

Technische Universität Berlin
Fakultät IV – Elektrotechnik und Informatik
Institut für Technische Informatik und Mikroelektronik
Computational Psychology

Bachelorarbeit

Wie unterscheidet sich die Kantenwahrnehmung in realen dreidimensionalen Szenen von der in zweidimensionalen fotografischen Abbildungen der Szene?

Lennart Luis Lottermoser

l.lottermoser@campus.tu-berlin.de

B.Sc. Informatik

Matrikelnummer 470400

Berlin, 16.02.2026

First examiner: Prof. Dr. Marianne Maertens
marianne.maertens@tu-berlin.de
Second examiner: Prof. Dr. Guillermo Gallego
guillermo.gallego@tu-berlin.de

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne Hilfe Dritter und ausschließlich unter Verwendung der aufgeführten Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Stellen die den benutzten Quellen und Hilfsmitteln wörtlich oder inhaltlich entnommen sind, habe ich als solche kenntlich gemacht.

Sofern KI-Tools verwendet wurden, habe ich Produktnamen, Hersteller, die jeweils verwendete Softwareversion und die Art der Nutzung (z.B. sprachliche Überprüfung und Verbesserung der Texte, systematische Recherche) benannt. Ich verantworte die Auswahl, die Übernahme und sämtliche Ergebnisse des von mir verwendeten KI-generierten Outputs vollumfänglich selbst.

Die Satzung zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis an der TU Berlin vom 15. Februar 2023. https://www.static.tu.berlin/fileadmin/www/10002457/K3AMBI/Amtsblatt_2023/Amtliches_Mitteilungsblatt_Nr._16_vom_30.05.2023.pdf habe ich zur Kenntnis genommen.

Ich erkläre weiterhin, dass ich die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt habe.

Berlin, den 16.02.2026



Lennart Luis Lottermoser

Abstract

Edges represent a crucial component of visual perception. In previous studies, however, these were mostly investigated using two-dimensional digital stimuli. It remains unclear to what extent the findings from studies using such stimuli can be transferred to real three-dimensional scenes. This thesis therefore investigates a method intended to compare edge perception in real three-dimensional scenes with edge perception in two-dimensional photographic images.

To capture edge perception, contour drawings of real scenes are compared with contour drawings of photographic images of the scene. Two drawing tasks are used: free drawing and tracing. First, a stimulus is drawn freely on paper without any assistance. Afterwards, the stimulus is traced on a drawing surface onto which the stimulus is projected. The photographs are traced digitally using a drawing tablet. For tracing real scenes, a transparent pane placed between the participant and the stimulus is used as the drawing surface.

The study shows that the experimental setup is generally suitable for capturing perceived edges in real scenes and photographic images in a comparable manner. In particular, the use of the transparent pane was found to simplify the drawing task in a way comparable to the use of a drawing tablet. The results of tracing can thus be evaluated effectively, while the evaluation of freehand drawings remains challenging.

Zusammenfassung

Kanten stellen einen entscheidenden Bestandteil der visuellen Wahrnehmung dar. In früheren Versuchen wurden diese jedoch meist mithilfe zweidimensionaler digitaler Stimuli untersucht. Unklar ist, wie sich die Ergebnisse aus Untersuchungen mit solchen Stimuli auf reale dreidimensionale Szenen übertragen lassen. Diese Arbeit untersucht daher eine Methode, die dazu dienen soll, die Kantenwahrnehmung in realen dreidimensionalen Szenen mit der Kantenwahrnehmung in zweidimensionalen fotografischen Abbildungen zu vergleichen.

Um die Kantenwahrnehmung zu erfassen, werden Konturzeichnungen einer realen Szene mit Konturzeichnungen von Fotos dieser Szene verglichen. Dabei werden zwei Zeichenaufgaben verwendet: Freies Zeichnen und Nachzeichnen. Ein Stimulus wird erst frei, ohne Hilfestellung, auf Papier gezeichnet. Danach wird der Stimulus auf einer Zeichenfläche nachgezeichnet, auf die der Stimulus projiziert wird. Die Fotos werden digital mithilfe eines Zeichentabletts nachgezeichnet. Für das Nachzeichnen realer Szenen wird eine transparente Scheibe, die zwischen Versuchsperson und Stimulus angebracht ist, als Zeichenfläche verwendet.

Die Untersuchung zeigt, dass der Versuchsaufbau grundsätzlich geeignet ist, wahrgenommene Kanten in realen Szenen und fotografischen Abbildungen vergleichbar zu erfassen. Insbesondere hat sich gezeigt, dass die Verwendung der transparenten Scheibe die Zeichenaufgabe auf vergleichbare Weise vereinfacht, wie die Verwendung eines Zeichentabletts. Die Ergebnisse des Nachzeichnens lassen sich damit gut auswerten, während die Auswertung freier Zeichnungen eine Herausforderung darstellt.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Kanten in visueller Wahrnehmungsforschung	1
1.2	Zeichnen als Werkzeug zur Untersuchung visueller Wahrnehmung	4
1.3	Zielsetzung	5
2	Methode	6
2.1	Vorüberlegungen	6
2.2	Stimuli und Apparatur	7
2.2.1	Reale Szenen	7
2.2.2	Digitale Abbildungen	10
2.3	Aufgabe	11
2.3.1	Freies Zeichnen	11
2.3.2	Nachzeichnen	12
2.3.3	Kontrolle der Perspektive durch monokulare Betrachtung	14
2.4	Versuchsdesign	14
3	Ergebnisse	16
3.1	Vergleichbarkeit der Zeichnungen	18
4	Diskussion	22
4.1	Fehlerquellen	22
4.2	Limitationen	24
4.3	Zukünftige Betrachtungen	25
4.4	Schlussfolgerung	25
	Literatur	26

Abbildungsverzeichnis

1.1	Stimuli aus Biederman und Ju (1988)	1
1.2	Ortsfrequenz	1
1.3	Stimulus aus Schmittwilken et al. (2024)	2
1.4	Rauschmuster aus Haverkamp (2025)	2
1.5	Stimulus und Zeichnung aus Haverkamp (2025)	3
2.1	Natürliche Stimuli aus Haverkamp (2025)	6
2.2	Seitenansicht der Box	8
2.3	Frontansicht und Innenansicht der Box	9
2.4	Innenansicht der Box mit eingesteckter transparenter Scheibe	9
2.5	Verwendete Stimuli	10
2.6	Setup für digitale Stimuli	11
2.7	Aufbau für freie Zeichnungen realer Szenen	12
2.8	Linienzeichnung mit dem Zeichentablett	13
2.9	Versuchsdesign	14
3.1	Ergebnisse der Zeichnungen 1	16
3.2	Ergebnisse der Zeichnungen 2	17
3.3	Isolierung Linien einer analogen Zeichnung	18
3.4	Überlagerung von realer und digitaler Nachzeichnung	19
3.5	Überlagerung der Zeichnungen aus Haverkamp (2025)	19
3.6	Überlagerung freier Zeichnungen	20

1 Einleitung

1.1 Kanten in visueller Wahrnehmungsforschung

Ein entscheidender Bestandteil der visuellen Wahrnehmung sind Kanten. In zweidimensionalen Abbildungen sind Kanten eine abrupte Änderung der Luminanz. Luminanz beschreibt die Menge an Licht, die von einem Bereich ausgestrahlt oder reflektiert wird. In realer dreidimensionaler Umwelt können Kanten auch durch die Grenzen von Objekten definiert werden. Die Relevanz von Kanten in der Wahrnehmung zeigt sich unter anderem daran, dass in Zeichnungen, die nur aus Linien bestehen (Abb. 1.1 links), Objekte genauso schnell und genau erkannt werden können wie in Fotos (Biederman & Ju, 1988).

