

2 Material & Methoden

Diese Arbeit umfasst zwei große experimentelle Blöcke. In einem ersten Block wurden Mislokalisationsphänomene während sakkadischer Augenbewegungen untersucht, anschließend wurden Experimente zur Untersuchung der Mislokalisierung während Fixation durchgeführt. Im Folgenden werden die Parameter der experimentellen Designs und der Versuchsabläufe jeweils getrennt für die beiden Blöcke erläutert. Daran anschließend werden die Hilfsmittel zur Datenerhebung und –auswertung vorgestellt sowie Informationen zum generellen Ablauf der Versuche und zu den Versuchspersonen gegeben. Abschließend wird das formale Vorgehen zur Datenanalyse und –auswertung beschrieben.

2.1 Experimente zur Untersuchung der Mislokalisierung während sakkadischer Augenbewegungen

In Experimentblock I wurde untersucht, inwieweit Paradigmen, die die Aktivität von Neuronenpopulationen im Colliculus superior modulieren, einen Einfluss auf perisakkadische Mislokalisationsphänomene haben. Dies wurde in den drei Konditionen *gap*, *step* und *block* untersucht (vgl. Kap. 1.6). Im Folgenden werden zunächst die gemeinsamen Merkmale der einzelnen Konditionen besprochen, während die Unterschiede in den Einzelexperimenten erläutert werden.

2.1.1 Gemeinsame Parameter der Experimente I-A und I-B

Die Präsentation der visuellen Stimuli erfolgte auf einem 21-Zoll-Bildschirm mit homogen grauer Hintergrundfarbe (Leuchtdichte $3,0 \text{ cd/m}^2$). Bei einem Abstand des Bildschirms zum Probanden von 50 cm resultierte ein sichtbares visuelles Feld von 46° Breite und 35° Höhe. Durch Definition eines zentralen Nullpunktes (0°) ergab sich ein Wertebereich von minimal -23° für Positionen links bis maximal $+23^\circ$ für Positionen

rechts des Nullpunktes. Für den Fixationsstimulus F (Durchmesser $0,4^\circ$, Leuchtdichte $13,0 \text{ cd/m}^2$ bei grüner Farbe) wurde die Position von 0° festgelegt (vgl. Abb. 5). Als Zielpunkt für sakkadische Augenbewegungen nach rechts wurde ein Zielstimulus Z_R (Parameter entsprechend denen des Fixationsstimulus) bei $+10^\circ$, für Sakkaden nach links ein gleichartiger Zielstimulus Z_L bei -10° definiert. Zur Quantifizierung der Mislokalisationen wurde jeweils ein vertikaler Balken von $0,7^\circ$ Breite und 35° Höhe (Leuchtdichte $13,0 \text{ cd/m}^2$ bei grüner Farbe) präsentiert. Mögliche Positionen dieses Balkens waren entweder -5° , $+5^\circ$ oder $+15^\circ$ bei rechtsseitigen Sakkaden bzw. -15° , -5° oder $+5^\circ$ bei linksseitigen Sakkaden. Zum Ende eines Einzelversuchs erschien ein horizontales Lineal (Leuchtdichte $13,0 \text{ cd/m}^2$ bei grüner Farbe) mit einer Einteilung in Grad und einem Mauszeiger an der Position des Zielstimulus.

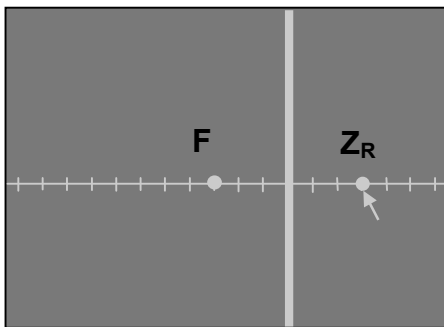


Abbildung 5: schematische Übersicht über alle verwendeten visuellen Stimuli bei einem Einzelversuch mit nach rechts durchzuführender Sakkade und Balken an Position von 5° (Bildschirmausschnitt); die dargestellten Stimuli wurden sequentiell präsentiert; weitere Erklärungen im Text

2.1.2 Ablauf einer Experimentreihe mit sakkadischen Augenbewegungen

An insgesamt 6 Tagen wurden jeweils 6 Messreihen mit je 36 Einzelversuchen für die drei Konditionen durchgeführt. Vor Beginn einer Experimentreihe wurde der Proband über den allgemeinen Ablauf des Experiments und allgemeine Verhaltensregeln in Kenntnis gesetzt, die in Kapitel 2.3 genauer beschrieben werden. Anschließend wurde er darüber informiert, dass Beginn und Ende einer jeden Messreihe durch eine Kalibrationsmessung markiert wird. Dabei soll das Wechseln von Kalibrationspunkten zwischen den Positionen -10° , 0° und 10° mit nachfolgenden sakkadischen Augenbewegungen beantwortet werden. Anschließend wurde mit Hilfe einiger Probedurchläufe der jeweilige Versuch nach einem standardisiertem Schema erläutert. Die Versuchsperson wurde angewiesen, den erscheinenden Fixationsstimulus F genau zu fixieren und das Auftauchen des Zielstimulus Z mit einer schnellen, präzisen Augenbewegung zu

beantworten. Darüber hinaus wurde erläutert, dass kurz vor, während oder nach der Augenbewegung an einer beliebigen Stelle auf dem Bildschirm ein vertikaler Balken erscheinen würde. Dieser solle zwar registriert werden, die Sakkade jedoch nur zu dem Zielstimulus und nicht zu dem Balken erfolgen. Anschließend erscheine ein Lineal, auf dem der Proband mit Hilfe einer Maus innerhalb von 5 Sekunden die Position des Balkens anzeigen sollte. Daraufhin beginne der nächste Einzelversuch. Der Proband erhielt keine Rückmeldung über die tatsächlichen Positionen der Balken bzw. über die Exaktheit ihrer Eingaben und wurde angewiesen, nicht nach einem Muster in der Versuchsanordnung zu suchen. Anschließend erfolgte vor Beginn der Messung ein Probedurchlauf.

Zum besseren Verständnis wird hier ein Überblick über den Ablauf eines Einzelversuches gegeben. Die einzelnen Konditionen werden in den Kapiteln 2.1.3 und 2.1.4 genau erläutert.

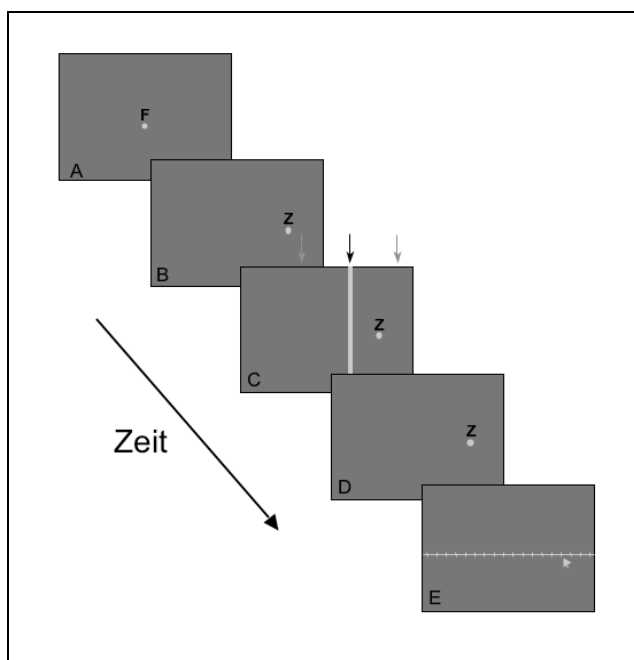


Abbildung 6:
schematischer Ablauf eines Einzelversuchs (Kondition *step* mit Sakkade nach rechts und Balkenposition bei 5°, die drei Pfeile in Bild C entsprechen den drei möglichen Balkenpositionen; F bezeichnet den Fixationsstimulus, Z den Zielstimulus), weitere Erklärungen im Text, Beschriftung der Schemata mit Buchstaben erfolgte zur besseren Zuordnung im Text

