

---

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

# Vergleich der Illusionsstärken von White's Effekt und simultanem Helligkeitskontrast mittels Maximum Likelihood Conjoint Measurement

Bachelorarbeit zur Erlangung des akademischen Grades  
Bachelor of Science (B. Sc.) im Studiengang Medientechnik

vorgelegt von  
**Lisa Scheibner**  
Matr.: 409858

Abgabetermin: 15. Januar 2024

Erstgutachter: Dr. Guillermo Aguilar  
Technische Universität Berlin  
FG Computational Psychology

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



## Erklärung

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 15. Januar 2024



Lisa Scheibner



---

## Zusammenfassung

Die Untersuchung visueller Illusionen ermöglicht es, Einblicke in die Funktionsweise des visuellen Systems zu erhalten. Dafür können verschiedene Methoden angewendet werden. Maximum Likelihood Conjoint Measurement (MLCM) ist ein Verfahren für die Erstellung perzeptueller Skalen. Diese können als Codierungsfunktionen angesehen werden. Somit lässt sich Wahrnehmung als Funktion einer physikalischen Variable eines Stimulus darstellen.

In der vorliegenden Arbeit wird untersucht, wie perzeptuelle Skalen des simultanen Helligkeitskontrast aussehen. Anhand dieser wird überdies analysiert, wie sich die Illusionsstärke im Vergleich zu White's Effekt verhält. Um die Forschungsfragen zu beantworten, werden mittels MLCM perzeptuelle Skalen des simultanen Helligkeitskontrasts erstellt. Für die Ermittlung der Skalen werden als Dimensionen die Luminanz der Testfelder sowie deren Positionierung auf einem schwarzen oder weißen Hintergrund verwendet. Aufgrund dessen kann die wahrgenommene Helligkeit der betrachteten Felder als Funktion deren eigentlicher Luminanz abgebildet werden. Demzufolge lässt sich anhand der Skalen ebenfalls die Illusionsstärke untersuchen. Resultierend daraus können die ermittelten Ergebnisse anschließend mit den bereits erstellten perzeptuellen Skalen von White's Effekt (Vincent et al., *in Review*) verglichen werden. Die Skalen des Simultankontrasts zeigten eine stets gleich groß oder höher wahrgenommene Helligkeit des Testfeldes mit schwarzem Hintergrund. Diese Beobachtung stimmte dementsprechend mit der Richtung der Illusion überein. Im Vergleich mit White's Effekt konnte hinsichtlich der Stärke beider Illusionen keine eindeutige Tendenz festgestellt werden. Dies kann auf die zu geringe Anzahl an Versuchspersonen zurückgeführt werden.

## Abstract

Studying visual illusions gives us the possibility to gain an insight into the functioning of our visual system. For that various methods can be used. Maximum Likelihood Conjoint Measurement (MLCM) is a procedure to measure perceptual scales. They can be regarded as encoding functions. Hence those functions map a physical variable of a given stimulus to perception.

This thesis aims to investigate how perceptual scales of the simultaneous brightness contrast look like. Furthermore the illusion strength will be analysed compared to White's stimulus. To answer the research questions, perceptual scales were estimated for the simultaneous brightness contrast using MLCM. For the measurement of these scales the luminance of the targets and their placement on a white or black background were chosen as dimensions. Therefore the perceived brightness of the considered targets can be mapped as a function of their actual luminance. Hence the estimated scales show the strength of the illusion. In consequence, the results were then compared to perceptual scales of White's stimulus that have already been measured by Vincent et al. (*in Review*).

The scales of the simultaneous brightness contrast showed constantly an equal or higher perceived brightness of targets on a black background compared to targets on a white background. This observation corresponded with the direction of the illusion. In comparison with White's stimulus no clear tendency could be detected regarding the strength of the illusion. This can be attributed to an insufficient number of observers.



# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	VII
Tabellenverzeichnis .....	VII
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Simultaner Helligkeitskontrast .....	1
1.2 White's Effekt .....	2
1.3 Maximum Likelihood Conjoint Measurement .....	2
1.4 Perzeptuelle Skalen für White's Effekt .....	3
1.5 Problemstellung .....	4
1.5.1 Perzeptuelle Skalen des simultanen Helligkeitskontrasts .....	4
1.5.2 Illusionsstärke.....	5
1.6 Ausblick .....	6
<b>2 Methode .....</b>	<b>7</b>
2.1 Versuchspersonen .....	7
2.2 Stimuli .....	7
2.3 Versuchsaufbau.....	8
2.4 Versuchsablauf .....	8
2.5 Berechnung perzeptueller Skalen mittels MLCM.....	9
<b>3 Ergebnisse.....</b>	<b>11</b>
3.1 Perzeptuelle Skalen des simultanen Helligkeitskontrasts .....	11
3.2 Vergleich der Illusionsstärken von simultanem Helligkeitskontrast und White's Effekt .....	12
<b>4 Diskussion .....</b>	<b>17</b>
4.1 Perzeptuelle Skalen des simultanen Helligkeitskontrast und Vergleich der Illusionsstärke mit White's Effekt.....	17
4.2 Vergleich mit Whittle (1992).....	18
4.3 Begrenztheit der Ergebnisse .....	19
4.4 Fazit.....	20
<b>Danksagung.....</b>	<b>21</b>
<b>5 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>22</b>
Anhang A1: Illusionsstärke – White's Effekt .....	24
Anhang A2: Illusionsstärke – Simultaner Helligkeitskontrast .....	25
Anhang A3: Differenz.....	26

---

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Simultaner Helligkeitskontrast .....	1
Abbildung 2 White's Effekt .....	2
Abbildung 3 Perzeptuelle Skalen von White's Effekt .....	4
Abbildung 4 Helligkeitsskalen zum Crispening-Effekt .....	5
Abbildung 5 Beispiele für Stimuli.....	8
Abbildung 6 Ergebnisse simultaner Helligkeitskontrast .....	11
Abbildung 7 Vergleich der perzeptuellen Skalen von simultanem Helligkeitskontrast und White's Effekt.....	13
Abbildung 8 Verlauf der Illusionsstärken von simultanem Helligkeitskontrast und White's Effekt .....	14
Abbildung 9 Differenz der Illusionsstärken .....	16
Abbildung 10 Illusionsstärke von Whittle (1992) .....	18

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Illusionsstärke White's Effekt .....	25
Tabelle 2 Illusionsstärke Simultaner Helligkeitskontrast .....	26
Tabelle 3 Differenz .....	27



# 1 Einleitung

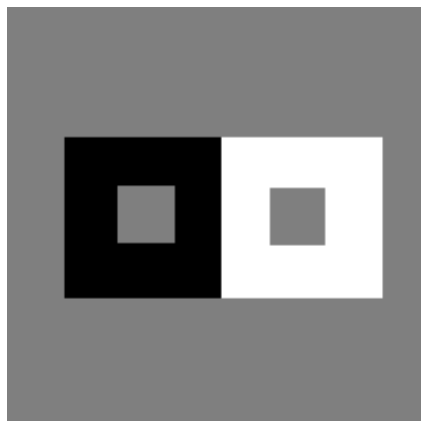
Visuelle Illusionen bewirken, dass Eigenschaften von Objekten unterschiedlich wahrgenommen werden. Ein Beispiel dafür ist der Zusammenhang von Luminanz und Helligkeit. Luminanz ist die Menge an Licht, welche von einer Oberfläche ins Auge gelangt und kann mit Hilfe von physikalischen Methoden gemessen werden. Helligkeit hingegen ist eine subjektive Variable. Diese beschreibt mit welcher Intensität Licht, welches von einem Objekt ausgeht, wahrgenommen wird (Adelson, 2000). Wie die Helligkeit eines Gegenstands empfunden wird, hängt nicht nur vom betrachteten Punkt selbst ab. Der Kontext hat ebenfalls einen entscheidenden Einfluss (Anderson, 2003; Cornsweet, 1970, S. 311). Faktoren wie Größe, Form, Farbe oder Distanz sind demnach imstande, visuelle Illusionen zu bewirken und zu beeinflussen.

Dass Luminanz und Helligkeit nicht immer übereinstimmen, ist auf verschiedene Vorgänge im visuellen System zurückzuführen. Theorien wie Filling-In, Kantenintegration, Gestalt-Anchoring oder Filtermodelle sind Ansätze, Erklärungen für diese Prozesse zu finden (Kingdom, 2011, 2014). Optische Täuschungen können dementsprechend als Mittel angesehen werden, Abläufe des menschlichen Gehirns besser zu verstehen.

## 1.1 Simultaner Helligkeitskontrast

Der simultane Helligkeitskontrast (Abbildung 1) stellt eine derartige visuelle Illusion dar. Auf einem schwarzen und einem weißen Quadrat befinden sich jeweils zwei graue Felder gleicher Luminanz. Dennoch lässt sich ein Unterschied in der Helligkeit feststellen. Das linke Feld wird heller wahrgenommen. Dieses Phänomen kann mit dem Prinzip der lateralen Inhibition erklärt werden. Ganglienzellen im visuellen System sind von rezeptiven Feldern umgeben. Trifft ein Reiz deren erregendes Zentrum, erhöht sich die Aktivität der Nervenzellen. Dieser Fall tritt für das Testfeld auf dem schwarzen Quadrat ein. Der weiße Hintergrund führt indessen zu einer Verminderung der Aktivität, da in diesem Fall hauptsächlich das hemmende Umfeld betroffen ist (Economou et al., 2007).

Dementsprechend ergibt sich durch das Zusammenwirken von neuronaler Erregung und Hemmung die wahrgenommene Helligkeit der Testfelder (Gilchrist, 2006, S. 18).



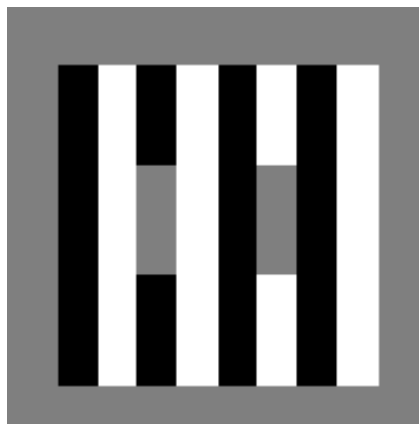
**Abbildung 1** Simultaner Helligkeitskontrast. Zwei Testfelder auf einem schwarzen und einem weißen Hintergrund haben dieselbe Luminanz. Das linke Feld wird dennoch heller wahrgenommen. Die Entstehung dieses Effekts lässt sich mit dem Prozess der lateralen Inhibition erklären.

Die Stärke dieser Illusion kann durch die Größe der Stimuli beeinflusst werden. Der Effekt wird verstärkt, wenn das Umfeld größer und die Testfelder kleiner werden (Blakeslee & McCourt, 1997; Yund & Armington, 1975). Des Weiteren wird die Illusion mit zunehmender Breite des Stimulus geringer (Shi et al., 2013).

## 1.2 White's Effekt

Eine weitere visuelle Illusion ist der Effekt von White. Dieser ist in Abbildung 2 zu sehen. Auf einem Gitter von schwarzen und weißen Balken werden zwei graue Testfelder platziert. Entgegen der Wahrnehmung, das Feld auf dem schwarzen Balken sei heller, haben beide die gleiche Luminanz (White, 1979). Mittels lateraler Hemmung kann diese Täuschung nicht begründet werden. Das Testfeld auf dem schwarzen Balken müsste nach diesem Prinzip dunkler erscheinen, da es von einer größeren weißen Fläche umgeben ist. Trotz verschiedener Ansätze gibt es bisher keine ausreichende Erklärung für diese Illusion (Anderson, 2003; Murray, 2021).

Kontur-Adaptation ist ein möglicher Versuch, die Täuschung zu belegen. Eine frühere Studie von Betz et al. (2015) ist zu dem Ergebnis gekommen, dass White's Effekt weitgehend von den Kontrastkanten orthogonal zum Gitter beeinflusst wird. Infolgedessen werden nur die beiden Balken mit Testfeldern betrachtet, nicht aber die umliegenden. Dadurch entsteht eine Version des Simultankontrasts, welche wie in Abschnitt 1.1 beschrieben, mittels lateraler Hemmung erklärt werden kann.



**Abbildung 2** White's Effekt. Auf einem Gitter von schwarzen und weißen Balken befinden sich zwei graue Testfelder. Beide haben die gleiche Luminanz. Das linke Feld erscheint dennoch heller als das rechte (White, 1979).

