

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



Bachelorarbeit

Zusammenhang zwischen Kantenwahrnehmung und Helligkeitswahrnehmung

Tim Christopher Schlesier
Matrikelnummer: 383432
Studiengang: Medieninformatik

zum 14. November 2024

Betreuer/innen: Lynn Schmittwilken
Gutachter/innen: Prof. Dr. Marianne Maertens
Prof. Dr. Guillermo Gallego

Eigenständigkeitserklärung

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

Sofern generative KI-Tools verwendet wurden, habe ich Produktnamen, Hersteller, die jeweils verwendete Softwareversion und die jeweiligen Einsatzzwecke (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.

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

Gezeichnet, Tim Christopher Schlesier geboren am 18. 12. 1994 in Berlin.

Berlin, 13. November 2024

Ort, Datum



Unterschrift

Zusammenfassung

Im Prozess der visuellen Wahrnehmung spielen Kanten eine wichtige Rolle, um beispielsweise die Form von Objekten zu erkennen. Welche Mechanismen der Wahrnehmung von Kanten und der damit verbundenen Helligkeitswahrnehmung zugrunde liegen, ist jedoch noch unbekannt. Diese Arbeit untersucht den Zusammenhang zwischen der Wahrnehmung von Kanten und unterschiedlichen hellen Bereichen. Dazu werden basierend auf der Arbeit von Schmittwilken et al. (2024) und Großmann (2023) zwei Experimente zur Wahrnehmung von Kanten und Helligkeit durchgeführt. In diesen Experimenten werden den Versuchspersonen Cornsweet-Kanten mit variierendem Kontrast in Kombination mit verschiedenen Rauschmasken gezeigt. Dabei besteht die Aufgabenstellung der Proband*innen entweder darin, die Cornsweet-Kante wahrzunehmen oder die Polarität der Cornsweet-Kante zu bestimmen. Aus einem Vergleich der Ergebnisse beider Experimente geht hervor, dass die Versuchspersonen beim Bestimmen der Polarität der Cornsweet-Kanten auf höhere Kontrastwerte angewiesen sind. Somit ist es für die Versuchspersonen einfacher, die Cornsweet-Kanten wahrzunehmen. Das impliziert, dass die visuelle Wahrnehmung sensibler für Kanten im Vergleich zu unterschiedlich hellen Bereichen ist. Im Einklang mit bereits bestehender Literatur deutet das darauf hin, dass die Wahrnehmung unterschiedlich heller Bereiche von der Wahrnehmung einer Kante abhängt.

Abstract

Edges play an important role in the process of visual perception, for example to recognise the shape of objects. However, the mechanisms underlying the perception of edges and the associated perception of brightness are still unknown. This thesis investigates the relationship between the perception of edges and areas of different brightness. Based on the work of Schmittwilken et al. (2024) and Großmann (2023), two experiments on the perception of edges and brightness are carried out. In these experiments, the test subjects are shown Cornsweet edges with varying contrast in combination with different noise masks. The test subjects' task is either to perceive the Cornsweet edge or to determine the polarity of the Cornsweet edge. A comparison of the results of both experiments shows that the test subjects are dependent on higher contrast values when determining the polarity of the Cornsweet edges. It is therefore easier for the test subjects to perceive the Cornsweet edges. This implies that visual perception is more sensitive to edges compared to areas of different brightness. In line with existing literature, this suggests that the perception of areas of different brightness depends on the perception of an edge.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	vii
Tabellenverzeichnis	viii
Abkürzungsverzeichnis	ix
1 Einleitung	1
1.1 Begriffsdefinitionen	2
1.1.1 Luminanz, Helligkeit und Kontrast	2
1.1.2 Kanten und Cornsweet-Kanten	3
1.1.3 Ortsfrequenz	5
1.2 Zielsetzung der Arbeit	5
1.3 Aufbau der Arbeit	8
2 Methodik	9
2.1 Design der Experimente	9
2.1.1 Stimuli	9
2.1.2 Versuchsaufbau	13
2.1.3 Versuchsablauf	14
Kantenexperiment	14
Polaritätsexperiment	15
2.2 Versuchspersonen	17
2.3 Datenauswertungsmethoden	17
2.4 Generalisierbarkeit der Ergebnisse der Kanten- und Polaritätsexperimente	17
2.5 Ethik und Datenschutz	19
3 Ergebnisse	20
3.1 Veranschaulichung der Auswertung anhand der Ergebnisse der Versuchsperson yx	20
3.2 Vergleich zwischen Helligkeits- und Kantenwahrnehmung	24

3.3 Vergleich mit den Ergebnissen der ursprünglichen Experimente	27
4 Diskussion	30
4.1 Fazit	33
5 Literaturverzeichnis	35

Abbildungsverzeichnis

1.1 Schwarz-Weiß-Bild einer Häuserfassade	1
1.2 Machsche Bänder mit dem dazugehörigen Luminanzprofil und der tatsächlich wahrgenommen Helligkeit	3
1.3 Cornsweet-Kanten mit unterschiedlich breiten Rampen und den dazugehörigen Luminanzprofilen	4
1.4 Craik-O'Brien-Cornsweet Illusion	6
1.5 Beispielstimulus des ursprünglichen Kanten- und Polaritätsexperiments .	7
2.1 Cornsweet-Kanten des Kanten- und Polaritätsexperiments	10
2.2 Rauschmasken des Kanten- und Polaritätsexperiments	11
2.3 Die 21 verschiedenen Stimulusvarianten des Kanten- und Polaritätsexperiments	12
2.4 Stimulusvariante mit minimalem und maximalem Kontrast	13
2.5 Beispielstimulus des Kantenexperiments	15
2.6 Beispielstimulus des Polaritätsexperiments	16
2.7 Beispielstimulus des ursprünglichen Kanten- und Polaritätsexperiments .	18
3.1 Psychometrische Funktionen für jede Stimulusvariante des Kantenexperiments der Versuchsperson yx	22
3.2 Schwellenwerte der Versuchsperson yx	23
3.3 Psychometrische Funktionen des Kanten- und Polaritätsexperiments . . .	25
3.4 Schwellenwerte des Kanten- und Polaritätsexperiments	26
3.5 Differenz der Schwellenwerte der ursprünglichen Experimente und der Experimente dieser Arbeit	28

Tabellenverzeichnis

3.1 Ausschnitt der Ergebnisse des Kantenexperiments der Versuchspersonen yx	20
3.2 Anzahl der gegebenen und korrekten Antworten der Versuchsperson yx einer Stimulusvariante	21

Abkürzungsverzeichnis

RMS-Kontrast	Root Mean Square-Kontrast
NOF	niedrige Ortsfrequenz
MOF	mittlere Ortsfrequenz
HOF	hohe Ortsfrequenz
K	keine Rauschmaske
W	weiße Rauschmaske
P	pinke Rauschmaske
B	braune Rauschmaske
SB NOF	Schmalbandrauschen mit einer niedrigen Ortsfrequenz
SB MOF	Schmalbandrauschen mit einer mittleren Ortsfrequenz
SB MOF	Schmalbandrauschen mit einer hohen Ortsfrequenz
2-IFC	two-interval forced choice
2-AFC	two-alternativ forced choice

1 Einleitung

Die visuelle Wahrnehmung erlaubt es dem Menschen, Informationen aus der Umwelt zu erfassen und zu verarbeiten. In diesem Prozess spielen vor allem Kanten eine wichtige Rolle. Denn die Wahrnehmung von Kanten hilft dabei, Umrisse von Objekten zu erkennen und diese von anderen zu unterscheiden (Yang et al., 2022). Die Abbildung 1.1 zeigt ein Schwarz-Weiß-Bild einer Häuserfassade. Durch die Vielzahl an Kanten können die verschiedenen Elemente der Fassade klar voneinander unterschieden und erkannt werden.

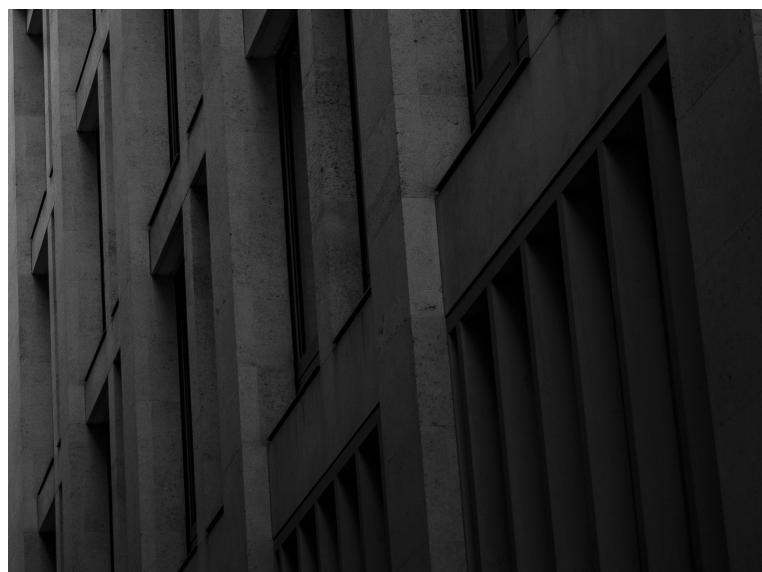


Abbildung 1.1: Schwarz-Weiß-Bild einer Häuserfassade.¹

Kanten sind definiert als Bereiche, in denen sich die Helligkeit abrupt ändert. Jedoch sind die zugrundeliegenden Mechanismen der menschlichen Kantenwahrnehmung sowie

¹Quelle: Bacher, 2018

menschlicher Helligkeitswahrnehmung und ihrer Interaktion noch ungeklärt. Diese Arbeit setzt sich mit dem Zusammenhang zwischen der Wahrnehmung von Kanten und der Wahrnehmung von Helligkeit auseinander. Dazu werden zunächst die wichtigsten Begriffe definiert, die im weiteren Verlauf eine Rolle spielen.

1.1 Begriffsdefinitionen

1.1.1 Luminanz, Helligkeit und Kontrast

Ein entscheidender Faktor im Prozess der visuellen Wahrnehmung ist das Licht. Es fungiert als Medium für die Übertragung visueller Reize. Lichtquellen wie zum Beispiel die Sonne oder eine Glühlampe strahlen Licht aus. Wenn das Licht auf ein Objekt trifft, kann es von diesem Objekt ins Auge reflektiert werden. Dort wird es durch die Hornhaut und die Linse auf die Netzhaut fokussiert. Im Anschluss wandeln Photorezeptoren den physikalischen Reiz in ein neuronales Signal um, das im Gehirn verarbeitet wird. Die Menge des Lichts, die von einem Objekt in das Auge reflektiert wird, wird Luminanz genannt. Die Luminanz ist abhängig von der Beleuchtungsstärke und dem Reflexionsgrad des Objekts. Die Einheit der Luminanz wird in Candela pro Quadratmeter (cd/m^2) angegeben. Im Gegensatz zur Luminanz als physikalische Größe, beschreibt die Helligkeit die subjektiv wahrgenommene Luminanz (Gilchrist, 2006). Dabei kann die Luminanz im Vergleich zu der Helligkeit deutlich stärker variieren. An einem hellen Tag liegt der Wert der Luminanz im Freien deutlich über dem Wert in einem Innenraum. Dennoch bleibt die Helligkeit eines Objektes relativ konstant. So wird beispielsweise ein Blatt Papier unter freiem Himmel und in einem Innenraum als weiß wahrgenommenen. Der Unterschied zwischen der Luminanz und der wahrgenommenen Helligkeit lässt sich ebenfalls anhand optischer Illusionen verdeutlichen. Ein Beispiel dafür sind Machsche Bänder, die in der Abbildung 1.2 dargestellt sind. Hierbei erscheint in den Randbereichen der einzelnen Flächen ein heller oder dunkler Streifen, obwohl die Luminanz innerhalb der Flächen konstant ist. Somit unterscheidet sich die wahrgenommene Helligkeit von der tatsächlichen Luminanz. Das Verhältnis der Luminanz zwischen zwei angrenzenden Bereichen beschreibt laut Gilchrist (2006) den Kontrast. Im Kontext der visuellen Wahrnehmung gibt es verschiedene Arten, den Kontrast zu definieren. Der Weber-Kontrast wird beispielsweise in Fällen verwendet, in denen der Kontrast eines Objekts im Verhältnis zu einem einheitlichen Hintergrund bestimmt werden soll. Bei periodischen Mustern kommt in der Regel der Michelson Kontrast zum Einsatz. Im Verlauf dieser Arbeit wird jedoch

der Root Mean Square-Kontrast (RMS-Kontrast) genutzt. Dieser ist dafür geeignet, wenn der Kontrast eines gesamten Bildes bestimmt werden soll.

