

Unterschiedliche Ortserkennungsleistungen  
durch inzidentelles und explizites Lernen beim  
Menschen

Bachelorarbeit

der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät  
der Eberhard Karls Universität Tübingen

vorgelegt von

Isa-Maria Gross

Tübingen, September 2013

## Erklärung

Hiermit erkläre ich,

- Dass ich diese Arbeit selbst verfasst und keinen anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.
- Dass die eingereichte Arbeit weder vollständig noch in wesentlichen Teilen Gegenstand eines anderen Prüfungsverfahrens gewesen ist.

---

Tübingen, den (Datum und Unterschrift des Kandidaten)

## Zusammenfassung

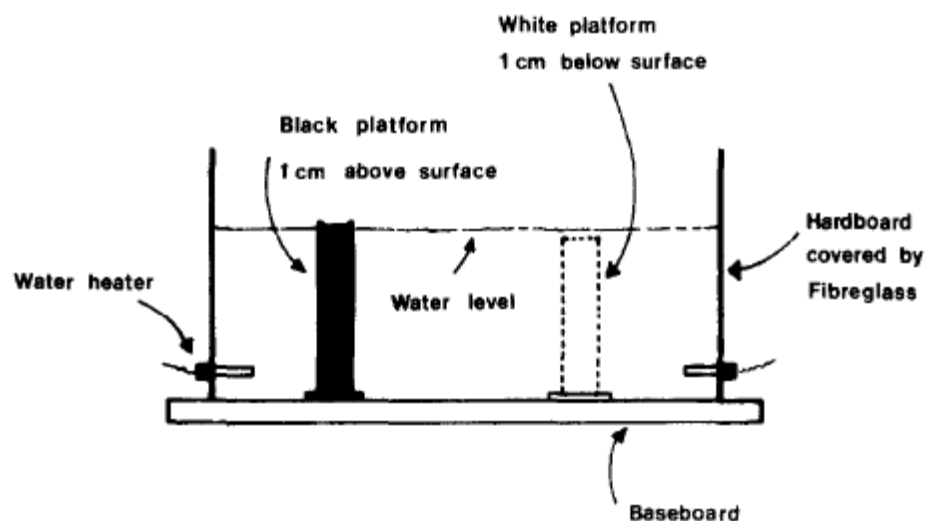
In dieser Bachelorarbeit wird die Ortserkennungsleistung beim Menschen in virtueller Umgebung anhand von Landmarken getestet. Es wurden drei Versuchsgruppen konzipiert, welche zu unterschiedlichen Versuchsbedingungen das Experiment durchführten. Hierbei navigierten Versuchspersonen von einem Startpunkt aus zu einem gesuchten Ziel und lernten dabei einen anderen Ort, der während der Navigation passiert wurde, entweder inzidentell oder explizit. Dieser Ort sollte in der Experimentalphase lokalisiert werden, in der die Versuchspersonen von der virtuellen Umgebung nur noch die vier Landmarken wahrnehmen konnten. In einer weiteren Versuchsgruppe, sollte das gleiche Ziel verfolgt werden, wobei die Landmarkenfarbenanordnung um 180° gedreht war, um den Effekt der Salienz der Farben auf die Ortserkennung zu untersuchen. Beim expliziten Lernen konnte im Gegensatz zum inzidentellen Lernen und zum Farbwechsel, insgesamt eine nähere Position der Zielortbestimmung zu dem gesuchten Ort festgestellt werden. Die Positionsfehler der einzelnen Versuchspersonen lagen in unterschiedlichen Richtungen von dem gesuchten Ort aus verstreut. Beim Farbwechsel und inzidentellem Lernen wurde von den Versuchspersonen ein einheitlicher systematischer Fehler begangen. Die Performance der einzelnen Versuchspersonen beim expliziten Lernen war besser, als die der beiden anderen Versuchsbedingungen. Demnach spielt die Farbwahl der Landmarken eine untergeordnete Rolle bei der Ortserkennung, die Lernform allerdings sorgt für unterschiedliche Ortserkennungsleistungen.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Material und Methoden</b> .....	<b>7</b>
2.1 Versuchspersonen .....	7
2.2 Material .....	7
2.3 Stimuli.....	8
2.4 Prozedur .....	10
2.5 Datenerhebung .....	13
<b>3. Ergebnisse</b> .....	<b>15</b>
3.1 Entscheidungspunkte .....	15
3.2 Startpositionen .....	20
3.3 Blickrichtungen.....	25
3.4 Trajektorien .....	30
<b>4. Diskussion</b> .....	<b>34</b>
Literaturverzeichnis.....	41
<b>Anhang</b> .....	<b>43</b>
Fragebogen zum Experiment .....	43
Probandeninformation.....	45
Übersicht der Versuchsdaten.....	46

## 1. Einleitung

In unserem täglichen Leben begegnet uns der Prozess der Ortserkennung. Nach der Rückkehr eines längeren Urlaubes können wir jederzeit den Ort an dem wir wohnen wiedererkennen und mit einer selbstverständlichen Sicherheit sagen, dass dies der Ort ist, an dem wir zu Hause sind. Wieso sind wir uns dessen so bewusst und welche Gründe veranlassen uns dies mit uneingeschränkter Überzeugung festzustellen? Da jeder Ort bestimmte Eigenschaften besitzt, die ihn von anderen Orten abgrenzt und dessen Erscheinungsform zu verschiedenen Zeitpunkten und Zuständen charakteristisch ist, fällt es uns gerade an Orten, an denen wir uns öfter befanden, gar dort lebten, besonders leicht diese anhand von Erinnerungen wiederzuerkennen. Wenn wir einen Weg zu einem uns bekannten Ziel gehen, orientieren wir uns vor allem an besonders markanten Objekten. Diese Objekte werden auch als Landmarken bezeichnet und können jegliche Form oder Farbe annehmen, solange diese als Anhaltspunkt bei der Navigation von einem Ort zu einem noch nicht sichtbaren Ziel dienen. Landmarken können auch diejenigen Faktoren sein, die uns das Wiedererkennen von Orten erleichtern. Schon in einem Experiment mit Ratten konnte bewiesen werden, dass sich diese anhand von visuellen Reizen oder aber ohne diese, einen bestimmten Ort lokalisieren können (Morris, 1981).



**Abb. 1: Versuchsaufbau des Morris' Watermaze**

Die Ratten schwammen im Morris Watermaze durch eine mit undurchsichtiger Flüssigkeit gefüllte Arena und lernten in unterschiedlichen Versuchsgruppen dabei das Lokalisieren der schwarzen Überwasserplattform oder der weißen Unterwasserplattform.

In dem sogenannten Morris Watermaze wurden Ratten in einer mit Wasser gefüllte Arena ausgesetzt, in der sie durch das Erreichen einer Plattform das Watermaze verlassen konnten (Abb. 1). Es gab vier Versuchsgruppen in denen bei zweien eine sichtbare schwarze Plattform über dem Wasser zu finden war, wobei eine davon nach jedem Durchlauf die Position änderte, und bei zwei anderen Versuchsgruppen die Plattform nicht zu sehen war und in einem Fall ebenfalls ihre Position verändert wurde. Es konnte festgestellt werden, dass Ratten anhand von distalen Cues das Ziel erreichen können, proximale Cues die Performance allerdings deutlich verbesserten. Distale Cues beschreiben das relative Verhältnis der Position eines Ortes zu einem anderen (Menzel, 1978) und können somit einen Richtungseindruck vermitteln, wohingegen proximale Cues direkt sichtbar oder aber durch andere Sinneseindrücke wahrnehmbar sind, und auf diese Weise von einem Ort direkt erreicht werden können (Fraenkel & Gunn, 1961). Auch am Beispiel von Bienen fand man heraus, dass diese sich anhand von Landmarken orientieren können, um eine Futterbelohnung zu lokalisieren (Cartwright & Collet, 1983). Die Bienen wurden darauf trainiert, eine Futterquelle in einem Raum, ausgestattet mit visuellen Cues, ausfindig zu machen, um anschließend nach Entfernung der Futterquelle aus dem Raum deren zurückgelegte Wege nachverfolgen zu können. Die Bienen suchten bevorzugt in der Gegend des richtigen Ortes der Futterquelle, nachdem diese entfernt wurde. Demnach kann man davon ausgehen, dass auch Bienen Landmarken in Form von visuellen Cues wahrnehmen und anhand dieser in einer neuen Umgebung navigieren können. In einem Experiment von Jacobs und Kollegen (1997) wurde ein sehr ähnlicher Versuchsaufbau wie beim Morris Watermaze verwendet, um die Fähigkeit von Menschen zu testen, ein vorher gelerntes Ziel wiederzufinden, welches während der Testphase nicht länger sichtbar war. Es konnte festgestellt werden, dass die Ortserkennung nicht durch proximale Cues beeinträchtigt wurde und Menschen ebenfalls ausschließlich mithilfe distaler Cues einen Ort lokalisieren können.

Ein weiterer Aspekt bei der Ortserkennung anhand von Landmarken, ist die sogenannte Stabilität dieser untereinander. Gemeint damit ist eine gleichbleibende, verlässliche Konfiguration der Landmarken, die das räumliche Lernen von Ratten um Einiges verbesserte (Biegler & Morris, 1996). In dem Experiment von Biegler und Morris wurden Ratten in eine Arena gesetzt, welche mit mehreren Landmarken

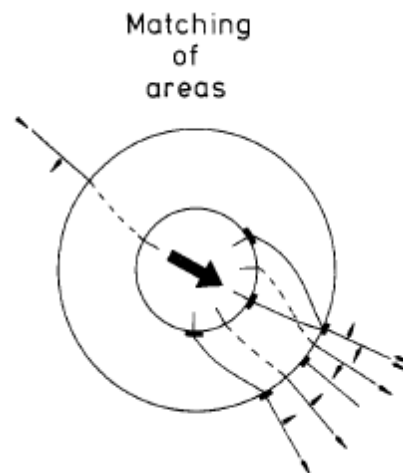
versehen war und die Ratten zu einer Futterquelle leiten sollten. Damit die Kontingenz zwischen Landmarken und Futter stieg, wurde das Experiment an Tagen ohne Futterbelohnung ebenfalls in der Abwesenheit der Landmarken durchgeführt. Ergebnis dieser Studie war, dass stabile räumliche Verhältnisse der Landmarken zu einer effektiveren Repräsentation der räumlichen Umgebung führen, während die schiefe Anzahl oder die Salienz der einzelnen Landmarken einen deutlich geringeren Effekt der Performance zur Konsequenz hatten. Demnach ließ die Performance einer Ratte nach, sobald die Landmarkenanordnung rearrangiert wurde. Die beste Performance der Ratten wurde durch die Kombination einer effektiven Richtungsinformation, gegeben durch einen auditiven Reiz aus derselben Richtung während des Experimentes, mit einer stabilen Landmarkenkonfiguration erzielt. Hinzukommend fand man heraus, dass distale Hinweise bei der Navigation stärker gewichtet wurden sobald die Stabilität der räumlichen Verhältnisse gering war und die Diskrepanz zwischen zwei Quellen der räumlichen Information groß war, sodass die Ratten sich verstärkt der Strategie der Wegintegration, der kontinuierlichen Ortsbestimmung, bedienten (Cheng, 1988). Die Bachelorarbeit von Marcel Dorer (2013) untersuchte das Verhalten von Versuchspersonen in einer virtuellen Umgebung, welche mit vier Landmarken versehen war. Sie navigierten zu einem inzidentell gelernten Ort in der Testphase anhand von den vier Landmarken. Dabei wurden die Größen der Landmarken in der Testphase manipuliert, sodass zwei der Landmarken vergrößert und die anderen zwei Landmarken verkleinert wurden. Feststellbar war, dass die Versuchspersonen näher an den kleineren Landmarken und weiter entfernt von den größeren Landmarken befanden. Vergleichbare Ergebnisse lieferte die Studie mit Bienen, in der eine Veränderung der Größe einer Landmarke, einen anderen Ort der Futtersuche zur Konsequenz hatte. Die Bienen suchten dann in dem Bereich, in welchem die Landmarke wieder die gleiche Größe hatte wie in der Trainingsphase (Cartwright & Collet, 1983). Wenn Versuchspersonen sich in einer virtuellen Umgebung befinden und ein bestimmtes Ziel anhand von Landmarken finden sollen, ist es scheinbar von größerer Wichtigkeit die Distanz zu den Landmarken richtig einzuordnen, als sich anhand der Winkel der Landmarken zu orientieren (Waller et al., 2002). Die Versuchspersonen in der Studie von Waller und Kollegen nutzten die Distanzen zu den Landmarken allerdings häufiger, wenn der

durch die Distanzen hergeleitete Zielpunkt sich innerhalb der Landmarkenkonfiguration befand. Es wurde vermutet, dass die Anordnung der Landmarken um das Ziel einen fundamentaleren Eindruck über den gesuchten Zielpunkt liefert, als die Distanzen zu den Landmarken, wenn die Orthogonalität hoch war und außerdem der per Distanz hergeleitete Zielort sich außerhalb der Landmarkenkonfiguration befand. Die geometrische Anordnung von Reizen zur räumlichen Orientierung spielt eine entscheidende Rolle bei der Findung einer Futterquelle bei Ratten. Zu dieser Erkenntnis kam man, nachdem Ratten in einer rechteckigen Umgebung mit unterschiedlich gemusterten Wänden freigesetzt wurden um eine vorher gelernte Futterquelle zu lokalisieren (Cheng, 1986). Hierbei suchten die Ratten nicht nur am Zielort, sondern suchten auch an der gegenüberliegenden Ecke des Zielortes (Rotationsfehler). Demnach wurden bei der Suche diejenigen Seiten miteinander verwechselt, die einen geometrischen Zusammenhang besaßen. Da bestimmte Features auf Teilen der Wände einen geringeren Einfluss auf die Ortserkennung ausübten, ging man davon aus, dass nicht-geometrische Informationen den geometrischen untergeordnet sind.

Aufgrund dieser experimentellen Grundlagen wurden verschiedene Modelle entwickelt, die ein System hinter dem Mechanismus der Ortserkennung aufdecken sollen. Ein solches Modell wurde bereits für Honigbienen konstruiert, welches das Vorhandensein einer räumlichen Karte mit Information zur Umgebung eines Futterareals vorsieht und den Honigbienen die Möglichkeit bietet, den direkten Weg von einem Startpunkt zu einer Futterquelle zu finden (Cartwright & Collet, 1987). Das Modell, bestehend aus zwei Teilen, geht davon aus, dass die Honigbienen zunächst ein bereits existierendes Bild, in Form eines sogenannten Schnappschusses der umgebenen Landschaft, in dem die lokalen Landmarken nahe dem Ziel herausgefiltert werden, beim Flug zum Ziel fortwährend mit dem derzeitigen retinalen Bild vergleichen und die Honigbienen sich derart bewegen, sodass die Diskrepanz beider Bilder auf ein Minimum reduziert wird und sie sich auf diese Weise dem Ziel annähern (Abb. 2). Hierbei besteht die Notwendigkeit eines Mindestmaßes an Übereinstimmung zwischen den Bildern, ohne welches die Honigbiene nicht in der Lage wäre das Ziel ausfindig zu machen. In dem zweiten Schritt des Modells wenn



sich die Honigbiene bereits an einem Ort nahe des Zieles befindet, dadurch gekennzeichnet, dass die Übereinstimmung des existierenden Bildes und des aktuellen retinalen Bildes hoch ist, werden nun dem existierenden Bild die lokalen Landmarken hinzugefügt, sodass der präzise Ort des Zieles lokalisiert werden kann.



**Abb. 2: Modell zum Snapshotverfahren bei Bienen**

Der Snapshot (innerer Kreis) wird mit dem retinalen Bild (äußerer Kreis) der Umgebung verglichen, sodass ein senkrechter Vektor und ein radialer Vektor entstehen. Die Summe beider Vektoren gibt die Flugrichtung der Biene an. Die schwarzen Balken symbolisieren die Landmarken nahe dem Ziel.

Ein vergleichbares Modell für die Ortserkennung beim Menschen wurde mithilfe eines HMD („Head Mounted Display“) in einem Raum, der ausschließlich mit einem an der umgebenen Wand befindlichem Farbgradienten versehen war, von Mallot und Kollegen (2008) durchgeführt. Die Versuchspersonen sollten den Ort wiederfinden, von dem aus sie zu einem anderen Punkt teleportiert wurden. Als Anhaltspunkt diente alleinig der gleichmäßige Farbgradient an der Wand. Die Genauigkeit mit der die gesuchte Position wiedergefunden wurde nahm ab, sobald der Kontrast des Farbgradienten niedriger oder der Raum vergrößert wurde. Auch in diesem Fall konnte gezeigt werden, dass Versuchspersonen einen visuellen Schnappschuss verwendeten, mithilfe dessen sie einen Ort lokalisieren konnten.

Ein weiterer Aspekt welcher das Morris Watermaze hervorbrachte war, dass Ratten die Position der Plattform nach Abschluss jedes weiteren Durchlaufes effizienter lokalisieren konnten (Morris, 1981). Diese über die Zeit verbesserte Performance der

Ratten ist durch einen Lernvorgang, dem *reinforcement learning*, während des Experimentes verursacht worden. Dass lokale Grenzen einer virtuellen Umgebung per inzidentellem Lernen gelernt werden und Landmarken durch *reinforcement learning* fanden Doeller & Burgess (2008) bei einer Studie zum räumlichen Lernen beim Menschen heraus. Das *reinforcement learning* von Landmarken ist durch Effekte wie Overshadowing, bei dem nach Aussetzung zweier Stimuli, ein Stimuli stärker wirkt als ein anderer, oder Blocking, das auftritt sobald eine Versuchsperson einem Paar aus konditioniertem und unkonditioniertem Reiz ausgesetzt ist und ein weiterer Reiz durch diese bereits existierend Paarung blockiert wird, gekennzeichnet. Inzidentelles Lernen beschreibt das beiläufige Lernen von Orten oder Landmarken während dem expliziten Lernen von bestimmten Zielpunkten. Zudem werden das Lernen von Landmarken und das Lernen von lokalen Grenzen durch unterschiedliche Areale im Gehirn beim Menschen gesteuert, dem Striatum und dem Hippocampus (Doeller et al., 2008).

