



DIRK SCHLENDER UND OLAF H. PETERS

FACHBEREICH SICHERHEITSTECHNIK, FACHGEBIET VERKEHRSSICHERHEITSTECHNIK, UNIVERSITÄT WUPPERTAL

STUDIE ZUM ERWERB VON ORTSKENNTNISSEN IN GROSSRÄUMIGEN LANDSCHAFTEN DURCH SCHULUNGEN IN VIRTUELLEN SIMULATIONSUMGEBUNGEN

· Ortskenntnisse · Navigation · Virtuelle Umgebungen

ZUSAMMENFASSUNG

Virtuelle Umgebungen können zur Nachbildung großräumiger Landschaften eingesetzt werden. In einem Experiment wurde überprüft, inwieweit eine Schulung in einer simulierten Nachbildung einer Landschaft das Navigieren in der realen Umgebung fördern kann. Ein Vergleich mit Kartenmaterial wurde durchgeführt.

PRAKTISCHE RELEVANZ

Zukünftige Einsatzfelder von virtuellen Umgebungen für private, industrielle und militärische Aufgaben werden untersucht. Weiterhin könnten Erkenntnisse zur Gestaltung zukünftiger Telematik- und Navigationssysteme gewonnen werden.

ETUDE DE L'ACQUISITION DE LA LOCALISATION SPATIALE DANS DES PAYSAGES DE GRANDE DIMENSION LORS DES FORMATIONS BASÉES SUR UN ENVIRONNEMENT VIRTUEL

· localisation · navigation · environnement virtuel

RESUME

L'environnement virtuel peut être utilisé pour reproduire des paysages de grande dimension. Dans une expérience, il a été vérifié dans quelle mesure une formation basée sur une reproduction simulée des paysages peut faciliter la navigation dans l'environnement réel. Une comparaison avec un apprentissage sur carte a été effectué.

IMPORTANCE PRATIQUE

Cette recherche évalue les applications futures de l'environnement virtuel pour des activités privées, industrielles ou militaires. De plus les résultats pourront être utilisés pour la conception de systèmes futurs de télématique et de navigation.

STUDY IN SPATIAL KNOWLEDGE ACQUISITION OF LARGE-SCALE REAL WORLD ENVIRONMENTS BY TRAINING IN VIRTUAL ENVIRONMENTS

· localisation · navigation · environnement virtuel

SUMMARY

Acquisition of spatial knowledge in large-scale environments is usually based on the exploration of the „real world“. If this is not possible, other training methods must be considered. In addition to maps or route descriptions virtual environments present new possibilities to acquire knowledge. This study presents an experiment to examine how effective virtual environments can be used to obtain spatial knowledge of a specific large-scale scenery. Our virtual environment generating equipment consisted of a graphics workstation, a binocular head-mounted display, a head-tracking system and a MIDI-based sound system. The generated environment contained a complex path network of 119 trail segments in a large-wooded area. The size of the database as well of the landscape was approximately 4 km x 3 km and all objects in the database were shaded with photo-realistic textures. The virtual environment training was intended to allow the participants to become familiar with the actual landscape. Participants were passively moved through the virtual environment with a constant velocity of 40 km/h, but the user's field of view could be controlled by own physical head rotation. There was no location in the environment, to show an overview with all the paths. The duration of training was 30 minutes.

Thirty-two subjects were randomly assigned to two training and two testing conditions: the training conditions were a) virtual environment training and b) no virtual environment training. During the test phase we compared one group equipped with an additional map and one group without a map. The supplied map contained the position of the starting point and four target points, but no information about the road network. The data of navigation performance was taken in the real landscape (large wooded area). Subjects in individual sessions were to use a bicycle due to the lengths of travelling distance. There was a time limit of 40 minutes for the complete navigation test. We performed statistical analyses on the number of reached target points and on the distances to reach the first target point. The results from both training conditions proved to be nearly the same. The training in the simulator yielded no better results. Independent of training conditions, navigation performance was better with than without map. After the test in the real world participants in all groups were required to draw the travelled route into a sketch map. The results of statistical analyses showed no correlation between test conditions and the ability to sketch the path. This proves that after the experiment the participants showed no substantial differences in spatial knowledge.

For the future, we are planning further investigations to compare different concepts for long-time training in large virtual worlds for a better understanding of the effect of different training methods and training time.

PRACTICAL RELEVANCE

This research tested future applications for virtual environments in private, industrial and military tasks. Further on these findings will help to design future telematics and navigation systems.

1 EINLEITUNG

Virtuelle Umgebungen („Virtual Environments“, VE's) können zur Nachbildung einer realen Szene eingesetzt werden, wobei zumeist die Anforderungen bestehen, dass die Sinnesreize und -wahrnehmungen möglichst den Gegebenheiten in der realen Umwelt entsprechen sollen. Mit zunehmender Verbreitung von virtuellen Umgebungen, finden diese weitreichende Anwendung in Forschungs-, Ausbildungs- und Informationssystemen verschiedenster Art.

Ein mögliches Einsatzgebiet von VE's ist die Anwendung als Informationssystem zum Erwerb von Ortskenntnissen. Ortskenntnis verweist auf die Informationen, die Eindrücke und den Glauben, den Individuen und Gruppen über elementare, strukturelle, funktionale und symbolische Aspekte von einer Umgebung besitzen. Neben militärischen Einsatzfeldern sind virtuelle Umgebungen zum Erwerb von Ortskenntnissen somit auch z.B. im Verkehrsbereich und im Rettungswesen verwendbar. In der hier beschriebenen Studie wird untersucht, inwieweit Ortskenntnisse einer großräumigen Landschaft durch eine Schulung in einer virtuellen Umgebung vermittelt werden können.

Der Erwerb von Ortskenntnissen (spatial knowledge) erfolgt in mehreren Teilschritten. Nach dem Landmark-Route-Survey-Modell (LRS-Modell) (z.B. Bliss et al. 1997; Peterson 1998; Colle & Reid 1998) werden drei Stufen unterschieden:

- a) Landmarkwissen (landmark knowledge),
- b) Routenwissen (route knowledge) und
- c) Überblickswissen (configurational / survey knowledge).

Landmarkwissen umfasst die Fähigkeit, in einer Umgebung auffällige Objekte oder Merkmale zu behalten und wiederzuerkennen (vgl. Bliss et al. 1997). Landmarken sind gekennzeichnet durch Unverwechselbarkeit bzw. Auffälligkeit im Aussehen und die räumliche Lage.

Routenwissen ist die Kenntnis, einen eingetragenen Pfad erfolgreich zu bewältigen. Dieses beinhaltet Wissen über Entfernungen und Richtungen. Die Reihenfolge von Landmarken an einem Bewegungspfad kann wiedergegeben werden.

Überblickswissen von einem vorgegebenen Gebiet zeichnet sich dadurch aus, dass Zusammenhänge zwischen einzelnen Räumen hergestellt werden können. Überblickswissen wird z.B. durch Karten vermittelt und führt zur Erzeugung einer kognitiven Karte der Umgebung. Während Landmarkwissen und Routenwissen auf einem egozentrisch basierten Koordinatensystem aufbauen, basiert Überblickswissen auf einem Weltkoordinatensystem (vgl. Peterson 1998).

2 Messverfahren zur Bestimmung von Ortskenntnissen

In der Literatur werden verschiedenartige Testverfahren beschrieben. Neben dem Ermitteln von Landmarken-, Routen- und Überblickswissen kann die Navigationsfähigkeit (spatial ability) einer Person untersucht werden (vgl. Satalich 1995).

