunehmen, daß in beiden Zeitstrecken unterschiedliche kognitive Prozesse ablaufen, die sich durch eine getrennte Erfassung besser charakterisieren lassen. Daher soll zusätzlich zur experimentellen Beeinflussung von Teilprozessen versucht werden, durch die Entwicklung neuer Parameter das Verhalten bei der Labyrinthbearbeitung präziser zu erfassen und damit die an der Lösung beteiligten kognitiven Prozesse genauer zu kennzeichnen.

Neben Merkmalen der Labyrinthaufgaben, die experimentell manipuliert werden können, nehmen verschiedene intermittierende Variablen Einfluß auf die Leistung in Labyrinthaufgaben (vgl. 2.4.2). Von besonderer Bedeutung scheint dabei das Geschlecht der Probanden. In den verschiedenen Untersuchungen der vorliegenden Arbeit wird daher der Faktor „Geschlecht“ als Gruppierungsvariable eingesetzt.

Verhalten in einer natürlichen Umwelt ist immer von einem komplexen Wechselspiel von eher perzeptiven Prozessen und offenen oder verdeckten Aktionen (motorische Handlungen oder z.B. Umfokussierungen der Aufmerksamkeit auf weitere Reizmerkmale) gekennzeichnet. Abfolgen von Wahrnehmungsprozessen, Analyse und Handlungen werden wahrscheinlich schleifenförmig wiederholt, bis ein zuvor definiertes Ziel erreicht ist (vgl. Miller, Galanter & Pribram 1960 ‚Test-Operate-Test-Exit‘- (TOTE-) Einheit, Krieger 1999). Dies soll in der vorliegenden Arbeit unter Verwendung von Aufgaben, die denen im Labyrinth-Test von Porteus (1965) entsprechen, experimentell simuliert werden. Dieser Aufgabentyp verlangt in besonderem Maße die Koordination der Aufnahme und Verarbeitung visueller Informationen mit Bewegungen. Darüber hinaus erscheint er als be-

sonders geeignet für die Entwicklung von Kontrollbedingungen, da – besonders in einer computerisierten Darbietung und Verhaltenserfassung – Modifikationen der Displays und/oder der Cursorsteuerung, d.h. der Bewegungsrückmeldung, möglich sind.

Labyrinth sind definiert als Wegsysteme, innerhalb derer an verschiedenen Punkten Entscheidungssituationen in Form von Weggabelungen auftreten. In der Regel führt dabei lediglich eine Wegalternative weiter zum Ziel, während die andere eine Sackgasse bildet.

Bei der Lösung von Labyrinth sind mehrere Strategien denkbar. So kann im Sinne verdeckten, symbolischen Probedhandelns ein kompletter Weg durch das Labyrinth gefunden werden. Die sich hier ergebende mentale Repräsentation des Lösungsweges wird wahrscheinlich zwischengespeichert und als Handlungsanweisung in eine Bewegungssequenz umgesetzt. Bei deren Ausführung wird vermutlich die mentale Repräsentation des Lösungsweges im Zwischenspeicher zur Kontrolle der Bewegungen verwandt. Wird der Weg nicht in seiner Gesamtheit, sondern zerlegt in einzelne, partielle Strecken analysiert, werden die beteiligten kognitiven und aktionalen Prozesse vermutlich in Schleifen wiederholt durchlaufen. Auch hier kann davon ausgegangen werden, daß mentale Repräsentationen der Labyrinthtopographie, des schon gegangenen Weges und der Zielposition in einem Zwischenspeicher verfügbar gehalten werden.

Im Gegensatz zu diesen Strategien, die stark durch Exploration und Analyse möglicher Wege mittels mentalem Probedhandeln (Planen) ohne offenes Verhalten im Sinne von Bewegungen eines Stiftes durch das Labyrinth gekennzeichnet sind, steht eine Strategie, die durch explorative Bewegungen durch das Labyrinth dominiert wird. Dies ist dann allerdings mit dem, meist laut Instruktion zu vermeidenden, Auftreten von Fehlern in Form von Eintritt in Sackgassen verbunden. Aber auch hier ist ein Abgleich der aktuellen Position im Labyrinthraum (Ist-Zustand) mit der angestrebten Zielposition, dem Soll-Zustand, notwendig. Entsprechend dem Ergebnis dieses Abgleichs und dem Wissen um bereits gegangene Wege werden die Bewegungen fortgesetzt.

Gemeinsames Merkmal dieser Strategien der Labyrinthlösung ist, daß die Existenz eines Speichers wahrscheinlich ist, in dem Ist- und Soll-Zustand ebenso gespeichert werden, wie der Entwurf für einen Handlungsplan oder für geplante Zwischenschritte. Einen derartigen Speicher könnte das Arbeitsgedächtnis ("working memory", Baddeley 1986, 1993, s. auch Krieger 1999) darstellen. Baddeley unterscheidet in diesem Modell zwei verschiedene „slave“-Systeme, die für die Speicherung von Informationen zuständig sind. Dabei ist das eine System, das sogenannte "visuo-spatial sketchpad" für visuospatiale Informationen, das zweite System, der sogenannte "phonological loop", für sprachbasierte Informationen zuständig. Jedes der beiden Systeme scheint dabei über mehre-

re getrennte Speicher zu verfügen (Ruchkin et al. 1997). Beide Systeme werden durch ein Aufmerksamkeit beanspruchendes Kontrollsystem ("central executive") koordiniert, das auch für die Integration von Informationen und die Kontrolle von Aktionen zuständig ist. Dieses System ähnelt konzeptuell dem "supervisory attentional system" von Norman & Shallice (1986).

Ist – wie in für den Probanden unbekanntem Labyrinthaufgaben - in einer Situation der Weg zum Erreichen eines Zielzustandes unbekannt, tritt dieses System in Funktion und übernimmt die Auswahl und Koordination der einzelnen benötigten kognitiven Subprozesse. Die Funktion dieses Systems ist dabei vermutlich abhängig von der Verfügbarkeit von Aufmerksamkeitsressourcen. Damit kann dieser Typ der Verarbeitung als „kontrolliert“ (Shiffrin & Schneider 1977) bezeichnet werden (s. Diskussion bei Krieger 1999).

Handelt es sich dagegen um eine "Routine-Situation", in der Auswahl und Koordination beteiligter kognitiver Subprozesse in Form von Schemata bereits vorliegen, kann eine Handlung automatisch - angestoßen durch das Auftreten spezifischer Trigger und ohne die Zuwendung von Aufmerksamkeit – ausgeführt werden (Norman & Shallice 1986, Shallice & Burgess 1993, Shiffrin & Schneider 1977).

Eine Bearbeitung von für den Probanden unbekanntem Labyrinth ist vermutlich nicht allein auf der Basis automatisch initiiertener Handlungssequenzen möglich. Statt dessen ist eine - vermutlich Aufmerksamkeitskapazität beanspruchende - Auswahl und Koordination der verschiedenen beteiligten kognitiven Prozesse notwendig. Darüber hinaus sind auch die Leistungen des Arbeitsgedächtnisses stark von der Beanspruchung von Aufmerksamkeitsressourcen abhängig (Baddeley 1986, Wickens 1992). Die Allokierung von Aufmerksamkeit kann experimentell leicht durch die Einführung von Elementen von Doppelbelastungsaufgaben (Wickens 1992) beeinflusst werden. In Labyrinthaufgaben kann beispielsweise durch die Instruktion, beim Durchfahren des Wegsystems die Wände nicht zu berühren, Aufmerksamkeit von den notwendigen visuellen Analyseprozessen weg, hin auf die Kontrolle der Bewegungen gelenkt werden. Dies sollte auf der Basis der gerade skizzierten Überlegungen die Güte und die Dauer der Lösung negativ beeinflussen. Andererseits kann die Beanspruchung des Arbeitsgedächtnisses auch gemindert werden, indem beispielsweise bereits gegangene Wege visuell rückgemeldet werden. Dies wiederum sollte die Leistungen deutlich verbessern.

Die Überprüfung dieser Annahmen bezüglich der Allokierung von Aufmerksamkeitsressourcen und der Belastung des Arbeitsgedächtnisses stellt ein weiteres Ziel der vorliegenden Arbeit dar.

Zur Beantwortung der aufgeworfenen Fragen werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit drei experimentelle Untersuchungen vorgestellt.

Eine erste Untersuchung beschäftigt sich dabei mit dem Einfluß von Merkmalen der Labyrinthstruktur auf das Verhalten bei der Aufgabenbearbeitung. Hauptkennzeichen eines Labyrinthstimulus ist das Auftreten von Wegverzweigungen. Auf der Basis einer Analyse der Reizmerkmale muß an diesen Orten eine Auswahl der korrekten Wegalternative erfolgen, d.h. eine Entscheidung getroffen werden. Dabei ist zu vermuten, daß sowohl die Anzahl von Entscheidungssituationen wie auch Merkmale der Wegalternativen Auswirkungen auf die Auswahl und das Ausmaß der Beanspruchung der kognitiven Prozesse nehmen, die bei der Aufgabenlösung eingesetzt werden. So variiert vermutlich die Beanspruchung von Entscheidungsprozessen mit der Existenz und der Anzahl von Entscheidungssituationen. Andererseits ist zu vermuten, daß längere oder auch in ihrer Form komplexere Sackgassen erhöhte Anforderungen an Prozesse der Stimulusanalyse stellen. In der ersten Untersuchung der vorliegenden Arbeit soll deshalb überprüft werden, ob und wie sich die Existenz von Entscheidungspunkten, sowie die Anzahl, Länge und Form verfügbarer Wegalternativen auf das Verhalten bei der Labyrinthbearbeitung auswirken. Es wird vermutet, daß sowohl die Qualität, d.h. das Ausmaß, indem laut Instruktion zu vermeidende Sackgassenbetretungen erkennbar werden, wie auch der Zeitbedarf der Labyrinthbearbeitung von den experimentellen Manipulationen der Merkmale der Labyrinthstimuli beeinflußt werden.

Ein Kennzeichen von Labyrinthaufgaben ist, daß die Ergebnisse von Stimulusanalyse- und Entscheidungsprozessen in komplexe Bewegungsabläufe umgesetzt werden müssen. Die notwendigen Sub-Bewegungen werden einzeln in getrennten Bewegungsprogrammen vorbereitet, gestartet und ausgeführt (Keele & Summers 1976). Die Präparation und Initiierung von Bewegungsprogrammen in für den Probanden bislang unbekanntem Reizumwelten können dabei als kontrollierter, d.h. Aufmerksamkeitsabsorbierender Prozeß verstanden werden (Schneider & Shiffrin 1977, Shiffrin & Schneider 1977, s.a. Ivry 1996). Kontrollierte Verarbeitung hat einen hohen Kapazitätsbedarf (Allport 1980, Rösler 1982) und kann im Gegensatz zu automatischen Prozessen mit anderen gleichzeitig ablaufenden Verarbeitungsprozessen interferieren, d.h. es kommt zu einem Leistungsabfall in den simultanen Prozessen (Allport, Antonis & Reynolds 1972, Navon 1985). Diese Interferenz wird dadurch erklärt, daß die verschiedenen Prozesse auf den gleichen Pool limitierter Kontrollkapazität zugreifen. Eine experimentelle Untersuchung, ob zwei Prozesse auf die gleichen Ressourcen an Kontrollkapazität zugreifen, ist über eine Variation in der Intensität der Beanspruchung eines Prozesses möglich (Allport, Antonis & Reynolds 1972).

Labyrinthaufgaben werden häufig unter der Instruktion bearbeitet, Berührungen der Wegwände mit dem Stift zu vermeiden (z.B. bei Porteus 1965). Eine derartige Forderung einer

präzisen Bewegung bei der Lösung von Labyrinthaufgaben läßt sich - neben der Aufgabe, den korrekten Weg durch das Labyrinth zu finden - als eine zweite Aufmerksamkeitsabsorbierende Aufgabe verstehen. Diese Form der Labyrinthaufgabe konstituiert damit eine Doppelbelastungsaufgabe („Dual-task-paradigm“, Wickens 1992). Wird die Bewegungsschwierigkeit erhöht, ist zu vermuten, daß vermehrt Aufmerksamkeitsressourcen für die Steuerung der Bewegung bereitgestellt werden. Eine Möglichkeit, die Schwierigkeit einer Bewegung zu verändern, besteht in der Manipulation der Größe des durch das Labyrinth zu navigierenden Cursors. Während Bewegungen mit einem kleinen Cursor relativ einfach ohne Berührung der Labyrinthwände möglich sind, bedarf es bei einem großen Cursor präziserer Bewegungen, die ein höheres Maß an Aufmerksamkeit absorbieren sollten. Wenn bei der Labyrinthbearbeitung die mit der Bewegungskontrolle verbundenen kognitiven Prozesse auf den gleichen Pool von Kontrollressourcen zugreifen wie Stimulusanalyse- und Entscheidungsprozesse, sollte ein Anstieg der Bewegungsschwierigkeit Auswirkungen auf den Ablauf dieser eher stimulusbezogenen Prozesse haben.

Ziel der zweiten Untersuchung der vorliegenden Arbeit ist es daher, zu untersuchen, inwieweit eine Variation der Anforderungen an Prozesse der Bewegungskontrolle Einfluß auf die Lösung von Labyrinthaufgaben nimmt. Durch einen Vergleich von labyrinthartigen Stimulusvorlagen, die in unterschiedlichem Ausmaß Prozesse der Reizanalyse und Auswahl von Reaktionsalternativen (Entscheidungen) erfordern, soll untersucht werden, ob und wie sich unterschiedliche Anforderungen an stimulusbezogene kognitive Prozesse durch Variationen der Anforderungen an responsebezogene Prozesse beeinflussen lassen. Entsprechend dem Ansatz von Sternbergs Methode der additiven Faktoren (1969) wird davon ausgegangen, daß dann, wenn stimulus- und responsebezogene Prozesse auf einen gemeinsamen Pool von Kontrollressourcen zugreifen, steigende Anforderungen an beide Bereiche zu einer überproportionalen Beeinflussung von Verhaltensmaßen führen. Ist ihr Ablauf dagegen unabhängig voneinander, sollte sich die experimentelle Variation eines Faktors unabhängig von der eines zweiten Faktors auswirken.

Bei der Bearbeitung von Labyrinthaufgaben werden vermutlich mentale Repräsentationen des Wegsystems wie auch das Wissen um bereits vollzogene und noch zu vollziehende Handlungsschritte in einem Arbeitsgedächtnis (Baddeley 1986) zwischengespeichert. Vor allem an Verzweigungspunkten müssen Informationen über die aktuelle Position, die Lage des Ziels, bereits durchfahrene Wege und noch nicht betretene Wegalternativen abgeglichen werden. Unabhängig davon, ob die Alternativen in Form einer Bewegung des Stiftes in die Sackgasse oder durch ein Explorieren mit Augenbewegungen analysiert werden, ist das Wissen um die Position vor der Sackgasse und die Richtung, aus der die Verzweigung erreicht wurde, essentiell, um eine Orientierung im Labyrinth zu

erhalten. In einer dritten Untersuchung der vorliegenden Arbeit wird versucht, die Belastung des Arbeitsgedächtnis durch eine Rückmeldung des bereits gegangenen Weges zu beeinflussen. Es wird vermutet, daß die Beanspruchung von Zwischenspeicherungsprozessen durch eine kontinuierliche Visualisierung des bereits im Labyrinth zurückgelegten Weges reduziert werden kann, d.h. das Arbeitsgedächtnis entlastet wird. Im Kontrast zu Aufgaben ohne Rückmeldung des Weges sollte sich die Leistungsgüte hier verbessern und der Zeitbedarf für die Lösung abnehmen.

Die Speicherung und Manipulation von Informationen im Arbeitsgedächtnis beansprucht Aufmerksamkeitsressourcen. Dies gilt vermutlich auch für die Auswahl, Kontrolle und Ausführung von Bewegungen beim Durchfahren eines unbekanntes Labyrinthes. Wird in Labyrinthaufgaben durch die Instruktion Wert auf eine präzise Bewegungssteuerung gelegt (Wandberührungen sind während der Labyrinthbearbeitung zu vermeiden), ist zu vermuten, daß vermehrt Aufmerksamkeitsressourcen für die Steuerung der Bewegung bereitgestellt werden. Wird ein Verletzen der Instruktion, d.h. das Auftreten von Wandberührungen, z.B. durch einen akustischen Feedback-Ton rückgemeldet, ist zu vermuten, daß dies zu einer zusätzlichen Betonung der Instruktion führt. Als Konsequenz sollte es zu einer vermehrten Zuweisung von Aufmerksamkeit auf die Bewegungssteuerung kommen. Ein weiteres Ziel der dritten Untersuchung besteht darin zu überprüfen, ob sich die Rückmeldung von Wandberührungsfehlern auf das Verhalten bei der Labyrinthbearbeitung auswirkt. Es wird erwartet, daß ein Feedback von Wandberührungen die Instruktion betont und so zu einer höheren Präzision in Form einer Reduktion von Wandberührungsfehlern führt. Durch ein verstärktes Zuweisen von Aufmerksamkeit auf die Bewegungssteuerung sollte es jedoch zu Interferenzen mit eher stimulusbezogenen kognitiven Prozessen kommen. Dies sollte zu einer Abnahme der Qualität der Aufgabenlösung und einem höheren Zeitbedarf führen, wenn unpräzise Bewegungen durch ein Feedback rückgemeldet werden.

Darüber hinaus interessiert, ob sich eine Interaktion zwischen der Belastung des Arbeitsgedächtnisses und einer Betonung der Bewegungspräzision durch Feedback von Wandberührungen beobachten läßt. Greifen das bei der Analyse und Speicherung des Labyrinthweges beanspruchte Arbeitsgedächtnis und die Kontrolle der Bewegung auf einen gemeinsamen Pool von Aufmerksamkeitsressourcen zu, sollte die Rückmeldung von unpräzisen Bewegungen die Reizanalyse stören und im Verhalten zu Fehlern und einem erhöhten Zeitbedarf führen. Dieser Effekt sollte gemindert werden, wenn das Arbeitsgedächtnis durch eine Visualisierung der Bewegungsspur entlastet wird.

In der Literatur finden sich zahlreiche Hinweise darauf, daß das Geschlecht der Probanden das Verhalten bei der Bearbeitung von Labyrinthaufgaben beeinflußt. Dabei ergaben sich jedoch widersprüchliche Ergebnisse hinsichtlich der Überlegenheit eines der beiden Ge-

schlechter bezüglich der Qualität und des Zeitbedarfes der Aufgabenlösung (vgl. 2.4.2.2). Eine mögliche Erklärung könnte darin liegen, daß unterschiedliche Merkmale der Labyrinthaufgaben zu einer Nivellierung oder Akzentuierung der Unterschiede zwischen den Geschlechtern führen. So ist denkbar, daß eine unterschiedliche Beanspruchung verschiedener kognitiver Prozesse durch Charakteristika der Labyrinthstruktur oder der geforderten Bewegung, wie auch Unterschiede in der Beanspruchung des Arbeitsgedächtnisses bei Männern und Frauen in unterschiedlichem Ausmaß zu Verhaltensänderungen führen. Abhängig von der jeweiligen Realisierung einer Labyrinthaufgabe könnten so Unterschiede zwischen den Geschlechtern erkennbar werden. In der vorliegenden Arbeit wird in allen drei Untersuchungen das Geschlecht der Probanden als Gruppierungsfaktor berücksichtigt. Es interessiert, inwieweit sich abhängig von den experimentellen Manipulationen unterschiedlicher Aspekte der Labyrinthaufgaben Unterschiede zwischen Männern und Frauen nachweisen lassen. Es ist denkbar, daß erhöhte Anforderungen an stimulus- oder responsebezogene Prozesse notwendig sind, um geschlechtsspezifische Unterschiede in den beanspruchten kognitiven Prozessen aufzudecken.

Die Fragen, die in den verschiedenen Untersuchungen der vorliegenden Arbeit beantwortet werden sollen, lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Wirken sich Variationen der Anforderungen an Stimulusanalyse- und Entscheidungsprozesse auf die unterschiedlichen Aspekte des Verhaltens bei der Labyrinthlösung aus ?
d.h. läßt sich das Verhalten bei der Labyrinthbearbeitung durch eine experimentelle Variation von Stimulusmerkmalen wie der Existenz von Entscheidungssituationen, sowie Anzahl, Länge und Form von Wegalternativen beeinflussen ?
- Greifen stimulus- und responsebezogene kognitive Prozesse bei der Bearbeitung von Labyrinthaufgaben auf gemeinsame (Aufmerksamkeits-)Ressourcen zu ?
d.h. wirken sich Merkmale der Labyrinthstimuli wie die Existenz von Entscheidungspunkten oder die Reizkomplexität abhängig von der Schwierigkeit der Cursor-Bewegung auf das Verhalten bei der Labyrinthbearbeitung aus ?
- Beanspruchen Arbeitsgedächtnis und Bewegungssteuerung bei der Bearbeitung von Labyrinthaufgaben gemeinsame (Aufmerksamkeits-)Ressourcen ?
d.h. wirkt sich eine Entlastung des Arbeitsgedächtnisses durch Rückmeldung der Bewegungsspur des Cursors abhängig von der Akzentuierung der Bewegungspräzision durch ein Feedback von Wandberührungen auf das Verhalten bei der Labyrinthbearbeitung aus ?
- Unterscheiden sich die Geschlechter in bezug auf die Beanspruchung verschiedener kognitiver Prozesse bei der Bearbeitung von Labyrinthaufgaben ?

d.h. lassen sich in den drei Untersuchungen der vorliegenden Arbeit bei Männern und Frauen unterschiedliche Auswirkungen der experimentellen Manipulationen verschiedener Aspekte von Labyrinthaufgaben nachweisen ?

4. Experimentelle Untersuchungen

4.1 Untersuchung 1: Eigenschaften der Labyrinthstruktur und ihr Einfluß auf das Verhalten bei der Labyrinthlösung

4.1.1 Einleitung

In Labyrinthaufgaben haben die Probanden die Aufgabe, den Weg von einer Startregion zu einer Zielregion zu finden und zu durchfahren. Dabei ist Hauptkennzeichen eines Labyrinths, daß sich der Weg an verschiedenen Punkten teilt. An diesen Verzweigungen führt in der Regel lediglich eine der Wegalternativen weiter zum Ziel, während die andere eine Sackgasse bildet. Es wird eine Entscheidung, d.h. eine Auswahl von einer der Reaktionsmöglichkeiten notwendig.

Interessieren kognitive Prozesse, die spezifisch für die Lösung von Labyrinthaufgaben sind, liegt als erster Schritt ein Vergleich des Verhaltens in Aufgaben nahe, die sich durch das Fehlen bzw. die Existenz von Entscheidungspunkten unterscheiden. In der Literatur finden sich jedoch kaum Untersuchungen, die das Verhalten bei der Bearbeitung von Wegsystemen mit und ohne Entscheidungspunkten kontrastieren. Es existieren zwar Arbeiten, die das Nachfahren von Wegen ohne Verzweigungspunkte, z.B. als taktil-motorische Aufgabe ohne visuelle Kontrolle ("Kinästhetisches Labyrinth", Denenberg 1960), zur Untersuchung räumlicher Orientierungsfähigkeit auf der Basis kinästhetischer Informationen nutzen. Jedoch wird diese Leistung nicht mit der in "echten" Labyrinth verglichen (s. auch Haaland & Delaney 1981). Andere Studien mit taktil-motorischen Labyrinthaufgaben ohne visuelle Kontrolle kontrastieren Labyrinthaufgaben mit motorischen Kontrollaufgaben (z.B. van Mier, Hulstijn & Petersen 1993, van Mier et al. 1998); dabei differieren Labyrinth- und motorische Kontrollaufgabe jedoch u.a. in der Komplexität der geforderten motorischen Reaktion (z.B. in der Anzahl geforderter Richtungswechsel auf dem Weg). Ein Unterschied im Verhalten zwischen den Aufgaben ist damit nicht allein auf das Vorliegen von Entscheidungspunkten, sondern alternativ auch durch die unterschiedliche Komplexität der geforderten Reaktion erklärbar.

In Untersuchungen mit teilweise verdeckten Labyrinth versuchten Wallesch und Mitarbeiter (1990, Karnath, Wallesch & Zimmermann 1991, Karnath & Wallesch 1992), den Einfluß von Entscheidungsprozessen zu isolieren. Sie verglichen innerhalb einer Labyrinthvorlage Reaktionen (hier Betätigen von Richtungstasten) in Labyrinthausschnitten mit und ohne Wegverzweigung. Jedoch ist fraglich, inwieweit Entscheidungspunkte innerhalb eines Labyrinths auch die Verarbeitung von Labyrinthbereichen ohne Verzweigungen beeinflussen. So ist denkbar, daß verzweigungsfreie Abschnitte eines Labyrinthe als Landmarken angesehen und genutzt werden.

Auch der Labyrinth-Test von Porteus (1965) beinhaltet Vorlagen, die aus einfachen Wegen ohne Verzweigungen bestehen. Diese Reize werden zur Untersuchung jüngerer Kinder eingesetzt. Jedoch unterscheiden sich diese Vorlagen von den für höhere Alterstufen verwendeten „echten“ Labyrinth nicht nur im Fehlen von Weggabelungen, sondern auch in der Komplexität der notwendigen motorischen Reaktionen. Selbst wenn bei einer Testung die einfachen Pseudo-Labyrinth zusammen mit den komplexeren Stimuli eingesetzt werden, ist es nicht möglich, die Effekte der Existenz von Entscheidungspunkten und der motorischen Schwierigkeit zu trennen.

Um den Einfluß der Existenz von Entscheidungspunkten auf das Verhalten bei der Labyrinthlösung zu isolieren, werden im ersten Teil von Untersuchung 1 labyrinth-ähnliche Wegsysteme ohne Verzweigungen und echte Labyrinth dargeboten. Der korrekte Lösungsweg ist in beiden Stimulustypen identisch.

Es wird erwartet, daß die Notwendigkeit von Entscheidungsprozessen zu einer Erhöhung des Zeitverbrauches der Aufgabenbearbeitung führt.

Bei Labyrinthaufgaben werden die Ergebnisse von Stimulusanalyse- und Entscheidungsprozessen in Bewegungen eines Stiftes oder Cursors umgesetzt. Sind die Labyrinth unbekannt, laufen sowohl Stimulusanalyse und Entscheidungen wie auch Prozesse der Planung, Kontrolle und Ausführung der Feinmotorik vermutlich im Modus der kontrollierten Verarbeitung ab (Shiffrin & Schneider 1977, Wallesch et al. 1990, Ivry 1996). Kontrollierte Prozesse beanspruchen Kontrollkapazität, die nur in einem bestimmten Ausmaß zur Verfügung steht (Wickens 1992). Konkurrieren eher stimulusbezogene mit eher response-bezogenen Prozessen um diesen begrenzten Pool von Kontrollkapazität, sollten erhöhte Anforderungen an eine dieser Domänen zu einem Abfall der Leistung in der anderen führen, wenn der Gesamtbedarf an Kontrollkapazität die zur Verfügung stehenden Ressourcen übersteigt.

Werden durch Entscheidungspunkte die Anforderungen an Stimulusanalyse und Entscheidungsprozesse erhöht, könnte es so zu einem Abfall in der Präzision der Bewegung während der Labyrinthbearbeitung kommen. Es wird daher vermutet, daß dies u.a. zu einer Zunahme der Zahl von laut Instruktion zu vermeidenden Wandberührungen führt.

Neben der Existenz von Entscheidungspunkten spielt auch die Anzahl geforderter Entscheidungen eine wesentliche Rolle bei der Labyrinthlösung. So zeigte bereits Cook (1937) bei der Bearbeitung unbekannter, multipler U-förmiger Wegsysteme als taktile Fingerlabyrinth ohne visuelle Kontrolle, daß mit der Zahl von U-Elementen die Anzahl von Fehlern steigt und die Geschwindigkeit bei der Bearbeitung abnimmt.

Ähnliche Ergebnisse finden sich auch für lineare Fingerlabyrinth (Allison 1931a). Diese Untersuchungen aus dem Humanbereich bestätigen Ergebnisse aus Labyrinthuntersuchungen mit Ratten (Warden & Hamilton 1929). Problematisch ist hier jedoch, daß eine Variation der Anzahl von Sackgassen mit einem Anstieg in der Länge des Lösungsweges verbunden ist. Wird beispielsweise in einem Labyrinth die Zahl von U-Elementen erhöht, werden damit einerseits neue Entscheidungspunkte eingeführt. Andererseits führt dies gleichzeitig zu einer Verlängerung des zu durchlaufenden Weges. Launay (1983) konnte jedoch in einem Lernversuch - ebenfalls mit taktil-motorischen Tischlabyrinthen ohne visuelle Kontrolle - zeigen, daß sich die Anzahl von Entscheidungspunkten auch bei vergleichbaren Wegen auf die Anzahl von Fehlern auswirkt.

Die Bedeutung der Anzahl von Entscheidungspunkten wurden bis jetzt nur mit taktil-motorischen Labyrinthaufgaben – ohne die Nutzung visueller Information - nachgewiesen. Es ist jedoch zu vermuten, daß auch bei Labyrinthaufgaben mit vollständig sichtbaren Wegsystemen die Zahl der Entscheidungspunkte die Bearbeitung beeinflusst (s. Ellithorn 1955). Um dies zu überprüfen, werden im zweiten Teil von Untersuchung 1 Labyrinthdisplays mit unterschiedlicher Zahl von Sackgassen, aber identischem Lösungsweg, präsentiert.

Es wird vermutet, daß die Bearbeitung von Labyrinthen mit zusätzlichen Wegverzweigungen länger dauert und sich die Zahl der laut Instruktion zu vermeidenden Wandberührungen erhöht, d.h. die Präzision der Bewegungen abnimmt.

Je mehr Wegverzweigungen in einem Labyrinth existieren, desto häufiger können im Prinzip falsche Entscheidungen getroffen werden. Deshalb wird vermutet, daß die Anzahl fehlerhafter Entscheidungen in Labyrinthen mit höherer Zahl von Weggabelungen steigt, d.h. die Qualität der Aufgabenlösung sinkt.

Porteus (1965) verwendet in seinem Labyrinth-Test verschiedene Stimulusvorlagen, die die Fähigkeit zur Labyrinthlösung in verschiedenen Altersstufen erfassen sollen. Vergleicht man die verschiedenen Labyrinth, wird deutlich, daß neben der Anzahl geforderter Entscheidungen auch die Länge der Sackgassen variiert. Lange Sackgassen beanspruchen im Vergleich zu kurzen vermutlich Reizanalyseprozesse in höherem Ausmaß. Dies sollte sich auf den Zeitverbrauch, aber auch auf die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Fehlern auswirken.

Um dies zu überprüfen, wird im dritten Teil von Untersuchung 1 der Einfluß der Länge von Sackgassen auf das Verhalten analysiert. Dabei sind Lösungsweg sowie Anzahl und Position von Entscheidungspunkten innerhalb der Labyrinthstruktur konstant gehalten. Neben Effekten auf Qualität und Zeitverbrauch werden auch Auswirkungen der

Sackgassenlänge auf die Präzision der geforderten Bewegung bei der Labyrinthlösung erwartet.

Sackgassen können sich jedoch nicht nur in ihrer Länge, sondern auch in ihrer Form unterscheiden. Dabei ist zu vermuten, daß die Analyse von Sackgassen mit Richtungswechseln schwieriger ist als die von Sackgassen ohne Richtungswechsel. Geht man davon aus, daß die Exploration einer Sackgasse mit Hilfe sakkadischer Augenbewegungen, die dem Verlauf einer Sackgasse folgen, durchgeführt wird, ist zu vermuten, daß dies bei Richtungswechseln in mehreren Teilschritten erfolgt. Damit sollte der Zeitbedarf für die Exploration steigen und die Wahrscheinlichkeit von Fehlern zunehmen. Da Stimulusexploration und Bewegungssteuerung vermutlich auf einen gemeinsamen Pool von Kontrollkapazität zugreifen, sollte die Präzision der Bewegung abnehmen.

Diese Annahmen werden im vierten Teil von Untersuchung 1 überprüft. Unter Konstanzhaltung der Anzahl, Position und Länge der Wegalternativen an Entscheidungspunkten wird bei identischem Lösungsweg die Form der Sackgassen im Sinne von Richtungswechseln variiert.

Erste Hinweise darauf, daß dieses Merkmal von Wegalternativen innerhalb einer Labyrinthstruktur Auswirkungen auf das Verhalten bei der Aufgabenlösung hat, ergab eine Untersuchung mit vollständig sichtbaren Labyrinthen, die im Kognitionslabor des Zentrum für Psychiatrie der Justus-Liebig-Universität Giessen durchgeführt wurde. Im Rahmen eines Lernversuches konnte Sinsel (1999) zeigen, daß die Qualität der Lösung von Labyrinthaufgaben niedriger ist, wenn innerhalb der einzelnen Sackgassen ein Richtungswechsel auftritt. Dieser Effekt schwächte sich jedoch mit zunehmender Übung ab.

In zahlreichen Untersuchungen wurde die Leistung in Labyrinthaufgaben in Abhängigkeit vom Geschlecht der Probanden untersucht. Dabei ergaben sich jedoch widersprüchliche Ergebnisse (s. 2.4.2.2). Diese sind möglicherweise durch spezielle Eigenschaften der verwendeten Labyrinthvorlagen erklärbar. So ist denkbar, daß bei einfachen Labyrinthen mit wenigen, kurzen Sackgassen keine Geschlechtsunterschiede auftreten. Werden dagegen komplexere Vorlagen präsentiert, die zu ihrer Bearbeitung zusätzliche kognitive Teilprozesse notwendig machen oder Teilprozesse in höherem Ausmaß beanspruchen, könnten Unterschiede in der Organisation kognitiver Prozesse zwischen den Geschlechtern erkennbar werden.

In der vorliegenden Untersuchung wird daher das Geschlecht der Probanden als Gruppierungsfaktor verwendet. Es interessiert, ob Unterschiede zwischen den Geschlechtern abhängig vom Auftreten von Entscheidungspunkten oder anderen spezifischen Eigenschaften der Labyrinthstruktur beobachtbar werden.

4.1.2 Methode

4.1.2.1 Stichprobe

An der Untersuchung nahmen je 46 männliche und weibliche Probanden teil. Da sich die Händigkeit von Probanden in verschiedenen Studien als potentiell relevante Einflußgröße bei der Bearbeitung von Labyrinthaufgaben erwiesen hat (Klinterberg, Levander & Schalling 1987, Ward et al. 1989, Stoddard & Vaid 1996), wurden in die vorliegende Untersuchung nur rechtshändige Personen (Händigkeitsfragebogen von Annett 1967) eingeschlossen. Bei keinem der Probanden ergaben sich Hinweise auf das Vorliegen einer psychiatrischen, neurologischen oder organischen Erkrankung. Keiner der Probanden nahm zum Zeitpunkt der Untersuchung psychopharmakologisch wirksame Substanzen. Es ergaben sich keine Hinweise auf Alkohol- oder Drogenmißbrauch.

Vor Teilnahme an der Untersuchung wurden die Probanden über Ziele und Ablauf der Untersuchung aufgeklärt. Sie wurden darüber informiert, daß sie die Untersuchung zu jedem Zeitpunkt ohne Angabe von Gründen abbrechen können. Für die Teilnahme an der Untersuchung erhielten sie eine Aufwandsentschädigung von DM 15.--. Die Probanden wurden über Aushänge für die Teilnahme an der Untersuchung angeworben.

Das Alter der Probanden lag zwischen 18 und 50 Jahren. Männer und Frauen wurden hinsichtlich des Alters und des Ausbildungsstandes parallelisiert. Das durchschnittliche Alter von 28.9 Jahren (Standardabweichung (SD, \pm): 7.6 Jahre) in der Gruppe der männlichen Probanden entsprach dem mittleren Alter der weiblichen Probanden von 28.5 Jahren (\pm 7.4 Jahre, unabhängiger t-Test, 2-seitig: $t = .031$, $p = .759$).

Da von einem Einfluß der emotionalen Befindlichkeit auf kognitive Leistungen ausgegangen werden kann, wurde die allgemeine Befindlichkeit mit Hilfe der EWL-60S (Eigenschaftswörterliste, Kurzform Janke & Debus 1978, CIPS 1996) erfaßt. Die EWL-60S erfaßt auf der Basis der Einschätzung von Adjektiven 15 unterschiedliche Dimensionen der Befindlichkeit, die zu 6 Bereichen (Leistungsbezogene Aktiviertheit, allgemeine Desaktiviertheit, allgemeines Wohlbefinden, emotionale Gereiztheit, Angst/Deprimiertheit und Extraversion/Introversion) zusammengefaßt werden. Der Ausprägungsgrad des einzelnen Befindlichkeitsmerkmals wird dabei auf einer 4-stufigen Skala („1“: gar nicht, bis „4“ stark) eingeschätzt.

Da die Ängstlichkeit von Probanden für die kognitive Leistungsfähigkeit als besonders relevant betrachtet wird, wurde zusätzlich zur EWL-60S die "State"-Version des "State-Trait-Angst-Inventar" (STAI, Spielberger, Gorsuch & Lushene 1970, deutsche Übersetzung nach Laux et al. 1981) eingesetzt. Sie mißt auf einer 4-stufigen Skala in 20-Items

die Zustandsangst, d.h. die Angstintensität in einer bestimmten Situation, hier vor Beginn der Labyrinthuntersuchung.

Mittelwerte und Standardabweichungen von STAI und EWL60S sind in Tabelle 4.1.1 zusammengefaßt. In keiner der Skalen ließ sich ein überzufälliger Unterschied zwischen den beiden Stichproben beobachten. Dies schließt auch die Ängstlichkeit – erfaßt als Subdimension "Deprimiertheit/Ängstlichkeit" in der EWL-60S und im STAI – ein. Dabei ist anzumerken, daß bei einem Meßbereich des STAI von 20-80 Punkten ein mittlerer STAI-Wert von ca. 36 Punkten in beiden Gruppen ein recht niedriges Angstniveau zeigt.

Tab. 4.1.1: Stichproben-Charakteristika. Mittelwerte (AM) und Standardabweichungen (\pm) mit den Ergebnissen unabhängiger t-Tests (zweiseitig)

	Männer		Frauen			
N	46		46			
Schulbildung						
Hauptschule	2		3			
Realschule	11		10			
Fachhochschulreife	2		2			
Gymnasium	31		31			
	AM	\pm	AM	\pm	t	P
Alter	28,9	7,6	28,5	7,4	0,31	0,759 ns
STAI	36,7	5,0	37,0	9,3	-0,20	0,845 ns
EWL-60S						
Leistungsbezogene Aktiviertheit	2,72	0,44	2,87	0,43	-1,66	0,100 ns
Allgemeine Desaktiviertheit	1,48	0,34	1,40	0,39	1,14	0,258 ns
Extraversion/ Introversion	3,19	0,36	3,19	0,48	0,03	0,975 ns
Allgemeines Wohlbehagen	2,58	0,42	2,46	0,48	1,27	0,209 ns
Emotionale Gereiztheit	1,43	0,32	1,49	0,48	-0,73	0,469 ns
Angst/ Deprimiertheit	1,18	0,26	1,26	0,43	-1,03	0,307 ns

4.1.2.2 Allgemeiner Versuchsablauf und Meßapparatur

Die Labyrinthuntersuchungen wurden in einem der Untersuchungsräume des Kognitionslabors des Zentrum für Psychiatrie, Justus-Liebig-Universität Giessen, durchgeführt. Nach einem Einleitungsgespräch, in dem die Probanden über die Ziele der Untersuchung aufgeklärt wurden und ihre Einwilligung zur Teilnahme an der Untersuchung gegeben hatten, nahmen sie im Untersuchungsraum Platz. Vor Beginn der Labyrinthuntersuchung füllten sie die Fragebögen zur Befindlichkeit (STAI, EWL) aus.

Die Darbietung des Reizmaterials und die Erfassung der Meßgrößen erfolgte mit Hilfe eines Computerprogrammes, das für die Untersuchungen der vorliegenden Arbeit entwickelt wurde. Die Labyrinthvorlagen wurden auf einem Computerbildschirm (17", 800x600 Pixel) präsentiert. Die Bearbeitung der Labyrinth erfolgte mit Hilfe eines Graphik-Tabletts (WACOM, Ultrapad III, A3). Dabei werden die Bewegungen eines Stiftes auf dem Graphik-Tablett durch Cursorbewegungen auf dem Bildschirm angezeigt. X- und Y-Positionen von Stift und Cursor werden mit einer Auflösung von 200 Hz abgetastet und für eine spätere Analyse auf der Festplatte des Computers gespeichert.

Der Einsatz eines computergestützten Verfahren bietet gegenüber Papier-und-Bleistift-Versionen, wie etwa dem Labyrinth-Test von Porteus (1965), eine Reihe von Vorteilen. Hier ist v.a. die Möglichkeit einer exakten Erfassung des Verhaltens im Millisekundenbereich zu nennen. Durch eine kontinuierliche Aufzeichnung der Position von Stift und Cursor während der Aufgabenlösung wird eine Zuordnung zwischen der aktuellen Position innerhalb des Labyrinthes und der jeweiligen Position auf der Zeitachse möglich. Dies erlaubt die Differenzierung verschiedener zusätzlicher abhängiger Variablen wie etwa die Zerlegung der Gesamtverarbeitungszeit in Start- und Lösungszeit oder auch in Pausen- und Bewegungszeiten.

Neben Vorteilen für die Parameterisierung von Verhalten während der Labyrinthbearbeitung ermöglicht der Einsatz einer computergestützten Untersuchungsanordnung auch eine einfache Manipulation experimenteller Variablen (s. auch Untersuchungen 2 und 3). So können Labyrinthdisplays und Bewegungsschwierigkeit, aber auch die Kopplung zwischen Stift und Cursorbewegung, problemlos verändert werden.

Die Verwendung des Graphik-Tabletts erlaubt ein der Papier-und-Bleistift-Version entsprechendes Lösungsverhalten. Im Gegensatz zu dem häufig in computergestützten Labyrinthaufgaben verwendeten Betätigen von Richtungstasten ermöglicht der Einsatz des Graphiktabletts eine natürliche, kontinuierliche Bewegung, die mit einer hohen zeitlichen Auflösung registriert wird. Die Probanden können dabei die Geschwindigkeit ihrer Bewegungen unabhängig von Restriktionen durch die Meßanordnung, wie etwa der Repeat-Frequenz der Tasten, an ihre momentane Leistungsgeschwindigkeit anpassen.

Um den Probanden eine Kontrolle über den Ablauf der Untersuchung, insbesondere die Frequenz der Labyrinthpräsentationen, zu erlauben, wird die Darbietung der einzelnen zu bearbeitenden Labyrinthvorlagen mit einem Startdisplay begonnen. Die Probanden werden hier auf dem Bildschirm schriftlich aufgefordert, mit dem Cursor auf eine Startregion zu fahren und damit selbst die Labyrinthvorlage einzublenden, d.h. das Erreichen dieser Region wird vom Computerprogramm als Signal für die Präsentation der Laby-

rinthvorlage verwendet. Nach dem Erscheinen des Labyrinthstimulus beginnt die Registrierung der xy-Koordinaten. Der Proband hat so die Möglichkeit, die Aufgabe unabhängig vom Untersucher dann zu starten, wenn er seine Aufmerksamkeit auf die Aufgabe fokussiert hat. Er ist darüber informiert, daß das Anfahren des Startpunktes solange verzögert werden kann, bis er bereit ist, mit der Labyrinthbearbeitung zu beginnen.

Die anzufahrende Region auf dem Startdisplay ist gleichzeitig die Startposition im Labyrinth. Durch das Gleichsetzen dieser beiden Positionen wird die Aufmerksamkeit der Probanden auf den Startbereich im Labyrinth gelenkt. Auf diesem Weg wird die visuelle Suche der Startposition nach Darbietung des Labyrinthes vermieden, die sich kaum von der initialen Labyrinthverarbeitung trennen ließe.

Nach Präsentation der Labyrinthvorlage hat der Proband die Aufgabe, ein weißes Quadrat (den Cursor, Cursorgröße: 3x3 Pixel) vom Ausgangspunkt zu einer Zielregion zu bewegen. Die Labyrinthvorlagen werden durch schwarze Wege (Wegbreite: 24 Pixel) gebildet, die durch blaue Wände (Wandbreite: 8 Pixel) voneinander getrennt sind. Die Zielregion ist dabei als grünes Feld markiert. Nach Erreichen der Zielregion wird das Labyrinth ausgeblendet und ein schwarzer Bildschirm mit der Aufschrift „Geschafft ! Gleich geht es weiter !“ wird eingeblendet. Nach einem Tastendruck des Untersuchungsleiters wird erneut das Startdisplay präsentiert und damit signalisiert, daß die nächste Labyrinthaufgabe beginnen kann.

Vor Beginn der eigentlichen Untersuchung, wurde den Probanden Gelegenheit gegeben, die Handhabung des Graphik-Tabletts zu üben und sich mit der hier verwendeten Art von Labyrinthaufgaben vertraut zu machen. Dabei sind Anzahl und Auswahl der Labyrinthaufgaben, die vor Beginn der Untersuchung bearbeitet werden, für alle Probanden gleich.

4.1.2.3 Stimulusmaterial, unabhängige Variablen und Versuchspläne

In der vorliegenden Untersuchung wurden verschiedene Labyrinthvorlagen in randomisierter Reihenfolge präsentiert. Die Probanden wurden instruiert, das Labyrinth auf dem kürzesten Weg ohne das Betreten von Sackgassen zügig zu lösen. Dabei sollten sie - analog dem Vorgehen im Labyrinth-Test von Porteus (1965) - das Berühren der Wände des Labyrinthes vermeiden. Berührten die Probanden entgegen der Instruktion mit dem Cursor die Wände, wurde dies durch ein akustisches Signal (Piepston mit 1000Hz, Dauer 100 ms) rückgemeldet. Anders als in der Papier-und-Bleistift-Version des Tests von Porteus (1965) war jedoch ein Durchkreuzen der Wände nicht möglich.

Untersuchung 1 gliedert sich in vier verschiedene Subuntersuchungen, in denen jeweils die Auswirkungen der Variation einzelner Merkmale von Labyrinthvorlagen paarweise verglichen werden.

Die Zerlegung von teilweise auch möglichen mehrstufigen Designs in vier Paarvergleiche erscheint sinnvoll, da nicht davon ausgegangen werden kann, daß ein auf den ersten Blick ordinal abgestuftes Labyrinthmerkmal - etwa „keine“, „wenige“, „viele“ Sackgassen - auf allen Stufen gleichartige kognitive Prozesse induziert, deren Beanspruchung lediglich im Ausmaß variiert. So ist denkbar, daß die Bearbeitung eines Wegsystems ohne Sackgassen qualitativ andere kognitive Prozesse notwendig macht, als die eines „echten“ Labyrinthes. Darüber hinaus kann vermutlich im allgemeinen nicht von linearen Beziehungen zwischen den hier verwendeten unabhängigen und abhängigen Variablen ausgegangen werden.

Zusätzlich zur experimentellen Variation von Labyrinthmerkmalen als Meßwiederholungsfaktoren werden in allen vier Subuntersuchungen Auswirkungen des Geschlechts der Probanden (Gruppierungsfaktor) analysiert.

4.1.2.3.1 Subuntersuchung1: Existenz von Entscheidungspunkten(Sackgassen)

Ziel des ersten Teils der vorliegenden Untersuchung ist die Analyse des Einflusses der Existenz von Entscheidungspunkten an Sackgassen auf das Verhalten während der Labyrinthbearbeitung.

Die experimentelle Variation der unabhängigen Variablen "Existenz von Entscheidungspunkten" erfolgt in zwei Stufen durch Verwendung von Labyrinthvorlagen, die sich lediglich im Auftreten von Wegverzweigungen unterscheiden (s. Abb. 4.1.1). Während die eine Labyrinthvorlage als Pseudo-Labyrinth keine Wegverzweigungen aufweist, treten in der zweiten Labyrinthvorlage an 8 verschiedenen Punkten des zu durchlaufenden Weges Entscheidungspunkte auf, an denen eine Sackgasse eine Wegalternative bildet.

Es ergibt sich ein 2-faktorielles Design mit dem unabhängigen Faktor "Geschlecht" und einem 2-stufigen Meßwiederholungsfaktor "Existenz von Entscheidungspunkten":

		Existenz von Entscheidungspunkten	
		Nein	Ja
Geschlecht	Männer		
	Frauen		

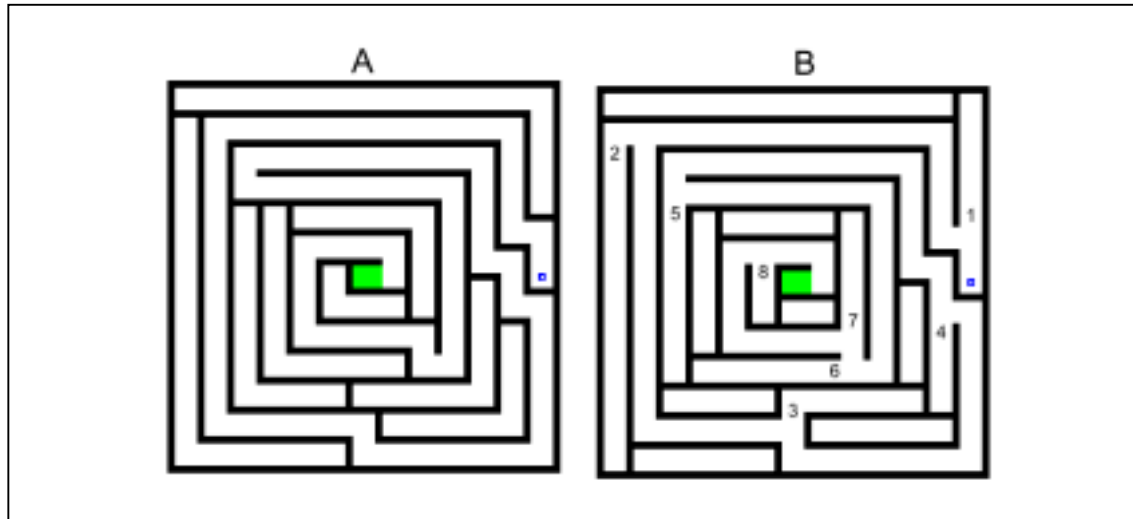


Abb. 4.1.1: Stimuli von Subuntersuchung 1: Wegsystem ohne (A) und mit (B) Sackgassen

Zur Vermeidung von Lerneffekten wurden die Labyrinthvorlagen als Parallelförmige, d.h. in rotierter Form, dargestellt. Die Zuordnung zwischen den Labyrinthvorlagen der zwei Stufen des Meßwiederholungsfaktors "Existenz von Entscheidungspunkten" und den Parallelförmigen wurde dabei permutiert.

4.1.2.3.2 Subuntersuchung 2: Anzahl von Entscheidungspunkten (Sackgassen)

Ziel des zweiten Teils der vorliegenden Untersuchung ist die Analyse des Einflusses der Anzahl von Entscheidungspunkten auf das Verhalten während der Labyrinthbearbeitung. Die experimentelle Variation der unabhängigen Variablen "Anzahl von Entscheidungspunkten" erfolgt in zwei Stufen durch Verwendung von Labyrinthvorlagen, die sich lediglich in der Anzahl von Wegverzweigungen unterscheiden (s. Abb. 4.1.2).

Es ergibt sich ein 2-faktorielles Design mit dem unabhängigen Faktor "Geschlecht" und einem 2-stufigen Meßwiederholungsfaktor "Anzahl von Entscheidungspunkten":

		Anzahl von Entscheidungspunkten	
		8	16
Geschlecht	Männer		
	Frauen		

Zur Vermeidung von Lerneffekten wurden die Labyrinthvorlagen als Parallelförmige, d.h. in rotierter Form, dargestellt. Die Zuordnung zwischen den Labyrinthvorlagen der zwei Stufen des Meßwiederholungsfaktors "Anzahl von Entscheidungspunkten" und den Parallelförmigen wurde dabei permutiert.

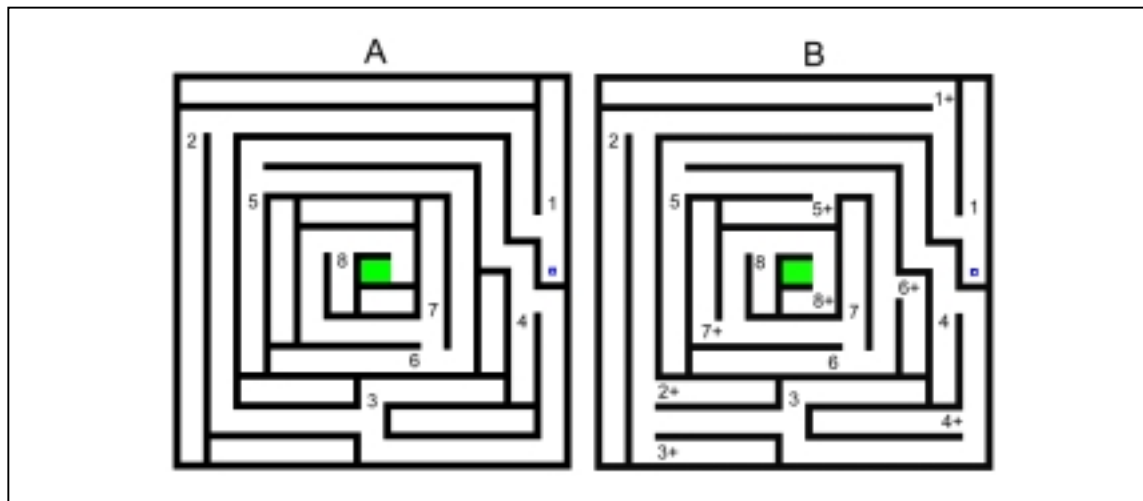


Abb. 4.1.2: Stimuli von Subuntersuchung 2: Labyrinth mit 8 (A) und 16 (B) Sackgassen

4.1.2.3.3 Subuntersuchung 3: Länge der Sackgassen

Ziel des dritten Teils von Untersuchung 1 ist die Analyse des Einflusses der Länge von Sackgassen auf das Verhalten während der Labyrinthbearbeitung.

Die experimentelle Variation der unabhängigen Variablen "Länge der Sackgasse" erfolgt auf zwei Stufen durch Verwendung von Labyrinthvorlagen, die sich lediglich in der Länge der Sackgassen unterscheiden (s. Abb. 4.1.3). Anzahl und Position der Sackgassen innerhalb der Labyrinthstruktur sind - wie auch der zum Ziel führende Weg - für beide Labyrinthvorlagen identisch.

Es ergibt sich ein 2-faktorielles Design mit dem unabhängigen Faktor "Geschlecht" und einem 2-stufigen Meßwiederholungsfaktor "Länge der Sackgasse":

		Länge der Sackgasse	
		kurz	lang
Geschlecht	Männer		
	Frauen		

Zur Vermeidung von Lerneffekten wurden die Labyrinthvorlagen als Parallelformen, d.h. in rotierter Form, dargeboten. Die Zuordnung zwischen den Labyrinthvorlagen der zwei Stufen des Meßwiederholungsfaktors "Länge der Wegalternative" und den Parallelformen wurde dabei permutiert.

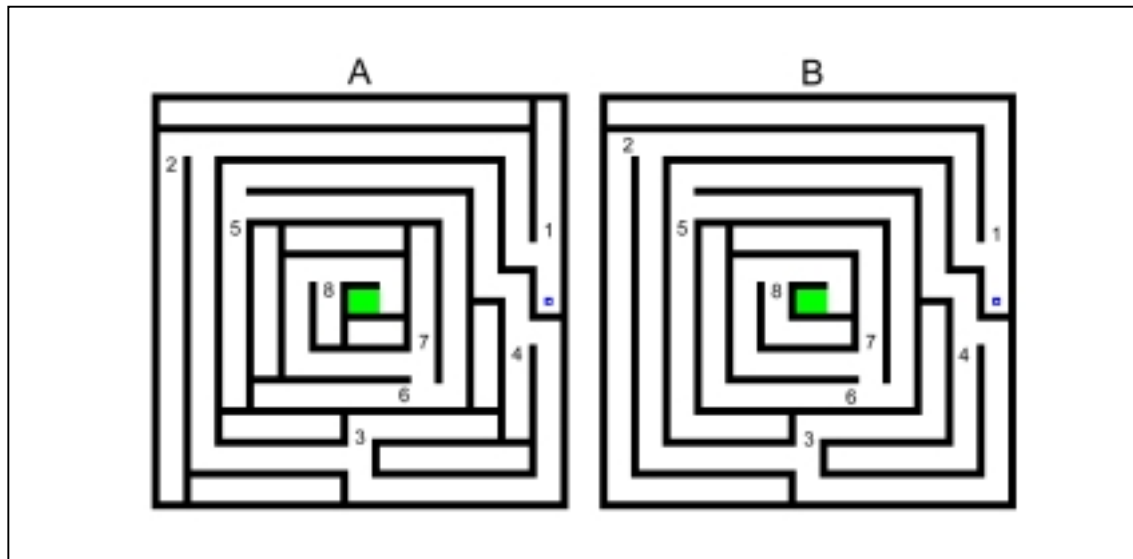


Abb. 4.1.3: Stimuli von Subuntersuchung 3: Labyrinth mit kurzen (A) und langen (B) Sackgassen

4.1.2.3.4 Subuntersuchung 4: Form der Sackgasse (Sackgassen mit und ohne Richtungswechsel)

Ziel des vierten Teils von Untersuchung 1 ist die Analyse des Einflusses der Form von Sackgassen auf das Verhalten während der Labyrinthbearbeitung.

Die experimentelle Variation der unabhängigen Variablen "Richtungswechsel in der Sackgasse" erfolgt auf zwei Stufen durch Verwendung von Labyrinthvorlagen, die sich lediglich darin unterscheiden, ob innerhalb einer Sackgasse ein Richtungswechsel auftritt oder nicht (s. Abb. 4.1.4). Anzahl, Länge und Position innerhalb der Labyrinthstruktur sind für die Sackgassen der beiden Labyrinthvorlagen - wie auch der zum Ziel führende Weg - identisch.

Es ergibt sich ein 2-faktorielles Design mit dem unabhängigen Faktor "Geschlecht" und einem 2-stufigen Meßwiederholungsfaktor "Richtungswechsel in der Sackgasse":

		Richtungswechsel in den Sackgassen	
		Nein	Ja
Geschlecht	Männer		
	Frauen		

Zur Vermeidung von Lerneffekten wurden die Labyrinthvorlagen als Parallellformen, d.h. in gespiegelter Form, dargeboten. Die Zuordnung zwischen den Labyrinthvorlagen der zwei Stufen des Meßwiederholungsfaktors "Richtungswechsel in der Sackgasse" und den Parallellformen wurde dabei permutiert.

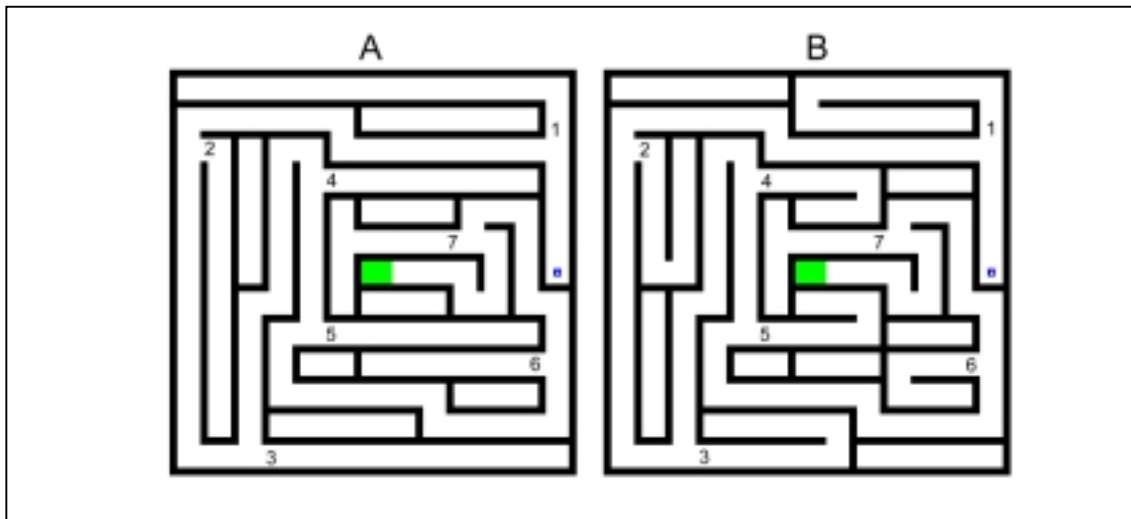


Abb. 4.1.4: Stimuli von Subuntersuchung 4: Labyrinth ohne (A) und mit (B) Richtungswechsel in den Sackgassen

4.1.2.4 Abhängige Variablen

4.1.2.4.1 Grundsätzliche Probleme bei der Definition abhängiger Variablen in Labyrinthuntersuchungen

In der Mehrzahl der Untersuchungen mit Labyrinthaufgaben werden zur Beschreibung des Verhaltens Parameter verwendet, die entweder die Qualität oder den Zeitbedarf einer Labyrinthbearbeitung abbilden sollen. Als Maß für die Qualität wird dabei meist die Anzahl von Fehlern im Sinne von Eintritten in Sackgassen verwendet. In Lernversuchen findet sich alternativ die Anzahl benötigter Durchläufe bis zu einer fehlerfreien Lösung. Der Zeitbedarf wird meist definiert als die Zeit, die von der Präsentation eines Labyrinthes bis zum Erreichen der Zielposition benötigt wird. In Lernversuchen wird häufig die Gesamtzeit angegeben, die während der Bearbeitung mehrerer Labyrinthe bis zum Erreichen eines Lernkriterium benötigt wird.

Bei der Quantifizierung des Verhaltens in Labyrinthaufgaben ergibt sich jedoch das Problem, daß die verschiedenen abhängigen Variablen meist nicht voneinander unabhängige Aspekte des Verhaltens abbilden (s. O'Neil 1978). Dies sei am Beispiel der beiden Parameter „Anzahl von Durchgängen“ und „Fehlerzahl“ beim Erlernen eines Labyrinthes verdeutlicht. Zenhausen & Nickel (1979) fassen die Ergebnisse ihrer Studie wie folgt zusammen: Probanden mit einer Dominanz der rechten Hemisphäre lernten ein taktil-motorisches Tischlabyrinth in weniger Durchgängen, mit weniger Fehlern und in kürzerer Zeit als Probanden mit Dominanz der linken Hemisphäre. Eine nähere Analyse mit Berücksichtigung der benötigten Durchgänge (Berechnung von Zeit und Fehlern pro

Durchgang) zeigte jedoch, daß der Unterschied in der Fehlerzahl vollständig durch die unterschiedliche Anzahl von Durchgängen erklärt werden konnte.

Dieses Problem der inhaltlichen Abhängigkeit von Parametern stellt sich auch bei der einmaligen Bearbeitung von Labyrinthen. In den meisten Studien werden Parameter verwendet, die die Qualität und die Verarbeitungsgeschwindigkeit erfassen sollen. Dabei wird die Qualität über die Anzahl von Fehlern bei der Lösung eines Labyrinthes oder über die Länge des bei der Labyrinthlösung zurückgelegten Weges operationalisiert. Die Verarbeitungsgeschwindigkeit dagegen wird über die für die Lösung eines Labyrinthes benötigte Zeit erfaßt. Es ist jedoch zu vermuten, daß Probanden, die zahlreiche Fehler machen, zwangsläufig - durch die damit verbundenen längeren Wege im Labyrinth - auch mehr Zeit benötigen. Dies läßt einen Zusammenhang, d.h. statistisch eine positive Korrelation, der beiden Meßgrößen erwarten: Je länger der gegangene Weg, desto höher die für die Labyrinthverarbeitung benötigte Zeit. Analysiert man jedoch den Zusammenhang zwischen dem Zeitbedarf und der Menge an Fehlern, zeigen sich uneinheitliche Ergebnisse. So berichtet z.B. Tremblay et al. (1994) für an Porteus (1965) angelehnte Labyrinthaufgaben, daß Fehler und Zeitbedarf unkorreliert sind. Thompson & Witryol (1946, s. auch Merry & Merry 1934) dagegen geben für die Zusammenhänge zwischen Leistungsparametern eines Fingerlabyrinthes Korrelationskoeffizienten um $r=0.7$ an.

Diese widersprüchlichen Befunde kann man vermutlich darauf zurückführen, daß der für die Lösung eines Labyrinthes benötigte Zeitbedarf nicht allein durch die Länge des gegangenen Weges, sondern auch durch die Geschwindigkeit der Bewegung sowie Anzahl und Länge von Bewegungspausen (z.B. für die Analyse des Stimulus) determiniert wird. Schon Kent unterstrich 1911 in ihren Untersuchungen mit sichtbaren Labyrinthen bei schizophrenen Patienten, daß die Geschwindigkeit, mit der ein Labyrinth gelöst wird, sowohl von der Anzahl und der Schwere von Fehlern wie auch der Geschwindigkeit der Bewegung beeinflusst wird. Abhängig von dem Ausmaß, in dem unterschiedliche Lösungsstrategien bei einer Labyrinthaufgabe eingesetzt werden, sind unterschiedliche Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Parametern zu erwarten.

Der Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit, mit der ein Labyrinth bearbeitet wird, und Fehlerhäufigkeiten wurde auch experimentell untersucht. So instruierte Sharp (1939) die Probanden, ein Finger-Labyrinth in unterschiedlichen Geschwindigkeiten zu durchfahren. Je höher die geforderte Geschwindigkeit war, desto mehr Durchgänge benötigten die Probanden bis zu einer fehlerfreien Lösung. Dabei machten die Probanden bei höherer Geschwindigkeit über die Durchläufe hinweg mehr Fehler, brauchten jedoch insgesamt weniger Zeit. Die Lernkurven zeigten eine positive Beschleunigung. Dieses

Ergebnis ist jedoch vermutlich nicht auf die Zusammenhänge zwischen abhängigen Variablen zu generalisieren, wenn die Probanden die Geschwindigkeit selber individuell an die Anforderungen der Aufgabe anpassen.

Eine Methode verschiedene korrelierte Variablen zu orthogonalisieren, ist der Einsatz statistischer Verfahren (s. auch O'Neil 1978) wie z.B. die Methode der Eigenwertdekomposition ('singular value decomposition', SVD, Press et al. 1992) oder faktorenanalytische Methoden wie der Hauptkomponentenzerlegung (PCA). Jedoch stellt sich bei Parametern der Labyrinthlösung das Problem, daß die verschiedenen abhängigen Variablen in verschiedenen Ausprägungsbereichen unterschiedlich korreliert sind, und sich – v.a. im Vergleich mehrerer experimenteller Bedingungen - sehr unterschiedliche Verteilungen der Werte zeigen können. Damit werden die Voraussetzungen dieser statistischen Verfahren verletzt.

Eine Alternative zu derartigen statistischen Analysemethoden stellt ein - eher auf inhaltlichen Überlegungen beruhender - Ansatz dar: Globale Parameter, wie z.B. der Gesamtzeitverbrauch, die durch zahlreiche Faktoren beeinflusst werden, werden in Subparameter zerlegt. Diese werden als spezifisch für einzelne Aspekte der Labyrinthbearbeitung betrachtet (s. Krieger 1999).

Die Zerlegung von globalen Parametern wird durch den Einsatz computergestützter Labyrinthaufgaben und die damit mögliche präzise Erfassung von Verhalten während der Aufgabenbearbeitung erleichtert (s. z.B. Karnath, Wallesch & Zimmermann 1991). Mit der Einführung von graphischen Tablettts besteht zusätzlich die Möglichkeit, Verhalten kontinuierlich aufzuzeichnen. Die in frühen computergestützten Meßanordnungen künstliche Zerlegung des Verhaltens in diskrete Einheiten - und damit vermutlich auch der Aufgabenlösung in diskrete Teilschritte -, wie sie z.B. bei der Betätigung von Tasten entsteht, wird so vermieden (s. z.B. van Mier, Hulstijn & Peterson 1993).

Daß die Zerlegung von globalen Parametern in verschiedene Subparameter zum Verständnis der an der Labyrinthlösung beteiligten Prozesse nützlich sein kann, läßt sich aus verschiedenen Untersuchungen schließen.

So unterteilten Shapiro, Slater & Campbell (1962) die Gesamtverarbeitungszeit in einem Labyrinth in eine Startzeit und eine für das Nachfahren des Labyrinthes benötigte Zeit. Bei der Untersuchung des Einflusses von Distraktoren auf die Leistung akut und chronisch erkrankter schizophrener Patienten, fanden sie einen unterschiedlichen Einfluß der Distraction auf diese beiden Parameter des Zeitbedarfes.

Ähnlich konnten auch Krieger, Lis & Gallhofer (im Druck b, Krieger 1999) zeigen, daß die Unterteilung der Gesamtverarbeitungszeit Aufschluß über die bei der Lösung von Laby-

rinthen eingesetzte Strategie gibt. So konnte die verlängerte Verarbeitungszeit ersterkrankter, Neuroleptika-naiver schizophrener Patienten auf eine Verlängerung der Startzeit zurückgeführt werden. Damit unterschieden sie sich von einer Gruppe neuroleptisch behandelter, ersterkrankter schizophrener Patienten. Zwar benötigten auch diese Patienten längere Zeit für die Lösung eines Labyrinthes als gesunde Kontrollprobanden, jedoch verwendeten sie die Zeit nicht - wie die neuroleptika-naiven Patienten - für eine initiale Analyse der Labyrinthvorlage (erfaßt über die Startzeit), sondern für Bewegungspausen während der Navigation des Cursors durch das Labyrinth.

Erste Ergebnisse von Studien zur Aktivierung von Hirnstrukturen bei der Lösung von Labyrinthaufgaben geben Hinweise darauf, daß verschiedene Parameter der Labyrinthlösung, d.h. verschiedene Aspekte von Verhalten, mit der Aktivität in unterschiedlichen Hirnregionen in Beziehung stehen. So konnten Maguire et al. (1998) einen Zusammenhang zwischen der Bewegungsgeschwindigkeit und der Aktivität im rechten Nucleus Caudatus zeigen. Darüber hinaus war eine Beziehung zwischen der Präzision der Zieltrajektorie, d.h. der Präzision der Richtung auf das Ziel hin, und der Aktivität im rechtem Hippocampus und rechten inferioren parietalen Kortex beobachtbar. Neben diesen Zusammenhängen wurden auch Unterschiede in der Aktivierung von Hirnbereichen bei unterschiedlicher Qualität der Labyrinthbearbeitung erkennbar, d.h. zwischen erfolgreichen Aufgabenlösungen und Aufgabenbearbeitungen, bei denen die Probanden nicht in der Lage waren, die Zielposition zu erreichen. Erfolgreiche Lösungen zeigten eine stärkere Aktivierung von rechtem und linkem Hippocampus, linkem lateralen temporalen Kortex, linkem frontalen Kortex und dem Thalamus.

Im Gegensatz zu traditionellen psychometrischen Tests, die aus zahlreichen Items (für eine hinreichende Reliabilität meist mindestens 20) bestehen, oder zu Reaktionszeitaufgaben, von denen zum Zwecke der Mittelwertbildung zahlreiche Wiederholungen präsentiert werden, werden bei Labyrinthuntersuchungen wegen der vergleichsweise langen Lösungszeit und möglicher Lerneffekte meist nur einige wenige Aufgaben vorgelegt. Eine getrennte Analyse korrekter und fehlerhafter Labyrinthlösungen ist daher im allgemeinen nicht möglich.

Zeitmaße und Weglängen werden sowohl innerhalb einer Labyrinthbearbeitung wie auch in den Labyrinthbearbeitungen einer Stichprobe von Personen gleichermaßen durch die Eigenschaften korrekter Bearbeitung wie auch durch das Auftreten von Fehlern beeinflusst. Dabei können fehlerhafte Lösungen sowohl im Betreten von Sackgassen wie auch in rückwärts - in Richtung auf das Ziel - führenden Bewegungen bestehen. Derartige Fehler führen in den Parametern der Labyrinthlösung - abhängig von der Länge des Weges in Sackgassen und/oder zurück zum Ziel - zu einem im Vergleich mit fehlerfreien

Lösungen explosionsartigen Anstieg der benötigten Weglänge und häufig auch der benötigten Zeit. Neben den methodischen Problemen, die sich hier für den Einsatz statistischer Verfahren in Form von Verletzungen von Verteilungs- und Varianzhomogenitätsannahmen ergeben, führt dies auch zu inhaltlichen Problemen. Während die Möglichkeiten, eine Aufgabe korrekt zu lösen, relativ begrenzt sind - wenn auch vermutlich nicht allein auf eine einzige Art festlegbar, wie die Diskussion der verschiedenen Strategien bei der Lösung von Labyrinthen nahe legt -, gibt es eine Vielzahl von Faktoren, die zu einer fehlerhaften Lösung führen können. Flitman et al. (1997) ziehen daraus die Konsequenz, kognitive Prozesse nur bei gut gelernten Labyrinthen zu untersuchen, da hier die zur Aufgabenlösung eingesetzten kognitiven Prozesse vermutlich homogener sind. Dabei stellt sich jedoch das Problem, daß bestimmte Prozesse wie Planung und Sequenzierung kaum noch zur Aufgabenlösung notwendig sind und sich so einer Untersuchung entziehen. Dies mag z.B. dafür verantwortlich sein, daß Flitman et al. (1997) im Gegensatz zu anderen Studien, die unbekannte Labyrinth einsetzen (s. Tremblay et al. 1994, Ghatan et al. 1995), keine Aktivierung in frontalen Hirnbereichen, die mit dem Einsatz von Planungsprozessen in Verbindung gebracht wird, beobachten konnten.

Krieger, Lis & Gallhofer (im Druck b, s. auch Krieger 1999, Sinsel 1999) schlugen als eine Lösung dieses Problems eine Trennung der Verarbeitungszeiten in Zeitstrecken vor, in denen sich die Probanden auf dem korrekten Weg befanden und Zeitstrecken, in denen sie in Sackgassen oder auf dem Rückweg zur Startposition waren. Letzteres Verhalten wurde als „irreguläres“ Verhalten analysiert. Ziel dieses Vorgehens war, eine getrennte Auswertung für fehlerhafte und korrekte Verarbeitung zu ermöglichen. Jedoch besteht bei Labyrinthaufgaben mit vollständig sichtbarem Weg prinzipiell das Problem, daß schon während des beobachtbaren „regulären“ Verhaltens eine fehlerhafte kognitive Verarbeitung stattfindet und als „irreguläres“ Verhalten lediglich die Konsequenzen dieser fehlerhaften Verarbeitung erfaßbar sind. Ähnlich ist zu vermuten, daß schon während des „irregulären“ Verhaltens die notwendigen kognitiven Prozesse für eine weitere korrekte Verarbeitung des Labyrinthes stattfinden.

Zusammenfassend kann man festhalten, daß eine Zerlegung globaler Verhaltensmaße der Labyrinthlösung dann einen vielversprechenden Ansatz bildet, wenn sie, wie im Falle der Startzeit, die Abbildung eines bestimmten Aspektes der Verarbeitung ermöglicht. Sie erscheint weniger weiterführend, wenn, wie wahrscheinlich im Fall der Unterscheidung regulären und irregulären Verhaltens, die Subparameter ähnlich wie die Globalmaße sowohl durch korrekte wie fehlerhafte kognitive Prozesse beeinflußt werden.

4.1.2.4.2 Herleitung der abhängigen Variablen

In der vorliegenden Untersuchung soll versucht werden, verschiedene Aspekte des Verhaltens bei der Labyrinthlösung durch unterschiedliche Parameter abzubilden¹. Dabei interessiert, ob diese abhängigen Variablen in unterschiedlicher Weise durch experimentelle Manipulation von einzelnen Merkmalen der Labyrinthaufgaben beeinflussbar sind.

4.1.2.4.2.1 Parameter der Qualität der Labyrinthlösung

Die Qualität der Labyrinthlösung soll die Fähigkeit eines Probanden beschreiben, einen Weg durch ein Labyrinth zu finden, ohne beim Auftreten von Wegalternativen falsche Entscheidungen zu treffen.

Dabei sind prinzipiell mehrere Typen falscher Entscheidungen in unterschiedlichen Situationen beobachtbar (s. Abb. 4.1.5). So lassen sich falsche Entscheidungen an Wegabelungen (Fehlertyp F1) abgrenzen von Fehlern, die unabhängig von derartigen Entscheidungssituationen auftreten. Hier ist an einen Richtungswechsel unabhängig vom Vorliegen einer Sackgasse zu denken, bei dem sich der Proband auf dem Lösungsweg zurück zur Startregion bewegt (Fehlertyp F3). Analysiert man fehlerhafte Entscheidungen in Entscheidungssituationen, ist zu berücksichtigen, daß das Verlassen einer Sack-

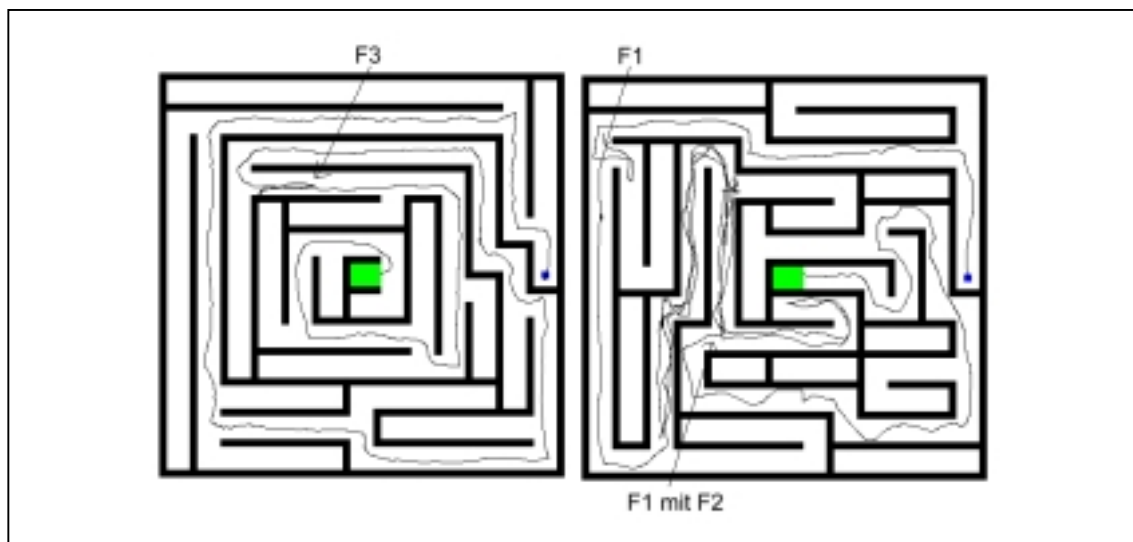


Abb. 4.1.5: Unterschiedliche Fehlertypen bei der Labyrinthbearbeitung
 F1: Betreten von Sackgassen, F2: fehlerhafte Entscheidung beim Verlassen einer fälschlich betretenen Sackgasse, F3: Richtungswechsel auf dem Lösungsweg zurück zur Startregion

¹ Das für die Berechnung der verschiedenen Parameter der Labyrinthlösung verwendete Programm wurde von der Verfasserin der vorliegenden Arbeit konzipiert und als C-Programm realisiert.

gasse letztendlich wiederum eine - durch eine vorhergehende falsche Entscheidung bedingte - Entscheidungssituation darstellt. Es ist zu vermuten, daß Fehler beim Verlassen einer fälschlich betretenen Sackgasse (Fehlertyp F2) als besonders schwerwiegend zu betrachten sind, da sie für den Verlust einer Orientierung im Labyrinth sprechen.

Untersuchungen im Animal- und Humanbereich haben gezeigt, daß verschiedene Sackgassen unterschiedliche Schwierigkeiten besitzen, d.h. mit unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten betreten werden. Karnath, Wallesch und Zimmermann (1991) nutzten dies, um das Verhalten von Patienten mit Schädigung des Frontalhirns von dem gesunder Kontrollprobanden zu differenzieren. Die Verteilung fehlerhafter Entscheidungen in Abhängigkeit von der Labyrinthstruktur bietet damit eine weitere Möglichkeit, das Verhalten unterschiedlicher Stichproben im Labyrinth zu charakterisieren.

Neben den verschiedenen Arten von Fehlern bei der Labyrinthlösung lassen sich auch Unterschiede im Ausmaß des fehlerhaften Verhaltens beobachten. So kann eine falsche Entscheidung, wie das Betreten einer Sackgasse, schnell oder erst spät, z.B. bei Erreichen des Sackgassenendes, erkannt und korrigiert werden.

Wird die Qualität der Labyrinthlösung über die Länge des gegangenen Weges operationalisiert, werden Anzahl, Art und Ausmaß der einzelnen Fehler zu einem globalen Wert verschmolzen. Dabei geht jedoch Information in erheblichem Ausmaß verloren. So können z.B. zahlreiche falsche Entscheidungen, die schnell korrigiert werden, zu gleichen „Qualitätswerten“ führen wie eine einzelne falsche Entscheidung, die erst spät korrigiert wird. Es erscheint daher sinnvoll, zusätzlich zu einem globalen Maß für die Qualität der Lösung in Form der Weglänge, auch die Häufigkeit unterschiedlicher Fehlertypen zu analysieren.

Die Länge des im Labyrinth zurückgelegten Weges kann als "Pixelweg", d.h. als Summe der Bewegungen des Cursors auf dem Bildschirm, quantifiziert werden:

$$\text{Pixelweg} = \sum_{i=2}^N (\sqrt{(x_i - x_{i-1}) + (y_i - y_{i-1})})^2$$

- mit x_i = horizontale Position des Cursors in der Labyrinthstruktur zum Zeitpunkt i der Labyrinthbearbeitung,
 y_i = vertikale Position des Cursors in der Labyrinthstruktur zum Zeitpunkt i der Labyrinthbearbeitung,
 N = Anzahl Meßpunkte während der Labyrinthbearbeitung.

Bei einer derartigen Berechnung der Qualität der Labyrinthlösung ergibt sich jedoch das Problem, daß dieses Maß für die Weglänge nicht nur durch Fehler, sondern auch durch "wavy lines" (Porteus 1965), also "schlenker-artige" Bewegungen verlängert wird (Abb. 4.1.6). So können Korrekturbewegungen, z.B. zur Vermeidung eines Wandkontaktes, oder unsichere Bewegungen aufgrund von Angst oder Ungeübtheit mit dem Stift des Graphik-Tabletts zu längeren Wegen führen als das Betreten einer einzelnen Sackgasse (Abb. 4.1.6 B und C).

Um den Anteil des Pixelweges, der durch derartige Eigenschaften der Bewegungen erklärt werden kann, von dem eigentlichen Lösungsweg, wie er vermutlich auch vom Probanden wahrgenommen wird, zu trennen, wird das folgende Vorgehen vorgeschlagen:

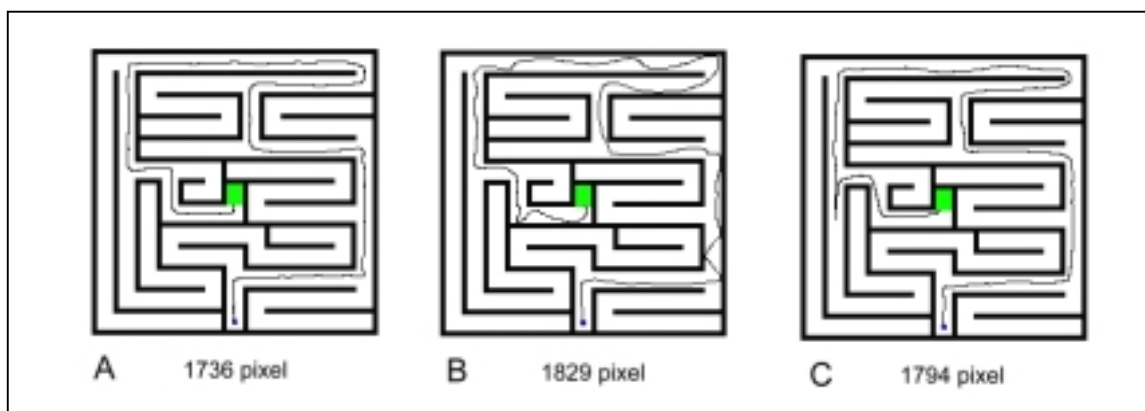


Abb. 4.1.6: Labyrinthlösungen mit Länge des Pixelweges. „Wavy lines“ (B) führen hier zu längeren Pixelwegen als das Betreten einer Sackgasse (C)

Die möglichen Wege innerhalb des Labyrinthes – Lösungsweg zwischen Start und Ziel sowie Wege in den Sackgassen - lassen sich durch einen "mittleren Idealweg" beschreiben (vgl. Abb. 4.1.7A; der „mittlere“ Idealweg wird von dem alternativ auch denkbaren „kürzesten“ Idealweg unterschieden, in dem die Richtungswechsel im Labyrinth geschnitten werden.). Dieser wird als Bezugsweg für die Berechnung der Länge des Lösungsweges verwendet. Jede xy-Position der aufgezeichneten Spur des Cursors auf dem Bildschirm (Pixelweg) wird über die Berechnung der euklidischen Distanz zu den xy-Positionen des Idealweges in Beziehung gesetzt. Jeder Cursor-Position wird die nächstgelegene Position auf dem Idealweg zugeordnet. Derart läßt sich dann jede Bewegung des Cursors auch als Bewegung auf dem Idealweg beschreiben. Die Länge des gegangenen Lösungsweges wird als Summe der Vorwärts- und Rückwärtsbewegungen auf dem Idealweg berechnet.

$$\text{Lösungsweg} = \sum_{i=2}^N \sqrt{((x_{k_i} - x_{k_{i-1}}) + (y_{k_i} - y_{k_{i-1}}))^2}$$

- Mit x_{k_i} = horizontale Position des Cursors auf dem Idealweg zum Zeitpunkt i der Labyrinthbearbeitung,
 y_{k_i} = vertikale Position des Cursors auf dem Idealweg zum Zeitpunkt i der Labyrinthbearbeitung,
 N = Anzahl Meßpunkte während der Labyrinthbearbeitung.