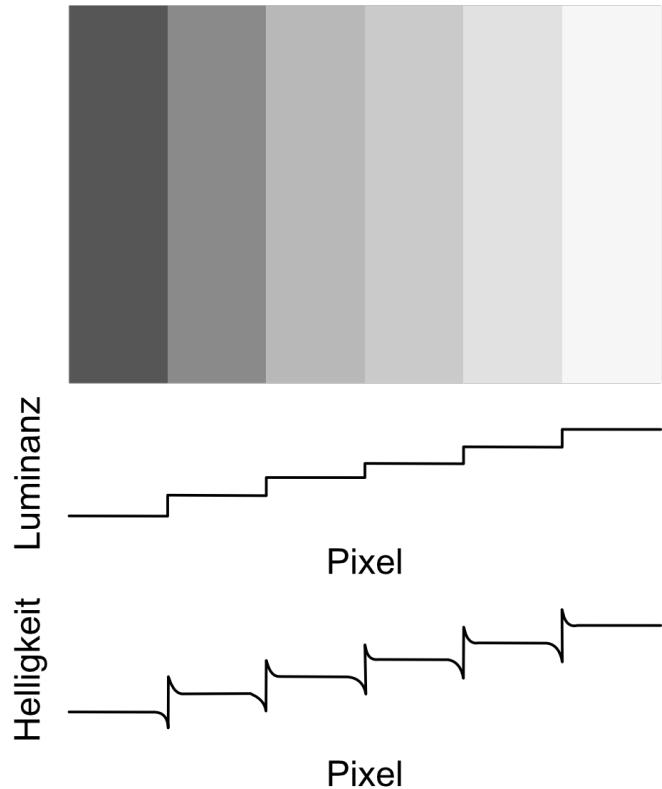


Abbildung 1.2: Machsche Bänder mit dem dazugehörigen Luminanzprofil und der tatsächlich wahrgenommenen Helligkeit.²

1.1.2 Kanten und Cornsweet-Kanten

Die Helligkeitssprünge in den Randbereichen der Abbildung 1.2 werden als Kanten wahrgenommen. Dabei handelt es sich nach Ziou und Tabbone (1998) um eine Kante, die durch einen Sprung in der Luminanz entsteht. Im Verlauf dieser Arbeit werden sogenannten Cornsweet-Kanten verwendet. Bei einer Cornsweet-Kante steigt die Luminanz

²Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Peromaa und Laurinen, 2004

zunächst an oder sie fällt ab, bis es zu einem Luminanzsprung kommt. Anschließend nähert sich die Luminanz erneut der durchschnittlichen Luminanz an. Der Bereich, in dem sich die Luminanz vor und nach dem Luminanzsprung ändert, wird in diesem Kontext als Rampe bezeichnet. Diese Rampe kann unterschiedlich breit sein. Im Verlauf dieser Arbeit werden Cornsweet-Kanten mit einer linearen Rampe verwendet. Cornsweet-Kanten besitzen immer eine helle und eine dunkle Seite. In Abbildung 1.3 sind zwei Cornsweet-Kanten mit unterschiedlich breiten Rampen und den dazugehörigen Luminanzprofilen dargestellt. In dieser Abbildung zeigt die helle Seite beider Kanten nach rechts.

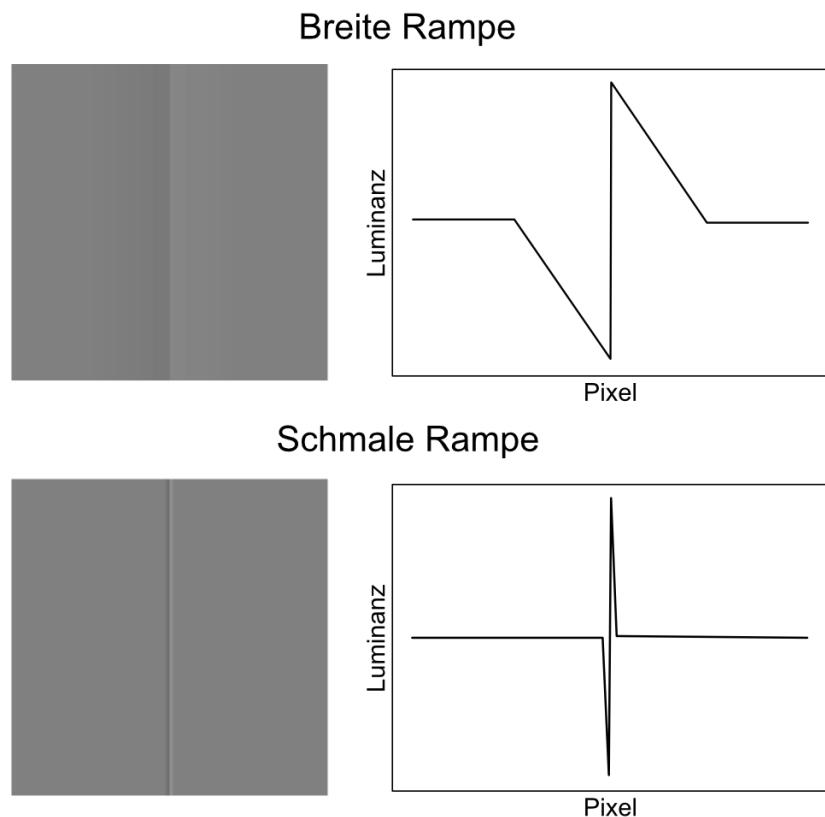


Abbildung 1.3: Cornsweet-Kanten mit unterschiedlich breiten Rampen und den dazugehörigen Luminanzprofilen.

1.1.3 Ortsfrequenz

Ein weiterer Begriff, der in dieser Arbeit von Bedeutung ist, ist die Ortsfrequenz. Diese beruht auf dem Konzept Fourier-Analyse und gibt im Allgemeinen an, wie oft sich sinusförmige Komponenten eines Signals in einer bestimmten Einheit wiederholen. Im Kontext der visuellen Wahrnehmung ist die Ortsfrequenz als Anzahl der Perioden pro Grad des Sehwinkels definiert. Dabei bezieht sich die Periode auf die Anzahl der Schwingungen einer Sinusfunktion. Der Sehwinkel gibt an, wie groß etwas auf der Netzhaut abgebildet wird. Der Sehwinkel ist abhängig von der Größe eines Gegenstands und dem Abstand zu diesem. Bei den Cornsweet-Kanten aus Abbildung 1.3 besitzt die Kante mit der breiten Rampe vor allem Anteile von Sinusfunktionen mit einer niedrigen Frequenz. Daher hat diese Kante eine niedrige Ortsfrequenz. Der Cornsweet-Kante mit der schmalen Rampe liegen vor allem Sinusfunktionen mit einer hohen Frequenz zugrunde, sodass diese Kante eine hohe Ortsfrequenz besitzt. Laut Campbell & Maffei (1974) können bestimmte Ortsfrequenzen besser visuell wahrgenommen werden als andere. Das bedeutet, dass je nach Ortsfrequenz der Kontrast stärker oder schwächer sein kann, damit Menschen einen Reiz noch wahrnehmen können.

1.2 Zielsetzung der Arbeit

Bei der Betrachtung der Cornsweet-Kanten mit der breiten Rampe aus Abbildung 1.3 lässt sich feststellen, dass die Randbereiche als unterschiedlich hell wahrgenommen werden. Ihre Luminanz ist jedoch identisch. Diese Illusion ist als die Craik-O'Brien-Cornsweet Illusion bekannt, die in Abbildung 1.4 abgebildet ist. Die Randbereiche im linken Bild der Abbildung erscheinen auf der linken Seite dunkler und auf der rechten Seite heller zu sein. Wird die Kante jedoch verdeckt, werden die Randbereiche als gleich hell wahrgenommen, wie auf dem rechten Bild der Abbildung 1.4 zu sehen ist.



Abbildung 1.4: Die Craik-O'Brien-Cornsweet Illusion, bei der im linken Bild die Randbereiche unterschiedlich hell erscheinen, während sie im rechten Bild mit der verdeckten Kante als gleich hell wahrgenommen werden.

Das Auftreten der Illusion ist somit von der Wahrnehmung einer Kante abhängig. Das impliziert, dass die wahrgenommene Helligkeit durch die Wahrnehmung einer Kante beeinflusst wird. Daher liegt die Vermutung nahe, dass ein Zusammenhang zwischen der Kanten- und Helligkeitswahrnehmung existiert. Diese Arbeit setzt sich mit dieser Verbindung, zwischen der Wahrnehmung einer Kante und der Wahrnehmung zwei unterschiedlich heller Bereiche auseinander. Dabei wird untersucht, ob die visuelle Wahrnehmung sensitiver für Kanten oder unterschiedlich helle Bereiche ist. Konkret lautet daher die Forschungsfrage dieser Arbeit:

Bedingt die Wahrnehmung einer Kante die Wahrnehmung zweier unterschiedlich heller Bereiche?

Es gibt bereits Arbeiten, die sich mit dem Thema dieser Forschungsfrage oder ähnlichen Themen beschäftigt haben. Tolhurst und Dealy (1975) untersuchten die Wahrnehmung von Kanten und Linien. Dazu führten sie zwei Experimente durch. In dem einen Experiment sahen die Versuchspersonen in jedem Durchgang zwei Stimuli. Dabei enthielt nur einer der Stimuli eine Kante. Die Versuchspersonen sollten nach jedem Durchgang angeben, ob sich die Kante im ersten oder zweiten Stimulus befand und die Polarität der Kante bestimmen. Die Ergebnisse dieses Experiments zeigten, dass die Proband*innen die Kanten und deren Polarität nahezu gleich gut wahrnehmen konnten (Tolhurst & Dealy, 1975).

Die Bachelorarbeit von Großmann (2023) befasst sich mit dem gleichen Thema dieser Arbeit. Darin führte er ein Experiment zu der Wahrnehmung von Helligkeit durch, dass im Folgenden Polaritätsexperiment genannt wird. In diesem Polaritätsexperiment wurden Cornsweet-Kanten in Kombination mit verschiedenen Rauschmasken genutzt.

Dabei wurde die Cornsweet-Kante zufällig im oberen oder unteren Bereich des Stimulus platziert. Die Aufgabenstellung der Versuchspersonen bestand darin zu bestimmen, ob die helle Seite der Cornsweet-Kante nach oben oder unten zeigt. Die Ergebnisse dieses Experiments verglich Großmann (2023) mit den Ergebnissen des Experiments von Schmittwilken, Wichmann und Maertens (2024). Schmittwilken et al. (2024) führten ein Experiment über die Sensitivität der Wahrnehmung von Kanten durch. Dazu wurden identisch zum Experiment von Großmann (2023) Cornsweet-Kanten in Kombination mit verschiedenen Rauschmasken genutzt. Dabei wurde die Cornsweet-Kante ebenfalls zufällig im oberen oder unteren Bereich des Stimulus platziert. In diesem Experiment lag die Aufgabe der Versuchspersonen darin zu bestimmen, ob sich die Kante im oberen oder unteren Bereich des Stimulus befand. Die Abbildung 1.5 zeigt einen Beispielstimulus der beiden Experimente. In diesem Beispiel befindet sich die Kante im oberen Bereich des Stimulus und die helle Seite der Cornsweet-Kante zeigt nach unten.

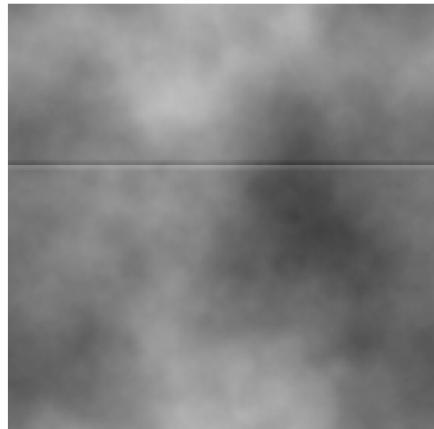


Abbildung 1.5: Beispielstimulus des Kanten- und Polaritätsexperiments. Die Cornsweet-Kante befindet sich im oberen Bereich des Stimulus und die helle Seite zeigt nach unten.

