

**Kognition von Distanzen-  
laborexperimentelle Untersuchungen in virtuellen Umgebungen**

**Dem Fachbereich Erziehungswissenschaft / Psychologie**

**der**

**Gerhard - Mercator - Universität  
Gesamthochschule Duisburg**

**zur**

**Erlangung des akademischen Grades eines  
Doktors der Philosophie (Dr. phil.)**

**eingereichte Dissertation von**

**Petra Jansen-Osmann**

**aus**

**Duisburg**

**Datum der Einreichung: 3. Juli 1998**

## Vorwort

Diese Doktorarbeit verdankt ihre Entstehung der Unterstützung vieler Menschen. Ich möchte dieses Vorwort nutzen, um all denen zu danken, die durch ihre persönliche und fachliche Kompetenz zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben:

Für die tatkräftige Hilfe und die intensive Beratung in den verschiedenen Phasen dieser Arbeit gilt mein besonderer Dank Herrn Professor Dr. Edgar Heineken. Herrn Professor Dr. Wolfgang Hoepfner danke ich für sein Interesse an der Arbeit und die Übernahme des Koreferats. Meinen Kollegen an der Gerhard-Mercator-Universität in Duisburg, ganz besonders Gerda Lux und Frank P. Schulte, sei Dank für die hilfreichen Kommentare und die persönliche Unterstützung; Dr. Fredrik Wartenberg hat mir ebenfalls sehr durch die sorgfältige Durchsicht des Manuskripts geholfen, von ganzem Herzen vielen Dank. Bettina Berendt gebührt nicht nur ein ganz spezieller Dank dafür, daß sie mein Interesse an diesem Thema geweckt hat, sondern auch für ihre hohe fachliche Kompetenz, für die Diskussionen, die mit ihr möglich waren und für alle Facetten ihrer Freundschaft.

Ohne die persönliche Unterstützung zahlreicher Menschen wäre die Entstehung dieser Arbeit sicher problematischer gewesen. Ich möchte all denen danken, die mich immer wieder daran erinnern haben, daß Wissenschaft und Familie in mir als Ganzes leben kann.

Ganz besonders möchte ich hier hervorheben:

- ♥ meine Eltern Paul und Erika Jansen, die immer für uns da sind und vielmehr als nur „Notfallopä und Notfalloma“ für mich und die Kinder sind.
- ♥ meinen Mann Harald Osmann, für seine wertvollen und kritischen Ideen, für seine aufmunternde Unterstützung und dafür, daß er für diese Doktorarbeit zahlreiche einsame Abende vor dem Computer auf sich genommen hat.

**Inhaltsverzeichnis**

<b>Einleitung</b>	<b>5</b>
<b>Teil I: Kognition von Distanzen</b>	<b>9</b>
<b>1 Erwerb räumlichen Wissens in Umgebungsräumen</b>	<b>10</b>
1.1 Arten räumlichen Wissens	14
1.2 Methoden zur Diagnose räumlichen Wissens	25
1.3 Zusammenfassung	28
<b>2 Determinanten der Perzeption und Kognition von Distanzen</b>	<b>29</b>
2.1 Psychophysik der Distanzwahrnehmung	32
2.2 Einflußfaktoren beim Erwerb von Distanzwissen	35
2.2.1 Umgebungsmerkmale	35
2.2.2 Prozeßbedingungen	43
2.3 Einflußfaktoren beim Abruf von Distanzwissen	48
2.3.1 Meßmethoden	48
2.3.2 Kontextbedingungen	51
2.4 Zusammenfassung	52
<b>3 Virtual Reality (VR) – neue Wege in der Raumkognitionforschung</b>	<b>53</b>
3.1 Die Labor-Feld-Dichotomie in der experimentellen Forschung	53
3.2 Simulation „natürlicher“ Bedingungen im Labor	55
3.3 Virtual Reality als Simulationsmedium	57
3.3.1 Eingabegeräte	59
3.3.2 Ausgabegeräte	62
3.3.3 Steuereinheit	62
3.3.4 Die VR-Software Superscape VRT 4.00	63
3.4 Virtual Reality in der räumlichen Kognitionspsychologie	66
3.5 Zusammenfassung	73

---

<b>Teil II: Laborexperimentelle Untersuchungen zur Distanzkognition in virtuellen Umgebungen</b>	<b>74</b>
<b>1 Die Rolle von „Landmarken“ beim Erwerb von Routenwissen</b>	<b>75</b>
1.1 Methode	76
1.2 Ergebnisse	78
1.3 Diskussion	81
1.4 Zusammenfassung	82
<b>2 Der Einfluß von Richtungsänderungen einer Route auf die Distanzkognition</b>	<b>83</b>
2.1 Methode	84
2.2 Ergebnisse	88
2.3 Diskussion	91
2.4 Zusammenfassung	95
<b>3 Der Einfluß der Gestaltung einer Route auf die Distanzkognition</b>	<b>97</b>
3.1 Der Einfluß verschiedenartiger Features auf die Distanzkognition	99
3.1.1 Methode	100
3.1.2 Ergebnisse	108
3.1.3 Diskussion	115
3.2 Der Einfluß der Gruppierungen von Features auf die Distanzkognition	120
3.2.1 Methode	120
3.2.2 Ergebnisse	122
3.2.3 Diskussion	123
3.3 Zusammenfassung	124
<b>4 Die Rolle der Intentionalität beim Erwerb von Distanzwissen</b>	<b>125</b>
4.1 Methode	125
4.2 Ergebnisse	126
4.3 Diskussion	128

---

<b>4.4 Zusammenfassung</b>	<b>130</b>
<b>5 Gesamtdiskussion</b>	<b>131</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>140</b>
<b>Literatur</b>	<b>142</b>
<b>Anhang</b>	

## Einleitung

Die mentale Repräsentation unserer Umgebung stimmt nicht in jeder Hinsicht mit den objektiven physikalischen Gegebenheiten überein; die „Welt in unseren Köpfen“ ist eine oftmals verzerrte Rekonstruktion der erfahrenen Umgebung. Sie hilft uns jedoch z.B., uns in unserer Umgebung sicher zu bewegen, den kürzesten Weg von einem Ort zu einem anderen zu finden oder Wegbeschreibungen zu geben.

Unser räumliches Wissen umfaßt das Wissen über die Lokalisation von Orten in einem Raum, über Wege von einem Ort zu einem anderen und auch über die räumliche Konfiguration im Ganzen. Dieses Wissen impliziert ebenso ein Wissen über die Distanz zwischen verschiedenen Orten. Im Alltag ist dieses Distanzwissen von Bedeutung, da es uns hilft, den Weg von einem Ort zu einem anderen ökonomisch zu planen, d.h. Zeit und Energie zu sparen. Aus eigener Erfahrung ist jedoch nur zu gut bekannt, daß Entfernungen nicht immer richtig geschätzt werden: Wir erinnern uns heute, daß wir in der Kindheit den Schulweg als endlos lang empfunden und auch geschätzt haben, während wir ihn heute kürzer schätzen würden; zudem wird der Hin- und Rückweg von einem Ort zu einem anderen unterschiedlich lang geschätzt, und selbst die Stimmung kann eine Entfernungsschätzung beeinflussen. Bereits Sir Francis Galton wies 1872 auf solche Einflußfaktoren hin:

*„Es ist schwierig, durch bloße Rückbesinnung die wirklichen Entfernungen zwischen verschiedenen Punkten auf einer Straße zu schätzen, die man einmal gefahren ist. Es gibt dabei viele Begleitumstände, die täuschen können, so die zufällige Langeweile bei einem Reiseabschnitt oder das Vergnügen bei einem anderen. Aber darüber hinaus gibt es immer die Tatsache, daß während des langen Zeitraums einer Tagesreise unsere Beobachtungsfähigkeit frühmorgens beim Beginn der Reise frischer und unverbraucher ist, als später am Tag, wenn als Folge der Ermüdung sogar auffallende Objekte unsere Aufmerksamkeit nicht fesseln können. Weil nun, wie wir alle wissen, die Rückerinnerung an einen bestimmten Zeitabschnitt hauptsächlich von der Anzahl an Eindrücken abhängt, die sich dem Gedächtnis während des Ablaufs eingepägt haben, läßt sich daraus folgern..., daß der erste Teil*

*einer Tagesreise im Vergleich mit dem späteren uns verhältnismäßig lang vorkommt. ...“(Sir Galton, 1872, zit. in Downs & Stea, 1982, S.197).*

Bei der systematischen kognitionspsychologischen Erforschung dieses Alltagsphänomens hat sich gezeigt, daß die Merkmale eines Weges, wie z.B. die Attribute von Orten auf den Weg einen großen Einfluß auf die Schätzung seiner Länge haben. Ein Anliegen der Arbeit ist es, diejenigen Merkmale zu ermitteln, die einen Einfluß auf die Distanzkognition haben.

Die Arbeit bedient sich der methodischen Möglichkeiten, die das Medium der Virtual Reality bietet: Die durchgeführten laborexperimentellen Untersuchungen haben in virtuellen Umgebungen stattgefunden.

Die Untersuchung der Distanzkognition im Medium der Virtual Reality (VR) bietet gegenüber den traditionell eingesetzten laborexperimentellen Methoden wesentliche Vorteile: Natürliche räumliche Umgebungen können relativ schnell im Detail nachgebildet werden, und die Möglichkeiten der systematischen Bedingungsvariation sind bei der Verwendung von VR-Anordnungen sehr groß, wobei sich die gewünschten Bedingungen ohne einen allzu großen zeitlichen und organisatorischen Aufwand erzeugen lassen. In diesem interaktiven Medium können Versuchspersonen ihre Umgebung selbständig explorieren. Es ermöglicht darüber hinaus eine kontinuierliche, objektive Registrierung des Explorationsverhaltens. Gerade durch die Möglichkeit der selbständigen Exploration erhalten Laborexperimente, die dieses Medium nutzen, eine größere Face-Validität und erscheinen weniger künstlich als traditionelle Laborexperimente.

Im Teil I der Arbeit wird das Problemfeld der Kognition von Distanzen umrissen. Im ersten Kapitel werden die einschlägigen Arbeiten zum räumlichen Wissen in Umgebungsräumen, d.h. in derartigen Räumen, in welchen die raumbezogene Information sukzessiv erworben werden muß, dargestellt. Bei dem erworbenen Wissen läßt sich zwischen Landmarken-, Routen und Überblickswissen unterscheiden. Es wird deutlich gemacht, daß die Erfassung räumlichen Wissens nicht unabhängig von den Prüfmethode ist. Verschiedene wissensdiagnostische Verfahren werden beschrieben.

Im zweiten Kapitel steht die Perzeption und Kognition von Distanzen im Mittelpunkt der Erörterung. Zunächst erfolgt eine Unterscheidung verschiedener Arten von Distanzen, je nachdem, in welchem Raum sie erfahren werden. Von zentraler Bedeutung für diese Arbeit sind die Umgebungsdistanzen, d.h. Entfernungen zwischen Orten in einem Umgebungsraum. Nach einer kurzen Darstellung der Psychophysik der Distanzwahrnehmung erfolgt die Beschreibung derjenigen Faktoren, die einen Einfluß auf die Distanzkognition haben. Dabei wird zwischen Faktoren unterschieden, die sich auf den Erwerb und solchen, die sich auf den Abruf von Distanzwissen beziehen.

Bei den empirischen Untersuchungen zu Fragen der Distanzkognition und zum räumlichen Wissen im allgemeinen handelt es sich zumeist um Labor- oder Feldexperimente. Feldexperimente sind häufig mit dem Nachteil der schweren Kontrollierbarkeit von Störvariablen verbunden, Laborexperimente mit dem Nachteil der hohen Künstlichkeit. Dieses methodologische Problem, welches im dritten Kapitel dieser Arbeit erörtert wird, stellt sich in der räumlichen Kognitionsforschung in besonderem Maße. In diesem dritten Kapitel wird die Verwendung des Mediums der Virtual Reality als eine Möglichkeit betrachtet, im Labor experimentelle Anordnungen zu gestalten, die den Nachteil der Künstlichkeit des Laborexperimentes überwinden. Dazu wird die Virtual-Reality-Technologie erklärt und das Virtual-Reality-Programm Superscape VRT vorgestellt, das in den weiteren Untersuchungen zur Distanzkognition eingesetzt wird.

Im Teil II der Arbeit werden die eigenen empirischen Untersuchungen bezüglich von Fragen zur Distanzkognition dargestellt:

Im ersten Kapitel wird die Praktikabilität des Einsatzes der Virtual-Reality-Technologie in diesem Forschungsfeld vorgestellt; untersucht wird hier der Einfluß von „Landmarken“ auf ein in einer virtuellen Umgebung erworbenes Routenwissen. In den darauffolgenden drei Kapiteln werden weitere Faktoren in ihrem Einfluß auf die Distanzkognition untersucht: Hierbei steht die Untersuchung des Einflusses von Richtungsänderungen, des der Gestaltung einer Route sowie des Einflusses der Intentionalität beim Erwerb von Distanzwissen im Mittelpunkt. Im fünften Kapitel werden die erhobenen Befunde vor dem theoretischen Hintergrund des Forschungsfeldes und im Bezug auf die verwendete VR-Methodologie diskutiert.



Zum Schluß dieser Einleitung sei angemerkt, daß in der gesamten Arbeit zwei unterschiedliche Schriftgrößen verwendet werden. Die kleinere Schriftgröße weist den Leser auf einen Exkurs hin.

## **Teil I: Kognition von Distanzen**

Im Mittelpunkt dieses ersten Teils der Arbeit steht die Perzeption und Kognition von Distanzen.

Zunächst wird ein Überblick über den Stand der Raumkognitionsforschung gegeben: Die in diesem Forschungsfeld verwendeten Konzepte werden erläutert. Zudem werden die methodologischen Probleme dargestellt, die bei Untersuchungen innerhalb der Raumkognitionsforschung auftreten. Darüber hinaus werden die zentralen, in Untersuchungen zur Kognition und Perzeption von Distanzen gewonnenen, Befunde dargestellt. Abschließend erfolgt eine Beschreibung der VR-Methodologie als ein mögliches Medium der kognitionspsychologischen Forschung.

## **1 Erwerb räumlichen Wissens in Umgebungsräumen**

Erwerb, Verarbeitung und Abruf räumlicher Information spielt in unserem täglichen Leben eine besondere Rolle. Räumliche Information wird beispielsweise genutzt, um den Weg von einem Ort zu einem anderen zu finden, um konkrete Wegauskünfte zu geben oder um auf einer Landkarte ein Urlaubsziel zu suchen. Diese Leistungen wären ohne eine mentale Repräsentation der räumlichen Information im Gedächtnis nicht möglich.

Der Begriff der mentalen Repräsentation verweist auf einen internen Zustand eines kognitiven Systems, der einen systemexternen Zustand abbildet (Engelkamp & Pechmann, 1993). Das, was abgebildet wird (Repräsentandum) und das Abbildungsergebnis (Repräsentat) stehen in einem spezifizierten, unumkehrbaren Abbildungsverhältnis zueinander. Der Teilausdruck „mental“ oder auch „intern“ weist darauf hin, daß die Ebene der Repräsentation auf der „Mind-Seite“, nicht auf der „Brain-Seite“ liegt (Herrmann, 1993). Neben den observablen Reizen, den Repräsentanda, und den hypothetischen mentalen Repräsentaten und Operationen lassen sich begrifflich die Leistungen oder der observable Output abgrenzen (vgl. Herrmann et al., 1997).

Wenn von der Repräsentation der räumlichen Information im Gedächtnis gesprochen wird, ist die mentale oder auch interne Repräsentation der räumlichen Information gemeint. Unter der Annahme, daß das Gedächtnis aus zwei Systemen - einem Langzeitgedächtnis und einem Arbeitsgedächtnis (vgl. Baddeley, 1990) - besteht, kann sich der Begriff der mentalen Repräsentation sowohl auf die gespeicherte Information im Langzeitgedächtnis als auch auf die gespeicherte Information im Arbeitsgedächtnis beziehen. Bezieht sich der Begriff der mentalen Repräsentation auf die gespeicherte Information im Langzeitgedächtnis, wird dies als Wissen bezeichnet.

Die theoretischen Ansätze zur mentalen Repräsentation visuell-räumlicher Informationen lassen sich bezüglich ihrer Beschäftigung mit der Frage nach (1) der Funktion, (2) dem Format, (3) der Struktur und (4) dem Inhalt einer mentalen Repräsentation unterscheiden (vgl. McNamara, 1986). Eine andere Unterscheidung treffen Glass, Holyoak und Santa (1979): Sie unterscheiden zwischen dem Inhalt (das, was repräsentiert ist), dem Code (Format der Repräsentation) und dem Medium (physikalisches „Substrat“ des Repräsentationsformates) einer Repräsentation, wobei sie jedoch allgemein von Repräsentationen sprechen und sich nicht explizit auf die Repräsentation visuell-räumlicher Information beziehen.

Bei dem Format einer Repräsentation kann es sich um ein analoges, analytisches (insbesondere propositionales) oder multiples (d.h. analog-analytisches) Repräsentationsformat handeln. Die analoge Repräsentation ähnelt den Inhalten, für die sie steht und ist unmittelbar an der Wahrnehmung von Objekten und Ereignissen orientiert, die analytische Repräsentation orientiert sich an der Bedeutung dieser Wahrnehmung (vgl. Heineken, 1990).

Daß aufgrund räumlicher Erfahrungen mentale Repräsentationen der Umwelt entwickelt werden, die außerordentlich komplex sind, hat schon Tolman (1948) angenommen. Er führte Labyrinth-Lernversuche mit Ratten durch und konnte zeigen, daß sich die Orientierungsleistungen der Ratten nicht durch elementare Reiz-Reaktions-Muster erklären ließen. Tolman (1948) prägte für die innere Abbildung der gelernten Umgebung den Begriff der „kognitiven Karte“ (cognitive map).

Dieser Begriff (im deutschen Sprachgebrauch auch „mentale“ oder „kognitive Landkarte“) wird auch in der Kognitionsforschung für die mentale Repräsentation der in einem Umgebungsraum erfahrenen und verarbeiteten Information verwendet. Die kognitive Karte ist keineswegs eine in jeder Hinsicht korrekte Abbildung der Realität, sie verfügt nicht über jene Eigenschaften wie z.B. Bildhaftigkeit, Stimmigkeit bzgl. der realweltlichen räumlichen Relationen oder Zweidimensionalität, die reale Landkarten auszeichnen (vgl. Buhl, 1996):

*„Eine kognitive Karte ist ein Produkt, ist eines Menschen strukturierte Abbildung eines Teils der räumlichen Umwelt. (...) Sie spiegelt die Welt so wieder, wie ein Mensch glaubt, daß sie ist, sie muß nicht korrekt sein. Tatsächlich sind Verzerrungen sehr wahrscheinlich“* (Downs & Stea, 1982, S. 24).

Mit der sog. „kognitiven Wende“ (Neisser, 1979) innerhalb der Psychologie und einhergehend mit der Hoffnung auf eine ökologisch valide Gedächtnisforschung ist die Anzahl der theoretischen und empirischen Arbeiten zum Erwerb und Abruf räumlichen Wissens stark angestiegen (vgl. Freksa, Habel & Wender, 1998). Gleichzeitig hat das Forschungsinteresse an dem Prozeß des „kognitiven Kartierens“ bzw. an dessen Produkt, der kognitiven Karte, an Bedeutung gewonnen:

- Informatiker modellieren räumliches Wissen (z.B. Hernández, 1994; Kuipers, 1978)
- Linguisten und Psycholinguisten untersuchen sprachliche Ausdrücke über räumliche Zusammenhänge (z.B. Grabowski, 1996; Klein, 1991)
- Computerlinguisten entwickeln Wegauskunftssysteme (z.B. Carstensen, 1988; Hoepfner, Carstensen & Rhein, 1990)

- Entwicklungspsychologen untersuchen die ontogenetische Entwicklung der Verarbeitung räumlicher Information (z.B. Piaget & Inhelder, 1975; Siegel & White, 1975)
- Klinische Psychologen beschäftigen sich mit Störungen bei der räumlichen Orientierung (z.B. Beatty & Bernstein, 1989)
- Neuropsychologen interessieren sich für den Zusammenhang von Gehirnläsionen und räumlichen Vorstellungen bzw. Verhaltensweisen (z.B. Guariglia et al., 1993; O'Keefe & Nadel, 1979)
- Differentiell arbeitende Psychologen unterscheiden z. B. zwischen „guten“ und „schlechten“ Lesern beim Kartenstudium (z.B. Thorndyke & Stasz, 1980) oder solchen mit „guten“ oder „schlechtem“ Orientierungssinn (z.B. Kozłowski & Bryant, 1977)
- Architekten bzw. Stadtplaner (z.B. Evans et al., 1980; Passini, 1984) und Geographen (z.B. Downs & Stea, 1982) untersuchen z.B. die Wirkung architektonischer Konstruktionen bzw. natürlicher Umgebungen auf den Menschen.

Dabei wird der Begriff des Raumes in verschiedenen wissenschaftlichen Fachrichtungen und im Alltagsleben mit unterschiedlichen spezifischen Bedeutungen verwendet. Es lassen sich geometrische, physikalische, psychologische und metaphorische Räume unterscheiden (Freksa & Habel, 1990).

Im Mittelpunkt der Forschung zur Raumkognition steht der psychologische Raum. Damit ist der vom Menschen wahrgenommene physikalische Raum gemeint (vgl. O'Keefe & Nadel, 1979). Es lassen sich zwei Arten von physikalischen Räumen unterscheiden, der Umgebungsraum und der Objektraum (vgl. Ittelson, 1973). Die Unterscheidung basiert auf der relativen Größe des Raumes zum Beobachter: Der Objektraum ist kleiner als der Beobachter, so daß sich dieser außerhalb des Raumes befindet, der Umgebungsraum schließt den Beobachter ein, dieser wird damit zu einem den Umgebungsraum explorierenden Teilnehmer.

Neben der von Ittelson (1973) eingeführten Unterscheidung werden die Begriffe des large-scale space und small-scale space verwendet (z.B. Acredolo, 1981; Kuipers, 1982, Siegel, 1981). Auch hier beruht die begriffliche Unterscheidung nicht auf der

absoluten, sondern auf der relativen Größe des Raumes und damit auch auf der Art, wie der Raum erfahren wird: „A drawing is a large-scale space when viewed through a small movable hole, while a city can be small-scale when viewed from an airplane“ (Kuipers, 1977, S.12).

Montello (1993) führt die von Ittelson (1973) getroffene Unterscheidung weiter aus, er grenzt einen figuralen, einen Vista-, einen Umgebungs- und einen geographischen Raum voneinander ab:

Ein **figuraler Raum** ist kleiner als der Beobachter; die Eigenschaften des Raumes können von einem Standpunkt aus ohne Eigenbewegung wahrgenommen werden. Ein figuraler Raum kann ein **pictorialer** oder ein **Objekt-Raum** sein. Der Begriff des pictorialen Raumes bezieht sich auf Flächen (z.B. Karten), der des Objekt-Raumes auf kleine dreidimensionale Räume (z.B. ein auf einem Tisch rekonstruiertes Modell einer Umgebung).

Ein **Vista-Raum** ist ein Raum, der gleich groß oder auch größer als der Mensch ist. Der Vista-Raum kann von einem Standpunkt aus ohne Eigenbewegung wahrgenommen werden (z.B. ein einzelnes Zimmer).

Ein **Umgebungsraum** ist so groß, daß er nicht von einem Standpunkt aus, sondern durch Lokomotion durch den Raum bzw. Präsentation von Raumausschnitten (z.B. durch das Betrachten eines Filmes) erfahren werden muß (z.B. komplexe Gebäude, Wohngebiete und Städte).

Ein **geographischer Raum** ist größer als der Umgebungsraum. Er kann nicht direkt exploriert werden, sondern wird indirekt durch Medien (z.B. Landkarten, Globus) vermittelt, womit sich der objektiv sehr große geographische Raum auf einen objektiv sehr kleinen figuralen Raum reduziert.

Gegenstand dieser Arbeit ist das räumliche Wissen, das Individuen in Umgebungsräumen erwerben. Bei der Exploration seiner Umgebung erwirbt der Mensch verschiedene Arten räumlichen Wissens.

## **1.1 Arten räumlichen Wissens**

Der Geograph Kevin Lynch (1960) hat sich bereits vor geraumer Zeit damit beschäftigt, welche Arten räumlicher Information Menschen aufnehmen und verarbeiten, wenn sie sich in einem Umgebungsraum bewegen. Er ließ seine Versuchspersonen, die in drei verschiedenen Städten Amerikas (Boston, Jersey City oder Los Angeles) lebten, eine Kartenskizze ihrer Stadt anfertigen und analysierte Interviews und Beschreibungen, die von den Versuchspersonen über ihre jeweilige Heimatstadt abgegeben wurden. Dabei konnte er folgende fünf Arten von Entitäten identifizieren, die den Versuchspersonen zur Orientierung in ihrer Stadt dienen: Landmarken, Knoten, Pfade, Grenzen und Distrikte. Landmarken sind aus der Umgebung herausstechende Merkmale, deren Hauptcharakteristikum ihre Einmaligkeit ist. Als Knoten werden diejenigen Punkte bezeichnet, an denen eine Richtungsentscheidung notwendig ist (strategische Knotenpunkte), oder die durch ihre Bedeutung innerhalb der Stadt auffallen, wie z.B. ein bekannter Platz als ein Treffpunkt für eine bestimmte Gruppe von Menschen (thematische Knotenpunkte). Pfade sind Wege, entlang derer sich ein Beobachter bewegen kann; Grenzen bezeichnen reale und auch imaginäre Grenzlinien, die Distrikte trennen. Von den Distrikten wird angenommen, daß sie Gebiete sind, die z.B. durch Grenzen voneinander getrennt sind oder sich durch andere Merkmale voneinander abheben. An den Unterscheidungen von Lynch haben sich auch andere Autoren bei ihren Bemühungen um die Klassifikation der verschiedenen Arten räumlichen Wissens orientiert (Gärling, Böök & Ergezen, 1982; Siegel & White, 1975; Thorndyke, 1981a).

Siegel und White (1975) gehen von verschiedenen Entwicklungsstufen beim räumlichen Wissenserwerb aus: Nach ihrer Vorstellung erwerben Kinder zunächst Wissen über Landmarken, in einem weiteren Schritt Wissen über Wege und schließlich Wissen über räumliche Konfigurationen. Landmarken sind nach ihrer Auffassung Örtler<sup>1</sup>, von oder zu denen sich die Personen bewegen, es können Objekte wie Bäume, Schilder oder Kreuzungen sein. Die Landmarken werden durch Wege verbunden, räumliche Konfigurationen entstehen durch die Integration von Landmarken und Wegen zu einem Gesamtbild.

---

<sup>1</sup> Der Pluralbegriff „Örtler“ grenzt sich von dem in der Einleitung verwendeten Begriff „Orte“ dadurch ab, daß der Begriff „Örtler“ dann benutzt wird, wenn bestimmte Orte aus einer Vielzahl anderer Orte gemeint sind (vgl. Herrmann et al., 1997).

Thorndyke (1981a) z.B. unterscheidet drei Kategorien räumlichen Wissens: ein Wissen über Landmarken (landmark knowledge), ein Wissen über Prozeduren (procedural knowledge) und ein Überblickswissen (survey knowledge). Bei der Orientierung in einer neuen Umgebung werden Objekte und Gebäude als hervorstechende Landmarken, als perceptual icons, enkodiert und repräsentiert. Dieses Landmarkenwissen entwickelt sich zu einem prozeduralen Wissen, d.h. einem Wissen um Handlungen beim Navigieren von einer Landmarke zu einer anderen. Dieses Wissen kann in Form von Produktionsregeln dargestellt werden. Werden die einzelnen repräsentierten Assoziationen zwischen Landmarken und Handlungen miteinander verknüpft, entsteht Überblickswissen.

Gärling, Böök und Ergezen (1982) unterscheiden ein Wissen über Örter (places), räumliche Relationen (spatial relations) und Reisepläne (travel plans). Örter haben einen Namen, eine Funktion und sind oftmals mit Attributen (z.B. Attraktivität) belegt. Räumliche Relationen sind die räumlichen Beziehungen zwischen zwei oder mehr Örtern. Es wird zwischen (1) Relationen der Nähe, (2) metrischen Relationen und (3) topologischen Relationen unterschieden. Das Wissen um Reisepläne integriert das Wissen um Örter und räumliche Relationen.

In der neueren einschlägigen Literatur findet man folgende Unterscheidungen verschiedener Arten räumlichen Wissens<sup>2</sup>:

- **Landmarkenwissen**
- **Routenwissen**
- **Überblickswissen**

### **Landmarkenwissen**

Das Landmarkenwissen umfaßt das Wissen über **Landmarken**. Der Begriff „Landmarke“ wird allerdings sehr unterschiedlich definiert. Zunächst wurden Landmarken als aus der Umgebung herausstechende Merkmale, deren Hauptcharakteristikum ihre Einmaligkeit ist, definiert (vgl. Lynch, 1960 und Seite 14). Siegel und White (1975) charakterisierten Landmarken als Örter, von oder zu denen sich Personen bewegen; diese Örter können z.B. durch Objekte bestimmt sein (vgl. Seite 14). Daß die Spannbreite möglicher Definitionen weit ist, wird durch folgende zwei verschiedene Begriffsbestimmungen deutlich: In einer sehr engen Definition des Begriffs der Landmarke werden diese als Referenzpunkte bezeichnet,

---

<sup>2</sup> Neben den Begriffen des Landmarkenwissens und Routenwissens werden auch die Begriffe des Knotenpunktwissens (May, 1992) oder Wegmarkenwissens (Herrmann et al., 1997) bzw. Streckenwissens (May, 1992) und Straßenwissens (Engelkamp, 1990; Schweizer, 1997) verwendet.



die besser als andere Punkte erinnert werden und darüber hinaus die Lokalisation anderer Punkte bestimmen (Sadalla, Burroughs & Staplin, 1980). Die Referenzpunkte bilden hierbei die organisierenden Einheiten für Nicht-Referenzpunkte, d.h. Landmarken werden als Hilfen zur Strukturierung und Organisation des räumlichen Wissens aufgefaßt. In einer sehr weiten Definition werden Landmarken als visuell unterscheidbare Objekte, die wahrgenommen und erinnert werden, definiert (Presson & Montello, 1988).

Von dem Bemühen, eine Definition des Begriffes „Landmarke“ zu finden, hebt sich das Bestreben ab, zwischen verschiedenen Arten von Landmarken zu unterscheiden: So existieren entlang eines Weges Landmarken, an welchen eine Richtungsentscheidung getroffen werden muß, und darunter gibt es solche, die darauf hinweisen, daß der eingeschlagene Weg der richtige Weg ist. Hier unterscheiden Cohen und Schuepfer (1980) zwischen Landmarken, die auf den richtigen und solchen, die auf einen falschen Weg hinweisen und den Landmarken, die für die Richtungswahl bedeutungslos sind. Symbolische Landmarken bezeichnen Punkte in einer Umgebung, die als Kennzeichnung dieser dienen (z.B. der Kölner Dom als Symbol für Köln), entfernte Landmarken sind solche, die in weiter Entfernung liegen und dennoch eine Orientierung ermöglichen (z.B. kann eine Bergspitze dem Umherwandernden die Himmelsrichtung verdeutlichen) (vgl. Presson & Montello, 1988).

Trotz der Schwierigkeit, eine einheitliche Definition des Begriffes der Landmarke zu finden, läßt sich über das Landmarkenwissen sagen, „*[This landmark knowledge] requires an ability to state with certainty that an object or place exists, an ability to recognize it when it is within a sensory field, and an ability to communicate with others about cue properties (including its location and composition). The elements of [this] knowledge structure are characterized by identity, location, magnitude, and temporal existence*“ (Golledge, 1991, S. 45).

Bei der Definition und Unterscheidung verschiedener Landmarken ist zunächst nicht bedacht worden, ob es sich hierbei um Repräsentanda oder Repräsentate handelt. Herrmann et al. (1997) unterscheiden begrifflich zwischen den externen und den intern repräsentierten Reizkonstellationen: Die Repräsentanda werden als Ort bzw.

Örter bezeichnet, für die Repräsentate wurde der Begriff der Marke (bzw. Wegmarke oder Landmarke) gewählt. Bei den Marken unterscheiden sie die Klassen der Landmarken, Wegmarken und entscheidungsbezogenen Wegmarken: Landmarken sind die Marken, die außerhalb der Route lokalisiert und gut sichtbar sind, Wegmarken liegen hingegen auf dem Weg und werden als durch Wegstücke verbundene Komponenten von Routen betrachtet. Entscheidungsbezogene Wegmarken sind solche, die eine Richtungsentscheidung erzwingen.

Buhl (1996) hat sich die Frage gestellt, auf welche Art Örter intern repräsentiert sind und welche mentalen Operationen auf dieser Repräsentation arbeiten. Sie geht davon aus, daß bei der Navigation durch eine Umgebung visuelle Vorstellungsbilder (Images) von Örtern aufgebaut werden, wobei die Repräsentation und Verarbeitung dieser Images auf der Grundlage der Theorie von Kosslyn (1980, 1994) zur Wahrnehmung und Verarbeitung visueller Informationen erklärt werden kann:

Kosslyn (1980) nimmt zwei verschiedene Repräsentationsformen an, eine analoge Oberflächenstruktur im visuellen Speicher des Arbeitsgedächtnisses und eine nichtanaloge Tiefenstruktur als Teil des Langzeitgedächtnisses. Bei der Wahrnehmung der visuellen Objekte (in diesem Fall der Örter) wird die Information aus der Oberflächenstruktur in die Tiefenstruktur transformiert. Bei der Erinnerung an visuelle Objekte (hier Marken) können aus der Tiefenstruktur analoge Strukturen generiert werden, die dann als Vorstellungsbilder im visuellen Speicher des Arbeitsgedächtnisses vorliegen.

Wenn innerhalb der vorliegenden Arbeit die Begriffe „Landmarke“ oder in einem anderen Kontext „Feature“ verwendet werden, handelt es sich um die Reizkonstellationen, die in der Umgebung beobachtbar sind. Gleichzeitig ist damit immer der Ort gemeint, der z.B. durch die Landmarke bestimmt wird.

### **Routenwissen**

Bei der Exploration des Umgebungsraums nimmt der Mensch aufgrund der sukzessiven Raumerfahrung neben Landmarken bzw. den Örtern auch verschiedene Wege wahr. Wege sind wie Örter Reizkonstellationen, die in der Umgebung beobachtbar sind; sie können verschiedene Örter verbinden (vgl. Siegel & White, 1975).

Sind diese Wege intern repräsentiert, spricht man von **Routen**. Ein Hauptcharakteristikum des Routenwissens ist der sukzessive Erwerb (vgl. May,

1992; Schweizer, 1997). Dieser sukzessive Erwerb bedingt, daß Routen eine sequentielle Struktur besitzen. Hierbei kann zwischen einer Bild-, einer Entscheidungs-, einer Gradienten- oder einer Blick- und Bewegungssequenz unterschieden werden (Herrmann et al., 1997).

Die Bildsequenz kann als eine Sequenz von (primär) visuell repräsentierten Wegmarken verstanden werden. Eine Route ist eine Entscheidungssequenz, wenn sie eine geordnete Menge bzw. eine Folge von Wegmarken enthält, an denen eine Richtungsentscheidung getroffen wird. Die Wegmarken sind mit Handlungen verknüpft. Wenn ein Weg nicht durch Eigenbewegung, sondern z.B. durch die Exposition eines Filmes erfahren wird, kann die Route als eine Gradientensequenz, d.h. als die kontinuierliche Folge visueller Repräsentate, verstanden werden. In diese Struktur kann sich die interne Repräsentation von Wegmarken eingliedern. Routen können auch Blick- und Bewegungssequenzen sein. Eine Blicksequenz besteht aus kontinuierlichen Folgen von intern repräsentierten Mustern der visuellen Wahrnehmung und Rückmeldungen der eigenen Augenbewegungen. Eine Bewegungssequenz beruht auf der Rückmeldung der Aktivität der Beine (vgl. Herrmann et al., 1997).

Der theoretische Zusammenhang zwischen den vier verschiedenen Sequenzversionen (Bildsequenz, Entscheidungssequenz, Gradientensequenz und Blick- und Bewegungssequenz) einer Route besteht in einer hierarchischen Anordnung der Sequenzversionen: Gradientensequenzen setzen Bildsequenzen voraus, und Blick- und Bewegungssequenzen implizieren Gradienten- und Bildsequenzen. Entscheidungssequenzen können auf jeder Repräsentationsebene vorhanden bzw. nicht vorhanden sein.

Es besteht darüber hinaus noch die Annahme, daß die Sequenzstruktur eine Blickpunktsequenz sein kann (Schweizer, 1997; Schweizer & Janzen, 1996). Eine Blickpunktsequenz besteht aus sukzessiven Blickpunktinformationen, wobei der Blickpunkt durch den Ort und durch die Blickrichtung bestimmt wird (vgl. Herrmann, 1996). Die Blickpunktinformation enthält Angaben über die Art des den Ort bestimmenden Objektes (identifikatorische Angaben) und über die Position des Ortes (positionale Angaben).

Im Gegensatz zu der Postulierung von Blickpunktsequenzen gehen Prinz, Aschersleben, Hommel und Vogt (1995) davon aus, daß die Route dadurch bestimmt ist, daß der Betrachter bzw. Teilnehmer sich selbst als bewegliche Komponente seiner Umgebung repräsentiert.

Das Routenwissen ist - wie jedes Wissen - nicht beobachtbar, sondern vielmehr ein theoretisches Konstrukt, das aufgrund beobachtbarer Reizkonstellationen und Leistung hypothetisch unterstellt wird. Gleich welche Sequenzversion der Route man annimmt, stellt sich die Frage nach der observablen Leistung, die das Routenwissen bestimmt. Nach Herrmann et al. (1997) liegt Routenwissen dann vor, wenn folgende Aufgaben gelöst werden können: Der Mensch kann von einem Ort aus einen bestimmten Zielort finden, Entfernungen zwischen Örtern entlang des Weges (Routendistanzen) können geschätzt werden, Richtungsurteile können abgegeben werden.

Es stellt sich auch die Frage nach der Organisation des Routenwissens im Gedächtnis. Um diese Organisation beschreiben zu können, gibt es verschiedene Darstellungsarten als Repräsentationen der Repräsentation: Dabei eignen sich Netzwerke besonders für die Darstellung von Bild-, Gradienten-, Blick- und Bewegungssequenzen und Blickpunktsequenzen. Die spezifische Information ist in einem Knoten repräsentiert. Die Aktivierung breitet sich von einem Knoten zu einem nächsten aus, in welchem wiederum eine Information repräsentiert ist. Es konnte eine Aktivationsausbreitungssymmetrie derart festgestellt werden, daß die Aktivierung sich entsprechend der Erwerbsrichtung schneller als entgegengesetzt der Erwerbsrichtung ausbreitet. Dieser Effekt, der in der Literatur als Richtungseffekt bezeichnet wird, zeigt sich auch, wenn er nur durch eine entsprechende Instruktion evoziert wurde. Der Richtungseffekt läßt sich darüber hinaus nicht auf die Überlegenheit von Vorwärtsassoziationen über Rückwärtsassoziationen beim Listenlernen reduzieren (Herrmann, Buhl & Schweizer, 1995; Schweizer & Janzen, 1996).

Werden Entscheidungssequenzen oder Handlungen angenommen, lassen sich diese eher mit Hilfe von Produktionsregeln darstellen. Thorndyke (1981a) unterscheidet dabei zwischen ungeordneten und geordneten Produktionsregeln und symbolischen Abstraktionen. Im Gegensatz zu den geordneten Produktionsregeln beschreiben die ungeordneten Produktionsregeln keine Reihenfolge des Auftretens und keine Verbindung zwischen den wahrgenommenen Objekten. Symbolische Abstraktionen abstrahieren von der bildhaften Repräsentation z.B. eines Gebäudes, und implizieren, daß das Wissen um die Lage dieses Gebäudes an der Kreuzung x ausreicht, um den Ort zu bestimmen.

Die Repräsentation eines Weges als Bild-, Entscheidungs-, Gradienten oder Blick- und Bewegungssequenz wird auch als die Feldperspektive der internen Repräsentation bezeichnet, da in allen Sequenzen die Perspektive des sich im Feld aufhaltenden Betrachters oder Teilnehmers enthalten ist. Davon grenzt sich die aus der Feldperspektive rekonstruierte Beobachterperspektive ab; hier ist der Weg beispielsweise aus der Vogelperspektive als zweidimensionales Bild repräsentiert.

Das Vorhandensein einer Beobachterperspektive stellt die Möglichkeit bereit, Wege vom Ziel zum Start zurückzufinden und streckenunabhängige Entfernungen zwischen zwei Örtern zu schätzen (vgl. Herrmann et al., 1997).

## **Überblickswissen**

**Überblickswissen** kann sich aus Routenwissen entwickeln. Daneben besteht jedoch die Möglichkeit, daß Überblickswissen über den Umgebungsraum durch ein Kartenstudium erworben wird, diese Art des Überblickswissens wird dann als **Kartenwissen** bezeichnet (Herrmann et al., 1997).

Untersucht man das Kartenwissen, d.h. den Erwerb des räumlichen Wissens über einen Umgebungsraum unter dem Aspekt des Kartenstudiums, steht unter anderem die Frage nach der optimalen Konstruktion einer Karte zur Orientierungshilfe im physikalischen Raum im Mittelpunkt des Interesses. So zeigte sich z.B. bei der Konstruktion eines Busfahrplanes, daß Straßenkarten der Benutzung von Listenplänen und schematischen Plänen vorzuziehen sind, insbesondere wenn die Ziel-Haltestelle den mitfahrenden Personen unbekannt ist (Bartram, 1980). Butler, Acqunio, Hissong und Scott (1993) konnten zeigen, daß für die Orientierung in komplexen Gebäuden Hinweisschilder eine größere Orientierungshilfe als sog. „You-are-here maps“ bieten.

Neben der Bedeutung von Karten im allgemeinen interessiert die Orientierungsausrichtung der Karte im speziellen. Die räumliche Information wird zumeist orientierungsspezifisch kodiert (Presson & Hazelrigg, 1984), wobei jedoch die Größe der Kartenvorlage eine zentrale Rolle spielt: Kleine Kartenvorgaben (z.B. eine Karte auf einem DIN-A4 Format) werden auf eine orientierungsspezifische Art, größere Displays in einer orientierungsfreien Art und Weise kodiert (Presson, DeLange & Hazelrigg, 1989). Schwierigkeiten beim Umgang mit Landkarten ergeben sich dann, wenn die Richtung der wahrgenommenen Route nicht mit der Orientierung der Route auf der dazugehörigen Landkarte korrespondiert. Dieser Effekt wird als „misalignment-Effekt“ bezeichnet (vgl. Levine, 1982; Levine, Marchon & Hanley, 1984). Darüber hinaus konnte auch gezeigt werden, daß sich Örtter auf einer Karte nicht immer gleich gut lokalisieren lassen, so ist die Lokalisation von Örttern auf der Horizontalen schwerer als auf der vertikalen Dimension (Just & Carpenter, 1975).

McNamara, Halpin und Hardy (1992) weisen darauf hin, daß das Kartenwissen aus zwei voneinander unabhängigen Bestandteilen besteht: Es sind die kategorialen räumlichen Beziehungen repräsentiert, wie z. B. „x steht in der Nähe von y“ und die metrischen räumlichen Beziehungen, wie z.B. die Beziehung „die Distanz zwischen x und y ist z“. Als eine der einflußreichsten Formulierungen der These von zwei parallel existierenden Bestandteilen der räumlichen Repräsentation - die sich jedoch

nicht nur auf das Kartenwissen bezieht - ist Kosslyns Dichotomie von „kategorischen“ und „koordinatischen“ Relationen zu sehen (Kosslyn, 1987).

Eine besondere Form des Kartenwissens ist das geographische Wissen (vgl. Seite 13 „geographischer Raum“). Die Forschung zum geographischen Wissen wurde einhergehend mit der sog. „mental-imagery-debate“ durch eine anhaltende Diskussion darüber geprägt, ob dieses eher analog oder analytisch bzw. propositional repräsentiert ist.<sup>3</sup> Für eine analoge Repräsentation räumlicher Verhältnisse sprechen z. B. Untersuchungen zum symbolischen Distanzeffekt. So konnten Maki, Maki und Marsh (1977) zeigen, daß die Latenzzeiten bei Beurteilungen der räumlichen Lagebeziehungen von Staaten der USA mit wachsender Distanz der zu beurteilenden Staaten abnahmen. Baum und Jonides (1979) ließen ihre Versuchspersonen Ortspunkte mit einem Referenzpunkt auf einem ihnen vertrauten Universitätsgelände vergleichen. Es zeigte sich, daß die Latenzzeiten um so kürzer waren, je weiter die Ortspunkte vom Referenzpunkt entfernt waren.

Für eine propositionale Repräsentation eines geographischen Raumes sprechen jene Befunde, die auf Einflüsse natürlicher geographischer Gegebenheiten wie z. B. Berge oder Flüsse und künstlich geschaffene Grenzen hinweisen (z. B. Stevens & Coupe, 1978). Hirtle & Jonides (1985) gehen von einer hierarchischen Organisation des räumlichen Wissens aus (vgl. auch McNamara, 1986, 1991). Städte, die als Städte eines Staates gesehen werden, werden in der kognitiven Landkarte von den Nachbarstädten eines angrenzenden Staates stärker abgehoben, als es den objektiven Verhältnissen entspricht. In einem Feldversuch aus dem Jahre 1990, unmittelbar nach der langjährigen politischen und ideologischen Teilung Deutschlands, konnte Heineken (1991) zeigen, daß die Klassifikation der Stadt Berlin als Stadt der „DDR“ bzw. Stadt der „BRD“ zu unterschiedlichen Repräsentationen der Stadtlage in den kognitiven Landkarten von „Ost- und West-Berliner“ Schülern führt - als „DDR“ Stadt wird sie östlicher, als „BRD“ Stadt westlicher lokalisiert. Die Befunde zeigen, daß nicht-räumliche Merkmale, nach denen die „Ost- und West-Berliner“ Schüler deutsche Städte klassifizieren, einen deutlichen Einfluß auf die kognitive Repräsentation der Städte der beiden ehemals getrennten Teile Deutschlands haben.

In einer neueren Untersuchung weisen Heineken und Stenzel (im Druck) in einer Studie mit englischen, spanischen, polnischen und deutschen Studierenden auf das unterschiedliche Europabild der Studierenden hin. Dabei zeigte sich, daß die Kenntnis der Lage von Städten stark von politischen und ökonomischen Gesichtspunkten abhängig ist, die „terra incognita“ des europäischen Kontinentes befindet sich im Osten Europas.

Darüber hinaus unterscheidet sich das Überblickswissen der Studierenden unterschiedlicher Nationalität: Die polnischen und deutschen Studierenden haben ein differenzierteres Bild von Europa als die englischen und spanischen Studierenden.

Zum Überblickswissen gehört die mentale Repräsentation mehrerer Routen und die Integration der Routen und der Weg- und Landmarken zu einer kognitiven Karte. Die

---

<sup>3</sup> Zu einer genauen Beschreibung der Charakteristika analoger Repräsentationen siehe Lürer et al. (1995); zur Darlegung propositionaler Ansätze siehe Pylyshyn (1981) oder Rumelhart et al. (1972).

Art des Routenwissens, Feldperspektive oder Beobachterperspektive, beeinflusst den Übergang zum Überblickswissen, wobei es drei mögliche Formen des Übergangs gibt: Nachdem eine Umgebung, welche aus mehreren sich zum Teil überlappenden Wegen besteht, durchwandert worden ist und das Wissen in einer Feldperspektive vorliegt, kann vom Überblickswissen gesprochen werden, wenn von einem Weg sicher zu einem anderen gegangen werden kann (Interrouutenübergang), und wenn Abkürzungen bzw. Umgehungen gefunden werden können. Liegt das Routenwissen in der Beobachterperspektive vor und integrieren sich die Routen zu einer vergrößerten kognitiven Karte, spricht man ebenfalls vom Überblickswissen. Auch hier sind die observablen Leistungen der Interrouutenübergang, das Finden von Abkürzungen und Umgehungen. Darüber hinaus dürfte die Leistung bei der Schätzung der kürzesten Entfernung zwischen zwei Örtern („Luftlinie“) erhöht sein. Die kognitive Karte kann dadurch modifiziert werden, daß „neue“ Routen in sie integriert werden. Dies kann durch das Betrachten einer „physikalischen“ Karte oder durch das Lernen neuer Wege geschehen. Im zweiten Fall müssen die neu gelernten Routen aus der Feldperspektive in die Beobachterperspektive rekodiert werden (vgl. Herrmann et al., 1997).

Bei der Darstellung des Routen- und Überblickswissens dürfen jedoch nicht die Faktoren unerwähnt bleiben, die den Erwerb beider Wissensarten beeinflussen können. Zu diesen Faktoren gehören externe Informationsträger wie z.B. geographische Karten oder verbale Beschreibungen.

Innerhalb der sprachpsychologischen Forschung wurde z.B. der Einfluß verschiedenartiger verbaler Ortsbeschreibungen auf die Orientierungsleistung von Versuchspersonen, die unterschiedliche Texte über die Ortsgegebenheiten einer kleinen Stadt erhielten, untersucht (Bachmann & Perrig, 1988). In einem Text wurden die Leser mit dem Auto durch die Stadt geführt (Weggruppe), während in dem anderen Text ein Plan des Weges mit den Begriffen der vier Himmelsrichtungen beschrieben wurde (Plangruppe). Bei der Lösung von Inferenzaufgaben zeigte sich, daß Planinferenzen von der Plangruppe besser und schneller verifiziert wurden als von der Weggruppe. Die Weggruppe verifizierte Weginferenzen in Fahrtrichtung besser und schneller als solche umgekehrter Fahrtrichtung.

Die Genese des Routen- bzw. Überblickswissens kann zusätzlich durch kognitive Schemata über häufig wiederkehrende und relevante räumliche Gegebenheiten

beeinflusst werden (vgl. Brewer & Treyens, 1981). Kretschmann (1986) weist z.B. auf die möglichen Verzerrungsfaktoren bei Wahrnehmung, Speicherung und Abruf durch die Schemabildung hin, Zimring und Gross (1991) heben die Bedeutung hierarchisch organisierten Schemawissens für die Aufgabe, einen Weg zu finden, heraus.

Zusammenfassend lassen sich drei Arten räumlichen Wissens unterscheiden: Landmarkenwissen, Routenwissen und Überblickswissen. Diese drei Arten sind nicht unabhängig voneinander, das Überblickswissen entwickelt sich zumeist aus Routenwissen, wobei das Routenwissen wiederum das Wissen um die entlang der Route wahrgenommenen Orte beinhalten kann. Oft wird davon ausgegangen, daß sich das räumliche Wissen in einer festen Sequenz vom Landmarkenwissen über Routenwissen zum Überblickswissen hin entwickelt, es gibt jedoch auch empirische Evidenzen dafür, daß das Routenwissen vor dem Landmarkenwissen erworben werden kann (vgl. Hartl, 1990). Zudem kann durch ein Kartenstudium ein Überblickswissen über den Raum erworben werden, ohne daß Routenwissen vorliegt.

Nicht nur innerhalb der kognitiven Psychologie, sondern auch in der Informatik beschäftigt man sich seit längerem mit dem räumlichen Wissen des Menschen: Informatiker entwickeln formale Systeme zur Darstellung räumlichen Wissens - Repräsentationen über die Repräsentation - und implementieren diese Systeme in Form kognitiver Modellierungen. Kuipers (1978) entwickelte eine einflußreiche und umfassende kognitive Modellierung räumlichen Wissens. Sein „Tour-Modell“ beinhaltet drei Klassen der Wissensrepräsentation:

- (1) Repräsentation des Wissens über eine bestimmte Umgebung
- (2) Repräsentation der jeweiligen Position („you-are-here pointer“ bzw. Positionszeiger)
- (3) Repräsentation der Inferenzregeln, die das aus (1) und (2) resultierende Wissen beeinflussen.

Kuipers (1978) geht von fünf Informationsarten aus, die die Verarbeitung und Repräsentation des Wissens über eine bestimmte Umgebung beeinflussen: Routen, topologische Struktur (z.B. das Wissen um die Reihenfolge von Orten entlang einer Route), relative Position von zwei Orten, Grenzen und Gebiete. Die jeweilige Position des sich in der Umgebung bewegenden Menschen wird im Modell durch den Positionszeiger bestimmt. Dieser Zeiger beschreibt die Position in Abhängigkeit von den Orten, den Wegen, der eindimensionalen Orientierung bzgl. der Richtung entlang der Wege, dem Koordinatenrahmen und der zweidimensionalen Orientierung innerhalb dieses Rahmens. Eine Grundannahme des Modells ist es, daß das Routenwissen durch eine Handlungssequenz eines sich von einem Ort zu einem anderen Ort bewegenden kognitiven Agenten erworben wird. Die wichtigen Bestandteile der Handlungssequenz sind die Blickpunktinformation und die motorischen Aktivitäten. Die Handlungssequenz wird durch die in der Umgebung enthaltene räumliche Information und durch



die Beschreibung der aktuellen Position bestimmt. Die formalisierten Aktionen sind „turn“ und „go-to“, wobei letztere durch die Parameter „Startpunkt“, „Endpunkt“ und „überquerter Weg“ spezifiziert sind und durch einen Parameter „dist“ angereichert werden kann, der die Zahl willkürlich gewählter Entfernungseinheiten angibt. Die „turn“-Aktion wird durch die Parameter „Beschreibung des Ortes“, „Weg- und Richtungsbeschreibung des ersten Weges“, „Anzahl der Richtungsänderungen“ und die „Beschreibung und Richtung des zweiten Weges“ bestimmt. Die Beschreibung des Ortes und des Weges und der jeweiligen Position - des simulierten Wanderers - wird wiederum durch eine Parameterspezifizierung vorgenommen. Beim simulierten Erwerb des Routenwissens wird der Positionszeiger an den Anfang der Route gesetzt. Jede simulierte Blickpunktinformation dient als Instruktion, den Positionszeiger in Zielrichtung zu verschieben. Der Prozeß wird durch bestimmte Inferenzregeln beeinflusst. Somit ist es eine Grundannahme des Tour-Modells, daß die Verarbeitung und die Repräsentation der räumlichen Information stark durch die Sequenz der erlebten Raumkomponenten beeinflusst ist. Die Sequenz wird durch Blickpunktinformationen und motorische Aktivitäten aufgebaut. Die statischen Raumkomponenten sind wiederum durch topologische Relationen in Form der Verbindungen von Örtern und Wegen und der Ordnung von diesen innerhalb eines Gebietes bestimmt.