Die Stärke von White's Effekt kann ebenfalls mittels verschiedener Faktoren beeinflusst werden. Die Illusion nimmt sowohl bei steigender Frequenz als auch bei einer erhöhten Anzahl an Testfeldern zu (Anstis, 2006; Blakeslee & McCourt, 2004; White, 1979). Des Weiteren wird der Effekt verstärkt, je geringer die Breite der Balken ist (Anderson, 1997). Das umgebende Gitter ist ebenfalls von Bedeutung. Ist dieses nicht vorhanden, wird die Illusion schwächer und kann sich in einigen Fällen umkehren (White, 1979, 1981).

## 1.3 Maximum Likelihood Conjoint Measurement

Die Stärke visueller Illusionen sowie deren Messungen im Allgemeinen können Informationen über neuronale Mechanismen und die Einschränkungen des visuellen Systems geben (Gori et al., 2016). Um optische Täuschungen wie White's Effekt und simultanem Helligkeitskontrast in dieser Hinsicht zu untersuchen, gibt es verschiedene Vorgehensweisen.

Maximum Likelihood Conjoint Measurement (MLCM) ist eine Methode, um perzeptuelle Skalen zu erstellen. Diese können als Codierungsfunktionen interpretiert werden. Wahrnehmungscodierung bedeutet, dass Wahrnehmung, z. B. Helligkeit, als Funktion einer physikalischen Variable eines Stimulus, wie etwa Luminanz, dargestellt werden kann. Die Versuchsperson liest aus dieser Codierungsfunktion dementsprechend den Wahrnehmungswert für den jeweiligen passenden physikalischen Wert ab. Die Dekodierungsfunktion, welche die anschließende Antwort der Testperson darstellt, ist bei MLCM linear

und klar definiert. Dadurch können die geschätzten perzeptuellen Skalen als Codierungsfunktionen angesehen werden (Vincent et al., *in Review*).

Mittels MLCM können die Auswirkungen mehrere physischer Dimensionen auf die Wahrnehmung untersucht werden (Knoblauch & Maloney, 2012). Das Verfahren ermöglicht es, die verschiedenen Dimensionen gleichzeitig zu variieren und anschließend ihren jeweiligen individuellen Einfluss zu analysieren (Hansmann-Roth & Mamassian, 2017).

Ho et al. (2008) haben MLCM beispielsweise angewendet, um die Dimensionen Glanz und Unebenheit zu untersuchen. Anhand der ermittelten Skalen konnte ermittelt werden, wie sich jede dieser Eigenschaften auf die Wahrnehmung der jeweils anderen auswirkt.

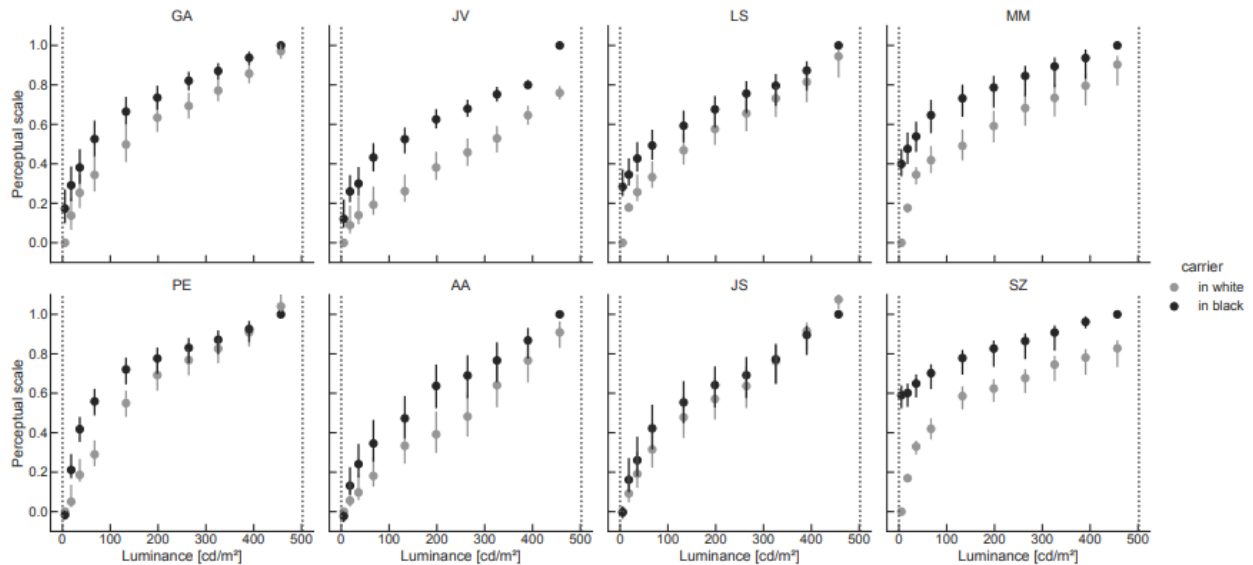
Jeder Reiz ergibt sich aus den unterschiedlichen Werten der zu untersuchenden Dimensionen. Die Aufgabe der Versuchsperson besteht anschließend darin, die Stimuli nach einer festgelegten Größe zu ordnen (Maloney & Knoblauch, 2020). Der wahrgenommene Unterschied wird hierbei jedoch nicht gemessen. Die erhaltenen Daten ergeben dementsprechend eine ordinale Anordnung von Reizpaaren (Knoblauch & Maloney, 2012).

Mittels MLCM kann die vollständige Form perzeptueller Skalen reproduziert werden, da der gesamte Luminanzbereich abgedeckt wird. Dadurch können die Codierungsfunktionen qualitativer geschätzt werden. Im Gegensatz dazu resultieren aus standardisierten Methoden, wie beispielsweise Anpassungsexperimenten, nur lineare Funktionen. Des Weiteren wurde nachgewiesen, dass perzeptuelle Skalen Daten aus diesen Experimenten vorherzusagen können (Aguilar & Maertens, 2020; Vincent et al., *in Review*).

#### 1.4 Perzeptuelle Skalen für White's Effekt

Vincent et al. (*in Review*) haben mittels MLCM perzeptuelle Skalen erstellt, um die Stärke von White's Effekt vorherzusagen. In Abbildung 3 sind die Ergebnisse von acht Versuchspersonen zu sehen. Auf der x-Achse ist eine der beiden Dimensionen, die Luminanz der Testfelder, abgebildet. Auf der y-Achse ist der Wert der perzeptuellen Skalen zu sehen. Die zweite Dimension ist die Platzierung der Felder. Diese befinden sich entweder auf einem schwarzen oder einem weißen Balken. Die beiden Skalen sind dieser jeweiligen Position zu zuordnen. Der vertikale Abstand zwischen den Skalen an einem festen Punkt ist demzufolge der Unterschied in den Helligkeiten der Testfelder, obwohl beide an dieser Stelle die gleiche Luminanz besitzen. Insofern entspricht diese Differenz der Stärke der Illusion.

Den Resultaten ist zu entnehmen, dass das Testfeld auf dem schwarzen Balken, verglichen mit dem Feld auf dem weißen Balken, stets mit der gleichen oder einer höheren Helligkeit wahrgenommen wurde. Die Stärke der Illusion hingegen war bei den Proband\*innen individuell ausgeprägt. Der vertikale Abstand der perzeptuellen Skalen von Versuchsperson 'JV' war beispielsweise größer als bei 'JS'. Dementsprechend gab es einen Unterschied in den Effektstärken beider Testpersonen.



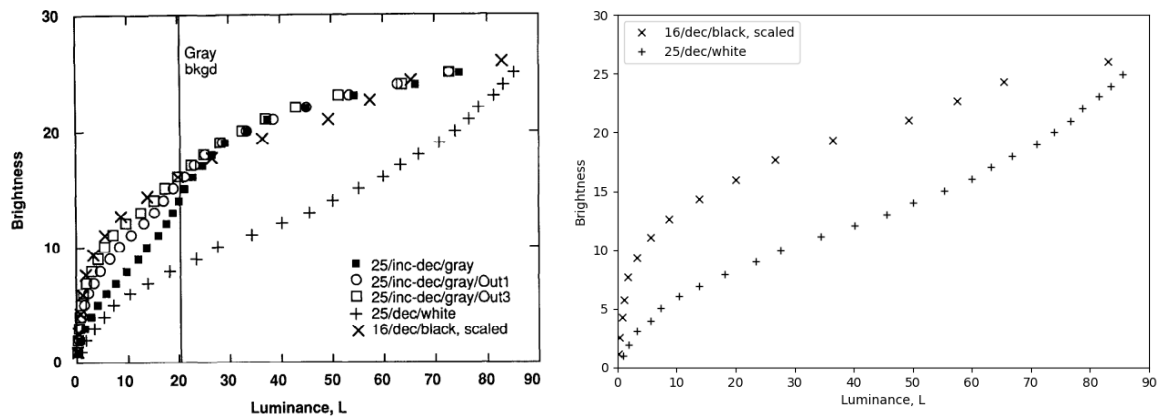
**Abbildung 3** Perzeptuelle Skalen von White's Effekt. Auf der x-Achse ist die Luminanz der Testfelder (Luminance [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ]) abgebildet, auf der y-Achse der Wert der perzeptuellen Skalen (Perceptual scale). Beide Skalen sind der jeweiligen Positionierung der Felder zu zuordnen. Der vertikale Abstand dieser entspricht demzufolge der Stärke der Illusion. Das Testfeld auf dem schwarzen Balken wurde, verglichen mit dem Feld auf dem weißen Balken, stets mit der gleichen oder einer höheren Helligkeit wahrgenommen. Die Effektstärke war individuell ausgeprägt (übernommen von Vincent et al., *in Review*).

## 1.5 Problemstellung

### 1.5.1 Perzeptuelle Skalen des simultanen Helligkeitskontrasts

Der simultane Helligkeitskontrast ist eine der ältesten und bekanntesten Helligkeitsillusionen und somit bereits Bestandteil zahlreicher Studien. Mit Filtermodellen oder Anpassungsexperimenten wurde beispielsweise versucht, den Effekt der Illusion zu erfassen und vorherzusagen (Blakeslee & McCourt, 1999; Li et al., 2009). Diese Methoden umfassen jedoch nur einen kleinen Luminanzbereich. Wie in Abschnitt 1.3 beschrieben, ist dies bei MLCM nicht der Fall. Stattdessen ist es möglich, Illusionen über einen größeren Bereich hin zu analysieren. Dadurch ergibt sich folgende zu untersuchende Fragestellung: *Wie sehen perzeptuelle Skalen für den simultanen Helligkeitskontrast mittels MLCM aus?*

Die Ergebnisse von Whittle (1992) zum Crispning-Effekt könnten Hinweise auf die Form und Eigenschaften der perzeptuellen Skalen des Simultankontrasts geben. In dieser Untersuchung wurden Helligkeitsskalen zu fünf verschiedenen Bedingungen erstellt. Diese sind in Abbildung 4 dargestellt. Auf der linken Seite sind alle ermittelten Skalen zu sehen. Die Skalen "25/dec/white" und "16/dec/black, scaled" wurden extrahiert und sind auf der rechten Seite abgebildet. Sie entsprachen den Voraussetzungen des simultanen Helligkeitskontrasts. Die Versuchspersonen sollten die Helligkeiten von 25 Testfeldern auf einem weißen und von 16 Feldern auf einem schwarzen Hintergrund anpassen. Die Luminanz des ersten und des letzten Feldes waren jeweils vorgegeben. Die restlichen sollten so eingestellt werden, dass sich ihre Helligkeit in gleichmäßigen Intervallen erhöht.



**Abbildung 4** Helligkeitsskalen zum Crispening-Effekt (übernommen von Whittle, 1992). Auf der linken Seite sind alle ermittelten Skalen zu sehen. Die Skalen "16/dec/black, scaled" und "25/dec/white" wurden extrahiert und sind auf der rechten Seite abgebildet. Sie entsprechen den Voraussetzungen des simultanen Helligkeitskontrasts und könnten voraussagen, wie die perzeptuellen Skalen dieser Illusion aussehen. Auf der x-Achse ist die Luminanz der Testfelder (Luminance, L) zu sehen, auf der y-Achse deren wahrgenommene Helligkeit (Brightness). Der vertikale Abstand zwischen beiden Skalen zeigt die Effektstärke.

