

**Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg
Fakultät DMI | Design, Medien und Information
Medientechnik**

Bachelor-Thesis
zur Erlangung des akademischen Grades
Bachelor of Science

AFTERIMAGES

Eine Untersuchung des optischen Phänomens nach Werken Olafúr Eliassons
mit einer eigenen experimentellen Erweiterung

Studentin: Anna Samira Christin Wucherpennig-Thies, 
Abgabe: 2. Mai 2022
Hamburg

Erstprüfer: Prof. Hans-Jörg Kapp, HS Hannover
Zweitprüfer: Prof. Wolfgang Willaschek, HAW Hamburg

AFTERIMAGES

Eine Untersuchung des optischen Phänomens nach Werken Olafúr Eliassons mit einer eigenen experimentellen Erweiterung

Inhaltsverzeichnis

00.1 Abstract	1
00.2 Abstract (english)	2
01 Einleitung	3
02 Theoretische Grundlagen	4
02.1 Aufbau und Funktion des menschlichen Auges	4
Hornhaut, Linse und Iris	6
Netzhaut, Stäbchen und Zapfen	7
Fovea Centralis und Blinder Fleck.....	8
02.2 Licht und Farbe	9
02.3 Prozesse der Reizverarbeitung	13
Sehen - ein physischer Prozess	14
Wahrnehmung - ein psychischer Prozess	16
02.4 Nachbilder	18
Optische Sinnestäuschungen.....	18
Entstehung von Nachbildern	21
Aktueller Forschungsstand.....	23
03 Praxis	27
03.1 Olafúr Eliasson und seine Arbeit	28
„Your blue/orange afterimage exposed“, (2000)	29
„Your Colour Memory“, (2004) und die Idee für den Film.....	31
"Co-Producer Experiment“, (2007).....	32
„After Image Experiment (hexagonal)“, (2017)	34
04 Experiment	35
04.1 Durchführung	35
04.2 Auswertung	41
04.3 Kritische Würdigung und potenzielle Anknüpfungspunkte	50
05 Fazit	52
10 Anhang	54
10.1 Literaturverzeichnis	54
10.2 Medienverzeichnis	56
10.3 Ergebnisse der Fragen im Rahmen des Experiments	60
20 Eigenständigkeitserklärung	67

00.1 | Abstract

Innerhalb der fünf klassischen Sinne der physiologischen Wahrnehmung - Sehen, Hören, Riechen, Schmecken und Tasten - ist das Sehen für uns Menschen von höchster Relevanz. Wir empfangen rund zwei Drittel der Informationen, die im Gehirn weiterverarbeitet werden, über unsere Augen. Dort, genauer: auf der Netzhaut, entsteht ein umgedrehtes Abbild der Außenwelt. In Kombination mit Vorwissen, Erfahrungen oder Gewohnheiten, die wir entwickeln und in uns tragen, ergibt sich daraus die visuelle Wahrnehmung. Sie ist das Fundament für emotionale Empfindungen, ästhetische Vorlieben, die Verortung unseres Selbst in unser Umfeld und der Interaktion mit diesem.

Doch: Können wir uns darauf verlassen, dass unsere Wahrnehmung ein Abbild der Realität ist? Dass das Gesehene der Wahrheit entspricht?

Diese Arbeit widmet sich einem optischen Phänomen, welches entsteht, nachdem die Augen eine gewisse Zeit einem bestimmten Reiz ausgesetzt waren. Sobald dieser Reiz verschwindet, entsteht an seiner Stelle ein Nachbild auf der Netzhaut. Nachbilder sind keine Abbilder der Realität, trotz alledem sind sie durch diese bedingt. Der dänische Künstler Olafúr Eliasson experimentiert mit der optischen Erscheinung und bezieht sie aktiv in seine Kunstwerke ein. So sind die Nachbilder und damit zweifelsohne auch die Betrachter*innen selbst essenzielle Bestandteile seiner Werke. Die Untersuchung seiner Nachbild-Experimente ist eine Komponente dieser Arbeit und wird in diesem Rahmen durch eine eigene Versuchsdurchführung erweitert.

00.2 | Abstract (english)

Within the five classical senses of physiological perception - vision, hearing, smell, taste, touch - vision is of the highest relevance for us humans. We receive around two thirds of the information that is processed in the brain through our eyes. There, more precisely: on the retina, an inverted image of the outside world is created. In combination with previous knowledge, experiences or habits that we develop and carry within us, this results in visual perception. It is the fundament for emotional sensations, aesthetic preferences, the location of our self in our environment and interaction with it. But: Can we rely on the fact that our perception is an image of reality? Is what we saw true?

The work is dedicated to the optical phenomenon of afterimages, which arise after the eyes have been exposed to a certain stimulus for a certain period of time. When the stimulus disappears, the afterimage emerges. Afterimages are not images of reality, nevertheless they are conditioned by it. The Danish artist Olafúr Eliasson experiments with visual appearance and actively incorporates it into his artworks. The afterimages and thus the viewers themselves are essential parts of his works. The exploration of his afterimage experiments is part of this work and will be expanded at the end by an own experiment.

01 | Einleitung

Diese Abschlussarbeit im Fach Medientechnik zur Erlangung des akademischen Grades Bachelor of Science widmet sich dem physischen Vorgang des menschlichen Sehens, der Funktionsweise des Auges sowie der visuellen Wahrnehmung als psychischen Vorgang im Allgemeinen und der Entstehung von Nachbildern im Speziellen. Des Weiteren wird der Effekt von visuellen Nachbildern im Kontext künstlerischer Arbeiten untersucht. Dabei wird ein klarer Fokus auf die Arbeiten des dänischen Künstlers Olafúr Eliasson gelegt, die aus einer Kombination echter Bilder bzw. farbiger Lichtkegel und Nachbildern in den Köpfen der Betrachter*innen bestehen. Der Künstler macht die Betrachter*innen zu Co-Produzent*innen und die Augen bzw. Netzhaut zur Leinwand.

Thematischer Bestandteil dieser Arbeit ist auch die Beschaffenheit realer Bilder, also Abbildern der Außenwelt, die mit Hilfe von Lichtstrahlen in unser Auge, genauer: auf unsere Netzhaut, projiziert werden sowie die Beschaffenheit von Abbildern, die zwar von der Außenwelt bedingt, also von ihr ausgelöst, aber ohne direkten externen Reiz bestehen. Außerdem wird beleuchtet, was die Wahrnehmung vom Sehen unterscheidet, welche Aspekte sie beeinflussen und was im menschlichen Unterbewusstsein ganz automatisch, ohne die Möglichkeit der aktiven Einflussnahme, passiert.

Es soll schon an dieser Stelle betont sein, dass das Sehen selbst ein Vorgang ist, der in jedem funktionstüchtigen Auge in gleicher Art und Weise vonstatten geht, jedoch abhängig ist von der Beschaffenheit der Vielzahl an Einzelteilen, die am Prozess beteiligt sind. Das, was eine Person sieht, stimmt nicht zwangsläufig mit dem überein, was eine andere Person sieht. Im hohen Alter wird man nicht genau so sehen, wie man als kleines Kind oder junge*r Erwachsene gesehen hat.¹ Zusätzlich sei erwähnt, dass ein vermeintliches gemeinsames Verständnis für die Inhalte des Sehens und der Wahrnehmung mittels Sprache hergestellt wird. Doch muss auch hier auf die Diskrepanz aufmerksam gemacht werden, die entsteht, wenn Gesehenes mit Worten beschrieben wird. Die individuellen, visuellen Erlebnisse lassen sich nicht eins zu eins übereinander legen, sondern nur mit ebenso individuellen wie subjektiven Hilfsmitteln vergleichen. So sollten die Unschärfen, die von Betrachter*in zu Betrachter*in auf Grund ungleicher Werkzeuge entstehen, sowie die unzureichenden Möglichkeiten bzw. Fähigkeiten, Gesehenes und Wahrgenommenes akkurat und präzise in treffende Worte zu fassen, beim Lesen dieser Arbeit stets berücksichtigt werden.

¹ Vgl. Witting 2014, S. 164 f.

Diese Arbeit soll im ersten Teil einen Überblick über die Entstehung von Nachbildern geben, um anschließend konkret einige künstlerische Arbeiten zu analysieren und abschließend in einem Versuch münden, das Phänomen der Nachbilder in einer eigenen experimentellen Annäherung zu untersuchen. Dem Experiment soll kein Anspruch auf Allgemeingültigkeit zugesprochen werden - es kann kein exaktes Abbild der Realität sein, auf dessen Grundlage belastbare Ergebnisse im Sinne einer naturwissenschaftlichen Forschung erlangt werden. Es soll vielmehr als eine Erweiterung der Experimente Eliassons verstanden werden, indem hier einige Parameter variiert und die Effekte dieser Variationen untersucht werden. Im Anschluss an die Auswertung werden Aufbau und Durchführung sowie die erlangten Erkenntnisse bewertet und kritisch gewürdigt.

02 | Theoretische Grundlagen

02.1 | Aufbau und Funktion des menschlichen Auges

Es ist evolutionär bedingt, dass der Mensch zu einem sogenannten Augentier wurde. Neben den fünf Sinnen Sehen, Hören, Riechen, Schmecken und Tasten wurde die moderne Sinnespsychologie um vier weitere Sinne ergänzt, mit Hilfe derer der Mensch seine Umwelt physiologisch erfährt. So beschreibt Thomas Ditzinger das Sehen als „[...] vielleicht wichtigste Erfindung der Evolution für die Entwicklung des menschlichen Gehirns und der Wahrnehmung.“² Die klare Mehrheit aller Umwelterfahrungen, die von Menschen verarbeitet wird, gelangt durch das Auge in das Gehirn. Unbekannte Situationen werden in erster Annäherung mit Hilfe der Augen wahrgenommen, auch weil dies im Gegensatz zum Fühlen oder Schmecken aus sicherer Distanz möglich ist. Das Sehen ermöglicht es dem Menschen innerhalb kürzester Zeit, Freund von Feind zu unterscheiden, Emotionen wie Wut oder Angst zu erkennen oder Nahrung zu finden.

Die übergeordnete Rolle des Sehens wird auch bei näherer Betrachtung der zuständigen Hirnareale deutlich. Etwa ein Drittel des im Übergangsbereich zwischen Hinterkopf und Nacken liegenden Cortex wird für die Verarbeitung visueller Informationen verwendet. Die große Kapazität kann als Indiz gesehen werden, dass „[d]er Mensch [...] von der Evolution eher dafür vorgesehen [ist], die visuelle Außenwelt zu analysieren, als für die

² Ditzinger 2013, S. 1.

Durchführung komplexer mathematischer Operationen“³. Die Überlegenheit des Sehens gegenüber den anderen Sinnen scheint auch durch die Vorteile, die das Licht als Trägermedium von visuellen Informationen mit sich bringt, bedingt. Die enorme Geschwindigkeit von Licht ermöglicht ein nahezu simultanes Empfangen visueller Reize und Wahrnehmen von Ereignissen. Außerdem weist das Licht als Träger eine sehr geringe Störanfälligkeit auf, wohingegen bspw. Schall als Trägermedium bei ungünstigen Windbedingungen oder zeitgleich auftretenden Nebengeräuschen nur erschwert wahrgenommen werden kann.⁴ Im Folgenden werden die Einzelteile des Auges sowie seine Eigenschaften und Funktionsweisen näher erläutert.

Menschen besitzen wie alle Wirbeltiere und einige wirbellose Tiere, bspw. Tintenfische, sogenannte Linsenaugen. Jeweils zwei Augäpfel liegen üblicherweise gut geschützt im Schädelknochen zwischen Stirn, Nase und Wangenknochen. Das Linsenauge besteht zu einem großen Teil aus einem annähernd rund geformten Glaskörper, einem „wasserklare[n] Gel aus extrazellulärer Flüssigkeit, in der Kollagen und Hyaluronsäure kolloidal (fein verteilt) gelöst sind“⁵, der einen konstanten Abstand zwischen Linse und Netzhaut sicherstellt. Vorne, als Einfallstor des Auges, befinden sich unter der Hornhaut die mit Kammwasser gefüllte Augenkammer sowie Iris und Linse. Die Iris, die variabel zwischen Augenkammer und Linse liegt, reguliert die Größe der Pupille und ist somit verantwortlich für die Menge des einfallenden Lichtes. Die Verzahnung der einzelnen Bestandteile bildet das Abbildungssystem des Auges und sorgt dafür, dass einfallende Reize in das Auge gelangen, um dort weiterverarbeitet zu werden. Im Inneren ist der Glaskörper ausgekleidet von der Netzhaut, die mit zwei Arten von Sinneszellen, den sogenannten Stäbchen und Zapfen, ausgestattet ist und so das Sehen ermöglicht. Die rund 130 Millionen Stäbchen und Zapfen reagieren auf die ankommenden Reize und geben sie als elektrische Impulse über den Sehnerv weiter zum Gehirn.⁶

³ Fahle 2005, S. 67.

⁴ Ditzinger 2013, S. 6.

⁵ Eysel 2011, S. 2011.

⁶ Vgl. Witting 2014, S. 160 ff.

Hornhaut, Linse und Iris

Die erste Instanz, die das einfallende Licht auf dem Weg zur Netzhaut und den Lichtrezeptoren passiert, ist die Hornhaut. Neben einem Schutz gegen äußere Einflüsse ist sie das vorderste Einzelteil in dem komplexen Wahrnehmungsapparat. Sie ist, wie auch Linse und Glaskörper als anschließende Bestandteile des Sehapparates, transparent und ermöglicht, dass das Licht durch sie hindurch strahlt und ein Abbild auf der gegenüberliegenden Netzhaut entsteht⁷ (Abbildung 1).

Der Raum zwischen Linse und Hornhaut wird als Augenkammer bezeichnet und ist mit einer wässrigen Flüssigkeit gefüllt. Vor der Linse liegt die Iris, die als mechanische Blende fungiert. Der Bereich der Linse, der frei liegt und nicht von der Iris verdeckt ist, ist die Pupille. Die Iris und damit auch die Pupille passen sich an die Menge des einfallenden Lichtes an. In einer hellen Umgebung fällt eine große Menge Licht in das Auge, was dazu führt, dass sich die Iris verengt und der Durchmesser der Pupille kleiner wird. Diese automatische Anpassung der Pupille an die Umgebungshelligkeit heißt Adaptation (von lat. *adaptare* = anpassen). Hinter der Iris liegt die Linse, die das einfallende Licht bricht. Ihre Wölbung ist variabel und kann durch den ringförmigen Ziliarmuskel angepasst werden. Die Wölbung der Linse bestimmt die Brennweite des Auges und legt damit fest, welcher Bereich der Umwelt scharf auf der Netzhaut abgebildet wird. So stellt das Auge auf in der Ferne liegende Objekte scharf, wenn die Linse in die Länge gezogen ist und fokussiert Gegenstände in der Nähe, wenn sie runder gebogen ist. Diese Entfernungseinstellung, die bewusst gesteuert werden kann, wird Akkommodation (von lat. *accommodare* = angleichen) genannt.⁸

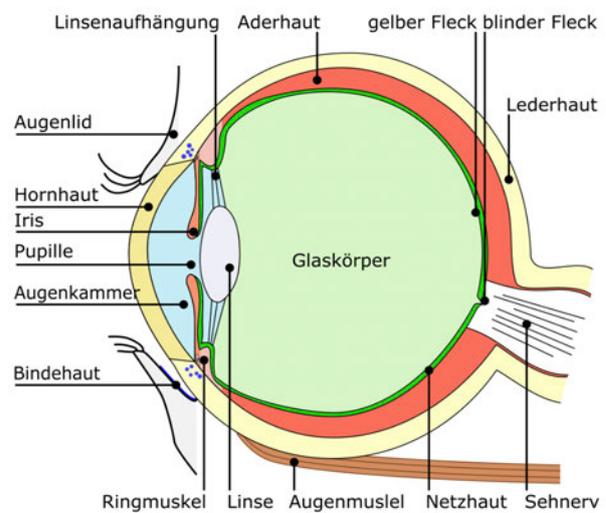


Abbildung 1: Vertikaler Schnitt durch das menschliche Auge

⁷ Vgl. Witting 2014, S. 163.