Dieses Simulationsmodell wurde in einer späteren Arbeit von Kuipers (1983) spezifiziert:

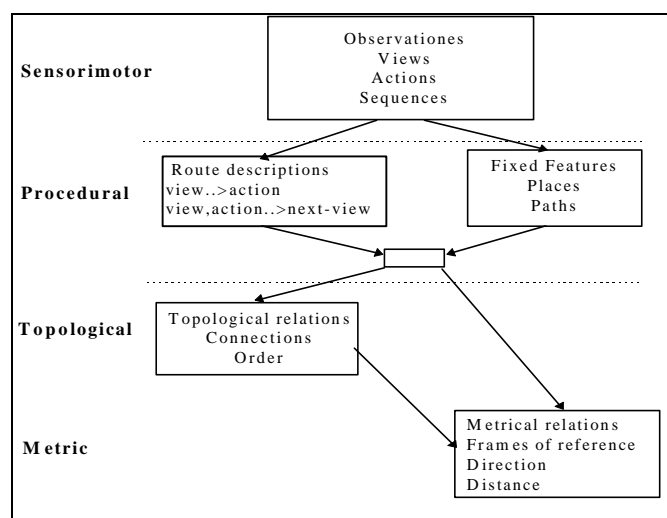


Abb. 1: Modell der Repräsentation räumlichen Wissens (Kuipers, 1983, S. 356)

Abbildung 1 verdeutlicht das Modell der räumlichen Wissensrepräsentation von Kuipers (1983). Das Modell besteht aus fünf unterschiedlichen Informationsarten, die beim Kennenlernen der Umgebung wahrgenommen werden und repräsentiert sind. Die Informationsarten sind im Modell umrandet. Die Darstellung der Repräsentation in der oberen Hälfte des Diagramms wird als „Routenkarte“, die Darstellung in der unteren Hälfte als „Überblickskarte“ bezeichnet. Die Wissensrepräsentation wird in vier Ebenen unterteilt: sensorimotorische, prozedurale, topologische und metrische Ebene. Dabei wird von einem hierarchischen Aufbau ausgegangen, die wahrgenommenen und repräsentierten

Informationsarten einer Ebene werden durch die Informationsarten der höheren Ebene bestimmt. In der Darstellung des Modells wird dies durch die Pfeile verdeutlicht: Ausgangspunkt des Modells ist die Sequenz von Blickpunkten und erfolgten motorischen Aktivitäten. Dies führt zum einen zu einem Aufbau von „Routenbeschreibungen“ und zum anderen zu einem Wissen um statische Elemente der Umgebung wie Plätze und Wege. Wenn dieses Wissen um „Routenbeschreibungen“ und um die Existenz und Art der statischen Elemente zusammengeführt wird (in der Abbildung durch das leere Kästchen verdeutlicht), wird der Wissenserwerb topologischer und metrischer Relationen ermöglicht; metrisches Wissen ist dabei eher in Form einer zweidimensionalen analogen Karte repräsentiert, während das topologische Wissen als eine flexible Verbindung zwischen aufeinander bezogenen Orten bzw. Regionen verstanden werden kann. Das Wissen um topologische Relationen kann zu einem metrischen Wissen führen, welches das Wissen über Distanzen und Winkel impliziert (vgl. auch Leiser & Zilbershatz, 1989; Mallot & Schölkopf, 1994; Yeap, 1988).

Aussagen über räumliches Wissen können nicht unabhängig von den Abrufmethoden des Wissens gesehen werden. Aus diesem Grunde wird im nächsten Kapitel ein Überblick über häufig verwendete Methoden zur Diagnose räumlichen Wissens gegeben.

## **1.2 Methoden zur Diagnose räumlichen Wissens**

Die Methoden zur Untersuchung der mentalen Repräsentation räumlicher Information sind sehr unterschiedlich: Newcombe (1985) faßte die Methoden in einem Literaturüberblick zusammen, der nach folgenden drei Fragen bzw. Kriterien gegliedert ist:

- Welche Methode ist besonders akkurat, d.h. welche Methode gibt die objektiven physikalischen Verhältnisse besonders genau wieder?
- Welche Lösung einer räumlichen Aufgabe wird über verschiedene Methoden hinweg von den Versuchspersonen bevorzugt?
- Gibt es einen übereinstimmenden Einfluß unabhängiger Variablen auf die Ergebnisse in verschiedenen Methoden („konvergente Validität“)?

In der ausführlichen Zusammenstellung wird darauf hingewiesen, daß die Methoden die objektiven physikalischen Verhältnisse am genauesten abzurufen scheinen, die in

einem engen Zusammenhang zu den räumlichen Verhältnissen stehen (z.B. direkte Schätzung von Distanzen, Bestimmung von Örtern durch die Rekonstruktion von Klötzen entlang einer Vorlage).

Der Literaturüberblick schließt u.a. mit den Forderungen, empirisch eine größere Anzahl von Methoden - sowohl bei einem Individuum als auch über Versuchspersonen hinweg - miteinander zu vergleichen, die Untersuchung bestimmter Bevölkerungsgruppen (Kinder, ältere Menschen, etc.) zu integrieren und davon auszugehen, daß es die ideale Abrufmethode nicht gibt: *„If we are able to predict when and why various measures should show differential distortions as a result of environmental and subject variables, however, the failure to establish convergent validity is seen in a whole new light. Different results with different measures become facts to be explained in future investigations of spatial processing, „clues“ to the nature of spatial cognition“* (Newcombe, 1985, S. 297).

Kritik haben weniger die von Newcombe (1985) aufgestellten Kriterien zum Vergleich von Abrufmethoden an sich gefunden, sondern eher die Vorstellung, daß anhand dieser Kriterien eine grundlegende Klärung des Einflusses verschiedener Methoden auf den Abruf räumlichen Wissens gelingen könne (May, 1992).

May (1992) ging in einer Untersuchung der Frage nach, ob Personen, die eine längere Zeit in der Stadt Münster gelebt hatten, eine individuelle Perspektive auf die räumlichen Gegebenheiten der Stadt ausgebildet haben. Darüber hinaus untersuchte er, welche mentalen Prozesse wirksam werden, um Abweichungen zwischen vorgegebener (z. B. durch die Darbietung eines Stadtplans) und mental repräsentierter Perspektive zu überwinden. Zur Diagnose des räumlichen Wissens setzte er unterschiedliche Methoden (Distanzschätzung, Winkelschätzung und Rekonstruktion) ein und stellte u.a. fest, daß die eingesetzten Methoden zu unterschiedlichen Ergebnissen hinsichtlich der Einschätzung von Örtern bzgl. der realen Position führen und darüber hinaus, daß nicht für jede Versuchsperson das räumliche Wissen mit jeder Abrufmethode gleich gut auszudrücken ist.

May (1992) legt in einem Überblick die Diagnosemethoden von Routen- und Überblickswissen dar und unterscheidet hierbei zwischen Einschätzungs-, Rekonstruktions- und chronometrischen Verfahren:

Zu den Einschätzungsverfahren gehören Distanz- und Winkelschätzungen. Bei den Distanzschätzungen wird zwischen absoluten (subjektiv, wie weit ist x von y

entfernt), relativen (Schätzung in Bezug zu einem anderen Referenzpunkt oder zu einer anderen Referenzstrecke) und ordinalen Distanzschätzungen (Paar-Tripelvergleiche oder Rangordnungen) differenziert. Bei den Winkelschätzungen unterscheidet man zwischen der Herstellungs- und der Triangulationsmethode. Mit der Methode der projektiven Konvergenz wird das räumliche Wissen durch eine Verbindung von Distanzschätzungen und Winkelschätzungen erfaßt.

Wendet man sogenannte Rekonstruktionsverfahren an, kann ein gelernter physikalischer Raum entweder isomorph, in einem Miniaturmodell oder durch Zeichnungen rekonstruiert werden. Unter einem isomorphen Modell versteht man die Rekonstruktion im gleichen Raum mit den gleichen Gegenständen. Diese Methode wird zum größten Teil bei der Untersuchung des Wissens über Vista-Räume angewendet. Beim Miniaturmodell handelt es sich um eine Rekonstruktion an einem maßstabgetreuen verkleinerten Modell. Unter der Methode des „mapping“ versteht man die spezielle Form einer Rekonstruktion an einem zweidimensionalen Modell: Die Versuchsperson plaziert z.B. maßstabgetreue Magnetscheiben auf einer ebenen Fläche. Zeichnungen als eine Form des „mapping“ wurden schon von Lynch (1960) eingesetzt. Sie bieten die Möglichkeit, räumliches Wissen auf für die Versuchspersonen leicht verständliche Art abzufragen. Ein Problem bei der Anwendung von Zeichnungen als Meßmethode liegt darin, daß dieses Verfahren stark von der unterschiedlichen Zeichenfähigkeit der Probanden beeinflusst wird.

Bei der Anwendung chronometrischer Verfahren werden Latenzzeitmessungen zur Untersuchung räumlicher Wissensstrukturen vorgenommen: Hier gibt es die Möglichkeit, die Antwortzeit auf die Frage nach einer räumlichen Relation (Vorstellungssuchdauer) oder die Antwortzeit auf die Verifikation eines Satzes (Satzverifikationsaufgaben) zu messen. Zudem werden bei der Anwendung der Methode des Primings antwortzeitverkürzende Effekte aufgrund von räumlichen Verhältnissen erwartet. Dabei wird ein Reiz (Prime) dargeboten und die auf den darauffolgenden zweiten Reiz (Target) benötigte Reaktionszeit gemessen. Im Rahmen einer Netzwerkauffassung räumlichen Wissens werden Priming-Effekte als Resultat der Aktivationsausbreitung im Netzwerk verstanden (vgl. Herrmann, Buhl & Schweizer, 1995; Schweizer, 1997).

### **1.3 Zusammenfassung**

Bei der Exploration seiner Umgebung erwirbt der Mensch Landmarken- und Routenwissen, welches zu Überblickswissen integriert werden kann: Das Landmarkenwissen umfaßt die Repräsentation von Örtern einer Umgebung, im Routenwissen sind zudem die Wege zwischen den Örtern repräsentiert. Die raumbezogene Information wird sukzessiv erworben. Das Überblickswissen umfaßt die Repräsentationen mehrerer Wege und die Integration von Wegen und Landmarken. Dabei ist es wichtig, festzuhalten, daß die Aussagen über das räumliche Wissen des Menschen nicht unabhängig von den Methoden gesehen werden können, die beim Abruf dieses Wissens eingesetzt werden. Die Anwendung von Einschätzungs-, Rekonstruktions- und chronometrischen Verfahren deckt unterschiedliche Aspekte der mentalen Repräsentation räumlicher Information auf.

## 2 Determinanten der Perzeption und Kognition von Distanzen

Das Wissen um die Entfernung von Ort A zu Ort B ist ein Bestandteil des räumlichen Wissens, insbesondere des Routen- und Überblickswissens. Dieses Distanzwissen<sup>4</sup> hilft uns, einen Weg zu einem Ziel optimal zu planen.

Distanzwissen kann sich auf die kürzeste Entfernung („Luftlinie“) zwischen zwei Örtern (euklidische Distanz) oder auf eine bestimmte Strecke von einem Ort zum anderen entlang eines Weges (Routendistanz) beziehen (Engelkamp, 1990; Thorndyke & Hayes-Roth, 1982). Je nachdem, ob der Standpunkt des Beobachters mit einem der beiden Örtern zusammenfällt oder nicht, spricht man von egozentrischen oder exozentrischen Distanzen (Fukushima, Loomis & Da Silva, 1997).

Je nach Art des psychologischen Raumes, in dem eine Distanz erfahren wird, läßt sich zwischen einer pictorialen, Vista- und Umgebungsdistanz unterscheiden.

Eine **pictoriale Distanz** bezeichnet eine Distanz zwischen zwei Örtern bzw. Punkten auf einer Fläche wie z.B. einer Karte.

Eine pictoriale Distanz wird simultan wahrgenommen, wenn die Karte als ganzes Bild wahrgenommen wird; wird die Karte z.B. von links nach rechts abgesucht, wird die pictoriale Distanz sukzessiv wahrgenommen. Die Perzeption der pictorialen Distanz als ein Spezialfall einer figuralen Distanz, d.h. einer Distanz zwischen Örtern in einem figuralen Raum, ist häufig untersucht worden, so daß sie an dieser Stelle herausgestellt betrachtet wird. Wenn es sich bei der Karte, auf welcher eine pictoriale Distanz wahrgenommen wird, um eine Abbildung geographischer Gegebenheiten handelt, kann die pictoriale Distanz als geographische Distanz bezeichnet werden.

Eine **Vista-Distanz** ist eine Distanz zwischen zwei Örtern in einem Vista-Raum. Die Distanz ist von einem Beobachterstandpunkt aus wahrnehmbar.

Eine **Umgebungsdistanz** ist eine Distanz zwischen zwei Örtern in einem Umgebungsraum, die nicht simultan von einem Beobachterstandpunkt erfahren werden kann, sondern sukzessiv erfahren werden muß.

---

<sup>4</sup> Der Begriff der Distanz wird hier für die räumliche, nicht zeitliche, Entfernung von einem Ort zu einem anderen Ort verwendet.

Die Repräsentation einer Umgebungsdistanz wird auch oftmals als kognitive Distanz bezeichnet, da sie nicht das Ergebnis einer einfachen Wahrnehmung, sondern das eines Informationsintegrationsprozesses ist. Im Gegensatz dazu wird eine Vista-Distanz auch als perzeptuelle Distanz bezeichnet (Baird, 1970). Die Stringenz dieser Unterscheidung ist jedoch nicht aufrechtzuerhalten, da einerseits auch bei Vista-Distanzen Enkodierungs- und Abrufprozesse von Bedeutung sind, andererseits Umgebungsdistanzen aus Vista-Distanzwissen resultieren können (vgl. Montello, 1995).

Zentrales Thema dieser Arbeit ist die Kognition von Umgebungsdistanzen:

Wissen über Umgebungsdistanzen kann prinzipiell direkt aus dem Langzeitgedächtnis abgerufen werden. Dies ist dann der Fall, wenn es als analytisch kodierte Information im Langzeitgedächtnis verfügbar ist wie z.B. das Wissen über die Distanz von einer Stadt zu einer anderen in metrischen Einheiten (z.B. km).

Wenn die Entfernungsinformation nicht unmittelbar aus dem Langzeitgedächtnis abgerufen werden kann, sind Entfernungsschätzungen aufgrund impliziten oder expliziten Wissens möglich. Die Grundlage impliziten Wissens können entweder visuelle und/oder propriozeptive Erfahrungen sein - aufgrund derer sich einmal gegangene Wege „blind“ nachgehen lassen - oder Heuristiken, die sich auf die für das Zurücklegen des Weges benötigte Zeit oder die erlebte Anstrengung beziehen.

Die Grundlage der Distanzschätzung aufgrund expliziten Wissens kann sich auf die Wahrnehmung von Vista-Distanzen beziehen. Aus den im Arbeitsgedächtnis repräsentierten Vista-Distanzen werden durch Inferenzen Umgebungsdistanzschätzungen vorgenommen. Heuristiken - z.B. die Rekonstruktion der benötigten Zeit, der Anstrengung oder der erinnerten Örter - gewinnen hier an Bedeutung, wenn es sich um Distanzschätzungen in großen Umgebungsräumen handelt, in denen es schwierig ist, ein kontinuierliches Wissen über Vista-Distanzen aufzubauen: „*What's useful for estimating the length of a walk through a building is less useful for estimating the length of a daylong train trip*“ (Montello, 1995, S. 73).

Auf Heuristiken bei der Schätzung von Distanzen sind Individuen dann nicht angewiesen, wenn sie bei der Erkundung der Umgebung die Möglichkeit haben, Schritte - z.B. wenn keine visuelle Information verfügbar ist - oder regelmäßig wiederkehrende Muster in ihrer Umgebung zu zählen. Dies ist in experimentellen

Untersuchungen oft dann der Fall, wenn die Versuchspersonen vor dem Erlernen eines Weges wissen, daß sie in der Testphase Distanzen schätzen müssen.

Montello (1995) hat diese Zusammenhänge in folgenden Schema dargestellt:

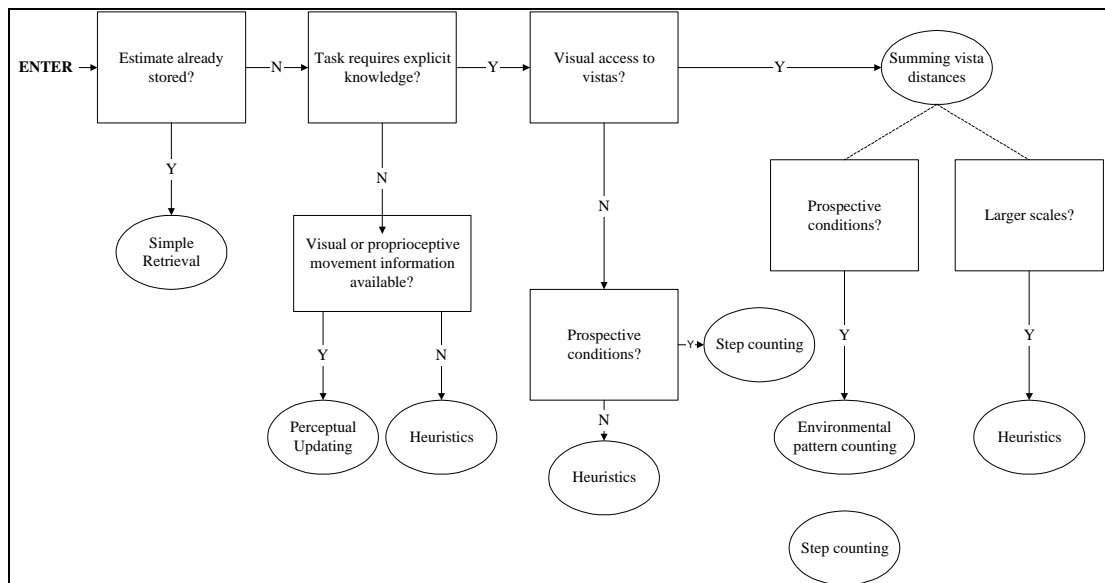


Abb. 2: Prozeßgrundlagen bei der Perzeption und Kognition von Umgebungsdistanzen (Montello, 1995, S.101)

Das Schema verdeutlicht, daß je nach situativer Gegebenheit unterschiedliche perzeptive und kognitive Prozesse den Erwerb und Abruf von Distanzwissen bestimmen: „Although only one of these types of processes can operate during a particular occasion in which distance knowledge is used, it is not necessary to conclude that only one of them characterizes the processing of distance knowledge in general“ (Montello, 1995, S. 22).

Montellos Schema weist meines Erachtens Unklarheiten auf. So ist z.B. der Begriff „larger scales“ nicht definiert, und es bleibt offen, ob auch Heuristiken angewendet werden, wenn es sich nicht um „größere“ Umgebungsräume handelt. Zudem wird nicht deutlich, daß Heuristiken immer dann von Bedeutung sind, wenn retrospektiv von den Versuchspersonen eine Distanzschätzung verlangt wird.

Neben dem eher beschreibenden Schema Montellos (1995) gibt es innerhalb der Informatik Bestrebungen, die Perzeption und Kognition von Distanzen kognitiv zu modellieren. Berendt (1998) entwickelt die komputationale Modellierung FEATURE zur Erklärung der Generierung von Umgebungsdistanzen: Das auf der Basis von beobachtbaren Effekten konstruierte Modell geht davon aus, daß Umgebungsdistanzen aus einzelnen, individuell wahrgenommenen Komponenten (Vista-Distanzen) inferiert werden. Das Ergebnis dieses Konstruktionsprozesses kann mit einer streng konkaven Funktion beschrieben werden. Weiterhin wird in diesem Modell von einer Repräsentation der Route im Langzeitgedächtnis und einer aufgabenspezifischen Repräsentation im Arbeitsgedächtnis



ausgegangen. Im Langzeitgedächtnis ist die Route auf drei Hierarchieebenen repräsentiert: Auf der obersten Stufe befindet sich die Route als Einheit. Die Knoten auf der zweiten Stufe repräsentieren Abschnitte, auf der dritten Stufe sind die Marken als Knoten repräsentiert. Die Konstruktion der Repräsentation im Arbeitsgedächtnis besteht aus dem wiederholten Plazieren von Items, entweder Marken oder Abschnitte. Die Marken oder Abschnitte stehen im Arbeitsgedächtnis in einer Distanz zueinander, die durch die Information im Langzeitgedächtnis und die Stufe im Konstruktionsprozeß bestimmt ist. Bei der Konstruktion im Arbeitsgedächtnis wird zunächst von einer Aktivierung einer Marke oder eines Abschnittes und des dazugehörigen Teils der Route im Langzeitgedächtnis ausgegangen. Der dazugehörige Teil der Route wird durch eine spezifische Funktion transformiert. Diese transformierte Distanz des Routenstückes wird in die Arbeitsgedächtnisrepräsentation überführt, deren Konstruktion auf der Addition der transformierten Distanzen beruht.

Auf die Perzeption und die Kognition von Distanzen haben eine große Zahl von Faktoren Einfluß, wie die Forschung in den letzten beiden Jahrzehnten gezeigt hat.

## **2.1 Psychophysik der Distanzwahrnehmung**

Der psychophysische Zusammenhang von objektiven und erlebten Distanzen läßt sich durch eine Potenzfunktion beschreiben (Golledge, 1987; Stevens, 1957).

Diese Potenzfunktion gilt sowohl für die Distanzperzeption als auch für die Distanzkognition, d.h. sie gilt auch für den Fall, daß die Distanz aus dem Gedächtnis abgerufen oder inferiert werden muß (vgl. Björkman, Lundberg & Tärnblom, 1960; Moyer et al., 1978; Thorndyke, 1981b). Sie gilt weiterhin für pictoriale, Vista- und Umgebungsdistanzen.

Bei der Beschreibung des funktionalen Zusammenhanges zwischen erlebter und objektiver Distanz durch eine Potenzfunktion ist die Größe des Exponenten davon abhängig, ob die Schätzung eine unmittelbare Wahrnehmung zur Grundlage hat, die Visualisierung einer erinnerten Distanz ist oder ob die Distanz aufgrund anderer Informationen erschlossen, d.h. inferiert werden muß. Dieser Sachverhalt kann in der Größe des Exponenten der Potenzfunktion ausgedrückt werden, die den jeweiligen psychophysischen Zusammenhang beschreibt. Für den Fall der unmittelbaren Wahrnehmung wird im Mittel ein Exponent von 1.08, für den Fall der Visualisierung

einer Distanz aus dem Gedächtnis wird ein Exponent von 0.91 angenommen und bei der Inferenz ein Exponent von 0.78 (Wiest & Bell, 1985).

Die Beobachtung, daß eine aus dem Gedächtnis abgerufene Distanz kürzer als eine unmittelbar wahrgenommene Distanz geschätzt wird, ist auch bei der Untersuchung pictorialer Distanzen gemacht worden (Radvansky, Carlson-Radvansky & Irwin, 1995). Die Autoren führen zur Erklärung drei Hypothesen an: *reperceptual, transformation and uncertainty hypothesis*. Bei der Annahme der *reperceptual hypothesis* wird davon ausgegangen, daß die Distanz so gespeichert wurde, wie sie wahrgenommen wurde und daß „during memory retrieval, ... scanned in a manner analogous to the perception process. Therefore, any distortion accrued during the original perceptual encoding is now increased so that the exponent of the memory function should be the square of the perception function“ (Radvansky, Carlson-Radvansky & Irwin, 1995, S. 597). Bei der Annahme der *transformation hypothesis* wird von Prozessen ausgegangen, die die gespeicherte Distanz beeinflussen: Die gespeicherte räumliche Information wird „schematisiert“, wobei hierarchische Organisationen oder Gestaltprinzipien von Bedeutung sind. Diese „Schematisierung“ führt dazu, daß sich die Potenzfunktionen einer unmittelbar wahrgenommenen und einer aus dem Gedächtnis abgerufenen Distanz unterscheiden, es bleibt jedoch unklar, inwieweit die „Schematisierung“ einen Einfluß auf die Verkleinerung des Exponenten hat. Bei Annahme der *uncertainty hypothesis* wird davon ausgegangen, daß Versuchspersonen unsicherer sind, wenn sie eine Distanz aus dem Gedächtnis schätzen, als wenn diese für sie unmittelbar wahrnehmbar ist. Die Versuchspersonen vermeiden eine extrem hohe bzw. niedrige Schätzung, was dazu führt, daß der Unterschied zwischen den geschätzten Werten gering ist. Dies führt zu einem geringeren Exponenten.

Neben der Frage nach dem psychophysischen Zusammenhang zwischen geschätzter und objektiver Distanz wurde untersucht, ob Distanzen metrisch sind. Die metrischen Axiome sind (Baird, Wagner & Noma, 1982):

$$(1) d(x,y) = 0 \text{ für } x = y \text{ und } d(x,y) > 0 \text{ für } x \neq y$$

$$(2) d(y,x) = d(x,y)$$

$$(3) d(x,y) + d(y,z) \geq d(x,z)$$

wobei  $x, y, z$  Örter sind, zwischen denen die Distanz geschätzt wird;  $d(x,y)$  ist ein Distanzmaß.

Während die ersten beiden Axiome für Distanzschätzungen empirisch zu gelten scheinen, gibt es empirische Evidenzen, daß die Axiome der Symmetrie (Axiom 2) und der Dreiecksungleichung (Axiom 3) verletzt sind:

Cadwallader (1979) ließ von seinen Versuchspersonen in 1500 Schätzungen die Distanz zwischen 30 Städtepaaren in den USA schätzen. Die Distanzschätzung wurde nach einiger Zeit wiederholt, wobei die Reihenfolge der Städte in einem zu schätzenden Paar ausgetauscht wurde (z.B. New York - Miami vs. Miami - New York). Es zeigte sich, daß in nur 259 Fällen die beiden Schätzungen der geographischen Distanzen gleich waren, die übrigen Schätzungen der verglichenen Städtepaare wichen um 10% bis 40% voneinander ab (vgl. zur Asymmetrie von Richtungsschätzungen Moar und Bower, 1983).

Sadalla, Burroughs und Staplin (1980) konnten darüber hinaus zeigen, daß Referenzpunkte, d.h. im Sinne der Autoren die Örter, die relativ zu anderen Örtern besser bekannt sind und dazu dienen, die Lokalisation anderer Örter zu bestimmen, die Symmetrie einer Distanzschätzung beeinflussen. Die Autoren baten ihre Versuchspersonen, die Distanz zwischen Örtern auf dem Universitätsgelände zu schätzen. Es zeigte sich, daß die Distanzschätzung von einem Nicht-Referenzpunkt zu einem Referenzpunkt kürzer war als umgekehrt. Referenzpunkte können somit als die organisierenden Einheiten räumlichen Wissens betrachtet werden. Das Konzept der „räumlichen Referenzpunkte“ ähnelt dem der „kognitiven Referenzpunkte“, die als prototypische Einheiten semantischer Kategorien verstanden werden (Rosch, 1975). Sowohl bei kognitiven als auch bei räumlichen Referenzpunkten konnten Asymmetrien in Aufgaben zur semantischen Ähnlichkeit bzw. räumlichen Nähe nachgewiesen werden. Im Gegensatz zu kognitiven Referenzpunkten sind räumliche Referenzpunkte jedoch nicht zwangsläufig die Prototypen einer gegebenen Kategorie von Reizen.

Die Schwierigkeit, einen allgemeingültigen Exponenten für die psychophysische Funktion zur Beschreibung des Zusammenhanges von objektiven und subjektiven Distanzen zu finden, ist darauf zurückzuführen, daß dieser Zusammenhang durch eine große Zahl von Bedingungen modifiziert werden kann (Briggs, 1973, 1976; Cadwallader, 1973). Diese Modifikation kann sich zum einen auf die Phase des Wissenserwerbs und zum anderen auf die Phase des Wissensabrufs beziehen. In der Phase des Wissenserwerbs haben Umgebungsmerkmale, die auch als Features bezeichnet werden (vgl. Teil I, Kapitel 2.2.1), und Prozeßbedingungen (vgl. Teil I, Kapitel 2.2.2), in der Phase des Wissensabrufs die Meßmethode (vgl. Teil I, Kapitel

2.3.1) und Kontextbedingungen (vgl. Teil I, Kapitel 2.3.2) einen Einfluß auf die Distanzkognition.

## **2.2 Einflußfaktoren beim Erwerb von Distanzwissen**

Bei den Einflußfaktoren auf den Erwerb des Distanzwissens läßt sich zwischen Bedingungen unterscheiden, die sich auf Merkmale der Umgebung und solchen, die sich auf den Prozeß des Wissenserwerbs beziehen. Zu den Umgebungsmerkmalen, Features, gehören z.B. Örter, die eine Route ausfüllen und gliedern können. Zum Prozeß des Wissenserwerbs gehört z.B. die Navigation bzw. die Art der Exploration des Raumes.

### **2.2.1 Umgebungsmerkmale**

Die Anzahl und/oder die Bedeutsamkeit der bei der Navigation in einer Umgebung wahrgenommenen, verarbeiteten und im Gedächtnis gespeicherten Örter hat einen Einfluß auf die Schätzung der Länge des Weges. Dies wurde in den Arbeiten von Sadalla und seinen Mitarbeitern deutlich und als **Feature-Akkumulationshypothese** generalisiert (vgl. Sadalla & Magel, 1980; Sadalla & Staplin, 1980a; Sadalla & Staplin, 1980b; Sadalla, Staplin und Burroughs, 1979). In ihren Untersuchungen setzten die Autoren Wege mit unterschiedlichen Örtern ein: Diese Örter waren durch unterschiedliche Features wie z.B. auf Schildern dargebotene Namen mit unterschiedlicher Häufigkeit im Sprachgebrauch oder eine unterschiedliche Anzahl von Kreuzungen oder erzwungenen Richtungsänderungen bestimmt.

Sadalla & Staplin (1980a) zeigten, daß Eigennamen, die visuell auf Karten dargeboten wurden und sich in ihrer statistischen Auftretenswahrscheinlichkeit unterschieden, einen Einfluß auf die Kognition von Umgebungsdistanzen haben. Die Versuchspersonen gingen einen mit Klebeband auf dem Boden markierten Weg. Der Weg war in zwei 9 Meter lange Segmente unterteilt und enthielt 15 90°-Abbiegungen. An den Kreuzungen befanden sich je nach Versuchsbedingung Karten

mit häufig verwendeten oder weniger häufig verwendeten Namen. Distanzschätzungen zeigten, daß diejenigen Wege, die den Namen mit größerer Auftretenswahrscheinlichkeit trugen, länger eingeschätzt wurden als die anderen Wege. Die Autoren gehen davon aus, daß bei Namen, die häufig verwendet werden, mehr Merkmale gespeichert sind als bei weniger häufig verwendeten Namen. Die größere Anzahl von gespeicherten Merkmalen führt dazu, daß der Informationsgehalt der Eigennamen größer ist. Aufgrund dieses größeren Informationsgehaltes wird die Länge des Weges, an welchem sich häufig gebrauchte Namen befinden, länger geschätzt als die Länge eines Weges, an welchem sich weniger häufig verwendete Eigennamen befinden. Alternativ wiesen die Autoren darauf hin, daß der Informationsgehalt der gespeicherten Namen unter den beiden Bedingungen gleich sein könnte und die gewonnenen Ergebnisse auf Unterschiede in den Abrufprozessen beruhten.

Der Frage, ob die geschätzte Distanz durch den Informationsgehalt der gespeicherten oder der abgerufenen Information beeinflusst wird, gingen Sadalla, Staplin und Burroughs (1979) in einer weiteren Arbeit nach. Wäre die Distanzschätzung durch den Gehalt der gespeicherten Information beeinflusst, hätten Manipulationen, bezogen auf den Abruf, keine Auswirkungen. Die Versuchspersonen mußten einen Weg nachgehen, der 15 Kreuzungen mit Namensschildern häufig vorkommender oder nur selten vorkommender Eigennamen enthielt; zudem wurden sie aufgefordert, sich beim Kennenlernen des Weges die Eigennamen einzuprägen (vgl. Sadalla und Staplin, 1980a). Der Versuchsplan bestand aus einem 2 (Häufigkeit der Eigennamen im Sprachgebrauch) x 3 (Art des Gedächtnistest) Zufallsgruppenplan; die abhängigen Variablen waren die geschätzte Länge des Weges, die Leistung im Gedächtnistest und die für das Zurücklegen des Weges benötigte Zeit. Die Versuchspersonen in den Gruppen, mit denen ein Erinnerungstest bzw. ein Wiedererkennenstest durchgeführt wurde, mußten zunächst die Länge des gegangenen Weges schätzen. In dem sich anschließenden Erinnerungstest sollten die Probanden dann alle Namen aufzählen, an welche sie sich erinnerten; in dem Wiedererkennenstest wurden sie aufgefordert, aus einer sequentiell dargebotenen, mit Distraktoren angereicherten Liste von Namen die gelernten Namen wiederzuerkennen. In der dritten Art des Gedächtnistests wurden

den Versuchspersonen vor der Distanzschätzung die Namensschilder der entweder häufig oder weniger häufig vorkommenden Eigennamen nochmals vorgelegt.

Die Ergebnisse zeigten, daß der Weg mit den häufig gebrauchten Eigennamen länger als der mit den weniger häufig gebrauchten geschätzt wurde. Durch die erneute Vorlage der Eigennamen verschwand der Unterschied. Die Anwendung des Erinnerungs- und Wiedererkennenstests ergab unterschiedliche Ergebnisse bezogen auf den Abruf der Eigennamen: Während im Erinnerungstest die häufig benutzten Eigennamen signifikant leichter abgerufen werden konnten als die weniger häufig gebrauchten Namen, trat dieser Unterschied im Wiedererkennenstest nicht auf. Es wird davon ausgegangen, daß der Wiedererkennenstest die Information abfragt, die im Gedächtnis gespeichert ist und in einem Erinnerungstest die Abrufbedingung von Bedeutung ist (vgl. Kintsch, 1970). Aufgrund der Ergebnisse, daß zum einen die unterschiedliche Art der Namen einen Einfluß auf die Distanzschätzung und auf die Erinnerung, nicht aber auf das Wiedererkennen hat, und zum anderen die Auflistung der gelernten Namen vor der Schätzung der Länge des Weges einen Einfluß auf die Schätzung hat, gehen die Autoren davon aus, daß die Abrufbedingung für die Distanzschätzung von Bedeutung ist. Dabei läßt diese experimentelle Anordnung jedoch keine Aussage über den Einfluß der gespeicherten Information zu.

Zur Erklärung ihrer Befunde ziehen Sadalla und seine Mitarbeiter das Informations-Speicherungs-Modell von Milgram (1973) heran. Das Informations-Speicherungs-Modell besagt, daß die Schätzung der Größe eines Gebietes von dem Gehalt der im Gedächtnis gespeicherten Information über die räumlichen Gegebenheiten in diesem Gebiet abhängig ist. In Übertragung auf die Schätzung eines Weges wird diese von dem Gehalt der im Gedächtnis gespeicherten Information über die Anzahl und Art der Örtler entlang des Weges beeinflusst.

Auch bei der Untersuchung pictorialer Distanzen konnte der Einfluß der Ausfüllung der Route nachgewiesen werden, es wird vom Feature-Effekt gesprochen: Der Feature-Effekt besagt, daß die geschätzte Distanz durch die Anzahl der Örtler (Features) entlang einer Route beeinflusst wird. Thorndyke (1981b) konnte zeigen, daß die Schätzung der Gesamtlänge einer Route auf einer Karte von der Anzahl intervenierender Punkte entlang der Route beeinflusst wird. Dies gilt sowohl bei einer Gedächtnisaufgabe als auch bei einer visuellen Wahrnehmungsaufgabe. Dieser Befund wird von Thorndyke in Zusammenhang gebracht mit der Zeit, die erforderlich ist, um ein mental repräsentiertes

Bild der Route abzusuchen. Die Schätzung der Distanz auf der Grundlage der „Absuchprozesse“ erklärt Thorndyke (1981b) mit dem „*analog timing model*“: Das Absuchen einer durch Punkte unterbrochenen Route verlangt von der Versuchsperson das Stoppen des Suchprozesses an jedem intervenierenden Punkt und den Vergleich des [Namen des] Punktes mit dem [Namen des] Zielpunktes. Dieser Prozeß benötigt eine längere Zeit als die Schätzung der Länge einer nicht unterbrochenen Route. Formalisiert kann die geschätzte Distanz ( $L'$ ) dann als eine Linearkombination der objektiven Distanz ( $L$ ) und der Anzahl der intervenierenden Punkte ( $C$ ) gesehen werden:  $L' = b_0 + b_1 L + b_2 C$ . Die Parameter  $b_i$  können aus den experimentellen Daten geschätzt werden.

Die subjektive Distanz zwischen zwei Örtern wird auch durch Gliederungen des zwischen ihnen liegenden Weges beeinflusst. Dieser Sachverhalt ist in der Routen-Segmentierungshypothese beschrieben worden und wurde besonders von Allen und Mitarbeitern elaboriert (Allen, 1981, 1988; Allen & Kirasic, 1985; Allen, Siegel & Rosinski, 1978). Die Hypothese besagt, daß durch strukturierende Merkmale wie Gleichheit, Ähnlichkeit, Nähe und auch Segmentierungen in Form von Begrenzungen bzw. segmentierenden Umgebungsmerkmalen, wie z.B. einer Querstraße, der Weg in Segmente gegliedert wird und daß die geschätzte Distanz zwischen zwei Örtern entlang des Weges um so höher ist, je mehr Segmente der Weg aufweist.

In einer Untersuchung zeigten Allen, Siegel und Rosinski (1978) ihren Probanden eine Sequenz von entweder in der richtigen oder in zufälliger Reihenfolge angeordneten Diapositiven eines 645 Meter langen unbekanntes Weges durch eine Stadt. Die Versuchspersonen wurden daraufhin aufgefordert, die Distanz zwischen bestimmten Örtern entlang des Weges zu schätzen. Dabei handelte es sich um Örtter, die den Versuchspersonen anhand der Diapräsentation bekannt bzw. unbekannt waren. Die Distanzschätzungen waren - unabhängig von der Darbietungsreihenfolge der Dias in der Lernphase und der Bekanntheit bzw. Unbekanntheit der Örtter bei der Schätzung der Distanzen - relativ genau. Darüber hinaus zeigte sich, daß besonders in den Wegsegmenten, in denen sich die durch Objekte bestimmten Örtter stark voneinander abhoben, die Distanzschätzungen sehr präzise waren.

Allen (1981) untersuchte weiterhin den Einfluß von Segmenten auf die subjektive Distanz. Zunächst ließ er Versuchspersonen verschiedener Altersgruppen (ca. 8 Jahre, ca. 11 Jahre und ca. 21 Jahre) eine Diapräsentation eines 1 Kilometer langen

Weges durch eine ihnen unbekannte Wohngegend betrachten. Sie sollten angeben, an welchen Stellen ihrer Meinung nach der Weg in Segmente gegliedert ist. Die Versuchspersonen unterschiedlichen Alters wichen in ihren Urteilen kaum voneinander ab. In einem zweiten Experiment lernten weitere Versuchspersonen derselben Altersgruppen den 1 Kilometer langen Weg. Anschließend sollten sie die Distanz von auf Fotografien gezeigten Szenen des Weges zu einer Referenzszenen beurteilen. Es zeigte sich, daß die jüngeren Kinder die Distanz von Szenen anhand der subjektiven Gliederung des Weges beurteilten. Bei den älteren Kindern und Erwachsenen beruhten die Distanzschätzungen von Szenen, die innerhalb eines Routensegmentes lagen, auf rein metrischen Distanzen, wohingegen die Urteile über Szenen aus verschiedenen Segmenten nur allein aufgrund der Zugehörigkeit der Szene zu einem Routensegment abgegeben wurden (vgl. auch Allen & Kirasic, 1985).

Der Einfluß der Art von Begrenzungen auf die Schätzung von Distanzen wurde z.B. von Kosslyn, Pick und Fariello (1974) untersucht. Die Autoren unterteilten einen 27 Quadratmeter großen Raum durch transparente (niedrige Holzzäune) bzw. intransparente (von der Decke hängende Bettlaken) Begrenzungen in Quadranten. Eine Öffnung in der Mitte des Raumes erlaubte den Versuchspersonen, Kindern und Erwachsenen, von einem Quadranten in den anderen zu gehen. In Einzelversuchen lernten die Versuchspersonen die Lokalisationen von Spielzeuggegenständen dadurch kennen, daß sie von einer Start-Position zu jedem einzelnen Gegenstand hin- und zurückgingen. Es zeigte sich, daß die Schätzung der Distanz zwischen den Gegenständen von der Begrenzung abhängig ist: Kinder schätzten den Weg zwischen zwei Gegenständen länger, wenn die Begrenzung zwischen den Objekten intransparent war als wenn sie transparent war. Der Weg über eine transparente Grenze wurde von ihnen länger geschätzt als ein Weg ohne Begrenzung. Erwachsene Versuchspersonen schätzten nur den Weg mit intransparenten Begrenzungen länger als die Wege mit transparenten bzw. ohne Begrenzungen.

Herman, Miller und Heins (1987) konnten den wechselseitigen Einfluß zwischen der Art der Begrenzung bzw. Segmentierung und der objektiven Entfernung von Orten auf die Schätzung von Distanzen in einer natürlichen Umgebung nachweisen: Stehen Orte in einem Abstand von ca. 15 Metern zueinander, wird die Distanz zwischen



den Örtern über eine intransparente Begrenzung länger geschätzt als über eine transparente bzw. fehlende Grenze. Ist der Abstand zwischen den Örtern jedoch geringer (ca. 9 Meter), kehrt sich dieser Effekt um: Die Distanz über eine intransparente Grenze wird kürzer geschätzt als über eine transparente bzw. fehlende Grenze.

Eine andere Möglichkeit als die Gliederung durch Begrenzungen ist die der Gruppierung; bei der Gruppierung formieren sich Segmente aufgrund der Ähnlichkeit der Umgebungsmerkmale entlang eines Weges. Dabei stellt sich die Frage, ob die beiden Gliederungsprozesse beim Routenwissen, der Prozeß der Segmentierung und der der Gruppierung, denselben Einfluß auf die Schätzung von Distanzen haben.

Dieser Frage ging Bardelle (1997) in einer experimentellen Untersuchung in einem virtuellen Umgebungsraum nach. Die Versuchspersonen sahen einen geraden Straßenzug mit 12 symmetrisch an beiden Seiten angeordneten Häusern. Nach der Lernphase schätzten sie mittels einer Rekonstruktionsmethode in Form von Zeichnungen einzelne Routenabschnitte. Es wurde ermittelt, inwiefern Querstraßen, die Anordnung der Häuser (nach Art der Häuser gruppiert vs. nicht nach Art der Häuser gruppiert) auf der Route und die objektive Länge eines zu beurteilenden Routenabschnittes die Schätzung der Distanzen zwischen zwei Häusern beeinflussen. Tendenziell wurde die Distanz zwischen zwei Häusern über verschieden breite Querstraßen hinweg länger geschätzt, als wenn die Querstraße fehlte. Dabei ist der Effekt bei einer breiten Querstraße stärker als bei einer schmalen. Wenn die Häuser nach ihrer Art gruppiert sind und wenn der Routenabschnitt zwischen den gruppiert angeordneten Häusern kurz ist, wird dieser Routenabschnitt länger geschätzt als bei nicht gruppierter Anordnung der Häuser und langem Routenabschnitt. Der Einfluß der Gliederung auf die Schätzung von Distanzen zeigte sich nur im Fall der Segmentierung, nicht aber im Fall der Gruppierung.

Die Bedeutung von Gliederungsprozessen für die Perzeption und Kognition von Distanzen wurde eingehend in **pictorialen** Räumen untersucht (vgl. Cohen, Baldwin & Sherman, 1978; Kosslyn, Pick & Fariello, 1974). McNamara (1986) zeigte, daß Begrenzungen, durch die eine Karte in Quadranten unterteilt war, die Distanzschätzungen von auf der Karte dargebotenen Begriffen beeinflussen: Die Distanz zwischen Begriffen, die im selben Quadranten lagen, wurde in Relation zur Distanz zwischen Begriffen aus unterschiedlichen Quadranten unterschätzt „*This result also is consistent with the claim*

*that objects in the same region of a spatial layout were closer in subjects' memories than objects in different regions“ (McNamara, 1991, S. 160).*

Die Schätzung einer pictorialen Distanz kann jedoch nicht nur durch eine Begrenzung, sondern auch durch die räumliche Kontingenz von zwei Örtern beeinflusst werden. Dieser Einfluß wurde durch Priming-Untersuchungen gewonnen, wobei der Priming-Effekt bei der Untersuchung der Repräsentation von Distanzen besagt, daß die Reaktionszeit von der räumlichen Kontingenz zwischen zwei Örtern abhängt: Eine Erhöhung der Reaktionszeiten geht mit einer zunehmenden Distanz zwischen Prime und Target einher. McNamara, Ratcliff und McKoon (1984) wendeten das räumliche Priming bei der Untersuchung der Schätzung von Routen- und euklidischen Distanzen an. Die Versuchspersonen lernten Landkarten mit eingezeichneten Routen, entlang denen sich Städtenamen befanden. In der anschließenden Primingphase wurden nacheinander Städtenamen dargeboten, die entweder mit den gelernten Namen identisch waren oder nicht. Dabei variierte die Entfernung zwischen den Städtenamen, sie konnten bzgl. ihrer euklidischen Entfernung und ihrer Entfernung entlang der Route entweder „nah“ oder „weit“ entfernt sein. Die Versuchspersonen mußten entscheiden, ob das Target zu den gelernten Städtenamen gehörte. Es zeigte sich, daß die Reaktionszeiten schneller waren, wenn die als Prime und Target dargebotenen Städtenamen bzgl. ihrer Routen- und euklidischen Distanz nah beieinander lagen. Es zeigte sich jedoch kein Unterschied in den Reaktionszeiten bei gleichbleibender Routendistanz und alleiniger Variation der euklidischen Distanz. In diesem Experiment konnte demnach der Routendistanzeffekt, nicht aber der euklidische Distanzeffekt nachgewiesen werden. Ein zweites Experiment zeigte, daß die Art des Kartenstudiums keinen Einfluß auf das Ergebnis hat (im ersten Experiment lernten die Versuchspersonen die Karte durch Betrachten und anschließende Rekonstruktion, im zweiten Experiment wurden sie aufgefordert, die Städtenamen auf der Karte in einer bestimmten Reihenfolge zu lernen).

Im Gegensatz zu McNamara, Ratcliff und McKoon (1984) konnten Wender und Wagener (1990) und Wagener-Wender (1993) auch einen Effekt der euklidischen Distanzen auf die Reaktionszeiten in Priming-Experimenten nachweisen: Die Reaktionszeiten stiegen mit wachsender euklidischer Distanz zwischen den als Prime und Target dargebotenen sprachlich beschriebenen Örtern. Dieser Effekt konnte sowohl für eindimensionale als auch für zweidimensionale Konfigurationen nachgewiesen werden. Im Fall der eindimensionalen Konfigurationen erhielten die Versuchspersonen die Aufgabe, sich 10 Begriffe einer Wortliste in einer Reihe vorzustellen, bei den zweidimensionalen Konfigurationen mußten die Versuchspersonen anhand von kurzen Texten räumliche Relationen von Örtern lernen. Schweizer (1997) weist darauf hin, daß die unterschiedlichen Ergebnisse auf die Variation der Primingmethode - paarweise Prime-Target Kombination bei Wagener-Wender (1993) vs. Listendarbietung der Prime-Target Kombination bei McNamara, Ratcliff und McKoon (1984) - zurückzuführen sein könnten.

Bei den Untersuchungen zu Umgebungsdistanzen zeigte sich kein Primingeffekt bzgl. der Routendistanz. Ein euklidischer Distanzeffekt konnte nur tendenziell nachgewiesen werden: Schweizer und Janzen (1996) untersuchten den Erwerb von Routenwissen, indem sie ihren Versuchspersonen einen Film über eine Raumkonstellation, die aus einem Modell eines Geländeausschnittes mit an drei Straßen angeordneten Fahnen bestand, zeigten. Die erste Versuchspersonengruppe sah den Film vom

Start zum Ziel, der zweiten Versuchspersonengruppe wurde der Film vom Ziel zum Start gezeigt. Nachdem sichergestellt worden war, daß die Versuchspersonen die Route gelernt hatten, wurde mittels des räumlichen Priming-Paradigmas die mentale Repräsentation der Route abgefragt. Die Prime-Target-Paare waren dabei nach den Gesichtspunkten der Routendistanz (gering - groß) und der Richtung (vorwärts - rückwärts) klassifizierbar. Es zeigte sich ein Richtungseffekt: Wenn die Abfolge von Prime und Target mit der Richtung der Blickpunktsequenz in der Erwerbssituation übereinstimmt, ist die Reaktionszeit kürzer als in umgekehrter, gegen die Lernrichtung dargebotener, Reihenfolge.

Die Distanzschätzung wird darüber hinaus durch kategoriale Klassifikationen, die durch Vergleichsurteile abgerufen werden können, beeinflusst. Bei den Vergleichsurteilen müssen die Versuchspersonen Objekte auf einer Entscheidungsdimension miteinander vergleichen, d.h. sie werden z.B. gebeten zu beurteilen, ob Sätze der Form „A ist größer als B“ richtig oder falsch sind. In diesem Kontext besagt der symbolische Distanzeffekt: Je größer der Unterschied zwischen den beiden Vergleichsreizen ist, desto geringer ist die Reaktionszeit auf die Beurteilung des Unterschiedes. Der symbolische Distanzeffekt wurde für verschiedene Eigenschaften von Objekten, Begriffen bzw. Lebewesen nachgewiesen, so z.B. die Größe von Tieren (Moyer, 1973), die Attraktivität von Begriffen (Paivo, 1978), oder eben auch für geographische Relationen (Evans & Pedzek, 1980; Maki, 1981; Maki, Maki & Marsh, 1977) bzw. räumliche Relationen, die sich nicht nur auf geographische Zusammenhänge bezogen (Wagener-Wender, 1993).

Beim Vergleich des Primingeffektes bei Routendistanzen und euklidischen Distanzen und dem symbolischen Distanzeffekt zeigt sich also ein umgekehrter Zusammenhang zwischen Reaktionszeit und Distanz: Beim Priming-Effekt wächst die Reaktionszeit mit zunehmender Distanz, beim symbolischen Distanzeffekt nimmt sie mit wachsender Distanz ab. Beide Effekte zeigen aber eine Abhängigkeit der Reaktionszeit von der Distanz der beurteilten Objekte, Begriffe, etc. in der linearen Ordnung, wobei diese linearen Ordnungen als eine analoge Repräsentation hinsichtlich eines Merkmals angesehen werden können. Gegen eine reine analoge Repräsentation sprechen jedoch Befunde von Wagener-Wender (1993): Der symbolische Distanzeffekt und der Primingeffekt verschwanden, wenn die Erwartung der Versuchspersonen, in diesem Fall durch die Induktion einer Distanzschätzaufgabe, verändert wurde (vgl. auch Wagener-Wender, Wender & Rothkegel, 1997).

Kategoriale Klassifikationen treten jedoch nicht nur bei Vergleichsurteilen auf, sondern auch bei der freien Reproduktion läßt sich eine Klassifikation, ein subjektives Clustering, feststellen. Ein Clustering von gelernten Objekten bedingt, daß eine Distanz zwischen zwei Objekten über ein Cluster hinweg gegenüber einer Distanz zwischen zwei Objekten innerhalb eines Clusters überschätzt wird (vgl. Hirtle & Jonides, 1985; McNamara, Hardy & Hirtle, 1989). Eine Möglichkeit, ein - hierarchisches - Clustering darzustellen, bietet die Methode der hierarchischen Baumstrukturen (*hierachical ordered tree algorithm*).

„An ordered tree is a rooted tree where the children of a node, at any level, may be ordered, as a unidirectional or bidirectional node .... [...]. An ordered tree is built by examining the regularities in a set of recalls over a fixed set of items. In fact, an ordered tree is a generalization that allows for some overlapping structure“ (Hirtle, 1995, S. 330).

Hirtle und Kallman (1988) konnten zeigen, daß die Ähnlichkeit von Bildern in einer Kartenvorlage zu einem Clustering führt und dieses Clustering eine Auswirkung auf die Schätzung der räumlichen Relationen zwischen den Bildern hat. Sie boten ihren Versuchspersonen eine Karte dar, auf welcher sich 10 Photographien von Landmarken einer Stadt (z.B. Postgebäude) oder von solchen in einer ländlichen Gegend (z.B. Kornfeld) befanden. Die Versuchspersonen wurden aufgefordert, sich die Karte einzuprägen. Zwei Tage später wurden die Versuchspersonen gebeten, die Lokalisationen der Photos zu rekonstruieren, einen weiteren Tag später erhielten sie die Aufgabe, die Distanz zwischen den Lokalisationen der Photographien, die ihnen paarweise gezeigt wurden, zu bestimmen. Daran schloß sich die Aufgabe an, Vergleichsurteile bzgl. der Lokalisation zweier Photos im Verhältnis zur Lage einer dritten Photographie abzugeben. Bei der Rekonstruktionsaufgabe zeigte sich ein Clustering der Photographien aufgrund der pictorialen Ähnlichkeit; ähnliche Photographien (z.B. ausschließlich Photographien von Landmarken innerhalb einer Stadt) wurden näher zusammen liegend rekonstruiert als unähnliche Photographien (Photographien von Landmarken innerhalb einer Stadt und innerhalb der ländlichen Gegend). Die Ergebnisse der Distanzaufgabe und der Vergleichsurteile stehen im Einklang mit der Rekonstruktionsaufgabe: Photographien wurden aufgrund ihrer pictorialen Ähnlichkeit als näher zusammenliegend geschätzt.