Auf der x-Achse sieht man die Luminanz der Felder, auf der y-Achse die wahrgenommene Helligkeit. Infolgedessen entspricht der vertikale Abstand zwischen den beiden Skalen ebenfalls der Illusionsstärke. Die Ergebnisse stimmen in einem wesentlichen Aspekt mit den perzeptuellen Skalen von White's Effekt (Abbildung 3) überein. Die Testfelder mit schwarzem Hintergrund wurden stets mit der gleichen oder einer höheren Helligkeit wahrgenommen im Vergleich zu den Feldern mit weißem Hintergrund. Beide Versuche unterscheiden sich jedoch in der Methodik. Während die Skalen zu White's Effekt mittels MLM erstellt wurden, basieren die Resultate von Whittle (1992) auf Anpassungsexperimenten. Die in Abschnitt 1.2 beschriebene Untersuchung von Betz et al. (2015) deutet darauf hin, dass aufgrund von Kontur-Adaptation White's Effekt und Simultankontrast die Ergebnisse gleicher Prozesse sind. Diese Annahme spiegelt sich ebenfalls in den Ergebnissen von Vincent et al. (*in Review*) und Whittle (1992) wieder. Daraus lässt sich folgende Hypothese ableiten: Wenn White's Effekt und simultaner Helligkeitskontrast auf denselben Mechanismen beruhen, dann sollten ihre perzeptuellen Skalen ähnlich sein.

### 1.5.2 Illusionsstärke

Bisherige Studien kamen in Bezug auf die Effektstärke beider Illusionen zu gegensätzlichen Ergebnissen. White (1981) dokumentierte, seine Täuschung sei drei Mal stärker als der simultane Helligkeitskontrast. Auch Anderson (1997) und Gilchrist (2006) befürworteten die Aussage, White's Effekt sei die stärkere Illusion. Letzterer gibt für diese Äußerung jedoch keine Referenz an.

Im Widerspruch dazu stehen die Ergebnisse anderer Publikationen. Blakeslee und McCourt (1999) kamen zu dem Resultat, der Simultankontrast erzeuge eine stärkere Illusion. Die Stimuli wiesen jedoch unterschiedliche Größen auf. Die Untersuchungen von Blakeslee et al. (2005) deuteten ebenfalls auf einen größeren Effekt des simultanen Helligkeitskontrasts hin. Diese Tendenz wurde von Li et al. (2009) bestätigt.

Wie in den Abschnitten 1.1 und 1.2 erläutert, ist die Stärke einer visuellen Illusion von verschiedenen Faktoren abhängig. Die perzeptuellen Skalen für White's Effekt in Abbildung 3 und die Helligkeitsskalen des simultanen Helligkeitskontrasts in Abbildung 4 wurden durch unterschiedliche Methoden erstellt. Daher ist ein Vergleich der Illusionsstärken anhand dieser Ergebnisse nicht qualitativ. Für die Beantwortung der Frage aus Abschnitt 1.5.1 sollen mittels MLM perzeptuelle Skalen für den

---

Simultankontrast erstellt werden. Da die gleiche Methode ebenfalls für White's Effekt angewendet wurde, soll folgende Frage untersucht werden: *Welche der beiden Illusionen hat den stärkeren Effekt?*

Die Theorie der Kontur-Adaptation sagt vorher, dass White's Effekt und simultaner Helligkeitskontrast auf denselben Mechanismen beruhen (Betz et al., 2015). Wenn ausschließlich die orthogonalen Kanten einen Einfluss haben und in der Konsequenz ein Simultankontrast entsteht, dann sollten die jeweiligen Illusionsstärken gleich groß sein.

## 1.6 Ausblick

Visuelle Illusionen bieten die Möglichkeit, Prozesse des menschlichen Gehirns besser zu verstehen. Anhand unterschiedlicher Verfahren können diese Effekte genauer analysiert werden.

In der vorliegenden Arbeit wird die Methode MLCM angewendet, um perzeptuelle Skalen des simultanen Helligkeitskontrasts zu erstellen. Die dabei verwendeten Dimensionen beziehen sich auf die Luminanz der Testfelder sowie den Hintergrund, auf welchem diese positioniert werden. Die ermittelten Skalen stellen dementsprechend den Zusammenhang zwischen der eigentlichen Luminanz der betrachteten Felder und der wahrgenommenen Helligkeit dieser dar. Damit lässt sich ebenfalls die Illusionsstärke des Simultankontrasts untersuchen. Diese wird anschließend hinsichtlich ihrer Ausprägung mit den Ergebnissen zu White's Effekt (Vincent et al., *in Review*) verglichen.

## 2 Methode

Mittels MLCM wurden perzeptuelle Skalen für den simultanen Helligkeitskontrast erstellt. Diese wurden anschließend mit den Ergebnissen zu White's Effekt (Abbildung 3) verglichen und hinsichtlich ihrer Illusionsstärke analysiert.

### 2.1 Versuchspersonen

Um die Effektstärken von simultanem Helligkeitskontrast und White's Effekt qualitativ vergleichen zu können, war es notwendig, die Skalen beider Illusionen für dieselben Versuchspersonen zu erstellen. Diese Bedingung ergab sich aus den individuellen Ergebnissen zu White's Effekt (Abbildung 3).

Das Experiment zum simultanen Helligkeitskontrast wurde von zwei fachkundigen ('LYS', 'GA') und drei naiven Proband\*innen durchgeführt. Zwei Versuchspersonen wurden für die Teilnahme finanziell vergütet. Die Testpersonen 'GA', 'JV', 'JS' und 'SZ' waren bereits am Versuch zu White's Effekt beteiligt. Die Ergebnisse für diese Illusion wurden für den Vergleich der Effektstärken dementsprechend von Vincent et al. (*in Review*) übernommen. Darüber hinaus wurde das Experiment von einer weiteren Versuchsperson ('LYS', Autorin) durchgeführt. In diesem Fall wurden zusätzlich perzeptuelle Skalen für White's Effekt mittels MLCM erstellt.

### 2.2 Stimuli

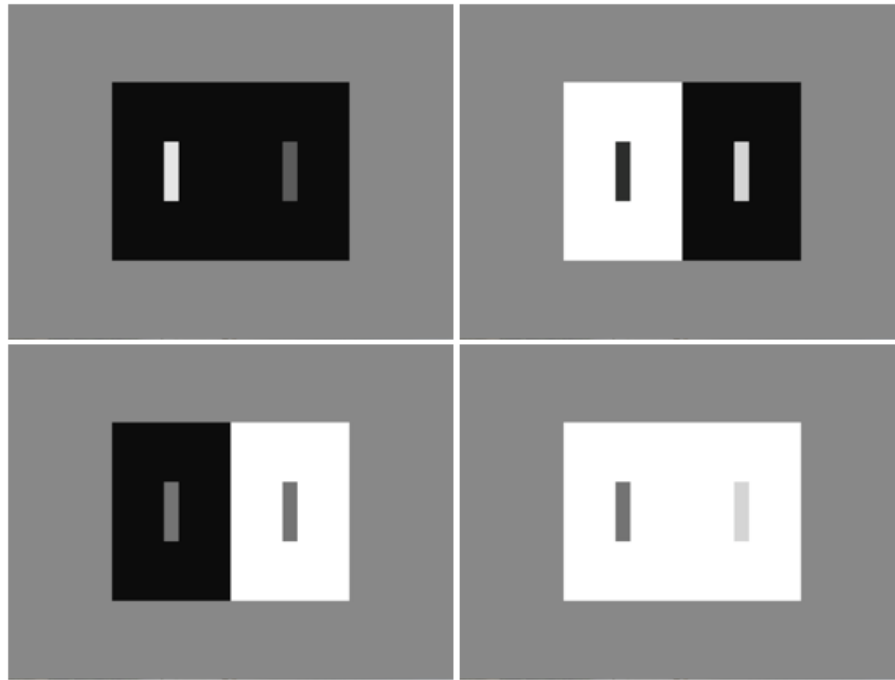
Wie in Kapitel 1 beschrieben, können Faktoren wie Größe und Frequenz einen Einfluss auf die Effektstärke haben. Insofern war es erforderlich, beide Illusionen mit denselben Werten dieser Kriterien darzustellen. Diese wurden entsprechend von Vincent et al. (*in Review*) übernommen. Demzufolge sind mögliche Unterschiede der Effektstärken nicht auf den Kontext der Illusionen zurückzuführen.

Die Stimuli sind mit Hilfe der Python-Bibliothek 'stimupy' erstellt worden (Schmittwilken et al., 2023). Ein Reiz bestand dabei aus zwei Eigenschaften. Diese entsprachen den physischen Dimensionen, welche mittels MLCM untersucht wurden. Der Hintergrund, auf welchem das Testfeld platziert wurde, war entweder schwarz oder weiß. Die Luminanz des Feldes nahm einen der folgenden Werte an: 5, 18, 36, 67, 133, 198, 264, 326, 390, 457 cd/m<sup>2</sup>. Aus zwei Positionierungen und zehn unterschiedlichen Luminanzen entstanden 20 mögliche Reize. Diese wurden zu Paaren kombiniert und bildeten somit einen simultanen Helligkeitskontrast. Es ergab sich eine Gesamtanzahl von 190 verschiedenen Versionen dieser Illusion, welche wie folgt berechnet wurde:

$$\frac{20 \cdot (20 - 1)}{2} = 190 \quad (1)$$

Da jede mögliche Verknüpfung betrachtet wurde, kam es vor, dass einige Reizpaare einen einheitlichen Hintergrund hatten. Die Luminanzwerte der Testfelder waren jedoch bei jeder Kombination unterschiedlich. Beispiele für verschiedene Reizpaare sind in Abbildung 5 zu sehen.

Ein Stimulus besaß einen Gesamtumfang von 12 x 16 Grad (Höhe x Breite). Die Testfelder befanden sich zentral in der jeweiligen Hälfte eines Reizes mit einer Größe von 4 x 1 Grad. Die Luminanz des Hintergrundes, auf welchem die Stimuli präsentiert wurden, betrug konstant 100 cd/m<sup>2</sup>.



**Abbildung 5** Beispiele für Stimuli. Ein Reiz setzte sich aus zwei Dimensionen zusammen. Der Hintergrund war entweder schwarz oder weiß. Das Testfeld nahm einen von zehn Luminanzwerten an. Die Stimuli wurden anschließend zu Paaren kombiniert. Dadurch ergaben sich 190 verschiedene Versionen des simultanen Helligkeitskontrasts. Die Abbildung zeigt davon vier Beispiele.

### 2.3 Versuchsaufbau

Das Experiment wurde in einem abgedunkelten Raum durchgeführt. Der Bildschirm, auf welchem die Stimuli gezeigt wurden, war ein 21-inch Siemens SMM2106 LS grayscale Monitor. Dieser besaß eine räumliche Auflösung von 1024x768 Pixel (400x300 mm) und eine Luminanz-Tiefenauflösung von 16 Bit. Die Aktualisierungsrate betrug 130 Hz. Die Versuchspersonen saßen 76 cm vom Bildschirm entfernt. Das entsprach einem Pixel-Per-Degree-Wert von 34. Der Abstand wurde mittels einer Kinnstütze konstant gehalten. Für die Präsentation der Stimuli wurde ein Datapixx-Apparat von VPixx Technologies Inc. sowie die Python-Bibliothek 'HRL' (<https://github.com/computational-psychology/hrl>) verwendet. Die Eingabe der Antworten erfolgte über eine ResponsePixx Button-Box, welche ebenfalls von VPixx Technologies Inc. war.

### 2.4 Versuchsablauf

Das Experiment wurde in 15 Blöcke aufgeteilt. Diese wurden in drei Sitzungen durchgeführt, welche an mindestens zwei unterschiedlichen Tagen stattfanden. Jeder Block beinhaltete die vollständigen 190 unterschiedlichen Reizpaare. Diese wurden in einer beliebigen Reihenfolge präsentiert. Die Position des Reizes auf der linken oder rechten Seite eines Stimuluspaares wurde ebenfalls zufällig gewählt. Für 15 Blöcke ergab sich demzufolge eine Gesamtanzahl von 2850 Stimuli.