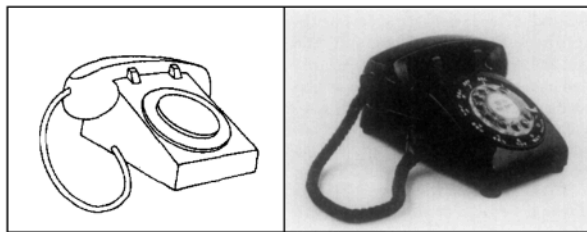


Abbildung 1.1: Beispiel für Stimuli entnommen aus Biederman und Ju (1988). Linienzeichnung (links) Schwarz-Weiß-Foto (rechts)

Frühere Studien zur Kantenwahrnehmung beschäftigten sich vor allem damit, welche Ortsfrequenzen für die Wahrnehmung entscheidend sind. Die Ortsfrequenz gibt die Anzahl der Wiederholungen von Zyklen in einem Bereich an. Bei einem einfachen Streifenmuster, wie in Abb. 1.2 dargestellt, bestimmt die Ortsfrequenz beispielsweise die Breite der Streifen.

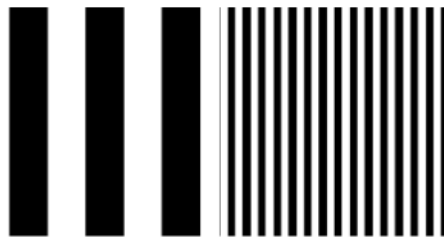


Abbildung 1.2: Niedrige Ortsfrequenz (links), Hohe Ortsfrequenz (rechts)

Inzwischen wurde in vielen Untersuchungen gezeigt, dass 3 Zyklen pro Grad entscheidend für die Kantenerkennung sind (Betz et al., 2015; Schmittwilken et al., 2024; Shapley & Tolhurst, 1973). Diese Ergebnisse basieren auf der Untersuchung von künstlichen Stimuli. Ein Beispiel für solche Stimuli ist in Abb. 1.3 dargestellt.

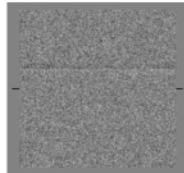


Abbildung 1.3: Künstlicher Stimulus aus Schmittwilken et al. (2024). Als Stimuli wurden isolierte Kanten verwendet, die mit verschiedenen Rauschmustern überlagert wurden.

Untersuchungen mit solchen Stimuli können jedoch keine Aussage darüber treffen, wie sich die Ergebnisse auf komplexe Stimuli, wie sie in natürlichen Umgebungen vorhanden sind, übertragen lassen (Touryan & Dan, 2001). In einem Versuch von Haverkamp (2025) wurde auf dieses Problem eingegangen. In dem Versuch wurde die Kantenwahrnehmung in Fotos von natürlichen Szenen untersucht. Dazu wurden die Fotos mit Rauschmustern verschiedener Ortsfrequenzen maskiert. Abb. 1.4 zeigt die verschiedenen Rauschmuster auf ein Foto angewendet.

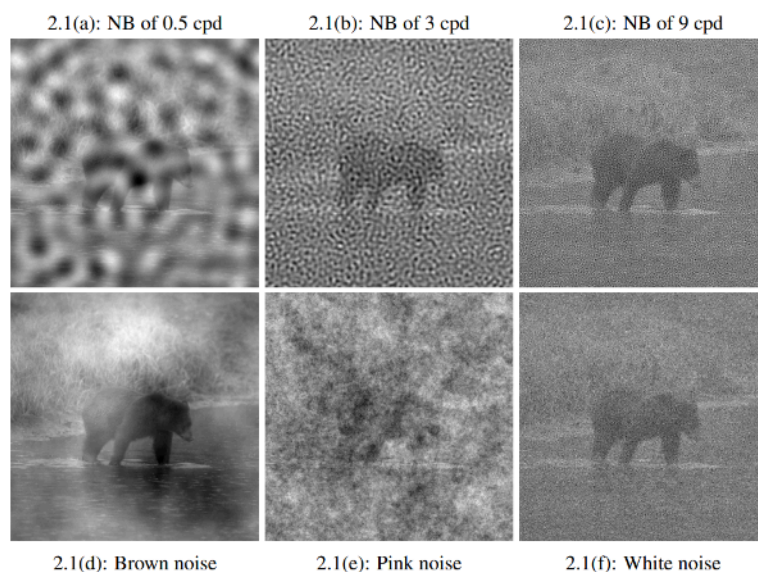


Abbildung 1.4: Stimuli aus Haverkamp (2025): Maskierung eines Fotos mit verschiedenen Rauschmustern

Damit kann untersucht werden, bei welcher Ortsfrequenz des Rauschens die Wahrnehmung der Probanden beeinflusst wird.

Um zu ermitteln, welche Kanten Versuchspersonen in den Abbildungen wahrnehmen, wurde eine Zeichenaufgabe verwendet. Versuchspersonen haben in den unveränderten Fotos sowie in den maskierten Fotos Konturen mithilfe eines Zeichentabletts eingezeichnet. Konturen sind definiert als eine Menge zusammenhängender Kanten, die oft Umrisse von Elementen bilden. Abb. 1.5 zeigt einen der verwendeten Stimuli (links) und die darauf eingezeichneten Konturen einer Versuchsperson (rechts). Die Konturen, die in den maskierten Stimuli eingezeichnet wurden, wurden mit den Konturen verglichen, die in den unveränderten Stimuli eingezeichnet wurden. Es konnte gezeigt werden, dass auch in natürlichen Szenen die Kantenwahrnehmung am stärksten von Rauschen um 3 Zyklen pro Grad beeinträchtigt ist. Dieses Ergebnis ist mit den Beobachtungen an einfachen Reizen vergleichbar.

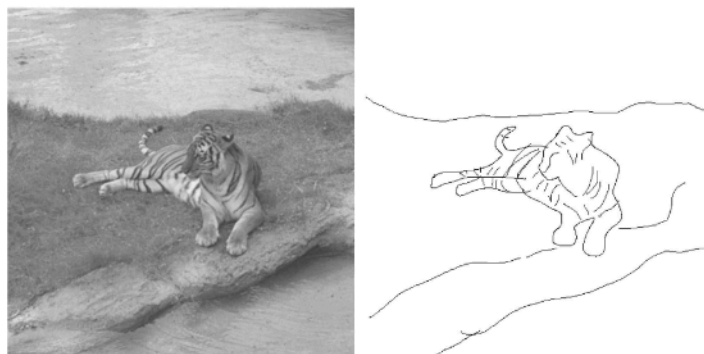


Abbildung 1.5: Abbildung aus Haverkamp (2025). Natürlicher Stimulus (links), Konturzeichnung (rechts)

Offen ist jedoch die Frage, wie sich die Erkenntnisse über Kantenwahrnehmung auf die reale dreidimensionale Welt übertragen lassen, denn in realen Szenen erstrecken sich Objekte nicht nur in zwei Dimensionen, sondern auch in der Tiefe. In Fotos sind Tiefenhinweise enthalten, wie lineare Perspektive und die Verdeckung von Objekten, die Hinweise darüber geben, ob sich ein Objekt vor oder hinter einem anderen befindet. In realen dreidimensionalen Szenen kommen jedoch weitere Tiefenhinweise, wie Stereopsis, hinzu. Stereopsis beschreibt die Fähigkeit, Tiefeninformationen aus den Unterschieden der zwei verschiedenen Bilder der beiden Augen zu gewinnen. Solche zusätzlichen Tiefeninformationen können die Wahrnehmung von

Objekten beeinflussen. Korisky und Mudrik (2021) zeigen beispielsweise, dass reale dreidimensionale Objekte schneller erkannt werden als zweidimensionale Abbildungen der Objekte. Um herauszufinden, ob Kanten auch für die Wahrnehmung von Objekten in realen Szenen relevant sind, ist es wichtig, Untersuchungen auch für die Wahrnehmung realer dreidimensionaler Szenen zu entwickeln.