⁸ Vgl. ebd., S. 162 f.

Netzhaut, Stäbchen und Zapfen

Auf der Rückwand des Glaskörpers findet sich neben der hier nicht weiter beschriebenen Leder- sowie Aderhaut auch die Retina, die sogenannte Netzhaut. Auf ihr befinden sich unzählige Photorezeptoren, genauer: Stäbchen und Zapfen, die das Sehen ermöglichen.⁹ Sie fungieren als Empfänger für die einfallenden Reize und leiten diese als elektrische Impulse an das Gehirn weiter. Dabei sind die Stäbchen für das skotopische Sehen, also das Detektieren von Helligkeitsunterschieden, zuständig und die Zapfen für das photopische, also das Farbsehen. Die Zapfen werden in drei Typen unterteilt, die K- (bzw. S-), M- und L-Zapfen, die unterschiedliche spektrale Empfindlichkeiten in kurzen (**Kurz/Short**), mittleren (**Mittel/Medium**) oder langen (**Lang/Long**) Wellenlängenbereichen besitzen. Diese Selektivität führt zur stärksten Empfindlichkeit für Licht in den Bereichen um 420, 534 und 564 nm, was der Wahrnehmung in den Farbbereichen Blau, Grün und Rot entspricht.¹⁰ Die unterschiedlichen Empfindlichkeiten der Zapfentypen führen zu einer Signalaufnahme, die der trichromatischen Farbtheorie, auch Young-Helmholtz-Theorie, entspricht. Demnach lässt sich „durch Mischung von drei monochromatischen Farben jede beliebige Farbe [erzeugen]“¹¹. Vereinfacht gesagt werden auch auf der Netzhaut mittels der Verschaltung der drei Zapfentypen alle möglichen Farben gesehen. Die charakteristischen Absorptionismengen je Zapfentyp werden miteinander verrechnet, als Information über die Wellenlänge des einfallenden Lichts an das Gehirn weitergegeben und so zu der Vielzahl unterschiedlicher Farbtönen, die der Mensch sehen kann.¹²

Die Zapfen sind vermehrt im Zentrum der Netzhaut angeordnet, was dazu führt, dass das Farbsehen in einem relativ kleinen Bereich mit einem Durchmesser von etwa 0,3 bis 0,4 mm stattfindet und das menschliche Sehen außerhalb dieses Radius an Farbe verliert.¹³ Diesen Umstand, also das Vergrauen des peripheren Sichtfeldes, nehmen Menschen nicht bewusst

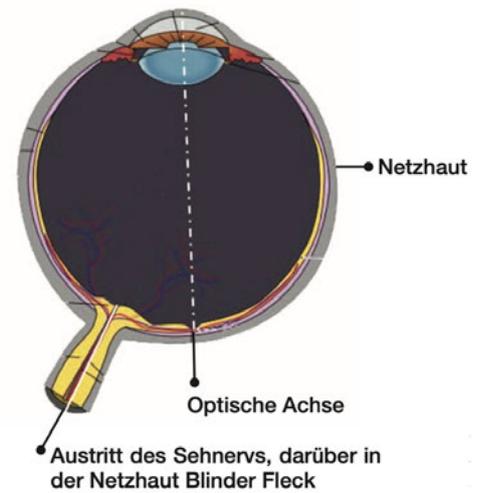


Abbildung 2: Horizontaler Schnitt durch das rechte Auge

⁹ Vgl. Witting 2014, S. 166 f.

¹⁰ Vgl. Leute 2011, S. 73 f.

¹¹ Eysel 2011, S. 377.

¹² Ebd., S. 377.

¹³ Leute 2011, S. 74.

wahr. Das Wissen, dass die Welt nicht nur im Fokus des Sichtfeldes bunt ist, reicht für die Wahrnehmung eines bunten Eindrucks des sichtbaren Umfeldes aus.

Die Stäbchen, deren Anzahl die der Zapfen im Auge weit übersteigt, liegen weiter entfernt vom Mittelpunkt der Netzhaut, im sogenannten parafovealen Bereich. Sie sind in allen Wellenlängenbereichen hochempfindlich und bilden schon bei kleinstem Lichteinfall den sogenannten Sehfärbstoff Rhodopsin, welcher einen Reiz an den Sehnerv sowie das Gehirn weitergibt. Darüber hinaus wird Rhodopsin für die Hell- und Dunkeladaptation benötigt (siehe *Aktueller Forschungsstand*, S. 26).

Die Komplexität in Aufbau und Funktionsweise der Netzhaut, die sie zu einem vielschichtigen neuronalen Netzwerk macht, ist evolutionär durch die Entwicklung der Netzhaut als ein Teil des Gehirns bedingt.¹⁴

Fovea Centralis und Blinder Fleck

Mittig auf der Hauptsehachse der Netzhaut liegt der Gelbe Fleck, auch Macula genannt, und in ihm die Fovea Centralis, die sogenannte Sehgrube. In diesem nur wenige Millimeter kleinen Bereich weist die Netzhaut die höchste Konzentration an farbempfindlichen Rezeptoren auf, was dem Menschen in diesem Bereich das schärfste Sehen ermöglicht.¹⁵ Dass der Bereich des schärfsten Sehens verglichen mit dem gesamten Blickfeld relativ klein ist, (1 bis 2° zu knapp 180°) bemerkt der Mensch dabei kaum.¹⁶ Indem man Objekte hinreichender Ausdehnung¹⁷ „[...] durch kleine ruckartige Augenbewegungen (Sakkaden) ab[tastet]“¹⁸, schiebt man das betrachtete Objekt so lange auf der Netzhaut zurecht, bis jeder Bereich des Objektes im Bereich der Fovea Centralis lag und scharf gesehen werden konnte. Diese kleinen motorischen Leistungen laufen ganz automatisch und unbemerkt ab und im Gehirn entsteht währenddessen ein scharfes Abbild der Umwelt. Sprachlich werden dabei die Bezeichnungen *Schauen*, *Blicken* und *Betrachten* verwendet.¹⁹

¹⁴ Vgl. Eysel 2011, S. 364.

¹⁵ Vgl. ebd., S. 348.

¹⁶ Vgl. Witting 2014, S. 168.

¹⁷ Hinreichende Ausdehnung bedeutet hier, dass die Abbildung des Objektes auf der Netzhaut größer als der Bereich der Fovea Centralis ist und über den Bereich des schärfsten Sehens hinaus geht.

¹⁸ Eysel 2011, S. 354.

¹⁹ Vgl. ebd., S. 353.

Auf beiden Seiten, leicht Richtung Nase verschoben, befindet sich im rechten Auge links der Fovea Centralis und im linken Auge rechts von ihr der sogenannte Blinde Fleck. An dieser Stelle laufen die Adern der Netzhaut zusammen und gehen in den Sehnerv über, der zum Gehirn läuft und die empfangenen Informationen an dieses übermittelt. In diesem kleinen Bereich befinden sich keine Rezeptorzellen, was dazu führt, dass der Mensch an dieser Stelle nicht sehen kann. Dadurch, dass der Mensch mit zwei Augen sieht und im Gehirn immer ein Bild mit den Informationen aus zwei Augen errechnet bzw. interpoliert wird, kann der blinde Fleck meist kaschiert werden und bleibt weitestgehend unbemerkt.²⁰

02.2 | Licht und Farbe

Ein Aspekt, der selbstverständlich bekannt sein sollte, hier trotzdem in Kürze aufgeführt werden soll, ist der Umstand, dass Farbe, so wie sie wahrgenommen wird im Grunde nicht existiert. So ist die Farbe, die der Mensch wahrnimmt, bloß ein bestimmter spektraler Anteil des reflektierten Lichtes, welches, abhängig von seiner Wellenlänge, einen farbigen Eindruck hinterlässt. Das Licht selbst ist für den Menschen kein sichtbares Objekt. Um gesehen zu werden, bedarf es eines auf elementarer Ebene ausreichend großen Trägers, also eines Mediums, welches absorbierende oder reflektierende Eigenschaften besitzt und das Licht für den Menschen sichtbar macht. Dadurch kann das existierende, zurückgestrahlte Licht und damit auch die Abwesenheit, also Nicht-Existenz von Licht, sichtbar gemacht werden. Das Licht, das für den Menschen unter den beschriebenen Bedingungen sichtbar wird, ist ein ganz bestimmter Teil der elektromagnetischen Wellen, die ihn immer und überall umgeben. Abbildung 3 zeigt den kleinen Bereich zwischen 380 und 780 nm, der für den Menschen sichtbar ist, und lokalisiert ihn im Gesamtkontext des großen Spektrums der elektromagnetischen Wellen. Hornhaut, Linse und Glaskörper sind undurchlässiger für Strahlungen im kürzer- oder langwelligeren Bereich.²¹

Sofern die Augen nicht direkt auf eine Lichtquelle gerichtet sind, ist das einfallende Licht, welches ein umgedrehtes Bild auf der Netzhaut entstehen lässt, immer indirektes, von Objekten reflektiertes Licht. Dabei spielt sowohl die Lichtfarbe, als auch die Körperfärbung des reflektierenden (oder

²⁰ Vgl. Witting 2014, S. 169.

²¹ Vgl. ebd., S. 165.

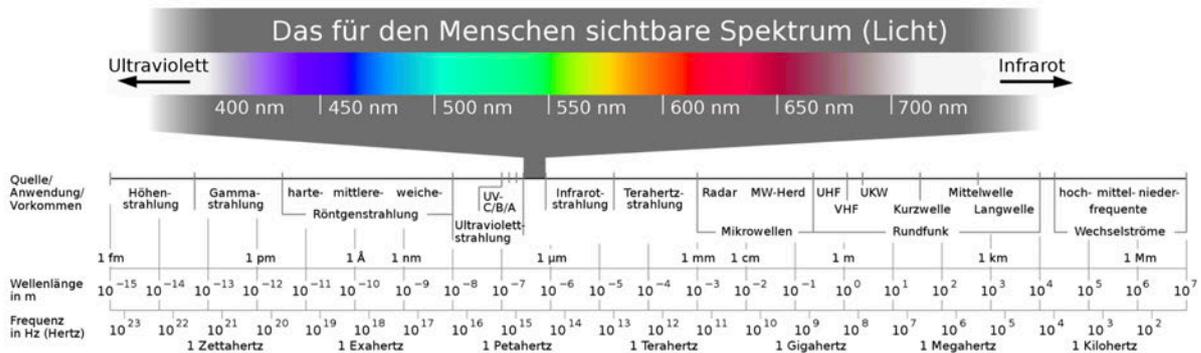


Abbildung 3: Elektromagnetisches Spektrum und der für den Menschen sichtbare Bereich

absorbierenden) Objektes eine entscheidende Rolle.

Konkret bedeutet das: Wird ein weißes Blatt Papier mit roter Schrift von blauem Licht beleuchtet (bspw. weißes Licht durch blaue Folie gefiltert), so erscheint das weiße Blatt Papier blau, da es das gesamte einfallende Licht reflektiert²² (Abbildung 4). Gleichzeitig erscheint die rote Schrift schwarz, da das blaue Licht keine spektralen Anteile im roten Bereich enthält und so alles einfallende Licht absorbiert wird (Abbildung 5).

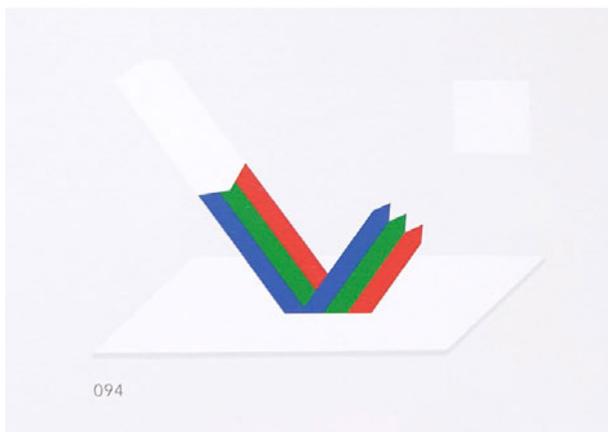


Abbildung 4: Reflexion. Das blaue Licht wird von dem weißen Objekt gestreut, bzw. (unregelmäßig) reflektiert

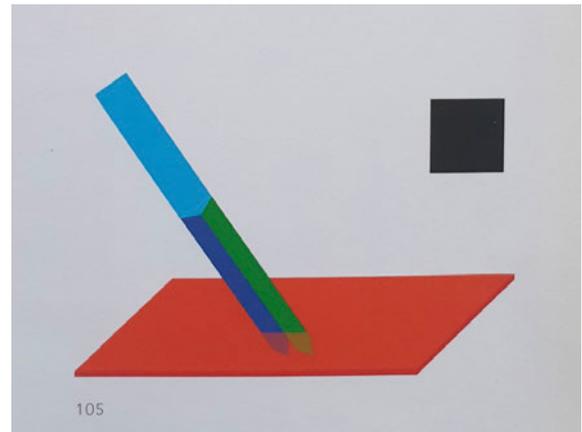


Abbildung 5: Absorption. Blaues Licht auf Rot: Objekt erscheint schwarz

An diesem vereinfachten Beispiel wird also schon klar, dass Farben relativ sind und immer in ihrem Kontext betrachtet werden müssen. Auch kann es vorkommen, dass die Farbwahrnehmung von Licht identischer Wellenlänge, abhängig von der Kontextualisierung und der im Umfeld verwendeten Farben, variiert. „Diese Beobachtungen zeigen, dass eine physikalische Erklärung des Farbsehens unzureichend ist (es handelt sich nicht um ein physiologisches Messsystem für Wellenlängen). Die Farbwahrnehmung entsteht letztlich durch

²² Zwar ist es in der Abbildung 4 weißes Licht, das auf eine weiße Fläche trifft und vollständig reflektiert wird, doch ist die vollständige Reflexion auch auf die RGB-Anteile einzeln anwendbar.

neuronalen Prozesse im Gehirn.“²³ Daraus leitet sich ab, dass die Photorezeptoren im Auge von den elektromagnetischen Wellen unterschiedlicher Wellenlängen angesprochen werden und sich aus der Spezifikation der unterschiedlichen, teilweise in Kombination reagierenden Rezeptoren in Verbindung mit anschließenden neuronalen Prozessen die Wahrnehmung von Farben im Gehirn ergibt.