Jeder Durchgang beinhaltete einen Stimulus. Die Versuchspersonen entschieden jeweils, welcher der beiden Testbalken heller erscheint. Für die Antwort wurde der für das jeweilige Testfeld zuständige Button gedrückt. Nach jedem halben sowie vollen Block konnte, wenn nötig, eine Pause gemacht werden. Jeder Block dauerte im Durchschnitt ungefähr vier Minuten.



## 2.5 Berechnung perzeptueller Skalen mittels MLCM

Für die Analyse der Daten unterscheidet MLCM zwischen drei verschiedenen Modellen. Das erste Modell ist das Independent-Modell und bedeutet, dass sich nur eine der untersuchten Dimensionen auf die Wahrnehmung des Beobachters auswirkt. Beim Additive-Modell, dem zweiten Modell, haben beide Dimensionen einen Einfluss. Die Summe dieser führt zur Entscheidungsfindung der Versuchsperson (Knoblauch & Maloney, 2012). Für dieses Modell werden zunächst alle Parameter der ersten Skala berechnet. Die zweite Skala ergibt sich anschließend aus den bereits ermittelten Punkten der ersten, auf welche eine festgelegte Konstante addiert wird. Resultierend daraus ist der vertikale Abstand beider Skalen durchgehend konstant. Das dritte Modell wird als Saturated-Modell bezeichnet und bezieht jede mögliche Kombination der Stimuli mit ein. Die gegenseitige Beeinflussung der Dimensionen ist allerdings komplexer. Da alle Szenarien berücksichtigt werden, wird für dieses Modell dementsprechend jeder Parameter individuell berechnet (Aguilar & Maertens, 2020).

Mit Hilfe eines Signifikanztests wurde ermittelt, welches Modell für die Daten geeignet war (Knoblauch & Maloney, 2012). Dieser ergab für den simultanen Helligkeitskontrast bei allen Versuchspersonen das Saturated-Modell.

Die Entscheidungsvariable  $\delta$  lässt sich für dieses Modell wie folgt berechnen:

$$\delta = \varphi_{c_2}(s_2) - \varphi_{c_1}(s_1) + \varepsilon \quad (2)$$

$\varphi$  steht dabei für den jeweiligen Reiz. Dieser wird durch die Positionierung des Testfeldes ( $c_1$ ,  $c_2$ ) und dessen Luminanz ( $s_1$ ,  $s_2$ ) charakterisiert.  $\varepsilon$  ist eine Gauß'sche Zufallsvariable mit einem Mittelwert von null und der Varianz  $\sigma^2$  ( $\varepsilon \sim \mathcal{N}(0, \sigma^2)$ ). Diese erfasst mögliche Unregelmäßigkeiten in den Antworten der Versuchspersonen. Ist  $\delta > 0$ , entschied sich die Testperson für den zweiten Stimulus ( $\varphi_{c_2}(s_2)$ ) als helleren Reiz (Knoblauch & Maloney, 2012; Vincent et al., *in Review*).

Um die ermittelten Daten zu analysieren, wurden MLCM-Pakete für die Programmiersprache R verwendet (Knoblauch et al., 2022; R Core Team, 2021). Die Parameter der perzeptuellen Skalen wurden mit Hilfe eines binomialen generalisierten linearen Modells (GLM) berechnet. Durch Bootstrapping-Verfahren wurden die Konfidenzintervalle bestimmt sowie die Anpassungsgüte des Modells (Goodness-of-Fit) bewertet (Aguilar & Maertens, 2022). Dazu wurden aus den bereits geschätzten Werten für jeden Versuch neue Antworten generiert. Daraufhin erfolgte eine Anpassung der Skalen mit den simulierten Antworten. Für jeden Bootstrapp-Datensatz wurden danach die Residuen berechnet. Die aus dem Experiment ermittelten Residuen wurden anschließend mit der Verteilung der simulierten Residuen verglichen. Lag die experimentell ermittelte Verteilung der Residuen innerhalb der simulierten Verteilung, war die Annahme des Modells korrekt (Aguilar & Maertens, 2020, 2022; Knoblauch & Maloney, 2012).

Standardmäßig sind perzeptuelle Skalen von MLCM für einen bestimmten Stimulus bei null verankert. Für das durchgeführte Experiment zum simultanen Helligkeitskontrast wurde dafür der Reiz mit dem geringsten Luminanzwert und der Positionierung ‚weiß‘ festgelegt. Des Weiteren gaben die von MLCM berechneten Maximalwerte das geschätzte Rauschen der Versuchsperson wieder. Ein hoher Wert deutete dabei auf geringes Rauschen hin. Da in diesem Zusammenhang individuelle Abweichungen auftraten, wurden die Maximalwerte normalisiert. Dies ermöglichte einen Vergleich der Skalen. Jeder Parameter wurde dafür durch den Maximalwert der jeweiligen Testperson geteilt. Der größtmögliche Skalenwert ergab dementsprechend 1. Durch die Normalisierung hatten die Werte folglich keine Einheit (Vincent et al., *in Review*).

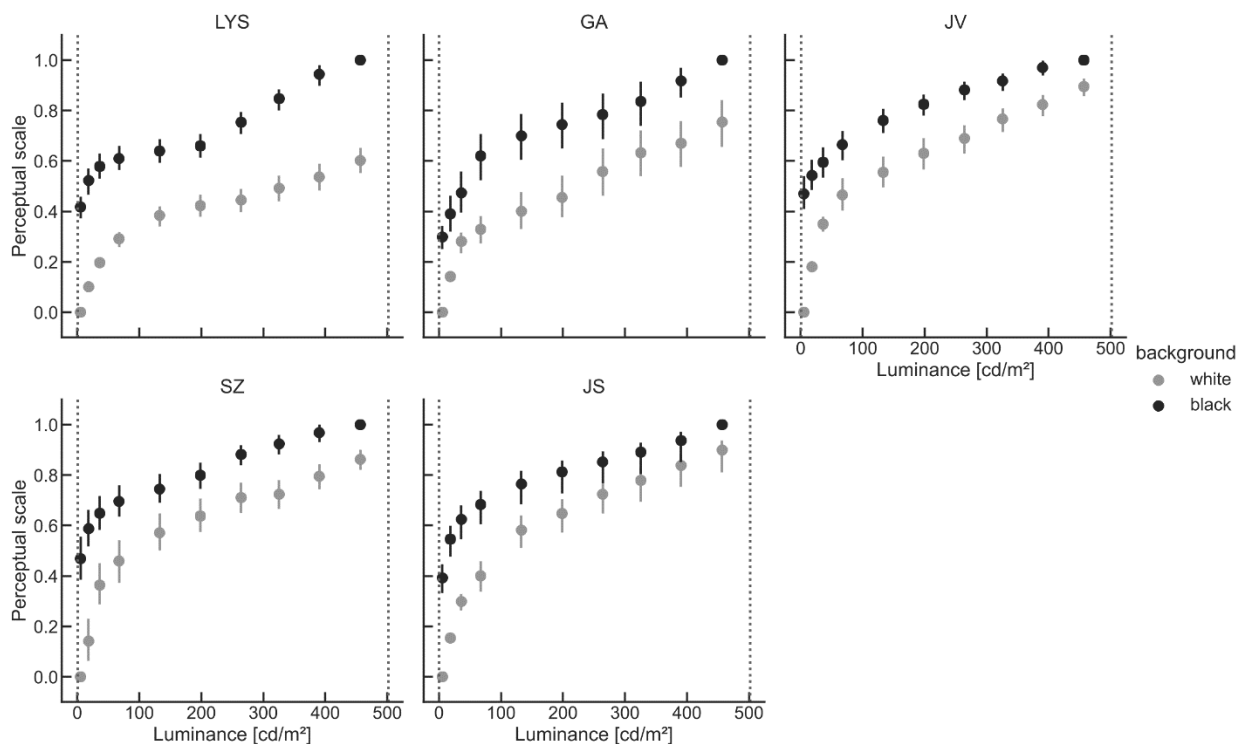


## 3 Ergebnisse

### 3.1 Perzeptuelle Skalen des simultanen Helligkeitskontrasts

Abbildung 6 zeigt die mittels MLCM erstellten perzeptuellen Skalen der fünf getesteten Proband\*innen für den simultanen Helligkeitskontrast.

In der oberen Reihe sind die Ergebnisse der beiden fachkundigen Testpersonen 'LYS' und 'GA' zu sehen. Die restlichen Skalen gehören zu den drei naiven Versuchspersonen. Auf der x-Achse sind die tatsächlichen Luminanzwerte der Testfelder in  $\text{cd/m}^2$  abgebildet. Der jeweilige Wert der perzeptuellen Skalen ist auf der y-Achse dargestellt. Dieser hat aufgrund der in Abschnitt 2.5 beschriebenen Normalisierung der Daten keine Einheit. Die gestrichelten Linien kennzeichnen die Luminanz des weißen beziehungsweise schwarzen Hintergrundes der Testfelder. Die hellgrauen und dunkelgrauen Skalen sind dieser entsprechenden Position zu zuordnen. Der vertikale Abstand der perzeptuellen Skalen zeigt demzufolge an, wie stark die Illusion bei einer einheitlichen Testfeldluminanz für die jeweilige Versuchsperson ist.



**Abbildung 6** Ergebnisse simultaner Helligkeitskontrast. Die x-Achse zeigt die Luminanz der Testfelder (Luminance [ $\text{cd/m}^2$ ]). Auf der y-Achse ist der Wert der perzeptuellen Skalen dargestellt (Perceptual scale). Die Skalen entsprechen der jeweiligen Position der Felder auf einem schwarzen beziehungsweise weißen Hintergrund. Am vertikalen Abstand beider Skalen lässt sich dementsprechend die Stärke der Illusion erkennen. Das Testfeld mit schwarzem Hintergrund, im Vergleich zu dem Feld mit weißem Hintergrund, wurde stets mit einer gleich großen oder höheren Helligkeit wahrgenommen. Die Effektstärke wies individuelle Unterschiede auf.

Die Skalen waren nicht linear und monoton wachsend. Die Position der Felder führte jedoch zu Unterschieden. Das Testfeld mit einem schwarzen Hintergrund wurde zu jedem berechneten Punkt mit einer gleich großen oder höheren Helligkeit wahrgenommen, verglichen mit dem Feld, welches auf einem weißen Hintergrund positioniert wurde. Diese Charakteristik der perzeptuellen Skalen stimmte

dementsprechend mit der Richtung der Illusion überein und war ein einheitliches Merkmal aller Versuchspersonen.

Die Effektstärke der Illusion wies einige Unterschiede auf. Zum einen variierte die Ausprägung dieser über den gesamten Verlauf der Skalen. Sie war dementsprechend für jeden getesteten Luminanzwert verschieden. Auch das traf für alle Proband\*innen zu. Zum anderen war die Illusionsstärke der Testpersonen grundsätzlich individuell ausgeprägt. Ein stärkerer Effekt wurde beispielsweise bei Versuchsperson 'GA' gemessen, während Testperson 'JS' eine vergleichsweise geringe Illusionsstärke aufwies. Bei allen Versuchspersonen konnte jedoch beobachtet werden, dass insbesondere im kleinen Luminanzbereich die Illusion einen stärkeren Effekt erzielte.

### 3.2 Vergleich der Illusionsstärken von simultanem Helligkeitskontrast und White's Effekt

Für den Vergleich der Effektstärken von simultanem Helligkeitskontrast und White's Effekt anhand ihrer perzeptuellen Skalen wurden die Ergebnisse beider Illusionen zunächst nebeneinander abgebildet. Diese Darstellung ist in Abbildung 7 zu sehen.