1.2 Zeichnen als Werkzeug zur Untersuchung visueller Wahrnehmung

In vielen früheren Studien wurden größtenteils Versuchsdesigns mit geschlossenen Aufgabenformen verwendet, um die Wahrnehmung von Kanten zu untersuchen. Mit geschlossenen Aufgabenstellungen sind hier Aufgabenstellungen gemeint, die eine vorgegebene Menge an möglichen Ergebnissen haben. Oft wählen Versuchspersonen zwischen verschiedenen Antwortmöglichkeiten, wie beispielsweise in dem Versuch von Schmittwilken et al. (2024), bei dem Versuchspersonen beurteilen mussten, ob sich eine Kante oberhalb oder unterhalb einer Markierung befindet. Zeichnen ist eine ergebnisoffene Aufgabe und kann dadurch deutlich mehr Informationen enthalten als übliche Methoden zur Untersuchung von Kantenwahrnehmung (Fan et al., 2023). Zeichnungen enthalten Informationen darüber, wie Menschen Informationen wahrnehmen, erinnern und interpretieren (Bainbridge, 2022). Fan et al. (2023) beschreiben Zeichnen als ein Werkzeug das mentale Repräsentationen sichtbar machen kann.

Allerdings ist die Auswertung von Zeichnungen aufgrund des offenen Charakters auch methodisch anspruchsvoll. Eine quantitative, objektive Auswertung ist oft nur schwer erreichbar (Bainbridge et al., 2025). Zudem hängen die Ergebnisse nicht nur von den Wahrnehmungsprozessen, sondern auch von individuellen zeichnerischen Fähigkeiten der Teilnehmenden ab.

Die Arbeit von Haverkamp (2025) zeigt eine Möglichkeit, Zeichnungen auszuwerten. In dem Versuch wurden die digitalen Zeichnungen ausgewertet, indem der Anteil überlappender Pixel zwischen verschiedenen Zeichnungen berechnet wurde. So wurde verglichen, wie viele Kanten

in den unveränderten Fotos im Vergleich zu den maskierten Fotos eingezeichnet wurden und es konnten objektiv quantifizierbare Ergebnisse gewonnen werden.

1.3 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es, eine Methode zu entwickeln, mit der untersucht werden kann, wie sich die Kantenwahrnehmung in realen dreidimensionalen Szenen von der in zweidimensionalen fotografischen Abbildungen unterscheidet. Dazu sollen Konturzeichnungen einer realen Szene mit Konturzeichnungen von Fotos dieser Szene verglichen werden. Ziel ist es, einen Versuchsaufbau zu gestalten und einen ersten Datensatz zu gewinnen, um die Machbarkeit der Methode zu bewerten. Diese Arbeit soll damit primär einen methodischen Beitrag leisten und die Möglichkeiten und Grenzen bei der ergebnisoffenen qualitativen Messung von Wahrnehmung in natürlichen Szenen aufzeigen.

2 Methode

2.1 Vorüberlegungen

Um zu untersuchen, wie sich Kantenwahrnehmung in realen Szenen von der in digitalen Abbildungen unterscheidet, muss zunächst eine Methode gefunden werden, die vergleichbare Ergebnisse ermöglicht. Als Ausgangspunkt für eine Methode, die es ermöglicht, wahrgenommene Kanten zu erfassen, dient die Arbeit von Haverkamp (2025). Zum Erfassen der wahrgenommenen Kanten sollen ebenfalls Zeichenaufgaben verwendet werden. Als Stimuli für die Zeichenaufgaben sollen reale Szenen und digitale Abbildungen der Szenen dienen.

Wahl der Stimuli

Eine Herausforderungen beim Entwickeln einer Methode, um die Kantenwahrnehmung realer Szenen mit der Kantenwahrnehmung digitaler Abbildungen zu vergleichen, ist die Wahl der Stimuli. Um Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Versuchspersonen zu gewährleisten, müssen die Stimuli für jede Versuchsperson reproduzierbar sein. Um allgemein aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, sollten als Stimuli ebenfalls möglichst natürliche Szenen verwendet werden. Abb. 2.1 zeigt Fotos von natürlichen Szenen, wie sie in Haverkamp (2025) als Stimuli verwendet wurden.



Abbildung 2.1: Beispiele für Stimuli aus Haverkamp (2025)

Solche Szenen sind nicht konstant und wenig kontrollierbar, da sich beispielsweise Objekte bewegen und Lichtverhältnisse verändern können. Die Szenen lassen sich dementsprechend nur als Fotos reproduzieren. Zusätzlich ist es in realen Szenen wichtig einen festen Beobachtungspunkt zu bestimmen, da sich bei Änderung des Betrachtungspunkts die Perspektive und somit auch die sichtbaren Kanten ändern würden.

Um sowohl reale Szenen als auch digitale Abbildungen zu vergleichen, muss daher ein Kompromiss zwischen der Verwendung komplexer, möglichst natürlicher Stimuli und gleichzeitig gut kontrollierbarer Stimuli gefunden werden. Für diesen Versuch soll dafür eine kontrollierbare Umgebung verwendet werden, die es ermöglicht, verschiedene Stimuli darin zu platzieren.

Wahl der Aufgabe

Herausforderung bei der Aufgabenstellung ist es, eine Möglichkeit zu finden, Zeichnungen zu erstellen, die sich gut auswerten lassen. Die verwendete Zeichenaufgabe aus Haverkamp (2025) ermöglicht es, durch ein Zeichentablett Kanten direkt in den Abbildungen einzuzeichnen und so den Einfluss von zeichnerischen Fähigkeiten zu begrenzen. In dieser Arbeit soll eine Methode gefunden werden, die es ermöglicht, Kanten auch in realen Szenen auf ähnliche Weise direkt zu markieren, sodass sich die Zeichnungen leichter auswerten lassen.

2.2 Stimuli und Apparatur

2.2.1 Reale Szenen

Um eine konstante Umgebung für reale Stimuli zu erhalten, wird eine Box verwendet, die für einen gleichbleibenden Hintergrund der Szenen sorgt. Die Box ist in zwei Bereiche unterteilt, wie in Abb. 2.2 dargestellt. Der hintere Teil dient der Platzierung der Stimuli und hat einen aufklappbaren Deckel, um Stimuli austauschen zu können.

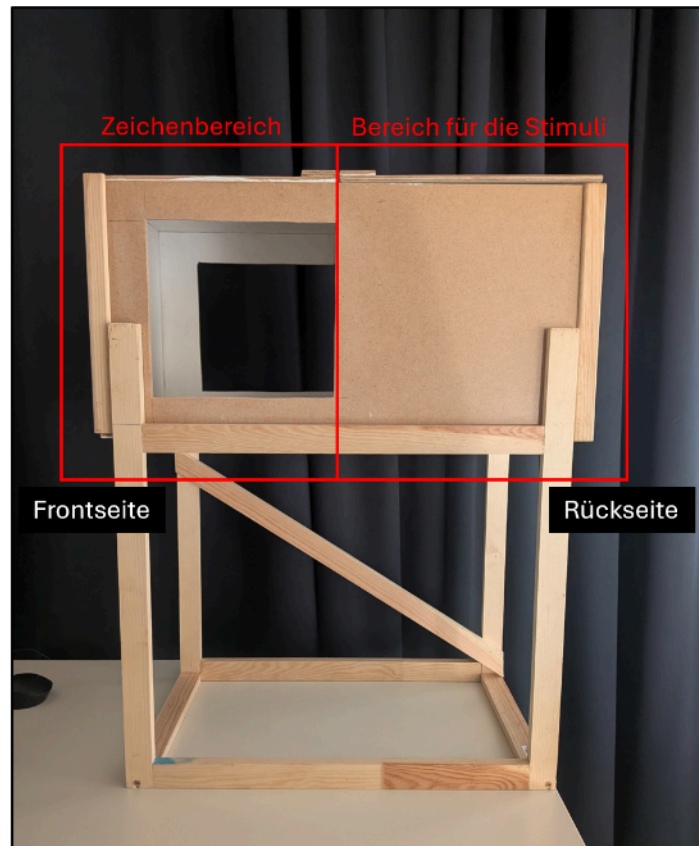


Abbildung 2.2: Aufbau für reale Stimuli. Der markierte Bereich auf der linken Seite zeigt den Zeichenbereich. Sichtbar sind die Öffnungen an den Seiten, die den Zeichenbereich erreichbar machen. Der markierte Bereich auf der rechten Seite zeigt, den Bereich, in dem die Stimuli platziert werden.