In dieser Studie wurde ein experimentelles Design entworfen, bei dem zum Einen Informationen zur Salienz von Landmarken im Hinblick auf unterschiedliche Farben und zum Anderen unterschiedlichen Lernformen, dem inzidentellen Lernen und dem expliziten Lernen, untersucht werden sollten.

## 2. Material & Methoden

### 2.1. *Versuchspersonen*

An dieser Studie nahmen 36 Studenten (18 männliche und 18 weibliche) der Eberhard-Karls Universität Tübingen teil. Davon waren zu gleichen Teilen männliche und weibliche Teilnehmer vertreten. Die Studenten waren im Alter zwischen 21 und 40 Jahren. Zum Zeitpunkt des Experimentes bestand bei keinem der Versuchspersonen der Fall einer beeinträchtigenden neuronalen Erkrankung. Alle Versuchspersonen hatten ein gutes Sehvermögen oder sie trugen eine Sehhilfe. In der Versuchsgruppe inzidentelles Lernen waren 16 Versuchspersonen und in den anderen beiden Gruppen; Farbwechsel und explizites Lernen, befanden sich jeweils 10 Versuchspersonen.

Die Versuchspersonen mussten zunächst eine Einverständniserklärung zum Experiment unterschreiben, in der sie sich bereit erklärten an dem Experiment teilzunehmen und schriftlich darüber informiert wurden (siehe Anhang). Das Experiment dauerte je nach Versuchsperson 30 bis 60 min. Nach Abschluss des Experimentes erhielten die Versuchspersonen eine Entlohnung von 8 EUR pro Stunde.

### 2.2. *Material*

Für das Experiment wurde ein PC mit einem Intel® Core™ i3-210 CPU Prozessor und einer NVIDIA GeForce GTX560 Grafikkarte verwendet. Die virtuelle Umgebung wurde auf einem 30 Zoll Bildschirm dargestellt, der eine Auflösung von 2560x1600 Pixeln, eine Bildschirmfrequenz von 60Hz und ein Bildschirmverhältnis von 16:10 hatte. Die Versuchspersonen betrachteten den Bildschirm im Abstand von 60 cm. Der Computer stand in einem abgedunkelten Raum, sodass die Aufmerksamkeit auf den Bildschirm gerichtet war.

Die virtuelle Umgebung wurde mit OpenSceneGraph® erstellt, als Compiler diente VisualStudio®2008. Die virtuellen Objekte (Landmarken, Brücke etc.) wurden mit der MultiGenCreator Software (MultiGenParadigm®) entworfen. In dem Experiment

konnten sich die Versuchspersonen mit den funktionellen Analogon zu den Pfeiltasten, den W-A-S-D Tasten fortbewegen. Hierbei bewirkte das Drücken der W-Taste eine Bewegung nach vorne, der A-Taste nach links, der S-Taste zurück und der D-Taste nach rechts. Die Blickrichtung des virtuellen Auges konnte mithilfe der Maus horizontal nach links oder rechts geschwenkt werden.



**Abb. 3 Virtuelle Umgebung aus der Vogelperspektive**

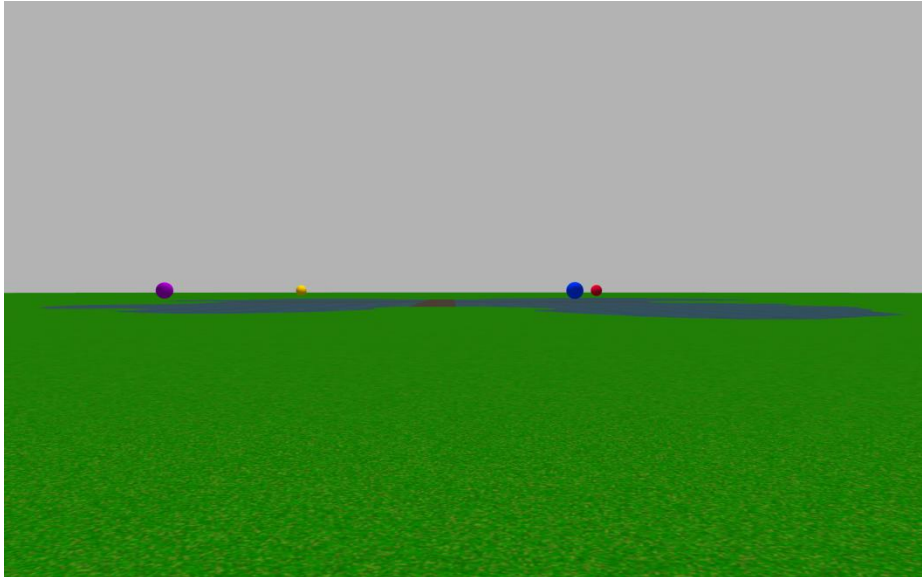
Die Versuchspersonen starteten in der Trainingsphase von einem Startpunkt aus und mussten in der Brückenmitte entweder links oder rechts abbiegen, um zum gesuchten Ziel zu gelangen. Dabei passierten sie bei jedem Durchlauf die Brückenmitte (hier mit einem Stern markiert), welche in der Experimentalphase das zu findende Ziel war. Hierbei dienten die vier auf dem See befindlichen Landmarken (Blau, Magenta, Gelb und Rot) als Orientierungspunkte.

### 2.3. Stimuli

Die virtuelle Umgebung bestand aus einem zentral gelegenen See mit einer unregelmäßigen Form, über den eine plusförmige Brücke verlief. Der See war umgeben von einer weitläufigen Grünfläche dessen Textur keine für die Ortserkennung verwendbaren Orientierungspunkte aufwies. Innerhalb des Sees befanden sich vier schwebende Landmarken in Form von 4 verschiedenfarbigen (Blau, Rot, Gelb und Magenta) Kugeln (Abb. 3). Der Horizont war strukturfrei in einem hellen Grau gefärbt (Abb. 4).

Im Folgenden wird eine Einheit in der virtuellen Umgebung als ein Meter bezeichnet. Die Länge der plusförmigen Brücke in einer Richtung betrug 65 m. Die beiden Brückenteile kreuzten sich in der Mitte, in dem Punkt (0|0) des gedachten Koordinatensystems. Jede Landmarke hatte einen Radius von 1 m und eine zusätzliche sogenannte Fangzone von 10 m Radius die nicht sichtbar war, eine Versuchsperson aber beim Betreten dieser Zone an die vorherige Startposition zurücksetzte. Die Landmarken befanden sich auf folgenden Positionen: Blau (24,5|16,5|1,8), Rot (-20|28|1,8), Gelb (-31|-27|1,8) und Magenta (20|-33|1,8). Das Trainingsziel hatte die Form einer blauen Plattform, welche sich 0,3 m vom Boden erhob und einen Radius von 3 m besaß. Es war 60 m von dem Brückenkreuzungspunkt entfernt. Das Ziel erschien ab einer Entfernung von 50 m. Sobald eine Versuchsperson einen Radius von 5 m um das Ziel herum, betrat, wurde das Ziel als erkannt gezählt. Die randomisierten Startpositionen hatten einen Abstand von 90 bis 110,5 m zum Brückenkreuzungspunkt und variierten zufällig in Längsrichtung in fünf Stufen (5 m Schritte), sowie in Querrichtung in vier Stufen entweder nach links oder rechts (5 m Schritte).

Das virtuelle Auge befand sich in einer Höhe von 1,80 m ( $\text{fovy} = 43.8^\circ / z_{\text{Near}} = 0,8$  m). Die Fortbewegungsgeschwindigkeit nach vorne betrug 15 m/s und seitlich 6 m/s. Das virtuelle Auge bewegte sich um  $0.1^\circ$ , wenn der Mauszeiger um 1 Pixel bewegt wurde.



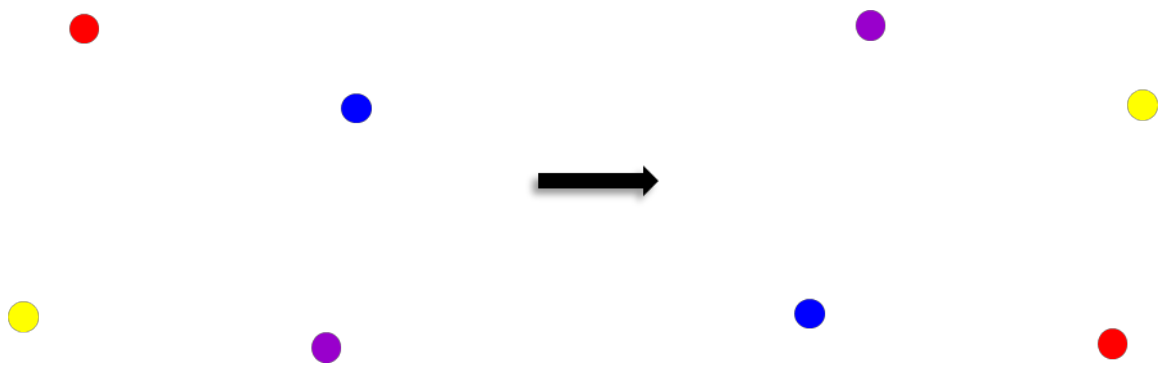
**Abb. 4 Virtuelle Umgebung aus der Egoperspektive während der Trainingsphase**  
In der Trainingsphase konnten die Versuchspersonen den graugefärbten Horizont erkennen, sowie den See mit der plusförmigen Brücke und den vier Landmarken.

#### 2.4. *Prozedur*

Bei dem Versuch gab es drei Gruppen, die jeweils unter verschiedenen Versuchsbedingungen getestet wurden. Gruppe *inzidentelles Lernen* erhielt die Versuchsanweisung in der Trainingsphase ein Ziel zu suchen ohne zu wissen welches Ziel in der Experimentalphase gesucht werden sollte. Die Gruppe *explizites Lernen* war bereits vor der Trainingsphase darüber informiert, welches Ziel in der Experimentalphase gesucht werden sollte, die letzte Gruppe *Farbwechsel* erhielt dieselben Anweisungen wie die Gruppe *inzidentelles Lernen* außer, dass hierbei die Farben der Landmarken um 180° gegen den Uhrzeigersinn gedreht wurden, die Landmarkenkonfiguration blieb identisch (Abb. 5).

Zu Beginn gab es vom Versuchsleiter je nach Gruppe eine kurze Einführung in das Experiment und die bevorstehende Aufgabe. Alle Gruppen wurden über den groben räumlichen Aufbau der virtuellen Umgebung unterrichtet, sodass sie von dem Vorhandensein des Sees, sowie von der über dem See verlaufenden Brücke wussten, nicht aber die genauen Positionen der Landmarken kannten. Es wurde lediglich die Anweisung gegeben, sich anhand der auf dem See befindlichen vier verschiedenfarbigen Kugeln zu orientieren. Außerdem wurden die Versuchspersonen darauf hingewiesen, dass sie sich in der Experimentalphase ausschließlich anhand der

Landmarken orientieren konnten, da die restliche virtuelle Umgebung durch einen undurchsichtigen Bodennebel verdeckt wurde. Die Versuchspersonen sollten sich vor jedem Durchlauf die Anweisungen auf dem Bildschirm genau durchlesen, um diese danach auszuführen. Allein die Gruppe *explizites Lernen* erfuhr schon vor Beginn des Experimentes, welches Ziel in der Experimentalphase gesucht werden sollte. Sie waren schon während der Trainingsphase darauf vorbereitet später den Brückenkreuzungspunkt zu finden. Während des gesamten Experimentes war der Versuchsleiter im Hintergrund anwesend. Nach Abschluss des Experimentes wurde von den Versuchspersonen ein Fragebogen ausgefüllt, welcher Fragen zur räumlichen Orientierung enthielt und nach dem Muster von S. Münzer und C. Hölscher (2011) entworfen wurde (siehe Anhang).



**Abb. 5 Änderung der Landmarkenfarben in der Gruppe *Farbwechsel***

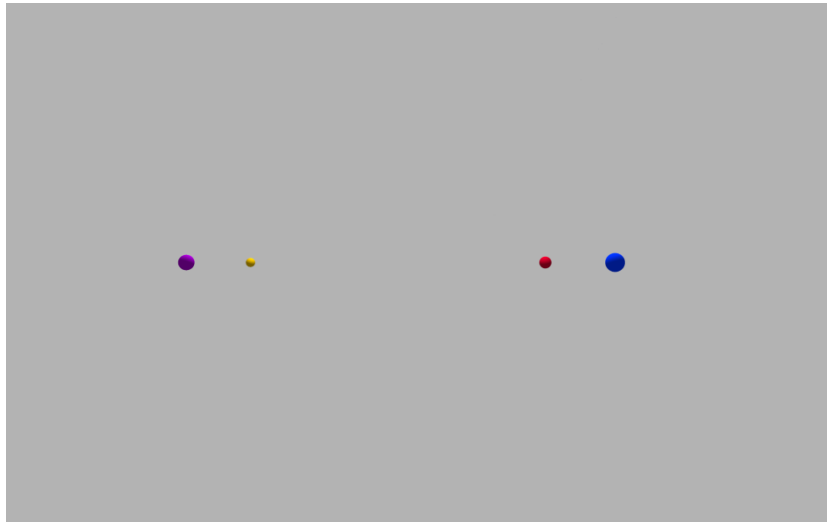
Die Gruppe *Farbwechsel* hat das Experiment mit einer um 180° gedrehten Landmarkenfarbenanordnung durchgeführt, um den Einfluss der Farben auf die Performance zu testen. Links ist die Farbenanordnung der Landmarken der Gruppen *explizites* und *inzidentelles Lernen* zu sehen, rechts die der Gruppe *Farbwechsel*.

**Trainingsphase:** Die Trainingsphase bestand aus 12 Durchläufen, bei denen die Versuchspersonen dreimal aus jeder der vier Richtungen (Nord, Ost, Süd, West) starteten. Die Versuchspersonen starteten immer mit dem Rücken zum See. Die Aufgabe bestand darin, auf den See zuzulaufen und bei dem Brückenkreuzungspunkt, der jeweiligen Versuchsanweisung entsprechend, entweder nach links oder rechts abzubiegen, um dann das erscheinende Ziel anzulaufen (Abb. 3). Nach jedem erfolgreich abgeschlossenen Durchlauf wurden die Versuchspersonen an die nächste

Startposition teleportiert und begannen erneut das Ziel zu finden. Vier von den zwölf Trainingsdurchläufen wurden unter Bedingungen der Experimentalphase durchgeführt; hierbei war der Boden der virtuellen Umgebung vernebelt, sodass lediglich die Landmarken zu sehen waren und als einzige Quelle zur Ortsfindung dienten. Währenddessen sollte weiterhin das Ziel links oder rechts vom See gefunden werden.

**Experimentalphase:** Unmittelbar nach Abschluss der Trainingsphase führten die Versuchspersonen die Experimentalphase durch. Hierbei galt es 48 Durchläufe zu bewältigen, bei denen stets Bodennebel vorhanden war, sodass sich nur anhand der Landmarken orientiert werden konnte. Die Horizontkante war nicht sichtbar, da der Bodennebel dieselbe Graustufe wie der Horizont hatte (Abb. 6). In der Experimentalphase sollte nicht mehr das Ziel aus der Trainingsphase gesucht werden, sondern der Brückenkreuzungspunkt, an dem die Versuchspersonen zuvor immer abgebogen sind. Sobald die Probanden den Eindruck hatten diesen Punkt erreicht zu haben, wurde per Klick der linken Maustaste der Entscheidungspunkt gesetzt und der Durchlauf beendet. Im Gegensatz zur Trainingsphase war das gesuchte Ziel zu keinem Zeitpunkt der Experimentalphase sichtbar. Es wurde wie gehabt weggedreht vom See gestartet. Die Versuchspersonen starteten in der Experimentalphase zwölfmal aus jeder Richtung. Es gab kein Feedback nach dem Klick, sodass die Versuchspersonen keine Rückschlüsse auf ihre erbrachte Performance ziehen konnten.





**Abb. 6 Virtuelle Umgebung aus der Egoperspektive während der Experimentalphase**

In der Experimentalphase verdeckte Bodennebel die Brücke und den See vollständig, sodass die Versuchspersonen ausschließlich die vier schwebenden Landmarken sehen konnten und sich anhand dieser orientieren konnten. Der Horizont war während dieser Phase nicht sichtbar.

## 2.5. *Datenerhebung*

Während des Experimentes wurde die genaue Position der Versuchsperson anhand von Daten der x- und y-Achse des Koordinatensystems in der virtuellen Umgebung aufgezeichnet und somit auch die entsprechenden Entscheidungspunkte, die in jedem Durchlauf gesetzt wurden. Da einige Versuchspersonen ihre Entscheidungspunkte versehentlich zu frühzeitig setzten, sie drückten die linke Maustaste unmittelbar zu Beginn eines neuen Durchlaufes, konnten nicht alle Entscheidungspunkte einer jeden Versuchsperson zur Auswertung herangezogen werden. Aus diesem Grund entschieden wir uns dazu, alle Entscheidungspunkte aus dem Datensatz zu eliminieren, welche sich außerhalb des durch die vier Landmarken gebildeten Vierecks befanden. Darüber hinaus ermittelten wir die Zeit, sodass Rückschlüsse auf Dauer der einzelnen Phasen des Experimentes und jeden Durchlauf gezogen werden konnten. Pro Frame wurde ein Zeitwert in Millisekunden in die Textdatei geschrieben. Außerdem wurde in einem weiteren Eintrag der ausgegebenen Textdatei die Blickausrichtung des virtuellen Auges in Grad

angegeben, wodurch die Blickausrichtungen auf die vier Landmarken gemessen werden konnten (Abb. 11 und 12). Bei der Auswertung der Blickrichtungen sind diejenigen Versuchspersonen ausgeschlossen worden, welche die Landmarken pro Durchlauf weniger als 1 s ansahen. Es soll in diesem Experiment die Fähigkeit getestet werden, sich in einer virtuellen Umgebung anhand von wenigen Cues, den vier Landmarken, zu orientieren. Die ausgeschlossenen Versuchspersonen können somit nicht in die Auswertung mit einbezogen werden, da ihre Ergebnisse keinen Aufschluss über das Orientieren in virtueller Umgebung anhand von Landmarken liefern. Die Auswertung und Statistik wurden mithilfe von Matlab2012® und IBM SPSS Statistics 20® durchgeführt.