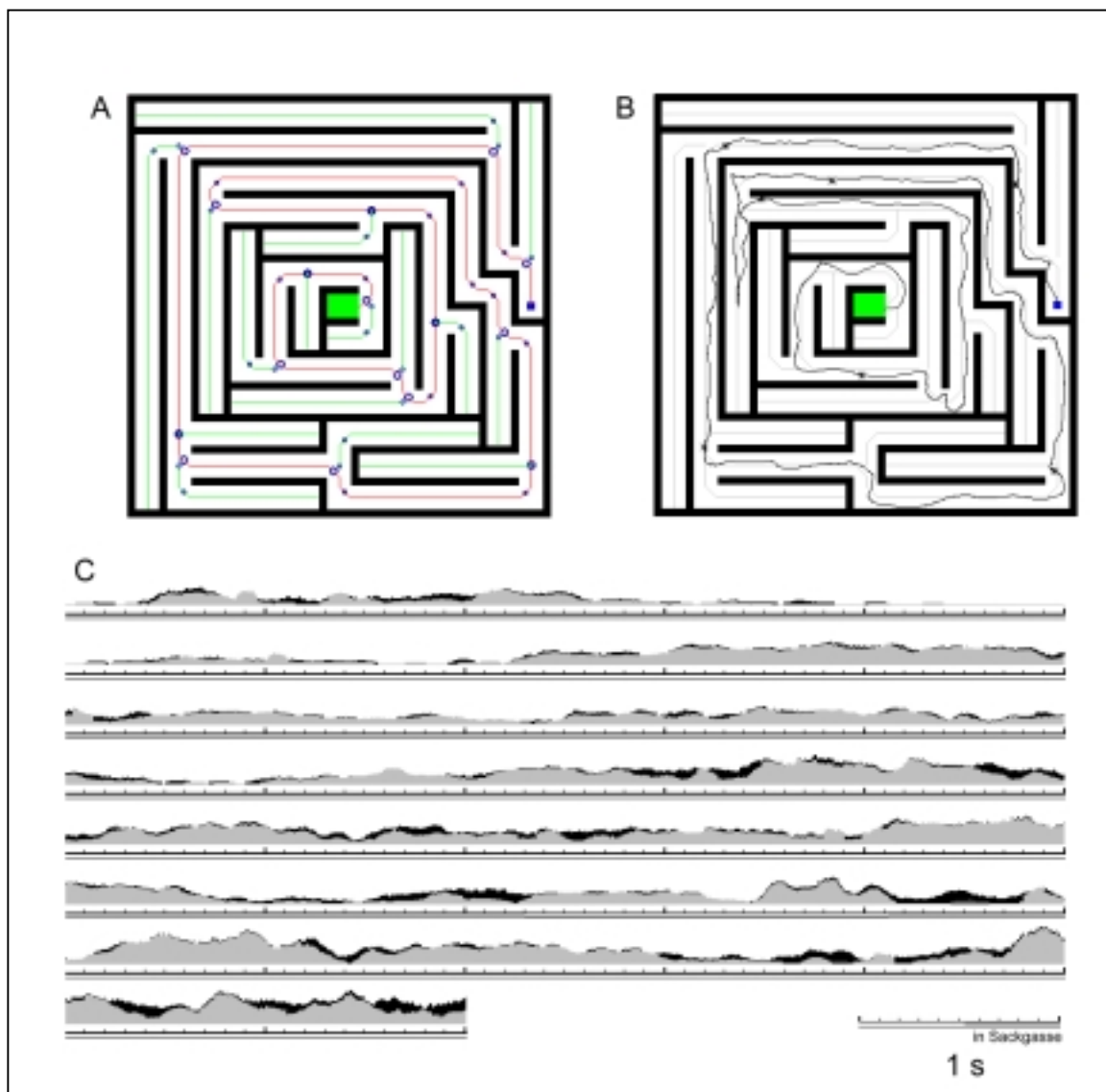


Abb. 4.1.7:

- A. Mittlerer Idealweg.
 B. Bewegungsspur einer typischen Labyrinthbearbeitung (Intervalle von 5s sind durch Sterne auf der Bewegungsspur markiert).
 C. Ausmaß von Cursorbewegung pro Zeiteinheit für die Dauer der Labyrinthbearbeitung (hellgrau: Cursorbewegungen auf dem Idealweg; schwarz: Differenzen der Cursorbewegungen auf Bildschirm und Idealweg)

Abb. 4.1.7C zeigt das Ausmaß der Positionsveränderung des Cursors auf dem Bildschirm und die korrespondierende Positionsveränderung auf dem Idealweg für die Dauer der Labyrinthbearbeitung. Die Summe der Differenzen zwischen Pixelweg und Lösungsweg ergibt ein Maß für die Unsicherheit der Bewegung, die sogenannten „wavy lines“ (s.u.). Da alle Personen vom Start zum Ziel zumindest den „idealen“ Lösungsweg gehen müssen, wird dessen Länge vor der statistischen Auswertung vom Lösungsweg subtrahiert. Die Länge des Idealweges bildet so gleichsam den absoluten Nullpunkt für die Erfassung der Qualität der Labyrinthlösung über die Länge des gegangenen Weges.

4.1.2.4.2.2 Parameter der Präzision der Bewegung

Laut Instruktion sind Berührungen der Labyrinthwände mit dem Cursor zu vermeiden. Wird die Wand trotzdem berührt, wird dies als Bewegungsfehler erfaßt. Zu jedem Meßzeitpunkt während der Labyrinthbearbeitung wird überprüft, ob eine Bewegung von einer Wandberührung begleitet wurde und deren Dauer akkumuliert.

Das Berühren der Wand ist von der Länge des zurückgelegten Lösungsweges abhängig. Führt z.B. ein Proband den Cursor weit in eine Sackgasse, besteht durch diese Verlängerung des Lösungsweges zusätzlich die Möglichkeit zu Wandberührungsfehlern. Daher wird die Gesamtdauer von Wandberührungen durch Division durch die Länge des Lösungsweges (s. 4.1.2.4.2.1) standardisiert.

$$\text{Wall: } \left(\sum_{i=1}^N w_i \right) / \text{Lösungsweg}$$

Mit	Lösungsweg	=	Länge des Lösungsweges in Pixel
	w_i	=	Wandkontakt des Cursors zum Zeitpunkt i der Labyrinthbearbeitung: nein= 0ms, ja= 5ms
	N	=	Anzahl Meßzeitpunkte während der Labyrinthbearbeitung

Ein ähnliches Maß ist auch Bestandteil des Q-Score im Labyrinth-Test von Porteus (1965, CC: cut-corner und CL: cross-lines).

Porteus (1965) verwendet als einen Parameter bei der qualitativen Bewertung von Labyrinthlösungen die Linienführung beim Durchfahren des Labyrinthes. Diese als "wavy lines" bezeichnete Variable wird in der vorliegenden Arbeit als Differenz zwischen dem Lösungsweg, d.h. der Projektion des Pixelweges auf den Idealweg, und dem Pixelweg, d.h. dem gegangenen Weg auf dem Bildschirm, erfaßt (s.o.). Abb. 4.1.8 zeigt Beispiele für Labyrinthlösungen mit einem geringen und hohen Anteil von „wavy lines“ an den Cursorbewegungen. Vor der statistischen Auswertung werden die „wavy lines“ durch Di-

vision mit dem Lösungsweg standardisiert, um den Einfluß von Wegverlängerungen aufgrund von Fehlern zu reduzieren.

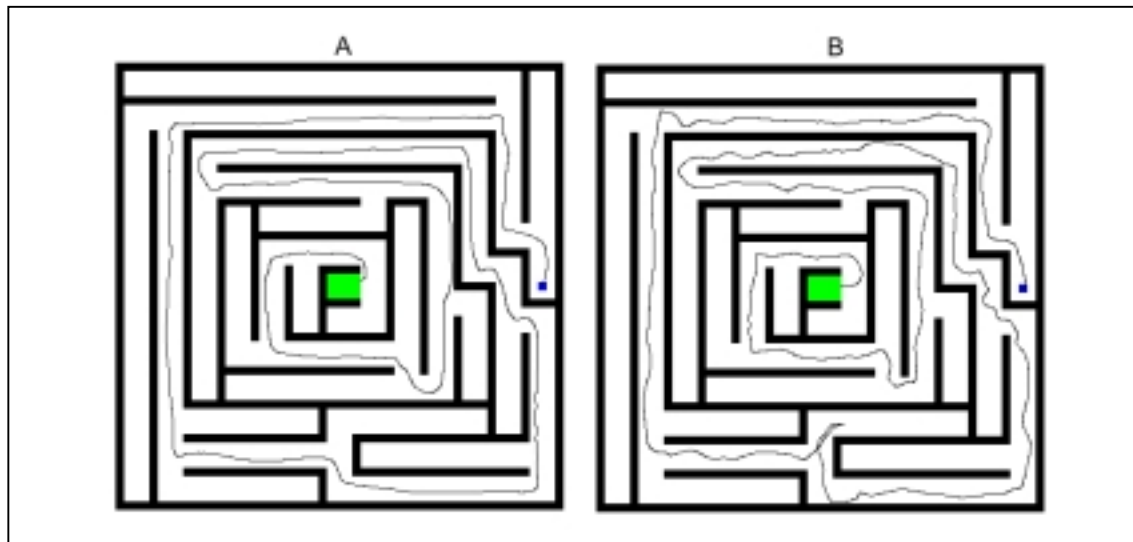


Abb. 4.1.8: Bewegungsspur einer Labyrinthbearbeitung mit niedrigem (A) und hohem (B) Ausmaß von „wavy lines“

4.1.2.4.2.3 Parameter des Zeitbedarfs der Labyrinthlösung

Eine Labyrinthlösung läßt sich neben ihrer Qualität auch durch ihren Zeitbedarf beschreiben. Die Gesamtverarbeitungszeit ist die Zeit von Präsentation des Labyrinthes bis zum Erreichen der Zielregion. Sie summiert den Zeitverbrauch unterschiedlicher kognitiver Prozesse wie Stimulusanalyse- und Entscheidungsprozesse, Prozesse der Vorbereitung, Kontrolle und Durchführung von Bewegungen aber auch kognitiver Planungs- und Sequenzierungsprozesse. Darüber hinaus wird sie auch durch das Auftreten von Fehlern und deren Korrektur verlängert, d.h. sie ist nicht unabhängig von der Qualität der Labyrinthlösung.

In der vorliegenden Arbeit soll versucht werden, durch eine Zerlegung der Gesamtverarbeitungszeit Zeitparameter zu entwickeln, die unterschiedliche Aspekte der an der Lösung beteiligten kognitiven Prozesse abbilden und möglichst unabhängig von der Qualität der Lösung sind.

Es wird vermutet, daß vor dem ersten offenen Verhalten während einer Labyrinthbearbeitung eine initiale Phase stattfindet, bei der der Proband neben der Vorbereitung der ersten Bewegung auch eine Analyse des dargebotenen Stimulus durchführt. Geht man davon aus, daß Aufgaben mit vollständig sichtbaren Labyrinth Problemlösungsaufgaben darstellen, ist zu vermuten, daß darüber hinaus auch Planungsprozesse ablaufen, in

denen eine mentale Repräsentation des Labyrinthes als Ganzes gebildet wird und die einzelnen Handlungsschritte vorbereitet werden.

Eine Erfassung des Zeitintervalls von der Präsentation eines Stimulus bis zur Initiierung einer ersten Bewegung, findet sich als sogenannte „Startzeit“ in verschiedenen Studien, die das Verhalten bei der Bearbeitung von Labyrinthaufgaben untersuchen. So trennte Foulds (1951, 1952, s. auch Foulds & Owen 1963, Shapiro, Slater & Campbell 1962) die bei der Bearbeitung von Porteus-Labyrinthaufgaben benötigte Zeit in eine "starting time" und eine "tracing time". Die Startzeit war definiert als die Zeit zwischen Vorlage des Labyrinthes und Beginn der Bewegung. Die "tracing time" umfaßte den Zeitbedarf von der Initiierung der ersten Bewegung bis zum Erreichen des Zieles. Die Startzeit wurde von Foulds weniger mit der Fähigkeit zur Lösung einer Labyrinthaufgabe als vielmehr mit der eingesetzten Strategie und Persönlichkeitsmerkmalen in Beziehung gesetzt. Ähnlich verwendeten auch Klinteberg, Levander & Schalling (1987) in einer computer-gestützten Version des "Perceptual Maze Test" die Startzeit zur Erfassung von Lösungsstrategien. Eine lange Startzeit wurde als Hinweis auf den für Frauen typischen Einsatz einer eher reflektiert-sequentiellen Strategie bei der Lösung der Labyrinthaufgaben gewertet. Dagegen wurde ein schneller Start der motorischen Reaktion als Ausdruck der für Männer typischen impulsiv-globalen Strategie angesehen.

Nach Initiierung der ersten Bewegung führt der Proband den Cursor durch das Labyrinth. Dabei lassen sich Phasen der Bewegung und Bewegungspausen beobachten.

In der vorliegenden Untersuchung soll die Dauer von Pausen als Maß für die Verarbeitungszeit verwendet werden, in der Stimulus-Analyse, Auswahl von Reaktionsalternativen und Planungsprozesse ablaufen. Es wird vermutet, daß während der Pausen die Unsicherheit über die nächsten durchzuführenden Bewegungen so hoch ist, daß die Bewegung unterbrochen werden muß und Stimulusanalyse- und Planungsprozesse im Vordergrund stehen (s. Krieger 1999). Es kann angenommen werden, daß die Dauer von Bewegungspausen auch durch das Auftreten von Fehlern verlängert wird. So werden vermutlich beim Verlassen einer Sackgasse zusätzliche zeitkonsumierende Stimulusanalyseprozesse sowie eine weitere Entscheidung zwischen Wegalternativen notwendig. Diese Verlängerung des Zeitbedarfes läßt sich als Konsequenz fehlerhafter Verarbeitung und damit als abhängig von der Qualität der Aufgabenbearbeitung verstehen. Jedoch ist anzunehmen, daß auch dann, wenn von den Probanden keine Sackgassen mit dem Cursor betreten werden, eine Exploration der verschiedenen Wegalternativen z.B. mit Hilfe von Augenbewegungen erfolgt. Ähnlich wie bei einem Durchfahren einer Sackgasse mit dem Cursor, wird auch hier die Sackgasse mit Augenbewegungen „betreten“. Es stellt sich die Frage, inwieweit der Zeitbedarf dieser nicht als „Fehler“ beurteilten Explorationsprozesse geringer ist als die Dauer von Pausen, die während eines

Fehlers zu beobachten sind. Diese Frage könnte über eine getrennte Auswertung von fehlerfreien und fehlerbehafteten Labyrinthlösungen überprüft werden. Jedoch ist dies im Rahmen der vorliegenden Untersuchung nicht möglich, da die Anzahl fehlerbehafteter Lösungen bei den hier rekrutierten Probanden zu gering für eine sinnvolle statistische Analyse ist.

Von der Zeit, die für Bewegungspausen aufgewendet wird, wird die Zeit, in der der Cursor durch das Labyrinth bewegt wird, abgegrenzt. Die Länge dieser Bewegungszeit wird einerseits durch die eigentliche motorische Bewegungsgeschwindigkeit beeinflusst. Sie ist von den motorischen Fertigkeiten der Probanden abhängig und wird vermutlich auch durch unterschiedliche Anforderungen an simultan zur Bewegung ablaufende kognitive Prozesse moduliert. Andererseits wird die Bewegungszeit jedoch auch durch die Länge des im Labyrinth gegangenen Weges, d.h. die Qualität der Aufgabenlösung, beeinflusst: Für das Durchfahren einer langen Wegstrecke muß bei gleicher Bewegungsgeschwindigkeit mehr Zeit aufgewendet werden als für eine kurze Wegstrecke. Um den Einfluß der Qualität der Labyrinthbearbeitung zu mindern, wird die Bewegungszeit mit der Länge des Lösungsweges zur Bewegungsgeschwindigkeit verrechnet:

$$\text{Geschwindigkeit: } \frac{\text{Weg}}{\sum_{i=1}^N M_i}$$

Mit	Weg	=	Länge des Lösungsweges in Pixel
	M_i	=	Dauer von als Bewegung klassifiziertem Verhalten zum Zeitpunkt i der Labyrinthbearbeitung
	N	=	Anzahl Meßzeitpunkte während der Labyrinthbearbeitung

Es ist zu vermuten, daß der Zeitbedarf für Stimulusanalyse-, Entscheidungs- und Planungsprozesse im Parameter „Pausenzeit“ eher unterschätzt wird und daß derartige kognitive Prozesse auch während der Ausführung von Bewegung ablaufen. Mit Hilfe der Experimente der vorliegenden Untersuchungen soll dieser Hypothese nachgegangen werden. Laufen während der Durchführung einer Bewegung Prozesse der Stimulusanalyse ab, sollte die Bewegungsgeschwindigkeit durch die Variation der verschiedenen Merkmale der Labyrinthvorlagen beeinflusst werden. Finden dagegen während der Bewegung keine Reizanalyseprozesse statt, sollte die Geschwindigkeit der Bewegung bei der Bearbeitung der verschiedenen Labyrinthvorlagen von den experimentellen Manipulationen der Labyrinthmerkmale unbeeinflusst bleiben, da die Anforderungen an die Bewegung über die experimentellen Variationen hinweg konstant gehalten wurden.

Bei der Trennung von Pausen- und Bewegungszeiten stellt sich das Problem, daß das Verhalten für jede gemessene Zeiteinheit als Pause oder Bewegung klassifiziert werden

muß. Dies ist nur über die Definition von Schwellen möglich, die festlegen, wie lang eine Zeitstrecke ohne - im hier verwendeten Meßtakt von 200 Hz - gemessene Veränderung der Cursor-Position auf dem Lösungsweg sein muß, um als Pause angesehen zu werden. Die Verteilung von Pausen- und Bewegungszeiten hat sich in der Literatur als deutlich abhängig von den verwendeten Schwellenwerten erwiesen. So konnten van Mier, Hulstijn & Petersen (1993) durch die post hoc Verschiebung des Wertes für die Mindestdauer einer Bewegungspause von 50 auf 100ms unterschiedlich akzentuierte Gruppenunterschiede erzielen.

In Untersuchung 1 werden aus diesem Grund unterschiedliche Schwellenwerte bei der Definition von Pausen verwendet. Es interessiert, welche Auswirkungen dies auf die Effekte der verschiedenen unabhängigen Variablen hat.

4.1.2.4.3 Zusammenfassung der abhängigen Variablen

Die verwendeten abhängigen Variablen sind in Tab. 4.1.2 zusammengefaßt.

Tab. 4.1.2: Abhängige Variablen

Qualität	
F1	Anzahl von Probanden mit mindestens einmaligem Betreten einer Sackgasse (mit min. 8 Pixel = 1 Wandbreite tief)
F2	Anzahl von Probanden mit mindestens einer falschen Richtungsentscheidung beim Verlassen einer Sackgasse (mit min. 24 Pixel = 1 Wegbreite)
F3	Anzahl von Probanden mit mindestens einer Rückwärtsbewegung auf dem Lösungsweg in Richtung der Startregion (mit min. 24 Pixel = 1 Wegbreite)
Weg	Differenz zwischen Lösungsweg und Idealweg
Präzision der Bewegung	
Wall	Präzision der Bewegung, definiert als Zeit während der Labyrinthbearbeitung, in der eine Bewegung zu einem Kontakt zwischen Cursor und Labyrinthwand führte, standardisiert an der Länge des Lösungsweges
Wavy lines	(Differenz zwischen Pixelweg und Lösungsweg)/Lösungsweg
Zeitbedarf	
Gesamtzeit	Zeit zwischen Präsentation der Labyrinthvorlage und Erreichen der Zielregion
Startzeit	Zeit von Präsentation der Labyrinthvorlage bis Verlassen eines Startfeldes (definiert als die ersten 50 Pixel des Idealwegs)
Pausenzeit*	Summe der Zeitstrecken ohne Änderung der Position auf dem Idealweg für min. 25, 50, 100, 200 bzw. 300 ms (ohne Startzeit)
Geschwindigkeit *	Lösungsweg/ Bewegungszeit
Anzahl Pausen*	Anzahl von Pausen von Verlassen der Startregion bis Erreichen der Zielposition
Mittlere Pausenlänge*	Mittlere Dauer der Pausen von Verlassen der Startregion bis Erreichen der Zielposition (Pausenzeit/Anzahl Pausen)

* für die zur Bestimmung der Pausendauer eingesetzten Schwellenwerte von 25, 50, 100, 200 und 300ms.

4.1.2.5 Hypothesen

Es wird erwartet, daß die Variation von Merkmalen der Labyrinthstruktur in den vier Teilen von Untersuchung 1 zu höheren Anforderungen an die Verarbeitung bei den jeweils komplexeren Vorlagen führt. Dies sollte sich in einem gehäuften Auftreten von Fehlern, verlängerten Lösungswegen und einer Erhöhung des Zeitverbrauches, respektive einer Verminderung der Bewegungsgeschwindigkeit, bemerkbar machen. Finden während der Ausführung von Bewegungen keine Reizanalyseprozesse statt, ist zu erwarten, daß der Parameter Bewegungsgeschwindigkeit unbeeinflusst durch die hier vorgenommene Manipulation der Labyrinthstruktur bleibt.

In bezug auf den Gruppierungsfaktor „Geschlecht“ wird erwartet, daß die aufgrund der Literatur anzunehmende reflektiert-sequentielle Lösungsstrategie von Frauen zu weniger Fehlern, aber auch zu einem höheren Zeitverbrauch, v.a. in der Startzeit, führt als bei Männern mit ihrer eher impulsiv-globalen Strategie.

Die männliche, impulsiv-globale Strategie sollte auch von einer geringeren Bewegungspräzision (Wandberührungen, „wavy lines“) begleitet sein, als sie bei Frauen zu beobachten ist. Jedoch sollte die Bewegungspräzision auch durch höhere Anforderungen an die Stimulusverarbeitung beeinflusst werden. So sollte „.. a tendency to become so absorbed in the task of finding the way of the maze ...“ (Porteus 1965, S. 253) zu mehr Wandberührungen und höheren Werten in den „wavy lines“ führen. Sind dagegen eher Variablen des kognitiven Stils wie z.B. die Tendenz zu impulsiven Bewegungen für diese Verletzungen der Instruktion verantwortlich, sollten sie sich in vergleichbarer Weise bei Pseudo- und "echten" Labyrinthaufgaben beobachten lassen und sich auch nicht durch experimentelle Manipulationen beeinflussen lassen, die erhöhte Anforderungen an eher stimulus-bezogene kognitive Prozesse stellen.

4.1.2.6 Statistik

Die Versuchspläne der verschiedenen Teile der vorliegenden Untersuchung werden getrennt analysiert und in getrennten Ergebnisteilen dargestellt.

Eine Auswertung der als Häufigkeiten erfaßten abhängigen Variablen, wie die Anzahl von Personen mit Fehlern bei der Labyrinthbearbeitung, erfolgt mit Hilfe von Kontingenztafeln (χ^2 -Vierfeldertafeln, ggfs. mit exakter Wahrscheinlichkeit nach Fisher bei unabhängigen Messungen, McNemar, bzw. Binomialtest bei abhängigen Messungen, vgl. Bortz, Lienert & Boehnke 1990).

Die statistische Auswertung der intervallskalierten abhängigen Variablen der vorliegenden Untersuchung erfolgt getrennt für die verschiedenen abhängigen Variablen mit Hilfe varianzanalytischer Verfahren. Da jedoch die Voraussetzung der Gleichheit der Varianz-

Kovarianz-Matrizen bei Parametern der Labyrinthbearbeitung in der Regel nicht erfüllt sind, werden entsprechend der Empfehlung von Zimmermann (1994) in der Varianzanalyse die in Ränge transformierten Werte der einzelnen Variablen verrechnet (s. auch Krieger 1999, Sinsel 1999). Als unabhängiger Gruppierungsfaktor wird in allen Verfahren das Geschlecht verwendet. Die Manipulation der verschiedenen Merkmale der Labyrinthvorlagen geht als Meßwiederholungsfaktor entsprechend der dargestellten Versuchspläne (s. 4.1.2.3) in die varianzanalytische Auswertung ein.

Da es sich bei der vorliegenden Untersuchung um eine explorative Studie handelt, wird auf eine Adjustierung des Alpha-Niveaus verzichtet. Inwieweit die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen generalisierbar sind, sollte in unabhängigen Untersuchungen gezeigt werden. Darüber hinaus würde eine adäquate Adjustierung des Alpha-Niveaus bei der Anzahl durchgeführter Tests auch zu einer deutlichen Zunahme des Risikos für einen Fehler zweiter Art, d.h. einem fälschlichen Beibehalten der Nullhypothese, führen (Diehl & Arbinger 1990).

Die statistischen Analysen wurden mit Hilfe des „Statistical Package for the Social Sciences“ (SPSS) durchgeführt.

4.1.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse werden getrennt für die vier verschiedenen Teile der Untersuchung beschrieben. Dabei wird der Einfluß der Existenz von Entscheidungspunkten (1), sowie von Anzahl (2), Länge (3) und Form (4) der Wegalternativen in Abhängigkeit vom Geschlecht der Probanden analysiert. Mittelwerte und Standardabweichungen der verschiedenen abhängigen Variablen finden sich zusammen mit den Ergebnissen der varianzanalytischen Auswertung im Anhang (Anhang A).

4.1.3.1 Subuntersuchung 1: Existenz von Entscheidungspunkten

4.1.3.1.1 Qualität der Labyrinthlösung

Beim Vorliegen von Entscheidungspunkten kann die Qualität der Aufgabenlösung durch die Auswahl einer falschen Wegalternative und ein damit verbundenes Führen des Cursors in eine Sackgasse reduziert werden (Fehlertyp F1). Ein derartiges Verhalten ist an die Existenz von Sackgassen gebunden, und kann deshalb nur im Stimulustyp B, der Labyrinthvorlage mit Entscheidungspunkten, auftreten. Eine Analyse der Häufigkeit derartiger Fehler zeigt, daß Männer und Frauen vergleichbar oft mindestens einmal eine Sackgasse betreten ($\chi^2=0.09$, $p=.765$, s. Abb. 4.1.10). Dabei geraten - bis auf einen Mann und eine Frau, die an zwei Entscheidungspunkten eine falsche Auswahl treffen -

alle Probanden lediglich ein einziges Mal in eine Sackgasse. Die Entscheidungsfehler lassen sich dabei v.a. an der zweiten und dritten Sackgasse des Labyrinthes beobachten (s. Abb. 4.1.17).

Beim Verlassen der Sackgasse entsteht ein neuer Entscheidungspunkt. In dieser Situation wählten alle Probanden die für die weitere Bearbeitung korrekte Richtung, d.h. sie bewegten den Cursor auf dem Weg weiter in Richtung zum Ziel, ohne die Orientierung im Labyrinth zu verlieren (Fehlertyp F2).

Auch das Auftreten von fehlerhaften Entscheidungen unabhängig von einer durch die Labyrinthstruktur gegebenen Entscheidungssituation (Fehlertyp F3) kann die Qualität der Labyrinthbearbeitung reduzieren. Dieser Fehlertyp kann auch unabhängig von der Existenz von Sackgassen auftreten. Jedoch ließ sich bei keinem der Probanden ein derartiger Fehler in den Pseudo-Labyrinthen beobachten. Auch im "echten" Labyrinth änderte lediglich eine Frau die Bewegungsrichtung zurück auf die Startregion hin.

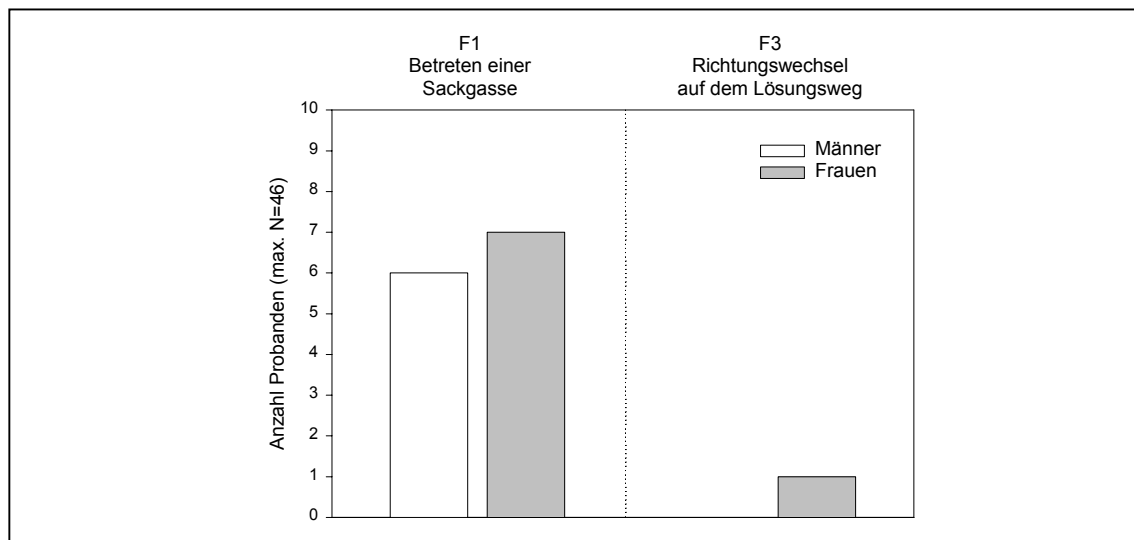


Abb. 4.1.10: Häufigkeit von Probanden mit mindestens einmaligem Auftreten von Fehlern der Typen F1 (Betreten einer Sackgasse) und F3 (Rückwärtsbewegung in Richtung auf die Startregion)

Das Auftreten von Fehlern führt zu einer Verlängerung des zurückgelegten Weges. Eine Analyse der benötigten Wegstrecken bei der Bearbeitung des Labyrinthes zeigt denn auch unabhängig vom Geschlecht der Probanden eine signifikante Verlängerung des Lösungsweges, wenn Entscheidungspunkte in der Labyrinthstruktur existieren ($F(1,90)=13.39$, $p<.001$, s. Abb. 4.1.11).

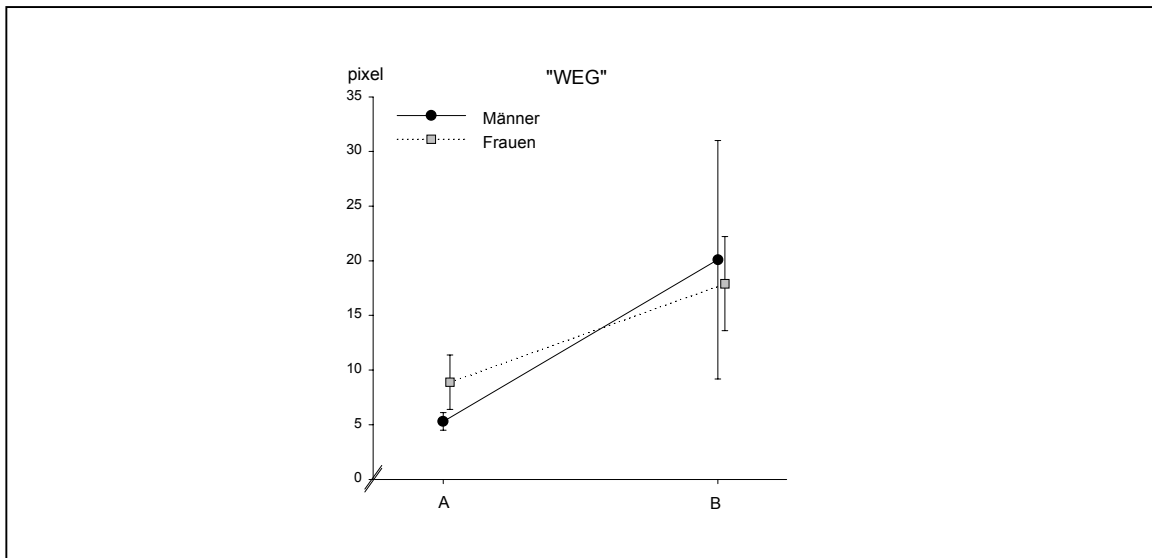


Abb. 4.1.11: Mittelwerte und Standardfehler von „Weg“ für männliche und weibliche Probanden bei der Lösung von Pseudo-Labyrinthen (A) und Labyrinthen mit Entscheidungspunkten (B)

4.1.3.1.2 Präzision der Bewegung während der Labyrinthlösung

Die Probanden waren instruiert beim Navigieren des Cursors durch das Labyrinth, eine Berührung der Labyrinthwände zu vermeiden. Eine Analyse der Zeiten, zu denen die Probanden dennoch die Wände berührten (AV: Wall), zeigte dabei weder einen Einfluß der Existenz von Entscheidungspunkten noch ein unterschiedliches Verhalten zwischen den Geschlechtern (s. Anhang A).

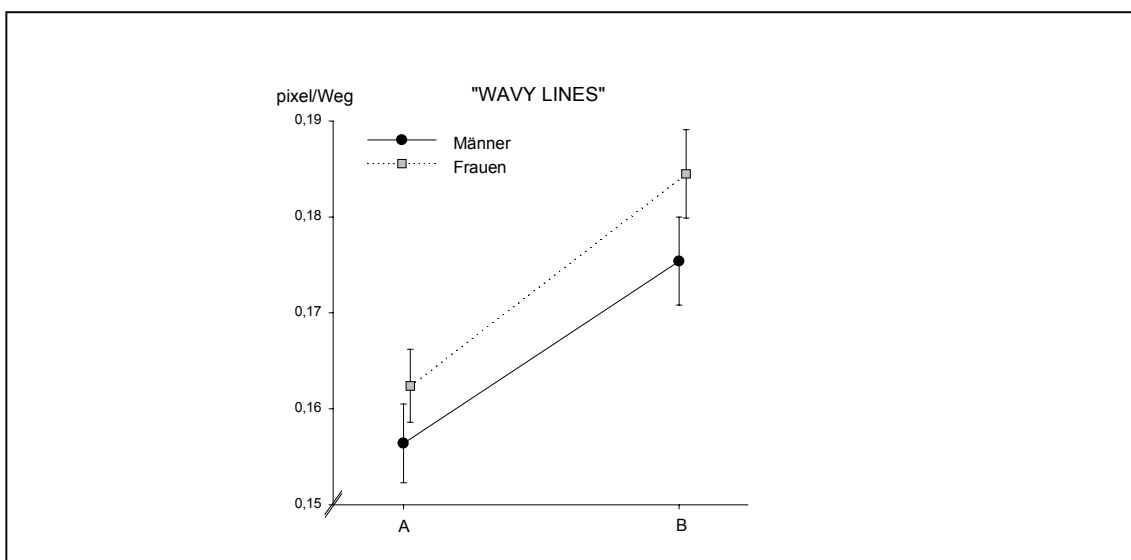


Abb. 4.1.12: Mittelwerte und Standardfehler von „Wavy lines“ für männliche und weibliche Probanden bei der Lösung von Pseudo-Labyrinthen (A) und Labyrinthen mit Entscheidungspunkten (B)

Jedoch findet sich ein Einfluß der Existenz von Entscheidungspunkten auf die Bewegungscharakteristika. Ist eine Entscheidungen zwischen Wegalternativen verlangt, lassen sich in beiden Probandengruppen verstärkt "schlenkerartige" Cursorbewegungen in den „wavy-lines“ beobachten ($F(1,90)=58.84$, $p<.001$, s. Abb. 4.1.12).

4.1.3.1.3 Zeitbedarf der Labyrinthlösung

Analysiert man die Gesamtzeit, die für die Labyrinthbearbeitung aufgewendet wurde, zeigen sich ähnliche Ergebnisse wie bei der Länge des Lösungsweges: Unabhängig vom Geschlecht ist der Zeitbedarf höher, wenn Entscheidungspunkte existieren ($F(1,90)=64.36$, $p<.001$, s. Abb. 4.1.13).

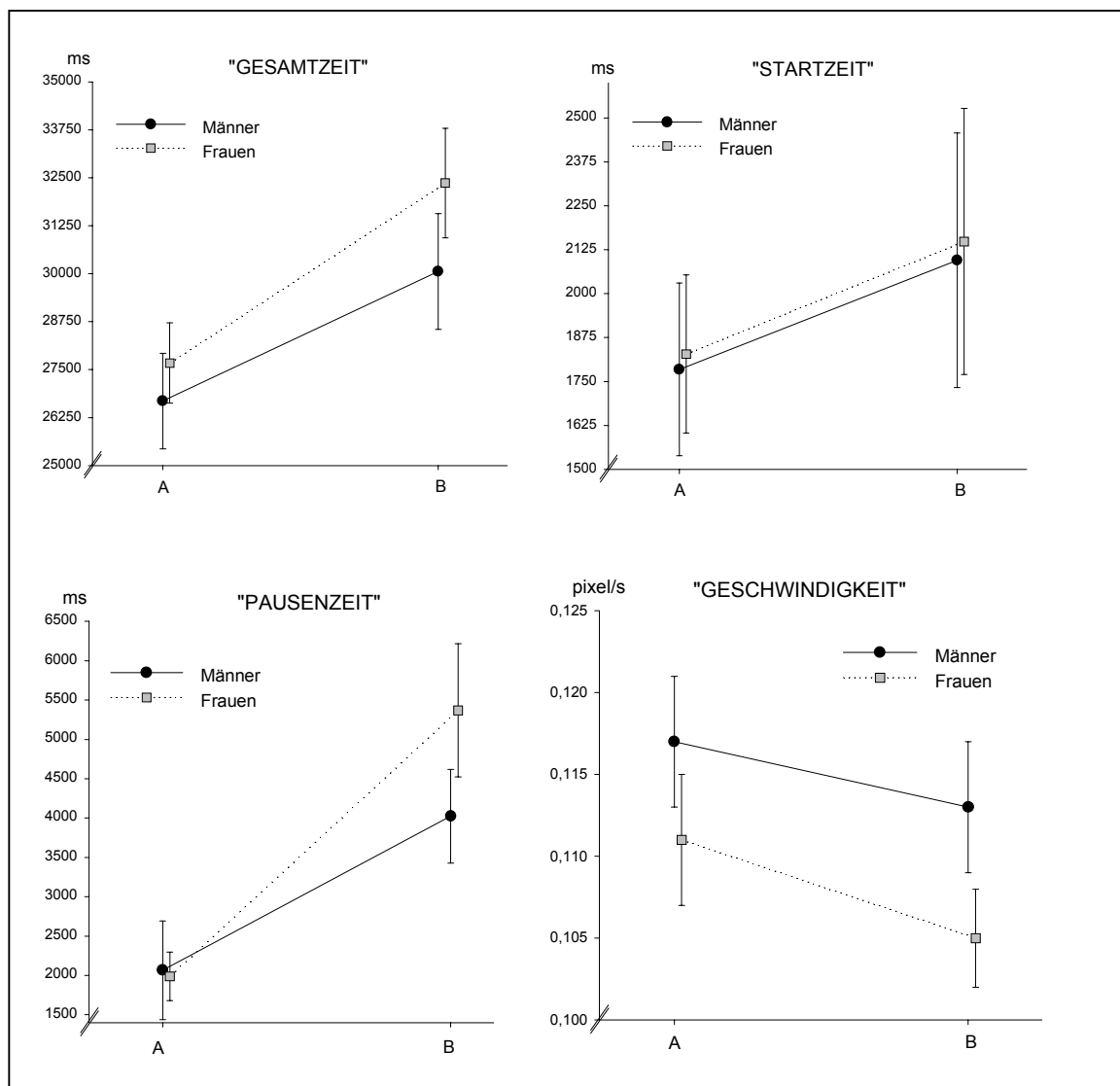


Abb. 4.1.13: Mittelwerte und Standardfehler von „Gesamtzeit“, „Startzeit“, „Pausenzeit“ und Bewegungs-„Geschwindigkeit“ für männliche und weibliche Probanden bei der Lösung von Pseudo-Labyrinthen (A) und Labyrinthen mit Entscheidungspunkten (B); min. Pausendauer 50ms

Bei einer Zerlegung der Gesamtzeit wird deutlich, daß die Existenz von Entscheidungspunkten keinen statistisch bedeutsamen Einfluß auf die Startzeit hat ($F(1,90)=.488$, $p<.488$, s. Abb. 4.1.13). Statt dessen wird eine Zunahme der Gesamtdauer von Pausen während der Navigation des Cursors erkennbar (für eine Pausendauer von mindestens 50ms, $F(1,90)=131.79$, $p<.001$, Abb. 4.1.13). Die Verlängerung der Pausenzeit läßt sich dabei sowohl auf einen Anstieg der Anzahl von Pausen ($F(1,90)=55.90$, $p<.0001$, s. Abb. 4.1.14) wie auch auf eine Verlängerung der durchschnittlichen Dauer der Pausen ($F(1,90)=36.19$, $p<.0001$, s. Abb. 4.1.14) zurückführen.

Die Existenz von Sackgassen führt auch zu einer Verminderung der Bewegungsgeschwindigkeit ($F(1,90)=8.87$, $p<.01$, Abb. 4.1.13), d.h. die Merkmale der Labyrinthstruktur verlängern auch die Zeit, die für die Bewegung des Cursors benötigt wird.

Die Pausen- und Geschwindigkeits-Effekte erwiesen sich als unabhängig vom Schwellenwert, der für die Mindestdauer einer Pause definiert wurde (vgl. Anhang A).

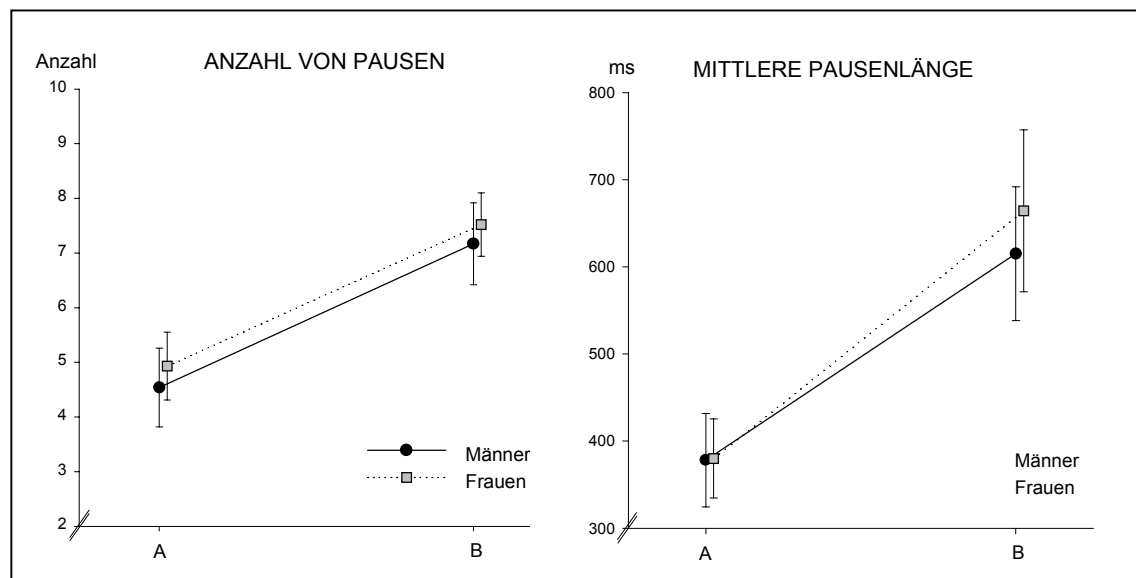


Abb. 4.1.14: Mittelwerte und Standardfehler von „Anzahl“ und „mittlerer Dauer“ der Pausen für männliche und weibliche Probanden bei der Lösung von Pseudo-Labyrinthen (A) und Labyrinthen mit Entscheidungspunkten (B) (min. Dauer einer Pause: 50ms)

Um einen ersten Einblick in mögliche unterschiedliche Strategien der Labyrinthbearbeitung zu gewinnen, wurde versucht, eine Beziehung zwischen Analysezeiten bei der Labyrinthbearbeitung und der Labyrinthtopographie darzustellen: Der Ort der einzelnen Pausen in den beiden verwendeten Labyrinthvorlagen ist in Abb. 4.1.15 getrennt für Männer und Frauen abgebildet. Der Radius der Kreise codiert dabei die Dauer der einzelnen Pausen. In beiden Labyrinthvorlagen lassen sich zahlreiche Pausen beobachten. Dabei kann man in den Pseudo-Labyrinthen aufgrund der vorwiegenden Lokalisation der

Pausen an den Richtungswechseln des Weges davon auszugehen, daß es sich hier primär um Pausen handelt, die mit der Steuerung der Bewegung in Beziehung stehen.

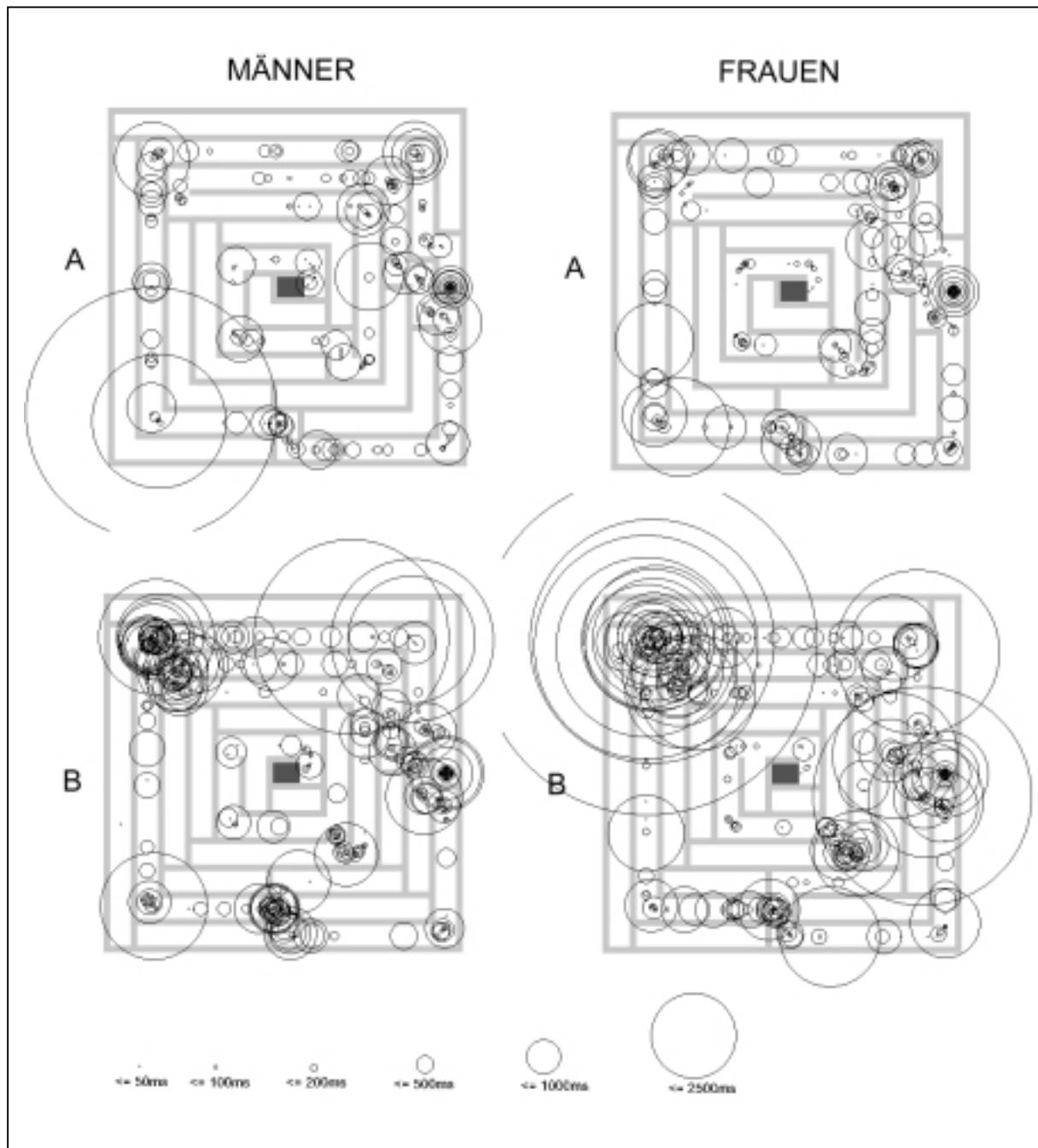


Abb. 4.1.15: Position der einzelnen Pausen für männliche und weibliche Probanden im Pseudo-Labyrinth (A) und Labyrinth mit Entscheidungspunkten (B). Die Dauer der Pausen ist durch die Größe der Kreise codiert (50ms : Radius 1 Pixel). Bei einer Pausendauer von mehr als 10 Sekunden wurde die Kreisgröße auf die 10 Sekunden entsprechende Kreisgröße begrenzt.

Im Gegensatz zu den Pseudo-Labyrinthen wird bei den "echten" Labyrinthen eine Häufung von längeren Pausen in den Bereichen vor Wegverzweigungen erkennbar. Besonders auffallend ist dies an den Verzweigungen zu den Sackgassen 2 und 5. Um diese Beobachtung auch statistisch zu überprüfen, wird der Zeitverbrauch in den Arealen vor

den Sackgassen (Gesamtaufenthaltsdauer des Cursors im Bereich von +/- 36 Pixel auf dem Idealweg vor einer Sackgasse) mit dem in den entsprechenden Arealen der Pseudo-Labyrinth paarweise verglichen (2x2 ANOVA für jede der 8 Sackgassen mit in Ränge transformierten Werten). Es zeigt sich, daß der Zeitverbrauch nicht nur vor den Sackgassen 2 und 5, sondern auch an den anderen Wegverzweigungen mit Ausnahme der siebenten Sackgasse überzufällig höher ist als in den entsprechenden Bereichen der Pseudo-Labyrinth (s. Anhang A).

Unterschiede zwischen den Geschlechtern deuten sich in den Labyrinthbereichen vor der zweiten und sechsten Sackgasse an. Frauen zeigen hier generell einen höheren Zeitbedarf als die männlichen Probanden (Sackgasse 2: $F(1,90)=3.03$, $p=.085$, Sackgasse 6: $F(1,90)=3.48$, $p=.065$).

4.1.3.2 Subuntersuchung 2: Anzahl von Entscheidungspunkten

4.1.3.2.1 Qualität der Labyrinthlösung

Wird die Anzahl von Wegverzweigungen innerhalb der Labyrinthvorlage erhöht, besteht damit prinzipiell auch die Möglichkeit, häufiger falsche Entscheidungen (Fehlertyp F1) zu treffen. Jedoch betreten entgegen der Erwartung die Probanden in beiden Labyrinthvorlagen vergleichbar häufig mindestens eine Sackgasse (Binomial-Test $p=.332$, Männer: $p=.453$, Frauen $p=.754$, s. Abb. 4.1.16). Während bei Vorliegen weniger Entscheidungspunkte je ein Mann und eine Frau innerhalb einer Labyrinthbearbeitung zweimal eine falsche Entscheidung fällten, betreten in der Labyrinthvorlage mit vielen Entscheidungspunkten alle Probanden nur einmal eine Sackgasse. Unterschiede zwischen den Geschlechtern lassen sich nicht beobachten (Stimulus A: $X^2=0.09$, $p=.765$, Stimulus B: $X^2=0.548$, $p=.714$). Abb. 4.1.17 zeigt die Häufigkeiten, mit denen die verschiedenen Sackgassen des Labyrinthes betreten werden. Während bei wenigen Entscheidungspunkten die Fehler gehäuft an den Sackgassen 2 und 3 auftreten, läßt sich eine derartige Bevorzugung einzelner Sackgassen beim Vorliegen zahlreicher Entscheidungspunkte nicht beobachten. Beim Verlassen der Sackgassen wählten alle Probanden den korrekten Weg weiter in Richtung auf das Ziel (kein Auftreten von Fehlern vom Typ F2). Das Auftreten von Fehlern unabhängig vom Vorliegen einer Wegverzweigung (Fehlertyp F3) läßt sich in der Bedingung mit vielen Entscheidungspunkten bei 2 Männern und 3 Frauen beobachten, während in der Bedingung mit wenigen Entscheidungspunkten nur eine Frau den Weg rückwärts auf die Startregion zu wählte (Abb. 4.1.16). Dieser Unterschied erreicht jedoch weder im Vergleich der Geschlechter noch im Vergleich zwischen den beiden Labyrinthvorlagen statistische Signifikanz (Vergleich der Labyrinthbedingun-

gen: Binomial-Test $p=.219$; Vergleich der beiden Stichproben: Stimulus A: $X^2=1.01$, $p=1.0$, Stimulus B: $X^2=0.211$, $p=1.0$).

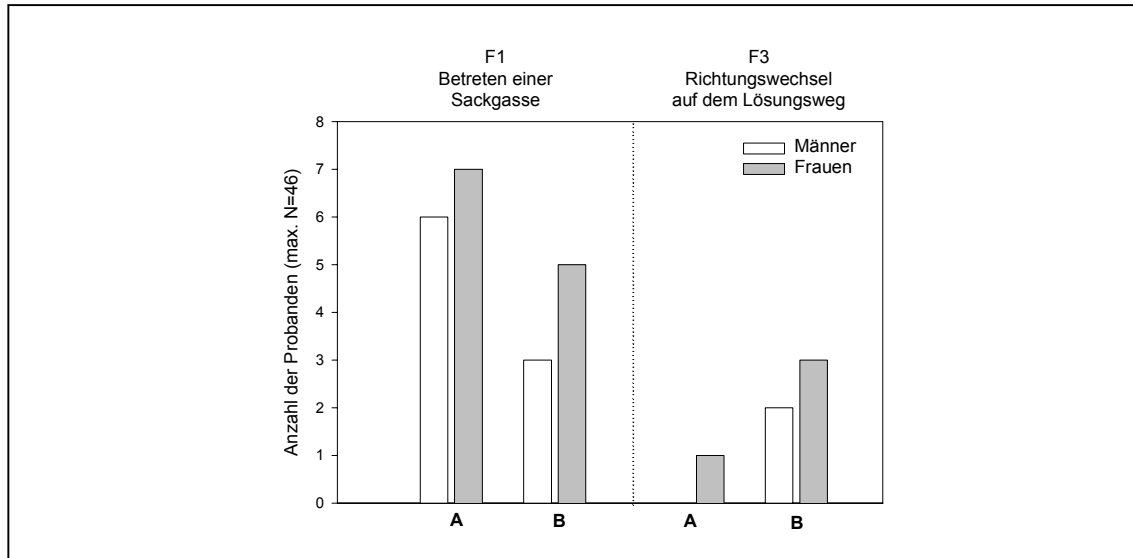


Abb. 4.1.16: Häufigkeit von Probanden mit mindestens einmaligem Auftreten von Fehlern der Typen F1 und F3 bei der Bearbeitung von Labyrinthen mit 8 (A) und 16 (B) Entscheidungspunkten

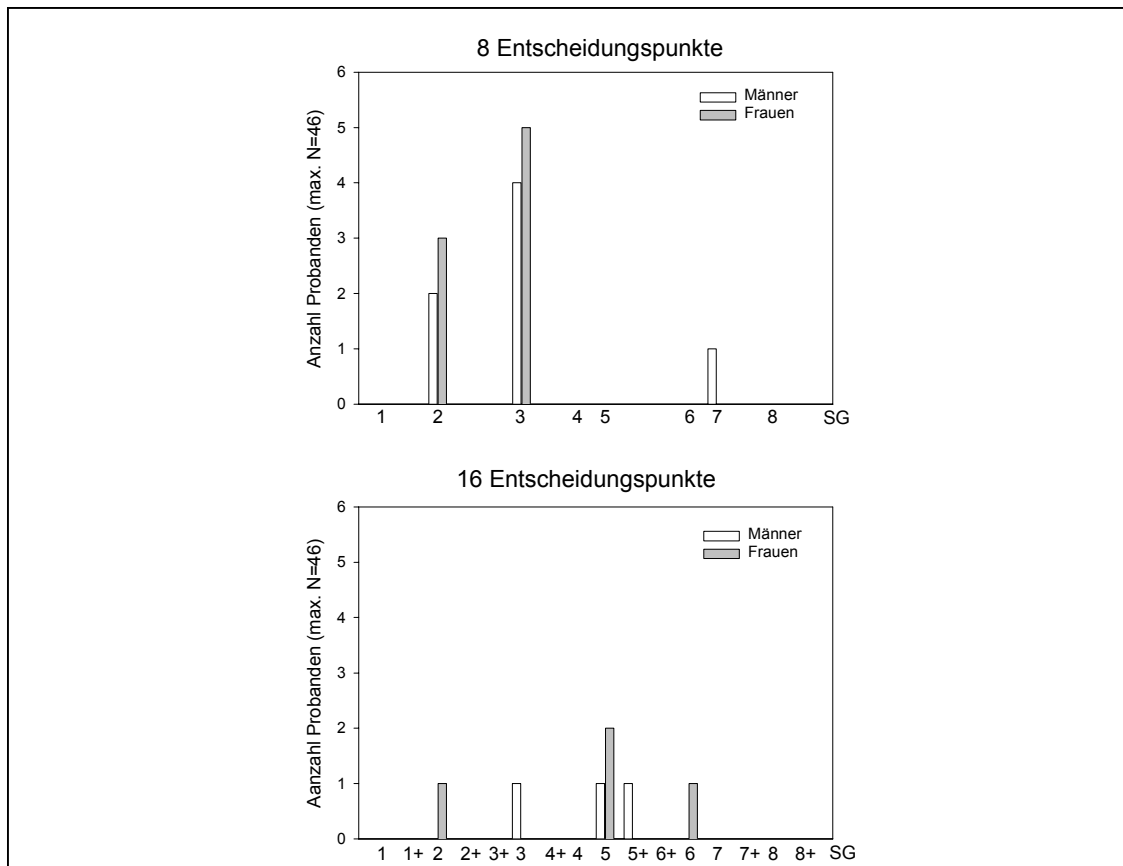


Abb. 4.1.17: Häufigkeit von falschen Entscheidungen an den einzelnen Sackgassen des Labyrinthes mit 8 resp. 16 Entscheidungspunkten für männliche und weibliche Probanden

Analysiert man den während der Labyrinthbearbeitung zurückgelegten Weg, läßt sich - vergleichbar der Analyse der Fehlerhäufigkeiten - weder ein Einfluß der Anzahl von Entscheidungspunkten noch des Geschlechtes der Probanden nachweisen (Abb. 4.1.18).

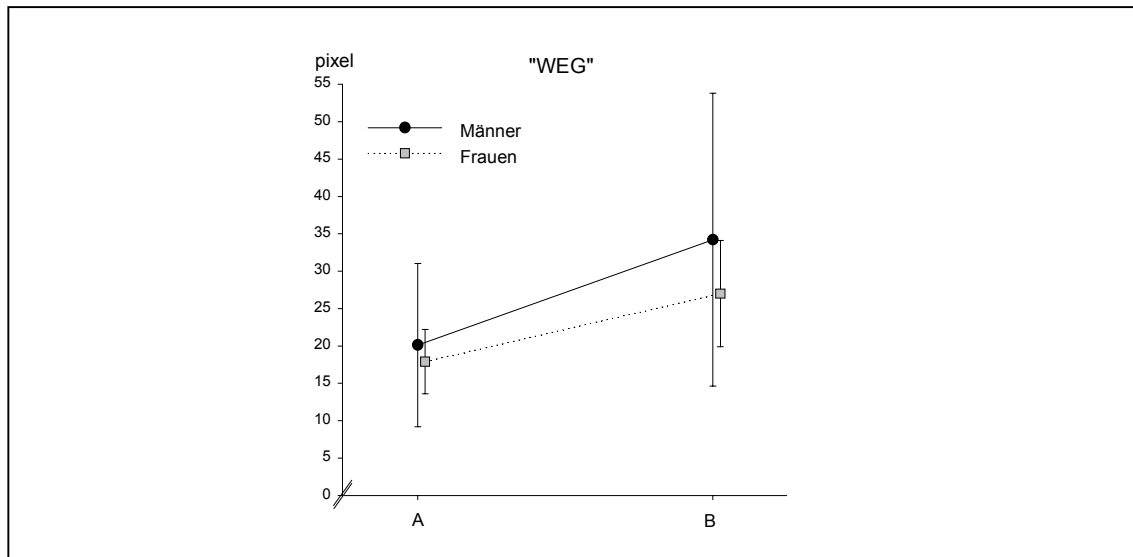


Abb. 4.1.18: Mittelwerte und Standardfehler von „Weg“ für männliche und weibliche Probanden bei der Lösung von Labyrinthen mit 8 (A) und 16 (B) Sackgassen

4.1.3.2.2 Präzision der Bewegung während der Labyrinthlösung

Das Ausmaß der zu vermeidenden Wandberührungen wurde weder durch die Anzahl von Entscheidungspunkten noch durch das Geschlecht der Probanden beeinflusst (vgl. Anhang A). Auch die im Parameter "wavy lines" erfaßten Bewegungscharakteristika unterscheiden sich weder für die beiden Labyrinthvorlagen noch zwischen den Geschlechtern.

4.1.3.2.3 Zeitbedarf der Labyrinthlösung

Im Gegensatz zu Parametern der Qualität der Labyrinthbearbeitung und der Präzision der Bewegung, führt die Einführung zusätzlicher Entscheidungspunkte in die Labyrinthstruktur zu einer signifikanten Zunahme der für die Labyrinthbearbeitung benötigten Gesamtzeit ($F(1,90)=8.05$, $p<.01$). Obwohl sich in den Mittelwerten ein deutlicherer Zuwachs des Zeitbedarfes in der Gruppe der Männer andeutet, erreicht dieser jedoch keine statistische Signifikanz ($F(1,90)=1.75$, $p=.189$, Abb. 4.1.19).

Eine Zerlegung der Gesamtzeit macht deutlich, daß die Zunahme der Gesamtverarbeitungszeit in der Bedingung mit der höheren Sackgassenzahl weder auf eine Verlängerung der Startzeit noch auf eine Zunahme der Dauer von Bewegungspausen zurückgeführt werden kann. Während diese beiden Parameter unbeeinflusst bleiben, zeigt sich ei-

ne Verminderung der Geschwindigkeit, mit der der Cursor durch das Labyrinth bewegt wird in Abhängigkeit von der Sackgassenzahl ($F(1,90)=10.39$, $p<.0018$, Abb. 4.1.19, bei min. Pausendauer von 50ms). Dieser Effekt einer Reduktion der Bewegungsgeschwindigkeit durch die Einführung zusätzlicher Entscheidungspunkte findet sich unabhängig vom Schwellenwert, der für die Mindestdauer einer Pause und damit für die Trennung zwischen Pause und Bewegung eingesetzt wurde (vgl. Anhang A).

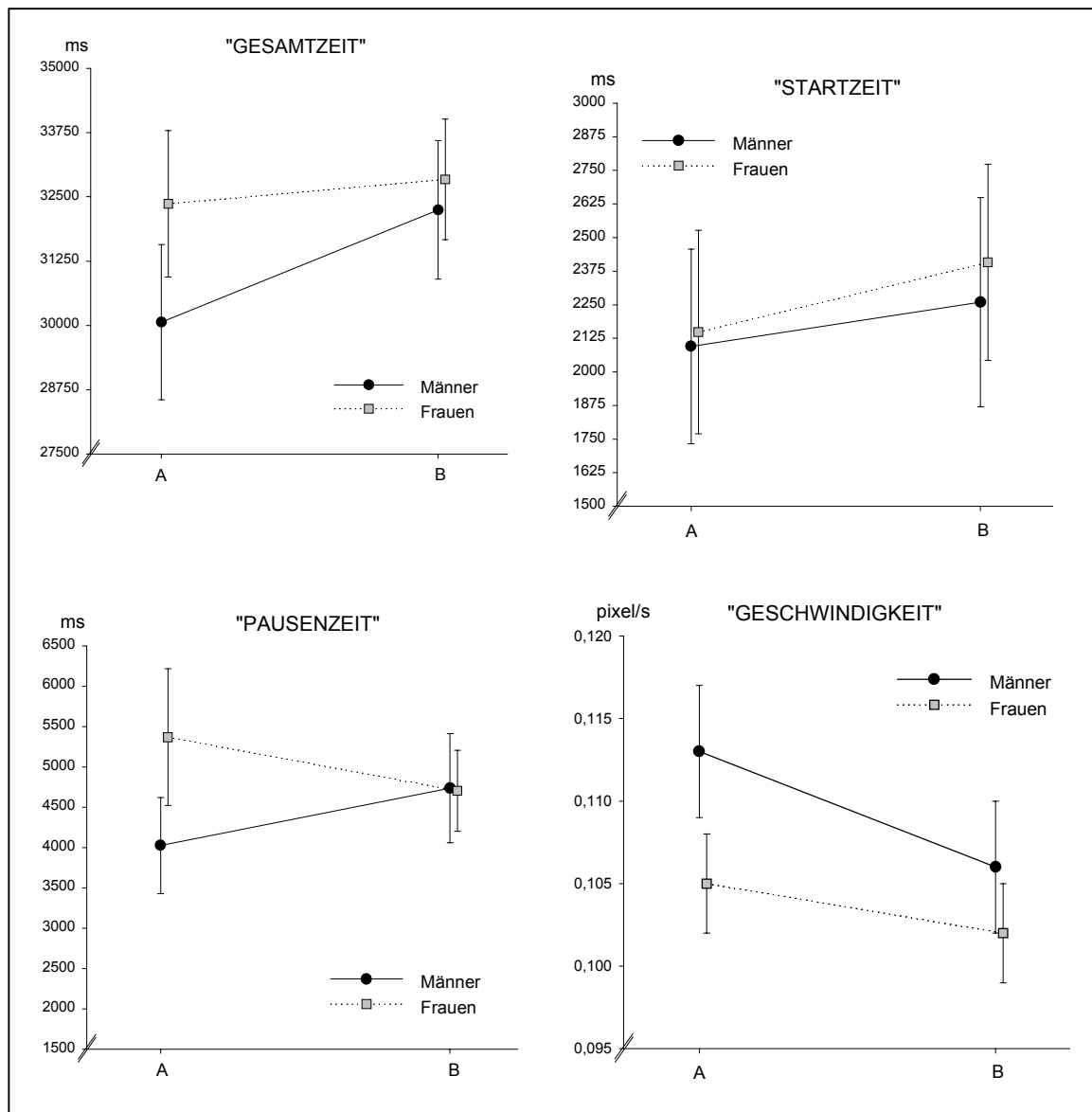


Abb. 4.1.19: Mittelwerte und Standardfehler von „Gesamtzeit“, „Startzeit“, „Pausenzeit“ und Bewegungs-„Geschwindigkeit“ für männliche und weibliche Probanden bei der Lösung von Labyrinth mit 8 (A) und 16 (B) Entscheidungspunkten (min. Dauer einer Pause: 50ms)

Eine Abbildung der verschiedenen Pausen in Relation zur Labyrinthstruktur zeigt Abb. 4.1.20. Die Einführung zusätzlicher Entscheidungspunkte scheint dabei an den entsprechenden Wegverzweigungen zu einer Zunahme von Pausen zu führen (z.B. vor der ersten neu eingeführten Sackgasse). Eine statistische Auswertung des Zeitverbrauches vor den Sackgassen (+/- 36 Pixel, vgl. 4.1.3.1.3) unterstützt diese Beobachtung (s. Abb. 4.1.21, s. Anhang A). Mit Ausnahme der Sackgassen 4+ und 8+ läßt sich vor allen neu

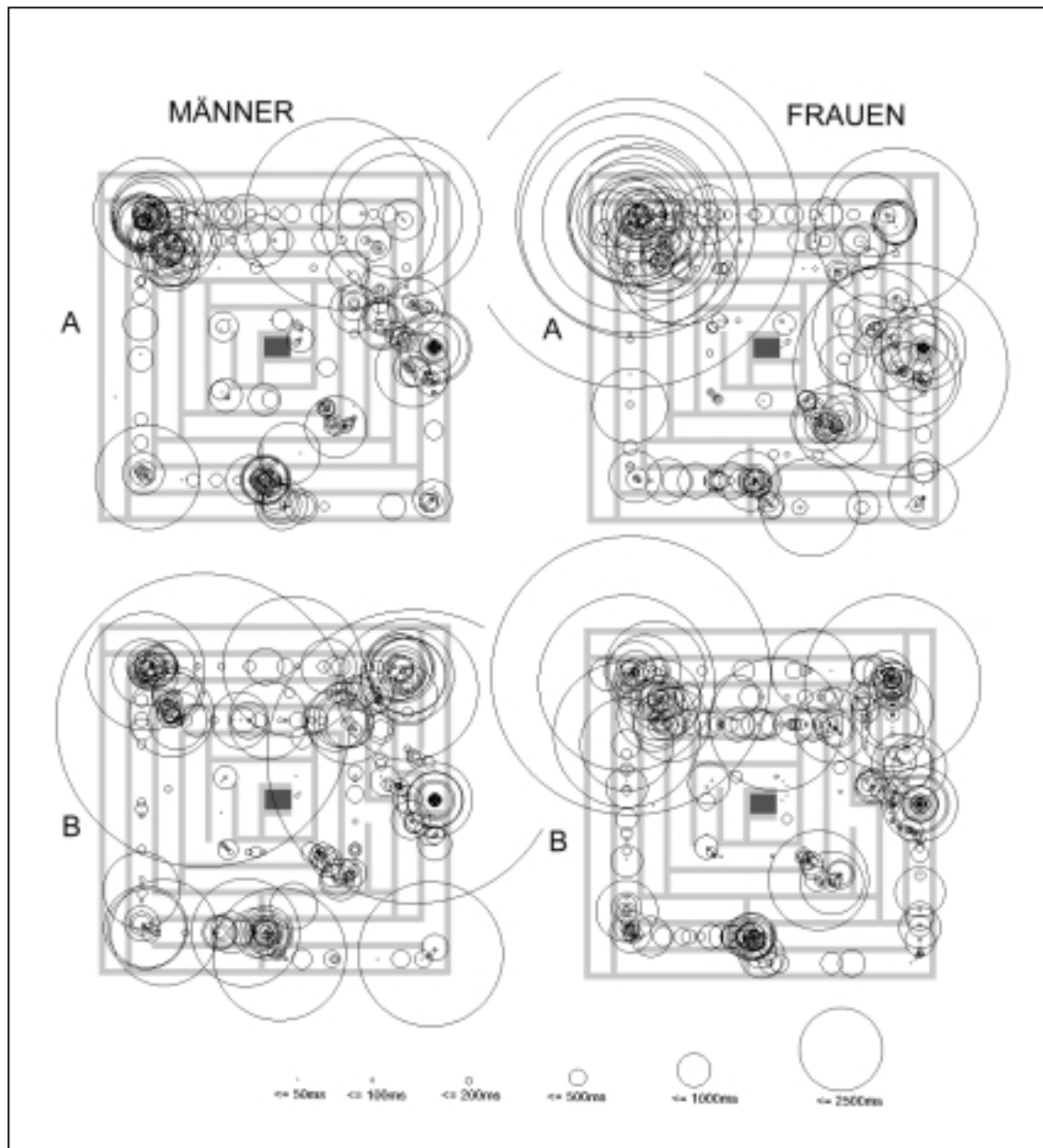


Abb. 4.1.20: Position der einzelnen Pausen für männliche und weibliche Probanden im Labyrinth mit 8 (A) und 16 (B) Sackgassen. Die Dauer der Pausen ist durch die Größe der Kreise codiert (50ms : Radius 1 Pixel). Bei einer Pausendauer von mehr als 10 Sekunden wurde die Kreisgröße auf die 10 Sekunden entsprechende Kreisgröße begrenzt.

eingeführten Sackgassen eine statistisch bedeutsame Zunahme des Zeitverbrauches nachweisen. Die Einführung zusätzlicher Sackgassen beeinflusst jedoch nicht nur die Bearbeitung in den Bereichen vor den neuen Entscheidungspunkten. So läßt sich in der

Bedingung mit vielen Sackgassen im Vergleich zu der mit wenigen an Sackgasse 2 eine Abnahme des Zeitverbrauches beobachten. Ein ähnlicher Effekt ist auch vor Sackgasse 6 – hier jedoch nur in der Gruppe der Frauen - nachweisbar. Frauen benötigen darüber hinaus im Bereich vor Sackgasse 5+ prinzipiell mehr Zeit als die männlichen Probanden.



Abb. 4.1.21: Labyrinthstimulus mit 16 Entscheidungspunkten. Signifikante Unterschiede im Zeitbedarf im Bereich vor Sackgassen zwischen Labyrinthvorlagen mit 8 und 16 Entscheidungspunkten sind markiert. (***) $p < .001$, (**) $p < .01$, (*) $p < .05$ mit höherem Zeitbedarf im Labyrinth mit 16 Entscheidungspunkten, -- $p < .01$ mit niedrigerem Zeitbedarf im Labyrinth mit 16 Entscheidungspunkten, -F niedrigerer Zeitbedarf in der Gruppe der Frauen bei 16 Entscheidungspunkten mit $p < .05$)

Eine Analyse der Anzahl eingesetzter Pausen weist tendenziell auf eine steigende Häufigkeiten von Pausen hin. Jedoch ist dieser Effekt von der verwendeten Schwelle für die Definition einer Pause abhängig und zeigt nur bei Verwendung einer Schwelle von 50 bzw. 100ms überzufällige Ergebnisse (s. Anhang A). Dies könnte dafür sprechen, daß nur Pausen dieser Dauer durch die Variation der Anzahl von Entscheidungspunkten beeinflusst werden. Berechnet man die Gesamtdauer von Pausen mit einer Länge $> 50\text{ms}$ und $< 200\text{ms}$, zeigt sich bei Einführung von zusätzlichen Entscheidungspunkten eine Verlängerung dieser Gesamtdauer ($F(1,90)=4.42$, $p=.038$), die auf eine Zunahme der Pausenzahl zurückgeführt werden kann ($F(1,90)=4.57$, $p=.035$).

4.1.3.3 Subuntersuchung 3: Länge der Wegalternative an Entscheidungspunkten

4.1.3.3.1 Qualität der Labyrinthlösung

Werden die Sackgassen in einem Labyrinth verlängert, sind vermutlich aufwendigere Analysen notwendig, um zwischen falschen und weiter zum Ziel führenden Wegen zu unterscheiden. Es wurde vermutet, daß dies mit einer erhöhten Fehleranfälligkeit der Verarbeitung einhergeht.

Verlängerte Sackgassen führen zu einer deutlichen Zunahme der Anzahl von Probanden, die während der Labyrinthlösung mindestens eine Sackgasse betreten (Binomial-Test $p=.005$, Männer: $p=.049$, Frauen $p=.077$, Abb. 4.1.22). Dabei betreten ein Mann und vier Frauen während der Labyrinthbearbeitung zwei Sackgassen. Statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern lassen sich nicht nachweisen (Stimulus A: $X^2=0.09$, $p=.765$, Stimulus B: gleiche Häufigkeiten).

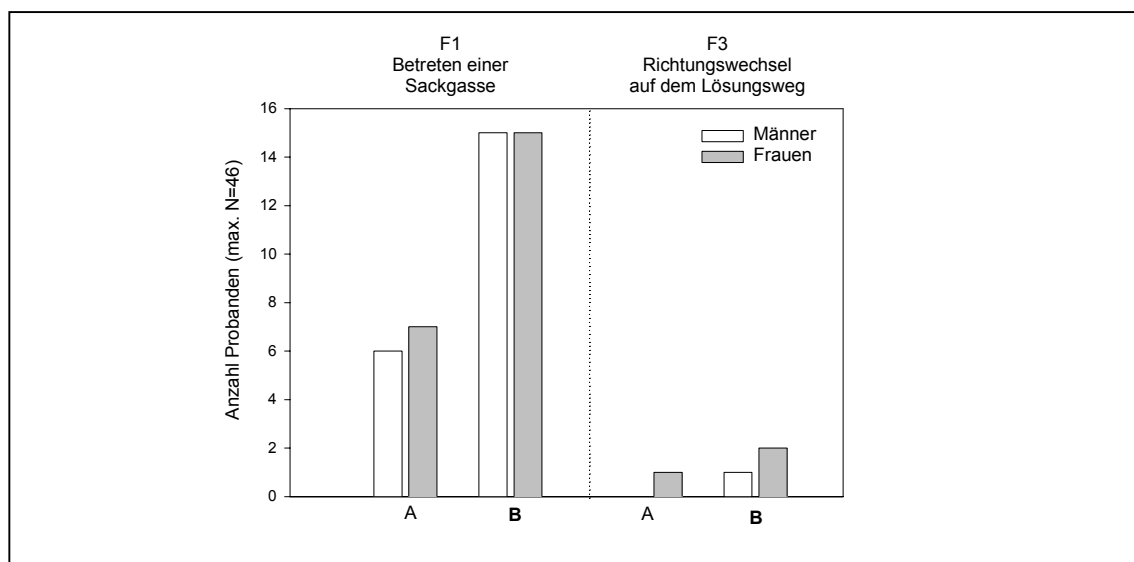


Abb. 4.1.22: Häufigkeit von Probanden mit mindestens einmaligem Auftreten von Fehlern der Typen F1 und F3

Abb. 4.1.23 zeigt die Häufigkeiten, mit denen die verschiedenen Sackgassen des Labyrinthes betreten werden. Eine Verlängerung der Sackgassen führt dabei v.a. zu einem Anstieg der fehlerhaften Entscheidungen an der dritten Weggabelung. Während sich die falschen Entscheidungen bei kurzen Wegalternativen weitgehend auf die Sackgassen 2 und 3 verteilen, machen bei langen Sackgassen 83% der Probanden, die einen Fehler machen, diesen als Bewegung in die Sackgasse 3.

Beim Verlassen der Sackgassen wählten alle Probanden den korrekten Weg weiter in Richtung auf das Ziel (kein Auftreten von Fehlern vom Typ F2).

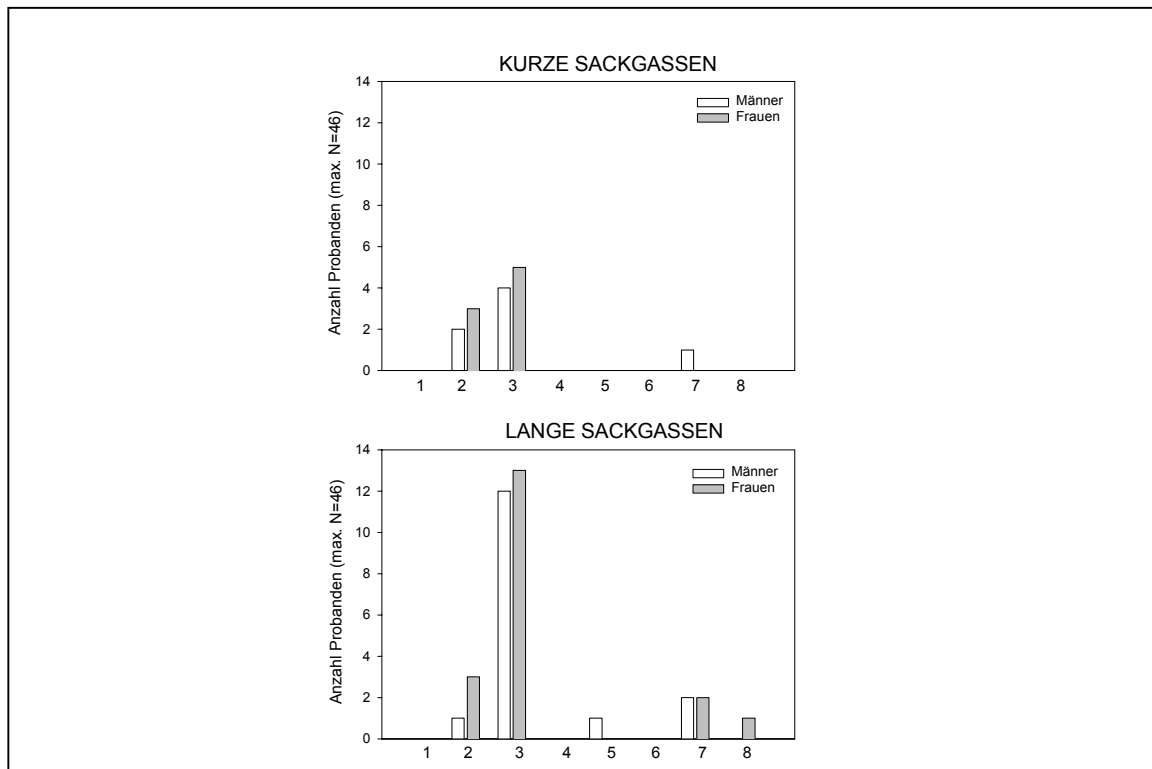


Abb. 4.1.23: Häufigkeit von falschen Entscheidungen an den einzelnen Sackgassen des Labyrinthes mit kurzen und langen Sackgassen für männliche und weibliche Probanden

Während der Bearbeitung beider Labyrinthstrukturen lassen sich vereinzelt auch Fehler unabhängig vom Vorliegen einer Wegverzweigung (Fehlertyp F3) beobachten. Bei kurzen Sackgassen gehen 2 Männer und 3 Frauen, bei langen Sackgassen 1 Mann und 2 Frauen zurück in Richtung auf die Startregion (s. Abb. 4.1.22). Dieser Unterschied erreicht jedoch weder im Vergleich der Geschlechtergruppen noch im Vergleich zwischen den beiden Labyrinthvorlagen statistische Signifikanz (Vergleich der Labyrinthbedingungen: Binomial-Test $p=.625$; Vergleich der beiden Stichproben: Stimulus A: $X^2=1.01$, $p=1.0$, Stimulus B: $X^2=0.34$, $p=1.0$).

Die Sackgassenlänge beeinflusst auch die Länge des Lösungsweges. Er nimmt mit der Länge der Sackgassen deutlich zu ($F(1,90)= 9.56$, $p=.002$, s. Abb. 4.1.24). Aber auch hier wird kein statistisch relevanter Unterschied zwischen Männern und Frauen erkennbar ($F(1,90)= 2.22$, $p=.139$).

4.1.3.3.2 Präzision der Bewegung während der Labyrinthlösung

Im Ausmaß der zu vermeidenden Wandberührungen läßt sich weder ein Einfluß der Länge der Sackgassen noch des Geschlechtes der Probanden beobachten (vgl. Anhang A). Auch die im Parameter "wavy lines" erfaßten Bewegungscharakteristika werden nicht durch diese beiden unabhängigen Variablen beeinflusst (s. Anhang A).

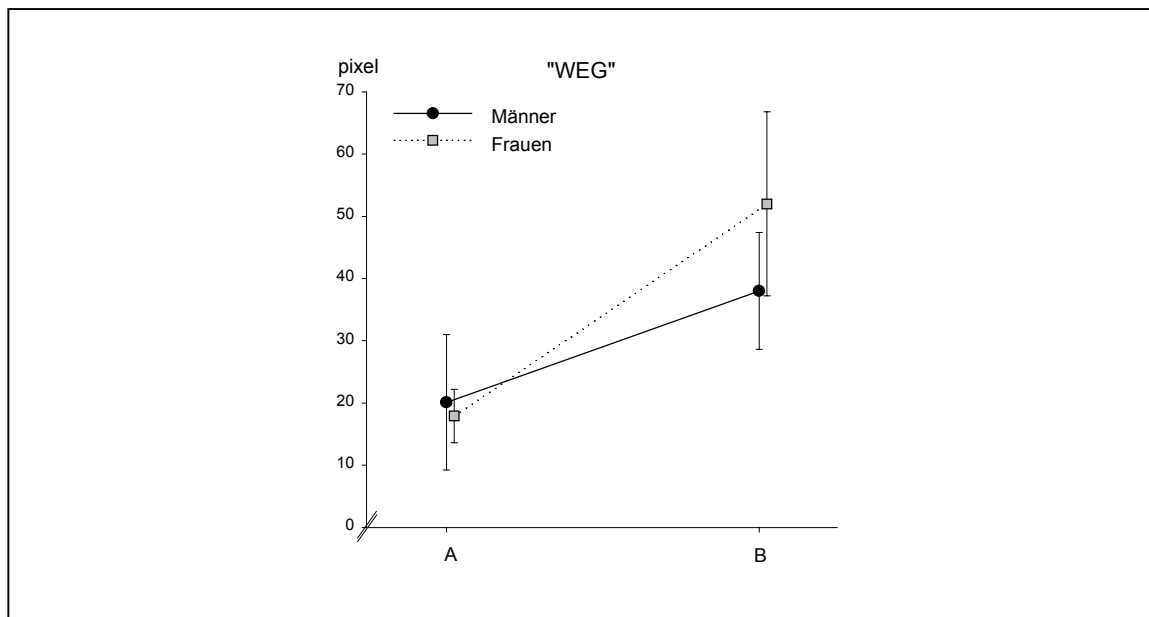


Abb. 4.1.24: Mittelwerte und Standardfehler von „Weg“ für männliche und weibliche Probanden bei der Lösung von Labyrinthen mit kurzen (A) und langen Sackgassen (B)

4.1.3.3.3 Zeitbedarf der Labyrinthlösung

Bei der Analyse der Gesamtverarbeitungszeit (Abb. 4.1.25) zeigt sich tendenziell eine Verlängerung des Zeitbedarfes bei der Bearbeitung von Labyrinthen mit langen Sackgassen ($F(1,90)=3.02$, $p<.085$). Gleichzeitig deutet sich eine Überlegenheit der Männer im Sinne einer kürzeren Bearbeitungszeit an ($F(1,90)=3.09$, $p<.082$).

Trennt man die Startzeit von der Gesamtverarbeitungszeit, zeigt sich eine Verlängerung der Dauer dieser initialen Analyse bei den längeren Wegalternativen ($F(1,90)=11.60$, $p<.001$). Obwohl sich in den Mittelwerten ein deutlicherer Anstieg dieser Zeitstrecke in der Gruppe der Frauen andeutet, ist er statistisch nicht bedeutsam (Geschlecht x Länge der Wegalternative: $F(1,90)=1.56$, $p<.215$, Geschlecht: $F(1,90)=1.51$, $p<.223$).

Eine weitere Zerlegung des Zeitverbrauchs im Labyrinth in Pausenzeit und Bewegungsgeschwindigkeit macht deutlich, daß nur die Dauer von Pausen durch die Länge der Wegalternativen beeinflusst wird (bei Schwelle 50ms: $F(1,90)=4.80$, $p<.031$). Frauen benötigen hier tendenziell mehr Zeit (bei Schwelle 50ms: $F(1,90)=3.90$, $p<.052$). Im Gegensatz zu den Pausen wird die Bewegungsgeschwindigkeit weder durch das Geschlecht noch durch die Länge der Sackgassen beeinflusst.

Während sich die beschriebenen Auswirkungen auf die Gesamtdauer der Pausen unabhängig von der verwendeten Schwelle bei der Pausendefinition beobachten lassen, zeigt sich nur bei Pausen mit einer Mindestdauer von 50, bzw. 100ms ein Effekt in der Zahl von Pausen: Bei Präsentation längerer Sackgassen werden mehr Pausen bei der Auf-

gabenlösung benötigt (bei 50ms: $F(1,90)=4.09$, $p=.046$, bzw. bei 100ms: $F(1,90)=4.24$, $p=.042$).

