

Kann die Kontrastkonstanz mit dem MLCM
Verfahren bei überschwelligem Kontrast
nachgewiesen werden?

Enis Can Simsek

Matrikelnummer: 349216

Bachelorarbeit

im Studiengang Wirtschaftsinformatik

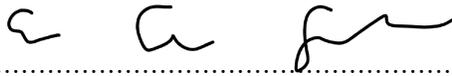
Abgabetermin: 17. Oktober 2022

Erstgutachter:in: Prof. Dr. Marianne Maertens
Technische Universität Berlin
FG Computational Psychology

Zweitgutachter:in: Prof. Dr. Felix Wichmann
Eberhard Karls Universität Tübingen
AG Neuronale Informationsverarbeitung

Der Arbeit wird als erste Seite eine Erklärung mit folgendem Wortlaut
beigefügt: Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig
und eigenhändig sowie ohne unerlaubte fremde Hilfe und ausschließlich unter
Verwendung der aufgeführten Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe.

Berlin, den 17.10.2022

A handwritten signature in black ink, consisting of three distinct, stylized characters that appear to be 'e', 'a', and 'f'.

.....
Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Begriffe und Definitionen	2
1.1.1	Helligkeit	2
1.1.2	Kontrast	2
1.1.3	Kontrastempfindlichkeit	4
1.1.4	(Kontrast-) Schwellen	6
1.1.5	Schwellenmessung	7
1.1.6	Kontrastkonstanz	10
1.2	Problemstellung	12
1.2.1	Gegenuntersuchung zur Kontrastkonstanz	12
1.2.2	Vergleich der Methodik	15
1.2.3	MLCM	15
2	Methode	17
2.1	Stimuli	17
2.2	Versuchsaufbau	21
2.3	Versuchsablauf	21
2.4	Datenschutz und Ethik	22
3	Ergebnisse	24
3.1	Experimentelle Ergebnisse	24
4	Diskussion	27
4.1	Methodischer Ansatz und Qualität der Daten	27
4.2	Aussagekraft und Begrenztheit der gewonnenen Daten	28
4.3	Ausblick	28
	Literatur	29

Zusammenfassung

Die Wahrnehmung des Menschen hängt von vielen äußeren sowie inneren Einflüssen ab. Die Fähigkeit zu sehen kann z. B. durch äußere Einflüsse wie Dunkelheit oder Nebel beeinträchtigt werden. Dabei wird die Menge an Informationen, die das Auge aufnehmen kann, vermindert. Im Falle vom Nebel sinkt der Kontrast der Umgebung und kann dazu führen, dass Objekte nicht mehr unterscheidbar sind.

Um die Wahrnehmung zu testen, wurden verschiedene Testmethoden entwickelt, welche in unterschiedlichen Situationen den Einfluss von Faktoren überprüfen. So wurde in Untersuchungen bei unter-schweligen Kontrasten die sogenannte Kontrastsensitivitätsfunktion festgestellt. Die Kontrastsensitivitätsfunktion verläuft an der Grenze der Wahrnehmung, an welcher gerade noch ein Unterschied im Kontrast feststellbar ist. Dies wurde anhand von Sinusgittern mit verschiedenen Ortsfrequenzen getestet und anhand dieser Informationen wurde die Funktion bestimmt. Der Verlauf der Funktion ähnelt einem umgekehrten Buchstaben, u.

Gleichzeitig ist auch die Wahrnehmung bei überschwelligen Kontrasten interessant zu analysieren. Es ist nicht zwangsläufig gegeben, dass bei überschwelligen Kontrasten auch die Kontrastsensitivitätsfunktion gilt. In einem Einstellungsverfahren haben Georgeson und Sullivan genau das überprüft und herausgefunden, dass bei hohen Kontrasten die Ortsfrequenz keinen Einfluss auf den wahrgenommenen Kontrast hat, die sogenannte Kontrastkonstanz.

Weitere Untersuchungen der Kontrastkonstanz, wie innerhalb der Bachelorarbeit von Wenwen Zhang, haben jedoch festgestellt, dass die Kontrastsensitivitätsfunktion auch bei hohen Kontrasten gegeben zu sein scheint. In der Untersuchung wurde das MLDS-Verfahren benutzt, welches im Gegensatz zum Einstellungsverfahren von Georgeson und Sullivan einen Vergleich von drei Stimuli hat, anstatt wie ein Einstellungsverfahren ein Stimulus angepasst wird an ein anderes.

Die Frage, die sich stellt, ist jedoch, ob das Verfahren, das verwendet wurde, in beiden Untersuchungen einen Einfluss auf das Ergebnis hat. Dazu wurde in dieser These als Datengrundlage das MLCM-Verfahren benutzt, welches gewisse Eigenschaften beider vorheriger Experimente aufweist. Zum einen werden im MLDS-Verfahren nur zwei Stimuli gegeneinander gestellt, wobei dies dem Einstellungsverfahren ähnelt. Es wird aber auch ein Vergleich der Stimuli abgefragt, wie im MLDS-Verfahren.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden drei verschiedene Ortsfrequenzen und sechs Kontraste verwendet, welche alle miteinander gemischt und somit insgesamt 18 verschiedene Reize erzeugt wurden, welche im Experiment miteinander verglichen werden mussten. Es gab keinen Vergleich zwischen den gleichen Mustern, sodass immer die Ortsfrequenz oder der Kontrast unterschiedlich waren. Für jeden Block wurden zufällig 153 Vergleiche ausgewählt und jeder Proband hat 10 Blöcke gemacht. Zusammenfassend ergibt das 1530 Vergleiche pro Proband. Von den vier Probanden, die das Experiment durchgeführt haben, sind die Daten vom Autor selber aufgrund eines Fehlers im Code nicht brauchbar und waren in dieser Arbeit somit nicht relevant.

Die Ergebnisse aller Probanden deuten auf eine zwar abgeflachte, aber trotzdem vorhandene Kontrastsensitivitätsfunktion bei hohen Kontrasten hin. Es scheint, dass die Ortsfrequenz bei allen Kontrasten einen Einfluss auf die Wahrnehmung hat, jedoch bei höheren Kontrasten weniger als bei niedrigen. Die Kontrastkonstanz von Georgeson und Sullivan scheint somit widerlegt zu sein.

Folgende Experimente könnten das Experiment mit mehr Probanden durchführen und ein genaueres sowie aussagekräftigeres Ergebnis zu erhalten. Außerdem sind mehr Ortsfrequenzen hilfreich, um die Kurve genauer aufzeichnen zu können.

1 Einleitung

Der Mensch nimmt mit seinen Sinnen Informationen aus seiner Umwelt auf. Im Gehirn werden alle wahrgenommenen Einflüsse kombiniert und es entsteht ein Eindruck der Umwelt. Bei der visuellen Wahrnehmung wird das Licht aus der Umgebung über die Augen wahrgenommen und als Impulse an das Gehirn weitergeleitet. Ein wichtiger Aspekt der visuellen Wahrnehmung ist die Fähigkeit, zwischen der Helligkeit verschiedener Objekte zu unterscheiden, dem sogenannten Kontrast. Die Fähigkeit, kontrastreiche Szenen leichter unterscheiden zu können, ist ein wichtiger Bestandteil unserer Sehfunktion. In Abbildung 1 ist unsere Empfindlichkeit gegenüber dem Kontrast einer Szene illustriert. Links in der Abbildung vermindert der Nebel deutlich die Sicht und den Kontrast der Landschaft, wodurch viele Details im Gegensatz zur Abbildung auf der rechten Seite ohne Nebel verloren gehen.



Abbildung 1: Im Bild links hat der Nebel den Kontrast stark vermindert, wodurch viele Details verloren gehen, während rechts ohne Nebel der Kontrast viel stärker ist, dadurch ist die wahrgenommene Bildqualität auch besser. ¹

¹Bildquelle: <https://www.fotocommunity.de/photo/vorher-nachher-jo-kurz/27124197>

1.1 Begriffe und Definitionen

1.1.1 Helligkeit

Die Einheit, in der die Helligkeit gemessen wird, ist Candela (cd) und ist physikalisch als Luminanz definiert. In der Wahrnehmungspsychologie wird die Helligkeit als Leuchtdichte in (cd/m^2) ausgedrückt, da häufig Bildschirme und andere leuchtende Oberflächen verwendet werden.

1.1.2 Kontrast

Kontrast bezeichnet den Helligkeitsunterschied von Objekten. In einem einfachen Bild, welches aus zwei Flächen besteht (z. B. einer Weißen und einer Schwarzen) ist der Kontrast der Unterschied in der Luminanz dieser beiden Flächen.