Zu Beginn eines Einzelversuchs erschien der Fixationsstimulus F, der vom Probanden fixiert wurde (Abb. 6A). Nach einem variablen Zeitintervall von 2 bis 5 s erlosch der Fixationsstimulus und der Zielstimulus erschien (Abb. 6B). Dies wurde von den Probanden möglichst schnell und exakt mit einer sakkadischen Augenbewegung zum Zielstimulus beantwortet. Zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurde der

Beginn der Sakkade zeitlich als Null definiert. Ereignisse vor diesem Punkt wurden demnach durch negative, darauf folgende Ereignisse durch positive Zeitwerte in ms definiert (vgl. Kap. 2.1.3).

Zu verschiedenen Zeitpunkten wurde an einer von drei möglichen Positionen ein vertikaler Balkenstimulus für 8 ms präsentiert (Abb. 6C). Dabei wurde der Zeitpunkt der Balkenpräsentation unter Berücksichtigung durchschnittlicher Latenzen jeweils für die einzelnen Konditionen so gewählt, dass möglichst viele Messwerte in den Zeitbereich der erwarteten Mislokalisierungseffekte fielen. Sowohl Zeit als auch Ort der Balkenpräsentation waren randomisiert und so für den Probanden nicht vorhersagbar. Nach Erlöschen des Zielstimulus (Abb. 6D) erschienen das horizontale Lineal und der Mauszeiger, mit dem der Proband zügig aber genau die von ihm wahrgenommene Bildschirmposition des Balkens auf dem Lineal angab (Abb. 6E). In dieser Zeit durfte der Proband die Augen frei bewegen. Die Angabe der Position des Balkens mit der Maus durch den Probanden wurde als abhängige Variable definiert.

2.1.3 Experiment I-A: Das *gap*-Paradigma im Vergleich mit dem *step*-Paradigma

Wie in Kapitel 1.4 beschrieben, ist der Colliculus superior eine Hirnstammstruktur, die einen wesentlichen Beitrag zur Generierung eines ERP-Signals zu leisten scheint. Eine Modulation der Aktivität von Neuronenpopulation dieser Struktur sollte dementsprechend zu einer messbaren Veränderung des ERP-Signals führen. Um diese Hypothese zu prüfen, wurden in einem ersten Experiment die Konditionen *gap* und *step* verglichen. Die verwendeten visuellen Stimuli sind in Kapitel 2.1.1., der allgemeine Versuchsablauf in Kapitel 2.1.2 beschrieben.

Als unabhängige Variable wurde in diesem Experiment der unterschiedliche Zeitabstand zwischen Erlöschen des Fixationsstimulus und Erscheinen des Zielstimulus definiert. In der Kondition *step* betrug dieser Zeitabstand 0 ms und in der Kondition *gap* 200 ms (gemäß Fischer et al. 1997). Der Zielstimulus wurde in beiden Konditionen randomisiert entweder links oder rechts präsentiert. Der Balken wurde ebenfalls

randomisiert an einer der drei für die jeweilige Sakkadenrichtung festgelegten Positionen dargeboten. Sowohl in der Kondition *step* als auch in der Kondition *gap* war die Unsicherheit der Probanden hinsichtlich der zukünftigen Sakkadenrichtung in einem Einzelversuch ein konstantes Merkmal des Ablaufs des Experimentes I-A. Im Experiment I-B wurde in der Kondition *block* die Unsicherheit aufgehoben und die Ergebnisse mit der Kondition *step* aus diesem Experiment verglichen (vgl. Kap. 2.1.4).

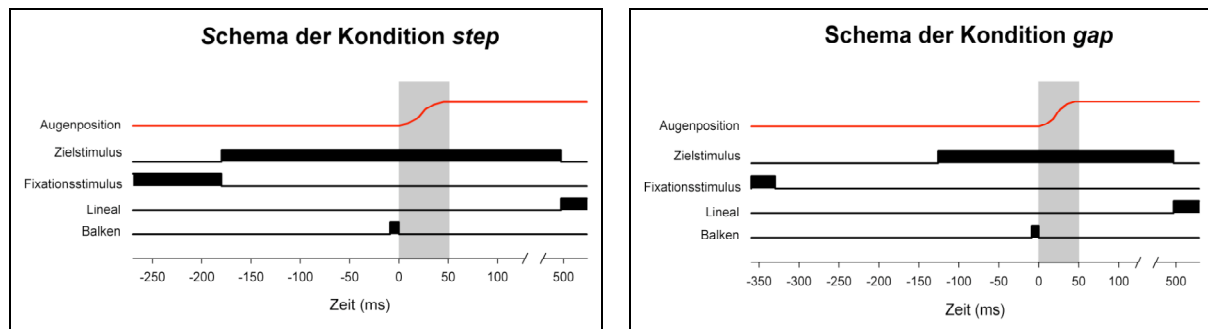


Abbildung 7: schematische Darstellung der zeitlichen Stimulanordnung in den Konditionen *step* und *gap*; die graue Fläche entspricht der Dauer der Sakkade, die in der Abbildung durch die Veränderung der Augenposition verdeutlicht wird, Präsentationszeitpunkt des Balkens als Beispiel bei -8 ms; genauere Erklärungen im Text

Es ist zu erwarten, dass der Wegfall des visuellen Fixationsstimulus in der Kondition *gap* 200 ms vor Erscheinen des Zielstimulus (vgl. Abb. 7) vergleichbar mit tierexperimentellen Befunden eine verminderte Aktivität von Fixationsneuronen des Colliculus superior bewirkt (Sparks 2002). Dies sollte im Auftreten einer erhöhten Anzahl von Express-Sakkaden mit sehr kurzen Latenzen im Vergleich zur Kondition *step* deutlich werden (Fischer et al. 1997, vgl. Kap. 1.4). In der Kondition *step* erlischt der Fixationsstimulus erst bei Erscheinen des Zielstimulus (vgl. Abb. 7). Der Anteil der Express-Sakkaden sollte in dieser Kondition entsprechend geringer sein.

Die Bestimmung der sakkadischen Latenzen nach der Präsentation des Zielstimulus wurde folglich als Mittel verwendet, den Grad der Aktivierung von Neuronenpopulationen im Colliculus superior zu bestimmen. Der Zeitpunkt der Balkenposition war durch Berücksichtigung der unterschiedlich langen Latenzen in den einzelnen Konditionen unterschiedlich. Um möglichst viele Messwerte im zeitlichen Bereich der erwarteten Mislokalisierung zu erhalten (vgl. Kap. 1.5.1) erfolgte die Balkenpräsentation in der Kondition *step* in einem Bereich zwischen 100 ms und

300 ms, in der Kondition *gap* zwischen 50 ms und 250 ms nach Erscheinen des Zielstimulus. Um etwaige Gewöhnungseffekte und Unterschiede in der Tagesform der Probanden als Fehlerquelle zu kontrollieren, wurde jeder Proband in den Konditionen *gap* und *step* alternierend mit je 3 Messreihen für eine Kondition pro Tag an insgesamt 4 Tagen gemessen. Nachdem die Probanden instruiert wurden (vgl. Kap. 2.1.2), erfolgte der ausdrückliche Hinweis, dass der Zielstimulus randomisiert sowohl links- als auch rechtsseitig erscheinen könne. Die Probanden wurden jedoch nicht darauf hingewiesen, dass sich die Messreihen hinsichtlich der Kondition *gap* und *step* unterschieden.