Durch einen Vergleich der Ergebnisse des Kanten- und Polaritätsexperiment kam Großmann (2023) zu dem Schluss, dass die Wahrnehmung sensitiver gegenüber Kanten im Vergleich zu Helligkeit ist.

Um die Forschungsfrage dieser Arbeit zu beantworten, werden das Kantenexperiment von Schmittwilken et al. (2024) und das Polaritätsexperiment von Großmann (2023) angepasst und erneut durchgeführt. Im Anschluss daran werden die Ergebnisse der bei-

den Experimente miteinander verglichen. Dadurch kann eine Aussage darüber getroffen werden, ob die visuelle Wahrnehmung sensitiver für Kanten oder für unterschiedlich hellen Bereiche ist. Basierend auf den Ergebnissen von Großmann (2023) wird die folgende Hypothese formuliert:

Nullhypothese (H_0): Wenn die Ergebnisse im Kantenexperiment nicht besser als die im Polaritätsexperiment sind, bedingt die Wahrnehmung einer Kante nicht die Wahrnehmung von zwei unterschiedlich hellen Bereichen.

Alternativhypothese (H_1): Wenn die Ergebnisse im Kantenexperiment besser als die im Polaritätsexperiment sind, bedingt die Wahrnehmung einer Kante die Wahrnehmung von zwei unterschiedlich hellen Bereichen.

1.3 Aufbau der Arbeit

Mit dem Ziel zu untersuchen, ob die Wahrnehmung einer Kante die Wahrnehmung von zwei unterschiedlich hellen Bereichen beeinflusst, wurden zwei Experimente durchgeführt. Diese Experimente basieren auf dem Kantenexperiment von Schmittwilken et al. (2024) und dem Polaritätsexperiment von Großmann (2023). Das nächste Kapitel stellt das angepasste Kanten- und Polaritätsexperiment dieser Arbeit im Detail vor. Des Weiteren wird darauf eingegangen, wie die Ergebnisse der Experimente ausgewertet werden und aus welchem Grund die Experimente angepasst wurden. Kapitel 3 stellt die Ergebnisse des Kanten- und Polaritätsexperiments dar und vergleicht sie miteinander. Im Vergleich der Ergebnisse der beiden Experimente hat sich gezeigt, dass es den Versuchspersonen leichter fiel, Cornsweet-Kanten und nicht deren Polarität wahrzunehmen. Darüber hinaus werden die Ergebnisse mit denen von Großmann (2023) und Schmittwilken et al. (2024) verglichen. In einer Diskussion erfolgt abschließend eine Interpretation der Ergebnisse im Kontext der aktuellen Forschung. Dabei wird ebenfalls auf die Limitationen der im Laufe dieser Arbeit durchgeführten Experimente eingegangen. Abschließend erfolgt eine Zusammenfassung der Arbeit und ihrer Ergebnisse.

2 Methodik

Um die Frage zu beantworten, ob die Wahrnehmung einer Kante die Wahrnehmung zweier unterschiedlich heller Bereich beeinflusst, werden im Verlauf der Arbeit zwei Experimente durchgeführt. Ein Experiment untersucht die Wahrnehmung von Kanten und das andere Experiment die Wahrnehmung von Helligkeit. Die Ergebnisse dieser beiden Experimente werden anschließend miteinander verglichen. Grundlage für die Experimente bilden das bereits erwähnte Katenexperiment von Schmittwilken et al. (2024) und das Polaritätsexperiment von Großmann (2023).

2.1 Design der Experimente

2.1.1 Stimuli

Für das Kanten- und Polaritätsexperiment werden Kanten in Kombination mit verschiedenen Rauschmasken verwendet. Damit die Stimuli nur einen einzelnen Luminanzsprung enthalten, werden Cornsweet-Kanten genutzt. Um verschiedene Ortsfrequenzen abzudecken, werden drei Cornsweet-Kanten mit unterschiedlich breiten Rampen verwendet. Die Rampen sind jeweils 2.88 arcmin, 9 arcmin und 58.8 arcmin breit, sodass die Cornsweet-Kanten eine niedrige, mittlere und hohe Ortsfrequenz besitzen. Die Cornsweet-Kanten sind in der folgenden Abbildung 2.5 zu sehen. Dabei sind die Kanten wie auch im Experiment horizontal dargestellt.

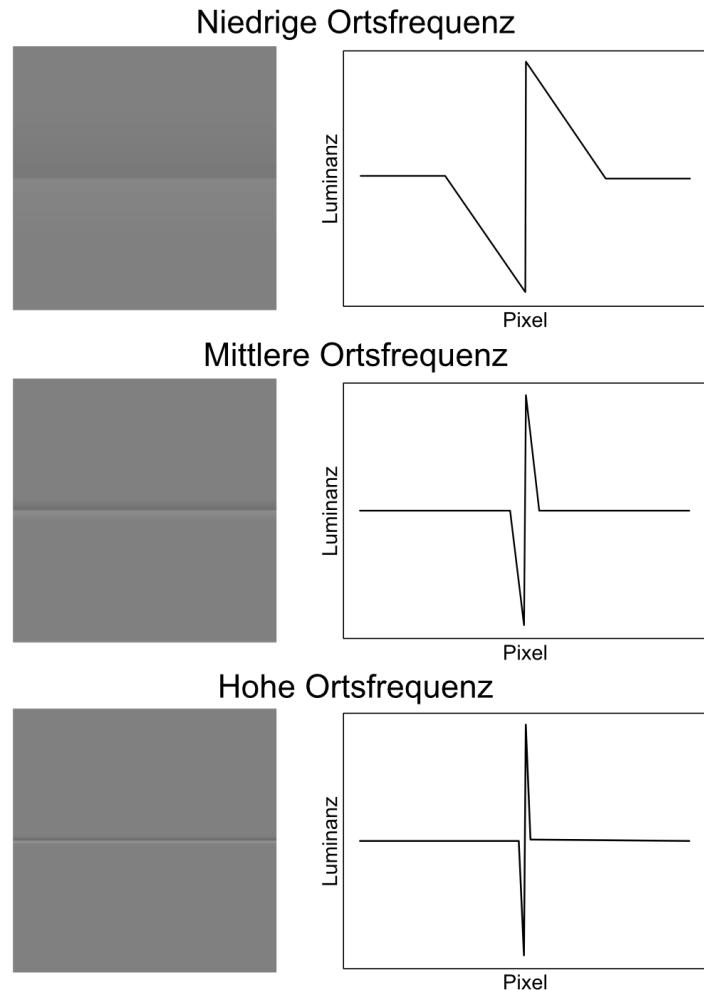


Abbildung 2.1: Die drei verwendeten Cornsweet-Kanten auf einem grauen Hintergrund links im Bild, mit ihrem jeweiligen Luminanzprofil rechts.¹

Neben den Cornsweet-Kanten werden sieben verschiedene Rauschmasken genutzt. Diese maskieren die Cornsweet-Kanten und erhöhen die Schwierigkeit, die Kante und ihre Polarität wahrzunehmen. Die Rauschmasken setzen sich aus drei Breitbandrauschenmasken, drei Schmalbandrauschenmasken und keiner Rauschmaske zusammen. Dabei besitzen die Schmalbandrauschenmasken eine Mittelfrequenz, die der niedrigen Ortsfrequenz (NOF), mittleren Ortsfrequenz (MOF) und hohen Ortsfrequenz (HOF) der Cornsweet-Kanten

¹Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Großmann, 2023

entspricht. Alle Rauschmasken besitzen den gleichen RMS-Kontrast von 0.2. In Abbildung 2.2 sind die verwendeten Rauschmasken zu sehen.

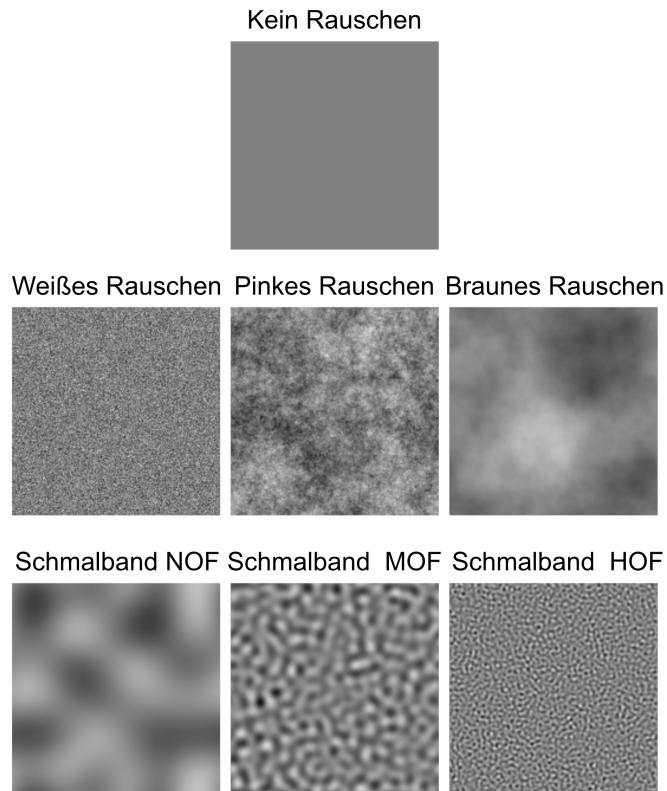


Abbildung 2.2: Die sieben verschiedenen Rauschmasken. Keine Rauschmaske in der ersten Reihe, gefolgt von den drei Breitbandrauschmasken in der zweiten Reihe. Die dritte Reihe zeigt die drei Schmalbandrauschmasken.

Aus der Kombination der drei Cornsweet-Kanten und den sieben Rauschmasken ergeben sich 21 verschiedene Stimulusvariationen. Diese sind in der Abbildung 2.3 dargestellt. Im Kanten- und Polaritätsexperiment sind die Cornsweet-Kanten immer in der Mitte des Stimulus platziert und die Polarität der Kante ist zufällig. Die verschiedenen Stimuli werden auf einen 4x4 Grad Sehwinkel großen Bereich mit einem grauen Farbton mit einer durchschnittlichen Luminanz von 100 cd/m^2 dargestellt.

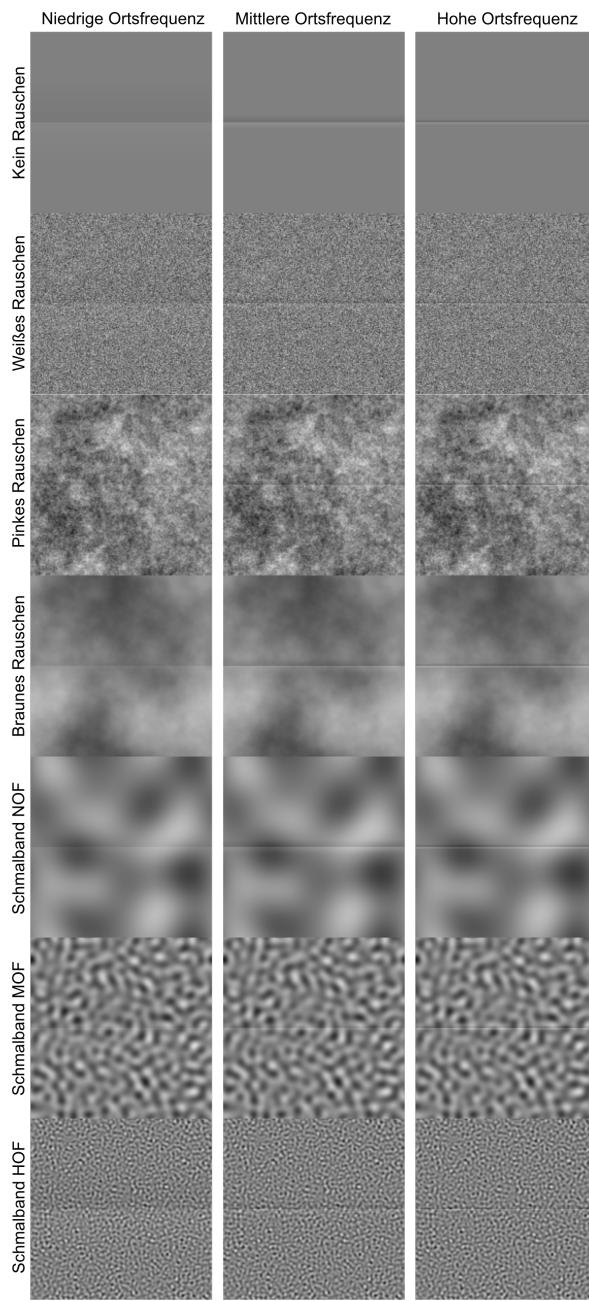


Abbildung 2.3: Die 21 verschiedenen Stimulusvarianten des Kanten- und Polaritätsexperiments.²

²Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Großmann, 2023

Während der Experimente variiert der Kontrast der Cornsweet-Kanten. Für das Kanten- und Polaritätsexperiment werden für jede der 21 verschiedenen Stimulusvarianten fünf verschiedene Kontrastwerte verwendet. Dabei wird der minimale Kontrastwert so gewählt, dass die Aufgabe im jeweiligen Experiment im Durchschnitt zu 50% richtig beantwortet werden kann. Somit sollten die Proband*innen bei dem minimalen Kontrast raten. Bei dem maximalen Kontrast hingegen sollten die Proband*innen im Durchschnitt zu 100% richtig liegen. Die Kontrastwerte werden durch Pilot-Experimente für das Kanten- und Polaritätsexperiment ermittelt. In Abbildung 2.4 sind der minimale und maximale Kontrast für eine Cornsweet-Kante mit hoher Ortsfrequenz und braunem Rausch abgebildet. Dabei ist der minimale Kontrast so gering, dass die Cornsweet-Kante praktisch nicht mehr zu sehen ist.