### **2.2.2 Prozeßbedingungen**

Neben den Umgebungsmerkmalen haben auch Aspekte des Wissenserwerbsprozesses einen Einfluß auf die Kognition von Distanzen.

So wird die Distanzkognition z.B. auch davon beeinflusst, ob der Umgebungsraum durch aktive oder passive Navigation erfahren, bzw. aktiv oder passiv exploriert wird (vgl. Gale, Golledge, Pellegrino & Doherty, 1990; Sholl, 1987). Damit ist zunächst gemeint, daß bei der Erfahrung eines Umgebungsraumes das Individuum bei der Wahl des Weges und der Wahl der Explorationsgeschwindigkeit frei oder nicht frei ist. Aktive Exploration impliziert darüber hinaus eine physische Anstrengung des Individuums bei der Erfahrung des Umgebungsraumes. Dies ist bei passiver Exploration nicht gegeben (vgl. Montello, 1995).

Beim Erwerb von Distanzwissen spielen besonders bei aktiver Exploration des Umgebungsraums Zeit- und Anstrengungseffekte eine große Rolle.

Beim Zurücklegen eines Weges hat neben der objektiv benötigten Zeit (objektive Wegzeit) auch die subjektiv empfundene Zeit (subjektive - oft durch eine Schätzung abgerufene - Wegzeit bzw. geschätzte Dauer) einen Einfluß auf das Distanzerleben.

MacEachren (1980) ließ seine Versuchspersonen die Länge des Weges von ihrem Haus zu verschiedenen Geschäften in ihrer Umgebung schätzen und korrelierte die Schätzwerte mit der objektiven Zeit, die Versuchspersonen benötigten, um den jeweiligen Weg zurückzulegen. Dabei ergab sich ein signifikanter statistischer Unterschied zwischen dem Korrelationskoeffizienten der geschätzten Distanz und der objektiven Wegzeit und dem der geschätzten Distanz und der objektiven Länge des Weges.

Montello (1995) beschreibt zwei Möglichkeiten einer Beziehung zwischen subjektiver Wegzeit und geschätzter Distanz: Zunächst kann die geschätzte Distanz mit der subjektiven Wegzeit gleichgesetzt werden. Da diese Gleichsetzung jedoch an Plausibilität vermissen läßt - die subjektive Wegzeit einer Strecke muß nicht immer gleich sein, wenn man nur an einen auf der Strecke erlebten Stau denkt - muß die Bedeutung der Geschwindigkeit berücksichtigt werden; die geschätzte Distanz ergibt sich dann aus einem Produkt zwischen der Wegzeit und der Geschwindigkeit.

Die Bedeutung des Zusammenhanges zwischen geschätzter Distanz, Weg und Explorationszeit wurde in den Arbeiten zum „tau-movement-Effekt“ und „kappa-movement-Effekt“ elaboriert (Cohen, 1964; Cohen & Cooper, 1962). In den Untersuchungen zum „tau-movement-Effekt“ ließen Cohen und Cooper (1962) ihre Versuchspersonen mit verbundenen Augen auf einer Autofahrt mitfahren. Wenn das Auto in einer konstanten Geschwindigkeit gefahren wurde, wurde die Schätzung der Länge des Weges direkt durch die verstrichene Zeit beeinflusst. Der „tau-movement-Effekt“ zeigte sich, wenn zwei Wege gleicher Länge mit unterschiedlicher Geschwindigkeit zurückgelegt wurden: Die Länge des Weges, der in einer geringeren Geschwindigkeit zurückgelegt wurde - was wiederum mit einem Anstieg der objektiven Wegzeit einher ging - wurde länger geschätzt als der Weg, der langsamer zurückgelegt wurde. Werden zwei Wege unterschiedlicher Länge aufgrund verschiedener Geschwindigkeiten in derselben Zeit zurückgelegt, wird die subjektive Wegzeit des - räumlich gesehen - längeren Weges größer geschätzt („kappa-movement-Effekt“): *„...if two parts of a journey take the same clock time, that part will seem to last longer in which the distance and speed are greater. We propose to designate this the kappa-movement effect. ... if two parts of a journey are of equal distance, that part will seem of greater length which is travelled at a slower speed and a longer time. This we propose to call the tau-movement effect. ...if two parts of a journey are travelled at the same speed, that part will seem faster in which the distance and time are shorter. This we designate the kappa-tau-effect“* (Cohen & Cooper, 1962, S. 1234).

Cohen, Cooper und Ono (1963) wiesen zudem darauf hin, daß es bei der Untersuchung des Zusammenhanges zwischen Distanz-, Dauer- und Geschwindigkeitsschätzung bei einigen Individuen

starke individuelle Unterschiede gibt: So zeigte sich ein „anti-tau-movement-Effekt“, bei welchem die größere Distanz mit dem kleineren Zeitintervall assoziiert wurde.

Die geschätzte Distanz und die subjektive Wegzeit bzw. geschätzte Dauer eines zurückgelegten Weges stehen damit in einem funktionalen Verhältnis zueinander. Eine Analogie zwischen einer Distanz- und einer Dauerschätzung wird durch einen Vergleich der „Feature-Akkumulationshypothese“ (vgl. Seite 35) und der „filled-duration illusion“ deutlich. Die filled-duration illusion beschreibt die zeitliche Überschätzung von Intervallen, die mit Ereignissen gefüllt sind, im Verhältnis zu leeren Intervallen (Ornstein, 1969). Ereignisse (zeitlich) können demnach die Schätzung eines Intervalls verlängern. Bereits James wies 1891 darauf hin, daß bei objektiv gleich langen Zeitintervallen die leeren Zeitintervalle kürzer als die gefüllten geschätzt wurden. Dies galt jedoch nur, wenn das leere Zeitintervall nach dem gefüllten dargeboten wurde (Meumann, 1896). Daß die relative Position von Ereignissen für zwei zu vergleichende Zeitintervalle von entscheidender Bedeutung für die Schätzung ist, konnte auch Fraisse (1984) nachweisen. In neueren Arbeiten wurde darüber hinaus darauf hingewiesen, daß Ereignisse in einem zeitlichen Intervall die Schätzung der erlebten Zeit nicht nur verlängern, sondern auch verkürzen können: Bei objektiv kurzen Zeitintervallen (z.B. weniger als 10 Sekunden) wurden gefüllte gegenüber leeren Intervallen überschätzt, während sich dieser Zusammenhang bei einer langen Dauer umkehrte (Poynter, 1989).

Block (1992), Zakay (1989) und Zakay, Tsal, Moses und Shahar (1994) bemühen sich um eine Erklärung der Schätzung von Zeitintervallen: Die subjektive Zeit ist eine Funktion der Aufmerksamkeit auf zwei Prozessoren, auf einem temporalen und einem nicht-temporalen Prozessor. Der temporale Prozessor akkumuliert die Einheiten der subjektiven Zeit, die auf der Aufmerksamkeit auf einen internen Timer beruhen (z.B. Akkumulation neuronaler Ereignisse). Ist die Aufmerksamkeit auf diesen internen Timer gerichtet, d.h. ist die Aufmerksamkeit auf das Vergehen der Zeit gerichtet, vergrößert sich die subjektive Zeit. Ist die Aufmerksamkeit hingegen auf nicht-temporale Prozesse gerichtet, z. B. durch das Auftreten von Ereignissen, wird die Aufmerksamkeit von dem temporalen Prozessor abgezogen, und die subjektive Zeit verringert sich. Darüber hinaus beeinflusst die Instruktion die zu schätzende Zeit: Durch prospektive Anweisungen (intentionale Schätzungen) richtet die Versuchsperson ihre Aufmerksamkeit auf die Zeit. Stimuli-Ereignisse lenken die Aufmerksamkeit von der Zeit ab und verringern die zu schätzende Zeit. Der umgekehrte Effekt tritt bei der retrospektiven Anweisung (inzidentelle Schätzung) auf: Da die Versuchsperson nicht weiß, daß sie nach einem bestimmten Zeitintervall die Zeit schätzen muß, gebraucht sie Heuristiken, um die zu schätzende Zeit zu rekonstruieren. Die Zeitschätzung wird daher auf einer Heuristik beruhen, nach der die subjektive Zeit von der Anzahl erlebter Ereignisse abhängt. Stimuli-Ereignisse während des Zeitintervalls tragen demnach dazu bei, die subjektive Zeit zu vergrößern.

Obwohl der oftmals nur theoretisch angenommene Zusammenhang zwischen einer Distanz- und Dauerschätzung plausibel erscheint, konnte er in empirischen Studien nicht immer nachgewiesen werden: Sadalla und Magel (1980) zeigten, daß ein Weg mit mehr Richtungsänderungen räumlich länger geschätzt wird als ein gleich langer Weg mit weniger Richtungsänderungen. Dies gilt jedoch nicht für die geschätzte Dauer des gegangenen Weges. Die Ergebnisse deuten auf unterschiedliche Prozesse bei der Schätzung von Distanz und Dauer hin. Im Gegensatz zu Sadalla und Magel (1980)

konnten Hanyu und Itsukushima (1995) zwar zeigen, daß es eine Analogie zwischen der geschätzten Distanz und Dauer gab, daß sich die „geschätzte Dauer“ jedoch von einer Schätzung der „mentalen Walking-Zeit“ (die Schätzung der Länge eines Weges nach einem „mentalen Abgehen“ der Strecke) unterschied. Die zeitliche Schätzung eines Weges scheint demnach davon abzuhängen, ob die Versuchspersonen zu einem mentalen Abgehen aufgefordert werden.

Neben der Geschwindigkeit und der subjektiven und objektiven Wegzeit, die die Kognition von Distanzen beeinflussen, hat auch die erlebte Anstrengung beim Zurücklegen eines Weges einen Effekt.

Cohen, Baldwin und Sherman (1978) ließen Kinder, die einen Monat ihrer Ferien in einem Sommercamp verbrachten, am Ende der Ferien Karten der Umgebung zeichnen und baten sie, Distanzen zwischen vorgegebenen Örtern der Umgebung zu schätzen. Es zeigte sich, daß die Distanz zwischen Örtern länger geschätzt wird, wenn der Weg zum Ziel aufgrund zahlreicher Hindernisse, wie z.B. Bäume, Gebäude oder landschaftliche Erhebungen, besonders anstrengend war. Hierbei stellt sich jedoch die Frage, ob die erlebte Anstrengung oder die starke Untergliederung des zurückgelegten Weges die Distanzschätzung beeinflußt hat.

Okabe, Aoki und Hamamoto (1986) untersuchten den Einfluß einer Wegsteigung auf die Schätzung von Distanzen. Sie ließen ihre Versuchspersonen drei gleich lange Wege in einem Botanischen Garten gehen - zwei der Wege stiegen um 8 Grad an, der dritte Weg war flach. Es zeigte sich, daß die ansteigenden Wege länger geschätzt wurden als der flache Weg. Die Autoren führen dies darauf zurück, daß ein ansteigender Weg als besonders anstrengend erlebt wird. Auch in dieser Untersuchung ist nicht sichergestellt, ob die Anstrengung oder Umgebungsmerkmale für die unterschiedlichen Distanzschätzungen verantwortlich sind.

Hanyu und Itsukushima (1995) untersuchten ebenfalls den Einfluß der Steigung eines Weges auf die Schätzung der Weglänge. Sie ließen ihre Versuchspersonen einen Weg mit Treppenstufen (31 Meter lang) und einen flachen Weg, (46 Meter lang) in einem Gebäude gehen. Die Ergebnisse zeigten, daß die Länge des Weges und die benötigte Zeit länger geschätzt wurden, wenn der Weg über die Treppe führte.

Corlett, Byblow und Taylor (1990) banden ihren Versuchspersonen ein Gummiband um die Taille und ließen sie mit verschlossenen Augen einen Weg zu einem vorher wahrgenommenen Zielpunkt gehen. Der Widerstand des Gummibandes wurde variiert. Es zeigte sich, daß der gegangene Weg bei großem Widerstand kürzer

geschätzt wurde, da die Versuchspersonen meinten, aufgrund der großen Anstrengung bereits einen längeren Weg gegangen zu sein. Gleichzeitig veränderte sich jedoch auch die Schrittlänge der Versuchspersonen, so daß auch in dieser Untersuchung der Effekt der Anstrengung auf die Distanzkognition nicht zwingend nachgewiesen werden konnte.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß der Einfluß der Anstrengung auf die Distanzkognition weiterer Klärung bedarf:

*„Unfortunately, almost no experiments have been done that manipulate energy expenditure without confounding it with other variables, such as slope, locomotion mechanics, or route indirectness“* (Montello, 1995, S. 69-70)

Neben dem Einfluß der Zeit und der erlebten Anstrengung auf die Distanzkognition wird allgemein angenommen, daß diese durch affektive Faktoren, wie die Stimmung oder die Aufmerksamkeit des sich im Umgebungsraum bewegenden Menschen, beeinflusst werden kann. Leider gibt es zwar eine Reihe von Spekulationen, aber kaum empirische Belege über die Bedeutung affektiver Faktoren für die Kognition von Distanzen in Umgebungsräumen (vgl. Montello, 1995).

Ekman und Bratfisch (1965) und Bratfisch (1969) konnten für die Perzeption und Kognition von Distanzen in geographischen Räumen zeigen, daß ein Faktor der emotionalen Involviertheit von Bedeutung ist. Dieser Faktor ist durch die Wichtigkeit, die räumlichen Gegebenheiten, z.B. Städten, beigemessen wird, das Interesse an den jeweiligen Gegebenheiten und den Kenntnisumfang der jeweiligen Gegebenheiten bestimmt. Die Beziehung zwischen der emotionalen Involviertheit und der geschätzten Distanz läßt sich funktional mit  $y_x = b/\sqrt{x}$  ( $x$ = subjektive Distanz;  $y_x$  = Faktor der emotionalen Involviertheit,  $b$  ist bestimmt durch die willkürlichen Einheiten der Messung von  $y_x$ ) beschreiben. Walmsley (1974) verwies darauf, daß diese beschriebene funktionale Beziehung aufgrund der objektiven Entfernung zwischen zwei Städten modifiziert werden muß.



### 2.3 Einflußfaktoren beim Abruf von Distanzwissen

Die Modifikation des psychophysischen Zusammenhangs von objektiver und erlebter Distanz kann auch durch Bedingungen erfolgen, die beim Wissensabruf gegeben sind. Hierzu gehören die Meßmethoden und die Kontextbedingungen.

#### 2.3.1 Meßmethoden

Zu den Methoden zur Messung subjektiver Distanzen gehören die Verhältnisschätzungen, die psychophysischen Methoden, die zu einer Intervall- bzw. Rangskalierung führen, die Methode der Rekonstruktion und der Reproduktion und die Methode der Routenwahl (vgl. Montello, 1991).<sup>5</sup> Neuere Untersuchungen haben zudem gezeigt, daß chronometrische Verfahren bei der Erfassung subjektiver Distanzen nur mit Bedacht angewendet werden können (Wagener-Wender, Wender & Rothkegel, 1997).

Zu den Techniken der **Verhältnisschätzungen** zählen folgende Verfahren:

- Größenverhältnisschätzung (*magnitude estimation*):  
Die Versuchsperson weist der zu schätzenden Distanz einen Wert - auch in gewohnten Einheiten wie z.B. Metern - zu. Dies kann im Verhältnis zu einer vorgegebenen Standarddistanz oder unter Selbstbestimmung der Standarddistanz geschehen.
- Größenherstellung (*magnitude production*):  
Die Versuchsperson stellt die Länge einer zu schätzenden Distanz auf einen vom Versuchsleiter vorgegebenen Wert ein.
- Verhältnisschätzung (*ratio estimation*):  
Die Versuchsperson schätzt das numerische Verhältnis zwischen zwei zu schätzenden Distanzen.
- Verhältnisherstellung (*ratio production*):  
Die Versuchsperson stellt die Länge einer zu schätzenden Distanz bis zu einem vorgeschriebenem Verhältnis zu einer Standarddistanz ein (Fraktionierung).

Zu den Methoden, die zu einer **Intervall- und Rangskalierung führen** (Intervall- und Rangschätzungen), zählen folgende:

---

<sup>5</sup> Die Darstellung der Meßmethoden bezieht sich allein auf die Messung subjektiver Distanzen. Im ersten Kapitel wurde ein allgemeiner Überblick über die häufig angewendeten Meßmethoden innerhalb der Forschung zur Raumkognition gegeben.

- **Paarvergleich:**  
Die zu schätzenden Distanzen werden paarweise dargeboten; die Versuchsperson hat zu entscheiden, welche der Distanzen länger bzw. kürzer ist.
- **Bildung einer Rangordnung:**  
Die Versuchsperson ordnet die zu schätzenden Distanzen ihrer Länge nach in eine Rangfolge.
- **Kategorialurteile:**  
Die Versuchsperson beurteilt die Distanzen unter Benutzung einer Skala geordneter Urteilkategorien.
- **Intervallurteile:**  
Die Versuchsperson ordnet die Distanzen Intervallen gleicher Länge zu.

Die Methode der **Rekonstruktion** verlangt von den Versuchspersonen eine Lokalisation von zwei oder mehr Objekten bzw. Örtern auf einer zwei- oder dreidimensionalen Vorlage. Aus der Rekonstruktion kann direkt eine Distanz- und auch eine Richtungsinformation abgelesen werden. Eine besondere Form der Rekonstruktionsmethode ist die Zeichenmethode (vgl. Seite 27).

Bei der Methode der **Reproduktion** (klassischen Herstellungsmethode) erhalten Versuchspersonen z.B. die Aufgabe, einen Weg so weit zu gehen, wie er der Länge eines erinnerten Weges entspricht.

Bei der Methode der **Routenwahl** wird zunächst betrachtet, welchen Weg die Versuchspersonen wählen, um von einem Startpunkt zu einem Zielpunkt zu gelangen. Unter der Annahme, daß Menschen dazu neigen, den Weg zu wählen, der ihnen am kürzesten erscheint, wird eine ordinale Distanzschätzung aus der Routenwahl geschlossen. Obwohl Golledge (1995) zeigen konnte, daß nicht nur die Distanz, sondern auch die Anzahl der Abbiegungen und die Ästhetik der Wege bei der Routenwahl von Bedeutung ist, wird die Methode hier erwähnt, da sie in einigen Studien zur Distanzkognition von Bedeutung ist (vgl. z.B. Lee, 1970; Nasar, 1983).

Bei einem Vergleich der verschiedenen psychophysischen Methoden zeigt sich, daß die Methode der Verhältnisschätzungen und die Rekonstruktionsmethode hoch miteinander und darüber hinaus mit der objektiven Länge der Strecke korrelieren (z.B. Baird, Merrill & Tannenbaum, 1979; Howard, Chase & Rothmann, 1973; Sherman, Croxton & Smith, 1979). Die durch Intervall- und Rangschätzung erhobenen Daten korrespondieren mit den durch Verhältnisschätzungen und Rekonstruktion gewonnenen Daten. Dennoch ist davon auszugehen, daß die Anwendung verschiedener Methoden nicht zu einer identischen Distanzschätzung führt:

*„The four classes of methods capable of generating metric distance estimates (all but route choice) would not be expected to yield identical distance estimates in part because of differences in the informational cues provided by the various procedures (...). Ratio, interval and ordinal scaling generally involve straight recall of distances*

*in a removed setting that does not entail actual locomotion; they do not provide sensory cues of any kind to prompt memory (visual structure, relevant proprioception, etc.)...“(Montello, 1991, S.115).*

Fehlende Skalenkonvergenz ist ein generelles Problem der Psychophysik. Wenn bei der Skalierung komplexer Reizgegebenheiten vom Untersucher 1 eher die Methode A und vom Untersucher 2 eher die Methode B bevorzugt wird, ist die Generalisierbarkeit der Befunde eingeschränkt, wobei sich die Frage nach der „richtigen“ Untersuchungsmethode stellt. Daß die „richtige“ Untersuchungsmethode jedoch auch z.B. von dem zugrunde liegenden Modellansatz abhängig ist, zeigen unter anderem Untersuchungen zur Größengewichtstäuschung: Anderson (1970) hielt auf der Grundlage seines additiven Vorhersagemodells die Größenverhältnisschätzung im Gegensatz zu der von ihm bevorzugten Ratingskala für invalide; Sjöberg (1969) bestätigte sein multiplikatives Vorhersagemodell durch die Anwendung der Größenverhältnisschätzung. Beide Methoden sind unter den jeweils experimentellen Bedingungen in der Lage, die Integration von Größe und Gewicht in einer spezifischen Weise zu skalieren. Der methodologische Fehlschluß beider Untersucher bestand darin, daß beide von ihren Daten gleichzeitig auf die Richtigkeit des eigenen Modells und der verwendeten Meßmethode geschlossen haben (vgl. Sarris, 1980; Sarris & Heineken, 1976).

Die Wahl der Methode richtet sich nach den jeweiligen Gegebenheiten und der Untersuchungsintention. Montello (1991) führt folgende Kriterien auf, die bei der Methodenwahl eine Rolle spielen können.

- Skalenniveau

Bei Intervall- oder Rangschätzung und der Methode der Routenwahl ergibt sich eine Messung auf Intervall- bzw. Ordinalskalenniveau. Bei den anderen aufgelisteten Methoden handelt es sich um eine Messung auf einem Verhältnisskalenniveau.

- Skalentransformation

Außer der Intervall- und Rangschätzungsmethode und der Herstellungsmethode bedingen alle anderen Methoden eine Skalentransformation oder Verhältnisberechnung, da die Schätzung in einem kleineren Raum bzw. einer kleineren Größenordnung abgegeben werden muß.

- Ökonomie

Die Techniken der Verhältnisschätzungen und die Herstellungsmethode können sowohl für die Schätzung von einzelnen als auch für die Schätzung einer großen Anzahl von Distanzen verwendet werden, wobei jedoch die Anwendung der Herstellungsmethode bei der Schätzung einer großen Anzahl von Distanzen als nicht

ökonomisch gilt. Alle anderen aufgelisteten Methoden eignen sich nur für eine größere Anzahl von Schätzungen, da bei diesen Methoden die einzelnen Schätzungen zueinander in Bezug gesetzt werden (z.B. Rekonstruktion).

- **Abhängigkeit von Kontexteffekten**

Bei der Schätzung einer einzelnen Distanz ist die Abhängigkeit der Schätzung von Kontexteffekten (wie z.B. von der Reihenfolge der zu schätzenden Distanzen) schwach. Wenn sich verschiedene Schätzungen gegenseitig bedingen (z.B. Rekonstruktion, Bildung einer Rangordnung), vergrößert sich die Abhängigkeit.

- **Größe der objektiven Distanzen**

Bis auf die Methode der Herstellung können alle Methoden auch für die Schätzung großer Distanzen problemlos herangezogen werden.

### **2.3.2 Kontextbedingungen**

Einen Effekt auf die Distanzschätzung haben auch Kontextbedingungen. Die Distanzschätzung ist nicht unabhängig vom gewählten Referenzpunkt. Dieser Referenzpunkt-Effekt wurde auch bei der Gestaltung der mittlerweile sehr bekannten Illustrationen berücksichtigt, die die Sichtweise eines New Yorkers, Münchners oder Duisburgers (etc.) in die Welt hinaus darstellen: Die Entfernungen von Orten innerhalb der Heimatstadt (dem Referenzpunkt) werden korrekt und in einem großen Maßstab wiedergegeben. Je größer die Entfernung eines Ortes jedoch von der Heimatstadt ist, desto komprimierter wird diese dargestellt.

Empirische Untersuchungen zum Referenzpunkteffekt liegen für die Schätzung pictorialer Distanzen von Holyoak und Mah (1982) und für die Schätzung von Vista-Distanzen von Da Silva (1982), Teghtsoonian und Teghtsoonian (1978) und Künnapas (1960) vor. Bezogen auf die Vista-Distanz besagt der Referenzpunkteffekt, daß eine vom Beobachter aus gesehen objektiv große Distanz im Verhältnis zu einer kleinen Distanz unterschätzt wird.

Holyoak und Mah (1982) baten ihre Versuchspersonen zu beurteilen, wieviel näher eine Stadt A zu einem bestimmten Referenzpunkt liegt als eine Stadt B. Sie konnten zeigen, daß die Distanzen zwischen Städten, die relativ nah zum Referenzpunkt liegen, eher überschätzt werden als die, die weiter entfernt liegen. Der funktionale

Zusammenhang von Vergleichsurteilen zwischen Reizpaaren in Relation zu einem Referenzpunkt läßt sich folgendermaßen beschreiben:  $R_{ijk} = J_k [f(s_i - s_k) - f(s_j - s_k)]$  mit  $R_{ijk}$  als Antwort der subjektiven Differenz zwischen den Stimuli  $i$  und  $j$  in Beziehung zum Referenzpunkt  $k$ ;  $s_i, s_j, s_k$  sind die subjektiven Werte der beiden Stimuli und des Referenzpunktes;  $J_k$  ist eine mit dem Referenzpunkt verbundene monotone Funktion, und  $f$  ist eine Funktion mit positiver, aber fallender Steigung. Durch die Funktion  $f$  wird die Differenz zwischen den Reizen, die nah zum Referenzpunkt liegen, im Vergleich zu den Reizen, die weit vom Referenzpunkt entfernt sind, vergrößert.

#### **2.4 Zusammenfassung**

In Umgebungsräumen erworbenes Distanzwissen kann von zahlreichen Faktoren beeinflusst werden. Die Einflußgrößen beziehen sich zum einen auf den Erwerb und zum anderen auf den Abruf des Distanzwissens: Beim Erwerb des Distanzwissens läßt sich zwischen den Einflußfaktoren unterscheiden, die sich auf Merkmale der Umgebung und solchen, die sich auf den Prozeß des Wissenserwerbs beziehen; beim Abruf des Distanzwissens wird zwischen den Prüfmethode und den Kontextbedingungen differenziert. Der Einfluß der Umgebungsmerkmale wurde in zwei Hypothesen beschrieben: die Feature-Akkumulationshypothese besagt, daß die Anzahl der Features die Distanzkognition bestimmt; die Routen-Segmentierungshypothese beschreibt den Einfluß einer Gliederung auf die Distanzkognition.

### 3 **Virtual Reality (VR) – neue Wege in der Raumkognitionforschung**

Die bei der Erforschung des Bedingungsgefüges der Akquisition, der Retention und des Abrufes verschiedener Arten räumlichen Wissens, von Landmarken-, Routen- und Überblickswissen, eingesetzten Methoden reichen von der Fallstudie über Feldstudien und Feldexperimenten bis hin zum Laborexperiment. In Fallstudien hat Lynch (1960) Kartenskizzen, die Individuen über ihre Stadt anfertigten, analysiert, um die ausgegliederten Einheiten „kognitiver Karten“ identifizieren zu können. In einer Feldstudie hat Appleyard (1969) untersucht, welche Eigenschaften architektonische Gegebenheiten in einer Stadt zu zentralen Orientierungspunkten machen. Den Einfluß der langjährigen politischen und ideologischen Teilung Deutschlands auf die Lokalisation der Stadt Berlin in den kognitiven Karten West- und Ost-Berliner Schüler hat Heineken (1991) in einem Ex-post-facto Feldexperiment ermittelt. In einem Feldexperiment haben Gale, Golledge, Pellegrino und Doherty (1990) ihre Versuchspersonen systematisch durch die Straßen einer ihnen noch unvertrauten Umgebung geführt, um den Erwerb und die Integration von Streckenwissen zu untersuchen. Zahlreich sind die laborexperimentellen Untersuchungen dort, wo Landkarten (Presson & Hazelrigg, 1984; Thorndyke, 1981b) oder verbale Beschreibungen räumlicher Gegebenheiten die interessierenden Variablen sind (Bachmann & Perrig, 1988), oder wo Bedingungen für das Behalten räumlicher Beziehungsverhältnisse bei passiver Exploration, etwa durch die Verfolgung eines filmisch dargebotenen Weges, Untersuchungsgegenstand sind (vgl. Herrmann, Buhl & Schweizer, 1995). Relativ selten sind laborexperimentelle Untersuchungen seit Tolmans Labyrinthversuchen mit Ratten (Tolman, 1948) bis heute jedoch immer noch dort, wo die Bedingungen für die Akquisition räumlichen Wissens durch aktive Exploration des Raumes ermittelt werden sollen.

#### 3.1 **Die Labor-Feld-Dichotomie in der experimentellen Forschung**

Je nach Art der Umgebung, in denen die experimentelle Bedingungsvariation vorgenommen wird, lassen sich Labor- und Feldexperimente voneinander unterscheiden. Von einem **Laborexperiment** ist die Rede, wenn Hypothesen über

Verhalten und Erleben unter kontrollierten Bedingungen in einem Labor überprüft werden, während von einem **Feldexperiment** zu sprechen ist, wenn dies unter „natürlichen“ Bedingungen außerhalb des Labors geschieht. Bei der methodologischen Diskussion der Feld-Labor-Dichotomie wird häufig auf den Grad der Künstlichkeit des experimentellen Settings Bezug genommen (vgl. Patry, 1990; Tack, 1994; Tunnel, 1979). Laborexperimentellen Befunden wird oft eine geringe externe Validität zugeschrieben, da sie unter künstlichen Bedingungen erhoben wurden und daher nicht auf natürliche Gegebenheiten übertragen werden können (Chapanis, 1967). In diesem Zusammenhang wird den Laborexperimenten auch wegen ihrer fehlenden Lebensnähe eine „ökologische Validität“ abgesprochen (Brunswick, 1956). Eine ökologisch valide experimentelle Forschung ergibt sich zum einen dann, wenn die im Experiment manipulierten Bedingungen im Hinblick auf die unter natürlichen Lebensverhältnissen vorliegenden Gegebenheiten repräsentativ sind, zum anderen, wenn die Repräsentativität der erfaßten Variablen für das im Alltag Gemeinte gegeben ist (vgl. Heineken, 1984). Dem Vorteil der größeren Natürlichkeit des experimentellen Settings von Feldexperimenten steht als Nachteil die größere Schwierigkeit einer Bedingungskontrolle im Feld entgegen. Dementsprechend läßt sich unter Laborbedingungen leichter das methodologische Desiderat einer hohen internen Validität erfüllen als unter Feldbedingungen (vgl. Campbell & Stanley, 1963).

Fehlende Lebensnähe ist auch charakteristisch für viele Laborexperimente zum räumlichen Wissenserwerb bei aktiver Exploration der Umgebung. Ein Beispiel hierfür sind Experimente, in denen Versuchspersonen mit eingeschränktem Gesichtsfeld einen mit Klebeband in einer Turnhalle gekennzeichneten und mit Informationen unterschiedlichster Art angereicherten Weg nachgehen und lernen (vgl. Sadalla & Magel, 1980; Sadalla & Staplin, 1980a; Sadalla und Staplin, 1980b; Sadalla, Staplin & Burroughs, 1979).

Feldexperimentelle Untersuchungen zum Routenwissen sind andererseits wegen des großen Aufwandes bei der systematischen Bedingungsvariation und der Schwierigkeiten bei der Kontrolle von Störvariablen äußerst kostspielig und bezüglich der angestrebten internen Validität meist nicht hinreichend zufriedenstellend. Beck und Wood (1976) baten z.B. junge Erwachsene, die neu in einer Stadt waren und diese auf

geführten Touren kennenlernten, einen täglichen Bericht über ihr Wissen bezüglich der geographischen Verhältnisse in der Stadt abzugeben. Cornell, Heth und Alberts (1994) führten ihre Versuchspersonen systematisch durch die Straßen einer ihnen noch unvertrauten Umgebung, um den Erwerb und die Integration von Routenwissen zu untersuchen. Herman, Blomquist und Klein (1987) variierten die Art des Wegenetzes und baten ihre Versuchspersonen als Mitfahrer in einem Auto, das jeweilige Wegenetz zu lernen und anschließend Distanzschätzungen abzugeben. Feldexperimente werden darüber hinaus auch in Gebäuden durchgeführt. In einer Untersuchung von Evans, Fellows, Zorn und Doty (1980) wurde z.B. der Einfluß der farbigen Gestaltung eines Innenraumes auf die Leistung der Versuchspersonen, sich im Gebäude zu orientieren, erforscht. In anderen Experimenten wurde der Effekt von Karten oder Schildern als Orientierungshilfen untersucht (vgl. Butler, Acquino, Hissong & Scott, 1993). Peponis, Zimring und Choi (1990) untersuchten z.B. das Orientierungsverhalten von Versuchspersonen in einem Krankenhaus. Bei der Aufgabe, den richtigen Weg von einem Ort zu einem Zielort zu finden, ging ein Versuchsleiter den Versuchspersonen nach und zeichnete den gegangenen Weg in der Obenaufsicht des Krankenhausplanes ein. Einige Feldexperimente haben gezeigt, daß der Eigenbewegung im Raum eine besondere Bedeutung für den Erwerb räumlichen Wissens zukommt. Mit der Zunahme des Grades der Eigenaktivität (von passivem Transport über das Selbstfahren im Auto bis hin zum Zu-Fuß-Gehen) nimmt die Differenziertheit des erworbenen Wissens über die räumliche Umgebung zu (Moore, 1979).

Der vergleichsweise große organisatorische Aufwand, der mit der Erforschung des räumlichen Wissenserwerbs im Feld erforderlich ist, gibt Anlaß, nach neuen Methoden der naturgetreuen Simulation realer Umgebungen im Labor zu suchen.

### **3.2 Simulation „natürlicher“ Bedingungen im Labor**

Ziel einer Simulation ist die Abbildung eines Originals in einem Modell (vgl. Krampen, 1990). Zur Simulation von räumlichen Umgebungen lassen sich sowohl statisch-graphische Medien, wie Landkarten oder Diapositive, als auch dynamisch-physikotechnische Medien, wie Trickfilme oder Raummodelle, einsetzen. Der Grad der



Realitätsnähe einer Simulation hängt vom Medium, von der Art des Umgangs mit dem Medium und von der Art des zu simulierenden Originals ab (Landschaften oder kleine Gebäude). Durch bewegte Bilder läßt sich z.B. eine Umgebung realitätsnäher vermitteln als durch statische Bilder (vgl. Gibson, 1982).

Goldin und Thorndyke (1982) verglichen den Erwerb räumlichen Wissens in einer realen Umgebung mit dem Wissenserwerb in der durch einen Film simulierten Umgebung. Die Versuchspersonen lernten einen 8,3 km langen Weg durch eine unbekannte Gegend entweder auf einer Busfahrt oder sie erhielten einen auf dieser Busfahrt aufgenommenen Film von der gefahrenen Route. In der Testphase wurde das Landmarken-, Routen- und Überblickswissen der Versuchspersonen abgefragt. Es zeigte sich, daß die Leistungen der „Filmgruppe“ bzgl. des Landmarken- und Überblickswissen genauso gut waren wie die der „Tourgruppe“. Allein die Schätzung der Winkel der gefahrenen Straßenabbiegungen (Richtungsurteile) war bei der Tourgruppe genauer als bei der Filmgruppe.

Eine Simulation sollte aus der Sicht der Autoren folgende Kriterien erfüllen (Goldin & Thorndyke, 1982, S.470):

- (1) *„It should accurately represent both perceptual details and local spatial relationships*
- (2) *It should allow the viewer to interact with the environment, by selecting routes, perspectives, and rate of travel.*
- (3) *It should provide both ground-level and bird's-eye views of the environment.*
- (4) *It should make a simulation of a particular environment relatively quick and inexpensive to produce.*
- (5) *It should support the simulation of either real or fictitious environments.”*

Während der Film als Medium Details und räumliche Relationen, Überblicks- und Routenansichten wiedergeben und darüber hinaus relativ kostengünstig hergestellt werden kann, erlaubt er dem Betrachter nicht, in der dargestellten Umgebung aktiv zu navigieren. Die Simulation eines Weges durch sukzessive Präsentation von Wegausschnitten über eine Diaprojektion hat mit der Filmdarbietung die relativ geringen Kosten und das Fehlen der interaktiven Komponente gemein, im Gegensatz zum Film fehlt jedoch der optische Fluß, was sich auf die Schätzung von Distanzen auswirken kann (vgl. Montello, 1995).

Erst die Entwicklung eines „*interactive environmental simulation system*“ des computergesteuerten „*videodisc system*“<sup>6</sup> ermöglicht es dem Betrachter, mit der simulierten Realität in gewisser Weise in Interaktion zu treten. Der Betrachter hat die Möglichkeit der Selektion bestimmter Örter, Perspektiven und Routen. Ein großer Nachteil dieser Systeme ist neben den hohen Kosten auch der hohe Zeitaufwand für die Generierung derartiger Simulationen: Die Entwicklung einer Simulation der Stadt Aspen in Colorado dauerte drei Jahre. Hooper (1981) konnte zeigen, daß das *Aspen-Video Disc System* sich als sehr geeignet erwies, räumliches Wissen über Aspen zu erwerben. Die Versuchspersonen wendeten auch in der simulierten Umgebung allgemeine Lernstrategien an: Bewegten sie sich anfangs noch sehr zufällig, so wurde das Navigationsverhalten später, wenn sie in vertraute Umgebungen kamen, systematischer.

Goldin und Thorndyke (1982) sahen voraus, daß dem Einsatz von Computer-Grafik-Welten als Simulationsmedien eine große Bedeutung zukommen könnte - eine Vorhersage, die 15 Jahre später, in einer Zeit, in welcher der Begriff von *Virtual Reality* seinem Anspruch gerecht zu werden beginnt, ihre Bestätigung gefunden hat.

### **3.3 Virtual Reality als Simulationsmedium**

Durch die Virtual-Reality-Technologie lassen sich auf dem Rechner dreidimensionale Umgebungen simulieren, die man in ihren einzelnen Abschnitten durch aktive Exploration selbständig erfahren kann - durch VR wird in eindringlicher Weise der Eindruck vermittelt, man bewege sich durch einen realen Raum. In diesem virtuellen Raum können die unterschiedlichsten Arten von Realitäten, mit denen der Lernende zielstrebig interagieren kann, zur Darstellung kommen. Es läßt sich zwischen der sog. „Desktop-Virtual-Reality“ und der „Immersive-Virtual-Reality“ differenzieren. Bei der „Desktop-Virtual-Reality“ sieht man die simulierte dreidimensionale Umgebung, ohne das Gefühl zu haben, sich wirklich in dem Raum zu befinden; dies steht im Gegensatz zur „Immersive-Virtual- Reality“, die mittels besonderer Ausgabegeräte ein Eintauchen

---

<sup>6</sup> Zur detaillierten Beschreibung dieser Systeme siehe Hooper (1981).

in den virtuellen Raum derart ermöglicht, daß aus der natürlichen Umgebung stammende Außenreize nicht wahrgenommen werden können (Zohrab, 1996).

Recht vertraut ist man mit der VR-Technologie bereits im Entertainmentbereich - selbst Grundschulkinder sind heute schon geübt, mit interaktiven 3D-Computerspielen umzugehen (vgl. Petzold, 1996). Bei einer Aufführung des Theaterstückes "Wings" von Arthur Kopit im Jahr 1996 im Theater der Universität von Kansas erhielten die Zuschauer z.B. durch das Tragen eines Head Mounted Displays (vgl. Seite 62) die Möglichkeit, die realen Schauspieler in einer virtuellen Realität agieren zu sehen.

Eingeführt ist VR als Technologie seit längerem in der militärischen Forschung: Nato-Partner sind heute bereits in der Lage, ihre Manöver in virtuellen Räumen durchzuführen (Bauer, 1996). Im Bereich von Technik, Architektur und Design gehört VR mittlerweile zu den Standardverfahren, die bei Entwicklung und Konstruktion zum Einsatz kommen (Sperlich & Bauer, 1996). Die durch VR erzeugten Räume können „begangen“ werden, so daß die baulichen Besonderheiten unmittelbar aus der Perspektive desjenigen, der sich in dem konstruierten Raum später einmal wirklich bewegen wird, erfahren werden können. Dies kann z.B. bei der Konstruktion rollstuhlgerechter Gebäude ein nützliches Verfahren sein (vgl. Stredney et al., 1995).

Zu den ersten Versuchen, VR-Systeme in Ausbildung und Training zu benutzen, zählt sicher der Einsatz von Flugsimulatoren im Pilotentraining. Darüber hinaus reicht der Einsatz von VR vom Sprachenlernen bis hin zur Schulung von Medizinstudenten an virtuellen Leichen (Trueman, 1996; Zohrab, 1996). Mittlerweile wird VR auch von Museen genutzt, um interaktive Ausstellungen durchzuführen (vgl. Völter, 1995). Das Canadian Museum of Civilization bot seinen Besuchern im Sommer 1995 z.B. die Möglichkeit, die Ausstellung „Mothers of Time: Seven Palaeolithic Figurines from the Louis Alexandre Julien Collection“ in einer virtuellen Realität zu erleben. Die Besucher konnten die virtuell dargebotenen Ausstellungsstücke drehen und aus verschiedenen Perspektiven betrachten.

Als Begründer der VR gilt Sutherland, der Mitte der 60er Jahre erste Entwicklungsarbeiten auf diesem Gebiet leistete (Kaltenborn, 1994). Der Begriff der „virtuellen Realität“ entstammt dem lateinischen „Virtus“, was soviel wie 'Kraft' oder 'Vermögen' bedeutet. Bauer (1996) definiert Virtual Reality als:

„Eine Technologie, die Echtzeit-Interaktion mit dreidimensionalen Computerdaten ermöglicht und durch die Technik der Immersion das subjektive Gefühl einer scheinbar realen Umwelt im Anwender erzeugt. Als Virtual Reality wird auch die künstliche Umgebung verstanden: ...” (Bauer, 1996, S. 16).

Ein VR-System besteht aus mehreren Komponenten, den Eingabe- und Ausgabegeräten, dem dazugehörigen Steuer- bzw. Grafikcomputer und einer Software zur Echtzeiterzeugung von 3D-Grafikdarstellungen.

### 3.3.1 Eingabegeräte

Die klassischen Eingabegeräte des Computers, wie z.B. Joystick, Tastatur oder Maus, eignen sich nur für den Einsatz bei Systemen der sog. „Desktop-Virtual-Reality”, die kein direktes Eintauchen in die virtuelle Welt ermöglicht. Mittlerweile gibt es jedoch Geräte, die ein realistischeres Eintauchen in die VR-Welt gewähren. Es handelt sich dabei um dreidimensionale Eingabegeräte, die die natürlichen Bewegungen der Hand bzw. des Körpers in computerlesbare Daten umwandeln. Mit Hilfe eines sogenannten **Datenhandschuhs** kann der Benutzer mittels eines graphischen Abbildes seiner Hand Gegenstände im virtuell erzeugten Raum greifen. Das Abbild folgt simultan den natürlichen Bewegungen. Die absolute Lage und Ausrichtung der Hand wird dabei mit in der Regel auf dem Handschuhrücken befestigten Positionssensoren ermittelt. Die Messung der Fingerkonfiguration variiert aufgrund der Art des Datenhandschuhs. Beim sog. *DataGlove* befinden sich an der Oberseite der Hand Glasfaserschlaufen, die die Krümmung der Finger mit Hilfe von Fotodioden messen, beim sog. *Cyberglove* erfolgt die Messung der Gelenkwinkel anhand von Metallbändern, der *Dextrous Hand Master* liefert die benötigten Daten mit Hilfe von Magneten. Als Alternativen zum Datenhandschuh werden der *Poolball*, die *Space Mouse* und der *Fingerpick* angeboten. Der *Poolball* ähnelt einer ausgehöhlten, mit zwei Tasten für Klick- und Greifoperationen ausgestatteten Billardkugel, in deren Innern sich ein Positionssensor befindet. Die *Space Mouse* reagiert auf Druck- und Zugsbewegungen und besitzt acht zusätzliche Tasten, die mit Softwarefunktionen belegt werden können. Als Variante des *Poolballs* besteht der *Fingerpick* aus einem *Fingerclip*, wie er in der “realen Welt” für

das Gitarrespielen benötigt wird, und an dem nun ein Positionssensor und ein Mikrotaster angebracht sind. Zum Schluß seien die 3D-Mäuse von Pegasus und Logitech erwähnt.

Der **Datenanzug** stellt eine Weiterentwicklung des Datenhandschuhs dar. Auf diesem Ganzkörperanzug befinden sich wie beim *DataGlove* Glasfaserschlaufen, die sämtliche Bewegungen des Körpers an den Computer übertragen können. Seemann (1992) bezeichnet die Errungenschaft des Datenanzuges als die „*Mediatisierung der Lokomotion*“.

Die ersten Datenanzüge enthielten Leuchtdioden, die an den wichtigsten Körperkonturpunkten befestigt waren und Lichtsignale an installierte Kameras weitergaben. Bei der Computeranimation werden die aufgenommenen Konturpunkte digitalisiert und entsprechenden Punkten eines Drahtgittermodells eines Computerobjektes zugeordnet. Dieses Drahtgittermodell läßt sich gemäß der aufgezeichneten Bewegungen animieren.

Die hohe Anzahl von Sensoren macht diesen Anzug jedoch für Meßfehler sehr anfällig; darüber hinaus kann der Anzug verrutschen, so daß die Sensoren nicht mehr richtig über den Gelenken liegen und der Anzug damit nur eine kurze Zeit lang - ca. 10 Minuten - fehlerfreie Daten liefert. Da eine sehr große Datenmenge übertragen werden muß, ist der Träger dieses Anzuges an einen Kabelbaum gebunden. Trotz aller Nachteile bietet der Anzug den Vorteil, sämtliche Bewegungen des Körpers auf den Computer übertragbar zu machen.

Abbildung 3 verdeutlicht diesen Sachverhalt in einer stilisierten Darstellung.

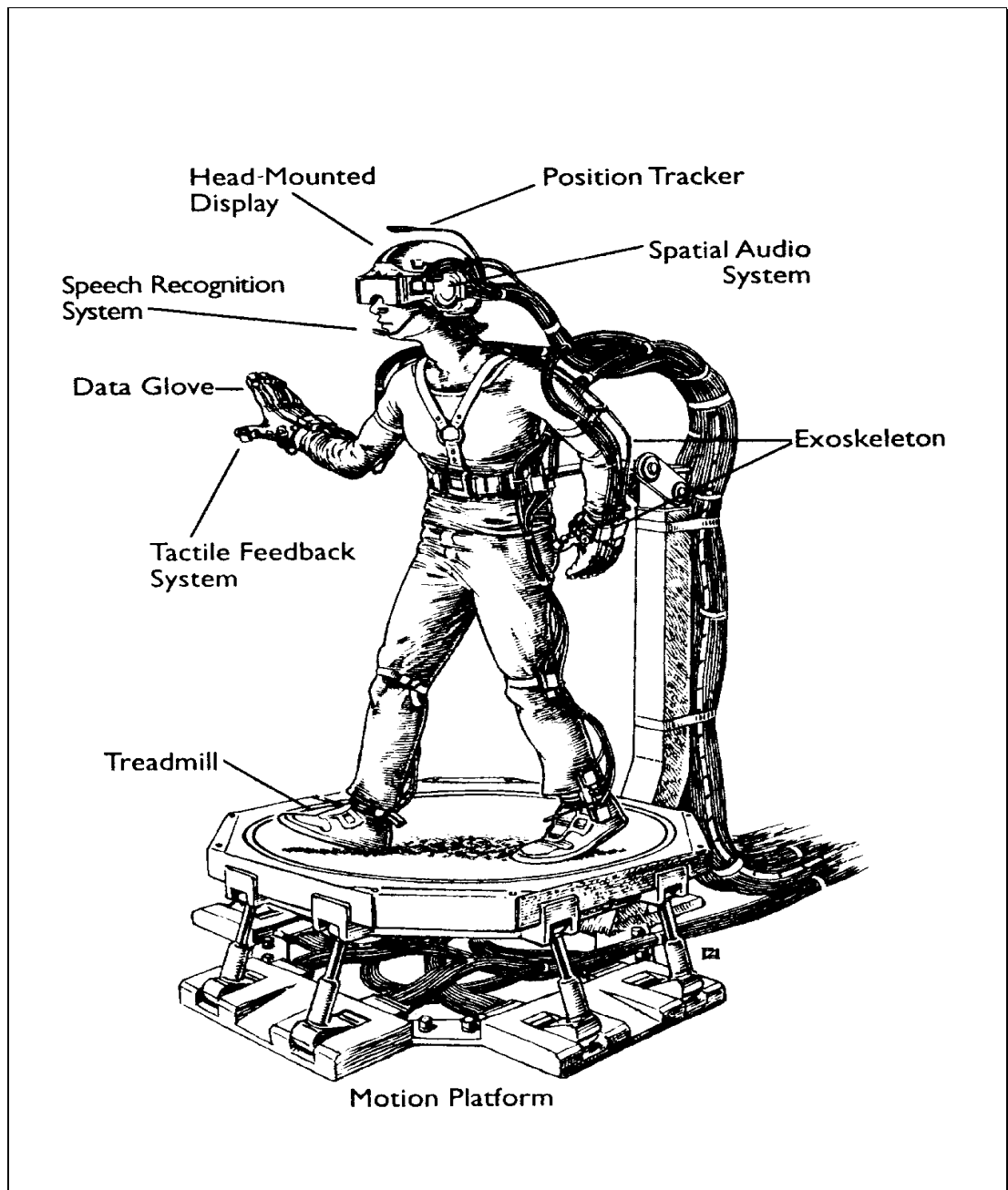


Abb. 3: Stilisierte Darstellung eines Cyber-Menschen

(entnommen aus Biocca, 1992, S. 26)

Zu den weiteren Eingabegeräten gehören Positionssensoren oder Trackingsysteme, die in der Regel an Datenhandschuh/Datenanzug oder Bildschirmbrille befestigt sind und die absolute Position des Trägers im Raum bestimmen.

### 3.3.2 Ausgabegeräte

Zu den **VR-Ausgabegeräten** gehören jene Geräte, die durch geeignete Signale verschiedene Sinnessysteme ansprechen können und dem Menschen damit die Möglichkeiten bieten, die simulierte Welt multimodal wahrzunehmen. Dabei unterscheidet man visuelle, auditive, haptische, kinästhetische, olfaktorische und gustatorische Systeme. Ein einfaches visuelles Ausgabegerät ist der Monitor. Die wahrnehmungspsychologischen Faktoren der binokularen Tiefenwahrnehmung werden beim Einsatz von Bildschirmbrillen (HeadMountedDisplays bzw. HMDs) ausgenutzt. Sie bestehen aus zwei für jedes Auge die Daten getrennt berechnenden Bildschirmen. Die HMDs ermöglichen nicht nur ein stereoskopisches Sehen, sondern zeichnen sich z.B. auch durch ein größeres Gesichtsfeld aus. Auch nimmt man keinen Bildschirmrahmen wahr.

*„A head-mounted display (HMD) provides greater verisimilitude to the image by adding two perceptual cues to the standard video image: (a) binocular (stereographic) disparity and (b) head-coupled motion parallax cues. With the HMD the viewer ceases to be a voyeur and comes closer to being an actor in the visual world” (Biocca, 1992, S. 32).*

Die beiden Bildschirme ermöglichen es, die Prinzipien der Querdissipation und Konvergenz durch ein „Image Shifting“ oder durch die Methode des seitlichen Kippens der Bildschirme zu ersetzen und damit ein stereoskopisches Sehen zu ermöglichen (vgl. zu den Schwierigkeiten bei der Benutzung von HMDs, DiZio & Lackner, 1992). Als alternative visuelle Ausgabegeräte wären große Videowände, sog. „Medienräume“ bzw. „caves“ oder elektronische Kontaktlinsen zu benennen.

### 3.3.3 Steuereinheit

Der Steuercomputer kann als das Herzstück einer VR-Einheit gesehen werden. Er ist in einem Wahrnehmungs-Handlungs-Zyklus der Mittler zwischen Sensoren (Eingabegeräte) und Effektoren (Ausgabegeräte): Er verarbeitet die durch die Eingabegeräte vermittelten Daten und steuert dementsprechend die Ausgabegeräte. Darüber hinaus hat er das Modell der virtuellen Umgebung gespeichert und berechnet

z.B. mittels des Rendering-Verfahrens die Grafik der virtuellen Welt. Man kann parallel und sequentiell arbeitende Systeme unterscheiden. Das große Plus der neuartigen Systeme ist die Verteilung der Aufgaben auf mehrere Prozessoren, so daß selten Timingprobleme zwischen den einzelnen Komponenten auftreten.

Am häufigsten werden die Grafikcomputer von der Firma Silicon-Graphics eingesetzt, deren schnellster Rechner zu diesem Zeitpunkt die Onyx InfiniteReality ist. Der Rechner garantiert eine hochgradig realistische visuelle Simulation und verarbeitet simultan Grafik-, Bild- und Videodaten (vgl. Sperlich & Bauer, 1996). Steuer-/Grafikcomputer sind für ein VR-System wünschenswert, doch reichen auch leistungsstarke PCs aus, um eine rechnergestützte dreidimensionale Welt zu simulieren. Im Kapitel 3.4 wird ein Überblick darüber gegeben, welche Eingabe- und Ausgabegeräte und Steuereinheiten mittlerweile in der laborexperimentellen Raumkognitionsforschung eingesetzt werden; in den eigenen Untersuchungen werden jedoch noch die „klassischen“ Eingabe- und Ausgabegeräte des Computers verwendet.