Abbildung 2: Ein einfaches Bild, das aus Links einer schwarzen und Rechts einer weißen Hälfte besteht. ²

Abbildung 2 ist in zwei Flächen aufgeteilt. Die linke Seite ist schwarz und die rechte Seite weiß. Betrachtet man den Verlauf der Luminanz anhand eines Graphens, dem sogenannten Luminanzprofil (s. Abb. 3), sieht man eine Trennung der beiden Flächen ab einem bestimmten Wert. Die Luminanz steigt ab diesem Wert von 0 (dunkel) auf 255 (hell) an.

²Bildquelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Sieben_Farbkontraste

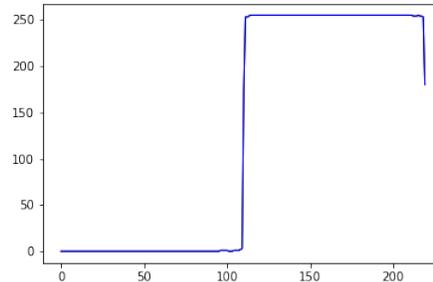


Abbildung 3: Das Luminanzprofil zu Abbildung 2. Die x-Achse zeigt die Position in der Abbildung 2, die y-Achse zeigt die Luminanz. ³

Um den Kontrast zu definieren und bestimmbar zu machen, wurden verschiedene Definitionen und Formeln aufgestellt, eine dieser Formeln ist die Michelson-Formel.

$$\frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max} + L_{min}}$$

Sie bestimmt den Kontrast aus dem Verhältnis zwischen der Differenz und der Summe der maximalen (L_{max}) und minimalen (L_{min}) Luminanz.

In Abbildung 2 beträgt $L_{max} = 255$ und $L_{min} = 0$ somit ist:

$$\frac{255 - 0}{255 + 0} = 1$$

In der Abbildung 1 kann der Einfluss des Nebels auch mithilfe der Formel nachgewiesen und berechnet werden. Die linke Seite hat eine minimale Luminanz von 33 und maximal 150, somit ergibt sich ein Kontrastwert von:

$$\frac{150 - 33}{150 + 33} = 0.6393$$

Die rechte Seite hingegen hat eine minimale Luminanz von 0 und maximale

³selbst erstellt mit Python

Luminanz von 255 und somit einen Kontrastwert von:

$$\frac{255 - 0}{255 + 0} = 1$$

In der nebligen Seite ist sowohl der minimale als auch der maximale Luminanz gegenüber der nebellosen Seite betroffen. Der Unterschied in der Wahrnehmung wird durch die Ergebnisse bestätigt. Kontrast ist jedoch auch etwas Subjektives und die Wahrnehmung kann sich von Mensch zu Mensch ändern. Einflüsse wie Krankheiten, Alter, etc. können auch die individuelle Wahrnehmung eines Menschen verändern.

1.1.3 Kontrastempfindlichkeit

Aufgrund der subjektiven Wahrnehmung von Kontrast sind Testverfahren zur Messung des Kontrastsehens erforderlich. Sinusgitter haben sich für die Prüfung der Kontrastempfindlichkeit als nützlich erwiesen. Sinusgitter sind abwechselnd minimale und maximale Luminanz, die durch Balken von weiß über grau bis schwarz gekennzeichnet sind. Der Wechsel ist sinusförmig. Die Ortsfrequenz beschreibt die Periodenlänge, d. h. wie viele Wechsel von Minimum zu Maximum in einem Intervall stattfinden. Ist die Ortsfrequenz niedrig, sind große Balken sichtbar; ist die Ortsfrequenz hoch, gibt es viele, aber kleine Balken.

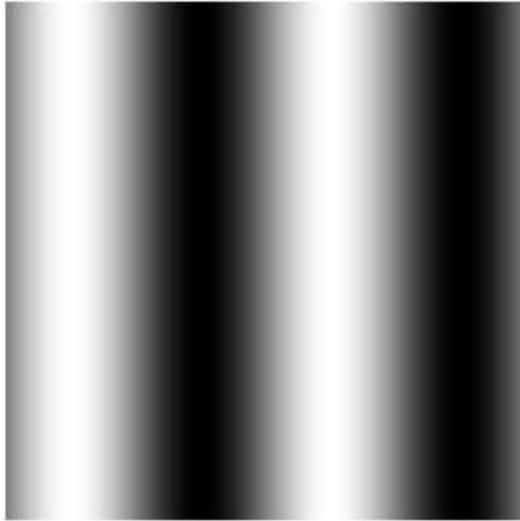


Abbildung 4: Beispiel für Sinusgitter.⁴

Betrachten wir den Verlauf des Kontrastes in dem Sinusgitter in Abbildung 4 und dem dazugehörigen Luminanzprofil (s. Abb. 5), sehen wir, dass die Übergänge von hell zu dunkel nicht so hart sind wie in Abbildung 2. Das menschliche Sehen kann scharfe Kanten, also Übergänge wie in Abbildung 2 gut unterscheiden. Aus diesem Grund ist es für die Untersuchung der Kontrastempfindlichkeit nicht geeignet. Das wird deutlich im Luminanzprofil, dort ist zu erkennen, dass die Kurve im Luminanzprofil (s. Abb. 5) der Sinusgitter (s. Abb. 4) keine Kanten hat, im Gegensatz zu dem Luminanzprofil (s. Abb. 2) von Abbildung 2.

⁴selbst erstellt mit Python

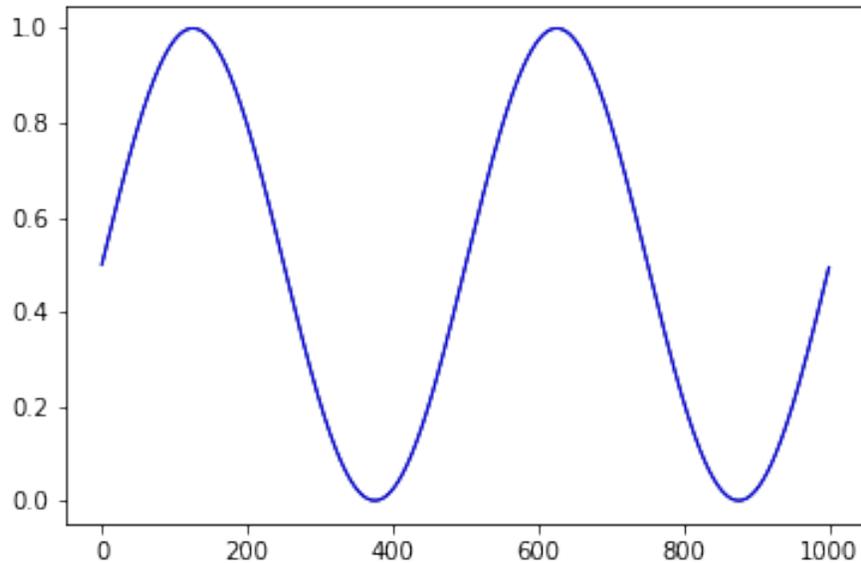


Abbildung 5: Das Luminanzprofil von Abbildung 4. Auf der x-Achse ist die Lage in Pixeln abgebildet, die y-Achse zeigt den Kontrast aufsteigend. ⁵

Sinusgitter sind dafür besser geeignet, nicht nur sind die Übergänge unscharf, sondern die Funktion kann auch gestreckt und gestaucht, also kann man die Ortsfrequenz in experimentell systematisch auch ändern. Somit können verschiedene Szenarien einfach dargestellt werden.

1.1.4 (Kontrast-) Schwellen

In der Forschung wird zwischen überschwelligen und unterschwelligen Kontrasten unterschieden. Alle Kontraste unterhalb eines kritischen Kontrastwertes werden nicht wahrgenommen. Man nennt diesen Wert Kontrastschwelle und die Kontraste unterhalb des Wertes unterschwellig. Oberhalb der Wahrnehmungsschwelle sind Kontraste überschwellig. Experimente zur Schwel-

⁵selbst erstellt mit Python

lenmessung untersuchen den noch minimal wahrnehmbaren Unterschied im Kontrast.