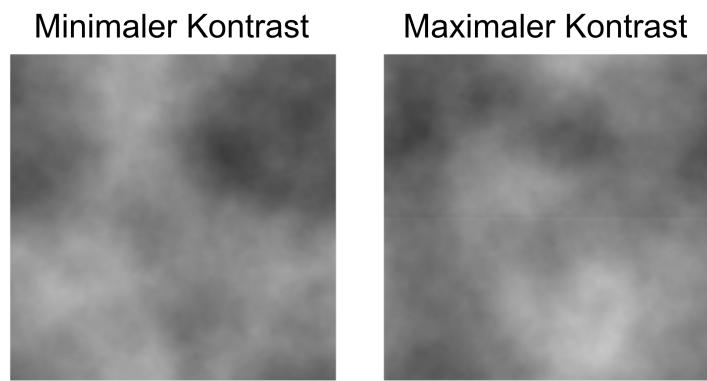


Abbildung 2.4: Die Stimulusvariante für die Cornsweet-Kante, mit hoher Ortsfrequenz und braunem Rauschen, mit dem minimalen Kontrast links und dem maximalen Kontrast rechts abgebildet.

2.1.2 Versuchsaufbau

Um externe Einflüsse möglichst gering zu halten und gleiche Bedingungen für alle Proband*innen zu schaffen, werden das Kanten- und Polaritätsexperiment in einem Labor durchgeführt. Die Proband*innen sitzen in einem vollständig abgedunkelten Bereich des Labors in 70 Zentimeter Abstand vor einem ViewPIXX 3D Monitor. Dieser hat eine Bildschirmgröße von 523 x 293 mm, eine Auflösung von 1920 x 1080 Pixeln und eine Bildwiederholrate von 120 Hz. Damit die Proband*innen in passender Entfernung zu dem Monitor sitzen, legen sie ihren Kopf während des Experiments auf einer Kinnstütze

ab. Als Eingabegerät verwenden die Proband*innen einen Handheld von RESPONSE-Pixx. Dieser besitzt 5 Tasten (links, rechts, oben, unten und eine mittlere Taste). Um auditive Signale erhalten zu können, setzen die Proband*innen während des Experiments Kopfhörer auf.

2.1.3 Versuchsablauf

Im folgenden Abschnitt wird auf das Kanten- und Polaritätsexperiment getrennt eingegangen, da sich der Versuchsablauf bei den zwei Experimenten unterscheidet.

Kantenexperiment

Im Kantenexperiment sehen die Proband*innen zwei Stimuli kurz hintereinander. Dabei enthält nur einer der beiden Stimuli eine Cornsweet-Kante. Die Aufgabe der Proband*innen besteht darin, zu bestimmen, ob sich die Cornsweet-Kanten im ersten oder zweiten Stimulus befindet. Diese Methode ist als sogenanntes two-interval forced choice Experiment (2-IFC-Experiment) bekannt.

Zu Beginn des Experiments wird den Proband*innen zunächst ihre Aufgabenstellung und der Ablauf des Experiments erläutert. Anschließend wird ein Warm-up Block durchgeführt, damit sich die Proband*innen mit dem Experiment vertraut machen können. Dieser besteht aus 60 Durchgängen. In jedem Durchgang hören die Proband*innen zunächst einen Signalton. Dieser signalisiert den Versuchspersonen, dass ein Stimulus gezeigt wird. Bei den Stimulusvarianten ohne Rauschmaske bestünde sonst das Risiko, dass die Versuchspersonen den Stimulus nicht wahrnehmen, wenn der Kontrast der Cornsweet-Kante niedrig ist. Danach wird der erste Stimulus über einen Zeitraum von 200 Millisekunden eingeblendet, ist dann für 100 Millisekunden bei vollem Kontrast zu sehen und wird anschließend in einem Zeitraum von 200 Millisekunden ausgeblendet. Nach einer Pause von 250 Millisekunden erhalten die Proband*innen erneut einen Signalton und der zweite Stimulus wird identisch zu dem Ersten ein und ausgeblendet. Im Experiment befinden sich rechts und links neben dem Stimulus mittig zwei schwarze Markierungen, um die Mitte des Stimulus besser zu erkennen. Anschließend entscheiden die Proband*innen mit dem Handheld von RESPONSEPixx, ob sich die Kante im ersten Stimulus oder im zweiten Stimulus befindet. Ist die Kante im ersten Stimulus platziert, drücken sie die linke Taste und liegt die Kante im zweiten Stimulus, drücken sie die rechte Taste. Während des Warm-ups erhalten sie nach ihrer Antwort auditives Feedback, ob ihre Antwort richtig

ist oder nicht. Darüber hinaus werden hohe Kontrastwerte für die Cornsweet-Kanten verwendet, damit es den Proband*innen leichter fällt, sich an die Aufgabe zu gewöhnen. Zwischen den Durchgängen ist ein Fixationspunkt in der Mitte des Monitors abgebildet. Nachdem der Warm-up Block abgeschlossen ist, beginnt der Hauptteil des Experiments. Dieser setzt sich aus 21 Blöcken in zufälliger Reihenfolge zusammen. Jeder Block deckt eine der 21 verschiedenen Stimulusvarianten ab. Innerhalb eines Blocks werden die 5 verschiedenen Kontrastwerte jeweils 20 Mal gezeigt, sodass ein Block aus insgesamt 100 Durchgängen besteht. Ein einzelner Durchgang läuft dabei im Grunde wie in dem Warm-up Block ab. Der einzige Unterschied zu dem Warm-up Block ist, dass die Versuchspersonen kein Feedback über die Korrektheit ihrer Antwort bekommen. Zwischen den Blöcken können die Proband*innen individuell Pausen machen, damit sie konzentriert bleiben. Je nach individueller Pausenzeit beträgt die Dauer des Kantenexperiments im Durchschnitt ungefähr 1 Stunde und 30 Minuten. In der Abbildung 2.5 sind zwei Beispielstimuli aus dem Experiment zu sehen. In der Abbildung sind die zwei Stimuli, die im Experiment hintereinander zu sehen sind, nebeneinander dargestellt. In diesem Fall befindet sich die Cornsweet-Kante in dem ersten Stimulus.

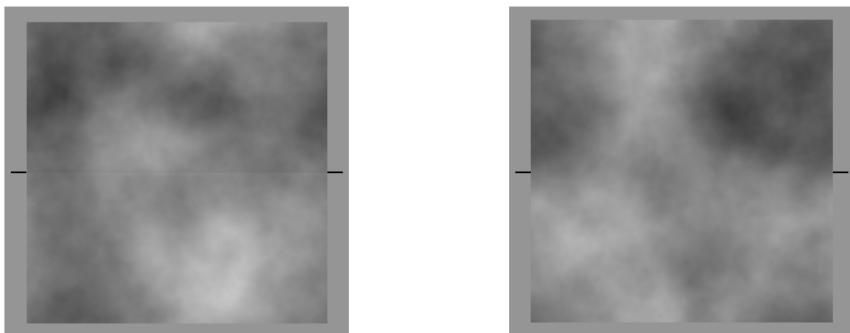


Abbildung 2.5: Beispielstimuli aus dem Kantenexperiment. In diesem Fall befindet sich die Cornsweet-Kante in dem ersten (linken) Stimulus.

Polaritätsexperiment

Im Polaritätsexperiment wird den Proband*innen nur ein Stimulus mit einer Cornsweet-Kante präsentiert. Die Aufgabenstellung besteht darin zu bestimmen, ob die helle Seite

der Cornsweet-Kante nach oben oder unten zeigt. Somit müssen sich die Versuchspersonen zwischen zwei Antwortmöglichkeiten entscheiden. Diese Methode nennt sich two-alternative forced choice Experiment (2-AFC-Experiment).

Der grundsätzliche Ablauf des Polaritätsexperiments ist identisch zu dem des Kantenexperiments. Zunächst wird den Proband*innen die Aufgabenstellung und der Ablauf des Experiments erläutert. Anschließend werden sie in einem Warm-up Block an das Experiment herangeführt. Dieser besteht ebenfalls aus 60 Durchgängen. Darauf folgt der Hauptteil mit 21 Blöcken und 100 Durchgängen pro Block. Der Unterschied zu dem Kantenexperiment liegt in dem Ablauf der einzelnen Durchgänge. In jedem Durchgang hören die Proband*innen einen Signalton. Nach diesem Signalton wird ein einzelner Stimulus gezeigt. Dieser wird wie im Katenexperiment über einen Zeitraum von 200 Millisekunden eingeblendet, ist anschließend für 100 Millisekunden bei vollem Kontrast zu sehen und wird dann über einen Zeitraum von 200 Millisekunden ausgeblendet. Anschließend treffen die Proband*innen die Entscheidung, ob die helle Seite nach oben oder unten zeigt. Ist die helle Seite nach oben gerichtet, drücken sie die obere Taste auf dem Handheld von RESPONSEPiXX und weist sie nach unten, drücken sie die untere Taste. Nach jedem Block können die Versuchspersonen wie im Kantenexperiment eine Pause einlegen. Im Durchschnitt beträgt die Durchführungszeit des Polaritätsexperiments eine Stunde. In der Abbildung 2.6 ist ein Beispielstimulus aus dem Experiment zu sehen. In diesem Fall zeigt die helle Seite der Cornsweet-Kante nach unten.

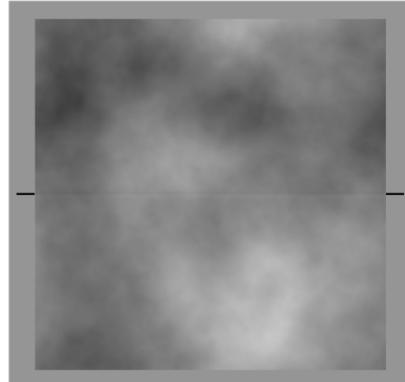


Abbildung 2.6: Beispiel Stimulus des Polaritätsexperiments. In diesem Fall zeigt die helle Seite der Cornsweet-Kante nach unten.

2.2 Versuchspersonen

An den Experimenten nahmen 6 Personen teil. Davon haben 2 Personen bereits Erfahrung mit psychophysischen Experimenten. Proband*innen mit eingeschränkter Sicht trugen während des Experiments eine Brille, sodass sie ihre Sicht korrigierten.