Ein weiterer Aspekt, der hier erwähnt, jedoch nicht ausführlicher erläutert werden soll, ist das Phänomen der Farbkonstanz. Diese führt dazu, dass Menschen die Farben von Gegenständen in einer Situation mit sich verändernden Lichtverhältnissen als relativ konstant wahrnehmen. In diesen Situationen kann die visuelle Wahrnehmung, als Kombination aus der rein physiologischen Reizaufnahme und der psychologischen Informationsverarbeitung, auf einfachste aber verständlichste Weise beobachtet werden. Ungeachtet der Informationen, die im Kerzenlicht von einem weißen Blatt Papier in das Auge reflektiert werden, *sieht* der Mensch das Blatt weiß. Hierbei wird auf Vorwissen und Erfahrungswerte zurückgegriffen und „[...] unbewusst auf der eigentlichen, d.h. auf jener Farbe des Gegenstandes, die er hat, wenn er unter natürlichem mittlerem Tageslicht gesehen wird [beharrt]“²⁴.

Des Weiteren sollen hier in Kürze die Dreifarbentheorie sowie die Gegenfarbentheorie erwähnt sein. Beide spielen für die folgenden Ausführungen eine wichtige Rolle und bilden die Grundlage für Erklärungen optischer Phänomene. Die Dreifarbentheorie sieht, wie der Name schon sagt, drei Farben als Ursprung aller weiterer Mischungen. Rot, Grün und Blau fungieren als Grundfarben, die zu gleichen Anteilen gemischt ein reines Weiß ergeben. In Paaren mischen sie sich zu Magenta (aus Rot und Blau), Cyan (aus Blau und Grün) und Gelb (aus Rot und Grün) (Abbildung 6). Variieren innerhalb einer Mischung die Verhältnisse der Farben zueinander, so ergeben sich alle anderen möglichen Farbtöne.

Neben dieser Theorie existiert jedoch auch die Gegenfarbentheorie. Nach Ewald Hering bspw. sind es aber vielmehr die Farben Rot, Gelb, Grün und Blau, die als Grundfarben für die unzähligen Farbtöne dazwischen dienen. Auf einem Kreis dargestellt (Abbildung 7) liegen sie als Endpunkte der horizontalen und vertikalen Achse durch

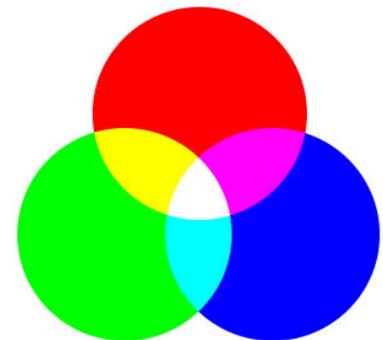


Abbildung 6: Additive Farbmischung nach Dreifarbentheorie

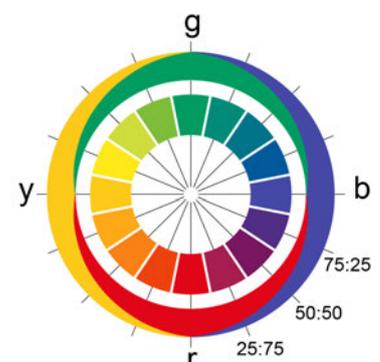


Abbildung 7: Darstellung des Farbkreises gemäß der Gegenfarbentheorie nach Hering

²³ Eysel 2011, S. 375.

²⁴ Witting 2014, S. 128 f.

Abstufungen in Orange, Lime, Cyan und Magenta miteinander verbunden und ergeben einen kontinuierlichen Farbverlauf. So liegen sich in dem Kreis je zwei Farben in einem Gleichgewicht gegenüber. Die Paare Blau und Gelb sowie Rot und Grün sind die klassischen Gegen- oder Komplementärfarben. Obwohl die drei Zapfentypen auf der Netzhaut vereinfacht ausgedrückt für blaues, grünes und rotes Licht empfindlich sind, ist es nicht die Dreifarbentheorie, die der Farbwahrnehmung zugrunde liegt. Vielmehr ist es die Hering'sche Gegenfarbentheorie, die als valide Grundlage der Farbwahrnehmung und verschiedenster Farbsysteme oder Farbraummodelle fungiert.²⁵

Auf den Sehvorgang des Menschen angewandt findet sich die Entsprechung zur Gegenfarbentheorie in den Neuronen zwischen den Rezeptoren auf der Netzhaut und dem Gehirn. Entscheidend für die Farbwahrnehmung des Menschen ist die komplexe Verschaltung unterschiedlicher Farbkanäle, die von den drei Zapfentypen ausgehen und paarweise in drei voneinander getrennte Kanäle münden. Dabei bilden die Gegenfarben Blau und Gelb sowie Rot und Grün der Hering'schen- und Young-Helmholtz-Theorie (siehe *Netzhaut, Stäbchen, Zapfen*, Seite 7) folgend die zwei Farbkanäle, die von einem Kanal zur Helligkeits- bzw. Kontrastwahrnehmung ergänzt werden.

Abbildung 8 verbildlicht dabei das Prinzip der antivalenten Interaktion der Gegenfarben.

Gelangt ein Lichtreiz mit einer mittleren Wellenlänge in das Auge, spricht er die M-Zapfen an, die ein Signal zur Grünwahrnehmung weitergeben. Folgt man dem abgebildeten Schema führt dieser Reiz dazu, dass sich die grüne Waagschale füllt. Je schwerer die grüne Waagschale gefüllt ist, desto tiefer sinkt sie. Gleichzeitig lässt sie die gegenüberliegende rote Waagschale hinauf steigen. Dargestellt wird in diesem Fall, wie die Erregung der Grünwahrnehmung die Rotwahrnehmung hemmt. Dieses Verhältnis zwischen den

Gegenpaaren findet sich genau so auch in den beiden anderen Kanälen wieder. Wird kurzwelliges Licht empfangen, werden Reize für Blau ausgesendet, die die blaue Waagschale füllen und die Empfindung für die Gegenfarbe Gelb hemmen.

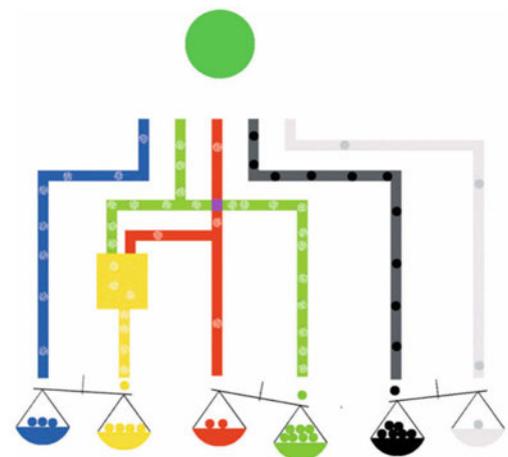


Abbildung 8: Verschaltung der Kanäle zur Farbwahrnehmung

²⁵ Bsp. NCS-System oder Lab-Farbraum.

Diese auftretenden Diskrepanzen zwischen Logik und Gefühl, Kunst und Naturwissenschaft oder Psychologie und Physik in der Empfindung von Farbe sind Inhalt von Forschung sowie Thema verschiedenster Experimente und verblüffender Momente im Alltag.²⁶ Das folgende Unterkapitel gibt einen Überblick über die Reizverarbeitung. Dabei wird das Sehen als physischer Prozess von der Wahrnehmung als darauffolgende Reizverarbeitung, die unter Hinzunahme weiterer Parameter funktioniert, definiert und gegeneinander abgegrenzt.

02.3 | Prozesse der Reizverarbeitung

Für die weitere Betrachtung der Entstehung von Nachbildern und der Arbeit mit ihnen müssen die Reizverarbeitung und der Wahrnehmungsprozess in ihre Einzelteile zerlegt werden. Dabei wird im Kontext dieser Arbeit das Sehen als physischer Prozess definiert, der fließend in den psychischen Prozess der Wahrnehmung übergeht, indem die rein visuell empfangenen Daten aus dem Auge mit zusätzlichen Informationen angereichert werden, die der Mensch durch Vorwissen, Erfahrungen, Gewohnheit oder andere Faktoren besitzt und auf das Gesehene anwendet. So kann das *Sehen* vereinfacht als Abtasten der Umwelt verstanden werden, während das *Wahrnehmen* die Verarbeitung und Einordnung der gesehene Informationen unter Hinzunahme von Wissen, Erfahrungen usw. ist.²⁷

Selbstverständlich können am Wahrnehmungsprozess des Menschen unter Umständen nicht nur ein, sondern mehrere oder sogar alle Sinne beteiligt sein. Um den Rahmen dieser Arbeit klar abzugrenzen und im Thema der Nachbilder zu bleiben, fokussiert sich diese Arbeit auf die visuelle Wahrnehmung, die auf Grundlage der empfangenen Daten des Sehsinnes erfolgt.

²⁶ Vgl. Ditzinger 2013, S. 103.

²⁷ Vgl. Fahlenbach 2019, S. 122.

Sehen - ein physischer Prozess

Sobald ein noch so kleiner Lichtreiz in das Auge fällt, von Hornhaut und Linse gebrochen und auf den Kopf gestellt wird und durch den Glaskörper hindurch schließlich auf die Netzhaut trifft, werden elektrische Impulse über den Sehnerv an das Gehirn weitergeleitet. Dieser Prozess wird als *Sehen* bezeichnet. Die im ersten Kapitel beschriebenen charakteristischen Eigenschaften und Anordnungen der Rezeptoren sorgen für ein mehr oder weniger wahrheitsgetreues Abbild der Realität im menschlichen Gehirn. Der Vorgang läuft in jedem gesunden, funktionstüchtigen menschlichen Auge ab und führt bei intakter Verbindung zwischen Auge und Gehirn zu einem Bild. Jedoch durchläuft der gleiche Lichtreiz bei jedem Menschen viele individuell ausgeprägte und unterschiedlich entwickelte Komponenten, was dazu führt, dass das Bild, welches im Gehirn des einen Menschen entsteht, nicht zwangsläufig das gleiche Bild ist, welches im Gehirn eines anderen Menschen entsteht. Allen voran ist der bekannteste Unterschied in der Fähigkeit des Sehens die Ametropie, also der Brechkraft der Linse, die Kurz- oder Weitsichtigkeit auslösen und durch die Zuhilfenahme einer Sehhilfe wie Kontaktlinse oder Brille ausgeglichen werden kann. Auch kann dies zu verborgeneren Unterschieden führen, wie zum Beispiel der Fehlsichtigkeit in bestimmten Farbbereichen, die durch das Fehlen bestimmter Zapfentypen ausgelöst wird. Sie kann weder korrigiert, noch hinreichend verstanden werden, da Betroffene weder beschreiben können, noch bemerken, was ihnen fehlt. Da derartige Zapfendefizite in den meisten Fällen bereits von Geburt an vorhanden sind, besitzen Menschen ohne L-Zapfen bspw. kein Bewusstsein für die Farbe Rot bzw. rötliche Färbungen von Gelb (also Orange) oder Blau (also Magenta). Sie können Farben mit Rot-Anteilen nicht als Rot wahrnehmen, sondern sehen stattdessen Grauschattierungen. Da rote Objekte von Betroffenen aber konsequent immer in den entsprechenden Grautönen gesehen werden, welche Menschen ohne das Defizit als Rot beschreiben, eignen sich die Betroffenen an, eben diese Schattierungen auch als Rot zu beschreiben. Da sie nicht wissen, wie Rot in den Augen derer aussieht, die Rezeptoren auf der Netzhaut besitzen, die langwellige Strahlung korrekt verarbeiten, ist Grau für diese Menschen gleich Rot. Sie wurden von Geburt an so sozialisiert, dass sie Grau als Rot beschreiben.

Während in einem solchen Fall messtechnisch erklärt werden kann, dass die Farbe Rot nicht gesehen wird, weil keine in diesem Bereich empfindlichen Zapfen vorhanden sind, kann im Umkehrschluss nicht davon ausgegangen werden, dass Rot bei jedem Menschen, dessen Netzhaut mit L-Zapfen ausgestattet ist, gleich Rot ist. Dabei wird der rein physiologische Bereich

verlassen hin zu einer Kombination aus Sehen und Wahrnehmung. In der Einleitung wurde die Individualität des Sehens bereits thematisiert. Auch Manfred Fahle beschreibt diese unterschiedliche Erregung der Nervensysteme treffend und präzise: „[Die] Individualität der Wahrnehmung manifestiert sich bereits auf der Ebene der Netzhaut“²⁸. Ein anderer Aspekt, der an dieser Stelle erwähnt werden muss, ist die Selektivität, die auch bei dem Vorgang des Sehens stattfindet. So kann weder das Auge alle verfügbaren Informationen aufnehmen und an das Gehirn weiterleiten, noch kann das Gehirn all die empfangenen Reize verarbeiten. Es findet also schon beim Sehen eine Vorauswahl der Informationen statt, die weitergegeben und im nächsten Schritt wahrgenommen werden. „Wir nehmen nicht alles wahr, was wir sehen, und was unser Handeln beeinflusst.“²⁹ Vereinfacht ist beispielsweise schon das bloße Fokussieren auf nahe bzw. ferne Objekte die erste Vorauswahl, die getroffen wird. Durch das Fokussieren naher Objekte werden die Informationen, die diese Objekte liefern, mit einer erhöhten Relevanz versehen. Objekte, die sich weiter entfernt befinden, werden nur noch schemenhaft, also vereinfacht wahrgenommen. Sehen und Wahrnehmen sind komplexe Vorgänge der Rekonstruktion, Neusortierung und -bewertung. Was der Mensch sieht entspricht nie vollständig der Realität. Ein weiterer Aspekt, der diese selektive Vorauswahl begünstigt und erklärt, dass verschiedene Reize unterschiedlich weiterverarbeitet werden, ist durch den modularen Aufbau des Sehvorganges gegeben. Obwohl der Mensch das Sehen als Einheit wahrnimmt, sind es viele Teilaspekte, auf die die Analyse des Bildes im Gehirn abzielt. Es ist eine „große[...] Anzahl eindeutig voneinander abgrenzbarer Untereinheiten“³⁰, die auf verschiedenste Reizgrundlagen reagiert und in einem produktiven Zusammenschluss den visuellen Cortex bildet. Dabei werden das „Farbensehen, Bewegungssehen und Tiefensehen, das heißt Abstandsschätzung, von zumindest teilweise unterschiedlichen Cortexarealen vermittelt [...]“³¹. Eine genaue Zuordnung kann jedoch noch nicht beschrieben werden. Die vielen Faktoren, die das Sehen unbewusst begleiten, zeigen, dass es sich um einen höchst komplexen Vorgang handelt, der bis heute noch nicht abschließend erforscht ist.

²⁸ Fahle 2005, S. 63.

²⁹ Ebd., S. 97.

³⁰ Ebd., S. 67.

³¹ Ebd., S. 67.