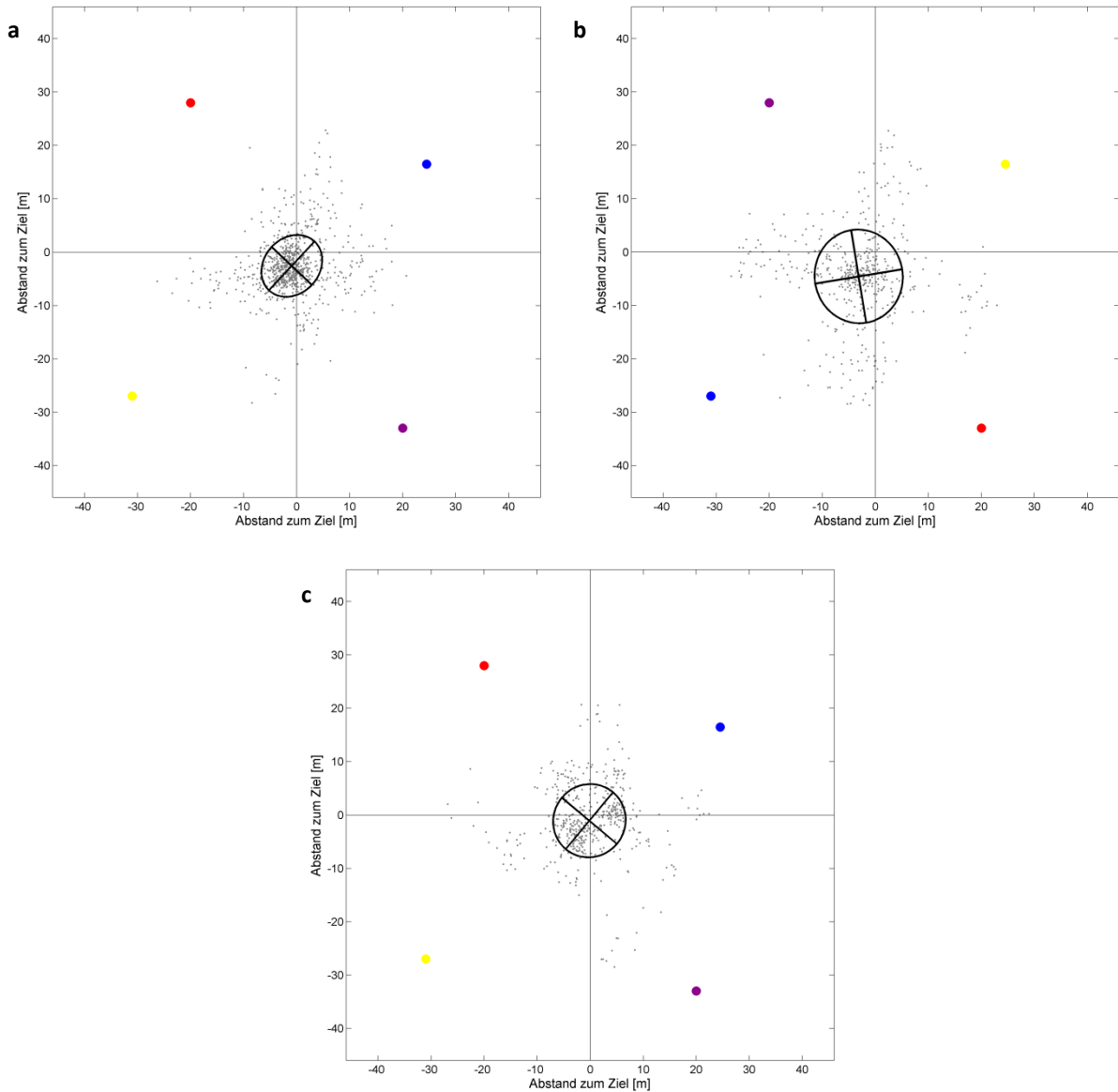
### 3. Ergebnisse

#### 3.1. *Entscheidungspunkte*

Während der Experimentalphase galt es, den Punkt zu finden, an dem die Versuchspersonen in der Trainingsphase stets abgebogen sind, den Brückenkreuzungspunkt, der hier als Entscheidungspunkt bezeichnet wird (Abb. 3). Die Ortserkennung der Versuchspersonen in der virtuellen Umgebung wurde anhand dieser Entscheidungspunkte gemessen.

Um alle Entscheidungspunkte aus der Experimentalphase aller Versuchspersonen zu analysieren, wurde jeweils eine Fehlerellipse erstellt, deren erste und zweite Hauptachsen die Fehlersituation illustrieren. Man kann erkennen, dass die Streuung der Entscheidungspunkte der Gruppe inzidentelles Lernen etwas kleiner ist, als die der Gruppe Farbwechsel, demzufolge die Versuchspersonen der Gruppe inzidentelles Lernen besser abschnitten. Die Streuung der Entscheidungspunkte der einzelnen Versuchspersonen in Gruppe Farbwechsel ist hingegen am größten. Die Gruppe explizites Lernen zeigt ebenfalls eine größere Fehlerellipse als Gruppe inzidentelles Lernen, die Streuung ist jedoch nicht so groß wie die der Gruppe Farbwechsel (Abb. 7). Die Auftragung der Mittelwerte der Entscheidungspunkte jeder Versuchsperson pro Gruppe zeigt allerdings, dass die Mittelwerte der Gruppe inzidentelles Lernen weiter voneinander entfernt liegen, als die der Gruppe Farbwechsel. In der Gruppe explizites Lernen liegen die Mittelwerte am weitesten voneinander entfernt. Dementsprechend war die Standardabweichung der Mittelwerte in x- und y-Richtung der Gruppe inzidentelles Lernen (Standardabweichung (S) = (1,66|3,10)) größer als in der Gruppe Farbwechsel (S = (1,25|1,78)) und in der Gruppe explizites Lernen am kleinsten (S = (3,40|3,45)) (Abb. 8). Auffallend sind die Verteilungen der Entscheidungspunkte, sowie dessen Mittelwerte, in jeder Gruppe. Im Gegensatz zum inzidentellen Lernen und Farbwechsel, entstand bei der Gruppe explizites Lernen ein Cluster der Entscheidungspunkte, dergestalt, dass sich die Entscheidungspunkte nicht nur um

den dritten Quadranten häuften, sondern auch in den anderen Quadranten vermehrt verteilt waren (Abb. 7).



**Abb. 7: Entscheidungspunkte der einzelnen Gruppen**

Die hellgrauen Datenpunkte stellen die Entscheidungspunkte aller Versuchspersonen der Gruppen dar. Die Fehlerellipsen sind schwarz eingezeichnet. Die Landmarken sind dem Experiment getreu angeordnet und gefärbt (Blau, Rot, Gelb, Magenta).

**a** Gruppe inzidentelles Lernen zeigte eine vergleichsweise kleine Fehlerellipse. Die beiden Hauptachsen kreuzten sich im dritten Quadranten des Koordinatensystems (n=16, Entscheidungspunkte (EP)=753).

**b** Gruppe Farbwechsel zeigt die größte Streuung der Entscheidungspunkte. Der Versatz von der Mitte in den dritten Quadranten des Koordinatensystems ist stärker als bei a (n=10, EP=462).

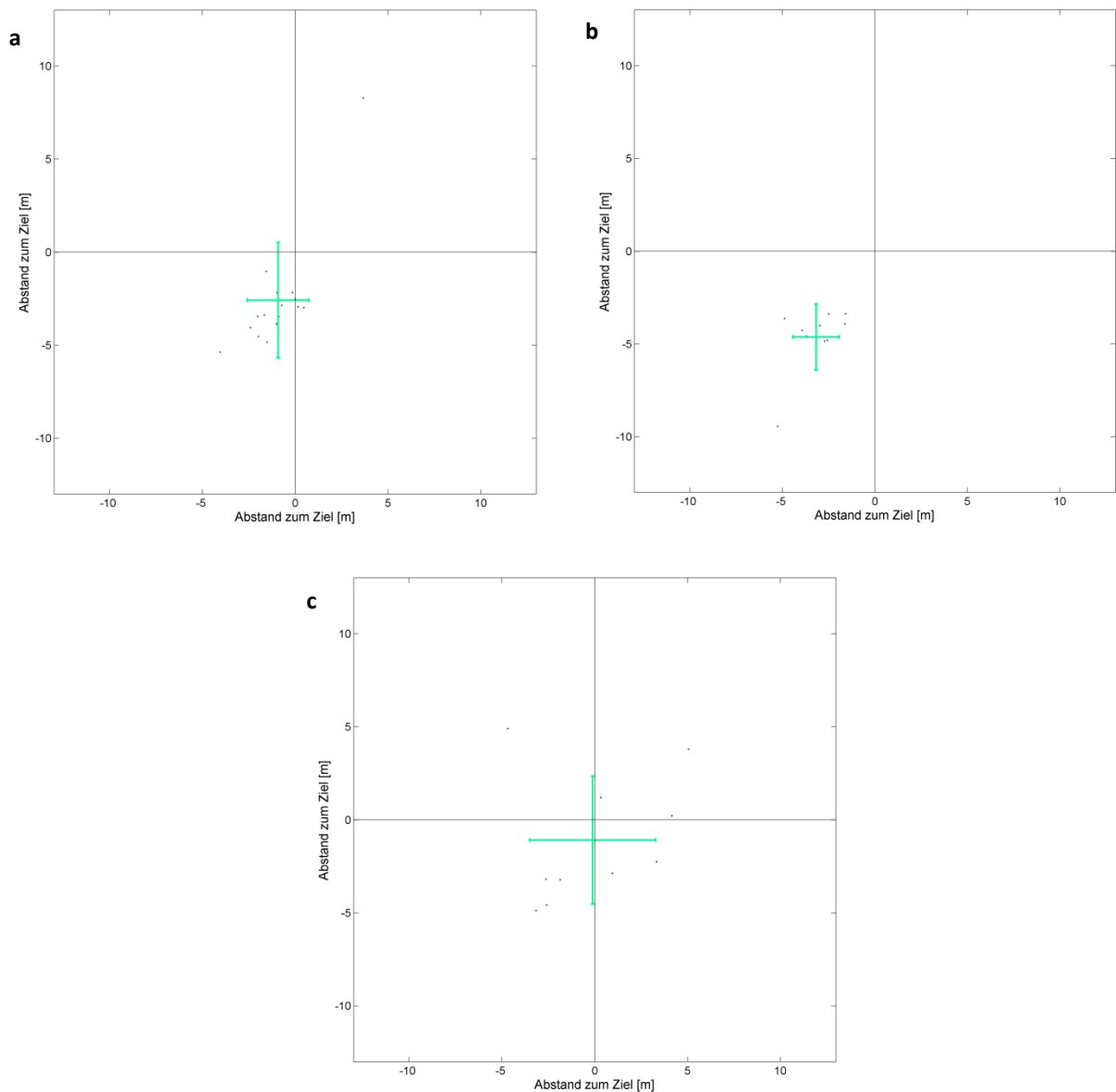
**c** Gruppe explizites Lernen weist eine Verteilung der Datenpunkte mit mehreren Clustern im Koordinatensystem auf. Daher ist die Fehlerellipse auch etwas größer als in a. Die Fehlerellipse liegt näher am Brückenkreuzungspunkt als beiden anderen Gruppen und ist zudem leicht nach Süden versetzt (n=10, EP=473).

Dieses Cluster ist auch anhand der Mittelwerte der Versuchspersonen zu erkennen, welche in dem Fall von Gruppe inzidentelles Lernen und Farbwechsel ein Cluster aufweisen, in der Gruppe explizites Lernen jedoch in mehreren Clustern vorzufinden sind (Abb. 8). Mittels eines Chi-Quadrat Tests wurden die Verteilungen gegeneinander getestet, um herauszufinden ob es sich um unterschiedliche Verteilungen handelt. Es dienten jeweils die vier Quadranten des Koordinatensystems als vier mögliche Felder, in welche die Mittelwerte der Entscheidungspunkte jeder Versuchsperson eingesetzt wurden. Dieser Test ergab einen signifikanten Unterschied zwischen der Gruppe Farbwechsel und der Gruppe explizites Lernen ( $\chi^2(3)=8,571$ ,  $p=0,011$ ). Der Test konnte aufgrund der unterschiedlichen Anzahl an Versuchspersonen nicht mit der Gruppe inzidentelles Lernen durchgeführt werden, sondern ausschließlich zwischen den beiden anderen Gruppen, welche beide zehn Versuchspersonen umfassen.

Die Fehlerellipse liegt in den beiden Gruppen, inzidentelles Lernen und Farbwechsel, in dieselbe Richtung von der Mitte verschoben. In beiden Fällen liegt die Fehlerellipse in Richtung des dritten Quadranten des Koordinatensystems verschoben (Abb. 7). Die Mittelwerte der Versuchspersonen der Gruppe inzidentelles Lernen (Mittelwert = MW, MW = (-0,92|-2,58) zeigen denselben Effekt, außer, dass ein Ausreißer Datenpunkt den Gesamtmittelwert etwas in Richtung Ursprung des Koordinatensystems verschiebt. Noch etwas stärker ist die Verschiebung von der Mitte in der Gruppe Farbwechsel (MW = (-3,18|-4,62)). Die Gruppen inzidentelles Lernen und Farbwechsel haben nahezu denselben Versatz von dem Brückenkreuzungspunkt aus. Dieser Versatz ist ein systematischer Fehler der von fast jeder Versuchsperson dieser beiden Gruppen gemacht wird. Die Gruppe explizites Lernen weist diesen systematischen Fehler nicht auf und zeigt eine andere Position der Fehlerellipse. Die Fehlerellipse liegt nun näher an der Mitte des Koordinatensystems. Die Mittelwerte der Versuchspersonen der Gruppe explizites Lernen (MW = (-0,11|-1,09)) waren in verschiedene Richtungen von der Mitte aus versetzt, sodass es insgesamt zu einem mittleren Fehler der Gruppe nahe dem Brückenkreuzungspunkt führte (Abb. 8). Ein signifikanter Versatz von der Mitte des Koordinatensystems aus wurde in dem Fall der Gruppe inzidentelles Lernen ( $T^2(14)=5,647$ ,  $p\text{-Wert}=0,016$ ) und der Gruppe Farbwechsel ( $T^2(8)=82,807$ ,  $p\text{-Wert}=0,001$ ) mit Hilfe eines Hotelling-Tests konstatiert. Der Versatz von der Mitte der Gruppe explizites Lernen war nicht signifikant ( $T^2(8)=1,020$ ,  $p\text{-Wert}=0,651$ ). Jedoch existierte in

der Gruppe explizites Lernen in acht von zehn Fällen der Entscheidungspunkte der einzelnen Versuchspersonen ein signifikanter Unterschied zu dem Mittelpunkt des Koordinatensystem (Versuchsperson (VP), VP1:  $T^2(46)=58,616$ , p-Wert<0,001, VP2:  $T^2(46)=139,163$ , p-Wert<0,001, VP3:  $T^2(46)=480,637$ , p-Wert<0,001, VP4:  $T^2(46)=14,173$ , p-Wert<0,001, VP5:  $T^2(46)=174,6606$ , p-Wert<0,001, VP6:  $T^2(40)=1,516$ , p-Wert=0,232, VP7:  $T^2(46)=1,441$ , p-Wert=0,247, VP8:  $T^2(45)=39,552$ , p-Wert<0,001, VP9:  $T^2(46)=12,295$ , p-Wert<0,001, VP10:  $T^2(46)=116,430$ , p-Wert<0,001).

Um die Gruppen gegeneinander zu testen wurde ein unabhängiger Hotelling Test angewandt, der einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen inzidentelles Lernen und Farbwechsel ergab ( $T^2(23)=16,085$ , p-Wert=0,003), sowie zwischen den Gruppen explizites Lernen und Farbwechsel ( $T^2(17)=11,787$ , p-Wert=0,014), aber keinen zwischen den Gruppen inzidentelles Lernen und explizites Lernen ( $T^2(23)=1,403$ , p-Wert=0,520).



**Abb. 8: Mittelwerte der Entscheidungspunkte der Gruppen**

Die grauen Datenpunkte stellen die Mittelwerte der Entscheidungspunkte pro Versuchsperson dar. Das hellgrüne Kreuz zeigt die Standardabweichung der Mittelwerte in x- und in y-Richtung an.

**a** Gruppe inzidentelles Lernen weist einen signifikanten Versatz von dem Brückenkreuzungspunkt (0|0) auf ( $T^2(14)=5,647$ , p-Wert=0,016). Es besteht kein signifikanter Unterschied zur Gruppe explizites Lernen ( $T^2(23)=1,403$ , p-Wert=0,520), aber ein signifikanter Unterschied zur Gruppe Farbwechsel ( $T^2(23)=16,085$ , p-Wert=0,003).

**b** Gruppe Farbwechsel weist ebenfalls einen signifikanten Versatz von dem Brückenkreuzungspunkt auf ( $T^2(8)=82,807$ , p-Wert=0,001). Die Ergebnisse dieser Gruppe unterscheiden sich signifikant von denen der Gruppe explizites Lernen ( $T^2(17)=11,787$ , p-Wert=0,014).

**c** Gruppe explizites Lernen hat keinen signifikanten Versatz von dem Brückenkreuzungspunkt ( $T^2(8)=1,020$ , p-Wert=0,651). Die Mittelwerte der Versuchspersonen beim expliziten Lernen sind im Vergleich zur Gruppe Farbwechsel signifikant verschieden auf die vier Quadranten verteilt ( $\chi^2(3)=8,571$ , p=,011).