2.3 Datenauswertungsmethoden

Um die Menge der Daten zu erhöhen, führte jede Versuchsperson beide Experimente jeweils zweimal durch. Damit wurden pro Proband*in sowohl für das Kantenexperiment als auch das Polaritätsexperiment 4.200 Datenpunkte (2 Sitzungen * 3 Kantentypen * 7 Rauschmasken * 5 Kontrastwerte * 20 Wiederholungen) erfasst. Die einzelnen Datenpunkte umfassen beispielsweise die Art der Rauschmaske, die Breite der Cornsweet-Kante, den Kontrast der Cornsweet-Kante und ihre Polarität. Dazu wird erfasst, ob die Antwort der Versuchsperson korrekt ist und die Zeitdauer, die die Versuchsperson für ihre Antwort benötigte. Anhand der Ergebnisse des Kanten- und Polaritätsexperiments werden zunächst die psychometrischen Funktionen für jede der 21 Stimulusvarianten bestimmt. Eine psychometrische Funktion beschreibt dabei den Zusammenhang zwischen dem Kontrast der Cornsweet-Kante und der Wahrscheinlichkeit, die Cornsweet-Kante oder ihre Polarität korrekt wahrzunehmen (Wichmann & Hill, 2001). Die Auswertung der Ergebnisse erfolgt mit Python. Das Python-Paket *psignifit* ermöglicht die Berechnung der psychometrischen Funktionen. Aus den psychometrischen Funktion werden dann die Kontrastwerte der Cornsweet-Kanten abgelesen, bei denen die Proband*innen die jeweilige Aufgabe zu 75% richtig beantwortet haben. Anschließend werden die psychometrischen Funktionen und die 75%-Schwellenwerte der beiden Experimente miteinander verglichen.

2.4 Generalisierbarkeit der Ergebnisse der Kanten- und Polaritätsexperimente

Ursprünglich sollten die Experimente dieser Arbeit als Kontrollexperiment durchgeführt werden, um die Ergebnisse der Arbeit von Großmann (2023) zu validieren. Großmann (2023) verglich in seiner Arbeit die Ergebnisse seines Polaritätsexperiments mit den

Ergebnissen des Kantenexperiments von Schmittwilken et al. (2024). Dabei gab es Bedenken darüber, dass im Polaritätsexperiment zwei Quellen von Unsicherheit existierten, wohingegen im Kantenexperiment nur eine Quelle von Unsicherheit vorhanden war. Im Kantenexperiment mussten die Versuchspersonen die Cornsweet-Kante lediglich im unteren oder oberen Bereich des Stimulus wahrnehmen. Demgegenüber mussten die Versuchspersonen im Polaritätsexperiment die Cornsweet-Kante zunächst im unteren oder oberen Bereich des Stimulus wahrnehmen, bevor sie die Polarität der Kante bestimmen konnten. Die Abbildung 2.7 zeigt einen Stimulus des ursprünglichen Kanten- und Polaritätsexperiments. In diesem Beispiel liegt die Cornsweet-Kante im unteren Bereich des Stimulus und die helle Seite zeigt nach oben.

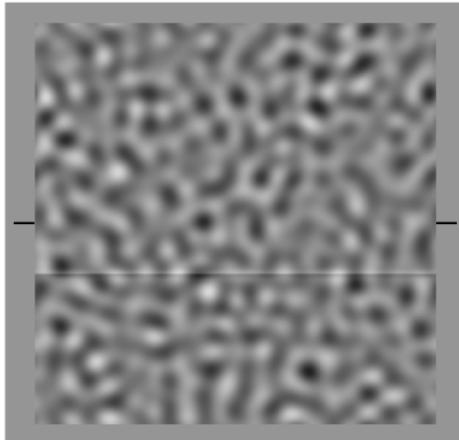


Abbildung 2.7: Stimulus des ursprünglichen Kanten- und Polaritätsexperiments. Die Cornsweet-Kante befindet sich im unteren Bereich des Stimulus und die helle Seite zeigt nach oben.

Um die Komplexität der Aufgabenstellung beider Experimente anzugleichen, wurde die Cornsweet-Kante im Polaritätsexperiment immer in der Mitte des Stimulus platziert. Dadurch können die Proband*innen die Polarität der Cornsweet-Kante bestimmen, ohne dass sie die Kante zunächst lokalisieren müssen. Dieser Änderung führt allerdings dazu, dass sich die Ergebnisse dieser Arbeit nicht mit den Ergebnissen aus den beiden vorherigen Arbeiten vergleichen lassen. Der Grund dafür ist, dass visuelle Wahrnehmung in der Mitte unseres Gesichtsfeldes am sensitivsten ist. Da sich die Kanten in den vorhe-

rigen Experimenten von Schmittwilken et al. (2024) und Großmann (2023) immer leicht versetzt im oberen oder unteren Bereich des Gesichtsfeldes befunden haben, könnten die Performance der Proband*innen in dieser Studie somit besser sein. Aus diesem Grund musste das Kantenexperiment von Schmittwilken et al. (2024) ebenso angepasst werden. Um die Cornsweet-Kante in der Mitte des Stimulus platzieren zu können, wurde statt der two-alternative forced choice Methode die two-interval forced choice Methode verwendet. Das angepasste Kantenexperiment wurde von zwei Versuchspersonen jeweils zweimal mit beiden Methoden durchgeführt. Durch einen Vergleich der Ergebnisse konnte ausgeschlossen werden, dass die Methode einen Einfluss auf die Ergebnisse nimmt. Da sowohl das Kanten- als auch das Polaritätsexperiment angepasst wurden, entwickelten sich die Experimente dieser Arbeit von einem reinen Kontrollexperiment weg. Darüber hinaus konnte der Monitor, den Schmittwilken et al. (2024) und Großmann (2023) für ihre Experimente verwendeten, nicht mehr genutzt werden. Der ViewPIXX 3D Monitor, an dem die Experimente dieser Arbeit durchgeführt wurden, zeigt die Stimuli etwas länger. Dadurch fallen die Ergebnisse des Kanten- und Polaritätsexperiments dieser Arbeit im Vergleich zu den ursprünglichen Experimenten besser aus. Dennoch werden die Ergebnisse von Schmittwilken et al. (2024) und Grossmann (2023) mit den Ergebnissen der Experimente dieser Arbeit verglichen, um ein Gefühl für die Generalisierbarkeit der Daten in den bisher durchgeführten Experimenten zu bekommen. Da ein direkter Vergleich zwischen den Ergebnissen der ursprünglichen und angepassten Experimente nicht möglich ist, werden die Ergebnisse relativ zueinander verglichen. Dafür wird die Differenz zwischen den 75%-Schwellenwerten der Kanten- und Polaritätsexperimente gegenübergestellt.

2.5 Ethik und Datenschutz

Die Versuchspersonen nehmen freiwillig an den Experimenten teil und werden für ihren Aufwand entschädigt. Ihre personenbezogenen Daten werden anonym gespeichert und können auf Wunsch der Proband*innen jederzeit gelöscht werden. Alle Proband*innen unterschreiben eine Einwilligungserklärung, bevor sie an einem Experiment teilnehmen.

3 Ergebnisse

In dieser Arbeit wurde ein Experiment zur Wahrnehmung von Kanten und ein Experiment zur Wahrnehmung von unterschiedlich hellen Bereichen durchgeführt. In beiden Experimenten wurden den Versuchspersonen Cornsweet-Kanten mit variierenden Kontrastwerten gezeigt. Dadurch konnten die Kontrastwerte für die Cornsweet-Kanten ermittelt werden, bei dem die Versuchspersonen die Aufgabe im jeweiligen Experiment in 75% der Fälle korrekt beantworteten. Durch einen Vergleich dieser Schwellenwerte kann eine Aussage darüber getroffen werden, ob die Wahrnehmung sensitiver für Kanten oder unterschiedlich helle Bereiche ist.

3.1 Veranschaulichung der Auswertung anhand der Ergebnisse der Versuchsperson yx

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Versuchsperson yx des Kantenexperiments genutzt, um die Schritte im Auswertungsprozess zu veranschaulichen. Die Tabelle 3.1 zeigt einen Ausschnitt dieser Ergebnisse. Die Daten stammen von der Stimulusvariante einer Cornsweet-Kante mit einer niedrigen Ortsfrequenz und einer weißen Rauschmaske.

trial	noise	edge_contrast	edge_width	resp	correct	resptime
...
7	white	0.005627	0.95	0	1	0.190230
8	white	0.000010	0.95	0	0	0.405110
9	white	0.001883	0.95	0	0	0.331430
...

Tabelle 3.1: Ausschnitt der Ergebnisse des Kantenexperiments der Versuchspersonen yx für die Stimulusvariante einer Cornsweet-Kante mit einer niedrigen Ortsfrequenz und einer weißen Rauschmaske.

In jeder Stimulusvariante wurden Cornsweet-Kanten mit fünf verschiedenen Kontrastwerten jeweils 40-mal gezeigt. Die Datenauswertung beginnt mit der Erfassung der Anzahl der gegebenen sowie der Anzahl der korrekten Antworten für jeden der fünf Kontrastwerte. In der Tabelle 3.2 sind die Anzahl der gegebenen und die Anzahl der korrekten Antworten für die Stimulusvariante aus der vorherigen Tabelle 3.1 dargestellt. In diesem Fall hatte die Versuchsperson yx die Cornsweet-Kante mit dem minimalen Kontrastwert von 0.00001 26-mal korrekt wahrgenommen. Die Cornsweet-Kante ist mit diesem minimalen Kontrast praktisch nicht sichtbar. Dadurch musste die Versuchsperson für diesen Kontrastwert raten und die Anzahl der richtigen Antworten sollte im Durchschnitt bei 20 liegen. Allgemein lässt sich erkennen, dass die Wahrscheinlichkeit, die Kante korrekt wahrzunehmen, mit steigendem Kontrast der Kante wächst. Mit dem maximalen Kontrast von 0.0075 nahm die Versuchsperson die Cornsweet-Kante in allen Fällen korrekt wahr.

edge_contrast	correct_answers	number_of_answers
0.00001	26	40
0.001883	16	40
0.003755	32	40
0.005627	36	40
0.0075	40	40

Tabelle 3.2: Die Anzahl der gegebenen und korrekten Antworten der Versuchsperson yx für die Stimulusvariante einer Cornsweet-Kante mit einer niedrigen Ortsfrequenz und einer weißen Rauschmaske in dem Kantenexperiment.

Die Erfassung der gegebenen und korrekten Antworten, für die fünf verschiedenen Kontrastwerte, wird für jede der 21 Stimulusvarianten des Kantenexperiments durchgeführt. Anschließend können mit diesen Daten die psychometrischen Funktionen für die Stimulusvarianten berechnet werden. Diese Funktionen beschreiben den Zusammenhang zwischen dem Kontrast der Cornsweet-Kanten und der Wahrscheinlichkeit, die Cornsweet-Kanten korrekt wahrzunehmen. Abbildung 3.1 zeigt die psychometrischen Funktionen der Versuchsperson yx für das Kantenexperiment.