2.1.4 Experiment I-B: Das *block*-Paradigma im Vergleich mit dem *step*-Paradigma

Eine weitere behaviorale Methode, die Aktivität von Neuronenpopulationen des Colliculus superior zu verändern, ist die Erhöhung der räumlichen Vorhersagbarkeit eines visuellen Stimulus (vgl. Kap. 1.4). Dies wurde im folgenden Experiment mit der Kondition *block* untersucht. Im Gegensatz zur Kondition *step* wurde den Probanden vor Beginn der Messungen mitgeteilt, in welche Richtung die Sakkade auszuführen sei, d. h. ob der Zielstimulus auf der linken oder der rechten Bildschirmhälfte erscheinen werde. Insgesamt wurden 12 Messreihen an 2 Tagen pro Proband durchgeführt. Am ersten Tag erfolgten Versuche mit Sakkaden nach rechts und am zweiten Tag Sakkaden nach links. Das Wissen um die Richtung der auszuführenden Sakkade wurde als unabhängige Variable definiert und mit den Ergebnissen des Telexperiments mit der Kondition *step* aus dem Vorversuch verglichen. Dies war der einzige Parameter, in dem sich diese beiden Konditionen unterschieden. Formaler Ablauf des Experiments und Stimuluspräsentation erfolgte analog der Kondition *step* (vgl. Kap. 2.1.3).

2.2 Experimente zur Untersuchung der Mislokalisierung während Fixation

In Experimentblock II wurde untersucht, ob auch in der Bedingung der Fixation, d. h. ohne Augenbewegung zu einem Zielstimulus, eine Mislokalisierung ähnlich der perisakkadischen gefunden werden kann. An Stelle einer sakkadischen Augenbewegung wurde in den Experimenten ein *blank*, ein Erlöschen des Bildschirms für 50 ms, eingefügt, um die während einer Sakkade bestehende Suppression visueller Stimuli zu simulieren (vgl. Kap. 1.5.1). In dem Teilexperiment II-A wurde die zeitliche Dynamik der Mislokalisierung, in II-B der Einfluss der zeitlichen Konstanz von visuellen Referenzen, in II-C der Effekt einer räumlichen Inkongruenz der visuellen Referenzen vor und nach dem *blank* gemessen. Im Folgenden werden zunächst die Parameter erläutert, die in allen Teilexperimenten konstant gehalten wurden. Anschließend werden der Versuchsaufbau und –ablauf der einzelnen Teilversuche erläutert.

2.2.1 Gemeinsame Parameter der Experimente II-A, II-B und II-C

Zur Präsentation der Stimuli wurde ein 21-Zoll-Bildschirm mit homogener grauer Hintergrundfarbe (Leuchtdichte 3 cd/m^2) verwendet. Durch einen Bildschirmabstand von 50 cm zum Probanden wurde ein visuelles Feld mit den Maßen 46° Breite und 35° Höhe geschaffen, dessen Skalierung analog des Experimentblocks I mit zentralem Nullpunkt und einem Messbereich von -23° bis $+23^\circ$ erfolgte. Um ein monitorbedingtes Nachbild von hellen Stimuli und eine dadurch folgende Verfälschung der Perzeption der Probanden weitestgehend zu vermeiden, wurden in diesen Versuchen ausschließlich schwarze visuelle Stimuli verwendet (Leuchtdichte $<0,1 \text{ cd/m}^2$). Der Fixationsstimulus F (Durchmesser $0,4^\circ$) wurde an der Position 0° präsentiert, ein peripherer Stimulus P in den Experimenten II-A und II-C an der Position -10° (vgl. Abb. 8), im Experiment II-C an später beschriebenen Positionen. Der vertikale Balken zur Quantifizierung der Mislokalisierung (Größe $0,7^\circ \times 35^\circ$) wurde randomisiert an einer von je nach Experiment unterschiedlichen Anzahl verschiedener Positionen für 5 ms präsentiert. Zum Ende eines Einzelversuchs wurden das horizontale Lineal mit Einteilung in Grad sowie der

Mauszeiger an der Position des Fixationsstimulus präsentiert. Hiermit erfolgte eine Positionsangabe der wahrgenommen Balkenposition durch die Probanden. Das Auge durfte hierbei frei bewegt werden. Das Ergebnis dieses Positionsurteils wurde als unabhängige Variable definiert. Es erfolgte keine Rückmeldung über die Akkuratheit dieser Eingabe an die Probanden.

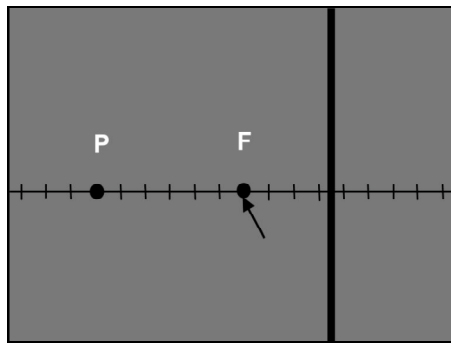


Abbildung 8: schematische Übersicht über alle verwendeten Stimuli im Experimentblock II während Fixation mit Fixationsstimulus (F) an der Position 0° und peripherem Stimulus (P) bei -10° und Balken an Position 7° (Bildschirmausschnitt); die Stimuli wurden im Einzelerperiment entsprechend sequentiell präsentiert; weitere Erklärungen im Text

Nach der allgemeinen Instruktion der Probanden (vgl. Kap. 2.3.1) erfolgte eine manuell gesteuerte Demonstration eines Einzelversuchs zur Erklärung des Versuchsablaufs. Anschließend erfolgte ein Probedurchlauf einer Messreihe. Die Probanden wurden angewiesen, den Fixationsstimulus genau zu fixieren und sakkadische Augenbewegungen zu vermeiden. Um dies zu prüfen, wurden auch in diesem Experiment die Augenbewegungen der Probanden aufgezeichnet und ausgewertet. Dazu erfolgte eine Kalibration vor und nach jeder Messreihe entsprechend des Experimentblocks I (vgl. Kap. 2.1.2).

2.2.2 Experiment II-A: Das *blank*-Paradigma

In diesem Experiment wurde untersucht, in welchem Umfang die Mislokalisierung auch in der Bedingung der Fixation auftritt. Ein ERP-Signal, das sich einer sakkadischen Efferenzkopie der motorischen Innervation der Augenmuskeln bedient (vgl. Kap. 1.2) dürfte unter dieser Bedingung keine Bedeutung haben. Wenn ein derartiges Signal tatsächlich maßgeblich für die Mislokalisierung wäre, wäre zu erwarten, dass sich keine Mislokalisierung zeigt. In der neueren Literatur wird jedoch beschrieben, dass auch bei visuell simulierten Sakkaden ohne Durchführung einer Augenbewegung eine

Misllokalisierung nachweisbar sei (Ostendorf et al. 2005). Daraus wurde die Hypothese abgeleitet, dass auch allein durch einen *blank* (vgl. Kap. 2.2.1) eine Misllokalisierung beobachtet werden kann. Um dies zu prüfen, wurde das folgende Experiment durchgeführt.