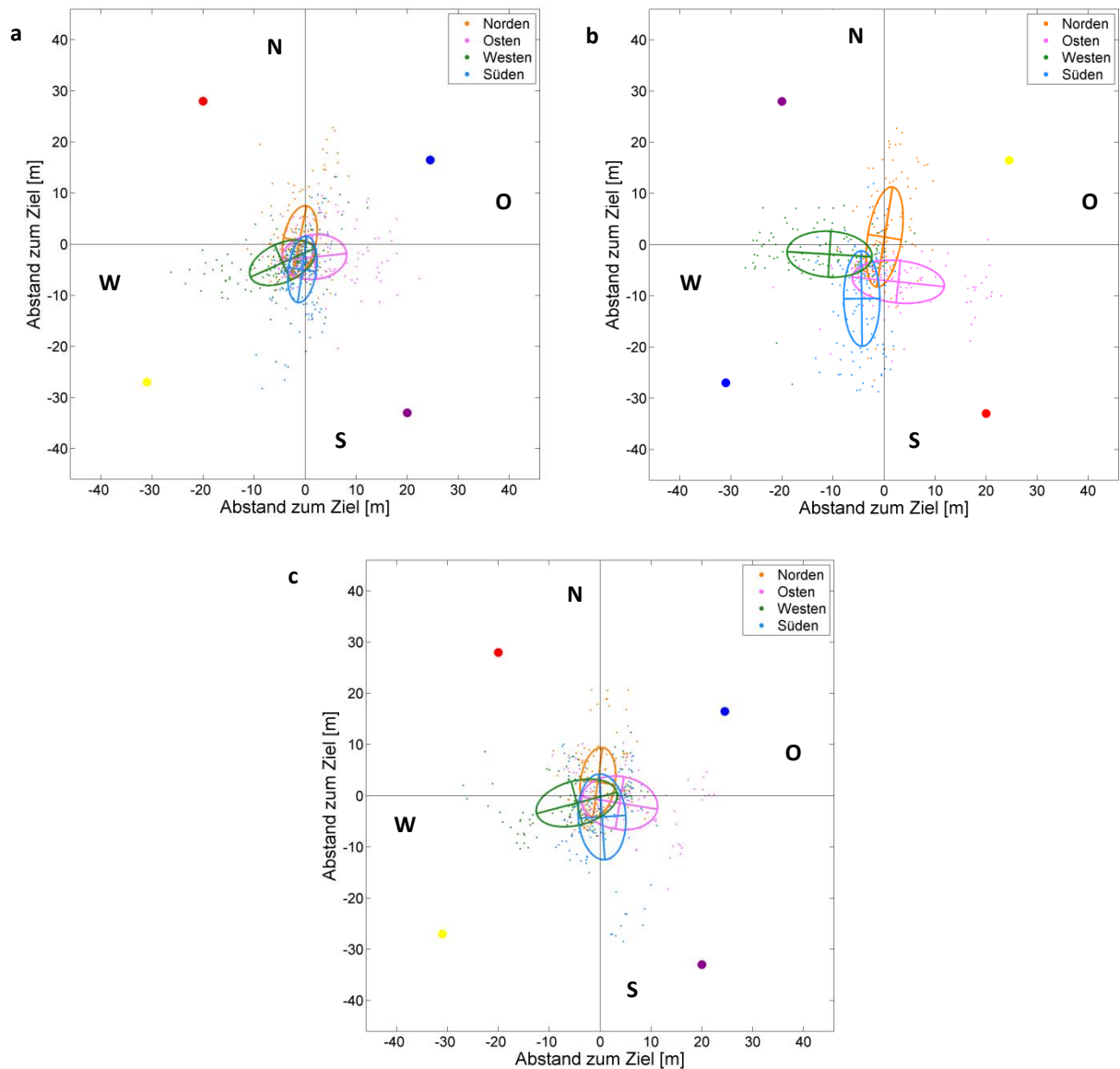
### 3.2. Startpositionen

Des Weiteren wurde untersucht, ob es eine Abhängigkeit der Setzung der Entscheidungspunkte von den Startpositionen aus den vier Himmelsrichtungen gab. Die Gruppe Farbwechsel zeigt eine größere Streuung der Daten und eine größere Diskrepanz zwischen den vier Fehlerellipsen der jeweiligen Startrichtung als die beiden anderen Gruppen. Diese Fehlerellipsen liegen auffällig weit auseinander und sind in Richtung Startposition länglich gestreckt (Abb. 9b). Am Beispiel zweier Versuchspersonen dieser Gruppe wird deutlich, dass einige Versuchspersonen keine Diskrepanz zwischen den vier Fehlerellipsen vorweisen und andere eine große Diskrepanz (Abb. 10). Die Gruppen inzidentelles Lernen und explizites Lernen weisen eine gebündeltere Anordnung der Fehlerellipsen auf. Die Startposition übt demzufolge in diesen beiden Gruppen weniger Einfluss auf die anschließende Setzung des Entscheidungspunktes aus. Die Fehlerellipsen der Gruppe explizites Lernen überschneiden sich hingegen am stärksten.

Bei der Untersuchung der Mittelwerte der Versuchspersonen verdeutlicht sich das aus Abbildung 9 gewonnene Ergebnis, dass die Mittelwerte der Gruppe explizites Lernen (MW Norden = (-0,42|2,78), MW Osten = (3,82|-1,41), MW Süden = (0,38|-4,12), MW Westen (-5,29|-1,28)) aus der unterschiedlichen Startrichtungen näher beieinander liegen und Selbiges gilt auch für die Gruppe inzidentelles Lernen (MW Norden = (-1,25|0,91), MW Osten = (2,85|-2,56), MW = (-0,19|-4,96), MW Westen (-5,07|-3,72)). Im Fall der Gruppe Farbwechsel allerdings sind die Mittelwerte in die jeweilige Startrichtung verschoben (MW Norden = (0,17|1,71), MW Osten = (3,41|-7,44), MW Süden = (-4,37|-10,60), MW Westen (-10,93|-1,86)). Die Standardabweichungen der Gruppe Farbwechsel entlang der Achsen des Koordinatensystems sind ebenfalls in die jeweiligen Startrichtungen gestreckt (S Norden = (2,17|7,92), S Osten = (7,41|2,36), S Süden (1,90|8,55), S Westen (7,39|2,33)). Die Streckung in Richtung der jeweiligen Startpositionen der anderen beiden Gruppen ist schwächer ausgeprägt (Inzidentelles Lernen: S Norden = (2,33|5,49), S Osten = (5,13|2,51), S Süden (2,14|4,95), S Westen (5,31|3,43), Explizites Lernen: S Norden = (2,81|6,48), S Osten = (6,63|4,20), S Süden (4,26|7,88), S Westen (7,93|3,82)). Auffällig ist, dass die Mittelwerte der Gruppe explizites Lernen



auf dem Brückenverlauf liegen und sich die Standardabweichungen entlang des Brückenverlaufes der jeweiligen Startrichtung erstrecken (Abb. 11).



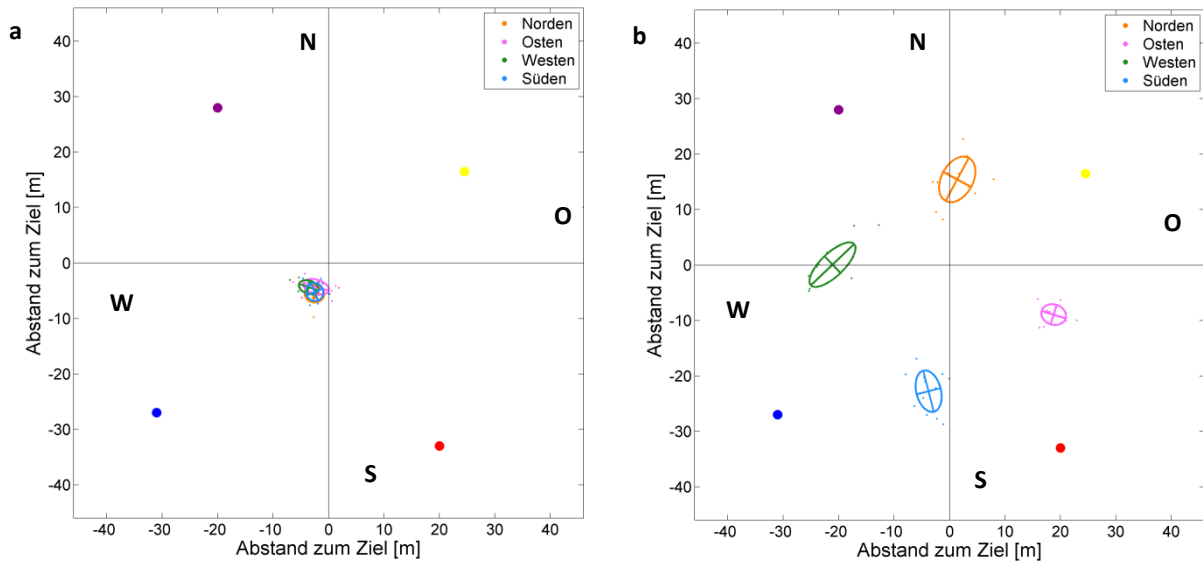
**Abb. 9: Abhängigkeit der Entscheidungspunkte von den Startpositionen**

Jede der vier Fehlerellipsen gibt die Streuung der Entscheidungspunkte aus der jeweiligen Startrichtung an, Norden (orange), Süden (blau), Osten (pink) und Westen (grün).

**a** Gruppe inzidentelles Lernen zeigt eine Überschneidung der vier Fehlerellipsen im dritten Quadranten des Koordinatensystems und eine leichte Streckung der ersten Hauptachsen in Richtung der Startposition.

**b** Die Fehlerellipsen der Gruppe Farbwechsel sind größer als in a und liegen weiter voneinander entfernt. Sie sind stärker in Richtung der Startpositionen gestreckt als bei den beiden anderen Gruppen.

**c** Die Gruppe explizites Lernen hat kleinere Fehlerellipsen, welche übereinander liegen und sich näher am Brückenkreuzungspunkt befinden.



**Abb. 10: Beispiele der Gruppe Farbwechsel zur Startpositionsabhängigkeit**

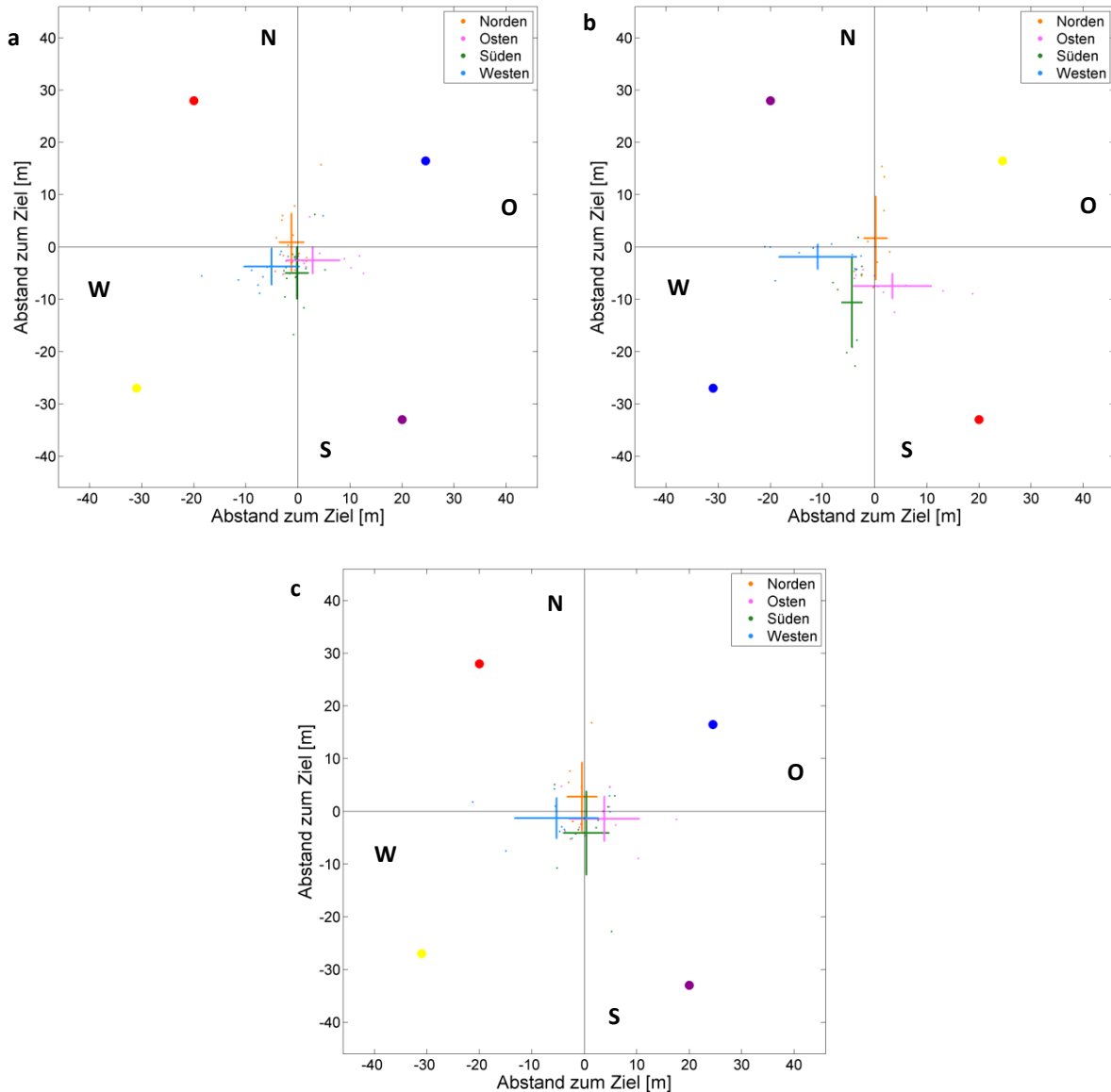
In der Gruppe Farbwechsel gibt es große Unterschiede zwischen den Ergebnissen der einzelnen Versuchspersonen.

**a** Die vier Fehlerellipsen von Versuchsperson 4 dieser Gruppe liegen alle übereinander mit geringer Streuung. Diese Versuchsperson setzt relativ unabhängig von der Startposition ihren Entscheidungspunkt in den gleichen Bereich.

**b** Versuchsperson 6 dagegen zeigt eine ganz andere Verteilung der vier Fehlerellipsen. Sie liegen weit voneinander entfernt, sind größer und zeigen eine relative Abhängigkeit der Entscheidungspunktsetzung von den Startpositionen.

Unterschiede zwischen den Entscheidungspunkten abhängig von den Startpositionen wurden anhand eines abhängigen Hotelling-Tests geprüft. Bei der Gruppe inzidentelles Lernen konnten signifikante Unterschiede zwischen den Entscheidungspunkten mit Startposition aus Norden gegen die Entscheidungspunkte mit Startposition aus Süden festgestellt werden ( $T^2(14)=11,732$ ,  $p= 0.018$ ). Zudem gab es auch zwischen den Entscheidungspunkten mit Startpositionen aus Osten gegen Westen einen signifikanten Effekt ( $T^2(14)=11,732$ ,  $p= 0,018$ ). In der Gruppe Farbwechsel waren ebenfalls beide Paare, Norden gegen Süden ( $T^2(8)=19,778$ ,  $p=0,010$ ) und Ost gegen West ( $T^2(8)=33,523$ ,  $p=0,002$ ) signifikant unterschiedlich. In beiden Gruppen unterscheiden sich demnach die Verteilungen der Entscheidungspunkte abhängig von den zugehörigen Startpositionen. In der Gruppe explizites Lernen gab es lediglich eine Signifikanz zwischen Osten und Westen ( $T^2(8)=12,459$ ,  $p=0,031$ ), nicht jedoch zwischen Norden und Süden ( $T^2(8)=3,374$ ,  $p= 0,280$ ). Die Standardabweichungen dieser Gruppe sind aufgrund der Konzentrierungen der Entscheidungspunkte in verschiedenen Quadranten größer

(Abb. 7c), als bei Gruppe inzidentelles Lernen, obwohl Versuchspersonen der Gruppe explizites Lernen insgesamt eine geringere Streuung der Entscheidungspunkte haben (Abb. 16a).



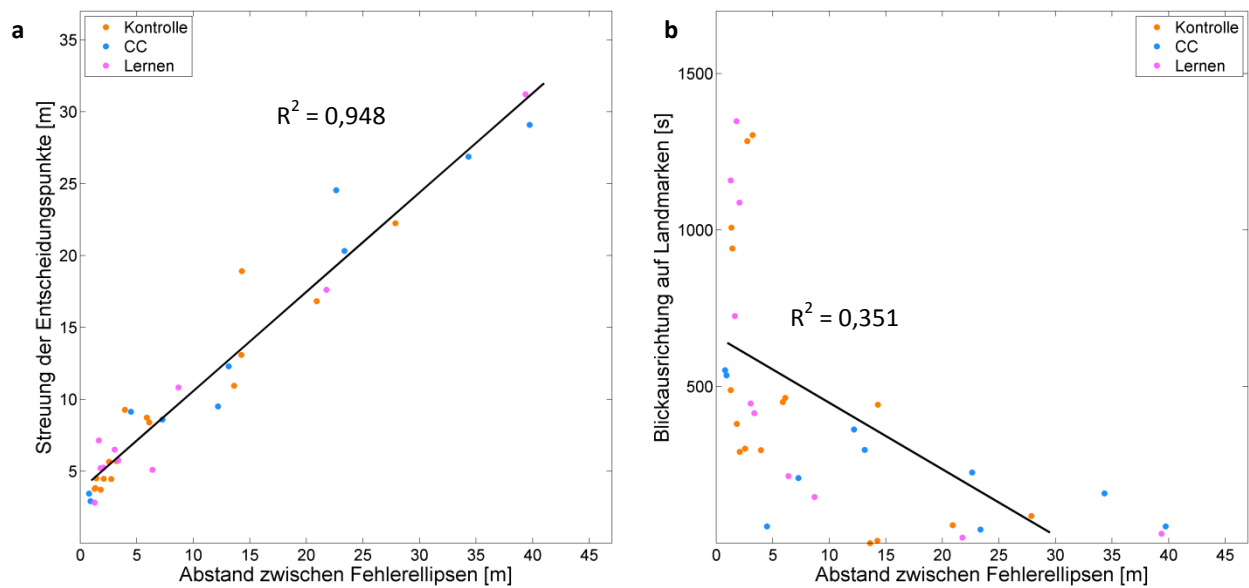
**Abb. 11: Mittelwerte der Entscheidungspunkte der Gruppen abhängig von den Startpositionen**

Aufgetragen sind die Mittelwerte der Entscheidungspunkte aller Versuchspersonen pro Gruppe. Die verschiedenfarbigen Kreuze geben die Standardabweichung in x- und y-Richtung, abhängig von den vier Startpositionen, an ausgehend vom Mittelwerte über die Versuchspersonen.