Um das Landmarkwissen zu überprüfen, können u.a. folgende Tests durchgeführt werden:

- a) Während einer Erkundungsphase werden Landmarken präsentiert. In der Testphase werden diese Landmarken und weitere Objekte gezeigt. Die Probanden müssen dann angeben, welche Landmarken sie vorher schon einmal gesehen haben (landmark recognition task).
- b) Versuchspersonen haben Landmarken korrekt in Bezug zur umliegenden Umgebung in einer Karte zu positionieren (landmark placement task).
- c) Die Probanden werden befragt über die räumliche Anordnung von Landmarken in Relation zu umgebenden Objekten (orientation task).

Das Routenwissen kann z.B. folgendermaßen überprüft werden:

- a) Die Entfernung auf einer Route zwischen zwei Objekten oder zwischen Betrachter und Objekt ist zu schätzen (route distance estimation task).
- b) Die Reihenfolge von Landmarken, die entlang einer vorgegebenen Route platziert wurden, soll nach der Erkundungsphase von den Vpn korrekt wiedergegeben werden (landmark sequencing).
- c) Eine in der Erkundungsphase gelernte Route muss in der Testphase eigenständig wiedergefunden werden (z.B.

Peterson 1998; Ruddle et al. 1998). Gemessen werden die Länge der insgesamt zurückgelegten Wegstrecke, die Anzahl der korrekt gewählten Wege an Abzweigungen oder die Anzahl an passierten vorher festgelegten Wegpunkten. Ebenso kann gemessen werden, ob die Vpn den Weg vollständig wiederfindet oder verloren geht. Dieser Test kann ergänzt werden durch die Messungen der Zeit zur Bewältigung der Aufgaben, bzw. durch Protokollierung einer verbalen oder schriftlichen Wegbeschreibung der Versuchsperson. Ebenso kann das Routenfinden ohne Sicht, z.B. mit undurchsichtiger Brille oder Maske, durchgeführt werden (z.B. Waller et al. 1998).

Überblickswissen kann z.B. mit diesen Tests ermittelt werden:

- a) Die euklidischen Distanzen zwischen zwei Objekten oder zwischen dem Betrachter und einem Objekt sind durch den Probanden zu schätzen (euclidean distance estimation task).
- b) Die Aufgabe für die Probanden besteht darin, eine neue Route in einem Gebiet anzugeben, wenn die übliche Route gesperrt ist.
- c) Durch Befragungen kann festgestellt werden, ob die Vpn in einer Kartendarstellung einer Landschaft falsch eingezeichnete Wegabschnitte bzw. einen falsch platzierten Kartenausschnitt identifizieren kann (z.B. Waller et al. 1998).
- d) Die Vpn müssen nach der Erkundungsphase eine Skizze (Karte) der Landschaft zeichnen - ein Testverfahren, welches außerhalb des Kontextes von realer oder virtueller Umgebung anwendbar ist (vgl. z.B. Billinghurst & Weghorst 1995; Aginsky et al. 1997). Es ist zu berücksichtigen, dass es den Vpn Schwierigkeiten bereiten kann, eine zweidimensionale Karte aufgrund der vorher erlebten dreidimensionalen Informationen anzufertigen. Ebenso sind die Fähigkeiten zwischen den Vpn zur Erstellung von Zeichnungen unabhängig vom Versuchsinhalt häufig sehr verschieden. Letztendlich ist es schwierig, eine quantitative Analyse aus dem gezeichneten Material zu erstellen.

Bei den hier beschriebenen Tests ist zu unterscheiden, für welche Umgebung Ortskenntnisse erworben wurden. Die Schulungsphase bzw. Erkundungsphase und

auch die Messung können sowohl in einer virtuellen Umgebung als auch in der Realität erfolgen. Inwieweit die gewonnenen Erkenntnisse dann auf das andersgeartete System übertragbar sind, wird im nächsten Abschnitt betrachtet.

3 ÜBERTRAGBARKEIT VON VERSUCHSERGEBNISSEN IN VIRTUELLEN UMGEBUNGEN AUF DIE REALITÄT

Wie erwähnt, sind virtuelle Umgebungen als Schulungssysteme zum Erwerb von Ortskenntnissen eines realen Gebietes prinzipiell einsetzbar. Nachfolgend soll der derzeitige Stand der Forschung beschrieben werden, inwieweit Navigationswissen und -verhalten zwischen virtuellen Umgebungen und der Realität übereinstimmen bzw. übertragbar sind.

Ruddle et al. (1997) verglich ein Experiment, welches in einem realen Gebäude durchgeführt wurde (Thorndyke & Hayes-Roth 1982) mit einem Experiment in einer virtuellen Umgebung. Im VE wurde das Gebäude aus der realen Umgebung als Nachbildung verwendet. Die Schulungsphase zum Erwerb von Ortskenntnissen wurde in den zugrundegelegten Testsystemen durchgeführt. Das Ergebnis des Vergleichs zeigte, dass die Navigationsleistung im simulierten Gebäude im wesentlichen den Werten entspricht, die in der Realität gemessen wurden. Die verwendeten Tests bestanden aus der Aufgabe Zielpunkte zu erreichen, wiederzuerkennen und zudem Richtungen und Distanzen zu schätzen.

Zu einem ähnlichen Ergebnis führte eine Untersuchung von Van Veen et al. (1998). Die Aufgabe der Probanden war es, die Richtung eines bekannten Zielpunktes zu schätzen. Diese Schätzung wurde sowohl in der Realität durchgeführt, als auch in einer virtuellen Umgebung. Die Messungen erfolgten in der Innenstadt von Tübingen bzw. in einer simulierten Nachbildung. In beiden Fällen zeigten die Versuchsgruppen fast identische Schätzleistungen, was auf die Erzeugung ähnlicher mentaler Repräsentationen in beiden Umgebungen hindeutet.

Koh et al. (1999) verglich das Überblickswissen von vier Schulungsgruppen, die anschließend in einem realen Gebäude Entfernungen und Richtungen zu Landmarken schätzen mussten. Die Schulungen zur Vermittlung der Ortskenntnisse erfolgten im realen Gebäude, in einer immersiven und ei-

ner nicht-immersiven Simulationsumgebung und mittels eines Desktop-basierten Systems. Die vier Schulungsgruppen unterschieden sich nicht signifikant in ihren Schätzleistungen, d.h. die Simulatorschulung war gleichwertig mit dem Training in der Realität.

Waller et al. (1998) beschreibt Versuche, bei denen 6 Schulungssysteme verglichen wurden. Die Versuchspersonen erhielten entweder keine Schulung, Kartenmaterial als Informationsquelle oder wurden in der zugrundegelegten realen Umgebung geschult. Weiterhin wurden drei verschiedene virtuelle Umgebungen eingesetzt, bestehend aus einem VE mit Standard-Monitor, einem VE mit immersivem Head-Mounted-Display bzw. dem immersiven System unter Anwendung einer verlängerten Erkundungsphase. Zum Kennenlernen der Umgebung wurden die Längen der Erdungsphasen festgesetzt auf eine Minute in der realen Umgebung und zwei Minuten im VE bzw. fünf Minuten bei verlängerter Erkundung im VE. Die Ergebnisse der Studie zeigten, dass das Training in einem VE bei kurzen Schulungsdauern nicht effektiver als das Training mit Kartenmaterial war. Zum Erwerb von Routenwissen ist eine zeitlich langdauernde Trainingsdauer in einem VE einem Training in der Realität ebenbürtig und führt zu besseren Ergebnissen als Kartenmaterial. Beim Vergleich des erworbenen Überblickswissens führte zeitlich eingegrenztes Training im VE zu schlechteren Testergebnissen als die Vergleichsfaktoren.