### **3.3.4 Die VR-Software Superscape VRT 4.00**

Mittlerweile sind zahlreiche Softwareprodukte im Handel, die die Erzeugung virtueller Umgebungen ermöglichen, wobei sie sich jedoch im Hinblick auf ihre Praktikabilität bei der Variation räumlicher Gegebenheiten und der Möglichkeit der Protokollierung des Verhaltens von Personen im virtuellen Raum unterscheiden. Die Zahl der auf den Markt kommenden VR-Programme wird in den nächsten Jahren noch weiter zunehmen. Die Auswahl der geeigneten Software richtet sich nach der jeweils gegebenen Hardwareausstattung und nach der Art der zu simulierenden Welt. Einen breiten Überblick über die bereits heute recht umfangreiche Palette der VR-Software-Produkte gibt Bauer (1996). Das VR-Softwareangebot reicht von Produkten, die bereits für 9,99 DM zu erstehen sind (z.B. VIRTUS WALKTROUGH SE), bis hin zu Programmen, die mehrere zehntausend Mark kosten (z.B. WorldToolKit von Sense8). Aus dieser Palette ist ein Produkt an der Gerhard-Mercator-Universität Duisburg ausgewählt und für den Einsatz in der Raumkognitionsforschung erprobt worden. Es handelt sich um das Softwareprodukt Superscape VRT 4.00, welches in dieser Arbeit zur Herstellung einer Desktop virtuellen Umgebung eingesetzt wird. Das Programm,



das sich besonders für den PC-Bereich eignet, bietet durch spezifische Editoren die Möglichkeit der systematischen Variation von Wegenetzen, der systematischen Lokalisation statischer Objekte, wie z.B. Häuser und Bäume, oder auch bewegter Objekte, wie z.B. fahrende Autos oder laufende Personen, die in ihrer Struktur und Textur frei gestaltet werden können, und den Import verschiedener ebenfalls im Wegenetz lokalisierbarer Geräusch- und Klangquellen. Die Versuchsperson kann aktiv, beispielsweise mit Hilfe eines Joysticks, die erzeugte virtuelle Umgebung explorieren, wobei die von ihr eingeschlagenen Wege aufgezeichnet werden können. Das Programm bietet darüber hinaus die Möglichkeit, die Versuchspersonen passiv den Raum explorieren zu lassen oder ihnen das Wegenetz in der Aufsicht als Simultanstruktur zu präsentieren.

Das Programm *Superscape VRT* der Firma *Virtual Reality Technologies* bietet für die Kreation individueller Welten eine komplette graphische Benutzeroberfläche mit verschiedenen Editoren. Mit Hilfe der verschiedenen Editoren kann der Benutzer virtuelle Welten kreieren und systematisch manipulieren.

Durch einen *Shape-Editor* lassen sich die gewünschten Objekte konstruieren. Das Design der Objekte verläuft so, daß das Ergebnis jeder Veränderung unmittelbar gesehen und gegebenenfalls korrigiert oder rückgängig gemacht werden kann. Darüber hinaus werden in einer Bibliothek mehr als 100 fertig konstruierte Objekte angeboten.

Ein *World-Editor* ermöglicht es, die Objekte in der virtuellen Welt zu positionieren sowie Farbe, Beleuchtung, Dynamik, Animation zu steuern.

Abbildung 4 zeigt das Layout der Benutzeroberfläche des *World-Editors*.

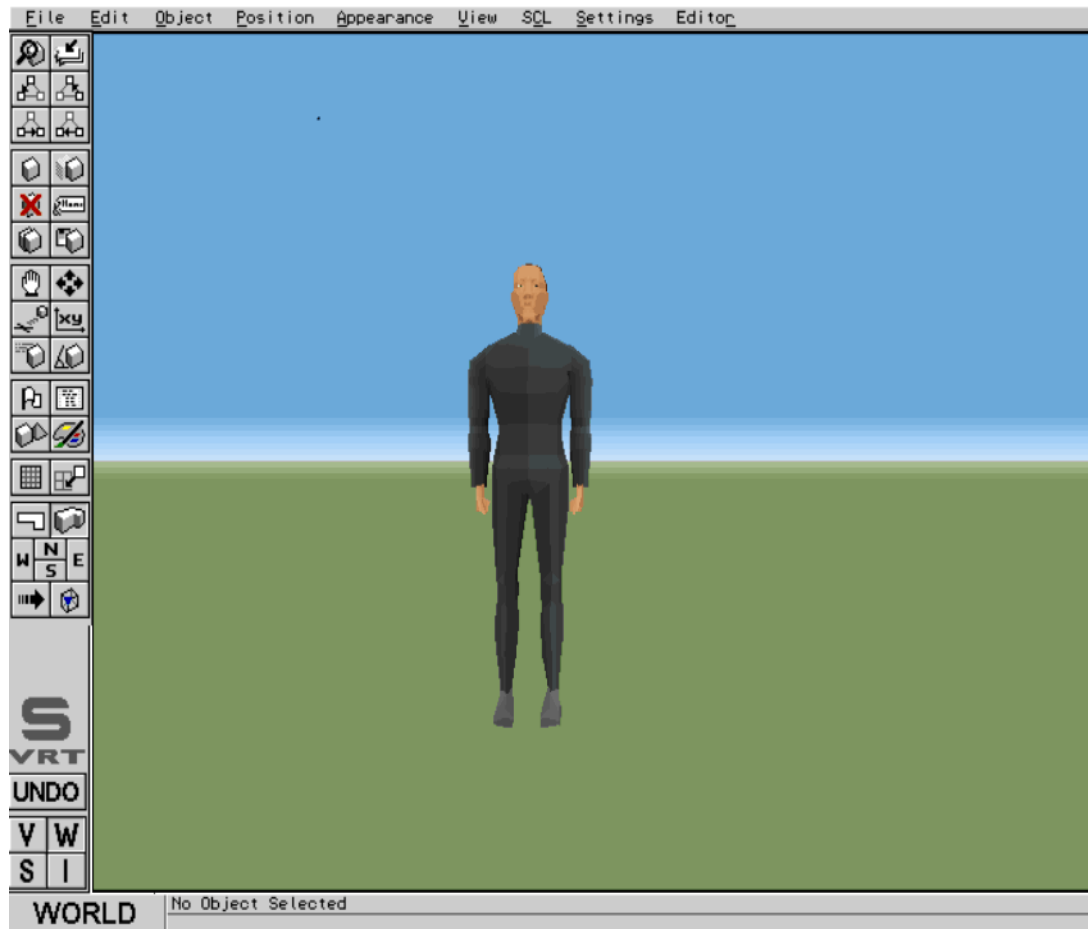


Abb. 4: Layout der Benutzeroberfläche des World-Editors

Der auf dem Schirm erscheinende Mensch ist das konstruierte Objekt. Die Menüleiste am oberen Bildrand ermöglicht die Konstruktion der Objekte, die Symbolleiste stellt einige der Befehle als Icons dar, die eine schnellere Bearbeitung ermöglichen.

Ein *Sound-Editor* gewährt dem Benutzer die Möglichkeit einer Einbindung von Geräuschen und gesprochenen Worten. Dabei können die Geräusche verändert und auch neue Geräusche aufgenommen und eingeladen werden.

Ein *Texture-Editor* bietet die Möglichkeit der Veränderung der sichtbaren Oberflächenbeschaffenheit (Textures) von Objekten.

Darüber hinaus lassen sich den Objekten in der virtuellen Welt eine Vielzahl von Verhaltenseigenschaften zuweisen. Dieses geschieht durch die interne Programmiersprache *Superscape Control Language* (SCL).

Ein *Visualizer* ermöglicht die Präsentation und Exploration der konstruierten virtuellen Welt.

Die Möglichkeiten eines Einsatzes dieses Programmes bei der Konstruktion einer bestimmten virtuellen Welt und der systematischen Erfassung des Lernverhaltens in virtuellen Lernumgebungen wird im nächsten Kapitel am Beispiel einer Untersuchung zur Frage des Erwerbs räumlichen Wissens veranschaulicht. Zunächst soll jedoch verdeutlicht werden, daß innerhalb der räumlichen Kognitionsforschung (vgl. Cornell, Heth & Alberts, 1994; Freksa & Habel, 1990), in der die Frage nach dem Erwerb, der Repräsentation und dem Abruf raumbezogener Information im Mittelpunkt steht, langsam die Möglichkeiten erkannt werden, welche die VR-Technologie als Forschungsmethode bietet (vgl. Gillner & Mallot, 1996; May, Wartenberg & Péruch, 1997).

### **3.4 Virtual Reality in der räumlichen Kognitionspsychologie**

Virtuelle Umgebungen werden auch bereits in der räumlichen Kognitionspsychologie eingesetzt.<sup>7</sup> Regian und Shebilske (1990) untersuchten z.B., ob ein „virtuelles Labyrinth“ von Versuchspersonen erlernt werden kann. Dabei handelte es sich um eine immersive virtuelle Umgebung - die gesamte Simulation wurde durch eine Silikon-Graphics-Maschine gesteuert - die Versuchspersonen erhielten für das Eintauchen in die virtuelle Umgebung Bildschirmbrillen, und ihre Bewegungen wurden durch DataGloves in die virtuelle Realität übertragen. Das Labyrinth bestand aus jeweils vier auf drei Etagen verteilten Räumen; jeder Raum enthielt ein von den anderen in Form und/oder Farbe verschiedenes Objekt (z.B. rote Pyramide, blauer Stern, roter Stern, grüner Quader etc.). Darüber hinaus war jeder Raum mit mindestens einem anderen Raum verbunden. Jede der 31 Versuchspersonen wurde zunächst auf drei unterschiedlichen Touren durch das Labyrinth geführt. Danach erhielten die Versuchspersonen die Möglichkeit, das Labyrinth eine Stunde lang selber zu explorieren. In der Testphase wurden sie aufgefordert, den kürzesten Weg von einem vorgegebenen Startraum zu einem vorgegebenen Zielraum zu suchen.

---

<sup>7</sup> Die hier dargestellten Untersuchungen beziehen sich nicht allein auf die Distanzkognition.

Variiert wurde der Start- und Zielraum, so daß die Versuchspersonen drei verschiedene Wege, die sich von den Wegen in der Lernphase unterschieden, durch das Labyrinth gehen mußten. Es zeigte sich, daß die Versuchspersonen stets in der Lage waren, einen kürzeren Weg zu wählen, als nach dem Zufall zu erwarten gewesen wäre.

Auch Gillner und Mallot (1996) zeigten, daß Versuchspersonen in einer virtuellen Umgebung nicht nur Routenwissen, sondern auch Überblickswissen erwerben können. Bei der durch einen Silicon-Graphics-Rechner gesteuerten virtuellen Umgebung handelte es sich um vier verschiedene virtuelle Städte mit Straßen und Plätzen gleichen Grundplans, die sich in der Beleuchtung (Tag oder Nacht), in der Sichtweite (Umgebung wurde durch ein Gebüsch entlang der Straße bzw. durch kein Gebüsch verdeckt) und in der Anzahl der Objekte, die bei der Bewegung auf einen Platz hin sichtbar wurden, unterschieden. Die Versuchspersonen, die sich mit der Computermouse durch die virtuelle Stadt bewegten, sollten in einer Übungsphase in dem ihnen noch unbekanntem Terrain vier Landmarken<sup>8</sup> suchen, die ihnen als Fotos präsentiert wurden. In der Testphase sollten sie zum einen die Heimwege, d.h. die Wege zum Ausgangspunkt in der Übungsphase, zum anderen die Wege zu bestimmten Landmarken finden. Danach schloß sich die Aufgabe an, die Entfernung zwischen zwei Landmarken zu schätzen. Es zeigte sich, daß die Versuchspersonen in der Lage sind, den kürzesten Weg zwischen Landmarken in der Stadt zu finden. Bei den Heimwegen werden weniger Fehler in Form falscher Richtungsentscheidungen gemacht als bei der Aufgabe, neue Wege zu anderen Landmarken zu finden. Darüber hinaus zeigte sich der Erwerb eines Distanzwissens bei den Versuchspersonen: Je größer die objektive Distanz zwischen den Landmarken war, desto größer wurde diese auch von den Versuchspersonen geschätzt.

Darken (1996) untersuchte ebenfalls das Navigationsverhalten bei komplexen „Wegfinderaufgaben“ in fünf verschiedenen, sehr weitläufig konstruierten virtuellen Landschaften. Die Untersuchungen in einer immersiven virtuellen Umgebung wurden von einer Silicon-Graphics-Maschine gesteuert, ein stereoskopisches Display mit Trackingssystem, welches nicht auf dem Kopf (vgl. HMDs) sondern auf einem

---

<sup>8</sup> Gillner & Mallot (1996) gebrauchen den Begriff der Landmarke für durch bestimmte Objekte (meist Häuser) markierte Örtler.

mechanischen Arm befestigt wurde, und ein Joystick ermöglichte das Eintauchen und Bewegen in bzw. durch die virtuelle Umgebung. Die allgemeine „Wegfindaufgabe“ bestand darin, von einem Ausgangspunkt zu bestimmten Zielpunkten und zurück zu finden. Variiert wurde die Art der zusätzlich gegebenen Orientierungshilfe (Landkarte, Gitternetz mit Markierung bestimmter Lokalisationen, beides oder keine Orientierungshilfe); gemessen wurde die benötigte Suchzeit. Darüber hinaus wurden die zurückgelegten Wege aufgezeichnet, so daß Aussagen über die zurückgelegte Distanz, die Durchschnittsgeschwindigkeit etc. getroffen werden konnten.

Zur weiteren Diagnose des räumlichen Wissenserwerbs wurde die Methode des Lauten-Denkens angewendet und die Zeichnung einer möglichst detaillierten Überblickskarte herangezogen. Es zeigte sich, daß die Versuchspersonen ohne Orientierungshilfen in Form von Hinweisreizen oft orientierungslos waren und große Schwierigkeiten hatten, die Wege zu finden. Die Hilfen, insbesondere die Darbietung der Landkarten bzw. der Landkarten und der Gitternetze, hatten einen großen Einfluß auf die Anwendung effektiver Suchstrategien. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, daß eine erfolgreiche aktive Navigation in virtuellen Umgebungen einer strukturierten Darbietung der Umgebungen bedarf. Orientierungshilfen in Form von Hinweisen und Karten verbessern darüber hinaus das Orientierungsverhalten.

Satalich (1995) untersuchte den Erwerb des Routen- und Überblickswissens in einer virtuellen Umgebung, die aus einem U-förmig konstruierten Gebäude bestand. In dem Gebäude befanden sich 39 einzelne Räume mit insgesamt über 500 Objekten, wobei auch in den Fluren des Gebäudes Bilder und Objekte aufgestellt waren, die als Orientierungshilfen dienen konnten. Die Versuchspersonen benutzten zum „Eintauchen in die virtuelle Realität“ ein HMD und erhielten die Aufgabe, den Weg durch den Gebäudekomplex zu lernen, indem sie sich mit Hilfe eines Joysticks durch die Anordnung bewegten. Variiert wurde die Art des Wissenserwerbs (Selbstexploration, aktive Führung durch Befolgen eines eingezeichneten Weges, passive Führung in einer konstanten Geschwindigkeit), die Darbietung einer Karte vor der Exploration (Präsentation einer Karte vs. keine Präsentation) und die Darbietung der Karte während der Exploration (Präsentation einer Karte vs. keine Präsentation). Eine Kontrollgruppe erhielt nur die Karte des Gebäudekomplexes. Gemessen wurde die Leistung in einer Orientierungsaufgabe, die Schätzung von

Routen- und euklidischen Distanzen zwischen zwei Örtern und zwischen einem Ort und dem eigenen Standpunkt, und die Leistung in einer „Wegfindaufgabe“ dergestalt, den Weg zu einem bestimmten Raum des Gebäudes zu finden. Zusammenfassend läßt sich sagen, daß bei allen erhobenen Leistungswerten die Versuchspersonen unter den beschriebenen Versuchsbedingungen gleich oder sogar schlechter abschnitten als die Kontrollgruppe, die nur eine Karte des Gebäudekomplexes erhalten hatte.

Ein ähnliches Ergebnis fanden Bliss, Tidwell und Guest (1997). Sie untersuchten das Navigationsverhalten von Rettungsleuten in einem ihnen unbekanntem Gebäude, wobei die Rettungsleute den Rettungsweg auf einer Karte oder in einer virtuellen Umgebung lernen konnten. Eine Kontrollgruppe erhielt keine Möglichkeit, den Weg zu lernen. Die Aufgabe bestand darin ein „Baby“ in Form einer Puppe zu retten. Gemessen wurde die gesamte Navigationszeit und die Anzahl der falsch gewählten Abbiegungen. Die Ergebnisse zeigten, daß die Rettungsleute, die den Weg anhand der Karte oder durch die Exploration der virtuellen Umgebung lernten, schneller und mit weniger Fehlern das „Baby“ retteten als die Kontrollgruppe. Es zeigte sich jedoch kein signifikanter Unterschied in der Navigationsleistung der Personen, die den Weg anhand einer Karte und denjenigen, die den Weg durch die Exploration erlernten.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die Versuchspersonen in der Lage sind, in virtuellen Umgebungen Routen- und Überblickswissen zu erwerben. Die Frage, ob sich räumliches Wissen eher bzw. einfacher durch ein Kartenstudium oder durch eine Exploration in einer virtuellen Umgebung erwerben läßt, kann zu diesem Zeitpunkt nicht beantwortet werden.

Diese Ergebnisse warnen demnach vor einem zu großen Enthusiasmus bei der Benutzung von VR als Trainingstool. Ein entscheidender Punkt beim Einsatz von VR als Trainingstool scheint die Trainingszeit zu sein. Ein Studie der University of Wales, auf die Satalich (1995) hingewiesen hat, zeigte, daß die Versuchspersonen 4-6 Stunden benötigten, bis sie einen Weg in einer virtuellen Welt genauso schnell finden konnten wie in der entsprechenden realen Welt. Darüber hinaus ist zu beachten, daß viele technische Faktoren, wie z.B. die Verzögerungszeit zwischen der Aktion des Handelnden und der Systemantwort, das Gewicht und die Auflösung des HMDs und die Künstlichkeit, durch einen Knopfdruck die Fortbewegung zu initialisieren, einen Einfluß auf das Navigationsverhalten in virtuellen Umgebungen haben können.

Um das Verhalten in einer virtuellen Umgebung mit dem in einer natürlichen Umgebung zu vergleichen, ist es erforderlich, die Realwelt möglichst „realitätsnah“ virtuell abzubilden. Obwohl der technische Aufwand momentan noch sehr groß ist, scheint es nur noch eine Frage der Zeit zu sein, bis z.B. auch Städtesimulationen problemlos möglich sind.

Ein erstes bekanntes Projekt zur Abbildung realer Städte ist das sog. „Virtual Tübingen Projekt“. Am Max-Planck-Institut für Biologische Kybernetik in Tübingen wird die Innenstadt Tübingens besonders wirklichkeitsgetreu simuliert, so daß die Bewegung durch das virtuelle Tübingen in Echtzeit möglich ist. Tübingen eignet sich für die Simulation, da der Stadtkern aufgrund von Höhenunterschieden, variierender Straßenbreite, verschiedenartiger und komplizierter Fassaden sehr komplex ist und damit eine interessantere Grundlage für Navigationsexperimente als eine regelmäßig angelegte Stadt, wie z. B. New York, bietet (VanVeen & Distler, 1996).

Neben den bereits dargestellten Untersuchungen existieren auch solche, die sich nicht nur speziell mit dem Navigationsverhalten in virtuellen Umgebungen beschäftigen, sondern dieses Medium zur Beantwortung kognitionspsychologischer Fragestellungen heranziehen. VR wird zur Gestaltung experimenteller Anordnungen benutzt, um Hypothesen zu prüfen, die in herkömmlichen Laborexperimenten schwer prüfbar sind.

Beispiel hierfür ist eine Untersuchung von May, Péruch und Savoyant (1995), die den Einfluß der Enkodierungsbedingung und Ausrichtung einer Karte („misalignment-Effekt“) auf die Fähigkeit, einen Weg in einer virtuellen Umgebung zu finden, untersuchten. Sie boten ihren Versuchspersonen eine in verschiedene Richtungen (um 90° oder 180° bzw. nicht gedreht) ausgerichtete Karte mit einem Weg, der von einem Start- zu einem Zielpunkt führte, dar. Nach dem Studium der Karte wurden die Versuchspersonen entweder aufgefordert, die Karte zu zeichnen (analoge Enkodierungsbedingung) oder die Anordnung der Wege und Objekte auf der Karte verbal zu beschreiben (analytische Enkodierungsbedingung). In der Navigationsphase war es ihre Aufgabe, den gelernten Weg so schnell wie möglich zu gehen. Es konnte gezeigt werden, daß der Grad der Orientierungsabweichung zwischen der Karte und dem Standpunkt, von dem aus der Betrachter die Umgebung anfänglich wahrnimmt, die Navigationsleistung beeinflusst: Je größer der Abweichungsgrad war, desto langsamer

und unpräziser war die Navigationsleistung. Die Navigationsleistung wurde jedoch nicht durch unterschiedliche Enkodierungsstrategien in Form einer analogen und einer analytischen Enkodierung beeinflusst.

Virtuelle Umgebungen lassen sich auch bei der Replikation von labor- und feldexperimentellen Untersuchungen einsetzen. Der Vergleich herkömmlicher Laborexperimente mit solchen, in denen virtuelle Umgebungen eingesetzt werden, macht auf die ökonomischere Gestaltung der Experimente aufmerksam; die systematische Variation des Treatments ist im „virtuellen Laborexperiment“ auf einfache Art und Weise möglich.

In Anlehnung an Tolmans (1948) Labyrinth-Versuche mit Ratten konstruierte Gillner (1997) 10 verschiedene virtuelle (Lern-) Labyrinth, die den Tolman-Labyrinth ähnelten.

Tolman (1948) konnte zeigen, daß die Ratten fähig waren, latent eine innere Abbildung des Labyrinthes, eine sog. kognitive Karte, zu entwickeln. Er ließ die Ratten vier Nächte lang dreimal pro Nacht den Weg vom Startpunkt a zur Zielbox b, in welcher sich Futter befand, lernen. Der Weg führte durch einen schmalen Gang in einen kreisförmigen Raum, von dort über einen schmalen Gang mit drei rechtwinkligen Abzweigungen (Reihenfolge der Richtungsänderungen: links-rechts-rechts) zur Zielbox. Danach wurden die Ratten einem modifizierten Labyrinth ausgesetzt. Dieses Labyrinth glich dem ersten darin, daß der Weg durch einen schmalen Gang in einen kreisförmigen Raum überging, wobei jetzt von diesem Raum 19 Gänge, 12 lange und 7 kurze, sternförmig in einem Halbkreis abgingen. Der aus dem Halbkreis führende Gang, der dem aus dem gelernten Labyrinth entsprach, wurde blockiert. Es zeigte sich, daß alle Ratten zuerst den gesperrten Gang ausprobierten und dann 35% der Ratten den Gang wählten, der auf dem direkten Weg zur Futterstelle führte.

Die virtuellen Labyrinth von Gillner (1997) bestanden aus einem Gang, der in einen rund angelegten Raum führte, wovon ein weiterer Gang abging. Bei diesem abzweigenden Gang wurde die Anzahl der Richtungsänderungen (1-3) und die Ausrichtung des Endpunktes bzgl. des Startpunktes variiert. Das Testlabyrinth bestand aus dem rund angelegten Raum, von welchem 18 Gänge abzweigten, die sternförmig im Halbkreis angeordnet waren.

Gillner (1997) bat ihre Versuchspersonen, dreimal hintereinander den einzigen möglichen Weg durch eines der virtuellen Lernlabyrinth zu explorieren. Die



Probanden bewegten sich mit Hilfe der Maustasten vorwärts. Der Zielpunkt - d.h. das Ende der Wege - war durch einen pinkfarbenen Teekessel markiert. Nach der Exploration erhielten die Probanden die Aufgabe, von dem runden Raum des Testlabyrinthes auf die Richtung zu weisen, in welcher der Teekessel im Lernlabyrinth gestanden hat. Es zeigte sich, daß die Richtung zum Teekessel von den Versuchspersonen tendenziell richtig eingeschätzt wurde. Mit Einschränkungen zeigte sich, daß je größer der eingeschlagene Winkel in der Phase der Exploration der Lernlabyrinth war, desto größer dieser Winkel auch geschätzt wurde. Dabei wurden systematische Fehler gemacht: Die Versuchspersonen schätzten den eingeschlagenen Winkel in der Regel zu klein.

May, Wartenberg und Péruch (1997) untersuchten in Anlehnung an eine Arbeit von Loomis und Mitarbeitern (1993) die Orientierung in virtuellen Umgebungen. Loomis et al. (1993) konnten bei der Durchführung von Dreiecks-Komplementierungsaufgaben zeigen, daß Probanden, die unter Ausschluß jeglicher visueller und akustischer Information zwei Seiten eines vorgestellten Dreiecks durchliefen, im Mittel recht präzise und auf direktem Weg zu ihrem Ausgangspunkt zurückkehren konnten („homing“). Während Loomis et al. (1993) die „homing“-Fähigkeit unter Ausschluß jeglicher visueller und auditiver Information untersuchten, schlossen May, Wartenberg und Péruch (1997) die propriozeptive Informationsaufnahme aus. Sie baten ihre Versuchspersonen, in einer virtuellen Umgebung mit Hilfe eines Joysticks von einem Startpunkt zu einer roten Markierung (1. Eckpunkt) und von dort zu einer blauen Markierung (2. Eckpunkt) zu navigieren. An diesem zweiten Eckpunkt sollten sie sich in die Richtung drehen, von der sie annahmen, daß sich dort der Ausgangspunkt befindet (Richtungseinschätzung) und dann auf direktem Wege zum Ausgangspunkt zurückgehen (Distanzschätzung). Zum einen wurde dabei der Drehwinkel am 1. Eckpunkt und der Abstand zwischen dem 1. und 2. Eckpunkt, zum anderen das grafisch simulierte visuelle Feld variiert. Es zeigte sich, daß die Dreh- und Abstandsvariation einen Einfluß auf die Richtungs- und Distanzschätzungen haben. Mit abnehmender Größe des Drehwinkels am 1. Eckpunkt und zunehmender Länge der Seite nahm der Unterschied zwischen den geschätzten und tatsächlichen Endpunkten zu. Dabei war insbesondere die Kodierung der Richtungsinformation starken systematischen Fehlern unterworfen. Bei dem Vergleich der Ergebnisse der

Experimente von Loomis et al. (1993) und der Experimente von May, Wartenberg und Péruch (1997) zeigte sich, daß die Homingleistungen unter non-visuellen Bedingungen ungleich besser waren als unter rein visuellen Bedingungen.

Aufgrund der Defizite bei der Richtungskodierung unter rein visuellen Bedingungen ist der Einsatz virtueller Umgebungen bei der Untersuchung der Orientierungsleistung im Raum als besonders problematisch einzuschätzen (vgl. Klatzky, 1998). Damit stellt sich die Frage, ob unter Simulationsbedingungen beobachtete Orientierungsleistungen mit Bedacht analysiert werden müssen. Weniger problematisch scheinen hingegen die Durchführung von Untersuchungen zur Distanzkognition in virtuellen Umgebungen und die Übertragung der Ergebnisse zur Diskussion der Distanzkognition in realen Umgebungen zu sein.

### **3.5 Zusammenfassung**

Die VR-Technik ist ein geeignetes Simulationsmedium räumlicher Umgebungen: Räumliche Beziehungsverhältnisse können schnell und ökonomisch variiert werden, der Betrachter kann in der simulierten Umgebung selbstbestimmt interagieren, und es können reale wie auch fiktionale Umgebungen simuliert werden. Innerhalb der Raumkognitionsforschung wird die Konstruktion virtueller Umgebungen verwendet, um das Navigationsverhalten in diesen virtuellen Umgebungen zu untersuchen und gegebenenfalls mit dem Verhalten in realen Umgebungen zu vergleichen, und um labor- und feldexperimentelle Untersuchungen zu replizieren.

**Teil II:**  
**Laborexperimentelle Untersuchungen zur Distanzkognition in**  
**virtuellen Umgebungen**

In diesem Teil der Arbeit stehen die eigenen Untersuchungen zum Erwerb räumlichen Wissens und im besonderen zur Distanzkognition in virtuellen Umgebungen im Mittelpunkt.

In Anlehnung an eine Arbeit von Cohen und Schuepfer (1980) wird zu Beginn ein Experiment dargestellt, in welchem die Rolle von „Landmarken“ beim Erwerb von Routenwissen in einer virtuellen Umgebung untersucht wird. Dieses Experiment dient insbesondere dazu, die Einsatzmöglichkeiten der VR-Software Superscape VRT 4.00 zu verdeutlichen. Danach werden in weiteren Experimenten die Faktoren untersucht, die die Distanzkognition beeinflussen:

Zunächst wird der Einfluß von Richtungsänderungen auf die Distanzkognition untersucht. Anschließend wird der Einfluß der Gestaltung einer Route auf die Distanzkognition untersucht. Von besonderem Interesse ist hierbei der Einfluß von bestimmten Features entlang der Route und der Gliederung dieser Route durch Gestaltfaktoren. Im darauffolgenden dargestellten Experiment steht die Untersuchung der Rolle der Intentionalität beim Distanzwissen im Mittelpunkt des Interesses.

Die Befunde werden abschließend in ihrem Zusammenhang diskutiert.

## **1 Die Rolle von „Landmarken“ beim Erwerb von Routenwissen**

Die Möglichkeiten des Einsatzes der - oben näher beschriebenen - VR-Software Superscape VRT 4.00 in der laborexperimentellen Raumkognitionsforschung wird hier am Beispiel einer Replikation einer Versuchsanordnung von Cohen und Schuepfer (1980) detailliert beschrieben (vgl. Heineken & Jansen-Osmann, im Druck).

Gegenstand der Untersuchung von Cohen und Schuepfer (1980) war der Erwerb von Routenwissen und die Rolle, die die Landmarken<sup>9</sup> im Wegenetz hierbei spielen. Die Versuchspersonen erhielten die Aufgabe, einen Weg durch ein Flursystem zu lernen, in welchem sich an unterschiedlichen Streckenabschnitten Landmarken unterschiedlicher Funktion (richtungshinweisend, richtungsabweisend und richtungsneutral) als mögliche Orientierungspunkte befanden.

Die experimentelle Variation ihrer Bedingungen nahmen die Autoren durch eine zeitlich segmentierte Darbietung von Szenen vor, die sie ihren Probanden nacheinander per Diapositive auf eine Leinwand projizierten. Auf jeder Szene war ein Ausschnitt des Gesamtweges mit verschiedenen Abzweigungen und drei verschiedenen Landmarken zu sehen, die für die Richtungszuweisung von unterschiedlicher Bedeutung waren. Nach der Präsentation einer Szene wurden die Versuchspersonen gebeten, die Abzweigung zu benennen, die ihrer Meinung nach zu nehmen war, um den Zielort zu erreichen. War die Abzweigung richtig gewählt, wurde das nächste Dia gezeigt, war die Wahl jedoch inkorrekt, wurde die Versuchsperson aufgefordert, eine erneute Wahl zu treffen. Diese Sequenzentscheidungsaufgabe war beendet, sobald die jeweilige Versuchsperson in sechs aufeinanderfolgenden Durchgängen die Abzweigungen fehlerfrei vorhersagen konnte.

In einer anschließenden Testphase wurden die Landmarken entfernt und die Versuchspersonen aufgefordert, die in der durch das jeweilige Dia gezeigten Szene richtige Wegabzweigung zu benennen und darüber hinaus anzugeben, welche Landmarken sich an der jeweiligen Abzweigung befunden haben. Es zeigte sich, daß diejenigen Landmarken, die auf eine richtige Abzweigung hinwiesen, signifikant besser lokalisiert werden konnten als solche, die für die Richtungszuweisung bedeutungslos waren oder an einer falschen Abzweigung lagen.

Bei der Replikation dieser Anordnung in einer virtuellen Umgebung, welche die Individuen aktiv explorieren können, wird erwartet, daß der Weg in einem Labyrinth mit Landmarken schneller gelernt wird als ohne Darbietung von Landmarken und daß von den verschiedenen Arten von Landmarken diejenigen besser behalten werden, die eine richtungshinweisende Funktion auf dem Weg zum Ziel innehaben.

---

<sup>9</sup> In der Darstellung dieses Experimentes wird der von den Autoren Cohen & Schuepfer (1980) gewählte Begriff „Landmarke“ weiterhin verwendet. Auf der Theorieebene sprechen wir dabei von einem durch markante Objekte bestimmten Ort.

## 1.1 Methode

**Versuchspersonen:** An dem Versuch nahmen 10 Studierende - 4 weibliche und 6 männliche im Durchschnittsalter von 25, 9 Jahren - der Gerhard-Mercator-Universität Duisburg teil.

**Versuchsmaterial:** Der Versuch wurde auf einem 486er PC mit dem Softwareprodukt VRT 4.00 der Firma Superscape durchgeführt. Es wurde ein Labyrinth programmiert, das dem Wegenetz, welches Cohen und Schuepfer (1980) ihrer Untersuchung zugrunde legten, glich. Das Labyrinth wurde den Versuchsteilnehmern auf einem 17-Zoll Monitor dargeboten. Sie hatten die Möglichkeit, mit Hilfe eines Joysticks durch das Labyrinth zu navigieren. Eine Hardcopy der Aufsicht des Labyrinthes ist in Abbildung 5 wiedergegeben.

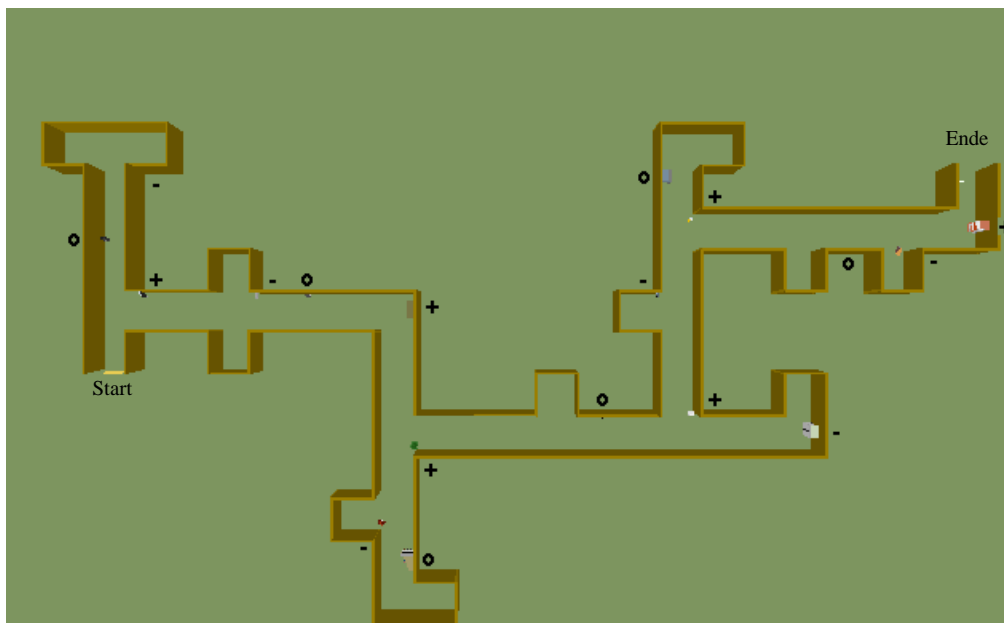


Abb. 5: Hardcopy des Labyrinthes in der Obenaufsicht mit Markierung verschiedenartiger Landmarken (LM) (+: richtungshinweisende LM, -: richtungsabweisende LM, o: richtungsneutrale LM)

Das Labyrinth bestand aus sechs Hauptfluren, von denen jeweils zwei Nebenflure, die jeweils in eine Sackgasse führten, abgingen. Die Labyrinthkonstruktion blieb unter jeder Versuchsbedingung dieselbe, wohingegen die Art der Ausstattung variierte: Einmal enthielt das Labyrinth keine Landmarken, das andere Mal 18 Landmarken unterschiedlichster Art und Form. Die Landmarken lagen analog zu dem von Cohen & Schuepfer (1980) verwendeten Wegenetz an den in Abb. 5 markierten Stellen. In der Abbildung verdeutlicht ein “+” eine Landmarke, die auf eine richtige Abbiegung

verwies (richtungsweisend), ein “-” eine Landmarke, die auf eine falsche Abbiegung hinwies (richtungsabweisend) und ein “o” steht für eine Landmarke, die keine richtungsbezogene Bedeutung hatte (richtungsneutral).

Der von den Versuchspersonen eingeschlagene Weg wurde automatisch registriert und durch eine Pfeilspur in der Obenaufsicht des Labyrinthes sichtbar und auswertbar gemacht.

**Versuchsablauf:** Der Versuch wurde in 15-30 Minuten dauernden Einzelsitzungen durchgeführt. Vor Beginn des Versuches erhielten die Versuchspersonen die Möglichkeit, den Umgang mit dem Joystick zu erlernen. Zeigten die Probanden sich mit der Handhabung des Joysticks vertraut, begann der eigentliche Versuch.

Die Studierenden erhielten in einem ersten Versuchsabschnitt die Aufgabe, das Labyrinth so oft mittels Joystick zu durchlaufen, bis sie zweimal hintereinander fehlerfrei zum Ziel gekommen waren. Erfasst wurde dabei die Anzahl der bis zu diesem Kriterium benötigten Lerndurchgänge sowie die Anzahl der Fehler in jedem einzelnen Lerndurchgang. Als Fehler galt die Wahl einer falschen Abzweigung.

Abbildung 6 zeigt das Anfangsbild des Labyrinthes mit Landmarken.

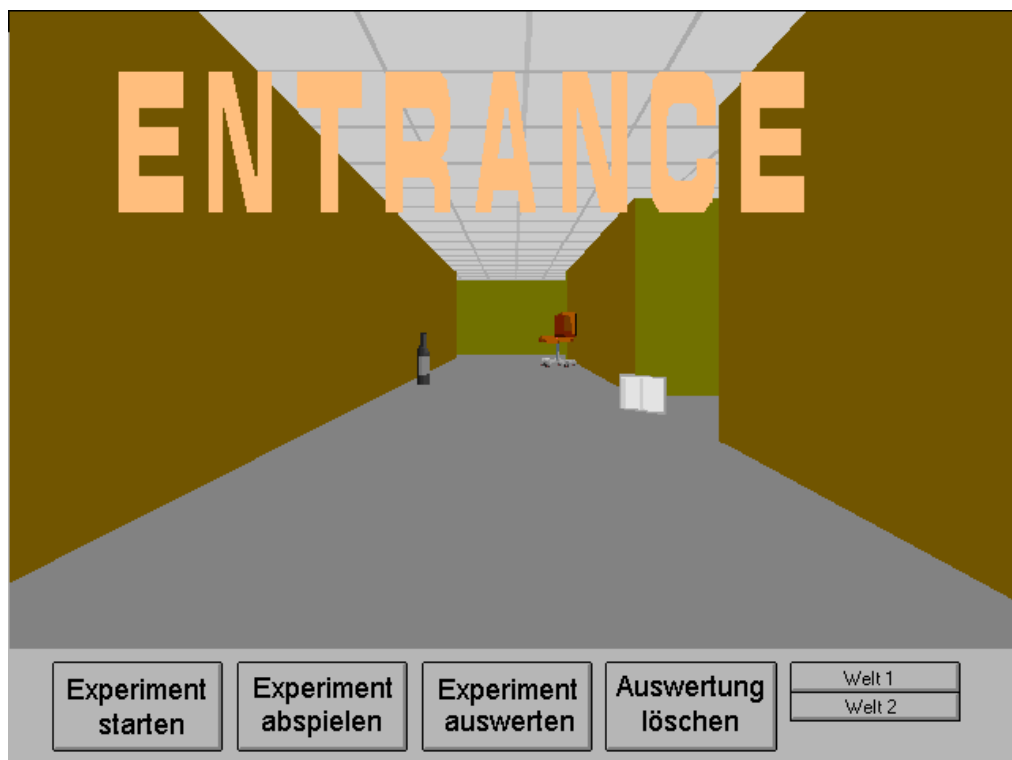


Abb. 6: Anfangsbild des Labrinthes mit Landmarken. Die Menüleiste stellt die Bedienmöglichkeiten bei der experimentellen Durchführung dar.

Die Menüleiste verdeutlicht die Wahlmöglichkeiten. Die vier großen Schaltflächen ermöglichen durch Anklicken mit der Maus den Start des Experimentes, das Abspielen eines gegangenen Weges, die Auswertung eines Versuchsdurchganges in der Obenaufsicht und das Löschen dieser Auswertung. Die Schaltflächen „Welt 1“ und „Welt 2“ bieten ein Umschalten zwischen den beiden Labyrinthen, dem mit und dem ohne Landmarken.

In einer abschließenden Testphase erhielten diejenigen Versuchspersonen, die das Labyrinth mit Landmarken zu durchlaufen hatten, die Aufgabe, das Labyrinth ohne Landmarken zu durchlaufen und an den verschiedenen Abzweigungen die Landmarken zu benennen, die dort in der Lernphase lokalisiert waren.

## 1.2 Ergebnisse

Der Weg, den eine Versuchsperson durch das Labyrinth gegangen ist, konnte für die Auswertung festgehalten werden, die Abweichungen ihres Weges vom richtigen Weg zum Ziel ließen sich aus dem Verlauf der Pfeilspur des in Obenaufsicht dargestellten Labyrinthes ablesen (vgl. Abb. 7).

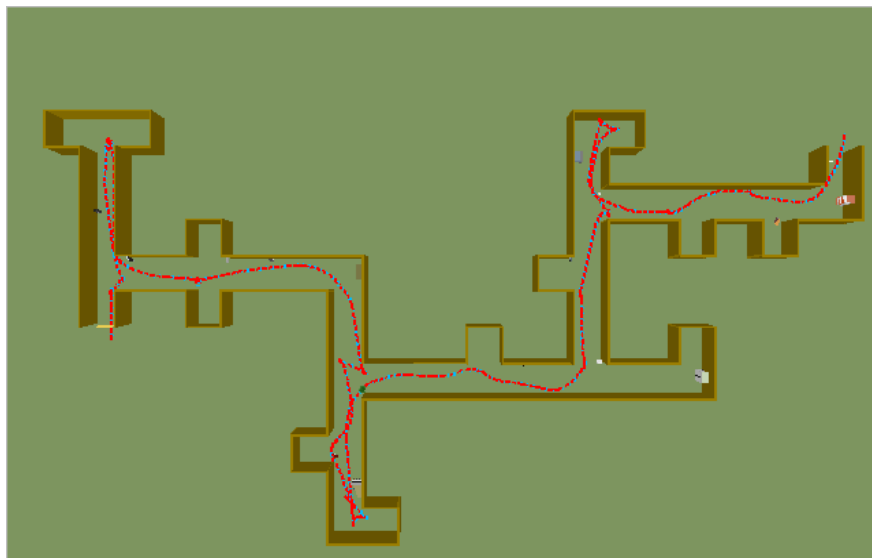


Abb. 7: Darstellung des Weges einer Versuchsperson als Pfeilspur in der Obenaufsicht des Labyrinthes

Die mittlere Anzahl der benötigten Lerndurchgänge und der bis zum Beherrschen des Weges eingeschlagenen falschen Wege (Fehler) sind in Tabelle 1 für die verschiedenen Bedingungen wiedergegeben.

Tabelle 1: Anzahl der bis zum Kriterium benötigten Lerndurchgänge und der pro Durchgang eingeschlagenen falschen Wege bei der Navigation durch ein Labyrinth mit Landmarken und durch ein Labyrinth ohne Landmarken (Mittelwerte, Standardabweichungen, Maxima und Minima)

Leistungswerte	Labyrinthart	Mittelwerte	Standardabweichungen	Maxima	Minima
Anzahl der Lerndurchgänge	ohne Landmarken	4,6	2,15	8	2
	mit Landmarken	2,4	0,6	3	2
Anzahl der falschen Wege	ohne Landmarken	15,8	5,49	22	7
	mit Landmarken	11,4	3,61	18	5

Die Daten machen deutlich, daß das Labyrinth bis zum Beherrschen des Weges häufiger durchlaufen werden muß, wenn es keine Landmarken enthält, als wenn sich das Individuum an Landmarken orientieren kann ( $t_{(8)} = 2,19$ ,  $p < .05$ ). Auch die Anzahl der fehlerhaft eingeschlagenen Wege ist unter dieser Bedingung deutlich geringer. Der Unterschied ist allerdings nicht signifikant.

Die Lernkurven, die den Prozeß des räumlichen Wissenserwerbs charakterisieren, sind Abbildung 8 zu entnehmen.



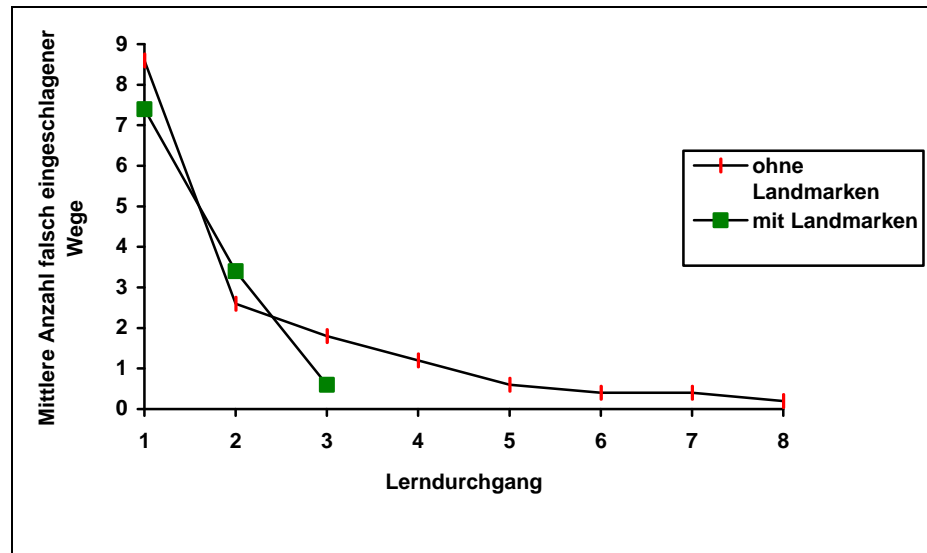


Abb. 8: Lernkurven (mittlere Anzahl falsch eingeschlagener Wege pro Lerndurchgang) beim Navigieren durch das Labyrinth (mit und ohne Darbietung von Landmarken) bis zum Erlernen des Weges

Die pro Durchgang im Mittel eingeschlagenen falschen Wege zum Ziel nehmen in ihrer Anzahl vom zweiten zum dritten Durchgang steil ab, wenn dem Individuum beim Erlernen des Weges Landmarken dargeboten wurden. Ohne Darbietung von Landmarken nimmt die Fehlerzahl vom zweiten Durchgang an nur allmählich ab.

Die mittlere Anzahl richtig reproduzierter Landmarken ist in Tabelle 2 wiedergegeben.

Tabelle 2: Anzahl der frei reproduzierten Landmarken verschiedener Art (richtungshinweisend, richtungsabweisend, richtungsneutral) nach dem Durchlaufen eines mit Landmarken versehenen Labyrinthes (Mittelwerte, Standardabweichungen, Maxima und Minima)

Art der Landmarken	Mittelwerte	Standardabweichungen	Maxima	Minima
richtungshinweisend	4,6	1,49	6	2
richtungsabweisend	1,2	0,98	3	0
richtungsneutral	1	0,44	2	0

Die Tabelle macht deutlich, daß richtungsweisende Landmarken signifikant besser reproduziert werden als richtungsabweisende ( $t_{(4)} = 4,19$ ,  $p < .05$ ) und als solche, die bezogen auf die Richtungswahl neutral sind ( $t_{(4)} = 3,88$ ,  $p < .05$ ).

### **1.3 Diskussion**

Die Befunde von Cohen und Schuepfer (1980) zur Frage nach der Bedeutung von Landmarken für das Erlernen eines Weges, den die Autoren in einer außerordentlich künstlichen experimentellen Anordnung erhoben hatten, ließ sich in einer virtuellen Umgebung, die die Versuchspersonen aktiv explorierten, replizieren. Die Ergebnisse bestätigen die eingangs formulierten Hypothesen: Landmarken dienen als Orientierungshilfen beim Erlernen eines Weges. Ein Weg mit Landmarken wird schneller gelernt als ein Weg ohne Landmarken. Dabei ist die Rolle, die die Landmarken im Wegenetz spielen, von Bedeutung: Landmarken, die in Verbindung mit einer auf das Ziel weisenden Wegabzweigung stehen, bilden im Sinne von Lynch (1960) eher strategische Knotenpunkte im Netz als andere Landmarken. Sie werden auch besser behalten als die übrigen Landmarken.

Im Gegensatz zu der experimentellen Anordnung von Cohen und Schuepfer (1980), in der die raumbezogene Information den Versuchspersonen in diskreten Schritten durch sukzessive Darbietung verschiedener Wegausschnitte vermittelt wurde, konnten Versuchspersonen den Raum in der virtuellen Realität kontinuierlich durchlaufen. Das Erlernen eines Weges in dieser Anordnung steht in deutlich engerem Zusammenhang mit dem Erwerb von Routenwissen in der Alltagsrealität.

Die experimentelle Situation hat einen eindringlichen Wirklichkeitscharakter, d.h. die Versuchspersonen sehen einen engen Zusammenhang zwischen dem Erlernen eines Weges in der Laborsituation und dem Erlernen eines Weges im Alltag - die Anordnung hat eine hohe Face-Validität für die Versuchspersonen. Gleichzeitig ermöglicht die Technik ein hohes Maß an Kontrolle in einem gleichzeitig realitätsnahen Setting und die reliable Registrierung des Orientierungsverhaltens bei der Navigation durch den Raum. Die Möglichkeiten der experimentellen Bedingungsvariation sind sehr groß, wobei sich die experimentellen Treatments (Struktur des Wegenetzes, Gestaltung der

Wege, Art und Lokalisation statischer und bewegter Objekte) softwaremäßig ohne großen zeitlichen, organisatorischen und ökonomischen Aufwand erzeugen lassen. Die hier vorgestellte Virtual-Reality-Technologie entspricht den von Goldin und Thorndyke (1982) geforderten Merkmalen eines Simulationsmediums (vgl. Seite 56). Der Einsatz der VR-Technologie erlaubt es:

1. die visuellen Details und die lokalen räumlichen Beziehungsverhältnisse schnell zu variieren.
2. dem Betrachter die Möglichkeit zu geben, mit der simulierten Umgebung zu interagieren, indem er die Wege, die Perspektiven und sein Navigationstempo selbst wählt.
3. die jeweilige virtuelle Umgebung in der Aufsicht als auch in der „Innensicht“ darzubieten.
4. die gewünschte räumliche Umgebung relativ schnell und ökonomisch zu simulieren.
5. sowohl reale wie auch fiktionale Umgebungen zu simulieren.

#### **1.4 Zusammenfassung**

Landmarken dienen als Orientierungshilfen beim Erlernen eines Weges. Dieser von Cohen und Schuepfer (1980) in einer künstlich anmutenden Versuchsanordnung gewonnene Befund konnte hier in einer virtuellen Umgebung repliziert werden. Dabei steht diese experimentelle Anordnung in engem Zusammenhang zum Erwerb des Routenwissens im Alltag; der Einsatz der VR-Technik ermöglicht gleichzeitig ein hohes Maß an Kontrolle, eine reliable Registrierung des Orientierungsverhaltens und eine ökonomische Bedingungsvariation.

Die VR-Technik wird deshalb zur Untersuchung von Fragen zur Distanzkognition eingesetzt.

## **2 Der Einfluß von Richtungsänderungen einer Route auf die Distanzkognition**

In den folgenden beiden Experimenten wird die von Sadalla und Magel (1980) formulierte Hypothese, daß die Anzahl von Richtungsänderungen einen Einfluß auf die geschätzte Länge eines Weges hat, im virtuellen Raum überprüft. Die beiden Experimente unterscheiden sich in der bei der Erfassung der Umgebungsdistanz verwendeten Methoden, im Experiment I werden die Methoden der Größenverhältnisschätzung und die der Rekonstruktion anhand von Zeichnungen, im Experiment II eine Herstellungsmethode angewendet.

Sadalla und Magel (1980) untersuchten den Einfluß von Richtungsänderungen auf Umgebungsdistanzen. Sie zeigten, daß Wege, die häufiger eine Richtungsänderung erzwangen - in diesem Fall sieben im rechten Winkel abgehende Richtungsänderungen - länger geschätzt werden als Wege, die bei gleicher Länge aus nur zwei im rechten Winkel aufeinander stehenden Segmenten bestanden. Dieses Ergebnis ist zum einen unabhängig davon, ob die Versuchspersonen die Wege in der Lernphase einmal oder dreimal abgingen, zum anderen von der zum Lernen der Wege benötigten Zeit. In einem zweiten Experiment zeigten die Autoren, daß die Anzahl der Richtungsänderungen keinen Einfluß auf die Schätzung der Dauer der gegangenen Wege hat. In einem dritten Experiment wurde nachgewiesen, daß auch ein Weg mit fünf Richtungsänderungen länger als ein Weg mit drei Richtungsänderungen geschätzt wurde und daß dieses Ergebnis von der Entfernung zwischen Start und Ziel der Wege unabhängig war. Für die Interpretation der Befunde zur Bedeutung von Richtungsänderungen für die Kognition von Distanzen stehen die Erklärungsmöglichkeiten der „Storage-Hypothese“, der „Scaling-Hypothese“, und der „Effort-Hypothese“ nebeneinander: Die *Storage-Hypothese* geht auf das Informationsspeicherungsmodell von Milgram (1973) zurück: Ein stark unterteilter Weg enthält mehr Information, bedingt eine größere Informationsverarbeitungsaktivität und produziert ein „Mehr“ an gespeicherter Information. Die Probanden schätzen komplexe Wege länger, weil sie mehr Information enthalten und somit mehr Information gespeichert werden muß. Die *Scaling-Hypothese* geht davon aus, daß rechtwinklige Abzweigungen den Weg in Segmente teilen und die wahrgenommene Länge der einzelnen Segmente additiv kombiniert wird, um den ganzen Weg zu schätzen. Bei zwei Wegen derselben objektiven Länge und gleich langer Segmente innerhalb eines Weges, die jedoch in der Anzahl der Richtungsänderungen variieren, sind notwendigerweise die Segmente des Weges mit weniger Richtungsänderungen länger. Da bei der Schätzung von Umgebungsdistanzen größere Distanzen bezogen auf ihre objektive Länge eher unterschätzt, kleinere Distanzen eher überschätzt werden (bzw. größere Distanzen stärker unterschätzt oder weniger stark überschätzt werden als kleinere Distanzen) (Dainoff et. al., 1974), werden die längeren Segmente in Relation zu den kürzeren Segmenten des Weges mit der größeren Anzahl von Richtungsänderungen „komprimiert“, d.h. die längeren Segmente

werden im Verhältnis zu den kürzeren Segmenten unterschätzt. Bei der Addition dieser komprimierten Segmente zur Schätzung der Länge des gesamten Weges wird dieser damit unterschätzt. Die „*Effort-Hypothese*“ geht davon aus, daß Versuchspersonen die Länge des gegangenen Weges aufgrund der benötigten Anstrengung beurteilen. Grundannahme ist, daß das Abgehen komplexer Wege im Vergleich zu weniger komplexen Wegen mit einer subjektiv größeren Anstrengung verbunden ist: komplexe Wege werden länger als weniger komplexe geschätzt.