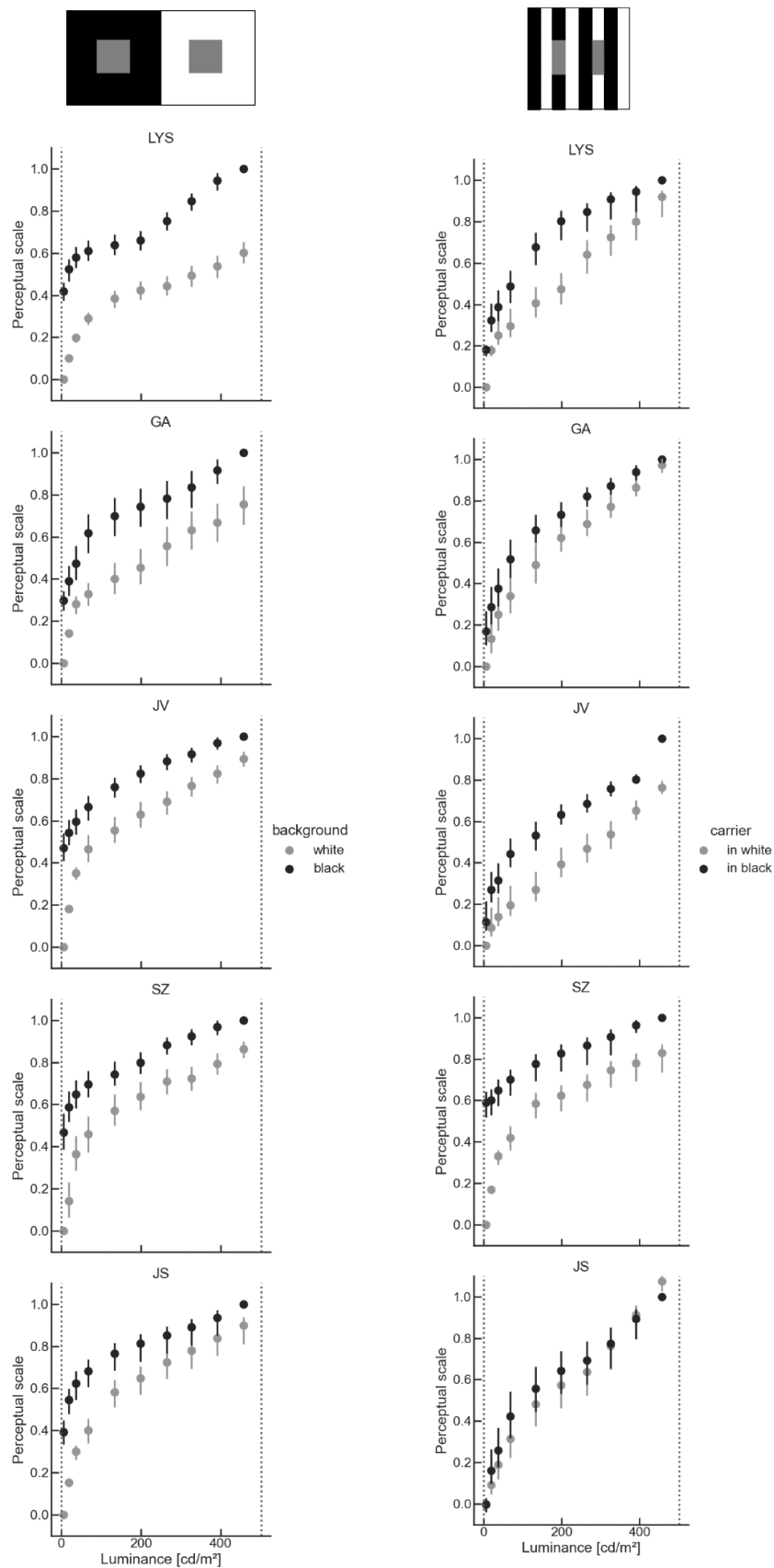
Die linke Seite zeigt horizontal untereinander die Resultate aller Testpersonen des durchgeführten Experiments zum Simultankontrast. Auf der rechten Seite sind die Skalen für White's Effekt dargestellt. In diesem Fall waren nur die Proband\*innen von Bedeutung, welche an beiden Experimenten teilgenommen haben. Die Ergebnisse der Versuchspersonen 'GA', 'JV', 'SZ' und 'JS' wurden dementsprechend von Vincent et al. (*in Review*) übernommen. Um einen für den Vergleich geeigneten Überblick zu erhalten, wurden die Resultate so angeordnet, dass die Skalen beider Illusionen für die entsprechende Testperson nebeneinander auf gleicher Höhe abgebildet wurden.

Die Ergebnisse der Proband\*innen 'LYS', 'GA' und 'JS' zeigten überwiegend einen größeren Effekt des simultanen Helligkeitskontrasts. Im Unterschied dazu schien der vertikale Abstand der jeweiligen perzeptuellen Skalen der Versuchsperson 'SZ' nahezu gleich. Dementsprechend gab es in diesem Fall nur minimale Abweichungen in den Stärken beider Illusionen. Eine ähnliche Beobachtung ließ sich bei Testperson 'JV' feststellen.

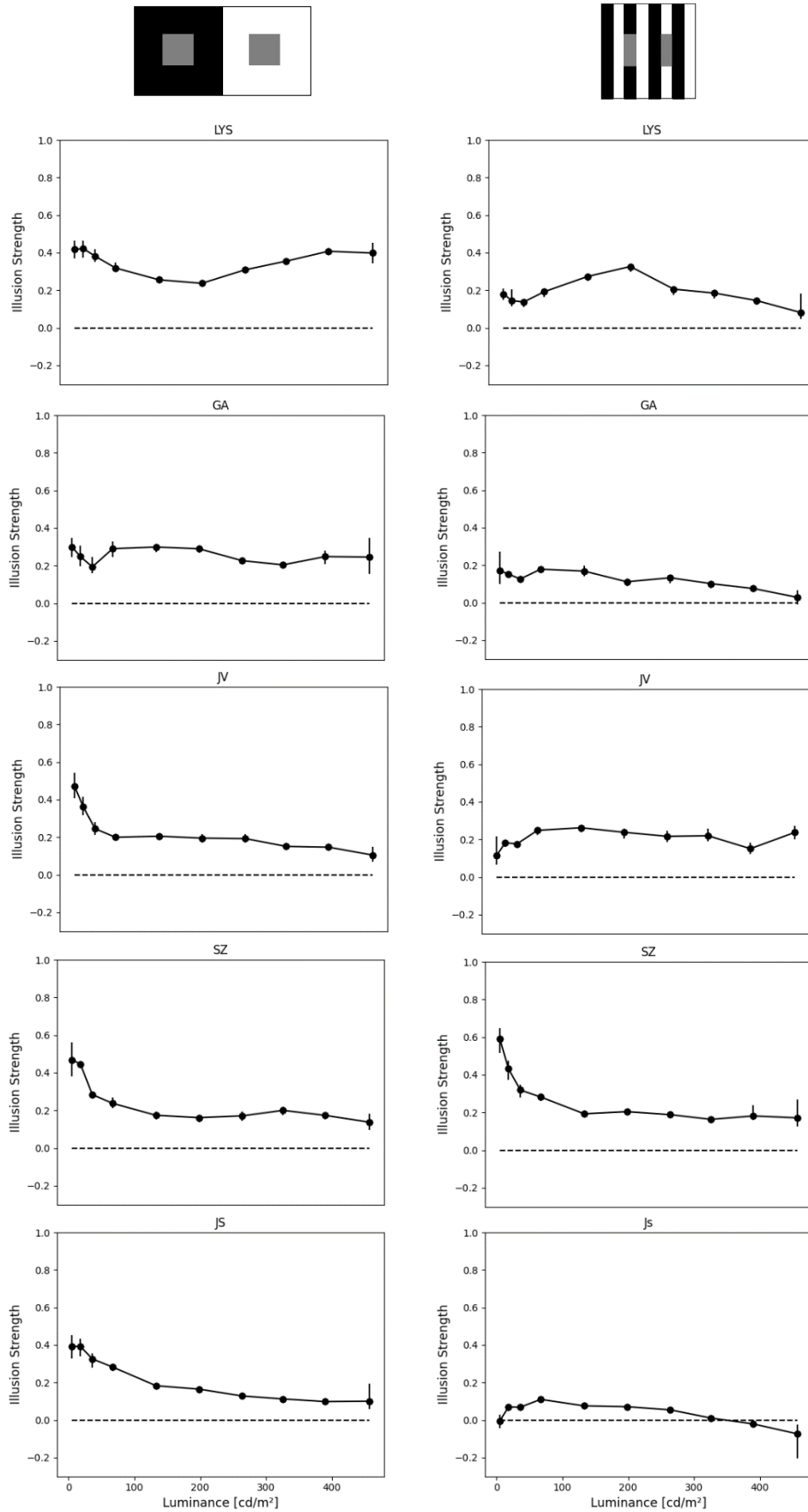
Bei White's Effekt waren die Skalen des Testfeldes auf dem weißen Balken für einige Proband\*innen S-förmig, wie bei den Testpersonen 'LYS', 'JV' und 'JS' zu sehen war. Demzufolge verringerte sich die Illusionsstärke am Anfang und am Ende des untersuchten Luminanzbereiches, während in der Mitte einen Anstieg zu erkennen war. Diese Beobachtung ließ sich nicht für den simultanen Helligkeitskontrast feststellen. Im Gegensatz zu den Ergebnissen von White's Effekt war die Stärke dieser Illusion besonders im kleinen Luminanzbereich deutlicher ausgeprägt und schien dann, wie etwa bei den Versuchspersonen 'JV' und 'JS' zu sehen, abzufachen.

Um den Vergleich zu quantifizieren, wurden für die Ergebnisse von White's Effekt und simultanem Helligkeitskontrast zunächst die Illusionsstärken bestimmt. Dafür wurde der vertikale Abstand der jeweiligen perzeptuellen Skalen für jeden getesteten Luminanzwert ermittelt. Für die Berechnung wurden nicht nur die Skalenwerte, sondern auch die jeweiligen Konfidenzintervalle mit einbezogen. Die Verläufe der Effektstärken für die einzelnen Versuchspersonen sind in Abbildung 8 dargestellt. Nachfolgend wurde die jeweilige Differenz der Illusionsstärken von White's Effekt und Simultankontrast für alle Proband\*innen berechnet, ebenfalls mit Konfidenzintervallen, und anschließend grafisch veranschaulicht (Abbildung 9). Die ermittelten Werte für die Illusionsstärken von White's Effekt (Tabelle 1) und Simultankontrast (Tabelle 2) sowie für deren Differenz (Tabelle 3) sind im Anhang zu finden.

Abbildung 8 zeigt die Verläufe der Illusionsstärken von Simultankontrast (linke Seite) und White's Effekt (rechte Seite). Auf der x-Achse ist die jeweilige Testfeldluminanz in  $\text{cd/m}^2$  dargestellt, auf der y-Achse die berechnete Effektstärke. Die gestrichelte Linie liegt bei null und dient als Referenz.



**Abbildung 7** Vergleich der perzeptuellen Skalen von simultanem Helligkeitskontrast und White's Effekt. Auf der linken Seite sind die Ergebnisse des durchgeführten Experiments zum Simultankontrast zu sehen. Die rechte Seite zeigt die perzeptuellen Skalen für White's Effekt ('GA', 'JV', 'SZ' und 'JS' übernommen von Vincent et al., *in Review*).



**Abbildung 8** Verlauf der Illusionsstärken von simultanem Helligkeitskontrast und White's Effekt. Auf der linken Seite ist der Verlauf der Effektstärke des Simultankontrasts zu sehen. Die rechte Seite zeigt die Illusionsstärke von White's Effekt.

Es ist zu erkennen, dass die Proband\*innen 'LYS', 'JV', 'SZ' und 'JS' für den simultanen Helligkeitskontrast eine hohe Effektstärke im kleineren Luminanzbereich aufwiesen, welche im weiteren Verlauf abflachte. Bei Versuchsperson 'LYS' stieg die Illusionsstärke im letzten Abschnitt wieder an. Demgegenüber zeigte Testperson 'GA' einen vergleichsweise konstanten Verlauf.