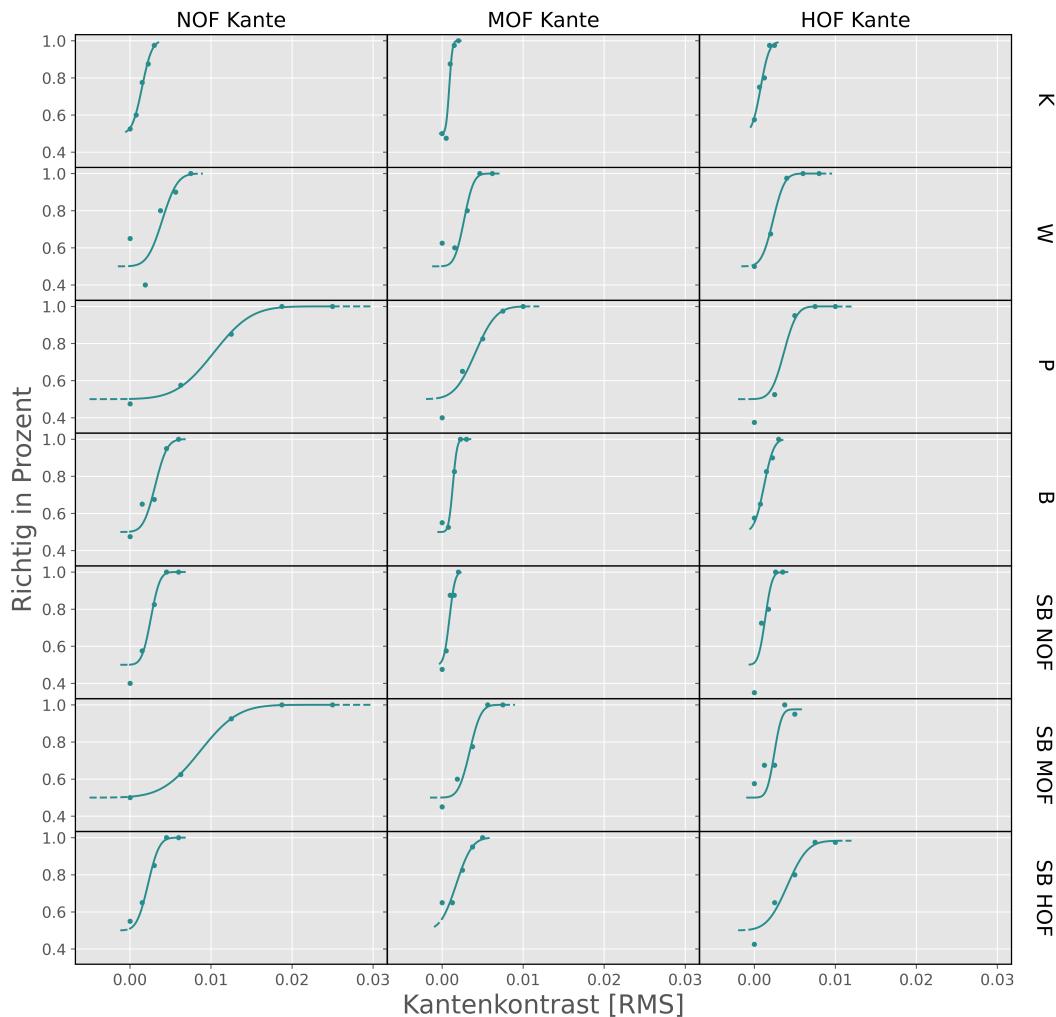


Abbildung 3.1: Die psychometrischen Funktionen für jede Stimulusvariante des Kantenexperiments der Versuchsperson yx. Die Abkürzungen NOF, MOF und HOF stehen für niedrige, mittlere und hohe Ortsfrequenz und die Abkürzung SB für Schmalbandrauschen.

Bei den psychometrischen Funktionen sind auf der x-Achse die Kontrastwerte der Cornsweet-Kanten und auf der y-Achse der Prozentanteil der richtigen Antworten dargestellt. Dabei liegt der Prozentanteil der richtigen Antworten bei den minimalen Kontrastwerten bei ungefähr 50% und bei den maximalen Kontrastwerten bei ungefähr 100%. Darüber hinaus lässt sich feststellen, dass die Kontrastwerte bei den Stimulusvarianten der Cornsweet-Kante mit niedriger Ortsfrequenz (NOF) in Kombination mit den Rauschmasken Pink (P) und Schmalbandrauschen mit mittlerer Ortsfrequenz (SB MOF) die

Kontrastwerte deutlich größer sind. Bei diesen Stimulusvarianten fiel es der Versuchsperson somit schwerer, die Kante wahrzunehmen.

Anhand der psychometrischen Funktionen in Abbildung 3.1 können die Schwellenwerte für den Kontrast der Cornsweet-Kanten abgelesen werden, bei denen die Versuchsperson die Kanten in 75% der Fälle richtig wahrgenommen hat. Diese 75%-Schwellenwerte sind in Abbildung 3.2 abgebildet.

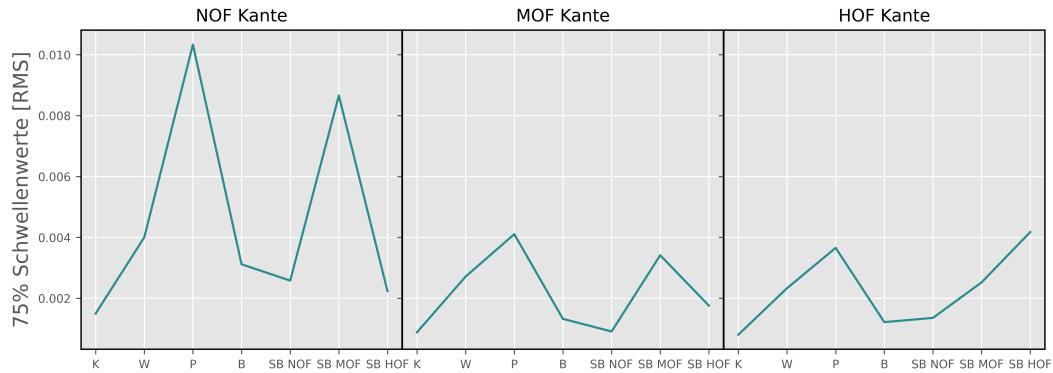


Abbildung 3.2: Schwellenwerte der psychometrischen Funktionen aus Abbildung 3.2 bei denen die Versuchsperson die Kante zu 75% korrekt wahrgenommen hat. Auf den x-Achsen sind die sieben verschiedenen Rauschmasken dargestellt, von links nach rechts keine Rauschmaske (K), weißes Rauschen (W), pinkes Rauschen (P), braunes Rauschen (B), Schmalbandrauschen mit niedriger Ortsfrequenz (SB NOF), Schmalbandrauschen mit mittlerer Ortsfrequenz (SB MOF) und Schmalbandrauschen mit hoher Ortsfrequenz (SB HOF).

Die drei Graphen stellen die Schwellenwerte für die Cornsweet-Kanten mit niedriger, mittlere und hoher Ortsfrequenz von links nach rechts dar. Auf der x-Achse sind die sieben verschiedenen Rauschmasken und auf der y-Achse die Kontrastwerte dargestellt, bei denen die Versuchsperson die Cornsweet-Kante in 75% der Fälle korrekt wahrnahm. Je höher der Schwellenwert einer einzelnen Stimulusvarianten ist, desto schwerer fiel es der Versuchsperson, die jeweilige Kante korrekt wahrzunehmen. Anhand dieser Abbildung lässt sich erkennen, dass die Schwellenwerte für die Kante mit der niedrigen Ortsfrequenz allgemein höher sind als die der Kanten mit mittlerer und hoher Ortsfrequenz. Darüber hinaus sind die Schwellenwerte bei den Rauschmasken Pink und Schmalband mit mittlerer Ortsfrequenz höher im Vergleich zu den anderen Rauschmasken. Das bedeutet, dass es der Versuchsperson schwerer fiel, die Cornsweet-Kante mit der niedrigen Ortsfrequenz

wahrzunehmen. Zudem maskieren die Rauschmasken Pink und Schmalband mit mittlerer Ortsfrequenz, die Cornsweet-Kanten am effektivsten.

Die Auswertung der Ergebnisse eines Experiments umfasst somit drei Schritte. Zunächst werden die Daten der 21 Stimulusvarianten analysiert. Dabei werden für jeden der fünf verschiedenen Kontrastwerte der Stimulusvariante die Anzahl der gegebenen und korrekten Antworten erfasst. Mit diesen Daten können im Anschluss daran die psychometrischen Funktionen für die Stimulusvarianten berechnet werden. Abschließend werden aus den psychometrischen Funktionen die Wahrnehmungsschwellen abgelesen. Diese Wahrnehmungsschwellen sind die Kontrastwerte der Cornsweet-Kanten bei denen die Versuchsperson in 75% der Fälle eine korrekte Antwort geben. Für die weitere Auswertung werden die Ergebnisse des Kanten- und Polaritätsexperiments aller Versuchspersonen miteinander verglichen.

3.2 Vergleich zwischen Helligkeits- und Kantenwahrnehmung

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse des Kantenexperiments mit denen des Polaritätsexperiments verglichen, um zu bestimmen, ob die Wahrnehmung sensitiver gegenüber Kanten oder unterschiedlichen hellen Bereichen ist. Dafür werden zunächst die psychometrischen Funktionen beider Experimente gegenüber gestellt. Abbildung 3.3 stellt die psychometrischen Funktionen des Kantenexperiments in Blaugrün und die des Polaritätsexperiments in Goldgelb dar. Dabei handelt es sich bei den transparenten Kurven um die Ergebnisse der einzelnen Versuchspersonen und die Kurven mit voller Deckkraft repräsentieren die aggregierten Ergebnisse beider Experimente.

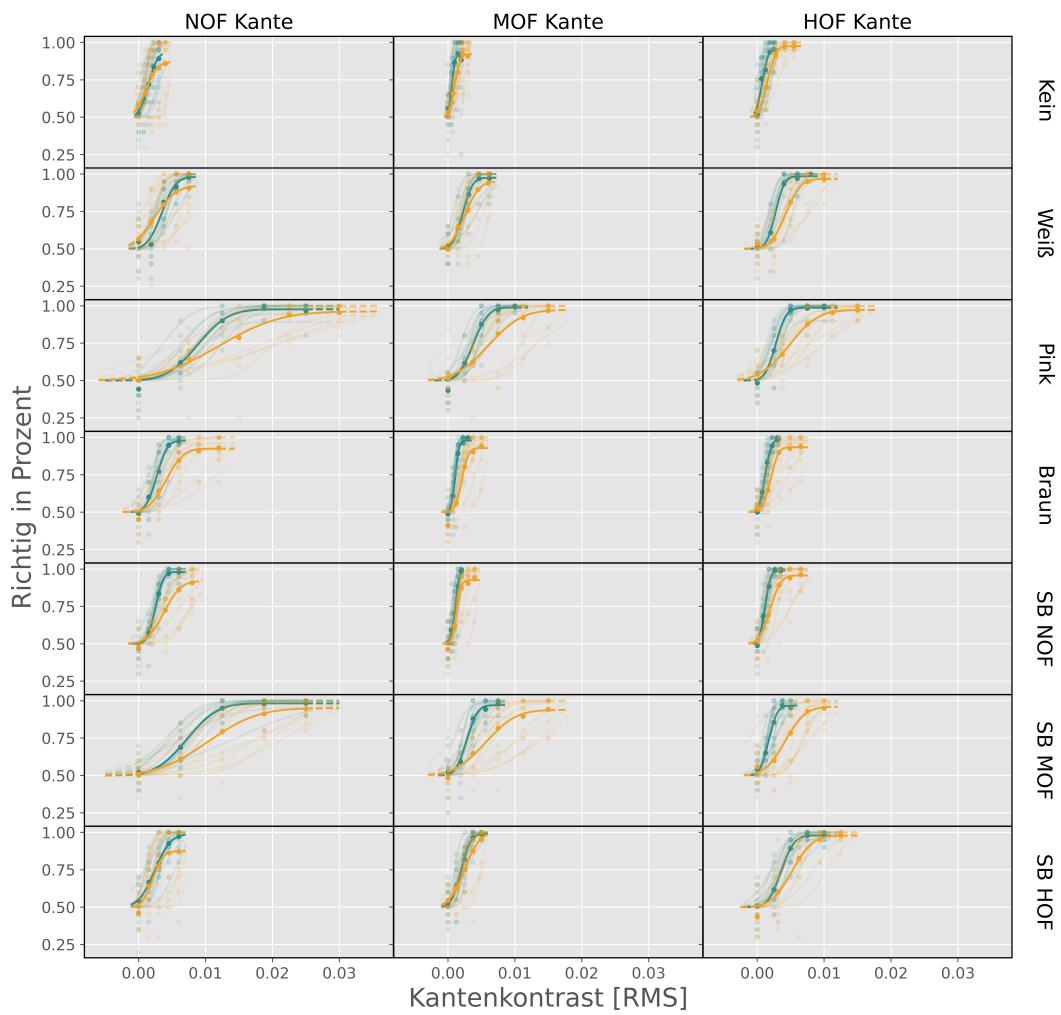


Abbildung 3.3: Psychometrische Funktionen des Kanten- und Polaritätsexperiment. Ergebnisse des Kantenexperiments sind in Blaugrün abgebildet und die Ergebnisse des Polaritätsexperiments in Goldgelb.

Bei den meisten Stimulusvarianten lässt sich feststellen, dass die psychometrischen Funktionen des Kantenexperiments im Vergleich zu denen des Polaritätsexperiments nach links verschoben sind. Das bedeutet, dass die Versuchspersonen für die Wahrnehmung der Polarität der Cornsweet-Kante auf einen höheren Kontrast angewiesen waren. In anderen Worten: es fällt den Proband*innen leichter, die Kanten in unseren Experimenten zu detektieren als ihre Polarität zu bestimmen.