An einem Tag wurden für einen Probanden 6 Messreihen mit jeweils 30 Einzelversuchen durchgeführt. In einem Einzelversuch wurde unter Benutzung der in Kapitel 2.2.1 genannten Parameter der Fixationsstimulus an der Position 0° präsentiert. Nach einem variablen Zeitraum von 2 bis 5 s wurde ein peripherer Stimulus bei -10° präsentiert. Es erfolgte jedoch keine Sakkade zu diesem Stimulus, der Proband fixierte weiterhin den Fixationsstimulus. Nach 200 ms wurde der *blank* mit einer Dauer von 50 ms dargeboten. Der Beginn dieser Präsentation wurde zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse als zeitlicher Nullpunkt definiert. Danach wurden Lineal, Fixations- und Zielstimulus entsprechend der allgemeinen Parameter präsentiert (vgl. Kap. 2.1.1). An jeweils einer der Positionen -15° , -5° , $+5^\circ$ und $+15^\circ$ wurde vor dem *blank* ein vertikaler Balken für eine Dauer von 5 ms präsentiert. Dies erfolgt zu unterschiedlichen Zeitpunkten zwischen 150 ms und 5 ms vor dem *blank*.

2.2.3 Experiment II-B: Das *gap-blank*-Paradigma

In diesem experimentellen Teil wurde untersucht, inwieweit eine zeitlich unterschiedliche Präsentation von visuellen Referenzstimuli vor und nach dem *blank* Auswirkungen auf die Misllokalisierung hat. Es wurde die Hypothese aufgestellt, dass, ähnlich wie die postsakkadischen Referenzen bei sakkadischen Augenbewegungen (Lappe et al. 2000), in diesem Experiment die Referenzen nach dem *blank* eine stärkere Bedeutung für die Ausprägung der Misllokalisierung besitzen. Zu diesem Zweck wurden 6 verschiedene Konditionen untersucht, die sich in der zeitlichen Präsentation der visuellen Referenzen unterschieden. Hierzu wurde ein *gap* zu unterschiedlichen Zeitpunkten eingefügt.

Strukturell orientierten sich die einzelnen Konditionen am Ablauf des Experimentes II-A. Die Präsentation des Balkens erfolgte jedoch ausschließlich entweder 150 ms oder 5

ms vor dem *blank*. Um die Positionsabhängigkeit der Mislokalisierung besser einschätzen zu können, wurden 31 verschiedene Balkenpositionen in einem Bereich von -15° bis $+15^\circ$ untersucht. Zum besseren Verständnis der einzelnen Konditionen erfolgte ihre Benennung mit Hilfe von Abkürzungen. Verschiedene experimentelle Elemente, die im jeweiligen Versuchsablauf verwendet wurden, werden durch Buchstaben repräsentiert. Ihre Reihenfolge entspricht dem zeitlichen Ablauf des Experimentes.

- F:** Fixation des Probanden bei erstmaligem Erscheinen des Fixationsstimulus
- B:** Präsentation des Balkens
- L:** Präsentation des Lineals
- G:** Einfügen eines *gap* mit der Dauer von 150 ms vor dem *blank* bzw. 500 ms nach dem *blank*

Bei den folgenden Konditionen wurde der Balken wie oben beschrieben entweder 150 ms bzw. 5 ms vor Erscheinen des *blank* und an einer der 31 möglichen Positionen präsentiert. An einem Tag wurde für einen Probanden eine Kondition in 6 Messreihen mit je 31 Einzelversuchen untersucht. Der allgemeine strukturelle Ablauf entsprach Experiment II-A. Die Probanden erhielten keine Informationen über die Besonderheiten der einzelnen Konditionen, die nachfolgend erläutert werden.

Die Kondition FBL

Die Präsentation der visuellen Stimuli in diesem Telexperiment entsprach der des Experimentes II-A (vgl. Kap. 2.2.2). Nach Fixation des Fixationsstimulus (**F**) erschienen nach variablen Zeitintervallen der periphere Stimulus und der *blank* (**B**). Unmittelbar nach dem *blank* erfolgte die Präsentation von Lineal, Fixationsstimulus und peripherem Stimulus (**L**, vgl. Abb. 9).

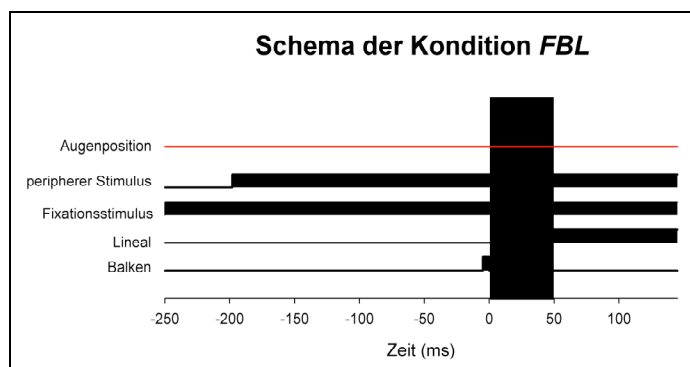


Abbildung 9: zeitliche Stimulanordnung der Kondition FBL (Fixation – *blank* von 0 ms bis 50 ms – Lineal und Stimuli), die schwarze Fläche entspricht dem *blank*; der Zeitpunkt der Balkenpräsentation ist hier 5 ms vor *blank*-Präsentation

Die Kondition *FGBL*

Im Unterschied zur Kondition *FBL* wurde in dieser Kondition nach Erscheinen des peripheren Stimulus 150 ms vor Erscheinen des *blank* (**B**) ein *gap* (**G**) von 150 ms Dauer präsentiert und so die visuellen Referenzen vor dem *blank* manipuliert (vgl. Abb.10).

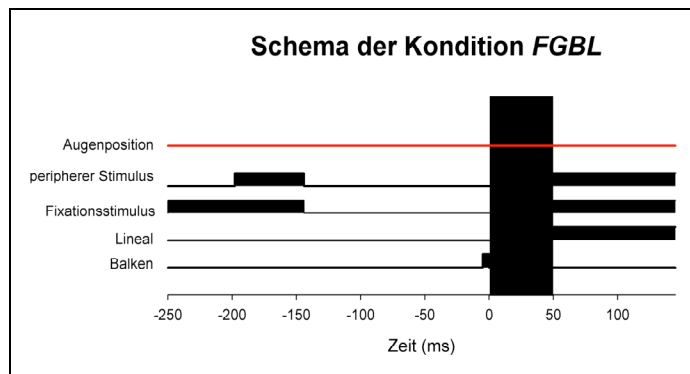


Abbildung 10:

zeitliche Stimulusanordnung der Kondition *FGBL* (Fixation – *gap* von 150 ms Dauer – *blank* von 0 ms bis 50 ms – Lineal und Stimuli), die schwarze Fläche entspricht dem *blank*, der Zeitpunkt der Balkenpräsentation ist hier 5 ms vor *blank*-Präsentation

Die Kondition *FBGL*

In dieser Kondition wurden die visuellen Referenzen nach dem *blank* (**B**) erst nach einem *gap* (**G**) von 500 ms Dauer dargeboten (vgl. Abb.11).