Die Beleuchtung der Stimuli wird durch eine Lampe innerhalb des hinteren Bereichs der Box am Deckel gewährleistet (Abb. 2.3 rechts). Der vordere Teil dient zum Zeichnen. Dieser ist durch Öffnungen an den Seiten für die Zeichenaufgaben erreichbar. An der Frontseite befindet sich eine Öffnung, die als Beobachtungspunkt dient und die Perspektive fixiert (Abb. 2.3 links). Um den Beobachtungspunkt auf Augenhöhe zu befestigen, wird die Box erhöht, indem sie auf ein Holzgestell gesetzt wird.



Abbildung 2.3: Frontansicht (links), Innenansicht vom Beobachtungspunkt (rechts)

Getrennt werden der vordere und der hintere Bereich der Box durch eine transparente Scheibe, die als Zeichenfläche dient. Die Scheibe ist aus der Befestigung herausnehmbar, um die Zeichnungen darauf einscannen und digitalisieren zu können.



Abbildung 2.4: Innenansicht mit eingesteckter transparenter Scheibe (rot markiert)

Abb. 2.5 zeigt die verwendeten Stimuli. Verwendet wurden einfache Objekte, die in der Box platziert wurden.



Abbildung 2.5: Verwendete Stimuli

2.2.2 Digitale Abbildungen

Für die digitalen Stimuli werden Fotos der realen Szenen mit einer Digitalkamera angefertigt. Diese werden durch die Öffnung der Box an der Frontseite aufgenommen. Die Fotos werden dann digital auf einem Monitor in Graustufen abgebildet, wie in Abb. 2.6 dargestellt. Um die Ortsfrequenzen möglichst nicht zu verändern, werden die Darstellungsgröße und der Monitorabstand zum Auge so gewählt, dass die Ortsfrequenzen denen in der realen Szene entsprechen. Als Abstand zwischen Monitor und Beobachtungspunkt wird der Abstand zwischen dem Beobachtungspunkt der Box und der hinteren Wand der Box (50cm) verwendet. Die Fotos der Stimuli werden in der Größe dargestellt, sodass die Breite der hinteren Wand der Box (24cm) auf dem Foto in der gleichen Breite dargestellt ist.

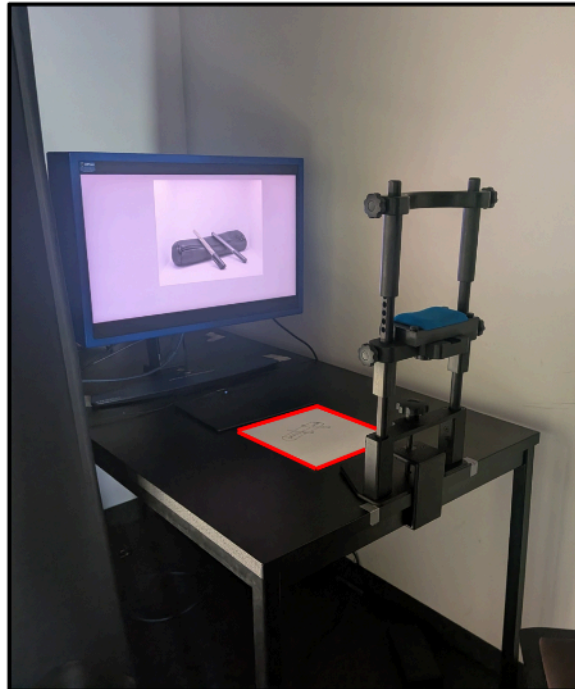


Abbildung 2.6: Aufbau für die Darstellung der digitalen Stimuli. Vor dem Monitor wird ein Blatt Papier als Zeichenfläche platziert (rot markiert).

2.3 Aufgabe

2.3.1 Freies Zeichnen

Beim freien Zeichnen sollen Versuchspersonen die Kanten der beobachteten Szene mit einem Stift auf einer Zeichenfläche ohne weitere Hilfestellung oder Begrenzung zeichnen. Für die realen Szenen befindet sich ein Blatt Papier als Zeichenfläche innerhalb der Box, wie in Abb. 2.7 dargestellt. Für die digitalen Zeichnungen wird ein Blatt Papier verwendet, dass auf dem Tisch zwischen Bildschirm und Versuchsperson platziert ist (Abb. 2.6).



Abbildung 2.7: Innenansicht mit platziertem Blatt Papier als Zeichenfläche für das freie Zeichnen (rot markiert)

Diese freie Form der Aufgabenstellung wird als informationsreicher im Vergleich zu stärker kontrollierten Zeichenaufgaben gesehen (Fan et al., 2023). Welche Teile weggelassen oder vereinfacht werden, kann Informationen darüber liefern, wie Informationen gewichtet und intern repräsentiert werden.

Der Nachteil des freien Zeichnens ist, dass die Ergebnisse stark von der individuellen Zeichenfähigkeit abhängig sind. Zudem ist es schwierig bewertbar, welche der real existierenden Kanten durch die gezeichneten Linien tatsächlich repräsentiert sind. Dies macht die Auswertung von freien Zeichnungen schwieriger, weshalb zusätzlich eine zweite Aufgabenstellung verwendet wird.

2.3.2 Nachzeichnen

Beim Nachzeichnen werden Versuchspersonen dazu aufgefordert, wahrgenommene Kanten nachzuzeichnen. Die Zeichenfläche wird dafür mit den zu beobachtenden Stimuli überlagert,

sodass klare Positionen der Kanten auf der zweidimensionalen Zeichenfläche entstehen und Kanten direkt an der Position gezeichnet werden, an der sie sichtbar sind. Die Aufgabe wird dadurch einfacher und mangelnde zeichnerische Fähigkeiten fallen weniger stark ins Gewicht. Die Ergebnisse sollten weniger stark variieren und demnach leichter auszuwerten sein. Die Auswertung der Ergebnisse wird vereinfacht, da die vorgegebene Positionen der Kanten auf der Zeichenoberfläche die Zuordnung zu den real existierenden Kanten einfacher macht. Für die digitalen Stimuli wird, analog zur Methode von Haverkamp (2025), ein Zeichentablett verwendet, das es ermöglicht, direkt auf dem Bild Linien einzuzeichnen. Abb. 2.8 zeigt, wie die Linien beim Zeichnen auf der Abbildung sichtbar sind.



Abbildung 2.8: Linienzeichnung auf der digitalen Abbildung, so wie bei Verwendung des Zeichentabletts sichtbar

Für die realen Stimuli wird die transparente Scheibe (in Abb. 2.4 markiert), die zwischen der Versuchsperson und der Szene positioniert wird, als Zeichenoberfläche verwendet.