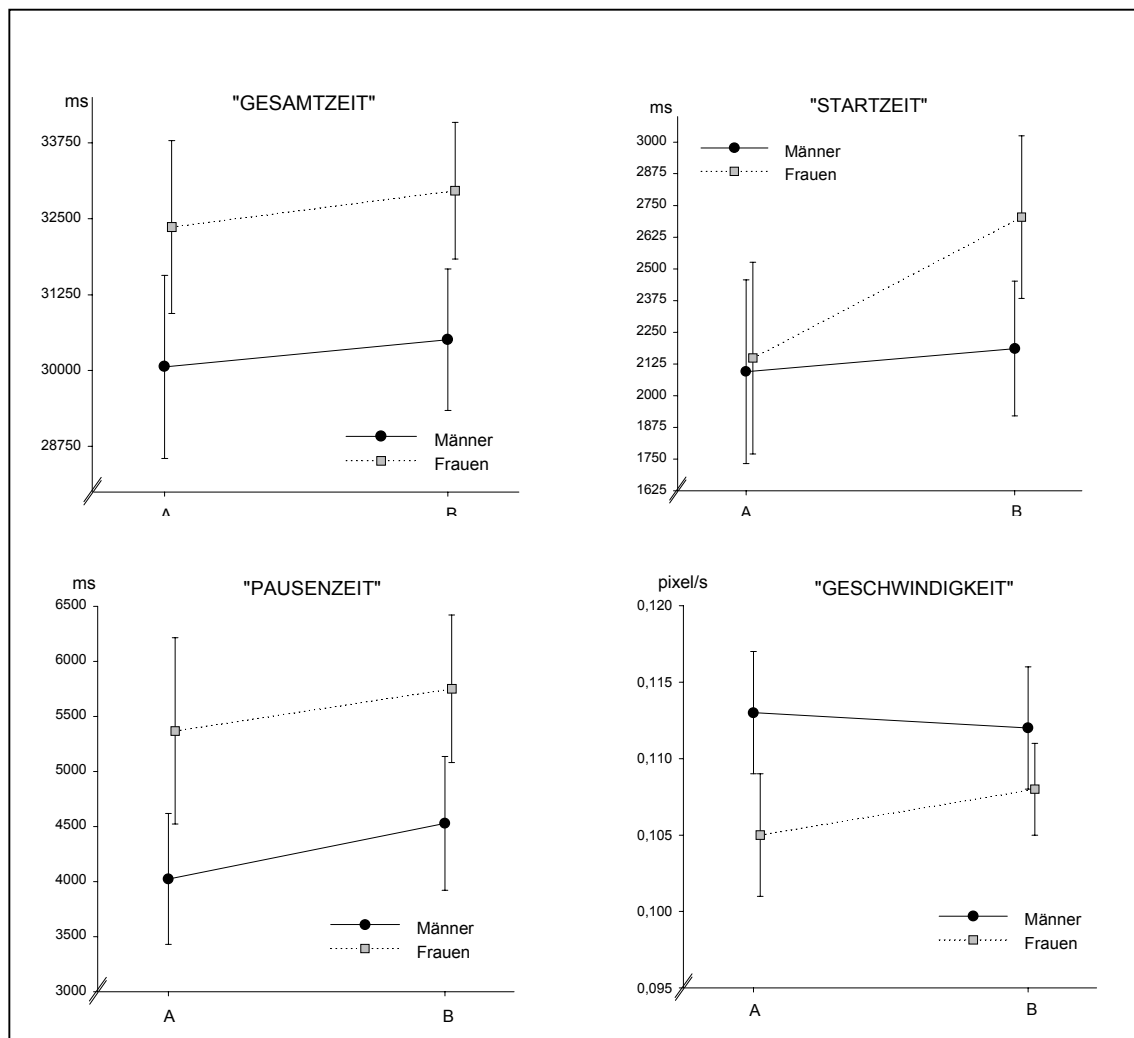


Abb. 4.1.25: Mittelwerte und Standardfehler von „Gesamtzeit“, „Startzeit“, „Pausenzeit“ und Bewegungs-„Geschwindigkeit“ für männliche und weibliche Probanden bei der Lösung von Labyrinth mit kurzen (A) und langen Sackgassen (B), min. Pausendauer 50ms

Die Orte in den Labyrinth, an denen die einzelnen Pausen auftreten, zeigt Abb. 4.1.26. Eine visuelle Analyse der Verteilungen dieser Pausen zeigt dabei eine Häufung im Bereich der dritten Weggabelung, wenn die Sackgasse verlängert ist. In diesem Bereich des Labyrinth lassen sich bei langen Sackgassen auch die meisten fehlerhaften Entscheidungen beobachten. Vergleicht man den Zeitbedarf der Probanden in den Regionen vor kurzen und langen Sackgassen (± 36 Pixel auf dem Idealweges, vgl. 4.1.3.1.3) statistisch, läßt sich vor Sackgasse 3 auch ein erhöhter Zeitverbrauch nachweisen. Dies gilt jedoch ebenfalls für die Bereiche vor den Sackgassen 1 und 4 (s. Anhang A).

Darüber hinaus lassen sich bei den weiblichen Probanden vor Sackgasse 2 längere Pausen beobachten. Auch dieser Unterschied im Zeitbedarf lässt sich – unabhängig von der Länge der Sackgassen – statistisch sichern (s. Anhang A).

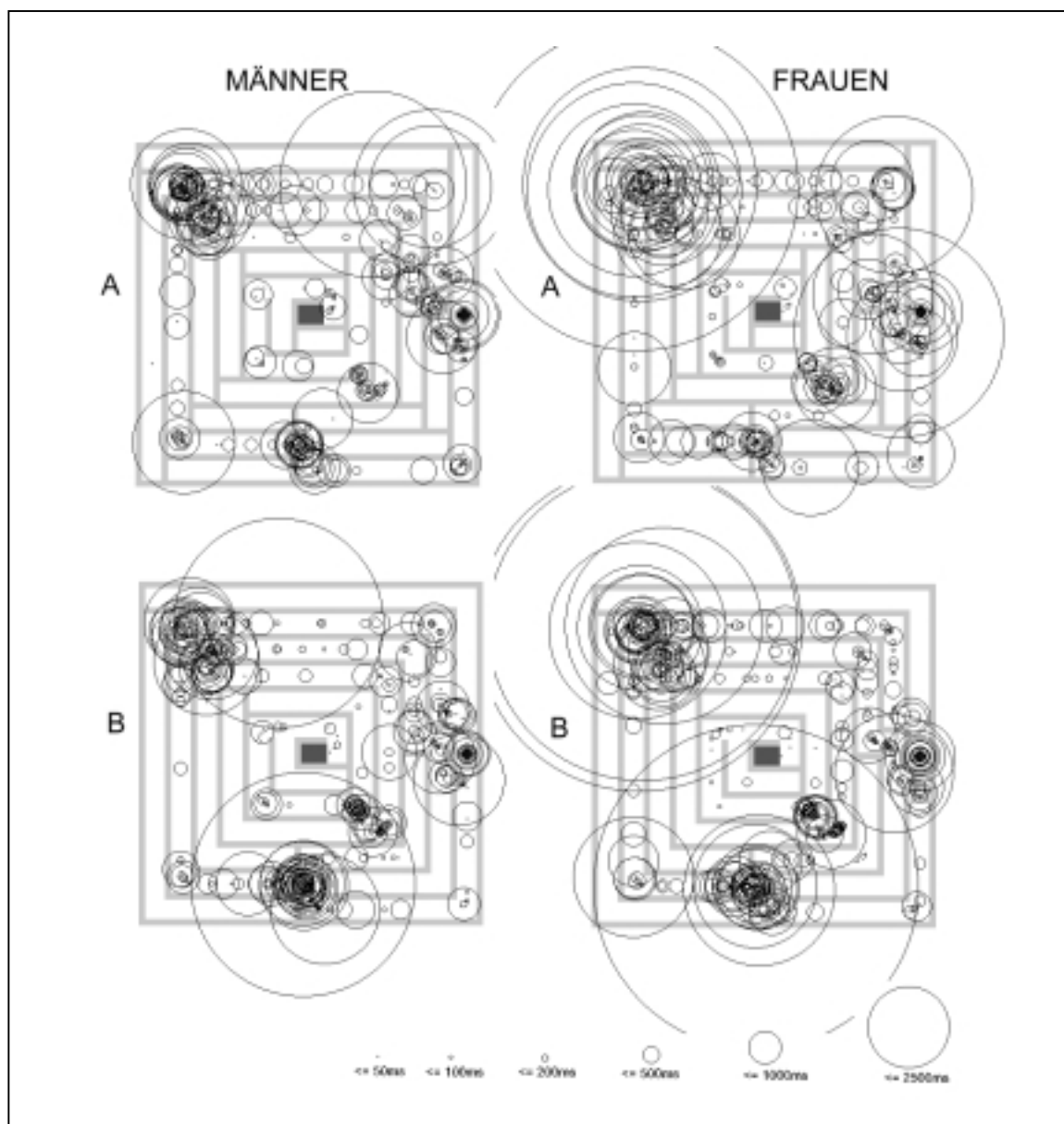


Abb. 4.1.26: Position der einzelnen Pausen für männliche und weibliche Probanden im Labyrinth mit kurzen (A) und langen (B) Sackgassen. Die Dauer der Pausen ist durch die Größe der Kreise codiert (50ms : Radius 1 Pixel). Bei einer Pausendauer von mehr als 10 Sekunden wurde die Kreisgröße auf die 10 Sekunden entsprechende Kreisgröße begrenzt.

4.1.3.4 Subuntersuchung 4: Form der Sackgasse

4.1.3.4.1 Qualität der Labyrinthlösung

Es wird vermutet, daß neben der Länge einer Sackgasse auch deren Form die für das Treffen einer Entscheidung notwendigen kognitiven Prozesse beeinflusst. Die Existenz eines Richtungswechsels innerhalb einer Sackgasse sollte dabei die Anforderungen an die Verarbeitung erhöhen.

Jedoch führt das Auftreten eines Richtungswechsels in einer Sackgasse nicht zu einer statistisch bedeutsamen Zunahme der Anzahl von Probanden, die während der Labyrinthlösung mindestens eine Sackgasse betreten (Binomial-Test $p=.122$, Männer: $p=.581$, Frauen $p=.180$, Abb. 4.1.27). Während der Bearbeitung von Labyrinthen, deren Sackgassen keinen Richtungswechsel aufweisen, betreten die Probanden maximal eine Sackgasse. Enthalten die Sackgassen Richtungswechsel, betreten ein Mann und 2 Frauen zwei verschiedene Sackgassen. Statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern lassen sich hinsichtlich der Sackgassenbetretungen nicht nachweisen (Stimulus A: $X^2=0.103$, $p=.748$, Stimulus B: $X^2=0.25$, $p=0.613$).

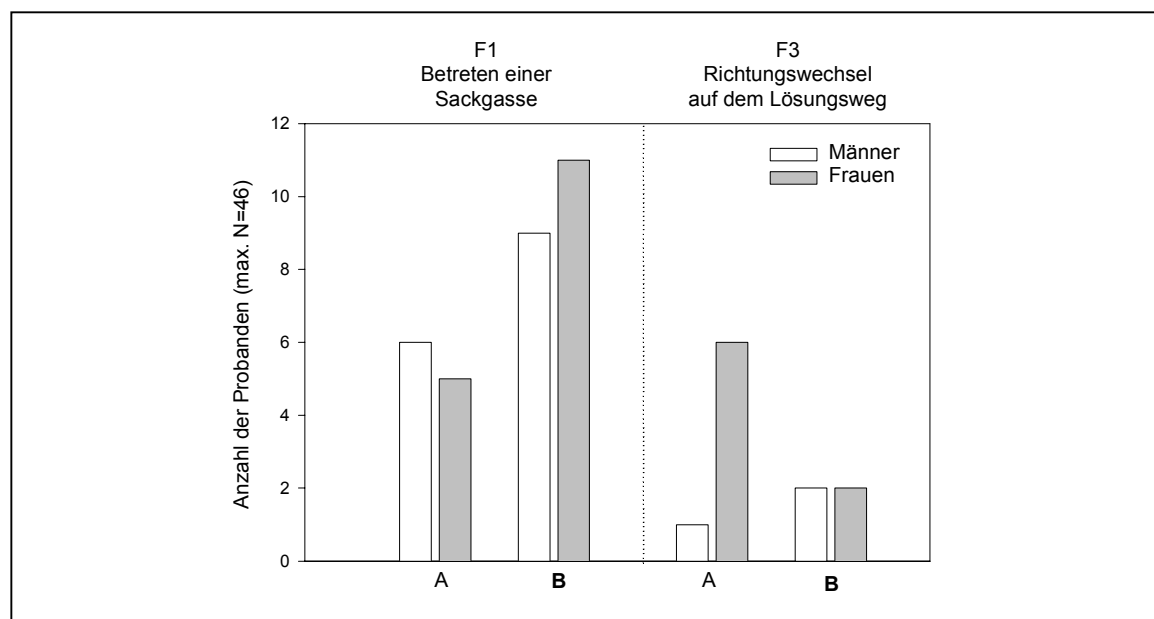


Abb. 4.1.27: Häufigkeit von Probanden mit mindestens einmaligem Auftreten von Fehlern der Typen F1 und F3

Abb. 4.1.28 zeigt die Häufigkeiten, mit denen die verschiedenen Sackgassen des Labyrinthes betreten werden. Es läßt sich keine klare Häufung von Fehlern an einem bestimmten Verzweigungspunkt beobachten.

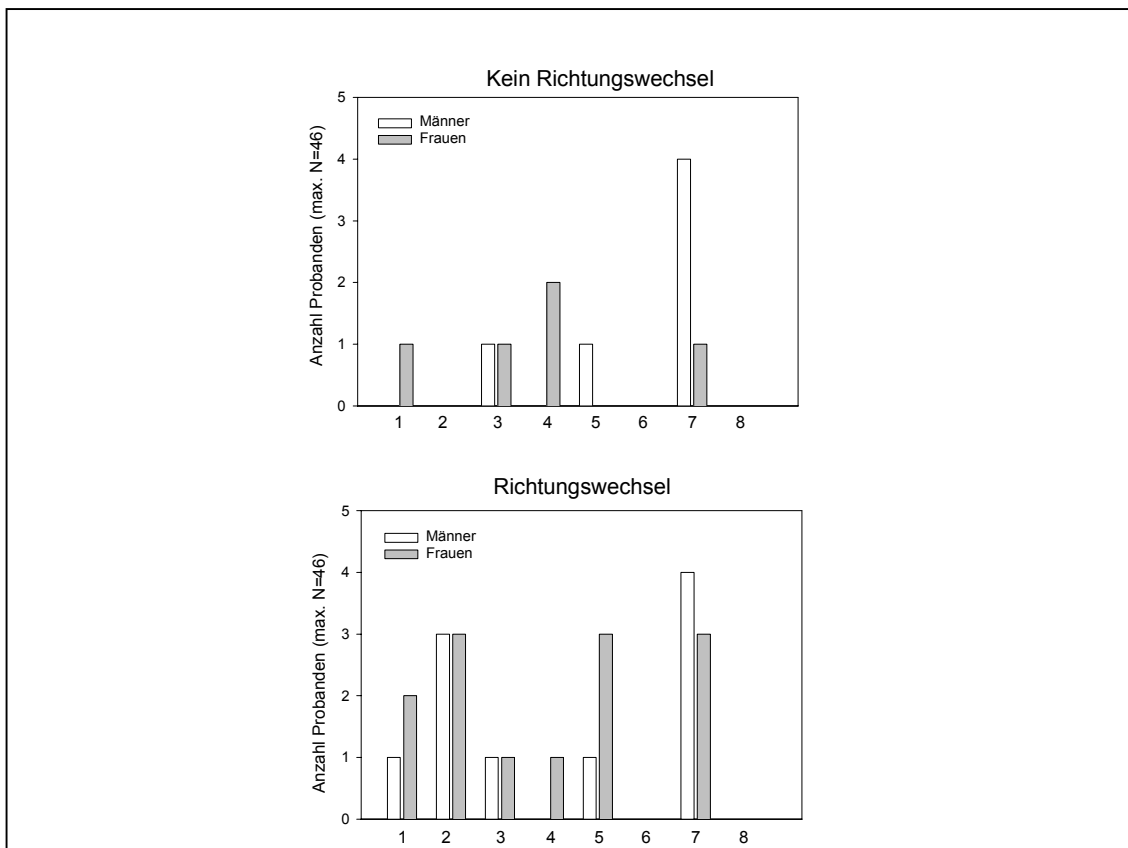


Abb. 4.1.28: Häufigkeit von falschen Entscheidungen an den einzelnen Sackgassen des Labyrinthes mit Sackgassen mit und ohne Richtungswechsel für männliche und weibliche Probanden

Beim Verlassen der Sackgassen wählten alle Probanden - mit Ausnahme einer Probandin in der Labyrinthvorlage mit abknickenden Sackgassen - den korrekten Weg weiter in Richtung auf das Ziel (Fehlertyp F2).

In beiden Sackgassen-Bedingungen lassen sich Fehler unabhängig vom Vorliegen einer Wegverzweigung (Fehlertyp F3) beobachten. Bei Sackgassen ohne Richtungswechsel gehen ein Mann und 6 Frauen, bei gewinkelten Sackgassen 2 Männer und 2 Frauen zurück in Richtung auf die Startregion (Abb. 4.1.27). Dieser Unterschied erreicht jedoch weder im Vergleich der Geschlechtergruppen noch im Vergleich zwischen den beiden Labyrinthvorlagen statistische Signifikanz (Vergleich der Labyrinthbedingungen: Binomial-Test $p=.508$, Männer; $p=1.0$, Frauen $p=.289$; Vergleich der beiden Stichproben: Stimulus A: $X^2=3.86$, $p=0.111$, Stimulus B: beide Stichproben zeigen identische Werte).

Während sich in den Fehleranalysen weder Effekte der Form der Sackgasse, noch der Gruppenzugehörigkeit nachweisen ließen, zeigen sich bei der Länge des Lösungsweges, einem Parameter, in den nicht nur die Häufigkeit falscher Entscheidungen, sondern auch deren Schwere eingeht, signifikant höhere Werte in der Gruppe der Frauen (Geschlecht: $F(1,90)= 7.52$, $p=.007$, Abb. 4.1.29). Richtungswechsel in den Sackgassen führen dagegen nicht zu einer Verlängerung des Lösungsweges ($F(1,90)= 2.41$, $p=.124$).

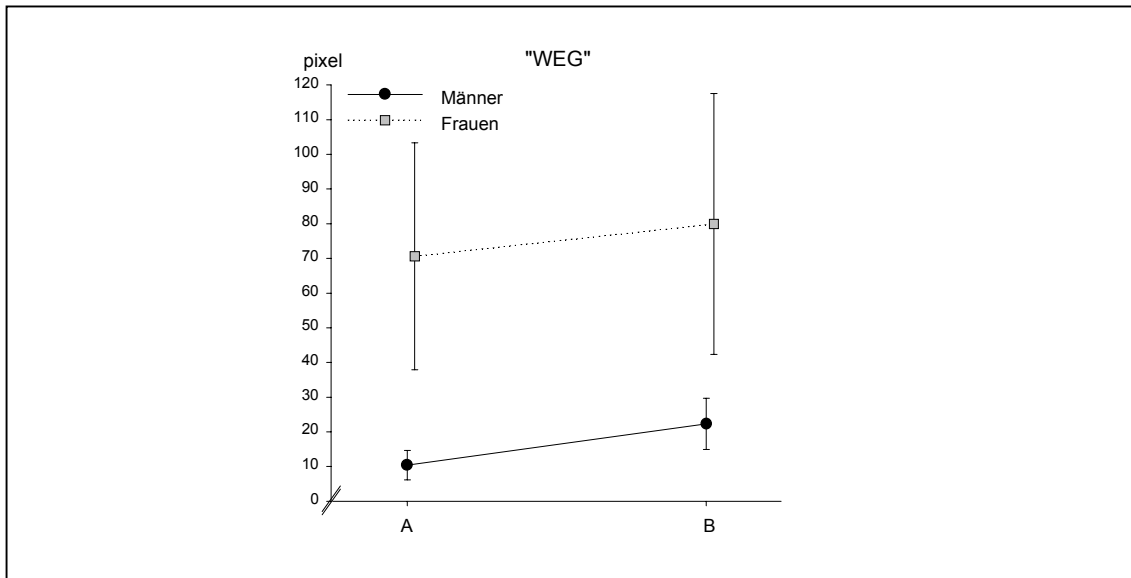


Abb. 4.1.29: Mittelwerte und Standardfehler von „Weg“ für männliche und weibliche Probanden bei der Lösung von Labyrinthen mit geraden (A) und geknickten Sackgassen (B)

4.1.3.4.2 Präzision der Bewegung während der Labyrinthlösung

Die Form der Sackgassen beeinflusst nicht das Ausmaß der zu vermeidenden Wandberührungen (s. Anhang). Jedoch reagieren die im Parameter "wavy lines" erfaßten Bewegungscharakteristika auf eine Manipulation der Sackgassenform: Enthalten die Sackgassen einen Richtungswechsel, sind die Bewegungen stärker durch "wavy lines" ge-

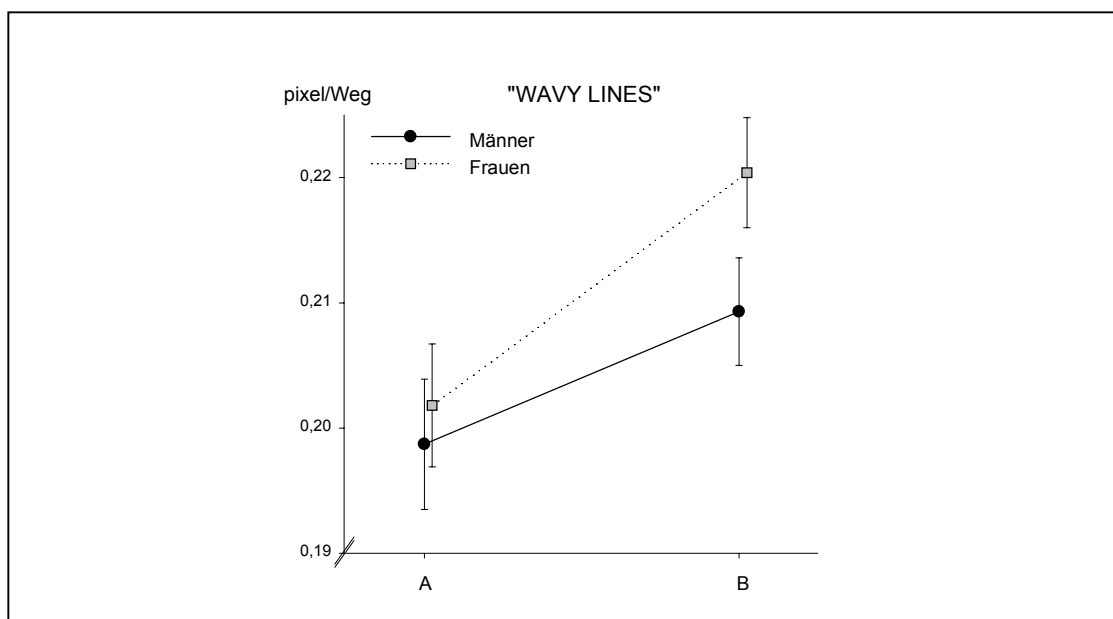


Abb. 4.1.30: Mittelwerte und Standardfehler von „Wavy Lines“ für männliche und weibliche Probanden bei der Lösung von Labyrinthen mit geraden (A) und geknickten Sackgassen (B)

kennzeichnet als bei der Bearbeitung von Labyrinthvorlagen mit geraden Sackgassen ($F(1,90)= 22.81, p<.001, s. Abb. 4.1.30$).

4.1.3.4.3 Zeitbedarf der Labyrinthlösung

Bei der Analyse der Gesamtverarbeitungszeit (Abb. 4.1.31) zeigt sich tendenziell ein verlängerter Zeitbedarf in der Gruppe der Frauen im Vergleich zu den Männern ($F(1,90)=2.84, p=.095$). Effekte der Form der Sackgasse ($F(1,90)=2.41, p=.123$) oder die Interaktion zwischen Form und Geschlecht ($F(1,90)=1.44, p=.233$) dagegen können

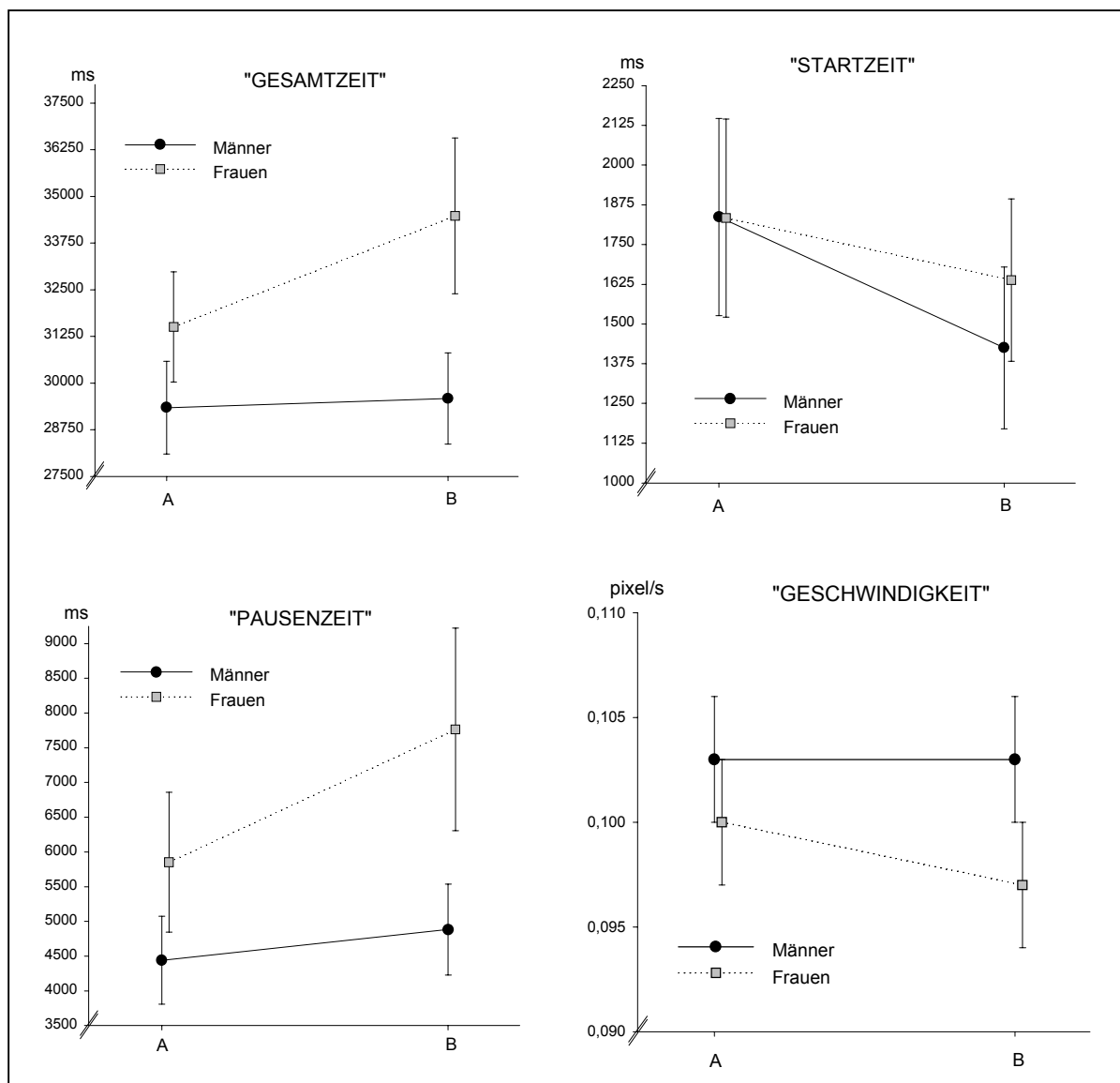


Abb. 4.1.31: Mittelwerte und Standardfehler von „Gesamtzeit“, „Startzeit“, „Pausezeit“ und Bewegungs-„Geschwindigkeit“ für männliche und weibliche Probanden bei der Lösung von Labyrinthen mit geraden (A) und geknickten Sackgassen (B), min. Pausendauer 50ms

nicht als überzufällig angesehen werden.

Eine Zerlegung der Gesamtverarbeitungszeit zeigt, daß die Startzeit weder durch das Geschlecht noch durch die Form der Sackgassen beeinflusst wird.

Analysiert man dagegen die Zeit, die die Probanden nach Verlassen des Startbereiches in Pausen verbringen, ergibt sich eine signifikant längere Pausenzeit, wenn die Analyse geknickter Sackgassen notwendig ist ($F(1,90)=6.66$, $p=.011$, s. Abb. 4.1.31). Ein Effekt des Geschlechtes deutet sich hier an, erreicht jedoch keine statistische Bedeutsamkeit ($F(1,90)=2.56$, $p=.112$). Die verlängerte Pausenzeit läßt sich vermutlich auf einen Anstieg der Länge der einzelnen Pausen und weniger auf eine Zunahme ihrer Zahl zurückführen (vgl. Anhang A).

Die Geschwindigkeit der Bewegung wird weder vom Auftreten von Richtungswechseln in den Sackgassen noch vom Geschlecht der Probanden beeinflusst.

Abb. 4.1.32 zeigt die Positionen innerhalb der Labyrinthstruktur, an denen die einzelnen Pausen auftreten. Eine visuelle Analyse der Verteilungen dieser Pausen läßt dabei keine wesentlichen Unterschiede erkennen. Dies wird weitgehend durch die statistische Analyse des Zeitbedarfs an den Wegverzweigungen bestätigt (vgl. 4.1.3.1.3, s. Anhang A). Lediglich im Bereich der dritten Sackgasse läßt sich eine statistisch bedeutsame Zunahme des Zeitbedarfes nachweisen. Unterschiede zwischen männlichen und weiblichen Probanden werden insgesamt nicht erkennbar.

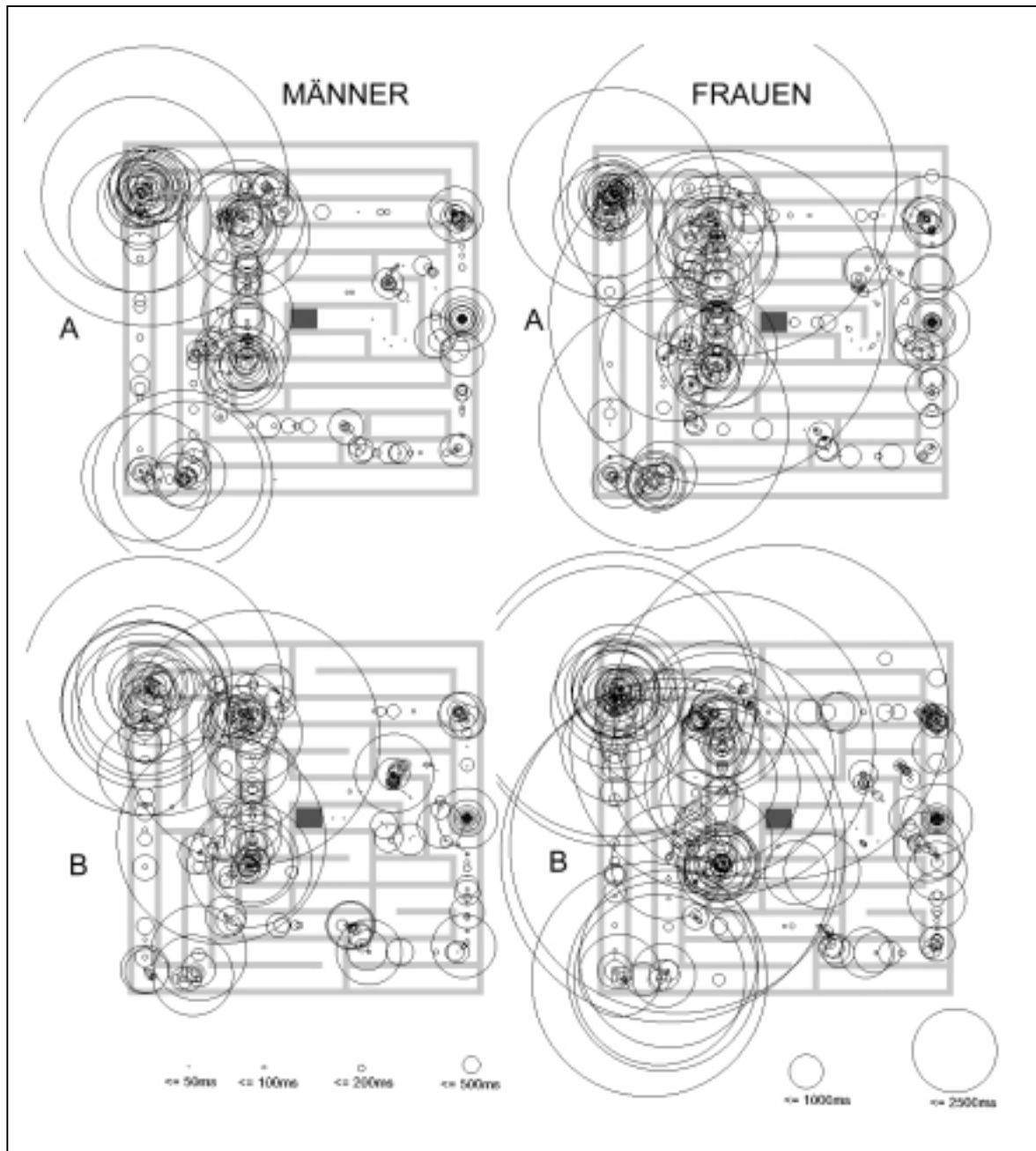


Abb. 4.1.32: Position der einzelnen Pausen für männliche und weibliche Probanden im Labyrinth mit kurzen (A) und langen (B) Sackgassen. Die Dauer der Pausen ist durch die Größe der Kreise codiert (50ms : Radius 1 Pixel). Bei einer Pausendauer von mehr als 10 Sekunden wurde die Kreisgröße auf die 10 Sekunden entsprechende Kreisgröße begrenzt

4.1.4 Diskussion

Ziel von Untersuchung 1 ist die Analyse des Einflusses unterschiedlicher Merkmale von Labyrinthstrukturen auf unterschiedliche Aspekte des Verhaltens bei der Labyrinthbearbeitung. Hier lassen sich die Qualität einer Labyrinthlösung, die Präzision der Bewegung beim Führen eines Cursors durch ein Labyrinth und der Zeitbedarf einer Aufgabenlösung voneinander abgrenzen. Dabei interessiert auch, inwieweit diese unterschiedlichen Meßvariablen einen Beitrag zum Verständnis der beanspruchten kognitiven Prozesse leisten.

Kennzeichen von Labyrinthaufgaben ist das Auftreten von Wegalternativen (Sackgassen) innerhalb eines zu durchfahrenden Wegsystems. An jeder Sackgasse wird die Auswahl einer von mehreren möglichen Reaktionsalternativen notwendig.

Es wurde vermutet, daß sich das Auftreten von Entscheidungspunkten, sowie die Anzahl, Länge und Form verfügbarer Sackgassen auf die bei der Bearbeitung der präsentierten Reize eingesetzten kognitiven Prozesse auswirken. Die Einführung von Wegverzweigungen erfordert Entscheidungsprozesse. Diese basieren vermutlich auf Ergebnissen einer vorhergehenden Stimulusanalyse. Mit erhöhter Zahl von Sackgassen steigen daher die Anforderungen an Entscheidungs- und damit auch an Stimulusanalyseprozesse. Wird dagegen bei konstanter Zahl von Sackgassen deren Länge oder deren Komplexität erhöht, sollten vorwiegend die Anforderungen an die Reizanalyse steigen, ohne daß zusätzliche Entscheidungen notwendig werden.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen, daß bei Einführung von Verzweigungen in ein Wegsystem die Qualität der Aufgabenlösung - erfaßt über die Länge des Weges, der für das Durchfahren des Labyrinthes benötigt wird - sinkt. Während die Anzahl von Entscheidungspunkten wie auch die Form der Sackgassen entgegen der Erwartung keinen signifikant bedeutsamen Effekt auf die Qualität der Aufgabenlösung hatte, verschlechterte sie sich jedoch, wenn die Länge der Sackgassen erhöht wurde.

Die Analyse der Fehler bei der Labyrinthbearbeitung, d.h. der Zählraten v.a. des Fehler-typs F1 (Betreten einer Sackgasse), bestätigt dieses Ergebnis. Bei der Präsentation von Reizen mit langen Sackgassen wählten die Probanden häufiger mindestens einmal eine falsche Wegalternative als bei Bearbeitung von Labyrinthen mit kurzen Sackgassen.

Dabei ist jedoch anzumerken, daß generell nur wenige Probanden (max. 33% im Labyrinth mit langen Sackgassen, Subuntersuchung 1 C) Fehler bei der Bearbeitung der Labyrinth machten und dann mit wenigen Ausnahmen auch nur einmal während der Labyrinthbearbeitung eine falsche Wegalternative wählten.

Sowohl das Auftreten von falschen Entscheidungen beim Verlassen einer Sackgasse (Fehlertyp F2) wie auch Entscheidungen, die unabhängig vom Betreten einer Sackgasse zu einer Rückwärtsbewegung auf dem Lösungsweg auf die Startregion hin führten (Fehlertyp F3), ließen sich in der hier untersuchten Stichprobe gesunder Personen nur vereinzelt beobachten. Sie wurden auch nicht durch die experimentellen Manipulationen der Labyrinthstruktur beeinflusst. Daher hat sich die Unterscheidung der verschiedenen Fehlertypen im Rahmen der vorliegenden Untersuchung als wenig weiterführend erwiesen. Jedoch ist denkbar, daß sie bei der Untersuchung klinischer Stichproben – mit ihrer erfahrungsgemäß höheren Fehlerzahl - zum Verständnis von Störungen der Kognition beiträgt.

Die Probanden waren instruiert, bei der Navigation des Cursors durch das Labyrinth die Berührung der Wände zu vermeiden. Es wurde vermutet, daß erhöhte Anforderungen an Stimulusanalyse- und Entscheidungsprozesse die Präzision der Bewegung in Form einer Zunahme von Wandberührungsfehlern reduzieren. Entgegen dieser Erwartung ließ sich jedoch weder durch die Einführung von Entscheidungspunkten noch durch die Variation von Anzahl, Länge oder Form der Sackgassen das Auftreten von Wandberührungsfehlern beeinflussen.

Ein weiterer zur Erfassung der Präzision der Bewegung eingesetzter Parameter ist das Ausmaß von "wavy lines", d.h. "schlenkerartigen" Bewegungen. Im Gegensatz zu Wandberührungsfehlern wird dieser Parameter durch die Einführung von Entscheidungspunkten beeinflusst. Ist die Auswahl von Wegalternativen notwendig, steigt das Ausmaß dieser Korrekturbewegungen. Durch die Erhöhung der Zahl von Entscheidungspunkten oder der Länge von Sackgassen wird es jedoch nicht weiter beeinflusst. Allerdings hängt das Ausmaß der „wavy lines“ auch von der Form der Sackgassen ab. Es ist höher, wenn diese durch Richtungswechsel gekennzeichnet sind.

Die Ergebnisse zu den „wavy lines“ deuten darauf hin, daß rein Stimulus-seitige experimentelle Manipulationen von Labyrinthaufgaben auch Bewegungscharakteristika beeinflussen können, d.h. sich nicht nur auf Stimulus- sondern auch auf Response-bezogene kognitive Prozesse auswirken. Bei der Bearbeitung unbekannter Labyrinthaufgaben ist davon auszugehen, daß sowohl Stimulusanalyse-, Entscheidungs- und Planungsprozesse wie auch Prozesse der Vorbereitung und Steuerung von Bewegungen im kontrollierten Modus der Informationsverarbeitung ablaufen (Shiffrin & Schneider 19977, Schneider & Shiffrin 1977). Kennzeichen kontrollierter Prozesse ist, daß sie Aufmerksamkeit beanspruchen. Greifen verschiedene Prozesse auf diese nur begrenzt verfügbaren Ressourcen zu, kann es zu Interferenzen zwischen diesen Prozessen kommen. Die Beeinflussung motorischer Abläufe – wie sie sich in der vorliegenden Untersuchung

in den „wavy lines“ abbilden – durch Veränderungen von Stimulusmerkmalen deutet darauf hin, daß beide Domänen kognitiver Prozesse um einen gemeinsamen Pool von Aufmerksamkeitsressourcen konkurrieren.

Das Ausmaß von Wandberührungsfehlern als weiteres Maß für die Präzision der Bewegungen zeigte keine Effekte der Variation von Stimulusmerkmalen. Wandberührungen treten vermutlich dann auf, wenn unpräzise Bewegungen nicht mehr rechtzeitig durch Korrekturbewegungen, wie sie sich in den „wavy lines“ abbilden, abgefangen werden können. Möglicherweise steht in der vorliegenden Untersuchung auch bei hohen Anforderungen an Stimulusanalyse- und Entscheidungsprozesse noch ein hinreichendes Ausmaß von Kontrollkapazität zur Verfügung, um fehlerhafte Bewegungen durch Korrekturbewegungen zu kompensieren. Wandberührungen können vermutlich so – bei einer Zunahme von Korrekturbewegungen – noch verhindert werden. Es ist zu vermuten, daß dann, wenn die Anforderungen weiter steigen – entweder in Form erhöhter Anforderungen durch die Stimulusmerkmale oder aber alternativ auch durch die Schwierigkeit der erforderlichen Bewegungen – die Kontrollkapazität nicht mehr ausreicht, um unpräzise Bewegungen zu kompensieren. In diesem Fall sollte zusätzlich zu den „wavy lines“ auch das Ausmaß von Wandberührungen ansteigen.

Die Einführung von Entscheidungspunkten führt zu einer Zunahme der für die Labyrinthbearbeitung benötigten Zeit. Wird die Zahl von Entscheidungspunkten erhöht, führt dies zu einem weiteren Anstieg der benötigten Gesamtverarbeitungszeit. Tendenziell läßt sich ein ähnlicher Effekt auch bei einer Verlängerung der Sackgassen beobachten. Die Form der Sackgassen wirkt sich jedoch entgegen der Erwartung nicht statistisch bedeutsam auf die Gesamtzeit aus.

Durch eine Zerlegung der Gesamtverarbeitungszeit in mehrere Sub-Zeitstrecken sollte versucht werden, zusätzliche Informationen über die zur Aufgabenlösung eingesetzten kognitiven Prozesse zu gewinnen. Der Zeitbedarf einer initialen Stimulusanalyse- und Planungsphase sollte durch die Startzeit, d.h. die Zeit von der Präsentation eines Stimulus bis zum Verlassen einer Startregion, erfaßt werden. Es wurde vermutet, daß durch die Einführung von Entscheidungspunkten der Zeitbedarf für diese initiale Verarbeitung steigt. Ein derartiger Effekt ließ sich jedoch nicht beobachten. In ähnlicher Weise führte auch die Erhöhung der Anzahl von Entscheidungspunkten oder die Einführung von Richtungswechseln innerhalb der Sackgasse nicht zu einer Verlängerung der Startzeit. Lediglich bei einer Zunahme der Sackgassenlänge ließ sich eine Verlängerung der Dauer dieser initialen Prozesse beobachten. Dazu läßt sich jedoch kritisch einwenden, daß in der hier verwendeten Labyrinthstruktur die Startposition sehr dicht an der Position

der ersten Sackgasse liegt. Es ist wahrscheinlich, daß sich dadurch letztendlich eine initiale Analyse- und Planungsphase in bezug auf den Gesamtreiz nicht von einer eher lokalen Analyse in der ersten Entscheidungssituation trennen läßt. Bei zukünftigen Untersuchungen sollten deshalb Startregion und erster Verzweigungspunkt in den verwendeten Labyrinthstrukturen deutlicher räumlich getrennt werden.

Die Ergebnisse zur Startzeit legen nahe, daß - zumindest in den Labyrinthaufgaben der vorliegenden Untersuchung - initiale Stimulusanalyseprozesse von geringerer Bedeutung sind, als ursprünglich vermutet wurde. Die hier verwendeten unabhängigen Variablen wirken sich kaum auf die Startzeit aus, was darauf hindeutet, daß Planungs- und Sequenzierungsprozesse in Bezug auf den Gesamtreiz zumindest bei den hier untersuchten gesunden Personen von untergeordneter Bedeutung für die Labyrinthlösung sind. Die Bearbeitung der präsentierten Labyrinth scheint daher in erster Linie auf lokalen Reizanalyse- und Entscheidungsprozessen zu beruhen.

Während der Navigation des Cursors durch das Labyrinth lassen sich Zeitstrecken, in denen der Cursor bewegt wird, von Bewegungspausen unterscheiden.

Die Dauer der Bewegungspausen wurde als Maß für während der Labyrinthbearbeitung ablaufende Stimulusanalyse-, Entscheidungs- und Planungsprozesse vorgeschlagen. Dabei wurde davon ausgegangen, daß bei einem Sistieren der Bewegung die Unsicherheit über den nächsten durchzuführenden Handlungsschritt so groß ist, daß die Reizverarbeitung nicht gleichzeitig mit den für die Ausführung der Bewegung erforderlichen Prozessen durchgeführt werden kann. Geht man davon aus, daß sowohl die Steuerung der Bewegung wie auch Stimulusanalyse-, Entscheidungs- und Planungsprozesse kontrolliert ablaufende, d.h. aufmerksamkeitsabsorbierende Prozesse sind, würde dies bedeuten, daß der zur Verfügung stehende Pool an Kontrollressourcen nicht für einen simultanen Ablauf aller notwendigen Sub-Prozesse ausreicht. Als Konsequenz wird die Ausführung der Bewegung unterbrochen, und die gesamte Kapazität für eine Analyse der Entscheidungssituation bereitgestellt.

In der vorliegenden Untersuchung zeigte sich bei der Einführung von Entscheidungspunkten in ein Wegsystem, daß die Gesamtdauer der Bewegungspausen zunimmt und gleichzeitig die Bewegungsgeschwindigkeit abnimmt.

Da der zu durchfahrende Weg für Aufgaben ohne und mit Entscheidungspunkten gleich gehalten wurde, läßt sich die Reduktion der Bewegungsgeschwindigkeit nicht durch unterschiedliche Anforderungen an die eigentliche Bewegung erklären, sondern wird durch Stimulus-seitige Unterschiede in den Aufgaben verursacht. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, daß die Verarbeitung von Labyrinthen nicht einfach durch einen Wechsel von

Reizverarbeitung in Bewegungspausen und Bewegungen ohne Stimulusanalyseprozesse beschrieben werden kann. Vielmehr deutet sich an, daß zumindest zum Teil Stimulusanalyse- und Entscheidungsprozesse simultan zu den Bewegungen ablaufen. Werden die Reizverarbeitungsprozesse in „echten“ Labyrinth stärker beansprucht als in Pseudo-Labyrinth, bewirkt dies eine Verlangsamung der Bewegung. Jedoch scheint die gleichzeitig zur Bewegung ablaufende Verarbeitung zur Lösung der Labyrinthaufgaben nicht hinreichend, so daß zusätzlich - in einem höheren Ausmaß als ohne das Auftreten von Entscheidungspunkten – Bewegungspausen notwendig werden.

Wird in einem Labyrinth die Zahl von Entscheidungspunkten erhöht, scheinen diese zusätzlichen Anforderungen an die Verarbeitung allein durch eine weitere Reduktion der Bewegungsgeschwindigkeit bewältigbar zu sein, ohne daß eine weitere Zunahme der Dauer von Bewegungspausen erforderlich ist. Wird dagegen in einer Entscheidungssituation die Analyse langer statt kurzer Sackgassen notwendig, so können die erforderlichen Prozesse vermutlich nicht mehr gleichzeitig mit der Bewegung ablaufen. Hier wird eine Zunahme von Bewegungspausen erkennbar, ohne daß gleichzeitig ein weiteres Absinken der Bewegungsgeschwindigkeit zu beobachten ist. Dabei kann ein Bodeneffekt als Grund für die mangelnde experimentelle Beeinflussbarkeit der Geschwindigkeit ausgeschlossen werden, da bei der Darbietung einer erhöhten Zahl von Entscheidungspunkten eine niedrigere Geschwindigkeit beobachtet werden konnte. Ein ähnliches Ergebnis zeigt sich auch bei einer Variation der Form der Sackgassen. Enthält ein Labyrinth Sackgassen mit einem Richtungswechsel, steigt im Vergleich zu Labyrinth mit geraden Sackgassen die Gesamtdauer von Bewegungspausen, ohne daß gleichzeitig ein Absinken der Bewegungsgeschwindigkeit beobachtbar wird.

Die Ergebnisse legen nahe, daß unterschiedliche Merkmale der Labyrinthstruktur unterschiedliche Aspekte des Verhaltens beeinflussen. Möglicherweise bilden sich hier verschiedene, an die Reizgegebenheiten angepaßte Strategien der Labyrinthbearbeitung ab. Treten innerhalb einer Labyrinthstruktur relativ kurze Sackgassen auf, ist eine Verarbeitung von zahlreichen Entscheidungspunkten gleichzeitig mit der Durchführung der Bewegung möglich, wenn deren Geschwindigkeit reduziert wird. Handelt es sich dagegen um relativ lange Sackgassen, eventuell mit Richtungswechseln, ist vermutlich ein so hohes Maß von Kontrollkapazität für die Stimulusanalyseprozesse notwendig, daß diese nicht mehr gleichzeitig mit der Bewegung ablaufen können. Als Konsequenz wird die Bewegungsausführung unterbrochen: Dies führt bei vergleichbarer Bewegungsgeschwindigkeit zu einem Anstieg der Dauer von Bewegungspausen.

Die Ergebnisse zeigen, daß gesunde Personen bei der Labyrinthlösung ihre Verarbeitung in unterschiedlicher Weise an die durch die Reize gestellten Anforderungen anpas-

sen. Eine Reduktion der Bewegungsgeschwindigkeit als erste Reaktion auf die Reizgegebenheiten, die - ist sie nicht ausreichend - durch einen zusätzlichen Anstieg von Zeiten ohne Bewegung ergänzt wird, stellt dabei nur eine Möglichkeit dar. Eine andere ist eine Zunahme der Dauer von Bewegungspausen bei Beibehaltung der Bewegungsgeschwindigkeit.

So scheinen die Reduktion der Geschwindigkeit einerseits und die Zunahme der Dauer von Bewegungspausen andererseits zwei unterschiedliche, möglicherweise sogar unabhängige Verhaltensstrategien zu sein, die bei der Bewältigung steigender Anforderungen an die kognitive Verarbeitung durch die Merkmale eines Stimulus eingesetzt werden können. Man kann hier spekulieren, ob es die Entscheidungsprozesse sind, die simultan zu einer Bewegung ablaufen können, während aufwendigere Stimulusanalyseprozesse, möglicherweise mit einer Bildung ausgeformter mentaler Repräsentationen im sogenannten Arbeitsgedächtnis (Baddeley 1986), eher zu einem Sistieren der Bewegung führen.

Bei der Interpretation der Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung läßt sich jedoch kritisch anmerken, daß bei der Untersuchung des Effektes der Länge einer Wegalternative eine Konfundierung der Länge der Sackgasse mit ihrer Form auftritt. So enthalten im Gegensatz zu den kürzeren Sackgassen alle langen Sackgassen einen Richtungswechsel. Damit ist letztendlich nicht zu entscheiden, ob die Zunahme der Gesamtdauer der Bewegungspausen auf die Länge der Sackgasse, ihre Form oder eine Interaktion dieser beiden Merkmale zurückgeführt werden kann. Die Ergebnisse des Vergleiches von geraden und geknickten Sackgassen gleicher Länge legen jedoch nahe, daß die Form einer Sackgasse für die Dauer von Bewegungspausen zumindest auch von Bedeutung ist. Die Verarbeitung geknickter Sackgassen geht im Vergleich zu geraden Sackgassen mit einer höheren Gesamtdauer von Pausen einher, ohne daß die Bewegungsgeschwindigkeit beeinflusst wird. Ob auch die Verlängerung einer Sackgasse allein diesen Effekt bewirken könnte, läßt sich abschließend nicht beantworten.

Die verschiedenen experimentellen Manipulationen der Labyrinthvorlagen in der vorliegenden Untersuchung ändern lokal an bestimmten Positionen im Labyrinth die Stimulusmerkmale. Analysiert man das Verhalten an diesen Orten, läßt sich häufig ein lokaler Effekt der unabhängigen Variablen zeigen. So führt die Existenz von Entscheidungspunkten verglichen mit äquivalenten Stellen im Pseudo-Labyrinth zu einem Anstieg der Zeit, in der sich der Cursor im Bereich der betreffenden Weggabelung aufhält. Ähnlich zeigt sich auch bei einer Erhöhung der Zahl von Entscheidungspunkten vor den meisten der zusätzlich eingeführten Sackgassen eine Zunahme des Zeitbedarfes.

Jedoch wirkt sich die lokale Variation der Stimulusmerkmale nicht nur dann aus, wenn der Proband mit dem Cursor den betreffenden Bereich des Labyrinthes erreicht hat, sondern beeinflusst auch die Verarbeitung an anderen Orten. So führen zusätzliche Entscheidungspunkte zu einer unterschiedlichen Verteilung der Verarbeitungszeiten innerhalb der Labyrinthstruktur. Während an "neuen" Weggabelungen ein höherer Zeitverbrauch erkennbar wird, läßt sich an "alten" Weggabelungen eine Abnahme des Zeitbedarfes beobachten. Darüber hinaus ergeben sich Hinweise darauf, daß die Einführung zusätzlicher Sackgassen zu einer Änderung der relativen Schwierigkeit der Sackgassen führt.

Dieses Ergebnis deutet darauf hin, daß sich lokale Modifikationen der Labyrinthstruktur nicht nur dann auswirken, wenn sich der Proband mit dem Cursor in räumlicher Nähe befindet. Es werden auch räumlich und zeitlich entfernte Verarbeitungsprozesse beeinflusst, d.h. die weitere Verarbeitung wird kontinuierlich an die Stimulusgegebenheiten und die Ergebnisse lokaler Verarbeitungsprozesse adaptiert. Insofern entsprechen die bei der Labyrinthlösung stattfindenden Prozesse in hohem Maße der Definition von kognitiven Prozessen als adaptiver, auf aktuellem Input und Erfahrung beruhender Informationsverarbeitung (Krieger 1999).

Dabei stellt sich jedoch auch das Problem, daß sich durch die Bewegung des Cursors innerhalb der Labyrinthvorlage nur eingeschränkt Rückschlüsse auf die aktuell ablaufenden kognitiven Prozesse ziehen lassen. V.a. während Bewegungspausen ist anzunehmen, daß der Proband das Labyrinth nicht nur in unmittelbarer Nähe der Cursorposition exploriert, sondern bereits räumlich weiter entfernte Teile der Labyrinthstruktur analysiert und die Ergebnisse dieser Verarbeitung in die weitere Handlungsplanung einbezieht.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die experimentelle Variation von verschiedenen Eigenschaften der Labyrinthstruktur zu unterschiedlichen Auswirkungen auf die verschiedenen Bereiche beobachtbaren Verhaltens im Labyrinth führt.

Die Differenzierung des Verhaltens in Qualität der Labyrinthlösung, Präzision der Bewegung und Zeitbedarf sowie die Entwicklung von Subparametern zur genaueren Charakterisierung dieser Bereiche hat sich dabei als nützlich für die Beschreibung und das Verständnis der involvierten kognitiven Prozesse erwiesen. Wie die Verwendung unterschiedlicher Schwellen für die Definition von Bewegungspausen zeigte, handelt es sich um relativ stabile Parameter, d.h. die statistische Auswertung erbrachte im wesentlichen sehr ähnliche Ergebnisse.

Während die verschiedenen Manipulationen von Merkmalen der Labyrinthstruktur das Verhalten im Labyrinth teilweise erheblich beeinflussten, ließen sich Unterschiede im Verhalten der beiden Geschlechter nur vereinzelt beobachten.

Auf der Basis verschiedener Publikationen (z.B. Klinteberg, Levander & Schalling 1987, Schmitz 1999) war vermutet worden, daß sich Männer eher durch den Einsatz einer global-impulsiven Strategie auszeichnen, die mit niedrigem Zeitverbrauch bei reduzierter Qualität der Aufgabenbearbeitung einhergeht. Frauen sollten dagegen zu einer eher reflektiert-sequentiellen Strategie tendieren, die sich in langen - v.a. initialen - Verarbeitungszeiten bei hoher Qualität der Aufgabenlösung ausdrücken sollte. Aufgrund der Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung lassen sich jedoch diese Hypothesen nicht stützen. Unterschiede in der Qualität der Labyrinthbearbeitung ließen sich lediglich in einer der vier Subuntersuchungen nachweisen. Verfügten die beiden verglichenen Labyrinthe über lange (geknickte oder gerade) Sackgassen, zeigten die Frauen - entgegen der Erwartung - tendenziell eine niedrigere Qualität bei der Lösung der Labyrinthaufgabe. Dieser Befund wurde durch die Häufigkeiten der verschiedenen Fehler innerhalb der Probandengruppen nicht gestützt. Dies deutet darauf hin, daß nicht die Anzahl falscher Entscheidungen - sondern vielmehr deren Schwere - zwischen den Geschlechtergruppen unterscheidet.

In den verschiedenen Parametern des Zeitbedarfes - Gesamtverarbeitungszeit, Startzeit, Pausenzeit und Bewegungsgeschwindigkeit - deuten sich zwar zum Teil in den Mittelwerten längere Verarbeitungszeiten für die weiblichen Probanden an, jedoch erreichen diese - vermutlich aufgrund der hohen Streuungen innerhalb der Gruppen - keine statistische Bedeutsamkeit. Berücksichtigt man bei der Analyse von Zeitunterschieden zwischen den Geschlechtern die aktuelle Position des Cursors innerhalb der Labyrinthstruktur, werden in unterschiedlichen lokalen Bereichen tendenziell Unterschiede erkennbar, die prinzipiell eher in Richtung längerer Verarbeitungszeiten bei Frauen deuten.

Neben der Qualität und dem Zeitverbrauch werden auch Parameter der Bewegungsausführung mit unterschiedlichen kognitiven Stilen in Verbindung gesetzt. So findet z.B. ein den "wavy lines" entsprechendes Maß Eingang in die qualitative Auswertung des Labyrinth-Tests von Porteus (1965, Q-Score). Nach Porteus sollte z.B. Impulsivität zu einem höheren Wert in den "wavy lines" führen. Jedoch ging schon Porteus davon aus, daß dieses Maß auch durch höhere Anforderungen an die Stimulusverarbeitung beeinflusst wird. So sollte " ... a tendency to become so absorbed in the tasks of finding the way of the maze .." (Porteus 1965, S. 253) zu mehr Wandberührungen und höheren Werten in den "wavy lines" führen. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung sprechen für eine Beeinflussbarkeit dieses Parameters durch die Merkmale der Labyrinth-

struktur. Hinweise auf Geschlechtsunterschiede ergaben sich jedoch weder für das Ausmaß von Wandberührungen noch von "wavy lines", so daß ein Zusammenhang zwischen den beiden Geschlechtern und einem potentiell über diese Parameter erfaßbaren kognitiven Stil nicht unterstützt werden kann.

Schmitz (1995, 1997, 1999) betont in ihren Arbeiten die Bedeutung von erhöhten Angstwerten bei weiblichen Probanden für ein schlechteres Abschneiden bei der Lösung von Labyrinthaufgaben. In der vorliegenden Untersuchung wurde die Zustandsangst in der Untersuchungssituation zusammen mit anderen Maßen der emotionalen Befindlichkeit erhoben. Zwischen Männern und Frauen konnten hier keine Unterschiede in der Ängstlichkeit nachgewiesen werden. Möglicherweise ist dieser Umstand - zusammen mit der Verwendung einer auf die Qualität statt auf die Geschwindigkeit zielenden Instruktion bei der Labyrinthbearbeitung (s. Schmitz 1997, Schumacher 1979, Ziegler 1987) - für das weitgehende Fehlen von Geschlechtsunterschieden in der vorliegenden Untersuchung verantwortlich.

4.2 Untersuchung 2: Stimulus- und Reaktionsbezogene Prozesse in Labyrinthaufgaben und ihre Interaktion

4.2.1 Einleitung

Ein wesentliches Merkmal von Labyrinthaufgaben ist, daß Ergebnisse von Stimulusanalyse- und Entscheidungsprozessen in Bewegung umgesetzt werden müssen.

Dabei werden stimulus- und responsebezogene Prozesse vermutlich wiederholt durchlaufen. Subprozesse der Analyse der Labyrinthstruktur und der Entscheidung zwischen Reaktionsalternativen einerseits und der Umsetzung der Verarbeitungsergebnisse in Handlungspläne und deren Ausführung als Bewegung andererseits laufen schleifenförmig ab, bis eine Zielposition erreicht ist.

Alternativ ist denkbar, daß in einer initialen Planungsphase eine mentale Repräsentation des gesamten Labyrinthes inklusive der Spezifikation von Bewegungsparametern (Neumann 1989) erstellt wird, die dann durch eine kontinuierliche Bewegung abgearbeitet wird. Dies kann jedoch aufgrund der Ergebnisse von Untersuchung 1 weitgehend ausgeschlossen werden, da sich hier die Manipulationen der Labyrinthstruktur nicht in einer Verlängerung der Startzeiten auswirkten.

Ein wesentliches Ergebnis von Untersuchung 1 war dagegen, daß die für die Steuerung der Bewegung grundlegenden Stimulusanalyse- und Entscheidungsprozesse wahrscheinlich lokal, d.h. beim Durchfahren des Labyrinthes an Wegverzweigungen, erfolgen. Darüber hinaus deutete sich an, daß Reizverarbeitung und Bewegungssteuerung zumindest teilweise simultan ablaufen. Insbesondere Entscheidungsprozesse scheinen auch während der Bewegung durchgeführt zu werden. Dagegen führen spezielle Reizcharakteristika, wie etwa sehr lange Sackgassen, zu einem Anhalten der Bewegung, d.h. die Verarbeitung wird serialisiert. Labyrinthverarbeitung ist daher durch eine komplexe und wahrscheinlich adaptive Koordination von reizseitiger Verarbeitung und Bewegungssteuerung gekennzeichnet.

Sowohl stimulus- wie auch bewegungsbezogene kognitive Prozesse sind bei der Bearbeitung von für den Probanden unbekanntem Labyrinth als kontrolliert ablaufende, d.h. Kontrollkapazität beanspruchende, Prozesse zu betrachten (Ivry 1996).

Der Begriff der Kontrollkapazität wurde von Norman & Bobrow 1975 in die Kognitionspsychologie eingeführt. Er kennzeichnet die Begrenzungen der Fähigkeit menschlicher Verarbeitung, simultan auftretende Reizmerkmale zu verarbeiten, mehrere motorische Handlungen, aber auch komplexe Wahrnehmungs- und motorische Prozesse gleichzeitig durchzuführen. Diese Limitationen werden auf eine endliche Kapazität gemeinsamer Ressourcen zurückgeführt (Kahnemann 1973). Als eine wesentliche gemeinsame Res-

source wird die Aufmerksamkeit betrachtet, die nur in begrenztem Umfang zwischen verschiedenen Umweltobjekten, mentalen Prozessen und Handlungen aufgeteilt werden kann. Bei jeder Aufgabe werden verschiedene Operationen wie beispielsweise Wahrnehmen, Erinnern, Vergleichen und Reagieren durchgeführt. In neuartigen Reizsituationen und bei ungeübten Handlungen erfordern diese Prozesse Aufmerksamkeit und die Verarbeitung wird bewußt, d.h. sie läuft im kontrollierten Modus ab (Shiffrin & Schneider 1977, Schneider & Shiffrin 1977). Ein weiteres Merkmal der kontrollierten Verarbeitung ist ihre Serialisierung, d.h. die Aufmerksamkeit wird von einem Teilaspekt zu einem anderen gelenkt.

Durch Übung können Verarbeitungsprozesse automatisiert werden, d.h. sie laufen dann ohne bewußt zu werden und mit deutlich verringertem Aufmerksamkeitsbedarf ab. Nach Neumann (1989) ist wesentlichstes Kennzeichen der Automatisierung, daß die für eine erfolgreiche Verarbeitung notwendigen Parameter spezifiziert sind und nicht während des Ablaufes der Prozesse festgelegt werden müssen. Dies bedeutet z.B. im Falle von Bewegungen, daß die Zielkoordinaten für einzelne Teilschritte bereits vor ihrer Initiierung vorliegen und nicht wie bei der kontrollierten Verarbeitung auf der Basis von Wahrnehmungsprozessen neu definiert werden.

Der Theorie, daß nur ein einzelner eher unspezifischer Pool von Verarbeitungsressourcen existiert (Single-Resource Theory, Kahneman 1973), steht ein Modell multipler Ressourcen (Wickens 1984, s. auch Allport 1980) entgegen. So postuliert Wickens (1984), daß die einzelnen möglichen Wahrnehmungs- und Weiterverarbeitungssubprozesse jeweils nur eine begrenzte Kapazität haben. Simultanes Verarbeiten ist dann möglich, wenn unterschiedliche Prozesse mit Zugriff auf unterschiedliche Ressourcen ablaufen. Die Möglichkeiten zur gleichzeitigen Verarbeitung innerhalb einer Modalität oder innerhalb eines kognitiven Subprozesses dagegen werden als begrenzt angesehen.

Konkurrieren verschiedene kognitive Prozesse um eine begrenzte Ressource, ist davon auszugehen, daß eine zunehmende Beanspruchung eines Prozesses zu einem Absinken der Leistung der anderen führt (Wickens 1992, Allport, Antonis & Reynolds 1972). Verschiedene Hinweise sprechen dafür, daß sich in Labyrinthaufgaben stimulusbezogene Prozesse und Bewegungssteuerung gegenseitig beeinflussen, d.h. daß sie möglicherweise um gemeinsame Ressourcen konkurrieren.

So betrachtet Porteus (1965) das Absinken der Qualität der Linienführung (z.B. in Form von Wandberührungen, Wanddurchkreuzungen oder "wavy lines"), d.h. von Bewegungscharakteristika, als Ausdruck einer zunehmenden Belastung des Probanden durch die Anforderungen der Reizverarbeitung. Andererseits führte die Instruktion, Labyrinth mit

hoher Geschwindigkeit zu bearbeiten, zu einem Abfall der Qualität der Labyrinthlösung im Sinne von zahlreichen Sackgassenbetretungen und einer erhöhten Anzahl von Übungsdurchgängen bis zum Erreichen eines Lernkriteriums (Sharp 1939).

In Untersuchung 1 der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, daß bestimmte Charakteristika der Bewegung ("wavy lines") durch Merkmale der Labyrinthstruktur, wie beispielsweise die Einführung von Entscheidungspunkten, beeinflusst wurden. Darüber hinaus läßt sich auch die Bewegungsgeschwindigkeit durch experimentelle Manipulation von Merkmalen der Labyrinthstruktur beeinflussen. Wird die Anzahl von Entscheidungspunkten innerhalb einer Labyrinthstruktur erhöht, führt dies zu einem erhöhten Zeitbedarf. Dieser läßt sich durch das Absinken der Bewegungsgeschwindigkeit erklären. Zahl und Dauer von Bewegungspausen dagegen werden nicht beeinflusst. Es läßt sich vermuten, daß hier die - durch die Einführung zusätzlicher Sackgassen - erhöhten Anforderungen an Entscheidungsprozesse, noch simultan zur Bewegung durchgeführt werden können. Dabei ist jedoch ein Absinken der Bewegungsgeschwindigkeit für eine erfolgreiche Lösung notwendig. Wird dagegen die Länge von Sackgassen erhöht, bleibt die Bewegungsgeschwindigkeit unbeeinflusst, und die Gesamtdauer von Bewegungspausen steigt. Dies bedeutet, daß hier die Anforderungen an die Stimulusanalyse vermutlich so hoch sind, daß eine Unterbrechung der Bewegung notwendig ist, um alle verfügbare Kontrollkapazität für die Analyse des Labyrinthstimulus bereit zu stellen.

Grundsätzlich läßt sich überprüfen, ob zwei Prozesse auf die gleichen Ressourcen an Kontrollkapazität zugreifen, indem die Intensität, mit der die einzelnen Prozesse beansprucht werden, experimentell manipuliert wird. So werden in „dual-task“-Paradigmen zwei Aufgabentypen, die unterschiedliche Verarbeitungsprozesse ansprechen, gleichzeitig zur Lösung vorgelegt („Doppelbelastungsaufgaben“, Hoffmann 1990, Wickens 1992, Sternberg 1996, Anderson 1995). Wird die Schwierigkeit einer Aufgabe erhöht, und wirkt sich dies auf die Leistung in beiden Aufgaben aus, kann dies als Hinweis auf eine gemeinsame Nutzung von Verarbeitungsressourcen gewertet werden.

Labyrinthaufgaben lassen sich – unter der Instruktion, durch möglichst präzise Bewegungen Berührungen der Wände zu vermeiden – als Doppelbelastungsaufgaben verstehen. Einerseits besteht hier die Aufgabe darin, das Labyrinth auf dem kürzesten Weg ohne das Betreten von Sackgassen zu durchqueren, andererseits soll als zweite Aufgabe, die Bewegung so präzise erfolgen, daß Kontakte zwischen Cursor und Wänden vermieden werden.

Während in der ersten Untersuchung der vorliegenden Arbeit allein Merkmale der Labyrinthstimuli variiert wurden, wird in Untersuchung 2 zusätzlich die Beanspruchung response-bezogener Prozesse experimentell beeinflusst.

Unter der Instruktion, Wandberührungen zu vermeiden, wird die Bewegungsschwierigkeit mit Hilfe unterschiedlicher Größen des durch das Wegsystem zu navigierenden Cursors manipuliert. Während Bewegungen mit einem kleinen Cursor relativ einfach ohne Berührung der Labyrinthwände möglich sind, erfordert das Navigieren eines größeren Cursors präzisere Bewegungen. Diese beanspruchen vermutlich ein höheres Maß an Kontrollkapazität. Es interessiert, ob sich eine Zunahme der Bewegungsschwierigkeit abhängig von dem Ausmaß der Beanspruchung eher stimulus-bezogener Analyse- und Entscheidungsprozesse auf das Verhalten bei der Labyrinthbearbeitung auswirkt. Um diese Frage zu klären, wird das Verhalten bei der Bearbeitung "echter" Labyrinthe mit dem in Pseudo-Labyrinth, d.h. Labyrinth-artigen Stimuli ohne das Auftreten von Entscheidungssituationen, verglichen. Es ergibt sich folglich ein zweifaktorielles Versuchsdesign.

Für die Interpretation der hier auftretenden Effekte kann das Rational der Methode der additiven Faktoren von Sternberg (1969) herangezogen werden. Haupteffekte in der varianzanalytischen Auswertung deuten darauf hin, daß die experimentellen Variablen auf zwei voneinander unabhängige Teilprozesse der Verarbeitung einwirken. Interaktionen dagegen können dahingehend interpretiert werden, daß die experimentellen Variablen gemeinsam einen Teilprozeß oder einen gemeinsamen Aspekt der Verarbeitung der involvierten Teilprozesse beeinflussen.

Es wird vermutet, daß stimulusbezogene Prozesse mit responsebezogenen Prozessen um einen gemeinsamen Pool von Kontrollkapazität konkurrieren. Erhöhte Anforderungen an die Bewegungssteuerung sollten sich deshalb bei erhöhten Anforderungen an stimulusbezogene Prozesse besonders deutlich auf das Verhalten auswirken: Es wird vermutet, daß eine schwierigere Bewegung zu einem überproportionalen Anstieg im Zeitbedarf der Aufgabenbearbeitung führt, wenn das Auftreten von Entscheidungspunkten die Auswahl von Reaktionsalternativen notwendig macht. In der varianzanalytischen Auswertung sollte sich dies im Auftreten signifikanter Interaktionen zwischen den Faktoren "Stimulustyp" (Pseudo-Labyrinth vs. "echtes" Labyrinth) und „Bewegungsschwierigkeit“ (kleiner vs. großer Cursor) auswirken. Es läßt sich vermuten, daß schwierigere Bewegungen dabei weniger den Zeitbedarf der initialen Verarbeitung (Startzeit) verlängern, als vielmehr die Zeit, die für das Navigieren des Cursors durch das Wegsystem benötigt wird. Hier stellt sich die Frage, ob die Bewegungsgeschwindigkeit und die Charakteristika der Bewegungspausen in unterschiedlicher Weise beeinflußt werden. Aufgrund der Ergebnisse von Untersuchung 1 ist zu vermuten, daß sich die Einführung von Entscheidungspunkten auf beide Verhaltensaspekte auswirkt. Wird zusätzlich Kontrollkapazität durch eine schwierigere Bewegung beansprucht, könnte dies entweder zu einem weiteren, überproportionalen Absinken der Bewegungsgeschwindigkeit führen (ähnlich wie es sich bei der Einführung zusätzlicher Entscheidungspunkte in Untersuchung 1B beobachten ließ), oder aber die Anforderungen an die

Kontrollkapazität soweit übersteigen, daß eine Unterbrechung der Bewegung notwendig wird. Letzteres sollte sich in einer überproportionalen Zunahme der Gesamtdauer von Bewegungspausen bemerkbar machen.

Greifen dagegen stimulus- und response-bezogene Prozesse auf unterschiedliche Ressourcen zu, sollten steigende Anforderungen an beide kognitiven Domänen zwar zu einer Zunahme des Zeitbedarfes führen, jedoch sollte dieser für die beiden experimentellen Faktoren unabhängig voneinander sein. In der varianzanalytischen Auswertung wäre dann das Auftreten von Haupteffekten der beiden Faktoren "Stimulustyp" (Pseudo-Labyrinth vs. "echtes" Labyrinth) und "Bewegungsschwierigkeit" (Cursorgröße) zu erwarten. Eine Abhängigkeit der Wirkung der beiden Faktoren voneinander im Sinne eines Interaktionseffektes in der varianzanalytischen Auswertung sollte nicht nachweisbar sein.

Neben Auswirkungen auf den Zeitbedarf wird auch eine überproportionale Reduktion der Qualität der Labyrinthlösung und der Präzision der Bewegung erwartet, wenn die Aufgabe gleichzeitig hohe Anforderungen an die Bewegungssteuerung und durch die Existenz von Entscheidungspunkten an die Stimulusverarbeitung stellt.

Um die Koordination von Prozessen der Stimulusanalyse und der Bewegungssteuerung unabhängig von Entscheidungsprozessen zu untersuchen, wird neben Labyrinth und Pseudo-Labyrinth als dritte Stimulusbedingung ein "Pfad" eingeführt. Dabei wird ein den Pseudo-Labyrinth entsprechenden Weg präsentiert, der jedoch vor einem gleichförmig einfarbigem Hintergrund dargeboten wird. Anders als bei dem "labyrinthartigen" Hintergrund der Pseudo-Labyrinth ist hier die Diskrimination zwischen Hintergrund und zu durchfahrendem Weg einfach. Damit sollten die Anforderungen an Prozesse der Stimulusanalyse im Sinne einer Merkmalsextraktion und -diskrimination (s. Sanders 1980) vermindert sein. Mit Hilfe eines Vergleiches zwischen "Pfad" und Pseudo-Labyrinth soll die Beziehung zwischen responsebezogenen Prozessen und diesem Bereich der Stimulusanalyse untersucht werden.

Es wird vermutet, daß im Vergleich zur Bearbeitung einfacher "Pfad"-Stimuli bei Pseudo-Labyrinth zusätzlich notwendige Reizanalyseprozesse zu einer Verlängerung der Bearbeitungszeit führen. Beanspruchen Reizanalyse und Bewegungssteuerung die gleichen Ressourcen, sollte sich ein überproportionaler Anstieg des Zeitverbrauches beobachten lassen, wenn die schwierige Bewegungsbedingung des großen Cursors mit den höheren Anforderungen an die Stimulusanalyse beim Pseudo-Labyrinth zusammentreffen. Für die Dauer der initialen Phase der Verarbeitung (Startzeit) wird dabei – basierend auf den Ergebnissen von Untersuchung¹ - weder ein Einfluß erhöhter Anforderungen an die Stimulusanalyse noch an die Bewegungsschwierigkeit erwartet. Ist die Bewegung jedoch initiiert und der Cursor wird durch das Labyrinth geführt, sollten labyrinthartiger Hintergrund und

schwierige Bewegungen zu einem überproportionalen Anstieg des Zeitverbrauches führen. Dabei sollte dann, wenn die Analyse der Stimulusmerkmale des Pseudo-Labyrinthes noch während der Bewegung möglich ist, die Bewegungsgeschwindigkeit niedriger sein als während des Durchfahrens des einfachen Pfades, ohne daß jedoch die Dauer von Bewegungspausen zunimmt. Sind die durch den labyrinthartigen Hintergrund gestellten Anforderungen dagegen so hoch, daß sie die zur Verfügung stehende Kontrollkapazität übersteigen, sollte die Dauer von Bewegungspausen steigen. Zusätzlich interessiert, inwieweit die Präzision der Bewegung durch die experimentellen Manipulationen beeinflusst wird.

Das in Untersuchung 2 verwendete Labyrinth-Paradigma wurde bereits im Rahmen kognitionspsychologischer Untersuchungen in der Schizophrenieforschung im Kognitionslabor des Zentrum für Psychiatrie, Justus-Liebig-Universität Giessen eingesetzt (Krieger 1999, Krieger, Lis & Gallhofer 1998, im Druck b). Hier erwies es sich als vielversprechendes Instrument zur Erfassung kognitiver Störungen bei schizophrenen Erkrankungen. So ließen sich unterschiedliche Auswirkungen der experimentellen Variablen z.B. bei schizophrenen Patienten unterschiedlicher Erkrankungsdauer und unterschiedlichen Medikationsstatus beobachten. Bei diesen Arbeiten läßt sich jedoch die verwendete Parameterisierung als problematisch betrachten (Verwendung von eher globalen Parametern, sowie Konzept des "irregulären Verhaltens" vgl. 4.1.2.4.1). Aufgrund der potentiellen Relevanz dieses Paradigmas im Rahmen klinischer Forschung scheint eine Überprüfung dieses experimentellen Ansatzes unter Verwendung der in der vorliegenden Arbeit eingeführten Parameterisierung des Labyrinthlösungsverhaltens in einer größeren Stichprobe gesunder Kontrollprobanden sinnvoll.

In der Literatur finden sich zahlreiche Hinweise auf das Auftreten von Geschlechtsunterschieden bei der Bearbeitung von Labyrinthaufgaben. Dabei deuten einige Untersuchungen auf eine Überlegenheit der weiblichen Probanden bezüglich der Qualität der Aufgabenbearbeitung bei einem gleichzeitig erhöhten Zeitbedarf. Andere Untersuchungen dagegen konnten keine Geschlechtsunterschiede nachweisen (vgl. 2.4.2.2). Ziel der ersten Untersuchung der vorliegenden Arbeit war zu untersuchen, ob sich diese Widersprüche in den Ergebnissen durch den Effekt unterschiedlicher Anforderungen an Reizanalyse- und Entscheidungsprozesse erklären lassen. Jedoch konnte keine eindeutige Überlegenheit eines der beiden Geschlechter bei der Aufgabenbearbeitung in Abhängigkeit von Merkmalen der Labyrinthstruktur nachgewiesen werden. Die Ergebnisse deuten eher auf eine niedrigere als - wie auf der Basis der Literatur zu erwartend - höhere Qualität der Aufgabenlösung in der Gruppe der Frauen hin. In der zweiten Untersuchung der vorliegenden Arbeit soll nun untersucht werden, inwieweit sich Geschlechtsunterschiede beobachten lassen, wenn nicht nur Merkmale der Labyrinthstruktur sondern auch die Schwierigkeit der geforderten Bewe-

gung beim Navigieren des Cursors experimentell manipuliert wird. Es wird vermutet, daß erhöhte Anforderungen an die Bewegungssteuerung zu einer Akzentuierung von Unterschieden in der Verarbeitung führen, und potentielle Geschlechtsunterschiede damit deutlicher erkennbar werden.

4.2.2 Methode

4.2.2.1 Stichprobe

An der Untersuchung nahmen je 46 männliche und weibliche Probanden teil. Bei den beiden Stichproben handelt es sich um die gleichen Personen wie in der ersten Untersuchung der vorliegenden Arbeit. Die Stichprobenmerkmale finden sich in Tab. 4.1.1.

4.2.2.2 Allgemeiner Versuchsablauf und Meßapparatur

Der allgemeine Versuchsablauf und die Meßapparatur entsprechen dem in Untersuchung 1 der vorliegenden Arbeit (für eine detaillierte Beschreibung s. 4.1.2.2). Die Probanden bearbeiteten dabei die Aufgaben dieser zweiten Untersuchung am gleichen Tag, jedoch zeitlich vor den Aufgaben der ersten Untersuchung.

4.2.2.3 Stimulusmaterial, unabhängige Variablen und Versuchspläne

Die Probanden hatten die Aufgabe, in drei verschiedenen labyrinthartigen Stimuli einen Cursor von einer Start- zu einer Zielregion zu lenken. Die Aufgabe war unter zwei verschiedenen Schwierigkeitsbedingungen bezüglich der Cursorbewegung durchzuführen. Die Probanden waren instruiert, die Aufgabe auf dem kürzesten Weg ohne das Betreten von Sackgassen zügig zu lösen. Dabei sollten sie das Berühren der Wände mit dem Cursor vermeiden. Wenn die Probanden - entgegen der Instruktion - die Wände mit dem Cursor berührten, wurde dies durch ein akustisches Signal (Piepston 1000Hz, 100ms Dauer) rückgemeldet.

Die experimentelle Variation der unabhängigen Variablen "Bewegungsschwierigkeit" erfolgt in zwei Stufen durch Manipulation der Größe des Cursors. Bei einer Wegbreite von 24 Pixel wurde in der leichten Bewegungsbedingung ein Cursor der Größe 3x3 Pixel, in der schwierigen Bewegungsbedingung ein Cursor der Größe 9x9 Pixel eingesetzt. Um Reihenfolge-Effekte zu kontrollieren, werden die beiden Bedingungen der Bewegungsschwierigkeit in randomisierter Reihenfolge dargeboten.

Durch Auswahl unterschiedlicher Stimulusvorlagen wurde einerseits die Existenz von Entscheidungspunkten, andererseits die Komplexität des Stimulus unabhängig vom Auftreten von Entscheidungssituationen, als unabhängige Variablen experimentell manipuliert. Die drei verwendeten Stimulusvorlagen sind in Abb. 4.2.1 dargestellt.

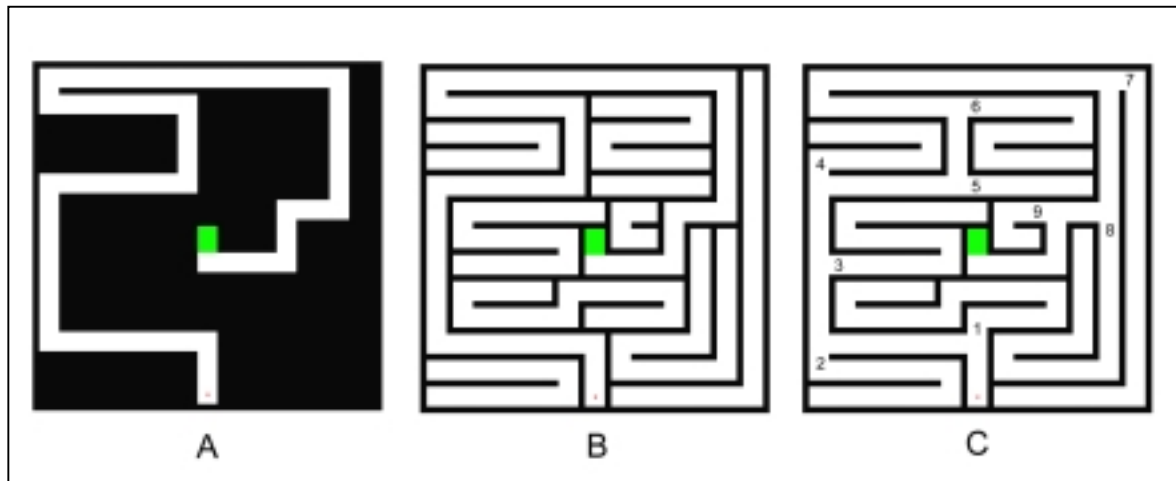


Abb. 4.2.1: Stimuli: Pfad (A), Pseudo-Labyrinth (B) und "echtes" Labyrinth (C)

Der erste Stimulus stellt ein "echtes" Labyrinth mit Wegverzweigungen dar (Abb. 4.2.1C). Der zweite Stimulus besteht in einem Pseudo-Labyrinth (Abb. 4.2.1B). Der zu durchfahrende Weg entspricht dem des Labyrinthes, jedoch sind durch das Fehlen von Verzweigungspunkten keine Entscheidungsprozesse bei der Bearbeitung der Aufgabe notwendig.

Der dritte Stimulus ("Pfad", Abb. 4.2.1A) unterscheidet sich vom Pseudo-Labyrinth lediglich in der Gestaltung des Hintergrundes, vor dem der Weg dargeboten wird. Statt eines "labyrinthartigen" Hintergrundes wie beim Pseudo-Labyrinth wird der Weg hier vor einer einfarbigen Fläche dargeboten. Der zu durchfahrende Weg entspricht dabei dem der beiden anderen Stimulusvorlagen. Durch den einfarbigen Hintergrund des "Pfad" werden vermutlich geringere Anforderungen an Prozesse der Stimulusanalyse, wie Merkmalsextraktion und –diskrimination, gestellt als beim Pseudo-Labyrinth.

Um Reihenfolge-Effekte z.B. durch Übung oder Ermüdung zu kontrollieren, werden die drei Stimulusvorlagen in randomisierter Reihenfolge präsentiert. Um Lerneffekte zu vermindern, werden sie in Parallelformen, d.h. in rotierter Ausrichtung, dargeboten.

Entsprechend dem Vorgehen in Untersuchung 1 wird auch hier die Untersuchung in Vergleiche von jeweils zwei Stimulusvorlagen gegliedert (Diskussion des Rationales s. 4.1.2.3). Dabei wird im ersten Vergleich der Effekt der Existenz von Entscheidungspunkten analysiert, im zweiten Vergleich dagegen der Effekt der Stimuluskomplexität, ohne daß Entscheidungsprozesse notwendig sind. Bei beiden Vergleichen interessiert, inwieweit sich

die Variation der Stimulusvorlagen abhängig von der Schwierigkeit der Bewegung und dem Geschlecht der Probanden auswirkt.

4.2.2.3.1 Vergleich 1: Existenz von Entscheidungspunkten und Bewegungsschwierigkeit

Ziel des ersten Vergleiches der vorliegenden Untersuchung ist die Analyse des Einflusses der Existenz von Entscheidungspunkten auf das Verhalten bei der Aufgabenbearbeitung in Abhängigkeit von der Bewegungsschwierigkeit und dem Geschlecht der Probanden.