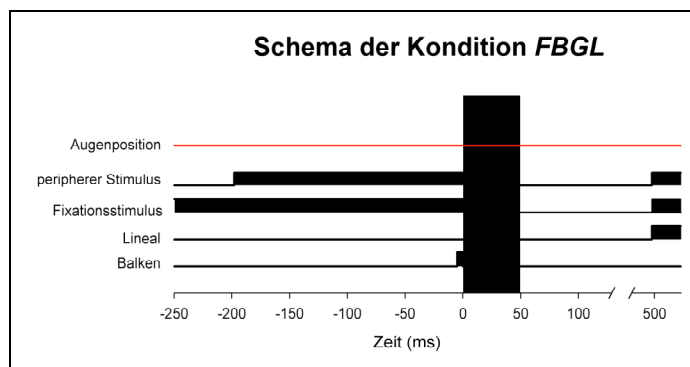


Abbildung 11:

zeitliche Stimulusanordnung der Kondition *FBGL* (Fixation – *blank* von 0 ms bis 50 ms – *gap* von 500 ms Dauer – Lineal und Stimuli), die schwarze Fläche entspricht dem *blank*, der Zeitpunkt der Balkenpräsentation ist hier 5 ms vor *blank*-Präsentation

Die Kondition *FBL(-)*

Diese Kondition entsprach in ihrem Ablauf der Kondition *FBL*, die Präsentation nach dem *blank* umfasste jedoch nur das Lineal und den Fixationsstimulus mit dem Mauszeiger. Der periphere Stimulus wurde nicht erneut präsentiert. Auch in dieser Kondition wurde also die zeitliche Variation, hier das Fehlen, visueller Referenzen nach dem *blank* untersucht. In dieser Kondition wurde allerdings speziell der Einfluss des peripheren Stimulus auf die Mislokalisierung untersucht.

In den folgenden beiden Konditionen wurde der Balken nur 5 ms vor dem *blank* präsentiert.

Die Kondition *FGBGL*

Es wurde in dieser Kondition sowohl ein *gap* von 150 ms Dauer vor dem *blank* als auch ein zweiter *gap* von 500 ms Dauer unmittelbar nach dem *blank* präsentiert (vgl. mit den Schemata der Konditionen *FGBL* und *FBGL*). Hierdurch wurden die sich möglicherweise beeinflussenden Effekte einer Modulation der Referenzen vor und nach *blank*-Präsentation untersucht.

Die Kondition *FGL*

Mit dieser Bedingung wurde der generelle Einfluss des *blank* in der Kondition *FBL* verglichen. Im Unterschied zu der Kondition *FBL* erfolgte in dieser Kondition nur die Präsentation eines *gap* für 50 ms, also ein Wegfall der präsentierten visuellen Referenzstimuli bei weiterhin erleuchtetem Bildschirm. Der weitere Ablauf entsprach der Kondition *FBL*.

2.2.4 Experiment II-C: Das Inkongruenz-Paradigma

Nach Untersuchung der Auswirkung einer unterschiedlichen zeitlichen Präsentation von visuellen Referenzen in Experiment II-B wurde in Experiment II-C die Auswirkung einer unterschiedlichen räumlichen Präsentation auf die Mislokalisierung geprüft. Es wurde untersucht, inwiefern die Mislokalisierung durch eine räumliche Inkongruenz der vor und nach dem *blank* präsentierten Stimulusanordnung beeinflusst wird. In Übereinstimmung mit der Hypothese des Telexperimentes II-B, in der in den Referenzen nach dem *blank* der maßgebliche Einfluss für die Mislokalisierung postuliert wurde, wurde auch für dieses Experiment die Hypothese abgeleitet, dass eine Abhängigkeit der Mislokalisierung von Referenzen nach dem *blank* besteht.

Zur Prüfung dieser Hypothese wurden die Konditionen *FBL*12,5, *FBL*10 und *FBL*7,5 verwendet. Der Ablauf der Messreihen und zeitliche Präsentation der Stimuli erfolgte gemäß den für die Kondition *FBL* aufgestellten Parametern (vgl. 2.2.3). Dementspre-

chend erfolgte die Präsentation des Fixationsstimulus mit anschließender Darbietung des peripheren Stimulus bei -10° und des *blank*. Die räumliche Position der peripheren Stimuli nach dem *blank* wurde hingegen variiert. Wie in der Kondition FBL erschienen das Lineal und der Fixationsstimulus mit dem Mauszeiger. Der periphere Stimulus wurde in der Kondition FBL10 an der vorherigen Position von -10° , in der Kondition FBL12,5 an der Position $-12,5^\circ$ und in der Kondition FBL7,5 bei $-7,5^\circ$ dargeboten. Ausschließlich die Position des peripheren Stimulus wurde nach dem *blank* verändert. Der weitere Ablauf der Messreihe erfolgte entsprechend dem der Kondition FBL. Die Probanden erhielten keine Informationen über die Unterschiede der einzelnen Konditionen sowie keine Rückmeldung über die Korrektheit ihrer Positionseinschätzung.

In der nachfolgenden Tabelle 1 ist zusammenfassend das grundlegende methodische Vorgehen dieser Arbeit dargestellt. Wesentlich ist die Gliederung in zwei große experimentelle Blöcke, die Messung der Mislokalisierung während I) sakkadischer Augenbewegungen und II) Fixation. Die experimentellen Modulationen und Fragestellungen werden schlagwortartig vorgestellt. Die Zuordnung der Einzelexperimente ist in der Zeile „Konditionen“ aufgeführt.

	I Sakkadische Augenbewegung		II Fixation		
Ziel	Modulation ERP-Signal		Ausschluss ERP-Signal		
Experiment	I-A <i>gap / step</i>	I-B <i>block / step</i>	II-A <i>blank</i>	II-B <i>gap-blank</i>	II-C <i>Inkongruenz</i>
Modulation	Latenz (Express-Sakkaden)	Latenz (Antizipation)	Suppression	visuelle Referenz (zeitliche Position)	visuelle Referenz (räumliche Position)
Frage	Mislokalisierung Modulation?	Mislokalisierung Modulation?	Mislokalisierung Auftreten?	Mislokalisierung Modulation?	Mislokalisierung Modulation?
Konditionen	<i>gap step</i>	<i>block step</i>	<i>blank</i>	<i>FBL FGBL, FBGL, FGBGL FBL(-) FGL</i>	<i>FBL12,5 FBL10 FBL7,5</i>

Tabelle 1: Darstellung des methodischen Vorgehens dieser Arbeit

2.3 Versuchspersonen und allgemeiner Versuchsaufbau

In diesem Kapitel werden allgemeine Informationen zu den Versuchspersonen und dem allgemeinen Ablauf der Experimente gegeben. Diese Angaben besitzen für alle durchgeführten Versuche Gültigkeit. Die spezifischen Besonderheiten der einzelnen Experimente werden in den jeweiligen Kapiteln erläutert

Ein Kollektiv aus jeweils 4 Versuchspersonen nahm an den einzelnen experimentellen Blöcken teil. Die Probanden wurden darüber aufgeklärt, an einem okulomotorischen Experiment teilzunehmen. Für den ersten Block wurden zwei Frauen und zwei Männer im Alter zwischen 24 und 32 Jahren rekrutiert (Mittelwert 26,5 Jahre), am zweiten Block nahmen zwei Frauen und zwei Männer im Alter zwischen 24 und 27 Jahren teil (Mittelwert 25,25 Jahre). Alle Versuchspersonen waren rechtshändig und wiesen keine Sehbehinderung auf, die 0,5 Dioptrien überschritt. Für keinen der Probanden war eine neurologische, psychiatrische oder ophtalmologische Erkrankung bekannt. Keine der Versuchspersonen nahm zum Zeitpunkt der Untersuchung regelmäßig Medikamente ein. Für ihre Teilnahme erhielten die Probanden eine Aufwandsentschädigung von 10,- € pro Stunde.