In einem realen Gebäude wurde das Verhalten von Feuerwehrmännern erprobt, die vorher wahlweise Kartenmaterial zur Einsicht erhielten, in einem VE trainiert wurden oder kein Training erhielten. Bliss et al. (1997) stellte fest, dass die Anzahl der falsch gewählten Wege bei den im VE bzw. mit Kartenmaterial trainierten Probanden wesentlich geringer als bei den untrainierten war. Die Leistung zwischen den durch Karten geschulten Feuerwehrmännern und den im Simulator ausgebildeten variierte dagegen nicht signifikant.

Versuche in einer realen Landschaft mit einer Ausdehnung von 1.2 x 0.7 Kilometer wurden von Goerger (1998) durchgeführt. Nach einer einstündigen Schulung sollten die Probanden vor Ort Zielpunkte finden und Aufgaben zur Bewertung des Routenwissens und des Überblickswissens durchführen. Die Probanden wurden in drei Gruppen unterteilt, wobei die erste Gruppe während der Schulung eine detailreiche Karte im Maß-

stab 1:5000 erhielt. Die zweite Gruppe erhielt identisches Kartenmaterial und konnte das Gelände in einem Simulator erkunden, die dritte Gruppe hingegen bekam neben dem Kartenmaterial die Möglichkeit sich in der realen Landschaft zu informieren. Die beiden letztgenannten Versuchsgruppen konnten bei Bedarf einen Kompass zur Richtungsbestimmung einsetzen. Zusätzlich bestand im Simulator die Möglichkeit die Landschaft aus 1500 m Höhe von oben zu beobachten und wahlweise direkt zu den Positionen der Zielpunkte zu springen. Während des Versuchs stand kein Kartenmaterial zur Verfügung. Das Versuchsergebnis zeigte, dass zwischen den drei Schulungen kein statistisch nachweisbarer Unterschied in der Navigationsleistung nachgewiesen werden konnte. Es wurde festgestellt, dass die durchgeführte Simulatorschulung das Überblickswissen förderte, während das verwendete Kartenmaterial Routenwissen vermittelte.

Bei allen hier aufgeführten Studien, in denen Kartenmaterial eingesetzt wurde, ist zu berücksichtigen, dass die Navigationsleistungen variieren können, wenn das Bezugssystem der Karten verändert wird. Nach Pfendler & Stein (1996) ist innerhalb der Simulation von Fahrzeugführungsaufgaben zwischen weltfester und fahrzeugfester Orientierung von Karten zu unterscheiden. Fahrzeugfeste Karten richten sich selbstständig in die Bewegungsrichtung des Betrachters aus, wodurch die Richtung von Sicht und Karte immer übereinstimmen. Weltfeste Karten sind immer fest nach Norden ausgerichtet. Dieses erfordert für den Betrachter mentale Rotationen, um Sicht und Karte abzugleichen. Die von Pfendler & Stein (1996) durchgeführten Experimente mit simulierten Fahrzeugführungsaufgaben zeigten, dass bei fahrzeugfesten Karten signifikant geringere Kursabweichungen auftraten, als bei weltfesten Karten.

Péruch et al. (2000) verglich die Navigationsfähigkeiten von Probanden, die in einer VR-basierten Schulung unterschiedlich detaillierte Bildinhalte präsentiert bekamen. Es wurde ein Gelände von einer Universität virtuell dargestellt, wobei eine Versuchsgruppe eine detailreiche Darstellung mit Gebäuden, Hecken, Mauern und Hauptstraßen erkunden konnte. Die zweite Versuchsgruppe bekam nur einige Gebäude und Hauptstraßen visualisiert, die dritte Versuchsgruppe nur wenige Gebäude. In der Schulungsphase wurden sechs verschiedene Zielpunkte hervorgehoben, indem diese zusätzlich ständig eingeblendet wurden. Die Versuchspersonen konnten



ohne Zeitlimit die virtuelle Landschaft erkunden. Nach der Schulung wurden die Probanden an die Zielpunkte auf dem realen Gelände gebracht. Sie mussten versuchen, in die Richtungen der anderen Zielpunkte zu zeigen, die kürzesten Distanzen bei Benutzung des Wegenetzes angeben, bzw. die kürzesten direkten euklidischen Distanzen schätzen. Das Ergebnis der Studie zeigte, dass selbst bei sehr einfachen Darstellungen Ortskenntnisse von einer virtuellen Umgebung auf die Realität übertragen werden können. Während bei den Schätzungen der euklidischen Distanzen keine Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen nachgewiesen werden konnten, waren bei den Richtungsschätzungen und Distanzschätzungen der Wegstrecken die zwei Versuchsgruppen mit den detailreicheren Bildinhalten besser als die Versuchsgruppe mit der einfachsten Darstellung. In einer zweiten Studie variierte Péruch et al. (2000) die Schulungen, indem er eine Versuchsgruppe in einer Simulationsumgebung mit sehr detailreicher, texturierter Visualisierung schulte. Die Vergleichsgruppe konnte das reale Versuchsgelände erkunden. Nach den Schulungen wurden die Messungen zuerst in der virtuellen Umgebung durchgeführt, danach in der Realität. Die Messkriterien entsprachen der vorhergehenden Studie. Das Ergebnis dieser zweiten Studie war, dass bei den Tests in der virtuellen Umgebung die Versuchsgruppe mit Schulung in der Realität bessere Navigationsleistungen zeigte, als die im Simulator geschulte Gruppe. Es konnten keine Unterschiede zwischen den Gruppen bei den Tests in der realen Landschaft festgestellt werden. Ortskenntnisse erscheinen somit von der Realität auf virtuelle Landschaften übertragbar zu sein. Der Transfer von Ortskenntnissen in virtuellen Umgebungen auf die Realität ist generell möglich, aber nur bis zu gewissen Grenzen. Beim Vergleich der beiden Studien stellte Péruch et al. (2000) fest, dass detailreiche Bildinhalte, im Vergleich zu abstrakten Bildinhalten, den Erwerb von Ortskenntnissen fördern.

Weitere Untersuchungen haben Unterschiede zwischen einem Training in einem VE und der Realität feststellen können. Bailey & Witmer (1994) trainierten Probanden sowohl im VE, als auch in der Realität. Die Navigationsleistung wurde anschließend im realen Gebäude getestet. Das Ergebnis zeigt, dass in Simulationsumgebungen Ortskenntnisse vermittelt werden können. Allerdings waren die im VE trainierten Probanden schlechter als die Vergleichsgruppe, die im realen Gebäude geschult wurde. Inwieweit eine Veränderung der Schulungsdauer das

Ergebnis beeinflussen kann, wurde nicht untersucht, aber als möglicher Einflussfaktor erwähnt.

Bei einem Vergleich zwischen Entfernungsschätzungen in einem realen Museum und der simulierten Nachbildung stellten Henry & Furness (1993) fest, dass die Probanden im Simulator die Größen beständig unterschätzten. Die vermutete Ursache für dieses Ergebnis ist ein zu kleines Field-of-View (FOV) des verwendeten Standard-Monitors bzw. Head-Mounted-Displays. Riecke et al. (2000) konnte diese Behauptung in einer Simulationsumgebung mit 180° FOV zwar nicht bestätigen, stellte aber fest, dass erst bei diesem großen FOV dargestellte optische Flussfelder die Pfadintegration wesentlich fördern. Weitere Forschungsergebnisse zur visuellen Wahrnehmung in Simulatoren werden bei Kelle (1995), Neale (1997) und Mallot (2000) beschrieben. Der Realitätsgrad der visuellen Darstellung virtueller Landschaften wird in Forschungsarbeiten zur Detailstufenverwaltung behandelt, z.B. bei Funkhouser & Sequin (1993), Reddy (1996) und Schlender (1999).