Wahrnehmung - ein psychischer Prozess³²

Als Wahrnehmung wird der Vorgang der Informationsaufnahme mittels der fünf Sinne und die darauf aufbauende Konstruktion eines möglichst naturgetreuen Abbildes der Außenwelt definiert. Der Mensch sieht, hört, riecht, fühlt, schmeckt und ertastet seine Umwelt, führt die gesammelten Informationen in seinem zentralen Nervensystem auf der Großhirnrinde zusammen, erzeugt das Abbild und nimmt wahr.^{33,34}

Dabei ist es eine Vielzahl verschiedenster Informationen eines oder mehrerer Sinne, die zeitgleich in das Gehirn gelangt und sich zu einem Gesamteindruck vereint. Zusätzlich zu den Informationen, die die Sinne liefern, werden auch Erfahrungen, Wissen u.ä. eingeflochten. Das Gesehene hängt also einerseits direkt von dem externen Reiz, der in diesem Moment in das Gehirn gelangt, und andererseits von der persönlichen Vorgeschichte, die durch frühere Erwartungen oder Erfahrungen definiert wurde, ab. So können „dieselben eingehenden Informationen unterschiedlich wahrgenommen werden, je nachdem, welche Voraussetzungen beim Betrachten zum Tragen kommen“³⁵. [„The same input can thus be perceived differently depending on the priors that are brought to bear during viewing.“] Dabei muss die Wahrnehmung als komplexer und aktiver Vorgang verstanden werden, der das menschliche Streben nach Logik und Ordnung bedient. Der Mensch gleicht das Gesehene mit früheren Situationen ab, beurteilt und bewertet die Informationen und formt daraus ein Bild, welches für ihn verständlich ist. Dabei findet die Bewertung auf subjektiver und rein logisch nicht erklärbarer bzw. richtiger Empfindung statt. „Beispielsweise werden räumlich-zeitlich benachbarte Einzelelemente innerhalb einer Konfiguration subjektiv viel eher als Anzeichen einer erklärbaren inneren Strukturierung aufgefasst als mit gleicher Wahrscheinlichkeit auftretende Alternation der Elemente.“³⁶

Hinzu kommt, dass Wahrnehmung auch immer ein gewisses Maß an Reduktion und Konstruktion beinhaltet. Die enorme Kapazität des menschlichen Gehirns ist nicht ausreichend, um alle eingehenden Rohdaten aufzunehmen und weiterzuverarbeiten. So wird schon durch die bewusste Fokussierung des Auges auf ein Objekt festgelegt, was für die anschließende Wahrnehmung von erhöhtem Interesse ist. Der Mensch komprimiert die Datenmenge, indem er definiert, was vermeintlich wichtiger oder unwichtiger

³² „Wahrnehmung“ wird hier als visuelle Wahrnehmung verstanden.

³³ Vgl. Fahle 2005, S. 61.

³⁴ Vgl. Ditzinger 2013, S. 6.

³⁵ Lupyan 2015, S. 117.

³⁶ Raab 2013, S. 143.

ist.^{37,38} Was bei dem beschriebenen Vorgang der mechanischen Fokussierung auf ein bestimmtes Objekt bewusst passiert, findet jedoch an vielen Stellen im Wahrnehmungsvorgang auch unbewusst statt. Die Selektivität der Wahrnehmungssysteme führt weniger zu einem naturgetreuen Abbild der Außenwelt als vielmehr zu einem „realistischen Kernbestand“³⁹, einer „systematischen, wenngleich ausschnittshaften, hervorgehobenen und abgeschwächten Repräsentation der Welt im Gehirn, [...]“⁴⁰.

Darauf folgt die Konstruktion: „Informationen sind oft zweideutig, allgemeine Prinzipien und Vorerfahrungen führen zu einer Konstruktion und Synthese der augenblicklichen Situation. Die von den Sinnesorganen angelieferten Reize werden interpretiert und synthetisieren eine möglichst konsistente Repräsentation der Außenwelt.“⁴¹ Anders ausgedrückt: Verschiedenste Reize werden in einer Verbindung aus Logik und Gefühl zu einer „Konstruktion einer *eigenen* Wirklichkeit.“⁴² Die sogenannten kognitiven Theorien, die in der Wahrnehmungs- und Motivationspsychologie seit Beginn der Siebzigerjahre des 20. Jahrhunderts an Bedeutung gewannen, beschreiben die Reizwahrnehmung und -verarbeitung als aktive Vorgänge, die Informationen „[...] gemäß den subjektiven Regeln und auf Vorerfahrung aufbauend neu verschlüsselt (codiert) und interpretiert werden.“⁴³ Die im vorangegangenen Kapitel beschriebene Farbkonstanz ist ein weiteres Beispiel für eine offensichtliche Diskrepanz zwischen realer Welt sowie gesehener und wahrgenommener Wirklichkeit. Trotz unterschiedlicher, messbarer Eigenschaften, bspw. eines weißen Blatt Papiers in unterschiedlichen Beleuchtungssituationen, wird das weiße Blatt Papier als solches (bei mittlerer Beleuchtung) wahrgenommen. Das Gesehene stimmt rein physikalisch nicht mit dem überein, was real ist, durch Vorwissen und Erfahrung kann es trotzdem in den meisten Fällen in Einklang mit der realen Welt gebracht werden.⁴⁴

³⁷ Vgl. Roth 2005, S. 20.

³⁸ Vgl. Fahle 2005, S. 74.

³⁹ Roth 2005, S. 20.

⁴⁰ Ebd., S. 20.

⁴¹ Fahle 2005, S. 74.

⁴² Vgl. ebd., S. 74 ff.

⁴³ Raab 2013, S. 139.

⁴⁴ Vgl. Schönhammer 2013, S. 157.

verändert wahrgenommen werden. Der hier auftretende Effekt der lateralen Hemmung wird im weiteren Verlauf dieses Kapitels näher betrachtet.⁴⁶

In der Kombination dunkler und heller aneinander angrenzender Flächen wird die sogenannte Randkontrastverstärkung sichtbar. Die Augen nehmen beim Abtasten der Gitterstruktur aus schwarzen Quadraten und weißen, sich kreuzenden Linien die Kanten zwischen den sich abwechselnden Formen bzw. Farben am deutlichsten wahr. Dieser Wechsel in der Helligkeit wird in der menschlichen Wahrnehmung zusätzlich verstärkt, sodass die Kanten zwischen Schwarz und Weiß besonders klar zu erkennen sind. Beim Betrachten des Herrmann'schen Gitters kann zusätzlich zu den klaren schwarzen und weißen Strukturen ein Flimmern in den Kreuzungspunkten der weißen Linien wahrgenommen werden. Dieses Flimmern kann vom Auge nicht abschließend eingefangen bzw. fokussiert werden und erscheint in den peripheren Bereichen um den fokussierten Punkt herum. Dabei sind es zwei gleichzeitig auftretende Effekte, die hier zum Tragen kommen: Zum Einen ist das Flimmern durch die geometrische Anordnung bedingt. So ist es in den Kreuzungspunkten der fehlende Kontakt zur schwarzen Fläche, der die Bereiche dunkler erscheinen lässt. „Eine Randkontrastverstärkung kann hier also nicht in demselben Maße stattfinden wie in den anderen weißen Bereichen. Das Weiß der Kreuzungspunkte wird also durch die laterale Hemmung nicht weiter aufgehellt und erscheint deshalb dunkler!“⁴⁷ Der andere Effekt, der hier zum Tragen kommt und dafür sorgt, dass die vermeintlich dunkleren Kreuzungspunkte zu flimmern scheinen, ist die sakkadische Augenbewegung (siehe *Fovea Centralis*, Seite 8). Diese sorgt dafür, dass das Bild in kleinen sprunghaften Bewegungen zurecht geschoben wird, der Grenzbereich zwischen Weiß und Schwarz wird also ständig verschoben und von einem anderen Sehbereich auf der Netzhaut erfasst. Dies führt dazu, dass die Sehzellen auf der Netzhaut nicht auf Grund eines lange empfangenen Reizes gesättigt werden, sondern in den Bereichen „ein kontrastreiches ständiges Aufflackern der Kanten [...]“⁴⁸ beobachtet wird, da die Sehzellen immer wieder frisch auf die schwarze oder weiße Fläche ansprechen.

Die zu Beginn des Kapitels erwähnte laterale Interaktion führt neben der Randkontrastverstärkung auch zu einer Vielzahl an Farbkontrastphänomenen.

⁴⁶ Um den Rahmen nicht zu sprengen und thematisch nicht zu weit von dem Phänomen der Nachbilder abzuschweifen, werden an dieser Stelle keine weiteren optischen Sinnestäuschungen mehr beschrieben, die nicht direkt auf die Entstehung der Nachbilder einzahlen. Einen umfassenden Überblick über verschiedenste Täuschungen mit aussagekräftigen Beispielen und erstaunlichen Experimenten liefert Thomas Ditzinger in: Illusionen des Sehens.

⁴⁷ Vgl. Ditzinger 2013, S. 55 ff.

⁴⁸ Ebd., S. 122.

Die laterale Interaktion ist durch den Aufbau der Neuronen im Gehirn bedingt. Reize gelangen über die verschiedenen Sinne als elektrische Impulse in das Gehirn und werden dort weiterverarbeitet. Diese Informationsverarbeitung findet an vielen Stellen auf unterschiedlichen Ebenen simultan statt. Dabei sind die verschiedenen Nervenzellen so untereinander verknüpft, dass sie teilweise miteinander interagieren bzw. aufeinander reagieren (neuronale Rückkopplungen). Hier soll nun die laterale Inhibition bzw. Hemmung detaillierter betrachtet werden, die bspw. die Farb- und Helligkeitswahrnehmung des Menschen beeinflusst. Dieser Effekt lässt sich besonders wirkungsvoll bei verschiedenen Farbkontrastphänomenen beobachten. Für den wahrgenommenen Simultankontrast, der bei einer bunten und einer angrenzenden unbunten Fläche auftritt, ist die laterale Hemmung verantwortlich. Sie führt dazu, dass die benachbarten Neurone sich gegenseitig beeinflussen. Während einige Neurone das Grün der einen Fläche wahrnehmen, unterdrücken sie die Grünwahrnehmung der anderen Neurone. Diese werden gehemmt und sind weniger empfänglich für Grün. Diese Hemmung des grünen Bereichs des Lichts führt dazu, dass im Verhältnis mehr im Bereich des roten Lichts, also der komplementären Farbe, empfangen wird. So erscheint die unbunte Fläche neben der grünen Fläche leicht rötlich.⁴⁹ Geht man einen Schritt weiter und lässt die grüne Fläche plötzlich verschwinden und an gleicher Stelle einen weißen Hintergrund zurück, so führt die laterale Hemmung in Kombination mit der Gegenfarbentheorie (siehe *Licht und Farbe*, Seite 12) zu einem weiteren Farbkontrastphänomen, dem sogenannten Sukzessivkontrast.⁵⁰ Während die Rezeptoren auf den grünen Anteil des Lichts reagieren, solange die grüne Fläche zu sehen ist (füllt sich die grüne Waagschale aus Abbildung 8), werden gleichzeitig die Rezeptoren, die empfindlich für die roten Anteile des Lichts sind, gehemmt (die rote Waagschale steigt in die Höhe). Sobald die grüne Fläche jedoch verschwindet, kehrt sich das Ungleichgewicht für eine kurze Zeit um. Die laterale Hemmung, die Verschaltung der Gegenfarbenneuronen und der resultierende Kontrast sind Auslöser für die Entstehung farbiger Nachbilder, die im folgenden Kapitel erläutert werden.⁵¹ Die laterale Interaktion führt mittels der „Reduktion der Informationsmenge“ kurzzeitig zu einer „Verschärfung und Verstärkung der Kontraste“ und zeigt damit eine „Repräsentation der Außenwelt [...], die manchmal erheblich von der physikalisch erfassbaren Realität ab[weicht]“⁵².

⁴⁹ Vgl. Fahle 2005, S. 72.

⁵⁰ Vgl. Eysel 2011, S. 378.

⁵¹ Schönhammer 2013, S. 155.

⁵² Fahle 2005, S. 73.

Entstehung von Nachbildern

Nachbilder entstehen, nachdem der Blick und die Augen „eine Weile lang auf einen stationären visuellen Reiz, und danach auf eine homogene Fläche“⁵³ gerichtet sind und erscheinen „in der Regel in der Gegenfarbe des zuvor betrachteten Reizes“⁵⁴. Die in dieser Arbeit betrachteten Nachbilder entstehen allein durch einen vorangegangenen optischen Reiz. Sie sind zu unterscheiden von jenen Nachbildern, die in Folge mechanischer Einwirkungen, bspw. durch starkes Augenreiben oder Niesen als helle, blitzartige Erscheinungen auftreten.⁵⁵

Der Definition des Kunsthistorikers William Mitchell folgend werden Nachbilder in dieser Arbeit als wahrnehmungs- und hirnimmanente Erscheinungen verstanden, die durch einen externen Reiz ausgelöst werden. Mitchell unterteilte jegliche Bilder in fünf grundlegende Typen. Darunter definiert er neben 1.) grafischen (Gemälde und Skulpturen), 2.) optischen (Spiegelbilder) sowie 3.) mentalen (Traumbilder) und 4.) manifesten Bildern (Fotografien) auch die 5.) perzeptuellen Bilder, „die durch visuelle Wahrnehmungseindrücke im Hirn entstehen und die somit immer Teil der betrachteten Bilder sind“⁵⁶. *Visuelle Wahrnehmungseindrücke* sind in dem Falle die realen optischen Reize, die die Nachbilder auslösen. Im Zusammenhang mit Nachbildern findet sich an einigen Stellen außerdem der Begriff entoptischer Bilder oder Effekte (von griech. *entós* = innerhalb und *optikós* = optisch, also innerhalb des Sehens). Diese Bezeichnung passt im Kontext dieser Arbeit insofern, als dass Nachbilder als „visuelle Effekte, die innerhalb des visuellen Verarbeitungssystems entstehen“⁵⁷ [visual effects that originate within the visual processing system] verstanden werden können. Da diese entoptischen Bilder innerhalb des visuellen Systems entstehen, können sie auch nur vom Betrachter selbst gesehen werden.⁵⁸ Um diesen Zusatz muss Mitchells Definition dahingehend ergänzt werden, dass Nachbilder als perzeptuelle Bilder nicht nur Teil der betrachteten Bilder sind, sondern vielmehr Teil der Betrachtung selbst sind, da sie in der Wahrnehmung des Betrachters entstehen. Allerdings lassen sich unter den entoptischen Bildern auch gewisse Beeinträchtigungen des visuellen Eindrucks auf Grund verschiedener physiologischer Eigenschaften subsumieren, die jedoch nicht

⁵³ Fahle 2005, S. 93.

⁵⁴ Ebd., S. 93.

⁵⁵ Salari, Scholkmann, Vimal, Csaszar, Aslani, Bokkon 2017, S. 102 ff.

⁵⁶ Fahlenbach 2019, S. 124.

⁵⁷ Li, Sun 2021, S. 2.