**a** In der Gruppe inzidentelles Lernen existierte ein signifikanten Unterschied zwischen den Entscheidungspunkten mit Start aus Norden zu denen mit Start aus Süden ( $T^2(14)=11,732$ ,  $p= 0,018$ ), sowie einen zwischen Ost und West ( $T^2(14)=11,732$ ,  $p= 0,018$ ).

**b** Gruppe Farbwechsel zeigt weiter auseinander liegende Kreuze und stärker gestreckte Standardabweichungen in Richtung der Startpositionen. Auch hier konnte zwischen Nord und Süd ( $T^2(8)=19,778$ ,  $p=0,010$ ), sowie zwischen Ost und West ( $T^2(8)=33,523$ ,  $p=0,002$ ), ein signifikanter Effekt festgestellt werden.

**c** Die Standardabweichungen der Gruppe explizites Lernen liegen nahezu auf den Achsen des Koordinatensystems und nicht in den dritten Quadranten des Koordinatensystems verschoben. Bei dieser Gruppe gab es einen signifikanten Unterschied zwischen Ost und West ( $T^2(8)=12,459$ ,  $p=0,031$ ), jedoch keinen zwischen Nord und Süd ( $T^2(8)=3,374$ ,  $p= 0,280$ ).



**Abb. 12: Korrelation zwischen der Startpositionsabhängigkeit mit der Performance und der Blickausrichtung auf die Landmarken**

**a** Es besteht ein positiv korrelierter Zusammenhang zwischen dem Abstand der Fehlerellipsen und der Streuung der Entscheidungspunkte.

**b** Zwischen dem Abstand der Fehlerellipsen und der Dauer der Blickausrichtung auf die Landmarken besteht eine negative Korrelation.

Die Performance der Versuchspersonen wurde anhand der Längen der ersten und zweiten Hauptachse ermittelt. Hierbei wurde die mittlere Länge der Hauptachsen festgestellt und über die Versuchspersonen gemittelt. Sie gibt die Streuung der Entscheidungspunkte an und wurde dementsprechend als Maß verwendet (Abb. 12). Demnach besitzt eine Versuchsperson eine schlechte Performance, wenn die Streuung ihrer Daten einen hohen Wert annimmt und umgekehrt. Um die Verschiebung der Fehlerellipsen in die jeweiligen Startrichtungen zu quantifizieren wurde jeweils der mittlere Abstand zwischen der Fehlerellipse für die Entscheidungspunkte mit der Startrichtung Norden und der Fehlerellipse für Süden mit dem Abstand der Fehlerellipsen zwischen Osten und Westen errechnet und über die Versuchspersonen gemittelt. Dementsprechend entspricht ein hoher Wert bei dem Abstand der Fehlerellipsen für unterschiedliche Verteilung der vier Fehlerellipsen, während ein kleiner Wert vier nahezu übereinander liegende Fehlerellipsen charakterisiert. Mit steigendem Abstand zwischen den jeweiligen Fehlerellipsen

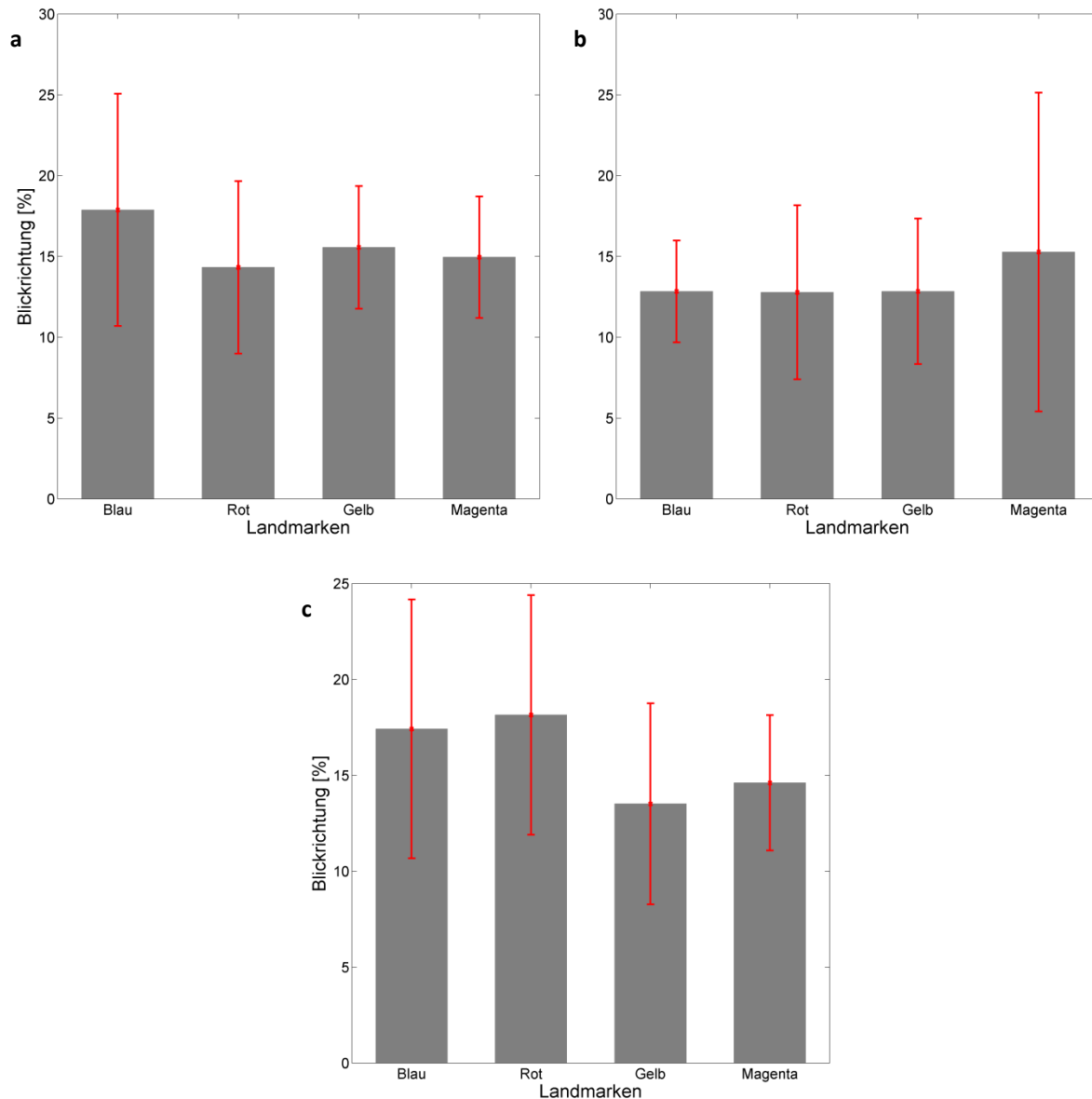
steigt die Streuung der Entscheidungspunkte linear an ( $R^2 = 0,948$ ). Je länger die Landmarken angesehen werden, umso geringer ist der Abstand zwischen den vier Fehlerellipsen ( $R^2 = 0,351$ ). Dieser lineare Zusammenhang ist allerdings schwächer als bei der Streuung der Entscheidungspunkte mit dem Abstand der Fehlerellipsen, da sich die Zeitwerte der Blickausrichtung bei geringem Abstand der Fehlerellipsen auf einer großen Skala verteilen (Abb. 12).

### 3.3. *Blickrichtungen*

Da es bei diesem Experiment Versuchspersonen geben könnte, die verschiedene Strategien verwenden, bestand Interesse sich die Blickrichtungen der Versuchspersonen anzusehen. Während des Experimentes hatten die Versuchspersonen die Möglichkeit jederzeit die Blickrichtung mit der Maus auszurichten und sich die virtuelle Umgebung aus allen Perspektiven anzusehen. Speziell die genaue Ausrichtung des virtuellen Auges auf die vier Landmarken wurde untersucht. Im Folgenden wird die Blickrichtung ausgewertet, sobald sich die Versuchspersonen in einem Umkreis von 20 m Radius von dem Brückenkreuzungspunkt befanden. Eine Landmarke galt als angesehen, sobald diese zur Hälfte auf dem Bildschirm erschien. Mit diesen Daten wurden die Prozentanteile und Zeitanteile der angesehenen Landmarken errechnet.

Mittels einer einfaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung wurde auf Unterschiede der Blickrichtungen in Prozent zwischen den Landmarken getestet. Die Analyse der Blickrichtungen in Prozent ergab, dass in Gruppe inzidentelles Lernen (MW Blau = 17,87 %, S Blau = 7,19, MW Rot = 14,32 %, S Rot = 5,34, MW Gelb = 15,55 %, S Gelb = 3,79, MW Magenta = 14,95 %, S Magenta = 3,76) ein signifikanter Unterschied zwischen den Landmarken bestand ( $F(3,10)=5,045$ ,  $p=0,005$ ). Eine post-hoc LSD (‘Least Significant Difference’) Analyse ergab für Blau gegenüber Rot einen signifikanten Effekt ( $p=0,004$ ). Zwischen den restlichen Landmarken gab es keine weiteren Signifikanzen. In der Gruppe Farbwechsel (MW Blau = 12,83 %, S Blau = 3,15, MW Rot = 12,77 %, S Rot = 5,38, MW Gelb = 12,83 %, S Gelb = 4,50, MW Magenta = 15,27 %, S Magenta = 9,86) gab es keine Signifikanzen zwischen den

Landmarken ( $F(3,6)=0,432$ ,  $p=0,732$ ). Ebenfalls wurde in der Gruppe explizites Lernen kein signifikanter Effekt festgestellt (MW Blau = 17,41 %, S Blau = 6,75, MW Rot = 18,14%, S Rot = 6,25, MW Gelb = 13,51 %, S Gelb = 5,24, MW Magenta = 14,60 %,



**Abb. 13: Prozentanteile der Blickrichtungen**

Eine Landmarke wurde als angesehen gewertet, sobald diese sich zur Hälfte auf dem Bildschirm befand. Daraus ergaben sich die Prozentanteile der Blickrichtungen. Zwischen den Gruppen gab es keine signifikanten Unterschiede des Faktors Farbe der Landmarken ( $F(3,33)=0,725$ ,  $p=0,539$ ), Gruppe ( $F(2,33)=1,558$ ,  $p=0,215$ ) und es existierte keine Interaktion beider Faktoren ( $F(6,33)=1,022$ ,  $p=0,414$ ).

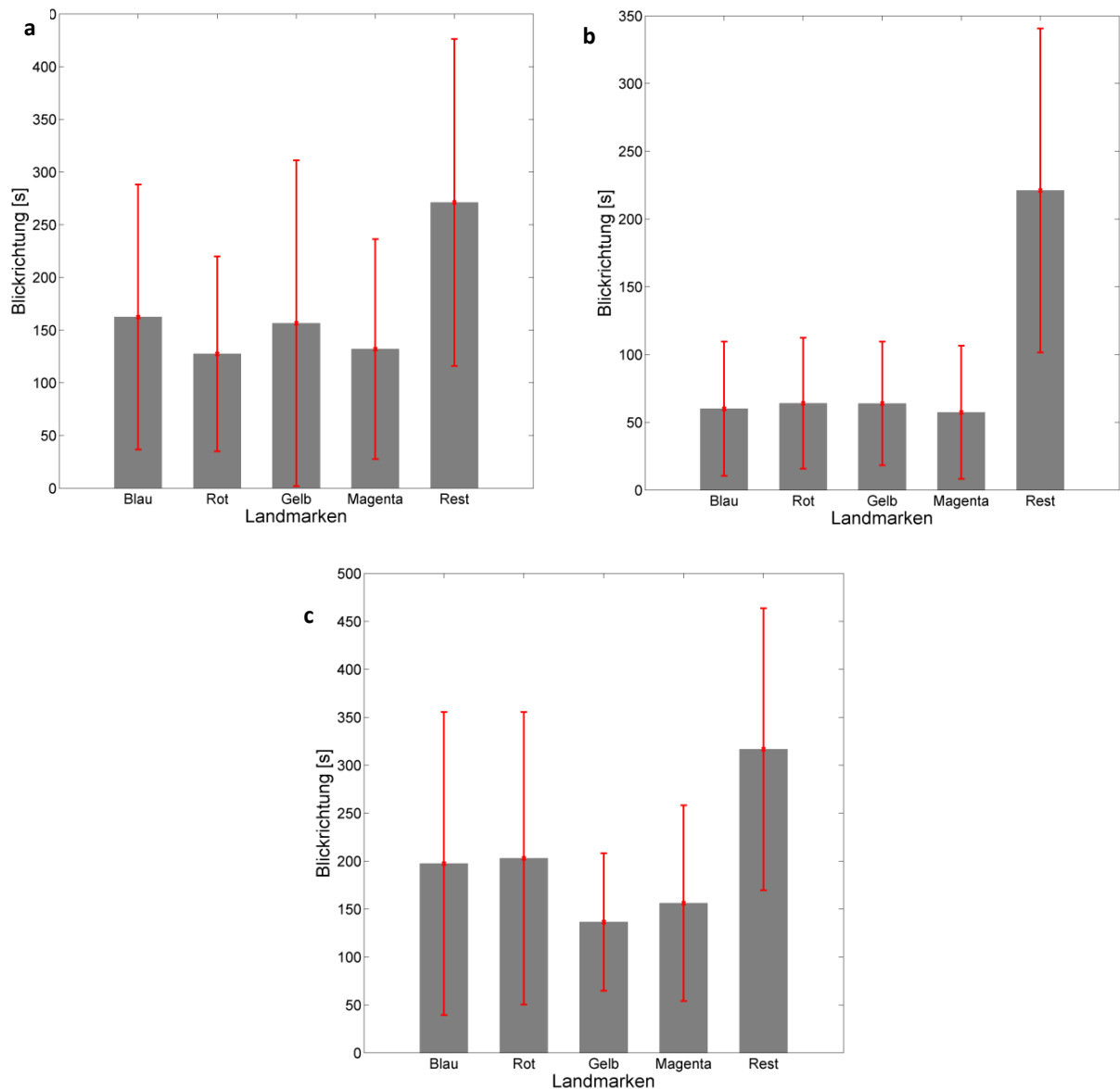
**a** In der Gruppe inzidentelles Lernen ( $n=14$ ) wurde ein signifikanter Unterschied zwischen den Landmarken festgestellt ( $F(3,10)=5,045$ ,  $p=0,005$ ). Diese Gruppe nutzte die blaue Landmarke mehr als die rote Landmarke (post-hoc LSD,  $p=0,004$ ).

**b** In der Gruppe Farbwechsel ( $n=10$ ) wurde kein signifikanter Effekt zwischen den Landmarken festgestellt ( $F(3,6)=0,432$ ,  $p=0,732$ ).

**c** Gruppe explizites Lernen ( $n=10$ ) zeigte ebenfalls keine Signifikanzen zwischen den Landmarken ( $F(3,6)=1,640$ ,  $p=0,210$ ).

S Magenta = 3,53), einfaktorielles ANOVA mit Messwiederholung  $F(3,6)=1,640$ ,  $p=0,210$ . Außerdem wurde eine zweifaktorielle ANOVA durchgeführt, welche die Faktoren Landmarken und Gruppe verglich. Das Ergebnis des Faktors Farbe der Landmarken ( $F(3,33)=0,725$ ,  $p=0,539$ ), Gruppe ( $F(2,33)=1,558$ ,  $p=0,215$ ), sowie der Interaktion beider Faktoren ( $F(6,33)=1,022$ ,  $p=0,414$ ) war nicht signifikant (Abb. 13).