Zusammenfassend ist festzustellen, dass Ortskenntnisse in virtuellen Umgebungen vermittelt werden können, die anschließend in der Realität anwendbar sind. Die Ausstattung des VE kann den Erfolg der Schulung beeinflussen, z.B. die Größe des FOV und die Anzahl der dargestellten Objekte bzw. deren Detailgehalt. Ebenso kann sich eine zu kurze Schulungsdauer innerhalb einer simulierten Umgebung nachteilig auswirken. Es ist aber noch zu klären, inwieweit der Erwerb von Ortskenntnissen zwischen Realität und Simulation variiert, wenn großräumige Landschaften oder Gebäude zugrunde gelegt werden.

4 EIGENE EXPERIMENTELLE STUDIE

Die hier beschriebene Studie soll als Pilotprojekt dienen, um unterschiedliche Trainingsbedingungen zum Erwerb von Ortskenntnissen zu vergleichen. Diese hier vorgestellte Untersuchung erhebt keinen Anspruch darauf, verschiedenartige Trainingsmethoden allgemeingültig zu vergleichen, sondern dient nur der ersten Bewertung eines im Rahmen der Studie erstellten Schulungskonzeptes. Für das Schulungskonzept wurde die Annahme getroffen, eine realitätsnahe Simulation durchzuführen, d.h. z.B. unter Beachtung der perspektivischen Grenzen des vorgegebenen Bewegungs-

modells und ohne Einblendung synthetischer Zusatzinformationen.

Anhand praktischer Versuche mit 32 Versuchspersonen ist untersucht worden, inwieweit durch eine zeitlich begrenzte Schulung in einer virtuellen Umgebung Ortskenntnisse innerhalb einer großräumigen Landschaft vermittelt werden können. Zu diesem Zweck wurde eine Simulation aufgebaut, die eine Fahrt aus der Perspektive eines Radfahrers durch ein real existierendes Gelände nachbildete. Die Messung der erworbenen Ortskenntnisse erfolgte anhand des Zurechtfindens in der realen Umgebung. Ein Vergleich der im Simulator geschulten Probanden mit einer nicht geschulten Kontrollgruppe sollte die Hypothese klären, ob Ortskenntnisse vermittelt wurden.

Weiterhin bekam jeweils die Hälfte der Probanden zusätzliches Informationsmaterial in Form einer einfachen Übersichtskarte ausgehändigt. Diese Übersichtskarte zeigte die räumliche Anordnung der Zielpunkte, ohne Wiedergabe des verschachtelten Wegenetzes im Versuchsgelände. Durch diesen Faktor sollte überprüft werden, ob durch die Simulatorschulung einfaches Überblickswissen vermittelt wurde.

Um eine Beeinflussung der Versuchsgruppen untereinander auszuschalten, wurde weiterhin die Reihenfolge der zu findenden Zielpunkte variiert.

4.1 Aufbau der Simulatorschulung

Die Schulung im Simulator erfolgte in der virtuellen Umgebung des Fachgebiets Verkehrssicherheitstechnik der Universität Wuppertal. Zur Vermittlung von Ortskenntnissen wurde eine virtuelle Umgebung verwendet, die aus den Komponenten Head-Mounted-Display, Audiosystem, Kopfpositionserfassung und Grafikkarte besteht (vgl. Tabelle 1).

Die Versuchslandschaft ist ein 4 km x 3 km großes Wald- und Wiesengelände mit einem verzweigten Wegenetz. Zur Veranschaulichung ist in Bild 1 das gesamte Wegenetz aus der ‚Vogelperspektive‘ dargestellt. Eine solche Übersicht war den Probanden nicht zugänglich. Es wurde eine Datenbasis generiert, die das komplette Wegenetz, Wiesen- und Waldflächen sowie markante Objekte und Landmarken, z.B. Häuser, Zäune, Sitzbänke beinhaltet. Alle Objekte wurden in der Simulation mit fotorealistischen Texturierungen dargestellt.



Tabelle 1: Kurzbeschreibung des Versuchsaufbaus

Komponente	Ausführung	Beschreibung
Head-Mounted-Display	Virtual Research Systems VR 4	2 LCD Displays, RGB-Darstellung, Auflösung 732 x 230 Bildpunkte (horizontal x vertikal), Sichtfeld 56,5° horizontal bzw. 36° vertikal
Audiosystem	Sampler Roland S 760 Kopfhörer Sennheiser HD 440	MIDI basierte Geräuschwiedergabe
Kopfpositionserfassung	Ascension Technologies „Flock of Birds“	Elektromagnetisches Sensorsystem, Reichweite +/- 0,95 cm
Bildgeneratoren	Real World Graphics Super Reality II	VME-Bus basiert, Grafikbibliothek gemäß PHIGS-Standard

Es wurde ein Schulungskonzept erstellt, bei dem die Probanden der zu schulenden Versuchsgruppe aus der Betrachterposition eines Radfahrers auf vorgegebenen Bewegungsbahnen durch die Datenbasis geführt wurden (passive Pfadverfolgung). Die Bewegungspfade konnten von den Probanden nicht beeinflusst werden. Dadurch wurde gewährleistet, dass die Probanden gleichwertige Schulungen erhielten und die wichtigsten Orte und Pfade in der Landschaft befahren wurden. Interaktives Verhalten der Probanden innerhalb der Simulation wurde durch die Erfassung und Verrechnung der Kopfpositionsdaten erreicht. Die Versuchsteilnehmer konnten über die sichtbaren Bildinhalte durch die freie Wahl der Blickrichtung und -position entscheiden (Bild 2). Es war z.B. möglich, Bildinhalte, die als wichtig eingeschätzt wurden, durch längere Blickzuwendungen bzw. aus verschiedenen Blickwinkeln zu beobachten. Die Bewegungsgeschwindigkeit während der gesamten Schulung wurde mit 40 km/h konstant gehalten; die Schulungsdauer wurde auf 30 Minuten begrenzt, um eventuelle Einflüsse der Simulatorkrankheit zu vermeiden. Die Bewegungspfade in jeder Schulung be-

standen aus drei verschiedenen Rundkursen, die jeweils ausgehend vom Startpunkt entlang wichtiger Wegachsen, zu markanten Objekten und zu den später zu findenden Zielpunkten und zurück zum Startpunkt führten. An jedem Zielpunkt und nach jeder

Schulungsrunde wurde eine kleine Pause gemacht und ein längeres bewußtes Umherschauen der Probanden ermöglicht. Die Einweisung in die Simulatorschulung und eine Nennung von markanten Simulationseinhalten, z.B. die später zu findenden Zielpunkte, erfolgte durch die Wiedergabe aufgezeichneter Sprachinformationen.