Erwartet wird, daß von zwei objektiv gleich langen Wegen der Weg mit mehr Richtungsänderungen länger geschätzt wird als der Weg mit weniger Richtungsänderungen.<sup>10</sup> Die Anwendung der Herstellungsmethode im zweiten Experiment soll zudem eine Aussage über das Verhältnis der geschätzten zur objektiven Länge der Wege erlauben.

## 2.1 Methode

**Versuchspersonen:** An dem ersten Experiment nahmen 20 Studierende der Gerhard-Mercator-Universität Duisburg teil, 11 männliche (Durchschnittsalter: 27,18 Jahre) und 9 weibliche (Durchschnittsalter: 25,33 Jahre). An dem zweiten Experiment nahmen 15 Studierende der Gerhard-Mercator-Universität Duisburg teil, 13 männliche (Durchschnittsalter: 27,77 Jahre) und 2 weibliche (Durchschnittsalter: 26 Jahre).

**Versuchsmaterial:** Das Versuchsmaterial bestand in beiden Experimenten aus Wegen, die mit dem Softwareprodukt VRT 4.00 simuliert wurden. Im ersten Experiment wurden folgende vier Wege eingesetzt: Ein Weg A, der 200 Einheiten lang war und 2 Richtungsänderungen beinhaltete, ein Weg B, der ebenfalls 200 Einheiten lang war und 7 Richtungsänderungen umfaßte, ein gerader, 100 Einheiten langer Weg C und ein gerader 300 Einheiten langer Weg D. Im zweiten Experiment fehlte der Weg C. Die Wege A-C glichen in der Obenaufsicht den Wegen aus der Originalstudie von Sadalla und Magel (1980), die in Abbildung 9 verdeutlicht sind.

---

<sup>10</sup> Wenn hier die Begriffe der Richtungsänderung und der rechtwinkligen Abzweigung verwendet werden, sind immer die Örter gemeint, die durch eine Richtungsänderung oder durch eine rechtwinklige Abzweigung bestimmt sind.

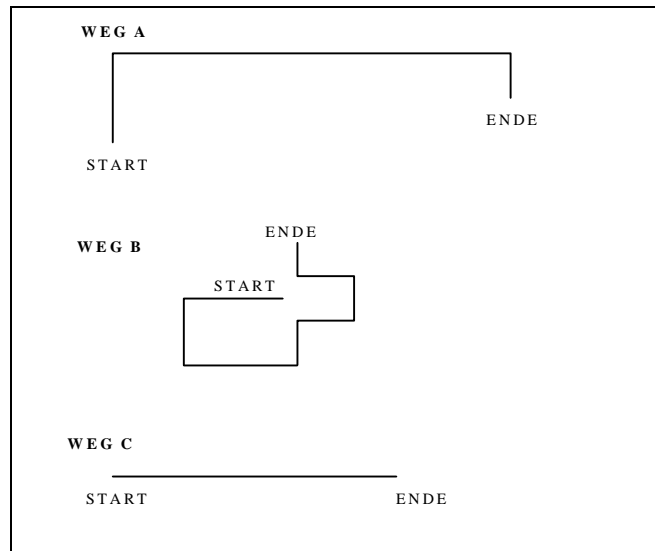


Abb. 9: Abbildung der Wege in der Obenaufsicht

Abbildung 10 zeigt eine Ansicht des Monitorbildes beim Start eines Experimentes.

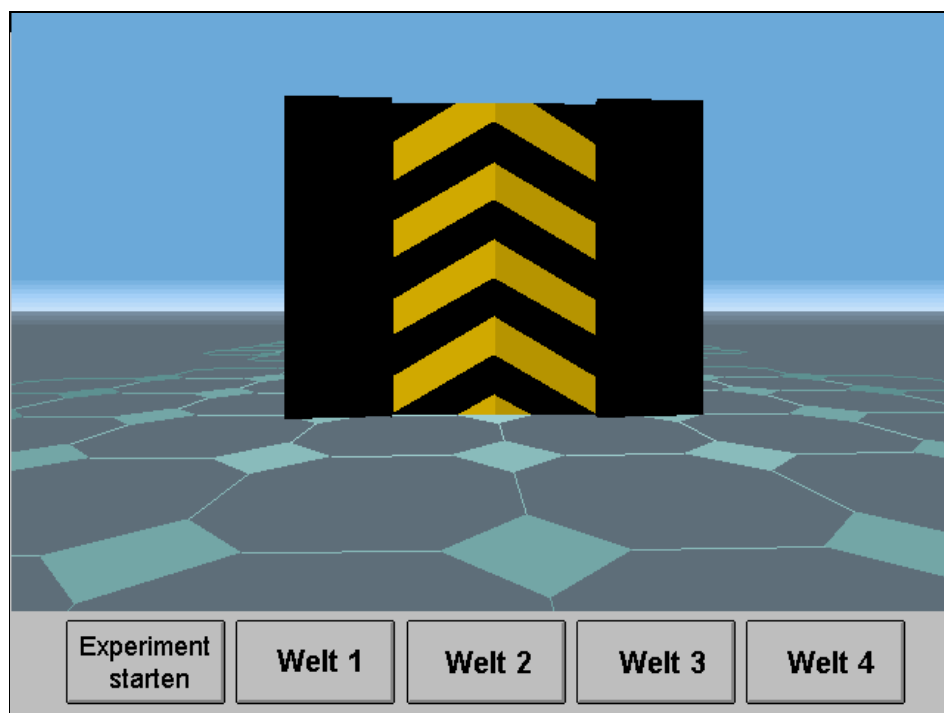


Abb. 10: Ansicht des Monitorbildes beim Start eines Experimentes

In der Ansicht des Anfangsbildes beim Start eines Experimentes ist eine Tür zu sehen, die den Blick auf - in diesem Fall - Weg C versperrt. Die Felder in der Menüleiste ermöglichen ein problemloses Starten des Experimentes und ein Umschalten zwischen den einzelnen Wegen, die hier mit Welten bezeichnet wurden.

Welt 1 bezeichnet hier den Weg A, Welt 2 den Weg B usw.. Im Unterschied zu der Studie von Sadalla und Magel (1980) wurden in der virtuellen Umgebung die Wege mit Bodenfliesen simuliert.

Die Versuchspersonen saßen vor einem 17 Zoll-Monitor und erlernten die Wege durch aktives Navigieren mit dem Joystick.

Im ersten Experiment erhielten die Versuchspersonen einen Protokollbogen. Auf diesem Protokollbogen war eine waagerechte Linie eingezeichnet, auf welcher der Weg C mit X für den Start und Y für das Ende abgetragen war. Dieser Weg C entsprach etwa einem Drittel der gesamten waagerechten Linie.

**Versuchsablauf:** Der Versuch fand in Einzelsitzungen statt, die ca. 20 Minuten dauerten. Zunächst erhielten die Studierenden - die alle bereits mit dem Umgang mit einem Joystick vertraut waren - in einer virtuellen Übungswelt die Möglichkeit, sich mit der Einstellung des Joysticks bzgl. der Rotations- und Translationsmöglichkeit vertraut zu machen. Die virtuelle Übungswelt bestand aus einer Kombination von Räumen.

Im ersten Experiment wurden die Studierenden instruiert, die drei Wege A - C jeweils einmal hin- und zurück- zu explorieren, wobei die Reihenfolge der Exploration der Wege A und B variierte; der Weg C wurde jeweils zuletzt exploriert. Die für das Gehen der Wege benötigte Zeit wurde registriert. Die sich anschließende Testphase bestand aus zwei Teilen: Zuerst wurden die Probanden gebeten, auf dem Protokollbogen, auf dem der Startpunkt mit X gekennzeichnet war, die Länge der Wege A und B in Relation zum eingetragenen Weg C abzutragen.

Es handelt sich dabei um eine Größenverhältnisschätzung, die eine Rekonstruktion der Wege auf einem eindimensionalen Format verlangt. Sadalla und Magel (1980) sprechen von der Anwendung einer „*Method of reproduction*“, dieser Begriff wird jedoch im Rahmen dieser Arbeit einer nicht-symbolischen Schätzung vorbehalten (vgl. Seite 49). Die mit dieser Art der Größenverhältnisschätzung gewonnenen Schätzungen werden in mm gemessen.

Weiterhin wurden die Probanden aufgefordert, die Wege A und B auf einem weißen Din-A4-Blatt zu zeichnen, die gezeichnete Länge wurde in Millimetern gemessen. Nach Beendigung der Zeichenaufgabe explorierten die Versuchspersonen entweder den Weg A oder den Weg B ein zweites Mal. Daran schloß sich die Aufgabe an, die Dauer des Weges A oder B zu schätzen: Sie gingen den Weg D (Welt 4) so lange,

wie ihrer Meinung nach der Weg A bzw. B gedauert hatte. Der Weg D, der in der Gestaltung den Wegen A und B entsprach, ist in Abbildung 11 verdeutlicht.

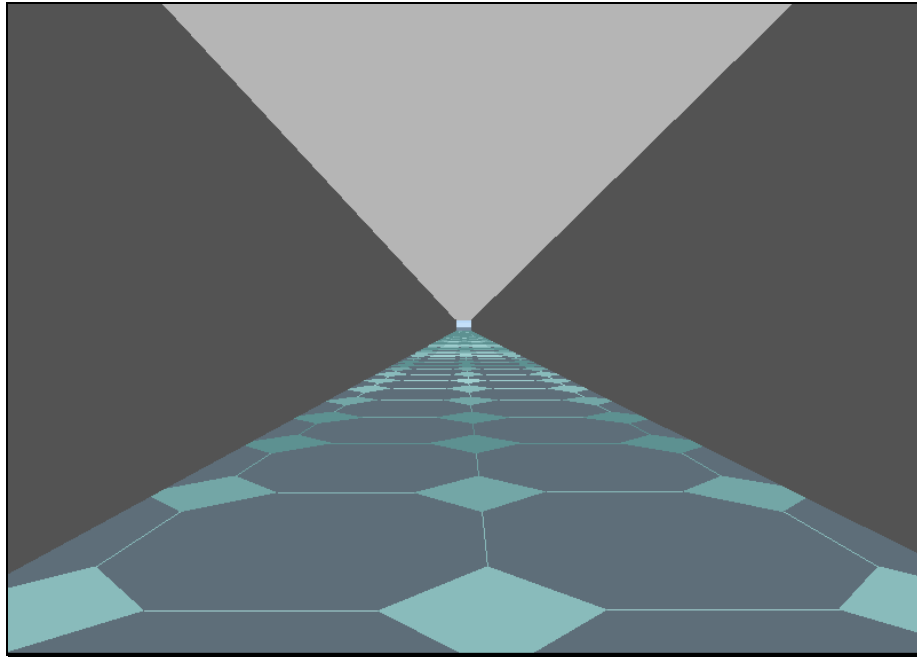


Abb. 11: Einblick in die Gestaltung des Weges D

Im zweiten Experiment wurden die Studierenden aufgefordert, die Wege A und B hintereinander zu explorieren, wobei die Reihenfolge der Darbietung der Wege ebenfalls ausbalanciert wurde.

In der anschließenden Testphase wurden die Probanden aufgefordert, den Weg D soweit zu gehen, bis sie meinten, die Länge der beiden Wege gegangen zu sein: Sie sollten die Escape-Taste drücken, wenn sie meinten, die Länge des kürzeren Weges gegangen zu sein und dann, wenn notwendig, weitergehen und wiederum die Escape-Taste drücken, wenn sie meinten, nun den Rest der Länge des anderen Weges gegangen zu sein. Sie wurden darauf hingewiesen, daß es sich um eine Schätzung der Länge der Wege handelte.

**Versuchsplan:** Beiden Experimenten liegt ein einfaktorieller Versuchsplan mit Meßwiederholungen auf dem Faktor A „Art der Wege“ (A1: Weg A mit 2 Richtungsänderungen, A2: Weg B mit 7 Richtungsänderungen) zugrunde. Die abhängigen Variablen im ersten Experiment waren AV1: geschätzte Länge der Wege; AV2: gezeichnete Länge der Wege; AV3: hergestellte Dauer der zurückgelegten Wege; die abhängige Variable AV4 im zweiten Experiment war die hergestellte Länge des in der Testphase gegangenen Weges.



## 2.2 Ergebnisse

Im ersten Experiment wurden die auf dem Protokollbogen gezeichneten Längen der Wege A und B in Millimetern gemessen. Bei der zeichnerischen Rekonstruktion wurde die Länge der Wege in Millimetern und darüber hinaus die Anzahl und die Ausrichtung der eingezeichneten Richtungsänderungen erfaßt. Bei der Anwendung der Herstellungsmethode wurde die **Zeit** für die Rekonstruktion des Weges in Sekunden gemessen.

Im zweiten Experiment wurde die **Länge** des hergestellten Weges in Einheiten des Software-Programmes berechnet und in prozentuale Relation zur objektiven Länge des jeweils hergestellten Weges gesetzt.

Abbildung 12 zeigt die durch eine Verhältnisschätzung erhobenen Mittelwerte und den Standardfehler der geschätzten Weglängen in Millimetern (Experiment I).

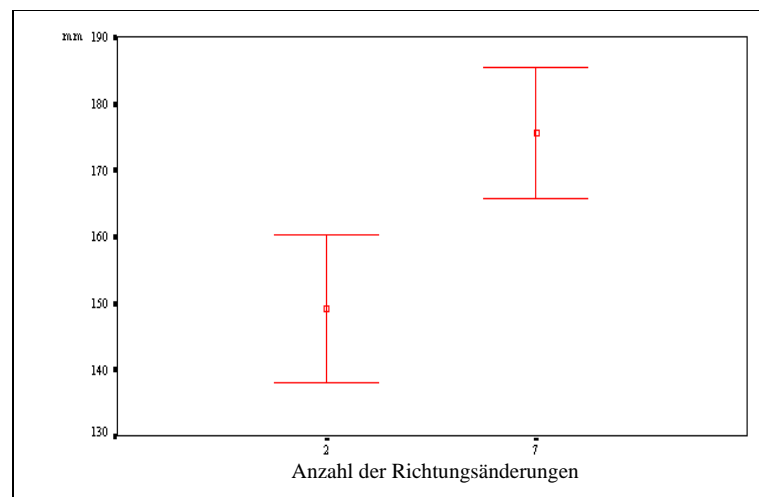


Abb. 12: Mittelwerte und Standardfehler der geschätzten Weglängen in mm in Abhängigkeit von der Anzahl der Richtungsänderungen (Anwendung der Größenverhältnisschätzmethode)

Aus der Abbildung 12 wird deutlich, daß der Weg A mit zwei Richtungsänderungen kürzer geschätzt wird als der Weg B mit sieben Richtungsänderungen (Weg A:  $\bar{x} = 149,25\text{mm}$ ,  $s_{\bar{x}} = 11,08$ , Weg B:  $\bar{x} = 175,6\text{mm}$ ,  $s_{\bar{x}} = 9,86$ ). Der Unterschied erweist sich als signifikant ( $t_{(19)} = 2,94$ ,  $p < .005$ ).

Die folgende Abbildung (Abb. 13) zeigt die Mittelwerte und den Standardfehler der gezeichneten Weglängen in Millimetern (Experiment I).

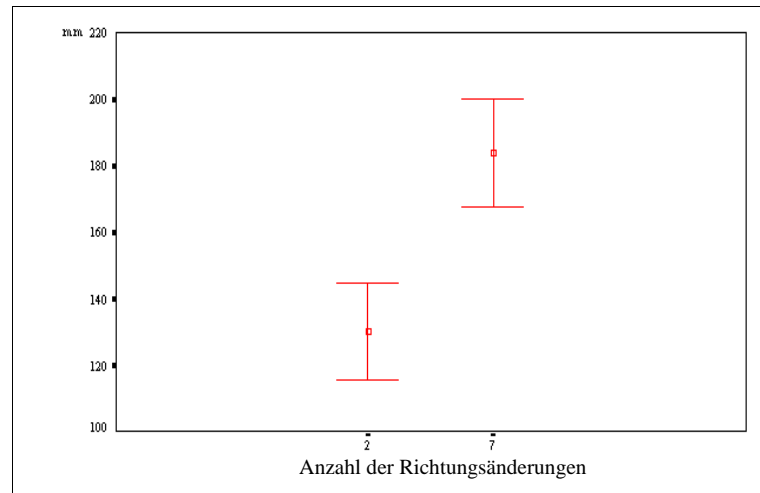


Abb. 13: Mittelwerte und Standardfehler der gezeichneten Weglängen in mm in Abhängigkeit von der Anzahl der Richtungsänderungen (Anwendung der Zeichenmethode)

Aus der Abbildung 13 läßt sich entnehmen, daß der Weg A mit zwei Richtungsänderungen kürzer geschätzt wird als der Weg B mit sieben Richtungsänderungen (Weg A:  $\bar{x} = 130,25\text{mm}$ ,  $s_{\bar{x}} = 14,65$ , Weg B:  $\bar{x} = 183,85\text{mm}$ ,  $s_{\bar{x}} = 16,16$ ). Der Unterschied erweist sich als signifikant ( $t_{(19)} = 2,87$ ,  $p = 0,005$ ).

Abbildung 14 zeigt die Mittelwerte der Länge der gegangenen Wege A und B in Relation zur physikalischen Länge (Experiment II).

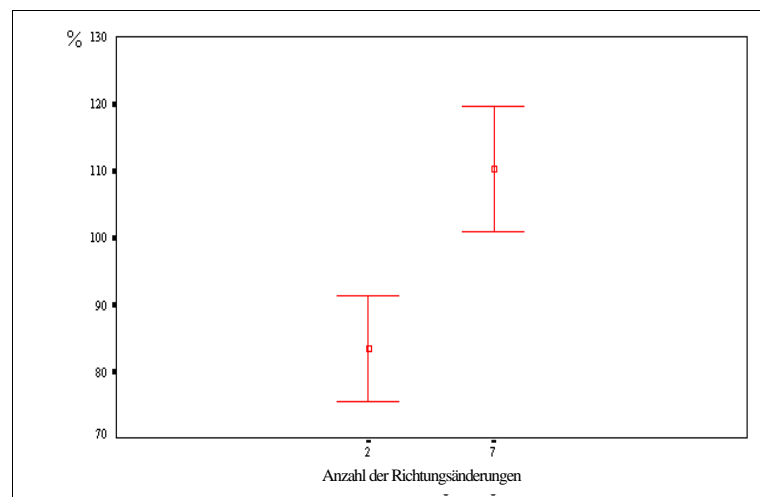


Abb. 14: Länge des gegangenen Weges in Relation zur objektiven Weglänge in %. Mittelwerte und Standardfehler in Abhängigkeit von der Anzahl der Richtungsänderungen

Die Ergebnisse verdeutlichen, daß auch bei Anwendung der Herstellungsmethode der Weg A mit weniger Richtungsänderungen kürzer geschätzt wird als der Weg B mit mehr Richtungsänderungen (Weg A:  $\bar{x} = 2,7 \cdot 10^6$  Einheiten,  $s_{\bar{x}} = 0,8 \cdot 10^5$ ; Weg B:

$\bar{x} = 3 \cdot 10^6$  Einheiten,  $s \bar{x} = 0,9 \cdot 10^5$ ). Dieser Unterschied erweist sich als signifikant ( $t_{(14)} = 3,56$ ,  $p < .005$ ). Darüber hinaus zeigt die Abbildung, daß die Länge des Weges A im Verhältnis zur objektiven Länge des Weges unterschätzt, der Weg B im Verhältnis zur objektiven Länge überschätzt wird (Weg A:  $\bar{x} = 83,5\%$ ,  $s \bar{x} = 7,92$ ; Weg B:  $\bar{x} = 110,35\%$ ,  $s \bar{x} = 9,35$ ).

Bei beiden Experimenten hatte die Reihenfolge der Darbietung der zu lernenden Wege keinen Einfluß auf die Längenschätzungen. Im ersten Experiment zeigte sich kein Einfluß des Geschlechts auf die Schätzung der Weglänge, so daß bei der Auswahl der Versuchspersonen im zweiten Experiment die Geschlechtszugehörigkeit als Zuordnungskriterium vernachlässigt wurde.

Betrachtet man die Zeit, die die Studierenden benötigten, um die beiden Wege A und B zu explorieren, zeigte sich sowohl im ersten Experiment ein signifikanter Unterschied ( $t_{(19)} = 4,03$ ,  $p = .001$ ) in der benötigten Zeit, die beiden Wege zu durchlaufen (Weg A:  $\bar{x} = 55,21$  sec,  $s \bar{x} = 0,22$ ; Weg B:  $\bar{x} = 57,14$  sec,  $s \bar{x} = 0,52$ ) als auch im zweiten Experiment ( $t_{(19)} = 4,64$ ,  $p < .001$  mit Weg A:  $\bar{x} = 55,24$  sec,  $s \bar{x} = 0,28$ ; Weg B:  $\bar{x} = 58,24$  sec,  $s \bar{x} = 0,74$ ). Dieser Unterschied scheint ein methodisches Artefakt zu sein, da die eingestellte Rotationsgeschwindigkeit dazu führte, daß für die Exploration des Weges mit mehr Richtungsänderungen längere Zeit benötigt wurde.

Um den Einfluß dieses methodischen Artefaktes auszuschließen, stellt sich die Frage nach einem Zusammenhang zwischen der unterschiedlichen Längenschätzung der Wege A und B und der unterschiedlichen Explorationszeit. Ein positiver linearer Zusammenhang bestände dann, wenn die Überschätzung des Weges B im Verhältnis zum Weg A mit einer größeren Explorationszeit des Weges B (wiederum im Verhältnis zum Weg A) einherginge. In diesem Fall ließe sich die Überschätzung des Weges B im Verhältnis zum Weg A nicht allein auf die unterschiedliche Anzahl von Richtungsänderungen zurückführen.

Zur Untersuchung dieses Zusammenhanges wurden die Differenzen zwischen den geschätzten Längen der Wege A und B mit den Differenzen der für die Exploration der Wege benötigten Zeiten korreliert. Es zeigte sich kein Zusammenhang zwischen den verschiedenen Längenschätzungen und der benötigten Explorationszeit (bei Anwendung der Verhältnisschätzung:  $r = .19$ ,  $p = .416$ ; bei Anwendung der Zeichenmethode:  $r = .16$ ,  $p = .494$  und bei Anwendung der Herstellungsmethode:  $r = .01$ ,  $p = .971$ ).

Die Auswertung der im Anschluß an die räumlichen Längenschätzungen abgegebene Herstellung der Wegzeit im ersten Experiment zeigte, daß die Wege A und B annähernd gleich lang geschätzt wurden (Weg A:  $\bar{x} = 51,2 \text{ sec}$ ,  $s \bar{x} = 1,8$ ; Weg B:  $\bar{x} = 49,14 \text{ sec}$ ,  $s \bar{x} = 2,15$ ). Beide Wege werden gegenüber der tatsächlichen für das Zurücklegen der Wege benötigten Zeit unterschätzt.

Die Analyse der Anzahl der eingezeichneten Richtungsänderungen bei der Zeichenaufgabe zeigt im Durchschnitt eine relativ genaue Wiedergabe der richtigen Anzahl von Richtungsänderungen: Der Weg A mit zwei Richtungsänderungen wurde im Durchschnitt mit  $\bar{x} = 2,3$  ( $s \bar{x} = 0,32$ ,  $\text{max}=8$ ,  $\text{min}=0$ ) Richtungsänderungen gezeichnet, der Weg B mit sieben Richtungsänderungen mit  $\bar{x} = 7,4$  ( $s \bar{x} = 0,6$ ,  $\text{max}=14$ ,  $\text{min}=4$ ) Richtungsänderungen. 70% der Versuchspersonen schätzten die Anzahl der Richtungsänderungen des Weges A korrekt im Gegensatz von nur 20% der Probanden, die die richtige Anzahl von Richtungsänderungen des Weges B wiedergaben. Bei der Analyse der Ausrichtung der Richtungsänderungen wurden nur die Zeichnungen der Versuchspersonen berücksichtigt, die die richtige Anzahl von Richtungsänderungen wiedergegeben hatten: Für den Weg A wurde die richtige Reihenfolge der Ausrichtung - zwei aufeinanderfolgende rechte Abbiegungen - von 85,7% der berücksichtigten Versuchspersonen, 60% der Gesamtpopulation, richtig wiedergegeben. Die richtige Reihenfolge der Ausrichtung der Richtungsänderungen (links-links-links-rechts-links-links-rechts) für den Weg B wurde von keiner Versuchsperson erinnert.

### **2.3 Diskussion**

Die Ergebnisse stehen im Einklang mit den oben formulierten Befunderwartungen: Ein Weg mit einer größeren Anzahl durch Richtungsänderungen bestimmter Örter wird länger geschätzt als ein gleich langer Weg mit einer geringeren Anzahl durch Richtungsänderungen bestimmter Örter.

Im Gegensatz zu der Originaluntersuchung von Sadalla und Magel (1980) zeigte sich ein signifikanter Unterschied in der zur Exploration der Wege benötigten Zeit, wobei dieser Unterschied in keinem korrelativen Zusammenhang zu der unterschiedlichen Schätzung der Länge der Wege A und B stand. Die Anzahl von Richtungsänderungen - nicht die benötigte Wegzeit dienen als Heuristiken, um die Weglängen zu schätzen (vgl. Montello, 1995 und Seite 30). Neben der benötigten Wegzeit kann auch die Anstrengung als ein Einflußfaktor auf die Schätzung der Weglängen ausgeschlossen

werden. Alle Versuchspersonen waren mit der Handhabung des Joysticks vertraut, so daß sie keinen Unterschied in der benötigten Anstrengung erlebten, den Weg mit zwei bzw. sieben Richtungsänderungen zurückzulegen.

Durch den Ausschluß der erlebten Anstrengung als möglichen Einflußfaktor kann auch die *Effort-Hypothese* für die Erklärung der Befunde vernachlässigt werden. Eine Aussage über die Gültigkeit der *Scaling-Hypothese* kann anhand der hier gewonnenen Daten nicht getroffen werden. Die Versuchspersonen waren nicht in der Lage, den Weg mit sieben Richtungsänderungen korrekt zu zeichnen, so daß eine Aussage bzgl. einer „Komprimierung“ der längeren Segmente des Weges A in Relation zu den kürzeren Segmenten des Weges B nicht möglich ist. Aufgrund des Ergebnisses, daß die Versuchspersonen die Anzahl der Richtungsänderungen der beiden Wege A und B annähernd genau geschätzt haben und unter der Annahme, daß ein Weg mit mehr Richtungsänderungen mehr Information enthält, ist die Gültigkeit der *Storage-Hypothese* anzunehmen: Die Versuchspersonen schätzen den komplexen Weg B länger, da sie mehr Informationen gespeichert haben. Dabei muß die Annahme, daß ein Weg mit mehr Richtungsänderungen auch mehr Information enthält, kritisch hinterfragt werden. Meines Erachtens läßt sich anhand der Ergebnisse dieser Experimente allein die Feature-Akkumulationshypothese bestätigen: Ein Weg mit mehr Features (hier in Form von durch Richtungsänderungen markierten Örtern) wird länger geschätzt als ein Weg mit weniger Features.

Bei der Erhebung der subjektiven Wegzeit zeigte sich kein Unterschied zwischen der Schätzung der beiden Wege A und B. Dies steht im Einklang zu weiteren Untersuchungen von Sadalla und Magel (1980), widerspricht jedoch zunächst Ergebnissen, die innerhalb der Zeitforschung gewonnen wurden: Ein Intervall größeren Informationsgehaltes wird zeitlich länger geschätzt als ein Intervall geringeren Informationsgehaltes (vgl. Ornstein, 1969 und Seite 45). Poynter (1989) konnte jedoch zeigen, daß nur bei objektiv kurzen Zeitintervallen (< 10 Sekunden) gefüllte gegenüber leeren Intervallen überschätzt werden, bei der Schätzung längerer Zeitintervalle kann sich dieser Zusammenhang umkehren (vgl. Zakay, 1989). Die Schätzung eines Zeitintervalls ist jedoch nicht nur von der objektiven Länge des Zeitintervalls und der Existenz von Ereignissen in diesem, sondern z.B. auch von der Art der Anweisung - retrospektiv vs. prospektiv - (vgl. Zakay, Tsal, Moses und Shahar, 1994 und Seite 45) oder der Diskretheit der Ereignisse abhängig (Poynter, 1989): „... *duration judgments are a function of (1) the number of perceived events (both sensory and organismic) (2) the discreteness of the events, and (3) how memorable the events are - this in turn will depend on how easily the pattern of*

events can be „chunked“ or reduced for efficient storage and retrieval“ (Poynter, 1989, S. 313). Die gleiche subjektive Wegzeit der Wege A und B kann vielleicht dadurch erklärt werden, daß sich die Wege zwar in der wahrgenommenen und gespeicherten Anzahl von Ereignissen (hier auftretende Richtungsänderungen), nicht aber in der Art der Ereignisse unterscheiden. Bei der Herstellung der Wegzeit ist damit nur das erlebte Zeitgefühl, nicht aber das Auftreten der Richtungsänderungen von Bedeutung.

Es sei darauf verwiesen, daß im Unterschied zu der Originalstudie von Sadalla und Magel (1980), in welcher die Versuchspersonen die Dauer der gelernten Wege im Verhältnis zu einer 20 Sekunden dauernden Geräuscharbietung einstellen mußten, die Studierenden im vorliegenden Experiment aufgefordert wurden, so lange zu gehen, wie sie meinten, der Weg A bzw. B gedauert habe. Es handelt sich also um eine Schätzung des Zeitgefühls im selben Raum, wobei auch bei der Zeitschätzung der Weg fokussiert wurde.

Die subjektive Wegzeit im ersten Experiment wurde genau wie die geschätzte Länge der Wege im zweiten Experiment mit einer Herstellungsmethode erfaßt. Die Anwendung der Herstellungsmethoden unterschieden sich jedoch dadurch, daß die Versuchspersonen im ersten Experiment nur **einen** Weg zeitlich schätzen, während sie im zweiten Experiment **zwei** Wege räumlich schätzen mußten. Im ersten und zweiten Experiment waren die Versuchspersonen auf ihr subjektives Zeitgefühl angewiesen, das zweite Experiment implizierte jedoch noch vor Beginn der Aufgabe eine Entscheidung über das Längenverhältnis der beiden Wege, welche aufgrund der Anzahl der Richtungsänderungen getroffen wurde (siehe oben). Damit läßt sich meines Erachtens im zweiten Experiment die räumliche Schätzung schwer von einer zeitlichen trennen.

Aus diesem Grunde ist es schwierig, die Distanz- und Dauerschätzung zu vergleichen und eine generelle Aussage über das Verhältnis beider Schätzungen zueinander zu treffen. Ein Vergleich würde sich dann anbieten, wenn auch im ersten Experiment die Herstellung **beider** Wegzeiten erfolgt wäre.

Die Ergebnisse bestätigen die Hauptbefunde der Untersuchung von Sadalla und Magel (1980) in einer virtuellen Umgebung. Die Versuchspersonen hatten in der Originalstudie die Möglichkeit, den zu lernenden Weg visuell und durch ihre Eigenbewegung wahrzunehmen, in dem hier vorgestellten Experiment fehlte die Eigenbewegung. Der Weg wurde nur durch den optischen Fluß sukzessiv erfaßt, die Route entspricht damit einer Gradientensequenz (Herrmann et al., 1997). Die Übereinstimmung weist darauf hin, daß die Untersuchung von Einflußfaktoren auf die Distanzkognition unabhängig davon ist, ob die Distanzen nur visuell oder visuell

und propriozeptiv erfahren werden, d.h. die Route eine Gradienten- oder Blick- und Bewegungssequenz ist.

Daß die Leistung bei der Lösung bestimmter räumlicher Aufgaben nicht unabhängig von der Art der Wahrnehmung ist, wiesen May, Wartenberg und Péruch (1997) nach: Bei den von ihnen durchgeführten Homing-Experimenten spielt die visuelle gegenüber der propriozeptiven Kodierung eine untergeordnete Rolle, wobei dies im besonderen Maße für die Untersuchungen zum Richtungswissen gilt. So konnte gezeigt werden, daß die Leistung, eine bestimmte Richtung einzuschlagen, unter rein visuellen Bedingungen schlechter als unter rein propriozeptiven Bedingungen ist (vgl. May, Wartenberg & Péruch, 1997 und Seite 72).

Es stellt sich die Frage, ob sich der Einsatz virtueller Umgebungen - zumindest solange es sich um den Einsatz von „Desktop-VR“ handelt - nur für die Untersuchung bestimmter Fragestellungen eignet: Aufgrund der schlechten Orientierungsleistung unter rein visuellen Bedingungen muß die Verwendung virtueller Umgebungen bei der Untersuchung von Orientierungsleistungen eher vorsichtig betrachtet werden, während die in virtuellen Umgebungen durchgeführte Untersuchung der Bedeutung von Einflußfaktoren auf die Distanzkognition mit weniger Problemen behaftet zu sein scheint: Obwohl den Versuchspersonen in den beiden dargestellten Experimenten die Möglichkeit zur Eigenbewegung fehlte, konnte der Einfluß von Richtungsänderungen auf die Distanzkognition auch unter rein visuellen Bedingungen nachgewiesen werden.

Dies wird auch durch eine neuere Untersuchung von Richardson, Montello und Hegarty (im Druck) bestätigt: Sie konnten zeigen, daß unabhängig davon, wie die räumlichen Gegebenheiten gelernt wurden (Lernen in einer realen Umgebung vs. Lernen in einer Desktop virtuellen Umgebung), es keinen Unterschied in der Leistung gab, Routendistanzen zu schätzen.

In den beiden Experimenten wurden insgesamt drei verschiedene Distanzschätzmethoden angewendet. Bei den im ersten Experiment angewandten Methoden handelt es sich um die Methoden der Größenverhältnisschätzung und der Rekonstruktion in Form einer Zeichenaufgabe, die einen Abruf der Längenschätzung des Weges in einem zweidimensionalen Format bedingen. Ein Nachteil dieser Methoden ist es, daß die geschätzten Distanzen nur miteinander verglichen werden können, daß aber keine Aussage über eine Über- bzw. Unterschätzung im Bezug auf

die objektive Länge der gelernten Wege gemacht werden kann. Diese Möglichkeit bietet die im zweiten Experiment angewendete Herstellungsmethode, die das räumliche Wissen in dem Raum abfragt, indem es erworben wurde. Bislang wurde diese Methode wenig eingesetzt, da ihr Einsatz sich in einem Umgebungsraum aufgrund der langen Entfernungen als nicht ökonomisch erwies (vgl. Montello, 1991 und Seite 51).

Die Virtual-Reality-Technik bietet jedoch jetzt die Möglichkeit, Raumerfahrungen auch bei großen Distanzen direkt zu messen und Aussagen über die Beziehung zwischen der geschätzten und der objektiven Distanz bzw. Weglängen zu treffen. Dies steht im Gegensatz zu anderen Methoden, bei welchen die Schätzungen nur untereinander verglichen werden können (vgl. Montello, 1991). Durch die Nutzung der VR-Technik und den ökonomischen Einsatz der Herstellungsmethode wird damit die Aussagefähigkeit des Laborexperimentes erweitert.

Hierbei muß sicherlich der Vergleich von „großen“ Distanzen in virtuellen und realen Umgebungen kritisch diskutiert werden: Bei der Exploration einer realen Stadt bedingt das Zurücklegen einer langen Strecke einen höheren Energie- und Zeitaufwand, während hingegen die Exploration einer langen Strecke in einer virtuellen Umgebung kaum mehr Energie bedarf. Erst Untersuchungen, die das Verhalten in realen und virtuellen Umgebungen systematisch vergleichen, geben Aufschluß darüber, welche Implikationen die Verwendung der Begriffe z.B. „nah-entfernt“ in einer virtuellen Umgebung mit sich bringt.

## **2.4 Zusammenfassung**

Der in realen Umgebungen gewonnene Befund, daß Richtungsänderungen die Distanzkognition beeinflussen, konnte auch in einer virtuellen Umgebung gewonnen werden: Von zwei objektiv gleich langen Wegen wird der Weg mit mehr Richtungsänderungen länger geschätzt als der Weg mit weniger Richtungsänderungen. Dieser Einfluß ist unabhängig von der für das Zurücklegen der Wege benötigten Zeit und Anstrengung.

Durch den Einsatz der VR-Technik bot sich die ökonomische Anwendung der Herstellungsmethode bei der Schätzung der Distanzen an. Aufgrund der Anwendung einer Herstellungsmethode, die sich gerade bei dem Einsatz virtueller Umgebungen



anbietet, konnte gezeigt werden, daß Wege mit mehr Richtungsänderungen eher überschätzt, Wege mit weniger Richtungsänderungen im Verhältnis zur objektiven Länge dieser Wege eher unterschätzt werden. Der Einsatz virtueller Umgebungen ist demnach nicht nur besonders ökonomisch, sondern hierdurch wird auch die ökologische Validität laborexperimenteller Untersuchungen erhöht; dies ist ein Grund, sie bei weiteren Untersuchungen zu Fragen der Distanzkognition einzusetzen.

### **3 Der Einfluß der Gestaltung einer Route auf die Distanzkognition**

Über die Bedeutung von Gestaltungsmerkmalen einer Route auf die Distanzkognition sind zwei unterschiedliche Hypothesen formuliert worden, die **Feature-Akkumulationshypothese** und die **Routen-Segmentierungshypothese**. Nach der Feature-Akkumulationshypothese bestimmt die Anzahl der Features auf einer Strecke die Distanzkognition. Hierbei ist es von geringer Bedeutung, welche Rolle die Features entlang der Route einnehmen. Anders ist dies bei der Routen-Segmentierungshypothese. Zunächst ist die Segmentierung einer Strecke auch ein Feature, wobei dem Feature jedoch eine besondere Rolle bzw. Funktion zugesprochen wird: Die Routen-Segmentierungshypothese besagt, daß die geschätzte Distanz zwischen zwei ausgegliederten, durch Segmentierungen getrennten Einheiten größer ist als eine objektiv gleich lange Distanz zwischen zwei Punkten innerhalb jeder dieser Einheiten.

Die anschauliche Gliederung einer Route kann jedoch nicht nur durch die Existenz eines bestimmten Features bestimmt sein, sondern auch durch die Gruppierung vorhandener Features. Wenn eine Strecke durch ein bestimmtes Feature gegliedert wird, werde ich von einer Gliederung sprechen, die durch eine Segmentierung bzw. durch ein segmentierendes Feature induziert wird. Daneben gibt es noch die durch die Gruppierung von Features bestimmte Gliederung.

Die Features im allgemeinen und die zur Gliederung beitragenden Features, d.h. die segmentierenden Features, entlang der Route bestimmen immer auch einen Ort. Örter können dabei zum einen durch visuell wahrnehmbare Features, z.B. „der Ort an der ersten Querstraße oder am zweiten Haus“, zum anderen aber auch durch andere Markierungen bestimmt sein, z.B. „da, wo sich die Richtung des Weges ändert“ (vgl. Herrmann et al., 1997). Gerade die vorangehend dargestellten Experimente haben deutlich belegt, daß die Örter, die durch ein Merkmal bestimmt sind, einen Einfluß auf die Distanzkognition haben: Ein Weg mit mehr Richtungsänderungen wird länger geschätzt als ein gleich langer Weg mit weniger Richtungsänderungen.

Dieses Ergebnis steht im Einklang zu Befunden von Allen und Kirasic (1985). Sie konnten ebenfalls zeigen, daß Örter, die eine Route segmentieren, die Distanzkognition beeinflussen: In einem ersten Experiment wurden die Probanden aufgefordert zu beurteilen, an welchen Stellen eines ihnen

unbekannten Straßenzuges sie Gliederungen vornehmen würden. Ein 1000 Meter langer Weg, der durch eine abwechslungsreiche städtische Gegend führte, wurde den Versuchspersonen anhand einer automatischen Projektion von 60 Dias dargeboten. Die Probanden sahen Segmentgrenzen an den Stellen, die sich landschaftlich voneinander unterschieden oder an denen sich entlang des Weges Örtler befanden, die durch markante Objekte auffielen (z. B. durch eine Querstraße). In einem zweiten Experiment sollten die Probanden die relativen Entfernungen verschiedener Örtler entlang des Weges zu einem Referenzort bestimmen. Mittels der Methode der Größenverhältnisschätzung und dem Vergleich der Nähe zweier Örtler zu einem Referenzort wurden die Distanzschätzungen verlangt. Dabei handelte es sich um Schätzungen von Strecken innerhalb von Segmenten (intra-segmentale Schätzung) und über Segmentgrenzen (inter-segmentale Schätzung) hinweg, wobei die unterschiedlichen Entfernungsverhältnisse von dem Referenzort zu den Vergleichsörtern variiert wurden. Es zeigte sich, daß die inter-segmentale Schätzung größer als die intra-segmentale Schätzung war. In einem dritten Experiment sah eine andere Versuchspersonengruppe dieselbe Diafolge. Die Distanzschätzung in diesem Experiment erfolgte von einem Referenzort am Anfang des Weges zu einem jeweils festgelegten Ort entlang des Weges. Es zeigte sich, daß Strecken über Segmentgrenzen hinweg um so länger geschätzt wurden, je mehr Segmentgrenzen die Strecken enthielten. Auch Sadalla und Staplin (1980b) untersuchten den Einfluß der Anzahl von abgehenden Querstraßen bzw. Kreuzungen auf die Distanzkognition. Sie konnten zeigen, daß ein Weg, der mehr Kreuzungen enthielt, länger geschätzt wurde als ein Weg mit weniger Kreuzungen. Dies ließ sich sowohl in einer laborexperimentellen als auch in einer feldexperimentellen Anordnung feststellen, wobei in der feldexperimentellen Untersuchung eine größere Anzahl von Kreuzungen mit einer größeren Menge an Information in Form erhöhten Verkehrs, kommerzieller Gebäude, Ampeln etc. verbunden war. Der Einfluß der Anzahl von Kreuzungen war in der laborexperimentellen Anordnung unabhängig davon, wie viele Wege jeweils an einer Kreuzung abgingen. Sadalla und Staplin (1980b) diskutierten ihre Befunde im Rahmen der Routen-Segmentierungshypothese und Feature-Akkumulationshypothese: Bei der Diskussion der Ergebnisse im Rahmen der Routen-Segmentierungshypothese wird davon ausgegangen, daß stark segmentierte Wege länger geschätzt werden als weniger segmentierte; die Erklärung der Befunde im Rahmen der Feature-Akkumulationshypothese und unter Berücksichtigung des Informationsspeicherungsmodells von Milgram (1973) stützt sich auf die Annahme, daß ein Weg mit einer größeren Anzahl von Kreuzungen aufgrund des größeren Informationsgehaltes länger geschätzt wird als ein Weg mit geringem Informationsgehalt. Beide Hypothesen können zur Erklärung der Befunde herangezogen werden: eine größere Anzahl von Kreuzungen bringt eine höhere Segmentierung und einen höheren Informationsgehalt mit sich. Der Befund, daß die Anzahl abgehender Wege an einer Kreuzung keinen Einfluß auf die Schätzung der Länge des gesamten Weges hat, deutet darauf hin, daß die Segmentierung und nicht die Informationsmenge von hervorragender Bedeutung ist. Hierbei muß jedoch die Frage gestellt werden, ob diese zusätzliche Information - Anzahl der abgehenden Wege an den Kreuzungen - von den Versuchspersonen wahrgenommen und mental repräsentiert wurde.

Im Laufe der Darstellung ist mit dem Begriff „Feature“ auch immer gleichzeitig der durch das Feature bestimmte bzw. markierte Ort gemeint gewesen. An die Studie von Sadalla und Staplin (1980b) anknüpfend stellt sich jetzt die Frage, weshalb ein Feature die Distanzkognition beeinflusst: Aufgrund seiner Funktion, die Route bzw. Strecken entlang der Route zu gliedern oder allein aufgrund des durch seine Existenz bestimmten Informationsgehaltes? Die Rolle, die verschiedene Arten von Features auf die mentale Repräsentation des Weges und insbesondere auf die Distanzkognition spielen, wird in den folgenden Experimenten untersucht.

### **3.1 Der Einfluß verschiedenartiger Features auf die Distanzkognition**

Ziel ist es zu ermitteln, ob allein Features, die die Route anschaulich gliedern oder auch Features, die die Route „nur“ füllen, aber nicht gliedern bzw. segmentieren, die Distanzkognition beeinflussen können. Montello geht z.B. davon aus, daß „... *features effect subjective distance primarily by segmenting routes*“ (Montello, 1995, S. 43), wobei er zugesteht, daß „*no research has yet been done to contrast them [the feature-accumulation hypothesis and the route-segmentation hypotheses] directly*“ (Montello, 1995, S. 35).

Die in diesem Kapitel dargestellten Versuche haben demnach zum Ziel, eine Entscheidung über die Gültigkeit der Feature-Akkumulationshypothese bzw. der Routen-Segmentierungshypothese zu treffen: Gemäß der Feature-Akkumulationshypothese bezogen auf die Schätzung einer Streckenlänge entlang eines Weges ist zu erwarten, daß die Distanz zwischen zwei benachbarten Features kleiner geschätzt wird als die Distanz zwischen zwei Features über ein weiteres Feature hinweg. Darüber hinaus ist anzunehmen, daß die geschätzte Distanz zwischen zwei Features über ein Feature hinweg, welches die Strecke segmentiert, größer geschätzt wird als die Distanz zwischen zwei benachbarten Features (Routen-Segmentierungshypothese). Die Frage, ob sich die geschätzten Distanzen zwischen zwei Features unterscheiden, wenn zwischen den beiden Features ein füllendes bzw. segmentierendes Feature liegt, ist Gegenstand der experimentellen Untersuchung.

Die Untersuchungen finden in virtuellen Umgebungen statt. Da bislang wenig über den Einfluß der Art und Weise, wie eine virtuelle Umgebung erfahren wird, bekannt ist, wird in diesem Experiment die Art der Exploration variiert. Ein Teil der Versuchspersonen bewegt sich mit einem Joystick entlang eines Straßenzuges, den anderen Probanden wird ein Film, der den Weg entlang dieses Straßenzuges zeigt, auf einer Leinwand präsentiert.

Aus den theoretischen Annahmen lassen sich folgende Befunderwartungen ableiten:

1. Die geschätzte Länge einer Strecke, die ein füllendes Feature enthält (gefüllte Strecke), ist länger als die geschätzte Länge einer gleich langen Strecke, die kein Feature enthält (leere Strecke) (*Feature-Akkumulationshypothese*)
2. Die geschätzte Länge einer Strecke, die ein segmentierendes Feature enthält (segmentierte Strecke), ist länger als die geschätzte Länge einer gleich langen Strecke, die kein Feature enthält (leere Strecke) (*Routen-Segmentierungshypothese*).
3. Darüber hinaus bleibt zu ermitteln, ob sich die geschätzten Längen gleich langer Strecken unterscheiden, je nachdem, ob es sich um gefüllte oder segmentierte Strecken handelt (*Feature-Akkumulationshypothese* vs. *Routen-Segmentierungshypothese*).

Es wurden drei Versuche durchgeführt. In dem ersten Versuch wurde untersucht, welchen Einfluß verschiedenartige Features, füllende oder segmentierende, auf die Distanzkognition haben. In den beiden folgenden Versuchen wurde untersucht, welchen Einfluß verschiedenartige segmentierende (Versuch 2) bzw. verschiedenartig füllende Features (Versuch 3) auf die Distanzkognition haben.

### 3.1.1 Methode

**Versuchspersonen:** An dem **ersten** Versuch nahmen 30 Studierende der Gerhard-Mercator-Universität Duisburg teil, 15 weibliche (Durchschnittsalter: 24,34 Jahre) und 15 männliche (Durchschnittsalter: 30,94 Jahre), an dem **zweiten** Versuch 60 Studierende - dabei wurden die Daten von 30 Studierenden des ersten Versuches

verwendet - 28 weibliche (Durchschnittsalter: 24,68 Jahre) und 32 männliche (Durchschnittsalter: 28,91 Jahre) und an dem **dritten** Versuch 30 Studierende, 15 männliche (Durchschnittsalter: 25,27 Jahre) und 15 weibliche (Durchschnittsalter: 23,6 Jahre). Je nach Art der Exploration fanden die Versuche in Gruppensitzungen oder Einzelsitzungen statt.

**Versuchsmaterial:** Das Versuchsmaterial bestand in allen Versuchen aus einem auf einem Monitor bzw. auf einer Leinwand dargebotenen geraden virtuellen Straßenzug, der mit dem Softwareprogramm Superscape VRT 4.00 der Firma VRT GmbH konstruiert wurde. Der Straßenzug bestand aus einer durch Straßenmarkierungen und gepflasterten Bürgersteigen gekennzeichneten Straße. Auf jeder Straßenseite standen jeweils in derselben Höhe 9 gleiche Häuser. Entlang des Straßenzuges befanden sich Bäume, am Himmel Wolken, die den „virtuellen Straßenzug“ realistischer gestalteten.

Abbildung 15 gewährt einen Einblick in die Gestaltung des Straßenzuges.



Abb. 15: Gestaltung des virtuellen Straßenzuges

Bei dem Straßenzug handelte es sich um einen virtuellen Umgebungsraum. Die Anzahl aller Häuser und Kreuzungen waren für die Versuchspersonen nicht vom Anfang der Route aus einsehbar.

Die neun Häuser auf jeder der beiden identischen Straßenseiten standen in unterschiedlichen Abständen zueinander. Eine Überblickskarte (Abb. 16) verdeutlicht dies.

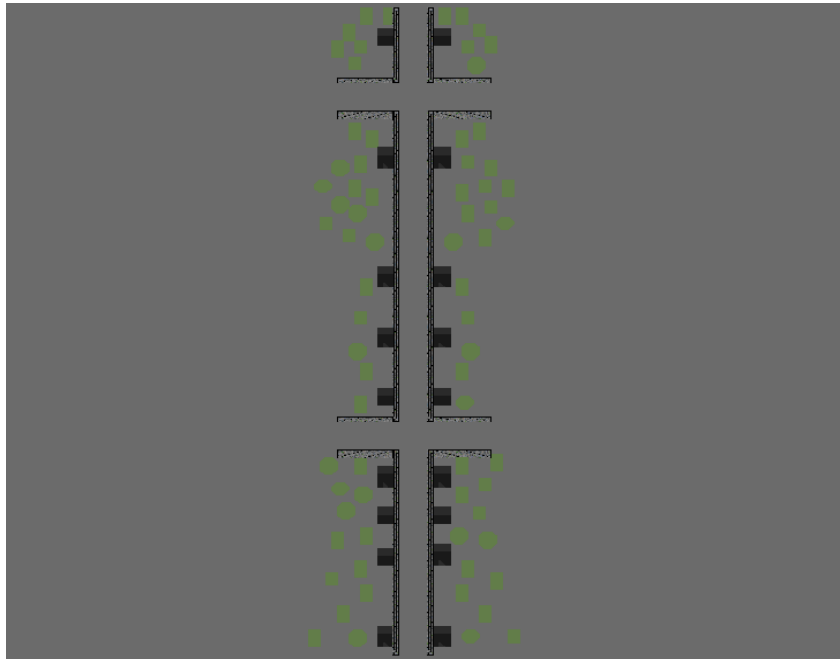


Abb. 16: Überblickskarte des virtuellen Straßenzuges

Die Abbildung 16 zeigt den virtuellen Straßenzug mit Querstraßen. Die schwarzen Kästen stellen die Häuser dar. Die beiden Querstraßen befinden sich nach dem vierten bzw. achten Haus. Die Features entlang des Weges werden durch die Häuser oder durch die Querstraßen - im ersten und zweiten Versuch - bestimmt. Dabei läßt sich zwischen den die Strecken „füllenden“ und „segmentierenden“ Features unterscheiden. Die „füllenden“ Features sind durch ein Haus, die „segmentierenden“ Features durch eine Querstraße bestimmt. Der Begriff „füllend“ wird hier für ein Feature gewählt, das sich nicht von dem Großteil anderer Features abhebt, im Gegensatz zu einem die Strecke segmentierenden Feature, welches zu einer anschaulichen Gliederung der gleichmäßigen Struktur des Straßenzuges führt.

Die phänomenale Gliederung in diesem Experiment wird durch den Gestaltfaktor der durchgehenden Kurve (Geraden) induziert: *„Ein geradliniger - durchlaufender oder punktierter - Linienzug hat keine Teile; mit anderen Worten, in Winkel von 180 Grad aneinanderstoßende Abschnitte desselben sind gegeneinander nicht abgegrenzt. Doch erfolgt, wenn er Kreuzungs- oder Abzweigungsstellen aufweist, eine etwaige auffassungsmäßige Unterteilung in „Abschnitte“ bevorzugt an diesen Stellen“* (Metzger, 1966, S. 706). Darüber hinaus wird die Gliederung noch durch den Figur-Grund-Faktor der Konvexität induziert.