Um die Zeitanteile der angesehenen Landmarken zu untersuchen, wurde ebenfalls eine einfaktorielles ANOVA für jede Gruppe durchgeführt. Die Versuchspersonen der Gruppe inzidentelles Lernen (MW Blau = 162,42 s, S Blau = 125,66, MW Rot = 127,44 s, S Rot = 92,48, MW Gelb = 156,56 s, S Gelb = 154,55, MW Magenta = 131,99 s, S Magenta = 104,37, MW Rest = 271,15, S Rest = 155,11) zeigten keine signifikanten Unterschiede der Landmarken ( $F(3,10)=1,844$ ,  $p=0,155$ ). Die Gruppe Farbwechsel (MW Blau = 59,98 s, S Blau = 49,50, MW Rot = 64,07 s, S Rot = 48,32, MW Gelb = 63,90 s, S Gelb = 45,66, MW Magenta = 57,34 s, S Magenta = 49,11, MW Rest = 221,13, S Rest = 119,59) war ebenfalls nicht signifikant ( $F(3,6)=0,429$ ,  $p=0,734$ ). Auch die Gruppe explizites Lernen (MW Blau = 197,36 s, S Blau = 157,94, MW Rot = 202,82 s, S Rot = 152,48, MW Gelb = 136,40 s, S Gelb = 71,70, MW Magenta = 156,12 s, S Magenta = 102,02, MW Rest = 316,58, S Rest = 147,05) wies keine Signifikanzen auf ( $F(3)=62,172$ ,  $p=0,114$ ). Allerdings wurden in der Gruppe explizites Lernen Blau und Rot tendenziell länger betrachtet. In der Gruppe inzidentelles Lernen wurde ebenfalls Blau am meisten angesehen, als Zweites kam die diagonal entgegengesetzte Landmarke Gelb. Besonders bei den Zeitanteilen ist auffällig, dass einige Versuchspersonen die Landmarken besonders lange ansahen, wohingegen andere Versuchspersonen diese kaum als Hilfsmittel nutzten, weshalb in allen Fällen die Standardabweichungen sehr groß ausfallen. Bei der Auftragung der Performance der Versuchspersonen gegen ihre Blickausrichtung der Landmarken lässt sich diese Beobachtung erkennen (Abb. 15). Beide Maße korrelieren schwach negativ ( $R^2=0,341$ ). Eine zweifaktorielle ANOVA konnte einen signifikanten Effekt zwischen dem Faktor Gruppe aufzeigen ( $F(3,33)=7,645$ ,  $p=0,001$ ). Mit einer Tukey HSD („Honestly Significant Difference“) post-hoc Analyse unterschied sich die Gruppe Farbwechsel signifikant von der Gruppe inzidentelles Lernen ( $p=0,001$ ) und der



**Abb. 14: Zeitanteile der Blickrichtungen**

Die y-Achse stellt die Blickrichtungen der Versuchspersonen in Sekunden dar und die x-Achse die jeweiligen Landmarken bzw. der Bereich, in dem keine Landmarke auf dem Bildschirm zu erkennen ist (Rest). In jedem der drei Versuchsbedingungen wurden die Bereiche zwischen den Landmarken am längsten angesehen. Zwischen den Gruppen gab es keine signifikanten Ergebnisse im Hinblick auf die Farbe der Landmarken ( $F(3,33)=0,235, p=0,872$ ) und die Interaktion zwischen Farbe der Landmarken und Gruppe ( $F(3,33)=0,342, p=0,914$ ). Allerdings lies sich ein signifikanter Effekt bei dem Faktor Gruppe feststellen ( $F(3,33)=7,645, p=0,001$ ). Post-hoc wurde zwischen Gruppe Farbwechsel und Gruppe inzidentelles Lernen ( $p=0,001$ ) sowie zwischen Gruppe Farbwechsel und Gruppe explizites Lernen ( $p=0,005$ ) ein signifikanter Effekt festgestellt.

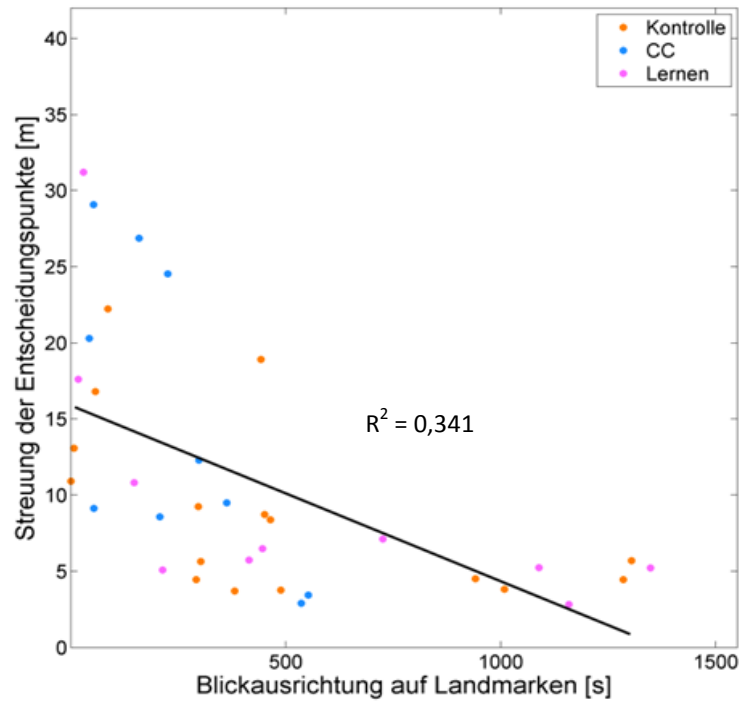
**a** Versuchspersonen der Gruppe inzidentelles Lernen sahen am längsten die blaue und die gelbe Landmarke an. Keine der Landmarken wurden jedoch signifikant länger angesehen als eine andere ( $F(3,10)=1,844, p=0,155$ ).

**b** Gruppe Farbwechsel nutzte die Landmarken deutlich weniger als die beiden anderen Gruppen. Es wurde alle Landmarken gleichermaßen kurz angesehen. Ebenfalls konnte hier kein signifikanter Unterschied zwischen den Landmarken festgestellt werden ( $F(3,6)=0,429, p=0,734$ ).

**c** Die blaue und die rote Landmarke wurden in Gruppe explizites Lernen am längsten angeschaut. Es existierte aber keinen signifikanter Effekt zwischen den Landmarken ( $F(3,10)=62,172, p=0,114$ ).



Gruppe explizites Lernen ( $p=0,005$ ). Der Faktor Farbe der Landmarken war nicht signifikant ( $F(3,33)=0,235$ ,  $p=0,872$ ) und es gab auch keine Interaktion beider Faktoren ( $F(3,33)=0,342$ ,  $p=0,914$ ) (Abb. 14).

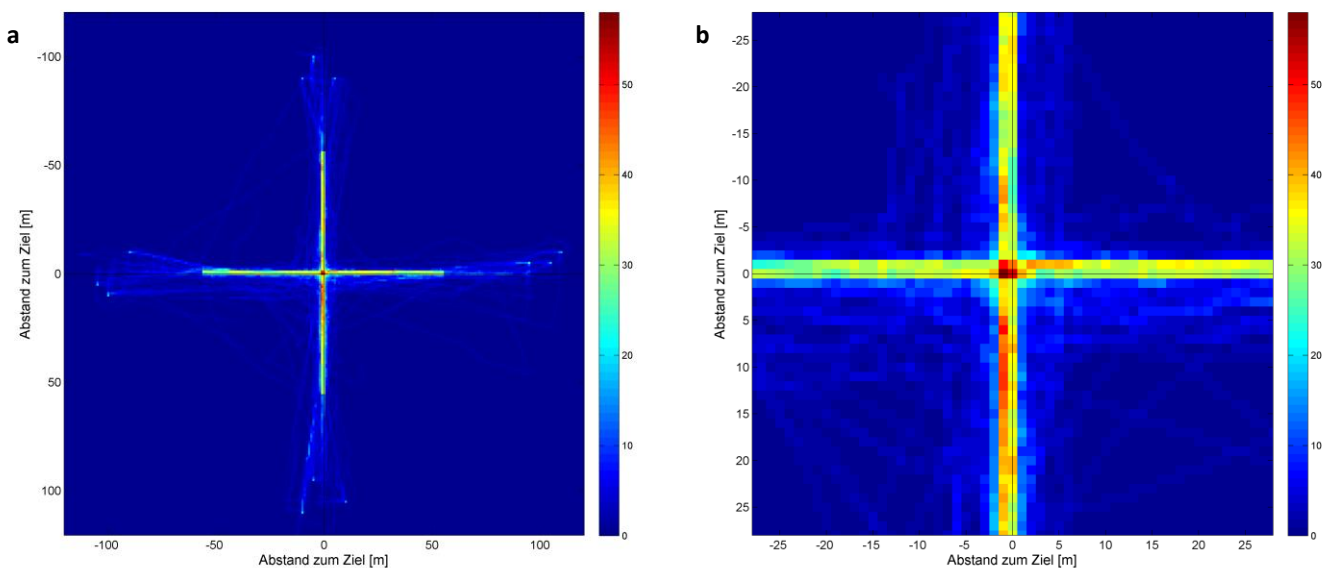


**Abb. 15: Die Streuung der Entscheidungspunkte in Abhängigkeit von der Blickausrichtung auf die Landmarken**

Zwischen den beiden Maße, Streuung der Entscheidungspunkte und die Blickausrichtung auf Landmarken, besteht eine schwach negative Korrelation.

### 3.4. Trajektorien

Um neben den Entscheidungspunkten den tatsächlichen Weg der Versuchspersonen in der Trainingsphase vom Startpunkt zum Ziel verfolgen zu können, wurden sogenannte Trajektorien erstellt, welche durch die Position der Versuchsperson in der virtuellen Umgebung den abgelaufenen Weg angeben. Mithilfe der Trajektorien



**Abb. 16 Heatmap der Gruppe inzidentelles Lernen**

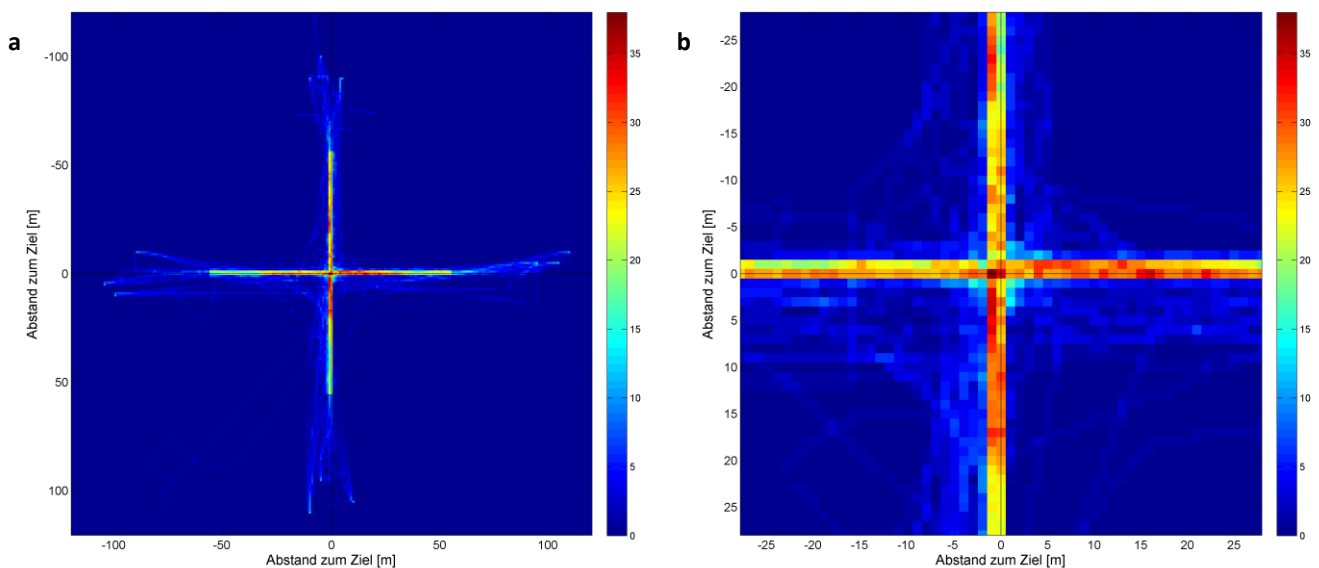
Die Heatmap zeigt die Häufigkeiten an, mit welchen die Versuchspersonen der Gruppe inzidentelles Lernen sich in den 1 x 1 m großen Feldern der virtuellen Umgebung befinden. Der Brückenverlauf ist klar zu erkennen und der Brückenkreuzungspunkt wird am häufigsten passiert.

**a** Ein Überblick über die virtuelle Umgebung aller abgelaufenen Felder, gibt Aufschluss über die Form der Brücke und ihren Verlauf in der virtuellen Umgebung.

**b** Ein Nahausschnitt des Brückenkreuzungspunktes zeigt die deutlich höchstwertesten Felder um den Brückenkreuzungspunkt herum.

ist es möglich die exakten Routen der Versuchspersonen pro Durchlauf in der Trainingsphase zu visualisieren, um ausschließen zu können, dass die Setzung der Entscheidungspunkte in der Experimentalphase nicht abhängig ist von den abgelaufenen Routen über die Brücke während der Trainingsphase. Deshalb wurde eine Heatmap erstellt, welche die Häufigkeiten anzeigt, mit denen die Versuchspersonen sich über die 1 x 1 m großen Feldern bewegt haben.

Abbildung 16 zeigt die abgelaufenen Routen aller Versuchspersonen der Gruppe inzidentelles Lernen während der Trainingsphase. Die Versuchspersonen folgen genau dem Brückenverlauf und befinden sich am häufigsten in unmittelbarer Nähe zum Brückenkreuzungspunkt, außerdem sind keine vermehrten Abkürzungen zwischen den Brückenarmen ersichtlich. Die Versuchspersonen biegen an dem Brückenkreuzungspunkt in jedem Durchlauf ab. Gleichermaßen spiegeln die Felder, die auf der Farbskala am höchsten eingestuft sind, die relativ exakten Konturen der Brücke in der virtuellen Umgebung wieder. Es wird gleich häufig aus jeder Richtung gestartet, sodass am Ende kein Brückenarm öfter passiert wird als ein Anderer. Mitunter zeigten die Versuchspersonen der Gruppe inzidentelles Lernen beim Ablaufen der Brücke nicht den Versatz in den dritten Quadranten des Koordinatensystems an, welcher den systematischen Fehler charakterisiert, der von den Versuchspersonen dieser Gruppe begangen wird. Dies gilt ebenfalls für die Gruppe explizites Lernen (Abb. 17).



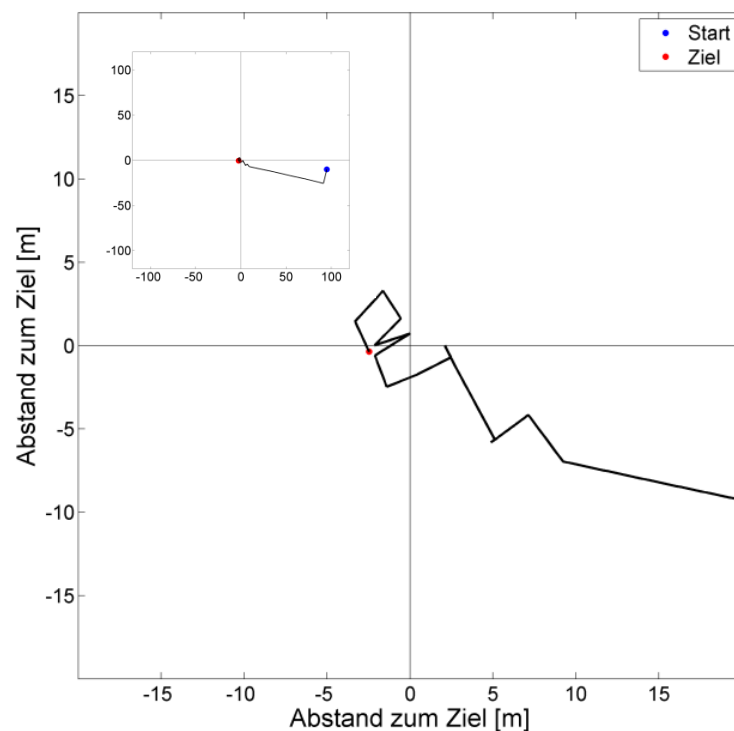
**Abb. 17 Heatmap der Gruppe explizites Lernen**

In dieser Heatmap werden die Ergebnisse der Gruppe explizites Lernen dargestellt. Die Felder der Heatmap sind je nach Aufenthaltslänge der Versuchspersonen der Farbskala entsprechend hoch gewertet.

**a** Ein Überblick der virtuellen Umgebung zeigt deutlich den Beginn der Brücke über dem See, sowie die Bewegung der Versuchspersonen auf nahezu direktem Weg von den Startpositionen zum Beginn der Brücke.

**b** Der Nahausschnitt des Brückenkreuzungspunktes. Der Brückenverlauf ist auch bei dieser Gruppe gut zu erkennen und der Brückenkreuzungspunkt wird am häufigsten passiert.

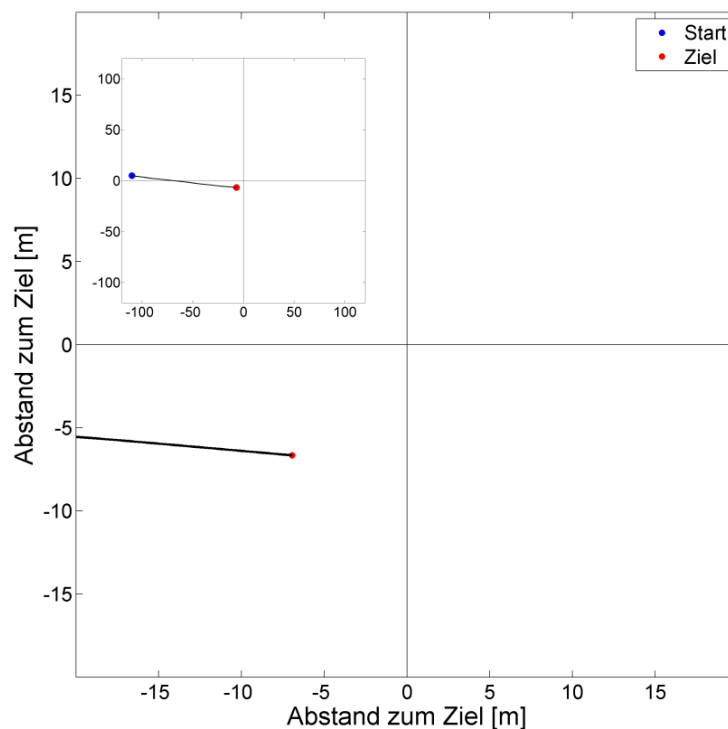
Die Trajektorien der Versuchspersonen sahen ihren jeweiligen Zeitanteilen der Blickausrichtung auf die Landmarken nach unterschiedlich aus. Auf der einen Seite gab es Versuchspersonen, die die Landmarken deutlich länger angesehen haben als andere Versuchspersonen und ihre Position in der virtuellen Umgebung bei der Ortsfindung den Landmarken angepasst haben. Sie liefen in die Mitte der Landmarken und drehten sich mithilfe der Maus mehrmals um die eigene Achse, währenddessen sie ihre Position korrigierten (Abb. 18).