4.3 Messwerterfassung für Realversuch

Die Messung der erworbenen Ortskenntnisse erfolgte im beschriebenen Versuchsgelände. Aufgrund der Länge der zu bewältigenden Strecken legten die Versuchspersonen diese mit einem Fahrrad zurück. Vorversuche zur Positionserfassung mit einem

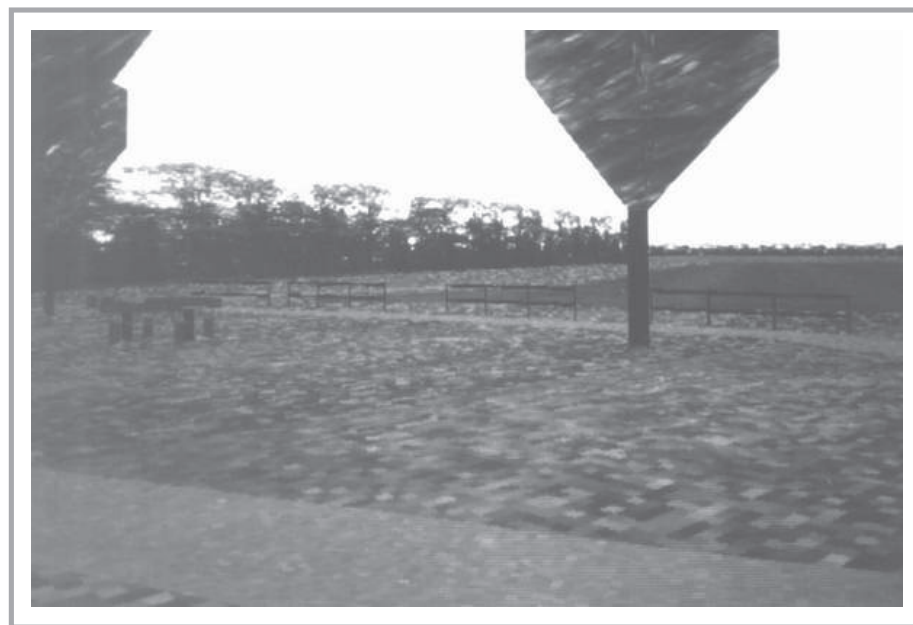


Bild 2: Szene aus der Simulatorschulung



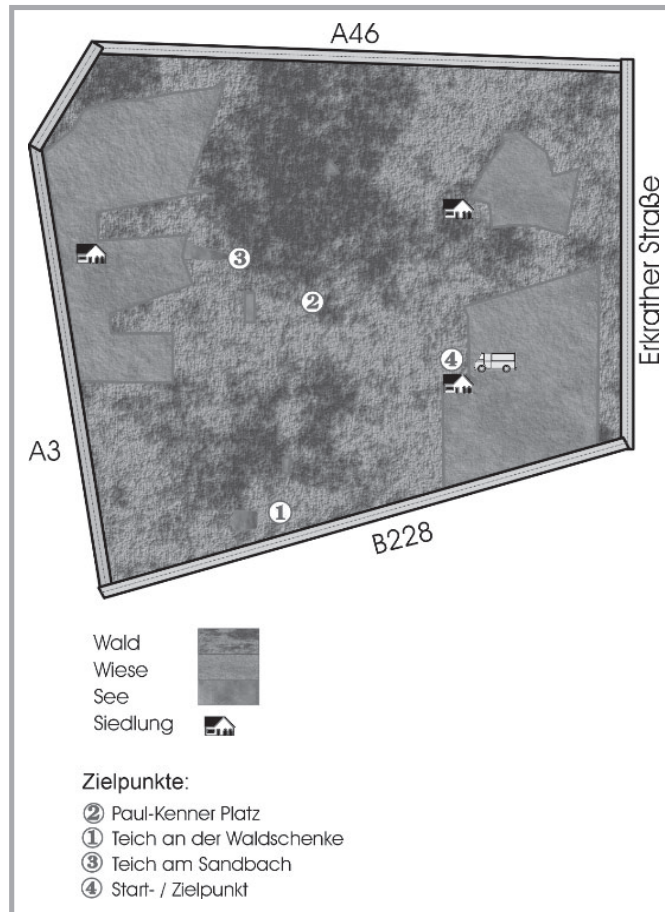
Bild 1: Schematische Übersicht über das Wegenetz im Versuchsgelände aus der ‚Vogelperspektive‘

satellitengestützten Navigationssystem (GPS) ergaben, dass dieses System innerhalb der bewaldeten Areale keine hinreichend zuverlässige Peilung der Satelliten gewährleistet. Deshalb wurde eine Koppelnavigation mit Weg-Zeiterfassung am Fahrrad verwendet.

Die zurückgelegte Messstrecke wurde direkt am Hinterrad des Fahrrads erfasst. Die Messung der Radumdrehungen (Messfehler unter 1 %) erfolgte mit einem Reedkontakt, der durch einen an einer Speiche des Rads befestigten Magneten kurzzeitig geschlossen wird. Die Fahrtrichtung wurde mittels eines elektronischen Steuerkompasses (AUTOHELM ST 50 Plus) mit NMEA0183 Ausgang gemessen (1 Winkelgrad Genauigkeit). Zur Datenvorverarbeitung und -speicherung wurde ein Mikrorechner mit einem Prozessor Intel 8051 eingesetzt.



Bild 3:
Zusätzliches Informations-
blatt der Versuchsgruppen
mit Kartenmaterial



Aufgrund der aufwendigen Versuchsdurchführung konnte bei einem vorliegenden Stichprobenumfang von 32 Versuchspersonen der theoretisch ermittelte optimale Stichprobenumfang von $N=42$ (bei angenommener Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0.05$ und großem Effekt in einem $2 \times 2 \times 2$ Versuchsplan) nicht erreicht werden. Aus diesem Grund werden in der statistischen Auswertung die beobachteten Testschärfen für parametrische Tests ebenfalls angegeben. Bei dem zur Analyse auch verwendeten nichtparametrischen Mann-Whitney-U-Test ist zusätzlich von einer Stärke-Effizienz von etwa 95% auszugehen.

5.1 Analyse der Messung im Versuchsgelände

Die durchschnittliche Anzahl gefundener Zielpunkte von vier aufzufindenden Zielpunkten betrug 2.375 für die Versuchsgruppe mit Simulatorschulung (VGA1) und 2.75 für die Vergleichsgruppe ohne Simulatorschulung (VGA2). Die Häufigkeiten der gefundenen Zielpunkte werden in Bild 5 wiedergegeben. Die Analyse, ob man von einem signifikanten Unterschied ausgehen kann, erfolgte mit nichtparametrischen statistischen Testverfahren. Diese Analyseart war angemessen, da die Messwerte nicht stetig verteilt waren und eine Überprüfung auf Varianzhomogenität und Normalverteilung aufgrund des geringen Stichprobenumfangs nicht möglich war. Der nichtparametrische Mann-Whitney-U-Test führte hierbei zu dem Ergebnis, dass der Faktor Simulatorschulung ($z=-0.6479$; $p=0.5170$; beobachtete Testschärfe (bei $\alpha = 0.05$) = 0.116) keinen signifikanten Einfluss auf die abhängige Variable ausübt.

Der Faktor Kartenmaterial hatte jedoch einen signifikanten Einfluss auf das Versuchsergebnis ($z=-2.4935$, $p=0.0126$, Testschärfe ($\alpha = 0.05$) = 0.685). Die Versuchsgruppe mit Kartenmaterial (VGB1) erreichte durchschnittlich 3.125 Zielpunkte, während die Versuchsgruppe ohne Kartenmaterial (VGB2) nur durchschnittlich 2.0 Zielpunkte gefunden hatte (Bild 6). Das Kartenmaterial führte somit zu einer deutlich besseren Navigationsleistung. Die vorliegende Testschärfe ist zufriedenstellend für die Annahme der Alternativhypothese.

Der dritte variierte Faktor war die Reihenfolge der vorgegebenen Zielpunkte (Bild 7). Dieser Faktor hatte zwei Faktorstufen, die sich darin unterschieden, dass die vier zu findenden Zielpunkte im Versuchsgelände

4.5 Versuchsablauf und Versuchsplan

Am Experiment nahmen 32 Studenten bzw. Studentinnen der Fachrichtung Sicherheitstechnik der Universität Wuppertal teil. Das Durchschnittsalter aller Versuchspersonen betrug 25.7 Jahre, wobei sich der Altersbereich von 21 bis 32 Jahre erstreckte. Die Versuchspersonen wurden zufällig 8 Versuchsgruppen zugeordnet. Die Versuchsgruppen unterschieden sich in den Faktoren Simulatorschulung (2 Stufen: Ja / Nein), zusätzliches Kartenmaterial entsprechend Bild 3 (2 Stufen: Ja / Nein) und der Reihenfolge der vier Zielpunkte (2 Stufen). Um gleiche Versuchsbedingungen im Versuchsgelände zu gewährleisten, wurden die Messungen nur vormittags zwischen 9.00 Uhr und 13.00 Uhr bei trockener Witterung durchgeführt. Die Simulatorschulungen erfolgten jeweils am selben Tag vor Versuchsbeginn.