Die Messungen erfolgten in einem abgedunkelten Raum der Arbeitsgruppe „Kognitive Okulomotorik“ der Charité Berlin. Zu Beginn der ersten Messreihe wurde den Probanden das Prinzip der Messung ihrer Augenbewegungen mit Hilfe der Infrarot-okulographie erklärt (vgl. Kap. 2.4). Sie wurden angewiesen, während einer Messreihe möglichst wenig zu blinzeln und den Kopf ruhig zu halten. Anschließend wurde ihnen der zeitliche Ablauf einer Messreihe erklärt. Hierbei wurden sie darauf hingewiesen, dass der Beginn der Kalibrationsmessung auf dem Bildschirm durch „Kalibration“, ihr Ende durch „Ende Kalibration“ angekündigt würde. Der Beginn der Messreihe beginne mit der Bildschirmmitteilung „Beginn der Messreihe“. Bezüglich der Experimente waren sie naiv und wurden erst nach Abschluss aller Messreihen über die Ziele der Untersuchungen aufgeklärt.

2.4 Datenerhebung

Die Augenbewegungen der Probanden wurden mit Hilfe der Infrarotokulographie aufgezeichnet. Das zugrunde liegende Prinzip dieser Messung basiert auf der Detektion und Auswertung des von dem Auge reflektierten Lichtes einer Infrarotquelle. Verwendet wurde ein Infrarotokulographie-System der Firma AMTech (Weinheim, Deutschland), das in Abbildung 12 dargestellt ist. Bei diesem System wird durch eine unterhalb des Auges positionierte Leuchtdiodenleiste Licht im Infrarotbereich (950 nm) emittiert. Das emittierte Licht wird durch eine vor der LED-Leiste angebrachte, zylindrische Linse auf das Auge projiziert und von Sklera, Kornea, Iris und Pupille in unterschiedlichem Grad reflektiert. Ein Teil der von dem Auge reflektierten Infrarotwellen wird von einer vor dem Kopf der Versuchsperson in einem definierten Winkel positionierten Glasplatte erneut reflektiert, Licht im sichtbaren Spektrum wird von dieser Platte jedoch nicht beeinflusst. Das von der Glasplatte reflektierte Infrarotlicht kann nun nach Refraktion durch ein Linsensystem mit Hilfe von Photodioden detektiert werden. Der Stromfluss durch eine Photodiode ist abhängig vom dem Licht, welches die Photodiode erreicht. Die sequentielle Analyse der Stromflüsse ermöglicht die Umwandlung der Photosignale in ein Videosignal.



Abb. 12:
Darstellung des verwendeten Infrarotokulographie-Systems; zu erkennen sind der Computermonitor, die Glasplatte und unterhalb der Glasplatte die Photodiode, ferner das Beißbrett mit der Kinnstütze; weitere Erklärungen im Text

Um Kopfbewegungen der Probanden zu vermeiden, wurde der Kopf der Versuchsperson mit Hilfe einer Kinnstütze und eines Beißbrettes fixiert. Dazu wurde vor Beginn der Experimente mittels einer zahnmedizinischen Kunststoffmasse (Reprosil Easy Mix Putty, Dentsply Detrey, Konstanz, Deutschland) ein individueller Gebissabdruck der Versuchspersonen angefertigt. Zur Erfassung der Reaktionen der Probanden wurde eine Computermaus als Eingabegerät benutzt, die bequem mit der rechten Hand gehalten wurde. Während der Vorbereitung der Experimente war der Messraum schwach erleuchtet. Nach korrekter Positionierung und Fixierung des Probanden mit Hilfe des Beißbrettes wurde das Augenbewegungsmesssystem zur Sicherstellung der korrekten Erfassung der Irisränder justiert und anschließend der Raum für die Zeit der Experimente verdunkelt (Luminanz $<0,1 \text{ cd/m}^2$).

Vom Messsystem erfasst wurde die Änderung des Reflexionsgrades am Übergang von Iris zu Pupille. Diese Änderung erlaubte die elektronische Reduktion des gewonnenen Videosignals auf ein digitales Signal der Koordinaten des medialen und des lateralen Pupillenrandes in einer zweidimensionalen horizontalen Ebene. Das gewonnene Videosignal konnte während der Versuchsdurchläufe durch ein parallel geschaltetes Oszilloskop kontrolliert werden. Die erfassten Daten wurden von einem nachgeschalteten Computer während des experimentellen Blocks kontinuierlich aufgezeichnet. Eine durch das Messprogramm EYEMAP (AMTech, Weinheim, Deutschland) durchgeführte Mittelung der Position der beiden Pupillenränder erlaubte einen Rückschluss auf die jeweilige Augenposition in der horizontalen Ebene. Sie blieb unbeeinflusst von der Änderung des Durchmessers der Pupille. Die Aufzeichnung der Augenbewegungen erfolgte monokulär am rechten Auge der Versuchsperson mit einer Frequenz von 200 Hz. Dementsprechend lag die zeitliche Auflösung der Messung bei 5 ms. Die Präsentation der visuellen Reize erfolgte auf einem PC-gesteuerten 21-Zoll-Farbmonitor. Sowohl die Darbietung des Reizmaterials als auch die Aufzeichnung der Reaktionszeiten und der Positionsurteile der Probanden wurden mit Hilfe der Software ERTS (Experimental Run Time System, BeriSoft Cooperation, Frankfurt) durchgeführt.

Nach Abschluss einer Messreihe erfolgte die Auswertung der aufgezeichneten Augenbewegungen im halbautomatischen Modus des Programms EYEMAP. Als ausgeführte Sakkade wurde eine Abweichung der Augenposition von mehr als $0,5^\circ$ ausgehend von der Fixation definiert. Als Kriterium für den Beginn einer Sakkade wurde

das Überschreiten einer Winkelgeschwindigkeit von 35°/s festgelegt (gemäß Leigh et al. 1999). Die maximale Geschwindigkeit einer Sakkade wurde durch das Programm EYEMAP direkt erfasst, ihre Amplitude manuell ermittelt. Mit Hilfe eines Steuersignals, das das Programm ERTS bei Präsentation des visuellen Zielstimulus erzeugte, wurden die Latenzen der Sakkaden und der Zeitpunkt der Präsentation des vertikalen Balkens bezogen auf den Beginn der Sakkade bzw. des *blank* bestimmt. Der Beginn der Sakkade wurde zeitlich als Nullpunkt festgelegt. Zeitpunkte mit negativem Vorzeichen lagen zeitlich dementsprechend vor, Zeitpunkte mit positivem Vorzeichen nach Beginn der sakkadischen Augenbewegung.

Als Ausschlusskriterien für einen Einzelversuch des Experimentblocks I wurden das Feststellen von Blinzeln sowie das Ausführen einer Sakkade vor Erscheinen des Zielstimulus sowie eine Abweichung der Sakkadenziels vom Zielstimulus von mehr als einem Grad festgelegt. Ausschlusskriterium für einen Einzelversuch des Experimentblocks II waren das Ausführen einer sakkadischen Augenbewegung entsprechend der obigen Definition oder das Blinzeln vor Präsentation des Lineals. Dies war notwendig, da genannte Kriterien einen starken Einfluss auf das retinale Bild ausüben und eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse verhindern würden.