Der gerade noch wahrnehmbare Unterschied (just noticeable difference), auch bekannt als Differenzschwelle, ist das Mindestmaß an Stimulation, das eine Person in 50 % der Zeit wahrnehmen kann. Wenn Sie zum Beispiel gebeten werden, zwei Stimuli mit unterschiedlichen Kontrasten zu betrachten, wäre der gerade noch wahrnehmbare Unterschied, der minimale Kontrastunterschied zwischen den beiden, den Sie in der Hälfte der Zeit wahrnehmen können,

Absolutschwellen entsprechen der kleinsten Reizintensität, die nötig ist, um einen Reiz zuverlässig wahrzunehmen. Die Absolutschwelle wird ähnlich wie die Differenzschwelle untersucht. Im Gegensatz zu der Differenzschwelle jedoch gibt es in der Absolutschwelle keinen Standardwert, der mit dem Vergleichswert verglichen werden muss. Dem Probanden wird im jeden Durchgang ein Reiz gezeigt oder nicht. Die Intensität des Reizes wird variiert pro Durchgang. Ab dem Punkt, wo der Proband zuverlässig bestimmen kann, ob ein Reiz da war, ist die Absolutschwelle. Im Falle von Kontrasten würden die Probanden unterschiedliche Kontraste betrachten. Der minimale Kontrast, ab dem der Proband feststellt, dass er einen Reiz sieht, ist die Absolutschwelle.

1.1.5 Schwellenmessung

Die Experimente werden mit verschiedenen Ortsfrequenzen durchgeführt. Bilder mit niedriger Ortsfrequenz sind unscharf und flächig, Bilder mit hoher Ortsfrequenz sind detail- und kontrastreich und mit betonten Umrissen. Der Verlauf des noch wahrzunehmenden Unterschieds wird Kontrastsensitivitätsfunktion genannt. Die Kontrastsensitivitätsfunktion ist in Abbildung 6 dargestellt. Der Verlauf der Kontrastsensitivitätsfunktion ist erst leicht ansteigend bis zum Peak und danach stark fallend. Der Verlauf ähnelt einem umgedrehten Häkchen.

Die Sinusgitter werden in einem Diagramm von links niedriger bis rechts hoher Ortsfrequenz und von unten hohem und oben niedrigem Kontrast aufgetragen. Dieses Muster ist gut geeignet, um die Kontrastempfindlichkeitsfunktion zu bestimmen. Die Funktion verläuft genau an den Stellen, an denen die unterschiedlichen Balken erkennbar sind. Es ist in Abbildung 6 zu erkennen, dass während bei hohem Kontrast die Balken bei sehr hoher und niedriger Ortsfrequenz gerade noch sichtbar sind, ist der Unterschied bei mittlerer Ortsfrequenz deutlich sichtbarer. Je geringer der Kontrast ist, desto schwieriger ist es, die Balken zu sehen, bis zu dem Punkt, an dem alles grau erscheint. Die Kontrastempfindlichkeitsfunktion verläuft genau an der Grenze, an der die Balken sichtbar sind, d. h. genau an der Linie, an welcher ein Unterschied feststellbar ist. Der höchste Punkt liegt bei ca. 5 c/deg (Anzahl der Schwingungen pro Raumeinheit). Der genaue Verlauf dieser Kurve ist von Mensch zu Mensch unterschiedlich. Das Muster sollten jedoch vergleichbar bleiben.

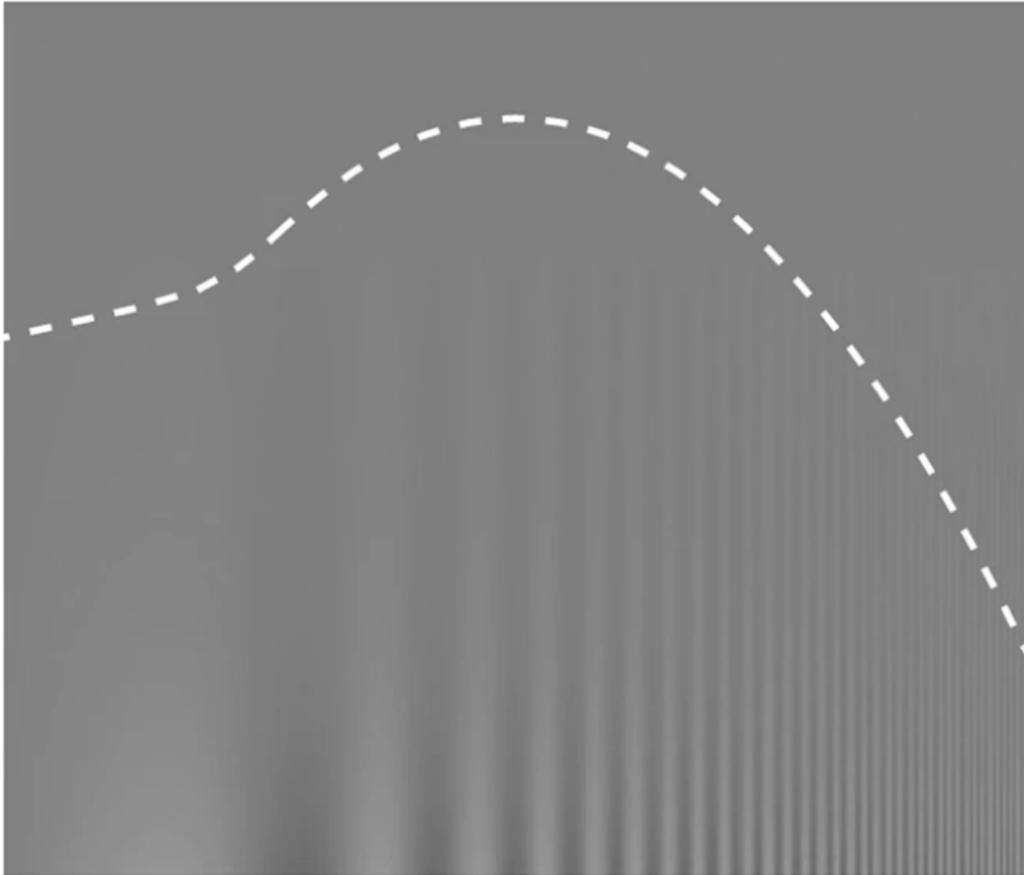


Abbildung 6: Auf der x-Achse sind Sinusgitter von links mit niedriger Ortsfrequenz, nach rechts mit hoher Ortsfrequenz angeordnet. Der Kontrast ist auf der y-Achse von unten hoch zu oben niedrig abgebildet. Zu sehen ist die Kontrastsensitivitätsfunktion als gestrichelte Linie. ⁶

Untersuchungen mit schwelennahen Kontrasten haben die Kontrastsensitivitätsfunktion befunden. Auf der anderen Seite interessiert man sich auch für überschwellige Kontraste. Bei der Kontrastwarnung gibt es widersprüchliche Befunde zwischen überschwelliger und unterschwelliger Kontraste.

⁶Quelle: <https://www.nature.com/articles/srep46706>

1.1.6 Kontrastkonstanz

Eine Möglichkeit die Kontrastempfindlichkeit zu messen ist es, den Probanden den Kontrast eines variablen Musters an das Kontrollmuster anzupassen. Diese Art von Experimenten nennt man Einstellungsverfahren (Method of adjustment). Der Aufbau eines Einstellungsverfahrens ist in Abbildung 7 illustriert.

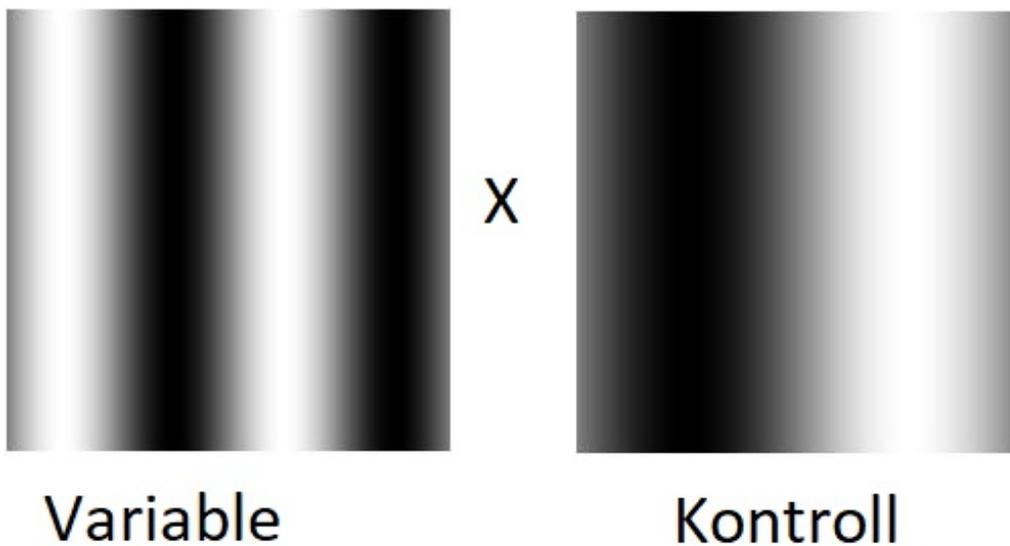


Abbildung 7: Beispiel Aufbau eines Einstellungsverfahrens. Der Proband soll im linken (Variable) Muster den Kontrast so lange verändern, bis es dem des rechten (Kontroll-) Muster gleicht. ⁷

Georgeson und Sullivan (1975) haben den Einfluss von Ortsfrequenz und Kontrast mit einem Einstellungsverfahren miteinander gemessen. Zwei Testmuster (in diesem Fall sinusförmige Gitter) wurden verglichen. Wie in Abbildung 7 ist eines der Muster variabel und der Kontrast kann eingestellt werden, während das andere Muster statisch bleibt. Das variable Muster wird vom Benutzer eingestellt, bis der wahrgenommene Kontrast dem des statischen Musters entspricht.