Die zu findenden Zielpunkte wurden auf einem zusätzlichen Informationsblatt, das den Probanden ausgehändigt wurde, beschrieben. Neben einer Kurzbeschreibung durch Stichworte enthielt dieses jeweils ein Foto von jedem Zielpunkt (Bild 4).

Den Versuchspersonen stand ein Versuchszeitraum von 40 Minuten zur Verfügung, um alle Zielpunkte zu erreichen. Der Versuchs-

leiter begleitete die Versuchspersonen während der Messung auf einem zweiten Fahrrad in weitem Abstand, wobei eine Beeinflussung der Probanden nicht erlaubt war. Er überwachte den Versuchsablauf und Zeitplan und sollte bei Unfällen bzw. technischen Defekten helfen.

Nach Versuchsende sollten die Versuchspersonen die gefahrene Strecke in eine Karte einzeichnen. Zur Vereinfachung war in der Karte bereits das Wegenetz im Versuchsgelände eingezeichnet, so dass nur noch die benutzten Wege markiert werden mussten.

5 ERGEBNISSE

Das beschriebene Versuchsdesign ist ein $2 \times 2 \times 2$ -faktorielles Design ohne Messwiederholungen. Die unabhängigen Versuchsvariablen sind die Faktoren Simulatorschulung, zusätzliches Kartenmaterial und die Reihenfolge der vier Zielpunkte. Als abhängige Versuchsvariable wird die Anzahl der gefundenen Zielpunkte ausgewertet. Weitere untersuchte Kriterien sind die zurückgelegten Wegstrecken zum Erreichen der Zielpunkte, die Anzahl der Umkehrpunkte sowie die von den Versuchspersonen angefertigten Skizzen der zurückgelegten Wegstrecken.



Fahren Sie in der vorgegebenen Reihenfolge zu folgenden Zielpunkten:

1. Zielpunkt: Teich an der Waldschenke

(Merkmale: Restaurant; Eingang zum Schwimmbad; geteilter Rundweg)



2. Zielpunkt: Paul-Kenner Platz

(Merkmale: Hinweisschild; 3 Sitzbänke; 5 Wege führen zu dieser Stelle)



3. Zielpunkt: Teich am Sandbach

(Merkmale: keine Gebäude am Ufer; Teich fast vollständig von Bäumen eingegrenzt)



4. Zielpunkt: Startpunkt am Kesselsweiher

(Merkmale: gelber Messbus; Segelfluggplatz, Siedlung Kesselsweiher)

in entgegengesetzter Reihenfolge zu finden waren. Die deskriptive Auswertung der Mittelwerte beider Versuchsgruppen zeigt mit durchschnittlich 2.3125 gefundenen Zielpunkten für Wegstrecke A (VGC 1) bzw. 2.8125 für Wegstrecke B (VGC 2) nur einen kleinen Unterschied in den Messwerten. Mittels dem Mann-Whitney-U-Test ($z=-0.8050$, $p=0.4208$, Testschärfe $(\alpha=0.05) = 0.171$) wird bestätigt, dass diese Faktorstufen keinen signifikanten Unterschied aufweisen.

Die Analyse der insgesamt zurückgelegten Wegstrecken bis zum Erreichen der Zielpunkte erfolgte mit dem nicht-parametrischen Mann-Whitney-U-Test. Da nicht alle Zielpunkte von allen Probanden erreicht wurden, konnte nur die Distanz bis zum ersten Zielpunkt betrachtet werden (Tabelle 2). Zusätzlich wurde eine Varianzanalyse durchgeführt. Hierbei wurden die zwei schlechtesten Werte je Versuchsgruppe weggelassen, da in einer Versuchsgruppe zwei Probanden keinen einzigen Zielpunkt erreichten. Auf diese Weise konnte ein intervallskaliertes Messniveau beibehalten werden. Eine Anwendung der nicht-orthogonalen Varianzanalyse ist abzulehnen, da eine Schätzung der fehlenden Daten mit den vorliegenden Messwerten die Versuchsergebnisse falsch wiedergibt.

Der Mann-Whitney-U-Test und die ANOVA lieferten das Ergebnis, dass der Faktor Simulatorschulung keinen Einfluss hat ($z=0.151$, $p=0.880$ bzw. $F(1, 8)=0.08$, $p=0.79$). Das Kartenmaterial übt einen signifikanten Einfluss aus ($z=-2.264$, $p=0.024$ bzw. $F(1, 8)=5.69$, $p=0.04$), dagegen die Reihenfolge der zu findenden Zielpunkte nicht ($z=-1.471$, $p=0.141$ bzw. $F(1, 8)=1.78$, $p=0.22$). Dieses entspricht den Ergebnissen aus der Analyse der Anzahl der gefundenen Zielpunkte. Weiterhin liegt eine 2-Wege-Interaktion zwischen Kartenmaterial und Simulatorschulung vor ($F(1, 8)=8.14$, $p=0.07$).

In einer weiteren Analyse wurde die Anzahl der Vorgänge betrachtet, bei denen eine Versuchsperson auf einem gewählten Wegabschnitt anhielt und in die entgegengesetzte Richtung zurückfuhr. Häufiges Umkehren kann als Indiz für ein unsicheres Navigations- und Orientierungsverhalten gedeutet werden. Die statistische Auswertung erfolgte auch hier in drei Einzeltests mit dem Mann-Whitney-U-Test. Die Ergebnisse sind, dass die Simulatorschulung ($z=-0.0194$, $p=0.9846$), das Kartenmaterial ($z=-0.2517$, $p=0.8012$) und die Anordnung der Zielpunkte ($z=-0.7552$, $p=0.4501$) keine Einflüsse auf die Umkehrhäufigkeiten hatten.

Bild 4: Informationsblatt zur Beschreibung der Zielpunkte

Bild 5: Häufigkeiten der gefundenen Zielpunkte in Abhängigkeit der Simulatorschulung (VGA 1 = mit Simulatorschulung, VGA 2 = ohne Simulatorschulung)

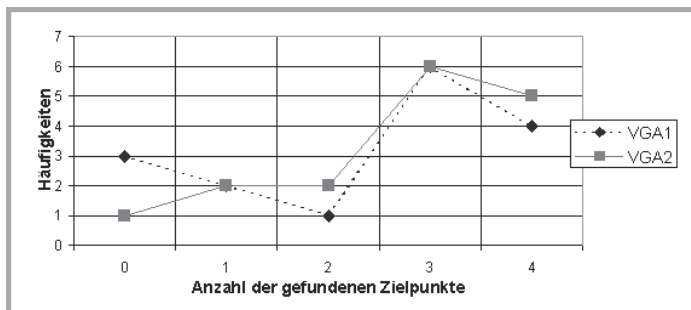


Bild 6: Häufigkeiten der gefundenen Zielpunkte in Abhängigkeit des Kartenmaterials (VGB 1 = mit Kartenmaterial, VGB 2 = ohne Kartenmaterial)