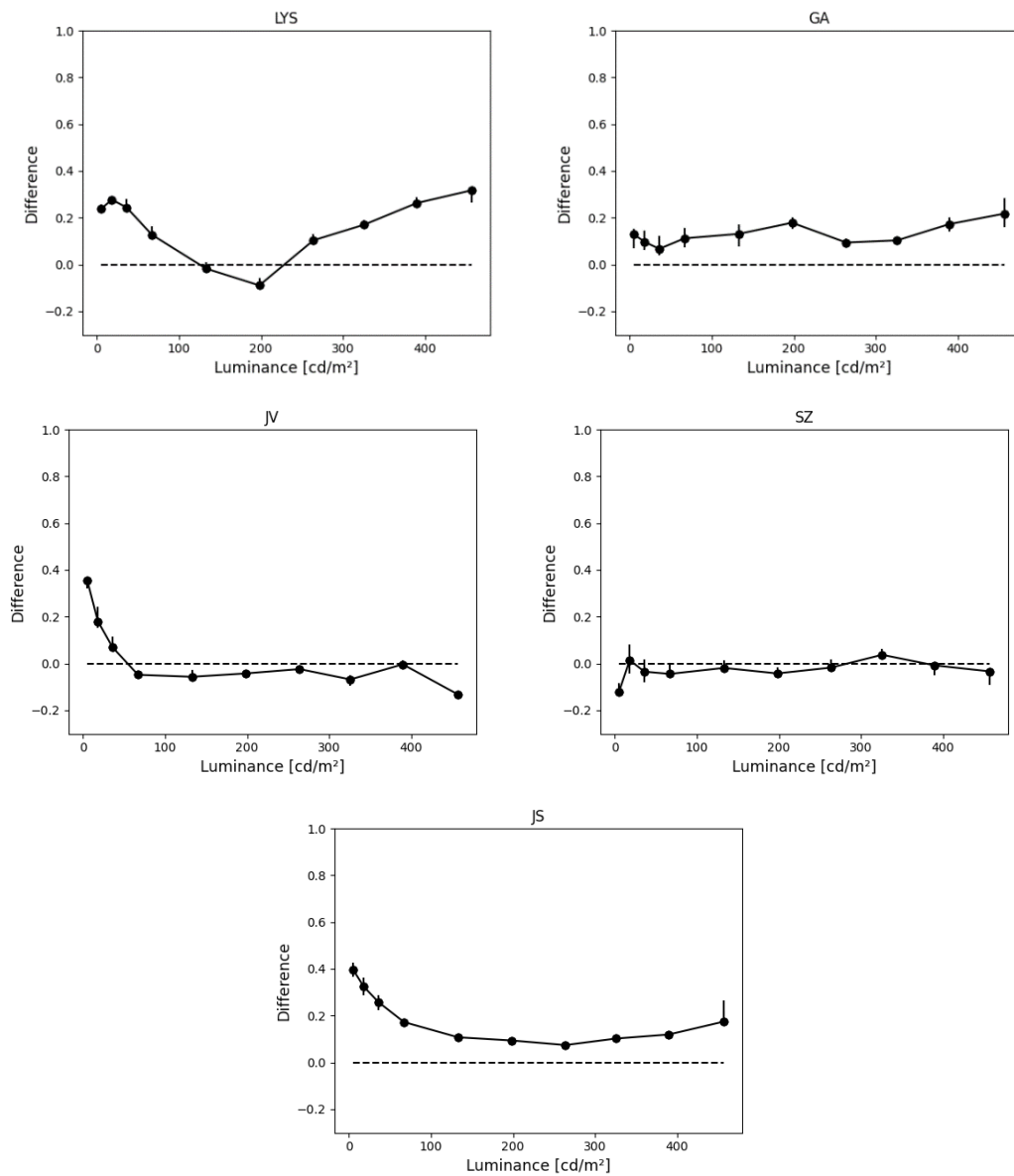
Des Weiteren sind in Abbildung 8 die Auswirkungen der bereits beschriebenen S-Form der Skalen von White's Effekt zu erkennen. Die Proband\*innen 'LYS', 'JS' und 'JV', welche diese Charakteristik zeigten, wiesen bei dieser Illusion eine größere Effektstärke im mittleren Luminanzbereich auf. Im Gegensatz dazu nahm die Illusionsstärke von White's Effekt bei Versuchsperson 'GA' über den gesamten Bereich leicht ab. Bei Testperson 'SZ' konnte indessen festgestellt werden, dass die Effektstärken beider Illusionen einen ähnlichen Verlauf annahmen. Sowohl bei White's Effekt als auch beim simultanen Helligkeitskontrast war die Illusionsstärke zunächst sehr deutlich ausgeprägt. Im Folgenden war ein starker Abfall zu erkennen. Die weitere Entwicklung verlief anschließend relativ konstant.

Grundsätzlich kann gesagt werden, dass die Effektstärken individuelle Verläufe zeigten und auch bei der Gegenüberstellung beider Illusionen Unterschiede aufwiesen.

Um die Ausprägungen der Stärke von White's Effekt und Simultankontrast zu vergleichen, wurden, wie bereits beschrieben, die Differenzen für alle getesteten Proband\*innen gebildet. Diese sind in Abbildung 9 aufgezeigt. Auf der x-Achse ist die Luminanz der Testfelder in  $\text{cd/m}^2$  dargestellt. Die y-Achse zeigt den Wert der Differenz zwischen den Effektstärken. Für die Berechnung wurde die jeweilige Illusionsstärke von White's Effekt von dem dazugehörigen Wert des simultanen Helligkeitskontrasts subtrahiert. Infolgedessen stellt eine positive Differenz einen stärkeren Effekt des Simultankontrasts dar. Ein negativer Wert bedeutet demnach eine größere Illusionsstärke von White's Effekt. Die gestrichelte Linie stellt erneut eine Referenz dar. Sie liegt bei null und zeigt damit an, wenn die Effektstärken beider Illusionen gleich groß sind.

In Abbildung 9 ist zu erkennen, dass die Testpersonen 'JV' und 'SZ' überwiegend eine geringere Differenz im Vergleich zu den übrigen Proband\*innen aufwiesen. Dies entspricht den Beobachtungen, welche bereits anhand von Abbildung 7 gemacht wurden. Weiterhin zeigten die Versuchspersonen 'LYS' und 'JS' im kleineren Luminanzbereich eine große Differenz in positive Richtung. Diese fiel im Folgenden ab. Im letzten Abschnitt war erneut eine steigende Tendenz zu erkennen. Diese Entwicklung ließ sich auch bei Testperson 'JV' beobachten. Im höheren Luminanzbereich nahm die Differenz jedoch in negative Richtung zu. Die Graphen der Versuchspersonen 'GA' und 'SZ' stellten einen verhältnismäßig konstanten Verlauf dar. 'SZ' zeigte dabei, wie bereits anhand von Abbildung 7 festgestellt wurde, eine geringe Differenz zwischen den Effektstärken. Außerdem war ein leichter Wechsel zwischen positivem und negativem Bereich zu verzeichnen. Die Werte von 'GA' waren im Gegensatz dazu gänzlich positiv und stiegen zum Ende geringfügig an.

Grundsätzlich ließ sich feststellen, dass zwei Testpersonen ('GA', 'JS') durchweg eine positive Differenz zeigten. Dementsprechend wies bei diesen Versuchspersonen stets der simultane Helligkeitskontrast einen stärkeren Effekt auf. Die übrigen drei Proband\*innen zeigten ebenfalls negative Werte und damit eine größere Illusionsstärke von White's Effekt. Diese fielen jedoch im Vergleich zum positiven Bereich verhältnismäßig gering aus.



**Abbildung 9** Differenz der Illusionsstärken. Für jede untersuchte Testfeldluminanz wurde bei allen Versuchspersonen die Effektstärke ermittelt und anschließend die Differenz dieser zwischen beiden Illusionen gebildet. Die x-Achse stellt die Luminanz der Testfelder (Luminance [cd/m<sup>2</sup>]) dar. Auf der y-Achse ist der Differenzwert (Difference) zu sehen. Eine positive Differenz bedeutet einen stärkeren Effekt des simultanen Helligkeitskontrasts, während negative Werte eine größere Illusionsstärke von White's Effekt zeigen.



## 4 Diskussion

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit perzeptuellen Skalen des simultanen Helligkeitskontrasts. Wie diese aussehen und wie sich die Stärke der Illusion im Vergleich zu White's Effekt verhält, sind dabei zentrale Bestandteile. Die Skalen wurden mittels MLCM erstellt. Mit dieser Methode ist es möglich, Helligkeitsillusionen innerhalb eines größeren Luminanzbereichs zu analysieren. Die zu untersuchenden Dimensionen bezogen sich auf die Luminanz der Testfelder sowie den Hintergrund, auf welchem diese positioniert wurden. Die Ergebnisse zeigten, dass das Testfeld auf dem schwarzen Hintergrund bei allen Proband\*innen stets mit der gleichen oder einer höheren Helligkeit wahrgenommen wurde, verglichen zum Feld mit weißem Hintergrund (Abbildung 6). Des Weiteren ließ sich feststellen, dass White's Effekt und simultaner Helligkeitskontrast unterschiedlich ausgeprägte Verläufe ihrer Illusionsstärken zeigten (Abbildung 8). Mehrheitlich wurde eine größere Effektstärke des Simultankontrasts nachgewiesen. Demgegenüber zeigte White's Effekt ebenfalls vereinzelt eine stärkere Ausprägung. Diese war jedoch verhältnismäßig gering (Abbildung 9).

### 4.1 Perzeptuelle Skalen des simultanen Helligkeitskontrast und Vergleich der Illusionsstärke mit White's Effekt

Für die perzeptuellen Skalen des simultanen Helligkeitskontrasts wurde aus der Theorie der Kontur-Adaptation (Betz et al., 2015) abgeleitet, dass die perzeptuellen Skalen ähnlich zu White's Effekt (Abschnitt 1.5.1) und die Stärken beider Illusionen gleich groß (Abschnitt 1.5.2) sein sollten. Die Ergebnisse zeigten diesbezüglich sowohl Übereinstimmungen als auch Unterschiede.

Bei White's Effekt sowie beim simultanen Helligkeitskontrast wurde das Testfeld auf dem schwarzen Balken/Hintergrund stets mit der gleichen oder einer höheren Helligkeit wahrgenommen, verglichen mit dem Feld auf dem weißen Balken/Hintergrund. Eine derartige Beobachtung war für die perzeptuellen Skalen des Simultankontrasts zu erwarten. Sie entsprach der Richtung der Illusion, welche durch den Prozess der lateralen Hemmung vorhergesagt werden kann (Economou et al., 2007).

Die Skalen waren zwar für beide Illusionen nicht linear und monoton wachsend. Jedoch wies die Form im Detail Unterschiede auf. Die Ergebnisse von White's Effekt zeigten bei einigen Versuchspersonen eine S-Form der perzeptuellen Skalen für das Testfeld auf dem weißen Balken. Für den simultanen Helligkeitskontrast konnte diese Charakteristik nicht festgestellt werden. Die S-Form bei White's Effekt führte zu einem Anstieg der Illusionsstärke im mittleren Luminanzbereich. Im Gegensatz dazu wies der Simultankontrast für die meisten Proband\*innen im kleinen Luminanzbereich eine höhere Effektstärke auf.

Aufgrund der individuell ausgeprägten Illusionsstärken sollten die Ergebnisse in Bezug auf beide Hypothesen je nach Versuchsperson betrachtet werden. Die Proband\*innen 'LYS', 'GA' und 'JS' zeigten überwiegend einen stärkeren Effekt des simultanen Helligkeitskontrasts. Diese Ergebnisse stimmen mit den Beobachtungen von Blakeslee und McCourt (1999), Blakeslee et al. (2005) und Li et al. (2009) überein, welche ebenfalls den Simultankontrast als stärkere Illusion einordneten. Versuchsperson 'JV' wies demgegenüber nur im kleineren Luminanzbereich eine größere Illusionsstärke des simultanen Helligkeitskontrasts auf. Größtenteils zeigte White's Effekt eine stärkere Ausprägung. Diese fiel jedoch weitgehend sehr gering aus. Nahezu keine Unterschiede in den Illusionsstärken waren bei Testperson 'SZ' zu beobachten. Hier ließ sich keine Aussage dazu treffen, welche der beiden Illusionen einen stärkeren Effekt zeigte. Infolgedessen konnte für keine der getesteten Versuchspersonen eine Übereinstimmung mit den Resultaten von White (1981) festgestellt werden. Diese besagten, White's Effekt sei, verglichen mit dem Simultankontrast, dreimal stärker.