⁷selbst erstellt mit Python

In Abbildung 8 sind die Ergebnisse einer Versuchsperson von Georgeson und Sullivan (1975) zu sehen. Dieses Experiment wurde mit verschiedenen Kontrasten und Ortsfrequenzen wiederholt. Dabei haben Sie festgestellt, dass bei überschwelligen Kontrasten die Ortsfrequenz keinen Einfluss auf die Wahrnehmung hat. Bei unterschwelligen Kontrasten folgte die Einstellung der Versuchspersonen der typischen Kontrastsensitivitätsfunktion. Bei überschwelligen Kontrasten folgten die Einstellungen einer Geraden, der sogenannten Kontrastkonstanz. Das Ergebnis widerlegt die Kontrastsensitivitätsfunktion bei überschwelligen Kontrasten.

In Abbildung 8 sind die Forschungsergebnisse von Georgeson und Sullivan. In Rot ist der Verlauf der Kontrastkonstanz eingezeichnet. Der Verlauf bei überschwelligem Kontrast ist flach (fast eine gerade Linie). Mit abnehmendem Kontrast ändert sich der Verlauf der Kurve. Zum Vergleich ist hier in Blau die Kontrastsensitivitätsfunktion bei geringerem Kontrast eingezeichnet.

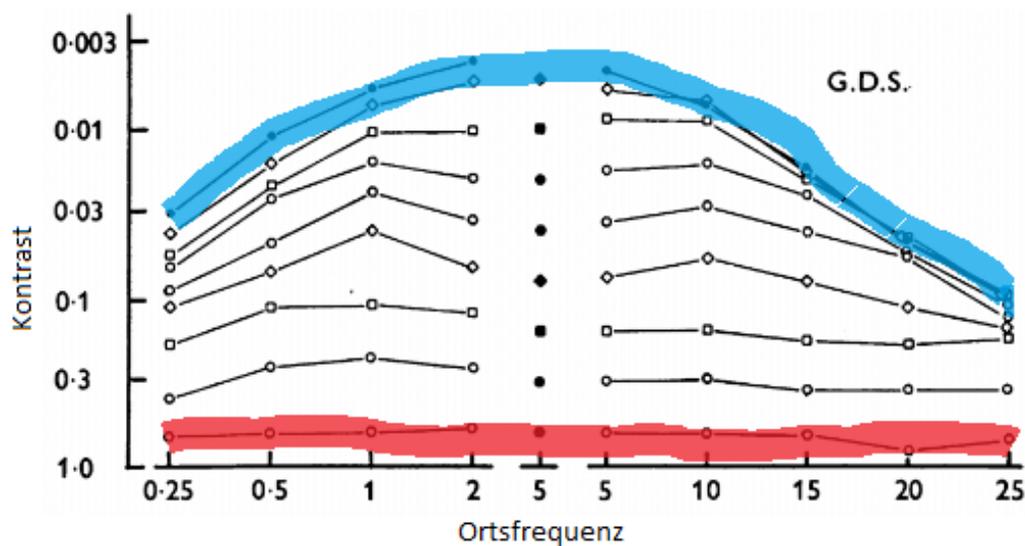


Abbildung 8: Sullivan's Ergebnisse aus ihrem Experiment. Die x-Achse ist die Ortsfrequenz und die y-Achse der Kontrast. ⁸

⁸Bearbeitet nach (Georgeson und Sullivan, 1975)

Einstellungsverfahren tendieren dazu, fehleranfällig zu sein. Eine grundlegende Einschränkung der Unterscheidungsskalen zur Darstellung von Wahrnehmungsskalen besteht darin, dass das Muster der JNDs nicht nur durch die Form der Wahrnehmungsskala bestimmt wird, sondern auch durch die Art und Weise, wie das interne Rauschen des Beobachters mit der Stimulusgröße variiert.

1.2 Problemstellung

Die meisten Studien zur Kontrastwahrnehmung haben sich mit der Kontrastempfindlichkeitsfunktion beschäftigt, d. h. mit der Kontrastwahrnehmung an der Wahrnehmungsschwelle. Auch der Einfluss der Ortsfrequenz auf den wahrgenommenen Kontrast wurde häufig aus den Ergebnissen ermittelt. Die Ergebnisse von Georgeson und Sullivan (1975) deuten auf eine Kontrastkonstanz bei überschwelligen Kontrasten hin, d. h., dass die Ortsfrequenz keinen Einfluss auf den wahrgenommenen Kontrast hat. Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Kontrastkonstanz mit der MLCM-Methode zu überprüfen.

1.2.1 Gegenuntersuchung zur Kontrastkonstanz

Wenwen Zhang (2022) hat in Ihrer Bachelorarbeit, ein Experiment zur Kontrastwahrnehmung bei überschwelligen Kontrasten durchgeführt und die Kontrastkonstanz untersucht. Wenwen hat dabei das MLDS-Verfahren benutzt. Zu sehen sind in Abbildung 9 drei Sinusgitter mit unterschiedlichen Ortsfrequenzen, aber gleichen Kontrasten. Ein Gitter ist oben und dient als Kontroll- bzw. Vergleichswert, während die anderen beiden Gitter darunter und jeweils links bzw. rechts positioniert sind. Es gilt das untere Gitter zu bestimmen, welches dem oberen an dem Kontrast am nächsten liegt.

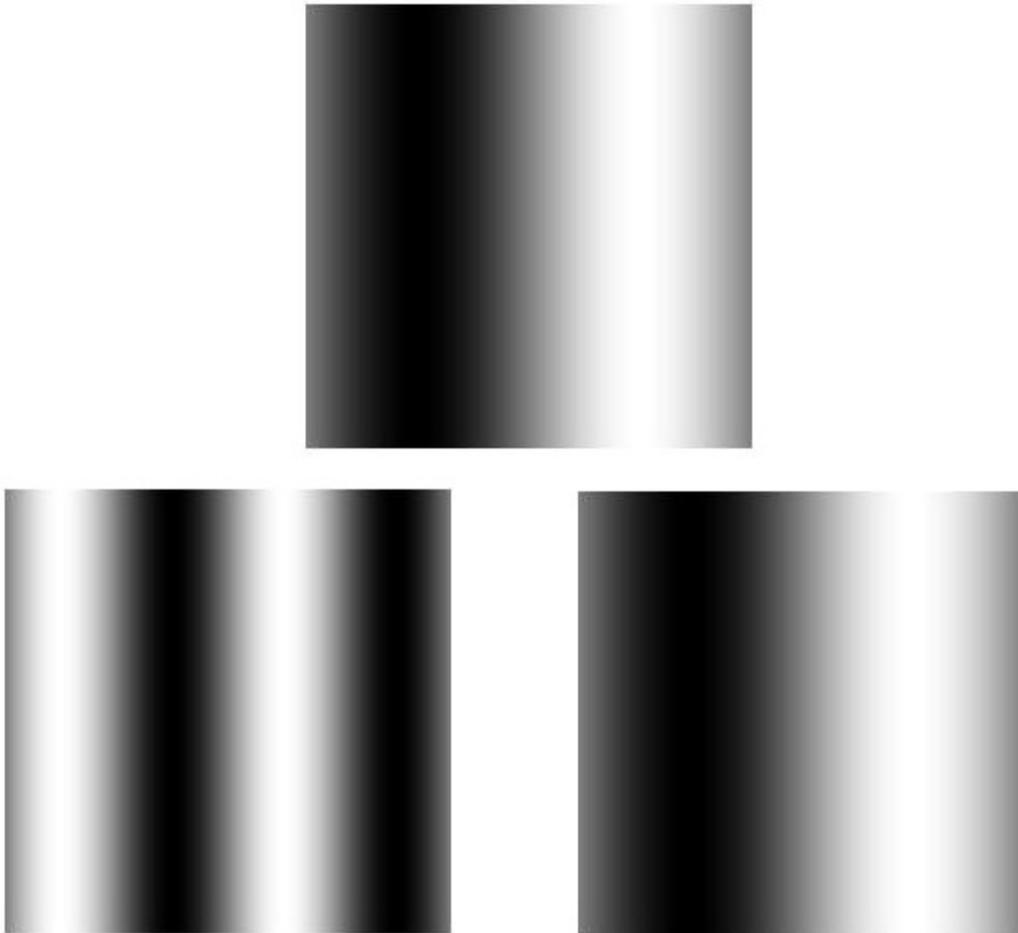


Abbildung 9: Beispiel Aufbau eines Triaden MLDS Verfahrens. ⁹

In Abbildung 10 ist erkennbar, dass auf der linken Seite bei den Daten von Wenwen mit dem MLDS-Verfahren auch der hohe Kontrast bei unterschiedlichen Ortsfrequenzen einen Verlauf wie die anderen Kontraste hat. Damit die Kontrastkonstanz gilt, müsste die Wahrnehmung bei den unterschiedlichen Ortsfrequenzen bei hohem Kontrast gleich bleiben. Die Untersuchung hat ergeben, dass bei überschwelligen Kontrasten auch die Kontrastsensitivitätsfunktion gilt. Somit wäre die Kontrastkonstanz widerlegt. Die Ergeb-