Dazu wird das Verhalten während der Bearbeitung eines Pseudo-Labyrinthes mit dem eines "echten" Labyrinthes verglichen. Die beiden Stimulusvorlagen unterscheiden sich lediglich im Auftreten von Wegverzweigungen, und damit in der Notwendigkeit von Entscheidungsprozessen bei der Aufgabenbearbeitung.

Es ergibt sich ein 3-faktorielles Design mit dem unabhängigen Faktor "Geschlecht" und den beiden 2-stufigen Meßwiederholungsfaktoren "Bewegungsschwierigkeit" (Kleiner vs. Großer Cursor) und "Existenz von Entscheidungspunkten" (Pseudo-Labyrinth vs. "echtes" Labyrinth):

		Existenz von Entscheidungspunkten			
		Nein		Ja	
		Bewegungsschwierigkeit		Bewegungsschwierigkeit	
		Niedrig	Hoch	Niedrig	Hoch
Geschlecht	Männer				
	Frauen				

4.2.2.3.2 Vergleich 2: Komplexität des Stimulus und Bewegungsschwierigkeit

Ziel des zweiten Teils der vorliegenden Untersuchung ist die Analyse des Einflusses der Komplexität eines Stimulus auf das Verhalten bei der Aufgabenbearbeitung in Abhängigkeit von der Bewegungsschwierigkeit und dem Geschlecht der Probanden.

Dazu wird das Verhalten während des Durchfahrens eines Weges vor einem einfarbigen Hintergrund mit dem in einem Pseudo-Labyrinth verglichen. Die beiden Stimulusvorlagen unterscheiden sich lediglich in ihrer Komplexität. Während beim Pseudo-Labyrinth höhere Anforderungen an Stimulusanalyseprozesse im Sinne einer Extraktion relevanter Stimulusmerkmale und einer Diskrimination von Weg und labyrinthartigem Hintergrund notwendig sind, ist beim "Pfad" der zu durchzufahrende Weg einfacher von seinem einfarbigen Hintergrund zu unterscheiden.

Es ergibt sich ein 3-faktorielles Design mit dem unabhängigen Faktor "Geschlecht" und den beiden 2-stufigen Meßwiederholungsfaktoren "Bewegungsschwierigkeit" (Kleiner vs. Großer Cursor) und "Stimuluskomplexität" (Pfad vs. Pseudo-Labyrinth):

		Stimuluskomplexität			
		Niedrig		Hoch	
		Bewegungsschwierigkeit		Bewegungsschwierigkeit	
		Niedrig	Hoch	Niedrig	Hoch
Geschlecht	Männer				
	Frauen				

4.2.2.4 Abhängige Variablen

Als abhängige Variablen werden die in Untersuchung 1 hergeleiteten Meßgrößen verwendet (für eine detailliertere Herleitung s. 4.1.4.2). Als Maß für die Qualität der Aufgabenlösung wird die Anzahl von Probanden mit mindestens einmaligem Auftreten von Fehlern der Fehlertypen F1, F2 und F3, sowie die Länge des für die Aufgabenbearbeitung aufgewendeten Lösungsweges ("Weg") eingesetzt. Die Präzision der Bewegung wird über das Ausmaß von Wandberührungen ("Wall") und schlenkerartigen Bewegungen ("Wavy lines") erfaßt. Der Zeitbedarf der Aufgabenlösung wird global als Gesamtzeitbedarf gemessen, die in Startzeit, sowie Pausenzeit und Bewegungsgeschwindigkeit zerlegt wird. Die Pausenzeit wird durch Anzahl und mittlere Dauer der einzelnen Pausen weiter charakterisiert. Bei der Differenzierung zwischen Pausen und Bewegungszeiten wird eine Schwelle von 50ms für die Definition der Mindestdauer einer Pause verwendet.

4.2.2.5 Statistik

Die Versuchspläne der beiden Vergleiche der vorliegenden Untersuchung werden getrennt analysiert und in getrennten Ergebnisteilen dargestellt.

Abhängige Variablen, die als Häufigkeiten erfaßt wurden (Häufigkeit von Fehlertypen), werden mit Hilfe von Kontingenztafeln (χ^2 ggfs. mit exakter Wahrscheinlichkeit nach Fisher bei unabhängigen Messungen, McNemar, bzw. Binomialtest bei abhängigen Messungen, vgl. Bortz, Lienert & Boehnke 1990) ausgewertet.

Intervallskalierte abhängige Variablen werden mit Hilfe dreifaktorieller Varianzanalysen mit Meßwiederholung auf zwei Faktoren analysiert. Da die Labyrinthlösungen kennzeichnende Verhaltensmaße die Voraussetzungen für dieses statistische Verfahren nur eingeschränkt erfüllen, werden entsprechend der Empfehlung von Zimmermann (1994) wie in Untersuchung 1 in der Varianzanalyse die in Ränge transformierten Werte der

einzelnen Variablen verrechnet (s. auch Krieger 1999, Sinsel 1999). Als unabhängiger Gruppierungsfaktor wird in allen Verfahren das Geschlecht verwendet. Als Meßwiederholungsfaktoren gehen die "Bewegungsschwierigkeit" sowie der Typ der verwendeten Stimulusvorlage entsprechend der dargestellten Versuchspläne (s. 4.2.2.3) in die varianzanalytische Auswertung ein.

Aufgrund des explorativen Charakters der vorliegenden Studie wird auf eine Adjustierung des Alpha-Niveaus verzichtet. Eine Prüfung, ob die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung generalisierbar sind, sollte in unabhängigen Untersuchungen erfolgen. Dabei stellt der erste Vergleich von Untersuchung 2 (Pseudo- vs. "echtes" Labyrinth) in der leichten Bewegungsbedingung bereits eine Replikation von Subuntersuchung 1A der vorliegenden Arbeit dar. An der gleichen Probandenstichprobe wird hier unter Verwendung einer unterschiedlichen, wenn auch ähnlichen Labyrinthstruktur wie in Untersuchung 1A der Einfluß der Existenz von Entscheidungspunkten auf das Verhalten untersucht.

Die statistischen Analysen wurden mit Hilfe des „Statistical Package for the Social Sciences“ (SPSS) durchgeführt.

4.2.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse werden getrennt für die beiden Vergleiche der Untersuchung beschrieben. Dabei werden in zwei Subdesigns die Effekte der Existenz von Entscheidungspunkten in einem Wegsystem (1) und der Komplexität eines labyrinthartigen Stimulus (2) in ihrer Abhängigkeit von der Schwierigkeit der Bewegung bei der Aufgabenbearbeitung analysiert. Es interessiert, inwieweit der Einfluß dieser Faktoren und ihre möglichen Interaktionen durch das Geschlecht der Probanden beeinflusst wird.

Mittelwerte und Standardabweichungen der verschiedenen Verhaltensparameter finden sich mit den Ergebnissen der varianzanalytischen Auswertung im Anhang (s. Anhang B).

4.2.3.1 Vergleich 1: Existenz von Entscheidungspunkten und Bewegungsschwierigkeit

4.2.3.1.1 Qualität der Aufgabenlösung

Bei der Bearbeitung von "echten" Labyrinthen kann die Qualität der Aufgabenlösung durch das Treffen falscher Entscheidungen an Weggabelungen mit der Konsequenz des Betretens einer Sackgasse reduziert sein (Fehlertyp F1). Derartige Fehler sind an die Existenz von Wegverzweigungen gebunden. Aus diesem Grund beschränkt sich die Analyse hier auf die Stimulusvorlagen mit Sackgassen.

Abb. 4.2.2 zeigt die Anzahl von Probanden, die während der Labyrinthlösung mindestens einmal eine Sackgasse betreten.

Vergleicht man die Häufigkeiten, mit der die Probanden während einer Labyrinthbearbeitung mindestens einmal eine Sackgasse betreten, zeigen sich mit 28.3% beim kleinen und 26.1% beim großen Cursor keine Unterschiede zwischen den beiden Bewegungsbedingungen (Binomial-Test: $p=.868$). Auch ein getrennter Vergleich der Fehlerhäufigkeiten für die beiden Geschlechter lässt keinen statistisch bedeutsamen Einfluß der Bewegungsschwierigkeit erkennen (Männer: kleiner Cursor 15.2% vs. großer Cursor 21.7%, Binomial-Test: $p=.581$, Frauen: kleiner Cursor 41.3% vs. großer Cursor 30.4%, Binomial-Test: $p=.405$).

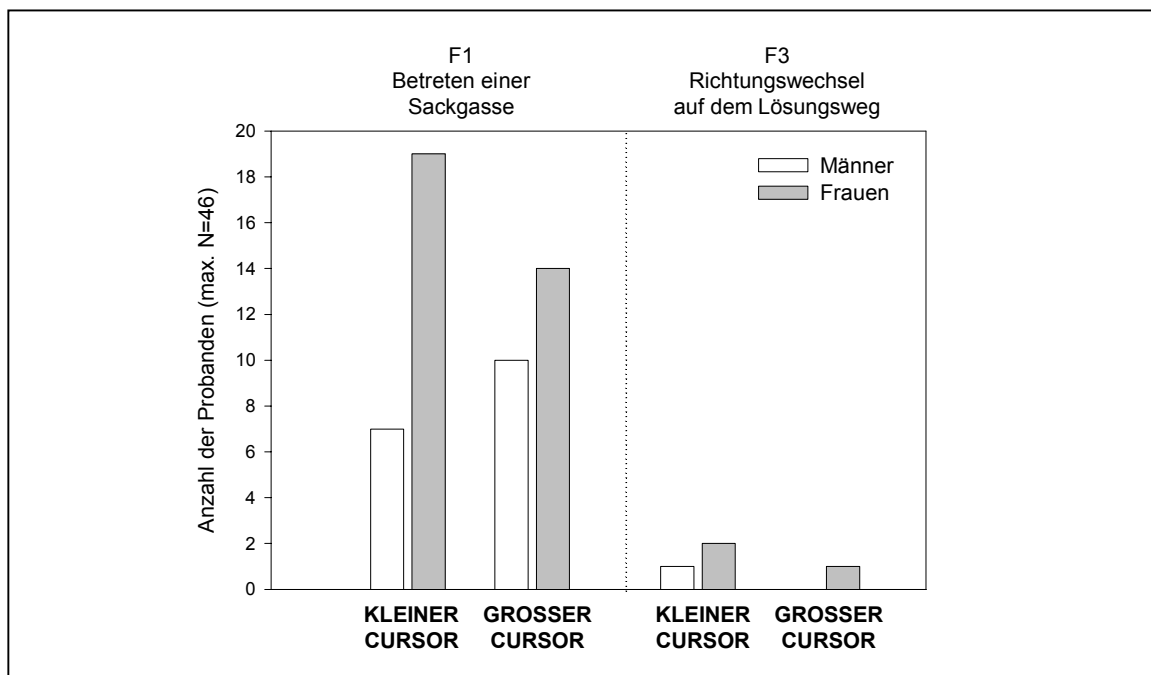


Abb. 4.2.2: Häufigkeit von Probanden mit mindestens einmaligem Auftreten von Fehlern der Fehlertypen F1 und F3 bei der Bearbeitung des "echten" Labyrinthes mit einem kleinen und großen Cursor für männliche und weibliche Probanden

Vergleicht man die Fehlerhäufigkeiten zwischen den Geschlechtern, zeigt sich, daß Frauen häufiger als Männer mindestens einmal eine Sackgasse betreten (Frauen: 60.9% betreten mit dem kleinen und/oder großen Cursor mindestens einmal eine Sackgasse, dabei 50% nur in einer der beiden Bewegungsschwierigkeiten und 10.9% in beiden Bewegungsschwierigkeiten; Männer: 32.6% betreten mit dem kleinen und/oder großen Cursor mindestens einmal eine Sackgasse, dabei 28.3% nur in einer der beiden Bewegungsschwierigkeiten und 4.3% in beiden Bewegungsschwierigkeiten, $\chi^2=7.37$, $p=.007$). Dieser Unterschied zwischen den Geschlechtern erweist sich als abhängig von der Bewegungsschwierigkeit. Nur wenn das Labyrinth mit dem kleinen Cursor gelöst werden soll, betreten mehr Frauen als Männer mindestens einmal eine Sackgasse (kleiner Cursor: Männer 15.2%, Frauen 41.3%; $\chi^2=7.72$, $p=.005$; großer Cursor: Männer 21.7%, Frauen 30.4%; $\chi^2=0.90$, $p=.342$).

Von den Probanden, die während der Labyrinthbearbeitungen eine Sackgasse betraten, trafen die meisten nur einmal eine falsche Entscheidung an den Wegverzweigungen (Mehrfach-Sackgassenfehler bei den Frauen: kleiner Cursor 1x 3 Sackgassen, 1x 2 Sackgassen, großer Cursor: 1x 2 Sackgassen, Männer: 1x 3 und 1x 2 Sackgassen mit dem kleinen Cursor).

Abb. 4.2.3 zeigt die Häufigkeiten, mit denen die einzelnen Sackgassen des Labyrinthes betreten wurden. Dabei läßt sich in der Gruppe der Frauen in beiden Bewegungsschwierigkeiten eine deutliche Häufung der falschen Entscheidungen an der ersten Wegverzweigung des Labyrinthes beobachten. 62% bzw. 86.6% der falschen Entscheidungen an Sackgassen fällten Frauen in der leichten bzw. schwierigeren Bewegungsbedingung an der ersten Sackgasse des Labyrinthes. Bei den Männern läßt sich eine ähnliche Häufung der Fehler an der ersten Wegverzweigung nur in der schwierigen Bewegungsbedingung beobachten (60%, bzw. beim kleinen Cursor: 30%).

Beim Verlassen der Sackgasse wählten alle Personen die korrekte Richtung weiter zur Zielregion (kein Auftreten vom Fehlertyp F2) mit Ausnahme von einem männlichen Probanden in jeder der beiden Bewegungsbedingungen.

Fehler, die auch unabhängig vom Auftreten von Weggabelungen auftreten können, sind Rückwärtsbewegungen, bei denen die Probanden unabhängig vom Betreten einer Sackgasse die Richtung hin zur Startregion ändern (Fehlertyp F3). Bei der Lösung der "echten" Labyrinthe ließen sich derartige Fehler jedoch nur vereinzelt beobachten (bei 4 Probanden, vgl. Abb. 4.2.2), bei der Bearbeitung der Pseudo-Labyrinthe traten derartige Fehler überhaupt nicht auf.

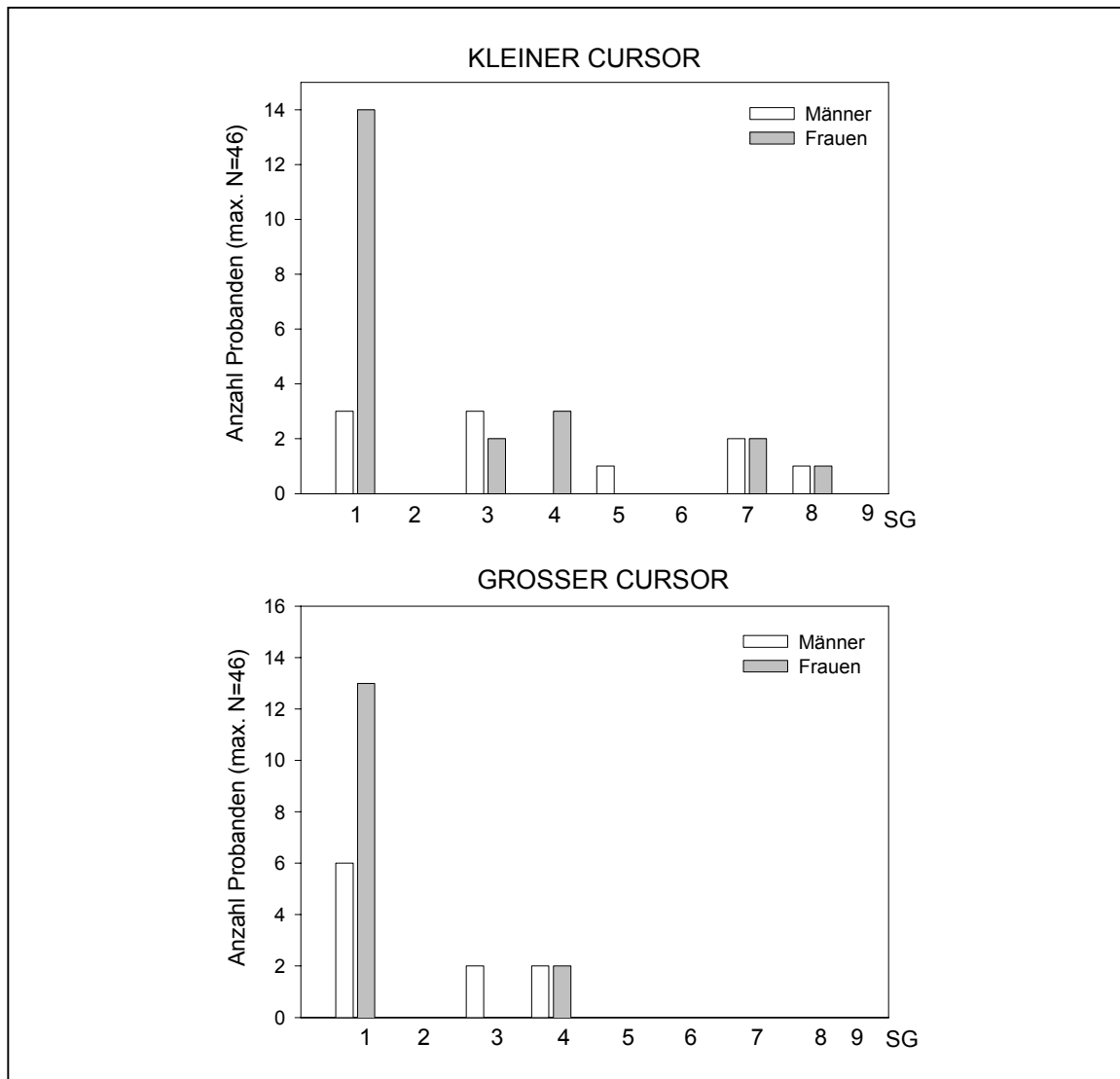


Abb. 4.2.3: Häufigkeit von falschen Entscheidungen an den 9 Entscheidungspunkten des "echten" Labyrinthes bei Navigieren eines kleinen und großen Cursors für männliche und weibliche Probanden

Eine Analyse des bei der Aufgabenlösung zurückgelegten Weges zeigt bei Einführung von Entscheidungspunkten eine Verlängerung der benötigten Wegstrecke ($F(1,90)=77.73$, $p<.001$, s. Abb. 4.2.4). Dabei sind die gegangenen Wege prinzipiell länger, wenn der kleine Cursor durch das Labyrinth bewegt wurde ($F(1,90)=5.50$, $p=.021$). Unterschiede zwischen den Geschlechtern in Abhängigkeit von der Bewegungsschwierigkeit wie bei der Analyse der Sackgassen-Fehler ließen sich jedoch für die Länge des Lösungsweges statistisch nicht bestätigen. Statistisch deutet sich lediglich ein Unterschied zwischen den Geschlechtern in bezug auf den Anstieg der benötigten Wegstrecken nach Einführung von Entscheidungspunkten an: Frauen benötigen hier längere Wege als die männlichen Probanden (Interaktion Geschlecht x Stimulustyp: $F(1,90)=2.86$, $p=.094$).

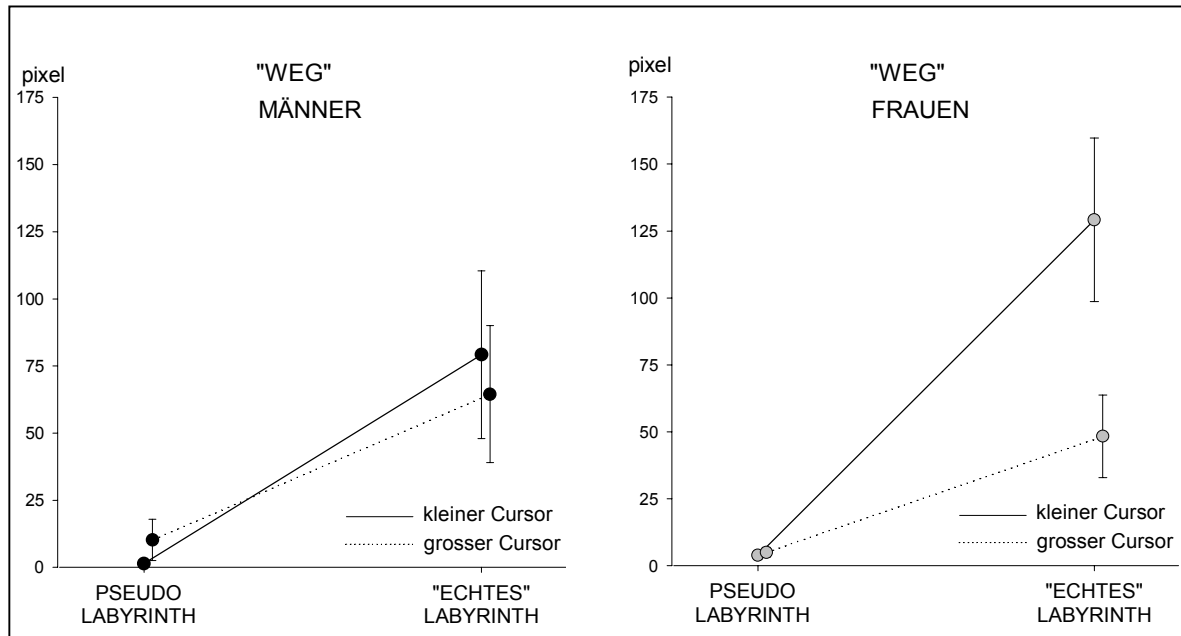


Abb. 4.2.4: Mittelwerte und Standardfehler von "Weg" für männliche und weibliche Probanden bei der Lösung von Pseudo-Labyrinth und "echtem" Labyrinth mit dem kleinen und großen Cursor

4.2.3.2.2 Präzision der Bewegung während der Labyrinthlösung

Die Präzision der Bewegung während der Labyrinthbearbeitung wurde mit Hilfe des Ausmaßes von Wandberührungen ("wall", s. Abb. 4.2.5) und schlenker-artigen Bewegungen ("wavy lines", s. Abb. 4.2.6) erfaßt. Beide Maße werden sowohl durch die Einführung von Entscheidungspunkten ("wall": $F(1,90)=23.24$, $p<.001$, "wavy lines": $F(1,90)=159.57$, $p<.001$) wie auch durch eine erhöhte Bewegungsschwierigkeit ("wall": $F(1,90)=20.84$, $p<.001$, "wavy lines": $F(1,90)=52.62$, $p<.001$) in Form eines Absinkens der Präzision der Bewegung beeinflußt. Das Ausmaß von Wandberührungen steigt tendentiell bei Einführung von Entscheidungspunkten deutlicher an, wenn die Bewegung einfach ist (Interaktion Bewegungsschwierigkeit x Stimulustyp: $F(1,90)=3.52$, $p=.063$). Signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern lassen sich nicht nachweisen.

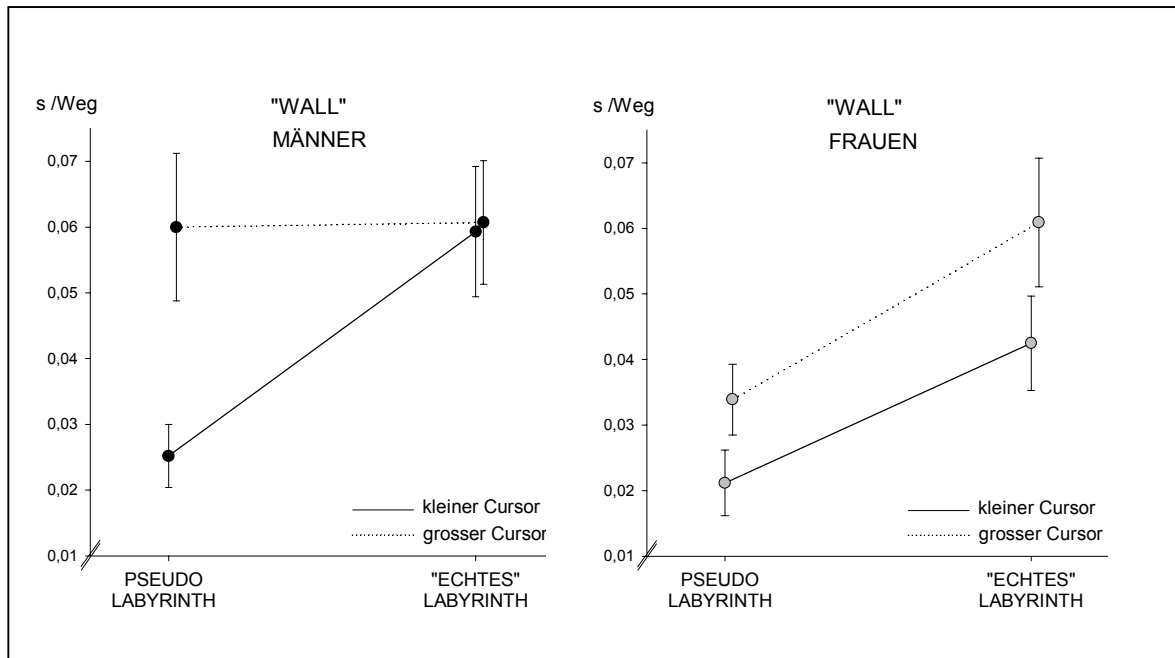


Abb. 4.2.5: Mittelwerte und Standardfehler des Ausmaßes von Wandberührungen ("wall") für männliche und weibliche Probanden bei der Lösung von Pseudo-Labyrinth und "echtem" Labyrinth mit kleinem und großem Cursor

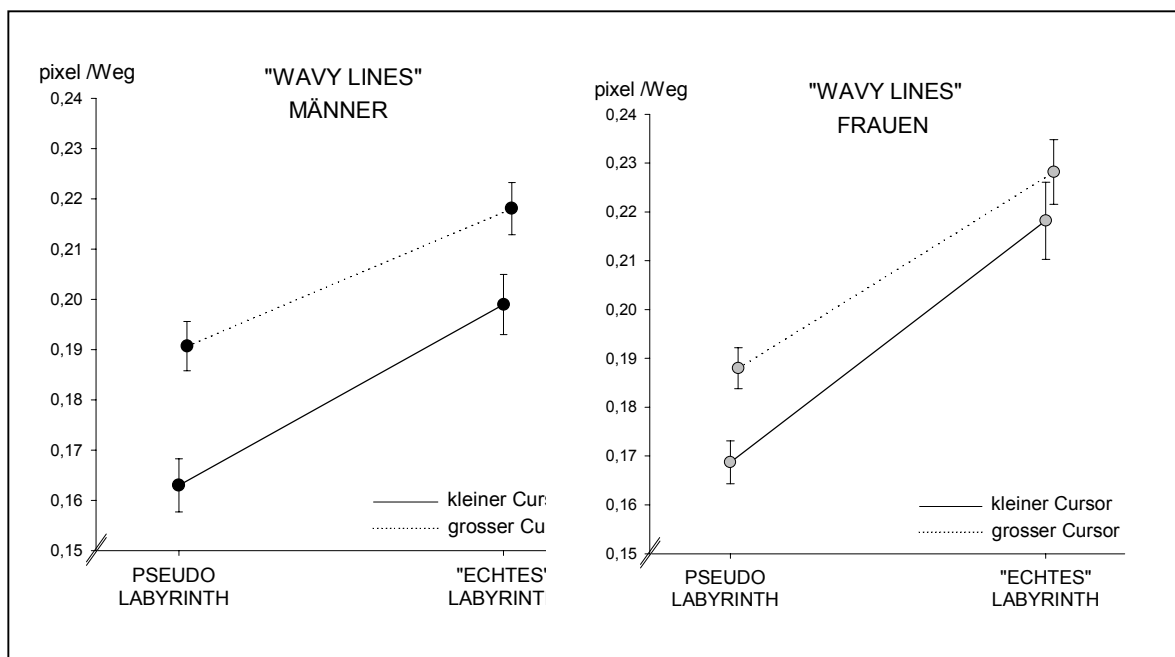


Abb. 4.2.6: Mittelwerte und Standardfehler des Ausmaßes von "wavy lines" für männliche und weibliche Probanden bei der Lösung von Pseudo-Labyrinth und "echtem" Labyrinth mit kleinem und großem Cursor

4.2.3.2.3 Zeitbedarf der Labyrinthlösung

Werden in ein Wegsystem Entscheidungspunkte eingeführt, verlängert sich die Gesamtverarbeitungszeit der Aufgabenbearbeitung ($F(1,90)=249.10$, $p<.001$, s. Abb. 4.2.7). Unabhängig von der Stimulusvorlage benötigen die Probanden länger für die Aufgabenlösung, wenn zur Bearbeitung ein großer Cursor benutzt werden mußte ($F(1,90)=151.12$, $p<.001$). Dabei benötigen Frauen generell mehr Zeit als die Männer ($F(1,90)=4.31$, $p=.041$). Die beiden Geschlechter unterscheiden sich tendenziell auch in bezug auf die gemeinsamen Auswirkungen von Stimulustyp und Bewegungsschwierigkeit. Während die Zunahme des Zeitbedarfes bei Frauen besonders deutlich ist, wenn das Labyrinth mit einem kleinen Cursor durchfahren werden soll, ist sie bei Männern deutlicher zu erkennen, wenn der große Cursor durch das Labyrinth geführt werden muß (Interaktion Geschlecht x Bewegungsschwierigkeit x Stimulustyp: $F(1,90)=3.46$, $p=.066$, Bewegungsschwierigkeit x Stimulustyp: $F(1,90)=3.64$, $p=.059$).

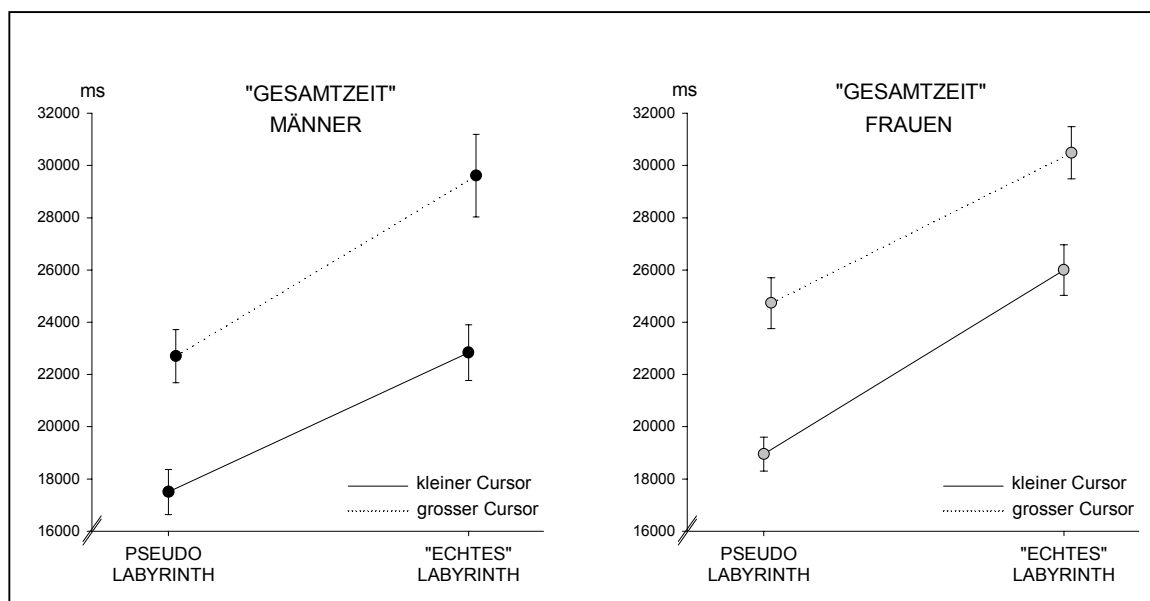


Abb. 4.2.7: Mittelwerte und Standardfehler der "Gesamtzeit" für männliche und weibliche Probanden bei der Lösung von Pseudo-Labyrinth und "echtem" Labyrinth mit kleinem und großem Cursor

Trennt man von der Gesamtverarbeitungszeit die Dauer für eine initiale Verarbeitung, zeigt sich auch für diese Zeitstrecke ein Effekt des Stimulustyps (s. Abb. 4.2.8). Ist eine Entscheidung zwischen Wegalternativen notwendig, verlängert sich die Startzeit ($F(1,90)=33.80$, $p<.001$). Ein Einfluß der Bewegungsschwierigkeit wirkt sich dagegen nicht auf dieses Zeitintervall aus. Prinzipiell benötigen Frauen für diese erste Phase der Verarbeitung mehr Zeit als die männlichen Probanden ($F(1,90)=4.63$, $p=.034$).

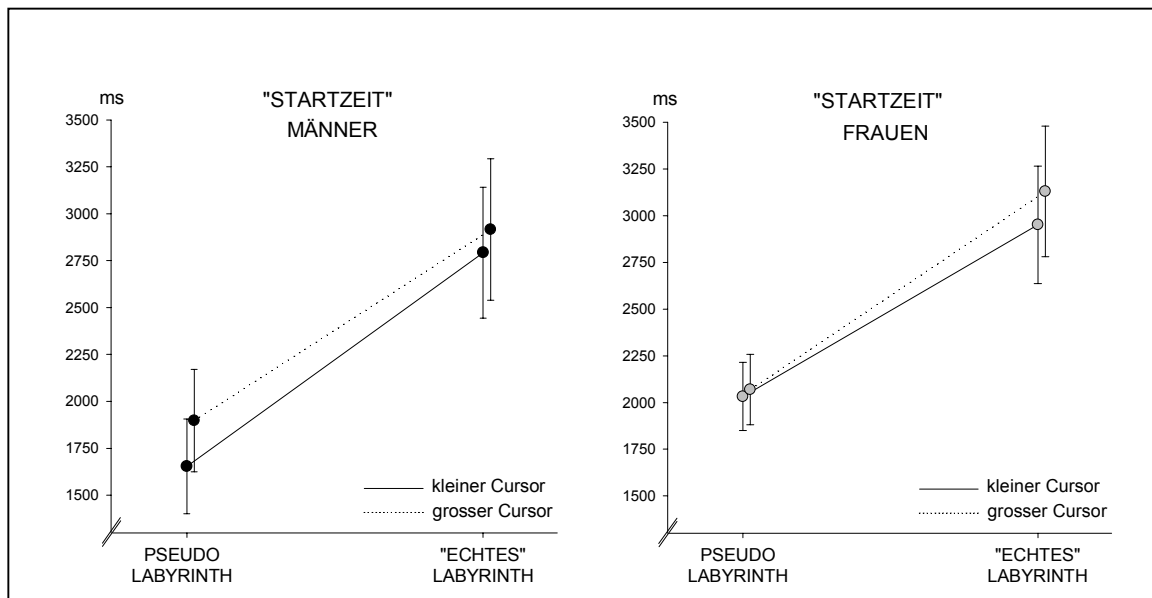


Abb. 4.2.8: Mittelwerte und Standardfehler der "Startzeit" für männliche und weibliche Probanden bei der Lösung von Pseudo-Labyrinth und "echtem" Labyrinth mit kleinem und großem Cursor

Während der Aufgabenbearbeitung lassen sich zahlreiche Bewegungspausen beobachten. Deren Gesamtdauer nimmt zu, wenn ein "echtes" statt eines Pseudo-Labyrinthes dargeboten wird ($F(1,90)=249,35$, $p<.001$, s. Abb. 4.2.9). Auch wenn die Aufgabe mit einem großen statt mit einem kleinen Cursor zu bearbeiten ist, steigt die Zeit, während der der Cursor nicht bewegt wird ($F(1,90)=71,01$, $p<.001$). Frauen verbringen dabei unabhängig von Stimulustyp und Bewegungsschwierigkeit mehr Zeit in Bewegungspausen als Männer ($F(1,90)=4,63$, $p=.034$).

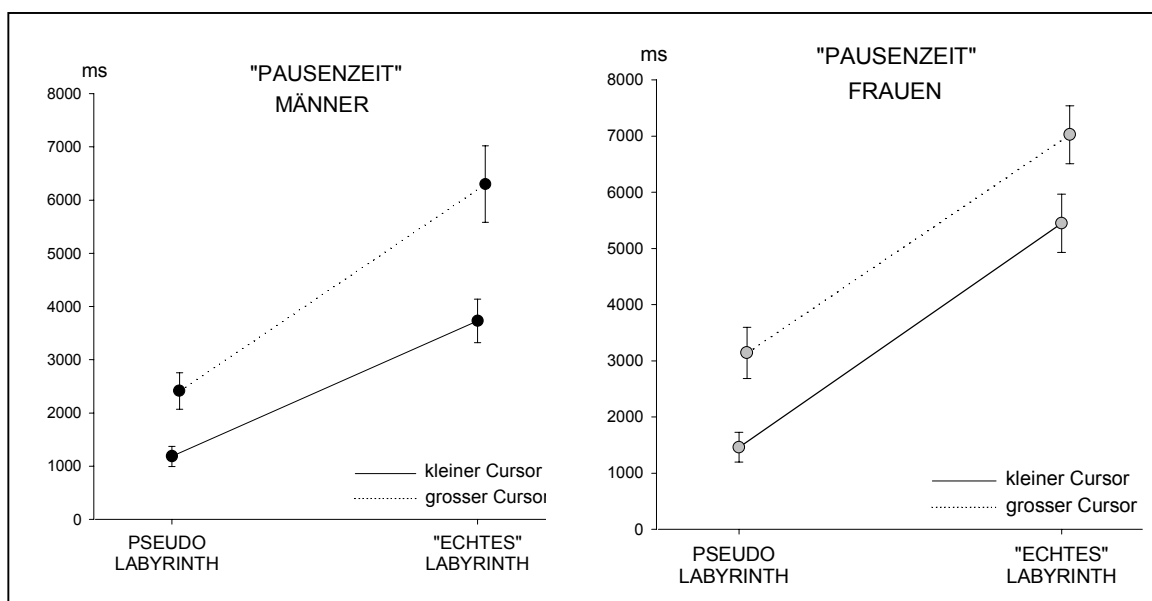


Abb. 4.2.9: Mittelwerte und Standardfehler der "Pausenzeit" für männliche und weibliche Probanden bei der Lösung von Pseudo-Labyrinth und "echtem" Labyrinth mit kleinem und großem Cursor

Die Verlängerung der Pausenzeit bei "echten" Labyrinthen und in der schwierigen Bewegungsbedingung lässt sich sowohl auf eine Zunahme der Anzahl von Pausen (Stimulustyp: $F(1,90)=125.73$, $p<.001$, Bewegungsschwierigkeit: $F(1,90)=91.36$, $p<.001$, s. Abb. 4.2.10) wie auch auf eine Verlängerung der durchschnittlichen Dauer der einzelnen Pausen (Stimulustyp: $F(1,90)=108.52$, $p<.001$, Bewegungsschwierigkeit: $F(1,90)=7.59$, $p=.007$, s. Abb. 4.2.11) zurückführen. Der höhere Zeitverbrauch der Frauen dagegen wird vornehmlich durch eine längere Dauer der einzelnen Pausen verursacht ($F(1,90)=4.38$, $p=.039$, s. Abb. 4.2.11), und nicht durch eine Zunahme von deren Anzahl ($F(1,90)=2.42$, $p=.123$, s. Abb. 4.2.10).

Wird der Cursor durch das Wegsystem gelenkt, führt die Existenz von Entscheidungspunkten ($F(1,90)=20.68$, $p<.001$) wie auch eine Erhöhung der Cursorgröße ($F(1,90)=209.27$, $p<.001$) zu einer Verlangsamung der Bewegung (s. Abb. 4.2.12). Männer und Frauen zeigen hier keine statistisch bedeutsamen Unterschiede.

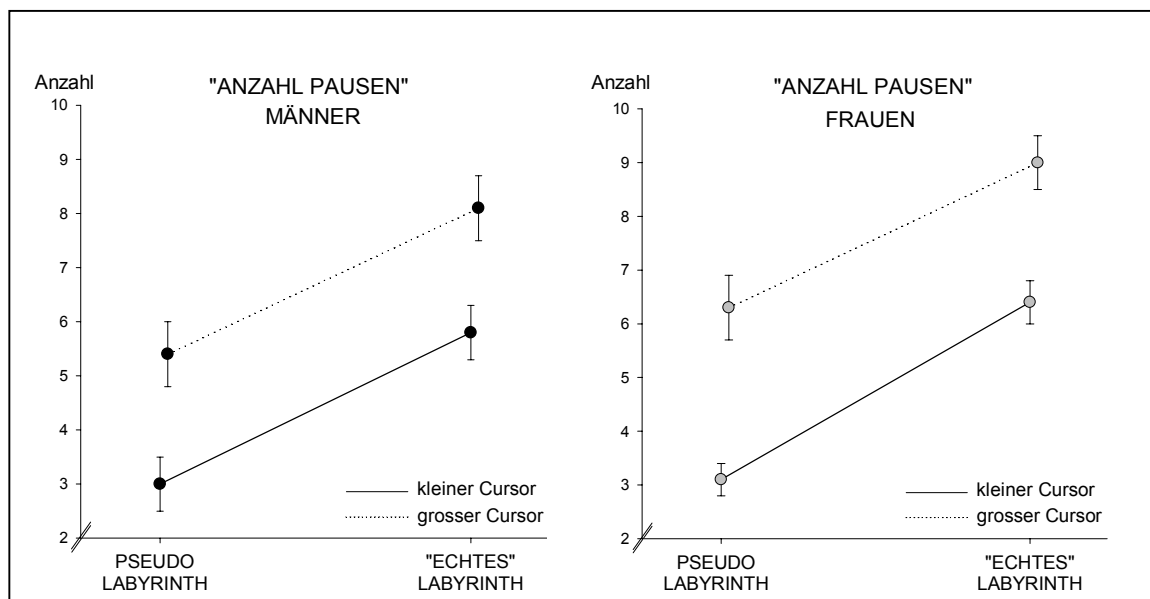


Abb. 4.2.10: Mittelwerte und Standardfehler der "Anzahl von Pausen" für männliche und weibliche Probanden bei der Lösung von Pseudo-Labyrinth und "echtem" Labyrinth mit kleinem und großem Cursor

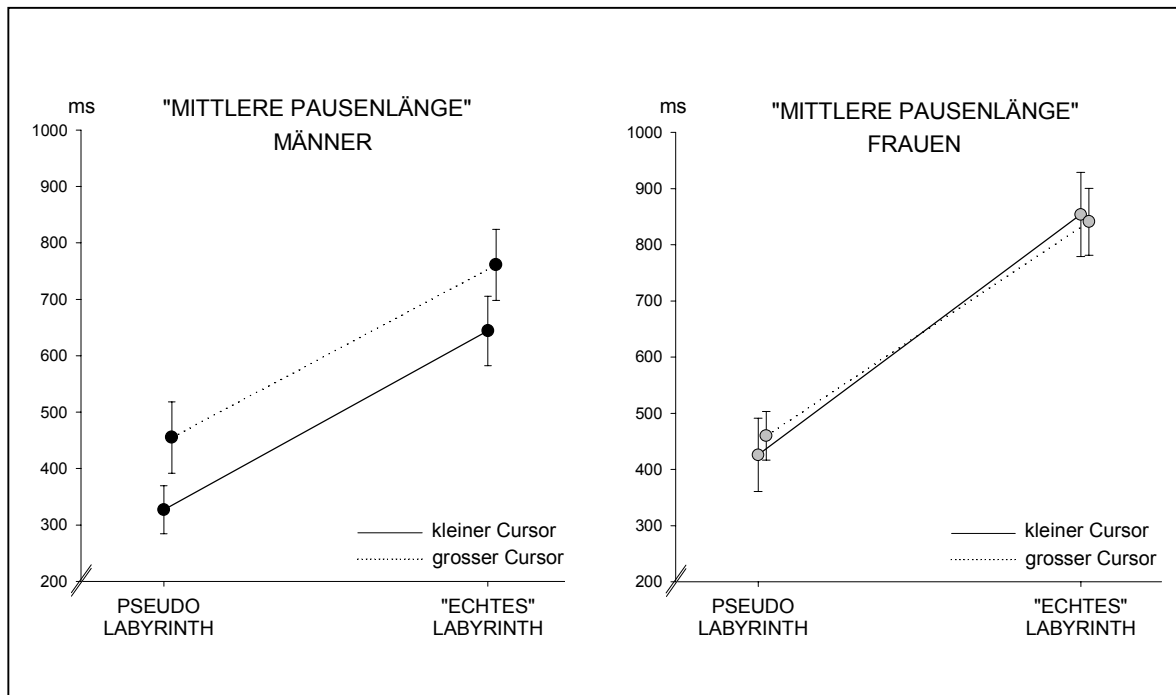


Abb. 4.2.11: Mittelwerte und Standardfehler der "Mittleren Pausendauer" für männliche und weibliche Probanden bei der Lösung von Pseudo-Labyrinth und "echtem" Labyrinth mit kleinem und großem Cursor

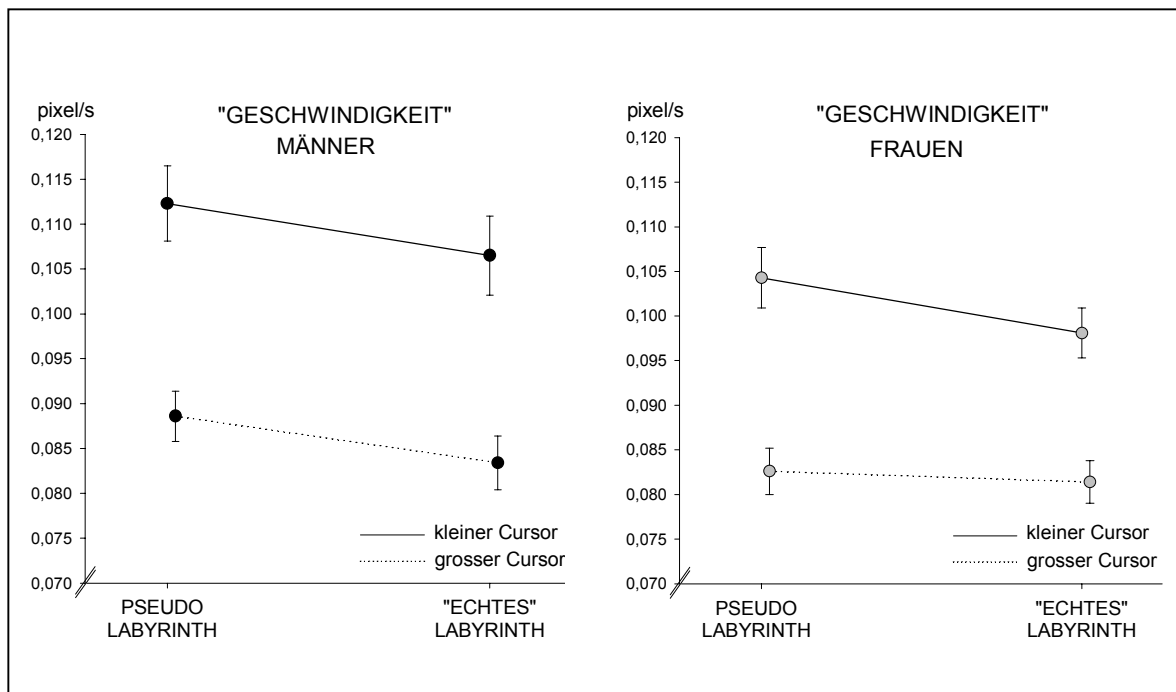


Abb. 4.2.12: Mittelwerte und Standardfehler der Bewegungs-"Geschwindigkeit" für männliche und weibliche Probanden bei der Lösung von Pseudo-Labyrinth und "echtem" Labyrinth mit kleinem und großem Cursor

4.2.3.2 Vergleich 2: Stimuluskomplexität und Bewegungsschwierigkeit

4.2.3.2.1 Qualität der Labyrinthlösung

Beide verwendeten Stimulusvorlagen, der "Pfad" vor dem einfarbigen Hintergrund und das Pseudo-Labyrinth, enthalten einen Weg ohne Verzweigungspunkte. Damit sind lediglich Fehler vom Fehlertyp F3, d.h. Rückwärtsbewegungen auf dem Weg zurück in Richtung auf die Startposition hin, möglich. Jedoch ließ sich in beiden Bewegungsbedingungen weder beim "Pfad" noch beim Pseudo-Labyrinth das Auftreten derartiger Fehler beobachten. Aus diesem Grund wird auf eine weitere Auswertung der Qualität der Aufgabenlösung verzichtet.

4.2.3.2.2 Präzision der Bewegung während der Labyrinthlösung

Beim Durchfahren der Wege sind präzise Bewegungen, d.h. ein Führen des Cursors ohne das Berühren der Wände, gefordert. Ist dabei eine schwierige Bewegung, d.h. das Lenken eines großen Cursors verlangt, führt dies zu einem Absinken der Bewegungspräzision: Die Probanden berühren in einem stärkeren Ausmaß die Wegwände ($F(1,90)=26.30$, $p<.001$, s. Abb. 4.2.13) und die Bewegungscharakteristika ändern sich im Sinne stärker schlenkerartiger Bewegungen ($F(1,90)=73.58$, $p<.001$, s. Abb. 4.2.14).

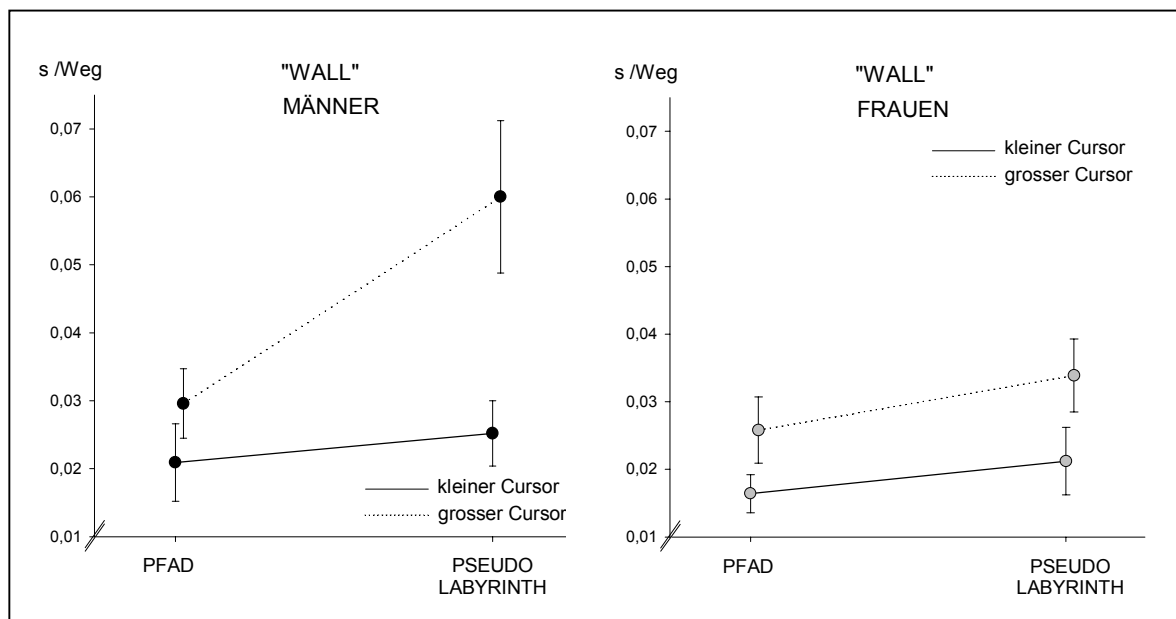


Abb. 4.2.13: Mittelwerte und Standardfehler des Ausmaßes von Wandberührungen ("wall") für männliche und weibliche Probanden bei der Lösung von "Pfad" und Pseudo-Labyrinth mit kleinem und großem Cursor

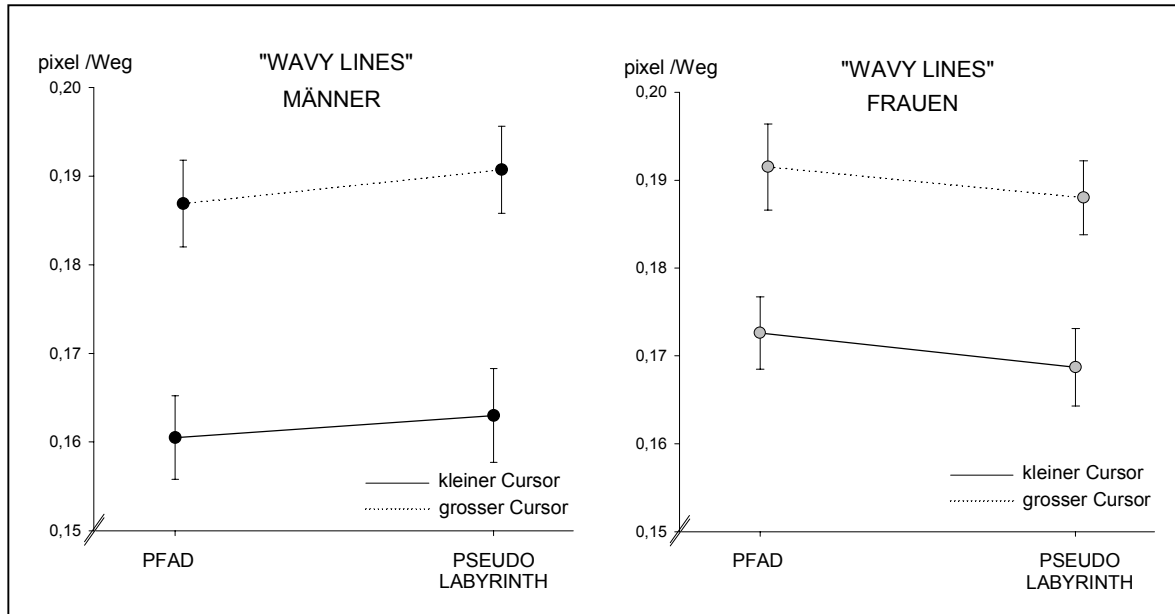


Abb. 4.2.14: Mittelwerte und Standardfehler des Ausmaßes von "wavy lines" für männliche und weibliche Probanden bei der Lösung von "Pfad" und Pseudo-Labyrinth mit kleinem und großem Cursor

Das Ausmaß von Wandberührungen steigt außerdem, wenn der Weg statt vor einem einfarbigen vor einem komplexeren, labyrinthartigen Hintergrund dargeboten wird ($F(1.90)=4.82$, $p=.030$). Obwohl sich dieser Effekt in den Mittelwerten v.a. in der Gruppe der männlichen Probanden beobachten lässt, erreicht ein Unterschied zwischen den Geschlechtern keine statistische Bedeutsamkeit (Interaktion Geschlecht x Bewegungsschwierigkeit x Stimulustyp: $F(1.90)=1.63$, $p=.205$).

In den "wavy lines" dagegen wirkt sich die Komplexität des Stimulushintergrundes tendenziell in Abhängigkeit vom Geschlecht der Probanden aus: Während die weiblichen Probanden eher mit einer Abnahme der schlenkerartigen Bewegungen reagieren, wenn statt des "Pfads" das Pseudo-Labyrinth dargeboten wird, reagieren die männlichen Probanden eher mit einer Zunahme schlenkerartiger Bewegungen (Interaktion Geschlecht x Stimulustyp: $F(1.90)=3.02$, $p=.085$).

4.2.3.2.3 Zeitbedarf der Labyrinthlösung

Wird ein Weg vor einem labyrinthartigen Hintergrund dargeboten, benötigen die Probanden mehr Zeit für die Aufgabenbearbeitung als bei Präsentation vor einem einfarbigen Hintergrund ($F(1.90)=22.12$, $p<.001$, s. Abb. 4.2.15). Dieser Zeitanstieg ist in der Gruppe der männlichen Probanden tendenziell deutlicher zu beobachten als bei den weiblichen Personen (Interaktion Geschlecht x Stimulustyp: $F(1.90)=2.81$, $p=.097$). Soll die Aufgabe mit einem großen Cursor gelöst werden, beansprucht dies mehr Zeit als bei Verwendung eines kleinen Cursors ($F(1.90)=291.30$, $p<.001$). Generell brauchen Frauen unabhängig von Sti-

mulustyp und Bewegungsschwierigkeit mehr Zeit als die männliche Vergleichsgruppe ($F(1.90)=5.57, p=.020$).

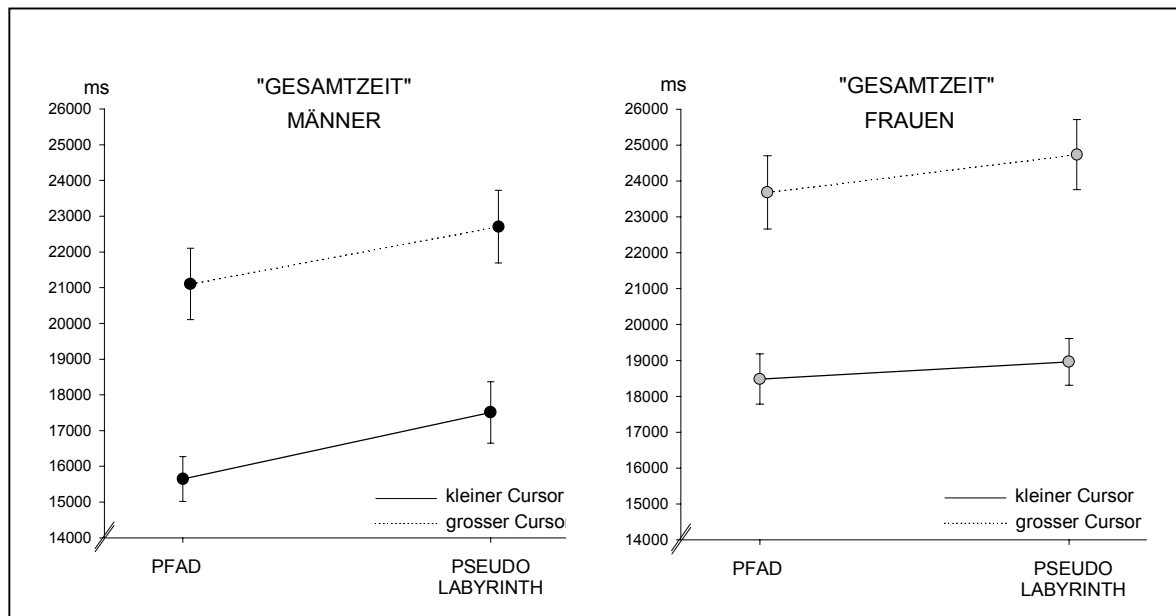


Abb. 4.2.15: Mittelwerte und Standardfehler der "Gesamtzeit" für männliche und weibliche Probanden bei der Lösung von "Pfad" und Pseudo-Labyrinth mit kleinem und großem Cursor

Ein Einfluß der Komplexität des Weg-Hintergrundes wird bereits in der Dauer der initialen Verarbeitung erkennbar. Die Startzeit ist bei Bearbeitung eines Pseudo-Labyrinthes länger als bei dem "Pfad" ($F(1.90)=23.91, p<.001$, s. Abb. 4.2.16). Ist der Stimulus mit einem großen statt mit einem kleinen Cursor zu bearbeiten, benötigen die Probanden mehr Zeit für die

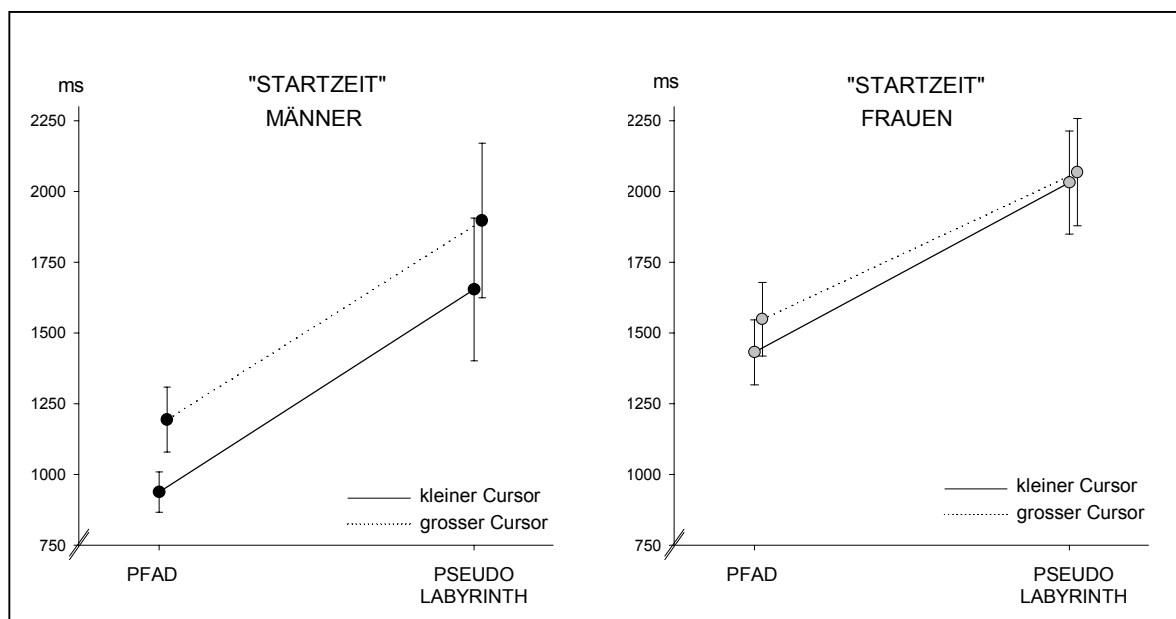


Abb. 4.2.16: Mittelwerte und Standardfehler der "Startzeit" für männliche und weibliche Probanden bei der Lösung von "Pfad" und Pseudo-Labyrinth mit kleinem und großem Cursor

initiale Verarbeitung ($F(1,90)=4.03$, $p=.048$). Prinzipiell benötigen Frauen für diese erste Phase der Verarbeitung deutlich mehr Zeit als die männlichen Probanden ($F(1,90)=14.46$, $p<.001$).

Bei beiden Stimulusvorlagen lassen sich während der Aufgabenbearbeitung Bewegungspausen beobachten. Ihre Gesamtdauer (s. Abb. 4.2.17) nimmt sowohl zu, wenn ein Pseudo-Labyrinth statt eines einfachen „Pfad“ dargeboten wird ($F(1,90)=11.21$, $p=.001$), wie auch, wenn die Aufgabe mit einem großen statt mit einem kleinen Cursor zu bearbeiten ist ($F(1,90)=77.18$, $p<.001$). Eine Zunahme der Cursorgröße führt dabei sowohl zu einem Anstieg der Anzahl von Pausen ($F(1,90)=102,96$, $p<.001$, s. Abb. 4.2.18) wie auch zu einer Verlängerung von deren durchschnittlicher Dauer ($F(1,90)=16.91$, $p<.001$, s. Abb. 4.2.19).

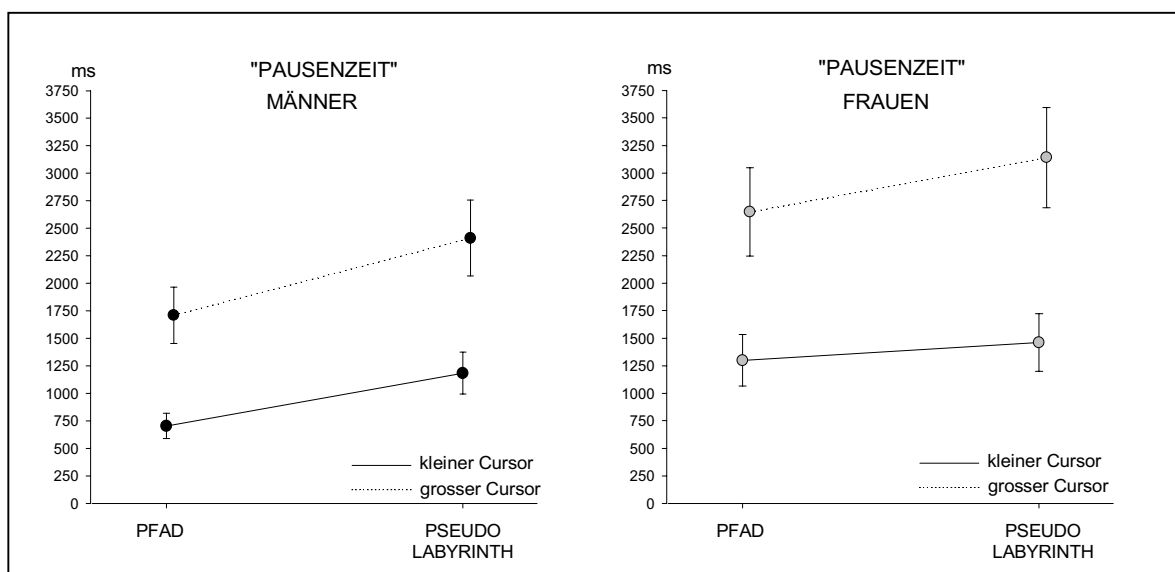


Abb. 4.2.17: Mittelwerte und Standardfehler der "Pausenzeit" für männliche und weibliche Probanden bei der Lösung von "Pfad" und Pseudo-Labyrinth mit kleinem und großem Cursor

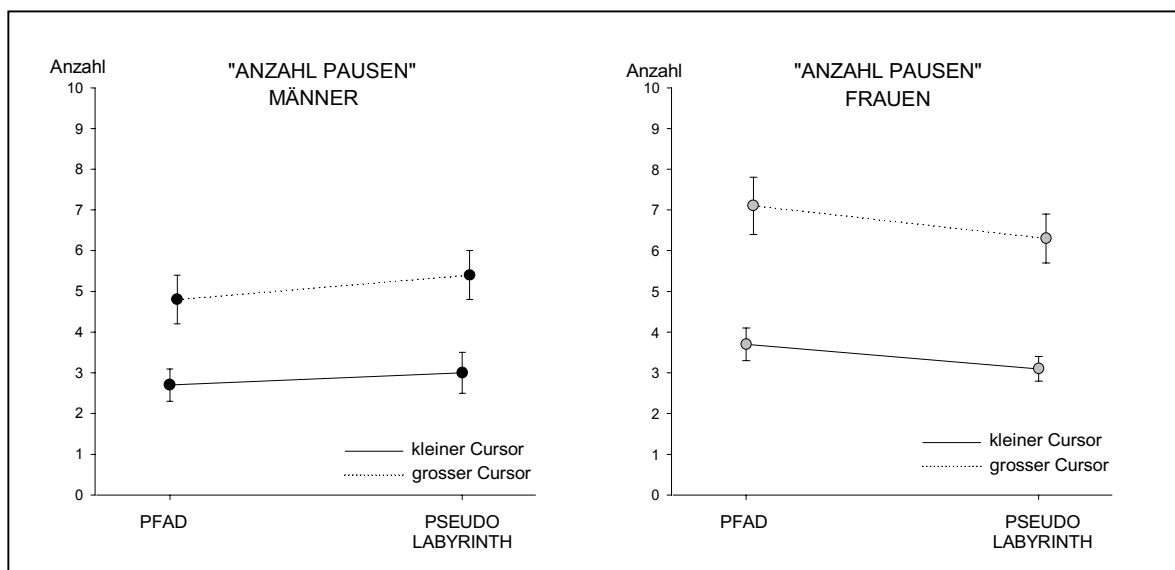


Abb. 4.2.18: Mittelwerte und Standardfehler der "Anzahl Pausen" für männliche und weibliche Probanden bei der Lösung von "Pfad" und Pseudo-Labyrinth mit kleinem und großem Cursor

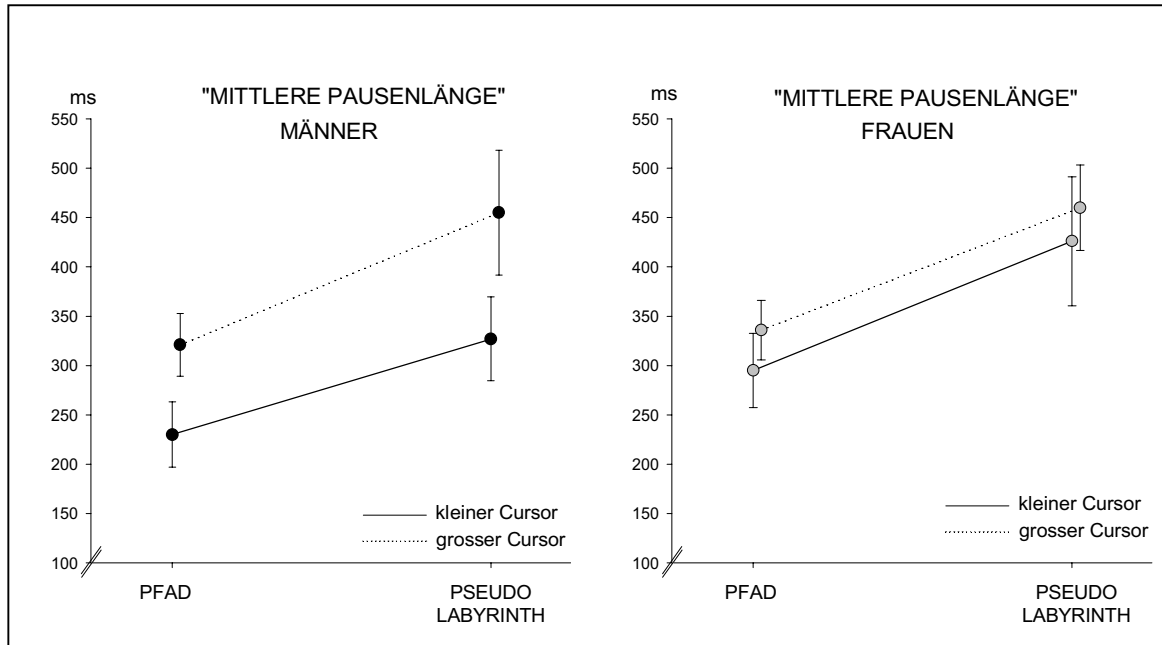


Abb. 4.2.19: Mittelwerte und Standardfehler der "Mittleren Pausenlänge" für männliche und weibliche Probanden bei der Lösung von "Pfad" und Pseudo-Labyrinth mit kleinem und großem Cursor

Ist statt eines einfarbigen ein labyrinthartiger Hintergrund zu analysieren, verlängert sich die durchschnittliche Dauer der einzelnen Pausen ($F(1,90)=16.91$, $p<.001$, s. Abb. 4.2.19). Auf die Anzahl der Pausen wirkt sich der Typ der Stimulusvorlage in Abhängigkeit vom Geschlecht der Probanden aus (Interaktion Geschlecht x Stimulustyp: $F(1,90)=6.22$, $p=.014$, s. Abb. 4.2.18). Während bei Männern nach Einführung eines labyrinthartigen Hintergrundes ein leichter Anstieg der Anzahl von Pausen zu beobachten ist, reagieren Frauen eher mit einer Abnahme. Dabei ist jedoch hervorzuheben, daß Frauen prinzipiell mehr Pausen bei der Aufgabenbearbeitung machen als die männlichen Probanden ($F(1,90)=4.75$, $p=.031$). Dies zeigt sich tendenziell auch für die Gesamtdauer von Bewegungspausen während der Aufgabenbearbeitung ("Pausenzeit": $F(1,90)=3.55$, $p=.062$).

Die Bewegungsgeschwindigkeit des großen Cursors ist geringer als die des kleinen ($F(1,90)=260.11$, $p<.001$, s. Abb. 4.2.20). Die Komplexität des Weghintergrundes dagegen führt nicht zu einer Veränderung der Geschwindigkeit der Bewegung. Es deuten sich jedoch Geschlechtsunterschiede an: Männer führen den Cursor tendenziell schneller als Frauen ($F(1,90)=3.79$, $p=.054$).

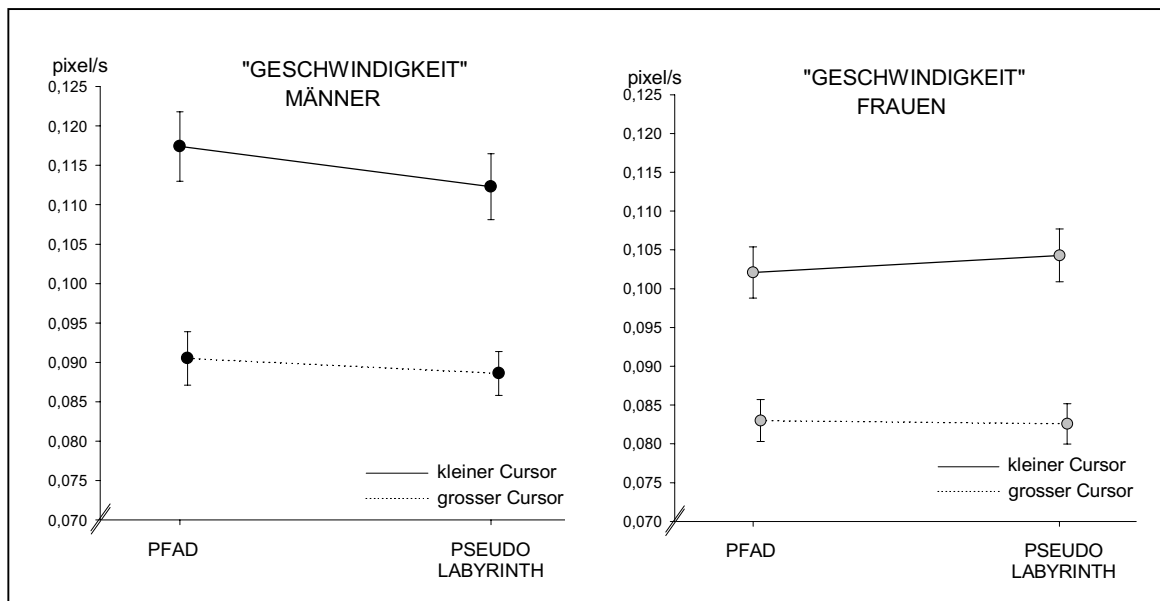


Abb. 4.2.20: Mittelwerte und Standardfehler der Bewegungs-"Geschwindigkeit" für männliche und weibliche Probanden bei der Lösung von "Pfad" und Pseudo-Labyrinth mit kleinem und großen Cursor

4.2.4 Diskussion

Labyrinthaufgaben sind dadurch gekennzeichnet, daß Ergebnisse aus Reizanalyse- und Entscheidungsprozessen in Bewegungen umgesetzt werden müssen. Dabei wird das Wegsystem vermutlich nicht nur während der initialen Phase der Verarbeitung vor Beginn der ersten motorischen Reaktion analysiert. Vielmehr scheinen Reizverarbeitungsprozesse auch nach Initiierung der ersten Bewegung lokal in Bezug auf die Struktur des Labyrinthes stattzufinden. Reizanalyse und Bewegungen laufen dabei nicht nur zeitlich voneinander getrennt, d.h. seriell, in sich wiederholenden Schleifen ab. Zumindest unter bestimmten Bedingungen werden stimulusbezogene kognitive Prozesse auch gleichzeitig mit den Bewegungen durchgeführt. So konnte in Untersuchung 1 der vorliegenden Arbeit gezeigt werden, daß die Einführung von Weggabelungen in ein Wegsystem sowohl zu einer Zunahme von Bewegungspausen wie auch zu einer Reduktion der Bewegungsgeschwindigkeit führte. In der vorliegenden zweiten Untersuchung konnte dieses Ergebnis an derselben Stichprobe gesunder Probanden unter Verwendung eines anderen Labyrinthes bestätigt werden. Auch hier wirkte sich die Existenz von Sackgassen nicht nur auf die Gesamtdauer von Bewegungspausen, die als Maß für die Dauer reiner Stimulusanalyse- und Entscheidungsprozesse gewertet wurde, aus, sondern verlangsamte auch die Geschwindigkeit, mit der der Cursor durch das Labyrinth geführt wurde. Da wie in Untersuchung 1 auch hier das als Vergleichsmaßstab herangezogene Pseudo-Labyrinth denselben korrekten Lösungsweg aufwies, kann der Effekt einer reduzierten Bewegungsgeschwindigkeit

schwindigkeit nicht durch unterschiedliche Schwierigkeiten der notwendigen Bewegungen erklärt werden.

Die Ergebnisse der verschiedenen Subuntersuchungen von Untersuchung 1 legten nahe, daß es v.a. Entscheidungsprozesse sind, die gleichzeitig mit Bewegungen ablaufen können. Erhöhte Anforderungen an Prozesse der Stimulusanalyse dagegen machen sich wahrscheinlich eher in einer Zunahme der Dauer von Bewegungspausen bei gleichbleibender Bewegungsgeschwindigkeit bemerkbar. Diese Schlußfolgerung wird durch die Ergebnisse von Untersuchung 2 weiter gestützt. Durch einen Vergleich des Pseudo-Labyrinthes mit einem Pfad vor einem einfarbigen Hintergrund wurden die Auswirkungen erhöhter Anforderungen an Reizanalyseprozesse, hier v.a. Prozesse der Merkmalsextraktion und -diskrimination, auf das Verhalten untersucht. Waren im Vergleich zum einfachen Pfad beim Pseudo-Labyrinth in höherem Ausmaß Prozesse der Reizanalyse notwendig, führte dies zu einer Zunahme von Bewegungspausen, ohne daß sich die Bewegungsgeschwindigkeit änderte. Dies unterstützt die Hypothese, daß eine Analyse des Stimulus v.a. während Bewegungspausen stattfindet.

Diese Resultate stehen in Einklang mit denen aus klassischen Stimulus-Reaktions-Aufgaben, wie sie von Donders (1868) zur Untersuchung kognitiver Subprozesse vorge schlagen wurden. So konnten z.B. Krieger, Lis & Gallhofer (im Druck a, Krieger 1999) zeigen, daß Stimulusdiskriminationsprozesse wie sie etwa in disjunktiven Reaktionszeitaufgaben gefordert werden (Go-NoGo-Aufgaben, nur Reize einer von zwei Stimulusklassen sollen mit einer motorischen Reaktion beantwortet werden) zu einer Verlängerung der Bewegungslatenz führen. Ist dagegen zusätzlich eine Entscheidung über eine auszuführende Reaktion auf der Basis dieser Stimulusdiskrimination notwendig, beeinflußt dieser zusätzliche kognitive Subprozeß nicht die Bewegungslatenz, sondern die Bewegungsgeschwindigkeit: Die Auswahl einer aus mehreren Reaktionsalternativen wird während der Bewegung durchgeführt.

Um das Zusammenspiel von stimulus- und responsebezogenen kognitiven Prozessen bei der Bearbeitung von Labyrinthaufgaben genauer zu untersuchen, wurden in der vorliegenden Untersuchung nicht nur die Anforderungen an stimulusbezogene sondern auch an responsebezogene Prozesse experimentell manipuliert. Durch eine Vergrößerung des Cursors wurde die Schwierigkeit erhöht, diesen ohne eine Berührung der Wegwände durch das Labyrinth zu lenken. Es wurde erwartet, daß der Zeitbedarf für die Bewegungskontrolle dadurch zunimmt und die Geschwindigkeit der Bewegung sinkt.

Die Variation der Cursorgröße beeinflusste denn auch den Zeitbedarf der Labyrinthbearbeitung. Sollte ein großer Cursor durch das Labyrinth gelenkt werden, benötigten die Probanden insgesamt mehr Zeit. Dieser erhöhte Zeitbedarf ließ sich jedoch nicht nur auf eine

Verlangsamung der Bewegung sondern auch auf eine Zunahme der Gesamtdauer von Bewegungspausen zurückführen. Dabei sank gleichzeitig auch die Präzision der Bewegung: Mit einem großen Cursor berührten die Probanden in einem höheren Ausmaß die Wände des Labyrinthes und machten auch mehr Korrekturbewegungen als mit einem kleinen Cursor.

In besonderem Maße interessierte jedoch in der vorliegenden Untersuchung, ob und wie sich die Auswirkungen erhöhter Anforderungen an stimulusbezogene Prozesse durch eine Variation der Anforderung an responsebezogene Prozesse beeinflussen lassen, d.h. ist der Effekt der Einführung von Entscheidungspunkten oder einer unterschiedlichen Komplexität des zu bearbeitenden Stimulus abhängig von der Schwierigkeit der geforderten motorischen Reaktion? Falls hier Interaktionen beobachtbar sind, könnten sie entsprechend der Idee der Methode der additiven Faktoren von Sternberg (1969) dahingehend gewertet werden, daß stimulusseitige und responsebezogene Verarbeitung auf einen gemeinsamen kognitiven Teilprozeß oder eine gemeinsame Ressource zugreifen. Da davon ausgegangen werden kann, daß die Verarbeitung von für die Probanden unbekanntem Labyrinth im Modus der kontrollierten Verarbeitung (Ivry 1996) erfolgt, kann man annehmen, daß es sich bei dieser Ressource wahrscheinlich um kapazitätsbegrenzte Aufmerksamkeitsprozesse handelt. Dies bedeutet für die vorliegende Untersuchung, daß die Einführung von Entscheidungspunkten in der schwierigen Bewegungsbedingung zu einem besonders deutlichen Absinken der Qualität und einer besonders deutlichen Erhöhung des Zeitbedarfes der Aufgabenlösung führen sollte. In der varianzanalytischen Auswertung sollte sich dies in statistisch bedeutsamen Interaktionen der beiden experimentellen Faktoren zeigen. Laufen dagegen stimulus- und responsebezogene Verarbeitung unabhängig voneinander ab und greifen damit nicht auf gemeinsame Aufmerksamkeitsressourcen zu, sollten sowohl erhöhte Anforderungen an Prozesse der Stimulusverarbeitung wie auch an die Bewegungssteuerung das Verhalten bei der Aufgabenbearbeitung nur additiv beeinflussen. Ihre Auswirkungen in der varianzanalytischen Auswertung sollten nur zu signifikanten Haupteffekten der beiden experimentellen Faktoren führen.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung können die Hypothese des Zugriffs auf eine gemeinsame Ressource nicht belegen. Weder für die Qualität der Labyrinthbearbeitung noch für die Mehrzahl der Maße des Zeitbedarfs bei der Bearbeitung der „echten“ Labyrinth zeigte sich das erwartete überproportionale Absinken der Leistung bei Benutzung des großen Cursors. Für den Gesamtzeitbedarf deutete sich zwar eine Interaktion zwischen Stimulustyp und Bewegungsschwierigkeit an, jedoch erwies sich diese als abhängig vom Geschlecht der Probanden. In der Gruppe der Männer ergab sich - wie erwartet - eine tendenziell stärkere Zunahme der Verarbeitungszeit beim Zusammentreffen von Entscheidungspunkten und schwieriger Bewegung. Die Frauen dagegen zeigten eine deutlichere

Zunahme der benötigten Zeit, wenn das „echte“ Labyrinth mit dem kleinen Cursor bearbeitet werden mußte, d.h. die Bewegungen einfacher waren. Für Pausenzeit und Bewegungsgeschwindigkeit ließen sich für beide Geschlechter nur additive Effekte der beiden unabhängigen experimentellen Variablen zeigen, d.h. statistisch traten Haupteffekte, jedoch keine Interaktionen in der Varianzanalyse auf. Damit erwiesen sich die Auswirkungen der Manipulation eines Faktors als weitgehend unabhängig von der Manipulation des anderen Faktors.

Zusammengefaßt sprechen diese Ergebnisse eher dafür, daß stimulus- und responsebezogene Prozesse in den Labyrinthaufgaben der vorliegenden Untersuchung nicht auf gemeinsame Ressourcen zugreifen. Vielmehr deutet sich an, daß für die beiden Domänen kognitiver Prozesse unterschiedliche Ressourcen, wie sie im Kontext von Doppelbelastungsaufgaben im Modell multipler Ressourcen (Wickens 1984, Allport 1980) diskutiert werden, zur Verfügung stehen. Wickens (1984, 1992) schlägt dabei drei Dimensionen vor, entlang derer Verarbeitung klassifiziert werden kann und für die unabhängige Verarbeitungsressourcen zur Verfügung stehen. Neben der Modalität der zu verarbeitenden Reize (z.B. akustisch vs. visuell) und der Art der zu verarbeitenden Informationen (verbal vs. spatial) werden auch unterschiedlichen Domänen kognitiver Prozesse (eher Wahrnehmungs- vs. eher Responsebezogen) getrennte Ressourcen zugeschrieben. So ließ sich die elektrophysiologische Reaktion des Gehirns beim stillen Zählen von Tönen (Oddball-Paradigma) nicht durch die Schwierigkeit einer simultan durchzuführenden Tracking-Aufgabe beeinflussen (Israel et al. 1980a,b, vgl. auch Pashler 1991). Auch die Ergebnisse von Doppelbelastungsaufgaben, die simultan die Erkennung (stimulusbezogen) und Produktion (responsebezogen) von Sprache erforderten, unterstützen die Hypothese der Existenz unterschiedlicher Ressourcen (Shallice, McLead & Lewis 1985).

Labyrinthaufgaben lassen sich unter der Instruktion, das Berühren von Wänden beim Navigieren des Cursors durch das Wegsystem zu vermeiden, auch als Doppelbelastungsaufgaben verstehen: Die geforderte präzise Bewegung stellt - zusätzlich zu der Aufgabe ein Labyrinth fehlerfrei und zügig zu bearbeiten - eine zweite zu bewältigende Aufgabe dar. Stehen - wie in der Theorie der multiplen Ressourcen (Wickens 1992) postuliert - für stimulus- und responsebezogene Verarbeitungsprozesse unabhängige Verarbeitungsressourcen zur Verfügung, würden erhöhte Anforderungen an diese beiden Bereiche unabhängig voneinander das Verhalten beeinflussen.

Jedoch scheint diese Interpretation der Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung unbefriedigend. Sowohl hier, wie schon in Untersuchung 1, wirkte sich die Einführung von Entscheidungspunkten auch auf die Bewegungsgeschwindigkeit aus, d.h. responsebezogene Prozesse ließen sich durch erhöhte Anforderungen an stimulusbezogene Prozesse beeinflussen. Dies kann möglicherweise durch die Annahme von parallel ablaufenden Entschei-

dungs- und Bewegungssteuerungs-Prozessen erklärt werden. Jedoch führte darüber hinaus in beiden Vergleichen von Untersuchung 2 (Pfad vs. Pseudo-Labyrinth, Pseudo-Labyrinth vs. Labyrinth) eine Erhöhung der Bewegungsschwierigkeit auch zu einer Verlängerung der Pausendauer, d.h. der Zeit die vermutlich allein für die Stimulusverarbeitung eingesetzt wird. Dies deutet darauf hin, daß der Ablauf stimulus- und responseseitiger kognitiver Prozesse nicht völlig unabhängig voneinander sein kann.