2.3.3 Kontrolle der Perspektive durch monokulare Betrachtung

Damit zum Nachzeichnen eindeutige Positionen der Konturen auf der Scheibe entstehen, muss nicht nur die Perspektive fixiert werden, sondern zusätzlich die Beobachtung auf ein Auge begrenzt werden. Die versetzte Position der Augen würde zu zwei verschiedenen wahrgenommenen Bildern führen. Dies würde zu zwei verschiedenen Positionen für die Konturen führen, sodass keine eindeutige Zeichnung möglich ist. Daher kann für diesen Versuch nur monokulare Wahrnehmung von realen Szenen berücksichtigt werden. Um Vergleichbarkeit zu ermöglichen, müssen auch die anderen Bedingungen auf monokulare Wahrnehmung begrenzt werden. Dies wird mithilfe einer Augenklappe umgesetzt.

2.4 Versuchsdesign

Aus den zwei Aufgabenstellungen und den zwei Darstellungsvarianten der Stimuli ergibt sich ein Versuchsdesign mit vier Bedingungen, wie in Abb. 2.9 dargestellt.

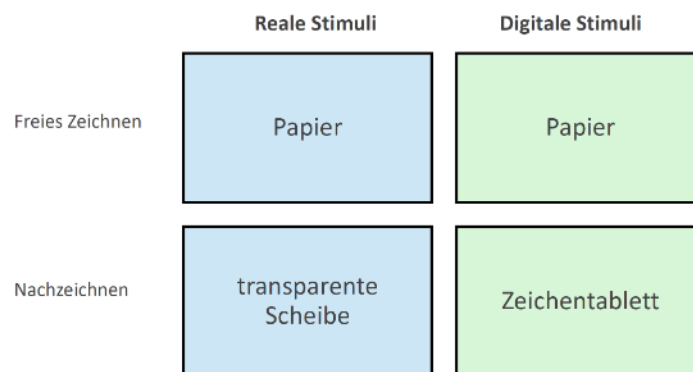


Abbildung 2.9: Versuchsdesign

Jede Versuchsperson zeichnet einen Stimulus in jeder der Bedingungen jeweils einmal. Das ist wichtig, da es große individuelle Unterschiede bei den Zeichnungen geben kann. Würde man die vier Bedingungen ausschließlich zwischen verschiedenen Versuchspersonen vergleichen, statt den Ergebnissen einer Person untereinander, wären die Ergebnisse entsprechend weniger aussagekräftig. Allerdings zeichnet eine Person somit viermal die gleiche Szene, Erinnerungen

an die ersten Zeichnungen können daher die nachfolgenden Zeichnungen beeinflussen. Aus diesem Grund werden die digitalen und realen Stimuli mit einem Zeitabstand gezeichnet. Zusätzlich ist nicht klar, welchen Einfluss die Vereinfachung der Zeichenaufgabe durch die Scheibe darauf hat, welche Kanten eingezeichnet werden. Da Erinnerungen an das Nachzeichnen das freie Zeichnen beeinflussen könnten, wird das Nachzeichnen eines Stimulus jeweils nach dem freien Zeichnen durchgeführt.

3 Ergebnisse

In allen vier Bedingungen konnten erfolgreich Zeichnungen angefertigt werden. Die Zeichenerflächen innerhalb der Box sind gut zum Zeichnen erreichbar und ermöglichen saubere und klar erkennbare Zeichnungen der Szenen.

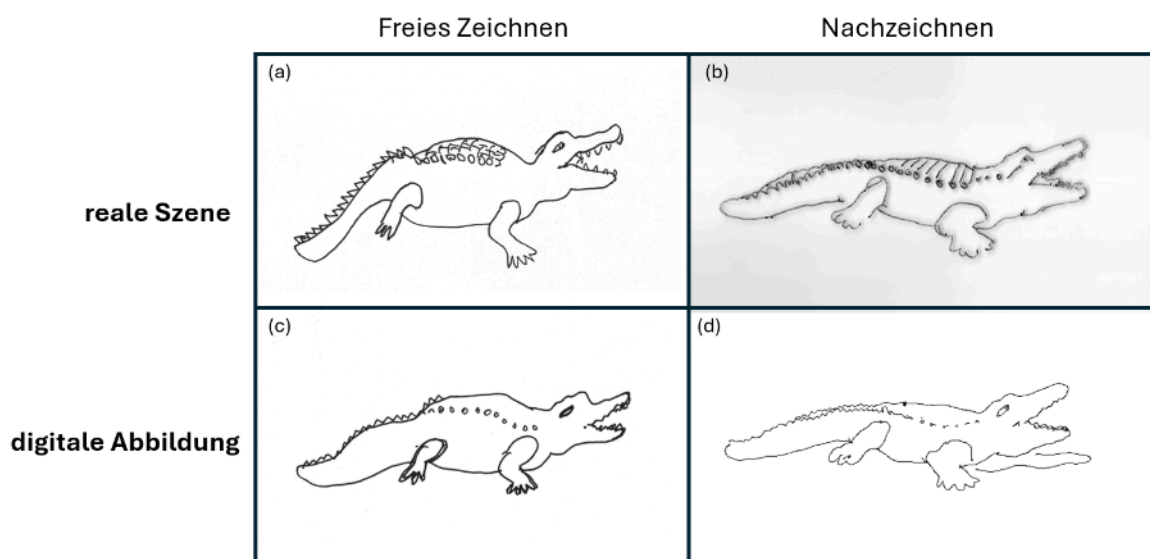


Abbildung 3.1: Zeichnungen einer Versuchsperson in allen Bedingungen. Abbildungen (a) und (c) zeigen die Ergebnisse des freien Zeichnens auf Papier. Abbildung (b) zeigt das Ergebnis des Nachzeichnens der realen Szene auf der transparenten Scheibe. Abbildung (d) zeigt das Ergebnis der digitalen Zeichnung. Die Qualität der Ergebnisse in Bezug auf Sauberkeit und Detailgrad ist dabei vergleichbar.

Auch die Zeichnungen auf der transparenten Scheibe lassen sich gut digitalisieren und ermöglichen damit eine Grundlage für weitere Auswertung. Durch die Box konnte eine konstante und kontrollierbare Umgebung realisiert werden, sodass die realen Stimuli reproduzierbar sind. Der Versuchsaufbau eignet sich somit grundlegend, um wahrgenommene Kanten anhand von Zeichnungen zu erfassen.

Für einen Eindruck der Variabilität der Zeichnungen sind in Abb. 3.2 zwei weitere Zeichnungen von zwei verschiedenen Versuchspersonen in allen vier Bedingungen dargestellt.