⁹selbst erstellt mit Python

nisse sind nicht ganz unproblematisch, da wie in Abbildung 10 zu erkennen ist, dass die Ergebnisse von Wenwen Zhang (2022) und die simulierten Werte von George und Sullivan (1975) nicht übereinstimmen. Beide Graphen deuten trotzdem auf die Kontrastsensitivitätsfunktion hin, da der Verlauf der unterschiedlichen Kontraste ähnlich ist (nur die Höhe der Ausprägungen unterscheidet sich) und bei keinem der Kontraste eine Gerade zu erkennen ist.

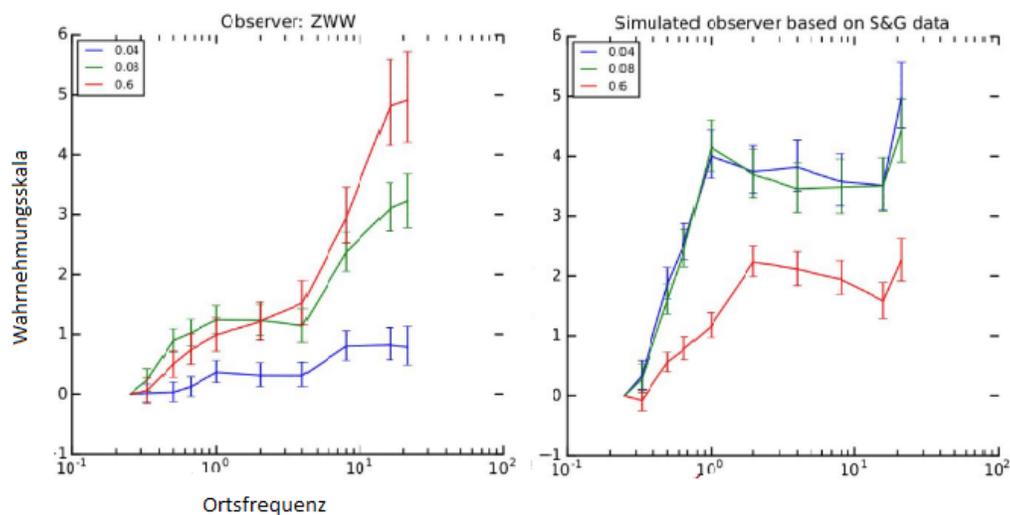


Abbildung 10: Die Ergebnisse aus dem MLDS-Experiment von Wenwen Zhang linker Graph und rechts die simulierten Werte von Georgeson und Sullivan mithilfe des MLDS-Verfahrens. Auf der x-Achse sind die Ortsfrequenzen abgebildet, auf der y-Achse hingegen die Wahrnehmungsskala. In Rot ist ein Kontrastwert von 0.6 abgebildet, Grün 0.08 und Blau 0.04.¹⁰

In dem Experiment hat die Ortsfrequenz also auch bei überschwelligen Reizen Einfluss auf den wahrgenommenen Kontrast. Das MLDS-Verfahren mit 3 Vergleichsreizen ist leider selbst nicht ganz unproblematisch. Wie ich selbst als Teilnehmer beobachtete konnte, kann es passieren, dass man in manchen Durchgängen aufgrund der Ortsfrequenz eine Entscheidung trifft, ohne den Kontrast zu beachten. Insbesondere wenn der wahrgenommene

¹⁰Bearbeitet nach: Bachelor von Wenwen Zhang

Kontrastunterschied klein ist, benutzt man manchmal, vielleicht auch unbewusst, die Ähnlichkeit in der Ortsfrequenz, um eine Entscheidung zu treffen.

1.2.2 Vergleich der Methodik

Die Frage, die sich aus den unterschiedlichen Experimenten und Ergebnissen stellt ist, ob das benutzte Verfahren einen Einfluss auf das Ergebnis hat. In Georgeson und Sullivan's Experiment muss der Proband einen von zwei Mustern so lange anpassen, bis der Kontrast dem Muster seiner Meinung gleicht. In dem MLDS Verfahren hingegen werden dem Probanden drei Muster gezeigt. Eins der Muster dient als Vergleichswert und der Proband muss entscheiden, welches der beiden anderen Muster dem am ähnlichsten ist. Aufgrund der verschiedenen Methodik ist ein Vergleich der Experimente und Ergebnisse schwierig. Es ist nicht auszuschließen, dass verschiedene Ergebnisse aus den unterschiedlichen Aufgaben entstehen können, die der Proband durchführt. Die Tatsache, dass in dem einen Verfahren nur zwei Muster und dem anderen drei sind und zusätzlich dazu, dass im MLDS Verfahren auch nicht der Kontrast angepasst wird, erfordert weitere Untersuchungen mit anderen, bestenfalls ähnlichen Verfahren, um eine Vergleichbarkeit zu erzeugen.

1.2.3 MLCM

Im MLCM Verfahren werden zwei Muster, variierend in Kontrast und Ortsfrequenz gegenüber gestellt. Das Verfahren hat den Vorteil, dass wie im Einstellungsverfahren nur zwei Muster gegenüber gestellt werden, aber die Probleme des Verfahrens nicht auftreten. Gleichzeitig ist es mit MLCM möglich, sowohl im Kontrast als auch in der Ortsfrequenz zu variieren und diese gegeneinander zu stellen. Dadurch wird eher der Kontrast verglichen und nicht wie im MLCM Verfahren oftmals der Fall ist, welches der Muster eine ähnlichere Ortsfrequenz gegenüber dem Vergleichsmuster hat.

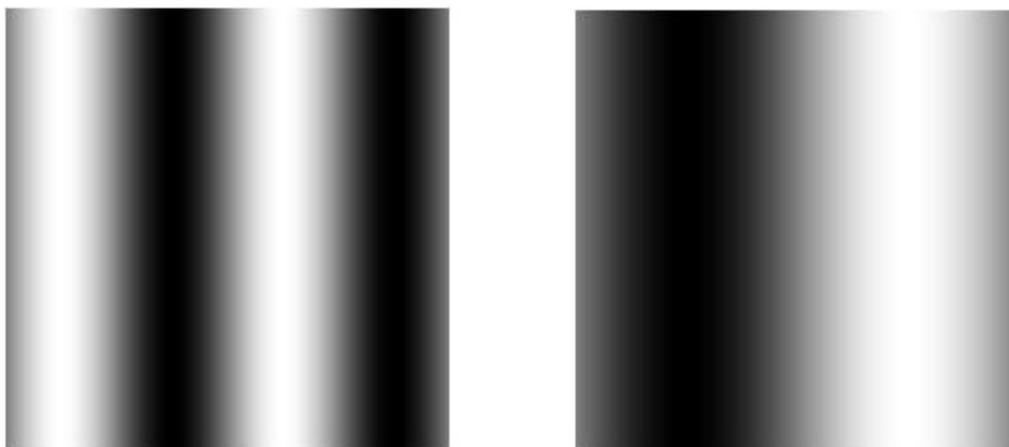


Abbildung 11: Beispiel Aufbau eines Triaden MLCM Verfahrens. Zu sehen sind zwei Sinusgitter mit unterschiedlichen Ortsfrequenzen und unterschiedlichen Kontrasten. Es gilt zu bestimmen, welches der Muster einen höheren Kontrast aufweist.¹¹

Das MLCM Verfahren, beispielhaft in Abbildung 11 zu sehen, ist ein Kompromiss aus dem MLDS und dem Einstellungsverfahren. Dadurch werden einige Fehler der beiden anderen Verfahren eliminiert und es kann ein genaueres Ergebnis erzielt werden. Allerdings tendiert man dazu bei gleichen bzw. ähnlichen Kontrasten, besonders bei hohen Kontrasten, ähnlich wie bei dem MLDS Verfahren bestimmte Ortsfrequenzen zu bevorzugen. In dem Fall sind es nicht wie bei MLDS, jene, die ähnlicher zum Vergleichsmuster sind, jedoch eher niedrige Ortsfrequenzen, ganz besonders im sehr niedrigen Bereich, in welcher sehr wenige aber große Balken gibt.