⁵⁸ Vgl. Li, Sun 2021, S. 2.

für die Entstehung von Nachbildern verantwortlich sind. Nachbilder entstehen nicht auf Grund einer Beeinträchtigung des Auges, sondern als verzögerte Anpassung der Netzhautrezeptoren auf bestimmte Lichtreize. Das Entstehen eines Bildes im Gehirn, ohne dass dies ganz mittelbar an einen in das Auge einfallenden Lichtstrahl geknüpft ist, erscheint schwierig zu begreifen. Doch offenbart die Tatsache, dass Nachbilder entstehen, eine Ahnung der komplexen Verschaltung verschiedenster Komponenten zwischen den Sinnesorganen und dem Gehirn.⁵⁹ Es ist die lokale Adaptation auf der Netzhaut, die für den Sukzessivkontrast verantwortlich ist und Nachbilder hervorbringt. Die Sehzellen passen sich lokal an die empfangenen Reize an. Netzhautbereiche, die auf helle Flächen gerichtet sind, passen sich stärker an, während dunkle Flächen zu einer geringeren Adaptation der Zellen führen.⁶⁰ Dieser ungleiche Grad der Anpassung führt dazu, dass die Sehzellen auch nach Abbruch des Reizes für eine bestimmte Zeit noch *unterschiedlich kalibriert* sind. Erst nach einiger Zeit gleichen sich die Zellen bei gleicher Reizgrundlage wieder aneinander an. Normalerweise, im alltäglichen Sehen tasten die Augen automatisch und weitestgehend unbemerkt die Umwelt ständig in kleinen Bewegungen ab. Diese sakkadischen Augenbewegungen schützen vor dem Effekt, den die Lokaladaptation nach einiger Zeit hervorbringt. Die Sehzellen sind einem bestimmten Reiz nicht lang genug ausgesetzt, als dass es zu einer vollständigen Adaptation kommt. Bevor dies geschieht, hat sich die Reizgrundlage dieser Sehzellen ohnehin geändert. So verhindern die sakkadischen Augenbewegungen, „[...]dass eine Sehzelle durch den immer gleichen Farbreiz überlastet wird“⁶¹.

Nachbilder stimmen in Form und Größe mit den ursprünglichen Bildern überein. Sie unterscheiden sich bloß in ihrer Farbe. Dabei muss an dieser Stelle kurz erwähnt werden, dass es zusätzlich zu den Nachbildern, wie sie in dieser Arbeit verstanden werden (korrekte Bezeichnung: negative Nachbilder) auch positive Nachbilder gibt, die auch in der Farbe mit dem ursprünglichen Bild übereinstimmen. Diese positiven Nachbilder erscheinen jedoch nur für einen Bruchteil einer Sekunde und sind mit einer „anhaltenden Aktivität des visuellen Systems“⁶² [„most likely reflects persisting activity of the visual system“] zu erklären. Dies kann als eine Art *natürliches Delay* verstanden werden, also als die Zeit, die zwischen der Reizaufnahme, der Umwandlung der Informationen in elektrische Impulse und der Weiterleitung an das Gehirn vergeht. Unabhängig von der Dauer der Reizgrundlage erscheint das positive

⁵⁹ Vgl. Roth 2005, S. 22.

⁶⁰ Vgl. Eysel 2011, S. 366.

⁶¹ Ditzinger, S. 122.

⁶² Salari, Scholkmann, Vimal, Csaszar, Aslani, Bokkon 2017.

Nachbild für ebendiesen Sekundenbruchteil. Die Dauer und Erscheinung des negativen Nachbildes kann jedoch beeinflusst und wesentlich verlängert werden. Es gilt: je länger das Auge dem Reiz ausgesetzt ist, desto länger erscheint das (negative) Nachbild.⁶³ Außerdem ist die Helligkeit des ursprünglichen Bildes ein Faktor, der die Intensität des Nachbildes bedingt. Dies ist wiederum durch den aus der Helligkeit des Reizes resultierenden Adaptationsgrad der Sehzellen zu erklären. Ein wichtiges Charakteristikum der Nachbilder ist ihre Position im Blickfeld. Die Position des Nachbildes im Blickfeld wird durch die Fixierung eines Punktes und die Position des ursprünglichen Bildes definiert. Durch den starren Blick sind es bestimmte Bereiche an Sehzellen auf der Netzhaut, die den bestimmten Reiz empfangen. Erscheint das Nachbild, ist es der Zustand ebendieser Sehzellen, der das Nachbild auslöst. Es ist also ein definierter Bereich auf der Netzhaut, von dem der Eindruck des Nachbildes an das Gehirn gesendet wird. Wird das Auge unter dem Eindruck des Nachbildes bewegt, so bewegt sich das Nachbild mit dem Auge mit. Die Augenbewegung führt dazu, dass der Bereich der Netzhaut, der zuvor auf das ursprüngliche Bild gerichtet war, nun auf einen anderen Bereich der Umwelt ausgerichtet ist. Das Nachbild bewegt sich also mit, weil es der gleichbleibende Bereich der Netzhaut ist, welcher das Nachbild erzeugt und durch das bewegte Auge einen anderen Teil der Umwelt einfängt.

Aktueller Forschungsstand

Nachbilder als optisches Phänomen sind schon seit langer Zeit Inhalt wissenschaftlicher und künstlerischer Forschung. Zu Beginn des 19. Jahrhunderts experimentierte eine Vielzahl an Künstler*innen und Wissenschaftler*innen zur Entstehung von Nachbildern, indem sie lang in die Sonne starrten und sich so, teilweise mit bleibenden Schädigungen ihrer Augen, „die Körperlichkeit des Sehens schmerzlich bewusst [machten]“⁶⁴. „Sie kamen nicht nur zu dem Ergebnis, dass der Körper Schauplatz und Produzent chromatischer Erlebnisse war, sondern begriffen auch, dass es abstrakte optische Erfahrungen gab, das heißt ein nicht auf Objekte der Außenwelt bezogenes oder diese abbildendes Sehen.“⁶⁵ Dass Nachbilder im

⁶³ Li, Sun 2021, S. 2.

⁶⁴ Crary 2004, S. 23.

⁶⁵ Ebd., S. 23.

Körper bzw. im Auge des Menschen entstehen können und der Mensch zum Produzenten von Bildern wird, die zwar von der Außenwelt bedingt, selbst aber nicht in ihr existent sind, steht außer Frage. Die genaue Entstehung dieser nur im Auge der Betrachter*innen existierenden Bilder ist aber bis heute nicht abschließend geklärt und Forschungsinhalt unterschiedlichster Fachbereiche.

Lange Zeit hielt sich die Vermutung, „[...] Nachbilder seien primär eine Folge der Ermüdung von Neuronenpopulationen“⁶⁶. Dieser Erklärung folgend, ermüden die Zapfen nach einer langen Zeit der Reizeinwirkung, woraufhin ihre Leistungsfähigkeit abnehme. Im Vergleich zu den übrigen, unverbrauchten Zapfen reagierten sie weniger deutlich auf einen neuen Reiz. Besteht der neue Reiz nun bspw. aus weißem Licht, das von einer weißen Wand reflektiert wird, so könne dieser von den unverbrauchten Zellen in Gänze verarbeitet werden, während die ermüdeten Zellen den eingebrannten Farbeindruck vom neuen Reiz abzögen. In Anwendung der additiven Farbmischung bliebe dementsprechend die Komplementärfarbe des ersten Reizes, was zu einem Nachbild im komplementären Farbton führe.⁶⁷ Ein Ansatz, der ähnlich argumentiert wird, zielt auf das vermeintliche Gleichgewicht zwischen den unterschiedlichen Zapfen ab. Dabei erscheine ein Nachbild im komplementären Farbton, weil dieser beim Anblick des ersten Reizes unterdrückt werde und anschließend „[...] eine Zeitlang die Oberhand gewinnt.“⁶⁸

Diese Erklärung scheint allerdings nur in dem speziellen Fall anwendbar zu sein, in dem die Augen nach Adaptation des ersten Reizes auf einen neutralen Untergrund, bspw. eine weiße Wand, gerichtet werden. Jedoch entstehen auch stabile Nachbilder, wenn die Augen nach Adaptation des ersten Reizes geschlossen werden. In diesem Fall ist es folglich kein Licht, welches auf spektraler Ebene vom ersten Reiz beeinflusst wird, sondern ein Zustand der Sehzellen auf der Netzhaut, der sich nach einiger Zeit ändert. Manfred Fahle schreibt diesbezüglich von einer Rekalibrierung, die auf die Adaptation folgt, sobald der erste Reiz verschwindet. Konkret auf Bewegungsnachbilder angewandt beschreibt er es bildlich in folgendem Absatz: „Nach längerer Betrachtung eines Wasserfalles wird ein unbewegtes Objekt nicht mehr als stationär, sondern als nach oben bewegt wahrgenommen. Diese Illusion beruht vermutlich darauf, dass der „Nullpunkt“ des Systems für Bewegungswahrnehmung geändert wurde: Die stationäre Bewegungsrichtung, also null Bewegungsgeschwindigkeit, wird als

⁶⁶ Fahle 2005, S. 93.

⁶⁷ Ditzinger 2013, S. 123.

⁶⁸ Roth 2005, S. 18.

Bewegung in die Gegenrichtung interpretiert, weil der Nullpunkt für Bewegungswahrnehmung in Richtung des Wasserfalls verschoben wurde.“⁶⁹ Diese Erklärung lässt sich ebenso auf die negativen Nachbilder anwenden. Dadurch, dass die Augen dem Reiz für eine gewisse Zeit ausgesetzt sind und die automatische Adaptation nach einiger Zeit einsetzt, kalibrieren sich die Augen neu und passen sich an die gegebenen Reize an. Sobald sich die Reize plötzlich ändern, muss die Adaptation wieder rückgängig gemacht werden und die Augen sich rekalisieren.⁷⁰ Dies geschieht durch Auf- und Abbau des Sehfärbstoffes Rhodopsin, der die Hell- und Dunkeladaptation steuert, dessen Regulierung jedoch einige Zeit in Anspruch nimmt.⁷¹ Auch Walter Witting sieht die Entstehung negativer Nachbilder weniger durch reine Ermüdung der Neuronenpopulationen erklärt, als vielmehr durch die retinale Lokaladaptation. „Jene Rezeptoren auf der Netzhaut, die von hellen Partien des Gesichtsfeldes getroffen werden, senken ihre Empfindlichkeit, während umgekehrt die Sehzellen der dunklen Areale ihre Empfindlichkeit steigern.“⁷² Auf diesen Ansatz zählt auch die zu Beginn des Kapitels beschriebene laterale Interaktion ein. Örtlich nebeneinander liegende Sehzellen mit unterschiedlicher Reizgrundlage beeinflussen sich gegenseitig und werden in ihrer Leistung gesteigert oder gehemmt. Einige neuere Forschungen zur Entstehung negativer Nachbilder bei geschlossenen Augen setzen an einem anderen Ausgangspunkt für eine „photobiophysikalische Interpretation“⁷³ an. Kern dieser Forschungen ist die sogenannte „verzögerte Biolumineszenz“⁷⁴. „Bei der verzögerten Lumineszenz handelt es sich um die langfristige schwache Reemission sichtbarer Photonen aus Zellen (oder anderem Material), wenn diese mit weißem oder monochromatischem Licht beleuchtet werden. Die verzögerte Lumineszenz in den Augen ist nichts anderes als die natürliche, schwache Photonenreemission in verschiedenen Teilen des Auges während des Sehens.“⁷⁵ [„Namely, the photobiophysical source of negative afterimage may be originated from the delayed bioluminescence within the eyes. Delayed luminescence is the long-term weak re-emission of visible photons from cells (or other material) on being illuminated with a white or monochromatic light. Delayed luminescence within the eyes is nothing else as

⁶⁹ Fahle 2005, S. 93.

⁷⁰ Vgl. ebd., S. 93.

⁷¹ Vgl. Witting 2014, S. 183 ff.

⁷² Ebd., S. 189.

⁷³ Bókkon, Vimal, Wang, Dai, Salari, Grass, Antal 2011.

⁷⁴ Ebenda.

⁷⁵ Ebd.

natural low intensity photon reemission in various parts of the eyes during vision.“]

EXKURS

Transduktionsprozess

oder verzögerte Emission absorbierter Photonen

Grundlage dieser vereinfachten Erklärung bietet das Bohr'sche Atommodell: Um den positiv geladenen Atomkern befinden sich die negativ geladenen Elektronen auf mehreren Schichten. Auf der ersten Schicht um den Atomkern, der K-Schicht, ist Platz für maximal zwei Elektronen. Alle weiteren Elektronen ordnen sich auf den umliegenden Schichten an. Jede weitere Schicht (L, M, N, usw.) hat Platz für jeweils acht Elektronen. Atome haben in der Regel eine gleiche Anzahl von positiven Protonen wie negativen Elektronen und sind dadurch neutral, also weder positiv, noch negativ geladen. Es kommt jedoch vor, dass die Elektronen auf den äußeren Schichten von sogenannten Photonen (kleinsten Lichtteilchen) angeregt werden. Dabei hilft es zum Verständnis, wenn man sich die äußeren Schichten mit einem zunehmenden Energieniveau vorstellt, in welches die Elektronen wechseln können. Das Energieniveau des Photons ist entscheidend dafür, ob das Elektron in eine andere Schicht wechselt oder nicht. Wenn das Energieniveau des Photons exakt mit der Differenz zweier Schichten übereinstimmt, wird es absorbiert und ein Elektron geht auf eine weiter entfernte Schicht über. Diesen Zustand auf dem leicht höheren Energieniveau behält das Elektron jedoch nicht ewig bei, sondern springt nach einiger Zeit wieder zurück auf seine ursprüngliche Schicht. Bei dem Sprung zurück ändert sich erneut das Energieniveau und die zuvor durch das Photon aufgenommene Energiedifferenz wird nun in Form eines Photons wieder abgegeben. Dieses freigewordene Lichtteilchen wird nun nicht von einer Lichtquelle, sondern von dem Auge selbst abgestrahlt.⁷⁶

Der vereinfachte Exkurs macht deutlich, dass dieser Ansatz der Erforschung negativer Nachbilder nun in den Fachbereich der Quantenphysik hineinreicht. Es ist wissenschaftlich belegt, dass die Photonenemission in allen lebenden

⁷⁶ Vgl. <https://de.wikipedia.org/wiki/Photon>.

Zellen stattfindet.⁷⁷ Da diese Zellen in den meisten Fällen nicht die Fähigkeit besitzen, die freigewordenen Photonen zu detektieren, geschieht die Emission unbemerkt. Jedoch treffen Photonen im Auge auf Photorezeptoren, die auf ebendiese kleinsten Teilchen mit einem elektrischen Impuls reagieren und ein Bild im Gehirn generieren (Abbildung 11). Diese Theorie stützend wird in diesem Kontext das durch mechanische Belastung induzierte Nachbild erwähnt. In diesem Fall führt das Reiben der Augen, also die mechanische Energie, zur Photonenemission.⁷⁸

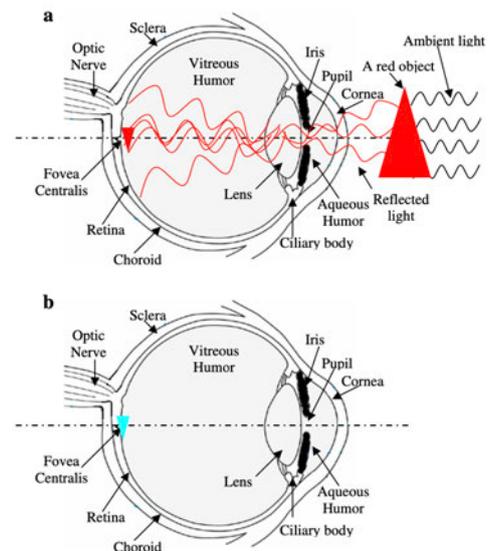


Abbildung 11: Die Entstehung von Bild und Nachbild im menschlichen Auge

03 | Praxis

In der Kunst finden Nachbildeffekte vor allem in Verbindung mit Lichtkunst statt. Dabei wird der Adaptationsvorgang meist kuratorisch berücksichtigt. Ein eindrucksvolles Beispiel dafür findet sich in der neuen Pinakothek in München: Zwei Werke des amerikanischen Künstlers Dan Flavin sind so angeordnet, dass die Besucher*innen zuerst durch einen langen Korridor entlang der grünen Barriere „Untitled (to you, Heiner, with admiration and affection)“ geleitet werden und anschließend durch einen hohen, schmalen Durchgang in den angrenzenden Raum gelangen, um schließlich auf ein Werk aus weißen Leuchtstoffröhren „'monument' for V. Tatlin VII“ zuzugehen (Abbildung 12). Durch die architektonischen Begebenheiten und die räumlichen Ausmaße des Werkes sind die Rezipient*innen dem grünen Licht eine lange Zeit ausgesetzt. Dadurch findet eine Adaptation der



Abbildung 12: Dan Flavin „Untitled (to you, Heiner, with admiration and affection)“, 1973 und „'monument' for V. Tatlin VII“, 1964

⁷⁷ Vgl. Salari, Scholkmann, Vimal, Csaszar, Aslani, Bókkon 2017, S. 103.