Die Verschiebung zwischen den psychometrischen Funktionen der beiden Experimente ist bei den Stimulusvarianten mit den Rauschmasken Pink und dem Schmalbandrauschen mit mittlerer Ortsfrequenz am stärksten ausgeprägt. Des Weiteren sind bei diesen Rauschmasken die psychometrischen Funktionen des Kanten- und Polaritätsexperiments im Vergleich zu den anderen Stimulusvarianten entlang der x-Achse nach rechts verschoben. Und die psychometrischen Funktionen beider Experimente weisen in diesen Fällen eine geringere Steigung auf. Der größere Kontrast in beiden Experimenten für diese Stimulusvarianten weist darauf hin, dass die Rauschmasken Pink und Schmalband mit mittlerer Ortsfrequenz die Cornsweet-Kanten am effektivsten maskieren. Abschließend lässt sich feststellen, dass bei den Stimulusvarianten mit einer Cornsweet-Kante mit niedriger oder mittlerer Ortsfrequenz und keiner Rauschmaske die Ergebnisse für den maximalen Kontrast deutlich unter 100% liegen. Das könnte bedeuten, dass der maximale Kontrast für diese Stimulusvarianten zu niedrig gewählt wurde.

Aus den psychometrischen Funktionen werden die Schwellenwerte für den Kontrast abgelesen, bei dem die Proband*innen die Kante oder die Polarität in 75% der Fälle korrekt wahrgenommen haben. Die 75%-Schwellenwerte aus den aggregierten Ergebnissen beider Experimente sind in Abbildung 3.4 zu sehen. Dabei sind die Schwellenwerte des Kantenexperiments erneut in Blaugrün und die Schwellenwerte des Polaritätsexperiments in Goldgelb dargestellt. Die eingefärbten Bereiche zeigen das 95%-Konfidenzintervall der Daten.

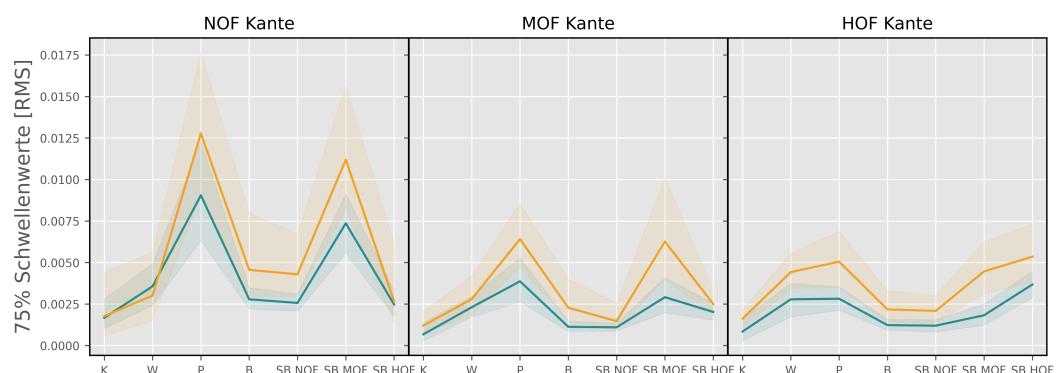


Abbildung 3.4: Schwellenwerte für den Kontrast der Cornsweet-Kanten bei dem die Versuchsperson in 75% der Fälle korrekt antworten. Die Ergebnisse des Kantenexperiments sind in Blaugrün dargestellt und die Ergebnisse des Polaritätsexperiments in Goldgelb.

Aus der Abbildung 3.4 geht hervor, dass die Kontrastschwellen für das Kantenexperiment in allen Stimulusvarianten niedriger sind als die des Polaritätsexperiments, mit Ausnahme der Stimulusvariante mit einer Cornsweet-Kante mit niedriger Ortsfrequenz und weißem Rauschen. Das impliziert, dass der Kontrast für die Wahrnehmung der Polarität einer Cornsweet-Kante im Vergleich zur Wahrnehmung der Kante selbst, größer sein muss. Demnach fiel es den Versuchspersonen leichter, die Cornsweet-Kanten und nicht ihre Polarität wahrzunehmen. Dabei sind die Schwellenwerte für die Stimulusvarianten mit der Cornsweet-Kante mit einer niedrigen Ortsfrequenz im Vergleich zu den Stimuli mit Cornsweet-Kanten mit einer mittleren oder hohen Ortsfrequenz höher. Das bedeutet, dass es den Versuchspersonen im Kanten- und Polaritätsexperiment schwerer fiel, die Cornsweet-Kante mit einer niedrigen Ortsfrequenz wahrzunehmen oder ihre Polarität zu bestimmen. Im Einklang mit den Beobachtungen der psychometrischen Funktionen aus Abbildung 3.3 lässt sich erneut erkennen, dass die Rauschmasken Pink und Schmalband mit einer mittleren Ortsfrequenz die Schwellenwerte beider Experimente am stärksten erhöhen. Die Schwellenwerte im Polaritätsexperiment für die Stimulusvarianten mit einer Cornsweet-Kante mit niedriger Ortsfrequenz in Kombination mit den beiden Rauschmasken Pink und Schmalbandrauschen mit einer mittleren Ortsfrequenz liegen bei 0.0127 und 0.0112. Dies sind die größten Schwellenwerte beider Experimente. Im Gegensatz dazu sind die Schwellenwerte für die Rauschmasken Braun und Schmalband mit einer niedrigen Ortsfrequenz in den meisten Fällen sehr ähnlich zu den Schwellenwerten für die Stimulusvarianten ohne Rauschmaske. Somit haben die Rauschmasken Braun und Schmalband mit einer niedrigen Ortsfrequenz nur einen geringen Einfluss auf die Performance der Versuchspersonen.

3.3 Vergleich mit den Ergebnissen der ursprünglichen Experimente

Wie bereits erwähnt, wurden im Vorhinein zu den Experimenten dieser Arbeit bereits ein ähnliches Kantenexperiment von Schmittwilken et al. (2024) und ein Polaritätsexperiment von Grossmann (2023) durchgeführt. Der Hauptunterschied zwischen den Experimenten, die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführt wurden und den vorangegangenen Experimenten ist, dass die Aufgabenstellung im Polaritätsexperiment möglicherweise komplexer war als im Kantenexperiment. Grund hierfür war, dass im Polaritätsexperiment von Grossmann (2023) die Proband*innen zuerst eine Kante im oberen

oder unteren Bildbereich identifizieren und dann ihre Polarität richtig benennen mussten. Deshalb werden abschließend die Ergebnisse dieser Arbeit mit den Ergebnissen der beiden ursprünglichen Experimente verglichen. Damit kann überprüft werden, ob die möglicherweise komplexerer Aufgabenstellung einen Einfluss auf die Ergebnisse nahm. Wie bereits im Abschnitt 2.4 beschrieben, können die Ergebnisse aufgrund der angepassten Aufgabenstellung und des verwendeten Monitors nicht direkt miteinander verglichen werden. Die Ergebnisse können jedoch relativ zueinander verglichen werden. Dazu wird die Differenz zwischen den 75%-Schwellenwerten des Kanten- und Polaritätsexperiments dieser Arbeit mit der Differenz der Schwellenwerte der Experimente von Schmittwilken et al. (2024) und Großmann (2023) verglichen. Die Differenz wird berechnet, indem die Schwellenwerte des Kantenexperiments von dem entsprechenden Schwellenwert des Polaritätsexperiments subtrahiert wird. Abbildung 3.5 stellt die Differenz der Schwellenwerte der Experimente dieser Arbeit in Blau und die Differenz der Schwellenwerte der Experimente von Schmittwilken et al. (2024) und Großmann (2023) in Rot dar.

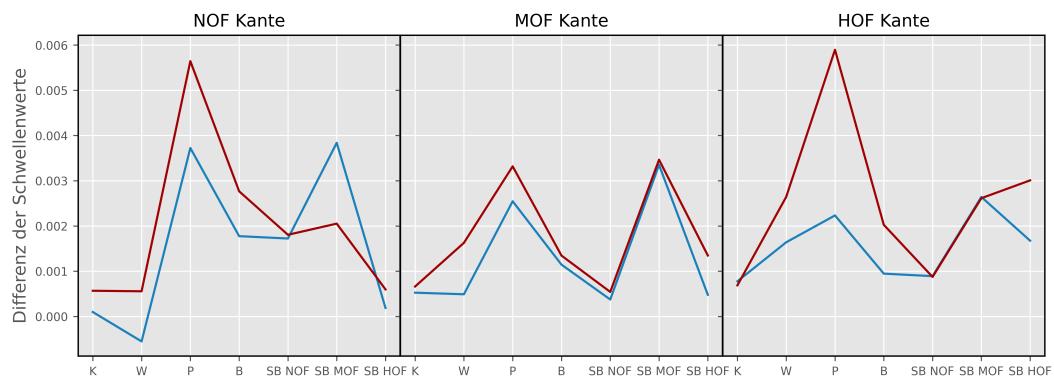


Abbildung 3.5: Die Differenz der Schwellenwerte des Kanten- und Polaritätsexperiments dieser Arbeit, dargestellt in Blau. Im Vergleich zu der Differenz der Schwellenwerte des Kantenexperiments von Schmittwilken et al. (2024) und dem Polaritätsexperiment von Großmann (2023), in Rot.

Anhand der Abbildung 3.5 lässt sich erkennen, dass die Differenzen für die Stimulusvarianten mit einer Cornsweet-Kante mit mittlerer Ortsfrequenz nahezu identisch sind. Bei den anderen beiden Stimulusvarianten mit einer Cornsweet-Kante mit einer niedrigen oder hoher Ortsfrequenz sind die Differenzen in ihrem grundsätzlichen Verlauf nahezu gleichartig. Größere Unterschiede der Differenz treten bei den Stimulusvarianten mit einer Cornsweet-Kante mit einer niedrigen Ortsfrequenz in Kombination mit den Rauschmasken Pink und Schmalband mit einer mittleren Ortsfrequenz und für die Sti-

mulusvariante mit einer Cornsweet-Kante mit hoher Ortsfrequenz in Kombination mit der pinken Rauschmaske auf. Dabei ist die Differenz in zwei der drei Fällen für die Experimente von Schmittwilken et al. (2024) und Großmann (2023) größer und in dem anderen Fall liegt die Differenz der Experimente dieser Arbeit über denen von Schmittwilken et al. (2024) und Großmann (2023). Allgemein lässt sich feststellen, dass die Schwellenwerte der Ergebnisse der Experimente dieser Arbeit relativ gesehen große Ähnlichkeit zu den Schwellenwerten der Ergebnisse von Schmittwilken et al. (2024) und Großmann (2023) aufweisen. Somit ist der Unterschied zwischen der Performance der Versuchspersonen in den Kanten- und Polaritätsexperimenten dieser Arbeit und der Arbeit von Großmann (2023) sehr ähnlich zueinander.

4 Diskussion

Diese Arbeit setzt sich mit der Frage auseinander, inwiefern die Wahrnehmung einer Kante die Wahrnehmung zwei unterschiedlich heller Bereiche bedingt. Um diese Frage zu beantworten, wurden zwei Experimente durchgeführt. Im Kantenexperiment bestand die Aufgabe der Versuchspersonen darin, Cornsweet-Kanten in verschiedenen Stimulusvarianten wahrzunehmen. Dabei wurde in jeder Stimulusvariante der Kontrastwert der Cornsweet-Kanten variiert. Durch die Variation der Kontrastwerte konnte der Schwellenwert für den Kontrastwert ermittelt werden, bei dem die Versuchspersonen die Cornsweet-Kanten in 75% der Fälle korrekt wahrnahmen. Im Polaritätsexperiment bestimmten die Versuchspersonen die Polarität einer Cornsweet-Kante. Dabei wurden die gleichen Stimulusvarianten verwendet und der Kontrast der Cornsweet-Kante innerhalb der Stimulusvarianten variiert. So konnten identisch zu dem Kantenexperiment die Wahrnehmungsschwellen für die Polarität der Cornsweet-Kanten bestimmt werden. Um den Zusammenhang zwischen Kanten- und Helligkeitswahrnehmung zu untersuchen, wurden die Schwellenwerte beider Experimente miteinander verglichen.