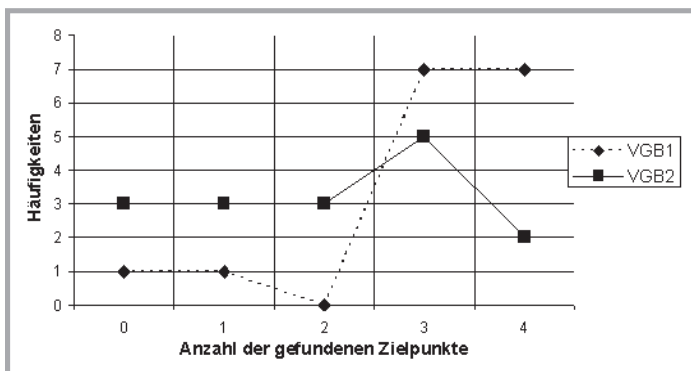




Bild 7:
Häufigkeiten der gefundenen Zielpunkte in Abhängigkeit der Wegstrecke (VGC 1 = Wegstrecke A, VGC 2 = Wegstrecke 2)

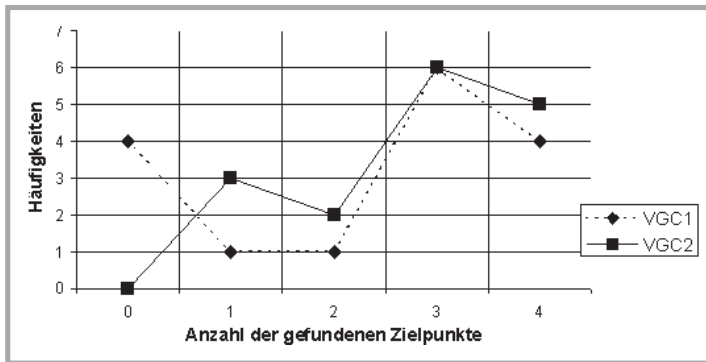


Tabelle 2: Mittlere Wegstrecken bis zum erreichten ersten Zielpunkt (in Klammern: Standardabweichung)

	Zurückgelegte Distanz zum Zielpunkt 1
Mit Schulung und mit Karte	2,47 km (1,29)
Mit Schulung und ohne Karte	5,14 km (1,86)
Ohne Schulung und mit Karte	4,05 km (1,58)
Ohne Schulung und ohne Karte	4,87 km (2,59)

5.3 Analyse der skizzierten Wegstrecke

Nach der Messung im Versuchsgelände mussten die Probanden in einer Karte den von ihnen selbst gefahrenen Weg markieren. Auf der vorgegebenen Skizze war bereits das Wegenetz im Versuchsgelände sowie der Start- und Zielpunkt eingezeichnet. Das gesamte Versuchsgelände bestand aus 119 verschiedenen Wegabschnitten, wobei der kürzeste Weg zum Erreichen der Zielpunkte

aus mindestens 27 Wegabschnitten bestand. Die Auswertung erfolgte anhand der Kriterien

- wie viele Wegabschnitte vom Startpunkt ausgehend korrekt eingezeichnet wurden, d.h. ab welchem Wegabschnitt eine Abweichung der tatsächlich gefahrenen von der markierten Strecke vorlag (Tabelle 3) und
- wie viele Wegabschnitte auf dem insgesamt eingezeichneten Weg tatsächlich benutzt wurden (Tabelle 4).

Die Analyse erfolgte mittels einer Varianzanalyse. Für die Anzahl der vom Startpunkt ausgehend korrekt eingezeichneten Wege konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Faktoren Kartenmaterial ($F(1,24)=1.92, p=0.178$), Simulatoreausbildung ($F(1,24)=0.00, p=0.979$) und Reihenfolge der Zielpunkte ($F(1,24)=1.63, p=0.214$) festgestellt werden.

Ebenso konnte kein signifikanter Unterschied bei der Anzahl der insgesamt kor-

rekt wiedergegebenen Wegabschnitte festgestellt werden (Faktor Kartenmaterial ($F(1,24)=2.47, p=0.129$), Faktor Simulatoreausbildung ($F(1,24)=1.14, p=0.296$) und Reihenfolge der Zielpunkte ($F(1,24)=0.00, p=0.956$)). Bei beiden Tests lagen keine Interaktionen vor. Das vorliegende Ergebnis wurde durch weitere nichtparametrische Einzeltest mittels des Mann-Whitney-U-Tests bestätigt.

6 DISKUSSION

Die vorliegende Untersuchung führt zu dem Ergebnis, dass das vorliegende Schulungskonzept, bestehend aus einer einmaligen 30-minütigen Schulung in einer virtuellen Umgebung, nicht genügend Ortskenntnisse vermittelt, um Zielpunkte in einer großräumigen Landschaft erfolgreich wiederzufinden. Im direkten Vergleich zwischen der ungeschulten Versuchsgruppe mit der im Simulator geschulten Gruppe konnten keine Unterschiede in der Navigationsleistung festgestellt werden.

Dieses Ergebnis bestätigt nicht die Untersuchungsergebnisse von Bailey & Witmer (1994) und Bliss et al. (1997). Die Simulationsgruppe ist vermutlich deshalb nicht besser, weil die 30-minütige Schulung aufgrund der sehr großen Ausdehnung der zugrundegelegten Landschaft nur unzureichendes Routen- oder Überblickswissen vermitteln konnte. Ebenso liegen in dem Versuchsgelände nur wenige auffällige Landmarken vor (vgl. Ruddle et al. 1997; Neale 1997), die Landmarkenwissen hätten fördern können. Aufgrund fehlender Landmarken an Wegverzweigungen konnten nur selten Richtungsinformationen mit Landmarken verknüpft werden, was entsprechend den Ergebnissen von Mallot & Gillner (1998), Wender (1998) und Mallot (1999) als Navigationshilfe verwendbar ist.

Zusätzliches Kartenmaterial während des Versuchs verbessert die Navigationsleistung sowohl der ungeschulten, als auch der simulatorgeschulten Probanden. Das Kartenmaterial vermittelt Überblickswissen, welches eine erfolgreiche Navigation erleichtert. Damit werden die bisherigen Studien von Satalich (1995) und Ruddle et al. (1997) bestätigt. Bei der Anzahl der gefundenen Zielpunkte liegen keine Interaktionen zwischen den Faktoren vor.

Eine Interaktion zwischen den Faktoren Kartenmaterial und Simulatorschulung liegt hingegen bei der zurückgelegten Wegstre-

Tabelle 4: Mittelwerte der insgesamt korrekt wiedergegebenen Wegabschnitte (in Klammern: Standardabweichung)

		VGA1 (Mit Simulatorschulung)	VGA2 (Ohne Simulatorschulung)
VGB1 (Karte: Ja)	VGC1 (Wegstrecke A)	8,25 (7,97)	7,75 (10,14)
	VGC2 (Wegstrecke B)	6,50 (11,03)	1,75 (0,96)
VGB2 (Karte: Nein)	VGC1 (Wegstrecke A)	2,00 (2,71)	5,75 (5,44)
	VGC2 (Wegstrecke B)	1,00 (0,00)	2,75 (3,50)

Tabelle 3: Mittelwerte vom Startpunkt ausgehend korrekt wiedergegebener Wegabschnitte (in Klammern: Standardabweichung)

		VGA1 (Mit Simulatorschulung)	VGA2 (Ohne Simulatorschulung)
VGB1 (Karte: Ja)	VGC1 (Wegstrecke A)	18,00 (5,77)	19,25 (2,99)
	VGC2 (Wegstrecke B)	16,25 (6,08)	22,25 (8,85)
VGB2 (Karte: Nein)	VGC1 (Wegstrecke A)	14,00 (5,72)	17,25 (5,25)
	VGC2 (Wegstrecke B)	15,75 (9,74)	14,75 (2,06)

cke bis zum Erreichen des ersten Zielpunktes vor. Die Versuchsgruppe mit Simulatorschulung, die kein Kartenmaterial zur Verfügung hatte, legte auffällig lange Wege bis zum Zielpunkt zurück. Hingegen benötigte die Versuchsgruppe mit Simulatorschulung und Kartenmaterial die kürzeste Distanz von allen Gruppen. Es ist zu vermuten, dass das Navigationswissen der Probanden nach der Simulatorschulung Lücken aufwies, welches durch die Überblicksinformationen aus dem Kartenmaterial vorteilhaft ergänzt werden konnte.