⁷⁸ Ebd., S. 103.

Augen statt, die dazu führt, dass das Monument aus weißen Leuchtstoffröhren an der gegenüberliegenden Wand für wenige Augenblicke rosa zu leuchten scheint. Die Augen der Besucher*innen gewöhnen sich an das grüne Licht, sodass sich im weißen Licht des angrenzenden Raumes der Sukzessivkontrast im komplementären Farbton ausbildet.

Auch in Werken James Turrells spielt die Adaptation eine große Rolle und ist entscheidende Grundlage für die daraus resultierende Wahrnehmung seiner Werke.

03.1 | Olafúr Eliasson und seine Arbeit

Das Oeuvre des dänisch-isländischen Künstlers Olafúr Eliasson (*1967) ist vielfältig, meist farbenfroh und dominiert von der Thematik naturwissenschaftlicher, physikalischer Phänomene. So nähert er sich in seinen Werken der Natur teilweise direkt und mit Hilfe natürlicher Materialien, teilweise indirekt mit Hilfe künstlicher Materialien, die die Natur imitieren. Um 2000 färbte er in dem Projekt „Green River“ das Wasser von Flüssen an mehreren Orten mit Hilfe eines ungiftigen grünen Farbstoffes ein⁷⁹ und einige Zeit später arbeitete er mit duftenden Pflanzen, was ein olfaktorisches Erleben seiner Kunst ermöglichte.⁸⁰ In der Tate Gallery of Modern Art installierte er über den Jahreswechsel von 2003/2004 eine gigantische Sonne, die im ungemütlichen Londoner Winter über mehrere Monate einen Raum künstlichen Klimas erschuf.⁸¹ Eines seiner Hauptanliegen ist die Verbindung zwischen Werk und Betrachter*innen, der gegenseitige Einfluss von Subjekt und Objekt und die sich dadurch auflösenden Grenzen dazwischen. „Sein Anliegen war es, das Potential des Betrachters stärker, das heißt aktiv in das Kunstwerk hineinzuziehen, während viele andere Künstler dieser Zeit den Betrachter eher außerhalb des Werkes ansiedelten, [...]“⁸².

Viele seiner Werke sind experimentelle Auseinandersetzungen mit Farbe - sie beschäftigen sich mit ihrer atmosphärischen Wirkung, der menschlichen Adaptation und physikalischen Phänomenen wie der Erscheinung komplementärer Nachbilder.⁸³

⁷⁹ Vgl. Olafureliasson.net: Green River.

⁸⁰ Vgl. Olafureliasson.net: Geruchstunnel.

⁸¹ Vgl. Olafureliasson.net: The Weather Project.

⁸² Broeker 2004, S. 45.

⁸³ Wikipedia: „Olafúr Eliasson“, letzter Zugriff: 4. März 2022.

So entwickelte Eliasson mehrere Arbeiten, in denen das Nachbild, welches automatisch nach längerem Betrachten des Werkes auf der Retina der Rezipient*innen entsteht, explizit zum Werk gehört und die vermeintlich passiven Betrachter*innen so zu aktiven Co-Produzent*innen seiner Werke macht.⁸⁴

„Your blue/orange afterimage exposed“, (2000)

Die beiden Arbeiten Eliassons, die sich des Phänomens der komplementären Nachbilder am offensichtlichsten zu Eigen machen, sind „Your blue afterimage exposed“⁸⁵ und „Your orange afterimage exposed“⁸⁶ aus dem Jahr 2000. Beide Werke haben den gleichen Aufbau, nutzen die gleichen Materialien und spielen mit dem gleichen Effekt - lediglich die Farbfolie vor dem Scheinwerfer ist unterschiedlich.



Abbildung 13: Olafur Eliasson „Your blue afterimage exposed“, 2000

In einem leeren Raum steht ein Profiler auf einem Dreibein-Stativ und leuchtet auf die gegenüberliegende, drei bis vier Meter entfernte, kahle Wand. Der Profiler befindet sich etwa auf Augenhöhe der Betrachter*innen (ca. 1,70m) und ist mit einem Dimmer an den Strom angeschlossen (Abbildung 13). Vor die Optik ist jeweils eine farbige Folie gespannt, die das Licht orange bzw. blau färbt. Die Blenden des Profilers sind gerade eingerückt, sodass ein Lichtkegel in Form eines exakten Quadrats mit den Abmessungen 60 x 60 cm auf der Wand entsteht (Abbildung 15). In „Your blue afterimage exposed“ (Abbildung 13) ist der umliegende Raum als der Teil der Installation in einem diffusen, dunklen Rot gehalten, wohingegen der Raum in „Your orange afterimage exposed“ (Abbildung 14) neutraler gehalten ist und nur zurückhaltend im

⁸⁴ Vgl. Olafureliasson.net: The Inside of Outside.

⁸⁵ Vgl. Olafureliasson.net: Your blue afterimage exposed.

⁸⁶ Vgl. Olafureliasson.net: Your orange afterimage exposed.

Hintergrund zusätzlich beleuchtet ist.

Betrachter*innen, die den Raum betreten, sehen die Installation mit Lichtquelle und Lichtkegel. Sie stehen vor der Wand und blicken auf den quadratischen Lichtkegel. Dieser erscheint in einem immer gleichen Rhythmus: Innerhalb von zehn Sekunden wird das Licht kontinuierlich von 0 auf 100 Prozent Helligkeit hochgedimmt, um dann 15 Sekunden lang ausgeschaltet zu bleiben. Nach den 15 Sekunden wird der Scheinwerfer

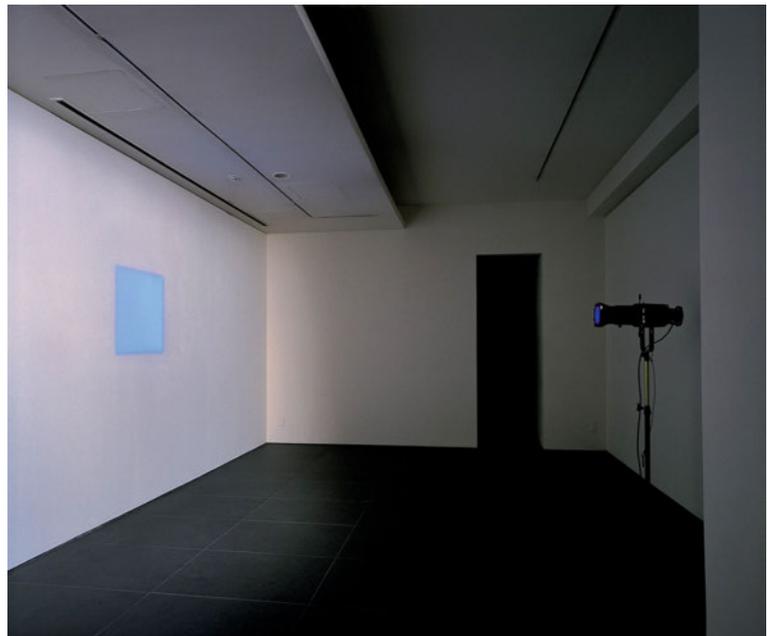
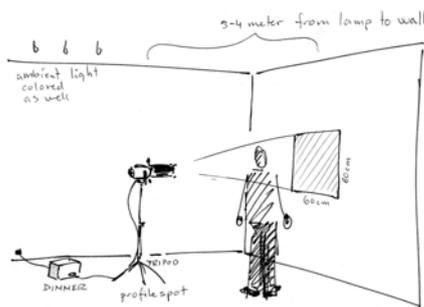
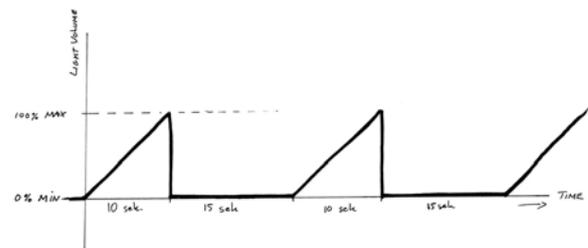


Abbildung 14: Olafúr Eliasson „Your orange afterimage exposed“, 2000

erneut innerhalb von zehn Sekunden von 0 auf 100 Prozent hochgestimmt usw. (Abbildung 16). In den zehn Sekunden, in denen die Intensität des farbigen Quadrats an der Wand stetig zunimmt, adaptieren die Betrachter*innen das farbige Licht so weit, dass sie in den darauf folgenden 15 Sekunden, in denen das Licht erloschen ist, ein Nachbild in Form eines Quadrates mit gleichen Abmessungen, allerdings mit komplementärer Färbung entwickeln. Sie sehen ein orangefarbenes bzw. blaues Nachbild.



Sketch of installation from the Tone lab



(I forgot to write i also need color filters)

Abbildung 15 + 16: Anmerkungen von Olafúr Eliasson zu „Your blue/orange afterimage Exposee“, 2000

„Your Colour Memory“, (2004) und die Idee für den Film

Auch die Installation „Your Colour Memory“⁸⁷ aus dem Jahr 2004 widmet sich der Entstehung von Nachbildern in den Köpfen der Betrachter*innen. Die Installation besteht aus einem Raum mit elliptischer Grundfläche von etwa 6 x 4 m. Die leicht versetzten Wände an einer Längsseite ergeben einen Gang, durch den die Rezipient*innen in das Werk eintreten können. Die den Eingang verlängernde Wand führt hin zur kurzen Seite der Ellipse zu einem dunklen Durchgang, der betreten werden kann, jedoch keinen eigenen Ausgang besitzt. Die Wände des Raumes scheinen aus einem kontinuierlichen Stück monochromer Farbe zu bestehen. Es sind weder Kanten, Überlagerungen noch Schattierungen auszumachen. Ungesehen von den Rezipient*innen werden die Wände von Hinten mit Hilfe fluoreszierender Leuchten in Rot, Grün und Blau beleuchtet. In additiver Farbmischung entstehen kontinuierliche Übergänge zu Cyan, Magenta und Gelb (Abbildung 16 - 21). Durch die komplette Adaptation der Augen der Rezipient*innen in dem monochromatisch ausgeleuchteten Raum entsteht in dem langsamen und gleichmäßigen Übergang von Rot zu Magenta das Nachbild des Rot. Die



Abbildung 17 - 22: Olafúr Eliasson „Your Colour Memory“, 2004

Rezipient*innen nehmen also nach dem Rot, bevor die Beleuchtung des Raumes zu Magenta gewechselt ist, für wenige Sekunden einen Grünstich wahr. Dieser Effekt entsteht als Komplementärfarbe zum vorher gesehenen Rot. Im Buch zur Ausstellung schreibt der Künstler von weiteren Ideen für Experimente zu Farben und Nachbildern:

⁸⁷ Vgl. Olafureliasson.net: Your Colour Memory.

„I also have plans for another experiment with afterimages: at some point I want to produce a movie, where half of the film is projected from the movie projector onto the screen and the other half is projected by the eyes of the people looking at it. [...] I may, for instance, show a yellow disc on the screen that remains bright for about twelve seconds. Maybe it fades slightly or increases in intensity, but only to the degree that people still manage to focus on it. There is a small amount of suspense. Will it explode? How yellow can it get? Something like this. Then it disappears, and afterwards there is nothing but ambient light and the purple afterimage of the yellow dot. The viewers will see this afterimage flying around for a while, and suddenly I may project another light image onto the screen – green, for example. Everyone will then focus on this new green dot, possibly moving into a different position, and, naturally, a red afterimage will follow. I can then potentially project an image of an afterimage, just to make things more complicated, next to the red dot, so that an artificial afterimage is also created. This experiment is not about making a traditional movie in any sense; in this respect it is not about narrative. For me it is a work of art regardless of what we call it. It is a little scientific movie about the afterimage phenomenon.“⁸⁸

In den darauf folgenden Jahren entstanden weitere Experimente zur Kombination aus realem Bild und Nachbild. Zum einen fand im Jahr 2006 eine Veranstaltung im Zeiss Großplanetarium in Berlin statt. Im dort durchgeführten „The Afterimage Experiment“ wurde im verdunkelten Planetarium "eine Sequenz verschiedener Farben projiziert"⁸⁹, bei der verschiedene Überlagerungen komplementäre Farbwahrnehmungen erzeugten.⁹⁰ Die Lichtexperimente Eliassons tauchen in der Literatur eher selten auf und es lassen sich kaum Material oder Beschreibungen von Besucher*innen finden. Auch eine Anfrage vom 21. März 2022 an das Studio Olafúr Eliasson in Berlin blieb dahingehend ohne weitere Aufschlüsse.

"Co-Producer Experiment“, (2007)⁹¹

Im „Experiment Marathon“, der im Jahre 2007 im Serpentine Gallery Pavillon in London stattfand, zeigten Künstler, Architekten und Wissenschaftler vor einem Publikum Experimente zum Thema Zeit, Raum und (andere) Realitäten

⁸⁸ Eliasson 2006, S. 77.

⁸⁹ Eliasson 2012, S. 127.

⁹⁰ Vgl. Eliasson 2012, S. 127.