Die Distanzschätzungen werden für bestimmte Strecken ermittelt, wobei unter einer Strecke der Weg von einem bestimmten Haus zu einem anderen verstanden wird. Am Beispiel des Straßenzuges mit Querstraßen wird ein Überblick über die für die Untersuchungen bedeutsamen Strecken gegeben (Abbildung 17):

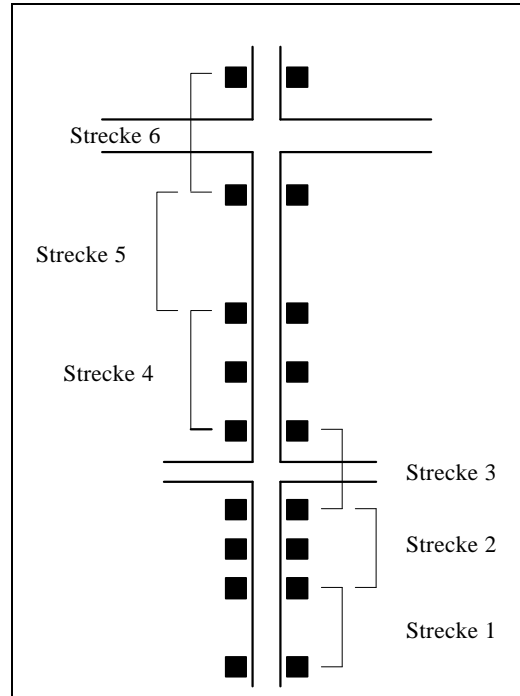


Abb. 17: Überblickskarte des Straßenzuges mit Einzeichnung der verschiedenen Strecken

Abbildung 17 verdeutlicht, daß die Strecken sich aufgrund ihrer objektiven Länge und ihrer Art unterscheiden. Dieser Zusammenhang ist Tabelle 3 verdeutlicht:

Tabelle 3: Darstellung der einzelnen Strecken entlang des Weges

Art der Strecke	Länge der Strecke	
	Kurze Strecke (12 Einheiten)	Lange Strecke (20 Einheiten)
leere Strecke	Strecke 1 (Haus 1 - Haus 2)	Strecke 5 (Haus 7 - Haus 8)
gefüllte Strecke	Strecke 2 (Haus 2 - Haus 4)	Strecke 4 (Haus 5 - Haus 7)
segmentierte Strecke	Strecke 3 (Haus 4 - Haus 5)	Strecke 6 (Haus 8 - Haus 9)

Bei den Strecken 1 und 5 handelt es sich um sogenannte **leere** Strecken, da sich keine weiteren Features zwischen den beiden Häusern befinden, die Strecken 2 und 4 sind



Strecken über ein füllendes Feature hinweg, sie werden als **gefüllte** Strecken bezeichnet. Bei den Strecken 3 und 6 handelt es sich um Strecken über ein die Strecke segmentierendes Feature, eine Querstraße, hinweg, sie werden als **segmentierte** Strecken bezeichnet.

Wird z.B. von der Schätzung der gefüllten langen Strecke gesprochen, ist die geschätzte Distanz von Haus 5 zu Haus 7 gemeint. Dies gilt analog für die Schätzung der übrigen in Tabelle 3 dargestellten Strecken.

In dem **zweiten** Versuch wurden die segmentierten Strecken in einer Versuchsbedingung durch eine Querstraße und durch eine Polizeisirene bestimmt. Dabei dauerte das Geräusch so lange an, wie die Versuchsperson benötigte, die Querstraße zu „überqueren“. In der anderen Versuchsbedingung wurde diese Strecke nur durch eine Querstraße bestimmt.

Daß das Feature, welches eine Strecke „objektiv“ segmentiert, auch wirklich zu einer Gliederung in der Anschauung der Versuchspersonen führt, wurde in einer Voruntersuchung sichergestellt. In Anlehnung an die Studie von Allen und Kirasic (1985) sahen 10 Versuchspersonen in einer Voruntersuchung dreimal hintereinander den Film des virtuellen Straßenzuges mit abgehenden Querstraßen mit und ohne Ton. Nach der Betrachtung des Films wurden sie aufgefordert, sich an den Straßenzug zu erinnern, seine einzelnen Abschnitte und die dazu beitragenden gliedernden Merkmale zu benennen. 9 der 10 Versuchspersonen sagten, daß das Auftreten der Querstraße bzw. der Querstraße und des Tons dazu geführt hat, den Straßenzug zu gliedern. Sie gaben an, sich an drei Routenabschnitte zu erinnern, so beurteilten sie den ersten Routenabschnitt bis zur ersten Querstraße, den zweiten Routenabschnitt bis zur zweiten Querstraße und den dritten Abschnitt nach der zweiten Querstraße. Die Ergebnisse zeigen, daß ein Feature, welches durch eine abgehende Querstraße bestimmt ist, ein wichtiges gliederndes Merkmal ist.

In dem **dritten** Versuch wurden die in den vorangegangenen Versuchen segmentierten Strecken durch gefüllte Strecken ersetzt. Dabei wurden diese Strecken nicht durch ein Haus ausgefüllt, sondern durch das Auftreten einer Polizeisirene. Die gefüllten Strecken waren damit entweder durch ein auditives Merkmal markiert oder durch ein visuell wahrnehmbares Objekt bestimmt.

Die Experimente wurden durch einen 120 MHz Pentium Computer gesteuert. Dabei wurde entweder das Computerbild mit einem Lite-Pro-Projektor an eine 150 cm

große Leinwand projiziert, vor welchem die Versuchspersonen in einem Abstand von 200 cm saßen, oder das Computerbild wurde auf einem 17-Zoll Monitor dargeboten, vor welchem die Versuchspersonen im Abstand von ca. 50 cm saßen.

In der Abrufphase der Distanzschätzung wurde ein Protokollbogen verwendet, auf welchem eine vertikale Linie gezeichnet war. Am Anfang der vertikalen Linie befand sich am unterem Ende des Protokollbogens eine horizontale Linie, die den Anfang der vertikalen Linie markierte.

**Versuchsablauf:** Die jeweils 20 Minuten dauernden Versuche fanden je nach Art und Weise, wie der virtuelle Straßenzug erfahren wurde, in Gruppen unterschiedlicher Personenanzahl oder in Einzelsitzungen statt. In der Erwerbsbedingung der „passiven Exploration“ nahmen die Versuchspersonen in Gruppen vor der Leinwand Platz, wobei darauf geachtet wurde, daß allen Versuchspersonen das Gefühl vermittelt wurde, entlang des virtuellen Straßenzuges geführt zu werden. In der Erwerbsbedingung der „aktiven Exploration“ nahmen die Versuchspersonen in Einzelsitzungen vor dem Monitor Platz. Nachdem sie Angaben zur Person abgegeben hatten, wurden sie entweder instruiert, den Film, der dreimal hintereinander gezeigt wurde, aufmerksam zu betrachten oder dreimal hintereinander mittels des Joysticks entlang des Straßenzuges zu navigieren. Dabei wurden sie gebeten, den Joystick bis zum Anschlag zu drücken, so daß die Geschwindigkeit, mit der sie den Straßenzug explorierten, konstant gehalten wurde.

In der anschließenden Testphase sollten die Versuchspersonen auf dem Protokollbogen entlang der vertikal vorgezeichneten Linie mit neun Pfeilen die Position der neun Häuser, die auf einer der beiden Straßenseiten standen, markieren. Sie wurden auf die Bedeutsamkeit der richtigen Wiedergabe der genauen Abstände aufmerksam gemacht. Der Anfang der Strecke war vorgegeben, das Ende konnte frei gewählt werden.

Abbildung 18 verdeutlicht an einem Beispiel die Markierung der neun Häuser mittels Pfeilen auf einem Protokollbogen.

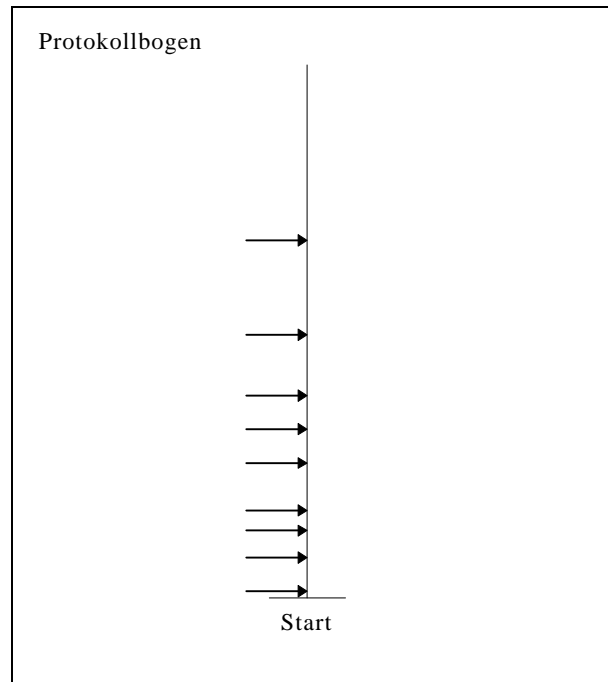


Abb. 18: Protokollbogen mit möglicher Markierung der neun Häuser

Im ersten Versuch schloß sich für die Versuchspersonen, die den Straßenzug aktiv exploriert hatten, eine weitere Aufgabe an. Ihnen wurde die in Abbildung 16 dargestellte **Überblickskarte** des Straßenzuges eine Minute lang auf dem Monitor präsentiert. Sie wurden gebeten, diese Karte aufmerksam zu betrachten. Nach dem Betrachten wurden sie wiederum aufgefordert, die Positionen der einzelnen Häuser entlang einer vertikalen Linie auf einem Protokollbogen (Abb.18) einzuzeichnen.

**Versuchsplan:** Dem **ersten** Versuch liegt ein dreifaktorieller Mischversuchsplan mit den Faktoren A „Art der Strecke“ (A1: leer, A2: gefüllt, A3: segmentiert), B „Länge der Strecke“ (B1: kurz - 12 Einheiten, B2: lang - 20 Einheiten), C „Art der Exploration“ (C1: aktiv, C2: passiv) zugrunde. Den Gruppen (G1 und G2) des Faktors „Art der Exploration“ gehörten jeweils 15 Versuchspersonen an. Die abhängige Variable ist die geschätzte Länge der jeweiligen Strecken.

Das Versuchsdesign ist in Tabelle 4 verdeutlicht.

Tab. 4: Versuchsdesign Versuch 1

		A (Art der Strecke) / B (Länge der Strecke)					
		leer		gefüllt		segmentiert	
C (Art der Exploration)		kurz	lang	kurz	lang	kurz	lang
	aktiv		G1	G1	G1	G1	G1
passiv		G2	G2	G2	G2	G2	G2

Hinsichtlich der Faktoren A (Art der Strecke) und B (Länge der Strecke) lagen Wiederholungsmessungen vor, dem Faktor C (Art der Exploration) wurden die Versuchspersonen per Zufall zugeteilt.

Dem **zweiten** Versuch liegt ein dreifaktorieller Versuchsplan mit den Faktoren B „Länge der Strecke“ (B1: kurz, B: lang) und C „Art der Exploration“ (C1: aktiv, C2: passiv) und D „Markierung der segmentierten Strecke durch ein akustisches Feature“ (D1: ohne, D2: mit) zugrunde. Die abhängige Variable ist die geschätzte Länge der segmentierten Strecken in Differenz zur geschätzten Länge der leeren Strecken. Die Versuchspersonen wurden den Faktoren C und D dem Zufall zugeordnet, auf dem Faktor B lagen Wiederholungsmessungen vor.

Dem **dritten** Versuch liegt ein dreifaktorieller Mischversuchsplan mit den Faktoren B „Länge der Strecke“ (B1: kurz, B: lang), C „Art der Exploration“ (C1: aktiv, C2: passiv) und E „Modalität des füllenden Feature (E1: visuell, E2: auditiv) zugrunde. Die abhängige Variable ist die geschätzte Länge der gefüllten Strecken in Differenz zur geschätzten Länge der leeren Strecken. Den Faktoren B und E lagen Wiederholungsmessungen vor, den Stufen des Faktors C wurden die Versuchspersonen nach dem Zufall zugeordnet.

### 3.1.2 Ergebnisse

#### Versuch 1

#### Einfluß von füllenden und segmentierenden Features auf die Distanzkognition

Die geschätzte Länge einer bestimmten Strecke (vgl. Tabelle 3) wurde im Verhältnis zur Gesamtlänge der Route in Prozent berechnet. Dabei wurden zunächst die Abstände zwischen den an der vertikalen Linie auf dem Protokollbogen eingezeichneten Pfeilen 1-2, 2-4, 4-5, 5-7, 7-8, 8-9 in Millimetern gemessen und durch die Gesamtlänge (berechnet durch die Distanz zwischen dem ersten und neunten Pfeil) dividiert.

Es zeigte sich, daß die Faktoren „Art der Strecke“ ( $F_{(2,56)} = 12,16$ ,  $p < .001$ ) und „Länge der Strecke“ ( $F_{(1,28)} = 19,91$ ,  $p < .001$ ) einen signifikanten Effekt auf die geschätzten Längen der Strecken haben. Eine Interaktion zwischen den Faktoren „Art der Exploration“ und „Art der Strecke“ zeigte sich in der Tendenz ( $F_{(2,56)} = 2,7$ ,  $p = .076$ ).

Der Einfluß der „Länge der Strecke“ zeigt, daß in einer virtuellen Umgebung objektiv lange Strecken länger geschätzt werden als objektiv kurze Strecken. Dies bringt zum Ausdruck, daß auch in einer virtuellen Umgebung erfahrene Strecken zumindestens ordinal (länger - kürzer) erhalten werden.

Der Einfluß der „Art der Strecke“ ist in der Abbildung 19 dargestellt.

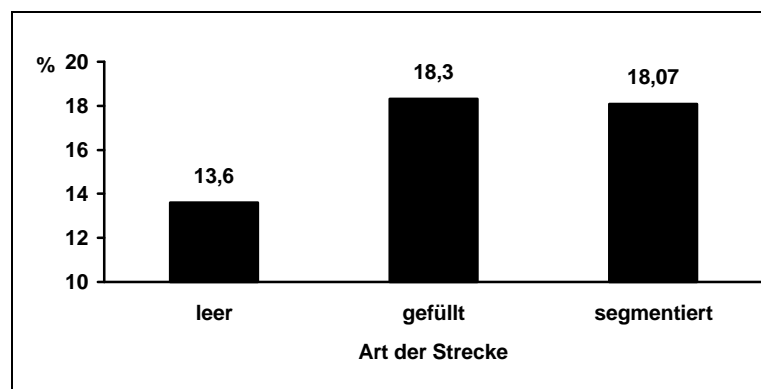


Abb. 19: Mittelwerte der geschätzten Länge der Strecken in Relation zur geschätzten Gesamtlänge der Route in % und Abhängigkeit von der Art der Strecken.

In der Abbildung 19 wird ersichtlich, daß gefüllte und segmentierte Strecken länger als leere Strecken geschätzt werden. Dieser Einfluß ist unabhängig von der objektiven Länge der Strecke. Da der Mittelwert des relativ objektiven Anteils der kurzen und langen Strecken 16,67% der Route beträgt, wird aus der Abbildung 19 auch ersichtlich, daß die leeren Strecken eher unterschätzt, die gefüllten und segmentierten Strecken eher überschätzt werden.

Betrachtet man die Schätzungen der Strecken im Verhältnis zu ihrem objektiven Anteil an der gesamten Route gesondert für die kurzen und langen Strecken - der relative objektive Anteil der kurzen Strecken beträgt jeweils 12,5% der Route, der der langen Strecken jeweils 20,83% - zeigt sich eine Überschätzung der langen Strecken und eine Unterschätzung der kurzen Strecken.

Abbildung 20 verdeutlicht die Über- bzw. Unterschätzung der Streckenlänge zur objektiven Streckenlänge in % zur Gesamtlänge der Route in Abhängigkeit von der Art der einzelnen Strecken:

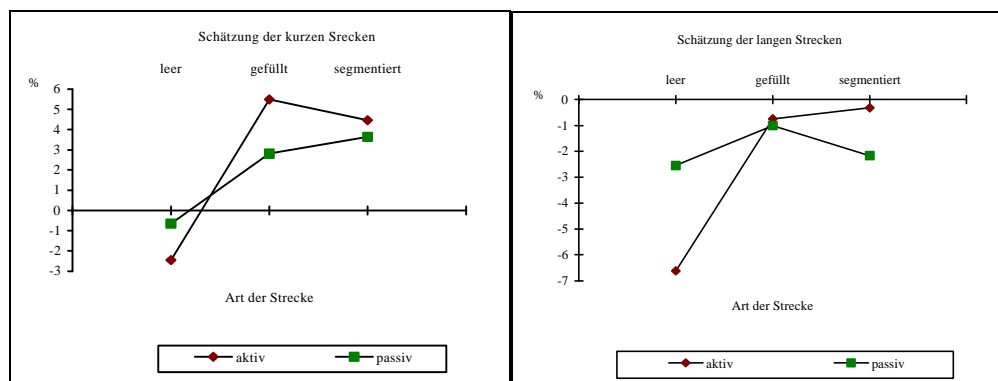


Abb. 20: Unter- bzw. Überschätzung der Streckenlänge zur objektiven Streckenlänge in % zur Gesamtlänge der Route. Angabe der Mittelwertunterschiede für die Schätzung der kurzen bzw. langen Strecken in Abhängigkeit von der Art der Strecke und der Erwerbsart.

In Abbildung 20 wird ersichtlich, daß die objektiv kurzen gefüllten Strecken ( $t_{(15)} = 4,61$ ,  $p < .001$  bei aktiven und  $t_{(15)} = 3,29$ ,  $p < .005$  bei passiven Erwerb) und die segmentierten Strecken ( $t_{(15)} = 2,54$ ,  $p < .05$  bei aktiven und  $t_{(15)} = 3,88$ ,  $p < .005$  bei passiven Erwerb) im Vergleich zu ihrer physikalischen Länge überschätzt werden. Darüber hinaus zeigt sich bei aktivem Wissenserwerb noch eine Unterschätzung der leeren Strecken ( $t_{(15)} = 2,55$ ,  $p < .05$  für die objektiv kleine Strecke und  $t_{(15)} = 4,44$ ,  $p < .001$  für die objektiv große Strecke).

Die sich bei der Varianzanalyse andeutende systematische Interaktion zwischen den Faktoren „Erwerbsart“ und „Art der Strecke“ zeigt Abbildung 21:

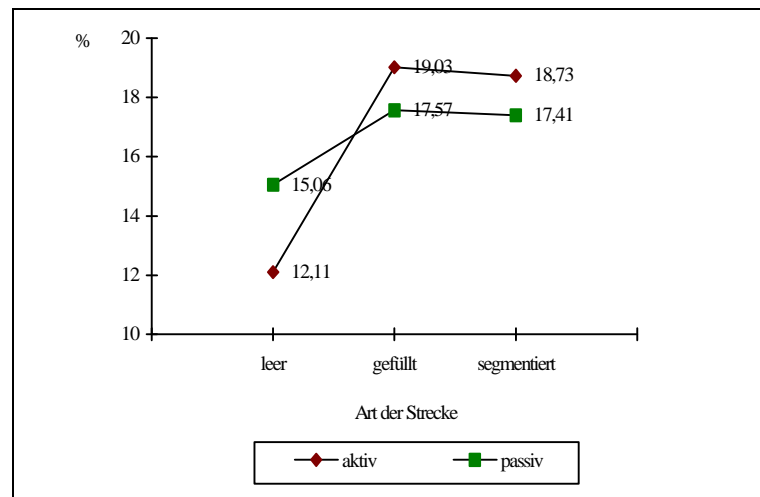


Abb. 21: Geschätzte Streckenlänge in Relation zur geschätzten Gesamtlänge der Route in %. Mittelwerte in Abhängigkeit von der Art der Strecke und der Erwerbsart.

Die Abbildung 21 verdeutlicht, daß bei aktiver Navigation die gefüllten und segmentierten Strecken signifikant länger geschätzt werden als die leeren Strecken (Wilcoxon-Test  $Z = 3,20$ ,  $p < .005$  bzw. Wilcoxon-Test  $Z = 2,4$ ,  $p < .005$ ). Der Unterschied zwischen der Schätzung der gefüllten bzw. segmentierten Strecken und der leeren Strecke bei passiver Navigation zeigt sich nur in der Tendenz (Wilcoxon-Test  $Z = 1,5$ ,  $p = .07$  bzw. Wilcoxon-Test  $Z = 1,67$ ,  $p = .051$ ).

Bzgl. der leeren Strecken zeigt sich, daß die Distanzschätzung bei aktiver Navigation signifikant geringer ist als bei passiver Navigation ( $t_{(15)} = 2,53$ ,  $p < .05$ ). Die Schätzungen der gefüllten und segmentierten Strecken unterscheiden sich nicht aufgrund der variierten Erwerbsart.

Bei der Darbietung der **Überblickskarte** zeigte sich, daß die Faktoren „Art der Strecke“ ( $F_{(2,28)} = 8,73$ ,  $p = .001$ ) und „Länge der Strecke“ ( $F_{(1,14)} = 18,32$ ,  $p = .001$ ) einen signifikanten Einfluß auf die geschätzten Distanzen haben.

Der Einfluß des Faktors „Länge der Strecke“ bringt zum Ausdruck, daß auch bei dem Erlernen der auf dem Monitor präsentierten Überblickskarte die kategorialen Längenverhältnisse erhalten bleiben: Objektiv lange Strecken werden auch länger geschätzt als objektiv kurze Strecken.

Der Einfluß des Faktors „Art der Strecke“ ist in der Abbildung 22 veranschaulicht.

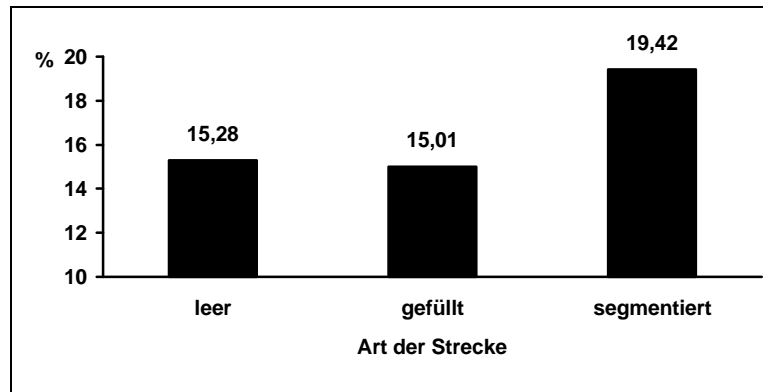


Abb. 22: Mittelwerte der geschätzten Länge der Strecken in Relation zur geschätzten Gesamtlänge der Route in % und in Abhängigkeit von der Art der Strecke bei der Darbietung der Überblickskarte und vorheriger aktiver Exploration des Umgebungsraumes.

Die Abbildung 22 verdeutlicht, daß bei der Darbietung der Überblickskarte, d.h. bei der simultanen Darbietung der Struktur des Straßenzuges, die leere und gefüllte Strecke kürzer als die segmentierte Strecke geschätzt werden und daß die gefüllte Strecke gleich lang der leeren Strecke geschätzt wird. Damit zeigt sich, daß die beim Erwerb von Kartenwissen durch die Darbietung einer Überblickskarte wahrgenommenen pictorialen Distanzen allein durch segmentierende Features beeinflusst werden. Features, die keine anschauliche Gliederung des Straßenzuges induzieren, beeinflussen die Schätzung pictorialer Distanzen nicht.

Darüber hinaus zeigt sich bzgl. des relativen objektiven Anteils der Strecken entlang der Route - 16,67% gemittelt für die objektiv kurzen und langen Strecken - daß die segmentierten Strecken stark überschätzt werden, die leeren und gefüllten Strecken hingegen annähernd ihrer objektiven Länge geschätzt werden.

## Versuch 2

### Einfluß verschiedenartiger segmentierender Features auf die Distanzkognition

Das vorangegangene Experiment hat gezeigt, daß die segmentierten Strecken gegenüber den leeren Strecken überschätzt werden. In diesem Versuch steht die Untersuchung des Einflusses verschiedenartiger segmentierender Features auf die Distanzkognition im Mittelpunkt des Interesses. Hierbei wird für jede Versuchsperson der Differenzwert zwischen der Schätzung der segmentierten (mit



bzw. ohne Ton) und der objektiv gleich langen leeren Strecke berechnet. Diese Schätzungen werden wiederum in Relation zur geschätzten Gesamtlänge der Route in Prozent berechnet.

Bei der dreifaktoriellen Varianzanalyse zeigte sich ein signifikanter Einfluß des Faktors „Art der Exploration“ ( $F_{(1/56)} = 9,11$ ,  $p < .005$ ) und eine Interaktion der Faktoren „Länge der Strecke“ und „Markierung der segmentierten Strecke durch ein akustisches Feature“ ( $F_{(1/56)} = 11,93$ ,  $p = .001$ ). Die Abbildung 23 verdeutlicht den Einfluß der Art der Exploration.

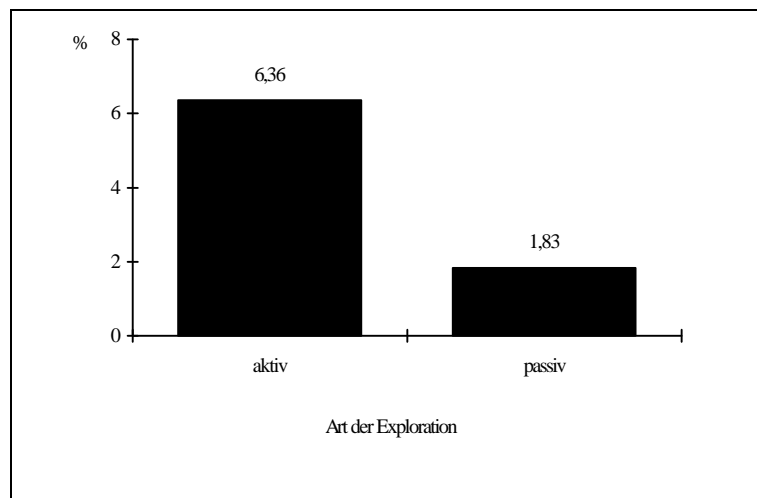


Abb. 23: Differenz der geschätzten Länge der segmentierten und leeren Strecken in Relation zur geschätzten Gesamtlänge der Route in %. Mittelwerte in Abhängigkeit von der Art der Exploration.

Die Abbildung 23 zeigt zunächst durch das Auftreten der positiven Differenzwerte, daß die segmentierten Strecken länger als die leeren Strecken geschätzt werden. Dabei ist diese Überschätzung bei aktiver Navigation signifikant größer als bei passiver Navigation.

Die Abbildung 24 veranschaulicht die Interaktion der Faktoren „Länge der Strecke“ und „Markierung der segmentierten Strecke durch ein akustisches Feature“:

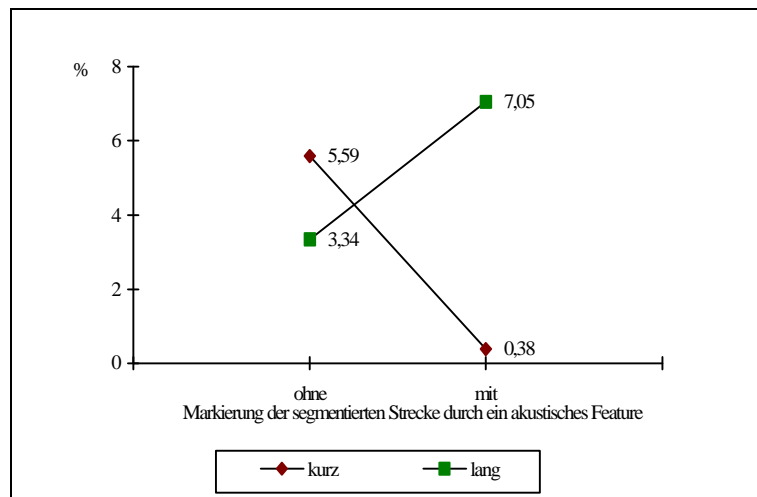


Abb. 24: Differenz der geschätzten Länge der segmentierten und leeren Strecke in Relation zur geschätzten Gesamtlänge der Route in %. Mittelwerte in Abhängigkeit von der Länge der Strecke und der Markierung der segmentierten Strecke durch ein akustisches Feature.

Die Abbildung 24 zeigt, daß die Überschätzung der segmentierten Strecke, die nicht durch ein akustisches Feature markiert ist, unabhängig von der objektiven Länge der Strecke ist. Ist die segmentierte Strecke jedoch noch durch einen Ton markiert, beeinflußt die objektive Länge der Strecke die Distanzschätzungen: Die kurze segmentierte und durch ein akustisches Feature markierte Strecke wird annähernd gleich der kurzen leeren Strecke geschätzt; die lange segmentierte und durch ein akustisches Feature markierte Strecke wird gegenüber der langen leeren Strecke stark überschätzt.

### Versuch 3

#### Einfluß verschiedenartiger füllender Features auf die Distanzkognition

Gemessen wurde die Schätzung der einzelnen sechs Streckenlängen in cm. Da die Ergebnisse des ersten Versuches gezeigt haben, daß die gefüllten Strecken im Verhältnis zu den leeren Strecken überschätzt werden, wird für jede Versuchsperson der Differenzwert zwischen der Schätzung der gefüllten (visuell bzw. auditiv) und der objektiv gleich langen leeren Strecke berechnet. Abschließend werden die Mittelwerte der Differenzwerte bzgl. der Schätzungen der kurzen und langen Strecken bei aktiver und passiver Navigation berechnet.

Die dreifaktorielle Varianzanalyse ergab allein einen Einfluß des Faktors „Modalität des füllenden Feature“ ( $F_{(1/28)} = 3,87$ ,  $p=.059$ ), der sich in der Tendenz zeigte: Die Differenz zwischen der Längenschätzung der gefüllten und leeren Strecke ist höher, wenn die gefüllte Strecke ein visuell wahrnehmbares Feature ( $\bar{x} = 0,49\text{cm}$ ) als wenn sie ein auditives Feature ( $\bar{x} = 0,32\text{cm}$ ) enthält. Es zeigte sich auch eine signifikante Interaktion zwischen dem Faktor „Modalität des füllenden Features“ und dem Faktor „Länge der Strecke“ ( $F_{(1/28)} = 6,36$ ,  $p<.05$ ), welche in Abbildung 25 dargestellt ist.

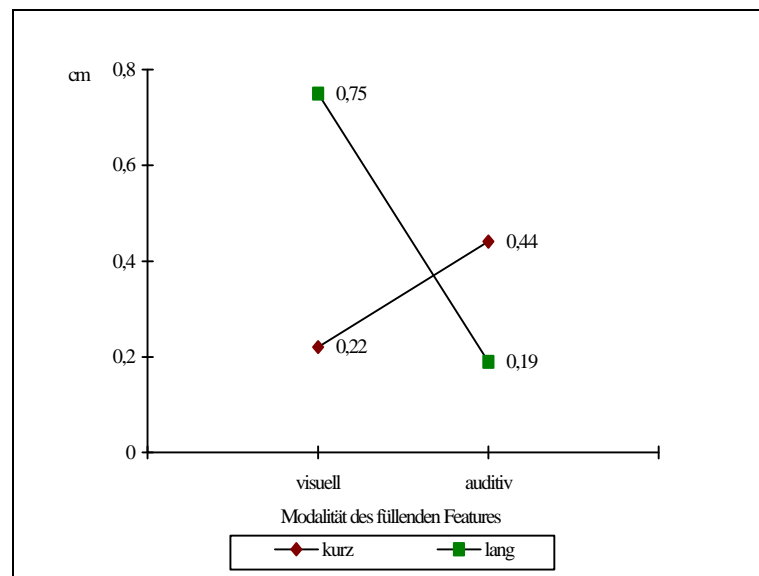


Abb. 25: Differenz zwischen der Schätzung der gefüllten und leeren Strecken in cm. Mittelwerte in Abhängigkeit von der Modalität des füllenden Features und der Länge der Strecke.

Aufgrund der positiven Differenzwerte ist in Abbildung 25 zu erkennen, daß die gefüllten Strecken im Verhältnis zu den leeren Strecken generell überschätzt werden. Dabei zeigt sich ein Einfluß der Modalität des die gefüllte Strecke füllenden Features in Abhängigkeit von der Länge der zu schätzenden Strecke: Nur bei der objektiv langen Strecke führt die Existenz eines auditiven Features dazu, daß diese kürzer als die gleich lange Strecke über ein visuelles Feature geschätzt wird ( $t_{(29)} = 2,67$ ,  $p<.05$ ).

### **3.1.3 Diskussion**

Die in der virtuellen Umgebung erhobenen Befunde zeigen, daß Strecken, die objektiv gleich lang sind, nicht gleich lang geschätzt werden; ein Ergebnis, das konform zu den Ergebnissen aus vielen Studien ist, die in realen Umgebungen durchgeführt wurden:

Die geschätzte Länge einer gefüllten Strecke (in dem ersten Experiment durch ein Haus bestimmt) ist länger als die geschätzte Länge einer objektiv gleich langen leeren Strecke. Die Ergebnisse stehen mit der Feature-Akkumulationshypothese im Einklang und bestätigen dahingehend die oben formulierte Befunderwartung (1).

Dabei konnte jedoch gezeigt werden, daß die Modalität des Features und die objektive Länge der zu schätzenden Strecken eine bedeutsame Rolle spielt: Bei den objektiv langen Strecken wird die gefüllte Strecke über ein Haus hinweg signifikant länger als die mit dem Geräusch der Polizeisirene gefüllte Strecke geschätzt. Das auditive Feature hat damit für die Distanzkognition eine andere Rolle als das visuell wahrnehmbare Feature - es akzentuiert die gefüllte Strecke nicht in demselben Maße wie ein visuell wahrnehmbares Feature. Da die Route hauptsächlich visuell wahrgenommen wird, wird ihre visuelle Organisation auch eher durch ein visuell als durch ein auditiv wahrnehmbares Feature bestimmt. Hier stellt sich die Frage, welchen Einfluß auditive Features dann haben, wenn entlang der Route viele Geräusche und keine visuellen Features in Form von Häusern, etc. wahrgenommen werden können. Es bleibt zu untersuchen, ob dieser Befund auch für andere Features entlang des Straßenzuges gewonnen werden kann. So stellt sich z.B. die Frage nach dem Einfluß eines durch ein olfaktorisches Merkmal („dort, wo es nicht gut riecht“) oder durch ein Ereignis („dort, wo der Unfall passiert ist“) bestimmten Ortes auf die Kognition von Distanzen entlang eines Weges.

Zudem zeigt sich, daß eine segmentierte Strecke länger geschätzt wird als eine gleich lange leere Strecke. Dieses Ergebnis steht zunächst im Einklang mit der Routen-Segmentierungshypothese und bestätigt die oben formulierte Befunderwartung (2). Darüber hinaus ist dieses Ergebnis für die Schätzung der objektiv langen Strecken unabhängig davon, ob die durch eine Querstraße segmentierte Strecke zusätzlich durch einen Ton markiert wird oder nicht.

In dem ersten Versuch wurde zwischen füllenden und segmentierenden Features unterschieden; die füllenden Features waren durch ein Haus, die segmentierenden durch eine Querstraße bestimmt. Es zeigt sich, daß ein Feature in der Anschauung

der Versuchspersonen nicht als gliedernd erlebt werden muß, um die geschätzte Distanz zu vergrößern, allein sein Vorhandensein reicht aus<sup>11</sup>: So läßt sich allgemein sagen, daß Strecken, die durch visuell wahrnehmbare Features gefüllt sind, im Verhältnis zu objektiv gleich langen leeren Strecken überschätzt werden.

Dabei ist für diese Überschätzung allein die Existenz der die Strecke füllenden Features von Bedeutung. Die Formulierung einer Routen-Segmentierungshypothese für die Untersuchung der Kognition von Umgebungsdistanzen erweist sich zumindestens als redundant; sie ist sogar falsch, wenn sie als eine Hypothese verstanden wird, die sich allein auf eine funktionale Ebene derart bezieht, daß **nur** Gliederungen die Distanzkognition beeinflussen, so wie es Montello (1995) vermutet.

Die phänomenale Gliederung der Route wurde in diesen Experimenten durch die Gestaltfaktoren der durchgehenden Kurven (Geraden) und des Figur-Grund-Faktors der Konvexität induziert. Darüber hinaus stellt sich die Frage, ob auch bei den leeren Strecken der Gestaltfaktor der Nähe wirkt und zu einer Gruppierung der gefüllten Strecken führt. Hierauf wird gesondert im nächsten Experiment eingegangen (vgl. Teil II, Kapitel 3.2).

Die Routen-Segmentierungshypothese bestätigt sich nur dann, wenn die Kognition pictorialer oder auch geographischer Distanzen untersucht wird. So konnte in dem Versuch zum Erwerb des Kartenwissens gezeigt werden, daß nur die segmentierten Strecken, nicht die gefüllten, im Verhältnis zu den leeren Strecken überschätzt werden, wenn die Versuchspersonen den Straßenzug als Überblickskarte am Monitor erlernen. In dieser Überblicksansicht wird die Figur-Grund Gliederung simultan für die Versuchspersonen wahrnehmbar, die sich innerhalb der Figur befindenden Features werden als nah beieinander erlebt. Der Einfluß von Unterbrechungen bzw. Begrenzungen auf die Perzeption und Kognition von pictorialen Distanzen wurde bereits u.a. von Cohen, Baldwin und Sherman(1978), Kosslyn, Pick und Fariello (1974) und McNamara (1986) nachgewiesen (vgl. Seite 40). Die Ergebnisse können im Zusammenhang zu Untersuchungen des geographischen Wissen gesehen werden, bei welchem es zu Fehleinschätzungen bei der Lokalisation von Städten aufgrund

---

<sup>11</sup> Vgl. auch zur Erklärung der Befunde im Rahmen der kognitiven Modellierung FEATURE, Berendt & Jansen-Osmann (1997)

ihrer geographischen Lage oder ihrer politischen Zugehörigkeit kommt (vgl. Heineken, 1991; Stevens & Coupe, 1978).

Damit wird auch der Sinn einer Differenzierung in verschiedene psychologische Räume deutlich: Die Faktoren, die den räumlichen Wissenserwerb beeinflussen, hängen von der Art des Raumes ab, in welchem das räumliche Wissen erworben wurde.

Dabei muß sicherlich auch diskutiert werden, ob die Route beim Abruf des Distanzwissens überhaupt von den Versuchspersonen gegliedert wird: Obwohl die Voruntersuchung (vgl. Seite 104) und die Untersuchungen von Allen und Kirasic (1985) und Allen (1981) gezeigt haben, daß Segmentierungen in Form von z. B. Querstraßen zu einer phänomenalen Gliederung der Strecke führen, zeigte sich in der vorliegenden Arbeit, daß die Gliederung der Strecke keinen Einfluß auf die Distanzkognition hat. Hier stellt sich die Frage, inwieweit je nach der von den Versuchsleitern verlangten Aufgabe eine Quasi-simultan-Repräsentation des erlebten Straßenzuges vorliegt, während bei der Schätzung der Umgebungsdistanzen eine derartige Simultan-Repräsentation nicht vorliegt.

Der Einfluß von Features auf die Kognition von Umgebungsdistanzen zeigt sich weitgehend unabhängig von der Art der Exploration des virtuellen Straßenzuges. Nur bei der Untersuchung des Einflusses verschiedenartiger segmentierender Features zeigt sich ein stringent systematischer Einfluß dahingehend, daß beim passiven Betrachten eines Films des zu lernenden Weges, die segmentierten Strecken gering länger als die leeren Strecken geschätzt werden, während bei aktiver Exploration die segmentierten Strecken bedeutend länger als die leeren Strecken geschätzt werden.

Bislang gibt es m. W. keine Untersuchung zum Einfluß der Erwerbsart in virtuellen Umgebungen auf die Distanzkognition. In entferntem Zusammenhang kann die Untersuchung von Péruch, Vercher und Gauthier (1995) gesehen werden. Die Autoren konnten den Einfluß der Erwerbsart in einer virtuellen Umgebung auf die Aufgabe, Objekte zu lokalisieren, nachweisen: Die Versuchspersonen, die Objektlokalisationen durch eine vorgegebene Videosequenz lernten, benötigten eine längere Zeit, um diese Objekte aufzusuchen, als diejenigen Personen, die die Aktualisierung der Bildsequenz durch ihre „aktive“ Eingabe erwarben.

Weitere Untersuchungen, die sich mit der aktiven bzw. passiven Exploration des Umgebungsraumes in einer virtuellen Umgebung befassen, müssen folgen.

Alle Strecken sind nicht nur durch ihre Art, sondern auch durch ihre Position entlang der Route bestimmt. Dabei ist auszuschließen, daß die erhöhte Schätzung einer gefüllten bzw. einer segmentierten Strecke im Verhältnis zu einer leeren Strecke aufgrund der Position der Strecke entlang der Route und nicht aufgrund der Existenz des Features basiert. Zudem muß der Einfluß der objektiven Länge einer Strecke unabhängig von der Position der objektiv kurzen oder langen Strecken untersucht werden.

Um dies empirisch abzusichern, wurde der Einfluß der Position einer Strecke entlang einer Route in zwei weiteren Nachuntersuchungen geprüft: Im ersten Versuch wurden zunächst die segmentierten Strecken entlang des virtuellen Straßenzuges durch leere Strecken ersetzt. 15 Versuchspersonen explorierten den Straßenzug aktiv und schätzten analog zum ersten Versuch des vorangegangenen Experimentes die verschiedenen Strecken. Dabei zeigte sich, daß die leeren Strecken unabhängig von ihrer Position gleich lang und darüber hinaus kürzer als die gefüllten Strecken geschätzt wurden. Somit ist anzunehmen, daß die Überschätzung der segmentierten Strecke im vorangegangenen Versuch auf die Existenz des Features, nicht aber auf die Position der Strecke entlang der Route zurückzuführen ist. In einem weiteren Experiment wurde die Position der objektiv kurzen bzw. langen Strecke entlang des virtuellen Straßenzuges variiert; am Anfang der Route befanden sich nun die objektiv langen Strecken, am Ende die objektiv kurzen. Die Reihenfolge der Strecken stellte sich damit wie folgt dar: gefüllte lange Strecke, leere lange Strecke, segmentierte lange Strecke, leere kurze Strecke, gefüllte kurze Strecke und segmentierte kurze Strecke. 10 Studierende explorierten diesen virtuellen Straßenzug aktiv. Die Ergebnisse bestätigten den in den vorangegangenen Experimenten gewonnen Befund, daß leere Strecken gegenüber gefüllten und segmentierten Strecken unterschätzt werden. Dabei zeigte sich wiederum kein Unterschied zwischen den Längenschätzungen der gefüllten und segmentierten Strecken. Darüber hinaus konnte in diesem Experiment kein Unterschied zwischen der Schätzung der objektiv langen Strecken, die sich am Anfang des Straßenzuges befanden, und der sich am Ende des Straßenzuges befindenden kurzen Strecken ermittelt werden. Geht man davon aus, daß der Referenzpunkt der Schätzung der Anfang der Route ist, steht dieser Befund im Widerspruch zum Referenzpunkt-Effekt (vgl. Holyoak und Mah, 1982). Aufgrund des sukzessiven Kennenlernens eines Weges ist demnach anzunehmen, daß es beim Abruf von Distanzen nicht nur einen Referenzpunkt, sondern mehrere gibt. Zum einen kann der Referenzpunkt durch den Anfang der Route bestimmt sein, zum anderen können jedoch lokale Referenzpunkte existieren, worunter man dann den Ort versteht, der den Anfang der zu schätzenden Strecke markiert. Unter der Annahme der Existenz lokaler Referenzpunkte bestände jedoch bei der bisher angewendeten Prüfmethode ein methodisches Problem

dahingehend, daß die Schätzung der gefüllten Strecken von der Versuchsleiterin inferiert wurde. Dieses methodische Artefakt konnte jedoch in dem in Kapitel 4 (Teil II) dargestellten Experiment und in einer weiteren Nachuntersuchung, in welchem die Rekonstruktionsmethode angewendet wurde, ausgeschlossen werden: 10 Versuchspersonen bewegten sich mittels eines Joysticks dreimal hintereinander durch den in Experiment 3.1 dargestellten Straßenzug. In der Testphase wurden sie aufgefordert, mit kleinen Bauklötzen die neun Häuser an einer auf einem weißen Papiertischtuch eingezeichneten geraden Straße so anzuordnen, wie sie meinten, daß sie gestanden haben. Sie wurden darauf hingewiesen, daß sie ihre Entscheidung korrigieren konnten. Die Rekonstruktion der Häuser sollte bei einem vorgegebenen Anfang der Straße beginnen, das Ende konnte frei gewählt werden. Der Papierbogen wurde nach Abzeichnen der Häuserumrisse durch die Versuchsleiterin als Protokoll für die von der Versuchsperson hergestellte räumliche Rekonstruktion benutzt und nach jedem Versuch durch einen neuen Bogen ersetzt. Zur Auswertung der Modellrekonstruktion wurden Videoaufzeichnungen gefilmt. Die Ergebnisse zeigten wiederum, daß die leeren Strecken kürzer als die gefüllten und segmentierten Strecken geschätzt werden. Die Auswertung der Videoaufzeichnungen ergab, daß die Hälfte der Versuchspersonen ihre Rekonstruktion der Häuser mittels Holzblöcken nicht korrigierte, die übrigen 5 korrigierten im Durchschnitt 10,6 ( $s=2,77$ ) mal. Bei dem Vergleich der Rekonstruktion der Versuchspersonen, die korrigierten und denen, die nicht korrigierten, zeigt sich kein Unterschied in der Schätzung der Streckenlängen. Die Probanden hatten bei der Rekonstruktionsaufgabe die Möglichkeit, ihre Rekonstruktion zu überdenken und durch häufiges Verschieben eine befriedigende Annäherung an die Relationen in der virtuellen Umgebung herzustellen. Dabei werden bei Divergenz zwischen den rekonstruierten und mental repräsentierten Häusern immer wieder zusätzliche Transformationsprozesse nötig. Es wird davon ausgegangen, daß die Versuchspersonen bei der Rekonstruktion der Häuser jeden einzelnen rekonstruierten Abstand „ernst meinten“.

Somit kann zum einen jedes Haus ein Referenzpunkt für die Schätzung einer Distanz zu einem anderen Haus gewesen sein, zum anderen kann aber auch der Anfang der Route der Referenzpunkt der Schätzung gewesen sein.



### **3.2 Der Einfluß der Gruppierungen von Features auf die Distanzkognition**

Die Gliederung eines Weges ist von den Gestaltfaktoren abhängig. In den vorangegangenen Versuchen wurde durch den Faktor der durchgehenden Kurve (Gerade) und durch den Faktor der Konvexität eine Gliederung der Route induziert. In diesem Versuch wird der Faktor der Gleichheit und der Nähe als Gliederungsfaktor verwendet. Dies führt zu einer Gruppierung von Features entlang des Weges.

Um sicherzustellen, daß die Kognition von Umgebungsdistanzen nur durch ein Feature, und nicht durch die Rolle, die es entlang der Route einnimmt, beeinflußt wird, soll in einem weiteren Experiment die Gliederung einer Route durch die Gruppierung von Features induziert werden. Zeigt sich kein Einfluß der Gruppierung, ist dies ein weiterer Hinweis dafür, daß die induzierte Gliederung einer Route keinen Einfluß auf die Kognition von Umgebungsdistanzen hat. Damit würde auf eindringliche Weise die Gültigkeit der Feature-Akkumulationshypothese belegt werden.

#### **3.2.1 Methode**

**Versuchspersonen:** An dem Versuch nahmen 15 Studierende der Gerhard-Mercator-Universität Duisburg teil, 10 weibliche (Durchschnittsalter 20,4 Jahre) und 5 männliche (Durchschnittsalter 24,4 Jahre).

**Versuchsmaterial:** Als Versuchsmaterial diente der virtuelle Straßenzug aus den vorangegangenen Experimenten, wobei er keine Querstraßen enthielt und die neun Häuser farbig gestaltet waren, so daß sich farbig gleichgestaltete Häuser durch die Wirkung der Gruppierungsfaktoren der Nähe und der Gleichheit gruppieren. Ein Überblick des virtuellen Straßenzuges mit gruppierten Häusern ist in der Abbildung 26 dargestellt:

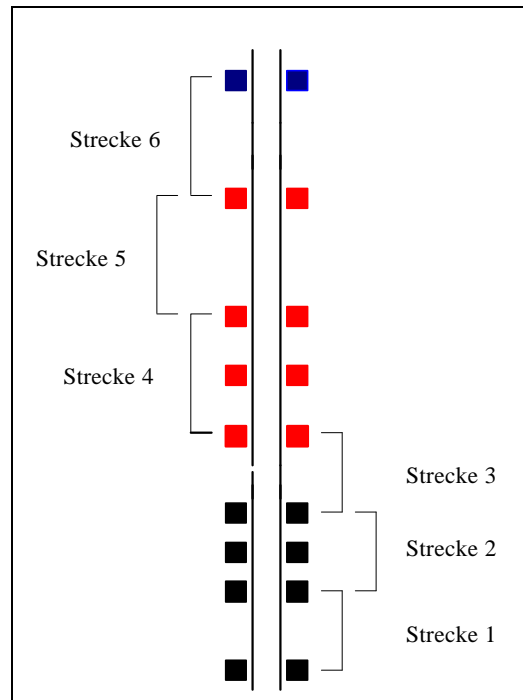


Abb. 26: Überblickskarte über den virtuellen Straßenzug mit Häusern, die sich aufgrund der Gestaltfaktoren der Gleichheit und der Nähe gruppieren

Die Abbildung 26 zeigt, daß es sich bei den Strecken 1 und 5 um solche Strecken handelt, die durch die Wirkung des Gruppierungsfaktors der Nähe segmentiert werden, so daß die Strecken 2 und 4 zusammengefaßt erlebt werden; bei den Strecken 2 und 4 handelt es sich um gefüllte Strecken, d.h. zwischen den Randgliedern der Reihe liegt ein weiteres Feature, und bei den Strecken 3 und 6 handelt es sich um Strecken, die durch die Wirkung des Faktors der Gleichheit segmentiert werden.

Die Strecken 1 und 5 wurden im vorangegangenen Experiment als leere Strecken bezeichnet. Dabei stand im Mittelpunkt des Interesses der Einfluß von Features auf die Distanzkognition. Da in diesem Experiment auf einer anderen Betrachtungsebene die Bedeutung der Wirkung von Gliederungsfaktoren untersucht wird, wird der Begriff der „leeren Strecke“ nun nicht mehr verwendet.

**Versuchsablauf:** Die Versuchspersonen nahmen vor dem Monitor Platz und wurden gebeten, dreimal hintereinander mittels Joystick den Straßenzug zu explorieren. Danach schloß sich die in den vorangegangenen Experimenten dargestellte Distanzschätzaufgabe an.

**Versuchsplan:** Dem Versuch liegt ein zweifaktorieller Versuchsplan mit Wiederholungsmessungen auf den Faktoren A „Art der Strecke“ (A1: segmentiert aufgrund des Gruppierungsfaktors der Nähe, A2: gefüllt, A3: segmentiert aufgrund des Gruppierungsfaktors der Gleichheit) und B „Länge der Strecke“ (B1: kurz, B2: lang) zugrunde. Die abhängige Variable ist die geschätzte Länge der jeweiligen Strecken.

### 3.2.2 Ergebnisse

Es zeigt sich ein statistisch bedeutsamer Einfluß des Faktors „Art der Strecke“ ( $F_{(2/28)} = 7,37$ ,  $p < .005$ ) und ein Einfluß des Faktors „Länge der Strecke“ ( $F_{(1/14)} = 3,92$ ,  $p = .068$ ) in der Tendenz.

Objektiv lange Strecken werden in der Tendenz länger geschätzt als objektiv kurze Strecken.

Der Einfluß des Faktors Art der Strecke ist in Abbildung 27 verdeutlicht:

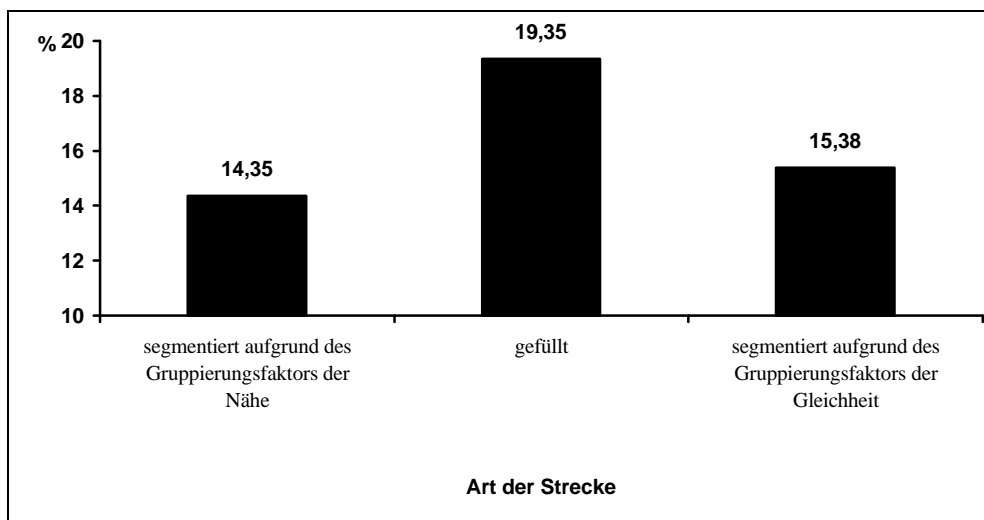


Abb. 27: Mittelwerte der geschätzten Länge der Strecken in Relation zur geschätzten Gesamtlänge der Route in % und in Abhängigkeit von den durch Gestaltfaktoren induzierten Gliederungsverhältnissen.

Die Abbildung 27 zeigt, daß die gefüllte Strecken länger geschätzt werden als die Strecken, die aufgrund der Gruppierungsfaktoren der Nähe bzw. der Gleichheit segmentiert werden. Die Schätzungen der Längen der Strecken, die durch den Faktor der Gleichheit bzw. der Nähe segmentiert sind, unterscheiden sich nicht.

Vergleicht man die Schätzung der Streckenlängen mit der für die langen und kurzen Strecken gemittelten relativen objektiven Streckenlänge (16,67%) so zeigt sich eine hohe Überschätzung der gefüllten Strecken und eine Unterschätzung der durch die Gruppierungsfaktoren der Nähe und Gleichheit segmentierten Strecken.

### **3.2.3 Diskussion**

Die Ergebnisse haben gezeigt, daß gefüllte Strecken im Vergleich zu Strecken, die durch Gruppierungsfaktoren segmentiert sind, überschätzt werden. Damit ist für die Überschätzung einer gefüllten Strecke gegenüber einer leeren Strecke das Vorhandensein eines Features, nicht aber die Segmentierung von entscheidender Bedeutung. **Die Routen-Segmentierungshypothese erweist sich somit für die Schätzung von Umgebungsdistanzen als redundant; allein die Feature-Akkumulationshypothese behält ihre Gültigkeit.**

Daß die Gruppierung gleicher Häuser zu einer Unterschätzung der Distanzen innerhalb einer Gruppierung im Verhältnis zu Distanzen zwischen Häusern über Gruppierungen hinweg führte, konnte Gehrke (1998) bei der Untersuchung der Kognition pictorialer Distanzen zeigen. Er ließ seine Versuchspersonen vor einer Leinwand eine landkartenartige Anordnung von Häusern lernen. Die Häuser konnten sich entweder hinsichtlich exogener Faktoren (wie z.B. Farbe oder Form) oder endogener Faktoren (Verknüpfung verschiedener Handlungen, die einer Gruppe von Häusern zugeordnet wurden) unterscheiden. Gemessen wurden Distanzschätzungen und Reaktionszeiten bei der Verifikation von Objektrelationen, wobei die Anordnung entweder sichtbar (Wahrnehmungsbedingung) oder nicht sichtbar (Gedächtnisbedingung) war. Die Ergebnisse zeigen den Einfluß der Gruppierung durch endogene bzw. exogene Faktoren sowohl in der Wahrnehmungs- als auch in der Gedächtnisbedingung bei den Distanzschätzungen und den Verifikationsaufgaben.