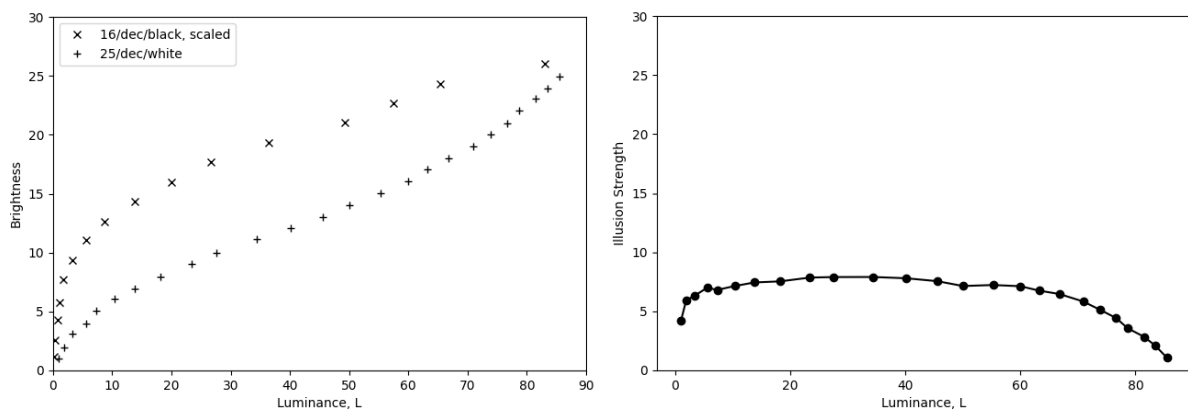
Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Testpersonen 'JV' und 'SZ' als Beleg für beide Hypothesen angesehen werden können. Die Effektstärken beider Illusionen wiesen hier über den Großteil des untersuchten Luminanzbereichs nur minimale Unterschiede auf. Die Proband\*innen 'LYS',

'GA' und 'JS' stehen jedoch im Widerspruch dazu. Sie zeigten hauptsächlich einen größeren Effekt des simultanen Helligkeitskontrasts.

## 4.2 Vergleich mit Whittle (1992)

In Abschnitt 1.5.1 wurde die Untersuchung von Whittle (1992) zum Crispeneffekt hinzugezogen. Zwei der bei diesem Experiment erstellten Helligkeitsskalen entsprachen den Bedingungen des Simultankontrasts. Diese konnten demnach als mögliche Vorhersage für die perzeptuellen Skalen dieser Illusion angesehen werden (Abbildung 4). Sowohl die Ergebnisse von Whittle (1992), als auch die mittels MLCM erstellten Skalen zeigten, dass das Testfeld mit schwarzem Hintergrund/"16/dec/black, scaled" stets mit der gleichen oder einer höheren Helligkeit wahrgenommen wurde, verglichen mit dem Feld mit weißem Hintergrund/"25/dec/white". Die Form der Skalen sowie die Illusionsstärken wiesen jedoch Unterschiede auf. Die Helligkeitsskala von Whittle (1992) für den weißen Hintergrund ("25/dec/white") war S-förmig. Diese Charakteristik wurde ebenfalls bei White's Effekt festgestellt, aber nicht für die perzeptuellen Skalen des simultanen Helligkeitskontrasts.

Für den Vergleich der Illusionsstärken beider Ergebnisse wurde die Skala "16/dec/black, scaled" entsprechend interpoliert und anhand dessen der Abstand zwischen beiden Helligkeitsskalen für jeden Luminanzwert berechnet. Der Verlauf dieser sowie die extrahierten Helligkeitsskalen sind in Abbildung 10 zu sehen. Die Illusionsstärke von Whittle (1992) wurde im mittleren Bereich der untersuchten Luminanzen maximal und war dort verhältnismäßig konstant, während sie im ersten und im letzten Teil abflachte. Dies war aufgrund der bereits festgestellten S-Form zu erwarten. Dementsprechend gab es nur wenige Übereinstimmungen mit der Stärke des Simultankontrasts. Für Versuchsperson 'GA' sind im mittleren Abschnitt Ähnlichkeiten im Verlauf zu erkennen. Allerdings wiesen die übrigen Proband\*innen keine Parallelen auf. Diese sind jedoch in den Ergebnissen zu White's Effekt (Vincent et al., *in Review*) zu erkennen. Die bereits erwähnte S-Form führte bei beiden Untersuchungen zu vergleichbaren Entwicklungen der Illusionsstärke. Diese sind beispielsweise bei den Testpersonen 'LYS', 'JV' und 'JS' zu sehen.



**Abbildung 10** Illusionsstärke von Whittle (1992). Die Helligkeitsskalen "16/dec/black, scaled" und "25/dec/white" wurden extrahiert (linke Seite) und der Verlauf der Illusionsstärken zwischen beiden berechnet (rechte Seite). Die x-Achse gibt die Testfeldluminanz (Luminance, L) an. Auf der y-Achse ist die Effektstärke (Illusion Strength) zu sehen. Diese wird im mittleren Luminanzbereich maximal, während sie im ersten und letzten Teil abflacht.

Die verschiedenen Formen der für den Simultankontrast erstellten perzeptuellen Skalen und der Helligkeitsskalen von Whittle (1992) sowie die Abweichungen der jeweiligen Illusionsstärken können auf mehrere Faktoren zurückgeführt werden. Die unterschiedliche Methodik kann beispielsweise einen Einfluss auf die Ergebnisse gehabt haben. Für die Helligkeitsskalen von Whittle (1992) sollte die Luminanz der Testfelder entsprechend angepasst werden. Im Gegensatz dazu wurde für die Ermittlung der Skalen

des Simultankontrasts nur entschieden, welches der jeweiligen Felder heller ist. Der wahrgenommene Unterschied in den Helligkeiten wurde bei diesem Verfahren nicht mit einbezogen. Beide Experimente könnten folglich mit denselben Versuchspersonen wiederholt werden. Dadurch wäre es möglich, eventuelle Abweichungen festzustellen, welche auf die verschiedenen Methoden zurückzuführen sind. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass die Versuchspersonen von Whittle (1992) die entsprechenden Testfelder entweder auf einem schwarzen oder einem weißen Hintergrund anpassen sollten. Eine Wechselwirkung zwischen beiden kann bei dieser Untersuchung demzufolge ausgeschlossen werden. Für die Erstellung der perzeptuellen Skalen des simultanen Helligkeitskontrasts gab es ebenfalls einige Reizpaare mit gleichem Hintergrund. Für einen erneuten Vergleich beider Experimente könnten demzufolge nur die Resultate dieser Stimuli in Betracht gezogen werden.

Darüber hinaus kann sich der untersuchte Luminanzbereich auf die Resultate ausgewirkt haben. Für die Skalen des Simultankontrasts wurden Luminanzen zwischen  $5 \text{ cd/m}^2$  und  $457 \text{ cd/m}^2$  getestet, während bei Whittle (1992) ein Bereich von  $0 \text{ cd/m}^2$  bis  $90 \text{ cd/m}^2$  betrachtet wurde. Infolgedessen könnte für den simultanen Helligkeitskontrast erneut perzeptuelle Skalen erstellt werden, welche in diesem Fall einen niedrigeren Luminanzbereich besitzen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die unterschiedlichen Ausprägungen der Skalen die Konsequenz der verschiedenen Kontexte von beiden Experimenten sind. Insofern können die Ergebnisse von Whittle (1992) nicht als detaillierte Vorhersage betrachtet werden.

### 4.3 Begrenztheit der Ergebnisse

Da die perzeptuellen Skalen des Simultankontrasts individuelle Unterschiede aufwiesen, konnte keine eindeutige Aussage hinsichtlich beider Hypothesen getroffen werden. Es wäre dementsprechend sinnvoll, Skalen des simultanen Helligkeitskontrasts sowie für White's Effekt mit einer größeren Anzahl an Proband\*innen zu erstellen. Infolgedessen könnte eine deutlichere Tendenz festgestellt werden.

Des Weiteren ist zu beachten, dass die Experimente zu Simultankontrast und White's Effekt nicht innerhalb eines geringen Zeitbereichs durchgeführt wurden. Dies war für alle Versuchspersonen, abgesehen von Testperson 'LYS', der Fall. Um einen eventuellen Einfluss zu erfassen, könnten demnach beide Versuche mit einem kleineren Zeitabstand wiederholt werden.

Wie bereits in den Abschnitten 1.1 und 1.2 erläutert, können visuelle Illusionen durch verschiedene Faktoren beeinflusst werden. Aufgrund dessen wurden die Gesamtgröße der Stimuli sowie die Größe der Testfelder so gewählt, dass die Werte mit dem Experiment zu White's Effekt (Vincent et al., *in Review*) übereinstimmen. Betrachtet man hierbei nur eine Hälfte der jeweiligen Illusion, wird folgendes Problem sichtbar. Die Testbalken von White's Effekt sind aufgrund des Gitters sowohl von schwarz als auch von weiß umgeben. Im Gegensatz dazu ist der Hintergrund der Felder des simultanen Helligkeitskontrasts stets konstant. Dies führt dazu, dass das jeweilige Testfeld bei dieser Illusion, verglichen mit White's Effekt, von einer größeren Fläche weiß beziehungsweise schwarz umgeben ist. Demnach sollte in Betracht gezogen werden, dass, bedingt durch die unterschiedlichen Größen rezeptiver Felder (Smith et al., 2001), die wahrgenommenen Helligkeiten der Testfelder möglicherweise beeinflusst wurden. Um dies zu überprüfen, kann das durchgeführte Experiment mit veränderter Stimulusgröße wiederholt werden. Diese sollte demnach so gewählt werden, dass die jeweiligen Testfelder von der gleich großen weißen beziehungsweise schwarzen Fläche umgeben sind wie bei White's Effekt. Dabei sollte allerdings beachtet werden, dass die infolgedessen schmaler gewordene Gesamtgröße des Simultankontrasts ebenfalls die Helligkeiten der Felder beeinflussen kann. Die Ergebnisse können anschließend nicht nur mit den Resultaten zu White's Effekt, sondern auch mit den perzeptuellen Skalen des simultanen Helligkeitskontrasts verglichen werden. Dadurch können ebenfalls mögliche Einflussfaktoren auf die Illusionsstärke untersucht werden.

---

#### 4.4 Fazit

Die mittels MLCM erstellten perzeptuellen Skalen ermöglichten es, den simultanen Helligkeitskontrasts über einen größeren Luminanzbereich zu untersuchen und anschließend bezüglich der Effektstärke mit White's Effekt zu vergleichen. Die ermittelten Skalen stimmten mit der zu erwarteten Richtung der Illusion überein. Hinsichtlich der Illusionsstärke, auch in Bezug zu White's Effekt, konnte keine einheitliche Tendenz festgestellt werden. Dies ist auf die individuell ausgeprägten Unterschiede zwischen den Proband\*innen zurückzuführen. Demzufolge sollten mehr Versuchspersonen getestet werden, um eine genaue Aussage treffen zu können.

## Danksagung

Ich möchte mich bei Frau Professorin Marianne Maertens für die Möglichkeit bedanken, meine Arbeit am Fachgebiet Computational Psychology der TU Berlin zu schreiben. Mein besonderer Dank gilt meinem Erstgutachter Herrn Dr. Guillermo Aguilar für die stets konstruktive Betreuung und Unterstützung der Arbeit. Weiterhin danke ich Herrn Professor Felix Wichmann für das Zweitgutachten sowie Frau Bianca del Mestre für die Hilfe bei administrativen Fragen. Überdies möchte ich mich bei allen Versuchspersonen für die Teilnahme am Experiment bedanken.