⁹¹ YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=8IPxc3mAZfo>

durch Modelle, Vibrationen und Wahrnehmung. Der von Eliasson mitgegründete „Experiment Marathon“ fand jeden Freitagabend als öffentliche Veranstaltung in der Galerie statt und widmete sich der Erforschung der „Architektur der Sinne“.⁹² Eines der durchgeführten Experimente ist eine Sequenz, in der vier verschiedene Scheinwerfer teilweise überlagert auf eine dunkle Wand leuchten. Der Raum war abgedunkelt und die Scheinwerfer unterschiedlich konturiert. Zwei der Leuchten warfen einen runden Lichtkegel verschiedenen Durchmessers an die Wand, während die anderen beiden Scheinwerfer quadratische Formen unterschiedlicher Kantenlänge leuchteten. Dabei stimmten jeweils Durchmesser eines Kreises und Kantenlänge eines Quadrates überein, sodass der Kreis im Quadrat zu liegen schien. Die Sequenz, die der Künstler selbst in diesem Moment kreierte, bestand aus dem plötzlichen Einschalten, Einfaden, Überlagern, langsamen Ausfaden oder abrupten Ausschalten der vier Scheinwerfer. Zu Beginn heftete Eliasson scheinbar provisorisch einen mit einem schwarzen,

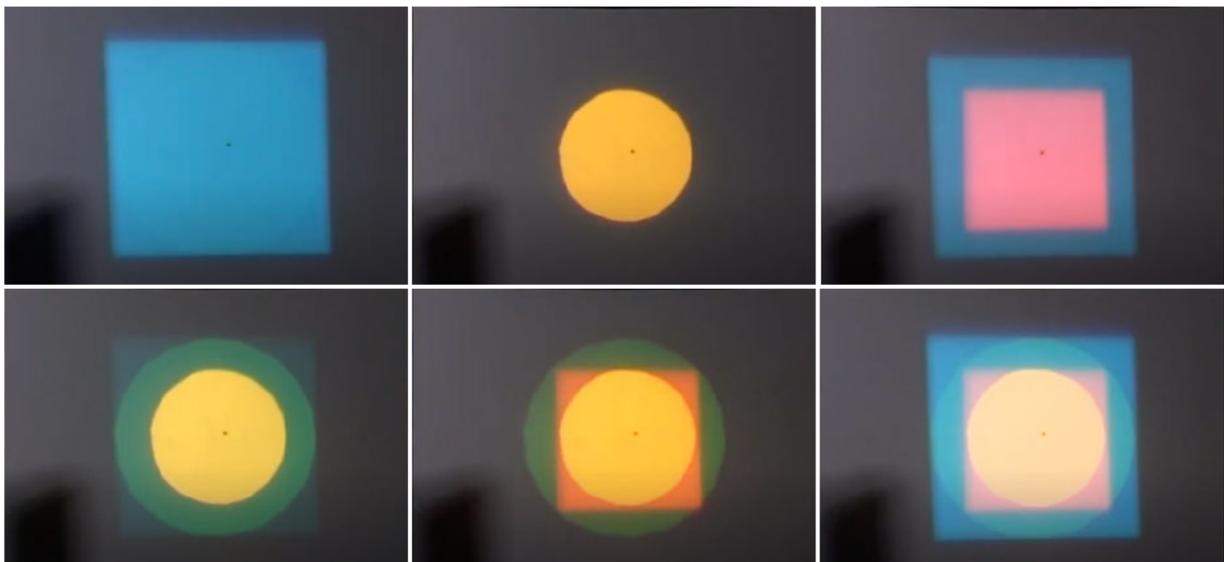


Abbildung 23 - 28: Serpentine Galleries, Experiment Marathon 2007 - Olafur Eliasson „Co-Producer Experiment“

dicken Stift auf einen Klebezettel gemalten Kreis in die Mitte der geometrischen Formen. So legte er den Fixpunkt für die Augen der Betrachter*innen fest und schuf eine Verankerung für die entstehenden Nachbilder.⁹³ Ein Aspekt, der bei diesem Experiment zum Tragen kommt, ist die additive Farbmischung des Lichtes. Überlagern sich mehrere farbige

⁹² <https://www.serpentinegalleries.org/whats-on/serpentine-gallery-pavilion-2007-olafur-eliasson-and-kjetil-thorsen/>

⁹³ Alle Informationen zu diesem Werk stützen sich auf das verlinkte YouTube-Video. Der Kanal der Serpentine Galleries hat neben dem Experiment Eliassons zum Experiment Marathon 2007 knapp 40 weitere Videos hochgeladen, in denen sich Künstler*innen experimentell verschiedensten Effekten und Phänomenen widmen.

Lichtkegel auf der Wand, so entstehen daraus nicht nur Mischfarben, sondern auch ein hellerer Lichtkegel. Es sind also nicht nur die Lichtfarben, sondern auch die Intensitäten der Lichtfarben, die sich addieren. Dieser Effekt ist auch in der computeranimierten Sequenz „After Image Experiment (hexagonal)“ aus dem Jahr 2017 genutzt worden. Bereiche, in denen sich mehrere Farben überlagern, werden immer heller, bis sie schließlich bei einer Überlagerung der drei Grundfarben (entweder Rot/Grün/Blau oder Cyan/Magenta/Yellow) eine weiße Fläche ergeben.

„After Image Experiment (hexagonal)“, (2017)⁹⁴

In einer rund dreieinhalbminütigen Sequenz werden hexagonale Formen in verschiedenen Farben vor einem grauen Hintergrund gezeigt (Abbildung 29 - 34). Dabei sind die Formen um einen mittigen Fixpunkt angeordnet und überlagern sich teilweise symmetrisch. Durch die Überlagerung der halbtransparenten Formen in strikter geometrischer Gesetzmäßigkeit entstehen zwischenzeitlich räumliche Eindrücke dreidimensionaler Formen (Abbildung 33).

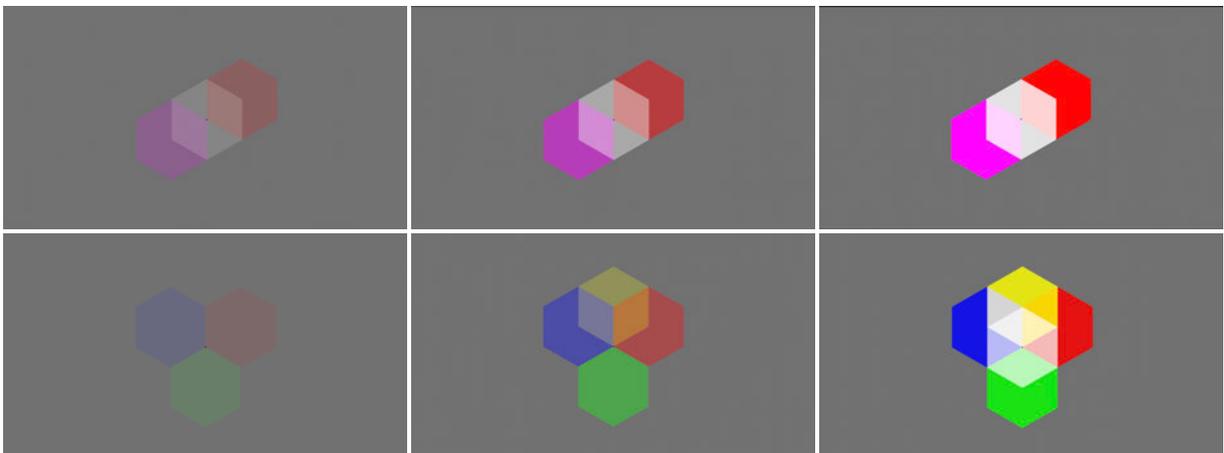


Abbildung 29 - 34: Studio Olafúr Eliasson „After Image Experiment (hexagonal)“, 2017

Eliasson nutzt in diesem digitalen Experiment teilweise die Komplementärfarbe der Formen für reale Bilder, um den Eindruck von Nachbildern zu erzeugen. Er bricht die Grenzen zwischen realem Bild und Nachbild auf und lässt den Betrachter*innen viel Raum, um einen eigenen Film in ihren Köpfen entstehen zu lassen.

⁹⁴ <https://soe.tv/video/after-image-experiment-hexagonal>

04 | Experiment

04.1 | Durchführung

Um die Experimente Olafúr Eliassons weiterzuführen, wurde im Rahmen dieser Arbeit eine Sequenz in dem Videoschnittprogramm DaVinci Resolve erstellt, die einem Ausschnitt des „Co-Producer Experiment“ nachempfunden ist. Dabei wechseln sich zwei Quadrate in Blau und Rot sowie zwei Kreise in Grün und Gelb ab, werden teils langsam oder plötzlich eingeblendet, überlagert und ausgefadet. Die Formen erscheinen in unterschiedlicher Intensität und Deckkraft. Die Überlagerung der farbigen Flächen ergibt in diesem Video, anders als in Eliassons Experimenten, keine additive Mischung (Rot + Grün + Blau = Weiß), sondern eine Überlagerung auf Grund der Teiltransparenz der Formen. Während Eliasson seine ersten Experimente mit Scheinwerfern in verdunkelten Räumen durchführte, ist dieses Experiment, wie auch das Werk „After Image Experiment (hexagonal)“, in ein digitales Umfeld transferiert. Diese veränderte Versuchsumgebung birgt einige Unsicherheiten, die es festzuhalten und auf die Ergebnisse zu beziehen gilt.

Das Experiment konnte von den Proband*innen bequem an jedem beliebigen Ort durchgeführt werden, an dem ein Monitor mit Internetverbindung zur Verfügung stand. Während das „Co-Producer Experiment“ an einem präparierten Ort durchgeführt wurde und sich alle Proband*innen in der selben Umgebung befanden, konnte das für diese Arbeit konzipierte Experiment unter unterschiedlichen Bedingungen durchgeführt werden. Um abweichende Versuchsumgebungen und externe Einflüsse möglichst gering zu halten und bewerten zu können, wurden zwei Szenarien definiert (Abbildung 35). Als

Ausgabemedium wurden zwei Klassen möglicher Bildschirmgrößen festgelegt, auf denen die Proband*innen das Video ansehen konnten. Laptops und Monitore unter 30 Zoll Bildschirmdiagonale und Fernsehgeräte mit über 30 Zoll. Die exakten Abmessungen der Bildschirme spielten dabei keine entscheidende Rolle, einzig die Einteilung in kleinere und größere

Formate sollte vorgenommen und in Bezug zur Entfernung der Proband*innen gesetzt werden. So konnte sichergestellt werden, dass der Bildschirm bei jedem Versuch einen ähnlich großen Bereich des Blickfeldes einnahm und

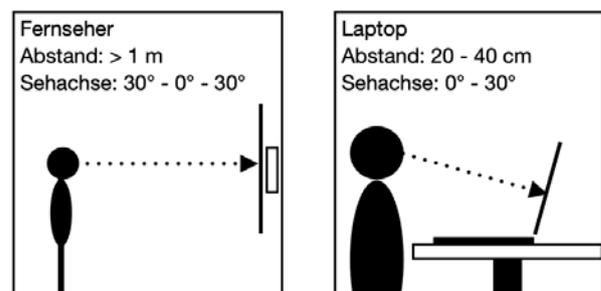


Abbildung 35: Zwei mögliche Versuchsumgebungen für die TN

sich an ähnlicher Stelle im Blickfeld der Proband*innen befand. Darüber hinaus wurden über den Fragebogen andere Faktoren, die die Ergebnisse beeinflussen konnten, festgehalten. So wurde die ungefähre Helligkeit des Raumes, das Alter der Proband*innen sowie eine eventuelle Fehlsichtigkeit und die Nutzung einer Sehhilfe abgefragt.

Um die Qualität bzw. Intensität der Nachbilder vor neutralem Hintergrund zu vergleichen, wurde die gleiche etwa einminütige Sequenz drei mal hintereinander gezeigt: je einmal vor weißem, grauem und schwarzem Hintergrund. Eliasson ließ in „Your orange/blue afterimage exposed“ die Nachbilder vor einer zurückhaltend farbig beleuchteten Wand in einem mit farbigem Umgebungslicht beleuchteten Raum entstehen. Die Räume waren bewusst (farbig) beleuchtet und lagen nicht im Dunkeln, wohingegen er das „Co-Producer Experiment“ in der Serpentine Gallery in einem abgedunkelten Raum durchführte. Die digitale Version seiner Nachbildexperimente zeigt einen mittelgrauen Hintergrund. Der Versuch vor unterschiedlichen Hintergründen soll aufzeigen, ob die Helligkeit des Hintergrundes einen erheblichen Einfluss auf die entstehenden Nachbilder hat.

Außerdem geht dieser Versuch der Frage nach, inwieweit sich die Nachbilder verändern, wenn die Proband*innen die klare Verankerung der Bilder und Nachbilder durch den mittigen Fixpunkt verlieren. Dazu wurde der Fixpunkt im ersten Schritt außerhalb der Mitte, leicht versetzt neben den farbigen Formen platziert. Im zweiten Schritt wurde das Auflösen der Verankerung intensiviert, indem der ehemalige Fixpunkt nun ein bewegliches Kreuz war, welches langsam und fließend aus der Mitte heraus zur rechten Seite des Bildschirms wanderte. Die beiden Sequenzen mit Variation bezüglich des Fixpunktes schlossen an die drei Sequenzen zu den unterschiedlichen Hintergrundfarben an, sodass das Video insgesamt fünf Sequenzen nacheinander zeigte. Abschließend wurde in einem letzten Versuch untersucht, ob Nachbilder trotz geschlossener Augen wahrgenommen wurden, indem die Proband*innen auf eine farbige Form blickten und ihre Augen nach 20 Sekunden schlossen.

Um einen ersten Eindruck über die Auswirkungen erhalten zu können, wurden mindestens 15 Proband*innen gesucht, die das Video ansahen und anschließend den Fragebogen beantworteten.

Die Proband*innen erhielten einen Link zum Experiment, der nach einer kurzen thematischen Einleitung auch Informationen zum Ablauf enthielt. Das Video aus den fünf gleichen Sequenzen wurde direkt darunter eingebunden, sodass die Teilnehmenden weder das Medium noch das Dokument nach dem Ansehen des Videos zum Beantworten der Fragen wechseln mussten.

Für das Experiment wurde das Tool LamaPoll verwendet. Nach einem Vergleich unterschiedlicher Tools stellte sich dieses als besonders geeignet heraus, da es eine individuelle Bearbeitung jeder Fragen ermöglichte und

durch einstellbare, bedingte Sichtbarkeit sowie Kodierungen Wenn-Dann-Verknüpfungen zuließ. So wurden den Proband*innen einige Fragen, einer Logik folgend, nur dann angezeigt, wenn vorherige Antworten bestimmte Bedingungen erfüllten.

Außerdem ließen sich sowohl das Video der fünf Sequenzen als auch das Video mit integriertem Countdown direkt über LamaPoll integrieren, ohne dass ein externes Hosting notwendig wurde. Für die Auswertung stellte das Tool die Daten in verschiedensten Formaten bereit.

Die Erhebung der Daten fand anonymisiert statt, sodass personenbezogene Daten keinen Rückschluss auf die Teilnehmenden zuließen.

Im Folgenden werden die Inhalte des Fragebogens wiedergegeben.

Thematische Einleitung des Experiments für die Proband*innen

Im Rahmen meiner Abschlussarbeit im Fach Medientechnik an der HAW Hamburg führe ich eine Untersuchung zu der Entstehung von Nachbildern durch. Dabei sind verschiedene Faktoren, die die Intensität, Stabilität und Beschaffenheit der Nachbilder beeinflussen von besonderer Bedeutung.

Nachbilder entstehen automatisch im Kopf, sobald das Auge eine gewisse Zeit lang einem bestimmten Reiz ausgesetzt war. Voraussetzung dafür ist ein fixierter Blick auf einen definierten Punkt, um Augenbewegungen zu minimieren. Dieser Fixpunkt ist im folgenden Video durch ein kleines Kreuz gekennzeichnet. Versuche, das Kreuz während der gesamten Zeit zu fixieren - egal ob es mittig oder seitlich liegt, oder ob es sich bewegt.

Das Video besteht aus fünf gleichen Sequenzen, in denen Formen in verschiedenen Farben auftauchen und verschwinden. Bitte beantworte die Fragen, nachdem Du das Video bis zum Ende angesehen hast.

Sollte Dir das alles zu schnell gegangen sein, schau Dir das Video gern erneut an und beantworte anschließend die Fragen.