**Abb. 18: Trajektorie einer Versuchsperson mit langer Blickausrichtung auf die Landmarken**

Die Trajektorie von Versuchsperson 13 aus Gruppe inzidentelles Lernen ist durch die dicke schwarze Linie gezeigt. Die kleine Grafik links oben zeigt eine Übersicht, während die große Grafik den Bereich zwischen -20 m und 20 m um den Brückenkreuzungspunkt darstellt. Diese Versuchsperson betrachtete die Landmarken insgesamt relativ lange (1284,51 s) und korrigierte ihre Position mit Hilfe der Landmarken, sobald sie sich in der Nähe der Mitte befand.

Auf der anderen Seite haben manche Versuchspersonen die Landmarken kaum oder gar nicht betrachtet. Sie drehten sich zu Beginn jedes Durchlaufs einmal um  $180^\circ$ , um den See mit den vier Landmarken vor sich zu sehen, und liefen dann, ohne die Blickrichtung zu verändern, geradeaus auf die Mitte der vier Landmarken zu. Dabei setzten sie ihren Entscheidungspunkt in den meisten Fällen zu früh, vor dem Brückenkreuzungspunkt (Abb. 19).



**Abb. 19: Trajektorie einer Versuchsperson mit kurzer Blickausrichtung auf die Landmarken**

Diese Trajektorie, dicke schwarze Linie, stammt von Versuchsperson 16 der Gruppe inzidentelles Lernen. Die kleine Grafik links oben zeigt eine Übersicht und die große Grafik den Bereich von -20 m bis 20m um die Mitte herum. Diese Versuchspersonen betrachtet die vier Landmarken während der gesamten Experimentalphase überhaupt nicht (0 s) und führt keine Korrektur ihrer Position durch. Sie läuft abhängig von der Startposition geradeaus gerichtet in die Mitte und setzt den Entscheidungspunkt frühzeitig.

## 4. Diskussion

Mit diesem Experiment zur Ortserkennung in virtueller Umgebung wurde herausgefunden, dass die Lernform der Versuchspersonen in der Trainingsphase entscheidend für deren Performance beim Experiment ist. Während die Versuchspersonen der Gruppe inzidentelles Lernen den gleichen systematischen Fehler machen, begehen Versuchspersonen der Gruppe explizites Lernen alle einen individuellen Fehler. Der Farbwechsel der vier Landmarken hat zur Folge, dass der dadurch verursachte systematische Fehler in die gleiche Richtung verschoben war wie bei der Gruppe inzidentelles Lernen.

Die beiden Arten des Lernens die mit diesem experimentellen Setup getestet wurden, waren inzidentelles Lernen auf der einen Seite und explizites Lernen auf der anderen Seite. Das inzidentelle Lernen beschreibt den Lernvorgang, bei dem ein bestimmtes Ziel gelernt wird und dabei ohne vorherige Instruktionen andere Dinge beiläufig gelernt werden. Die Versuchsgruppe inzidentelles Lernen lernte demzufolge beiläufig den Brückenkreuzungspunkt in der Trainingsphase des Experimentes und sollte diesen in der Experimentalphase lediglich anhand der vier Landmarken wiederfinden. In dieser Gruppe wurde von fast allen Versuchspersonen, bis auf einer, ein identischer systematischer Fehler begangen, sodass die gesetzten Entscheidungspunkte von der Mitte aus in die gleiche Richtung der Koordinatensystems verschoben waren. Der genaue Grund für diesen systematischen Fehler ist unklar. Jedoch fällt auf, dass der Fehler nahezu direkt auf dem Kreuzungspunkt der beiden Diagonalen liegt, die sich ausgehend von den vier Landmarken zeichnen lassen. Folglich könnten sich die Versuchspersonen der Gruppe inzidentelles Lernen eher auf einfache geometrische Zusammenhänge der vier Landmarken verlassen, statt auf detaillierte räumliche Verhältnisse einer der Landmarken. Es scheint logisch, dass Versuchspersonen dieser Gruppe sich vielmehr die gleichen grundlegenden räumlichen Informationen der vier Landmarken merken, die das Auffinden mehrerer möglicher Zielpunkte in der Experimentalphase erleichtern würden. Dies wäre effektiver, als sich ohne zu wissen welcher Ort anschließend gesucht werden soll, eine genauere räumliche Information an einem

beliebigen Ort zu merken (z.B. Distanz zu einer Landmarke), welche zwar das Auffinden eines speziellen Ortes deutlich einfacher machen würde, jedoch versagen würde, sobald dieser Ort nicht das später gesuchte Ziel darstellte. Interessant dabei ist, dass fast alle Versuchspersonen dieser Gruppe nicht denselben Fehler bei der Ortsfindung machen. Die Idee ist, dass sich die Versuchspersonen an den imaginären Verbindungslinien der vier Landmarken, den Diagonalen des unregelmäßigen Vierecks welches durch die vier Landmarken gebildet wird, orientieren könnten. Denn es gibt Grund zu der Annahme, dass die Distanzen zu den einzelnen Landmarken eine wichtige Rolle bei der Ortserkennung spielen. Waller und Kollegen (2002) fanden heraus, dass Versuchspersonen, die in einer virtuellen Umgebung ein vorher gelerntes Ziel inmitten von drei Landmarken wiederfinden sollten, sich insbesondere an den Distanzen von dem Ziel zu den Landmarken orientierten. Dies galt nicht, wenn der durch die Distanz hergeleitete Zielort nicht inmitten der Landmarkenanordnung lag, oder aber die Winkelbeziehungen zwischen den Landmarken sehr salient waren, indem sie beispielweise nur rechte Winkel enthielten. Demnach kann man davon ausgehen, dass in diesem Experiment zur Orientierung anhand von Landmarken, die Versuchspersonen sich verstärkt an den Distanzen der Landmarken orientierten. Möglicherweise orientieren sie sich an der nächsten Landmarke, der blauen Landmarke. Da sich der systematische in Richtung der gelben Landmarke verschoben ist, die der blauen gegenüberlag, unterschätzten die Versuchspersonen vermutlich die Größe dieser Landmarke. Man könnte sich vorstellen, dass Versuchspersonen bei der Detektion des Bildes der blauen Landmarke, die aktuelle Größe der Landmarke wegen der ausreichenden Ähnlichkeit zur erinnerten Größe der Landmarke frühzeitig erkannt haben, aufgrund eines Unsicherheitsbereiches der Bilderkennung um die erinnerte Landmarke herum (Franz et al., 1998). Eine weiterer Grund für das Zustandekommen des systematischen Fehlers könnte auch die Geometrie der Landmarkenkonfiguration sein, da der systematische Fehler sich in unmittelbarer Nähe des Diagonalschnittpunktes oder auch des Schwerpunktes des Vierecks befindet, welches die Landmarken bilden. Aus diesen beiden möglichen Quellen, der Geometrie der Landmarkenkonfiguration einerseits und der Detektion der Bildgröße der nächste Landmarke andererseits, der

Information zur Ortsfindung könnte sich der systematische Fehler der Gruppe inzidentelles Lernen ergeben.

Die einzige Versuchsperson, welche diesen systematischen Fehler nicht begeht, sondern den gleichen Fehler begeht, den Versuchspersonen der Gruppe explizites Lernen begehen und somit einen entscheidenden Unterschied in der Trainingsphase gemacht hat. Die Entscheidungspunkte dieser Versuchsperson lagen alle im ersten Quadranten des Koordinatensystems. Diese Versuchsperson hat sich bereits in der Trainingsphase auf dem Brückenkreuzungspunkt mehrmals um die eigene Achse gedreht, um einen Eindruck der Landmarken von der Mitte aus zu gewinnen. Dieses Verhalten zeigten sonst nur Versuchspersonen der Gruppe explizites Lernen, die sich dadurch den später zu findenden Punkt mit Hilfe der umstehenden Landmarken besser einprägen zu können. Folglich hat diese Ausnahme-Versuchsperson sich einen Vorteil verschafft, indem sie bereits vor der Experimentalphase an dem gesuchten Ort war und die umgebenen Landmarkenbeziehungen aktiv angesehen hat.

Die Vermutung, Versuchspersonen der Gruppe inzidentelles Lernen würden schon während der Trainingsphase den systematischen Fehler aus der Experimentalphase begehen, indem sie nicht dem Brückenverlauf folgen sondern an der Stelle des systematischen Fehlers abbiegen, konnte mit Hilfe der Heatmap verworfen werden. Die Heatmap zeigt keine hoch gewerteten Felder an dem Punkt des systematischen Fehlers, sondern vielmehr den genauen Verlauf der Brücke aus der virtuellen Umgebung. Demzufolge kann der systematische Fehler nicht durch die Trainingsphase zustande kommen, sondern könnte eine Folge des inzidentellen Lernens der Landmarken sein.

Die Versuchsgruppe explizites Lernen konnte den Brückenkreuzungspunkt bei jedem Durchlauf der Trainingsphase mit dem Wissen lernen, diesen Punkt in der Experimentalphase wiederfinden zu müssen. Generell gilt die Annahme, dass Landmarkenlernen den Regeln des *reinforcement learning* folgt (Doeller & Burgess, 2008), es also Effekte wie Overshadowing oder Blocking zeigt. Dieses Experiment bestätigt diese Annahme, indem es einen Unterschied aufzeigt, welcher durch die verschiedene Lernform der Landmarken zustande kommt. Die Landmarken werden

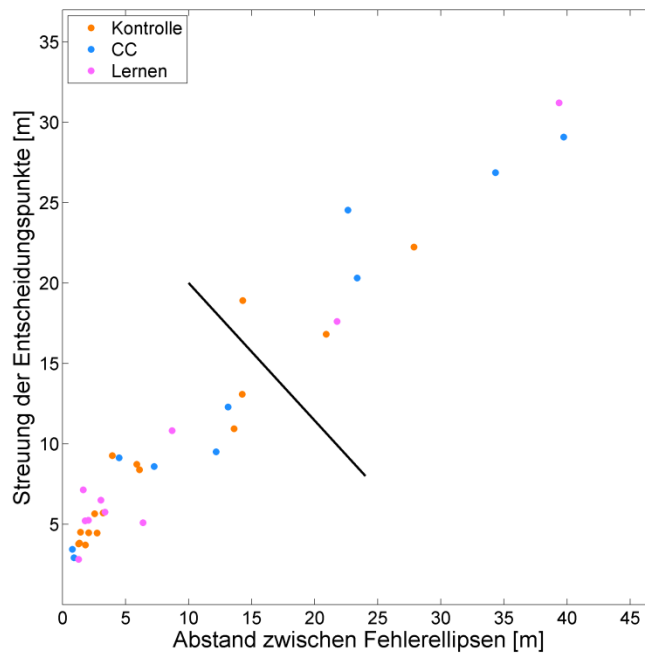


besser gelernt, sobald diese mit *reinforcement learning* in der Gruppe explizites Lernen gelernt werden. Die Entscheidungspunkte dieser Gruppe besaßen eine andere Verteilung als die der Gruppe inzidentelles Lernen, sie waren in unterschiedlichen Clustern angeordnet. In der Gruppe explizites Lernen lagen die Entscheidungspunkte insgesamt zwar näher an dem Brückenkreuzungspunkt, die einzelnen Versuchspersonen allerdings zeigten alle einen Versatz von der Mitte in unterschiedliche Richtungen auf. Die einzelnen Versuchspersonen besaßen außerdem eine bessere Performance, demnach eine kleinere Streuung der Entscheidungspunkte, als die Versuchspersonen der Gruppe inzidentelles Lernen. Anzunehmen ist, dass jede Versuchsperson sich individuelle räumliche Informationen während der Trainingsphase über die Relation der Landmarken merkten, beispielsweise die Distanz zu einzelnen Landmarken, auf welche sich in der Experimentalphase ausschließlich berufen wird. Beim inzidentellen Lernen merkten sich die Versuchspersonen scheinbar stets dieselben räumlichen Informationen. Es scheint demzufolge, dass beide Gruppen, inzidentelles Lernen und explizites Lernen, unterschiedliche räumliche Informationen in der Trainingsphase lernten.

Da die Gruppe Farbwechsel auch einen systematischen Fehler macht, der in die gleiche Richtung von der Mitte des Koordinatensystems verschoben ist wie bei der Gruppe inzidentelles Lernen, kann man davon ausgehen, dass die Versuchspersonen beider Gruppen die gleichen räumlichen Informationen ausnutzen. Es ist möglich, dass die unterschiedlichen Farben der Landmarken in der Gruppe Farbwechsel keinen oder einen untergeordneten Einfluss auf die Ortserkennung ausüben und bei der Ortsfindung die gleiche Salienz besitzen. Nicht auszuschließen ist, dass die Größe der gelben Landmarke von der Mitte aus stärker unterschätzt wird, als die blaue Landmarke in der Gruppe inzidentelles Lernen, da die Kontrastverhältnisse von Gelb zu dem grauen Hintergrund anders sind, als von Blau zum dem grauen Hintergrund. Die allerdings schlechter ausfallende Performance dieser Gruppe insgesamt, welche an der größeren Abweichung der Entscheidungspunkte von der Mitte aus zu erkennen ist, könnte an der schlechteren Leistung der einzelnen Versuchspersonen dieser Gruppe liegen. Es gab mehr Versuchspersonen, die möglicherweise unmotiviert waren, da sie eine stärkere Streuung der Entscheidungspunkte vorwiesen. Fakt ist,

dass die Versuchspersonen die Landmarken insgesamt weniger ansahen, sich also weniger mit der virtuellen Umgebung beschäftigten als Versuchspersonen der beiden anderen Gruppen.

In dem Experiment werden vermutlich zwei verschiedene Strategien genutzt. Zum Einen gab es Versuchspersonen, welche die Landmarken bei der Ortserkennung verwendeten und zum anderen gab es Versuchspersonen, die die Strategie der Wegintegration verfolgten und den Landmarken keine Beachtung schenkten. Die Wegintegration beschreibt den Prozess, bei dem die aktuelle Position ausgehend von einer Startposition ständig fortgeschrieben wird, bis ein Ziel erreicht ist. Diese Strategie findet man bei Ameisen, die durch ihre Schrittweite und einer Information der Richtung durch einen internen Kompass, den Weg zum einem bestimmten Ziel finden (Wehner & Müller, 1988). Dasselbe Phänomen ist ebenfalls bei Bienen zu finden, die allerdings Informationen zur Schrittweite mithilfe von Flussfeldmessungen erhalten (Collett & Wehner, 1993). Diejenigen Versuchspersonen welche die Strategie der Wegintegration verfolgten, nutzten die Landmarken kaum um sich in der virtuellen Umgebung zu orientieren (Abb. 9), sondern bewegten sich vielmehr gerichtet von der Startposition aus zu einem Punkt in der Mitte der vier Landmarken und setzten ihren Entscheidungspunkt ohne sich weiter umzusehen und die Landmarken als Orientierungshilfe zu verwenden. Sie orientierten sich ausschließlich an der gelaufenen Wegstrecke. Um diese beiden Strategien zu identifizieren, könnte die Auftragung der Performance gegen den Abstand der Fehlerellipsen genutzt werden (Abb. 20), da die Versuchspersonen mit der Strategie Wegintegration auffällig weit auseinander liegende Fehlerellipsen in Abhängigkeit von der Startposition besaßen (Abb. 10). Die sich oberhalb der schwarzen Trennlinie befindlichen Versuchsperson sind diejenigen, die Wegintegration nutzten, die sich unterhalb der Trennlinie befindlichen Versuchspersonen sind hingegen die Versuchspersonen, die Landmarken zur Ortserkennung verwendeten. Auf diese Weise wäre es möglich, beide Strategien getrennt voneinander auszuwerten.



**Abb. 20: Mögliches Kriterium zum Ausschluss besonders schlechter Versuchspersonen**

Dies ist die gleiche Darstellung aller Versuchspersonen wie Abb. 14, außer dass eine schwarze Trennlinie eingefügt ist, welche den Ausschluss von den sehr schlecht abscheidenden Versuchspersonen zeigt. Alle Versuchspersonen oberhalb dieser Trennlinie, mit großem Abstand zwischen den Fehlerellipsen und einer großen Streuung der Entscheidungspunkte, insgesamt also schlechter Performance werden somit ausgeschlossen.

Letztendlich wäre es vorteilhaft, weitere motivierte Versuchspersonen für die Gruppe Farbwechsel zu testen, sodass ein klares Ergebnis über den Einfluss der Farben der Landmarken getroffen werden kann. Eine Messung der Reaktionszeit eines jeden Durchlaufes der Experimentalphase könnte zusätzliche Rückschlüsse über die Wahl der Strategie, Wegintegration einerseits und Nutzung der Landmarken andererseits, liefern, da Versuchsperson mit der Strategie Wegintegration womöglich schneller mit der Bewältigung der Experimentalphase sind. Zudem wäre es interessant, weitere Nachforschungen anzustellen, in denen unterschiedliche geometrische Anordnungen der Landmarken genutzt werden, um die Relationen der geometrischen Zusammenhänge (Schnittpunkt der Diagonalen, Schwerpunkt, Unterschätzung der nächsten Landmarke) zueinander zu variieren. Dadurch kann getestet werden, auf welche geometrischen Zusammenhänge bevorzugt geachtet wird bzw. welche Zusammenhänge unterbewusst in einer kognitiven Karte abgespeichert werden.

Hierbei würden Anordnungen, die verschiedene Positionen des Flächen- und Eckschwerpunktes haben, wie die eines Drachens, getestet werden können. Und Anordnungen, bei denen diese beiden Punkte an derselben Position zu liegen kommen, wie ein Parallelogramm. Zudem könnte die Übertragbarkeit dieses Experimentes auf eine HMD („Head Mounted Display“) Installation überprüft werden, durch welche möglicherweise realitätsgetreuere Ergebnisse ermittelt werden können, da die Versuchspersonen propriozeptive Reize erhalten, welche in der virtuellen Umgebung mithilfe der Maus und den Pfeiltasten bewerkstelligt wurden.