Der Einfluss der Cornsweet-Kanten und Rauschmasken auf die Kanten- und Helligkeitswahrnehmung

Anhand der 75%-Schwellenwerte beider Experimente aus Abbildung 3.4 lässt sich zunächst erkennen, dass die Schwellenwerte in beiden Experimenten für die verschiedenen Stimulusvarianten unterschiedlich ausfallen. Es fiel den Proband*innen sowohl am schwersten, die Kante mit der niedrigen Ortsfrequenz zu detektieren als auch ihre Polarität zu bestimmen. Darüber hinaus hatten die Versuchspersonen besonders bei den Stimulusvarianten mit den Rauschmasken Pink und Schmalband mit einer mittleren Ortsfrequenz Schwierigkeiten, die Kante oder ihre Polarität zu bestimmen. Demgegenüber verminderten die Rauschmasken Braun und Schmalband mit einer niedrigen Ortsfrequenz die Performance der Versuchspersonen in beiden Experimenten kaum.

Die Detektion einer Kante ist leichter als die Bestimmung ihrer Polarität

Bei dem Vergleich der 75%-Schwellenwerte der Experimente aus Abbildung 3.4 lässt sich feststellen, dass mit Ausnahme für die Stimulusvariante mit einer Cornsweet-Kante niedriger Ortsfrequenz und dem weißen Rauschen die Schwellenwerte des Kantenexperiments für alle anderen Stimulusvarianten unter den Schwellenwerten des Polaritätsexperiments liegen. Für die Versuchspersonen war es somit leichter, die Cornsweet-Kanten wahrzunehmen und nicht die helle Seite der Cornsweet-Kante zu bestimmen. Da die Performance der Versuchspersonen im Kantenexperiment besser ist als die im Polaritätsexperiment, wird die Alternativhypothese angenommen. Die Ergebnisse dieser Arbeit deutet darauf hin, dass die visuelle Wahrnehmung sensitiver für Kanten und nicht für unterschiedlich helle Bereiche ist. Damit kann die Forschungsfrage dahingehend beantwortet werden, dass die Wahrnehmung einer Kante die Wahrnehmung von zwei unterschiedlich hellen Bereichen beeinflusst. Bedingt durch die gewählte Methode dieser Arbeit können jedoch keine weiteren Aussagen über den Zusammenhang zwischen der Wahrnehmung von Kanten und unterschiedlich hellen Bereichen getroffen werden. Diese Studie kann nicht erklären, wie genau der Prozess der Wahrnehmung von Helligkeit durch die Wahrnehmung einer Kante beeinflusst wird oder warum es den Versuchspersonen bei einigen Stimulusvarianten schwerer fiel, die Kanten und deren Polarität wahrzunehmen.

Die Relevanz von Kanten für menschliche Helligkeitswahrnehmung

In der Vergangenheit haben sich bereits andere Forschungsarbeiten mit der Frage beschäftigt, welchen Einfluss die Wahrnehmung einer Kante auf die Helligkeitswahrnehmung nimmt. Peromaa und Laurinen (2004) untersuchten mithilfe der Chevreul-Illusion den Einfluss von Kanten auf die Wahrnehmung von Helligkeit. Dafür führten sie ein Experiment durch, indem den Versuchspersonen eine Luminanztreppe mit 15 Kanten in Kombination mit verschiedenen Rauschmasken präsentiert wurde. Durch eine Variation der Kontrastwerte der Kanten konnten die Schwellenwerte bestimmt werden, ab denen die Versuchspersonen die Kanten und den Effekt der Chevreul-Illusion wahrnahmen. Bei dem Effekt der Chevreul-Illusion erscheinen einheitlich helle Bereiche in den Randregionen heller oder dunkler. Die Schwellenwerte für Kanten mit niedriger Ortsfrequenz lagen deutlich unter den Schwellenwerten für das Auftreten der Helligkeitsillusion. Demnach schlussfolgerte Peromaa und Laurinen (2004), dass das Auftreten der Helligkeitsillusion durch Kanten mit niedriger Ortsfrequenz bedingt wird. Dass die Wahrnehmung von

Helligkeit durch eine Kante mit niedriger Ortsfrequenz beeinflusst wird, deckt sich mit den Ergebnissen dieser Arbeit. Dabei konnte in dieser Arbeit ebenfalls ein relevanter Einfluss der Cornsweet-Kanten mit mittlerer und hoher Ortsfrequenz auf die wahrgenommene Helligkeit festgestellt werden.

Paradiso und Nakayama (1991) untersuchten ebenfalls, welche Rolle Kanten im Prozess der Wahrnehmung von Helligkeit spielen. Dafür analysierten sie in einem Experiment den Einfluss von Masken mit verschiedenen Umrissen auf die Wahrnehmung einer einheitlich hellen Fläche. Paradiso und Nakayama (1991) konnten feststellen, dass in Abhängigkeit vom Umriss der Maske, bestimmte Flächen deutlich dunkler wahrgenommen wurden. Eine mögliche Erklärung dafür könnte laut Paradiso und Nakayama (1991) der fill-in-Effekt sein. Der fill-in-Effekt ist beispielsweise dafür verantwortlich, dass Informationen, die aufgrund der Papille verloren gehen, durch umliegende Bereiche ausgeglichen werden können. Nach Paradiso und Nakayama (1991) könnte der fill-in-Effekt die Ergebnisse ihrer Arbeit erklären. Dabei wird die Wahrnehmung der Helligkeit in einem Bereich um den Masken durch die Kanten der Masken beeinflusst. Damit bestätigen die Ergebnisse von Paradiso und Nakayama (1991), die Ergebnisse dieser Arbeit, dass die Detektion einer Kante die wahrgenommene Helligkeit beeinflusst.

Die in der Einleitung erwähnte Studie von Tolhurst und Dealy (1975) führte ein einzelnes Experiment zur Wahrnehmung von Kanten und Helligkeit durch. In diesem Experiment wurden in jedem Durchgang zwei Stimuli gezeigt. Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand darin, nach jedem Durchgang zu bestimmen, in welchem Stimulus sich die Kante befand und welche Polarität die Kante besaß. Im Gegensatz zu den Ergebnissen dieser Studie war die Performance der Versuchspersonen im Experiment von Tolhurst und Dealy (1975) für die Detektion der Kante und die Wahrnehmung ihrer Polarität nahezu identisch. Damit decken sich die Ergebnisse der Studie von Tolhurst und Dealy (1975) nicht mit den Ergebnissen dieser Arbeit. Im Allgemeinen scheinen die Ergebnisse der meisten Studien jedoch darauf hinzudeuten, dass die Wahrnehmung von Kanten die Helligkeitswahrnehmung bedingt.

Die Generalisierbarkeit der Ergebnisse in Abhängigkeit von der Aufgabenstellung

Dieser Studie sind zwei andere Experimente vorausgegangen. Schmittwilken et al. (2024) führten ein Experiment durch, um die Sensitivität der visuellen Wahrnehmung für Kanten zu messen. Großmann (2023) beschäftigte sich in seiner Bachelorarbeit ebenfalls mit

dem Thema, ob die visuelle Wahrnehmung sensitiver für Kanten oder unterschiedlich helle Bereiche ist. Dafür führte er ein Experiment durch, um die Sensitivität der visuellen Wahrnehmung für unterschiedlich helle Bereiche zu untersuchen. Großmann (2003) verglich die Ergebnisse seines Experiments mit den Ergebnissen des Experiments von Schmittwilken et al. (2024) und kam zu dem Schluss, dass die visuelle Wahrnehmung sensitiver für Kanten im Vergleich zu unterschiedlichen hellen Bereichen ist. In dieser Arbeit wurden die Experimente von Schmittwilken et al. (2024) und Großmann (2023) mit einer angepassten Aufgabenstellung wiederholt. Grund dafür war, dass die Aufgabenstellung im Experiment von Großmann (2023) im Vergleich zu dem Experiment von Schmittwilken et al. (2024) möglicherweise komplexer war. Der Vergleich der Differenz der Schwellenwerte der ursprünglichen und der angepassten Experimente aus Abbildung 3.5 zeigt keine bedeutende Unterschiede. Demnach scheint die Aufgabenstellung des Polaritätsexperiments von Großmann (2023) keine negative Auswirkung auf die Ergebnisse zu haben. Die Anpassung des Kantenexperiments dieser Arbeit von der 2AFC- auf die 2IFC-Methode könnte sich jedoch auf die Ergebnisse auswirken. Durch die Verwendung der 2IFC-Methode stieg die durchschnittliche Versuchsdauer des Kantenexperiments von einer Stunde auf eine Stunde und 30 Minuten. Auch wenn die Versuchspersonen zwischen den Blöcken des Experiments eine Pause einlegen können, könnte dies einen negativen Einfluss auf die Konzentration der Versuchspersonen nehmen. Darüber hinaus empfanden die Versuchspersonen die Eingabe des Polaritätsexperiments mit der 2IFC-Methode intuitiver. Somit könnte es im Kantenexperiment zu mehr Flüchtigkeitsfehlern kommen.

4.1 Fazit

Diese Arbeit beschäftigte sich mit der Frage, ob die Wahrnehmung einer Kante die Wahrnehmung unterschiedlich heller Bereiche beeinflusst. Um diese Frage zu beantworten, wurden zwei Experimente durchgeführt. In den Experimenten bestand die Aufgabe der Versuchspersonen darin, Cornsweet-Kanten und deren Polarität in verschiedenen Stimulusvarianten wahrzunehmen. Der Vergleich der Performance der Versuchspersonen in beiden Experimenten zeigte, dass es den Versuchspersonen leichter fiel, die Kanten wahrzunehmen, als die Polarität der Kante zu bestimmen. Das impliziert, dass die Wahrnehmung von Helligkeit durch die Wahrnehmung einer Kante beeinflusst wird. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit bereits bestehender Forschung. Wie genau der Prozess

der Wahrnehmung einer Kante und die Wahrnehmung von Helligkeit miteinander verbunden sind, bleibt jedoch noch offen.

5 Literaturverzeichnis

- Bacher, F. (2018). *Graustufenfoto des Kuppelgebäudes* [Foto]. Unsplash. https://unsplash.com/de/fotos/graustufenfoto-des-kuppelgebäudes-h-4pHMie5nA?utm_content=creditCopyText&utm_medium=referral&utm_source=unsplash
- Campbell, F. W., & Maffei, L. (1974). Contrast and spatial frequency. *Scientific American*, 231(5), 106-115. <http://www.jstor.org/stable/24950220>
- Gilchrist, A. (2006). *Seeing black and white*. Oxford University Press.
- Großmann, S. (2023). *Ist das visuelle System des Menschen empfindlicher für Kanten oder Luminanzunterschiede?* (Bachelorarbeit, Technische Universität Berlin). psyco.tu-berlin.de Theses. https://www.psyco.tu-berlin.de/files/theses/thesis_grossmann.pdf
- Paradiso, M. A., & Nakayama, K. (1991). Brightness perception and filling-in. *Vision research*, 31(7-8), 1221-1236. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(91\)90047-9](https://doi.org/10.1016/0042-6989(91)90047-9)
- Peromaa, T. L., & Laurinen, P. I. (2004). Separation of edge detection and brightness perception. *Vision Research*, 44(16), 1919-1925. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2004.03.005>
- 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>
- Tolhurst, D. J., & Dealy, R. S. (1975). The detection and identification of lines and edges. *Vision research*, 15(12), 1367-1372. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(75\)90192-3](https://doi.org/10.1016/0042-6989(75)90192-3)
- Wichmann, F. A., & Hill, N. J. (2001). The psychometric function: I. Fitting, sampling, and goodness of fit. *Perception & psychophysics*, 63(8), 1293-1313. <https://doi.org/10.3758/BF03194544>

Yang, D., Peng, B., Al-Huda, Z., Malik, A., & Zhai, D. (2022). An overview of edge and object contour detection. *Neurocomputing*, 488, 470-493. <https://doi.org/10.1016/j.neuc.2022.02.079>

Ziou, D., & Tabbone, S. (1998). Edge detection techniques-an overview. Распознавание образов и анализ изображений/*Pattern Recognition and Image Analysis: Advances in Mathematical Theory and Applications*, 8(4), 537-559. <https://inria.hal.science/inria-00098446>