Diese Befunde machen wiederum auf die Bedeutung des Einflusses der sukzessiven vs. simultanen Präsentation räumlicher Information aufmerksam, bislang ist jedoch wenig über den Einfluß der Art der Präsentation auf die Distanzkognition bekannt. Der Einfluß der Präsentationsart wurde nur bei

speziellen Rekonstruktionsaufgaben untersucht, bei welchen auf einer Karte gelernte Objekte zu den jeweilig gelernten Lokalisationen zugeordnet werden mußten. Die Leistung, die Objekte am jeweils richtigen Ort zu rekonstruieren, war dann schlechter, wenn die Objekte in der Lernphase sukzessiv und nicht simultan dargeboten wurden. Die Leistungen nach sukzessiver und simultaner Darbietung unterschieden sich jedoch nicht, wenn die Objekte vor der Rekonstruktion bekanntgegeben wurden. Somit ist anzunehmen, daß, so lange das Behalten der Identität von Objekten erforderlich ist sich die Verfügbarkeit des Gesamtmusters positiv auf das Behalten räumlicher Information auswirkt (vgl. Schumann-Hengsteler, 1995).

Gliederungen in Form von Gruppierungen und Segmentierungen haben demnach ihren Einfluß auf die Distanzkognition, wenn die räumliche Information simultan repräsentiert wird. Es ist anzunehmen, daß sie bei sukzessiver Präsentation nur dann einen Einfluß haben, wenn sie über einen gewissen Zeitraum hinweg quasi-simultan repräsentiert sind.

### **3.3 Zusammenfassung**

In den dargestellten Experimenten konnte gezeigt werden, daß die durch Gestaltfaktoren (durchgehenden Kurve, Konvexität, Gleichheit und Nähe) induzierte Gliederung einer Route keinen Einfluß auf die Distanzkognition hat. Dahingegen wird die Kognition einer Umgebungsdistanz zwischen zwei Orten entlang einer Route von der Anzahl der auf der Route liegenden Features bestimmt. Damit behält allein die Feature-Akkumulationshypothese zur Erklärung der Distanzkognition in Umgebungsräumen ihre Gültigkeit.

Die Routen-Segmentierungshypothese gilt jedoch für den Fall, daß die räumliche Konfiguration in ihrer „Gänze“ repräsentiert ist.

## **4 Die Rolle der Intentionalität beim Erwerb von Distanzwissen**

Im vorangegangenen Kapitel konnte in den dargestellten Experimenten gezeigt werden, daß die Schätzung einer Distanz von der Anzahl der Features abhängig ist. Es stellt sich die Frage, ob diese Features entlang einer Route nur bei inzidentellem, nicht aber bei intentionalem Erwerb von Distanzwissen die Distanzkognition bestimmen. Nach Montello (1995, vgl. Seite 30) sind Individuen bei der Schätzung von Distanzen dann nicht auf Features als Heuristiken angewiesen, wenn sie bei der Erkundung der Umgebung die Möglichkeit haben, Schritte - z.B. wenn keine visuelle Information verfügbar ist - oder regelmäßig wiederkehrende Muster in ihrer Umgebung zu zählen. Dies ist in experimentellen Untersuchungen oft dann der Fall, wenn die Versuchspersonen vor dem Erlernen eines Weges wissen, daß sie in der Testphase Distanzen schätzen müssen, d.h. wenn sie intentional lernen. Es wird davon ausgegangen, daß Features beim intentionalen Wissenserwerb keinen Einfluß auf die Distanzkognition haben.

### **4.1 Methode**

**Versuchspersonen:** An dem Versuch nahmen 30 Studierende der Gerhard-Mercator-Universität Duisburg teil, 14 weibliche (Durchschnittsalter: 24,5) und 16 männliche (Durchschnittsalter: 25,14). Der Versuch fand in Einzelsitzungen statt.

**Versuchsmaterial:** Das Versuchsmaterial bestand im wesentlichen aus dem in den vorangegangenen Experimenten dargestellten virtuellen Straßenzug (vgl. Abbildung 16). Dabei waren die segmentierenden Features durch eine Querstraße, die übrigen Features entweder durch ein weißes bzw. durch ein grünes Haus (das dritte und sechste Haus vom unteren Rand der Abbildung) bestimmt. Vor dem 17-Zoll-Monitor befand sich ein Joystick.

Der in diesem Experiment eingesetzte virtuelle Straßenzug unterschied sich zu dem in Kapitel 3.1 verwendeten Straßenzug durch die farbige Gestaltung der Häuser 3 und 6. Aufgrund der möglichen Kritik, daß es sich bei der Schätzung der gefüllten Strecken um eine von der Versuchsleiterin inferierte Schätzung (vom Haus 2 bzw. 5 zum Haus 3 bzw. 6 und vom Haus 3 bzw. 6 zum Haus 4 bzw. 7) handelt, wurde in diesem Experiment, die Schätzung der gefüllten Strecke abgerufen, die von der

Versuchsperson inferiert wurde. Aus diesem Grund wurden die Versuchspersonen in der Testphase aufgefordert, nur die Positionen der sieben weißen Häuser einzuzeichnen.

Das Abrufmaterial bestand aus dem Protokollbogen (siehe Abbildung 18).

**Versuchsablauf:** Der Versuch fand in 20 Minuten dauernden Einzelsitzungen statt. Die Versuchspersonen nahmen vor dem Monitor Platz; sie wurden instruiert, dreimal hintereinander mit dem Joystick den Straßenzug entlang zu gehen. Lernten sie den Straßenzug inzidentell, wurden sie aufgefordert, den Straßenzug aufmerksam zu betrachten; lernten sie ihn intentional, wurde ihnen zudem gesagt, daß sie im Anschluß die Distanzen zwischen den weißen Häusern schätzen mußten. In der anschließenden Testphase wurde die Versuchsperson aufgefordert, auf einem Protokollbogen (vgl. Abbildung 18) mit Pfeilen die Position der sieben weißen Häuser einzuzeichnen.

**Versuchsplan:** Dem Versuch liegt ein dreifaktorieller Versuchsplan mit Wiederholungsmessungen auf den Faktoren A „Art der Strecke“ (A1: leer, A2: gefüllt, A3: segmentiert), B „Länge der Strecke“ (B1: klein, B2: groß) und C „Art des Wissenserwerbs“ (C1: inzidentell, C2: intentional) zugrunde. Den Stufen des Faktors C wurden die Versuchspersonen nach dem Zufall zugeordnet.

Die abhängige Variable ist die geschätzte Länge der jeweiligen Strecken.

## 4.2 Ergebnisse

Es zeigte sich, daß die geschätzte Distanz von den Faktoren „Länge der Strecke“ ( $F_{(1/28)} = 11,15$ ,  $p < .005$ ) und „Art der Strecke“ ( $F_{(2/56)} = 14,37$ ,  $p < .001$ ) abhängig ist. Lange Strecken werden in der virtuellen Umgebung wiederum länger geschätzt als kurze Strecken (Schätzung der langen Strecke:  $\bar{x} = 17,87\%$ ; Schätzung der kurzen Strecke:  $\bar{x} = 15,46\%$ ). Darüber hinaus werden leere Strecken ( $\bar{x} = 12,07\%$ ) kürzer geschätzt als segmentierte Strecken ( $\bar{x} = 17,76\%$ ), die gering kürzer als gefüllte Strecken ( $\bar{x} = 20,13\%$ ) geschätzt werden.

Darüber hinaus ergab die Varianzanalyse eine Interaktion zwischen den Faktoren „Art des Wissenserwerbs“ und „Art der Strecke“ ( $F_{(2/56)} = 11,36, p < .001$ ) und „Art des Wissenserwerbs“ und „Länge der Strecke“ ( $F_{(1/28)} = 7,11, p < .05$ ).

Diese Interaktionen sind in den Abbildungen 28 und 29 dargestellt:

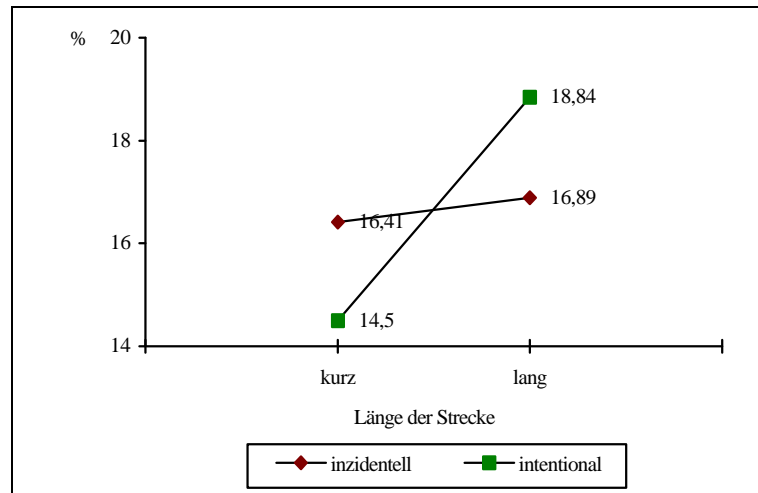


Abb. 28: Geschätzte Streckenlänge in Relation zur geschätzten Gesamtlänge der Route in %. Mittelwerte in Abhängigkeit von der Art des Wissenserwerbs und der Länge der Strecke.

Die Abbildung 28 zeigt, daß objektiv lange Strecken auch länger als objektiv kurze Strecken geschätzt werden, wenn intentional gelernt wird. Wird inzidental gelernt, unterscheiden sich die Distanzschätzungen nicht.

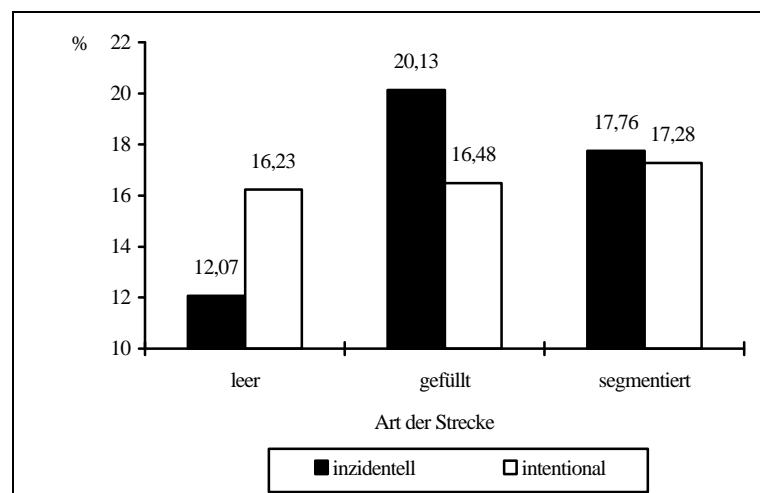


Abb. 29: Geschätzte Streckenlänge in Relation zur geschätzten Gesamtlänge der Route in %. Mittelwerte in Abhängigkeit von der Art des Wissenserwerbs und der Art der Strecke.



Die Abbildung 29 verdeutlicht, daß die Art des Wissenserwerbs keinen Einfluß auf die Schätzung der segmentierten Strecken, wohl aber auf die Schätzung der gefüllten und leeren Strecken hat: Bei inzidentellem Wissenserwerb werden gefüllte Strecken kürzer ( $t_{(28)} = 3,89$   $p=.001$ ) und leere Strecken länger ( $t_{(28)} = 4,67$ ,  $p<.001$ ) als bei intentionalem Wissenserwerb geschätzt. Darüber hinaus zeigt sich ungeachtet der objektiven Länge der Strecke, daß Features bei intentionalem Wissenserwerb keinen Einfluß auf die Distanzschätzung haben.

Betrachtet man die Schätzung der Streckenlängen in Relation zur relativen objektiven Streckenlänge, zeigt sich zudem, daß die Strecken bei intentionalem Wissenserwerb annähernd genau gleich ihrer relativen objektiven Streckenlänge (16,67% im Mittel für die objektiv kurzen und langen Strecken) geschätzt werden.

### **4.3 Diskussion**

Die Ergebnisse des Experimentes machen deutlich, daß der in den vorangegangenen Experimenten gewonnene Befund, bzgl. des Einflusses von Features auf die Distanzkognition nur für den Fall gilt, daß das Distanzwissen inzidentell erworben wurde. Bei intentionalem Wissenserwerb konnte dieser Einfluß nicht nachgewiesen werden. Features dienen offenbar nur dann als Heuristiken bei der Distanzkognition, wenn Distanzwissen nicht intentional erworben wird und somit nicht direkt abgerufen werden kann.

Dieser Befund läßt sich auch im Schema von Montello (1995; vgl. Seite 30 bzw.31) erklären: Auf Heuristiken sind die Versuchspersonen dann nicht angewiesen, wenn sie die Möglichkeit haben, wiederkehrende regelmäßige Muster in ihrer Umgebung zu zählen; dies ist oft dann der Fall, wenn explizites Wissen - z.B. durch intentionalen Wissenserwerb - vorliegt. Bezeichnend ist auch, daß die Schätzungen der Streckenlängen bei intentionalem Wissenserwerb annähernd gleich der relativen objektiven Streckenlänge geschätzt werden, Features führen dann eben nicht mehr zu „Verzerrungen“ des in einem Umgebungsraum erworbenen Distanzwissens.

Die Ergebnisse können auch in Analogie zu Befunden aus der Zeitforschung gesehen werden: Block (1992) und Zakay, Tsal, Moses und Shahar (1994) gehen davon aus, daß bei retrospektiver Anweisung die Distanz zu schätzen (inzidentelles Lernen) die Versuchspersonen Heuristiken gebrauchen, um die Schätzung eines Zeitintervalls zu rekonstruieren. Eine solche Heuristik kann die Anzahl erlebter Ereignisse sein; Stimuli-Ereignisse während des Zeitintervalls tragen demnach dazu bei, die subjektive Zeit zu vergrößern. Bei prospektiver Anweisung (intentionales Lernen) richtet die Versuchsperson ihre Aufmerksamkeit auf die Zeit. Stimuli-Ereignisse lenken die Aufmerksamkeit von der Zeit ab und verringern die zu schätzende Zeit. Dieser Zusammenhang wird auch in diesem Experiment bei der Schätzung von Distanzen deutlich: Enthalten die zu schätzenden Strecken bei intentionalem Wissenserwerb füllende Features, werden diese Strecken kürzer als bei inzidentellem Wissenserwerb geschätzt. Dieser Einfluß konnte nicht bei der Schätzung der leeren Strecken ermittelt werden. Hiermit zeigt sich somit eine Analogie zwischen der Schätzung einer Dauer und einer Distanz. Weitere Experimente müssen folgen, um diese Analogie detaillierter zu betrachten.

Es stellt sich die Frage, ob die Bedeutung des Einflusses des intentionalen bzw. inzidentellen Wissenserwerbs auf die Unterscheidung des „*automatic and effortful processing*“ bei der Enkodierung im Sinne von Hasher und Zacks (1979) zurückzuführen ist. Die Autoren gehen davon aus, daß es automatische Prozesse gibt, die von Anbeginn ohne Kapazitätsbedarf ablaufen. Dabei können diese Prozesse von der Motivation der Versuchspersonen im Sinne einer Manipulation der Verhaltensintention abhängen. Engelkamp (1990) hält hier jedoch eine gegebene Lernintention eher für hinderlich, da sie zu einer vom Versuchsleiter unkontrollierbaren Enkodierung konzeptueller Informationen führt. Er schlägt vor, Enkodierprozesse mit spezifischen Orientierungsaufgaben und unter einer inzidentellen Lernbedingung zu untersuchen (vgl. hier Ansatz der Verarbeitungstiefe von Craik und Lockhart, 1972).

Die Ergebnisse haben darüber hinaus gezeigt, daß auch bei der von der Versuchsperson inferierten Schätzung der gefüllten Strecke, diese im Verhältnis zur leeren Strecke überschätzt wird. Dies ist ein Hinweis darauf, daß es sich bei der Überschätzung der gefüllten in Relation zur leeren Strecke in den im Kapitel 3 (Teil II) dargestellten Experimenten nicht um ein methodisches Artefakt handelt.

#### **4.4 Zusammenfassung**

Bei intentionalem Wissenserwerb lässt sich weder die Feature-Akkumulationshypothese noch die Routen-Segmentierungshypothese nachweisen. Features beeinflussen somit die Distanzkognition nur dann, wenn das Distanzwissen inzidentell und nicht intentional erworben wird. Sie werden demnach nicht als Heuristiken benötigt, wenn die Versuchspersonen z.B. die Möglichkeit haben, wiederkehrende Muster in der Umgebung zu zählen, wie dies unter einer intentionalen Lernbedingung der Fall ist.

Die Distanzkognition ist somit nicht nur von der Gestaltung einer Route, sondern auch von der Art des Erwerbs des Distanzwissens abhängig.

## 5 Gesamtdiskussion

Hauptanliegen dieser Arbeit ist es, den Prozeß der Kognition von Distanzen zu beschreiben und zu erklären.

Es konnte gezeigt werden, daß die mentale Repräsentation einer Route durch das Vorhandensein von Features auf der Route bestimmt ist (vgl. Teil II, Kapitel 2, Experiment I und II). In diesem Zusammenhang ist es ein zentrales Anliegen dieser Arbeit gewesen, eine noch ausstehende Entscheidung darüber zu treffen, ob die Kognition von Distanzen in Umgebungsräumen allein durch das Auftreten der Features oder von der durch die spezifische Anordnung der Features induzierten Gliederung bestimmt wird. Es stellte sich die Frage nach der Gültigkeit der von Sadalla und Mitarbeitern formulierten **Feature-Akkumulationshypothese** (vgl. Sadalla & Magel, 1980; Sadalla & Staplin, 1980a; Sadalla & Staplin, 1980b; Sadalla, Staplin und Burroughs, 1979) bzw. der von Allen und Mitarbeitern (Allen, 1981, 1988; Allen & Kirasic, 1985; Allen, Siegel & Rosinski, 1978) formulierten **Routen-Segmentierungshypothese**.

Die Befunde zeigten, daß unter einer inzidentellen Lernbedingung eine mit Features gefüllte Strecke länger als eine leere Strecke geschätzt wird (**Feature-Akkumulationshypothese**) (vgl. Teil II, Kapitel 3, Versuch 1). Die Annahme Montellos (1995), daß nur bestimmte Features, nämlich solche, die die Route gliedern, wie z.B. eine Querstraße, die Schätzung einer Distanz vergrößern können, konnte damit nicht aufrecht erhalten werden. Zwar wird auch die durch eine Querstraße gegliederte Strecke bei aktiver Exploration des Raumes länger als eine Strecke zwischen zwei unmittelbar aufeinanderfolgender Features geschätzt, aber dieser Einfluß ist nur auf das Auftreten des Features (Querstraße) und nicht auf die gliedernde Rolle, die dieses Feature entlang der Route einnimmt, zurückzuführen. Es zeigte sich auch kein Einfluß der von Features induzierten Gliederung: Das Auftreten eines Features, nicht aber die durch Gestaltfaktoren (durchgehenden Kurve, Konvexität, Gleichheit und Nähe) induzierte Gliederung einer Route ist von entscheidender Bedeutung für die Distanzkognition (vgl. Teil II, Kapitel 3.1 und 3.2). Die von Allen und Kirasic (1985) getroffene Aussage „... *route segmentation as an analog of categorization is responsible for systematic distortion for distance*

*judgements,...*“ (Allen & Kirasic, 1985, S. 226) ist somit nicht aufrecht zu erhalten. Nicht aufgrund der durch die spezifische Anordnung von Features induzierten Gliederung, sondern allein durch das Vorhandensein von Features auf der Route wird die Distanzkognition beeinflusst; die **Routen-Segmentierungshypothese** kann damit für die Erklärung der Kognition von Umgebungsdistanzen nicht beibehalten werden.

Der Einfluß von Art und Funktion eines Features wurde in den Untersuchungen von Allen und Mitarbeitern vernachlässigt: In ihren Untersuchungen bleibt zum einen offen, ob es sich bei der Schätzung der Strecken innerhalb eines Segmentes um gefüllte oder leere Strecken handelte, zum anderen bleibt unklar, ob sich die inter-segmentalen Schätzungen, d.h. die Schätzungen von Strecken über eine Segmentgrenze hinweg, unterscheiden, wenn die Gliederung in Segmente durch segmentierende Features (Einfluß der Gestaltfaktoren der durchgehenden Kurve und des Figur-Grund Faktors der Konvexität) oder durch die spezifische Anordnung von Features (Einfluß der Gestaltfaktoren der Gleichheit und Nähe) induziert wurde.

Die Ablehnung der Routen-Segmentierungshypothese gilt jedoch nur für den Fall, daß die jeweils experimentell dargebotene räumliche Konfiguration nicht in ihrer „Gänze“ beim Individuum repräsentiert ist. Somit verliert die Routen-Segmentierungshypothese ihre Gültigkeit, wenn die mentale Repräsentation der Route als quasi dreidimensionale Abbildung vorliegt, und sich das kognizierende System sozusagen mitten in der Szene befindet, es sich also um „*die Feldperspektive (F-Perspektive) der internen Repräsentation*“ (Herrmann et al., 1997, S.13) handelt. Ihre Gültigkeit besitzt die Routen-Segmentierungshypothese dann, wenn die räumliche Konfiguration in ihrer „Gänze“ repräsentiert ist, wie beim Erwerb von Kartenwissen und der Kognition pictorialer Distanzen. So konnte gezeigt werden, daß bei Simultandarbietung der räumlichen Konfiguration in Form einer Obenaufsicht, d.h. in Form z.B. einer Karte, allein die durch segmentierende Features induzierte Gliederung einer Route die Schätzung der Distanzen beeinflusst. Features, die eine Strecke entlang einer Route nur füllen, führen dagegen nicht zu einer Überschätzung der Strecke im Verhältnis zu einer leeren Strecke (vgl. Teil II, Kapitel 3, Versuch 3.1). Dabei wurde die Bedeutung von Gliederungsprozessen auf die Perzeption und Kognition pictorialer Distanzen schon in zahlreichen Arbeiten nachgewiesen (vgl. z.B. Cohen, Baldwin & Sherman, 1978; Gehrke, 1998; Hirtle & Kallman, 1988; Kosslyn, Pick & Fariello; McNamara, 1986). Der von Thorndyke

(1981b) formulierte Feature-Effekt konnte in dieser Arbeit für die Kognition pictorialer Distanzen nicht nachgewiesen werden. Dies ist meines Erachtens dadurch zu begründen, daß die gefüllte Strecke nur durch das Vorhandensein eines Features und nicht durch eine größere Anzahl von Features bestimmt war.

Es ist jedoch anzunehmen, daß sich der Einfluß der Gliederung nicht nur beim Erwerb pictorialer Distanzen, sondern auch bei der Kognition von Umgebungsdistanzen zeigen kann. Dies ist dann der Fall, wenn die mentale Repräsentation des Weges als zweidimensionales flächenartiges Gebilde, auf das man sozusagen aus der Vogelperspektive schaut, vorliegt. Diese Repräsentationsform wird Beobachterperspektive genannt (vgl. Herrmann et al., 1997). Der Einfluß der Gliederung kann sich zudem auch dann zeigen, wenn sich das Routenwissen bereits zu einem Überblickswissen entwickelt hat (vgl. Seite 22) bzw. wenn die Aufgabe die Entwicklung eines Überblickswissens verlangt. Erst bei der Integration des Routenwissens zum Überblickswissen spielt die segmentale Organisation der Route eine Rolle. Fehlt diese Integration oder wurde sie nicht verlangt, so ist der Weg offensichtlich eher mit seinen Features als Sukzessivstruktur bzw. als Bild-, Entscheidungs-, Gradienten oder Blick- und Bewegungssequenz repräsentiert.

Diese Repräsentationen ergeben sich jedoch nicht allein aufgrund der Konstituenten (visuelle Repräsentate, Entscheidungen etc.) der Sequenzen, sondern sie sind sicherlich auch davon abhängig, wie die Sukzessionen erlebt wurden. Müller (1963) hat folgende phänomenologische Polaritäten für die Beschreibung von Sukzessionen vorgesehen (vgl. Heineken, 1975, S.6):

- thematisch - unthematisch
- objektbestimmt - subjektbestimmt
- transitorisch - kumulativ
- progressiv - regressiv

Nach diesen phänomenologischen Unterscheidungen werden Sukzessionen bei aktiver Exploration des Umgebungsraums als *thematisch* und *subjektbestimmt* erlebt, da das Auftreten der Features in einer anschaulich gegebenen Beziehung des Voreinanders und Nacheinanders steht und die Versuchspersonen zudem das Gefühl haben, den erlebten Straßenzug selbst zu durchlaufen. Die erlebte Sukzession ist *transitorisch* und *nicht kumulativ*, da am Ende der Exploration des Straßenzuges

dieser nicht als Ganzes gegenwärtig ist; *progressiv* ist die Sukzession deshalb, da zu den bereits aufgetretenen Features ständig neue hinzutreten.

Gerade die Beurteilung der Sukzession in phänomenologischer Hinsicht bzgl. des Eigenschaftspaars *transitorisch* - *kumulativ* ist für die Erklärung des fehlenden Einflusses der Routengliederung auf die Kognition von Umgebungsdistanzen von entscheidender Bedeutung: Wäre der Straßenzug kumulativ erlebt worden und am Ende der Exploration in der Anschauung des Individuums in seiner „Gänze“ repräsentiert, könnte man davon ausgehen, daß der Umgebungsraum als Quasi-Simultanstruktur repräsentiert ist, bzw. es sich bei der Repräsentationsform um die Beobachterperspektive handelt, und sich ein Einfluß der Gliederungen gezeigt hätte. Für die Untersuchung des Einflusses von Gliederungen auf die Kognition von Umgebungsdistanzen ist somit nicht von Bedeutung, daß der Umgebungsraum sukzessiv erfahren wurde, sondern daß diese Sukzession als transitorisch erlebt wurde.

Löst man sich von der restringierten Darbietung eines Weges in den vorliegenden Experimenten und betrachtet das alltägliche Verhalten in einer komplexen räumlichen Umgebung, stellt sich die Frage, ob die interne Repräsentation eines Weges nicht nur von dem Vorhandensein oder Anordnung von Features abhängig ist, sondern auch von der Wirkung dieser Features auf den Betrachter. Kognitionspsychologische Untersuchungen zu diesem Themenbereich fehlen gänzlich, wohingegen es psychologische Untersuchungen im Bereich der Architektur gibt. Hier steht die Frage nach der Wirkung von Fassaden (Bortz, 1972; Krampen, 1979), von Gebäuden oder anderen Baulichkeiten (Canter & Thorne, 1972; Dirlwanger et. al., 1977) im Mittelpunkt des Interesses. In einem nächsten Schritt könnte der Einfluß von Features, die auf einer konnotativ-evaluativen Ebene unterschieden werden, auf die Distanzkognition untersucht werden.

Daß der oben dargelegte Befund, die Gültigkeit der Feature-Akkumulationshypothese bzw. die Ablehnung der Routen-Segmentierungshypothese für die Erklärung der Kognition von Umgebungsdistanzen, nicht in aller Stringenz beibehalten werden kann, hat der zweite Hauptbefund der Arbeit gezeigt: Bei intentionalem Erwerb von Distanzwissen läßt sich weder die Feature-Akkumulationshypothese noch die Routen-Segmentierungshypothese bestätigen (vgl. Teil II, Kapitel 4). Nach intentionalem Lernen kann das Distanzwissen direkt ohne die Anwendung weiterer Heuristiken abgerufen werden, die Distanzschätzung beruht nicht, wie unter einer inzidentellen Lernbedingung, auf einer Inferenz der Distanz aufgrund der auf dem

jeweiligen Weg sukzessiv erfahrenen und abrufbaren Features. Damit wird deutlich, daß die mentale Repräsentation nicht nur durch die beobachtbaren Reizkonstellationen, wie z.B. durch die Umgebungsmerkmale entlang einer Strecke, sondern auch durch Prozeßbedingungen, die sich auf den Erwerb des Distanzwissens beziehen, beeinflusst wird.

Die erlebte Sukzession kann in phänomenologischer Hinsicht unter der intentionalen Lernbedingung im Gegensatz zur inzidentellen Lernbedingung als *unthematisch* und *objektbestimmt* beschrieben werden: Sie ist unthematisch, da nicht die Sukzession an sich, sondern die Distanz zwischen den einzelnen Features Gegenstand des Erlebens ist. Die Sukzession kann auch als objektbestimmt aufgefaßt werden, da das Subjekt sie als nicht durch sich beeinflusst erlebt.

Es zeigt sich demnach, daß die Art des Erlebens der Sukzession für die Erklärung der Kognition von Umgebungsdistanzen von hervorragender Bedeutung ist. Die Beachtung von Erlebnisdaten bei gleichzeitiger Berücksichtigung der methodologischen Standards einer experimentell-psychologischen Forschung in der Gedächtnispsychologie gewinnt damit an Bedeutung (vgl. Heineken, 1987).

Bislang gibt es nur sehr wenige - ausschließlich entwicklungspsychologische - Untersuchungen, die sich mit der Rolle der Intentionalität beim Erwerb räumlichen Wissens beschäftigen; Herman, Kolker und Shaw (1982) ermittelten z.B. bei Kindern verschiedener Altersgruppen den Einfluß der motorischen Aktivität auf die Fähigkeit, eine unter inzidentellen bzw. intentionalen Bedingungen gelernte Häuseranordnung in einer Modellstadt zu rekonstruieren. Gerade bei den jüngeren Kinder im Alter von ca. 6 Jahren, zeigte sich eine verbesserte Rekonstruktionsleistung aufgrund des Grades der Eigenaktivität. Die Art des Wissenserwerbs - inzidentell vs. intentional - war bedeutungslos. Dies kann zum einen dadurch erklärt werden, daß die Kinder in der intentionalen Bedingung keine passende Strategie angewendet haben, um sich die Positionen der Gebäude innerhalb der Modellstadt zu merken, zum anderen aber auch dadurch, daß ihnen zwischen der Lern- und Prüfphase die Zeit fehlte, das Gelernte zu wiederholen. Darüber hinaus handelte es sich um das Lösen einer für die Kinder komplexen Aufgabe, die sich auch bei einem intentionalen Wissenserwerb als schwierig erwies. Cohen, Weatherford, Lomenick und Koeller (1979) konnten zeigen, daß Kinder die einen Weg durch aktive Exploration erlernten und die vor Versuchsbeginn wußten, daß sie im Anschluß an die Lernphase Distanzen schätzten mußten, die Distanzen genauer schätzten als Kinder, die den Weg passiv und inzidentell lernten.

Eine weitere Prozeßbedingung, die die Kognition und damit die mentale Repräsentation der Umgebungsdistanzen beeinflusst, ist die Art der Exploration des



Raumes. Im Rahmen dieser Arbeit konnte jedoch nur streng systematisch gezeigt werden, daß die Überschätzung der segmentierten Strecke im Verhältnis zur leeren Strecke bei aktiver Exploration des Raumes größer ist als bei passiver Exploration (vgl. Teil II, Kapitel 3, Versuch 2; vgl. auch Cohen und Weatherford, 1980). Die Bedeutung der motorischen Aktivität wurde bislang besonders anhand vieler entwicklungspsychologischer Studien belegt (Cohen & Cohen, 1982; Cohen, Weatherford & Byrd, 1980; Feldmann & Acredolo, 1979; Poag, Cohen & Weatherford, 1983).

Es muß diskutiert werden, ob in den in virtuellen Umgebungen durchgeführten Experimenten von aktiver und passiver Exploration des Raumes gesprochen werden kann: Bezogen auf den Energieaufwand kann die Fortbewegung in der virtuellen Umgebung durch das Drücken des Joysticks als aktiv beschrieben werden, während das Betrachten eines Films über den virtuellen Straßenzug eher als passiv bezeichnet werden kann. Dabei hätte der Grad der Aktivität noch stärker dadurch betont werden können, wenn die Versuchspersonen unter Benutzung eines Lenkrades sowie eines Gas- und Bremspedals die Wege exploriert hätten. Betrachtet man die Begriffe der aktiven und passiven Exploration hinsichtlich der Möglichkeit bzw. Unmöglichkeit, den eigenen Weg und die Geschwindigkeit der Fortbewegung kontrollieren zu können, ist sowohl das Lernen des Straßenzuges durch das Drücken des Joysticks bis zum Anschlag als auch das Betrachten eines Films über diesen virtuellen Straßenzug als passiv zu bezeichnen. Um die Bedeutung der Explorationsart weiterhin zu überprüfen, bedarf es einer experimentellen Anordnung in einer virtuellen Umgebung, die die Versuchspersonen frei und selbstbestimmt (Wählen des individuellen Tempos, Abbiegen an Querstraßen etc.) explorieren können. Diese Anordnung bot sich in dieser Arbeit nicht an, da die Anzahl der auf dem Weg wahrgenommenen und verarbeiteten Features aufgrund der zu untersuchenden Fragestellungen kontrolliert werden mußte.

Die Untersuchungen zum Einfluß der Explorationsart sind jedoch für die Erforschung des räumlichen Wissens von großer Bedeutung; so kann angenommen werden, daß Personen, die sich überwiegend zu Fuß oder mit dem Fahrrad fortbewegen, die besten Kenntnisse über ihre Umgebung - und damit auch ein genaues Distanzwissen - besitzen, gefolgt von aktiven Autofahrern, Mitfahrern im Auto oder Benutzer öffentlicher Verkehrsmittel (Moore, 1979). Die Frage, inwieweit

die in virtuellen Umgebungen gewonnenen Befunde auf das Verhalten in der realen Welt zu übertragen sind, d.h. die Frage z.B. danach, inwieweit die durch die Bewegung des Lenkrades und Betätigung von Pedalen simulierte aktive Exploration in einer virtuellen Umgebung mit dem Fahren eines Autos in einer natürlichen Umgebung zu vergleichen ist, bleibt dabei weiterhin bestehen.

Somit stellt sich die Frage nach dem Nutzen und den Vorteilen des Einsatzes virtueller Umgebungen in der Raumkognitionsforschung. Die Vorteile zeigen sich dahingehend, daß durch die Möglichkeit der Interaktion das Erlernen eines Weges in engem Zusammenhang zum Erwerb des Routenwissens im Alltag steht: Die Künstlichkeit der Laborsituation wird aufgrund ihrer hohen Face-Validität für die Versuchspersonen reduziert, die Validität des Laborexperimentes bzgl. der Situations- und Konstruktrepräsentativität wird erhöht (vgl. Heineken, 1984). Zudem bietet der Einsatz der Technik die reliable Registrierung des Orientierungsverhaltens und eine einfache Variation der experimentellen Bedingungen (vgl. Teil II, Kapitel 1). Die Bedeutung des Einsatzes virtueller Umgebungen für die ökonomischere und realitätsnähere Gestaltung von Laborexperimenten besteht zudem in der wenig zeitintensiven Simulation einer Umgebung, den verschiedenen Möglichkeiten der Darbietung einer räumlichen Konfiguration (Routen- und Überblicksansicht), der Wiedergabe jeglicher Details und räumlicher Eigenschaften und der Möglichkeit der interaktiven Exploration des Raumes.

Trotz der großen Vorteile, die der Einsatz virtueller Umgebungen bei der Untersuchung räumlichen Wissens bietet, werden diese Umgebungen zwar häufiger aber immer noch zögerlich eingesetzt. Dies liegt zum einen daran, daß der Preis z.B. für ein „Immersive-Virtual-Reality-System“, trotz der sinkenden Kosten, zu diesem Zeitpunkt im Verhältnis zu einer herkömmlichen Ausstattung hoch ist, zum anderen wird der geringe Einsatz aber auch dadurch bestimmt, daß die Bedeutung sowohl für die laborexperimentelle Forschung im Allgemeinen als auch für die Untersuchung räumlichen Wissens im Besonderen noch wenig erkannt wurde.

Dieser zögerliche aber doch steigende Einsatz virtueller Umgebungen innerhalb der räumlichen Kognitionsforschung spiegelt den Umgang mit VR in anderen wissenschaftlichen Bereichen wieder: In der Psychotherapie z.B. werden VR-Welten noch selten, in der Medizin hingegen immer häufiger eingesetzt. Auch die wachsenden Auswirkungen, die der Einsatz von Virtual Reality auf das gesamte

gesellschaftliche Zusammenleben hat, sind nicht zu übersehen. Durch die Visualisierung dreidimensionaler Objekte im Internet mittels *Virtual Reality Modeling Language* (VRML) lassen sich virtuelle Welten über elektronische Netze verteilt darstellen und navigierbar machen (Lochter, Däßler & Morin, 1996). Damit wird zunächst der Datenaustausch und die Zusammenarbeit unter Wissenschaftlern gefördert und bei der wachsenden Bedeutung, die dem Internet in allen gesellschaftlichen Bereichen zukommt, wird die Technik der virtuellen Realität einer immer größer werdenden Anwendergruppe zugänglich werden. Durch den Einsatz von VR in Schulen werden nachfolgende Generationen mit der neuen Technik aufwachsen; es bleibt abzuwarten, inwieweit die Interaktion der Schüler in der realen Welt dadurch beeinflusst wird. Medienpsychologen untersuchen zur Zeit die Auswirkung von Virtual Reality auf die parasoziale Interaktion (Bente & Otto, 1996).

Der Einsatz von VR wird sicherlich maßgeblich durch die Produktion kostengünstiger und anwenderfreundlicher VR-Systeme mit hoher Qualität bestimmt; auf diesem schnellebigen Entwicklungsgebiet ist es jedoch schwer vorherzusagen, welche eben noch beschriebenen Hardware- und Softwaremöglichkeiten morgen noch aktuell sein werden.

Die Entwicklung von VR wird nicht in ein, zwei Jahren abgeschlossen sein. In dieser Entwicklung steckt ein großes Potential; welche Einsatzmöglichkeiten gerade zu diesem Zeitpunkt bereits möglich oder in der Entwicklung sind, wurde unlängst (Oktober 1997) am Beispiel von Entwicklungen in Japan dargestellt (Post, 1997): Historische Stätten werden simuliert, so daß traditionelle Dörfer vom Wohnzimmer aus besichtigt werden können; Kinder im Krankenhaus soll der Besuch eines virtuellen Spielplatzes ermöglicht werden; die Entwicklung eines Haptic-Interfaces wird vorangetrieben, so daß das Fühlen im virtuellen Raum bald möglich ist. Dies wird ergänzt durch ein Projekt mit welchem die Geruchsverbreitung in einer virtuellen Umgebung untersucht wird. Einhergehend mit der technischen Entwicklung bedarf es einer sozial-juristischen Begleitung, die die gesellschaftlichen Veränderungen aufgrund dieser Technik im Auge behält.

Die Forderung von Bormann (1994, S.227): „*Die Potentiale der VR zu nutzen, ohne in deren zahlreichen Irrwege und Abgründe zu stürzen, das ist die eigentliche Herausforderung, die die VR der Gesellschaft aufgibt*“ darf auch in Übertragung auf die Forschung zur Raumkognition nicht unbeachtet bleiben: Der Einsatz virtueller Umgebungen muß kritisch genutzt werden. Diese kritische Nutzung zeigt sich dann, wenn neben der Wertschätzung einer realitätsnäheren und ökonomischeren Gestaltung von Laborexperimenten nicht vergessen wird, daß die Aussagen über das räumliche Wissen z.B. durch die Erwerbssituation in virtuellen Umgebungen beeinflusst werden können. Virtuelle Umgebungen müssen so eingesetzt werden, daß

unter Kontrolle möglicher Störvariablen realitätsnähere Laborexperimente durchgeführt werden können, die es ermöglichen, von dem Verhalten im Experiment auf das Verhalten in Alltagssituationen zu schließen.

Wissenschaftlich an Alltagsfragen heranzugehen, bedeutet die problematisierende Situation auf jene Komponenten hin zu untersuchen, zu denen wissenschaftliche Aussagen aufgestellt werden können und diese dann dergestalt in Beziehung zu setzen, daß eine partielle Repräsentation der Alltagssituation möglich ist (Tack, 1994). Ohne den Einsatz virtueller Umgebungen hätte in dieser Arbeit die Frage nach dem Einfluß von „füllenden“ und „segmentierenden“ Features auf die Distanzkognition entweder nicht unter der Kontrolle möglicher Störvariablen oder nicht in dieser ökonomischen Form untersucht werden können. Der Einsatz virtueller Umgebungen bot demnach die Möglichkeit, eine weitere Komponente einer Alltagssituation zu untersuchen; die Repräsentation der Alltagssituation wird damit umfassender. Erst wenn virtuelle Umgebungen weiterhin mit dem Ziel eingesetzt werden, eine Vielzahl von Komponenten - die in Feldexperimenten und traditionellen Laborexperimenten nicht untersucht werden können - einer problematisierenden Situation zu untersuchen, kann ihr Einsatz zu einem Gewinn für die laborexperimentelle Raumkognitionsforschung werden.

**Zusammenfassung**

Die Kognition von Distanzen wird nach dem heutigen Stand der Forschung sowohl von Gestaltungsmerkmalen der räumlichen Gegebenheiten als auch von der Art und Weise der Exploration des Raumes durch den Menschen bestimmt. In acht Experimenten mit insgesamt 180 Versuchsteilnehmern werden die Effekte von Gestaltungs- und Prozeßbedingungen auf das räumliche Orientierungsverhalten und die Distanzkognition in virtuellen Umgebungsräumen ermittelt. Variiert werden hierbei neben der Art der Exploration (aktiv, passiv) und der psychophysischen Methodik (Methode der Größenverhältnisschätzung, Herstellungsmethode), die Art des Wissenserwerbs (inzidentell, intentional) sowie die Gestaltungsweise der Wege in unterschiedlichen virtuellen Umgebungen.

Zentrales Anliegen der experimentellen Arbeit ist es, eine noch ausstehende Entscheidung darüber herbeizuführen, ob die Distanzkognition in Umgebungsräumen allein durch das Auftreten von Features (Feature-Akkumulationshypothese) oder von der durch die spezifische Anordnung der Features induzierten Gliederung (Routen-Segmentierungshypothese) bestimmt wird.

Die Befunde zeigen, daß unabhängig von der Art der Exploration des Raumes und der psychophysischen Meßmethodik die induzierte Gliederung einer Route keinen Effekt auf die Distanzkognition hat, wenn Distanzen nicht intentional gelernt werden. Unter dieser Lernbedingung gilt die Feature-Akkumulationshypothese: Die Kognition einer Umgebungsdistanz zwischen zwei Örtern entlang einer Route wird von der Anzahl der auf der Route liegenden Features bestimmt. Dies gilt jedoch nur für den Fall, daß die jeweils experimentell dargebotene räumliche Konfiguration nicht in ihrer „Gänze“ repräsentiert ist; bei Simultandarbietung der räumlichen Konfiguration in Form einer Obenaufsicht, läßt sich zeigen, daß die nach Gestaltfaktoren induzierten Gliederungsverhältnisse die Distanzkognition bestimmen. Unter dieser Bedingung gilt die Routen-Segmentierungshypothese: Abstände zwischen zwei ausgegliederten Segmenten werden länger geschätzt als gleich lange Strecken innerhalb eines Segmentes.

Bei intentionalem Erwerb von Distanzwissen läßt sich weder die Feature-Akkumulationshypothese noch die Routen-Segmentierungshypothese nachweisen.

Dieser Befund wird dadurch erklärt, daß unter dieser Lernbedingung ein direkter Abruf von Distanzwissen möglich ist, während die Distanzschätzung nach inzidentellem Lernen indirekt aufgrund der auf der jeweiligen Route sukzessiv erfahrenen und abrufbaren Features inferiert wird.

Die Arbeit zeigt, daß der Einsatz der Virtual-Reality-Technologie eine realitätsnähere und ökonomischere Gestaltung räumlicher Gegebenheiten im Laborexperiment ermöglicht, als dies bislang traditionelle experimentelle Settings erlaubten.

**Literatur**

Acredolo, L. (1981). Small and large-scale spatial concepts in infancy and childhood. In L. Liben, A. Patterson & N. Newcombe (Eds.), *Spatial representation and behavior across the life span* (pp. 63-82). New York: Academic Press.

Allen, G.L. (1981). A developmental perspective on the effect of „subdividing“ macrospatial experience. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 7, 120-132.

Allen, G.L. (1988). The acquisition of spatial knowledge under conditions of temporospatial discontinuity. *Psychological Research*, 50, 183-190.

Allen, G.L. & Kirasic, K.C. (1985). Effects of the cognitive organization of route knowledge on judgments of macrospatial distance. *Memory & Cognition*, 13, 218-227.

Allen, G.L., Siegel, A.W. & Rosinski, R.R. (1978). The role of perceptual context in structuring spatial knowledge. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 4, 617-630.

Anderson, N.H. (1970). Averaging model applied to the size-weight illusion. *Perception & Psychophysics*, 8, 1-4.

Appleyard, D. (1969). Why buildings are known. A predictive tool for architectures and planners. *Environment and Behavior*, 1, 131-156.

Bachmann, E. & Perrig, W.J. (1988). Die mentale Repräsentation von verbalen Ortsbeschreibungen. *Schweizerische Zeitschrift für Psychologie*, 47, 25-36.

Baddeley, A.D. (1990). *Human memory. Theory and Practice*. Hove, UK: Erlbaum.

Baird, J.C. (1970). *Psychophysical analysis of visual space*. Pergamon: New York.

Baird, J.C., Merrill, A.A. & Tannenbaum, J. (1979). Studies of the cognitive representation of spatial relations: II. A familiar environment. *Journal of Experimental Psychology: General*, 108, 92-98.

Baird, J.C., Wagner, M. & Noma, E. (1982). Impossible cognitive spaces. *Geographical Analysis*, 14, 204-216.

Bardelle, S. (1997). *Determinanten kognitiver Distanzen in einem virtuellen „large-scale-space“ - eine experimentelle Untersuchung*. Unveröffentlichte Staatsexamensarbeit. Duisburg: Gerhard-Mercator-Universität Duisburg.

Bartram, D.J. (1980). Comprehending spatial information: the relative efficiency of different methods of presenting information about bus routes. *Journal of Applied Psychology*, 65, 103-110.

Bauer, Ch. (1996). *Nutzenorientierter Einsatz von Virtual Reality im Unternehmen*. München: Computerwoche Verlag.

Baum, D.R. & Jonides, J. (1979). Cognitive maps: Analysis of comparative judgements of distance. *Memory and Cognition*, 7, 462-468.

Beatty, W.W. & Bernstein, N. (1989). Geographical knowledge in patients with Alzheimer's disease. *Journal of Geriatric Psychiatry and Neurology*, 2, 76-82.

Beck, R. & Wood, D. (1976). Cognitive transformation of information from urban geographic fields to mental maps. *Environment and Behavior*, 8, 199-238.

Bente, G. & Otto, I. (1996). Virtuelle Realität und parasoziale Interaktion, *Medienpsychologie*, 7, 217-244.



Berendt, B. (1998). *Representation and processing of knowledge about distances in environmental spaces. A computational model of inferred route distances investigating their qualitative and quantitative determinants*. Unveröffentlichte Dissertation, Fachbereich Informatik. Hamburg: Universität Hamburg.

Berendt, B. & Jansen-Osmann, P. (1997). Feature accumulation and route structuring in distance estimations - an interdisciplinary approach. In S. Hirtle & A. Frank (Eds.), *Spatial information theory (COSIT 1997)* (pp. 279-295). Berlin: Springer.

Biocca, F. (1992). Virtual reality technology: A tutorial. *Journal of Communication*, 42, 23-72.

Björkman, M., Lundberg, I. & Tärnblom, S. (1960). On the relationship between memory and percept: A psychophysical approach. *Scandinavian Journal of Psychology*, 1, 136-144.

Bliss, J., Tidwell, P. & Guest, M. (1997). The effectiveness of Virtual Reality for administering spatial navigation training to firefighters. *Presence*, 6, 73-86.

Block, R. (1992). Prospective and retrospective duration judgement: The role of information processing and memory. In F. Macar, V. Pouthas & W. Friedman (Eds.), *Time, action and cognition* (pp. 141-152). Dordrecht: Kluwer.

Bormann, S. (1994). *Virtuelle Realität: Genese und Evaluation*. Bonn: Addison-Wesley.

Bortz, J. (1972). Beiträge zur Anwendung der Psychologie auf den Städtebau II: Erkundungsexperimente zur Beziehung zwischen Fassadengestaltung und ihrer Wirkung auf den Betrachter. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, 19, 226-281.

Bratfisch, O. (1969). A further study of the relation between subjective distance and emotional involvement. *Acta Psychologica*, 29, 244-255.

Brewer, W.F. & Treyens, J.C. (1981). Role for schemata in memory for places. *Cognitive Psychology*, 13, 207-230.

Briggs, R. (1973). Urban cognitive distance. In R.M. Downs & D. Stea (Eds.), *Image and environment: Cognitive mapping and spatial behavior* (pp. 361-388). Chicago: Aldine.

Briggs, R. (1976). Methodologies for the measurement of cognitive distance. In G.T. Moore & R.G. Golledge (Eds.), *Environmental knowing: Theories, research and methods* (pp. 325-334). Stroudsburg, PA: Dowden, Hutchinson & Ross.

Brunswick, E. (1956) (2<sup>nd</sup> edition). *Perception and the representative design of psychological experiments*. Berkeley: California Press.

Buhl, H.M. (1996). *Wissenserwerb und Raumreferenz. Ein sprachpsychologischer Zugang zur mentalen Repräsentation*. Tübingen: Niemeyer.

Butler, D.L., Acquino, A.L., Hissong, A.A. & Scott, P.A. (1993). Wayfinding by newcomers in a complex building. *Human Factors*, 35, 159-173.

Cadwallader, M.T. (1973). A methodological examination of cognitive distance. In W. Preiser (Ed.), *EDRA 4* (Vol.2) (pp.193-199). Stroudsburg, PA: Dowden, Hutchinson & Ross.

Cadwallader, M.T. (1979). Problems in cognitive distance: implications for cognitive mapping. *Environment and Behavior*, 11, 559-576.

Campbell, D.T. & Stanley, J.C. (1963). *Experimental and quasi-experimental designs research*. Chicago: Rand McNally.

Canter, D. & Thorne, R. (1972). Attitudes to housing. A cross-cultural comparison. *Environment and Behavior*, 4, 3-32.

Carstensen, K.U. (1988). WeBS - ein System zur Generierung von Wegbeschreibungen. *LILOG-Memo*, 11, IBM-Deutschland.

Chapanis, A. (1967). The relevance of laboratory studies to practical situations. *Ergonomics*, 10, 557-577.

Cohen, J. (1964). Psychological time. *Scientific American*, 211, 116-124.

Cohen, J. & Cooper, P. (1962). New phenomena in apparent duration, distance, and speed. *Nature*, 196, 1233-1234.

Cohen, J., Cooper, P. & Ono, A. (1963). The hare and the tortoise: A study of the tau-effect in walking and running. *Acta Psychologica*, 21, 387-393.

Cohen, R., Baldwin, L.M. & Sherman, R.C. (1978). Cognitive maps of a naturalistic setting. *Child Development*, 49, 1216-1218.

Cohen, R. & Schuepfer, Th. (1980). The representation of landmarks and routes. *Child Development*, 51, 1065-1071.

Cohen, R. & Weatherford, D.L. (1980). Effects of route travelled on the distance estimates of children and adults. *Journal of Experimental Child Psychology*, 30, 464-472.

Cohen, R., Weatherford, D. & Byrd, D. (1980). Distance estimates of children as a function of acquisition and response activities. *Journal of Experimental Child Psychology*, 30, 464-472.

Cohen, R., Weatherford, D.L., Lomenick, T. & Koeller, K. (1979). Development of spatial representations: The role of task demands and familiarity with the environment. *Child Development*, 50, 1257-1260.

Cohen, S. & Cohen, R. (1982). Distance estimates of children as a function of type of activity in the environment. *Child Development*, 53, 834-837.

Corlett, J.T., Byblow, W. & Taylor, B. (1990). The effect of perceived locomotor constraints on distance estimation. *Journal of Motor Behavior*, 22, 347-360.

Cornell, E.H., Heth, C.D. & Alberts, D.M. (1994). Place recognition and wayfinding by children and adults. *Memory and Cognition*, 22, 633-643.

Craik, F.I.M. & Lockhart, R.S. (1972). Levels of processing: A framework for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 11, 671-684.

Dainoff, M.J., Miskie, D.K., Wilson, C. & Crane, P. (1974). Psychophysical measurement of environmental distance. In D.H. Carson (Ed.), *Man-Environment Interactions: Evaluations and Associations* (EDRA 5 Proceedings) (pp. 1-20). Milwaukee.

Da Silva, J.A. (1982). Scales for subjective distance in a large open field from the fractionation method: Effects of type of judgement and distance range. *Perceptual and Motor Skills*, 55, 283-288.

Darken, R.P. (1996). *Wayfinding in large-scale virtual worlds*. Unpublished Dissertation. Washington: George-Washington-University.

Dirlewanger, H., Geisler, E. & Magnano-Lampugnani, F. (1977). Architektur ohne Willkür. *Bild der Wissenschaft*, 12, 102-115.

DiZio, P. & Lackner, J. (1992). Spatial orientation, adaptation and motion sickness in real and virtual environments. *Presence*, 1, 319-328.

Downs, R.M. & Stea, D. (1982). *Kognitive Karten. Die Welt in unseren Köpfen*. New York: Harper & Row.

Ekman, G. & Bratfisch, O. (1965). Subjective distance and emotional involvement: A psychological mechanism. *Acta Psychologica*, 24, 430-437.

Engelkamp, J. (1990). *Das menschliche Gedächtnis*. Göttingen: Hogrefe.