¹¹selbst erstellt mit Python

2 Methode

Zur Gewinnung der Daten wurde erst mit den Probanden das MLCM-Experiment durchgeführt. Nachdem die Probanden das Experiment durchgeführt haben, wurde das MLCM-Verfahren für jeden Probanden durchgeführt. Anhand der Ergebnisse des MLCM-Verfahrens konnte die Wahrnehmungsskala der Probanden ermittelt werden.¹²

2.1 Stimuli

Das Experiment basiert auf dem Experiment von Georgeson und Sullivan (1975). Es werden die Michelson-Kontraste 0,005; 0,013; 0,035; 0,092; 0,243 und 0,64 verwendet. Damit sind viele Werte aus dem Experiment von Georgeson und Sullivan (1975) übernommen worden. Es sind sowohl sehr hohe als auch sehr niedrige Kontraste vorhanden. Im Experiment wurden zusätzlich die Kontraste: 0.013, 0.035 und 0.243 verwendet, diese wurden in der Tabelle aus Designgründen ausgelassen. Einige der Kontraste von Georgeson und Sullivan (1975) wurden nicht verwendet, da diese Werte keinen zusätzlichen Nutzen gebracht hätten. Die nicht verwendeten Kontrasten liegen in Bereichen, die nicht relevant und somit interessant für dieses Experiment sind. Die verwendeten Kontraste reichen aus, um die erzielten Ergebnisse analysieren und auswerten zu können. In Abbildung 12 sind drei der sechs verwendeten Kontraste und die Ortsfrequenzen zu sehen. Die drei Ortsfrequenzen sind: [0.5, 4, 16]. Dadurch ist sowohl ein sehr niedriger (0.5), ein sehr hoher (16) und als zentraler Vergleichswert die 4 vertreten. Um die Anzahl an Paarung gering zu halten wurden die Werte dazwischen ignoriert, da der Verlauf der Kurve aus diesen Werten ersichtlich werden sollte. Die Sinusgitter wurden mit Quellcode, welcher am Fachgebiet Computational Psychology entwickelt

¹²Der Quellcode für alle Berechnungen und Abbildungen im folgenden Abschnitt kann unter https://git.tu-berlin.de/computational-psychology/mlcm_perceived_contrast_gabors gefunden werden.

wurde, erstellt. Die erstellten Sinusgitter wurden auf einem grauen Hintergrund dargestellt.

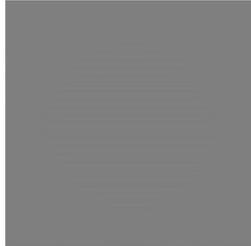
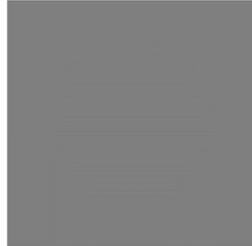
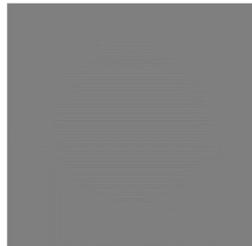
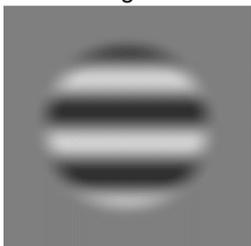
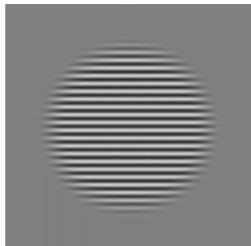
Ortsfrequenz/ Kontrast	0.5	4	16
0.005	a 	b 	c 
0.092	d 	e 	f 
0.64	g 	h 	i 

Abbildung 12: Die Stimuli für das Experiment: (a) Kontrast: 0.005, Ortsfrequenz: 0.5; (b) Kontrast: 0.005, Ortsfrequenz: 4; (c) Kontrast: 0.005, Ortsfrequenz: 16; (d) Kontrast: 0.092, Ortsfrequenz: 0.5; (e) Kontrast: 0.092, Ortsfrequenz: 4; (f) Kontrast: 0.64, Ortsfrequenz: 0.5; (g) Kontrast: 0.64, Ortsfrequenz: 4; (h) Kontrast: 0.64, Ortsfrequenz: 4; (i) Kontrast: 0.64, Ortsfrequenz: 16¹³

Zusätzlich wurden die Sinusgitter, wie in Abbildung 13 dargestellt, mit dem gleichen Code horizontal gespiegelt erstellt. Dadurch konnte die Anzahl

¹³Bearbeitet nach den Stimuli aus dem MLCM-Experiment. Die Balken in (f) und (i) erscheinen in der Abbildung viel größer, das liegt wahrscheinlich daran, dass eine Konversion vom ursprünglichen Bild beim Bearbeiten stattgefunden hat und dadurch Details verloren gegangen sind.

der Versuchsreize verdoppelt werden. Die Tatsache, dass die Reihenfolge in der sich hell und dunkel abwechseln vertauscht wurden, ist vor allem bei niedrigen Ortsfrequenzen bemerkbar, da die Balken dort viel größer und damit sichtbarer sind.

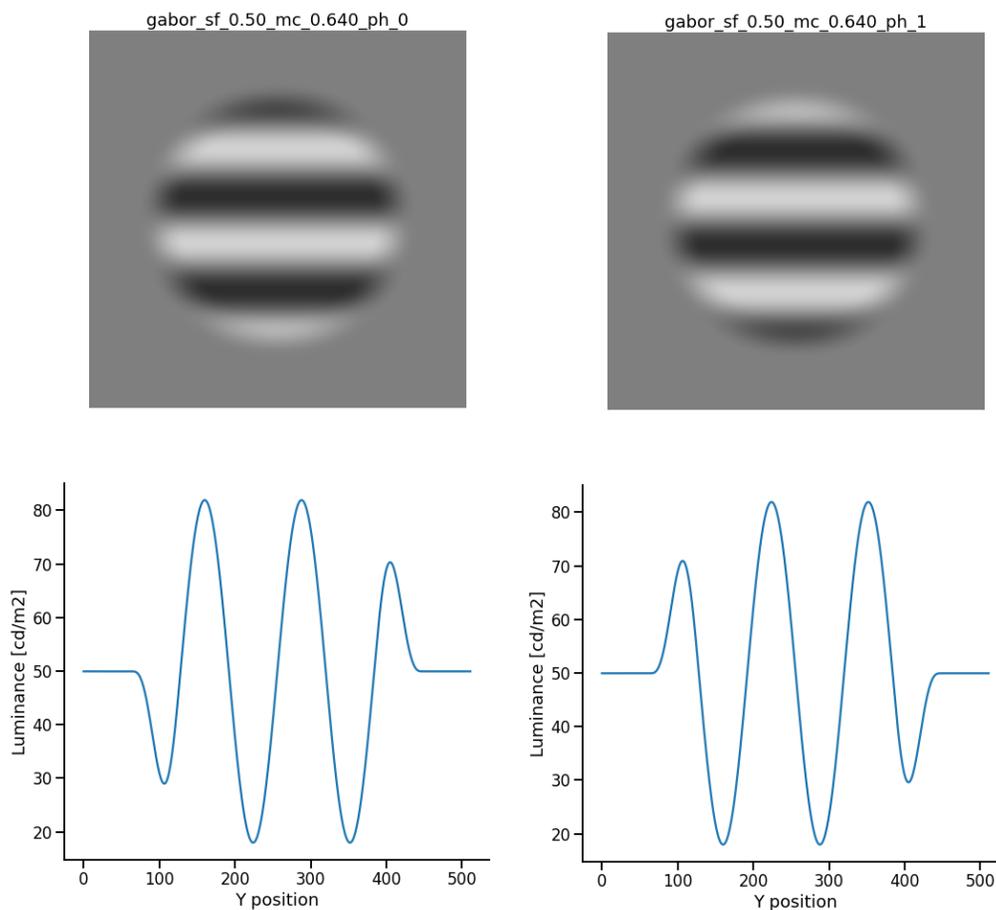


Abbildung 13: Die Sinusgitter mit der Ortsfrequenz von 0.5 und Kontrast von 0.64. Oben in der Abbildung zu sehen: Die Sinusgitter. Unten sind die dazugehörigen Graphen mit der Sinuskurve abgebildet. Die x-Achse stellt die Position der Balken dar, während die y-Achse den Luminanz wert darstellt. Der rechte Graph ist die Spiegelung des linken, das ist gut zu erkennen in den Sinusgitter, dort ist immer zwischen dem linken und rechten hell und dunkel vertauscht.¹⁴

¹⁴bearbeitet nach den Stimuli aus dem MLCM-Experiment.