2.5 Datenanalyse

Im Folgenden werden zunächst die allgemeinen Hilfsmittel und Methoden zur Datenanalyse vorgestellt. Die genaue Beschreibung der für die beiden experimentellen Blöcke spezifischen angewendeten Methoden erfolgt anschließend getrennt.

Die durch die Programme EYEMAP und ERTS gespeicherten Daten wurden in tabellarischer Form in das Tabellenkalkulationsprogramm Excel 2000 (Microsoft Corporation, USA) übertragen. Um möglichen Verfälschungen der Messergebnisse durch geringfügige Veränderung der Kopfposition der Probanden Rechnung zu tragen, erfolgte die Korrektur der Sakkadenamplituden und –maximalgeschwindigkeiten durch Multiplikation mit einem Eichfaktor. Dieser wurde mit Hilfe einer Kalibrationsmessung berechnet, die vor und nach jeder Messreihe durchgeführt wurden. Die ersten 50%

einer Messreihe wurden mit der Kalibration zu Beginn, die zweiten 50% mit der zum Ende durchgeführten Kalibration berechnet. Jeweils zwei Sakkaden nach links und zwei Sakkaden nach rechts wurden hierbei vom Probanden durchgeführt. Der Mittelwert (MW) der Amplituden der Kalibrationssakkaden in eine Richtung war Grundlage für die Berechnung des Eichfaktors für Sakkaden der entsprechenden Richtung im Einzelversuch. Da der Zielstimulus einen realen Abstand vom Fixationsstimulus von 10° aufwies, wurde für den Eichfaktor die Berechnung $10/MW_{\text{RECHTS}}$ für Sakkaden nach rechts bzw. $10/MW_{\text{LINKS}}$ für Sakkaden nach links aufgestellt. Ausschließlich diese kalibrierten Daten waren Grundlage der weiteren Datenanalyse und werden im Folgenden nicht mehr näher als solche bezeichnet.

Wie in Kapitel 1.6 und 2.3.1 beschrieben, wurden entsprechend vorheriger Studien in dieser Arbeit kleine Probandenkollektive mit einer hohen Durchlaufzahl an Einzelversuchen jedes Probanden untersucht. Dabei wurde das Augenmerk auf intraindividuelle Unterschiede in den verschiedenen Konditionen gelegt. Hierdurch können Aussagen im Rahmen einer deskriptiven Statistik getroffen werden, eine interferenzstatistische Analyse erweist sich allerdings als problematisch. Da bei einer Stichprobenanzahl von $n=8$ (4 Probanden, jeweils Stichproben aus zwei Hemisphären entsprechend Sakkade nach links bzw. rechts) keine Aussage über eine Standardnormalverteilung getroffen werden kann, wurde in Experimentblock I ausschließlich der exakte Test von Wilcoxon für verbundene kleine Stichproben verwendet.

2.5.1 Methoden der Analyse der Daten des Experimentblocks I

Die experimentelle Modulation der Aktivität von Neuronen des Colliculus superior wurde durch Erfassung der sakkadischen Latenzen beurteilt. Hierzu erfolgten Signifikanzanalysen dieses Parameters in den Konditionen *gap* und *step* bzw. *block* und *step*. Um weitere sakkadische Parameter als Störfaktoren weitestgehend auszuschließen, erfolgte eine gleichartige Analyse auch für die sakkadischen Parameter Amplitude und Maximalgeschwindigkeit.

Um die Stärke der Mislokalisierung der Balken an den drei möglichen Positionen einzuschätzen, wurden die Indizes Shift und Kompression berechnet (vgl. Kap. 1.5.2). Dazu wurde der interessierende Zeitbereich für die Balkenpositionsurteile, d. h. die von den Probanden wahrgenommene Position eines Balkens, auf -150 ms bis $+200$ ms bei definiertem Sakkadenbeginn bei 0 ms festgelegt und in dem Programm SigmaPlot 8.0 (SPSS Inc., USA) für die drei Balkenpositionen dargestellt. Zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse der einzelnen Probanden erfolgte die Darstellung dieser Werte mit Hilfe der lokal wichtenden nonlinearen Regressionsfunktion „inverse square“ (engl., dt. reziproke Quadrate) des Programms SigmaPlot. Bei einer Abtastrate in Intervallen von 5 ms ergaben sich für den oben genannten Zeitbereich 71 Zeitpositionen. Hierdurch wurde es möglich, trotz interindividueller Unterschiede hinsichtlich Sakkadenlatenz und daraus folgender ungleicher Messwertverteilung, ein erwartetes Positionsurteil jedes einzelnen Probanden zu diesen Zeitpunkten zu erhalten (vgl. Abb. 13).

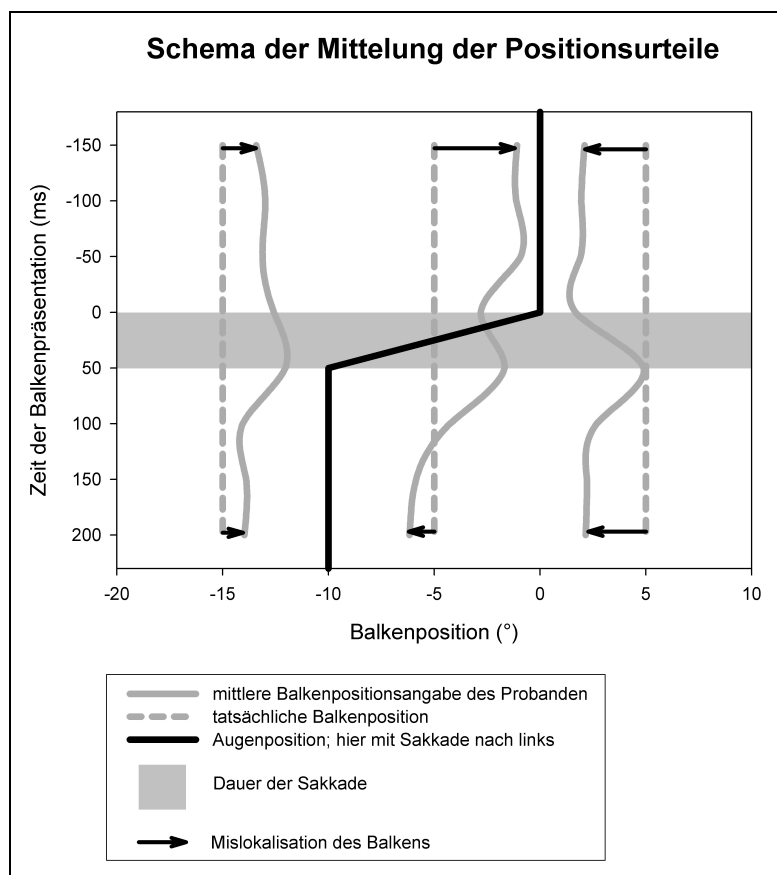


Abb. 13:
Schematische Darstellung der Mittelung der Positionsurteile eines Probanden bei einer Kondition mit einer linksseitigen Sakkade; durch die nonlineare Regression wird eine Vergleichbarkeit der Daten der einzelnen Probanden zu verschiedenen Zeitpunkten möglich (z. B. schwarze Pfeile)