Unabhängig von allen variierten Faktoren erfolgten Umkehrvorgänge während der Messung mit gleicher Häufigkeit. Häufiges Umkehren steht demnach nicht mit den zur Verfügung stehenden Informationen bzw. Wissen in Zusammenhang. Aus der Literatur sind vergleichbare Untersuchungen mit diesem Messkriterium nicht bekannt.

Die Analyse der nach Versuchsende skizzierten Wegstrecken zeigte, dass die Probanden aller Versuchsgruppen vergleichbares Überblickswissen von der Landschaft erworben hatten. Das zusätzliche Kartenmaterial während des Versuchs hatte zwar die Orientierung und Navigation im Versuchsgelände gefördert, aber nachdem das Kartenmaterial nicht mehr zur Verfügung stand, konnten diese Informationen nicht mehr hilfreich verwendet werden. Dieses führt zu dem Ergebnis, dass in der ausgewählten großräumigen Landschaft sowohl das verwendete Kartenmaterial, als auch die hier beschriebene Simulatorschulung nicht zu umfassendem, dauerhaft verfügbarem mentalen Wissen führte.

Ausblick - Mögliche Ansätze für weitere Studien. Ein Ansatz für weitere Studien ist es, den mit dieser Studie begonnenen Vergleich unterschiedlicher Trainingsbedingungen fortzusetzen. Der Zusammenhang zwischen der Größe der zu lernenden Umgebung und der Schulungsdauer in der virtuellen Umgebung ist genauer zu untersuchen. Längere Schulungsdauern führen in großräumigen Landschaften vermutlich zu besseren Navigationsleistungen (vgl. Waller et al. 1998; Ruddle et al. 1998). Die Gefahr des vermehrten Auftretens der Simulatorkrankheit ist aber zu berücksichtigen (vgl. Zupanic 1993). Es erscheint ebenso auch sinnvoll, die Auswirkungen von mehreren zeitlich getrennten Trainingssitzungen zu betrachten.

Weitere Untersuchungen könnten klären, ob aktives Erkunden der Landschaft durch eine freie Streckenauswahl die Ortskenntnisse

erhöht. Bei Untersuchungen von Péruch et al. (1995), Christou & Bühlhoff (1998) und Bowman et al. (1999) wurde festgestellt, dass bei Erkundungen von Landschaften, bei denen die Probanden die Bewegungsrichtungen eigenständig bestimmen konnten, die Ortskenntnisse besser ausgeprägt waren und zu besseren Navigationsleistungen führten. Bei aktiver Erkundung einer großräumigen Landschaft ist aber zu gewährleisten, dass die Probanden alle relevanten Landmarken oder Steckenabschnitte überhaupt kennen lernen. Die Simulation von propriozeptiven Wahrnehmungen, die den ganzen Körper bei Bewegungen (whole-body movement) einbezieht, kann ebenso den Erwerb von Ortskenntnissen fördern (z.B. Wartenberg et al. 1998; Chance et al. 1998). Die Nachbildung von körperlichen Belastungen wird aber in großräumigen Landschaften durch einsetzende Erschöpfungszustände der Versuchspersonen begrenzt. Untersuchungen sind möglich, inwieweit Eingabegeräte mit niedrigeren Belastungen als in der Realität die notwendigen Informationen vermitteln können.

Insgesamt ist festzustellen, dass noch weitere Forschung notwendig ist, um virtuelle Umgebungen zur Schulung von Ortskenntnissen in großräumigen Landschaften einzusetzen.

LITERATUR

- Aginsky, V.; Harris, C.; Rensink, R.; Beusmans, J.:** Two strategies for learning a route in a driving simulator. *Journal of Environmental Psychology*, 17, 317-331 1997
- Bailey, J.H.; Witmer, B.G.:** Learning and transfer of spatial knowledge in a virtual environment. In: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 38th Annual Meeting* (pp. 1158-1162). Nashville, TN 1994
- Billingham, M.; Weghorst, S.:** The Use of Sketch Maps to Measure Cognitive Maps of Virtual Environments. In: *Proceedings of the Virtual Reality Annual International Symposium (VRAIS '95)* (pp. 40-47) 1995
- Bliss, J.P.; Tidwell, P.D.; Guest, M.A.:** The effectiveness of virtual reality for administering spatial navigation training for firefighters. *Presence*, 6, 73-86 1997
- Bowman, D.A.; Davis, E.T.; Hodges, L.F.; Badre, A.N.:** Maintaining Spatial Orientation during Travel in an Immersive Virtual Environment. *Presence*, 8(6), 618-631 1999
- Chance, S.S.; Gaunet, F.; Beall, A.C.; Loomis, J.M.:** Locomotion Mode Affects the Updating of Objects Encountered During Travel: The Contribution of Vestibular and Proprioceptive Inputs to Path Integration. *Presence*, 7(2), 168-178 1998
- Christou, C.; Bühlhoff, H.H.:** Differences between Active-Explorers and Passive-Observers in Virtual Scene Recognition. Technical Report No. 62. Tübingen: Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik 1998
- Colle, H.A.; Reid, G.B.:** The Room Effect: Metric Spatial Knowledge of Local and Separated Regions. *Presence*, 7(2), 116-128 1998
- Funkhouser, T.H.; Sequin, C.H.:** Adaptive Display Algorithm for Interactive Frame Rates During Visualization of Complex Virtual Environments. In: *Proceedings der ACM SIGGRAPH 93* (pp. 248-254). Anaheim, CA 1993
- Goerger, S.R.:** Spatial knowledge acquisition and transfer from virtual to natural environments for dismounted land navigation. Master's thesis. Monterey, CA: Department of Computer Science, Naval Postgraduate School 1998
- Henry, D.; Furness, T.:** Spatial Perception in virtual environments. In: *Proceedings of the IEEE Virtual Reality Annual Symposium (VRAIS)* (pp. 33-40). Seattle, WA 1993
- Kelle, O.H.:** Dynamische Tiefenwahrnehmung in computergenerierten interaktiven Szenen und virtuellen Simulationsumgebungen. *Fortschritt-Berichte: VDI-Reihe 10; Nr. 356*. Düsseldorf: VDI-Verlag 1995
- Koh, G.; Wiegand, T.E.; Garnett, R.L.; Durlach, N.I.; Shinn-Cunningham, B.:** Use of Virtual Environments for Acquiring Configurational Knowledge about Specific Real-World Spaces: I. Preliminary Experiment. *Presence*, 8(6), 632-655 1999
- Mallot, H.A.; Gillner, S.:** View-based vs place-based navigation: What is recognized in recognition-triggered responses. Technical Report No. 64. Tübingen: Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik 1998
- Mallot, H.A.:** Spatial Cognition: Behavioral competences, neural mechanisms, and evolutionary scaling. *Kognitionswissenschaft*, 8, 40-48 1999
- Mallot, H.A.:** Sehen und die Verarbeitung visueller Information. Wiesbaden: Vieweg 2000
- Neale, D.C.:** Factors influencing spatial awareness and orientation in desktop virtual environments. In: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 41st Annual Meeting*, S. 1278-1282 1997