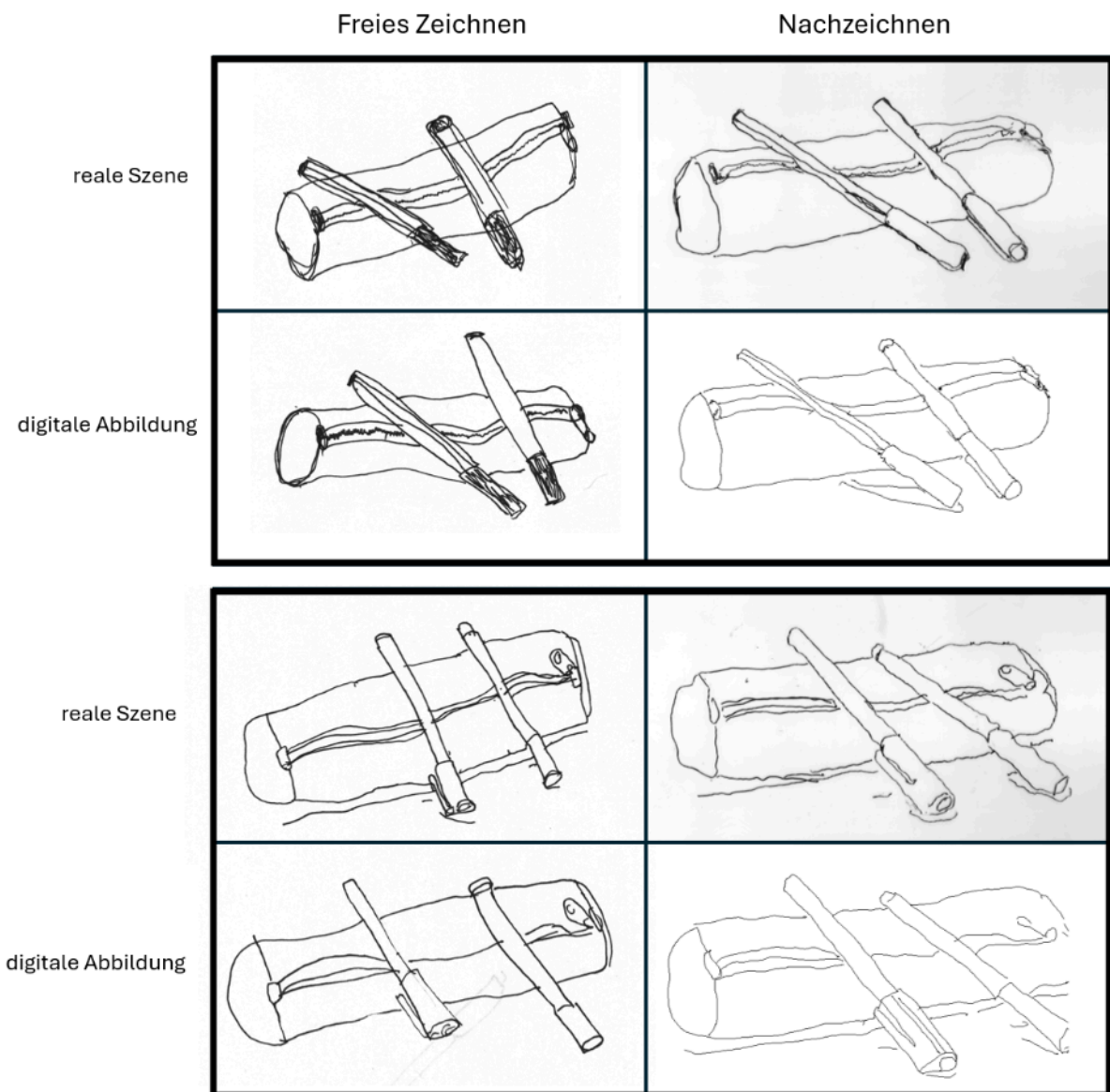


Abbildung 3.2: Zwei weitere Zeichnungen von zwei verschiedenen Versuchspersonen in allen vier Bedingungen

Die Ergebnisse zeigen, dass nicht nur die Änderung des Stimulus einen Einfluss auf die gezeichneten Kanten hat, sondern auch die Änderung der Zeichenaufgabe. In Abb. 3.1 (d) sind beispielsweise Kanten eingezeichnet, die durch den Schatten entstehen, der von der Figur geworfen wird. In Abb. 3.1 (c) sind diese nicht eingezeichnet, obwohl in beiden Bedingungen die digitale Abbildung als Stimulus verwendet wurde. Bei einem Vergleich der Zeichnungen zwischen realen und digitalen Stimuli lässt sich aufgrund hoher Unterschiede zwischen

den Versuchspersonen bisher keine generelle Tendenz feststellen, welche Kanten häufiger beziehungsweise seltener eingezeichnet werden.

3.1 Vergleichbarkeit der Zeichnungen

Ziel der transparenten Scheibe war es, Zeichnungen zu erhalten, die eine hohe Übereinstimmung in der Position der gezeichneten Linien haben, sodass eine Auswertung wie in Haverkamp (2025) möglich ist. Dazu müssen die digitalen Stimuli in Perspektive und Proportionen mit den realen Stimuli übereinstimmen.

Um diese Methode auch bei den Ergebnissen des Nachzeichnens auf der transparenten Scheibe zu ermöglichen, müssen die gezeichneten Linien zunächst isoliert werden, indem der Hintergrund entfernt wird. Dazu wurden alle Pixel mit Helligkeit unter einem Schwellenwert entfernt. Abb. 3.3 zeigt, dass dies bei einer sauberen Zeichnung eine gute Ergebnisqualität ermöglicht.

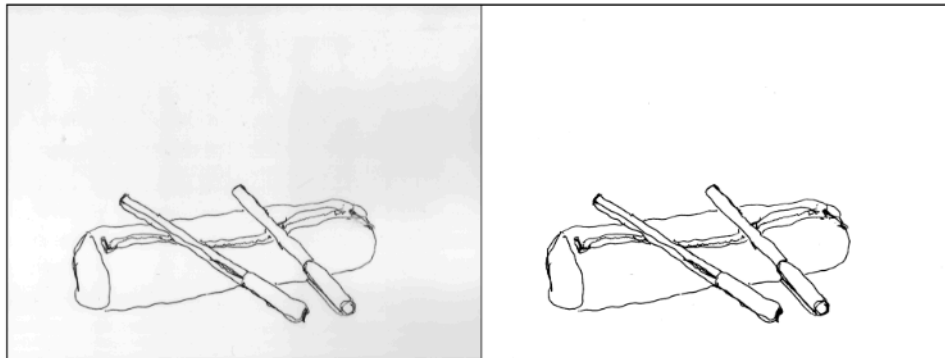


Abbildung 3.3: Isolierung Linien einer analogen Zeichnung auf der Scheibe: Scan (links), Isolierte Linien (rechts)

Die Zeichnungen können dann übereinandergelegt werden, um die enthaltenen Linien zu vergleichen. Dabei zeigt sich, dass die grundlegenden Proportionen übereinstimmen, jedoch auch Abweichungen der Linienverläufe vorhanden sind. Abb. 3.4 zeigt beispielhaft das Ergebnis der übereinandergelegten Zeichnungen einer Versuchsperson.

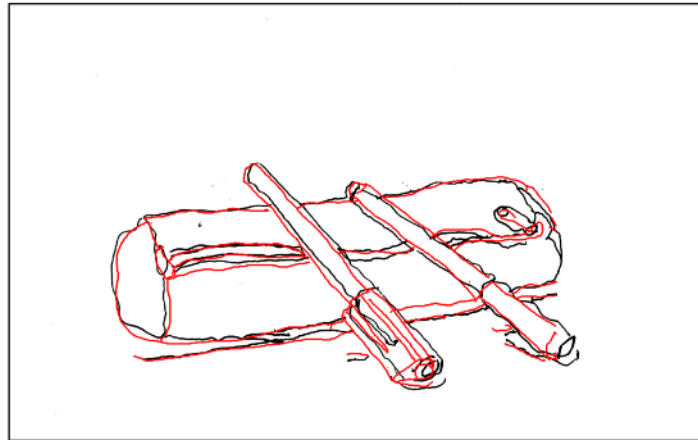


Abbildung 3.4: Zeichnung der realen Szene (schwarz) und Zeichnung der digitalen Abbildung (rot)

Abb. 3.5 zeigt, dass auch in der Studie von Haverkamp (2025) solche Abweichungen im Linienverlauf auftraten, obwohl für alle Zeichnungen derselbe Stimulus verwendet wurde.