Engelkamp, J. & Pechmann, Th. (1993). Kritische Anmerkungen zum Begriff der mentalen Repräsentation. In J. Engelkamp & Th. Pechmann (Hrsg.), *Mentale Repräsentationen* (S. 7-16). Bern: Huber.

Evans, G.W., Fellows, J., Zorn, M. & Doty, K. (1980). Cognitive mapping and architecture. *Journal of applied Psychology*, 65, 474-478.

Evans, G.W. & Pezdek, K. (1980). Cognitive mapping: Knowledge of real-world distance and location information. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 6, 13-24.

Feldman, A. & Acredolo, L. (1979). The effect of active versus passive exploration on memory for spatial location in children. *Child Development*, 50, 698-704.

Fraisse, P. (1984). Perception and estimation of time. *Annual Review of Psychology*, 35, 1-36.

Freksa, Ch. & Habel, Ch. (1990). Warum interessiert sich die Kognitionsforschung für die Darstellung räumlichen Wissens? In Ch. Freksa und Ch. Habel (Hrsg.), *Repräsentation und Verarbeitung räumlichen Wissens* (S.1-15). Berlin: Springer.

Freksa, Ch., Habel, Ch. & Wender, K.F. (1998). *Spatial Cognition: An interdisciplinary approach to representing and processing spatial knowledge*. Berlin: Springer.

Fukushima, S.S, Loomis, J.M & Da Silva, J.A. (1997). Visual perception of egocentric distance as assessed by triangulation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25, 86-100.

Gärling, T. Böök, A & Ergezen, N. (1982). Memory for the spatial layout of the everyday physical environment: Differential rates of acquisition of different types of information. *Scandinavian Journal of Psychology*, 23, 23 - 35.

Gale, N., Golledge, R.G., Pellegrino, J.W. & Doherty, S. (1990). The acquisition and integration of route knowledge in an unfamiliar neighborhood. *Journal of Environmental Psychology*, 10, 3-25.

Gehrke, J. (1998). Erinnern wir Landkarten so, wie wir sie gesehen haben? Hinweise auf vergleichbare Kodierungsprozesse in Wahrnehmung und Gedächtnis. In H. Lachnit, A. Jacobs, & F. Rösler (Hrsg.), *Abstracts der 40. Tagung experimentell arbeitender Psychologen* (S. 87). Lengerich: Pabst.

Gibson, J.J. (1982). *Wahrnehmung und Umwelt. Der ökologische Ansatz in der visuellen Wahrnehmung*. München: Urban & Schwarzenberg.

Gillner, S. (1997). *Psychophysische Untersuchungen zur menschlichen Navigationsleistung in virtuellen Welten*. Kirchentellinsfurt: Knirsch.

Gillner, S. & Mallot, H.P. (1996). Erwerb von räumlichem Wissen in Computergrafik-Welten. In R. Kluwe & M. May (Hrsg.), *Proceedings der 2. Fachtagung der Gesellschaft für Kognitionswissenschaft* (S. 43-45). Hamburg.

Glass, A.L., Holyoak, K.J. & Santa, J.L. (1979). *Cognition*. London: Addison-Wesley.

Golledge, R. (1987). Environmental cognition. In D. Stokols & I. Altman (Eds.), *Handbook of environmental Psychology* (pp. 131-174). New York: Wiley.

Golledge, R. G. (1991). Cognition of physical and built environments. In Gärling, T. & G. W. Evans (Eds.), *Environment, Cognition and Action* (pp 35-63). New York: Oxford University Press.

Golledge, R. G. (1995). Path selection and route preference in human navigation: A Progress Report. In A. Frank & W. Kuhn (Eds.), *Spatial Information theory (COSIT 1995)* (pp. 207-222). Berlin: Springer.

Goldin, S.E. & Thorndyke, P.W. (1982). Simulating navigation for spatial knowledge acquisition. *Human Factors*, 24, 457-471.

Guariglia, C., Padovani, A., Pantano, P. & Pizzamigli, L. (1993). Unilateral neglect restricted to visual imagery. *Nature*, 364, 235-237.

Grabowski, J. (1996). *Die Raumauffassung des Menschen und ihr Ausdruck in der Sprache: Determinanten der Verwendung dimensionaler Präpositionen*. Unveröffentlichte Habilitationsschrift. Mannheim: Universität Mannheim.

Hanyu, K. & Itsukushima, Y. (1995). Cognitive distance of stairways: Distance, traversal time, and mental walking time estimations. *Environment and Behavior*, 27, 579-591.

Hartl, A. (1990). Kognitive Karten und kognitives Kartieren. In Ch. Freksa & Ch. Habel (Hrsg.), *Repräsentation und Verarbeitung räumlichen Wissens* (S. 34-46). Berlin: Springer.

Hasher, L. & Zacks, R.T. (1979). Automatic and effortful processes in memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 108, 556-588.

Heineken, E. (1975). Organisation und Behalten. *Psychologia Universalis*, 33. Meisenheim am Glan: Hain.

Heineken, E. (1984). Zur ökologischen Validität gerontopsychologischer Gedächtnisforschung. *Zeitschrift für Gerontologie*, 17, 285-293.

Heineken, E. (1987). *Bewußtsein und Gedächtnis: Erlebnisdaten in der Gedächtnisforschung*. Eschborn: Fachbuchhandlung für Psychologie.

Heineken, E. (1990). *Aufnahme und Verarbeitung von Information: Teil 3: Organisation und Abruf von Wissen*. Ergonomische Studien. Koblenz: BWB.

Heineken, E. (1991). Der Einfluß nichträumlicher Merkmale auf die kognitive Deutschlandkarte West- und Ostberliner Schüler - ein Feldversuch - 1990. *Geographische Zeitschrift*, 70, 59-74.

Heineken, E. & Jansen-Osmann, P. (im Druck). Lernen in virtuellen Realitäten - Erwerb räumlichen Wissens. *Internationale Schulbuchforschung*.

Heineken, E. & Stenzel, M. (im Druck). „Terra incognita“- Osteuropa im Europabild Studierender verschiedener Nationen, *Internationale Schulbuchforschung*.

Hernández, D. (1994). *Qualitative representation of spatial knowledge*. Berlin: Springer.

Herman, J.F., Blomquist, S.L. & Klein, Ch. A (1987). Children's and adults' cognitive maps of very large unfamiliar environments. *British Journal of Developmental Psychology*, 5, 61-72.

Herman, J.F., Kolker, R.G. & Shaw, M.L. (1982). Effects of motor activity on children's intentional and incidental memory for spatial locations. *Child Development*, 53, 239-244.

Herman, J.F., Miller, B.S. & Heins, J.A. (1987). Barriers and spatial representation: Evidence from children and adults in a large environment. *Merril-Palmer Quarterly*, 33, 53-68.

Herrmann, Th. (1993). Mentale Repräsentationen - ein erläuterungswürdiger Begriff. In J. Engelkamp & Th. Pechmann (Hrsg.), *Mentale Repräsentationen* (S. 17-30). Bern: Huber.



Herrmann, Th. (1996). Blickpunkte und Blickpunktsequenzen. *Sprache und Kognition*, 15, 159-177.

Herrmann, Th., Buhl, H. M. & Schweizer, K. (1995). Zur blickpunktbezogenen Wissensrepräsentation: Der Richtungseffekt. *Zeitschrift für Psychologie*, 203, 1-23.

Herrmann, Th., Schweizer, K., Janzen, G. & Katz, S. (1997). *Routen- und Überblickswissen - konzeptuelle Überlegungen*. (Bericht Nr.1, Arbeiten des Mannheimer Teilprojekts im DFG-Schwerpunktprogramm „Raumkognition“). Mannheim: Universität Mannheim.

Hirtle, S. (1995). Representational structures for cognitive space: Trees, ordered trees and semi-lattices. In A. Frank & W. Kuhn (Eds.), *Spatial Information theory (COSIT 1995)* (pp. 327-340). Berlin: Springer.

Hirtle, S. & Jonides, J. (1985). Evidence of hierarchies in cognitive maps. *Memory and Cognition*, 13, 208-217.

Hirtle, S., Kallman, H.J. (1988). Memory for the locations of pictures: Evidence for hierarchical clustering. *American Journal of Psychology*, 101, 159-170.

Hoepfner, W., Carstensen, M. & Rhein, U. (1990). Die Interdependenz von Such- und Beschreibungsprozessen. In Ch. Freksa & Ch. Habel (Hrsg.), *Repräsentation und Verarbeitung räumlichen Wissens* (S. 221-234). Berlin: Springer.

Holyoak, K. & Mah, W. (1982). Cognitive reference points in judgements of symbolic magnitude. *Cognitive Psychology*, 14, 328-352.

Hooper, K. (1981). The use of computer-controlled video disks in the study of spatial learning. *Behavior Research Methods & Instrumentation*, 13, 77-84.

Howard, R.B., Chase, S.D. & Rothmann, M. (1973). An analysis of four measures of cognitive maps. In W.F.E. Preiser (Ed.), *Environmental Design Research* (4) (pp. 245-264). Stroudsburg, P.A.: Dowden, Hutchinson and Ross.

Ittelson, W. (1973). Environment perception and contemporary perceptual theory. In W. Ittelson (Ed.), *Environment and cognition* (pp. 1-19). New York: Seminar.

James, W. (1890). *The principles of psychology, I*. New York: Holt.

Just, M.A. & Carpenter, P.A (1975). The semantics of locative information in pictures and mental images. *British Journal of Psychology*, 66, 427-441.

Kaltenborn, K.-F. (1994). Virtuelle Realität - Anwendungen, Möglichkeiten und Grenzen einer neuen Computertechnologie. *Biomedical*, 39, 4-14.

Kintsch, W. (1970). *Learning, memory, and conceptual processes*. New York: Wiley.

Klatzky, R. (1998). Allocentric and egocentric spatial representations: Definitions, distinctions, and interconnections. In Ch. Freksa, Ch. Habel & K.F. Wender (Eds.), *Spatial Cognition: An interdisciplinary approach to representing and processing spatial knowledge* (pp. 1-18). Berlin: Springer

Klein, W. (1991). Raumausdrücke. *Linguistische Beiträge*, 132, 77-114.

Kosslyn, S.M. (1980). *Image and mind*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Kosslyn, S.M. (1987). Seeing and imagining in the cerebral hemispheres: A computational approach. *Psychological Review*, 94, 148-175.

Kosslyn, S.M. (1994). *Image and brain: The resolution of the imagery debate*. Cambridge, MA: MIT Press.

Kosslyn, S.M., Pick, H.L. & Fariello, G.R. (1974). Cognitive maps in children and men. *Child Development*, 45, 707-716.

Kozlowski, L. & Bryant, K. (1977). Sense of direction, spatial orientation and cognitive maps. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 3, 590-598.

Krampen, M. (1979). *Meaning in the urban environment*. London: Pion.

Krampen, M. (1990). Simulation von Umwelten. In L. Kruse, F. Graumann & E.- D. Lantermann (Hrsg.), *Ökologische Psychologie* (S. 453-459). München: Psychologie Verlags-Union.

Kretschmann, S. (1986). *Bedeutungsdimensionen städtischer Umwelt*. Unveröffentlichte Dissertation. Bochum: Ruhr-Universität-Bochum.

Künnapas, T. (1960). Scales for subjective distance. *Scandinavian Journal of Psychology*, 1, 187-192.

Kuipers, B. J. (1977). *Representing knowledge of large-scale space* (AI-TR 418). Cambridge, MA: AI Laboratory, MIT.

Kuipers, B.J. (1978). Modelling spatial knowledge. *Cognitive Science*, 2, 129-153.

Kuipers, B.J. (1982). The „Map in the head“ metaphor. *Environment and Behavior*, 14, 202-220.

Kuipers, B.J. (1983). The cognitive map: Could it have been any other way? In H.L. Pick & L.P. Acredolo (Eds.), *Spatial Orientation: Theory, Research, and Application* (pp. 345-359). New York: Plenum Press.

Leiser, D. & Zilbershatz, A. (1989). The TRAVELLER: A computational model of spatial network learning. *Environment and Behavior*, 21, 434-463.

- Lee, T.R. (1970). Perceived distance as a function of direction in the city. *Environment and Behavior*, 2, 40-51.
- Levine, M. (1982). You-are-here maps. Psychological considerations. *Environment and Behavior*, 14, 221-237.
- Levine, M., Marchon, I. & Hanley, G. (1984). The placement and misplacement of You-are- here maps. *Environment and Behavior*, 16, 139-157.
- Lochter, F.-A., Däßler, R. & Morin, P. (1996). Interaktive Exploration. *iX*, 74-82.
- Loomis, J.M., Klatzky, R.L., Golledge, R.G., Cicinelli, J.G., Pellegrino, J.W., & Fry, P.A. (1993). Nonvisual navigation by blind and sighted: Assessment of path integration ability. *Journal of Experimental Psychology: General*, 122, 73-91.
- Lüer, G., Werner, S. & Lass, U. (1995). Repräsentation analogen Wissens im Gedächtnis. In D. Dörner & E. van der Meer (Hrsg.), *Das Gedächtnis. Probleme - Trends - Perspektiven* (S. 75- 125). Göttingen: Hogrefe.
- Lynch, K. (1960). *The image of the city*. Cambridge, MA: MIT Press.
- MacEachren, A. (1980). Travel time as the basis of cognitive distance. *Professional Geographer*, 32, 30-36.
- Maki, R.H. (1981). Categorization and distance effects with spatial linear orders. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 7, 15-32.
- Maki, R.H., Maki, M.S. & Marsh, L.G. (1977). Processing locational and orientational information. *Memory and Cognition*, 5, 602-612.
- Mallot, H.P. & Schölkopf, B. (1994). View-based cognitive mapping and path planning. *Adaptive Behavior*, 3, 311-348.

- May, M. (1992). *Mentale Modelle von Städten. Wissenspsychologische Untersuchung am Beispiel der Stadt Münster*. Münster: Waxmann.
- May, M., Péruch, P. & Savoyant, A. (1995). Navigation in a virtual environment with map-acquired knowledge: Encoding and alignment effects. *Ecological Psychology*, 7, 21-36.
- May, M., Wartenberg, F. & Péruch, P. (1997). Raumorientierung in virtuellen Umgebungen. In R. Kluwe (Hrsg.), *Strukturen und Prozesse intelligenter Systeme* (S. 14-40). Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
- McNamara, T.P. (1986). Mental representations of spatial relations. *Cognitive Psychology*, 18, 87-121.
- McNamara, T.P. (1991). Memory's view of space. *The Psychology of Learning and Motivation*, 27, 147-186.
- McNamara, T.P., Halpin, J.A. & Hardy, J.K. (1992). Spatial and temporal contributions to the structure of spatial memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 18, 555-564.
- McNamara, T.P., Hardy, J.K. Hirtle, S.C. (1989). Subjective hierarchies in spatial memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 25, 211-227.
- McNamara, T.P., Ratcliff, R. & McKoon, G. (1984). The mental representation of knowledge acquired from maps. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 10, 723-732.
- Metzger, W. (1966). Figural-Wahrnehmung. In W. Metzger & H. Erke (Hrsg.), *Allgemeine Psychologie I* (Halbband 1) (S. 693-744). Göttingen: Hogrefe.

Meumann, E. (1896). Beiträge zur Psychologie des Zeitbewußtseins. *Philosophische Studien*, 12, 128-254.

Milgram, S. (1973). Introduction. In W.H. Ittelson (Ed.), *Environment and Cognition* (pp. 21-27). New York: Seminary Press.

Moar, I. & Bower, G.H. (1983). Inconsistency in spatial knowledge. *Memory & Cognition*, 11, 107-113.

Montello, D.R. (1991). The measurement of cognitive distance: Methods and construct validity. *Journal of Environmental Psychology*, 11, 101-122.

Montello, D.R. (1993). Scale and multiple psychologies of space. In A.U. Frank & I. Campari (Eds.), *Spatial information theory: A theoretical basis for GIS* (COSIT 1993) (pp. 312-321). Berlin: Springer.

Montello, D.R. (1995). *The perception and cognition of environmental distance: Processes and knowledge source*. Unveröffentlichtes Manuskript. Santa Barbara: University of California.

Moore, G.T. (1979). Knowing about environmental knowing: The current state of theory and research in environmental cognition. *Environment and Behavior*, 11, 33-70.

Moyer, R.S. (1973). Comparing objects in memory: Evidence suggesting an internal psychophysics. *Perception & Psychophysics*, 8, 228-246.

Moyer, R.S., Bradley, D.R. Sorensen, M.H., Whiting, J.C., & Mannsfield, D.P. (1978). Psychophysical functions for perceived and remembered size. *Science*, 200, 330-332.

Müller, K. (1963). Der Aufbau figural-optischer Phänomene bei sukzessiver Reizung. *Psychologische Arbeiten*, 7.

Nasar, J.L. (1983). Environmental factors, perceived distance and spatial behavior. *Environment & Planning B*, 10, 275-281.

Neisser, U. (1979). *Kognition und Wirklichkeit*. Stuttgart: Klett-Cotta.

Newcombe, N. (1985). Methods of the study of spatial cognition. In R. Cohen (Ed.), *The development of spatial cognition* (pp. 277-300). Hillsdale, NJ.: Erlbaum.

Okabe, A., Aoki, K. & Hamamoto, W. (1986). Distance and direction judgements in a large-scale natural environment: Effects of slope and a winding trail. *Environment and Behavior*, 18, 755-772.

O'Keefe & Nadel (1979). The hippocampus as a cognitive map. *Behavioral and Brain Sciences*, 2, 487-533.

Ornstein, R. (1969). *On the experience of time*. Baltimore: Penguin.

Paivo, A. (1978). A dual coding approach to perception and cognition. In H.L. Pick & E. Saltzman (Eds.), *Modes of perceiving and processing information* (pp. 39-51). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Passini, R. (1984). *Wayfinding in architecture*. New York: Van Nostrand Reinhold Company.

Patry, J.-L. (1990). Feldforschung. In L. Kruse, F. Graumann & E.-D. Lantermann (Hrsg.), *Ökologische Psychologie* (S. 183-195). München: Psychologie Verlags-Union.

Peponis, J., Zimrig, C. & Choi, Y.K. (1990). Finding the building in wayfinding. *Environment and Behavior*, 22, 555-590.

Péruch, P., Vercher, J-L., & Gauthier, G.M. (1995). Acquisition of spatial knowledge through visual exploration of simulated environments. *Ecological Psychology*, 7, 1-20.

Petzold, M. (1996). Kinder und Jugendliche beim Bildschirmspiel. *Medienpsychologie*, 7, 257-272.

Piaget, J. & B. Inhelder (1975). *Die Entwicklung des räumlichen Denkens beim Kinde*. Stuttgart: Klett.

Poag, C.K., Cohen, R., & Weatherford, D.L. (1983). Spatial representations of young children: The role of self- versus adult-directed movement and viewing. *Journal of Experimental Child Psychology*, 15, 172-179.

Post, H-J. (1997). VR-Morgenrot, *C't*, 134-136.

Poynter, D. (1989). Judging the duration of time intervals: A process of remembering segments of experience. In I. Levin. & D. Zakay (Eds), *Time and Human cognition: a Life-Span Perspective* (pp. 305-331). North Holland: Eisevier.

Presson, C.C., DeLange, N.Z. & Hazelrigg, M.D. (1989). Orientation specificity in spatial memory: What makes a path different from a map of the path? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 15, 887-889.

Presson, C.C. & Hazelrigg, M.D. (1984). Building spatial representations through primary and secondary learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition*, 10, 716-722.

Presson, C. & Montello, D. (1988). Points of reference in spatial cognition: Stalking the elusive landmark. *British Journal of Developmental Psychology*, 6, 378-381.



Prinz, W., Aschersleben, G., Hommel, B. & Vogt, S. (1995). Handlungen als Ereignisse. In D. Dörner & E. van der Meer (Hrsg.), *Das Gedächtnis. Probleme-Trends-Perspektiven* (S.129-168). Göttingen: Hogrefe.

Pylyshyn, Z.W. (1981). The imagery debate: Analogue media versus tacit knowledge. *Psychological Review*, 88, 16-45.

Radvansky, G., Carlson-Radvansky, L.A. & Irwin, D.E. (1995). Uncertainty in estimation distances from memory. *Memory and Cognition*, 23, 596-606.

Regian, J.W. & Shebilske, W.L. (1990). Virtual Reality. An instructional medium for visual-spatial tasks. *Journal of Communication*, 42, 136-149.

Richardson, A.E., Montello, D.R. & Hegarty, M. (im Druck). Spatial knowledge acquisition from maps and from navigation in real and virtual environments. *Memory and Cognition*.

Rosch, E. (1975). Cognitive Reference points. *Cognitive Psychology*, 7, 532-547.

Rumelhart, D.E., Lindsay, P.H. & Norman, D.A. (1972). A process model for long term memory. In E. Tulving & W. Donaldson (Eds.), *Organization of Memory* (pp. 197-246). New York: Academic Press.

Sadalla, E.K., Burroughs, W.J., & Staplin, L.J. (1980). Reference points in spatial cognition. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 6, 516-528.

Sadalla, E.K. & Magel, S.G. (1980). The perception of traversed distance. *Environment and Behavior*, 12, 65-79.

Sadalla, E.K. & Staplin, L. (1980a). An information storage model for distance cognition. *Environment and Behavior*, 12, 183-193.

Sadalla, E.K. & Staplin, L. (1980b). The perception of traversed distance: Intersections. *Environment and Behavior*, 12, 167-182.

Sadalla, E.K., Staplin, L.J. & Burroughs, W.J. (1979). Retrieval processes in distance cognition. *Memory and Cognition*, 7, 291-296.

Sarris, V. (1980). Psychophysik der Eindrucksbildung. Zur Überwindung eines skalenmethodologischen Dilemmas. In E.H. Witte (Hrsg.), *Beiträge zur Sozialpsychologie* (Festschrift für P. R. Hofstätter) (S. 157-179). Weinheim: Beltz.

Sarris, V. & Heineken, E. (1976). An experimental test of two mathematical models applied to the size-weight illusion. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2, 295-298.

Satalich, G.A. (1995). *Navigation and wayfinding in Virtual Reality: Finding the proper tools and cues to enhance navigational awareness*. Unpublished master-thesis. Washington: University of Washington.

Schumann-Hengsteler, R. (1995). Die Entwicklung des visuell-räumlichen Gedächtnisses. Göttingen: Hogrefe.

Schweizer, K. (1997). *Räumliche oder zeitliche Wissensorganisation? Zur mentalen Repräsentation der Blickpunktsequenz bei räumlichen Anordnungen*. Aktuelle Psychologische Forschung 20, Pabst.

Schweizer, K. & Janzen, G. (1996). Zum Einfluß der Erwerbssituation auf die Raumkognition: Mentale Repräsentation der Blickpunktsequenz bei räumlichen Anordnungen. *Sprache & Kognition*, 15, 217-233.

Seemann, H.-J. (1992). Cyberspace: Der künstliche Himmel auf Erden. *Psychologie Heute*, 19, 60-69.

Sherman, R.C., Croxton, J. & Smith, M. (1979). Movement and structure as determinants of spatial representations. *Journal of Nonverbal Behavior*, 4, 27-39.

Sholl, M.J. (1987). Cognitive maps as orienting schemata. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 13, 615-628.

Siegel, A.W. & White, S. (1975). The development of spatial representations of large scale environments. In H.W. Reese (Ed.), *Advances in child development and behavior*, 10 (pp.10-55). New York: Academic Press.

Siegel, A. (1981). The externalization of cognitive maps by children and adults: In search of ways to ask better questions. In L. Liben, A. Patterson & N. Newcombe (Eds.), *Spatial representation and behavior across the life span* (pp. 167-195). New York: Academic Press.

Sjörberg, L. (1969). A method for sensation scaling based on an analogy between perception and judgement. *Perception & Psychophysics*, 1, 131-136.

Sperlich, T. & Bauer, Ch. (1996). Künstliche Welten. Virtual Reality: schneller und echter, *C't*, 72-79.

Stevens, S. S (1957). On the psychophysical law. *The Psychological Review*, 64, 153-180.

Stevens, A. & Coupe, P. (1978). Distortions in judged spatial relations. *Cognitive Psychology*, 10, 422-437.

Stredney, D., Carlson, W., Swan II J.E. & Blostein, B. (1995). The determination of environmental accessibility and ADA compliance through virtual wheelchair simulation. *Presence*, 4, 297-305.

Tack, W.H. (1994). Ziele und Aufgaben einer allgemeinen Methodenlehre der Psychologie. In Th. Herrmann & W. H. Tack (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie* (Themenbereich B, Serie 1, Band 1) (S. 2-44). Göttingen: Hogrefe.

Teghtsoonian, R. & Teghtsoonian, M. (1978). Range and regression effects in magnitude scaling. *Perception & Psychophysics*, 24, 305-314.

Thorndyke, P.W. (1981a). Spatial cognition and reasoning. In J.D. Harvey (Ed.), *Cognition, social behavior and the environment* (pp. 137-149). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Thorndyke, P.W. (1981b). Distance estimation from cognitive maps. *Cognitive Psychology*, 13, 526-550.

Thorndyke, P.W. & Hayes-Roth, B. (1982). Differences in spatial knowledge acquisition from maps and navigation. *Cognitive Psychology*, 14, 560-589.

Thorndyke, P. W & Stasz, C. (1980). Individual differences in procedures for knowledge acquisition from maps. *Cognitive Psychology*, 12, 137-175.

Tolman, E.C. (1948). Cognitive maps in rats and man. *Psychological Review*, 55, 189-208.

Trueman, B. (1996). Quick Time VR and English as a second language. *VR in the Schools*, 1, 13.

Tunnel, G. B. (1979). Three dimensions of naturalness: An expanded definition of field research. *Psychological Bulletin*, 84, 426-437.

Van Veen, H.-J. & Distler, H. (1996). Navigation in Natural and Virtual Environments.[Web-Document].URL [http://www.mpik-tueb.mpg.de/projects/vrtueb/tueb\\_graph.html](http://www.mpik-tueb.mpg.de/projects/vrtueb/tueb_graph.html)

Völter, S. (1995). *Virtual Reality in der Medizin*. Gesi: Mannheim.

Wagener-Wender, M. (1993). *Mentale Repräsentationen räumlicher Informationen*. Bonn: Holos.

Wagener-Wender, M., Wender, K.F. & Rothkegel, R. (1997). Priming als Maß für das räumliche Gedächtnis. In C. Umbach et al. (Hrsg.), *Perspektive in Sprache und Raum* (S. 11-34). Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.

Walmsley, D.J. (1974). Emotional involvement and subjective distances: A modification of the inverse square root law. *The Journal of Psychology*, 87, 9-19.

Wender, K.F. & Wagener, M. (1990). Zur Verarbeitung räumlicher Information: Modelle und Experimente. *Kognitionswissenschaft*, 1, 4-14.

Wiest, W. & Bell, B. (1985). Steven's exponent for psychophysical scaling of perceived, remembered and inferred distance. *Psychological Bulletin*, 98, 457-470.

Yeap, W.K. (1988). Towards a computational theory of cognitive map. *Artificial Intelligence*, 34, 360-397.

Zakay, D. (1989). Subjective time and attentional resources allocation: An integrated model of time estimation. In I. Levin & D. Zakay (Eds.), *Time and human cognition: A life-span perspective* (pp. 365-397). North-Holland: Elsevier.

Zakay, D., Tsal, Y., Moses, M. & Shahar, I. (1994). The role of segmentation in prospective and retrospective time estimation processes. *Memory and Cognition*, 22, 344-351.

Zimring, C. & Gross, M. (1991). The environment in environmental cognition research. In T.R. Gärling & W. Evans (Eds.), *Environment, Cognition and Action* (pp. 78-95). New York: Oxford University Press.

Zohrab, P. (1996). Virtual language and culture reality. *VR in the Schools, 1*, 14-15.

**Anhang**

	Seite
<b>Anhang A: Die Rolle von „Landmarken“ beim Erwerb von Routenwissen</b>	<b>II</b>
1. Instruktion	II
2. Statistische Auswertung	II
<b>Anhang B: Der Einfluß von Richtungsänderungen einer Route auf die Distanzkognition</b>	<b>IV</b>
1. Instruktion	IV
2. Versuchsmaterial	V
3. Statistische Auswertung	VI
<b>Anhang C: Der Einfluß der Gestaltung einer Route auf die Distanzkognition</b>	<b>VII</b>
1. Instruktion	VII
2. Versuchsmaterial	VIII
3. Statistische Auswertung	IX
<b>Anhang D: Die Rolle der Intentionalität beim Erwerb von Distanzwissen</b>	<b>XIII</b>
1. Instruktion	XIII
2. Versuchsmaterial	XIII
3. Statistische Auswertung	XIV

## Anhang A: Die Rolle von „Landmarken“ beim Erwerb von Routenwissen

### 1. Instruktion

#### 1.1 Instruktion für alle Versuchspersonen

Es handelt sich hier um ein Experiment zum räumlichen Wissenserwerb. Du siehst jetzt gleich auf dem Monitor ein „virtuelles“ Labyrinth, in welchem du dich mittels Joystick bewegen sollst. Deine Aufgabe ist es, den Weg vom Start zum Ziel zu finden. Der Start ist durch „Entrance“, das Ende durch „End“ markiert. Bitte durchlaufe das Labyrinth so lange, bis Du zweimal fehlerfrei zum Ziel gekommen bist. Hast du noch Fragen?

#### 1.2 Instruktion für die Aufgabe, die Landmarken zu rekonstruieren

Du bist zweimal fehlerfrei hintereinander durch das Labyrinth gelaufen. Ich werde dir nun das Labyrinth ohne Landmarken zeigen. Deine Aufgabe besteht darin, durch dieses leere Labyrinth zu navigieren. An den Stellen, an denen du meinst, daß eine Landmarke gelegen hat, stoppe bitte und versuche, die fehlende Landmarke zu benennen. Hast du noch Fragen?

### 2. Statistische Auswertung

#### 2.1 Einfluß der Art des Labyrinthes auf die Anzahl der fehlerhaft eingeschlagenen Wege (Tabelle 1) (t-test für unabhängige Stichproben)

Variable	Number of Cases	Mean	SD	SE of Mean
FEHLER Anzahl der Fehler				
ohne Landmarken	5	15,8000	6,140	2,746
mit Landmarken	5	11,4000	6,107	2,731

Mean Difference = 4,4000 Levene's Test for Equality of Variances: F= ,003 P= ,957  
t-test for Equality of Means 95%

Variances	t-value	df	2-Tail Sig	SE of Diff	CI for Diff
Equal	1,14	8	,289	3,873	(-4,531; 13,331)
Unequal	1,14	8,00	,289	3,873	(-4,531; 13,331)



## 2.2 Einfluß der Art des Labyrinthes auf die Anzahl der benötigten Lerndurchgänge

(Tabelle 1) (t-test für unabhängige Stichproben)

Variable	Number		SD	SE of Mean
	of Cases	Mean		
Anzahl der Lerndurchgänge				
ohne Landmarken	5	4,8000	2,387	1,068
mit Landmarken	5	2,4000	,548	,245

Mean Difference = 2,4000    Levene's Test for Equality of Variances: F= 6,249    P= ,037  
t-test for Equality of Means    95%

Variances	t-value	df	2-Tail Sig	SE of Diff	CI for Diff
Equal	2,19	8	,060	1,095	(-,126; 4,926)
Unequal	2,19	4,42	,087	1,095	(-,531; 5,331)

## 2.3 Einfluß der Art der Landmarken auf die freie Reproduktion

(Tabelle 2) (t-test für abhängige Stichproben)

### 2.3.1 Unterschied zwischen richtungsabweisenden und richtungshinweisenden Landmarken (LM)

Variable	Number of		2-tail		Mean	SD	SE of Mean
	pairs	Corr	Sig	Sig			
richtungsabweisende LM					1,2000	1,095	,490
	5	,191	,758				
richtungshinweisende LM					4,6000	1,673	,748

---

Paired Differences			t-value	df	2-tail Sig
Mean	SD	SE of Mean			
-3,4000	1,817	,812	-4,19	4	,014
95% CI (-5,656; -1,144)					

### 2.3.2 Unterschied zwischen richtungshinweisenden und richtungsneutralen Landmarken (LM)

Variable	Number of		2-tail		Mean	SD	SE of Mean
	pairs	Corr	Sig	Sig			
richtungshinweisende LM					4,6000	1,673	,748
	5	-,423	,478				
richtungsneutrale LM					1,0000	,707	,316

---

Paired Differences			t-value	df	2-tail Sig
Mean	SD	SE of Mean			
3,6000	2,074	,927	3,88	4	,018
95% CI (1,025; 6,175)					

## **Anhang B: Der Einfluß von Richtungsänderungen einer Route auf die Distanzkognition**

### **1. Instruktion**

#### **1.1 Instruktion (Experiment I)**

**Lernphase:** Es handelt sich hier um ein Experiment zum räumlichen Wissenserwerb. Du wirst gleich die Möglichkeit haben, mit Hilfe des Joysticks drei verschiedene Wege in einer virtuellen Umgebung zu durchlaufen. Dabei mußt du jeden Weg hin- und zurückgehen. Ich werde den ersten virtuellen Weg starten, bewege dich dann mit Hilfe des Joysticks durch die Tür, die sich von selber öffnet. Laufe durch die nächste Tür, die sich wiederum von selber öffnet. Rotiere dann mit dem Joystick und laufe den gegangenen Weg noch einmal zurück. Im Anschluß daran werde ich den zweiten und dritten virtuellen Weg starten. Durchlaufe beide ebenfalls hin- und zurück. Drücke bei allen Durchgängen den Joystick bis zum Anschlag. Obwohl dies kein Schnelligkeitstest ist, werde ich die benötigte Zeit stoppen. Hast du noch Fragen?

**Testphase:** Bitte schätze nun auf diesem Protokollbogen (*siehe Versuchsmaterial, Seite V*) die Länge der Wege A und B im Verhältnis zur Länge des Weges C. Du siehst hier auf dem Protokollbogen die Länge des Weges C mit X für den Anfang und Y für das Ende abgetragen. Trage nun die Länge der Wege A und B im Verhältnis dazu ab. Danach zeichne bitte auf diesem leeren DIN A4-Blatt die Verläufe der Wege A und B.

Nach Beendigung dieser Aufgaben bitte ich dich nun noch einmal, den Weg A (bzw. B) hin- und zurück zu explorieren.

Schätze nun, wie lange es gedauert hat, den Weg einmal auf dem Hinweg zu durchlaufen. Dazu wirst du gleich einen geraden langen Weg vor dir sehen. Gehe bitte solange diesen Weg entlang, wie du meinst, daß es gedauert hat, den Weg A bzw. B auf dem Hinweg entlang zu gehen. Drücke die Escape-Taste, wenn du meinst, lange genug gegangen zu sein. Hast du noch Fragen?

## 1.2 Instruktion (Experiment II)

**Lernphase:** Es handelt sich hier um ein Experiment zum räumlichen Wissenserwerb. Du wirst gleich die Möglichkeit haben, mit Hilfe des Joysticks zwei verschiedene Wege in einer virtuellen Umgebung zu durchlaufen. Dabei mußt du jeden Weg hin- und zurückgehen. Ich werde den ersten virtuellen Weg starten, bewege dich dann mit Hilfe des Joysticks durch die Tür, die sich von selber öffnet. Laufe durch die nächste Tür, die sich wiederum von selber öffnet. Rotiere dann mit dem Joystick und laufe den gegangenen Weg noch einmal zurück. Im Anschluß daran werde ich den zweiten virtuellen Weg starten. Durchlaufe ihn ebenfalls hin- und zurück. Drücke bitte immer den Joystick bis zum Anschlag. Obwohl dies kein Schnelligkeitstest ist, werde ich die benötigte Zeit stoppen. Hast du noch Fragen?

**Testphase:** Du siehst gleich einen langen gerade Weg vor dir. Gehe bitte so weit, bis du meinst, die Länge der beiden Wege gegangen zu sein. Drücke die Escape-Taste, wenn du meinst, die Länge des ersten bzw. zweiten Weges gegangen zu sein. Gehe, wenn notwendig, weiter und wenn du meinst, den Rest des anderen Weges gegangen zu sein, drücke wiederum die Escape-Taste. Hast du noch Fragen?

## 2. Versuchsmaterial

Protokollbogen (Maßstab ca. 2:3)

Protokollbogen	
x	y

### 3. Statistische Auswertung

#### 3.1 Einfluß der Anzahl der Richtungsänderungen auf die Schätzung der Weglänge

(Experiment I, Größenverhältnisschätzmethode, Abb. 12) (t-test für abhängige Stichproben)

Variable	Number of pairs	Corr	2-tail Sig	Mean	SD	SE of Mean
2 Richtungsänderungen				149,2500	49,543	11,078
	20	,640	,002			
7 Richtungsänderungen				175,6000	44,088	9,858
-----						
Paired Differences						
Mean	SD	SE of Mean		t-value	df	2-tail Sig
-----	-----	-----		-----	-----	-----
-26,3500	40,045	8,954		-2,94	19	,008
95% CI (-45,092; -7,608)						

#### 3.2 Einfluß der Anzahl der Richtungsänderungen auf die Schätzung der Weglänge

(Experiment I, Zeichenmethode, Abb. 13) (t-test für abhängige Stichproben)

Variable	Number of pairs	Corr	2-tail Sig	Mean	SD	SE of Mean
2 Richtungsänderungen				130,2000	65,516	14,650
	20	,269	,251			
7 Richtungsänderungen				183,8500	72,259	16,157
-----						
Paired Differences						
Mean	SD	SE of Mean		t-value	df	2-tail Sig
-----	-----	-----		-----	-----	-----
-53,6500	83,457	18,662		-2,87	19	,010
95% CI (-92,709; -14,591)						

#### 3.3 Einfluß der Anzahl der Richtungsänderungen auf die Schätzung der Weglänge

(Experiment II, Herstellungsmethode, Abb. 14) (t-test für abhängige Stichproben)

Variable	Number of pairs	Corr	2-tail Sig	Mean	SD	SE of Mean
2 Richtungsänderungen				2699523,5333	306355,168	79100,564
	15	,630	,012			
7 Richtungsänderungen				2968047,0667	361923,878	93448,343
-----						
Paired Differences						
Mean	SD	SE of Mean		t-value	df	2-tail Sig
-----	-----	-----		-----	-----	-----
268523,5	291805,630	75343,890		3,56	14	,003
95% CI (106927,0; 430120,1)						

## Anhang C: Der Einfluß der Gestaltung einer Route auf die Distanzkognition

### 1. Instruktion

**Lernphase (aktive Exploration):** Es handelt sich hier um ein Experiment zum räumlichen Wissenserwerb. Gleich wirst du die Möglichkeit haben, dreimal hintereinander mit dem Joystick einen geraden Straßenzug in einer virtuellen Umgebung entlang zugehen. Drücke den Joystick dabei bis zum Anschlag. Jeder Durchgang dauert ca. 3 Minuten. Betrachte den Straßenzug sehr aufmerksam und genau. Achte dabei auf alle Gegebenheiten in diesem Straßenzug und präge dir diese gut ein! Die beiden Straßenseiten werden identisch sein. Hast du noch Fragen?

**Lernphase (passive Exploration):** Es handelt sich hier um ein Experiment zum räumlichen Wissenserwerb. Gleich werdet ihr dreimal hintereinander denselben Film sehen. Er dauert jeweils ungefähr 3 Minuten. Der Film zeigt einen geraden Straßenzug. Betrachtet den Film sehr aufmerksam und genau. Achtet dabei auf alle Gegebenheiten in diesem Straßenzug und prägt euch diese gut ein! Die beiden Straßenseiten werden identisch sein. Bitte sprecht während des Films und des anschließenden Versuchsteils nicht miteinander! Habt ihr noch Fragen?

**Testphase (aktive/passive Exploration):** Bitte decke/deckt den Protokollbogen (*siehe Versuchsmaterial, Seite VIII*) auf. Auf jeder Straßenseite standen 9 gleiche Häuser. Deine/eure Aufgabe ist es nun, auf dem Protokollbogen die genauen Positionen der 9 Häuser, die auf der linken Straßenseite standen, zu markieren. Es ist wichtig, daß du/ihr die Abstände zwischen den Häusern richtig wiedergibst/wiedergebt. Auf dem Protokollbogen ist die gesamte Strecke abgetragen. Markiere/Markiert bitte nun mit einem Pfeil alle Positionen, auf denen auf der linken Straßenseite ein Haus gestanden hat. Die Pfeilspitze soll die Mitte des Hauses darstellen. Du/ihr müßt/müßt demnach 9 Pfeile plazieren. Der Anfang der Strecke ist vorgegeben. Bitte wähle/wählt das Ende der Strecke frei.

## 2. Versuchsmaterial

Protokollbogen:

--	--

Anfang

### 3. Statistische Auswertung

#### 3.1 Der Einfluß verschiedenartiger Features auf die Distanzkognition

##### 3.1.1 Versuch 1: Einfluß von füllenden und segmentierenden Features auf die Distanzkognition

###### 3.1.1.1 bei sukzessiver aktiver und passiver Exploration des Straßenzuges

(Abb. 19 und 21) (varianzanalytische Auswertung, **Faktoren:** Art der Exploration: „Erwerb“; Länge der Strecke: „Länge“; Art der Strecke: „Art“)

```

* * * * * A n a l y s i s   o f   V a r i a n c e * * * * *
    30 cases accepted.
    0 cases rejected because of out-of-range factor values.
    0 cases rejected because of missing data.
    2 non-empty cells.
    1 design will be processed.

Tests of Significance for T1 using UNIQUE sums of squares
Source of Variation          SS          DF          MS          F          Sig of F

WITHIN+RESIDUAL              4,42          28           ,16
ERWERB                       ,09           1            ,09          ,60          ,445

Tests involving 'LAENGE' Within-Subject Effect.

Tests of Significance for T2 using UNIQUE sums of squares
Source of Variation          SS          DF          MS          F          Sig of F

WITHIN+RESIDUAL              958,20         28          34,22
LAENGE                     681,21         1         681,21       19,91       ,000
ERWERB BY LAENGE             16,82          1           16,82          ,49          ,489

AVERAGED Tests of Significance for DIST using UNIQUE sums of squares
Source of Variation          SS          DF          MS          F          Sig of F

WITHIN+RESIDUAL             1938,66         56          34,62
ART                         842,26         2         421,13       12,16       ,000
Erwerb by Art               187,10         2         93,55        2,70       ,076

EFFECT .. ERWERB BY LAENGE BY ART
Tests involving 'LAENGE BY ART' Within-Subject Effect.

AVERAGED Tests of Significance for DIST using UNIQUE sums of squares
Source of Variation          SS          DF          MS          F          Sig of F

WITHIN+RESIDUAL             1389,95         56          24,82
LAENGE BY ART                45,36           2           22,68          ,91          ,407
ERWERB BY LAENGE BY          28,49           2           14,25          ,57          ,567
ART

```

### 3.1.1.2 nach Darbietung der Überblickskarte

(Abb. 22) (varianzanalytische Auswertung, **Faktoren:** Art der Exploration: „Erwerb“; Länge der Strecke: „Länge“; Art der Strecke: „Art“)

```

* * * * * A n a l y s i s   o f   V a r i a n c e * * * * *
    15 cases accepted.
    0 cases rejected because of out-of-range factor values.
    0 cases rejected because of missing data.
    1 non-empty cell.
    1 design will be processed.

Tests involving 'LAENGE' Within-Subject Effect.

Tests of Significance for T2 using UNIQUE sums of squares
Source of Variation          SS          DF          MS          F          Sig of F
WITHIN+RESIDUAL              190,41         14          13,60
LAENGE                      249,15         1         249,15         18,32         ,001

Tests involving 'ART' Within-Subject Effect.

AVERAGED Tests of Significance for D using UNIQUE sums of squares
Source of Variation          SS          DF          MS          F          Sig of F
WITHIN+RESIDUAL              589,76         28          21,06
ART                          367,61         2         183,80         8,73         ,001

Tests involving 'LAENGE BY ART' Within-Subject Effect.

AVERAGED Tests of Significance for D using UNIQUE sums of squares
Source of Variation          SS          DF          MS          F          Sig of F
WITHIN+RESIDUAL              253,33         28           9,05
LAENGE BY ART                 38,89          2          19,44         2,15         ,135

```

### 3.1.2 Versuch 2: Einfluß verschiedenartiger segmentierender Features auf die Distanzkognition

(Abb. 23 und 24) (Varianzanalytische Auswertung, **Faktoren:** Art der Exploration: „Erwerb“; Markierung der segmentierten Strecke durch ein akustisches Feature: „Segment“; Länge der Strecke: „Länge“)

```

* * * * * A n a l y s i s   o f   V a r i a n c e * * * * *
    60 cases accepted.
    0 cases rejected because of out-of-range factor values.
    0 cases rejected because of missing data.
    4 non-empty cells.
    1 design will be processed.

Tests of Between-Subjects Effects.
Tests of Significance for T1 using UNIQUE sums of squares

```



Source of Variation	SS	DF	MS	F	Sig of F
WITHIN+RESIDUAL	3793,28	56	67,74		
<b>ERWERB</b>	<b>616,93</b>	<b>1</b>	<b>616,93</b>	<b>9,11</b>	<b>,004</b>
SEGMENT	17,03	1	17,03	,25	,618
ERWERB BY SEGMENT	2,43	1	2,43	,04	,850

Tests involving 'LAENGE' Within-Subject Effect.

Tests of Significance for T2 using UNIQUE sums of squares

Source of Variation	SS	DF	MS	F	Sig of F
WITHIN+RESIDUAL	2799,87	56	50,00		
LAENGE	146,32	1	146,32	2,93	,093
ERWERB BY LAENGE	1,69	1	1,69	,03	,855
<b>SEGMENT BY LAENGE</b>	<b>596,27</b>	<b>1</b>	<b>596,27</b>	<b>11,93</b>	<b>,001</b>
ERWERB BY SEGMENT BY LAENGE	60,71	1	60,71	1,21	,275

### 3.1.3 Versuch 3: Einfluß verschiedenartiger füllender Features auf die Distanzkognition

(Abb. 25) (Varianzanalytische Auswertung, **Faktoren:** Art der Exploration: „Erwerb“; Modalität des füllenden Features: „Modal“; Länge der Strecke: „Länge“)

```

* * * * * A n a l y s i s   o f   V a r i a n c e * * * * *
30 cases accepted.
0 cases rejected because of out-of-range factor values.
0 cases rejected because of missing data.
2 non-empty cells.
1 design will be processed.

```

Tests of Between-Subjects Effects.

Tests of Significance for T1 using UNIQUE sums of squares

Source of Variation	SS	DF	MS	F	Sig of F
WITHIN+RESIDUAL	1991,76	28	71,13		
ERWERB	18,61	1	18,61	,26	,613

Tests involving 'LAENGE' Within-Subject Effect.

Tests of Significance for T2 using UNIQUE sums of squares

Source of Variation	SS	DF	MS	F	Sig of F
WITHIN+RESIDUAL	1500,62	28	53,59		
LAENGE	63,31	1	63,31	1,18	,286
ERWERB BY LAENGE	48,77	1	48,77	,91	,348

Tests involving 'MODAL' Within-Subject Effect.

Tests of Significance for T3 using UNIQUE sums of squares

Source of Variation	SS	DF	MS	F	Sig of F
WITHIN+RESIDUAL	619,41	28	22,12		
<b>MODAL</b>	<b>85,58</b>	<b>1</b>	<b>85,58</b>	<b>3,87</b>	<b>,059</b>
ERWERB BY MODAL	7,88	1	7,88	,36	,555

Tests involving 'LAENGE BY MODAL' Within-Subject Effect.

Tests of Significance for T4 using UNIQUE sums of squares

Source of Variation	SS	DF	MS	F	Sig of F
WITHIN+RESIDUAL	546,57	28	19,52		
LAENGE BY MODAL	40,44	1	40,44	2,07	,161
ERWERB BY LAENGE BY MODAL	3,97	1	3,97	,20	,655

### 3.2 Der Einfluß der Gruppierungen von Features auf die Distanzkognition

(Abb.27) (Varianzanalytische Auswertung, **Faktoren:** Art der Strecke: „Art“; Länge der Strecke: „Länge“)

\*\*\*\*\* Analysis of Variance \*\*\*\*\*

15 cases accepted.  
 0 cases rejected because of out-of-range factor values.  
 0 cases rejected because of missing data.  
 1 non-empty cell.  
 1 design will be processed.

Tests involving 'LAENGE' Within-Subject Effect.

Tests of Significance for T2 using UNIQUE sums of squares

Source of Variation	SS	DF	MS	F	Sig of F
WITHIN+RESIDUAL	317,89	14	22,71		
<b>LAENGE</b>	<b>88,94</b>	<b>1</b>	<b>88,94</b>	<b>3,92</b>	<b>,068</b>

Tests involving 'ART' Within-Subject Effect.

AVERAGED Tests of Significance for DISTANZ using UNIQUE sums of squares

Source of Variation	SS	DF	MS	F	Sig of F
WITHIN+RESIDUAL	795,34	28	28,41		
<b>ART</b>	<b>418,65</b>	<b>2</b>	<b>209,33</b>	<b>7,37</b>	<b>,003</b>

Tests involving 'LAENGE BY ART' Within-Subject Effect.

AVERAGED Tests of Significance for DISTANZ using UNIQUE sums of squares

Source of Variation	SS	DF	MS	F	Sig of F
WITHIN+RESIDUAL	403,76	28	14,42		
LAENGE BY ART	42,27	2	21,14	1,47	,248

## **Anhang D: Die Rolle der Intentionalität beim Erwerb von Distanzwissen**

### **1. Instruktion**

**Lernphase (inzidenteller Wissenserwerb):** Es handelt sich hier um ein Experiment zum räumlichen Wissenserwerb. Gleich wirst du die Möglichkeit haben, dreimal hintereinander mit dem Joystick einen geraden Straßenzug in einer virtuellen Umgebung entlang zugehen. Jeder Durchgang dauert ca. 3 Minuten. Drücke dabei den Joystick bis zum Anschlag. Betrachte den Straßenzug sehr aufmerksam und genau. Achte dabei auf alle Gegebenheiten in diesem Straßenzug und präge dir diese gut ein! Die beiden Straßenseiten werden identisch sein. Hast du noch Fragen?

**Lernphase (intentionaler Wissenserwerb):** Es handelt sich hier um ein Experiment zum räumlichen Wissenserwerb. Gleich wirst du die Möglichkeit haben, dreimal hintereinander mit dem Joystick einen geraden Straßenzug in einer virtuellen Umgebung entlang zugehen. Jeder Durchgang dauert ca. 3 Minuten. Drücke dabei den Joystick bis zum Anschlag. An jeder Straßenseite des geraden Straßenzuges befinden sich 7 weiße und 2 grüne Häuser. Betrachte den Straßenzug sehr aufmerksam und achte auf die Abstände zwischen den 7 weißen Häusern. Die Abstände wirst du im Anschluß an die Exploration schätzen müssen. Die beiden Straßenseiten werden identisch sein. Hast du noch Fragen?

**Testphase (inzidenteller/intentionaler Wissenserwerb):** Bitte decke den Protokollbogen auf. Auf jeder Straßenseite standen 7 weiße und 2 grüne Häuser. Deine Aufgabe ist es nun, auf dem Protokollbogen die genauen Positionen der 7 weißen Häuser, die auf der linken Straßenseite standen, zu markieren. Es ist wichtig, daß du die Abstände zwischen den Häusern richtig wiedergibst. Auf dem Protokollbogen ist die gesamte Strecke abgetragen. Markiere bitte nun mit einem Pfeil alle Positionen, auf denen auf der linken Straßenseite ein Haus gestanden hat. Die Pfeilspitze soll die Mitte des Hauses darstellen. Du mußt 7 Pfeile plazieren. Der Anfang der Strecke ist vorgegeben, das Ende wähle frei. Hast du noch Fragen?

### **2. Versuchsmaterial**

**Protokollbogen: siehe Anhang Seite VIII**

### 3. Statistische Auswertung

(Abb. 28 und 29) (Varianzanalytische Auswertung, **Faktoren:** Länge der Strecke: „Länge“, Art der Strecke: „Art“; Art des Wissenserwerbs: „Instrukt“)

```

* * * * * A n a l y s i s   o f   V a r i a n c e * * * * *
    30 cases accepted.
    0 cases rejected because of out-of-range factor values.
    0 cases rejected because of missing data.
    2 non-empty cells.
    1 design will be processed.

```

Tests of Significance for T1 using UNIQUE sums of squares

Source of Variation	SS	DF	MS	F	Sig of F
WITHIN+RESIDUAL	,25	28	,01		
<b>INSTRUKT</b>	<b>,01</b>	<b>1</b>	<b>,01</b>	<b>,91</b>	<b>,349</b>

Tests involving 'LAENGE' Within-Subject Effect.

Tests of Significance for T2 using UNIQUE sums of squares

Source of Variation	SS	DF	MS	F	Sig of F
WITHIN+RESIDUAL	656,17	28	23,43		
<b>LAENGE</b>	<b>261,22</b>	<b>1</b>	<b>261,22</b>	<b>11,15</b>	<b>,002</b>
<b>INSTRUKT BY LAENGE</b>	<b>166,58</b>	<b>1</b>	<b>166,58</b>	<b>7,11</b>	<b>,013</b>

Tests involving 'ART' Within-Subject Effect.

AVERAGED Tests of Significance for DISTANZ using UNIQUE sums of squares

Source of Variation	SS	DF	MS	F	Sig of F
WITHIN+RESIDUAL	1140,59	56	20,37		
<b>ART</b>	<b>585,53</b>	<b>2</b>	<b>292,77</b>	<b>14,37</b>	<b>,000</b>
<b>INSTRUKT BY ART</b>	<b>462,64</b>	<b>2</b>	<b>231,32</b>	<b>11,36</b>	<b>,000</b>

Tests involving 'LAENGE BY ART' Within-Subject Effect.

AVERAGED Tests of Significance for DISTANZ using UNIQUE sums of squares

Source of Variation	SS	DF	MS	F	Sig of F
WITHIN+RESIDUAL	1258,75	56	22,48		
<b>LAENGE BY ART</b>	<b>43,83</b>	<b>2</b>	<b>21,91</b>	<b>,97</b>	<b>,384</b>
<b>INSTRUKT BY LAENGE</b>	<b>42,19</b>	<b>2</b>	<b>21,09</b>	<b>,94</b>	<b>,397</b>
BY ART					