## 5 Literaturverzeichnis

- Adelson, E. H. (2000). Lightness Perception and Lightness Illusions. In M. S. Gazzaniga (Hrsg.), *The New Cognitive Neurosciences* (2 Aufl., S. 339–351). MIT Press.
- Aguilar, G. & Maertens, M. (2020). Toward reliable measurements of perceptual scales in multiple contexts. *Journal of Vision*, *20*(4), 19.
- Aguilar, G. & Maertens, M. (2022). Conjoint measurement of perceived transparency and perceived contrast in variegated checkerboards. *Journal of Vision*, *22*(2), 1–13.
- Anderson, B. L. (1997). A theory of illusory lightness and transparency in monocular and binocular images: the role of contour junctions. *Perception*, *26*(4), 419–453.
- Anderson, B. L. (2003). Perceptual organization and White's illusion. *Perception*, *32*, 269–284.
- Anstis, S. (2006). White's effect in lightness, color and motion. In M. R. M. Jenkins & L. R. Harris (Hrsg.), *Seeing Spatial Form* (S. 91–100). Oxford University Press.
- Betz, T., Shapley, R., Wichmann, F. A. & Maertens, M. (2015). Testing the role of luminance edges in White's illusion with contour adaptation. *Journal of Vision*, *15*(11), 1–16.
- Blakeslee, B. & McCourt, M. E. (1997). Similar mechanisms underlie simultaneous brightness contrast and grating induction. *Vision Research*, *37*(20), 2849–2869.
- Blakeslee, B. & McCourt, M. E. (1999). A multiscale spatial filtering account of the White effect, simultaneous brightness contrast and grating induction. *Vision Research*, *39*, 4361–4377.
- Blakeslee, B. & McCourt, M. E. (2004). A unified theory of brightness contrast and assimilation incorporating oriented multiscale spatial filtering and contrast normalization. *Vision Research*, *44*, 2483–2503.
- Blakeslee, B., Pasiaka, W. & McCourt, M. E. (2005). Oriented multiscale spatial filtering and contrast normalization: a parsimonious model of brightness induction in a continuum of stimuli including White, Howe and simultaneous brightness contrast. *Vision Research*, *45*, 607–615.
- Cornsweet, T. N. (1970). *Visual Perception*. Academic Press.
- Economou, E., Zdravkovic, S. & Gilchrist, A. (2007). Anchoring versus spatial filtering accounts of simultaneous lightness contrast. *Journal of Vision*, *7*(12), 1–15.
- Gilchrist, A. (2006). *Seeing Black and White*. Oxford University Press.
- Gori, S., Molteni, M. & Facoetti, A. (2016). Visual illusions: An interesting tool to investigate developmental dyslexia and autism spectrum disorder. *Frontiers in human neuroscience*, *10*, 175.
- Hansmann-Roth, S. & Mamassian, P. (2017). A glossy simultaneous contrast: conjoint measurements of gloss and lightness. *i-Perception*, *8*(1).
- Ho, Y. X., Landy, M. S. & Maloney, L. T. (2008). Conjoint measurement of gloss and surface texture. *Psychological science*, *19*(2), 196–204.
- Kingdom, F. A. A. (2011). Lightness, brightness and transparency: A quarter century of new ideas, captivating demonstrations and unrelenting controversy. *Vision Research*, *51*(7), 652–673.
- Kingdom, F. A. A. (2014). Brightness and Lightness. In J. S. Werner & L. M. Chalupa (Hrsg.), *The New Visual Neurosciences* (1 Aufl., S. 499–510). MIT Press.
- Knoblauch, K. & Maloney, L. T. (2012). *Modeling Psychophysical Data in R*. Springer Science & Business Media.
- Knoblauch, K., Maloney, L. T. & Aguilar G. (2022). *Maximum Likelihood Conjoint Measurement* (Version 0.4.3) [Computer software]. <https://CRAN.R-project.org/package=MLCM>
- Li, A., Tavantzis, M. J. & Yazdanbakhsh, A. (2009). Lightness of Munker-White illusion and Simultaneous-Contrast illusion: Establishing an ordinal lightness relation among minimum and split-frame presentations. *Review of Psychology*, *16*(1), 3–8.
- Maloney, L. T. & Knoblauch, K. (2020). Measuring and modeling visual appearance. *Annual Review of Vision Science*, *6*, 519–537.

- 
- Murray, R. F. (2021). Lightness Perception in Complex Scenes. *Annual Review of Vision Science*, 7, 417–436.
- R Core Team. (2021). *R: A language and environment for statistical computing [Computer software]*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Schmittwilken, L., Maertens, M. & Vincent, J. (2023). stimupy: A Python package for creating stimuli in vision science. *Journal of open Source Software*, 8(86), 5321.
- Shi, V., Cui, J., Troncoso, X. G., Macknik, S. L. & Martinez-Conde, S. (2013). Effect of stimulus width on simultaneous contrast. *PeerJ*, 1, e146.
- Smith, A. T., Singh, K. D., Williams, A. L. & Greenlee, M. W. (2001). Estimating Receptive Field Size from fMRI Data in Human Striate and Extrastriate Visual Cortex. *Cerebral Cortex*, 11(12), 1182–1190.
- Vincent, J., Maertens, M. & Aguilar G. What matching can't do: Estimating perceptual encoding functions with perceptual scaling. *Journal of Vision (In Review)*.
- White, M. (1979). A new effect of pattern on perceived lightness. *Perception*, 8, 413–416.
- White, M. (1981). The effect of the nature of the surround on the perceived lightness of grey bars within square-wave test gratings. *Perception*, 10, 215–230.
- Whittle, P. (1992). Brightness, Discriminability and the "Crispening Effect". *Vision Research*, 32(8), 1493–1507.
- Yund, E. M. & Armington, J. C. (1975). Color and brightness contrast effects as a function of spatial variables. *Vision Research*, 15, 917–929.

## Anhang A1: Illusionsstärke – White's Effekt

Versuchsperson	Luminanz [cd/m <sup>2</sup> ]	Skalenwert	Konfidenzintervall	
LYS	5.0	0.180	0.205	0.151
	18.0	0.145	0.117	0.199
	36.0	0.137	0.114	0.140
	67.0	0.192	0.166	0.182
	133.0	0.273	0.253	0.263
	198.0	0.326	0.311	0.301
	264.0	0.206	0.203	0.180
	326.0	0.185	0.177	0.158
	390.0	0.145	0.135	0.125
	457.0	0.081	0.179	0.050
GA	5.0	0.170	0.268	0.102
	18.0	0.152	0.137	0.160
	36.0	0.126	0.118	0.124
	67.0	0.179	0.173	0.175
	133.0	0.168	0.194	0.143
	198.0	0.111	0.119	0.092
	264.0	0.133	0.143	0.109
	326.0	0.101	0.111	0.082
	390.0	0.075	0.080	0.067
	457.0	0.028	0.063	-0.004
JV	5.0	0.114	0.214	0.071
	18.0	0.182	0.165	0.172
	36.0	0.176	0.160	0.165
	67.0	0.248	0.233	0.229
	133.0	0.262	0.247	0.243
	198.0	0.238	0.252	0.209
	264.0	0.216	0.241	0.191
	326.0	0.219	0.255	0.192
	390.0	0.151	0.178	0.127
	457.0	0.237	0.267	0.203
SZ	5.0	0.590	0.643	0.518
	18.0	0.432	0.379	0.471
	36.0	0.319	0.283	0.343
	67.0	0.282	0.263	0.273
	133.0	0.193	0.179	0.185
	198.0	0.204	0.191	0.197
	264.0	0.188	0.176	0.176
	326.0	0.163	0.157	0.152
	390.0	0.182	0.235	0.164
	457.0	0.171	0.266	0.129



JS	5.0	-0.004	0.026	-0.039
	18.0	0.069	0.050	0.073
	36.0	0.069	0.057	0.070
	67.0	0.110	0.095	0.108
	133.0	0.076	0.069	0.064
	198.0	0.071	0.069	0.061
	264.0	0.054	0.052	0.051
	326.0	0.010	0.007	0.007
	390.0	-0.021	-0.020	-0.015
	457.0	-0.074	-0.027	-0.199

**Tabelle 1** Illusionsstärke White's Effekt. Vertikaler Abstand der perceptuellen Skalen von White's Effekt mit Konfidenzintervallen bei entsprechender Luminanz der Testfelder für die Versuchspersonen 'LYS', 'GA', 'JV', 'SZ' und 'JS'.

## Anhang A2: Illusionsstärke – Simultaner Helligkeitskontrast

Versuchsperson	Luminanz [cd/m <sup>2</sup> ]	Skalenwert	Konfidenzintervall	
LYS	5.0	0.417	0.459	0.373
	18.0	0.422	0.376	0.461
	36.0	0.381	0.355	0.414
	67.0	0.319	0.306	0.342
	133.0	0.255	0.251	0.268
	198.0	0.237	0.234	0.239
	264.0	0.309	0.309	0.304
	326.0	0.355	0.362	0.342
	390.0	0.407	0.416	0.392
	457.0	0.398	0.448	0.348
GA	5.0	0.299	0.342	0.250
	18.0	0.248	0.201	0.302
	36.0	0.193	0.162	0.242
	67.0	0.290	0.251	0.326
	133.0	0.299	0.276	0.309
	198.0	0.290	0.274	0.289
	264.0	0.226	0.225	0.217
	326.0	0.204	0.199	0.194
	390.0	0.248	0.276	0.212
	457.0	0.246	0.343	0.159
JV	5.0	0.470	0.539	0.410
	18.0	0.362	0.320	0.410
	36.0	0.245	0.214	0.274
	67.0	0.199	0.198	0.187
	133.0	0.205	0.214	0.189
	198.0	0.195	0.213	0.173
	264.0	0.192	0.212	0.175
	326.0	0.151	0.163	0.137
	390.0	0.147	0.161	0.136
	457.0	0.105	0.143	0.073

SZ	5.0	0.469	0.557	0.386
	18.0	0.446	0.455	0.432
	36.0	0.284	0.295	0.267
	67.0	0.237	0.263	0.217
	133.0	0.174	0.189	0.156
	198.0	0.161	0.172	0.141
	264.0	0.171	0.189	0.148
	326.0	0.200	0.216	0.178
	390.0	0.173	0.187	0.156
	457.0	0.138	0.180	0.100
JS	5.0	0.392	0.447	0.333
	18.0	0.393	0.343	0.431
	36.0	0.326	0.284	0.353
	67.0	0.282	0.266	0.280
	133.0	0.183	0.174	0.176
	198.0	0.165	0.155	0.153
	264.0	0.128	0.120	0.118
	326.0	0.112	0.110	0.103
	390.0	0.098	0.096	0.089
	457.0	0.100	0.189	0.063

**Tabelle 2** Illusionsstärke Simultaner Helligkeitskontrast. Vertikaler Abstand der perzeptuellen Skalen des simultanen Helligkeitskontrast mit Konfidenzintervallen bei entsprechender Luminanz der Testfelder für die Versuchspersonen 'LYS', 'GA', 'JV', 'SZ' und 'JS'.

### Anhang A3: Differenz

Versuchsperson	Luminanz [cd/m <sup>2</sup> ]	Skalenwert	Konfidenzintervall	
LYS	5.0	0.237	0.254	0.222
	18.0	0.277	0.259	0.262
	36.0	0.244	0.241	0.274
	67.0	0.127	0.140	0.160
	133.0	-0.018	-0.001	0.005
	198.0	-0.089	-0.077	-0.062
	264.0	0.103	0.106	0.124
	326.0	0.170	0.186	0.184
	390.0	0.262	0.282	0.267
	457.0	0.317	0.269	0.298
GA	5.0	0.129	0.074	0.149
	18.0	0.096	0.064	0.142
	36.0	0.067	0.044	0.118
	67.0	0.112	0.078	0.151
	133.0	0.131	0.082	0.166
	198.0	0.178	0.155	0.197
	264.0	0.094	0.082	0.109
	326.0	0.103	0.087	0.112
	390.0	0.173	0.196	0.145
	457.0	0.217	0.280	0.162

JV	5.0	0.355	0.325	0.339
	18.0	0.180	0.156	0.238
	36.0	0.068	0.054	0.110
	67.0	-0.049	-0.035	-0.042
	133.0	-0.057	-0.033	-0.054
	198.0	-0.043	-0.039	-0.036
	264.0	-0.024	-0.030	-0.016
	326.0	-0.069	-0.092	-0.054
	390.0	-0.004	-0.018	0.009
	457.0	-0.132	-0.124	-0.131
SZ	5.0	-0.121	-0.087	-0.132
	18.0	0.014	0.076	-0.039
	36.0	-0.035	0.012	-0.076
	67.0	-0.045	0.000	-0.056
	133.0	-0.019	0.011	-0.030
	198.0	-0.043	-0.019	-0.056
	264.0	-0.018	0.014	-0.027
	326.0	0.037	0.059	0.027
	390.0	-0.008	-0.048	-0.008
	457.0	-0.034	-0.086	-0.029
JS	5.0	0.396	0.421	0.372
	18.0	0.324	0.293	0.358
	36.0	0.257	0.227	0.283
	67.0	0.172	0.172	0.172
	133.0	0.107	0.104	0.111
	198.0	0.094	0.086	0.092
	264.0	0.074	0.068	0.067
	326.0	0.102	0.103	0.096
	390.0	0.119	0.116	0.104
	457.0	0.174	0.217	0.262

**Tabelle 3** Differenz. Unterschiede in den Illusionsstärken von White's Effekt und simultanen Helligkeitskontrast mit Konfidenzintervallen bei entsprechender Luminanz der Testfelder für die Versuchspersonen 'LYS', 'GA', 'JV', 'SZ' und 'JS'. Bei negativen Werten ist White's Effekt die stärkere Illusion, bei positiven Werten der Simultankontrast.