Eine Erklärung für das Phänomen einer Beeinflussung der Pausendauer durch die Bewegungsschwierigkeit könnte darin liegen, daß die Probanden versuchen, ihre Verarbeitung optimal an die wahrgenommenen Gegebenheiten der aktuellen Aufgabe anzupassen. So ist aus Arbeiten mit Doppelbelastungsaufgaben bekannt, daß sich die Leistung in den beiden Aufgaben eines Doppelbelastungsparadigmas abhängig von der Priorität, die einer der Aufgaben zugewiesen wird, verändert (Wickens & Gopher 1977). So verbessert sich die Leistung in Aufgabe A auf Kosten derer in Aufgabe B, wenn Aufgabe A eine höhere Priorität gegeben wird. Dies impliziert, daß Probanden in der Lage sind, ihre Ressourcen flexibel zwischen den konkurrierenden Aufgaben aufzuteilen (Gopher & Navon 1980, s. auch Wickens 1992). Für die vorliegende Untersuchung läßt sich annehmen, daß die Probanden, wenn sie wissen, daß die Cursorsteuerung schwierig ist, während der Bewegungspausen eine besonders umfassende Reizanalyse vornehmen, um während der Bewegung alle notwendigen Informationen verfügbar zu haben. Alternativ ist denkbar, daß bereits während der Bewegungspausen eine umfassendere Vorbereitung der Bewegung erfolgt. Dies bedeutet, daß die Probanden abhängig von den aktuellen Anforderungen der Aufgabe ihre Strategie der Labyrinthbearbeitung anpassen. Diese Anpassung führt dazu, daß allen notwendigen Subprozessen in hinreichendem Ausmaß Ressourcen zugewiesen werden, ohne daß während des Ablaufes der einzelnen Subfunktionen eine Konkurrenz erkennbar wird. Übersteigen jedoch die gemeinsamen Anforderungen unterschiedlicher kognitiver Prozesse die Kapazität der zur Verfügung stehenden Ressourcen, ist eine gegenseitige Beeinflussung zu erwarten. Hieraus ergibt sich eine weitere Erklärungsmöglichkeit für das Fehlen von Interaktionen in der vorliegenden Studie. Sind die durch die experimentellen Manipulationen gestellten Anforderungen so gering, daß die Kapazität einer gemeinsamen Ressource für den simultanen Ablauf aller Prozesse ausreicht, kann vermutlich das Auftreten von Interferenzen noch vermieden werden. Dies scheint v.a. in Hinblick auf Arbeiten mit klinischen Stichproben relevant, die das hier verwendete Labyrinthparadigma einsetzen (Krieger, Lis & Gallhofer 1998, im Druck b, Gallhofer 1999). So ließ sich bei chronisch erkrankten, schizophrenen Personen eine wechselseitige Beeinflussung von stimulus- und responsebezogenen Anforderungen beobachten. War die Lösung „echter“ Labyrinth mit einer schwierigen Bewegung verlangt, ließ sich sowohl ein überproportionales Absinken der Präzision der Bewegung und der Qualität der Labyrinthbearbeitung, wie auch eine überpropor-

tionale Zunahme des Zeitbedarfes beobachten. Möglicherweise läßt sich dieses Ergebnis durch eine bei den schizophrenen Patienten eingeschränkte Verfügbarkeit von Aufmerksamkeitsressourcen erklären (Green 1998, Gourovitch & Goldberg 1996, Goldberg & Gold 1995). Im Gegensatz zu gesunden Personen könnte so, bei gleichzeitigem Auftreten hoher Anforderungen an Reizverarbeitung und Bewegungssteuerung, die Leistungsfähigkeit von aufmerksamkeitsabhängigen Kontrollprozessen überschritten werden. So wird erkennbar, daß die beiden kognitiven Bereiche vermutlich doch auf gemeinsame Ressourcen zugreifen.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die Ergebnisse von Untersuchung 2 die von Untersuchung 1A mit Hilfe einer unterschiedlichen Labyrinthstruktur weitgehend bestätigen. Durch die Einführung einer zusätzlichen Reizvorlage, dem "Pfad", konnten die Aussagen bezüglich des Zusammenhangs zwischen verschiedenen Subprozessen stimulusbezogener Verarbeitung einerseits und responsebezogener Verarbeitung andererseits gestützt werden.

Unterschiede zwischen den Ergebnissen von Untersuchung 1 und 2 werden für die Präzision der Bewegung im Ausmaß von Wandberührungen und für den Zeitbedarf der Bearbeitung in der Dauer der Startzeit erkennbar.

Während die Einführung von Entscheidungspunkten in Untersuchung 1 lediglich zu einer Zunahme von Korrekturbewegungen ("wavy lines") führte, stieg in Untersuchung 2 auch das Ausmaß von Wandberührungen, wenn ein „echtes“ Labyrinth bearbeitet wurde. Durch die dritte in Untersuchung 2 verwendete Reizvorlage, den Pfad, konnte dabei gezeigt werden, daß auch eine Zunahme der Komplexität des Stimulus – hier der labyrinthartige Hintergrund des Pseudo-Labyrinthes – zu einer Reduktion der Bewegungspräzision führte.

Ein Unterschied zwischen den beiden Untersuchungen, der für die Beeinflußbarkeit der Wandberührungen durch die Variation der Reizvorlage in Untersuchung 2 verantwortlich gemacht werden könnte, ist die unterschiedliche Labyrinthvorlage. Falls der zu durchführende Lösungsweg oder aber die Sackgassen hier höhere Anforderungen an response- oder stimulusbezogene Verarbeitung stellen, könnte dies dazu führen, daß für die Steuerung der Bewegung nicht mehr hinreichend Kapazität zur Verfügung steht und so Wandberührungen nicht mehr durch rechtzeitige Korrekturbewegungen vermieden werden können.

Andererseits könnten sich hier auch die unterschiedlichen Schwierigkeitsgrade in der Cursorführung auswirken. So könnte die mit dem großen Cursor generell reduzierte Bewegungspräzision die Auswirkungen der Stimuluskomplexität auf das Ausmaß der Wandberührungen deutlicher machen als in Untersuchung 1. Jedoch zeigte sich tendenziell, daß die Zunahme von Wandberührungen bei Einführung von Entscheidungspunkten in der leichten Bewegungsschwierigkeit besonders deutlich war. Der Effekt läßt sich damit nicht

allein auf die schwierige Bewegungsbedingung zurückführen. Darüber hinaus konnten Transfereffekte zwischen den beiden Bewegungsbedingungen durch eine a posteriori Analyse der Daten mit Berücksichtigung der Reihenfolge der beiden Bewegungsschwierigkeiten ausgeschlossen werden. Auch dann, wenn die Probanden die Reize zuerst mit dem kleinen Cursor bearbeiteten, ließ sich eine Zunahme des Ausmaßes von Wandberührungen beobachten, wenn Entscheidungspunkte eingeführt wurden. Dieser in Untersuchung 1 nicht zu beobachtende Effekt kann damit nicht durch Vorerfahrungen mit dem großen Cursor erklärt werden.

Eine simple Erklärung ist möglicherweise eine zunehmende Übung im Umgang mit dem Stift des Graphik-Tabletts. So bearbeiteten die Probanden die Labyrinth von Untersuchung 2 zeitlich vor denen von Untersuchung 1. Obwohl das Graphik-Tablett gewählt wurde, um möglichst natürliche und damit übungsunabhängige Bewegungen bei der Labyrinthbearbeitung anzusprechen, zeigten Verhaltensbeobachtungen zunächst häufig eine Unsicherheit der Probanden bei der Benutzung des Stiftes auf dem Tablett. Um die Relevanz von Übung im Umgang mit dem Stift – und möglicherweise auch mit den Labyrinthaufgaben - zu klären, scheinen Untersuchungen zu den Auswirkungen motorischer Übung in Abhängigkeit von unterschiedlichen Anforderungen durch die Reizvorlagen ein weiterer, notwendiger Schritt.

Ein weiteres unterschiedliches Ergebnis im Vergleich zu Untersuchung 1A liegt in den Auswirkungen der Einführung von Sackgassen auf die Dauer der initialen Analysephase. Im Gegensatz zu Untersuchung 1A ließ sich in der vorliegenden Untersuchung eine Verlängerung der Dauer der Startzeit beobachten, wenn Sackgassen in das Wegsystem eingeführt wurden. Dieser Effekt läßt sich vermutlich auf Merkmale der ersten im Labyrinth auftretenden Weggabelung zurückführen. Auf der Basis der Ergebnisse von Untersuchung 1 ist wahrscheinlich, daß die Nähe zwischen Startposition und erster Sackgasse zusammen mit deren Länge und Form (mehrere Richtungswechsel) einen Anstieg der Startzeit bewirkt. Darüber hinaus führt diese Sackgasse in Richtung auf die Zielregion, was sich in früheren Labyrinthaufgaben als relevanter Faktor für die Schwierigkeit einer Sackgasse erwiesen hat (vgl. Woodworth & Schlosberg 1954). Jedoch ist erstaunlich, daß trotz längerer Startzeiten die häufigsten Fehler an dieser ersten Weggabelung auftreten. Eine Inspektion der Rohwerte liefert keinen Hinweis auf Zusammenhänge zwischen dem Auftreten von Fehlern an dieser Stelle und der Dauer der initialen Analyse, d.h. darauf, daß etwa Personen mit besonders kurzer Startzeit häufiger die erste Sackgasse betreten. Der Vergleich von "Pfad" und Pseudo-Labyrinth ergab darüber hinaus, daß auch die Einführung eines komplexeren Weghintergrundes zu verlängerten Startzeiten führt. Dabei ist erwähnenswert, daß bei diesen einfacheren Stimuli ein Einfluß der Bewegungsschwierigkeit auf die Startzeit beobachtbar wird. Dies kann als Hinweis darauf gewertet werden, daß dieses Verhaltens-

maß nicht allein die Dauer von Stimulusanalyse- und Planungsprozessen abbildet, sondern vermutlich entweder auch durch die Dauer von Prozessen der Vorbereitung und Initiierung der Bewegung beeinflusst wird oder aber bei Kenntnis der Bewegungsschwierigkeit (Cursorgröße) besonders gründliche Reizinspektions- und Planungsprozesse durchgeführt werden. Die Auswirkungen dieser Prozesse auf die Startzeit werden bei der Bearbeitung "echter" Labyrinth mit ihrer Notwendigkeit einer aufwendigeren Stimulusanalyse wahrscheinlich verdeckt.

Prinzipiell läßt sich gegen das in der vorliegenden Untersuchung verwendete Design einwenden, daß die Wechselwirkungen zwischen Reizkomplexität und Einführung von Entscheidungssituationen nicht untersuchbar sind. Entscheidungsprozesse sind in der verwendeten Versuchsanordnung immer nur im Kontext einer hohen Reizkomplexität notwendig. Verzweigte Wegsysteme vor uniformen Hintergrund wurden nicht dargeboten. Es ist jedoch denkbar, daß die Leistung in Labyrinthaufgaben nicht zuletzt durch das Zusammenspiel von Entscheidungsprozessen und hohen Anforderungen an Prozesse der Stimulusanalyse bestimmt wird. Wünschenswert wäre deshalb eine getrennte Variation von Stimuluskomplexität und Existenz von Entscheidungspunkten beispielsweise in einem 2x2-Design. Da in den in der vorliegenden Untersuchung verwendeten Labyrinthvorlagen die Wegalternativen jedoch gleichzeitig den komplexen Weghintergrund bilden, ist dafür eine Änderung der Labyrinthvorlagen notwendig. Es werden Stimuli benötigt, bei denen der labyrinthartige Hintergrund nicht allein durch die Sackgassen gebildet wird, so daß die Komplexität des Hintergrundes und das Auftreten von Sackgassen unabhängig voneinander variiert werden können. Unter Verwendung des Modells der additiven Faktoren (Sternberg 1969) wäre damit eine weitere Abklärung des Zusammenspiels zwischen Reizanalyse- und Entscheidungsprozessen möglich.

Darüber hinaus scheint auch eine Untersuchung von weiteren Aspekten responsebezogener Verarbeitung für ein Verständnis des Verhaltens bei der Lösung von Labyrinthaufgaben wünschenswert. So stellt sich die Frage, ob es bestimmte Subprozesse der Bewegungskontrolle sind, wie beispielsweise Planung, Selektion oder Kontrolle motorischer Abläufe, die durch eine Variation von stimulusbezogenen Anforderungen beeinflusst werden. Alternativ zur Manipulation der Bewegungsschwierigkeit durch die Cursorgröße ist hier an die Verwendung von Instruktionen zu denken, die eine unterschiedliche Präzision der Bewegung verlangen (z.B. Wandberührungen sind erlaubt bzw. zu vermeiden). Über die Auswahl geeigneter Verstärker (z.B. Bestrafung von Wandberührungen in Form eines Abzugs von Punkten bei der Labyrinthbearbeitung) könnte die Anpassung der Strategie der Labyrinthbearbeitung an die aktuellen Aufgabenanforderungen und damit die Aufteilung von Ressourcen auf die verschiedenen Subprozesse der Verarbeitung beeinflusst werden. Dar-

über hinaus ist auch an Manipulationen zu denken, die die Umsetzung von Bewegungen des Stiftes auf dem Graphik-Tablett in Bewegungen des Cursors auf dem Bildschirm variieren (Richer, Chouinard & Rouleau 1999, s. auch Jong et al. 1999). Werden beispielsweise Bewegungen des Stiftes in horizontaler und/oder vertikaler Richtung gespiegelt in Bewegungen des Cursors umgesetzt oder wird die Relation von Cursor- und Stiftgeschwindigkeit verändert, sollte so die Verteilung von Aufmerksamkeitsressourcen zwischen den einzelnen Aspekten der Labyrinthaufgabe beeinflussbar sein.

In der vorliegenden Untersuchung wurde das Geschlecht der Probanden als Gruppierungsfaktor verwendet. Es interessierte, inwieweit Unterschiede zwischen den Geschlechtern in Abhängigkeit von der Schwierigkeit der Bewegung und deren Auswirkungen auf den Ablauf stimulusbezogener Prozesse erkennbar werden.

Bei den weiblichen Probanden ließ sich bei vergleichbarer Bewegungsgeschwindigkeit ein erhöhter Zeitbedarf in der Dauer der initialen Verarbeitungsphase und in der mit Stimulusanalyseprozessen in Verbindung stehenden Dauer von Bewegungspausen beobachten. Frauen benötigten hier unabhängig von der Schwierigkeit der geforderten Bewegung, der Komplexität des zu bearbeitenden Stimulus und der Existenz von Entscheidungspunkten durchgängig mehr Zeit als Männer. Dabei führte dies weder zu einer höheren Präzision der Bewegung noch zu einer höheren Qualität der Labyrinthlösung, sondern es ließ sich im Gegenteil bei mehr Frauen das Auftreten von falschen Entscheidungen an Sackgassen beobachten als bei Männern, wenn die Bewegungsschwierigkeit niedrig war. Dieser Unterschied trat in der schwierigeren Bewegungsbedingung nicht auf. Erfasst man die Qualität der Labyrinthlösung durch die Länge des zurückgelegten Weges läßt sich dieser Befund nicht absichern, obwohl sich eine schlechtere Qualität der Labyrinthbearbeitung in der Gruppe der Frauen auch hier andeutet. Im Gesamtzeitbedarf der Aufgabenlösung schlägt sich dies ebenfalls als Tendenz nieder: In der leichten Bewegungsschwierigkeit zeigen die Frauen einen deutlicheren Anstieg des Zeitverbrauches bei Einführung von Entscheidungspunkten als bei der schwierigeren Bewegung. Da sich ein derartiger Effekt weder für die Pausenzeit noch für die Bewegungsgeschwindigkeit nachweisen läßt, ist dies jedoch vermutlich v.a. auf die gehäuften Fehler der Frauen in dieser Bedingung zurückzuführen.

In den hier verwendeten Labyrinthaufgaben ist das Labyrinth vollständig sichtbar. Damit ist an einer Weggabelung die falsche Wegalternativen im Prinzip identifizierbar. Daß die Frauen trotz ihrer verlängerten Startzeiten öfter als Männer eine Sackgasse betreten, und diese Fehler in hohem Prozentsatz an der ersten, dicht an der Startposition liegenden Weggabelung machen, ist überraschend.

Eine Erklärung für das Verhalten der weiblichen Probanden, das hinsichtlich der proportionalen Leistungsverbesserung unter der schwierigeren Bewegungsbedingung an das neu-

neuroleptika-naiver ersterkrankter schizophrener Patienten in einer früheren Untersuchung (Krieger 1999, Krieger, Lis & Gallhofer im Druck b) erinnert, mag darin liegen, daß eine wesentlich größere Anzahl von Frauen nach der Untersuchung äußerte, daß sie zu Beginn die Untersuchungssituation als „stressig“ erlebt hätten, sich aber während des Ablaufes der Untersuchung dieser Eindruck gemindert habe. Männer dagegen gaben an, daß sie eher neugierig an die Prozedur herangegangen seien. Der erwartungsbezogene Streß der Frauen wird durch die verwendeten Selbstbeurteilungsinstrumente wahrscheinlich nicht erfaßt, jedoch ist denkbar, daß durch ihn verursachte Überlegungen eine ablenkende Wirkung haben. In der schwierigeren Bewegungsbedingung ist es notwendig, stärker auf die Aufgabe zu fokussieren. Dadurch könnte die Wirkung ablenkender Kognitionen gemindert werden. Ein ähnliches Phänomen könnte auch beim Arbeiten mit dem kleinen Cursor auftreten, wenn die Bewegung einmal begonnen wurde, und sich die Probanden mitten in der Lösung befinden. Dies könnte auch erklären, warum die Fehler vornehmlich am Anfang der Labyrinthbearbeitung auftreten. Falls diese Erklärung richtig ist, könnte sie auch für das Verhalten der neuroleptika-naiven schizophrenen Patienten in ihrer ersten Exazerbation zutreffen. Möglicherweise ist nicht deren Fähigkeit, Labyrinth mit einem kleinen Cursor zu lösen, vermindert, sondern sie werden lediglich durch Überlegungen bezüglich der vermeintlichen Bedeutung der Untersuchung abgelenkt. Um dies zu überprüfen, sollte das in der vorliegenden Untersuchung vorgestellte Experiment unter Einführung eines weiteren Faktors, der Lösung der Labyrinth mit und ohne sozialen Streß, an gesunden Probanden wiederholt werden. Es ist anzunehmen, daß unter der Bedingung sozialen Stressses, der beispielsweise durch eine Kamerabeobachtung während der Aufgabenlösung realisiert werden kann, ähnliche Ergebnisse wie bei den Patienten und den weiblichen Probanden der vorliegenden Untersuchung auftreten.

4.3 *Untersuchung 3: Rückmeldung von Bewegungsspur und Wandberührungsfehlern in Labyrinthaufgaben und ihre Interaktion*

4.3.1 **Einleitung**

Für die erfolgreiche Lösung von Labyrinthaufgaben ist vermutlich ein permanenter Abgleich zwischen der aktuellen Position im Labyrinth und der Lage der Zielregion vor dem Hintergrund der Kenntnis bereits durchfahrener Wege und noch nicht betretener Bereiche des Labyrinthes notwendig. So sind beispielsweise beim Explorieren von Sackgassen, sowohl mit Augen- wie mit Cursorbewegungen, mentale Repräsentationen der Lage des Verzweigungspunktes im Labyrinth in Relation zu der Richtung, aus der die Weggabelung erreicht wurde, wie auch in Relation zu noch nicht durchfahrenen Wegalternativen essentiell, um eine Orientierung im Labyrinth zu erhalten. Über diese ego- und/oder allozentrisch codierten Landkarten (vgl. 2.3.2) hinaus werden wahrscheinlich auch Handlungspläne mit Zwischenschritten verfügbar gehalten, die während der Steuerung von Bewegung notwendige Parameter (Neumann 1989) spezifizieren. Es ergibt sich daher die Notwendigkeit eines Speichersystems, dessen Inhalte während der Labyrinthverarbeitung kontinuierlich beim Erreichen neuer Positionen im Labyrinth aktualisiert werden und für die weitere Verarbeitung zur Verfügung stehen. Die Charakteristiken dieses Speichersystem entsprechen denen, die von Baddeley & Hitch (1974) im Modell des Arbeitsgedächtnis formuliert wurden („working memory“, Baddeley 1986, 1993, s. auch Krieger 1999).

Baddeley (1986, 1993) unterscheidet im Modell des Arbeitsgedächtnisses zwei Hilfsysteme, die für die Speicherung von Informationen zuständig sind. Während der "phonological loop" (artikulatorische Schleife) für sprachbasierte Informationen zuständig ist, ist das "visuo-spatial sketchpad" (räumlich-visueller Notizblock) auf visuospatiale Informationen (s. auch „visual imagery“-Modelle bei Kosslyn 1988, Farah 1988) spezialisiert. Die beiden Subsysteme werden durch ein Aufmerksamkeit beanspruchendes Kontrollsystem, das "central executive system" (zentrale Exekutive), koordiniert.

Die beiden Hilfssysteme halten Informationen für die weitere Verarbeitung zur Verfügung. Die Menge von Informationen, die gespeichert werden kann, scheint dabei weniger durch eine bestimmte Anzahl von Elementen - wie in der Theorie des Kurzzeitgedächtnisses postuliert (Miller 1956, 7+/- 2 Elemente) - begrenzt, sondern vor allem durch den Zeittakt, in der sie durch Gebrauch oder Wiederholen („rehearsal“) aktiviert werden. So zeigte sich für die Kapazität der artikulatorischen Schleife eine Reduktion der Anzahl von erinnerbaren Worten, wenn die Wortlänge und damit die für ein Rehearsal benötigte Zeit anstieg (Baddeley, Thompson & Buchanan 1975).

Für die Speicherung von visuellen Informationen im visuospatialen Sketchpad wird vermutet, daß abhängig vom Typ der Informationen zumindest zwei unterschiedliche Speicher zur Verfügung stehen. Entsprechend der funktionellen Spezialisierung des visuellen Systems in ein "what" und "where" System (Ungerleider & Mishkin 1982, vgl. 2.3.3) wird auch bezüglich des visuospatialen Sketchpads von einer Spezialisierung für die Speicherung dieser beiden Arten visueller Informationen - der Form und Farbe von Objekten einerseits und ihrer Position im Raum andererseits - ausgegangen (vgl. Tresch, Sinnamon & Seamon 1993, Ruchkin et al. 1997, Goldman-Rakic 1988, Logie 1986, Logie, Zucco & Baddeley 1990).

Der zentralen Exekutive wurde in der Literatur eine Vielzahl unterschiedlicher Funktionen zugeschrieben (Baddeley 1996). Sie ist für die Integration von Informationen und die Kontrolle von Aktionen zuständig und verfügt dabei wahrscheinlich über einen zusätzlichen, eigenen Speicher (Baddeley 1986, 1993, Anderson 1995). Dabei übernimmt sie auch die Kontrolle und Koordinierung unterschiedlicher Aspekte der Verarbeitung und der Auswahl von Verarbeitungsstrategien. Sie teilt Aufmerksamkeitsressourcen den verschiedenen gleichzeitig ablaufenden Prozessen zu. Durch die zentrale Exekutive wird die Aktualisierung der in den Hilfssystemen gespeicherten Informationen abhängig von Änderungen in der Umwelt gesteuert. Sie vermittelt den Transfer von Informationen zwischen den Hilfssystemen und regelt gegebenenfalls deren Transformation in den spezifischen Code des jeweiligen Hilfssystems. Darüber hinaus ist sie auch in die Aktivierung und Integration von Informationen aus dem Langzeitgedächtnis involviert. Die zentrale Exekutive soll dabei als bewußtes Kontrollsystem selber abhängig von der Verfügbarkeit von Aufmerksamkeitsressourcen sein (s. auch in diesem Zusammenhang das "supervisory attentional system" von Norman & Shallice 1986, Baddely 1986).

Bei der Bearbeitung von für den Probanden unbekanntem Labyrinth ist das Arbeitsgedächtnis, und hier v.a. die zentrale Exekutive, vermutlich in die Auswahl und Koordination der einzelnen benötigten kognitiven Subprozesse involviert. In den Hilfssystemen, vermutlich vorwiegend im visuospatialen Sketchpad, werden dazu Informationen über die aktuelle Position des Cursors, den gegangenen Weg und die Lage der Zielregion verfügbar gehalten. Dabei sind diese Informationen wahrscheinlich in Relation zu der räumlichen Struktur des Gesamtlabyrinthes gespeichert (Krieger 1999).

Diese Funktionen des Arbeitsgedächtnisses werden vermutlich durch die begrenzte Speicherkapazität der einzelnen Hilfssysteme einerseits und durch die Menge zur Verfügung stehender Aufmerksamkeitsressourcen andererseits limitiert.

Da davon ausgegangen wird, daß die Kenntnis von bereits zurück gelegten Wegen für die weitere Verhaltenssteuerung im Labyrinth von wesentlicher Bedeutung ist, sollte die Beanspruchung des Arbeitsgedächtnisses wesentlich gemindert werden können, wenn der bereits gegangene Weg im Labyrinth bei der Bearbeitung als Spur sichtbar gemacht wird.

In der Literatur finden sich in den verschiedenen Labyrinthuntersuchungen abhängig vom eingesetzten Labyrinth-Test unterschiedliche Vorgehensweisen hinsichtlich einer Rückmeldung der Bewegungsspur. So wird der Labyrinth-Test von Porteus (1965) ebenso wie z.B. die Labyrinthaufgaben des NAI (Oswald & Fleischmann 1995) mit einem Bleistift gelöst, der eine Spur des bereits gegangenen Weges beim Durchfahren des Labyrinthes hinterläßt. Im Gegensatz dazu wird bei der Lösung der an Porteus angelegten Labyrinthaufgaben des Kramer-Test (Kramer 1971) das Labyrinth mit einem Holzstäbchen durchfahren, so daß keine Bewegungsspur markiert wird.

Ein Ziel der vorliegenden Untersuchung ist zu analysieren, wie sich die Rückmeldung der Bewegungsspur auf die verschiedenen Aspekte des Verhaltens bei der Labyrinthlösung auswirkt. Es wird vermutet, daß durch eine Rückmeldung der Bewegungsspur die Anforderungen an Speicherprozesse im Arbeitsgedächtnis reduziert werden können. Dies sollte zu einer höheren Qualität und einem niedrigeren Zeitbedarf der Labyrinthlösung führen.

Es ist anzunehmen, daß sich eine Entlastung des Arbeitsgedächtnisses besonders dann in Leistungsverbesserungen auswirkt, wenn einzelne Aspekte der Labyrinthaufgabe in einem besonders hohen Ausmaß Aufmerksamkeit beanspruchen. So wird durch die Instruktion, Wandberührungen zu vermeiden, Aufmerksamkeit auf die Bewegung gelenkt. Dies sollte das Ausmaß verfügbarer Aufmerksamkeit für Arbeitsgedächtnisprozesse beeinflussen. Vermutlich wird dadurch u.a. das Rehearsal der im visuospatialen Sketchpad verfügbar gehaltenen Informationen gestört.

Die Forderung, das Labyrinth mit präzisen Bewegung zu lösen, wird vermutlich akzentuiert, wenn eine Regelverletzung, d.h. das Berühren der Wände mit dem Cursor, rückgemeldet wird. So sollte ein akustisches Signal bei einem Kontakt zwischen Cursor und Labyrinthwand, vermehrt Aufmerksamkeit auf die Steuerung der Bewegung ziehen. Aufgrund von Verhaltensbeobachtungen in Vorstudien ist wahrscheinlich, daß ohne diese Rückmeldung zahlreiche Probanden das kurzzeitige Berühren der Wände aufgrund der Fokussierung der Aufmerksamkeit auf die eigentliche Labyrinthlösung entweder nicht bemerken oder ignorieren.

In der vorliegenden Untersuchung interessiert deshalb, wie sich - unter der Instruktion Wandberührungen zu vermeiden - ein Feedback von unpräzisen Bewegungen (Wand-

kontakte des Cursors) auf das Verhalten bei der Labyrinthbearbeitung auswirkt. Es wird vermutet, daß eine Rückmeldung zu einer Betonung der Instruktion führt und dabei Aufmerksamkeit in höherem Maße auf die Bewegungssteuerung gelenkt wird. Dies sollte im Verhalten zu weniger Wandberührungen und einer vermutlich langsameren, weil präziseren, Bewegung führen. Gleichzeitig sollte damit jedoch auch Aufmerksamkeit von der eigentlichen Labyrinthlösung abgezogen werden. Es wird erwartet, daß sich deshalb gleichzeitig die Qualität der Aufgabenlösung verringert und der Zeitbedarf für Bewegungspausen erhöht.

Greifen Arbeitsgedächtnis und Bewegungssteuerung auf gemeinsame Aufmerksamkeitsressourcen zu, sollte die Rückmeldung von unpräzisen Bewegungen die Labyrinthbearbeitung in besonderer Weise stören, wenn höhere Anforderungen an das Arbeitsgedächtnis gestellt werden. Dies ist vermutlich dann der Fall, wenn die bereits im Labyrinth bearbeiteten Wege nicht durch eine Bewegungsspur kenntlich gemacht sind. Der Effekt der Rückmeldung von Wandberührungen sollte dagegen gemindert werden, wenn das Arbeitsgedächtnis durch eine Visualisierung der Bewegungsspur entlastet wird.

Verschiedene Untersuchungen deuten darauf hin, daß sich Männer und Frauen in der Leistungsfähigkeit des visuospatialen Arbeitsgedächtnisses unterscheiden (Vecchi & Giirelli 1998). So konnten beispielsweise Loring-Meier & Halpren (1999) in verschiedenen visuospatialen Arbeitsgedächtnis-Aufgaben (z.B. "mental rotation", "image generation tasks") bei vergleichbarer Güte der Lösung einen geringeren Zeitbedarf der männlichen Probanden nachweisen.

Die widersprüchlichen Ergebnisse zu Leistungsunterschieden zwischen den Geschlechtern in Labyrinthaufgaben (vgl. 2.4.2.2) können sich möglicherweise durch unterschiedliche Anforderungen an das Arbeitsgedächtnis in den verschiedenartigen Realisierungen dieses Aufgabentyps erklären lassen. Um dieser Hypothese nachzugehen, wird in der vorliegenden Untersuchung das Geschlecht der Probanden als Gruppierungsfaktor verwendet. Dabei interessiert, ob Unterschiede zwischen den Geschlechtern in Abhängigkeit von der Belastung des Arbeitsgedächtnisses und der Variation des Aufmerksamkeitsbedarfes der Bewegungssteuerung beobachtbar werden.

4.3.2 Methode

4.3.2.1 Stichprobe

An der Untersuchung nahmen 36 weibliche und 36 männliche Probanden teil. Alle Personen waren Rechtshänder (Händigkeitsfragebogen von Annett 1967). Bei keinem der Probanden ergaben sich Hinweise auf das Vorliegen einer psychiatrischen, neurologischen oder organischen Erkrankung oder auf einen Alkohol- oder Drogenmißbrauch. Die Probanden nahmen zum Zeitpunkt der Untersuchung keine psychopharmakologisch wirksamen Substanzen. Vor Teilnahme an der Untersuchung wurden die Probanden über Ziele und Ablauf der Untersuchung aufgeklärt und darüber informiert, daß sie die Untersuchung zu jedem Zeitpunkt abbrechen können. Für die Teilnahme an der Untersuchung erhielten sie eine Aufwandsentschädigung von DM 15.--. Die Probanden wurden über Aushänge für die Teilnahme an der Untersuchung angeworben.

Die beiden Stichproben von je 36 Männern und Frauen wurden jeweils per Zufall in 2 Substichproben von je 18 Personen aufgeteilt. Die Zufallszuweisung wurde realisiert, indem bei der Rekrutierung die erste Person eines Geschlechts zufällig einer der beiden Substichproben zugewiesen wurde. Die zweite Person dieses Geschlechts wurde dann der zweiten Substichprobe zugeordnet. Dieses Prozedere wurde für die weiteren Probandenpaare eines Geschlechtes wiederholt. Die beiden Substichproben wurden den beiden Bedingungen der unabhängigen Variable "Spur-Rückmeldung" ("ja" vs. "nein", s. 4.3.2.3) zugewiesen.

Da sich die Ängstlichkeit von Probanden v.a. in Hinblick auf Unterschiede zwischen den Geschlechtern in verschiedenen Arbeiten mit Labyrinthaufgaben als wichtige Variable erwiesen hat (vgl. 2.4.2.4), wurde die situative Angst mit Hilfe der "State"-Version des "State-Trait-Angst-Inventar" (STAI, Spielberger, Gorsuch & Lushene 1970, deutsche Übersetzung nach Laux et al. 1981) erfaßt. Auf einer 4-stufigen Skala wird dabei in 20-Items die Zustandsangst, d.h. die Angstintensität in einer bestimmten Situation, hier vor Beginn der Labyrinthuntersuchung gemessen.

Die Charakteristika der vier Stichproben sind in Tab. 4.3.1 zusammengefaßt. Die vier Stichproben unterscheiden sich weder in bezug auf ihr Alter noch auf ihre Ängstlichkeit in der Untersuchungssituation.

Tab. 4.3.1: Stichproben-Charakteristika. Mittelwerte (\bar{m}) und Standardabweichungen (\pm) mit den Ergebnissen einer 2x2-Varianzanalyse mit den unabhängigen Faktoren Geschlecht (Sex) und Spur-Rückmeldung (Spur)

	Männer		Frauen						Sex	Spur	Sex x Spur	
	Spur: Ja	Spur: Nein	Spur: Ja	Spur: Nein	am	\pm	am	\pm				
N	18	18	18	18								
Schulbildung												
Hauptschule	1	1	1	1								
Realschule	4	6	5	6								
Gymnasium	13	11	12	11								
	am	\pm	am	\pm	am	\pm	am	\pm				
Alter	26,1	3,9	25,2	5,7	26,4	6,3	25,7	5,2	F	0,12	0,35	0,01
									p	ns	ns	ns
STAI	38,0	5,6	36,7	7,9	34,9	3,7	36,3	5,8	F	1,45	0,01	0,87
									p	ns	ns	ns

4.3.2.2 Allgemeiner Versuchsablauf und Meßapparatur

Der allgemeine Versuchsablauf und die Meßapparatur entsprechen dem von Untersuchung 1 der vorliegenden Arbeit (für eine detaillierte Beschreibung s. 4.1.2.2). Die Probanden hatten vor der Lösung der Aufgaben von Untersuchung 3 Gelegenheit, sich mit der Art der hier verwendeten Labyrinthaufgaben und der Benutzung des Graphik-Tabletts vertraut zu machen.

4.3.2.3 Stimulusmaterial, unabhängige Variablen und Versuchsplan

In der vorliegenden Untersuchung hatten die Probanden die Aufgabe, ein Labyrinth mit einem Cursor von einer Start- zu einer Zielregion zu durchfahren. Die Probanden waren dabei instruiert, die Aufgabe auf dem kürzesten Weg ohne das Betreten von Sackgassen zügig zu lösen. Dabei sollten sie das Berühren der Wände mit dem Cursor vermeiden.

Die verwendete Labyrinthvorlage ist in Abb. 4.3.1 dargestellt. Da in der vorliegenden Untersuchung die Auswirkungen von unterschiedlichen Belastungen des Arbeitsgedächtnisses interessieren, wurde ein - im Vergleich zu den Reizen von Untersuchungen 1 und 2 - relativ komplexes Labyrinth verwendet. Vom zu durchfahrenden Lösungsweg zweigen hier an 16 Positionen Weggabelungen unterschiedlicher Länge ab.

Die Wege des Labyrinthes sind dabei 20 Pixel breit und sollen mit einem 9x9 Pixel großen Cursor durchfahren werden. Da der Einfluß einer Rückmeldung von Wandberührungsfehlern interessiert, wurde ein in Relation zur Wegbreite relativ großer Cursor gewählt, um mit

einer relativ hohen Wahrscheinlichkeit zu erreichen, daß die Probanden während der Aufgabenlösung die Wände mit dem Cursor berührten, und die unterschiedlichen Feedbackbedingungen für die Probanden erkennbar werden.

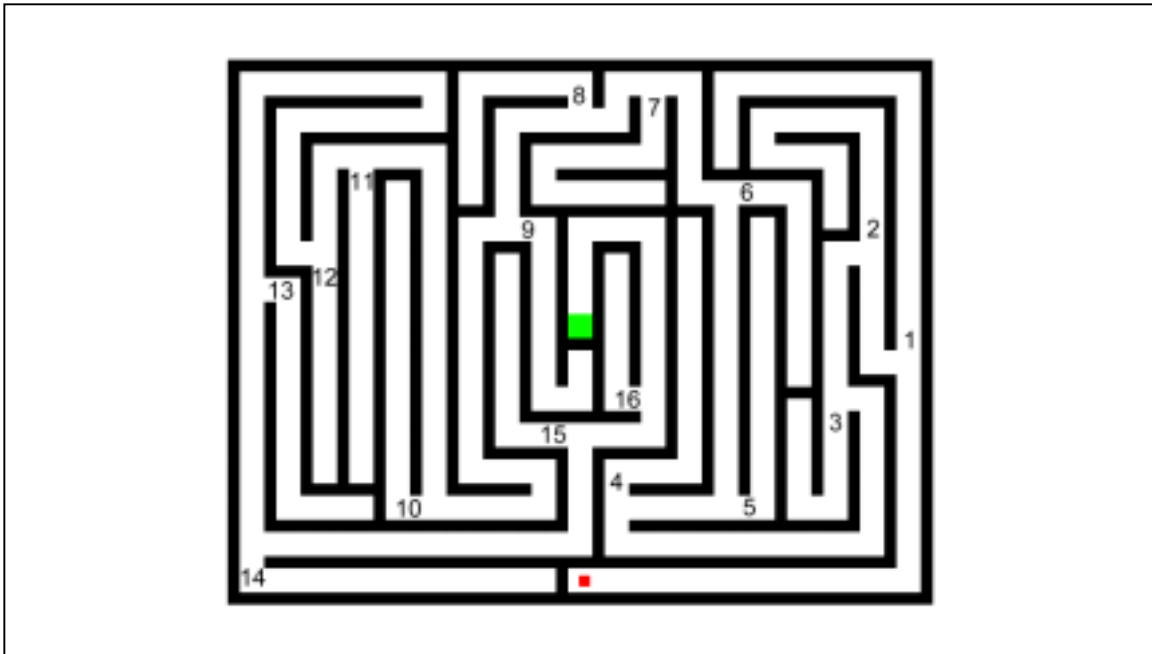


Abb. 4.3.1: Labyrinthstimulus

Der Faktor "Spur-Rückmeldung" ("Spur") wurde experimentell auf zwei Stufen variiert. In der Bedingung "Spur: Ja" wurde die Bewegung des Cursors als weiße Spur auf dem schwarzen Weghintergrund kontinuierlich bei Änderung der xy-Position des Cursors sichtbar gemacht und blieb bis zum Erreichen des Ziels zu sehen. In der Bedingung "Spur: Nein" hinterließ die Positionsänderung des Cursors keine Spur. Die Variable wurde als unabhängiger Faktor realisiert, d.h. die beiden Bedingungen wurden unterschiedlichen Stichproben von Probanden dargeboten. Die Realisierung dieser Variable als unabhängiger Faktor wurde gewählt, da die Versuchsanordnung von Untersuchung 3 zur Zeit auch mit schizophrenen Patienten eingesetzt wird und die Probanden der vorliegenden Untersuchung die Kontrollgruppe für diese laufende Untersuchung bilden sollen. Dabei zeigten Vorstudien, daß das auch mögliche 2x2-Meßwiederholungsdesign die Leistungsfähigkeit der Patienten bei weitem übersteigt.

Die experimentelle Variation der unabhängigen Variablen "Wandberührungsrückmeldung" ("Wand") erfolgte als Meßwiederholungsfaktor in zwei Stufen. In der Bedingung "Wand: Ja" wurde immer dann, wenn die Probanden - entgegen der Instruktion - die Wände mit dem Cursor berührten, dies durch ein akustisches Signal (Piepston 1000Hz,

100ms Dauer, 70dB) rückgemeldet. In der Bedingung "Wand: Nein" wurde bei Berühren der Wand mit dem Cursor kein Feedback gegeben, so daß die Wandberührung für den Probanden lediglich durch ein Unterbrechen der Bewegung des Cursors an der Wand erkennbar wurde.

Um Reihenfolge-Effekte z.B. durch Übung oder Ermüdung zu kontrollieren, werden die beiden Stufen dieser unabhängigen Variablen innerhalb der vier Stichproben in balancierter Reihenfolge präsentiert.

In Voruntersuchungen zeigte sich, daß die Probanden die Einführung bzw. Wegnahme des Wandberührungs-Feedbacks oft kommentierten ("Jetzt fängt das Programm an zu piepsen. Was ist das denn ?", oder "Da ist jetzt was kaputt. Das piepst ja nicht mehr.") und häufig sogar die Labyrinthbearbeitung unterbrachen. Um sie an diese Versuchsbedingungen zu gewöhnen, wurde vor Bearbeitung des Labyrinthes unter einer der beiden Feedback-Bedingungen jeweils eine Parallelform des Labyrinthes (gespiegelt an der x- und y-Achse) unter der gleichen Feedback-Bedingung zur Lösung dargeboten, d.h. die Probanden bearbeiteten insgesamt 2x2 Reize. Das zweite und vierte Labyrinth gingen in die Auswertung ein.

Das Geschlecht der Probanden wurde als zusätzlicher Gruppierungsfaktor in das Versuchsdesign einbezogen.

Es ergibt sich ein 3-faktorielles Design mit den unabhängigen Faktoren "Geschlecht" und "Spur-Rückmeldung" (2-stufig, "Spur: Nein" vs. "Spur: Ja") sowie dem 2-stufigen Meßwiederholungsfaktor "Wandberührungs-Rückmeldung" ("Wand: Nein" vs. "Wand: Ja"):

		Geschlecht			
		männlich		Weiblich	
		Spur-Rückmeldung		Spur-Rückmeldung	
		Spur: Nein	Spur: Ja	Spur: Nein	Spur: Ja
Rückmeldung Wand- Berührung	Wand: Nein				
	Wand: Ja				

4.3.2.4 Abhängige Variablen

Als abhängige Variablen dienen die in Untersuchung 1 eingeführten Meßgrößen. Die Qualität der Aufgabenlösung wird über die Anzahl von Probanden mit mindestens einmaligem Auftreten von Fehlern der Fehlertypen F1, F2 und F3, sowie die Länge des für die Aufgabenbearbeitung aufgewendeten Lösungsweges ("Weg") erfaßt. Die Präzision der Bewegung wird als Ausmaß von Wandberührungen ("Wall") und schlenkerartigen Bewegungen ("Wavy lines") gemessen. Der Zeitbedarf der Aufgabenlösung von der Stimulus-Präsentation bis zum Erreichen der Zielposition wird als "Gesamtzeit" registriert. Die Dauer

der Labyrinthbearbeitung wird zusätzlich in eine Startzeit und Pausenzeit, sowie eine Bewegungsgeschwindigkeit zerlegt. Zusätzlich werden Anzahl und mittlere Dauer der einzelnen Pausen bestimmt. Als Schwelle für die Definition der Mindestdauer einer Pause werden 50ms verwendet. Für eine detailliertere Beschreibung der verschiedenen abhängigen Variablen sei auf die Herleitung dieser Größen in Untersuchung 1 (vgl. 4.1.4.2) verwiesen.

4.3.2.5 Statistik

Zur Analyse der Fehlerhäufigkeiten werden mehrdimensionale Kontingenztafeln (vgl. Bortz, Lienert & Boehnke 1990) verwendet. Getrennt für die beiden Stufen des Meßwiederholungsfaktors "Wandberührungs-Rückmeldung" werden der Gruppierungsfaktor "Geschlecht" und die Variable "Spur-Rückmeldung" dabei als unabhängige Faktoren in die Analyse einbezogen. Zusätzlich werden für die jeweils zwei Stufen jeder der drei Faktoren getrennt Zählraten über die beiden anderen Faktoren hinweg summiert. Diese Zählraten werden hinsichtlich überzufälliger Unterschiede für die Stufen der unabhängigen Faktoren "Geschlecht" und "Spur-Rückmeldung" mit Vierfeldertafeln (χ^2 , ggfs. Mit exakter Wahrscheinlichkeit nach Fisher), sowie für den Meßwiederholungsfaktor "Wandberührungs-Rückmeldung" mit dem Binomial-Test überprüft.

Die auf Intervallskalen-Niveau erfaßten abhängigen Variablen werden jeweils mit Hilfe einer dreifaktoriellen Varianzanalyse analysiert. Entsprechend dem dargestellten Versuchsplan (s. 4.3.2.3) gehen dabei das Geschlecht der Probanden sowie die Rückmeldung der Bewegungsspur als unabhängige Faktoren mit jeweils zwei Stufen ein. Die unabhängige Variable "Wandberührungs-Rückmeldung" bildet einen zweistufigen Meßwiederholungsfaktor. In den Varianzanalysen werden dabei - aufgrund der zu erwartenden Verletzungen der Voraussetzungen dieses statistischen Verfahrens durch abhängige Variablen der Labyrinthbearbeitung - die in Ränge transformierten Werte der einzelnen Variablen verrechnet (vgl. Zimmermann 1994, s. auch Krieger 1999, Sinsel 1999).

Auf eine Adjustierung des Alpha-Niveaus wird aufgrund des explorativen Charakters der vorliegenden Studie verzichtet. Unabhängige Untersuchungen sollten prüfen, inwieweit die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung replizierbar sind.

Für die statistischen Analysen wurde das „Statistical Package for the Social Sciences“ (SPSS) verwendet.

4.3.3 Ergebnisse

Mittelwerte und Standardabweichungen der verschiedenen Verhaltensparameter finden sich mit den Ergebnissen der varianzanalytischen Auswertung im Anhang (Anhang C).

4.3.3.1 Qualität der Aufgabenlösung

Eine Möglichkeit zur Reduktion der Qualität der Aufgabenlösung besteht in fehlerhaften Entscheidungen an einer Weggabelung, bei denen die Probanden statt des zum Ziel führenden Weges die Sackgasse auswählen (Fehlertyp F1). Abb. 4.3.2 zeigt die Anzahl von Probanden, die während der Aufgabenbearbeitung mindestens einmal eine Sackgasse betreten. Unterschiede zwischen den Fehlerhäufigkeiten lassen sich weder für das Geschlecht der Probanden noch die Spur-Rückmeldung in den beiden Bedingungen der Wandberührungs-Rückmeldung nachweisen ("Wand: Ja" Geschlecht: $\chi^2=0.02$, $p=.881$, Spur-Rückmeldung: $\chi^2=0.87$, $p=.349$, Geschlecht x Spur-Rückmeldung: $\chi^2=1.93$, $p=.164$; "Wand: Nein" Geschlecht: $\chi^2=0.22$, $p=.636$, Spur-Rückmeldung: $\chi^2<0.01$, $p=.981$, Geschlecht x Spur-Rückmeldung: $\chi^2=0.22$, $p=.636$). Auch ein Einfluß des Feedbacks von Wandberührungen wird nicht erkennbar (Binomial-T: $p=.845$, dabei ohne Spur-Rückmeldung $p=1.00$ bzw. mit Spur-Rückmeldung: $.628$; in der Gruppe der Männer $p=.774$, dabei in der Bedingung ohne Spur-Rückmeldung $p=1.00$ bzw. mit Spur-Rückmeldung $p=1.00$; für die Gruppe der Frauen $p=1.00$, dabei in der Bedingung ohne Spur-Rückmeldung $p=.687$ bzw. mit Spur-Rückmeldung $p=.727$).

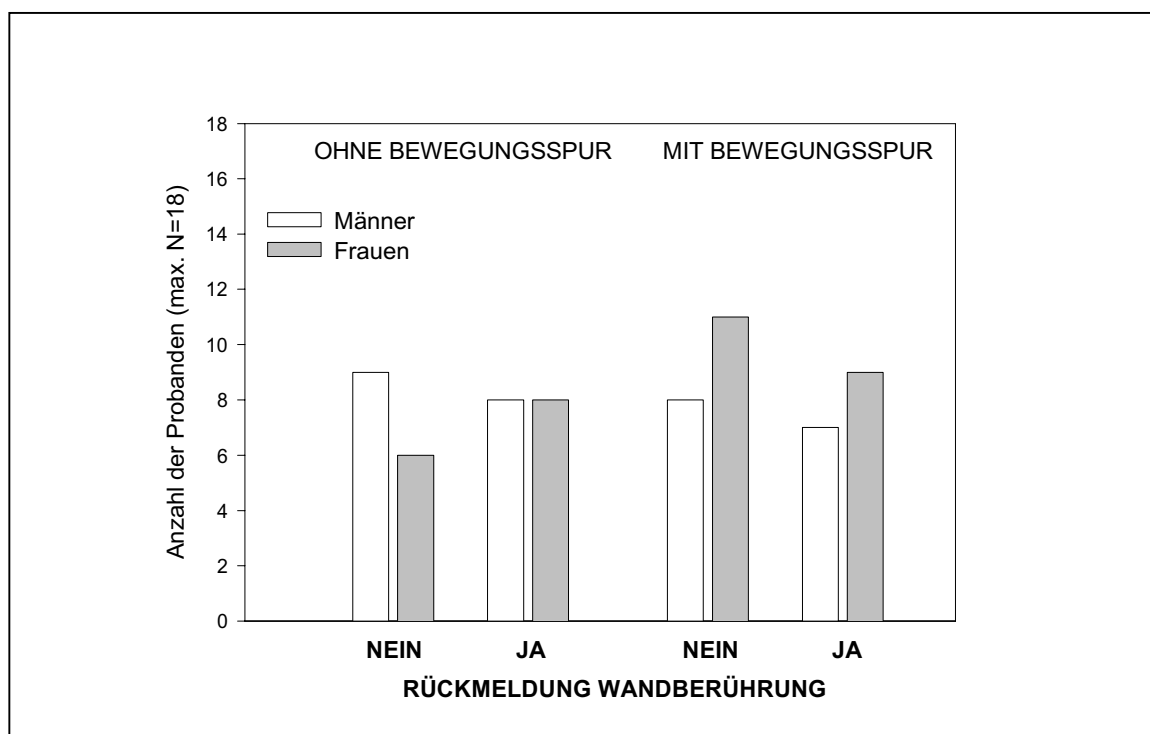


Abb. 4.3.2: Häufigkeit von Probanden mit mindestens einmaligen Auftreten von Fehlern des Typs F1 (Betreten einer Sackgasse) für männliche und weibliche Probanden in den beiden Bedingungen der unabhängigen Variablen "Spur-Rückmeldung" und "Wandberührungs-Rückmeldung"

Machen die Probanden bei der Bearbeitung eines Labyrinthes Fehler, betreten 68.2% von ihnen dabei nur einmal eine Sackgasse, 31.8% wählten dagegen an mehr als einer Weggabelung die falsche Alternative. Abb. 4.3.3 zeigt, wie häufig die einzelnen Sackgassen der Labyrinthvorlage betreten wurden. Während einzelne Sackgassen (z.B. die fünfte oder auch die beiden letzten vom Lösungsweg abzweigenden Sackgassen) von keinem Probanden betreten wurden, verteilen sich die falschen Entscheidungen ansonsten relativ gleichmäßig auf die verschiedenen Sackgassen. Lediglich an der achten Sackgasse läßt sich dann, wenn Wandberührungen nicht rückgemeldet wurden, eine Häufung von Fehlern beobachten. Dabei betreten die männlichen Probanden diese Sackgasse v.a. wenn die Bewegungsspur nicht sichtbar ist, die weiblichen Probanden dagegen, wenn der bereits gegangene Weg visualisiert wurde.

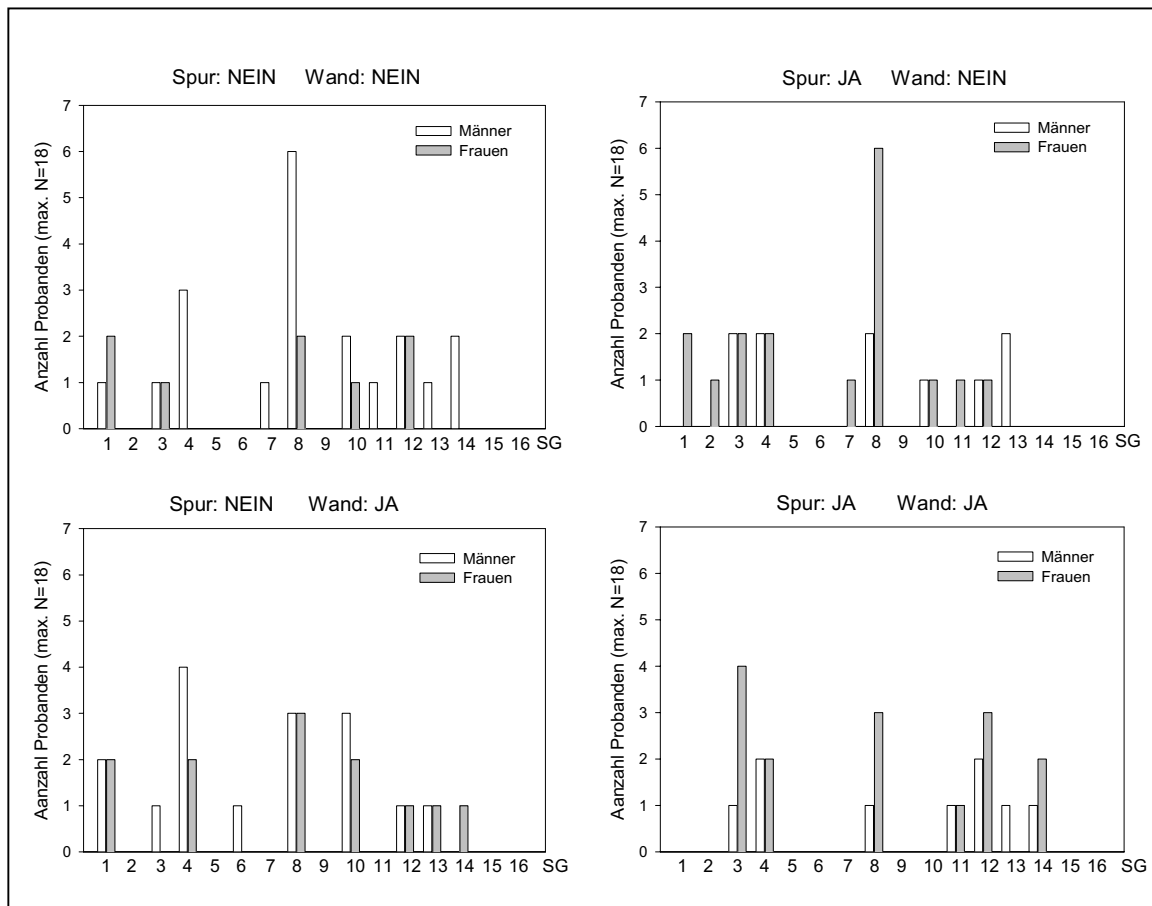


Abb. 4.3.3: Häufigkeit von falschen Entscheidungen an den einzelnen Sackgassen (SG) des Labyrinthes für männliche und weibliche Probanden in den Bedingungen der beiden unabhängigen Variablen "Spur-Rückmeldung (Nein vs Ja)" und "Wandberührungs-Rückmeldung" (Nein vs. Ja)

Während bei Rückmeldung der Bewegungsspur nur eine Frau und kein Mann bei Verlassen einer Sackgasse den Weg zurück auf die Startregion hin (Fehlertyp F2) wählte, trafen hier 4 Männer (je 2 in den beiden Bedingungen der Wandberührungs-Rückmeldung) und keine der Frauen eine falsche Entscheidung, wenn der bereits gegangene Weg nicht sichtbar war.

Fehler, die auch unabhängig vom Auftreten von Weggabelungen auftreten können, sind Rückwärtsbewegungen, bei denen die Probanden unabhängig vom Betreten einer Sackgasse die Bewegungsrichtung zur Startregion hin ändern (Fehlertyp F3). Abb. 4.3.4 zeigt die Häufigkeiten dieses Fehlers in den verschiedenen experimentellen Bedingungen. Werden Wandkontakte nicht durch ein akustisches Feedback signalisiert und die Bewegungsspur nicht rückgemeldet, scheinen derartige Fehler häufiger als in den anderen drei Bedingungen aufzutreten. Jedoch erreicht dieser Unterschied keine Signifikanz.

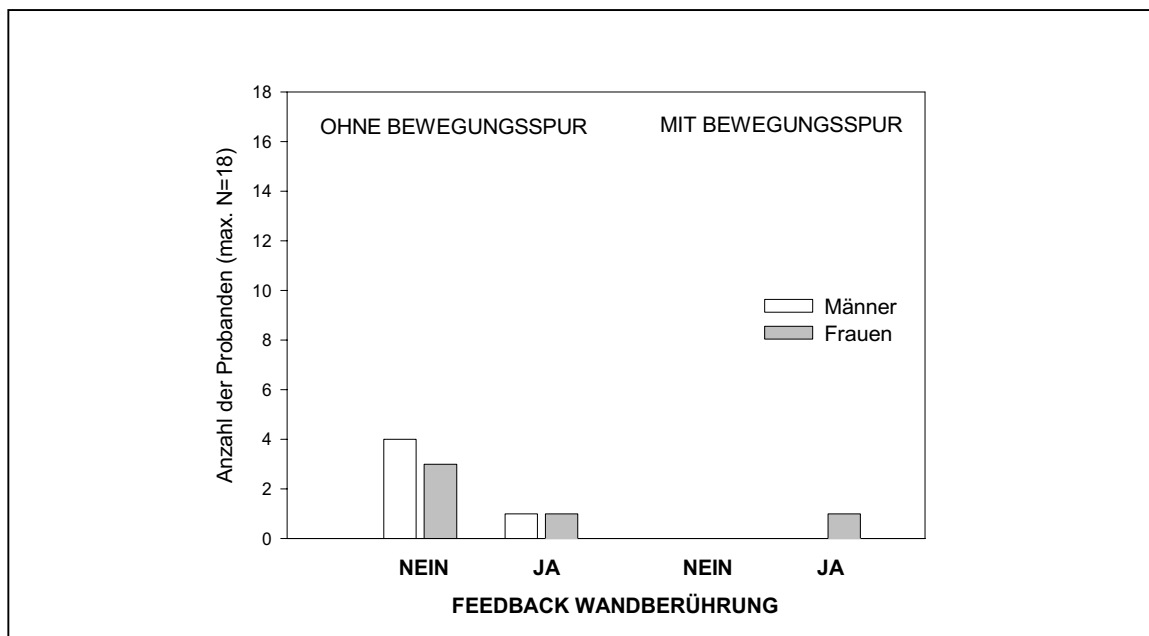


Abb. 4.3.4: Häufigkeit von Probanden mit mindestens einmaligen Auftreten von Fehlern des Typs F3 (Richtungswechsel auf dem Lösungsweg zurück zur Startregion) für männliche und weibliche Probanden in den beiden Bedingungen der unabhängigen Variablen "Spur-Rückmeldung" und "Wandberührungs-Rückmeldung"

Neben den Fehlerhäufigkeiten wird die Qualität der Labyrinthlösung auch über die Länge des bei der Aufgabenbearbeitung zurückgelegten Weges erfaßt. Zu einer Verlängerung der Wegstrecke tragen sowohl die Anzahl der Fehler unterschiedlicher Typen wie auch deren Schwere bei. Mittelwerte und Standardfehler der Variable "Weg" sind in Abb. 4.3.5 dargestellt. Statistisch bedeutsame Unterschiede lassen sich - ähnlich wie bei der Auswertung der Fehlerhäufigkeiten - nicht nachweisen. Für die männlichen Probanden deutet sich zwar eine Verlängerung des für die Aufgabenlösung benötigten Weges an, wenn die Bewe-

gungsspur nicht visualisiert wurde, jedoch läßt sich dieser Effekt statistisch nicht als überzufällig betrachten (Interaktion Geschlecht x Spur-Rückmeldung: $F(1, 68)= 2.22, p=.140$).

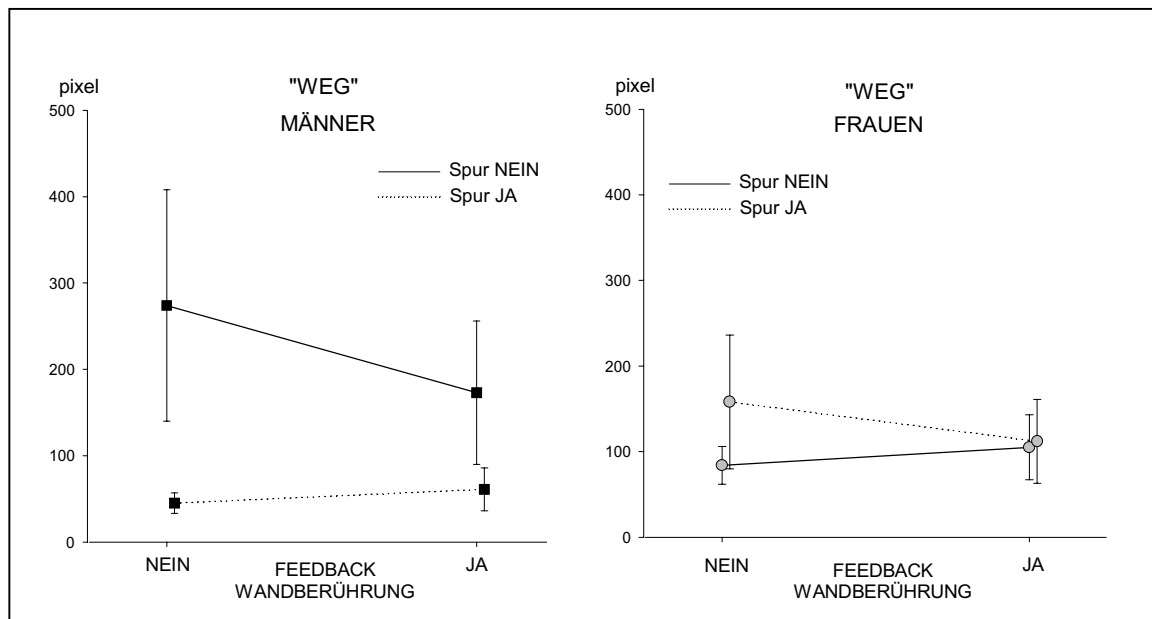


Abb. 4.3.5: Mittelwerte und Standardfehler von "Weg" für männliche und weibliche Probanden bei der Lösung der Labyrinth unter den beiden Bedingungen der unabhängigen Variablen Spur-Rückmeldung ("Spur Nein" und "Spur Ja") und Wandberührungs-Rückmeldung (Feedback Wandberührung "Nein" und "Ja")

4.3.3.2 Präzision der Bewegung während der Labyrinthlösung

In den abhängigen Variablen "wall" (s. Abb. 4.3.6) und "wavy lines" (s. Abb. 4.3.7) wurde die Präzision der Bewegung erfaßt, mit der der Cursor durch das Labyrinth gelenkt wurde.

Sowohl für das Ausmaß von Wandberührungen ("wall") wie auch von schlenkerartigen Bewegungen ("wavy lines") läßt sich hier ein deutlicher Effekt der Rückmeldung von Wandberührungen beobachten. Wird ein Kontakt zwischen Wand und Cursor durch einen Piepston signalisiert, führt dies sowohl zu einer Abnahme des Ausmaßes von Wandberührungen wie auch zu einer Abnahme von schlenkerartigen Bewegungen (Wandberührungs-Rückmeldung: "wall": $F(1,68)= 85.52, p<.001$, "wavy lines": $F(1,68)= 21.09, p<.001$).

Auch die Visualisierung der Bewegungsspur beeinflusst tendenziell die Präzision der Bewegung. Jedoch ist dieser Einfluß abhängig vom Geschlecht der Probanden: Wird die Bewegungsspur abgebildet, zeigen männliche Probanden in deutlich geringerem Ausmaß Wandberührungen und schlenkerartige Bewegungen. Statistisch läßt sich dies jedoch nur als Tendenz nachweisen (Interaktion: Geschlecht x Spur-Rückmeldung: "wall": $F(1,68)= 3.72, p=.058$, "wavy lines": $F(1,68)= 2.99, p=.088$).

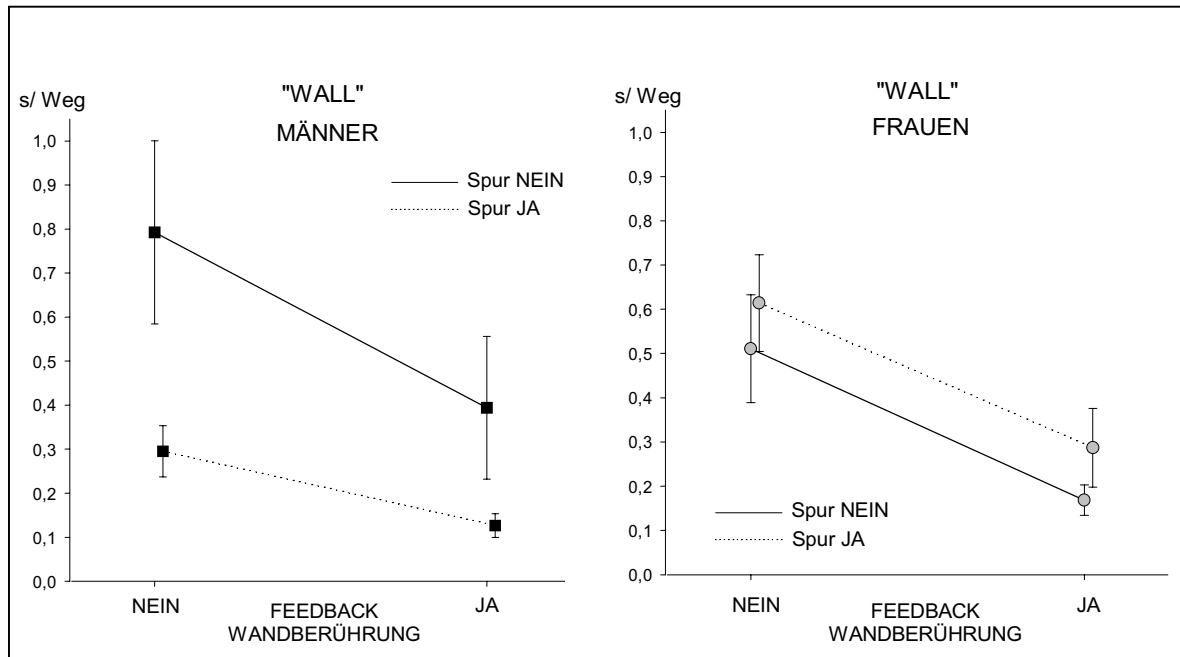


Abb. 4.3.6: Mittelwerte und Standardfehler des Ausmaßes von Wandberührungen ("wall") für männliche und weibliche Probanden bei der Lösung der Labyrinth unter den beiden Bedingungen der unabhängigen Variablen Spur-Rückmeldung ("Spur Nein" und "Spur Ja") und Wandberührungs-Rückmeldung (Feedback Wandberührung "Nein" und "Ja")

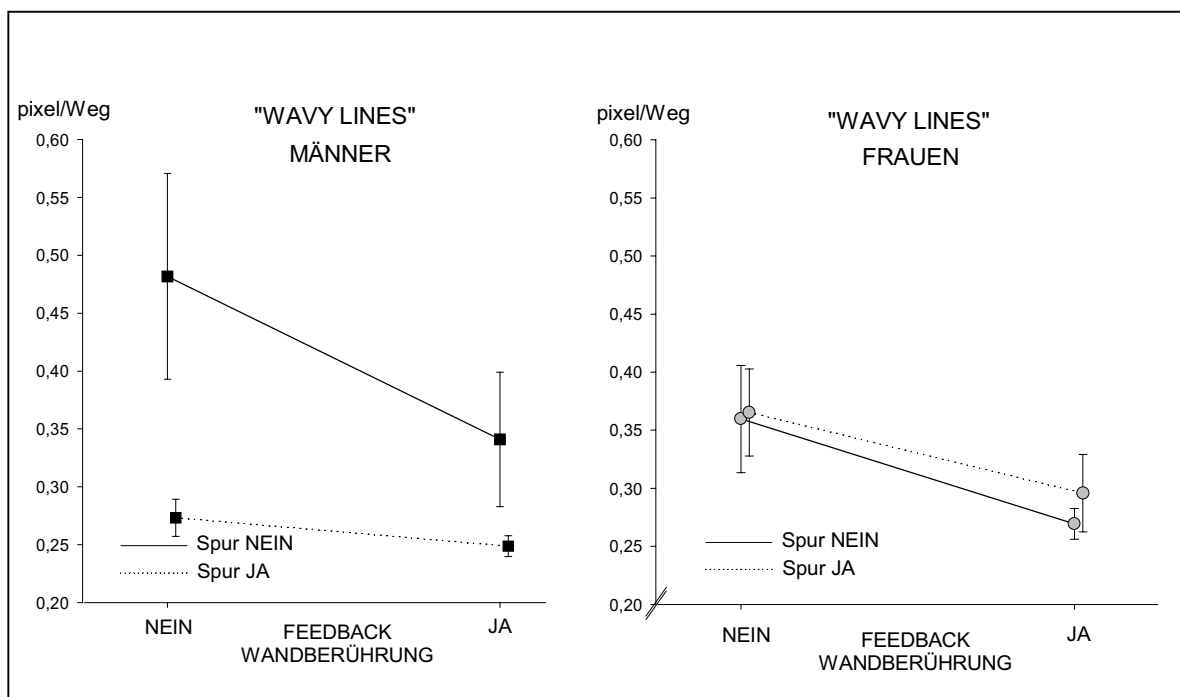


Abb. 4.3.7: Mittelwerte und Standardfehler des Ausmaßes von "wavy lines" für männliche und weibliche Probanden bei der Lösung der Labyrinth unter den beiden Bedingungen der unabhängigen Variablen Spur-Rückmeldung ("Spur Nein" und "Spur Ja") und Wandberührungs-Rückmeldung (Feedback Wandberührung "Nein" und "Ja")

4.3.3.3 Zeitbedarf der Labyrinthlösung

Analysiert man die Gesamtzeit, die Männer und Frauen für die Bearbeitung der Labyrinthvorlage aufwenden, wird ein deutlicher Effekt der experimentellen Variation des Feedback von Wandberührungsfehlern erkennbar (s. Abb. 4.3.8). Werden Kontakte zwischen Cursor und Wand rückgemeldet, steigt der Zeitbedarf für die Aufgabenlösung ($F(1,68)= 52.26$, $p<.001$).

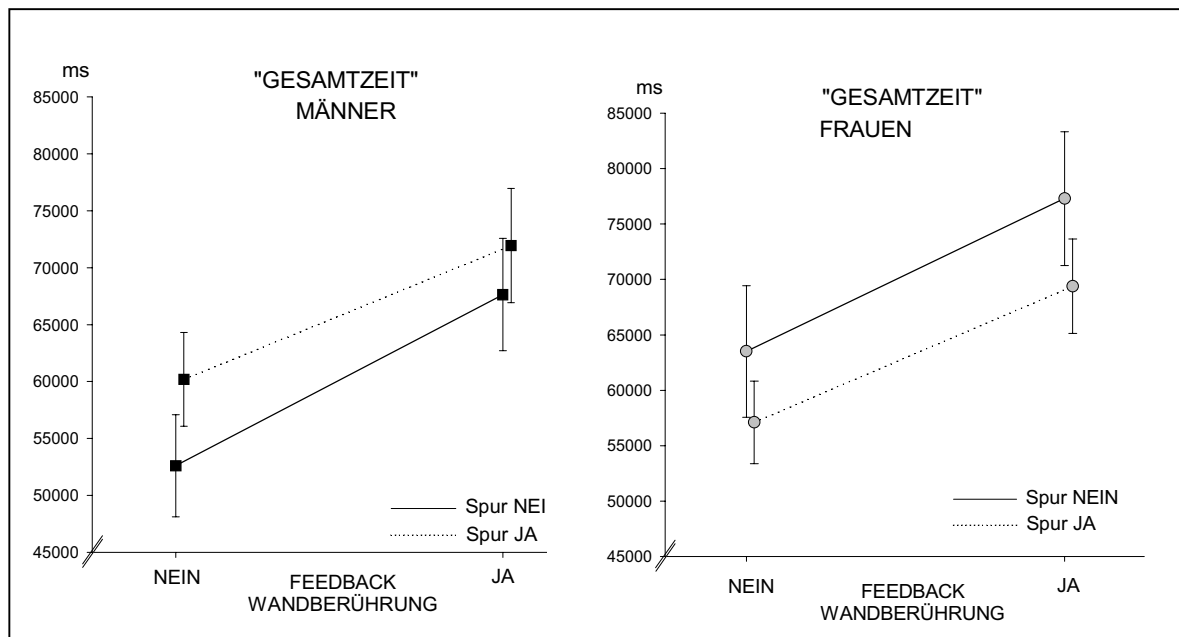


Abb. 4.3.8: Mittelwerte und Standardfehler der "Gesamtzeit" für männliche und weibliche Probanden bei der Lösung der Labyrinth unter den beiden Bedingungen der unabhängigen Variablen Spur-Rückmeldung ("Spur Nein" und "Spur Ja") und Wandberührungs-Rückmeldung (Feedback Wandberührung "Nein" und "Ja")

Ein Einfluß der Visualisierung der Bewegungsspur auf die Gesamtzeit läßt sich nicht nachweisen. Auch werden keine Unterschiede zwischen den Geschlechtern erkennbar.

Analysiert man die Dauer einer initialen Verarbeitungsphase mit Hilfe der abhängigen Variablen "Startzeit" zeigt sich bereits in dieser frühen Phase ein Einfluß des von den Probanden erwarteten Feedbacks von Wandberührungsfehlern ($F(1,68)= 18.00$, $p<.001$, s. Abb. 4.3.9). Zusätzlich wird auch ein Effekt der Rückmeldung der Bewegungsspur in Abhängigkeit vom Geschlecht der Probanden erkennbar (Interaktion: Geschlecht x Spur-Rückmeldung: $F(1,68)= 4.00$, $p=.049$): Bei einer sichtbaren Bewegungsspur benötigen die Männer eine längere Startzeit. Die der Frauen dagegen ist im Vergleich zu der Bedingung, in der keine Bewegungsspur abgebildet wird, kürzer. Darüber hinaus zeigen Frauen prinzipiell eine längere initiale Analysezeit als die Männer ($F(1,68)= 10.01$, $p=.002$).

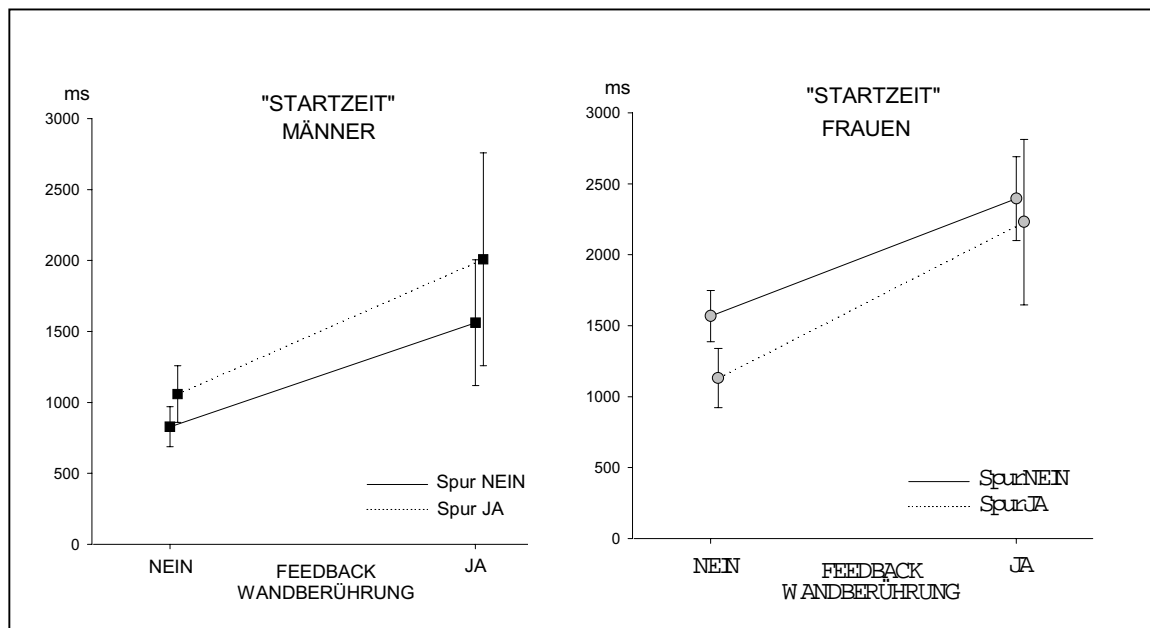


Abb. 4.3.9: Mittelwerte und Standardfehler der "Startzeit" für männliche und weibliche Probanden bei der Lösung der Labyrinth unter den beiden Bedingungen der unabhängigen Variablen Spur-Rückmeldung ("Spur Nein" und "Spur Ja") und Wandberührungs-Rückmeldung (Feedback Wandberührung "Nein" und "Ja")

Zerlegt man die Zeit, die die Probanden für das Führen des Cursors von der Start- zur Zielregion benötigen, in die Dauer von Bewegungspausen und die Bewegungsgeschwindigkeit, zeigen sich ähnliche Effekte der Variation des Wandberührungs-Feedbacks für diese beiden abhängigen Variablen: Die Gesamtdauer von Pausen nimmt zu (s. Abb. 4.3.10),

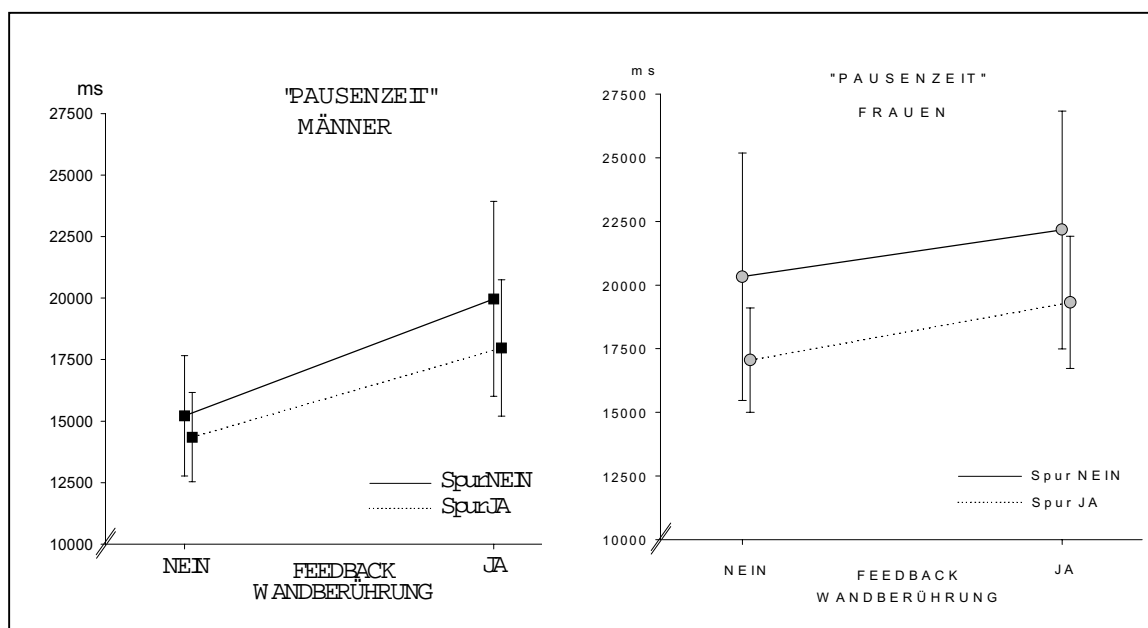


Abb. 4.3.10: Mittelwerte und Standardfehler der "Pausenzeit" für männliche und weibliche Probanden bei der Lösung der Labyrinth unter den beiden Bedingungen der unabhängigen Variablen Spur-Rückmeldung ("Spur Nein" und "Spur Ja") und Wandberührungs-Rückmeldung (Feedback Wandberührung "Nein" und "Ja")

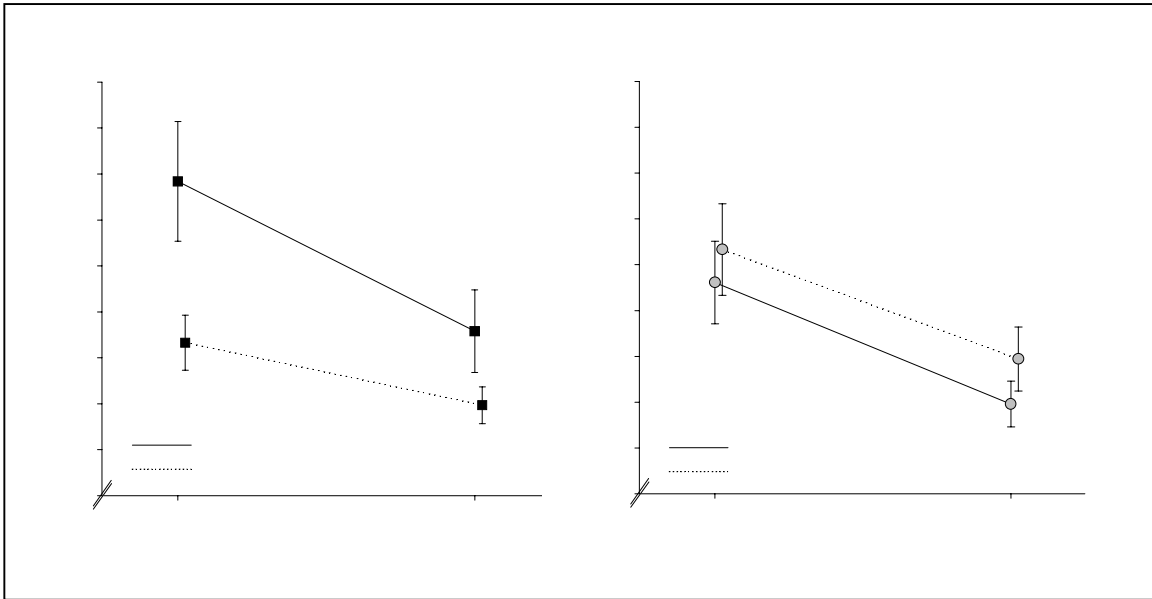


Abb. 4.3.11: Mittelwerte und Standardfehler der Bewegungs-"Geschwindigkeit" für männliche und weibliche Probanden bei der Lösung der Labyrinth unter den beiden Bedingungen der unabhängigen Variablen Spur-Rückmeldung ("Spur Nein" und "Spur Ja") und Wandberührungs-Rückmeldung (Feedback Wandberührung "Nein" und "Ja")

und die Bewegungsgeschwindigkeit sinkt (s. Abb. 4.3.11), wenn Wandberührungen rückgemeldet werden (Pausenzeit: $F(1,68)= 7.08$, $p=.009$, Geschwindigkeit: $F(1,68)= 69.35$, $p<.001$). Während sich die Visualisierung der Bewegungsspur jedoch auf die "Pausenzeit" nicht statistisch bedeutsam auswirkt, beeinflusst sie - zumindest tendenziell - in Abhängigkeit vom Geschlecht die Bewegungsgeschwindigkeit (Interaktion: Geschlecht x Spur-Rückmeldung: $F(1,68)= 3.63$, $p=.061$): Wird die Bewegungsspur rückgemeldet, zeigen die männlichen Probanden eine Verlangsamung der Bewegung.

Die Verlängerung der "Pausenzeit", wenn Wandberührungen rückgemeldet werden, läßt sich primär auf einen Anstieg der Anzahl von Bewegungspausen zurückführen ($F(1,68)= 15.31$, $p<.001$, s. Abb. 4.3.12). Obwohl dieser Anstieg in den Mittelwerten in der Gruppe der Männer besonders deutlich zu beobachten ist, erreicht diese Abhängigkeit vom Geschlecht der Probanden statistisch keine Bedeutsamkeit (Interaktion Geschlecht x Wandberührungs-Rückmeldung: $F(1, 68)= 2.77$, $p=.100$).

Auf die durchschnittliche Dauer der einzelnen Pausen lassen sich keine statistisch signifikanten Effekte der unabhängigen Variablen nachweisen (s. Abb. 4.3.13). Nur tendenziell deutet sich in den Mittelwerten eine Abhängigkeit zwischen der Rückmeldung der Bewegungsspur einerseits und der Wandberührungen andererseits an: Werden Wandberührungsfehler rückgemeldet, verkürzt sich die durchschnittliche Pausenlänge, wenn die Bewegungsspur rückgemeldet wird. Sie verlängert sich hier, wenn die Spur nicht sichtbar ist (Spur-Rückmeldung x Wandberührungs-Rückmeldung: $F(1,68)=3.45$, $p=.067$).