In jedem Block wurden zufällig ausgewählte Stimuli dargestellt. Es waren 153 pro Block und 10 Blöcke insgesamt, sodass insgesamt 1530 Vergleiche stattgefunden haben. Es konnten und sind manche Stimuli mehrfach dargestellt worden, es wurde aber sichergestellt, dass jeder Stimulus präsentiert wird und niemals dieselben Stimuli verglichen.

2.2 Versuchsaufbau

Für das Experiment mussten die Probanden sich in einem durch Vorhänge abgetrennten Teil des Labors aufhalten. Der Bereich war so abgeriegelt, dass kein Licht von außerhalb einfiel. Die einzige Lichtquelle war der Monitor, mit dem das Experiment durchgeführt wurde. Es handelt sich um ein: VIEW-Pxx/ 3D vom Darsteller: Vpixx Technologies.¹⁵ Die räumliche Auflösung betrug: 1920×1080 Pixels, 530×300 mm. Der Proband wurde in 1 Meter Abstand zum Bildschirm hingesezt. Eine Kinnstütze hat die Einhaltung des Abstandes und Winkels gesichert. Der Kopf des Probanden war auf Höhe des Bildschirms, sodass er gerade schauen konnte. Er wurde aufgefordert, andere Lichtquellen wie Telefone etc. zu vermeiden und wenn nötig Pausen einzulegen, auch neben den im Experiment eingebauten Pausen. Die Eingaben wurden mithilfe des RESPONSEPixx Handheld ¹⁶ mit 5 Tasten durchgeführt. Relevant war der linke und rechte Knopf, damit wurde die jeweilige Seite im Experiment ausgewählt, wo der Proband den Kontrast für höher hält.

2.3 Versuchsablauf

Die Probanden wurde vorher ein Blatt mit dem genauen Ablauf und den Anforderungen zugeschickt, damit Sie sich im Voraus informieren und vorbereiten konnten. Außerdem wurde Ihnen vor dem Experiment nochmal alles erklärt und gezeigt. Den Probanden wurde auf einem grauen Hintergrund im-

¹⁵<https://vpixx.com/products/viewpixx-3d/>, abgerufen am 12.09.2022

¹⁶<https://vpixx.com/products/handheld/>, abgerufen am 12.09.2022

mer zwei unterschiedliche, aber zufällig ausgewählte, Reize präsentiert. Diese waren in der Größe gleich groß und die Positionierung erfolgte immer an dem gleichen Ort. Es sollte dadurch sichergestellt werden, dass keine äußeren Einflüsse wie Position, Größe, etc. Einfluss auf das Ergebnis haben. Bei der zufälligen Auswahl der Reize wurde darauf geachtet, dass niemals dieselben Reize gegenüber gestellt werden. Außerdem wurde vermieden ähnliche Reize und Vergleiche am Stück zu machen, damit jeder Vergleich unabhängig von dem vorhergegangenen stattfindet. Die Aufgabe der Probanden bestand darin, den Sinusgitter pro Vergleich auszuwählen, indem Sie dem Sie den größten Unterschied im Kontrast festgestellt haben. Dafür mussten Sie auf dem Eingabegerät die jeweilige Taste, die sie für richtig hielten, drücken. Das Experiment wurde von den Versuchspersonen in einer Sitzung absolviert. Es gab dabei keine Zeitbegrenzung. Falls eine Versuchsperson versehentlich die falsche Taste gedrückt und somit das falsche Sinusgitter ausgewählt hat, wurde das Experiment weiter geführt und der Wert nicht korrigiert. Aufgrund des Aufbaus des Experimentes mit den vielen Durchgängen, sollten solche Fehler, keinen Einfluss auf das Ergebnis haben. Es gab keinen Fall, wo ein Proband der Meinung war, oft falsch gedrückt zu haben. Die Daten aller Probanden sind im Git Repository gesichert. ¹⁷

2.4 Datenschutz und Ethik

An dem Laborversuch nahmen insgesamt vier Probanden teil. Zwei Probanden waren naive Beobachter (Personen, die ohne wissenschaftliche Theorien und Erklärungsmodelle Situationen beobachten und bewerten ¹⁸), dabei handelt es sich um Personen aus dem persönlichen Umfeld des Autors. Die anderen beiden Probanden waren der Autor selbst und einem Angehörigen des Fachgebietes Computational Psychology. Die Probanden sollten nach eige-

¹⁷https://git.tu-berlin.de/computational-psychology/mlcm_perceived_contrast_gabors/-/tree/main/experiment/results/, abgerufen 12.09.2022

¹⁸<https://www.spektrum.de/lexikon/psychologie/naive-beobachter/10288>

nem Bekunden über normale Sehfähigkeiten verfügen und keine unkorrigierte Fehlsichtigkeit haben. Die Teilnahme an dem Laborexperiment war für die Probanden freiwillig, auf Wunsch erhielten sie eine Aufwandsentschädigung in der üblichen Höhe. Vor ihrer Teilnahme wurden die Versuchspersonen über den Ablauf informiert. Die Daten des Autors selber sind aufgrund eines Fehlers im ursprünglichen Code unbrauchbar geworden und dadurch nicht Bestandteil der Analyse und dieser These. Die Daten selber sind noch im Git enthalten, sollten aber mit Vorsicht behandelt werden.

3 Ergebnisse

Die Probanden haben jeweils 1530 Werte in 10 Durchgängen mit jeweils 153 Vergleichen erzeugt. Relevant für diese Arbeit sind die Daten von drei der vier Probanden (Die Daten des Autors wurden wie bereits erwähnt ausgeschlossen). Somit sind insgesamt 4590 Werte für diese Arbeit relevant und werden im Folgenden ausgewertet.¹⁹

3.1 Experimentelle Ergebnisse

Um die Kontrastkonstanz bestätigen zu können, müssten die Ergebnisse, wenn sie anhand ihres Kontrastes gruppiert sind, einen flachen Verlauf bei überschwelligen Kontrasten zeigen. In der folgenden Abbildungen sind die Daten der Probanden zu sehen. Die Abbildung 14 zeigt die Ergebnisse nach ihren Ortsfrequenzen gebündelt. Alle Diagramme wurden mit Quellcode, der am Fachgebiet Computational Psychology entwickelt wurde, erstellt.

Es ist in Abbildung 14 zu erkennen, dass bei allen Kontrasten der Verlauf der drei Probanden ähnlich ist. Die Graphen steigen leicht an und fallen danach ab.

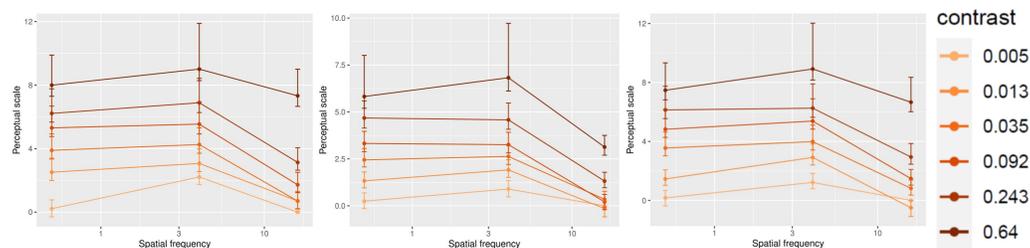


Abbildung 14: Die Daten von Proband 1 bis 3 gruppiert nach ihrem Kontrast. Es sind 6 Kontraste abgebildet. Der Rot-Ton wird mit steigendem Kontrast immer tiefer. Die Kontraste sind: 0.005, 0.013, 0.035, 0.092, 0.243 und 0.64. Auf der x-Achse sind die Ortsfrequenzen abgebildet und auf der y-Achse die Wahrnehmungsskala.²⁰

¹⁹Der Quellcode für alle Berechnungen und Abbildungen im folgenden Abschnitt kann unter https://git.tu-berlin.de/computational-psychology/mlcm_perceived_contrast_gabors gefunden werden.

Betrachten wir den Verlauf des Graphen: Abbildung 14, ist die Kontrastsensitivitätskurve wie in Abbildung 6 zu erkennen.