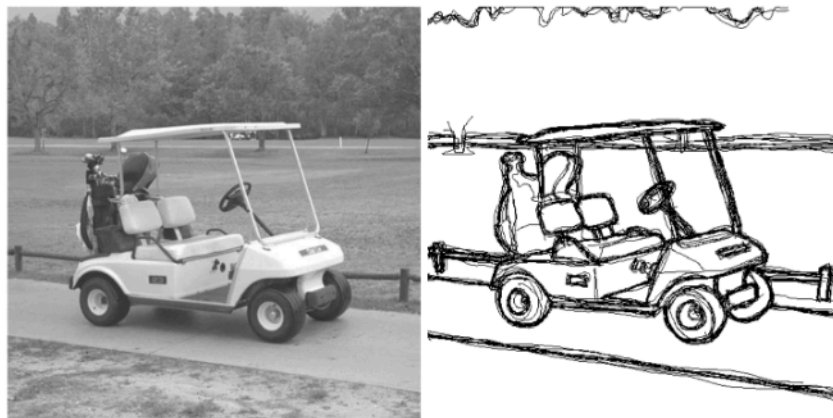


Abbildung 3.5: Ergebnisse der Zeichnungen auf den unveränderten Abbildungen aus Haverkamp (2025): Stimulus (links), Überlagerung der Zeichnungen der Versuchspersonen (rechts)

Es ist nicht klar, zu welchem Anteil die Abweichungen durch Zeichenungenauigkeiten verursacht sind und zu welchem Anteil durch eine veränderte Perspektive in den Stimuli oder andere Einflüsse. Da die Abweichungen nicht bedeutend größer sind als in Haverkamp (2025), lässt sich jedoch schließen, dass bei der Übertragung der realen Stimuli in digitale Abbildungen keine starke Verzerrung der Perspektive entsteht. Um trotz der Abweichungen einen Vergleich zu ermöglichen, wurden in Haverkamp (2025) die gezeichneten Linien um eine Fehlertoleranz verbreitert. Bei der Berechnung der Übereinstimmung wurde dann überprüft, ob die Linien

innerhalb der Fehlertoleranz Überschneidungen hatten. Diese Methode kann auch für diesen Versuch verwendet werden und die Fehlertoleranz kann bei Bedarf vergrößert werden. Die Menge der übereinstimmenden Kanten kann somit objektiv quantifiziert werden.

Die freien Zeichnungen zeigten im Vergleich teilweise deutliche Abweichungen in den Proportionen, wie in Abb. 3.6 verdeutlicht. Eine ähnliche Methode kann hier folglich nicht angewendet werden.

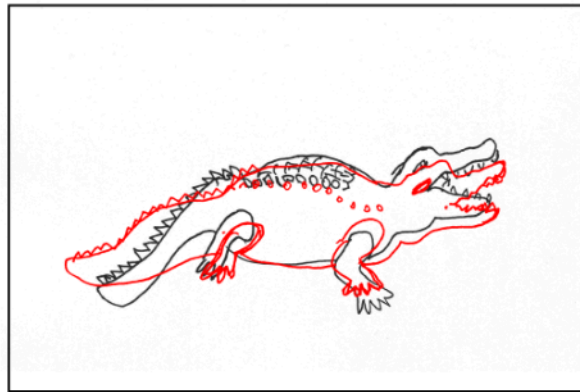


Abbildung 3.6: Überlagerung der freien Zeichnung der realen Szene (schwarz) und der freien Zeichnung der digitalen Abbildung (rot)

Unklar bleibt, inwiefern die Vereinfachung der Aufgabe durch die Scheibe die Wahrnehmung beeinflusst. Die Ergebnisse zeigen, dass auch die Änderung der Zeichenaufgabe einen Einfluss darauf hat, welche Kanten eingezeichnet werden. Daher ist eine zusätzliche Betrachtung von freien Zeichnungen sinnvoll. Möglicherweise führt die Projektion auf die Scheibe bereits dazu, dass beim Zeichnen Tiefenunterschiede weniger berücksichtigt werden und andere Informationen dominanter sind. Eine Möglichkeit, freie Zeichnungen auszuwerten, wird in Bainbridge (2022) beschrieben. Bainbridge (2022) beschreibt Online Crowdsourcing als eine Möglichkeit, um Zeichnungen quantifizierbar zu machen. Dafür werden die Zeichnungen von verschiedenen Menschen unabhängig voneinander ausgewertet. Durch eine hohe Zahl von Bewertungen, soll so eine objektivere Beurteilung ermöglicht werden. In diesem Versuch könnten Versuchspersonen Kanten zunächst kategorisieren und dann beurteilen, welche dieser Kanten vorhanden sind. Eine mögliche Kategorisierung der Kanten hierfür wäre:

1. Kanten mit hohem Kontrast und großem Tiefenunterschied

2. Kanten mit niedrigem Kontrast und großem Tiefenunterschied
3. Kanten mit hohem Kontrast und geringem Tiefenunterschied
4. Kanten mit niedrigem Kontrast und geringem Tiefenunterschied

4 Diskussion

Ziel war es, eine Methode zu entwickeln, mit der sich die Wahrnehmung von Kanten und Konturen in realen dreidimensionalen Szenen mit der Wahrnehmung in zweidimensionalen fotografischen Abbildungen vergleichen lässt. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass sich der Versuchsaufbau grundsätzlich eignet, um vergleichbare Stimuli realer Szenen und digitaler Abbildungen zu erstellen.

Die Aufgabenstellungen sind geeignet, um die wahrgenommenen Kanten zu erfassen. Insbesondere hat sich das Nachzeichnen auf einer transparenten Scheibe als vergleichbare Aufgabenstellung zum Nachzeichnen von digitalen Abbildungen mit einem Zeichentablett herausgestellt. Die Scheibe hat es ermöglicht, mangelnde zeichnerische Fähigkeiten auf gleiche Weise auszugleichen wie die Verwendung eines Zeichentabletts. Die Ergebnisse zeigen, dass auch die Änderung der Zeichenaufgabe einen Einfluss darauf hat, welche Kanten eingezeichnet werden. Unklar ist, ob diese Unterschiede auf inkonsistente Entscheidungen der Versuchspersonen oder auf den Einfluss der Aufgabenstellung zurückzuführen sind. Daher sollten in zukünftigen Versuchen auch freie Zeichnungen berücksichtigt werden, trotz der Herausforderungen, die sich bei der Auswertung ergeben.

4.1 Fehlerquellen

Bei dem Versuchsaufbau treten verschiedene Fehlerquellen auf, die die Vergleichbarkeit der Zeichnungen beeinflussen können.

Zeichengenauigkeit und motorische Einflüsse

Bei kleinen Abweichungen der Position von Linien kann es sich um mangelnde Genauigkeit beim Zeichnen handeln.

Beim Nachzeichnen auf der transparenten Scheibe kann das dadurch verstärkt werden, dass auf einer senkrechten Fläche gezeichnet wird. Das ist für die meisten Menschen ungewohnt und kann die Aufgabe motorisch erschweren.

Perspektive in realen Szenen

Abweichungen beim Nachzeichnen der realen Szenen können auf eine inkonsistente Perspektive zurückzuführen sein. Die Versuche haben gezeigt, dass bei der Betrachtung naher Objekte, wie es in der Box passiert, schon geringe Bewegungen eine erkennbare Änderung des Betrachtungswinkels bewirkt und somit die Perspektive erkennbar verändern. Der Bewegungsspielraum lässt sich jedoch nicht deutlich stärker begrenzen, ohne dabei die Sicht einzuschränken. Die Konsistenz der Perspektive ist somit davon abhängig, wie konstant die Versuchsperson ihre Position beibehält. Fehler in der Perspektive können also durch die Bewegungen der Versuchsperson beim Zeichnen entstanden sein.

Bei den freien Zeichnungen der Realen Szenen hat sich gezeigt, dass sich eine Beeinträchtigung durch den Aufbau der Box ergibt. Da die freien Zeichnungen auf einer horizontalen Zeichenfläche stattfinden, die sich nah am Beobachtungspunkt befindet, entsteht ein ungünstiger Betrachtungswinkel. Das erschwert die Beurteilung von Proportionen und Perspektive während des Zeichnens. Der Beobachtungswinkel unterscheidet sich deutlich von den anderen Zeichenbedingungen und kann zu perspektivischen Verzerrungen führen, die die Ergebnisqualität beeinträchtigten.

Fehler bei der Übertragung der Stimuli

Für die Qualität der Stimuli ist es wichtig, dass die Perspektive erhalten bleibt und, dass die Kanten beziehungsweise die Elemente die in der Realität erkennbar sind auch auf dem Foto erkennbar abgebildet sind. Fotos können die Realität jedoch nie exakt einfangen.