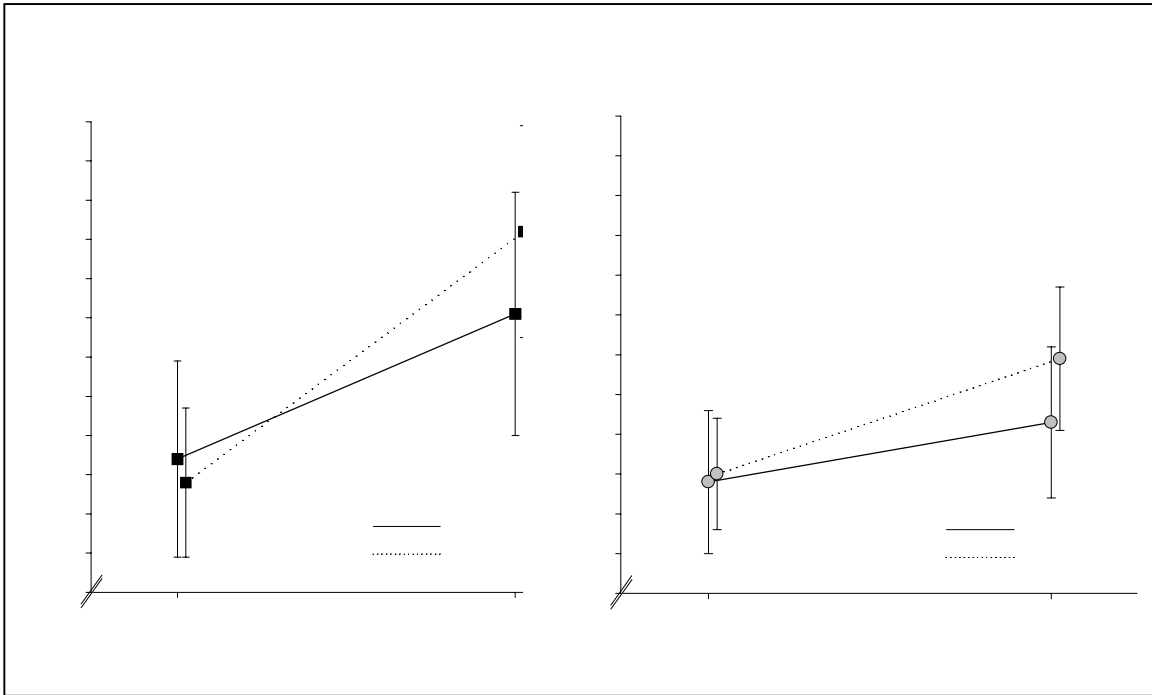
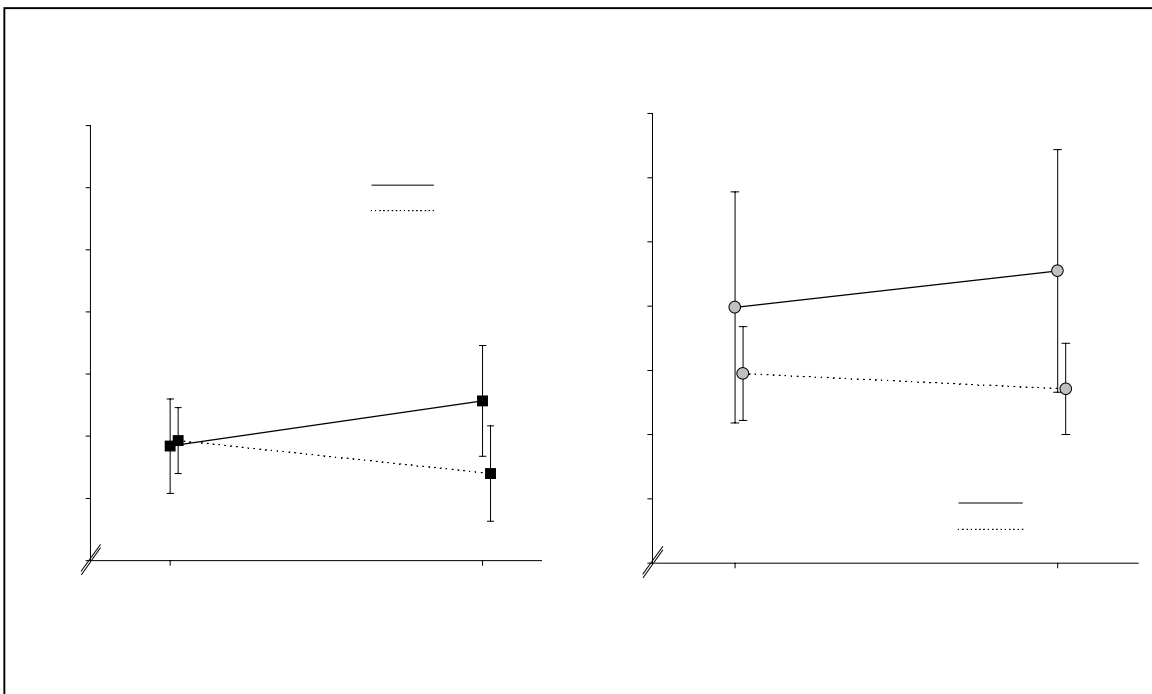


Abb. 4.3.12: Mittelwerte und Standardfehler der "Anzahl von Pausen" für männliche und weibliche Probanden bei der Lösung der Labyrinth unter den beiden Bedingungen der unabhängigen Variablen Spur-Rückmeldung ("Spur Nein" und "Spur Ja") und Wandberührungs-Rückmeldung (Feedback Wandberührung "Nein" und "Ja")



4.3.13: Mittelwerte und Standardfehler der "Mittleren Pausenlänge" für männliche und weibliche Probanden bei der Lösung der Labyrinth unter den beiden Bedingungen der unabhängigen Variablen Spur-Rückmeldung ("Spur Nein" und "Spur Ja") und Wandberührungs-Rückmeldung (Feedback Wandberührung "Nein" und "Ja")

4.3.4 Diskussion

In Labyrinthaufgaben ist die Speicherung der Position von Zielregion, der bereits gegangenen Wege und der aktuellen Position im Labyrinth vermutlich essentiell für eine erfolgreiche Aufgabenlösung. Es wurde vermutet, daß eine Visualisierung des bereits zurückgelegten Weges als Spur bei der Aufgabenlösung die Anforderungen an die Speicherung dieser Informationen reduzieren würde und dies zu einer höheren Qualität der Aufgabenlösung bei einem geringeren Zeitbedarf führen würde.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung können diese Hypothese nicht stützen. Ein Einfluß der Rückmeldung der Bewegungsspur ließ sich weder bei der Analyse der Häufigkeit von Fehlern, noch der Länge des für die Aufgabenlösung benötigten Weges nachweisen. Auch die für die Aufgabenbearbeitung benötigte Gesamtzeit wurde nicht durch die Visualisierung der Bewegungsspur beeinflusst. Jedoch zeigte sich ein Einfluß der Rückmeldung der Bewegungsspur auf die Präzision und Geschwindigkeit der Bewegung in Abhängigkeit vom Geschlecht der Probanden. Wurde der bereits zurückgelegte Weg als Spur abgebildet, führten die männlichen Probanden langsamere und präzisere Bewegungen aus. Statistisch läßt sich dieses Ergebnis jedoch nur als Tendenz zeigen. Dabei scheint bemerkenswert, daß es am ehesten responsebezogene Aspekte des Verhaltens sind, die durch die Bewegungsspur beeinflusst wurden. Möglicherweise deutet dies darauf hin, daß die Bewegungsspur - zumindest in der Gruppe der Männer - nicht zur Entlastung des Arbeitsgedächtnisses eingesetzt wurde, sondern eher als Rückmeldung der Bewegungspräzision verstanden wurde. Jedoch führte die zusätzliche Aufmerksamkeit, die die männlichen Probanden möglicherweise auf die Bewegungspräzision richteten, nicht zu einem Absinken der Qualität oder einer Erhöhung des Gesamtzeitbedarfs der Labyrinthlösung.

Die Visualisierung der Bewegungsspur hat sich in der vorliegenden Untersuchung bei der Bearbeitung der Labyrinthaufgaben als weitgehend wirkungslos erwiesen. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, daß in der untersuchten Gruppe gesunder Probanden die durch die Labyrinthaufgabe gestellten Anforderungen an das Arbeitsgedächtnis nicht hoch genug waren, um den Einsatz der Bewegungsspur zur Entlastung dieses Speichers zu erfordern. Dabei könnte dies auch von der von den Probanden eingesetzten Lösungsstrategie abhängen. So legten die Ergebnisse von Untersuchung 1 nahe, daß gesunde Personen das Labyrinth vermutlich nicht in seiner Gesamtheit während der Startphase analysieren, sondern eher lokal abhängig von den individuellen Anforderungen durch die Struktur des Wegsystems. Eine Konsequenz derartigen Verhaltens könnte darin bestehen, daß die Menge der im Arbeitsgedächtnis zu haltenden und zu manipulierenden Informationen relativ gering ist, und die Aufgabe die Kapazität dieses Systems nicht überlastet. Dabei scheint

es sich um eine relativ stabile Strategie zu handeln, da eine Rückmeldung der Bewegungsspur nicht zu einer Verhaltensänderung genutzt wird.

Erste Ergebnisse zum Einfluß einer Spur-Rückmeldung auf das Verhalten in Labyrinthaufgaben bei klinischen Stichproben jedoch deuten darauf hin, daß bei Vorliegen von Störungen der Kognition eine Visualisierung der Bewegungsspur zu einer erheblichen Verbesserung der Leistung führen kann (Lis et al. 2000). So ließ sich bei akut erkrankten schizophrenen Patienten eine deutliche Verbesserung der Qualität der Aufgabenbearbeitung beobachten, wenn der bereits zurückgelegte Weg sichtbar war. Darüber hinaus zeigen erste Erfahrungen, daß viele - v.a. chronisch erkrankte - schizophrene Patienten generell nicht in der Lage sind, die in der vorliegenden Untersuchung verwendeten Labyrinth ohne die Rückmeldung einer Bewegungsspur bis zur Zielposition zu durchfahren. Diese Ergebnisse stehen in Einklang mit Untersuchungen, die eine Störung des Arbeitsgedächtnisses bei schizophrenen Patienten nahelegen (z.B. bei "delayed-response-tasks" Minor & Parks 1999). Eine weitere Untersuchung der Auswirkungen von Entlastungen des Arbeitsgedächtnisses scheint deshalb sinnvoll. So wäre zu überprüfen, ob sich ein Einfluß dieser unabhängigen Variablen bei gesunden Personen möglicherweise in Abhängigkeit von einer höheren Komplexität der verwendeten Labyrinthvorlagen zeigen läßt.

Bei der Lösung der Labyrinthaufgaben sollte der Cursor durch das Wegsystem gelenkt werden, ohne die Wände der Wege zu berühren. Durch ein akustisches Feedback bei Auftreten eines Kontaktes zwischen Cursor und Wand sollte auf diese Instruktion hingewiesen werden und damit verstärkt Aufmerksamkeit auf die Bewegungssteuerung gelenkt werden. Die Einführung eines Wandberührungs-Feedbacks erwies sich als wirkungsvoll. Wurden die Wandberührungen durch ein akustisches Signal angezeigt, war ihr Ausmaß deutlich niedriger als in der Bedingung, in der ein Berühren der Wände nicht rückgemeldet wurde. Dabei änderten sich auch die Bewegungscharakteristika. Bei Rückmeldung von Wandkontakten wurden die Bewegungen langsamer und es ließen sich deutlich weniger schlenkerartige Bewegungen beobachten.

Aufgrund der Befunde zur Präzision der Bewegung kann man vermuten, daß tatsächlich mehr Aufmerksamkeit auf die Durchführung der Bewegung gelenkt wurde, wenn Wandberührungen durch ein akustisches Feedback rückgemeldet wurden. Dies sollte jedoch zur Konsequenz haben, daß gleichzeitig weniger Aufmerksamkeitsressourcen für andere Prozesse, wie z.B. Stimulusanalyse- und Entscheidungsprozesse, zur Verfügung stehen und damit die Qualität der Aufgabenlösungen sinkt. Jedoch ließ sich weder für die Häufigkeiten von Fehlern noch für die Länge des für die Lösung benötigten Weges eine Verschlechterung beobachten.

Der Zeitbedarf dagegen wurde durch die Rückmeldung von Wandberührungen beeinflusst. Er stieg, wenn die Präzision der Bewegung betont wurde.

Dieser Effekt ließ sich schon in der Startzeit nachweisen. Dies scheint zunächst verwunderlich, da während dieser initialen Phase der Aufgabenbearbeitung keine Wandberührungen stattfinden und damit keine Auswirkungen der Rückmeldung dieser Instruktionsverletzungen zu erwarten sein sollten. Die in die Auswertung der vorliegenden Untersuchung einbezogenen Labyrinth wurden jedoch jeweils nach einer Labyrinthbearbeitung unter vergleichbaren Bedingungen präsentiert, d.h. die Probanden erwarteten vermutlich dieselben Bedingungen wie im vorhergehenden Labyrinth und stellten ihre Lösungsstrategie entsprechend ein. Diese Annahme wird durch eine Analyse der Startzeiten der ersten dargebotenen Labyrinth, die nicht in die Auswertung der vorliegenden Untersuchung eingingen, gestützt. Hier wurden die Probanden erst während des Navigierens des Cursors im Labyrinth mit dem Wandberührungsfeedback konfrontiert. Ein Effekt dieser Variablen auf die Startzeit tritt daher hier nicht auf.

Die Ergebnisse zur Zeit können dahingehend interpretiert werden, daß sich die Probanden bei der Lösung von Labyrinth von Aufgabe zu Aufgabe in hohem Maße adaptiv verhalten. Sobald sie die veränderten Feedback-Bedingungen bei einer Labyrinthbearbeitung erfahren hatten, paßten sie offensichtlich ihre Verarbeitung bei der Lösung zukünftiger Labyrinth an.

Auch beim Navigieren des Cursors durch das Labyrinth benötigen die Probanden mehr Zeit, wenn das Berühren der Wände rückgemeldet wurde. Dies läßt sich nicht allein auf eine niedrigere Geschwindigkeit der präziseren Bewegungen, sondern auch auf eine Zunahme der Gesamtdauer von Bewegungspausen zurückführen. Die Pausenzeit wurde dabei primär durch einen Anstieg der Anzahl der einzelnen Pausen erhöht.

Dieses Ergebnis legt nahe, daß durch die Rückmeldung von Bewegungsfehlern stimulusbezogenen Verarbeitungsprozessen in geringerem Ausmaß Aufmerksamkeitsressourcen zur Verfügung stehen. Die geringere Anzahl von Bewegungspausen in der Bedingung ohne Wandberührungs-Rückmeldung kann möglicherweise dahingehend interpretiert werden, daß dann, wenn unpräzise Bewegungen erlaubt erscheinen, Stimulusanalyseprozesse zunehmend auch während der Bewegungen durchgeführt werden können. Die Zunahme der Geschwindigkeit der Bewegung in dieser Bedingung spricht dafür, daß die Bewegungen weitgehend automatisch ohne Aufmerksamkeitszuwendung ablaufen. Dies könnte Ressourcen für eine parallele Reizanalyse freisetzen.

Darüber hinaus ist denkbar, daß ein akustisches Feedback von Wandberührungen - neben seinem Effekt einer Betonung der Präzisionsinstruktion und einer damit verbundenen Zuweisung von mehr Aufmerksamkeit auf die Bewegungssteuerung - weitere Auswirkungen auf die kognitiven Prozesse der Labyrinthbearbeitung nimmt. So stellt das akustische Sig-

nal möglicherweise auch allein als Reizereignis schon eine Ablenkung von der eigentlichen Labyrinthaufgabe dar. Damit könnte es die Verarbeitung der Labyrinthmerkmale regelrecht stören, indem es die vermutlich im Modus der kontrollierten Verarbeitung ablaufenden Reizanalyseprozesse unterbricht. Geht man davon aus, daß die Reizanalyse den Bewegungen des Cursors voraus läuft - wie erste Beobachtungen mit Augenbewegungsregistrierungen nahelegen -, ist eine ständige Verschiebung des visuellen Aufmerksamkeitsfokus zwischen der gerade analysierten Stelle im Labyrinth und der Stelle, an der die Wandberührung auftrat, notwendig. Dies sollte zu einer nahezu vollständigen Serialisierung von Reizanalyse und Bewegungssteuerung führen.

Eine erste Abschätzung der störenden, die Stimulusanalyse unterbrechenden Effekte des akustischen Feedback von Wandberührungen erscheint in einer Versuchsanordnung möglich, in der die Feedback-Stimuli zwar Wandberührungen signalisieren, diese jedoch laut Instruktion gestattet sind. Falls dieses - letztlich durch eigene Aktionen verursachte - Ereignis zu einer Verschiebung des Aufmerksamkeitsfokus im Labyrinth führt, sollten die Leistungen schlechter sein als in einer Bedingung ohne akustische Signale unter derselben Instruktion.

In der vorliegenden Untersuchung interessierte auch, inwieweit Arbeitsgedächtnis und aufmerksamkeitsfordernde Aspekte der Bewegungskontrolle in Wechselwirkung zueinander stehen. Es wurde vermutet, daß dann, wenn an beide Bereiche kognitiver Prozesse höhere Anforderungen gestellt werden, sich dies überproportional auf die Leistung bei der Bearbeitung der Aufgaben auswirkt. Dies könnte beispielsweise als Hinweis auf eine Überbeanspruchung von Instanzen wie der zentralen Exekutive, die für die Zuweisung von Aufmerksamkeitsressourcen zuständig sein soll, hindeuten. Jedoch konnten für keine der abhängigen Variablen statistisch bedeutsame Hinweise auf eine gegenseitige Beeinflussung der Wirkung der beiden experimentellen Faktoren gefunden werden. Ein Grund dafür könnte darin liegen, daß die Manipulation der Beanspruchung des Arbeitsgedächtnisses durch die Visualisierung der Bewegungsspur in der hier untersuchten Gruppe gesunder Personen das Verhalten bei der Labyrinthlösung nicht beeinflusst hat. Es stellt sich jedoch die Frage, ob dies nicht durch die Vorlage wesentlich komplexerer Labyrinthe (z.B. durch Einführung von Weggabelungen innerhalb der Sackgassen) in weiteren Untersuchungen erreicht werden kann.

In der vorliegenden Untersuchung wurde das Geschlecht der Probanden als Gruppierungsfaktor verwendet. Es interessierte, ob sich eine Variation der Anforderungen an das Arbeitsgedächtnis und an Prozesse der Bewegungskontrolle unterschiedlich auf das Verhalten von Männern und Frauen auswirken würde. Die Ergebnisse der vorliegenden Unter-

suchung zeigen jedoch kaum signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern. Allein in der Startzeit ließ sich für die Gruppe der weiblichen Probanden unabhängig von den experimentellen Variablen ein höherer Zeitbedarf nachweisen, ohne daß dies zu einer höheren Qualität der Aufgabenlösung führte. Dieses Ergebnis steht in Einklang mit den Ergebnissen aus Untersuchung 2 der vorliegenden Untersuchung. Auch hier verwendeten die Frauen mehr Zeit für eine initiale Analyse als die Männer. Jedoch begrenzt sich in Untersuchung 3 der höhere Zeitbedarf der Frauen auf die Startzeit. Im Gegensatz zu Untersuchung 2 ist der Zeitverbrauch für Bewegungspausen im Labyrinth für beide Geschlechter gleich. Es ergaben sich Hinweise darauf, daß die Männer stärker auf die visuelle Rückmeldung der Bewegung reagierten. Jedoch wirkte sich dies nicht wie erwartet auf Qualität und Zeitverbrauch, sondern in einer höheren Präzision und einer verringerten Bewegungsgeschwindigkeit aus. Dies deutet darauf hin, daß die Männer durch die visuell wahrnehmbaren Bewegungen zu einer verstärkten Beachtung der Instruktion veranlaßt wurden.

5. Zusammenfassung und Diskussion

Labyrinthaufgaben haben eine lange Tradition bei der Untersuchung von Prozessen spatialer Informationsverarbeitung sowohl im Animal- wie auch im Humanbereich. Dabei finden sich eine Vielzahl unterschiedlicher Realisierungen von Labyrinthaufgaben, die zur Untersuchung verschiedener Aspekte von Verhalten im Raum konstruiert und eingesetzt wurden. Im Humanbereich werden sowohl Typen von Labyrinthaufgaben verwendet, die eng an die im Animalbereich verwendeten Untersuchungsanordnungen angelehnt sind (z.B. bei Schmitz 1999, Glassman, Leniek & Haegerich 1998, Lehnung et al. 1998), wie auch Realisierungen, die keine direkte Entsprechung bei der Untersuchung von Tieren haben wie z.B. der Perceptual Maze Test von Elithorn (1965) oder die Labyrinthaufgaben von Porteus (1965).

Der Einsatz von Labyrinthaufgaben im Humanbereich reicht dabei von Fragestellungen der allgemeinen und differentiellen Psychologie bis zur Neuropsychologie, die die Leistung in Labyrinthaufgaben mit der Beanspruchung bestimmter Hirnstrukturen in Beziehung setzt. Labyrinthaufgaben in ihren verschiedenen Realisierungen werden auch zur Identifizierung gestörter Informationsverarbeitung - beispielsweise im Bereich psychiatrischer Forschung unter anderem bei schizophrenen oder gerontopsychiatrischen Patienten - verwendet.

Kennzeichen von Labyrinthaufgaben ist, daß ihre Bearbeitung nicht isoliert eine einzelne kognitive Leistung erfordert. Vielmehr bestimmen eine Vielzahl unterschiedlicher elementarer kognitiver Subprozesse in komplexer Interaktion miteinander das Lösungsverhalten. So können schlechte Leistungen in Labyrinthaufgaben z.B. durch verlangsamte motorische Abläufe, Probleme bei der Strukturierung komplexer visueller Reizvorlagen, eine verminderte Kapazität des Arbeitsgedächtnis, verminderte Aufmerksamkeit, Probleme bei Aufbau und Nutzung mentaler Repräsentationen, bei Planung und Sequenzierung von Prozessen oder einer Koordination dieser verschiedenen Subprozesse, erklärbar sein.

Der Einsatz unterschiedlichster kognitiver Prozesse und ihre Koordinierung entspricht den Anforderungen, die im alltäglichen Leben gestellt werden. Dies kennzeichnet Labyrinthaufgaben als realitätsnähere Untersuchungsanordnungen als die meist verwendeten Reiz-Reaktions-Paradigmen.

Für das Verständnis von Kognition - und hier nicht zuletzt auch gestörter Kognition - scheint allein die Kenntnis des Niveaus einer Leistung z.B. in Relation zu einem Normkollektiv, unbefriedigend. So bildet z.B. im Rahmen psychiatrischer Grundlagenfor-

schung eine Identifizierung und Differenzierung unbeeinträchtigter und gestörter kognitiver Prozesse die Basis für ein Verständnis möglicher Ursachen von psychiatrischen Erkrankungen (Kraepelin 1896, Andreasen 1997a,b, Krieger 1999). Dies erscheint auch in Hinblick auf die Entwicklung und Evaluation psycho- und pharmakotherapeutischer Maßnahmen entscheidend (s. Krieger et al. im Druck). Jedoch ist auch für grundlagenorientierte Untersuchungen ein Verständnis der in eine Aufgabe involvierten kognitiven Subprozesse essentiell. So ist beispielsweise in der Forschung mit bildgebenden Methoden eine Zuordnung von räumlich und zeitlich lokalen zerebralen Aktivierungsmustern zu kognitiven Prozessen vermutlich nur auf der Basis theoretischer Annahmen über die in einem bestimmten Untersuchungsparadigma ablaufenden Subfunktionen, ihre Relation zueinander und ihr Timing möglich (Marr 1982, Friston 1997a).

Bei Labyrinthaufgaben stellt sich das Problem, daß die verschiedenen, an der Bearbeitung beteiligten kognitiven Funktionen oft nur schwer zu trennen sind. Als eine Möglichkeit zur Identifizierung der beteiligten kognitiven Subprozesse erscheint der in der vorliegenden Arbeit verfolgte Ansatz, einzelne Aspekte von Labyrinthaufgaben unter Konstanthaltung aller anderen zu variieren, d.h. mit Merkmalen von Labyrinthaufgaben zu experimentieren. Es wurde am Beispiel von Labyrinthaufgaben mit vollständig sichtbarem Wegsystem versucht, in drei Experimenten mit gesunden Probanden Informationen über die an der Labyrinthlösung beteiligten kognitiven Prozesse zu gewinnen. Dabei interessierte, inwieweit sich unterschiedliche Anforderungen an Reizanalyse- und Entscheidungsprozesse, an die Schwierigkeit der auszuführenden motorischen Bewegung und an die Speicherung von Informationen im Arbeitsgedächtnis auf unterschiedliche Aspekte des Verhalten bei der Lösung dieser von Porteus (1914) in die psychologische Literatur eingeführten Labyrinthaufgaben auswirkten.

Da Labyrinthaufgaben in besonderem Ausmaß die Koordination unterschiedlicher kognitiver Subprozesse verlangen, wurden in der zweiten und dritten Untersuchung der vorliegenden Arbeit jeweils zwei unterschiedlicher Merkmale der Labyrinthaufgaben unabhängig voneinander experimentell manipuliert. Der Logik der Methode der additiven Faktoren (Sternberg 1969) folgend, wurde erwartet, daß dann, wenn diese unabhängigen Variablen jeweils isoliert die Verarbeitung eines Teilprozesses oder einer Klasse von Teilprozessen beeinflussen, sich dies in varianzanalytischen Haupteffekten bemerkbar machen sollte. Beim Auftreten von Interaktionen, d.h. überproportionalen, nicht additiven Auswirkungen auf das Verhalten im Labyrinth, kann man dagegen davon ausgehen, daß beide Faktoren gemeinsam denselben Teilprozeß beeinflussen oder auf eine gemeinsam genutzte Ressource, etwa einen kapazitätsbegrenzten Speicher oder eine be-

grenzte Aufmerksamkeitsspanne, zugreifen, was in besonderem Maße die Koordination unterschiedlicher Bereiche der kognitiven Verarbeitung erfordert.

Die Ergebnisse der Untersuchungen der vorliegenden Arbeit zeigen, daß sich unterschiedliche Aspekte des Verhaltens bei der Bearbeitung von Labyrinthaufgaben in unterschiedlichem Ausmaß durch die verschiedenen experimentellen Manipulationen der Aufgaben beeinflussen ließen.

Dabei wurde in der ersten Untersuchung deutlich, daß Merkmale der Labyrinthstruktur - wie die Existenz von Entscheidungssituationen oder die Anzahl, Form und Länge von Sackgassen - Einfluß auf das Verhalten bei der Labyrinthbearbeitung nehmen. Die Messung unterschiedlicher Aspekte des Verhaltens wie Qualität der Lösung, Präzision der Bewegung und Zeitbedarf - zerlegt in unterschiedliche Zeitstrecken für initiale Verarbeitung, Bewegungspausen und Bewegungsgeschwindigkeit - erwies sich als nützlich für das Verständnis der involvierten Prozesse. So konnte z.B. gezeigt werden, daß es v.a. erhöhte Anforderungen an Stimulusanalyseprozesse sind, die zu einer Zunahme von Bewegungspausen bei der Labyrinthbearbeitung führten. Erhöhte Anforderungen an Entscheidungsprozesse wie sie durch die Zunahme der Anzahl von Weggabelungen im Labyrinth gestellt wurden, führten dagegen zu einer Reduktion der Bewegungsgeschwindigkeit, ohne daß gleichzeitig die Dauer von Pausen stieg. Diese Interpretation der Befunde konnte durch die Ergebnisse von Untersuchung 2 gestützt werden. So führte hier z.B. eine zunehmende Komplexität des Stimulus, ohne daß Entscheidungsprozesse verlangt wurden, zu einem Anstieg von Bewegungspausen, ohne daß die Geschwindigkeit der Bewegung beeinflusst wurde.

Es wurde deutlich, daß eine experimentelle Variation von Merkmalen des Labyrinthstimulus nicht allein stimulusbezogene kognitive Prozesse, deren Zeitbedarf als Dauer und Anzahl von Bewegungspausen gemessen wurde, beeinflusst. Auch Auswirkungen auf den Ablauf eher responsebezogener Prozesse, die über die Bewegungsgeschwindigkeit und die Maße der Bewegungspräzision erfaßt wurden, konnten beobachtet werden.

Diese Ergebnisse legen nahe, daß ein streng serielles Modell für den Ablauf kognitiver Prozesse bei der Bearbeitung von Labyrinthaufgaben nicht adäquat ist. Die Auswahl von Reaktionsalternativen erfolgt - zumindest unter bestimmten experimentellen Bedingungen - gleichzeitig mit der Ausführung der Bewegung. Darüber hinaus wird die Präzision, mit der eine Bewegung ausgeführt wird, dabei durch die Anforderungen an stimulusbezogene Prozesse durch Merkmale der Labyrinthvorlage beeinflusst.

Das Zusammenspiel von Reizverarbeitung und responsebezogenen Prozessen wurde in einer zweiten Untersuchung weiter analysiert. Es wurde vermutet, daß die Prozesse in

beiden kognitiven Bereichen auf gemeinsame Aufmerksamkeitsressourcen zugreifen, wenn bei gleichzeitigem Anstieg der Anforderungen an Stimulusverarbeitung und Bewegungssteuerung überproportionale Auswirkungen auf Qualität und Zeitbedarf der Aufgabenbearbeitung erkennbar werden. Die erwartete Interaktion ließ sich jedoch nicht beobachten. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, daß Prozesse beider kognitiver Domänen unabhängig voneinander ablaufen. Jedoch scheint diese Interpretation unbefriedigend. So zeigte sich, daß die Reizkomplexität auch die Bewegungsparameter und die Bewegungsschwierigkeit auch die Zeit, die in Bewegungspausen für eine Stimulusanalyse eingesetzt wurde, beeinflusste. Teilweise läßt sich dieser Befund durch die Annahme eines parallelen Ablaufs von stimulus- und responsebezogener Verarbeitung erklären. Jedoch konnten bei der Untersuchung schizophrener Patienten die auch in der vorliegenden Untersuchung bei gesunden Personen erwarteten Interaktionen zwischen den hier verwendeten unabhängigen Variablen beobachtet werden (Krieger, Lis & Gallhofer 1998, im Druck b, Gallhofer 1999). Dies spricht dafür, daß dann, wenn aufgrund einer psychiatrischen Erkrankung von reduzierten (Aufmerksamkeits-) Ressourcen oder selektiven Störungen zusätzlich beteiligter kognitiver Funktionen, wie der einer zentralen Exekutive, ausgegangen werden kann, die Koordination von stimulus- und responseseitiger Verarbeitung beeinträchtigt wird. Das Zusammentreffen komplexer Reize mit einer hohen Bewegungsschwierigkeit führt dann zu einem überproportionalen Abfall der Qualität der Aufgabenlösung und einem überproportionalen Anstieg des Zeitverbrauches.

Für die weitere Untersuchung der Koordination zwischen den beiden Bereichen kognitiver Verarbeitung an gesunden Personen bedeutet dies, daß einerseits die Reizverarbeitung und die Bewegungen so schwierig gestaltet werden könnten, daß die zur Verfügung stehenden Kapazitäten überschritten werden. Andererseits ließen sich vermutlich durch zusätzliche Maßnahmen die für die Labyrinthbearbeitung zur Verfügung stehenden Ressourcen reduzieren. Hier ist an simultan zu bearbeitende Zusatzaufgaben, wie etwa das Zählen seltener Ereignisse in einer Serie von Tönen, oder Ablenkung durch die Erzeugung sozialen Stresses zu denken.

Falls in der vorliegenden Untersuchung die Anforderungen an die beanspruchten Prozesse zu niedrig gewesen sein sollten, ist denkbar, daß die Koordination beider Domänen zwar erschwert wurde, dies aber noch nicht im offenen Verhalten beobachtbar wurde. Möglicherweise lassen sich jedoch durch den Einsatz zusätzlicher Meßmethoden - wie z.B. der Erfassung bioelektrischer Hirnsignale mit dem EEG oder von phasischen Änderungen der Hirndurchblutung in der funktionellen Kernspintomographie - auch hier bereits überproportionale Aktivierungen einzelner Hirnstrukturen erkennen, wenn komplexe Stimuli mit Weggabelungen unter der schwierigen Bewegungsbedingung bearbeitet werden sollen. Lokalisation und Timing dieser Interaktionen könnten erste Hinwei-

se darauf liefern, wie ein koordinierendes System strukturell beschaffen ist, und in welchem Zeittakt es im Ablauf einer Labyrinthverarbeitung in den Lösungsprozeß eingreift.

In der dritten Untersuchung der vorliegenden Arbeit wurde versucht, Einblick in die an der Labyrinthverarbeitung beteiligten Prozesse des Arbeitsgedächtnisses zu gewinnen. Da Baddeley (1986, 1993) als eine der Funktionen der zentralen Exekutive die Integration von Informationen und die Kontrolle von Aktionen beschreibt, interessierte dabei auch, ob sich Auswirkungen einer experimentellen Manipulation der Belastung des Arbeitsgedächtnisses in Abhängigkeit von Anforderungen an die Bewegungssteuerung beobachten lassen.

In Subsystemen des Arbeitsgedächtnisses wie dem visuospatialen Sketchpad werden die für die Labyrinthbearbeitung notwendigen Informationen zur Verfügung gehalten. Bei der Lösung von Labyrinthaufgaben ist vermutlich eine Speicherung der aktuellen Position im Labyrinth zusammen mit der Position der Zielregion und dem Wissen über bereits zurückgelegte Wege notwendig. Es wurde vermutet, daß durch die Visualisierung des zurückgelegten Weges die Beanspruchung von Leistungen des Arbeitsgedächtnisses gemindert werden kann. Dies sollte sich im Sinne einer Erhöhung der Lösungsqualität und einer Verringerung des Zeitbedarfes der Lösung auswirken.

Im Gegensatz zu diesen Erwartungen ließen sich im wesentlichen keine Auswirkungen der Spur-Rückmeldung auf das Verhalten im Labyrinth nachweisen.

Durch eine akustische Rückmeldung von zu vermeidenden Wandberührungen sollte Aufmerksamkeit von der Stimulusanalyse fort auf die Durchführung der Bewegungen gelenkt werden. Im Vergleich zu einer rückmeldungsfreien Bedingung wurde erwartet, daß akustische Signale bei Wandberührungen die Präzision der Bewegungen erhöhen und ihre Geschwindigkeit vermindern. Beide Effekte konnten beobachtet werden. Darüber hinaus wurde erwartet, daß dann, wenn zusätzlich Aufmerksamkeit auf die Bewegung gerichtet wird, weniger Kapazität für die Stimulusanalyse und die hier notwendigen Arbeitsgedächtnisprozesse zur Verfügung steht. Dies sollte sich in einer geringeren Qualität der Lösung und einem erhöhten Zeitbedarf für Bewegungspausen auswirken. Jedoch fanden sich keine signifikanten Effekte dieser experimentellen Variable auf die Qualität der Aufgabenbearbeitung. Die Dauer der Bewegungspausen dagegen wurde verlängert. Interaktionen zwischen den beiden experimentellen Variablen, die für einen gleichzeitigen Zugriff auf begrenzte Ressourcen sprechen, konnten nicht nachgewiesen werden.

Das Fehlen eines Einflusses einer Visualisierung der Bewegungsspur könnte als Hinweis auf eine geringe Bedeutung einer Speicherung des gerade zurückgelegten Weges bei der Bearbeitung von Labyrinthaufgaben gewertet werden. Jedoch zeigte sich, ähn-

lich wie bereits bezüglich der Versuchsanordnung der zweiten Untersuchung, im Verhalten schizophrene erkrankter Patienten ein deutlicher Effekt dieser experimentellen Variablen (Lis et al. 2000). So verbessert eine Rückmeldung der Bewegungsspur in dieser Personengruppe die Qualität der Labyrinthbearbeitung erheblich. Dies weist darauf hin, daß Informationen über den bereits zurück gelegten Weg - zumindest unter bestimmten Bedingungen - für eine erfolgreiche Aufgabenlösung von Bedeutung sind. In der hier untersuchten Gruppe gesunder Personen jedoch scheint die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses so groß zu sein, daß die Probanden nicht von einer derartigen Entlastung profitieren. Der Stellenwert einer Speicherung des gegangenen Weges im Rahmen der Labyrinthverarbeitung läßt sich wahrscheinlich daher nur dann korrekt einschätzen, wenn es durch geeignete experimentelle Versuchsanordnungen gelingt, die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses zu vermindern. Dies könnte indirekt - wie bereits im Kontext der Ergebnisse von Untersuchung 2 diskutiert - durch Ablenkungen der Aufmerksamkeit geschehen. Eine weitere Möglichkeit bietet der Einsatz von Doppel- oder Triple-Belastungsaufgaben mit einer Gedächtniskomponente, die das Arbeitsgedächtnis überbeanspruchen.

Im Unterschied zur Visualisierung der Bewegungsspur zeigte eine akustische Rückmeldung von Wandberührungen deutliche Auswirkungen auf das Verhalten. Dabei wurden nicht nur die Präzision und Geschwindigkeit der Bewegung, sondern auch die in reiner Stimulusanalyse verbrachte Zeit beeinflusst. Ohne Rückmeldung scheinen gesunde Personen in der Lage zu sein, die Stimulusanalyse zunehmend auch während der Bewegung durchzuführen. Mit Rückmeldung von Wandberührungen wird das Verhalten serialisiert, d.h. die Stimulusanalyse verstärkt in Bewegungspausen verlagert. Es ist zu vermuten, daß dies nicht zuletzt dadurch verursacht wird, daß der visuelle Aufmerksamkeitsfokus im Labyrinth bei jeder ungenauen Bewegung von einer voraus laufenden Stimulusanalyse auf die räumlich weiter zurück liegende Bewegung verschoben wird. Diese Interpretation wird auch durch erste simultane Registrierungen von Cursor- und Augenbewegungen bei der Labyrinthlösung gestützt.

Das Fehlern von Interaktionen zwischen den beiden experimentellen Variablen von Untersuchung 3 deutet darauf hin, daß, obwohl beide Größen mit der Aufmerksamkeitsallokation in Verbindung stehen, keine Konkurrenz zwischen gleichzeitig ablaufenden kognitiven Prozessen stattfindet. Dies kann - zusammen mit den Auswirkungen des Wandberührungs-Feedbacks auf die Startzeit, d.h. vor Bewegungsbeginn - als Beleg dafür gewertet werden, daß gesunde Personen vor Beginn der eigentlichen Labyrinthbearbeitung entsprechend den zu erwartenden Anforderungen ihre Verarbeitungsstrategie adaptieren. Teil dieser Adaptation dürfte die Zuweisung von begrenzten Ressourcen an einzelne Aspekte der Verarbeitung sein, die während der Aufgabenlösung im wesentli-

chen eingehalten werden kann. Eine Möglichkeit zur experimentellen Überprüfung dieser Annahmen könnte die Einführung von für die Probanden unvorhersehbaren Ereignissen sein. Hier ist beispielsweise an plötzliche Änderungen der Kopplung zwischen Bewegungen des Stiftes auf dem Graphpads und des Cursors auf dem Bildschirm oder unterschiedliche, innerhalb der Labyrinthstruktur wechselnde Formen der Lösung eines Cursors von der Wand nach einer Berührung (z.B. durch ein "Kleben") zu denken.

Das Geschlecht der Probanden hat sich in zahlreichen Untersuchungen als Einflußgröße auf das Verhalten bei der Bearbeitung von Labyrinthaufgaben erwiesen. Jedoch sind die Ergebnisse hinsichtlich der Überlegenheit eines der beiden Geschlechter bezüglich der Qualität und des Zeitbedarfes der Aufgabenlösung widersprüchlich (vgl. 2.4.2.2). Eine mögliche Erklärung für die heterogenen Befunde könnte in der unterschiedlichen Beanspruchung verschiedener kognitiver Prozesse in den Realisierungen von Labyrinthaufgaben und den mit ihnen vermutlich verbundenen Unterschieden liegen.

In der vorliegenden Arbeit interessierte, ob Variationen unterschiedlicher Merkmale von Labyrinthaufgaben zu einer Nivellierung oder Akzentuierung der Unterschiede zwischen den Geschlechtern führen. Derartige Effekte sollten Rückschlüsse auf diejenigen kognitiven Prozesse erlauben, deren Ablauf sich zwischen den Geschlechtern unterscheidet.

Die Ergebnisse der verschiedenen Untersuchungen der vorliegenden Arbeit können hier jedoch nicht entscheidend zu einem weiteren Verständnis dieser Frage beitragen. Unterschiede im Verhalten zwischen den Geschlechtern ließen sich nur vereinzelt beobachten und wurden im wesentlichen nicht durch die verschiedenen experimentellen Manipulationen beeinflusst.

Eine höhere Qualität der Aufgabenlösung in der Gruppe der Frauen - wie aufgrund verschiedener Arbeiten zu erwarten gewesen wäre - ließ sich nicht beobachten. War vereinzelt ein Unterschied in der Qualität der Aufgabenbearbeitung zu beobachten, deutete dieser eher in Richtung einer verminderten Qualität der Aufgabenbearbeitung hin.

Auch Unterschiede im Zeitbedarf der beiden Geschlechter ließen sich eher uneinheitlich beobachten. So war beispielsweise in Untersuchung 2 und 3 - nicht jedoch in Untersuchung 1 - eine Verlängerung der Dauer der initialen Verarbeitungsphase für die Gruppe weiblicher Probanden nachweisbar. Dies könnte als Bestätigung einer eher reflektiert-sequentiellen Strategie in der Gruppe der Frauen im Kontrast zu einer eher impulsiv-globalen Strategie der Männer (vgl. Klinteberg, Levander & Schalling 1987) gewertet werden. Dabei ist jedoch aufgrund der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit nicht davon auszugehen, daß es sich hier um einen für die Bearbeitung von Labyrinthaufgaben spezifischen Unterschied zwischen den Geschlechtern handelt, da sich die verlängerte Startzeit auch

bei der Bearbeitung von labyrinthartigen Stimuli ohne Entscheidungspunkte bei unterschiedlicher Komplexität der Reize beobachten ließ.

Darüber hinaus ist die Dauer, in der sich die beiden Geschlechter in der Startzeit unterschieden, mit beispielsweise ca. 700 Millisekunden in Untersuchung 3 relativ niedrig. Es erscheint unwahrscheinlich, daß sich hier bei Gesamtverarbeitungszeiten der Labyrinthbearbeitung von im Mittel ca. 65 Sekunden, umfangreiche Prozesse der Stimulusanalyse und Planung der Labyrinthbearbeitung abbilden.

Die Startzeit hat sich in den verschiedenen Untersuchungen generell als relativ kurz erwiesen, so daß man vermutlich nicht von umfangreichen initialen Verarbeitungsprozessen bei der Bearbeitung der vollständig sichtbaren Labyrinthvorlagen ausgehen kann. Vielmehr ergaben sich Hinweise darauf, daß die Verarbeitung des Reizes lokal, abhängig von den spezifischen Merkmalen des Wegsystems während der Navigation des Cursors durch das Labyrinth erfolgt. Auf der Basis erster Befunde zur Messung von Augenbewegungen während der Bearbeitung von Labyrinthvorlagen läßt sich vermuten, daß während der Startzeit lediglich eine Groborientierung innerhalb des Labyrinthes stattfindet, bei der die Lage der Zielposition innerhalb des Wegsystems bestimmt wird.

Da sich jedoch in Untersuchung 2 längere Startzeiten in der Gruppe der Frauen auch dann zeigten, wenn lediglich ein einfacher Pfad vor einem uniformen Hintergrund zu durchfahren war, ist denkbar, daß für die verlängerte Dauer bei den weiblichen Probanden Faktoren relevant sind, die nicht als labyrinthspezifisch anzusehen sind. Darüber hinaus waren längere Startzeiten nicht durchgängig in den verschiedenen Untersuchungen zu beobachten. So zeigten dieselben weiblichen Probanden in Untersuchung 2 längere Startzeiten, während sie sich in Untersuchung 1 nicht signifikant von den männlichen Probanden unterschieden. Da die Labyrinthaufgaben von Untersuchung 1 zeitlich nach denen von Untersuchung 2 bearbeitet wurden, könnte eine Erklärung darin liegen, daß sich hier eine Wirkung der zunehmenden Vertrautheit im Umgang mit den Labyrinthaufgaben zeigt. Dies könnte für Unterschiede in bezug auf den durch Erwartungen an die Untersuchung erzeugten Streß zwischen den Geschlechtern sprechen.

Maße der Präzision der Bewegung werden - z.B. von Porteus (1965) als Teil des Q-Scores - zur Messung von interindividuell variierenden Strategien bei der Labyrinthbearbeitung verwendet. Auch in diesen abhängigen Variablen ergaben sich in den vorliegenden Untersuchungen keine Hinweise auf geschlechtsspezifische Unterschiede. Die Variation dieser Maße mit der Beanspruchung kognitiver Prozesse durch die Merkmale der Labyrinthaufgaben legt nahe, daß sich hier nicht generell ein "trait"-artiges Merkmal der Verarbeitung abbildet, sondern eher die durch die Aufgaben gestellten Anforderungen an kognitive Prozesse.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß sich Unterschiede zwischen den Geschlechtern nur vereinzelt darstellen ließen, und keine klare Beziehung zu der Beanspruchung unterschiedlicher kognitiver Prozesse gezeigt werden konnte. Möglicherweise ist für die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen die Art der verwendeten Instruktion relevant. Alle Untersuchungen wurden unter Akkuratheitsinstruktion durchgeführt, d.h. die Qualität der Labyrinthbearbeitung hatte Priorität vor der Geschwindigkeit der Aufgabenlösung. In Arbeiten zu taktil-motorischen Tischlabyrinthen konnte gezeigt werden, daß Geschlechtsunterschiede v.a. dann beobachtbar werden, wenn in der Instruktion das Tempo der Aufgabenlösung betont wurde. Eine Replikation der Untersuchungen der vorliegenden Untersuchungen unter einer Tempo-Instruktion könnte die Relevanz dieser Variablen klären. Erste Hinweise auf die Bedeutung der Instruktion auch bei der Bearbeitung von vollständig sichtbaren Labyrinthen ergeben sich bereits aus der Arbeit von Sinsel (1999), die in einem unter Tempo-Instruktion durchgeführten Lernversuch einen Einfluß der Form von Sackgassen auf das Auftreten von Geschlechtsunterschieden zeigen konnte. Interessant erscheint jedoch ein direkter Vergleich zwischen männlichen und weiblichen Probanden unter diesen beiden Instruktionsbedingungen.

Neben der verwendeten Instruktion mag auch die emotionale Befindlichkeit der Probanden für die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit relevant sein. So zeigte Schmitz (1999), daß der längere Zeitbedarf bei weiblichen Probanden in der Bearbeitung von taktil-motorischen Labyrinthaufgaben mit erhöhten Angstwerten einher ging. In den Stichproben der vorliegenden Arbeit zeigten sich jedoch keine Unterschiede in der Ängstlichkeit von Männern und Frauen in der Untersuchungssituation. So mag dies eine weitere Ursache für das Fehlen deutlicher Geschlechtsunterschiede darstellen. Eine weitere Abklärung der Bedeutung emotionaler Faktoren für die Labyrinthbearbeitung scheint nicht zuletzt zur Bewertung der Ergebnisse mit klinischen Stichproben, bei denen meist eine höhere Angst als bei gesunden Personen zu beobachten ist, eine wichtige Zielsetzung für zukünftige Studien.

Zu den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit läßt sich festhalten, daß sich die verschiedenen experimentellen Manipulationen der Labyrinthstruktur, mit denen Stimulusanalyse- und Entscheidungsprozesse beeinflußt werden sollten, unterschiedlich auf einzelne Aspekte des Verhaltens bei der Labyrinthlösung auswirkten. So scheinen Stimulusanalyseprozesse, wenn die Instruktion präziser Bewegungen betont wird, vornehmlich in Bewegungspausen abzulaufen. Entscheidungsprozesse dagegen finden während des Ablaufes der Bewegungen statt. Es ergaben sich bei den hier untersuchten gesunden Personen keine Hinweise auf eine Konkurrenz stimulus- und responsebezogener kognitiver Prozesse um limitierte Ressourcen, etwa der Aufmerksamkeit oder der Speicherkapazi-

tät des Arbeitsgedächtnisses, während des Ablaufes der Bearbeitung. Jedoch zeigte sich, daß entsprechend den aktuellen Anforderungen der Aufgabe, d.h. hier an die Bewegungsschwierigkeit, von eher paralleler zu serieller Verarbeitung gewechselt wurde. Andererseits wurden, wenn die Bewegungsschwierigkeit weniger wichtig erschien, Stimulusanalyseprozesse zunehmend auch während der Bewegungen durchgeführt. Es kann vermutet werden, daß die Zuteilung von limitierten Ressourcen zu den unterschiedlichen Bereichen kognitiver Verarbeitung schon unmittelbar nach Präsentation der Labyrinth auf der Basis von Vorerfahrungen erfolgt. Insgesamt ergibt sich der Eindruck, daß das Verhalten gesunder Personen bei der Bearbeitung von Labyrinthen durch eine hohe Adaptivität gekennzeichnet ist, wobei sich kaum Unterschiede zwischen den Geschlechtern nachweisen lassen.

Ein experimenteller Ansatz zur Untersuchung der an der Bearbeitung von Labyrinthaufgaben beteiligten Prozesse scheint vielversprechend. Jedoch stellen die in der vorliegenden Arbeit vorgestellten Versuchsanordnungen nur einen ersten Schritt zu deren Identifizierung und zur Aufklärung ihres Zusammenspiels dar. Weitere Untersuchungen mit einer Präzisierung der theoretischen Annahmen zu den in Frage stehenden Prozessen, einer Verfeinerung der Versuchsanordnungen und zusätzlichen Meßgrößen, wie sie etwa durch Augenbewegungsregistrierungen oder funktionelle bildgebende Methoden gegeben sind, erscheinen für ein tiefergehendes Verständnis notwendig.

Obwohl sich Labyrinthaufgaben in der vorliegenden Arbeit als nützlicher Untersuchungsansatz erwiesen haben, sollten die problematischen Aspekte dieses Aufgabentyps nicht ignoriert werden. So lassen sich bei der Bearbeitung von Labyrinthen erhebliche intra- und interindividuelle Streuungen beobachten, die im Vergleich zu den Effekten der experimentellen Variablen relativ groß sind. Dies mag zumindest teilweise dadurch erklärbar sein, daß die Bearbeitung von Labyrinthaufgaben in hohem Maße adaptiv ist und vorhergehende Erfahrung bei der Lösung von Labyrinthen zu einer schnellen Anpassung von Lösungsstrategien führten. Auch scheinen Probanden nach einem Fehler ihr weiteres Verhalten im selben Labyrinth zu modifizieren, d.h. die Wahrnehmung eines Fehlers kann vermutlich eine Kaskade von Verhaltensweisen auslösen, die bei einer fehlerfreien Bearbeitung nicht auftreten. So ließ sich bei der Bearbeitung der in der vorliegenden Arbeit verwendeten Labyrinth oft eine Häufung von Fehlern an einzelnen, relativ kurz nach dem Start positionierten Sackgassen beobachten. Während nicht ausgeschlossen werden kann, daß dies durch besondere Merkmale der Weggabelung bzw. der Wegalternative (z.B. ihre Länge oder ihre Orientierung auf das Ziel hin) erklärt werden kann, besteht auch die Möglichkeit, daß die Probanden, haben sie einen Fehler

gemacht, die weitere Verarbeitung so anpassen, daß sie erneute falsche Entscheidung durch besonders sorgfältige Stimulusanalyseprozesse vermeiden. Hier deutet sich die besondere Relevanz von Reihenfolge-Effekten zwischen einzelnen Sackgassen, aber auch zwischen einzelnen Labyrinth an. So werden v.a. in zeitlich zuerst dargebotenen Labyrinth falsche Entscheidungen getroffen. Zwar lassen sich derartige Effekte durch eine Balancierung der Reihenfolge der Bedingungen experimentell kontrollieren, jedoch können sie die Streuung der Daten deutlich erhöhen. Aus diesem Grund scheinen Studien, die sich insbesondere mit der Relevanz von Lern- und Reihenfolge-Effekten, wie auch differentiellen Transfer-Effekten beschäftigen, dringend notwendig.

Ein weiteres Problem stellt der Befund dar, daß die Effekte in den verschiedenen abhängigen Variablen nicht durchgängig über die verschiedenen Labyrinthstrukturen replizierbar waren. So zeigten sich beispielsweise in Untersuchung 1 und 2 unterschiedliche Auswirkungen der Einführung von Weggabelungen auf die Startzeit und die Präzision der Bewegung. Inwieweit dies auf ein unterschiedliches Ausmaß von Erfahrung mit Labyrinthaufgaben generell, auf eine zunehmende Übung der Bewegung, oder aber auf spezifische Eigenschaften der Labyrinthvorlage zurückzuführen ist, bleibt offen. Jedoch scheinen hier auch Untersuchungen zur Reliabilität der verschiedenen Parameter, die zur Beschreibung von Verhalten im Labyrinth - in Abhängigkeit von verschiedenen Merkmalen der Labyrinthaufgaben einschließlich der Struktur des Wegsystems - verwendet werden, notwendig.

Diese vermutlich hohe Adaptivität des Verhaltens bei der Labyrinthbearbeitung stellt auf der anderen Seite auch einen Vorteil dar. Geht man davon aus, daß Kognition eben gerade durch diese Anpassung der Verarbeitungsprozesse auf der Basis früherer Erfahrung gekennzeichnet ist (s. Krieger 1999), stellen Labyrinthaufgaben ein Paradigma dar, daß gute Möglichkeiten zur Untersuchung der Adaptivität kognitiver Prozesse bietet. Jedoch erfordert eine Verwendung von Labyrinthaufgaben in diesem Kontext vermutlich hohe Stichprobenzahlen sowie hohe Anforderungen an die experimentelle Kontrolle, um alternative Erklärungen für beobachtete Effekte auszuschließen. Bei einer weiteren Untersuchung von Einflußfaktoren auf das Verhalten bei der Bearbeitung von Labyrinth scheint auch eine Verwendung von Labyrinthstrukturen sinnvoll, die eine bessere experimentellen Kontrolle unterschiedlicher Charakteristika der Reizvorlage erlauben. So ist neben Details wie einer deutlicheren Trennung von Start-bereich und erster Entscheidungssituation, ein Item-artiger Aufbau der Labyrinth wünschenswert. Dabei sind vermutlich Labyrinthvorlagen, die sich aus möglichst gleichartigen Elementen wie z.B. T- oder U-Stücken zusammensetzen, deren Komplexität metrisch variiert werden kann, den in der vorliegenden Arbeit an die Items des Labyrinth-Test von Porteus (1965) ange-

lehnten Vorlagen vorzuziehen. Dies würde in definierter Weise eine Variation von Merkmalen wie z.B. der Sackgassenlänge erlauben.

Trotz der Schwierigkeiten, die mit Labyrinthaufgaben, bei denen das Wegsystem vollständig sichtbar ist, verbunden sind, stellen sie eine faszinierende Untersuchungsanordnung dar. Jedoch sind vermutlich noch zahlreiche weitere Untersuchungen notwendig, bis ein wirkliches Verständnis der in diese Aufgaben involvierten kognitiven Prozesse möglich ist.

6. Literatur

- ACREDOLO LP, EVANS D (1980) Developmental changes in the effects of landmarks on infantile behavior. *Dev Psychol*, 16: 312-318.
- AGINSKY V, HARRIS C, RENSINK R, BEUSMANS J (1997) Two strategies for learning a route in a driving simulator. *J Environm Psychol*, 17: 317-331.
- AGUIRRE GK, D'ESPOSITO M (1999) Topographical disorientation: a synthesis and taxonomy. *Brain*: 122: 1613-1628.
- AGUIRRE GK, ZARAHN E, D'ESPOSITO M (1998) Neural components of topographical representation. *Proc Natl Acad Sci USA*, 95: 839-846.
- ALLISON LW (1931a) The effect of variation in length of a high-relief finger maze upon rate of learning. *J Genetic Psychol*, 39: 403-407.
- ALLPORT DA (1980) Attention. In: CLAXTON GL (ed) *New directions in cognitive psychology*. London: Routledge & Kegan Paul.
- ALLPORT DA, ANTONIS B, REYNOLDS P (1972) On the division of attention: A disproof of the single channel hypothesis. *Q J Exp Psychol*, 24: 225-235.
- ALPERT R, HABER RN (1960) Anxiety in academic achievement situations. *J Abnorm Social Psychol*, 61: 207-215.
- ALVIS GR, WARD JP, DODSON DL (1989) Equivalence of male and female performance on a tactual-spatial maze. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 27, 29-30.
- ALYAN HS, JANDER R (1994) Short range homing in the house mouse. *Mus Musculus: Stages in the learning of directions*. *Animal Behaviour*, 48: 285-5-298.
- AMTHAUER R (1970) *Handanweisung zum Intelligenzstrukturtest*. Göttingen.
- ANDERSON JR (1995) *Cognitive Psychology*. New York : Freeman.
- ANDREASEN NC (1997a) The evolving concept of schizophrenia: from Kraepelin to the present and future. *Schizophrenia Res*, 28: 105-109.
- ANDREASEN NC (1997b) Linking mind and brain in the study of mental illnesses: A project for a scientific psychopathology. *Science*, 275: 1586-1593.
- ANDY O (1966) Neurosurgical treatment of abnormal behavior. *Am J Med Sci*, 132: 232-238.
- ANNETT M (1967) The binomial distribution of right, mixed and left handedness. *J Exp Psychol*, 19: 327-333.
- APPLEYARD D (1970) Styles and methods of structuring a city. *Env Behav*, 2: 100-117.
- ARCHIBALD YM (1978) Time as a variable in the performance of hemisphere-damaged patients on the Elithorn Perceptual Maze Test. *Cortex*, 14: 22-31.
- BADDELEY AD (1986) *Working Memory*. Oxford: Clarendon Press.
- BADDELEY AD (1993) Working memory or working attention ? In: BADDELEY A, WEISKRANTZ L. eds. *Attention: Selection, Awareness, and Control*. New York: Oxford University Press, pp 152-170.
- BADDELEY AD (1996) Exploring the central executive. *Q J Exp Psychol*, 49: 5-28.
- BADDELEY AD, HITCH G (1974) Working memory. In: BOWER GA (ed) *Recent advances in learning and motivation*. New York: Academic Press, 47-90.
- BADDELEY AD, THOMPSON N, BUCHANAN M (1975) Word length and the structure of short-term memory. *J Verbal Learn Verbal Behav*, 14: 575-589.
- BALKENIUS C (1995). *Natural intelligence in artificial creatures*. Lund University Cognitive Studies 37.
- BALLACHEY EL, BUEL J (1934) Food orientation as a factor determining the distribution of errors in the maze running of the rat. *J Genet Psychol*, 45, 358-370.

- BARKER RG (1932) Factors influencing transfer between finger mazes. *J Gen Psychol*, 6: 115-132.
- BARKER RG (1931) The stepping-stone maze: a directly visible space-problem apparatus. *J Gen Psychol*, 5: 280-285.
- BARNES CA, NADEL L, HONIG WK (1980) Spatial memory deficit in senescent rats. *Canadian J Psychol*, 34: 29-39.
- BARNES CA, SUSTER MS, SHEN J, McNAUGHTON BL (1997) Multistability of cognitive maps in the hippocampus of old rats. *Nature*, 388: 272-275.
- BATALLA MB (1936) The learning curve and the reliability of learning scores in a body maze. *Univ Calif Pub Psychol*, 6: 153-162.
- BECKER AH, DAVIS SF, GROVER CA, ERICKSON CA (1990) Effects of a protein- and tryptophan-deficient diet upon complex maze performance. *Bull Psychonomic Society*, 28: 126-128.
- BECKER JT, WALKER J, OLTON DS (1980) Neuroanatomical basis of spatial memory. *Brain Res*, 200: 307-321.
- BEER J (1988) Hemispheric dominance inferred from Your Style of Learning and Thinking on reports of Necker cube reversals and maze learning. *Perceptual Motor Skills*, 66: 887-890.
- BENNET (1996) Do animals have cognitive maps ? *J Exp Biology*, 199: 219-224.
- BENTON AL, ELITHORN A, FOGEL ML, KERR M (1963) A perceptual maze test sensitive to brain damage. *J Neurol Neurosurg Psychiatr*, 26: 540-544.
- BERG J, WORCHEL P (1956) Sensory contributions to human maze learning: A comparison of matched blind, deaf, and normals. *J Gen Psychol*, 54: 81-93.
- BERITASHVILI IS (1965) Neural mechanisms of higher vertebrate behavior. Boston: Little, Brown.
- BERTHIAUME F, ROBERT M, STONGE R, PELLETIER J (1993) Absence of a gender difference in a haptic version of the water-level task. *Bull Psychonomic society*, 31, 57-60.
- BIEGLER R, MORRIS RGM (1993) Landmark stability is a prerequisite for spatial but not discrimination learning. *Nature*, 361: 631-633.
- BIEGLER R, MORRIS RGM (1996) Landmark stability: studies exploring whether the perceived stability of the environment influences spatial representation. *J Exp Biol*, 199: 187-193.
- BIERSNER RJ (1980) Sex differences in right- and left-hand tactuomotor acquisition practice: *Perceptual Motor Skills*, 50: 986.
- BLADES (1991) The development of the abilities required to understand spatial representations. In: MARK DM, FRANK AU (eds) *Cognitive and linguistic aspects of geographic space*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- BLODGETT HC (1929) The effect of the introduction of reward upon the maze performance of rats. *Univ Calif Publ Psychol*, 4, 113-134.
- BONDY C, COHEN R, EGGERT D, LÜER G (1971) Handanweisung zur Testbatterie für geistig behinderte Kinder (TBGB). Weinheim: Beltz.
- BORTZ J, LIENERT GA, BOEHNKE K (1990) *Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik*. Berlin: Springer.
- BOTTRILL JH (1968) Locomotor learning by the blind and sighted. *Perc Mot Skills*, 26: 282.
- BRACKEN H, von (1952) Wandlungen der menschlichen Persönlichkeit im mittleren und höheren Alter. *Studium generale* 5: 306-315.
- BRACKEN H, von, KANTER G (1960) Über Lernleistung und Intelligenz bei Volksschülern. *Psychol Beitrage*, 5: 335-342.
- BRICKENKAMP R (1997) *Handbuch psychologischer und pädagogischer Tests*. Göttingen: Hogrefe.

- BRIGGS PF (1963) The validity of the Porteus Maze Test completed with the non-dominant hand. *J Clin Psychol*, 19: 427-429.
- BROCA P (1865) Sur la faculte du langage articule. *Bull Memoires Societe D'Anthropologie de Paris*, 6: 377-393.
- BROOKS DN, BADDELEY A (1976) What can amnesic patients learn ? *Neuropsychologia*, 14: 111-122.
- BROWN W (1932) Auditory and visual cues in maze learning; spatial integrations in a human maze. *Calif U Publ Psychol*, 5: 115-134.
- BUCHHOLTZ C (1973) *Das Lernen bei Tieren*. Stuttgart: Fischer Verlag.
- BUEL J (1934) The linear maze. I. "choice-point expectancy", "correctness", and the goal gradient. *J Comp Psychol*, 17: 185-199.
- BUGENTAL DB, COLLINS S, COLLINS L, CHANEY LA (1978) Attributional and behavioral changes following two behavior management interventions with hyperactive boys: A follow-up study. *Child-Development*, 49: 247-250.
- BYRNE RW (1982) Geographical knowledge and orientation. In: ELLIS AW (ed) *Normality and pathology in cognitive functions*. London: Academic Press, p 239-264.
- CANAVAN AGM (1983) Stylus-maze performance in patients with frontal-lobe lesions: Effects of signal valency and relationship to verbal and spatial abilities. *Neuropsychologia*, 21: 375-382.
- CARR H (1917) Maze studies with the white rat. *J Animal Behav*, 7: 259-306.
- CARR H, WATSON JB (1908) Orientation in the white rat. *J Animal Behavior*, 7; 259-306
- CHAPMAN LJ, CHAPMAN JP (1978) The measurement of differential deficit. *J Psychiat Res*, 14: 303-311.
- CHAPUIS F (1959a) *Der Labyrinthtest*. Bern, Huber.
- CHAPUIS F (1959b) *Der Labyrinthtest (LT)*. *Diagnostica* 5: 43-45.
- CHOU SK (1929) A universal finger maze: the pattern box; maze pattern and maze construction. *J Gen Psychol*, 2: 527-532.
- CIPS, Collegium Internationale Psychiatriae Salarum (1996) *Internationale Skalen für Psychiatrie*. Göttingen: Beltz Test GmbH.
- CLARKE S, ASSAL G, TRIBOLET de N (1993) Left hemisphere strategies in visual recognition, topographical orientation and time planning. *Neuropsychologia*, 31: 99-113.
- CLEAVES WT, ROYAL RW (1979) Spatial memory for configurations by congenitally blind, late blind, and sighted adults. *J Visual Impairment Blindness*, 73: 13-19.
- COHEN R (1992) Probleme bei der Erfassung kognitiver Störungen bei endogenen Psychosen. In: GAEBEL W, LAUX G (eds) *Biologische Psychiatrie*. Berlin: Springer, 183-188.
- COLBY CL, DUHAMEL JR (1991) Heterogeneity of extrastriate visual areas and multiple parietal areas in the macaque monkey. *Neuropsychologia*, 29: 517-537.
- COLBY CL, GOLDBERG ME (1999) Space and attention in parietal cortex. *Ann Rev Neuroscience*, 22: 319-349.
- COLONNA A, FAGLIONI P (1966) The performance of hemisphere-damaged patients on spatial intelligence tests. *Cortex*, 2: 293-307.
- CONNERS CK, TAYLOR E (1980) Pemoline, methylphenidate, and placebo in children with minimal brain dysfunction. *Arch Gen Psychiatry*, 37: 922-930.
- COOK TW (1937) Distribution of practice and size of maze pattern. *Br J Psychol*, 27: 303-312.
- COOK D, KESNER RP (1988) Caudate nucleus and memory for egocentric localization. *Behavioral Neural Biol*, 49: 332-343.
- COREY SM (1931) An inexpensive finger maze. *Am J Psychol*, 43: 502.

- CORKIN S (1965) Tactually guide maze learning in man: Effects of unilateral cortical excisions and bilateral hippocampal lesions. *Neuropsychologia*, 3: 339-351.
- CORKIN S (1968) Acquisition of motor skill after bilateral medial temporal lobe excision. *Neuropsychologia*, 6: 255-265.
- COTLER S, PALMER RJ (1970) The effects of test anxiety, sex of subjects, and type of verbal reinforcement in maze performance of elementary school children. *J Personality*, 38: 216-234.
- CRAMON, von D (1988) Planen und Handeln. In: Cramon, von D, Zihl J (Hrsg) *Neuropsychologische Rehabilitation*. Berlin: Springer, S. 248-263.
- CRAMON, von D, CRAMON von G (1995) Problemlösendes Denken. In: CRAMON von D, MAI N, ZIEGLER W (eds) *Neuropsychologische Diagnostik*. Weinheim: Chapman & Hall, 123-152.
- CRAMON, von D, MAI N, ZIEGLER W (1995) *Neuropsychologische Diagnostik*. Weinheim: Chapman & Hall.
- CRANACH MV, KALBERMATTEN U, INDERMÜHLE K, GUGGLER B (1980) *Zielgerichtetes Handeln*. Bern: Huber.
- CREUTZFELD OD (1983) *Cortex Cerebri*. Berlin: Springer.
- DAIGNEAULT S, BRAUN CM, WHITAKER HA (1992). Early effects of normal aging on perservative and non-perservative prefrontal measures. *Developmental Neuropsychol*, 8, 99-114.
- DAMASIO A, ANDERSON SW (1993) The frontal lobes. In: HEILMAN KM, VALENSTEIN E (eds) *Clinical Neuropsychology*. New York: Oxford University Press, 409-460.
- DASHIELL JF (1930) Direction orientation in maze running by the white rat. *Comp Psychol Monogr*, 32.
- DASHIELL JF, BAYROFF AG (1931) A forward-going tendency in maze running. *J Comp Psychol*, 12: 77-94.
- DAVIES ADM (1965) The perceptual maze test in a normal population. *Percep Motor Skills*, 20: 287-293.
- DAVIES AD, DAVIES MG (1965) The difficulty and graded scoring of Elithorn's Perceptual Maze Test. *Br J Psychol*, 56: 295-302.
- DAVIS FC (1933) Effect of maze rotation upon subjects reporting different methods of learning and retention. *Univ Calif Publ Educ Philosophy Psycho*, 1: 47-64.
- DECROLEY, BUYSSE (1928) *La pratique des tests mentaux*. Paris.
- DELLA-SALLA S, GRAY C, SPINNLER H, TRIVELLI C (1998) Frontal lobe functioning in man: The riddle revisited. *Arch Clin Neuropsychol*, 13: 663-682.
- DENENBERG VH (1960) The relationship between a measure of kinaesthesia and two indices of adjustment. *J Gen Psychol*, 62: 43-52.
- DENNIS W (1932) Multiple visual discrimination in the block elevated maze. *J Comparative Physiological Psychol*, 13: 391-396.
- DEVLIN AS (1976) The "small town" cognitive map: adjusting to a new environment. In: MOORE GT, GOOLEEDGE RG (eds) *Environmental knowing*. Pennsylvania: Dowden, Hutchinson & Ross, 58-66.
- DIEHL JM, ARBINGER R (1990) *Einführung in die Inferenzstatistik*. Eschborn bei Frankfurt/Main: Klotz.
- DOCTER RF (1960a). Interrelationships among Porteus Maze Test qualitative errors. *J Clin Psychol*, 16, 336-338.
- DOCTER RF (1960b) Test-retest performance of schizophrenics on two forms of the Porteus Mazes. *J Clin Psychol*, 16: 185-187.
- DOCTER RF, WINDER CL (1954) Delinquent vs nondelinquent performance on the Porteus Qualitytive Maze Test. *J Consulting Psychol*, 18: 71-73.

- DONDERS FC (1868) Die Schnelligkeit psychischer Prozesse. Reicherts's & Dubois Archiv für Anatomie, Physiologie und Wissenschaftliche Medizin: 657-681.
- DÖRNER D (1990) Die Logik des Mißlingens: Strategisches Denken in komplexen Situationen. Hamburg: Rowohlt.
- DUNCAN BK (1934) A comparative study of finger maze learning by blind and sighted subjects. *J Genetic Psychol*, 44: 69-95.
- EGGERT D (1975) Handanweisung zum Hannover WECHSLER Intelligenztest für das Vorschulalter. Stuttgart.
- ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA CD-Version 98.
- ELITHORN A (1955) A preliminary report on a perceptual maze test sensitive to brain damage. *J Neurol Neurosurg Psychiat*, 18; 287-292.
- ELITHORN A (1964) Intelligence, perceptual integration and the minor hemisphere syndrome. *Neuropsychologia*, 2: 327-332.
- ELITHORN A, JONES D, KERR M, LEE D (1964) The effects of the variation of two physical parameters on empirical difficulty in a perceptual maze test. *Br J Psychol*, 55: 31-37.
- ELITHORN A, MORNINGTON S, STAVROU A (1982) Automated psychological testing: Some principles and practice. *Int J Man Machine Studies*, 17: 247-263.
- ELLIS NR, PRYER MW, DISTEFANO MK, PRYER RS (1960) Learning in mentally defective, normal, and superior subjects. *Am J Men Deficiency*, 64: 725-734.
- ETIENNE AS (1992) Navigation of a small mammal by dead reckoning and local cues. *Current Directions in Psychological Science*, 1: 48-52.
- ETIENNE AS, JORIS-LAMBERT S, DAHN-HURNI C, REVERDIN B (1995) Optimizing visual landmarks. *J Exp Biology*, 199: 201-209.
- ETIENNE AS, MAURER R, SEGUINOT V (1996) Path integration in mammals and its interaction with visual landmarks. *J Exp Biology*, 39: 17-41.
- FARAH MJ (1988) Is visual imagery really visual ? Overlooked evidence from neuropsychology. *Psychological Review*, 95, 307-317.
- FARBER IE, SPENCE KW (1953) Complex learning and conditioning as a function of anxiety. *J Exp Psychol*, 44: 120-125.
- FEIGENBAUM JD, POLKEY CE, MORRIS RG (1996) Deficits in spatial working memory after unilateral temporal lobectomy in man. *Neuropsychologia*, 34: 136-176.
- FELDKAMP A (1989) Zum Vergleich taktil-motorischen Lernens am Handlabyrinth und visuellen Lernens an der Computersimulation: Geschlechterunterschiede und Transferlernen. Diplomarbeit, Philipps-Universität Marburg
- FIRESTONE P, POITRAS-WRIGHT H, DOUGLAS V (1978) The effects of caffeine on hyperactive children. *J Learning Disabilities*, 11: 133-141.
- FLITMAN S, O'GRADY J, COOPER V, GRAFMAN J (1997) PET imaging of maze processing. *Neuropsychologia*, 35: 409-420.
- FOULDS GA (1951) Temperamental differences in maze performance. *Brit J Psychol*, 43: 33-41.
- FOULDS GA (1952) Temperamental differences in maze performance: Part II: The effect of distraction and electro-convulsive therapy on psychomotor retardation. *Brit J Psychol*, 43: 33-41.
- FOULDS GA, OWEN A (1963) Speed and accuracy on mazes in relation to diagnosis and personality. *Brit J Soc Clin Psychol*, 3: 34-35.
- FOREMAN N, WARRY R, MURRAY P (1990) Development of reference and working spatial memory in preschool children. *J Gen Psychol*, 117: 267-276.
- FRACKOWIAK RSJ, FRISTON KJ, FRITH CD, DOLAN RJ, MAZIOTTA JC (1997) Human brain function. San Diego: Academic Press.

- FRISTON KJ (1997a) SPM Short course notes. Institute of Neurology, Wellcome Dept of Cognitive Neurology.
- FRISTON KJ (1997b) Linking brain and behaviour. In: FRACKOWIAK RSJ, FRISTON KJ, FRITH CD, DOLAN RJ, MAZIOTTA JC. Human brain function. San Diego: Academic Press.
- FRITTS MR, ASBURY ET, HORTON JE, ISSAC WL (1998) Medial prefrontal lesion deficits involving or sparing the prelimbic area in the rat. *Physiology & Behavior*, 64: 373-380.
- FRÖHLICH WD, EULER HA (1967) Triebniveau (manifeste Angst), Leistungsmotivation und T-Labyrinth-Lernen. *Z Exp Angew Psychologie*, 14: 117-134.
- FUSTER JM (1989) The prefrontal cortex. New York: Raven Press.
- GALLHOFER B (1999) Messung der kognitiven Leistungsfähigkeit mit Hilfe von kognitiven Funktionstests - Untersuchungen mit Labyrinthaufgaben. *Fortschr Neurol Psychiat*, 67, S64-S69.
- GALLHOFER B, BAUER U, GRUPPE H, KRIEGER S, LIS S (1996a) First episode schizophrenia: the importance of compliance and preserving cognitive function. *J Practical Psychological Behavioural Health*, 2, 16-24.
- GALLHOFER B, BAUER U, LIS S, KRIEGER S, GRUPPE H (1996b) Cognitive dysfunction in schizophrenia: comparison of treatment with atypical antipsychotic agents and conventional neuroleptic drugs. *European Neuropsychopharmacology*, 6, 13-20.
- GALLHOFER B, KRIEGER S, LIS S, HARGARTER L, RÖDER C, LAMMERS C, MEYER-LINDENBERG A. (1997) Cognitive Dysfunction in Schizophrenia: Maze-Solving Behavior in Treated and Untreated Patients. *CNS Spectrums*, 6: 26-42.
- GALLHOFER B, LIS S, MEYER-LINDENBERG A, KRIEGER S. (1999) Cognitive dysfunction in schizophrenia: a new set of tools for the assessment of cognition and drug effects. *Acta Psychiatr Scand*, 99 suppl 395, 118-128.
- GALLISTEL CR (1990) The organization of learning. Cambridge: MIT Press.
- GALLISTEL CR, CRAMER AE (1996) Computations on metric maps in mammals. Getting oriented and choosing a multi-destination route. *J Exp Biology*, 199: 211-217.
- GARLING T, SELART M, BOOK A (1997) Investigating spatial choice and navigation in large scale environments. In: FOREMAN N, GILLET R (eds) A handbook of spatial research paradigms and methodologies. East Sussex, UK: Psychology Press, 153-180.
- GÄRLING T, BÖÖK A, LINDENBERG E (1984) Cognitive mapping of large scale environments. The interrelationships of action plans, acquisition and orientation. *Environment Behavior*, 16: 3-34.
- GASS CS, ANSLEY J, BOYETTE S (1994) Emotional correlates of fluency test and maze performance. *J Clin Psychol*, 50, 586-590.
- GEORGES FP, ROLLS ET, ROBERTSON RG (1999) Spatial view cells in the primate hippocampus: Allocentric view not head direction or eye position or place. *Cerebral Cortex*, 9, 197-212.
- GHATAN PH, HSIEH JC, WIRSEN-MEURLING A, WREDLING R, ERIKSSON L, STONE-ELANDER S, LEVANDER S, INGVAR M (1995) Brain activation induced by the perceptual maze test: A PET study of cognitive performance. *Neuroimage*, 2: 112-124.
- GIBSON HB (1964) The spiral maze, a psychomotor test with implications for the study of delinquents. *Br J Psychol*, 55: 219-225.
- GLASSMAN RB, LENIEK KM, HAEGERICH TM (1998) Human working memory is 7 +/- 2 in a radial maze with distracting interruption: Possible implication for neural mechanisms of declarative and implicate long-term memory. *Brain Res Bull*, 47: 249-256.
- GLENN MJ, MUMBY DG (1998) Place memory in intact rats with perirhinal cortex lesions. *Behav Neuroscience*, 112: 1353-1365.
- GOLDBERG TE, GOLD JM (1995) Neurocognitive deficits in schizophrenia. In: Hirsch SR, WEINBERGER DR (eds) Schizophrenia. Oxford: Blackwell, 146-162.
- GOLDIN SE, THORNDYKE PW (1982) Simulating navigation for spatial knowledge acquisition. *Hum Factors*: 24: 457-471.

- GOLDMAN-RAKIC PS (1988) Topography of cognition: parallel distributed networks in primate association cortex. *Ann Rev Neuroscience*, 11: 137-156.
- GOODRICK CL (1972) Learning by mature-young and aged Wistar albino rats as a function of test complexity. *J Gerontology*, 27: 353-357.
- GOOLEGE RG, RUGGLES AJ, PELLEGRINO JW, GALE ND (1993) Integrating route knowledge in an unfamiliar neighborhood: Along and across route experiments. *J Environm Psychol*, 13: 293-307.
- GOODALE MA (1995) The cortical organisation of visual perception and visuomotor control. In: KOSSLYN S, OSHERSON DN (eds) *Visual cognition*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, pp 167-213.
- GOODALE MA, HUMPHREY GK (1998) The objects of action and perception. *Cognition*, 67, 181-207.
- GOPHER D, NAVON D (1980) How is performance limited? Testing the notion of central capacity. *Acta Psychologica*, 46: 161-180.
- GOULD MC, PERRIN FAC (1916) A comparison of the factors involved in the maze learning of human adults and children. *J Exp Psychol*, 1: 122-154.
- GOUROVITCH ML, GOLDBERG TE (1996) Cognitive deficits in schizophrenia: attention, executive functions, memory and language processing. In: PANTELIS C, NELSON HE, BARNES TRE (eds) *Schizophrenia*. Chichester: John Wiley & Sons.
- GOW L, WARD J (1982a) The Porteus Maze test in the measurement of reflection/impulsivity. *Percept Motor Skills*, 54: 1043-1052.
- GOW L, WARD J (1982b) Extension of the use of measures of cognitive style to moderately-severely retarded trainees in a field setting. *Percept Motor Skills*, 55: 191-194.
- GREEN MF. *Schizophrenia from a Neurocognitive Perspective*. Boston: Allyn and Bacon, 1998.
- GREENBERG LM, DEEM MA, McMAHON S (1972) Effects of dextroamphetamine, chlorpromazine, and hydroxyzine on behavior and performance in hyperactive children. *Am J Psychiatry*, 129: 532-539.
- GROSSE DA, WILSON RS, FOX JH (1991) Maze learning in Alzheimer's disease. *Brain Cognition*, 15: 1-9.
- HAALAND KY, DELANEY HD (1981) Motor deficits after left or right hemisphere damage due to stroke or tumor. *Neuropsychologia*, 19: 12-27.
- HANEY GW (1931) The effect of familiarity on maze performance of albino rats. *Calif Univ Publ Psychol*, 4: 319-333.
- HEATON RK (1981) *Wisconsin Card Sorting Manual*. Odessa, FL: Psychological Assessment Resources.
- HECKHAUSEN H (1980) *Motivation und Handeln*. New York: Springer.
- HELMERS KF, YOUNG SN, PIHL RO (1995) Assessment of measures of impulsivity in healthy male volunteers. *Personality Individual Differences*, 19: 927-935.
- HICKS VC, CARR H (1912) Human reactions in a maze. *J Anim Behav*, 2: 98-125.
- HIRTLE SC, HUDON J (1991) Acquisition of spatial knowledge for routes. *J Env Psychol*, 11: 335-345.
- HODGES H (1996) Maze procedures: the radial-arm and water maze compared. *Cognitive Brain Research*, 3: 167-181.
- HODGES H, GREEN S (1986) Chlordiazepoxide-induced disruption of radial maze exploration in rats. *Psychopharmacology*, 88: 460-466.
- HOFFMANN JE (1990) Event-related potentials and automatic and controlled processes. In: ROHRBAUGH JW, PARASURAMAN R, JOHNSON R Jr. eds. *Event-Related Brain Potentials, Basic Issues and Applications*. New York: Oxford University Press, 145-157.
- HONZIK CH (1936) The sensory basis of maze learning in rats. *Comparative Psychol Monographs*, 13: 1-113.

- HORN van JD, GOLD J, ESPOSITO G, OSTREM J, WEINBERGER D, BERMAN K (1994) The role of the frontal lobe during maze learning assessed using PET. *Biol Psychiatry, Abstract*.
- HORN van JD, GOLD JM, ESPOSITO G, OSTREM JL, MATTAY V, WEINBERGER DR, BERMAN KF (1998) Changing patterns of brain activation during maze learning. *Brain Res*, 793: 29-38.
- HOWARD R, McKILLEN M (1990) Extraversion and performance in the Perceptual Maze Test. *Personality Individual Differences*. 11: 391-396.
- HULL CL (1932) The goal gradient hypothesis and maze learning. *Psychol Rev*, 39: 25-43.
- HUSBAND RW (1928) Human learning on a four-section, elevated, finger maze. *J Gen Psychol*, 1: 15-28.
- HUSBAND RW (1930) Certain age effects on maze performance. *J Genet Psychol*, 37, 325-328.
- HUSBAND RW (1931a) Comparative behavior on different types of mazes. *J Gen Psychol*, 5: 234-244.
- HUSBAND RW (1931b) Analysis of methods in human maze learning. *J Genetic Psychol*, 39: 258-278.
- HUSSY W (1984) *Denkpsychologie*. Bd.1. Stuttgart: Kohlhammer.
- INGVAR M, GHATAN PH, WIRSEN-MEURLING A, RISBERG J, vonHEIJNE G, STONE-ELANDER S, INGVAR DH (1998) Alcohol activates the cerebral reward system in man. *J Studies on Alcohol*, 59: 258-269.
- ISREAL J, CHESNEY G, WICKENS CD, DONCHIN E (1980a) P300 and tracking difficulty: Evidence for a multiple capacity view of attention. *Psychophysiology*, 17: 259-273.
- ISREAL J, WICKENS CD, CHESNEY G, DONCHIN E (1980b) The event-related brain potentials as a selective index of display monitoring load. *Human Factors*, 22: 211-224.
- IVRY R (1996) Representational issues in motor learning. In: HEUER H, KEELE SW (eds) *Handbook of perception and action: Vol.2 Motor skills*. London: Academic Press, 263-330.
- JANKE W, DEBUS G (1978) *Die Eigenschaftswörterliste*. Göttingen: Hogrefe.
- JARRARD LE (1993) On the role of the hippocampus in learning and memory in the rat. *Behavioral Neural Biology*, 60: 9-26.
- JONG de BM, FRACKOWIAK RSJ, WILLEMSEN ATM, PAANS AMJ (1999) The distribution of cerebral activity related to visuomotor coordination indicating perceptual and executive specialization. *Cog Brain Res*, 8: 45-59.
- JUNG MW, QUIN Y, McNAUGHTON BL, BARNES CA (1998) Firing characteristics of deep layer neurons in prefrontal cortex in rats performing spatial working memory tasks. *Cerebral Cortex*, 8: 437-450.
- KAGAN J (1966) Reflection - impulsivity: the generality and dynamics of conceptual tempo. *J Abnorm Psychol*, 71: 17-24.
- KAHNEMAN D (1973) *Attention and effort*. Engelwood Cliffs New York: Prentice Hall.
- KALLENBACH K (1976) Zusammenhänge zwischen Labyrinthlernen und Intelligenz- bzw. Gedächtnisleistungen. *Psychologische Beiträge*, 18, 600-609.
- KALLENBACH K (1979) Dimensionen des Lernerfolges beim Labyrinthlernen. Göttingen: Hogrefe.
- KANTER GO (1967) Experimentelle Untersuchungen zu Problemen der Lernbehinderung bei Sonderschülern. *Heilpädagog Forsch*, 1: 11-17.
- KARNATH HO, WALLESCHE CW (1992) Inflexibility of mental planning: a characteristic disorder with prefrontal lobe lesions? *Neuropsychologia*, 30: 1011-1016.
- KARNATH HO, WALLESCHE CW, ZIMMERMANN P (1991) Mental planning and anticipatory processes with acute and chronic frontal lobe lesions: a comparison of maze performance in routine and non-routine situations. *Neuropsychologia*, 29: 271-290.

- KEELE SW, SUMMERS JJ (1976) The structure of motor programs. In: STELMACH GE (ed) *Motor control: issues and trends*. New York: Academic Press, 109-141.
- KENT GH (1911) Experiments on habit formation in dementia praecox. *Psychol Rev*, 18: 375-410.
- KESNER RP, JACKSON-SMITH P (1992) Neurobiology of an attribute model of memory: Role of prefrontal cortex. In: GORMEZANO I, WASSERMAN EA (eds) *Learning and memory: The behavioral and biological substrates*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, 251-273.
- KESNER RP, FARNSWORTH G, DiMATTIA BV (1989) Double dissociation of egocentric and allocentric space following medial prefrontal and parietal cortex lesions in the rat. *Behavioral Neuroscience*, 103: 956-961.
- KING R, CORWIN JV (1992) Spatial deficits and hemispheric asymmetries in the rat following unilateral and bilateral lesions of posterior parietal or medial agranular cortex. *Behav Brain Res*, 50: 53-68.
- KING DJ, HENRY G (1992) The effect of neuroleptics on cognitive and psychomotor function: A preliminary study in healthy volunteers. *Br J Psychiatry*, 160: 647-653.
- KITCHIN RM (1994) Cognitive maps: what are they and how to study them? *J Environmental Psychol*, 14, 1-19.
- KLEIN RG (1990) Thioridazine effects on the cognitive performance of children with attention-deficit hyperactivity disorder. *J Child Adolescent Psychopharmacol*, 1: 263-270.
- KLINTEBERG B, LEVANDER SE, SCHALLING D (1987) Cognitive sex differences: speed and problem-solving strategies on computerised neuropsychological tasks. *Percept Motor Skills*, 65, 683-697.
- KOLB B, IQ WISHAW (1995) *Fundamentals of human neuropsychology*. New York: Freeman.
- KOLB B, BURHMANN K, McDONALD R, SUTHERLAND RJ (1994) Dissociation of the medial prefrontal, posterior parietal and posterior temporal cortex for spatial navigation and recognition memory in the rat. *Cerebral Cortex*, 6: 664-680.
- KONDO F (1996) A consideration of the hypothesis of frontal lobe dysfunction in attention deficit hyperactivity disorder. *Japanese J Spec Education*, 33: 51-61.
- KOSSLYN SM (1988) Aspects of a cognitive neuroscience of mental imagery. *Science*, 240, 1621-1626.
- KRAEPELIN E (1896⁵) *Psychiatrie*. Leipzig: Barth.
- KRAMER J (1971) *Labyrinth-Test nach Porteus: LT-P*. Antonius: Solothurn.
- KRIEGER S (1999) *Funktionell isolierbare kognitive Subprozesse und schizophrene Störungen*. Dissertation, Justus-Liebig-Universität, Giessen.
- KRIEGER S, LIS S, GALLHOFER B (1998) Labyrinthaufgaben bei schizophrenen Patienten: Interaktionen von Perzeption und Handlung. In: MÖLLER HJ, MÜLLER N (Hrsg) *Schizophrenie - Moderne Konzepte zu Diagnostik, Pathogenese und Therapie*. Berlin: Springer, S. 243-253.
- KRIEGER S, LIS S, GALLHOFER B (im Druck a) Cognitive sub-processes and schizophrenia: A. Reaction time decomposition. *Acta Psychiatr Scand*.
- KRIEGER S, LIS S, GALLHOFER B (im Druck b) Cognitive sub-processes and schizophrenia: B. Maze Tasks. *Acta Psychiatr Scand*.
- KRIEGER S, LIS S, RUNZHEIMER P, GALLHOFER B (im Druck). Differentiation of anti-psychotic treatment strategies by reaction time decomposition in chronically ill schizophrenic patients. *Z Neuropsychologie*.
- KRIKORIAN R, BARTOK JA (1998) Developmental data for the Porteus Maze Test. *Clin Neuropsychologist*, 12: 305-310.
- LAWTON CA (1994) Gender differences in way-finding strategies: relationships to spatial ability and spatial anxiety. *Sex Roles*: 30: 765-779.