Auch eine Betrachtung des Graphen: Abbildung 15, deutet auf die Kontrastsensitivitätskurve hin, auch bei hohen Kontrasten. Die Punkte bei einem Kontrast von 0.64 müssten in den Graphen am gleichen oder ähnlichen Punkten liegen, denn die Kontrastkonstanz besagt, dass bei überschwelligen Kontrasten die Ortsfrequenz keinen Einfluss auf die Wahrnehmung hat. Dadurch dass die Werte unterschiedlich sind, scheint die Ortsfrequenz einen Einfluss auf die Wahrnehmung zu haben.

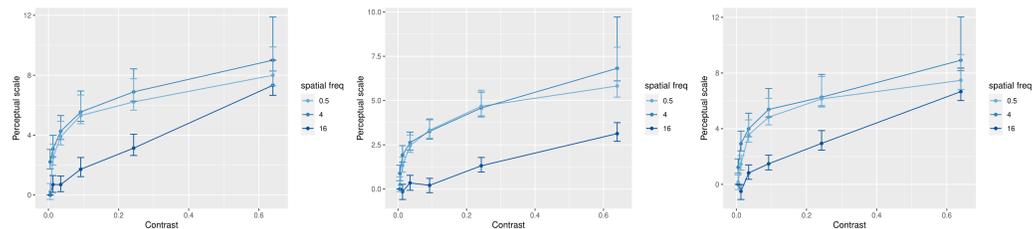


Abbildung 15: Die Daten von Proband 1 bis 3 gruppiert nach ihrer Ortsfrequenz. In der x-Achse sind die Kontraste abgebildet und in der y-Achse die Wahrnehmungsskala. Es sind drei Ortsfrequenzen abgebildet: In dunkelblau mit dem Wert 16, in einem etwas helleren Blau mit dem Wert 4 und der hellste Blauton mit dem Wert von 0.5.²¹

Georgeson und Sullivan (1975) hatten in ihrem Experiment allerdings die Kontrastkonstanz nachgewiesen. Demnach müssten die Werte bei hohen Ortsfrequenzen gleich bleiben, auch bei unterschiedlichen Ortsfrequenzen.

²⁰bearbeitet nach den Ergebnissen aus dem MLCM-Experiment.

²¹bearbeitet nach den Ergebnissen aus dem MLCM-Experiment.

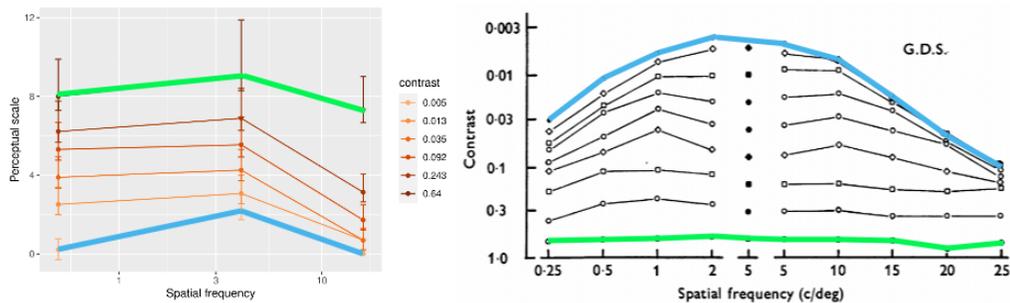


Abbildung 16: Vergleich zwischen der Kontrastsensitivitätskurve aus den Ergebnissen von Georgeson und Sullivan (1975) und den Ergebnissen des MLCM-Experimentes. Beide Graphen sind anhand Ihres Kontrastes gebündelt. In Blau ist der Kontrastwert 0.64 und der Wert für Kontrast 0.005 in Grün markiert. ²²

Wie in Abbildung 16 zu sehen übereinstimmen die Ergebnisse aus dem MLCM-Experiment und die von Georgeson und Sullivan (1975) nicht überein. Die blauen Linien stehen jeweils für niedrigen Kontrast und die grünen Linien für einen hohen Kontrast. Die Kurven sind vertauscht, da bei Georgeson und Sullivan (1975) der Kontrast absteigend und bei dem MLCM-Experiment aufsteigend angeordnet sind. Die Ergebnisse des Experimentes zeigen, keine Kontrastkonstanz, für überschwellige Stimuli. Es scheint viel mehr die Kontrastsensitivitätskurve in einer verflachten Form darzustellen. Es scheint, dass die benutzte Methodik bei überschwelligen Kontrasten nicht genau die Werte darstellen konnte, da auch bei Georgeson und Sullivan minimale Unterschiede bei überschwelligen Kontrasten zu erkennen sind. Es ist außerdem zu bemerken, dass die Kontrastsensitivitätskurve in dem Experiment auch bei niedrigen Kontrasten aufgetreten ist, trotz der geringen Anzahl von Ortsfrequenzen.

²²Linke Seite bearbeitet nach den Ergebnissen aus dem MLCM-Experiment. Rechte Seite bearbeitet nach (Georgeson und Sullivan, 1975)

4 Diskussion

4.1 Methodischer Ansatz und Qualität der Daten

Um verlässliche Ergebnisse erzielen zu können, müssen die benutzten Daten sowohl valide als auch zuverlässig sein. Valide (Gültigkeit) bedeutet, dass die Methode tatsächlich das misst, was sie messen soll. Reliabilität (Verlässlichkeit) bedeutet, dass die Methode genau misst. Reliabilität ist hier gegeben, da die Probanden ähnliche Muster als Ergebnisse erzielt haben. Validität kann hier nicht nachgewiesen werden, aber auch nicht verneint.

Interessanterweise wurde hier auch die Kontrastsensitivitätsfunktion bei niedrigen Kontrasten nachgewiesen. Die Anwesenheit der Kontrastsensitivitätsfunktion ist zwar kein Nachweis für die Korrektheit des Experimentes bei überschwelligen Kontrasten, zeigt aber immerhin, dass bei niedrigen Kontrasten das Experiment richtig funktioniert hat. Es gab kein standardisiertes Interview mit den Probanden, allerdings gaben diese in Gesprächen nach dem Experiment folgendes an:

- Die Aufgabenstellung verstanden zu haben und Ihrer Meinung nach richtig absolviert zu haben
- Wenige Fehler gemacht zu haben, die Auswirkungen auf die Ergebnisse haben
- Das Experiment mit bestem Wissen und Gewissen durchgeführt zu haben
- Das Experiment und die Dauer war zwar anstrengend aber nicht überfordernd, sodass Sie konzentriert das Experiment beenden konnten

4.2 Aussagekraft und Begrenztheit der gewonnenen Daten

Das Hauptproblem der gewonnenen Daten ist, dass es nur wenige Probanden gab. Um wirklich sichere und aussagekräftige Ergebnisse erzielen zu können, braucht es viel mehr Probanden. Die benutzten Kontraste sind ausreichend und der Unterschied der verschiedenen Kontraste und der Auswirkung auf die Wahrnehmung ist klar zu erkennen. Die Ortsfrequenzen sind zwar ausreichend, jedoch wäre der Verlauf und die Auswirkung mit Ortsfrequenzen zwischen $[0.5 ; 4]$ und $[4 ; 16]$ besser erkennbar gewesen. Außerdem wäre ein Kontrast unter 0.5 wichtig zu betrachten. Es wäre außerdem interessant zu betrachten, wie die Ergebnisse sich in einem natürlichen Reiz, wie der Nebelszene verändern. Die Sinusgitter sind nicht so komplex in ihrem Aufbau und eine natürliche Szene, hat viele verschiedene Kontraste und Ortsfrequenzen, im Gegensatz zu Sinusgittern.

4.3 Ausblick

Die Anzahl der Tester sowie die Parameter im Experiment waren limitiert. Auch die Analyse der Daten im Rahmen dieser Arbeit waren in ihrem Umfang begrenzt. Mögliche Schritte, um weitere Erkenntnisse zu der Fragestellung dieser Arbeit zu erhalten, sind im Folgenden erläutert. Es könnte mit demselben Design an weiteren Probanden getestet werden. Dadurch könnte die Reliabilität dieser Arbeit untersucht werden. Außerdem könnten weitere Parameter verwendet werden oder sogar vorhandene Parameter leicht angepasst werden. Weitere Parameter würden für eine bessere Übersicht sorgen, aber auch den Umfang des Experimentes deutlich erhöhen. Indem vorhandene Parameter verändert werden, könnte untersucht werden, ob eventuell die verwendeten Parameter einen Einfluss auf das Ergebnis zur Folge hatten.

Literatur

- Georgeson und Sullivan. (1975). Contrast constancy: Deblurring in human vision by spatial frequency channels. *The Laboratory of Experimental Psychology, University of Sussex, Brighton, Sussex BN19QY*, 31.
- Zhang, W. (2022). Eine erneute betrachtung von kontrastkonstanz mit mlds:wahrgenommener kontrast von sinusgittern variiert mit der ortsfrequenz. *TU Berlin*.