Beim Fotografieren der realen Szenen kann die Perspektive schon durch geringe Neigung der Kamera Verzerrt werden. Weiterhin kann sich der Aufnahmepunkt der Fotos leicht vom Beobachtungspunkt unterscheiden. Gründe für fehlende Kanten in digitalen Abbildungen können Fehlen der Tiefenwahrnehmung, aber auch ein veränderter Kontrast in den Fotos sein. Der begrenzte Dynamikumfang kann dazu führen, dass Kontraste auf einem Foto weniger stark ausgeprägt sind, als in der Realität. Weiterhin kann das begrenzte Helligkeitsspektrum auch dazu führen, dass Kanten in sehr hellen oder sehr dunklen Bereichen in den Abbildungen komplett verloren gehen. Ein Verlust von Informationen aufgrund begrenzter Auflösung oder

begrenztem Dynamikumfang lässt sich zwar reduzieren, aber nie vollständig vermeiden.

4.2 Limitationen

Die Methode ermöglicht nur Aussagen über die Tiefenwahrnehmung anhand monokularer Tiefeninformationen. Die monokulare Wahrnehmung von realen dreidimensionalen Bildern ermöglicht Tiefenhinweise durch Akkommodation. Akkommodation bezeichnet die Veränderung der Linsenkrümmung der Augen, um Objekte unterschiedlicher Entfernungen scharf auf der Retina abzubilden. Besonders im Nahbereich entstehen dabei deutliche Unschärfefeffekte. Auch in Fotos können Bereiche außerhalb des Fokus der Kamera unscharf sein, jedoch ist dieser Effekt dort konstant und ändert sich nicht, wenn andere Objekte mit dem Auge betrachtet werden. Über binokulare Wahrnehmung kann keine Aussage getroffen werden, da in diesem Fall weitere Tiefenhinweise hinzukommen. Weiterhin werden Tiefeninformationen, die aufgrund von Bewegungen entstehen, stark eingeschränkt, da die Perspektive fixiert wird und Bewegungen im Versuchsaufbau vermieden werden sollen. Bei Bewegungen ändert sich, ob und wie stark Objekte verdeckt werden. Zusätzlich bewegen sich nahe Objekte deutlicher bei Änderung der Perspektive. In realer Wahrnehmung ist die Perspektive nicht begrenzt und es sind somit mehr Informationen über die Dreidimensionalität vorhanden. Eine weiterer Einschränkung ist, dass die Verwendung der Box nur die Untersuchung naher Objekte ermöglicht. Der Einfluss von Tiefenhinweisen auf Kantenwahrnehmung und Objekterkennung könnte je nach Abstand der Stimuli unterschiedlich stark sein, da je nach Abstand andere Tiefenhinweise dominanter sind.

Unklar bleibt auch, wie stark die eingezeichneten Kanten tatsächlich von der Wahrnehmung abhängig sind. Die Entscheidung darüber, welche Kanten eingezeichnet werden, kann von der Aufgabenstellung und der individuellen Zeichenstrategie beeinflusst werden. In einigen Zeichnungen wurden beispielsweise Kanten, die durch Schatten auf dem Boden entstehen, nicht eingezeichnet. Wenn man aber die Anweisung gibt, bewusst auch auf solche Kanten zu achten, die durch Schattenwürfe entstehen, werden diese häufiger beachtet und eingezeichnet.

4.3 Zukünftige Betrachtungen

In diesem Versuch wurden als Stimuli einfache Objekte vor einem gleichförmigen Hintergrund verwendet. Die Stimuli aus Haverkamp (2025) sind im Vergleich deutlich komplexer. Die verwendeten Fotos zeigen Szenen mit unterschiedlicher Beleuchtung, Schatten auf Objekten und komplexeren Hintergründen. Für zukünftige Versuche kann die Beleuchtung durch weitere Lampen variiert werden. Um komplexere Szenen zu erhalten, können verschiedene Objekte auf Platten befestigt werden, die sich in die Box einsetzen lassen.

Um gezielt den Einfluss von Ortsfrequenzen auf die Kantenwahrnehmung in realen Szenen zu untersuchen, kann eine weitere Scheibe zwischen den Stimuli und der Scheibe, die als Zeichenfläche dient, angebracht werden. Darauf können verschiedene Rauschmuster gedruckt werden, um den Versuch aus Haverkamp (2025) für reale Szenen nachzubilden.

4.4 Schlussfolgerung

Insgesamt zeigt die Untersuchung, dass der Versuchsaufbau grundsätzlich geeignet ist, Unterschiede der Kantenwahrnehmung zwischen realen Szenen und digitalen Abbildungen zu erfassen. Das Nachzeichnen auf einer transparenten Scheibe zeigt sich als guter Vergleich zum Nachzeichnen von digitalen Abbildungen mit einem Zeichentablett. Die Ergebnisse des Nachzeichnens lassen sich im Vergleich zu freien Zeichnungen besser auswerten, für zukünftige Versuche ist jedoch auch die Betrachtung freier Zeichnungen sinnvoll.

Diese Arbeit liefert somit einen methodischen Beitrag, um zu untersuchen, wie sich die Kantenwahrnehmung in realen Szenen von der in zweidimensionalen digitalen Abbildungen unterscheidet. Für aussagekräftige Vergleiche zwischen realen und digitalen Bedingungen sind Untersuchungen mit größeren Stichproben erforderlich.

Literatur

- Bainbridge, W. A. (2022): A tutorial on capturing mental representations through drawing and crowd-sourced scoring. *Behavior Research Methods*, 54(2), 663–675. <https://doi.org/10.3758/s13428-021-01672-9>
- Bainbridge, W. A., Chamberlain, R., Wammes, J., & Fan, J. E. (2025): Drawing as a means to characterize memory and cognition. *Memory & Cognition*, 53(1), 1–5. <https://doi.org/10.3758/s13421-024-01618-4>
- Betz, T., Shapley, R., Wichmann, F. A., & Maertens, M. (2015): Noise masking of White’s illusion exposes the weakness of current spatial filtering models of lightness perception. *Journal of Vision*, 15(14), 1. <https://doi.org/10.1167/15.14.1>
- Biederman, I., & Ju, G. (1988): Surface versus edge-based determinants of visual recognition. *Cognitive Psychology*, 20(1), 38–64. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(88\)90024-2](https://doi.org/10.1016/0010-0285(88)90024-2)
- Fan, J. E., Bainbridge, W. A., Chamberlain, R., & Wammes, J. D. (2023): Drawing as a versatile cognitive tool. *Nature Reviews Psychology*, 2(9), 556–568. <https://doi.org/10.1038/s44159-023-00212-w>
- Haverkamp, A. L. (2025): *Do the presumed mechanisms underlying human edge perception translate to natural images?* [Masterarbeit]. Technische Universität Berlin.
- Korisky, U., & Mudrik, L. (2021): Dimensions of Perception: 3D Real-Life Objects Are More Readily Detected Than Their 2D Images. *Psychological Science*, 32(10), 1636–1648. <https://doi.org/10.1177/09567976211010718>
- Schmittwilken, L., Wichmann, F. A., & Maertens, M. (2024): Standard models of spatial vision mispredict edge sensitivity at low spatial frequencies. *Vision Research*, 222, 108450. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2024.108450>
- Shapley, R. M., & Tolhurst, D. J. (1973): Edge detectors in human vision. *The Journal of Physiology*, 229(1), 165–183. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1973.sp010133>
- Touryan, J., & Dan, Y. (2001): Analysis of sensory coding with complex stimuli. *Current Opinion in Neurobiology*, 11(4), 443–448. [https://doi.org/10.1016/S0959-4388\(00\)00232-4](https://doi.org/10.1016/S0959-4388(00)00232-4)