- LASHLEY KS (1918) A simple maze: with data on the relation of the distribution of practice to the rate of learning. *Psychobiol*, 1: 353-367.
- LAUNAY M (1983) Complexite de la tache et representation dans l'apprentissage spatial chez l'homme. *Cahiers Psychologie Cognitive*, 3: 147-157.
- LAUX L, GLANZMANN P, SCHAFFNER P, SPEILEBERGER CD (1981) Das Stait-Trait-Angstinventar. Theoretische Grundlagen und Handanweisung. Weinheim: Beltz Test GmbH.
- LEHNUNG M, LEFLOW B, FRIEGE L, HERZOG A, FERSTL R, MEHDORN M (1998) Development of spatial memory and spatial orientation in preschoolers and primary school children. *Br J Psychol*, 89: 463-480.
- LEVANDER S (1987) Evaluation of cognitive impairment using a computerised neuropsychological test battery. *Nordisk Psykiatrisk Idsskrift*, 41: 417-422.
- LEVANDER S, ELITHORN A (1986) An automated psychological test system. Manual. Trondheim: Institute of Psychiatry, University of Trondheim.
- LEVANDER M, LEVANDER SE, SCHALLING D (1989) Hand preference and sex as determinants of neuropsychological skill, solving strategy and side preference. *Intelligence*, 13: 93-111.
- LEZAK MD (1976) Neuropsychological assessment. New York: Oxford University Press.
- LI H, MATSUMOTO K, WATANABE H (1999) Fifferent effects of unilateral and bilateral lesions in rats on the performance of radial maze and odor-paired associate tasks. *Brain Res Bull*, 48: 113-119.
- LIENERT GA (1961) Testaufbau und Testanalyse. Weinheim: Beltz.
- LIS S, WILHELM J, GALLHOFER B, KRIEGER S (2000) Visual feedback in maze solving of schizophrenic patients. *Schizophrenia Res*: 41, 293-294.
- LOGIE RH (1986) Visuo-spatial processing in working memory. *Q J Exp Psychol*, 38A, 229-247.
- LOGIE RH, ZUCCO GM, BADDELEY AD (1990) Interference with visual short-term memory. *Acta Psychologica*, 75, 55-74.
- LORING-MEIER S, HALPERN DF (1999) Sex differences in visuospatial working memory: Components of cognitive processing. *Psychonomic Bull Rev*, 6: 464-471.
- MACFARLANE DA (1930) The role of kinesthesia in maze learning. *Calif Univ Publ Psychol*, 4: 277-305.
- MACK JL, PATTERSON MB (1995) Executive dysfunction and Alzheimer's disease: performance on a test of planning ability, the Porteus Maze Test. *NeuroPsychol*, 9, 556-564.
- MAGUIRE EA, BURGESS N, DONNETT JG, FRACKOWIAK RSJ, FRITH CD, O'KEEFE (1998) Knowing where and getting there: a human navigation network. *Science*, 280: 921-924.
- MALHOTRA L, MALHOTRA D, JERATH JM (1989) Speed and accuracy in learning as a function of personality. *J Personality Clin Studies*, 5, 5-8.
- MARR D. (1982) Vision. New York: Freeman.
- MATSUMURA N, NISHIJO H, TAMURA R, EIFUKU S, ENDO S, ONO T (1999) Spatial- and task-dependent neuronal responses during real and virtual translocation in the monkey hippocampal formation. *J Neuroscience*, 19: 2381-2393
- MAYES AR (1988) Human organic memory disorders. Cambridge University Press: Cambridge.
- McANDREW FT (1993) Environmental psychology. Galesburg: Knox Coll.
- McDANILE WF, VIA JD, SMITH JS, WELLS DL (1995) Unilateral injury of posterior parietal cortex and spatial learning in the hooded rats. *Behav Brain Res*, 70, 165-179.
- McDONALD RJ, WHITE NM (1994) Parallel information processing in the water maze: evidence for independent memory systems involving dorsal striatum and hippocampus. *Behavioral Neural Biol*, 61: 260-270.

- McDONALD TP, PELLEGRINO (1993) Psychological perspectives on spatial cognition. In: GARLING T, GOLLEDGE RG (eds) *Behavior and Environment: Psychological and Geographical Approaches*. Amsterdam: Elsevier, 47-82.
- McGEOCH JA, IRION AL (1961) *The psychology of human learning*. New York.
- McGLONE J (1980) Sex differences in human brain asymmetry: a critical survey. *Behav Brain Sciences*, 3, 215-227.
- McNAUGHTON BL, MIZUMORI SJY, BARNES CA, LEONARD BJ, MARQUIS M, GREEN EJ (1994) Cortical representation of motion during unrestrained navigation in the rat. *Cerebral Cortex*, 4: 27-39.
- MEICHENBAUM DH, GOODMAN J (1971) Training impulsive children to talk to themselves: a means of developing self-control. *J Abnorm Psychol*, 77, 115-126.
- MEIER MJ, FRENCH LA (1966) Longitudinal assessment of intellectual functioning following unilateral temporal lobectomy. *J Clin Psychol*, 22: 22-27.
- MERRY RV, MERRY FK (1934) The finger maze as a supplementary test of intelligence for blind children. *J Genetic Psychol*, 44: 227-230.
- MESULAM MM (1985) *Principles of Behavioural Neurology*. Philadelphia: Davis.
- MEYER-LINDENBERG A, GRUPPE H, BAUER U, LIS S, KRIEGER S, GALLHOFER B (1997) Improvement of cognitive function in schizophrenic patients receiving clozapine or zotepine: results from a double-blind study. *Pharmacopsychiatry*, 30, 35-42.
- MIER van H, HULSTIJN W, PETERSEN SE (1993) Changes in motor planning during the acquisition of movement pattern in a continuous task. *Acta Psychol*, 82: 291-312.
- MIER van H, TEMPEL LW, PERLMUTTER JS, RAICHLE ME, PETERSEN SE (1998) Changes in brain activity during motor learning measured with PET: effects of hand of performance and practice. *J Neurophysiol*, 80, 2177-2199.
- MILES WR (1928) The high relief finger maze for human learning. *J Gen Psychol*, 1: 3-14.
- MILICH R, KRAMER J (1984) Reflections on impulsivity: An empirical investigation of impulsivity as a construct. *Advances Learning Behavioral Disabilities*, 3: 57-94.
- MILLER GA (1956) The magical number seven plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychol Rev*, 63: 81-97.
- MILLER VM, BEST PJ (1980) Spatial correlates of hippocampal unit activity are altered by lesions of the the fornix and entorhinal cortex. *Brain Res*, 194: 311-323.
- MILLER GA, GALANTER E, PRIBRAM KH (1960) *Plans and the structure of behavior*. New York: Holt.
- MILNER B (1962) Les troubles de la memoire accompagnant des lesions hippocampiques bilaterales. In: *Physiologie de l'hippocampe*. Paris: CNRS, 257-272.
- MILNER B (1963) Effects of different brain lesions on card sorting. *Arch Neurol*, 9: 90-100.
- MILNER B (1965) Visually-guided maze learning in man: effects of bilateral hippocampal, bilateral frontal, unilateral cerebral lesion. *Neuropsychologia*, 3: 317-338.
- MILNER B, CORKIN S, TEUBER HL (1968) Further analysis of the hippocampal amnesic syndrome: 14 years follow up study of H.M. *Neuropsychologia*, 6: 215-234.
- MINOR K, PARK S (1999) Spatial working memory: Absence of gender differences in schizophrenic patients and healthy control subjects. *Biol Psychiatry*, 46: 1003-1005.
- MISHKIN M, APPENZELLER T (1987) The anatomy of memory. *Scientific Am*, 256: 80-89.
- MISHKIN M, UNGERLEIDER LG, MACKO KA (1983) Object vision and spatial vision: Two cortical pathways. *Trend Neuroscience*, 6: 414-417.
- MITTELSTAEDT H, MITTELSTAEDT ML (1980) Homing by path integration. In: PAPI F, WALLRAFF HG (eds) *Avian navigation*. New York: Springer: 290-297.
- MITTELSTAEDT H, MITTELSTAEDT-BURGER ML (1973) Mechanismen der Orientierung ohne richtende Außenreize. *Fortschritte Zoologie*, 21: 46-58.

- MITTELSTAEDT ML, GLASAUER S (1991) Idiopathic navigation in gerbils and humans. *Zoologische Jahrbücher – Abt für Zoologie und Physiologie der Tiere*, 95: 427-435.
- MIZUMORI SJY, WILLIAMS JD (1993) Directionally selective mnemonic properties of neurons in the lateral dorsal nucleus of the thalamus of the rat. *J Neuroscience*, 13: 4015-4028.
- MOESER SD (1988) Cognitive mapping in a complex building. *Env Behav*, 20: 21-49.
- MONIZ E (1937) Prefrontal leucotomy in the treatment of mental disorders. *Am J Psychiatry*, 93: 1379-1385.
- MONTELLO DR (1998) A new framework for understanding the acquisition of spatial knowledge in large-scale environments. In: EGENHOFER H, GOLLEDGE R (eds) *Spatial and temporal reasoning in geographic information systems*. Oxford: Oxford University Press, 143-154.
- MORDOCK JB (1968) Maze learning: The effects of variations in practice conditions, age, and intelligence. *Am J Ment Defic*, 73: 113-117.
- MORRIS RGM (1981) Spatial localization does not require the presence of local cues. *Learning and Motivation*, 12: 239-260.
- MUELLER G, RICHTER RA, WEISBROD S, KLINGBERG F (1990) Labyrinth learning impairment in patients with early symptoms of presenile dementia. *Gerontology*, 36: 145-149.
- NATHAWAT SS, BORDIA S (1988) Porteus Maze as a measure of behavioral impulsivity in school going children. *Indian J Clin Psychol*, 15: 45-48.
- NAVON D (1985) Attention division or attention sharing ? In: POSNER MI, MARIN OS (eds) *Attention and performance XI*. Hillsdale: Erlbaum, 133-146.
- NAVON D, GOPHER D (1979) On the economy of the human processing systems. *Psychol Rev*, 86, 254-255.
- NEIDHART G (1981) Verbale positive Verstärkung in einem Tischlabyrinthversuch mit Jugendlichen unter Berücksichtigung schulischer Relevanz. Staatsexamensarbeit. Philipps-Universität, Marburg.
- NEUMANN O (1989) Kognitive Vermittlung und direkte Parameterspezifikation. Zum Problem mentaler Repräsentation in der Wahrnehmung. *Sprache und Kognition*: 8, 32-49.
- NEVO B, ARRONSON H, ISRAELI S (1984) Multiple-choiceing the Maze Test. *Percept Motor Skills*, 58, 923-928.
- NICKERSON RS (1973) The use of binary-classification tasks in the study of human information processing: a tutorial survey. In: KORNBLUM S (ed) *Attention and performance*. New York: Academic Press. 449-475.
- NISSEN MJ, WILLINGHAM D, HARTMAN M (1989) Explicit and implicit remembering: When is learning preserved in amnesia ? *Neuropsychologia*, 27: 341-352.
- NORDEN J (1953) *Anleitung zur Intelligenzprüfung nach Binet-Bobertag*. Stuttgart.
- NORMAN DA, BOBROW D (1975) On data-limited and resource-limited processing. *J Cognitive Psychol*, 7: 44-60.
- NORMAN DA, SHALLICE T (1986) Attention to action: willed and automatic control of behavior. In: DAVIDSON RJ, SCHWARTZ GE, SHAPIRO D.eds. *Consciousness and self regulation*. New York: Plenum Press, 4: 1-18.
- NYSWANDER DB (1929) A comparison of the high relief finger maze and the stylus maze. *J Gen Psychol*, 2: 273-289.
- O'BRIEN DH (1987) Reflection impulsivity in total communication and oral deaf and hearing children: a developmental study. *Am Annals of the Deaf*, 132, 213-217.
- O'KEEFE EJ (1975) Porteus maze Q score as a measure of impulsivity. *Percept Motor Skills*, 41, 675-678.
- O'KEEFE J (1983) Spatial memory within and without the hippocampal system. In: SEIFERT W (ed) *Neurobiology of the hippocampus*. London: Academic Press, pp375-403.
- O'KEEFE J, NADEL L (1978) *The Hippocampus as a cognitive map*. Oxford: Clarendon Press.

- O'KEEFE J, CONWAY DH (1980) On the trail of the hippocampal engram. *Physiol Psychol*, 8: 229-238.
- O'KEEFE J, SPEAKMAN A (1987) Single unit activity in the rat hippocampus during a spatial memory task. *Exp Brain Res*, 68: 1-27.
- O'NEILL PJ (1978) Structure of human serial learning in stylus maze performance. *Perc Mot Skills*, 47: 235-240.
- OLIVEIRA MG, BUENO OF, POMARICO AC, GUGLIANO EB (1997) Strategies used by hippocampal- and caudate-putamen-lesioned rats in a learning task. *Neurobiol Learn Mem*, 68: 32-41.
- OLTON DS, SAMUELSON RJ (1976) Remembrance of places passed: Spatial memory in rats. *J Exp Psychol: Animal Behav Proc*, 2: 97-116.
- OLTON DS, BECKER JT, HANDELMANN GE (1980) Hippocampal function: working memory or cognitive mapping? *Physiological Psychol*, 8: 239-246.
- O'NEILL PJ (1978) Structure of human serial learning in stylus maze performance. *Percept Motor Skills*, 47, 235-240.
- ORBACH J (1959) "Functions" of striate cortex and the problem of mass action. *Psychol Bull*, 56: 271-292.
- OSWALD WD, FLEISCHMANN UM (1995) *Nürnberg-Agers-Inventar (NAI)* Goettingen:Hogrefe.
- OWEN H, LANNING W (1982) The effects of three treatment methods upon anxiety and inappropriate attentional style among high school athletes. *Int J Sport Psychol*, 13: 154-162.
- PACKARD MG (1994) "Place" versus "response" learning debate revisited in the brain. *Society for Neuroscience Abstracts*, 20: 1016.
- PACKARD MG, McGAUGH JL (1992) Double dissociation of fornix and caudate lesions on acquisition of two water maze tasks: Further evidence for multiple memory systems. *Behav Neuroscience*, 106, 439-446.
- PACKARD MG, McGAUGH JL (1996) Inactivation of hippocampus or caudate nucleus with lidocaine differentially affects expression of place and response learning. *Neurobiol Learning Memory*, 65: 65-72.
- PALERMO DS, CASTENEDA A, McCANDLESS BR (1956) The relationship to anxiety in children to performance in a complex learning task. *Child Development*, 27: 333-339.
- PALKES HS, STEWART MA, FREEDMAN J (1971) Improvement in maze performance of hyperactive boys as a function of verbal training procedures. *J Special Education*, 5: 337-342.
- PALKES H, STEWART M, KAHANA B (1968) Porteus maze performance of hyperactive boys after training in self-directed verbal commands. *Child Development*, 39: 817-826.
- PARKER DM, CRAWFORD JR (1992) Assessment of frontal lobe dysfunction. In: CRAWFORD JR, PARKER DM, McKINLAY WW (eds) *A handbook of neuropsychological assessment*. Hove: Lawrence Erlbaum Associates, 267-291.
- PASHLER H (1991) Shifting visual attention and selecting motor responses: Distinct attentional mechanisms. *J Exp Psychol: Hum Percept Perform*, 17: 1023-1040.
- PASSINGHAM R (1995) *The frontal lobes and voluntary action*. Oxford Psychology Series No. 21. Oxford: University Press.
- PERKINS NI (1927) Human reactions in a maze of fixed orientation. *Comp Psychol Monogr*, 21, 650-653.
- PERRIN FAC (1914) An experimental and introspective study of the human learning process in the maze. *Psychol Monogr*, 70.
- PETERS HN, JONES FD (1951) Evaluation of group psychotherapy by means of performance tests. *J Consulting Psychol*, 15: 363-367.
- PETERSON J, ROTHFLEISCH J, ZELAZO P, PIHL RO (1990) Acute alcohol intoxication and cognitive functioning. *J Studies Alcohol*, 51: 114-122.

- PIAGET J, INHELDER B, SZEMINSKA A (1960) The child's conception of geometry. New York: Basic Books.
- PÖGELT A, ROTH N, PÖGELT B, LEUBUSCHER H-J, BERGMANN R (1984) The application of a programmable maze as a behavioural model in psychophysiology. *Z Psychol*, 192: 307-318
- PÖTHIG D, PÖGELT B, ROTH N (1985) Zur Anwendung des Labyrinthtestes in der gerontologischen Funktionsdiagnostik. *Z Altersforsch*, 40: 23-28.
- PORTEUS SD (1914) The Porteus Maze Test-Vineland Revision. New York: Stoelting.
- PORTEUS SD (1915) Mental tests for the feeble-minded: A new series. *J Psycho-Asthenics*, 19: 200-213.
- PORTEUS SD (1917) Mental test with delinquents and Australian aboriginal children. *Psychol Review*, 24: 32-42.
- PORTEUS SD (1919) Porteus Maze Tests - The Vineland Revision. Vineland: Research Publications.
- PORTEUS SD (1924) Guide to Porteus Maze Test. Vineland: Research Publications.
- PORTEUS SD (1933) The Maze Test and mental differences. Vineland. NJ: Smith Printing House.
- PORTEUS SD (1942) Qualitative performance in the maze test. Vineland. NJ: Smith Printing House.
- PORTEUS SD (1945) Q-scores, temperament, and delinquency. *J Social Psychol*, 21: 81-103.
- PORTEUS SD (1950) The Porteus Maze Test and intelligence. Palo Alto, Californien: Pacific Books.
- PORTEUS SD (1952) The Porteus Maze Test Manual. Harrap, London.
- PORTEUS SD (1954) Maze test qualitative aspects. *Br J Medical Psychol*, 27: 72-79.
- PORTEUS SD (1955) The Maze Test: some recent advances. Palo Alto: Pacific Books.
- PORTEUS SD (1956) Porteus Maze Test developments. *Perceptual Motor Skills*, 6: 135-142.
- PORTEUS SD (1957a) Maze test reactions after chlorpromazine. *J Consult Psychol*, 21: 15-21.
- PORTEUS SD (1957b) Specific behavior changes following chlorpromazine. *J Consult Psychol*, 21: 257-263.
- PORTEUS SD (1958) What do the maze tests measure ? *Australian J Psychol*, 10: 245-256
- PORTEUS SD (1959a) The Porteus Maze Test. The supplement series of mazes. New York: Psychological Corporation.
- PORTEUS SD (1959b) The Maze Test and Clinical Psychology. Palo Alto, California: Pacific Books.
- PORTEUS SD (1962) Maze test reports. *Perc Mot Skills*, 14: 58.
- PORTEUS SD (1965) Porteus Maze Test. Fifty Years' Application. New York: Psychological Corporation.
- PORTEUS SD, BARCLAY JE (1957) A further note on chlorpromazine: Maze reactions. *J Consult Psychol*, 21: 297-299.
- PORTEUS SD, BOCHNER S, RUSSELL J (1967) Age as a factor in australid mentality. *Perceptual-and-Motor-Skills*, 25: 3-16.
- POSNER MI (1993) Foundations of cognitive science. Cambridge: MIT Press.
- PRESS WH, TEUKOLSKY SA, VETTERLING WT, FLANNERY BP (1992) Numerical recipes in C. Cambridge: University Press.
- RAGOZZINO ME, KESNER RP (1999) The role of the agranular insular cortex in working memory for food reward value and allocentric space in rats. *Beh Brain Res*, 98: 103-112.

- RASMUSSEN M, BARNES CA, McNAUGHTON BL (1989) A systematic test of cognitive mapping, working memory, and temporal descontiguity theories of hippocampal function. *Psychobiology*, 17: 335-348.
- RATCLIFF J (1991) Brain and space: Some deductions from the clinical evidence. In: PAILLARD J (ed) *Brain and space*. Oxford: Oxford University Press, pp. 237-250.
- RAVEN JC (1938) *Progressive Matrices*. London: Levis.
- RAVEN JC (1976) *Guide to using the Coloured Progressive Matrices, sets A, Ab, B*. London: Lewis.
- RECCE M, HARRIS KD (1996) Memory for places: A navigational model in support of Marr's theory of hippocampal function. *Hippocampus*, 6: 735-748.
- REDISH AD (1999) *Beyond the cognitive map*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- REDISH AD, TOURETZKY DS (1997) Cognitive maps beyond the hippocampus, 7: 15-35.
- RICHER F, CHOUINARD M, ROULEAU I (1999) Frontal lesions impair the attentional control of movements during motor learning. *Neuropsychologia*, 37: 1427-1435.
- RIDDLE M, ROBERTS AH (1978) Psychosurgery and the Porteus Maze Tests: review and reanalysis of data. *Arch Gen Psychiatry*, 35, 493-497.
- ROBERTS HH, ERIKSON RV (1968) Delay of gratification. Porteus-Maze-Test performance, and behaviour adjustment in a delinquent group. *J Abnorm Psychol*, 73: 449-453.
- ROLLS ET (1999) Spatial view cells and the representation of place in the primate hippocampus. *Hippocampus*, 9: 467-480.
- RÖSLER F (1982) *Hirnelekrische Korrelate kognitiver Prozesse*. Berlin: Springer.
- ROSSANO MJ, WEST SO, ROBERTSON TJ, WAYNE MC, CHASE RB (1999) *J Env Psychol*, 19: 101-115.
- RUCHKIN DS, JOHNSON Jr R, GRAFMAN J, CANOUNE H, RITTER W (1997) Multiple visuospatial working memory buffers: Evidence from spatiotemporal patterns of brain activity. *Neuropsychologia*, 35, 195-290.
- RUDOLF H (1986) *Graphomotorische Testbatterie*. Weinheim: Beltz.
- RUDY JW, STADLER-MORRIS S, ALBERT P (1987) Ontogeny of spatial navigation behaviors in the rat. Dissociation of "proximal" and "distal" cue based behaviors. *Behav Neuroscience*, 101: 62-73.
- SANDERS AF (1980) Stage analysis of reaction processes. In: STELMACH GE, REQUIN J (eds) *Tutorials in motor behaviour*. Amsterdam, 331-354.
- SAVE E, POU CET B, FOREMAN N, THINUS-BLANC C (1998) The contribution of the associative parietal cortex and hippocampus to spatial processing in rodents. *Psychobiology*, 26: 153-161.
- SCHENK F (1985) Development of place navigation in rats from weaning to puberty. *Behav Neural Biology*, 43: 69-85.
- SCHÖNE H (1984) *Spatial orientation*. Princeton: University Press.
- SCHMITZ S (1995) Geschlechtsspezifische Einflüsse der Angst auf Zeit- und Fehlerleistungen in Labyrinthaufgaben zur Raumorientierung im Jugendalter. *Z Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 27, 251-267.
- SCHMITZ S (1997) Gender-related strategies in environmental development: Effects of anxiety on way finding in a representation of a three-dimensional maze. *J Env Psychol*, 17, 215-228.
- SCHMITZ S (1999) *Wer weiß wohin ? Deutsche Hochschulschriften 1142*. Egelsbach: Hän sel-Hohenhausen.
- SCHNEIDER W, Shiffrin RM (1977). Controlled and automatic human information processing: I. detection, search, and attention. *Psych Rev*, 84:1-66.

- SCHUMACHER A (1979) Lernversuch an einem Tischlabyrinth beim Menschen. Diplomarbeit, Philipps-Universität Marburg.
- SCOVILLE WB (1968) Amnesia after bilateral mesial temporal-lobe excision: Introduction to case HM. *Neuropsychologia*, 6: 211-213.
- SEAMANS JK, FLORESCO SB, PHILIPS AG (1998) D1 receptor modulation of hippocampal-prefrontal cortical circuits integrating spatial memory with executive functions in the rat. *J Neurosci*, 18: 1613-1621.
- SEMMES J, WEINSTEIN S, GHENT L, TEUBER HL (1955) Spatial orientation in man after cerebral injury. I. Analyses by locus of lesion. *J Psychol*, 39: 227-244.
- SEMMES J, WEINSTEIN S, GHENT L, TEUBER HL (1963) Impaired orientation in personal and extrapersonal space. *Brain*, 86: 747-772.
- SEGUINOT V, MAURER R, ETIENNE AS (1993) Dead reckoning in small mammal: The evaluation of distance. *J Comparative Physiol*, A173: 103-113.
- SELEMON LD, GOLDMAN-RAKIC PS (1988) Common cortical and subcortical targets of the dorsolateral prefrontal and parietal cortices in the rhesus monkey: evidence for a distributed neural network subserving spatially guided behavior. *J Neurosci*, 8: 4049-4068.
- SHALLICE T (1988) *From Neuropsychology to mental structure*. Cambridge University Press: Cambridge.
- SHALLICE T, BURGESS P. Supervisory control of action and thought selection. In: BADDELEY A, WEISKRANTZ L. eds. *Attention: Selection, awareness, and control*. Oxford: Clarendon Press, 1993, 171-187.
- SHALLICE T, McLEOD P, LEWIS K (1985) Isolating cognition modules with the dual-task paradigm: Are speech perception and production modules separate? *Q J Exp Psychol*, 37: 507-532.
- SHAPIRO MB, KESSELL R, MAXWELL AE (1960) Speed and quality of psychomotor performance in psychiatric patients. *J Clin Psychol*, 16: 266-271.
- SHAPIRO MB, SLATER P, CAMPBELL D (1962) The effects of distraction on psychomotor slowness in co-operative depressed, and schizophrenic subjects. *Brit J Soc Clin Psychol*, 1: 121-126.
- SHAPIRO ML, SIMON DK, OLTON DS, GAGE FH, NILSON O, BJORKLUND A (1989) Intrahippocampal grafts of fetal basal forebrain tissues alter place fields in the hippocampus of rats with fimbria-fornix lesions. *Neuroscience*, 32: 1-18.
- SHARP WL (1939) The relationship between speed and efficiency of learning on the constant speed finger maze. *J Exp Psychol*, 24: 86-94.
- SHARPS MJ, WELTON AL, PRICE JL (1993) Gender and task in the determination of spatial cognitive performance. *Psychol Women*, 17, 71-83.
- SHIFFRIN RM, SCHNEIDER W (1977) Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending, and a general theory. *Psychol Rev*, 84;127-189.
- SIEGEL AW, COUSINS JH (1985) The symbolizing and symbolised child in the enterprise of cognitive mapping. In: COHEN R (ed) *The development of spatial cognition*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum, p 349.
- SIEGEL AW, WHITE SH (1975) The development of spatial representations of large-scale environments. In: REESE HW (ed) *Advances in child development and behavior*. New York: Academic Press, 10-55.
- SIMON HA (1975) The functional equivalence of problem solving skills. *Cog Psychol*, 7: 268-288.
- SINSEL E (1999) *Labyrinthverhalten und bioelektrische Hirnsignale: Einflüsse von Sackgassenkomplexität und Übung*. Diplomarbeit im Fachbereich Psychologie, Giessen: Justus-Liebig Universität Giessen.

- SKARSFELDT T (1996) Differential effect of antipsychotics on place navigation of rats in the Morris water maze. *Psychopharmacology*, 124: 126-133.
- SKINNER BF (1957) The experimental analysis of behavior. *Am Scientist*, 45: 343-371.
- SMALL WS (1900) An experimental study of the mental processes of the rat. *Am J Psychol*, 11: 133-164.
- SMALL WS (1901) An experimental study of the mental processes of the rat II. *Am J Psychol*, 12: 206-239.
- SOLANKI PS, SEN-MAZUMDAR DPA (1980) A comparative study of emotionally disturbed and normal schoolgoing children on the Qualitative score of Porteus Maze Test. *Indian J Clin Psychol*, 7: 17-20.
- SONNENFELD J (1985) Tests of spatial skills: A validation problem. *Man Environment Systems*, 15: 107-120.
- SPENCE KW (1932) The reliability of the maze and methods of its determination. *Comparative Psychol Monographs*, 8: 45.
- SPENCE KW, SHIPLEY WC (1934) The factors determining the difficulty of blind alleys in maze learning by the white rat. *J Comp Psychol*, 17: 423-436.
- SPERRY R (1982) Some effects of disconnecting the cerebral hemisphere. *Science*, 217, 1223-1226.
- SPIELBERGER CD, GORSUCH RL, LUSHENE RE (1970) *STAI Manual for the Stait-Trait-Anxiety-Inventory*. Palo Alto: Consulting Psychologist Press.
- SPITZ HH, DeRISI DT (1978) Porteus Maze Test performance of retarded young adults and non-retarded children. *Am J Mental Deficits*, 83, 40-43.
- STEIN JF (1991) Space and the parietal association areas. In: PAILLARD J (ed) *Brain and space*. Oxford: Oxford University Press, pp. 185-222.
- STEIN JF (1992) The representation of egocentric space in the posterior parietal cortex. *Brain Behavioral Sciences*, 15: 691-700.
- STERNBERG S (1969) On the discovery of processing stages: Some extentions of Donders method. *Acta Psychologica*, 30: 276-315.
- STERNBERG S (1996) *Cognitive psychology*. Fort Worth: Harcourt.
- STODDARD J, VAID J (1996) Asymmetries in intermanual transfer of maze learning in right- and left-handed adults. *Neuropsychologia*, 34: 605-608.
- STORCH A (1932) Über Orientierungsfähigkeit auf niederen Organisationsstufen. *Z Angew Psychologie*, 42: 68-101.
- SUZUKI S, AUGERINOS G, BLACK AH (1980) Stimulus control of spatial behavior on the eight-arm maze in rats. *Learning Motivation*, 11: 1-18.
- TAKEMOTO T, YATABE T, IWAHARA S, OGEWA M (1957) A developmental study of goal and entrance gradients in a unilinear maze in human subjects. *Psychologie*, 1: 10-36.
- TAUBE JS, MUELLER R, RANCK JBJ (1990a) Head direction cells recorded from the postsubiculum in freely moving rats. I. Description and quantitative analysis. *J Neuroscience*, 10: 420-435.
- TAUBE JS, MUELLER R, RANCK JBJ (1990b) Head direction cells recorded from the postsubiculum in freely moving rats. II. Effects of environmental manipulations. *J Neuroscience*, 10: 436-447.
- TAUBE JS, GOODRIDGE JP, GOLOB EJ, DUDCHENKO PA, STACKMAN RW (1996) Processing the head direction cell signal: A review and commentary. *Brain Res Bull*, 40: 477-486.
- TAUBE JS, MULLER RU (1995) Head direction cell activity in the anterior thalamic nuclei, but not the postsubiculum, predicts the animal's future diectional heading. *Soc Neuroscience Abstracts*, 23: 506.
- TAYLOR HA, TVERSKY B (1996) Perspective in spatial descriptions. *J Memory Language*, 35: 371-391.

- THISTLETHWAITE D (1951) A critical review of latent learning and related experiments. *Psychol Bull*, 48: 97-129.
- THOMPSON GG, WITRYOL SL (1946) The relationship between intelligence and motor learning ability, as measured by a high relief finger maze. *J Psychol*, 22: 237-246.
- THORNDYKE PW, HAYES-ROTH B (1982) Differences in spatial knowledge acquired from maps and navigation. *Cognitive Psychol*, 14: 560-589.
- THORNDYKE PW, GOLDIN SE (1982) Spatial learning and reasoning skill. In: PICK HL, ACREDOLO LP (eds) *Spatial orientation theory, research, and application*. New York: Plenum Press, 195-217.
- TILKER HA, SCHELL RE (1967) Concurrent validity of the Porteus maze test: a comparative study of regular and educationally handicapped high school students: *Educ Psychol Measurement*, 27: 447-455.
- TINBERGEN N (1969) *The study of instinct*. Oxford: Clarendon Press.
- TIZARD J (1951) Porteus maze test and intelligence. *Brit J educ Psychol*, 21: 172-185.
- TOLMAN EC (1948) Cognitive maps in rats and men. *Psychological Review*, 55, 189-208.
- TOLMAN EC, HONZIK CH (1930) Degrees of hunger, reward and non-reward, and maze learning in rats. *Calif Univ Publ Psychol*, 4: 241-275.
- TOLMAN EC, RITCHIE BF, KALISH D (1946) Studies in spatial learning. II. Place learning versus response learning. *J Exp Psychol*, 36: 221-229.
- TRAVERSE J, LATTO R (1986) Impairments in route negotiation through a maze after dorsolateral frontal, inferior parietal or premotor lesions in cynomolgus monkeys. *Behav Brain Res*, 20: 203-215.
- TREMBLAY M, LACROIX D, CHAPUT Y, FRAILE V, LAMER R, ALBERT J-M (1994) Brain activation with a maze test: an EEG coherence analysis study in healthy subjects. *Neuroreport* 5: 2449-2453.
- TRESCH MC, SINNAMON HM, SEAMON JG (1993) Double dissociation of spatial and object visual memory: Evidence from selective interference in intact human subjects. *Neuropsychologia*, 31, 211-219.
- UNGERLEIDER LG, MISHKIN M (1982) Two cortical visual systems. In: INGLE DJ, GOODALE MA (eds) *Analysis of visual behavior*. Cambridge: MIT Press, 549-586.
- UNGERLEIDER LG, HAXBY JV (1994) 'What' and 'where' in the human brain. *Current Opinion in Neurobiology*, 4: 157-165.
- VECCHI T, GIRELLI L (1998) Gender differences in visuo-spatial processing: The importance of distinguishing between passive storage and active manipulation. *Acta Psychologica*, 99: 1-16.
- VOYER D, BRYDEN MP (1990) Gender, level of spatial ability, and lateralization of mental rotation. *Brain Cognition*, 13, 18-29.
- VOYER D, VOYER S, BRYDEN MP (1995) Magnitude of sex differences in spatial abilities: A meta-analysis and consideration of critical variables. *Psychol Bull*, 117, 250-270.
- WALLESCH CW, KARNATH HO, PAPAGNO C, ZIMMERMANN P, DEUSCHL G, LÜCKING CH (1990) Parkinson's disease patient's behaviour in a covered maze learning task. *Neuropsychologia*, 28: 839-849.
- WALSH BL, WATER RH (1944) Finger versus stylus learning of the same maze. *J Gen Psychol*, 31: 283-286.
- WALTHALL WJ (1948) The influence of different maze surroundings on learning. *J Comp Phys Psychol*, 41: 438-449.
- WARD J, ALVIS G, SANFORD G, DODSON D, PUSAKULICH R (1989) Qualitative differences in tactuo-spatial motor learning by left-handers. *Neuropsychologia*, 27: 1091-1099.
- WARDEN CJ, HAMILTON EL (1929) The effects of variations in length of maze pattern upon rate of fixation in the white rat. *J Genetic Psychol*, 36: 229-239.

- WARREN DH (1974) Early vs. late vision: The role of early vision in spatial reference systems. *New Outlook Blind*, 68: 157-162.
- WATSON JB (1907) Kinaesthetic and organic sensations: Their role in the reactions of the white rat to the maze. *Psychological Review*, 8: 43-100.
- WEAVER HE, STONE CP (1928) The relative ability of blind and normal rats in maze learning. *J Genetic Psychol*, 35: 157-177.
- WECHSLER (1974) *Manual for the Wechsler intelligence scale for children- revised*. New York: Psychological Corporation.
- WEHNER R, SRINIVASAN MV (1981) Searching behavior of desert ants, genus *Cataglyphis* (Formicidae, Hymenoptera). *J Comparative Physiology*, 142: 315-338.
- WEINMAN JA (1982) Detailed computer analysis of performance on a single psychological test. *Int J Man Machine Studies*, 17, 321-330.
- WEINMAN J (1986) Ageing and perceptual problem-solving: A response analysis approach. *Personality Individual Differences*, 7: 175-182.
- WEINMAN J (1987) Non-cognitive determinants of perceptual problem-solving strategies. *Personality Individual Differences*, 8: 53-58.
- WEISS RH, OSTERLAND J (1977) Handanweisung zum Grundintelligenztest CFT 1, Skala 1. Braunschweig.
- WELSH BL, WATERS RH (1944) Finger versus stylus learning of the same maze. *J Gen Psychol*, 31: 283-286.
- WHITE NM (1989) A functional hypothesis concerning the striatal matrix and patches: Mediation of S-R memory and reward. *Life Sciences*, 45: 1943-1957.
- WICKENS CD (1984) Processing resources in attention. In: PARASURAMAN R, DAVIES R (eds) *Varieties of attention*. New York: Academic Press, 63-101.
- WICKENS CD (1992) *Engineering Psychology and Human Performance*. New York: Harper Collins.
- WICKENS CD, GOPHER D (1977) Control theory measures of tracking as indices of attention allocation strategies. *Human Factors*, 19, 249-366.
- WILDMAN RW, WILDMAN RW (1976) An investigation into the possibilities of irreversible central nervous system damage as a result of long-term chlorpromazine medication. *J Clin Psychol*, 31: 340-344.
- WILSON FAW, SCALAI DHE SPO, GOLDMAN-RAKIC PS (1993) Dissociation of object and spatial processing domains in primate prefrontal cortex. *Science*, 260, 1955-1958.
- WINOCUR G, BRECKENRIDGE CB (1973) Cue-dependent behavior of hippocampally damaged rats in a complex maze. *J Comp Physiol Psychol*, 82: 512-522.
- WISHLER RG (1934) A universal flexible elevated finger maze. *J Gen Psychol*, 10: 482-484.
- WOLFF PH (1982) The neuropsychological status of adolescent delinquent boys. *J Child Psychol Psychiatry Allied Disciplines*, 23, 267-279.
- WOODWORTH RS, SCHLOSBERG H (1954) *Experimental psychology*. 3. Auflage. New York, Chicago, San Francisco: Holt Rinehart and Winston.
- YOAKUM CS, YERKES RM (1920) *Army mental tests*. New York.
- ZEKI SM (1993) *A vision of the brain*. London: Blackwell.
- ZENHAUSERN R, NICKEL L (1979) Hemispheric dominance and maze learning. *Bulletin Psychonomic Society*, 14: 435-436.
- ZIEGLER C (1987) *Leistungsmotivation und Lernen aus biologischer Sicht*. Staatsexamensarbeit. Marburg: Philipps-Universität.
- ZIMBARDO R (1983) *Psychologie*. Berlin: Springer.
- ZIMMERMANN B (1988) *Die Bedeutung von Leistungsmotivation, Angst und Geschlecht für die Lernleistungen von Jugendlichen in einem Handlabyrinthversuch*. Diplomarbeit, Philipps-Universität, Marburg.

ZIMMERMANN DW (1994) Simplified interaction tests for non-normal data in psychological research. *Br J Math Statistical Psychol*, 47: 327-335.

ANHANG

A: Statistische Auswertung der abhängigen Variablen aus Untersuchung 1

B: Statistische Auswertung der abhängigen Variablen aus Untersuchung 2

C: Statistische Auswertung der abhängigen Variablen aus Untersuchung 3

Untersuchung 1: Subuntersuchung 1A

Tab. 1.1: Qualität der Aufgabenlösung: "Weg" (pixel) in Subuntersuchung 1A
Mittelwerte (AM), Standardfehler (SE) und Standardabweichung (SD) der Roh- und rangtransformierten Werte der abhängigen Variablen für männliche und weibliche Probanden bei der Bearbeitung der Stimuli von Subuntersuchung 1A (Wegsysteme mit und ohne Entscheidungspunkte) zusammen mit den Ergebnissen der varianzanalytischen Auswertung der rangtransformierten Werte

		Männer			Frauen		
Entscheidungspunkte		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Originalwerte	Nein	5,3	0,8	5,4	8,9	2,5	17,0
	Ja	20,1	10,9	74,1	17,9	4,3	29,0
Ränge	Nein	80,5	6,9	46,9	81,0	8,2	55,4
	Ja	95,7	8,2	55,7	112,9	7,3	49,5
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		1,03	1, 90	0,3118			
Entscheidungspunkte		13,39	1, 90	0,0004	***		
Geschlecht x Entscheidungspunkte		1,69	1, 90	0,1975			

Tab. 1.2: Präzision der Bewegung: "Wall" (s/Weg) in Subuntersuchung 1A

		Männer			Frauen		
Entscheidungspunkte		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Originalwerte	nein	0,0313	0,0067	0,0457	0,0330	0,0060	0,0404
	ja	0,0325	0,0053	0,0359	0,0364	0,0074	0,0504
Ränge	nein	87,3	7,8	52,7	90,2	8,5	57,5
	ja	97,6	7,2	49,1	94,9	7,8	53,2
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		0,00	1, 90	0,9921			
Entscheidungspunkte		2,06	1, 90	0,1547			
Geschlecht x Entscheidungspunkte		0,29	1, 90	0,5895			

Tab. 1.3: Präzision der Bewegung: "Wavy lines" (pixel/Weg) in Subuntersuchung 1A

		Männer			Frauen		
Entscheidungspunkte		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Originalwerte	nein	0,1564	0,0041	0,0275	0,1624	0,0038	0,0256
	ja	0,1754	0,0046	0,0315	0,1845	0,0046	0,0311
Ränge	nein	70,9	7,4	50,4	79,6	7,4	50,0
	ja	101,6	7,9	53,3	117,9	7,0	47,6
2x2 ANOVA der Ränge			Df	p			
Geschlecht		1,73	1, 90	0,1918			
Entscheidungspunkte		58,85	1, 90	< 0,0001	***		
Geschlecht x Entscheidungspunkte		0,71	1, 90	0,4028			

Tab. 1.4: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) in Subuntersuchung 1A

		Männer			Frauen		
Entscheidungspunkte		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Originalwerte	nein	26680,0	1242,2	8425,2	27672,3	1048,4	7110,3
	ja	30062,4	1508,3	10229,7	32364,9	1425,6	9668,6
Ränge	nein	76,5	8,3	56,5	86,5	7,3	49,6
	ja	94,5	8,2	55,4	112,4	6,8	46,0
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		1,76	1, 90	0,1875			
Entscheidungspunkte		64,36	1, 90	< 0,0001	***		
Geschlecht x Entscheidungspunkte		2,08	1, 90	0,1525			

Tab. 1.5: Zeitbedarf: "Startzeit" (ms) in Subuntersuchung 1A

		Männer			Frauen		
Entscheidungspunkte		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Originalwerte	Nein	1784,2	245,6	1665,4	1828,3	225,1	1526,5
	Ja	2094,6	362,0	2455,1	2148,2	378,3	2565,5
Ränge	Nein	84,2	8,6	58,4	97,0	7,0	47,5
	Ja	92,2	8,4	57,0	96,6	7,4	50,0
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		0,79	1, 90	0,3761			
Entscheidungspunkte		0,48	1, 90	0,4881			
Geschlecht x Entscheidungspunkte		0,59	1, 90	0,4451			

Tab. 1.6: Zeitbedarf: "Pausendauer" (ms) in Subuntersuchung 1A

Entscheidungspunkte		Männer			Frauen		
		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Mindest-Pausenlänge 25 ms							
Originalwerte	nein	2099,6	627,5	4255,7	2017,8	307,7	2087,2
	ja	4058,9	595,3	4037,6	5407,2	846,2	5739,1
Ränge	nein	64,4	7,0	47,5	72,6	7,6	51,4
	ja	112,3	6,0	40,7	120,7	7,5	50,6
Mindest-Pausenlänge 50 ms							
Originalwerte	nein	2066,0	626,7	4250,3	1987,6	307,5	2085,5
	ja	4024,3	595,4	4038,3	5368,6	846,5	5741,2
Ränge	nein	64,5	7,0	47,6	72,7	7,6	51,5
	ja	112,2	6,0	40,9	120,7	7,4	50,4
Mindest-Pausenlänge 100 ms							
Originalwerte	nein	2010,8	625,8	4244,6	1901,3	305,5	2071,7
	ja	3927,7	593,5	4025,2	5249,2	846,9	5743,7
Ränge	nein	65,1	7,0	47,5	71,8	7,6	51,6
	ja	112,5	6,0	40,4	120,6	7,5	50,6
Mindest-Pausenlänge 200 ms							
Originalwerte	nein	1837,1	618,2	4192,7	1720,1	295,3	2002,9
	ja	3743,0	587,5	3984,9	5073,0	840,0	5697,0
Ränge	nein	64,4	7,0	47,7	71,6	7,5	50,7
	ja	113,3	5,9	39,8	120,7	7,5	50,9
Mindest-Pausenlänge 300 ms							
Originalwerte	nein	1648,6	601,6	4079,9	1571,1	296,6	2011,6
	ja	3573,2	570,8	3871,6	4886,6	839,0	5690,2
Ränge	nein	64,3	6,7	45,4	70,8	7,6	51,8
	ja	114,3	5,7	38,6	120,6	7,6	51,2

Tab. 1.7: Zeitbedarf: "Geschwindigkeit" (pixel/s) in Subuntersuchung 1A

Entscheidungspunkte		Männer			Frauen		
		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Mindest-Pausenlänge 25 ms							
Orginalwerte	nein	0,117	0,004	0,030	0,111	0,004	0,026
	ja	0,113	0,004	0,029	0,105	0,003	0,021
Ränge	nein	102,5	8,5	57,9	90,8	7,4	50,5
	ja	96,7	8,4	57,1	80,0	6,7	45,6
Mindest-Pausenlänge 50 ms							
Orginalwerte	nein	0,117	0,004	0,030	0,111	0,004	0,026
	ja	0,113	0,004	0,029	0,105	0,003	0,021
Ränge	nein	102,5	8,5	57,9	90,8	7,5	50,5
	ja	96,7	8,4	57,1	80,0	6,7	45,7
Mindest-Pausenlänge 100 ms							
Orginalwerte	nein	0,117	0,004	0,030	0,110	0,004	0,026
	ja	0,112	0,004	0,029	0,104	0,003	0,021
Ränge	nein	102,6	8,5	58,0	91,0	7,5	50,6
	ja	96,4	8,4	57,2	79,9	6,7	45,4
Mindest-Pausenlänge 200 ms							
Orginalwerte	nein	0,116	0,004	0,030	0,110	0,004	0,026
	ja	0,111	0,004	0,029	0,104	0,003	0,021
Ränge	nein	103,0	8,5	58,0	90,9	7,5	51,1
	ja	96,0	8,4	57,2	80,1	6,6	44,8
Mindest-Pausenlänge 300 ms							
Orginalwerte	nein	0,115	0,004	0,030	0,109	0,004	0,026
	ja	0,111	0,004	0,029	0,103	0,003	0,021
Ränge	nein	102,9	8,5	57,7	91,3	7,6	51,3
	ja	95,9	8,4	57,2	79,9	6,6	44,9

Tab. 1.8: Zeitbedarf: "Pausendauer" und "Geschwindigkeit" in Subuntersuchung 1A:
Ergebnisse der varianzanalytischen Auswertung

2x2 ANOVA der Ränge	Zeit in Pause			Geschwindigkeit		
	F	df	p	F	df	p
	Mindest-Pausenlänge 25 ms					
Geschlecht	0,85	1, 90	0,3598	1,76	1, 90	0,1882
Entscheidungspunkte	132,11	1, 90	< 0,0001 ***	9,02	1, 90	0,0035 **
Geschlecht x Entscheidungspunkte	0,00	1, 90	0,9669	0,80	1, 90	0,3737
	Mindest-Pausenlänge 50 ms					
Geschlecht	0,86	1, 90	0,3573	1,76	1, 90	0,1883
Entscheidungspunkte	131,79	1, 90	< 0,0001 ***	8,87	1, 90	0,0037 **
Geschlecht x Entscheidungspunkte	0,00	1, 90	0,9730	0,80	1, 90	0,3727
	Mindest-Pausenlänge 100 ms					
Geschlecht	0,68	1, 90	0,4126	1,72	1, 90	0,1928
Entscheidungspunkte	130,11	1, 90	< 0,0001 ***	9,60	1, 90	0,0026 **
Geschlecht x Entscheidungspunkte	0,03	1, 90	0,8712	0,78	1, 90	0,3801
	Mindest-Pausenlänge 200 ms					
Geschlecht	0,66	1, 90	0,4192	1,72	1, 90	0,1930
Entscheidungspunkte	130,69	1, 90	< 0,0001 ***	10,41	1, 90	0,0018 **
Geschlecht x Entscheidungspunkte	0,00	1, 90	0,9798	0,46	1, 90	0,5004
	Mindest-Pausenlänge 300 ms					
Geschlecht	0,54	1, 90	0,4638	1,66	1, 90	0,2006
Entscheidungspunkte	122,79	1, 90	< 0,0001 ***	10,93	1, 90	0,0014 **
Geschlecht x Entscheidungspunkte	0,00	1, 90	0,9846	0,62	1, 90	0,4344

Tab.1.9: Zeitbedarf: "Anzahl Pausen" in Subuntersuchung 1A

Entscheidungspunkte		Männer			Frauen		
		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Mindest-Pausenlänge 25 ms							
Orginalwerte	nein	5,57	0,79	5,36	5,91	0,68	4,63
	ja	8,24	0,75	5,10	8,76	0,63	4,29
Ränge	nein	70,2	7,9	53,3	78,4	8,1	54,9
	ja	106,2	6,7	45,5	115,2	6,8	46,0
Mindest-Pausenlänge 50 ms							
Orginalwerte	nein	4,54	0,72	4,89	4,93	0,62	4,22
	ja	7,17	0,75	5,06	7,52	0,58	3,96
Ränge	nein	69,4	7,5	51,1	79,0	8,3	56,1
	ja	106,0	6,9	47,0	115,6	6,6	44,8
Mindest-Pausenlänge 100 ms							
Orginalwerte	nein	3,76	0,69	4,67	3,76	0,53	3,57
	ja	5,85	0,65	4,41	5,91	0,52	3,51
Ränge	nein	70,3	7,8	52,6	77,4	8,3	56,3
	ja	107,9	6,5	43,9	114,4	6,7	45,6
Mindest-Pausenlänge 200 ms							
Orginalwerte	nein	2,61	0,57	3,89	2,52	0,37	2,53
	ja	4,50	0,55	3,70	4,63	0,45	3,04
Ränge	nein	66,9	7,6	51,9	75,3	7,6	51,6
	ja	111,1	6,3	42,8	116,8	6,9	47,1
Mindest-Pausenlänge 300 ms							
Orginalwerte	nein	1,87	0,44	2,98	1,91	0,34	2,29
	ja	3,85	0,46	3,09	3,85	0,42	2,87
Ränge	nein	67,0	7,2	48,7	72,2	7,9	53,9
	ja	115,5	5,9	40,2	115,3	6,9	47,0

Tab.1.10: Zeitbedarf: "mittlere Pausendauer" (ms) in Subuntersuchung 1A

Entscheidungspunkte		Männer			Frauen		
		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Mindest-Pausenlänge 25 ms							
Orginalwerte	nein	326,3	52,9	359,0	339,7	45,2	306,8
	ja	494,2	41,1	278,5	591,0	93,4	633,1
Ränge	nein	71,2	7,6	51,4	74,7	8,5	58,0
	ja	111,8	6,2	41,9	112,3	6,9	47,0
Mindest-Pausenlänge 50 ms							
Orginalwerte	nein	378,1	53,7	364,0	380,1	45,5	308,9
	ja	615,2	76,8	520,7	664,5	92,9	630,0
Ränge	nein	73,0	7,6	51,5	75,1	8,3	56,4
	ja	109,9	6,2	41,9	112,0	7,4	50,5
Mindest-Pausenlänge 100 ms							
Orginalwerte	nein	445,6	64,5	437,5	458,6	66,5	450,8
	ja	713,6	79,0	536,0	804,5	96,8	656,3
Ränge	nein	71,0	7,4	50,1	73,4	8,2	55,9
	ja	110,3	6,1	41,3	115,3	7,4	50,0
Mindest-Pausenlänge 200 ms							
Orginalwerte	nein	503,7	68,8	466,5	517,7	69,5	471,5
	ja	854,1	79,3	538,0	952,6	113,8	771,9
Ränge	nein	70,6	7,4	50,3	73,4	8,0	54,5
	ja	111,9	6,0	40,6	114,0	7,6	51,4
Mindest-Pausenlänge 300 ms							
Orginalwerte	nein	525,2	77,1	523,0	506,5	76,7	520,4
	ja	921,8	79,0	535,6	1082,5	122,3	829,5
Ränge	nein	70,5	7,4	50,3	71,6	7,8	53,2
	ja	111,0	5,9	40,0	117,0	7,5	50,8

Tab.1.11: Zeitbedarf: "Anzahl Pausen" und "mittlere Pausendauer" in Subuntersuchung 1A: Ergebnisse der varianzanalytischen Auswertung

2x2 ANOVA der Ränge	Anzahl Pausen			Mittlere Pausenlänge		
	F	df	p	F	df	p
Mindest-Pausenlänge 25 ms						
Geschlecht	0,83	1, 90	0,3644	0,05	1, 90	0,8188
Entscheidungspunkte	67,23	1, 90	<0,0001 ***	42,75	1, 90	<0,0001 ***
Geschlecht x Entscheidungspunkte	0,01	1, 90	0,9397	0,06	1, 90	0,8068
Mindest-Pausenlänge 50 ms						
Geschlecht	1,09	1, 90	0,2984	0,06	1, 90	0,8053
Entscheidungspunkte	55,90	1, 90	<0,0001 ***	36,19	1, 90	<0,0001 ***
Geschlecht x Entscheidungspunkte	0,00	1, 90	0,9947	0,00	1, 90	0,9972
Mindest-Pausenlänge 100 ms						
Geschlecht	0,54	1, 90	0,4627	0,19	1, 90	0,6604
Entscheidungspunkte	58,79	1, 90	<0,0001 ***	45,11	1, 90	<0,0001 ***
Geschlecht x Entscheidungspunkte	0,00	1, 90	0,9521	0,05	1, 90	0,8325
Mindest-Pausenlänge 200 ms						
Geschlecht	0,60	1, 90	0,4405	0,08	1, 90	0,7724
Entscheidungspunkte	95,06	1, 90	<0,0001 ***	47,40	1, 90	<0,0001 ***
Geschlecht x Entscheidungspunkte	0,10	1, 90	0,7560	0,00	1, 90	0,9535
Mindest-Pausenlänge 300 ms						
Geschlecht	0,08	1, 90	0,7827	0,19	1, 90	0,6626
Entscheidungspunkte	108,74	1, 90	<0,0001 ***	50,39	1, 90	<0,0001 ***
Geschlecht x Entscheidungspunkte	0,38	1, 90	0,5415	0,16	1, 90	0,6907

Tab.1.12: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) vor Sackgasse 1 in Subuntersuchung 1A

2x2 ANOVA der Ränge	Entscheidungspunkte	Männer			Frauen		
		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Originalwerte	nein	1135,1	80,0	542,4	1113,8	63,1	428,0
	ja	1386,2	120,8	819,6	1369,9	70,7	479,6
Ränge	nein	113,3	12,2	82,6	114,1	11,2	75,8
	ja	140,3	12,6	85,4	161,5	10,1	68,7
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		0,67	1, 90	0,4148			
Entscheidungspunkte		15,83	1, 90	0,0001	***		
Geschlecht x Entscheidungspunkte		1,18	1, 90	0,2799			

Tab.1.13: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) vor Sackgasse 2 in Subuntersuchung 1A

		Männer			Frauen		
Entscheidungspunkte		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Orginalwerte	nein	920,7	71,9	487,4	1084,9	80,1	543,2
	ja	1606,4	115,0	780,3	2684,5	444,5	3014,4
Ränge	nein	99,7	10,3	69,8	127,7	10,5	71,4
	ja	187,9	8,2	55,4	199,3	10,5	71,1
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		3,03063	1, 90	0,0851	(*)		
Entscheidungspunkte		92,474	1, 90	<0.0001	***		
Geschlecht x Entscheidungspunkte		1,00439	1, 90	0,3189			

Tab.1.14: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) vor Sackgasse 3 in Subuntersuchung 1A

		Männer			Frauen		
Entscheidungspunkte		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Orginalwerte	nein	1096,4	52,4	355,3	1181,1	75,3	510,9
	ja	1505,2	91,8	622,8	1459,9	70,8	480,0
Ränge	nein	96,3	10,0	67,8	102,4	10,2	69,3
	ja	149,0	11,1	75,0	151,9	9,8	66,6
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		0,16494	1, 90	0,6856			
Entscheidungspunkte		29,5772	1, 90	<0.0001	***		
Geschlecht x Entscheidungspunkte		0,03066	1, 90	0,8614			

Tab.1.15: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) vor Sackgasse 4 in Subuntersuchung 1A

		Männer			Frauen		
Entscheidungspunkte		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Orginalwerte	nein	1167,9	83,9	568,8	1169,9	55,9	379,5
	ja	1360,4	98,5	667,9	1649,0	176,4	1196,5
Ränge	nein	144,7	9,4	63,9	155,1	9,6	65,1
	ja	166,8	10,9	73,9	190,3	9,3	63,2
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		2,15269	1, 90	0,1458			
Entscheidungspunkte		13,765	1, 90	0,0004	***		
Geschlecht x Entscheidungspunkte		0,713	1, 90	0,4007			

Tab.1.16: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) vor Sackgasse 5 in Subuntersuchung 1A

		Männer			Frauen		
Entscheidungspunkte		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Orginalwerte	nein	942,1	51,4	348,3	912,3	33,9	229,8
	ja	1518,0	115,2	781,3	1632,2	159,7	1083,4
Ränge	nein	157,0	7,1	48,2	159,4	6,0	40,7
	ja	210,7	7,4	50,1	209,3	7,5	50,5
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		0,00323	1, 90	0,9548			
Entscheidungspunkte		97,4552	1, 90	<0.0001	***		
Geschlecht x Entscheidungspunkte		0,12984	1, 90	0,7194			

Tab.1.17: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) vor Sackgasse 6 in Subuntersuchung 1A

		Männer			Frauen		
Entscheidungspunkte		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Originalwerte	nein	1125,1	58,0	393,3	1214,8	59,3	401,9
	ja	1397,0	88,2	598,3	1614,8	84,0	569,8
Ränge	nein	93,6	10,6	71,6	113,6	11,0	74,8
	ja	143,4	10,2	69,3	172,7	11,4	77,2
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		3,48373	1, 90	0,0652	(*)		
Entscheidungspunkte		50,498	1, 90	<0.0001	***		
Geschlecht x Entscheidungspunkte		0,37165	1, 90	0,5436			

Tab.1.18: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) vor Sackgasse 7 in Subuntersuchung 1A

		Männer			Frauen		
Entscheidungspunkte		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Originalwerte	nein	193,3	16,3	110,5	193,6	10,0	67,5
	ja	199,0	13,3	90,4	217,5	13,6	92,5
Ränge	nein	83,4	8,0	54,5	94,1	7,5	51,0
	ja	90,7	8,7	59,1	103,3	7,5	50,6
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		1,61602	1, 90	0,2069			
Entscheidungspunkte		1,59865	1, 90	0,2094			
Geschlecht x Entscheidungspunkte		0,01938	1, 90	0,8896			

Tab.1.19: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) vor Sackgasse 8 in Subuntersuchung 1A

		Männer			Frauen		
Entscheidungspunkte		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Originalwerte	nein	689,1	44,3	300,6	702,1	37,5	254,0
	ja	748,7	44,3	300,4	783,4	41,5	281,7
Ränge	nein	89,8	10,1	68,4	98,3	9,2	62,5
	ja	105,0	10,4	70,8	118,3	9,5	64,5
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		0,75931	1, 90	0,3859			
Entscheidungspunkte		8,04641	1, 90	0,0056	**		
Geschlecht x Entscheidungspunkte		0,14778	1, 90	0,7016			

Untersuchung 1: Subuntersuchung 1B

Tab.2.1: Qualität der Aufgabenlösung: "Weg" (pixel) in Subuntersuchung 1B
Mittelwerte (AM), Standardfehler (SE) und Standardabweichung (SD) der Roh- und rangtransformierten Werte der abhängigen Variablen für männliche und weibliche Probanden bei der Bearbeitung der Stimuli von Subuntersuchung 1B (Wegsysteme mit 8 und 16 Entscheidungspunkten) zusammen mit den Ergebnissen der varianzanalytischen Auswertung der rangtransformierten Werte

		Männer			Frauen		
Entscheidungspunkte		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Originalwerte	8	20,1	10,9	74,1	17,9	4,3	29,0
	16	34,2	19,6	132,8	27,0	7,1	48,0
Ränge	8	80,3	7,6	51,8	95,6	7,4	50,5
	16	92,4	8,1	55,1	101,7	8,1	54,9
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		1,93	1, 90	0,1678			
Entscheidungspunkte		1,88	1, 90	0,1733			
Geschlecht x Entscheidungspunkte		0,21	1, 90	0,6515			

Tab.2.2: Präzision der Bewegung: "Wall" (s/Weg) in Subuntersuchung 1B

		Männer			Frauen		
Entscheidungspunkte		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Originalwerte	8	0,0325	0,0053	0,0359	0,0364	0,0074	0,0504
	16	0,0378	0,0079	0,0536	0,0437	0,0064	0,0433
Ränge	8	91,3	7,2	48,9	88,9	7,8	52,9
	16	89,3	7,8	53,1	100,5	8,5	57,8
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		0,21	1, 90	0,6505			
Entscheidungspunkte		0,74	1, 90	0,3918			
Geschlecht x Entscheidungspunkte		1,54	1, 90	0,2177			

Tab.2.3: Präzision der Bewegung: "Wavy lines" (pixel/Weg) in Subuntersuchung 1B

		Männer			Frauen		
Entscheidungspunkte		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Originalwerte	8	0,1754	0,0046	0,0315	0,1845	0,0046	0,0311
	16	0,1792	0,0038	0,0261	0,1838	0,0041	0,0275
Ränge	8	83,1	8,4	56,9	98,9	8,1	54,7
	16	89,3	7,2	48,7	98,7	7,7	52,4
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		1,65	1, 90	0,2026			
Entscheidungspunkte		0,34	1, 90	0,5595			
Geschlecht x Entscheidungspunkte		0,39	1, 90	0,5315			

Tab.2.4: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) in Subuntersuchung 1B

		Männer			Frauen		
Entscheidungspunkte		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Originalwerte	8	30062,4	1508,3	10229,7	32364,9	1425,6	9668,6
	16	32247,7	1345,1	9123,1	32840,3	1171,3	7944,3
Ränge	8	77,9	8,5	57,5	95,8	7,2	48,8
	16	94,5	7,8	53,2	101,8	7,7	51,9
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		1,49	1, 90	0,2254			
Entscheidungspunkte		8,05	1, 90	0,0056	**		
Geschlecht x Entscheidungspunkte		1,75	1, 90	0,1890			

Tab.2.5: Zeitbedarf: "Startzeit" (ms) in Subuntersuchung 1B

		Männer			Frauen		
Entscheidungspunkte		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Originalwerte	8	2094,6	362,0	2455,1	2148,2	378,3	2565,5
	16	2259,6	389,3	2640,1	2407,7	365,0	2475,4
Ränge	8	87,8	8,2	55,4	91,2	7,3	49,5
	16	88,2	8,7	59,0	102,8	7,2	48,9
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		0,81	1, 90	0,3694			
Entscheidungspunkte		1,47	1, 90	0,2284			
Geschlecht x Entscheidungspunkte		1,30	1, 90	0,2565			

Tab.2.6: Zeitbedarf: "Pausendauer" (ms) in Subuntersuchung 1B

Entscheidungspunkte		Männer			Frauen		
		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Mindest-Pausenlänge 25 ms							
Orginalwerte	8	4058,9	595,3	4037,6	5407,2	846,2	5739,1
	16	4763,8	676,8	4590,1	4742,7	502,6	3409,1
Ränge	8	82,9	7,1	48,4	96,9	8,5	57,4
	16	92,0	8,1	55,0	98,2	7,7	52,2
Mindest-Pausenlänge 50 ms							
Orginalwerte	8	4024,3	595,4	4038,3	5368,6	846,5	5741,2
	16	4736,1	676,6	4589,1	4703,3	502,0	3404,4
Ränge	8	82,6	7,2	48,5	96,8	8,5	57,4
	16	92,2	8,1	54,9	98,3	7,7	52,1
Mindest-Pausenlänge 100 ms							
Orginalwerte	8	3927,7	593,5	4025,2	5249,2	846,9	5743,7
	16	4628,6	673,8	4570,3	4587,3	500,7	3395,9
Ränge	8	83,2	7,0	47,7	96,5	8,5	57,8
	16	92,1	8,2	55,3	98,2	7,7	52,2
Mindest-Pausenlänge 200 ms							
Orginalwerte	8	3743,0	587,5	3984,9	5073,0	840,0	5697,0
	16	4397,0	672,7	4562,6	4330,1	489,8	3321,8
Ränge	8	83,7	7,1	47,9	97,1	8,5	57,9
	16	91,5	8,3	56,0	97,8	7,6	51,2
Mindest-Pausenlänge 300 ms							
Orginalwerte	8	3573,2	570,8	3871,6	4886,6	839,0	5690,2
	16	4214,3	674,4	4574,3	4139,1	495,5	3360,8
Ränge	8	84,7	6,9	46,9	97,1	8,6	58,6
	16	91,2	8,2	55,6	97,1	7,7	52,0

Tab.2.7: Zeitbedarf: "Geschwindigkeit" (pixel/s) in Subuntersuchung 1B

Entscheidungspunkte		Männer			Frauen		
		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Mindest-Pausenlänge 25 ms							
Orginalwerte	8	0,113	0,004	0,029	0,105	0,003	0,021
	16	0,106	0,004	0,025	0,102	0,003	0,022
Ränge	8	105,6	8,8	59,6	90,2	7,1	47,8
	16	91,1	8,1	55,0	83,1	7,2	48,9
Mindest-Pausenlänge 50 ms							
Orginalwerte	8	0,113	0,004	0,029	0,105	0,003	0,021
	16	0,106	0,004	0,025	0,102	0,003	0,022
Ränge	8	105,7	8,8	59,6	90,0	7,1	47,9
	16	91,2	8,1	55,0	83,1	7,2	48,8
Mindest-Pausenlänge 100 ms							
Orginalwerte	8	0,112	0,004	0,029	0,104	0,003	0,021
	16	0,105	0,004	0,025	0,101	0,003	0,022
Ränge	8	105,6	8,8	59,8	90,1	7,0	47,7
	16	91,2	8,1	55,0	83,2	7,2	48,9
Mindest-Pausenlänge 200 ms							
Orginalwerte	8	0,111	0,004	0,029	0,104	0,003	0,021
	16	0,104	0,004	0,025	0,101	0,003	0,022
Ränge	8	105,7	8,8	59,8	90,5	7,0	47,4
	16	91,1	8,1	54,8	82,7	7,3	49,2
Mindest-Pausenlänge 300 ms							
Orginalwerte	8	0,111	0,004	0,029	0,103	0,003	0,021
	16	0,103	0,004	0,025	0,100	0,003	0,022
Ränge	8	105,7	8,8	59,9	90,6	7,0	47,7
	16	91,1	8,0	54,5	82,6	7,3	49,2

Tab.2.8: Zeitbedarf: "Pausendauer" und "Geschwindigkeit" in Subuntersuchung 1B:
Ergebnisse der varianzanalytischen Auswertung

2x2 ANOVA der Ränge	Zeit in Pause			Geschwindigkeit		
	F	Df	p	F	df	p
Min.	Mindest-Pausenlänge 25 ms					
Geschlecht	1,04	1, 90	0,3095	1,24	1, 90	0,2680
Entscheidungspunkte	1,06	1, 90	0,3064	10,51	1, 90	0,0017 **
Geschlecht x Entscheidungspunkte	0,59	1, 90	0,4443	1,25	1, 90	0,2667
Min.	Mindest-Pausenlänge 50 ms					
Geschlecht	1,05	1, 90	0,3081	1,27	1, 90	0,2619
Entscheidungspunkte	1,17	1, 90	0,2831	10,39	1, 90	0,0018 **
Geschlecht x Entscheidungspunkte	0,64	1, 90	0,4266	1,31	1, 90	0,2555
Min.	Mindest-Pausenlänge 100 ms					
Geschlecht	0,97	1, 90	0,3283	1,24	1, 90	0,2682
Entscheidungspunkte	1,07	1, 90	0,3044	10,25	1, 90	0,0019 **
Geschlecht x Entscheidungspunkte	0,48	1, 90	0,4901	1,27	1, 90	0,2632
Min.	Mindest-Pausenlänge 200 ms					
Geschlecht	1,01	1, 90	0,3166	1,26	1, 90	0,2645
Entscheidungspunkte	0,64	1, 90	0,4267	11,51	1, 90	0,0010 **
Geschlecht x Entscheidungspunkte	0,46	1, 90	0,5014	1,05	1, 90	0,3088
Min.	Mindest-Pausenlänge 300 ms					
Geschlecht	0,88	1, 90	0,3506	1,26	1, 90	0,2641
Entscheidungspunkte	0,37	1, 90	0,5462	11,44	1, 90	0,0011 **
Geschlecht x Entscheidungspunkte	0,38	1, 90	0,5395	0,98	1, 90	0,3246

Tab.2.9: Zeitbedarf: "Anzahl Pausen" in Subuntersuchung 1B

Entscheidungspunkte		Männer			Frauen		
		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Mindest-Pausenlänge 25 ms							
Originalwerte	8	8,24	0,75	5,10	8,76	0,63	4,29
	16	8,65	0,68	4,64	9,78	0,70	4,72
Ränge	8	82,5	7,9	53,5	94,0	7,7	52,1
	16	89,2	7,3	49,7	104,3	8,3	56,2
Mindest-Pausenlänge 50 ms							
Originalwerte	8	7,17	0,75	5,06	7,52	0,58	3,96
	16	7,67	0,63	4,28	8,48	0,61	4,16
Ränge	8	81,7	8,1	54,7	92,6	7,6	51,6
	16	91,9	7,4	50,0	103,8	8,1	55,0
Mindest-Pausenlänge 100 ms							
Originalwerte	8	5,85	0,65	4,41	5,91	0,52	3,51
	16	6,24	0,59	4,02	6,87	0,58	3,94
Ränge	8	82,9	7,7	52,5	90,6	7,8	52,9
	16	93,8	7,5	50,9	102,7	8,2	55,3
Mindest-Pausenlänge 200 ms							
Originalwerte	8	4,50	0,55	3,70	4,63	0,45	3,04
	16	4,57	0,55	3,75	5,07	0,45	3,04
Ränge	8	85,1	7,7	52,4	94,5	8,1	54,6
	16	87,8	7,8	52,9	102,6	7,6	51,3
Mindest-Pausenlänge 300 ms							
Originalwerte	8	3,85	0,46	3,09	3,85	0,42	2,87
	16	3,89	0,48	3,25	4,28	0,42	2,87
Ränge	8	88,4	7,6	51,6	91,1	8,2	55,4
	16	90,5	7,9	53,3	99,9	7,6	51,6

Tab.2.10: Zeitbedarf: "mittlere Pausendauer" (ms) in Subuntersuchung 1B

Entscheidungspunkte		Männer			Frauen		
		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Mindest-Pausenlänge 25 ms							
Originalwerte	8	494,2	41,1	278,5	591,0	93,4	633,1
	16	537,4	65,5	444,2	488,0	39,5	268,1
Ränge	8	92,6	7,7	52,4	94,2	8,6	58,1
	16	92,0	8,2	55,6	91,3	7,1	48,1
Mindest-Pausenlänge 50 ms							
Originalwerte	8	615,2	76,8	520,7	664,5	92,9	630,0
	16	595,4	67,0	454,3	549,5	42,2	286,1
Ränge	8	92,1	7,5	50,6	96,5	8,9	60,1
	16	90,7	8,2	55,6	90,7	7,0	47,4
Mindest-Pausenlänge 100 ms							
Originalwerte	8	713,6	79,0	536,0	804,5	96,8	656,3
	16	733,5	87,7	594,5	668,8	48,1	326,5
Ränge	8	89,4	7,6	51,4	98,6	8,9	60,1
	16	90,4	8,0	54,3	91,5	7,0	47,8
Mindest-Pausenlänge 200 ms							
Originalwerte	8	854,1	79,3	538,0	952,6	113,8	771,9
	16	938,6	117,5	796,9	852,7	65,3	442,7
Ränge	8	89,7	7,3	49,4	94,5	8,7	58,9
	16	92,1	8,0	54,0	93,8	7,7	52,0
Mindest-Pausenlänge 300 ms							
Originalwerte	8	921,8	79,0	535,6	1082,5	122,3	829,5
	16	1002,0	118,3	802,4	933,1	65,4	443,4
Ränge	8	87,8	7,3	49,5	98,3	8,7	59,0
	16	91,2	8,1	55,0	92,7	7,4	50,2

Tab.2.11: Zeitbedarf: "Anzahl Pausen" und "mittlere Pausendauer" in Subuntersuchung 1B: Ergebnisse der varianzanalytischen Auswertung

2x2 ANOVA der Ränge	Anzahl Pausen			Mittlere Pausenlänge		
	F	Df	p	F	df	p
Mindest-Pausenlänge 25 ms						
Geschlecht	0,00	1, 90	0,9626	0,00	1, 90	0,9626
Entscheidungspunkte	0,08	1, 90	0,7799	0,08	1, 90	0,7799
Geschlecht x Entscheidungspunkte	0,03	1, 90	0,8571	0,03	1, 90	0,8571
Mindest-Pausenlänge 50 ms						
Geschlecht	1,30	1, 90	0,2577	0,06	1, 90	0,8069
Entscheidungspunkte	5,37	1, 90	0,0227 *	0,30	1, 90	0,5827
Geschlecht x Entscheidungspunkte	0,01	1, 90	0,9066	0,11	1, 90	0,7420
Mindest-Pausenlänge 100 ms						
Geschlecht	0,71	1, 90	0,4006	0,34	1, 90	0,5621
Entscheidungspunkte	5,33	1, 90	0,0232 *	0,20	1, 90	0,6584
Geschlecht x Entscheidungspunkte	0,01	1, 90	0,9079	0,35	1, 90	0,5579
Mindest-Pausenlänge 200 ms						
Geschlecht	1,57	1, 90	0,2138	0,13	1, 90	0,7144
Entscheidungspunkte	1,02	1, 90	0,3142	0,01	1, 90	0,9030
Geschlecht x Entscheidungspunkte	0,27	1, 90	0,6069	0,05	1, 90	0,8246
Mindest-Pausenlänge 300 ms						
Geschlecht	0,38	1, 90	0,5368	0,46	1, 90	0,4975
Entscheidungspunkte	1,13	1, 90	0,2910	0,03	1, 90	0,8705
Geschlecht x Entscheidungspunkte	0,42	1, 90	0,5188	0,42	1, 90	0,5189

Tab.2.12: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) vor Sackgasse 1 in Subuntersuchung 1B

Entscheidungspunkte	Männer			Frauen			
	AM	SE	SD	AM	SE	SD	
Originalwerte	8	1386,2	120,8	819,6	1369,9	70,7	479,6
	16	1391,5	198,2	1344,0	1368,9	116,9	792,7
Ränge	8	131,2	13,1	88,8	152,4	10,5	71,5
	16	126,9	12,2	82,9	136,8	10,8	73,5
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		1,36	1, 90	0,2462			
Entscheidungspunkte		1,03	1, 90	0,3128			
Geschlecht x Entscheidungspunkte		0,33	1, 90	0,5658			

Tab.2.13: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) vor Sackgasse 1+ in Subuntersuchung 1B

Entscheidungspunkte	Männer			Frauen			
	AM	SE	SD	AM	SE	SD	
Originalwerte	8	1063,6	145,3	985,4	1109,3	143,9	975,8
	16	1594,6	158,2	1072,8	1538,2	144,2	978,1
Ränge	8	84,5	10,6	71,6	92,7	10,6	71,7
	16	148,6	11,5	78,0	154,5	9,7	66,1
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		0,33	1, 90	0,5678			
Entscheidungspunkte		52,05	1, 90	<0.0001	***		
Geschlecht x Entscheidungspunkte		0,02	1, 90	0,8972			

Tab.2.14: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) vor Sackgasse 2 in Subuntersuchung 1B

		Männer			Frauen		
Entscheidungspunkte		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Orginalwerte	8	1606,4	115,0	780,3	2684,5	444,5	3014,4
	16	1495,5	117,3	795,7	1634,8	238,5	1617,7
Ränge	8	143,6	11,0	74,7	167,4	13,5	91,4
	16	127,8	12,9	87,4	117,2	11,8	79,8
2x2 ANOVA der Ränge		F	Df	p			
Geschlecht		0,27	1, 90	0,6053			
Entscheidungspunkte		7,76	1, 90	0,0065	**		
Geschlecht x Entscheidungspunkte		2,11	1, 90	0,1499			

Tab.2.15: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) vor Sackgasse 2+ in Subuntersuchung 1B

		Männer			Frauen		
Entscheidungspunkte		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Orginalwerte	8	940,5	96,0	651,2	871,2	58,7	398,4
	16	1092,5	96,2	652,3	1162,3	81,7	554,0
Ränge	8	96,8	12,1	81,9	95,3	9,7	65,6
	16	125,8	12,0	81,3	146,5	10,7	72,4
2x2 ANOVA der Ränge		F	Df	p			
Geschlecht		0,55	1, 90	0,4614			
Entscheidungspunkte		19,89	1, 90	<0.0001	***		
Geschlecht x Entscheidungspunkte		1,52	1, 90	0,2206			

Tab.2.16: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) vor Sackgasse 3+ in Subuntersuchung 1B

		Männer			Frauen		
Entscheidungspunkte		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Orginalwerte	8	253,0	18,3	124,2	282,0	18,4	125,1
	16	362,5	75,7	513,1	340,8	32,0	216,9
Ränge	8	75,0	7,9	53,6	92,1	7,5	50,7
	16	98,5	8,8	59,8	108,4	7,9	53,7
2x2 ANOVA der Ränge		F	Df	p			
Geschlecht		2,04	1, 90	0,1566			
Entscheidungspunkte		9,90	1, 90	0,0022	**		
Geschlecht x Entscheidungspunkte		0,33	1, 90	0,5649			

Tab.2.17: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) vor Sackgasse 3 in Subuntersuchung 1B

		Männer			Frauen		
Entscheidungspunkte		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Orginalwerte	8	1505,2	91,8	622,8	1459,9	70,8	480,0
	16	1650,8	141,6	960,2	1611,1	95,1	644,8
Ränge	8	133,4	12,8	87,1	134,4	11,3	76,6
	16	139,8	12,4	84,4	148,1	11,7	79,5
2x2 ANOVA der Ränge		F	Df	p			
Geschlecht		0,12	1, 90	0,7285			
Entscheidungspunkte		0,89	1, 90	0,3488			
Geschlecht x Entscheidungspunkte		0,12	1, 90	0,7336			

Tab.2.18: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) vor Sackgasse 4+ in Subuntersuchung 1B

		Männer			Frauen		
Entscheidungspunkte		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Orginalwerte	8	830,4	55,7	378,0	864,3	66,2	448,9
	16	875,7	101,2	686,3	923,5	72,3	490,6
Ränge	8	180,3	8,3	56,1	186,4	7,2	49,0
	16	180,3	7,8	52,9	190,2	8,4	57,0
2x2 ANOVA der Ränge		F	Df	p			
Geschlecht		0,69	1, 90	0,4084			
Entscheidungspunkte		0,11	1, 90	0,7369			
Geschlecht x Entscheidungspunkte		0,11	1, 90	0,7441			

Tab.2.19: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) vor Sackgasse 4 in Subuntersuchung 1B

		Männer			Frauen		
Entscheidungspunkte		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Orginalwerte	8	1360,4	98,5	667,9	1649,0	176,4	1196,5
	16	1306,6	70,7	479,6	1260,5	49,8	337,5
Ränge	8	164,5	10,7	72,8	187,1	9,6	64,9
	16	169,0	9,4	63,9	169,5	8,5	57,7
2x2 ANOVA der Ränge		F	Df	p			
Geschlecht		0,95	1, 90	0,3323			
Entscheidungspunkte		0,98	1, 90	0,3246			
Geschlecht x Entscheidungspunkte		2,77	1, 90	0,0996	(*)		

Tab.2.20: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) vor Sackgasse 5 in Subuntersuchung 1B

		Männer			Frauen		
Entscheidungspunkte		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Orginalwerte	8	1518,0	115,2	781,3	1632,2	159,7	1083,4
	16	1619,0	255,8	1734,7	1487,5	125,6	852,2
Ränge	8	187,6	7,8	52,6	186,1	8,2	55,4
	16	184,2	7,6	51,2	180,1	8,1	55,2
2x2 ANOVA der Ränge		F	Df	p			
Geschlecht		0,11	1, 90	0,7438			
Entscheidungspunkte		0,43	1, 90	0,5129			
Geschlecht x Entscheidungspunkte		0,03	1, 90	0,8555			

Tab.2.21: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) vor Sackgasse 5+ in Subuntersuchung 1B

		Männer			Frauen		
Entscheidungspunkte		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Orginalwerte	8	476,8	25,2	170,7	534,8	24,2	164,3
	16	711,1	48,2	327,0	951,5	114,1	773,7
Ränge	8	152,1	6,5	44,1	170,9	6,5	44,4
	16	199,7	7,6	51,6	215,3	7,3	49,8
2x2 ANOVA der Ränge		F	Df	p			
Geschlecht		5,06	1, 90	0,0269	*		
Entscheidungspunkte		53,01	1, 90	<0.0001	***		
Geschlecht x Entscheidungspunkte		0,06	1, 90	0,8089			

Tab.2.22: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) vor Sackgasse 6+ in Subuntersuchung 1B

		Männer			Frauen		
Entscheidungspunkte		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Orginalwerte	8	544,0	34,8	236,2	561,2	48,8	330,7
	16	603,5	35,6	241,7	569,8	29,1	197,3
Ränge	8	178,8	8,6	58,6	178,0	7,2	48,9
	16	192,4	8,2	55,6	188,8	7,3	49,6
2x2 ANOVA der Ränge		F	Df	p			
Geschlecht		0,05	1, 90	0,8175			
Entscheidungspunkte		4,21	1, 90	0,0431	*		
Geschlecht x Entscheidungspunkte		0,06	1, 90	0,8085			

Tab.2.23: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) vor Sackgasse 6 in Subuntersuchung 1B

		Männer			Frauen		
Entscheidungspunkte		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Orginalwerte	8	1397,0	88,2	598,3	1614,8	84,0	569,8
	16	1484,0	87,2	591,2	1503,4	105,3	714,5
Ränge	8	175,6	6,8	46,2	197,4	7,9	53,9
	16	184,6	8,1	54,9	180,3	8,4	56,7
2x2 ANOVA der Ränge		F	Df	p			
Geschlecht		0,82	1, 90	0,3685			
Entscheidungspunkte		0,57	1, 90	0,4527			
Geschlecht x Entscheidungspunkte		5,86	1, 90	0,0175	*		

Tab.2.24: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) vor Sackgasse 7 in Subuntersuchung 1B

		Männer			Frauen		
Entscheidungspunkte		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Orginalwerte	8	199,0	13,3	90,4	217,5	13,6	92,5
	16	207,1	21,0	142,1	218,6	11,6	78,5
Ränge	8	177,6	8,4	57,1	188,5	7,3	49,4
	16	177,1	8,2	55,7	194,8	7,4	49,9
2x2 ANOVA der Ränge		F	Df	p			
Geschlecht		2,18	1, 90	0,1432			
Entscheidungspunkte		0,29	1, 90	0,5912			
Geschlecht x Entscheidungspunkte		0,40	1, 90	0,5291			

Tab.2.25: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) vor Sackgasse 7+ in Subuntersuchung 1B

		Männer			Frauen		
Entscheidungspunkte		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Orginalwerte	8	792,3	44,1	299,4	764,6	27,1	184,1
	16	810,5	41,7	282,7	867,5	42,7	289,6
Ränge	8	175,2	8,3	56,3	181,8	6,5	43,8
	16	183,6	8,7	58,9	197,4	7,7	52,0
2x2 ANOVA der Ränge		F	Df	p			
Geschlecht		1,02	1, 90	0,3146			
Entscheidungspunkte		6,66	1, 90	0,0115	*		
Geschlecht x Entscheidungspunkte		0,60	1, 90	0,4405			

Tab.2.26: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) vor Sackgasse 8 in Subuntersuchung 1B

		Männer			Frauen		
Entscheidungspunkte		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Originalwerte	8	748,7	44,3	300,4	783,4	41,5	281,7
	16	686,7	24,4	165,5	721,7	43,0	291,5
Ränge	8	182,4	8,6	58,3	195,7	7,7	52,3
	16	180,1	6,8	45,8	179,8	8,2	55,9
2x2 ANOVA der Ränge		F	Df	p			
Geschlecht		0,44	1, 90	0,5074			
Entscheidungspunkte		2,97	1, 90	0,0880	(*)		
Geschlecht x Entscheidungspunkte		1,62	1, 90	0,2061			

Tab.2.27: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) vor Sackgasse 8+ in Subuntersuchung 1B

		Männer			Frauen		
Entscheidungspunkte		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Originalwerte	8	642,3	39,0	264,5	625,1	30,9	209,9
	16	581,6	20,0	135,6	582,6	26,6	180,7
Ränge	8	187,0	8,5	57,8	189,1	7,9	53,3
	16	183,5	7,0	47,4	178,4	8,1	55,0
2x2 ANOVA der Ränge		F	Df	p			
Geschlecht		0,02	1, 90	0,8801			
Entscheidungspunkte		1,93	1, 90	0,1686			
Geschlecht x Entscheidungspunkte		0,50	1, 90	0,4823			