Abschließend zu dieser Studie lässt sich sagen, dass aus einer Rotation der Landmarkenfarben ein systematischer Fehler in die gleiche Richtung wie beim inzidentellen Lernen hervorging, wobei die geometrische Anordnung der Landmarken relativ zum Ziel vermutlich den systematischen Fehler verursachte und nicht hingegen die Salienz der Farben. Außerdem ist anzunehmen, dass Versuchspersonen bei der Ortserkennung anhand von vier Landmarken beim inzidentellen Lernen ähnliche räumliche Informationen der Landmarken nutzten, welches einen gleichen Versatz von der Mitte zur Konsequenz hatte. Versuchspersonen des expliziten Lernens dagegen zeigten Verschiebungen in unterschiedliche Richtungen von der Mitte und extrahierten somit individuelle räumliche Informationen, die individuelle Fehler zum Resultat hatten. Dabei spielte die unterschiedliche Farbe der Landmarken eine untergeordnete Rolle, die ungleiche Instruktionsart, welche zwei gegensätzliche Lernformen verursachte, hingegen veränderte die resultierende Performance maßgeblich.

## Literaturverzeichnis

- R. Biegler and R. G. M. Morris, 1996. Landmark stability: Studies exploring whether the perceived stability of the environment influences spatial representation. *The Journal of Experimental Biology* (199): 187-193.
- K. Cheng, 1986. A purely geometric module in the rat's spatial representation. *Cognition* (23): 149-178.
- K. Cheng, 1988. Some psychophysics of the pigeon's use of landmarks. *Journal of Comparative Physiology A* (162): 815-826.
- B. A. Cartwright and T. S. Collett, 1983. Landmark Learning in Bees. *Journal of Comparative Physiology A* (151): 521-543.
- B. A. Cartwright and T. S. Collett, 1987. Landmark Maps for Honeybees. *Biological Cybernetics* (57): 85-93.
- T. S. Collett, S. N. Fry, R. Wehner, 1993. Sequence learning by honeybees. *Journal of Comparative Physiology A* (172): 693-706.
- C. F. Doeller and N. Burgess, 2008. Distinct error-correcting and incidental learning of location relative to landmarks and boundaries. *Proceedings of the National Academy of Sciences* (Vol. 105, No. 15): 5909-5914.
- M. Dorer, 2013. Einfluss der Informationen von Winkelunterschieden und relative Distanzen zu Landmarken auf die Ortserkennung in einer virtuellen Realität. *Bachelorarbeit, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät der Universität Tübingen.*
- G. S. Fraenkel & D. L. Gunn. The orientation of animals. New York: Dover, 1961.
- M. O. Franz, B. Schölkopf, H. A. Mallot, and H. H. Bülthoff, 1998. Learning view graphs for robot navigation. *Autonomous Robots* (5): 111-125.
- S. Gillner, A. M. Weiß, H. A. Mallot, 2008. Visual homing in the absence of feature-based landmark information. *Cognition* (109): 105-122.
- W. J. Jacobs, H. E. Laurance and K. G. F. Thomas, 1997. Place Learning in Virtual Space I: Acquisition, Overshadowing and Transfer. *Learning and Motivation* (28): 521-541.
- E. W. Menzel, 1978. Cognitive mapping in chimpanzees. *Cognitive aspects of animal behavior*: 375-422.

- R. G. M. Morris, 1981. Spatial Localization Does Not Require the Presence of Local Cues. *Learning and Motivation* (12): 239-260.
- M. Müller and R. Wehner. Path integration in desert ants, *Cataglyphis fortis*. *Proceedings of the National Academy of Sciences* (Vol. 85, No. 14): 5287-5290, 1988.
- S. Münzer und C. Hölscher, 2011. Entwicklung und Validierung eines Fragebogens zu räumlichen Strategien. *Diagnostica* (57,3): 111-125.
- D. Waller, J. M. Loomis, R. G. Golledge and A. C. Beall, 2002. *Spatial Cognition and Computation* (2): 333-354.

## Fragebogen Experiment

Dieser Fragebogen enthält Aussagen zu Verhaltensweisen beim Zurechtfinden in räumlichen Umgebungen. Wir bitten Sie, für jede Aussage anzuzeigen, inwieweit Sie der Aussage zustimmen. Die Möglichkeit zur Ablehnung bzw. Zustimmung hat die folgende Form:

**lehne stark ab 1 2 3 4 5 6 7 stimme stark zu**

Bitte markieren Sie für jede Aussage diejenige Position durch Einkreisen, die dem Grad ihrer Zustimmung am besten entspricht. Markieren Sie bitte die Mittelposition (4), wenn Sie weder zustimmen noch ablehnen.

1 Während des Experiments war ich motiviert.	1	2	3	4	5	6	7
2 Das Experiment hat mir Spaß gemacht.	1	2	3	4	5	6	7
3 Ich würde wieder an einem psychophysikalischen Experiment teilnehmen.	1	2	3	4	5	6	7
4a In meiner Freizeit spiele ich häufig Computerspiele, die Orientierung und Bewegung im dreidimensionalen Raum erfordern.	1	2	3	4	5	6	7
4b Bei diesen Spielen schätze ich meine Orientierungsfähigkeit sehr gut ein.	1	2	3	4	5	6	7
5 Mein Orientierungssinn ist sehr gut.	1	2	3	4	5	6	7
6 Im Experiment habe ich versucht mir die räumlichen Gegebenheiten aus der Vogelperspektive vorzustellen.	1	2	3	4	5	6	7
7 Ich habe das Gefühl im Experiment gut abgeschnitten zu haben.	1	2	3	4	5	6	7
8 Während des Versuches war mir klar, welches Ziel ich verfolgen sollte.	1	2	3	4	5	6	7
9a Im Experiment hatte ich das Gefühl eine Veränderung bemerkt zu haben.	<b>Nein</b>					<b>Ja</b>	
9b Wenn ja, welche Veränderung?							

**10** Während des Versuches habe ich mich orientiert  
an...

Name:

Alter:

Geschlecht:       männlich       weiblich

Studienfach:

Versuchsperson:



## Probandeninformation zum Experiment

Name des Versuchsleiters: Stephan Lancier

Sie werden an einem psychophysikalischen Experiment teilnehmen. Während des Experimentes werden Sie in einer virtuellen Umgebung navigieren und Ihre Navigationsleistung wird dabei gemessen.

Ihre persönlichen, im Rahmen dieser Studie erhobenen Daten werden für wissenschaftliche Publikationen - in anonymisierter Form - verwendet und am Lehrstuhl für Kognitive Neurowissenschaft gespeichert.

Die Teilnahme erfolgt freiwillig und kann zu jedem Zeitpunkt ohne Angabe von Gründen abgebrochen werden.

Tübingen, den \_\_\_\_\_  
Unterschrift

## Einverständniserklärung zur Teilnahme

Name der Versuchsperson (in Druckbuchstaben): \_\_\_\_\_

Ich erkläre mich bereit, an dem Experiment teilzunehmen.

Ich habe den Text der Probandeninformation und dieser Einverständniserklärung gelesen und verstanden. Aufgetretene Fragen wurden mir verständlich und vollständig beantwortet. Ich hatte ausreichend Zeit, Fragen zu stellen und mich für oder gegen eine Teilnahme zu entscheiden.

Ich erkläre mich damit einverstanden, dass meine persönlichen, während dieser Studie erhobenen, Daten im Rahmen von wissenschaftlichen Publikationen - in anonymisierter Form - veröffentlicht und am Lehrstuhl für Kognitive Neurowissenschaft gespeichert werden.

Tübingen, den \_\_\_\_\_  
Unterschrift

## GRUPPE INZIDENTELLES LERNEN

### Scharfes Kriterium & Guckrichtungen r=20

Versuchsperson	% Blau	% Rot	% Gelb	% Magenta	% Rest
1	5,8063	5,1586	8,5540	4,8502	75,6310
2	4,2565	3,9305	3,7362	3,2493	84,8275
3	0,138	0,7528	1,3300	0,6462	97,1330
4	3,1187	3,6995	4,3876	2,9009	85,8933
5	9,0965	4,5041	7,3974	7,1370	71,8650
6	11,0104	10,0019	6,0671	3,6765	69,2441
7	8,1048	3,7517	4,8845	3,7771	79,4820
8	2,0303	0	0	0	97,9697
9	8,5083	6,0274	8,7845	6,4299	70,2499
10	14,6991	3,4860	8,1652	5,1477	68,5020
11	11,853	10,419	12,5964	7,5058	57,6259
12	7,4643	5,1929	4,8743	7,5041	74,9644
13	10,8303	5,7678	5,7502	6,7217	70,9300
14	15,274	8,8325	10,9476	18,8033	56,8282
15	0,4074	1,1166	2,8744	3,4402	92,1614
16	0	0	0	0	100,0000
Mittelwert	9,1685	5,8977	7,1788	6,4753	72,1703
Standardabweichung	3,7868	2,4871	2,7392	4,2351	9,0254

### Scharfes Kriterium & Zeitanteile bei r=20m

Versuchsperson	Blau in s	Rot in s	Gelb in s	Magenta in s	Rest in s
1	37,6575	33,4567	55,4778	31,4563	490,5148
2	65,7298	60,6955	57,6949	50,1767	1309,9000
3	0,3667	2,0004	3,5340	1,7170	258,1016
4	16,4700	19,5372	23,1713	15,3197	453,6074
5	133,9601	66,3299	108,9385	105,1044	1058,3000
6	66,7967	60,6788	36,8074	22,3045	420,084
7	42,4585	19,6539	25,5885	19,7873	416,3833
8	2,8172	0	0	0	135,9439
9	53,9108	38,1910	55,6611	40,7415	445,1223
10	88,9178	21,0876	49,3932	31,1396	414,3829
11	78,9491	69,3972	83,9001	49,9933	383,8268
12	124,9583	86,9341	81,5997	125,6251	1255,0000
13	195,3224	104,0208	103,7041	121,2242	1279,2000
14	60,9122	35,2237	43,6587	32,2237	226,6287
15	0,9002	2,4672	6,3513	7,6015	203,6407
16	0	0	0	0	45,7925
Mittelwert	80,5036	51,2701	60,4663	53,758	656,6625
Standardabweichung	49,5168	27,7183	28,3528	40,0488	435,4479

## GRUPPE INZIDENTELLES LERNEN

### Grobes Kriterium & Guckrichtungen r=20m

Versuchsperson	% Blau	% Rot	% Gelb	% Magenta	% Rest
1	16,6016	13,5043	19,7193	18,3416	31,8331
2	17,0724	15,4758	14,4632	13,9191	39,0695
3	5,7779	2,3149	5,7716	7,5471	78,5885
4	12,3580	15,0852	14,2677	14,5076	43,7816
5	18,5642	13,3538	17,8488	18,6978	31,5354
6	26,5683	25,3895	15,3299	9,2078	23,5045
7	21,3167	12,7156	11,8182	11,7896	42,3598
8	2,4027	0	2,8111	0	94,7862
9	16,0589	16,3431	20,0842	18,6819	28,8319
10	22,4675	12,8445	14,6495	13,0236	37,0150
11	20,9856	18,2576	19,2437	14,8388	26,6743
12	21,7396	16,4491	18,8031	20,8972	22,1110
13	23,8374	16,4262	15,2902	15,5592	28,8870
14	25,3020	15,9177	16,9377	14,9145	26,9281
15	1,5919	6,5862	13,5421	17,3595	60,9204
16	0	0	0	0	100,0000
Mittelwert	20,2393	15,9802	16,5380	15,3649	31,8776
Standardabweichung	4,1912	3,4225	2,6171	3,3179	7,1675

### Grobes Kriterium & Zeitanteile r=20

Versuchsperson	Blau in s	Rot in s	Gelb in s	Magenta in s	Rest in s
1	107,6715	87,5842	127,8922	118,9517	206,4580
2	263,6361	238,9811	223,3447	214,943	603,3206
3	15,3531	6,1512	15,3364	20,0540	208,8251
4	65,2631	79,6659	75,3484	76,6153	231,2129
5	273,3880	196,6560	262,8526	275,3551	464,4095
6	161,1822	154,0308	93,0019	55,8612	142,5952
7	111,6723	66,6133	61,9124	61,7624	221,9110
8	3,334	0	3,9008	0	131,5263
9	101,7537	103,5540	127,2588	118,3737	182,6865
10	135,9105	77,6989	88,6177	78,7824	223,9114
11	139,7780	121,6077	128,1756	98,8364	177,6689
12	363,9394	275,3717	314,7796	349,8366	370,1574
13	429,9026	298,2426	275,7551	280,6061	520,9708
14	100,9035	63,4794	67,5468	59,4786	107,3881
15	3,5174	14,5529	29,9227	38,3577	134,6103
16	0	0	0	0	45,7925

## GRUPPE EXPLIZITES LERNEN

### Scharfes Kriterium & Guckrichtungen bei r=20m

Versuchsperson	% Blau	%Rot	%Gelb	%Magenta	% Rest
1	3,9602	4,8228	8,8334	2,5163	79,8673
2	7,1252	5,7481	2,7039	2,7267	81,6961
3	6,6202	6,2958	1,9076	4,2162	80,9602
4	5,9272	2,0219	1,8915	2,3073	87,8521
5	17,7289	12,0692	8,3027	12,2041	49,6951
6	5,688	10,8651	3,0995	5,4837	74,6838
7	2,0318	4,1004	2,3036	2,8104	88,7537
8	3,3997	4,5671	3,0277	3,5289	85,4765
9	0	0,3191	0,1023	0,1505	99,4281
10	2,7110	3,4916	3,2033	4,1009	86,4933

Mittelwert  
Standardabweichun  
g

### Scharfes Kriterium & Zeitanteile bei r=20m

Versuchsperson	Blau in s	Rot in s	Gelb in s	Magenta in s	Rest in s
1	24,8716	30,2894	55,4778	15,8032	501,6003
2	104,0208	83,9168	39,4746	39,8080	1192,7000
3	122,4745	116,4733	35,2904	77,9989	1497,8000
4	24,2382	8,2683	7,7349	9,4352	359,2552
5	236,4973	160,9989	110,7555	162,7992	662,9159
6*	2,7839	5,3177	1,5170	2,6839	36,6407
7	7,3515	14,8363	8,3350	10,1687	321,1309
8	25,4384	34,1735	22,6545	26,4053	639,5779
9*	0	0,8835	0,2834	0,4168	275,3051
10	34,7903	44,8090	41,1082	52,6272	1110,0000

Mittelwert  
Standardabweichun  
g

## GRUPPE EXPLIZITES LERNEN

### Grobes Kriterium & Blickrichtungen bei r=20m

Versuchsperson	% Blau	% Rot	% Gelb	% Magenta	% Rest
1	12,8095	15,5488	25,1546	12,4964	33,9907
2	19,2859	29,8617	12,4119	12,9863	25,4542
3	25,5240	20,3725	11,6708	15,2895	27,1432
4	19,8239	10,7334	9,2373	12,4699	47,7355
5	27,0413	23,6298	13,6075	22,5638	13,1576
6	18,0518	21,6962	6,6076	14,4755	39,1689
7	7,2748	14,2410	7,7954	11,3338	59,3550
8	14,3764	17,4308	13,6212	14,1648	40,4068
9	1,5593	0,5479	0,8910	3,3594	93,6424
10	13,1703	13,3235	14,5485	15,5097	43,4480
Mittelwert	17,4139	18,1427	13,5059	14,6018	36,3364
Standardabweichung	6,7510	6,2450	5,2399	3,5284	14,5044

### Grobes Kriterium & Zeitanteile bei r=20m

Versuchsperson	Blau in s	Rot in s	Gelb in s	Magenta in s	Rest in s
1	80,4494	97,6529	157,9816	78,4824	213,4760
2	281,5563	435,9538	181,2029	189,5879	371,6076
3	472,1944	376,8920	215,9098	282,8566	502,1504
4	81,0662	43,8921	37,7742	50,9935	195,2057
5	360,7221	315,2130	181,5196	300,9935	175,5184
6	8,8351	10,6188	3,2340	7,0848	19,1705
7	26,3219	51,5270	28,2056	41,0082	214,7596
8	107,5715	130,4261	101,9204	105,9879	302,3438
9	4,3175	1,5170	2,4672	9,3019	259,2852
10	169,0171	170,9842	186,704	199,0398	557,5782
Mittelwert	197,3624	202,8176	136,4023	156,1187	316,5800
Standardabweichung	157,9429	152,478	71,6968	102,0195	147,0545

## GRUPPE FARBWECHSEL

### Grobes Kriterium & Blickrichtungen bei r=20 m

Versuchsperson	% Blau	% Rot	% Gelb	% Magenta	% Rest
1	13,3147	17,0425	13,462	8,6492	47,5316
2	10,5143	4,8131	2,7322	9,1017	72,8388
3	6,4120	12,6517	10,2327	6,4079	64,2957
4	15,4491	15,4345	13,9128	15,7195	39,4841
5	15,4294	13,7702	14,6548	14,0999	42,0457
6	14,9606	4,3645	13,1159	39,0776	28,4814
7	11,7662	12,6407	13,5673	14,0128	48,0129
8	11,4237	13,0096	14,2216	10,2865	51,0586
9	16,1955	21,2119	19,6130	20,0698	22,9098
10	2,7532	3,3732	8,5991	4,4582	80,8164
Mittelwert	11,8219	11,8312	12,4112	14,1882	49,7475
Standardabweichung	4,3558	5,8799	4,4511	9,9075	18,4299

### Grobes Kriterium & Zeitanteile bei r = 20 m

Versuchsperson	Blau in s	Rot in s	Gelb in s	Magenta in s	Rest in s
1	57,2781	73,3147	57,9116	37,2074	204,4742
2	20,7208	9,4852	5,3844	17,9369	143,5454
3	26,6887	52,6605	52,5919	26,6720	267,6202
4	140,9782	140,8448	126,9587	143,4454	360,3054
5	142,7786	127,4255	135,6105	130,4761	389,0778
6	11,0856	3,2340	9,7186	28,9558	21,1042
7	82,7666	88,9178	95,4358	95,5697	337,7342
8	48,3930	55,1110	60,2454	43,5754	216,2933
9	62,6459	82,0497	75,6852	77,6322	88,6177
10	6,2179	7,6182	19,4206	10,0687	182,5198
Mittelwert	59,9775	64,0661	63,8963	57,3400	221,1292
Standardabweichung	49,4987	48,3186	45,6647	49,1140	119,5895