In Anlehnung an Lappe et al. (2000) wurde der Shift-Index, d. h. die uniforme Mislokalisierung der Balken, durch Bildung des arithmetischen Mittelwertes der drei wahrgenommenen Balkenpositionen zu einem Zeitpunkt berechnet. Positive Werte bedeuteten eine Abweichung der Positionsangabe nach rechts, negative nach links. Der Kompressions-Index wurde durch das arithmetische Mittel der Abstände der angegebenen Balkenposition zu dem Zielstimulus ermittelt. Da diese beiden Indices die Positionsangaben für die unterschiedlichen Balkenpositionen in einem Wert vereinen, werden sie nachfolgend als „global“ bezeichnet. Um eine interindividuell unterschiedliche Mislokalisierung der Probanden zu kontrollieren, erfolgte eine Normalisierung der Indices anhand ihrer jeweiligen mittleren Zeitwerte kleiner -100 ms und größer 150 ms. Der normalisierte Shift-Index wurde durch Differenzbildung berechnet. Durch Bildung des Quotienten ergab sich der normalisierte Kompressionsindex. Ein Wert von 1 bedeutete hier eine korrekte Angabe der Balkenpositionen, positive Werte kleiner als 1 eine Kompression zum Zielstimulus hin, Werte größer als 1 eine Mislokalisierung der Balken vom Zielstimulus weg. Demnach wird eine starke Kompression durch einen kleinen Indexwert und eine schwache Kompression durch einen hohen Indexwert beschrieben. Zum gemeinsamen Vergleich der Indexwerte von rechts- und linksseitigen Sakkaden erfolgte eine Poolung der Daten mit Festlegung einer Sakkadenrichtung nach links. Hierfür wurde der Shift-Index der rechtsseitigen Sakkaden mit -1 multipliziert.

Um die räumliche Dynamik der Mislokalisierung der einzelnen Balkenpositionen genauer zu untersuchen, erfolgte anschließend die Berechnung eines „lokalen“ Shifts für die einzelnen Balkenpositionen getrennt. Dies wurde durch Bildung der Differenz von Positionsangabe für einen Balken und seiner tatsächlichen Position zu einem bestimmten Zeitpunkt erreicht. Hierbei wurde zum Vergleich des prä- und des postsakkadischen Shifts auf eine Normalisierung verzichtet. Die Poolung der Daten erfolgte analog der für die globalen Indexwerte angegebenen Methode.

2.5.2 Methoden der Analyse der Daten des Experimentblocks II

Die Berechnung der globalen Kompression erfolgte in Experiment II-A durch Bestimmung der Standardabweichung der 4 symmetrisch lokalisierten Balkenpositionen zu einem festen Zeitpunkt entsprechend den Arbeiten von Lappe et al. (2000). Die Normalisierung erfolgte mit Zeitwerten kleiner -100 ms. Im Experiment II-B interessierte jedoch der Unterschied zwischen der globalen Kompression und einer lokalen Kompression. Der Wertebereich der lokalen Kompression wurde hierbei auf Balkenpositionen jenseits und an der Position des peripheren Stimulus bei -10° , d. h. auf Balkenpositionen zwischen -15° und -10° , festgelegt. Für eine valide Beurteilung der Mislokalisierung der Positionsurteile wurde die Anzahl der möglichen Balkenpositionen auf 31 erhöht. Als Maß beider Kompressionsstärken wurden in diesem Experiment die Anstiege von linearen Regressionsgeraden definiert, die mit dem Programm SigmaPlot (SPSS Inc., USA) aus den Rohwerten ermittelt wurden. In Abbildung 14 sind diese Regressionsgeraden für die lokale und globale Kompression schematisch abgebildet. Die tatsächliche Position des Balkens ist auf der Abszisse, die vom Probanden lokalisierte Position auf der Ordinate dargestellt.

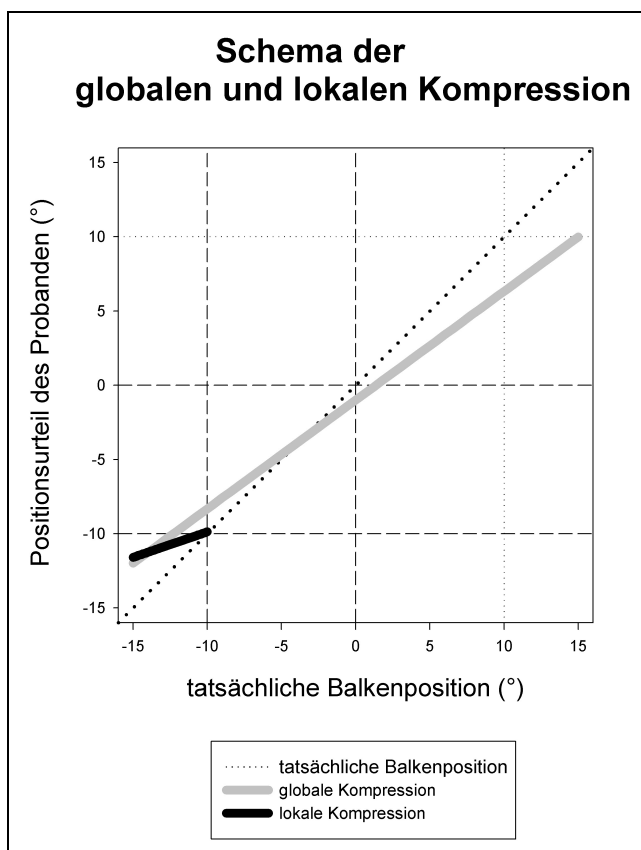


Abb. 14: Schema der globalen und lokalen Kompression im Experiment II-B; der periphere Stimulus befindet sich an der Position -10° ; die linearen Regressionen der gemittelten Positionsurteile für alle Balkenpositionen (-15° bis $+15^\circ$; globale Kompression) und für Balkenpositionen kleiner oder gleich des peripheren Stimulus (-15° bis -10° ; lokale Kompression) sind dargestellt

Im Experiment II-C wurde im Unterschied zu den Vorexperimenten ein räumlich vor und nach *blank* unterschiedlich positionierter peripherer Stimulus dargeboten. Um den räumlichen Wertebereich der lokalen Kompression zu ermitteln, musste ein virtueller peripherer Stimulus errechnet werden, da weder der periphere Stimulus vor noch nach *blank*-Präsentation hierzu eine Aussage ermöglichen. Aus diesem Grund wurde mit Hilfe des Programms GraphPad (GraphPad Software Inc., USA) eine zweisegmentale nonlineare Regressionsfunktion für jede Kondition eines analog des in Experiment II-B dargestellten Graphen berechnet. Die Koordinaten des Steigungswechsels zwischen den Segmenten, d. h. der Wendepunkt der Regressionsgeraden, zeigten hier die Lokalisation des virtuellen peripheren Stimulus an. Der räumliche Wertebereich der lokalen Kompression erstreckte sich auf Balkenpositionen peripher dieser Position und wurde als positionelles Maß der lokalen Kompression hinsichtlich der peripheren Stimuli definiert. Mit diesem Maß wurde die Abhängigkeit der Kompression von der Position der präsentierten peripheren Stimuli in den einzelnen Konditionen untersucht. Graphisch verdeutlicht wird dies im Rahmen der Datenanalyse (vgl. Kap. 3.5)

Im Experimentblock II wurden die Balkenpositionsurteile von vier Probanden in den verschiedenen experimentellen Konditionen mit einer hohen Anzahl von Einzelversuchen des einzelnen Probanden in einer Stichprobe untersucht. Bei der Auswertung der erhobenen Daten wurde bei einer Stichprobenanzahl von $n=4$ auf eine interferenzstatistische Analyse zugunsten einer rein deskriptiven statistischen Analyse verzichtet.