Tab.2.28: Zeitbedarf: "Pausendauer" (ms) in Subuntersuchung 1B für Pausen, deren Dauer zwischen 50 und 200ms liegt

		Männer			Frauen		
Entscheidungspunkte		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Originalwerte	8	281,3	38,3	259,6	295,5	29,5	200,2
	16	339,1	33,0	224,1	373,2	40,5	275,0
Ränge	8	80,5	7,3	49,7	90,0	7,3	49,8
	16	97,5	7,7	52,5	102,1	8,8	59,5
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		0,67	1, 90	0,4157			
Entscheidungspunkte		4,42	1, 90	0,0383	*		
Geschlecht x Entscheidungspunkte		0,13	1, 90	0,7245			

Tab.2.29: Zeitbedarf: "Anzahl Pausen" in Subuntersuchung 1B für Pausen mit einer Dauer zwischen 50 und 200ms

		Männer			Frauen		
Entscheidungspunkte		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Originalwerte	8	2,7	0,4	2,4	3,0	0,3	2,0
	16	3,2	0,3	1,9	3,6	0,4	2,5
Ränge	8	78,2	7,2	48,9	92,8	7,6	51,7
	16	96,4	7,5	50,8	102,5	8,4	57,3
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		1,41	1, 90	0,2389			
Entscheidungspunkte		4,58	1, 90	0,0351	*		
Geschlecht x Entscheidungspunkte		0,42	1, 90	0,5162			

Tab.2.30: Zeitbedarf: "mittlere Pausenlänge" (ms) in Subuntersuchung 1B von Pausen mit einer Dauer zwischen 50 und 200ms

		Männer			Frauen		
Entscheidungspunkte		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Originalwerte	8	91,6	6,2	42,1	86,5	6,2	42,1
	16	99,0	4,6	31,5	90,1	5,8	39,2
Ränge	8	92,4	8,3	56,5	84,1	7,9	53,5
	16	101,5	7,1	48,2	92,0	8,1	54,7
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		1,52	1, 90	0,2202			
Entscheidungspunkte		1,02	1, 90	0,3164			
Geschlecht x Entscheidungspunkte		0,00	1, 90	0,9447			

Untersuchung 1: Subuntersuchung 1C

Tab.3.1: Qualität der Aufgabenlösung: "Weg" (pixel) in Subuntersuchung 1C

Mittelwerte (AM), Standardfehler (SE) und Standardabweichung (SD) der Roh- und rangtransformierten Werte der abhängigen Variablen für männliche und weibliche Probanden bei der Bearbeitung der Stimuli von Subuntersuchung 1C (Wegsysteme mit kurzen und langen Sackgassen) zusammen mit den Ergebnissen der varianzanalytischen Auswertung der rangtransformierten Werte

		Männer			Frauen		
Wegalternative		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Originalwerte	kurz	20,1	10,9	74,1	17,9	4,3	29,0
	lang	38,0	9,4	63,9	52,7	14,8	100,4
Ränge	kurz	73,5	7,6	51,2	88,7	7,3	49,6
	lang	99,7	7,9	53,5	108,2	7,9	53,9
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		2,22	1, 90	0,1395			
Länge Wegalternative		9,56	1, 90	0,0026	**		
Geschlecht x Länge Wegalternative		0,21	1, 90	0,6482			

Tab.3.2: Präzision der Bewegung: "Wall" (s/Weg) in Subuntersuchung 1C

		Männer			Frauen		
Wegalternative		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Originalwerte	kurz	0,0325	0,0053	0,0359	0,0364	0,0074	0,0504
	lang	0,0384	0,0069	0,0466	0,0425	0,0076	0,0516
Ränge	kurz	91,2	7,5	50,8	88,6	8,1	55,0
	lang	92,9	8,1	54,7	97,3	7,9	53,3
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		0,01	1, 90	0,9287			
Länge Wegalternative		1,06	1, 90	0,3049			
Geschlecht x Länge Wegalternative		0,47	1, 90	0,4960			

Tab.3.3: Präzision der Bewegung: "Wavy lines" (pixel/Weg) in Subuntersuchung 1C

		Männer			Frauen		
Wegalternative		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Originalwerte	kurz	0,1754	0,0046	0,0315	0,1845	0,0046	0,0311
	lang	0,1788	0,0041	0,0281	0,1884	0,0045	0,0302
Ränge	kurz	81,1	8,2	55,6	97,3	7,9	53,7
	lang	90,8	7,9	53,9	100,8	7,3	49,2
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		1,88	1, 90	0,1741			
Länge Wegalternative		1,38	1, 90	0,2431			
Geschlecht x Länge Wegalternative		0,31	1, 90	0,5792			

Tab.3.4: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) in Subuntersuchung 1C

		Männer			Frauen		
Wegalternative		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Originalwerte	kurz	30062,4	1508,3	10229,7	32364,9	1425,6	9668,6
	lang	30510,9	1166,9	7914,5	32963,4	1128,4	7653,4
Ränge	kurz	79,7	8,7	58,8	97,9	7,3	49,8
	lang	87,5	7,8	52,8	105,0	7,3	49,3
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		3,09	1, 90	0,0822	(*)		
Länge Wegalternative		3,02	1, 90	0,0855	(*)		
Geschlecht x Länge Wegalternative		0,01	1, 90	0,9414			

Tab.3.5: Zeitbedarf: "Startzeit" (ms) in Subuntersuchung 1C

		Männer			Frauen		
Wegalternative		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Originalwerte	kurz	2094,6	362,0	2455,1	2148,2	378,3	2565,5
	lang	2185,8	265,4	1800,2	2704,2	320,2	2171,6
Ränge	kurz	80,3	8,2	55,4	83,6	7,3	49,6
	lang	93,7	8,3	56,6	112,4	6,9	46,6
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		1,51	1, 90	0,2231			
Länge Wegalternative		11,60	1, 90	0,0010	***		
Geschlecht x Länge Wegalternative		1,56	1, 90	0,2153			

Tab.3.6: Zeitbedarf: "Pausendauer" (ms) in Subuntersuchung 1C

Wegalternative		Männer			Frauen		
		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Mindest-Pausenlänge 25 ms							
Orginalwerte	kurz	4058,9	595,3	4037,6	5407,2	846,2	5739,1
	lang	4560,1	608,6	4127,5	5776,2	671,6	4555,0
Ränge	kurz	78,0	7,4	50,2	93,6	8,7	59,1
	lang	89,3	7,8	53,2	109,1	6,9	46,7
Mindest-Pausenlänge 50 ms							
Orginalwerte	kurz	4024,3	595,4	4038,3	5368,6	846,5	5741,2
	lang	4528,7	608,5	4127,4	5751,0	670,0	4544,1
Ränge	kurz	78,0	7,4	50,3	93,4	8,7	59,0
	lang	89,3	7,9	53,4	109,4	6,8	46,4
Mindest-Pausenlänge 100 ms							
Orginalwerte	kurz	3927,7	593,5	4025,2	5249,2	846,9	5743,7
	lang	4404,7	607,2	4118,4	5631,6	667,4	4526,5
Ränge	kurz	78,5	7,3	49,6	93,3	8,7	59,2
	lang	89,0	7,9	53,8	109,3	6,9	46,7
Mindest-Pausenlänge 200 ms							
Orginalwerte	kurz	3743,0	587,5	3984,9	5073,0	840,0	5697,0
	lang	4214,8	598,8	4061,2	5427,7	665,3	4512,2
Ränge	kurz	78,5	7,3	49,5	93,3	8,7	59,3
	lang	89,1	7,9	53,5	109,1	6,9	47,0
Mindest-Pausenlänge 300 ms							
Orginalwerte	kurz	3573,2	570,8	3871,6	4886,6	839,0	5690,2
	lang	4015,2	594,5	4031,8	5196,5	652,1	4422,8
Ränge	kurz	78,8	7,2	48,6	93,3	8,8	60,0
	lang	89,0	8,0	54,3	108,9	6,8	46,2

Tab.3.7: Zeitbedarf: "Geschwindigkeit" (pixel/sec) in Subuntersuchung 1C

Wegalternative		Männer			Frauen		
		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Mindest-Pausenlänge 25 ms							
Originalwerte	kurz	0,113	0,004	0,029	0,105	0,003	0,021
	lang	0,112	0,004	0,025	0,108	0,003	0,023
Ränge	kurz	99,8	8,9	60,2	82,7	7,0	47,7
	lang	98,4	8,1	54,8	89,0	7,3	49,2
Mindest-Pausenlänge 50 ms							
Originalwerte	kurz	0,113	0,004	0,029	0,105	0,003	0,021
	lang	0,112	0,004	0,025	0,108	0,003	0,023
Ränge	kurz	99,7	8,9	60,2	82,6	7,0	47,8
	lang	98,4	8,1	54,8	89,3	7,3	49,2
Mindest-Pausenlänge 100 ms							
Originalwerte	kurz	0,112	0,004	0,029	0,104	0,003	0,021
	lang	0,111	0,004	0,025	0,107	0,003	0,022
Ränge	kurz	99,9	8,9	60,4	82,7	7,0	47,4
	lang	98,1	8,1	54,8	89,3	7,3	49,3
Mindest-Pausenlänge 200 ms							
Originalwerte	kurz	0,111	0,004	0,029	0,104	0,003	0,021
	lang	0,110	0,004	0,025	0,106	0,003	0,022
Ränge	kurz	99,7	8,9	60,6	83,0	7,0	47,2
	lang	98,1	8,1	54,9	89,3	7,3	49,4
Mindest-Pausenlänge 300 ms							
Originalwerte	kurz	0,111	0,004	0,029	0,103	0,003	0,021
	lang	0,110	0,004	0,025	0,105	0,003	0,022
Ränge	kurz	99,9	8,9	60,5	83,0	7,0	47,5
	lang	98,4	8,1	54,8	88,7	7,2	49,1

Tab.3.8: Zeitbedarf: "Pausendauer" und "Geschwindigkeit" in Subuntersuchung 1C:
Ergebnisse der varianzanalytischen Auswertung

2x2 ANOVA der Ränge	Zeit in Pause				Geschwindigkeit		
	F	df	p		F	df	p
	Mindest-Pausenlänge 25 ms						
Geschlecht	3,88	1, 90	0,0518	(*)	1,55	1, 90	0,2160
Länge Wegalternative	4,61	1, 90	0,0344	*	0,64	1, 90	0,4244
Geschlecht x Länge	0,11	1, 90	0,7355		1,59	1, 90	0,2109
	Mindest-Pausenlänge 50 ms						
Geschlecht	3,90	1, 90	0,0515	(*)	1,51	1, 90	0,2227
Länge Wegalternative	4,80	1, 90	0,0311	*	0,76	1, 90	0,3870
Geschlecht x Länge	0,15	1, 90	0,7035		1,70	1, 90	0,1956
	Mindest-Pausenlänge 100 ms						
Geschlecht	3,86	1, 90	0,0527	(*)	1,50	1, 90	0,2245
Länge Wegalternative	4,40	1, 90	0,0388	*	0,60	1, 90	0,4402
Geschlecht x Länge	0,19	1, 90	0,6652		1,82	1, 90	0,1805
	Mindest-Pausenlänge 200 ms						
Geschlecht	3,80	1, 90	0,0545	(*)	1,43	1, 90	0,2350
Länge Wegalternative	4,34	1, 90	0,0401	*	0,57	1, 90	0,4509
Geschlecht x Länge	0,17	1, 90	0,6802		1,58	1, 90	0,2119
	Mindest-Pausenlänge 300 ms						
Geschlecht	3,75	1, 90	0,0558	(*)	1,56	1, 90	0,2150
Länge Wegalternative	4,04	1, 90	0,0475	*	0,43	1, 90	0,5130
Geschlecht x Länge	0,18	1, 90	0,6725		1,27	1, 90	0,2619

Tab.3.9: Zeitbedarf: "Anzahl Pausen" in Subuntersuchung 1C

Wegalternative		Männer			Frauen		
		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Mindest-Pausenlänge 25 ms							
Originalwerte	kurz	8,24	0,75	5,10	8,76	0,63	4,29
	lang	9,02	0,80	5,45	9,28	0,61	4,12
Ränge	kurz	81,8	8,0	54,3	95,1	8,0	54,0
	lang	92,6	8,1	54,9	100,4	7,2	49,1
Mindest-Pausenlänge 50 ms							
Originalwerte	kurz	7,17	0,75	5,06	7,52	0,58	3,96
	lang	7,96	0,77	5,19	8,41	0,56	3,77
Ränge	kurz	81,1	8,1	55,0	92,7	7,7	52,0
	lang	91,8	8,4	56,7	104,5	6,9	47,1
Mindest-Pausenlänge 100 ms							
Originalwerte	kurz	5,85	0,65	4,41	5,91	0,52	3,51
	lang	6,33	0,71	4,84	6,80	0,48	3,28
Ränge	kurz	82,5	7,7	52,3	90,4	7,8	53,1
	lang	89,4	8,4	56,9	107,7	7,0	47,7
Mindest-Pausenlänge 200 ms							
Originalwerte	kurz	4,50	0,55	3,70	4,63	0,45	3,04
	lang	5,00	0,62	4,20	5,35	0,45	3,09
Ränge	kurz	82,9	7,7	52,4	92,0	8,0	54,0
	lang	89,6	7,9	53,3	105,5	7,5	50,8
Mindest-Pausenlänge 300 ms							
Originalwerte	kurz	3,85	0,46	3,09	3,85	0,42	2,87
	lang	4,13	0,58	3,91	4,46	0,34	2,31
Ränge	kurz	86,2	7,7	52,2	89,2	8,2	55,6
	lang	86,8	8,2	55,3	107,8	6,8	45,9

Tab.3.10: Zeitbedarf: "mittlere Pausenlänge" (ms) in Subuntersuchung 1C

Wegalternative		Männer			Frauen		
		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Mindest-Pausenlänge 25 ms							
Originalwerte	kurz	494,2	41,1	278,5	591,0	93,4	633,1
	lang	521,6	44,5	301,8	621,0	53,0	359,5
Ränge	kurz	85,4	7,5	51,0	87,6	8,4	57,3
	lang	91,2	8,0	54,4	105,8	7,3	49,4
Mindest-Pausenlänge 50 ms							
Originalwerte	kurz	615,2	76,8	520,7	664,5	92,9	630,0
	lang	588,7	46,8	317,4	688,7	62,1	420,9
Ränge	kurz	86,1	7,3	49,8	90,5	8,7	59,0
	lang	91,5	7,9	53,9	102,0	7,4	50,3
Mindest-Pausenlänge 100 ms							
Originalwerte	kurz	713,6	79,0	536,0	804,5	96,8	656,3
	lang	730,9	67,0	454,7	863,6	95,2	646,0
Ränge	kurz	84,3	7,6	51,4	94,0	8,8	60,0
	lang	90,6	7,6	51,4	101,1	7,4	50,1
Mindest-Pausenlänge 200 ms							
Originalwerte	kurz	854,1	79,3	538,0	952,6	113,8	771,9
	lang	875,8	83,4	565,9	1164,1	192,5	1305,9
Ränge	kurz	85,2	7,5	51,0	91,8	8,7	59,3
	lang	90,9	7,6	51,7	102,2	7,5	50,8
Mindest-Pausenlänge 300 ms							
Originalwerte	kurz	921,8	79,0	535,6	1082,5	122,3	829,5
	lang	945,1	87,9	595,9	1274,5	198,6	1346,6
Ränge	kurz	83,5	7,5	50,6	95,3	8,8	59,8
	lang	90,3	7,5	51,0	101,0	7,6	51,3

Tab.3.11: Zeitbedarf: "Anzahl Pausen" und "mittlere Pausendauer" in Subuntersuchung 1C: Ergebnisse der varianzanalytischen Auswertung

2x2 ANOVA der Ränge	Anzahl Pausen			Mittlere Pausenlänge		
	F	df	p	F	df	p
Mindest-Pausenlänge 25 ms						
Geschlecht	1,21	1, 90	0,2745	0,98	1, 90	0,3250
Länge Wegalternative	2,14	1, 90	0,1474	2,82	1, 90	0,0966 *
Geschlecht x Länge	0,25	1, 90	0,6168	0,76	1, 90	0,3866
Mindest-Pausenlänge 50 ms						
Geschlecht	1,63	1, 90	0,2049	0,85	1, 90	0,3592
Länge Wegalternative	4,09	1, 90	0,0462 *	1,23	1, 90	0,2706
Geschlecht x Länge	0,01	1, 90	0,9210	0,16	1, 90	0,6899
Mindest-Pausenlänge 100 ms						
Geschlecht	1,99	1, 90	0,1622	1,53	1, 90	0,2187
Länge Wegalternative	4,24	1, 90	0,0423 *	0,77	1, 90	0,3810
Geschlecht x Länge	0,78	1, 90	0,3794	0,00	1, 90	0,9589
Mindest-Pausenlänge 200 ms						
Geschlecht	1,87	1, 90	0,1750	1,27	1, 90	0,2626
Länge Wegalternative	2,75	1, 90	0,1008	1,08	1, 90	0,3016
Geschlecht x Länge	0,31	1, 90	0,5802	0,09	1, 90	0,7639
Mindest-Pausenlänge 300 ms						
Geschlecht	1,75	1, 90	0,1895	2,13	1, 90	0,1476
Länge Wegalternative	2,50	1, 90	0,1172	0,61	1, 90	0,4378
Geschlecht x Länge	2,23	1, 90	0,1387	0,00	1, 90	0,9448

Tab.3.12: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) vor Sackgasse 1 in Subuntersuchung 1C

2x2 ANOVA der Ränge	Wegalternative	Männer			Frauen		
		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Originalwerte	kurz	1386,2	120,8	819,6	1369,9	70,7	479,6
	lang	1627,4	140,2	950,7	1812,7	123,5	837,7
Ränge	kurz	117,7	12,2	82,9	133,4	9,9	67,0
	lang	149,6	13,2	89,6	179,3	10,9	73,6
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		3,09	1, 90	0,0822	(*)		
Länge Wegalternative		14,79	1, 90	0,0002	***		
Geschlecht x Länge		0,48	1, 90	0,4923			

Tab.3.13: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) vor Sackgasse 2 in Subuntersuchung 1C

2x2 ANOVA der Ränge	Wegalternative	Männer			Frauen		
		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Originalwerte	Kurz	1606,4	115,0	780,3	2684,5	444,5	3014,4
	Lang	1487,7	115,4	782,8	2379,3	385,6	2615,4
Ränge	Kurz	160,2	8,9	60,2	178,8	11,5	78,0
	Lang	144,4	10,6	71,7	177,5	10,3	69,5
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		5,09	1, 90	0,0265	*		
Länge Wegalternative		0,88	1, 90	0,3495			
Geschlecht x Länge		0,64	1, 90	0,4255			

Tab.3.14: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) vor Sackgasse 3 in Subuntersuchung 1C

		Männer			Frauen		
Wegalternative		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Originalwerte	kurz	1505,2	91,8	622,8	1459,9	70,8	480,0
	lang	2102,6	176,8	1199,0	2184,7	167,7	1137,3
Ränge	kurz	113,7	10,9	73,9	113,2	9,3	62,8
	lang	163,1	10,7	72,8	168,8	11,5	77,8
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		0,05	1, 90	0,8275			
Länge Wegalternative		32,43	1, 90	<0.0001	***		
Geschlecht x Länge		0,11	1, 90	0,7379			

Tab.3.15: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) vor Sackgasse 4 in Subuntersuchung 1C

		Männer			Frauen		
Wegalternative		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Originalwerte	kurz	1360,4	98,5	667,9	1649,0	176,4	1196,5
	lang	1285,8	97,0	657,9	1371,1	112,4	762,3
Ränge	kurz	161,9	10,6	72,1	185,0	9,3	62,8
	lang	154,1	10,2	69,1	159,8	10,0	67,5
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		1,41	1, 90	0,2374			
Länge Wegalternative		4,97	1, 90	0,0283	*		
Geschlecht x Länge		1,38	1, 90	0,2425			

Tab.3.16: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) vor Sackgasse 5 in Subuntersuchung 1C

		Männer			Frauen		
Wegalternative		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Originalwerte	kurz	1518,0	115,2	781,3	1632,2	159,7	1083,4
	lang	1563,2	141,7	961,3	1545,8	122,1	828,4
Ränge	kurz	184,3	7,7	52,2	183,2	8,1	55,2
	lang	185,1	7,7	52,5	184,7	8,3	56,1
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		0,01	1, 90	0,9324			
Länge Wegalternative		0,03	1, 90	0,8621			
Geschlecht x Länge		0,00	1, 90	0,9613			

Tab.3.17: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) vor Sackgasse 6 in Subuntersuchung 1C

		Männer			Frauen		
Wegalternative		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Originalwerte	kurz	1397,0	88,2	598,3	1614,8	84,0	569,8
	lang	1634,1	118,9	806,2	1652,8	100,4	681,1
Ränge	kurz	118,0	10,3	69,7	151,5	12,0	81,6
	lang	144,6	11,3	76,7	152,3	12,1	81,8
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		2,24	1, 90	0,1379			
Länge Wegalternative		2,58	1, 90	0,1118			
Geschlecht x Länge		2,30	1, 90	0,1326			

Tab.3.18: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) vor Sackgasse 7 in Subuntersuchung 1C

		Männer			Frauen		
Wegalternative		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Originalwerte	kurz	199,0	13,3	90,4	217,5	13,6	92,5
	lang	215,2	22,3	151,3	212,1	17,3	117,3
Ränge	kurz	87,1	8,8	59,9	99,5	7,7	52,1
	lang	93,3	8,4	57,2	93,6	7,7	52,0
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		0,46	1, 90	0,4985			
Länge Wegalternative		0,00	1, 90	0,9809			
Geschlecht x Länge		0,80	1, 90	0,3732			

Tab.3.19: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) vor Sackgasse 8 in Subuntersuchung 1C

		Männer			Frauen		
Wegalternative		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Originalwerte	kurz	748,7	44,3	300,4	783,4	41,5	281,7
	lang	729,6	38,3	259,4	708,4	30,8	208,6
Ränge	kurz	100,9	10,7	72,5	114,8	9,6	65,4
	lang	99,0	9,8	66,5	97,8	9,1	62,0
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		0,29	1, 90	0,5915			
Länge Wegalternative		1,65	1, 90	0,2020			
Geschlecht x Länge		1,05	1, 90	0,3078			

Untersuchung 1: Subuntersuchung 1D

Tab.4.1: Qualität der Aufgabenlösung: "Weg" (pixel) in Subuntersuchung 1D
Mittelwerte (AM), Standardfehler (SE) und Standardabweichung (SD) der Roh- und rangtransformierten Werte der abhängigen Variablen für männliche und weibliche Probanden bei der Bearbeitung der Stimuli von Subuntersuchung 1C (Wegsysteme mit Sackgassen mit und ohne Richtungswechsel) zusammen mit den Ergebnissen der varianzanalytischen Auswertung der rangtransformierten Werte

		Männer			Frauen		
Richtungswechsel		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Originalwerte	nein	10,4	4,2	28,8	70,6	32,7	222,0
	ja	22,3	7,4	49,9	79,9	37,6	255,3
Ränge	nein	71,2	7,1	48,3	103,3	7,8	52,7
	ja	90,6	7,3	49,6	104,9	8,4	56,7
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		7,52	1, 90	0,0074	**		
Richtungswechsel		2,41	1, 90	0,1242			
Geschlecht x Richtungswechsel		1,70	1, 90	0,1954			

Tab.4.2: Präzision der Bewegung: "Wall" (s/Weg) in Subuntersuchung 1D

		Männer			Frauen		
Richtungswechsel		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Originalwerte	nein	0,0310	0,0049	0,0330	0,0504	0,0116	0,0789
	ja	0,0362	0,0060	0,0407	0,0430	0,0072	0,0488
Ränge	nein	89,2	7,0	47,5	93,6	8,4	57,0
	ja	92,1	7,6	51,7	95,1	8,5	57,5
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		0,16	1, 90	0,6911			
Richtungswechsel		0,14	1, 90	0,7106			
Geschlecht x Richtungswechsel		0,01	1, 90	0,9064			

Tab.4.3: Präzision der Bewegung: "Wavy lines" (pixel/Weg) in Subuntersuchung 1D

		Männer			Frauen		
Richtungswechsel		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Originalwerte	nein	0,1987	0,0052	0,0350	0,2018	0,0049	0,0333
	ja	0,2093	0,0043	0,0291	0,2204	0,0044	0,0296
Ränge	nein	77,7	8,5	57,6	83,2	7,9	53,8
	ja	95,3	7,2	48,9	113,7	6,8	46,4
2x2 ANOVA der Ränge		F	Df	p			
Geschlecht		1,56	1, 90	0,2149			
Richtungswechsel		22,88	1, 90	<0.0001	***		
Geschlecht x Richtungswechsel		1,64	1, 90	0,2038			

Tab.4.4: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) in Subuntersuchung 1D

		Männer			Frauen		
Richtungswechsel		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Originalwerte	nein	29341,8	1242,1	8424,3	31505,8	1475,9	10010,1
	ja	29589,9	1223,3	8296,8	34477,2	2084,5	14137,9
Ränge	nein	83,1	8,5	57,7	95,8	7,3	49,5
	ja	84,5	8,1	54,9	106,6	7,2	48,8
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		2,84	1, 90	0,0951	(*)		
Richtungswechsel		2,41	1, 90	0,1238			
Geschlecht x Richtungswechsel		1,44	1, 90	0,2335			

Tab.4.5: Zeitbedarf: "Startzeit" (ms) in Subuntersuchung 1D

		Männer			Frauen		
Richtungswechsel		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Originalwerte	nein	1836,6	310,1	2103,0	1833,3	311,9	2115,6
	ja	1424,8	254,3	1724,6	1637,9	255,2	1731,0
Ränge	nein	91,2	8,3	56,4	100,3	7,1	48,2
	ja	78,4	8,8	59,8	100,1	6,8	46,2
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		2,76	1, 90	0,1000	(*)		
Richtungswechsel		1,20	1, 90	0,2757			
Geschlecht x Richtungswechsel		1,12	1, 90	0,2928			

Tab.4.6: Zeitbedarf: "Pausendauer" (ms) in Subuntersuchung 1D

		Männer			Frauen		
		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Richtungswechsel							
Mindest-Pausenlänge 25 ms							
Orginalwerte	nein	4484,3	634,1	4300,6	5888,5	1008,4	6839,3
	ja	4920,1	654,1	4436,2	7822,8	1462,0	9915,9
Ränge	nein	79,7	8,1	55,1	92,7	7,7	52,0
	ja	89,6	7,1	48,0	108,0	8,2	55,4
Mindest-Pausenlänge 50 ms							
Orginalwerte	nein	4440,8	633,9	4299,5	5851,0	1006,9	6829,1
	ja	4881,4	653,7	4433,8	7765,4	1460,0	9902,1
Ränge	nein	79,6	8,1	55,2	92,9	7,6	51,8
	ja	89,6	7,1	48,2	107,9	8,2	55,3
Mindest-Pausenlänge 100 ms							
Orginalwerte	nein	4320,3	632,3	4288,5	5742,3	1007,2	6831,1
	ja	4735,5	651,5	4418,4	7637,2	1453,9	9860,6
Ränge	nein	79,8	8,1	54,8	92,9	7,6	51,7
	ja	89,0	7,1	48,4	108,3	8,2	55,5
Mindest-Pausenlänge 200 ms							
Orginalwerte	nein	4136,8	628,8	4264,7	5507,8	1007,5	6833,0
	ja	4490,8	651,6	4419,6	7354,8	1440,6	9770,7
Ränge	nein	80,5	8,0	54,6	93,1	7,6	51,8
	ja	88,9	7,2	48,8	107,5	8,2	55,8
Mindest-Pausenlänge 300 ms							
Orginalwerte	nein	3902,5	632,3	4288,3	5332,2	1011,3	6858,8
	ja	4338,2	647,4	4391,1	7139,9	1423,5	9654,7
Ränge	nein	79,0	8,1	55,2	93,5	7,6	51,4
	ja	89,9	7,1	48,2	107,6	8,2	55,7

Tab.4.7: Zeitbedarf: "Geschwindigkeit" (pixel/sec) in Subuntersuchung 1D

Richtungswechsel		Männer			Frauen		
		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Mindest-Pausenlänge 25 ms							
Originalwerte	nein	0,103	0,003	0,023	0,100	0,003	0,018
	ja	0,103	0,003	0,024	0,097	0,003	0,020
Ränge	nein	98,59	8,48	57,51	91,54	7,00	47,49
	ja	97,80	8,47	57,46	82,07	7,36	49,92
Mindest-Pausenlänge 50 ms							
Originalwerte	nein	0,103	0,003	0,023	0,100	0,003	0,018
	ja	0,103	0,003	0,024	0,097	0,003	0,020
Ränge	nein	98,5	8,5	57,5	91,6	7,0	47,5
	ja	97,8	8,5	57,6	82,0	7,3	49,8
Mindest-Pausenlänge 100 ms							
Originalwerte	nein	0,103	0,003	0,023	0,100	0,003	0,018
	ja	0,102	0,003	0,023	0,096	0,003	0,020
Ränge	nein	98,4	8,5	57,5	91,9	7,0	47,6
	ja	97,8	8,5	57,6	81,8	7,3	49,6
Mindest-Pausenlänge 200 ms							
Originalwerte	nein	0,102	0,003	0,023	0,099	0,003	0,017
	ja	0,101	0,003	0,023	0,095	0,003	0,020
Ränge	nein	98,9	8,4	57,2	91,9	7,0	47,6
	ja	97,7	8,5	57,6	81,5	7,4	49,9
Mindest-Pausenlänge 300 ms							
Originalwerte	nein	0,101	0,003	0,022	0,098	0,003	0,017
	ja	0,101	0,003	0,023	0,094	0,003	0,019
Ränge	nein	98,8	8,4	56,7	92,1	7,1	48,0
	ja	98,1	8,5	57,6	81,1	7,4	49,9

Tab.4.8: Zeitbedarf: "Pausendauer" und "Geschwindigkeit" in Subuntersuchung 1D:
Ergebnisse der varianzanalytischen Auswertung

2x2 ANOVA der Ränge	Zeit in Pause			Geschwindigkeit		
	F	df	p	F	df	p
Mindest-Pausenlänge 25 ms						
Geschlecht	2,53	1, 90	0,1153	1,15	1, 90	0,2873
Richtungswechsel	6,74	1, 90	0,0110 *	2,58	1, 90	0,1114
Geschlecht x Richtungswechsel	0,30	1, 90	0,5842	1,86	1, 90	0,1765
Mindest-Pausenlänge 50 ms						
Geschlecht	2,56	1, 90	0,1128	1,14	1, 90	0,2893
Richtungswechsel	6,66	1, 90	0,0115 *	2,64	1, 90	0,1075
Geschlecht x Richtungswechsel	0,27	1, 90	0,6075	1,94	1, 90	0,1669
Mindest-Pausenlänge 100 ms						
Geschlecht	2,70	1, 90	0,1036	1,13	1, 90	0,2912
Richtungswechsel	6,53	1, 90	0,0123 *	2,75	1, 90	0,1005
Geschlecht x Richtungswechsel	0,41	1, 90	0,5235	2,18	1, 90	0,1429
Mindest-Pausenlänge 200 ms						
Geschlecht	2,51	1, 90	0,1170	1,20	1, 90	0,2768
Richtungswechsel	5,29	1, 90	0,0238 *	3,20	1, 90	0,0772 (*)
Geschlecht x Richtungswechsel	0,37	1, 90	0,5427	2,00	1, 90	0,1604
Mindest-Pausenlänge 300 ms						
Geschlecht	2,70	1, 90	0,1036	1,25	1, 90	0,2671
Richtungswechsel	6,33	1, 90	0,0137 *	3,10	1, 90	0,0815 (*)
Geschlecht x Richtungswechsel	0,11	1, 90	0,7415	2,41	1, 90	0,1241

Tab.4.9: Zeitbedarf: "Anzahl Pausen" in Subuntersuchung 1D

		Männer			Frauen		
		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Richtungswechsel							
Mindest-Pausenlänge 25 ms							
Orginalwerte	nein	8,85	0,70	4,77	9,15	0,63	4,27
	ja	9,20	0,74	5,04	10,89	0,81	5,47
Ränge	nein	85,5	7,8	52,9	89,7	8,0	54,2
	ja	86,1	7,8	53,2	108,6	7,4	50,2
Mindest-Pausenlänge 50 ms							
Orginalwerte	nein	7,39	0,66	4,47	8,00	0,56	3,79
	ja	7,83	0,69	4,69	8,98	0,70	4,76
Ränge	nein	83,4	7,9	53,8	95,0	7,8	52,6
	ja	85,6	8,0	54,2	106,0	7,4	50,1
Mindest-Pausenlänge 100 ms							
Orginalwerte	nein	5,96	0,64	4,36	6,46	0,47	3,21
	ja	5,89	0,61	4,12	7,24	0,60	4,09
Ränge	nein	83,8	7,7	52,0	98,1	7,7	52,5
	ja	82,2	7,8	53,1	105,9	7,7	52,4
Mindest-Pausenlänge 200 ms							
Orginalwerte	nein	4,67	0,55	3,75	4,91	0,36	2,46
	ja	4,26	0,51	3,48	5,33	0,48	3,26
Ränge	nein	87,2	7,8	53,1	100,4	7,4	50,5
	ja	79,7	7,8	52,6	102,7	7,9	53,6
Mindest-Pausenlänge 300 ms							
Orginalwerte	nein	3,72	0,49	3,35	4,15	0,31	2,11
	ja	3,61	0,47	3,21	4,43	0,43	2,91
Ränge	nein	85,1	7,9	53,8	102,1	7,2	49,0
	ja	81,9	7,6	51,8	100,9	8,1	54,8

Tab.4.10: Zeitbedarf: "mittlere Pausendauer" (ms) in Subuntersuchung 1D

		Männer			Frauen		
		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Richtungswechsel							
Mindest-Pausenlänge 25 ms							
Orginalwerte	nein	462,3	43,4	294,2	731,4	193,2	1310,4
	ja	564,0	58,0	393,2	640,0	67,9	460,5
Ränge	nein	81,5	7,6	51,3	93,2	7,7	52,4
	ja	93,7	7,8	52,6	101,6	8,3	56,4
Mindest-Pausenlänge 50 ms							
Orginalwerte	nein	555,8	51,4	348,9	880,8	258,4	1752,6
	ja	656,7	67,0	454,4	754,0	77,9	528,6
Ränge	nein	83,5	7,7	51,9	90,1	7,9	53,9
	ja	92,3	7,8	53,0	104,0	7,9	53,9
Mindest-Pausenlänge 100 ms							
Orginalwerte	nein	679,3	65,0	440,5	1005,0	259,7	1761,1
	ja	875,9	98,0	664,8	916,9	94,3	639,4
Ränge	nein	81,6	7,8	53,1	89,3	7,9	53,6
	ja	96,3	8,0	54,0	102,8	7,6	51,7
Mindest-Pausenlänge 200 ms							
Orginalwerte	nein	830,8	89,7	608,0	1283,1	384,0	2604,6
	ja	1128,5	130,5	885,0	1280,5	201,2	1364,6
Ränge	nein	77,9	8,2	55,4	86,1	7,7	52,2
	ja	100,6	7,6	51,7	105,4	7,5	50,7
Mindest-Pausenlänge 300 ms							
Orginalwerte	nein	897,2	97,5	661,2	1341,3	383,3	2599,8
	ja	1329,7	165,0	1118,9	1556,7	250,5	1698,8
Ränge	nein	75,9	7,8	53,0	85,0	7,5	51,0
	ja	101,3	7,9	53,5	107,9	7,5	51,0

Tab.4.11: Zeitbedarf: "Anzahl Pausen" und "mittlere Pausendauer" in Subuntersuchung 1D:
Ergebnisse der varianzanalytischen Auswertung

2x2 ANOVA der Ränge	Anzahl Pausen			Mittlere Pausenlänge		
	F	df	p	F	df	p
Mindest-Pausenlänge 25 ms						
Geschlecht	1,93	1, 90	0,1677	1,04	1, 90	0,3098
Richtungswechsel	3,30	1, 90	0,0728 (*)	3,42	1, 90	0,0677 (*)
Geschlecht x Richtungswechsel	2,91	1, 90	0,0915 (*)	0,11	1, 90	0,7355
Mindest-Pausenlänge 50 ms						
Geschlecht	2,69	1, 90	0,1044	0,95	1, 90	0,3333
Richtungswechsel	1,67	1, 90	0,2002	3,79	1, 90	0,0547 (*)
Geschlecht x Richtungswechsel	0,75	1, 90	0,3903	0,20	1, 90	0,6574
Mindest-Pausenlänge 100 ms						
Geschlecht	3,80	1, 90	0,0543 (*)	0,59	1, 90	0,4445
Richtungswechsel	0,40	1, 90	0,5298	5,35	1, 90	0,0231 *
Geschlecht x Richtungswechsel	0,89	1, 90	0,3488	0,01	1, 90	0,9207
Mindest-Pausenlänge 200 ms						
Geschlecht	3,44	1, 90	0,0669 (*)	0,49	1, 90	0,4858
Richtungswechsel	0,29	1, 90	0,5940	12,51	1, 90	0,0006 ***
Geschlecht x Richtungswechsel	0,96	1, 90	0,3288	0,08	1, 90	0,7770
Mindest-Pausenlänge 300 ms						
Geschlecht	3,54	1, 90	0,0633 (*)	0,76	1, 90	0,3850
Richtungswechsel	0,18	1, 90	0,6760	15,67	1, 90	0,0002 ***
Geschlecht x Richtungswechsel	0,04	1, 90	0,8465	0,04	1, 90	0,8352

Tab.4.12: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) vor Sackgasse 1 in Subuntersuchung 1D

	Richtungswechsel	Männer			Frauen		
		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Orginalwerte	nein	1118,0	65,8	446,6	1187,1	93,8	636,1
	Ja	1039,5	64,7	439,0	1151,1	58,2	394,7
Ränge	Nein	93,3	8,2	55,9	96,3	7,6	51,3
	Ja	80,5	8,1	54,7	99,8	7,5	50,6
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		1,46	1, 90	0,2304			
Richtungswechsel		0,59	1, 90	0,4445			
Geschlecht x Richtungswechsel		1,80	1, 90	0,1826			

Tab.4.13: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) vor Sackgasse 2 in Subuntersuchung 1D

		Männer			Frauen		
Richtungswechsel		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Orginalwerte	nein	2089,8	274,6	1862,7	1903,5	185,9	1261,2
	ja	2317,8	280,3	1901,2	2466,8	293,5	1990,9
Ränge	nein	87,4	8,0	54,2	87,9	7,1	47,9
	ja	94,6	8,4	57,0	100,1	8,0	54,3
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		0,11	1, 90	0,7400			
Richtungswechsel		2,26	1, 90	0,1365			
Geschlecht x Richtungswechsel		0,15	1, 90	0,6985			

Tab.4.14: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) vor Sackgasse 3 in Subuntersuchung 1D

		Männer			Frauen		
Richtungswechsel		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Orginalwerte	nein	1408,4	171,9	1166,0	1343,8	123,2	835,4
	ja	1046,3	96,7	655,6	1574,6	279,3	1894,5
Ränge	nein	99,1	7,9	53,8	102,7	7,7	52,3
	ja	77,3	7,4	50,2	90,9	8,1	54,8
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		1,12	1, 90	0,2938			
Richtungswechsel		5,06	1, 90	0,0269	*		
Geschlecht x Richtungswechsel		0,45	1, 90	0,5056			

Tab.4.15: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) vor Sackgasse 4 in Subuntersuchung 1D

		Männer			Frauen		
Richtungswechsel		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Orginalwerte	nein	1374,1	155,4	1054,0	1666,0	198,8	1348,5
	ja	1641,2	220,2	1493,4	2049,2	326,0	2211,2
Ränge	nein	80,7	8,0	54,1	97,8	7,3	49,2
	ja	92,1	8,2	55,4	99,4	7,9	53,8
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		1,79	1, 90	0,1848			
Richtungswechsel		1,08	1, 90	0,3018			
Geschlecht x Richtungswechsel		0,60	1, 90	0,4416			

Tab.4.16: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) vor Sackgasse 5 in Subuntersuchung 1D

		Männer			Frauen		
Richtungswechsel		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Orginalwerte	nein	1560,3	116,6	791,0	1574,8	154,1	1045,4
	ja	1606,6	127,9	867,3	1843,6	153,4	1040,6
Ränge	nein	88,2	7,8	52,7	85,3	8,1	54,7
	ja	92,2	7,3	49,5	104,3	8,2	55,8
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		0,27	1, 90	0,6042			
Richtungswechsel		2,99	1, 90	0,0871	(*)		
Geschlecht x Richtungswechsel		1,25	1, 90	0,2671			

Tab.4.17: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) vor Sackgasse 6 in Subuntersuchung 1D

		Männer			Frauen		
Richtungswechsel		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Originalwerte	nein	793,2	52,6	356,6	869,5	71,2	482,7
	ja	772,2	57,7	391,4	797,8	73,9	501,4
Ränge	nein	93,7	8,2	55,7	100,9	7,2	48,6
	ja	88,0	8,1	55,2	87,4	7,9	53,9
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		0,14	1, 90	0,7079			
Richtungswechsel		2,01	1, 90	0,1593			
Geschlecht x Richtungswechsel		0,34	1, 90	0,5589			

Tab.4.18: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms) vor Sackgasse 7 in Subuntersuchung 1D

		Männer			Frauen		
Richtungswechsel		AM	SE	SD	AM	SE	SD
Originalwerte	nein	1295,5	56,0	379,9	1259,1	56,3	381,7
	ja	1395,1	80,1	543,1	1320,0	47,6	322,7
Ränge	nein	89,6	8,4	57,0	85,0	8,2	55,4
	ja	98,7	8,1	54,9	96,7	6,7	45,7
2x2 ANOVA der Ränge		F	df	p			
Geschlecht		0,14	1, 90	0,7130			
Richtungswechsel		2,37	1, 90	0,1270			
Geschlecht x Richtungswechsel		0,04	1, 90	0,8419			

Untersuchung 2: Vergleich 1

Tab. 1.1: Qualität der Aufgabenlösung: "Weg" (pixel)
Mittelwerte (AM), Standardfehler (SE) und Standardabweichung (SD) der Roh- und rangtransformierten Werte der abhängigen Variablen für männliche und weibliche Probanden bei der Bearbeitung von Pseudo-Labyrinthen (Stimulus A) und "echten" Labyrinthen (Stimulus B) mit kleinem und großem Cursor zusammen mit den Ergebnissen der 2x2x2 varianzanalytischen Auswertung der rangtransformierten Werte (Faktoren der Varianzanalyse: Geschlecht: SEX, Cursorgröße: CURS, Stimulustyp: STYP)

	Cursor	Stimulus	AM	SE	SD	AM	SE	SD
			Männer			Frauen		
Originalwerte	Klein	A	1,4	0,9	6,0	3,9	1,6	11,0
	Klein	B	79,2	31,2	211,7	129,2	30,5	207,1
	Groß	A	10,2	7,7	52,4	5,0	1,8	12,3
	Groß	B	64,5	25,5	173,0	48,3	15,4	104,6
Ränge	Klein	A	119,2	12,5	84,7	137,3	13,8	93,8
	Klein	B	195,4	16,7	113,5	243,9	17,0	115,1
	Groß	A	160,7	11,3	76,7	145,9	13,9	94,3
	Groß	B	225,9	14,3	97,1	247,7	12,9	87,6
2x2x2 ANOVA der Ränge			F	df	p			
SEX			2,35	1, 90	0,1289			
CURS			5,50	1, 90	0,0212	*		
CURS * SEX			2,74	1, 90	0,1011			
STYP			77,73	1, 90	<0,0001	***		
STYP * SEX			2,86	1, 90	0,0945	(*)		
CURS * STYP			0,19	1, 90	0,6600			
CURS * STYP * SEX			0,03	1, 90	0,8619			

Tab. 1.2: Präzision der Bewegung: "Wall" (s/Weg)

	Cursor	Stimulus	AM	SE	SD	AM	SE	SD
			Männer			Frauen		
Originalwerte	klein	A	0,0252	0,0048	0,0324	0,0212	0,0050	0,0338
	klein	B	0,0593	0,0099	0,0668	0,0425	0,0072	0,0488
	groß	A	0,0600	0,0112	0,0759	0,0339	0,0054	0,0366
	groß	B	0,0607	0,0094	0,0640	0,0609	0,0098	0,0663
Ränge	klein	A	144,9	15,1	102,3	131,2	13,9	94,3
	klein	B	199,8	17,6	119,4	189,1	14,5	98,2
	groß	A	198,4	16,4	111,4	180,1	13,3	90,3
	groß	B	218,2	14,5	98,3	214,3	15,1	102,1
2x2x2 ANOVA der Ränge			F	df	p			
SEX			0,53	1, 90	0,4693			
CURS			20,84	1, 90	<0,0001	***		
CURS * SEX			0,00	1, 90	0,9438			
STYP			23,24	1, 90	<0,0001	***		
STYP * SEX			0,26	1, 90	0,6120			
CURS * STYP			3,52	1, 90	0,0638	(*)		
CURS * STYP * SEX			0,13	1, 90	0,7176			

Tab. 1.3: Präzision der Bewegung: "Wavy lines" (pixel/Weg)

			AM	SE	SD	AM	SE	SD
			Männer			Frauen		
	Cursor	Stimulus						
Orginalwerte	klein	A	0,1630	0,0053	0,0358	0,1687	0,0044	0,0302
	klein	B	0,1990	0,0060	0,0405	0,2182	0,0079	0,0539
	groß	A	0,1907	0,0049	0,0334	0,1880	0,0042	0,0288
	groß	B	0,2181	0,0052	0,0355	0,2282	0,0066	0,0445
Ränge	klein	A	107,2	13,3	90,0	111,9	12,6	85,4
	klein	B	192,2	15,6	106,0	225,3	16,0	108,5
	groß	A	171,3	13,4	90,6	168,3	12,6	85,6
	groß	B	243,5	12,6	85,2	256,3	13,6	92,4
2x2x2 ANOVA der Ränge			F	df	p			
SEX			0,62	1, 90	0,4325			
CURS			52,62	1, 90	<0,0001	***		
CURS * SEX			1,01	1, 90	0,3177			
STYP			159,57	1, 90	<0,0001	***		
STYP * SEX			2,41	1, 90	0,1244			
CURS * STYP			1,75	1, 90	0,1890			
CURS * STYP * SEX			0,19	1, 90	0,6630			

Tab. 1.4: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms)

			AM	SE	SD	AM	SE	SD
			Männer			Frauen		
	Cursor	Stimulus						
Orginalwerte	klein	A	17505	862,2	5847,7	18957	649,6	4406,1
	klein	B	22837	1061,3	7197,8	26002	969,3	6573,9
	groß	A	22707	1019,3	6913,5	24732	976,7	6624,0
	groß	B	29613	1576,6	10693,1	30486	997,1	6762,8
Ränge	klein	A	88,7	13,1	89,1	111,7	11,6	78,9
	klein	B	171,1	15,1	102,6	218,9	12,1	81,7
	groß	A	164,7	14,1	95,8	199,6	13,9	94,2
	groß	B	246,7	14,0	94,7	274,6	10,2	69,5
2x2x2 ANOVA der Ränge			F	df	p			
SEX			4,31	1, 90	0,0408	*		
CURS			151,12	1, 90	<0,0001	***		
CURS * SEX			0,11	1, 90	0,7358			
STYP			249,10	1, 90	<0,0001	***		
STYP * SEX			0,65	1, 90	0,4230			
CURS * STYP			3,64	1, 90	0,0595	(*)		
CURS * STYP * SEX			3,46	1, 90	0,0663	(*)		

Tab. 1.5: Zeitbedarf: "Startzeit" (ms)

			AM	SE	SD	AM	SE	SD
			Männer			Frauen		
	Cursor	Stimulus						
Orginalwerte	klein	A	1654	252,0	1709,0	2032	182,3	1236,7
	klein	B	2792	349,7	2371,8	2951	314,5	2133,3
	groß	A	1898	273,3	1853,7	2069	188,9	1281,0
	groß	B	2916	377,6	2560,8	3130	350,2	2375,3
Ränge	klein	A	130,5	15,4	104,7	181,9	12,6	85,6
	klein	B	199,7	16,5	112,2	221,2	14,0	94,7
	groß	A	144,7	15,6	105,8	182,8	13,0	88,4
	groß	B	195,4	17,8	120,6	220,0	15,7	106,2
2x2x2 ANOVA der Ränge			F	df	p			
SEX			4,39	1, 90	0,0389	*		
CURS			0,08	1, 90	0,7822			
CURS * SEX			0,09	1, 90	0,7712			
STYP			33,80	1, 90	<0,0001	***		
STYP * SEX			1,65	1, 90	0,2025			
CURS * STYP			0,50	1, 90	0,4834			
CURS * STYP * SEX			0,31	1, 90	0,5771			

Tab. 1.6: Zeitbedarf: "Pausenzeit" (ms)

			AM	SE	SD	AM	SE	SD
			Männer			Frauen		
	Cursor	Stimulus						
Orginalwerte	klein	A	1184	190,3	1290,5	1462	261,8	1775,6
	klein	B	3730	409,5	2777,5	5449	520,5	3530,5
	groß	A	2411	344,1	2333,6	3140	454,8	3084,5
	groß	B	6300	716,5	4859,5	7026	515,4	3495,7
Ränge	klein	A	89,6	11,0	74,4	102,3	11,2	75,7
	klein	B	195,9	13,8	93,7	243,7	11,8	80,1
	groß	A	144,7	13,4	90,9	166,0	15,2	103,2
	groß	B	250,5	12,5	84,7	283,3	8,7	59,2
2x2x2 ANOVA der Ränge			F	df	p			
SEX			4,63	1, 90	0,0341	*		
CURS			71,01	1, 90	<0,0001	***		
CURS * SEX			0,07	1, 90	0,7990			
STYP			249,35	1, 90	<0,0001	***		
STYP * SEX			2,46	1, 90	0,1205			
CURS * STYP			1,18	1, 90	0,2804			
CURS * STYP * SEX			1,09	1, 90	0,2986			

Tab. 1.7: Zeitbedarf: Bewegungs-"Geschwindigkeit" (pixel/s)

			AM	SE	SD	AM	SE	SD
			Männer			Frauen		
	Cursor	Stimulus						
Orginalwerte	klein	A	0,1123	0,0042	0,0284	0,1043	0,0034	0,0229
	klein	B	0,1065	0,0044	0,0296	0,0981	0,0028	0,0192
	groß	A	0,0886	0,0028	0,0191	0,0826	0,0026	0,0177
	groß	B	0,0834	0,0030	0,0202	0,0814	0,0024	0,0160
Ränge	klein	A	251,2	15,5	105,0	228,1	14,0	95,1
	klein	B	226,9	16,1	109,5	207,5	13,9	94,1
	groß	A	165,6	14,1	95,5	130,8	13,2	89,5
	groß	B	139,0	14,5	98,2	126,8	12,3	83,3
2x2x2 ANOVA der Ränge			F	df	p			
SEX			1,50	1, 90	0,2241			
CURS			209,27	1, 90	<0,0001	***		
CURS * SEX			0,03	1, 90	0,8584			
STYP			20,68	1, 90	<0,0001	***		
STYP * SEX			2,53	1, 90	0,1149			
CURS * STYP			0,71	1, 90	0,4014			
CURS * STYP * SEX			1,27	1, 90	0,2636			

Tab. 1.8: Zeitbedarf: "Anzahl Pausen"

			AM	SE	SD	AM	SE	SD
			Männer			Frauen		
	Cursor	Stimulus						
Orginalwerte	klein	A	3,0	0,5	3,3	3,1	0,3	2,2
	klein	B	5,8	0,5	3,7	6,4	0,4	2,6
	groß	A	5,4	0,6	4,0	6,3	0,6	4,0
	groß	B	8,1	0,6	4,3	9,0	0,5	3,7
Ränge	klein	A	95,0	12,7	86,3	102,1	10,9	74,2
	klein	B	185,9	14,6	99,2	215,6	10,8	73,2
	groß	A	169,7	15,7	106,8	195,8	16,2	109,6
	groß	B	243,1	12,4	83,8	268,7	11,2	76,0
2x2x2 ANOVA der Ränge			F	df	p			
SEX			2,42	1, 90	0,1232			
CURS			91,36	1, 90	<0,0001	***		
CURS * SEX			0,27	1, 90	0,6066			
STYP			125,73	1, 90	<0,0001	***		
STYP * SEX			0,50	1, 90	0,4823			
CURS * STYP			0,41	1, 90	0,5239			
CURS * STYP * SEX			1,00	1, 90	0,3205			

Tab. 1.9: Zeitbedarf: "Mittlere Pausendauer" (ms)

			AM	SE	SD	AM	SE	SD
			Männer			Frauen		
	Cursor	Stimulus						
Orginalwerte	klein	A	327	42,5	288,4	426	65,4	443,5
	klein	B	644	61,6	418,0	854	75,1	509,2
	groß	A	455	63,3	429,4	460	43,2	292,8
	groß	B	761	63,0	427,2	841	59,4	402,9
Ränge	klein	A	111,9	14,2	96,0	130,1	15,0	101,6
	klein	B	201,3	14,2	96,2	247,3	13,2	89,7
	groß	A	139,2	14,1	95,6	152,7	14,1	95,6
	groß	B	235,2	12,8	87,1	258,3	10,9	74,2
2x2x2 ANOVA der Ränge			F	df	p			
SEX			4,38	1, 90	0,0393	*		
CURS			7,59	1, 90	0,0071	**		
CURS * SEX			0,64	1, 90	0,4266			
STYP			108,52	1, 90	<0,0001	***		
STYP * SEX			0,91	1, 90	0,3414			
CURS * STYP			0,03	1, 90	0,8679			
CURS * STYP * SEX			0,37	1, 90	0,5463			

Untersuchung 2: Vergleich 2

Tab. 2.1: Präzision der Bewegung: "Wall" (s/Weg)

Mittelwerte (AM), Standardfehler (SE) und Standardabweichung (SD) der Roh- und rangtransformierten Werte der abhängigen Variablen für männliche und weibliche Probanden bei der Bearbeitung des "Pfad" (Stimulus A) und des Pseudolabyrinthes (Stimulus B) mit kleinem und großem Cursor zusammen mit den Ergebnissen der 2x2x2 varianzanalytischen Auswertung der rangtransformierten Werte (Faktoren der Varianzanalyse: Geschlecht: SEX, Cursorgröße: CURS, Stimulustyp: STYP)

	Cursor	Stimulus	AM	SE	SD	AM	SE	SD
			Männer			Frauen		
Orginalwerte	klein	A	0,0209	0,0057	0,0386	0,0164	0,0028	0,0189
	klein	B	0,0252	0,0048	0,0324	0,0212	0,0050	0,0338
	groß	A	0,0296	0,0051	0,0345	0,0258	0,0049	0,0333
	groß	B	0,0600	0,0112	0,0759	0,0339	0,0054	0,0366
Ränge	klein	A	147,7	15,6	105,6	165,8	13,5	91,8
	klein	B	173,4	16,5	112,1	159,3	15,1	102,7
	groß	A	204,3	14,0	95,1	184,0	15,0	101,7
	groß	B	227,0	16,3	110,6	214,5	14,1	95,4
2x2x2 ANOVA der Ränge			F	df	p			
SEX			0,21	1, 90	0,6442			
CURS			26,30	1, 90	<0,0001	***		
CURS * SEX			1,06	1, 90	0,3069			
STYP			4,82	1, 90	0,0308	*		
STYP * SEX			0,55	1, 90	0,4609			
CURS * STYP			1,18	1, 90	0,2809			
CURS * STYP * SEX			1,63	1, 90	0,2053			

Tab. 2.2: Präzision der Bewegung: "Wavy lines" (pixel/Weg)

	Cursor	Stimulus	AM	SE	SD	AM	SE	SD
			Männer			Frauen		
Orginalwerte	klein	A	0,1605	0,0047	0,0317	0,1726	0,0041	0,0281
	klein	B	0,1630	0,0053	0,0358	0,1687	0,0044	0,0302
	groß	A	0,1869	0,0049	0,0333	0,1915	0,0049	0,0332
	groß	B	0,1907	0,0049	0,0334	0,1880	0,0042	0,0288
Ränge	klein	A	131,5	15,1	102,2	171,8	14,4	97,4
	klein	B	144,4	16,2	110,0	152,3	14,6	99,3
	groß	A	211,6	15,2	102,9	226,8	15,2	103,2
	groß	B	218,8	14,1	95,6	218,7	14,2	96,5
2x2x2 ANOVA der Ränge			F	df	p			
SEX			0,87	1, 90	0,3536			
CURS			73,58	1, 90	<0,0001	***		
CURS * SEX			1,06	1, 90	0,3058			
STYP			0,08	1, 90	0,7837			
STYP * SEX			3,02	1, 90	0,0854	(*)		
CURS * STYP			0,05	1, 90	0,8285			
CURS * STYP * SEX			0,43	1, 90	0,5130			

Tab. 2.3: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms)

			AM	SE	SD	AM	SE	SD
			Männer			Frauen		
	Cursor	Stimulus						
Orginalwerte	klein	A	15642	628,5	4263,0	18482	698,2	4735,3
	klein	B	17505	862,2	5847,7	18957	649,6	4406,1
	groß	A	21103	999,2	6776,6	23679	1019,7	6916,2
	groß	B	22707	1019,3	6913,5	24732	976,7	6624,0
Ränge	klein	A	101,9	13,3	90,5	156,7	14,0	94,6
	klein	B	133,3	15,7	106,5	168,6	13,7	92,7
	groß	A	194,4	15,7	106,3	240,0	13,3	90,5
	groß	B	224,1	13,0	88,0	257,1	12,4	83,8
2x2x2 ANOVA der Ränge			F	df	p			
SEX			5,57	1, 90	0,0205	*		
CURS			291,30	1, 90	<0,0001	***		
CURS * SEX			0,31	1, 90	0,5797			
STYP			22,12	1, 90	<0,0001	***		
STYP * SEX			2,81	1, 90	0,0971	(*)		
CURS * STYP			0,04	1, 90	0,8420			
CURS * STYP * SEX			0,16	1, 90	0,6903			

Tab. 2.4: Zeitbedarf: "Startzeit" (ms)

			AM	SE	SD	AM	SE	SD
			Männer			Frauen		
	Cursor	Stimulus						
Orginalwerte	klein	A	938	71,6	485,9	1432	114,6	777,0
	klein	B	1654	252,0	1709,0	2032	182,3	1236,7
	groß	A	1194	114,9	779,3	1549	130,5	885,3
	groß	B	1898	273,3	1853,7	2069	188,9	1281,0
Ränge	klein	A	120,9	12,8	86,9	184,7	12,7	86,4
	klein	B	167,8	18,0	121,9	236,0	14,0	95,2
	groß	A	145,3	15,3	104,0	199,7	12,9	87,7
	groß	B	184,5	17,2	116,4	237,1	14,4	97,6
2x2x2 ANOVA der Ränge			F	df	p			
SEX			14,46	1, 90	0,0003	***		
CURS			4,03	1, 90	0,0478	*		
CURS * SEX			0,75	1, 90	0,3879			
STYP			23,91	1, 90	<0,0001	***		
STYP * SEX			0,01	1, 90	0,9430			
CURS * STYP			0,49	1, 90	0,4862			
CURS * STYP * SEX			0,04	1, 90	0,8412			

Tab. 2.5: Zeitbedarf: "Pausenzeit" (ms)

			AM	SE	SD	AM	SE	SD
			Männer			Frauen		
	Cursor	Stimulus						
Orginalwerte	klein	A	704	114,5	776,7	1299	233,9	1586,5
	klein	B	1184	190,3	1290,5	1462	261,8	1775,6
	groß	A	1710	255,2	1730,8	2646	401,4	2722,4
	groß	B	2411	344,1	2333,6	3140	454,8	3084,5
Ränge	klein	A	118,5	12,7	86,4	156,6	15,0	102,0
	klein	B	152,3	16,0	108,2	174,5	14,4	97,7
	groß	A	185,5	15,9	107,7	229,0	14,1	95,5
	groß	B	221,0	14,8	100,7	238,6	14,3	97,3
2x2x2 ANOVA der Ränge			F	df	p			
SEX			3,55	1, 90	0,0629	(*)		
CURS			77,18	1, 90	<0,0001	***		
CURS * SEX			0,00	1, 90	0,9805			
STYP			11,21	1, 90	0,0012	**		
STYP * SEX			2,09	1, 90	0,1513			
CURS * STYP			0,05	1, 90	0,8320			
CURS * STYP * SEX			0,10	1, 90	0,7512			

Tab. 2.6: Zeitbedarf: Bewegungs-"Geschwindigkeit" (pixel/s)

			AM	SE	SD	AM	SE	SD
			Männer			Frauen		
	Cursor	Stimulus						
Orginalwerte	klein	A	0,1174	0,0044	0,0298	0,1021	0,0033	0,0222
	klein	B	0,1123	0,0042	0,0284	0,1043	0,0034	0,0229
	groß	A	0,0905	0,0034	0,0228	0,0830	0,0027	0,0186
	groß	B	0,0886	0,0028	0,0191	0,0826	0,0026	0,0177
Ränge	klein	A	254,4	14,7	99,4	208,3	13,8	93,3
	klein	B	239,6	15,6	105,8	215,7	14,0	95,0
	groß	A	161,0	15,2	103,2	122,7	13,0	88,0
	groß	B	154,2	13,5	91,8	120,2	12,6	85,7
2x2x2 ANOVA der Ränge			F	df	p			
SEX			3,79	1, 90	0,0545	(*)		
CURS			260,11	1, 90	<0,0001	***		
CURS * SEX			0,01	1, 90	0,9164			
STYP			0,94	1, 90	0,3338			
STYP * SEX			2,37	1, 90	0,1271			
CURS * STYP			0,02	1, 90	0,8968			
CURS * STYP * SEX			1,48	1, 90	0,2277			

Tab. 2.7: Zeitbedarf: "Anzahl Pausen"

			AM	SE	SD	AM	SE	SD
			Männer			Frauen		
	Cursor	Stimulus						
Orginalwerte	klein	A	2,7	0,4	3,0	3,7	0,4	2,8
	klein	B	3,0	0,5	3,3	3,1	0,3	2,2
	groß	A	4,8	0,6	4,1	7,1	0,7	4,8
	groß	B	5,4	0,6	4,0	6,3	0,6	4,0
Ränge	klein	A	126,9	14,6	98,8	168,4	14,5	98,3
	klein	B	136,8	14,1	95,8	151,1	12,1	81,9
	groß	A	189,6	16,3	110,6	253,5	13,0	88,2
	groß	B	213,5	15,0	101,4	236,3	14,7	99,5
2x2x2 ANOVA der Ränge			F	df	p			
SEX			4,75	1, 90	0,0319	*		
CURS			102,96	1, 90	<0,0001	***		
CURS * SEX			1,01	1, 90	0,3168			
STYP			0,00	1, 90	0,9779			
STYP * SEX			6,22	1, 90	0,0145	*		
CURS * STYP			0,32	1, 90	0,5701			
CURS * STYP * SEX			0,32	1, 90	0,5737			

Tab. 2.8: Zeitbedarf: "Mittlere Pausendauer" (ms)

			AM	SE	SD	AM	SE	SD
			Männer			Frauen		
	Cursor	Stimulus						
Orginalwerte	klein	A	230	33,1	224,7	295	37,6	255,3
	klein	B	327	42,5	288,4	426	65,4	443,5
	groß	A	321	31,8	215,7	336	30,2	204,9
	groß	B	455	63,3	429,4	460	43,2	292,8
Ränge	klein	A	133,0	15,6	105,6	159,8	15,5	104,8
	klein	B	172,9	17,9	121,7	197,6	16,1	109,4
	groß	A	180,2	14,8	100,3	190,4	13,1	88,6
	groß	B	213,0	14,7	99,9	229,2	13,9	94,1
2x2x2 ANOVA der Ränge			F	df	p			
SEX			1,91	1, 90	0,1709			
CURS			14,52	1, 90	0,0003	***		
CURS * SEX			0,41	1, 90	0,5239			
STYP			16,91	1, 90	0,0001	***		
STYP * SEX			0,01	1, 90	0,9173			
CURS * STYP			0,03	1, 90	0,8689			
CURS * STYP * SEX			0,04	1, 90	0,8335			

Untersuchung 3

Tab. 1: Qualität der Aufgabenlösung: "Weg" (pixel)

Mittelwerte (AM), Standardfehler (SE) und Standardabweichung (SD) der Roh- und rangtransformierten Werte der abhängigen Variablen für männliche und weibliche Probanden bei der Bearbeitung der Labyrinthstimuli mit Feedback der Bewegungsspur (Spur) und/oder der Wandberührungsfehler (Wand) zusammen mit den Ergebnissen der 2x2x2 varianzanalytischen Auswertung der rangtransformierten Werte

	Feedback		AM	SE	SD	AM	SE	SD
	Spur	Wand						
Originalwerte	nein	nein	274	134	569	84	22	94
	nein	ja	173	83	353	105	38	160
	ja	nein	45	12	49	158	78	332
	ja	ja	61	25	108	112	49	206
Ränge	nein	nein	82,6	10,3	43,6	73,4	10,7	45,4
	nein	ja	77,6	11,0	46,5	72,8	10,5	44,5
	ja	nein	58,7	9,0	38,1	81,2	9,0	38,0
	ja	ja	60,3	9,1	38,4	73,3	9,4	39,9
2x2x2 ANOVA der Ränge			F	df	p			
SEX			0,42	1, 68	0,5209			
SPUR			0,97	1, 68	0,3275			
SEX x SPUR			2,22	1, 68	0,1405			
WAND			0,31	1, 68	0,5803			
WAND x SEX			0,06	1, 68	0,8119			
WAND x SPUR			0,00	1, 68	0,9752			
WAND x SEX x SPUR			0,42	1, 68	0,5185			

Tab. 2: Präzision der Bewegung: "Wall" (s/Weg)

	Feedback		AM	SE	SD	AM	SE	SD
	Spur	Wand						
Originalwerte	nein	nein	0,7926	0,2084	0,8841	0,5108	0,1226	0,5202
	nein	ja	0,3941	0,1627	0,6905	0,1685	0,0347	0,1473
	ja	nein	0,2954	0,0580	0,2460	0,6139	0,1092	0,4634
	ja	ja	0,1267	0,0274	0,1161	0,2870	0,0898	0,3811
Ränge	nein	nein	94,1	10,3	43,6	89,2	8,7	36,9
	nein	ja	58,7	10,1	42,9	51,9	8,3	35,3
	ja	nein	77,8	7,6	32,0	102,1	7,4	31,4
	ja	ja	40,8	8,5	36,2	65,4	9,0	38,1
2x2x2 ANOVA der Ränge			F	df	p			
SEX			1,40	1, 68	0,2415			
SPUR			0,06	1, 68	0,8025			
SEX x SPUR			3,72	1, 68	0,0580	(*)		
WAND			85,52	1, 68	<0,0001	***		
WAND x SEX			0,01	1, 68	0,9219			
WAND x SPUR			0,00	1, 68	0,9498			
WAND x SEX x SPUR			0,02	1, 68	0,8942			

Tab. 3: Präzision der Bewegung: "Wavy lines" (pixel/Weg)

	Feedback		AM	SE	SD	AM	SE	SD
	Spur	Wand						
Orginalwerte	nein	Nein	0,4818	0,0899	0,3816	0,3597	0,0461	0,1957
	nein	Ja	0,3409	0,0580	0,2462	0,2693	0,0132	0,0560
	ja	Nein	0,2732	0,0160	0,0679	0,3653	0,0374	0,1587
	ja	Ja	0,2487	0,0099	0,0421	0,2958	0,0334	0,1415
Ränge	nein	Nein	96,2	9,1	38,6	85,5	9,8	41,5
	nein	Ja	65,1	9,8	41,5	64,9	8,9	37,7
	ja	Nein	61,9	9,3	39,6	92,6	8,9	37,7
	ja	Ja	50,4	8,4	35,7	63,4	10,5	44,4
2x2x2 ANOVA der Ränge			F	df	p			
SEX			1,09	1, 68	0,3011			
SPUR			1,89	1, 68	0,1732			
SEX x SPUR			2,99	1, 68	0,0885	(*)		
WAND			21,09	1, 68	<0,0001	***		
WAND x SEX			0,13	1, 68	0,7244			
WAND x SPUR			0,30	1, 68	0,5857			
WAND x SEX x SPUR			1,96	1, 68	0,1662			

Tab. 4: Zeitbedarf: "Gesamtzeit" (ms)

	Feedback		AM	SE	SD	AM	SE	SD
	Spur	Wand						
Orginalwerte	nein	Nein	52613	4490	19050	63510	5931	25165
	nein	Ja	67636	4934	20934	77298	6036	25609
	ja	Nein	60187	4110	17439	57110	3725	15805
	ja	ja	71944	5017	21287	69390	4250	18029
Ränge	nein	nein	49,3	9,4	39,9	67,1	10,8	45,9
	nein	ja	81,9	9,7	41,1	92,5	8,9	37,9
	ja	nein	62,7	9,2	39,0	58,4	8,9	37,9
	ja	ja	84,8	9,4	39,7	83,3	9,3	39,6
2x2x2 ANOVA der Ränge			F	df	p			
SEX			0,42	1, 68	0,5216			
SPUR			0,00	1, 68	0,9622			
SEX x SPUR			0,96	1, 68	0,3318			
WAND			52,26	1, 68	<0,0001	***		
WAND x SEX			0,09	1, 68	0,7661			
WAND x SPUR			0,57	1, 68	0,4510			
WAND x SEX x SPUR			0,48	1, 68	0,4930			

Tab. 5: Zeitbedarf: "Startzeit" (ms)

	Feedback		AM	SE	SD	AM	SE	SD
	Spur	Wand	Männer			Frauen		
Orginalwerte	nein	nein	828	141	596	1567	180	765
	nein	ja	1561	444	1884	2396	295	1254
	ja	nein	1058	200	847	1131	209	886
	ja	ja	2009	750	3180	2230	582	2471
Ränge	nein	nein	46,6	8,5	36,0	83,4	7,5	32,0
	nein	ja	66,4	10,2	43,4	106,7	7,7	32,8
	ja	nein	56,7	9,5	40,5	59,5	9,9	41,8
	ja	ja	73,0	9,8	41,5	87,6	9,0	38,1
2x2x2 ANOVA der Ränge			F	df	p			
SEX			10,01	1, 68	0,0023	**		
SPUR			0,78	1, 68	0,3816			
SEX x SPUR			4,00	1, 68	0,0495	*		
WAND			18,00	1, 68	0,0001	***		
WAND x SEX			0,54	1, 68	0,4630			
WAND x SPUR			0,00	1, 68	0,9486			
WAND x SEX x SPUR			0,17	1, 68	0,6855			

Tab. 6: Zeitbedarf: "Pausenzeit" (ms)

	Feedback		AM	SE	SD	AM	SE	SD
	Spur	Wand	Männer			Frauen		
Orginalwerte	nein	Nein	15217	2441	10356	20330	4863	20633
	nein	Ja	19964	3962	16809	22169	4672	19820
	ja	Nein	14347	1815	7700	17049	2055	8718
	ja	Ja	17974	2773	11767	19317	2598	11021
Ränge	nein	Nein	63,2	11,8	49,9	70,4	10,6	45,1
	nein	Ja	74,2	9,9	42,0	80,8	9,6	40,6
	ja	Nein	61,5	8,2	34,9	74,9	9,5	40,2
	ja	Ja	74,1	10,0	42,6	80,9	9,6	40,9
2x2x2 ANOVA der Ränge			F	df	p			
SEX			0,86	1, 68	0,3578			
SPUR			0,01	1, 68	0,9425			
SEX x SPUR			0,03	1, 68	0,8617			
WAND			7,08	1, 68	0,0097	**		
WAND x SEX			0,23	1, 68	0,6323			
WAND x SPUR			0,04	1, 68	0,8481			
WAND x SEX x SPUR			0,16	1, 68	0,6910			

Tab. 7: Zeitbedarf: Bewegungs-"Geschwindigkeit" (pixel/s)

	Feedback		AM	SE	SD	AM	SE	SD
	Spur	Wand						
Orginalwerte	nein	Nein	0,1284	0,0130	0,0551	0,1061	0,0093	0,0396
	nein	Ja	0,0958	0,0090	0,0382	0,0796	0,0051	0,0216
	ja	Nein	0,0933	0,0063	0,0269	0,1133	0,0101	0,0428
	ja	Ja	0,0797	0,0047	0,0199	0,0894	0,0071	0,0299
Ränge	nein	Nein	98,2	9,2	38,9	83,5	10,2	43,3
	nein	Ja	68,1	9,9	41,9	51,1	8,6	36,7
	ja	Nein	71,8	9,4	39,7	92,9	8,3	35,0
	ja	Ja	50,8	9,1	38,5	63,6	9,2	38,9
2x2x2 ANOVA der Ränge			F	df	p			
SEX			0,00	1, 68	0,9486			
SPUR			0,40	1, 68	0,5306			
SEX x SPUR			3,63	1, 68	0,0611	(*)		
WAND			69,35	1, 68	<0,0001	***		
WAND x SEX			0,61	1, 68	0,4384			
WAND x SPUR			0,81	1, 68	0,3700			
WAND x SEX x SPUR			0,20	1, 68	0,6591			

Tab. 8: Zeitbedarf: "Anzahl Pausen"

	Feedback		AM	SE	SD	AM	SE	SD
	Spur	Wand						
Orginalwerte	nein	nein	21,4	2,5	10,7	20,8	1,8	7,8
	nein	ja	25,1	3,1	13,3	22,3	1,9	8,0
	ja	nein	20,8	1,9	8,2	21,0	1,4	6,0
	ja	ja	27,2	2,7	11,4	23,9	1,8	7,8
Ränge	nein	nein	59,3	11,1	47,1	65,8	9,8	41,5
	nein	ja	77,7	9,4	39,9	72,6	9,0	38,2
	ja	nein	62,4	10,1	42,8	70,1	8,9	37,9
	ja	ja	90,3	10,8	45,8	81,9	8,9	37,8
2x2x2 ANOVA der Ränge			F	df	p			
SEX			0,01	1, 68	0,9826			
SPUR			0,68	1, 68	0,4109			
SEX x SPUR			0,00	1, 68	0,9552			
WAND			15,31	1, 68	0,0002	**		
WAND x SEX			2,77	1, 68	0,1004			
WAND x SPUR			0,76	1, 68	0,3876			
WAND x SEX x SPUR			0,07	1, 68	0,7950			

Tab. 9: Zeitbedarf: "Mittlere Pausendauer" (ms)

	Feedback		AM	SE	SD	AM	SE	SD
	Spur	Wand						
Originalwerte	nein	nein	684	76	324	898	180	764
	nein	ja	757	89	379	955	189	801
	ja	nein	693	53	225	795	73	311
	ja	ja	640	77	327	771	71	300
Ränge	nein	nein	64,8	11,3	48,0	75,7	9,5	40,5
	nein	ja	72,2	10,8	46,0	84,5	8,9	37,7
	ja	nein	69,3	7,8	33,2	80,9	9,9	42,0
	ja	ja	54,8	10,2	43,2	77,6	9,9	41,9
2x2x2 ANOVA der Ränge			F	df	p			
SEX			2,72	1, 68	0,1036			
SPUR			0,17	1, 68	0,6778			
SEX x SPUR			0,10	1, 68	0,7487			
WAND			0,01	1, 68	0,9277			
WAND x SEX			0,47	1, 68	0,4949			
WAND x SPUR			3,45	1, 68	0,0674	(*)		
WAND x SEX x SPUR			0,29	1, 68	0,5948			

Lebenslauf

Persönliche Daten:

Name: Lis
Vorname: Stefanie
Geburtsdatum: 12.08.1963
Geburtsort: Krefeld
Anschrift: Turnhallenstr. 3, 35435 Wettenberg

Schulbildung und beruflicher Werdegang:

1969 - 1973 Grundschule
1973 - 1982 Hum. Gymnasium Viersen, Zeugnis der Hochschulreife
1982 - 1990 Psychologie-Studium am Psychologischen Institut, Math. Nat. Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
1990 wiss. Angestellte am Psychologischen Institut, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf (Prof. Dr. rer. nat. K.-T. Kalveram)
Mitarbeit im DFG-Schwerpunktprogramm „Neurobiologische Determinanten sensomotorischer und kognitiver Störungen bei Schizophrenen.“
1991 - 1994 wiss. Angestellte an der Abteilung für Psychiatrie, Klinikum der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg (Prof. Dr. med. M. Berger)
Psychologische Leitung des Schlaflabors der Abteilung für Psychiatrie
Mitwirkung im Landesschwerpunktprogramm BW „Neuropsychologie/ Neurolinguistik“
seit 1'1995 wiss. Angestellte am Zentrum für Psychiatrie, Klinikum der Justus-Liebig-Universität Giessen (Prof. Dr. med. B. Gallhofer)

Publikationen:

BAUER J, HOHAGEN F, BRUNS F, LIS S, KRIEGER S, RIEMANN D, BERGER M. (1994) Induction of cytokine synthesis and fever suppresses REM sleep and improves mood in patients with major depression. *J Sleep Res*; 3, Suppl.1, 17.
BAUER J, HOHAGEN F, EBERT T, TIMMER J, GANTER U, KRIEGER S, LIS S, POSTLER E, VODERHOLZER U, BERGER M. (1994) Interleukin-6 serum levels in healthy persons correspond to the sleep-wake cycle. *Clin-Investig*; 72, 315.
BAUER J, HOHAGEN F, GIMMEL E, BRUNS F, LIS S, KRIEGER S, AMBACH W, GUTHMANN A, GRUNZE H, FRITSCH-MONTERO R, et-al: (1995) Induction of cytokine synthesis and fever suppresses REM sleep and improves mood in patients with major depression. *Biol-Psychiatry*; 38, 611-21.
BAVING L, MAES H, BOHUS M, LIS S, KRIEGER S, OLBRICH HM, BERGER M. (1997) Can negative self-schemes in depressives be altered through sleep deprivation? *J-Affect-Disord*; 42, 93-101.
HOHAGEN F, LIS S, RIEMANN D, KRIEGER S, MEYER C, MONTERO RF, GRUNZE H, BERGER M. (1994) Influence of biperiden and bornaprine on sleep in healthy subjects. *Neuropsychopharmacology*. 11, 29-32.
HOHAGEN F, LIS S, KRIEGER S, WINKELMANN G, RIEMANN D, FRITSCH-MONTERO R, REY E, ALDENHOFF J, BERGER M. (1994) Sleep EEG of patients with obsessive-compulsive disorder. *Eur-Arch-Psychiatry-Clin-Neurosci*; 243, 273-8.
HOHAGEN F, MONTERO RF, WEISS E, LIS S, SCHÖNBRUNN E, DRESSING H, RIEMANN D, BERGER M (1994) Treatment of primary insomnia with trimipramine: an alternative to benzodiazepine hypnotics? *Eur-Arch-Psychiatry-Clin-Neurosci*. 244: 65-72.
FRANZ M, LIS S, PLÜDDEMANN K, GALLHOFER B (1997) Conventional versus atypical neuroleptics: subjective quality of life in schizophrenic patients. *Br J Psychiatry*, 170: 422-425
GALLHOFER B, BAUER U, GRUPPE H, KRIEGER S, LIS S. (1996) First episode schizophrenia: the importance of compliance and preserving cognitive function. *J Prac Psych and Behav Hlth* 2: 16-24.
GALLHOFER B, BAUER U, LIS S, KRIEGER S, GRUPPE H. (1996) Cognitive dysfunction in schizophrenia: comparison of treatment with atypical antipsychotic agents and conventional neuroleptic drugs. *Eur Neuropsychopharmacology*; 6: 14-20.
GALLHOFER B, KRIEGER S, LIS S, HARGARTER L, RÖDER C, LAMMERS C, MEYER-LINDENBERG A. (1997) Cognitive Dysfunction in Schizophrenia: Maze-Solving Behavior in Treated and Untreated Patients. *CNS Spectrums*: 6: 26-42.

- GALLHOFER B, LIS S, MEYER-LINDENBERG A, KRIEGER S. (1999) Cognitive dysfunction in schizophrenia: a new set of tools for the assessment of cognition and drug effects. *Acta Psychiatr Scand*; 99 suppl 395, 118-128.
- GALLHOFER B, LIS S, ULFERTS J, SIMONOW C, KRIEGER S (2000) Effects of different antipsychotic treatment strategies upon perception-action translation in schizophrenia. *Schizophrenia Res*, 41,1, 294.
- KRIEGER S, LIS S, BERTLING R, TEGELER J. (1989) Bioelektrische Hirnsignale während automatischer und kontrollierter Reizverarbeitung bei Ersterkrankten und chronisch paranoid Schizophrenen in Remission mit und ohne neuroleptische Medikation. In: SALETU B. ed. *Biologische Psychiatrie*. New York: Georg Thieme Verlag, 248-251.
- KRIEGER S, LIS S, KALVERAM KT (1989) Event-related brain signals and the enumeration of randomly and orderly distributed dor patterns. *J Psychophysiology*.
- KRIEGER S, TIMMER J, LIS S, OLBRICH HM. (1995) Some considerations on estimating event-related brain signals. *J Neural Transm*; 99, 103-129.
- KRIEGER S, LIS S, OLBRICH HM, GALLHOFER B, HOHAGEN F. (1996) Einzeltrialschätzungen bioelektrischer Hirnsignale von Patienten mit einer Zwangsstörung bei der Quantifizierung visueller Reizmerkmale. *Nervenarzt*; 67, S49.
- KRIEGER S, LIS S, OLBRICH HM, HOHAGEN F, GALLHOFER B. (1996) Einzeltrialschätzungen bioelektrischer Hirnsignale von psychiatrischen Patienten bei der Verarbeitung akustischer Reize im Oddball-Paradigma. *Nervenarzt*; 67, S92.
- KRIEGER S, LIS S, GALLHOFER B. (1998) Labyrinthaufgaben bei schizophrenen Patienten: Interaktionen von Perzeption und Handlung. In: MÖLLER HJ, MÜLLER eds. *Schizophrenie - Moderne Konzepte zu Diagnostik, Pathogenese und Therapie*. Berlin: Springer, 243-253.
- KRIEGER S, LIS S, GALLHOFER B. Cognitive Sub-Processes and Schizophrenia: A: Reaction Time Decomposition. *Acta Scand Psychiatrica*, accepted: 1-18.
- KRIEGER S, LIS S, GALLHOFER B. Cognitive Sub-Processes and Schizophrenia: B: Maze Tasks. *Acta Scand Psychiatrica*, accepted: 19-38.
- KRIEGER S, LIS S, GALLHOFER B. Reaction times and bioelectrical brain signals of drug-naïve schizophrenic first-onset patients in identification and classification tasks. *Acta Scand Psychiatrica*, accepted: 39-59.
- KRIEGER S, LIS S, RUNZHEIMER P, GALLHOFER B (2000) Perception-action translation in neuroleptic-naïve schizophrenic patients. *Schizophrenia Res*, 41,1, 294.
- KRIEGER S, LIS S, SINSEL E, GALLHOFER B (2000) Isolierbare kognitive Teilprozesse und Schizophrenie. *Spiegel der Forschung*, im Druck.
- KRIEGER S, LIS S, RUNZHEIMER P, GALLHOFER B Differentiation of antipsychotic treatment strategies by reaction time decomposition in chronically ill schizophrenic patients. *Z Neuropsychologie*, accepted
- LIS S, WILHELM J, GALLHOFER B, KRIEGER S (2000) Visual feedback in maze solving of schizophrenic patients. *Schizophrenia Res*, 41,1, 293-294.
- MAES H, BOHUS M, LIS S, KRIEGER S, FÜNFELD M, WARK HJ, BAVING L, OLBRICH H, BERGER M. (1998) Untersuchung zur Stabilität kognitiver Schemata bei Depressiven nach affektiver Aufhellung durch Schlafentzug. *Z Klin Psychologie*; 27, 51-55.
- MEYER-LINDENBERG A, GRUPPE H, BAUER U, LIS S, KRIEGER S, GALLHOFER B. (1997) Improvement of cognitive function in schizophrenic patients receiving clozapine or zotepine: results from a double-blind study. *Pharmacopsychiatry*, 30: 35-42.
- MEYER-LINDENBERG A, BAUER U, KRIEGER S, LIS S, VEHMEYER K, SCHÜLER G, GALLHOFE B. (1998) The topography of non-linear cortical dynamics at rest, in mental calculation and moving shape perception. *Brain Topogr*, 10, 291-9.
- RIEMANN D, HOHAGEN F, BAHRO M, LIS S, STADTMÜLLER G, GANN H, BERGER M (1994) Cholinergic neurotransmission, REM sleep and depression. *J Psychosom Res*, 38 Suppl 1: 15-25.
- RIEMANN D, LIS S, FRITSCH-MONTERO R, MEIER T, KRIEGER S, HOHAGEN F, BERGER M. (1996) Effect of tetrahydroaminoacridine on sleep in healthy subjects. *Biol-Psychiatry*, 39: 796-802.
- RIEMANN D, BACKHAUS J, LIS S, KIEMEN A, VODERHOLZER U, VENEGAS M, HORNYAK M, HOHAGEN (1997) Micro-arousals during sleep in patients with primary insomnia and healthy subjects. *Sleep Research* 26, 300
- RÖDER C, SIMONOW C, LIS S, GALLHOFER B, KRIEGER S (1998) Perzeptiv-exekutive Interaktionen bei unmedizierten Schizophrenen und gesunden Kontrollprobanden in Labyrinthaufgaben. *Nervenarzt*, 69, S114

Danksagung

Für die freundliche Unterstützung bei der Entwicklung, Vorbereitung und Realisierung der in der vorliegenden Arbeit dargestellten Überlegungen und Untersuchungen möchte ich mich bei folgenden Personen bedanken:

- bei meinem Freund und Leiter des Kognitionslabors Herrn Dr. Dipl. Psych. Stephan Krieger für seine Unterstützung bei meinem Weg durch die Labyrinth, aus deren Sackgassen mich Diskussionen mit ihm so manches Mal wieder heraus geführt haben
- bei allen Probanden, die an den hier dargestellten Untersuchungen und Voruntersuchungen teilgenommen haben
- bei Herrn Prof. Dr. Bernd Gallhofer für die Arbeitsmöglichkeiten im Zentrum für Psychiatrie, JLU-Giessen und seine Begeisterungsfähigkeit für Labyrinthaufgaben
- bei Herrn B. Spruck und Frau Dipl.-Psych. E. Sinsel und den anderen Mitarbeitern des Kognitionslabors in Giessen, für die freundliche Zusammenarbeit
- bei Frau Prof. Dr. Gertraud Teuchert-Noodt, die meine Arbeit kontinuierlich mit Ermutigung und fachlichem Rat begleitet hat