Ablauf

- Der Versuch dauert etwa 20 Minuten (10 Minuten Video, 10 Minuten Fragebogen).
- Führe diesen Versuch an einem Laptop, Monitor oder über einen Fernseher durch.
- Du kannst den Raum, in dem Du sitzt, verdunkeln.
- Positioniere Dich wie abgebildet vor dem Bildschirm:

- Schaue Dir das Video ohne Unterbrechungen in einem Stück an und achte darauf, dass ablenkende Faktoren minimiert sind.
- Öffne das Video im Vollbildmodus. (Zwei Pfeile oben links im Player)

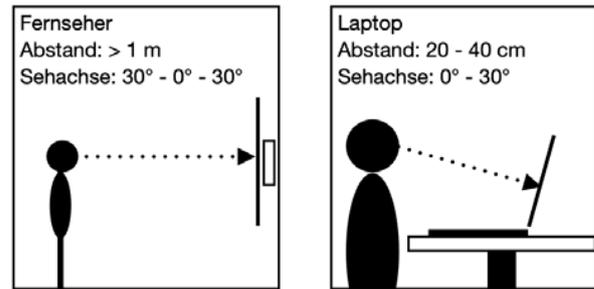


Abbildung 35: Zwei mögliche Versuchsumgebungen für die TN

Fragen

1. Ich habe Nachbilder gesehen.

Ja / Nein

Zusatz: Du bist dir unsicher? Nimm dir gern die Zeit und schau dir die Sequenzen erneut an.

2. Die Nachbilder hatten die gleichen Formen, wie die vorangegangenen Formen.

Ja / Nein

3. Die Nachbilder hatten den gleichen Farbton, wie die vorangegangenen Formen.

Ja / Nein

3.1 (wenn 3.: Ja) Die Nachbilder hatten

- den gleichen Farbton, aber waren heller
- den gleichen Farbton, aber waren dunkler

3.2 (wenn 3.: Nein) Die Nachbilder hatten den komplementären Farbton

Ja / Nein

4. Die Nachbilder hatten unterschiedliche Intensitäten, je nach Hintergrund.

(Weiß/Grau/Schwarz)

Ja / Nein

4.1 (wenn 4.: Ja) Die Nachbilder hatten die höchste Intensität auf dem

- weißen Hintergrund
- grauen Hintergrund
- schwarzen Hintergrund

4.2 (wenn 4.: Ja, ohne Antwort aus 4.1) Die Nachbilder hatten die niedrigste Intensität auf dem

- weißen Hintergrund
- grauen Hintergrund

- schwarzen Hintergrund

5. Ich habe Nachbilder gesehen, als der Fixpunkt aus der Mitte entrückt war.

Ja / Nein

5.1 (wenn 5.: Ja) Die Nachbilder waren

- intensiver vor dem mittig liegenden Fixpunkt
- intensiver vor dem seitlich liegenden Fixpunkt
- in beiden Fällen von gleicher Intensität

6. Ich habe Nachbilder gesehen, als sich der Fixpunkt bewegt hat

Ja / Nein

6.1 (wenn 6.: Ja) Wie lang konntest du die Nachbilder mit bewegtem Fixpunkt im Vergleich zum festen Fixpunkt sehen?

- kürzer
- genau so lang
- länger

6.2 (wenn 6.: Ja) Wie deutlich konntest du die Nachbilder mit bewegtem Fixpunkt im Vergleich zum festen Fixpunkt sehen?

- weniger deutlich
- genau so deutlich
- deutlicher

6.3 (wenn 6.: Ja) Mit bewegtem Fixpunkt haben sich die Nachbilder bewegt.

- ja, mit gleicher Geschwindigkeit
- ja, mit anderer Geschwindigkeit
- nein.

6.4 (wenn 6.: Ja) Mit bewegtem Fixpunkt konnte ich das Nachbild sehen, während die vorangegangene Form noch sichtbar war.

Ja / Nein

6.5 (wenn 6.: Ja) Mit bewegtem Fixpunkt konnte ich Farbverläufe in den dargestellten Formen sehen.

Ja / Nein

7. Ich habe zusätzlich zu den Nachbildern andere Effekte beobachtet:

[Freitext]

8. Schau auf den Counter und schließe bei 00 für einige Sekunden Deine Augen (Rotes Quadrat mit Counter in der Mitte, der von 20 runterzählt) Hast Du mit geschlossenen Augen ein Nachbild gesehen?

Ja / Nein

Persönliche Angaben

9. Ich habe das Video angesehen auf einem

- Smartphone / Tablet (unter 13“)
- Laptop / Monitor (13“-30“)
- Fernseher (über 30“)

10. Der Raum in dem ich mich befinde ist

- taghell
- leicht abgedunkelt
- sehr dunkel

11. Mein Alter

- unter 20 Jahre
- 20 - 29 Jahre
- 30 - 39 Jahre
- 40 - 49 Jahre
- 50 - 59 Jahre
- 60 - 69 Jahre
- 70 Jahre oder älter

12. Ich habe eine diagnostizierte Fehlsichtigkeit (Mehrfachauswahl möglich)

- Weitsichtig
- Kurzsichtig
- Farbfehlsichtig

13. Ich nutze eine Sehhilfe

- Brille
- Kontaktlinsen
- Nein

14. Kommentare und Anmerkungen

[Freitext]

04.2 | Auswertung

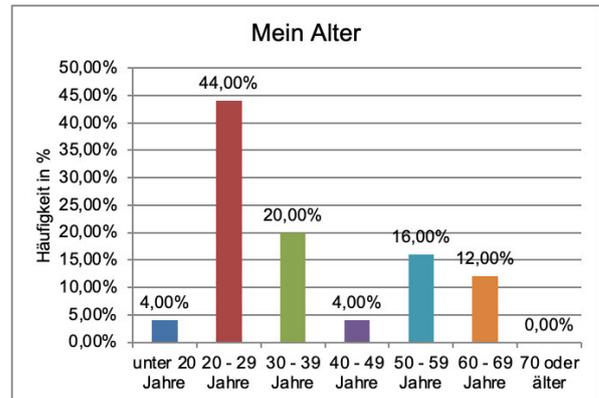
An dem Experiment nahmen insgesamt 28 Teilnehmer*innen (im folgenden TN abgekürzt) teil, von denen 25 die Umfrage mit der Beantwortung aller Fragen beendeten. Drei TN haben den Fragebogen begonnen, jedoch an unterschiedlichen Punkten abgebrochen und lieferten somit keine vollständigen Datensätze. Die 25 vollständigen Datensätze bilden die Grundlage für die folgende Auswertung.

Die TN verteilen sich ungleichmäßig über die festgelegten Altersgruppen (D1). Während die Gruppe der 20 bis 29-jährigen am größten ist, bestehen die Gruppen der unter 20-jährigen sowie 40 bis 49-jährigen nur je aus einem*einer TN. Aus der Gruppe 70 Jahre oder älter nahm kein*keine TN an diesem Experiment teil. Diese unausgewogene Verteilung muss bei der Auswertung berücksichtigt werden. Innerhalb der Gruppe der vollständig abgeschlossenen Fragebögen machten zwei Drittel der TN (17 von 25) Angaben zu diagnostizierten Fehlsichtigkeiten (D2), die sie in den meisten Fällen mit Hilfe einer Sehhilfe ausgleichen (15 von 25, davon 1 x Kontaktlinsen, 14 x Brille) (D3).

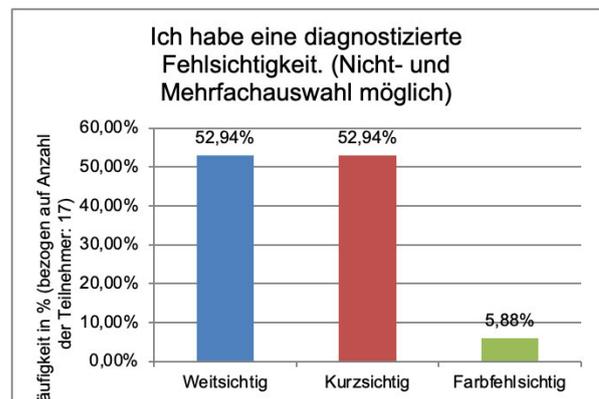
Die Versuchsumgebung, in der die TN das Experiment durchführten, wurde mittels zweier Parameter erfasst: Die Bildschirmdiagonale des genutzten Gerätes sowie die Helligkeit des Raumes.

Während zwei der 25 TN die Sequenzen auf einem Bildschirm mit einer Diagonalen über 30 Zoll ansahen, gaben die anderen 23 TN an, einen Laptop oder Monitor unter 30 Zoll Bildschirmdiagonalen genutzt zu haben.

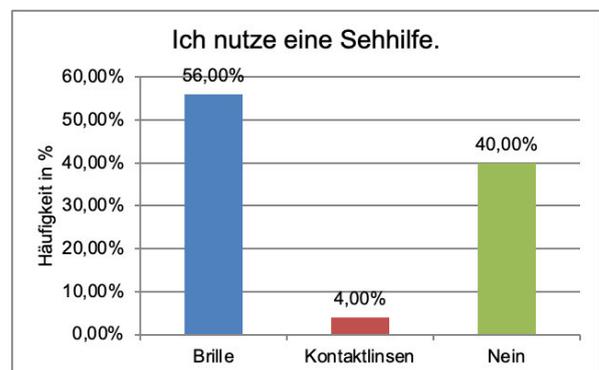
Die Helligkeit des Raumes wurde in drei



(D1) Ohne Filter über 25 TN (alle beendet)

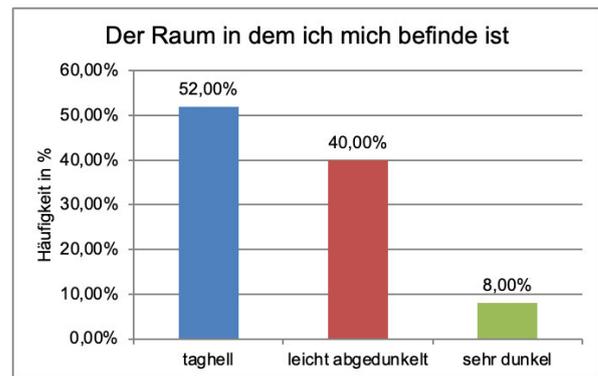


(D2) Filter: Nachbild und Fehlsichtigkeit (17 von 24 TN)



(D3) Ohne Filter über 25 TN (alle beendet)

Klassen unterteilt. Die größte Gruppe der TN (13 von 25 TN) gab die Helligkeit des Raumes als *taghell* an. Zehn TN gaben an, das Experiment in einem leicht abgedunkelten Raum durchgeführt zu haben, während die übrigen zwei TN sich während des Experimentes in einem sehr dunklen Raum befanden (D4).



(D4) Ohne Filter über 25 TN (alle beendet)

Hypothese 01:

Alle TN, unabhängig der Altersgruppen, Fehlsichtigkeiten, Sehhilfen, Größe des Bildschirmes und Helligkeit im Raum, sehen Nachbilder.

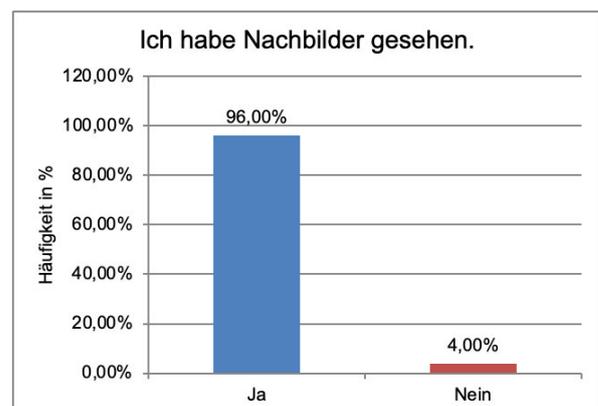
Von den insgesamt 25 TN, die das Experiment bis zum Ende durchgeführt haben, bestätigten 24 TN, Nachbilder gesehen zu haben (D5). Lediglich ein*e TN verneinte die Frage nach den entstandenen Nachbildern. Diese*r TN verneinte darüber hinaus auch die Frage nach Nachbildern mit geschlossenen Augen.

Altersgruppen

Der*die TN, der*die angab keine Nachbilder gesehen zu haben, gehört zum Alterssegment *unter 20 Jahre*. Da dies der einzige in diesem Segment erfasste Datensatz ist, lässt sich nicht mit Sicherheit feststellen, ob das Sehen von Nachbildern unmittelbar durch diesen Parameter beeinflusst wird. Darüber hinaus ließen sich keine TN im Segment *70 oder älter* finden, weshalb die Hypothese bezüglich des Alters der TN nur eingeschränkt bestätigt werden kann.

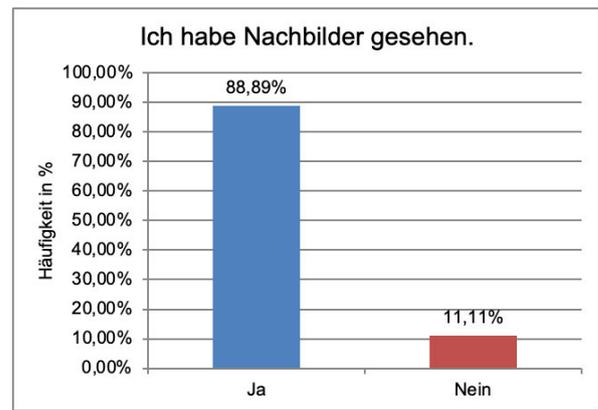
Fehlsichtigkeiten und Sehhilfen

Zwei Drittel der TN (17 von 25) machten Angaben zu diagnostizierten Fehlsichtigkeiten und 15 von ihnen zusätzlich eine Angabe zur verwendeten Sehhilfe. Die Gruppe der TN mit diagnostizierter Fehlsichtigkeit ist somit groß genug, um als Grundlage für ein belastbares Ergebnis über den Einfluss von Fehlsichtigkeit auf die Entstehung von Nachbildern zu dienen. Der Datensatz



(D5) Ohne Filter über 25 TN (alle beendet)

der*des TN, der*die keine Nachbilder sehen konnte, liefert eine Angabe zur diagnostizierten Weitsichtigkeit und der Verwendung einer Brille. Im Vergleich zu den anderen Datensätzen mit ebendiesen Angaben (Weitsichtigkeit und Brille) lässt sich keine Korrelation ablesen. Alle anderen acht TN, auf die diese Filterung zutrifft, konnten Nachbilder sehen (D6). Die Hypothese 01 kann also in Bezug auf die Unabhängigkeit zwischen dem Wahrnehmen von Nachbildern und diagnostizierten Fehlsichtigkeiten bestätigt werden.



(D6) Filter: Weitsichtigkeit und Brille (9 von 25 TN)

Bildschirmgröße

Lediglich zwei TN führten das Experiment auf einem Bildschirm mit einer Diagonalen über 30 Zoll durch. Die Antworten der beiden TN zeigen keine signifikanten Abweichungen zu den Antworten der übrigen 23 TN, die einen Laptop oder Monitor unter 30 Zoll Bildschirmdiagonale nutzten. Beide gaben an, Nachbilder sowohl mit geöffneten als auch mit geschlossenen Augen gesehen zu haben. Die Hypothese ist im Kontext dieses Parameters bestätigt, jedoch lässt sich wegen einer zu geringen Gesamtanzahl an TN keine valide und allgemeingültige Aussage über den Einfluss der Bildschirmgröße treffen.

Helligkeit des Raumes

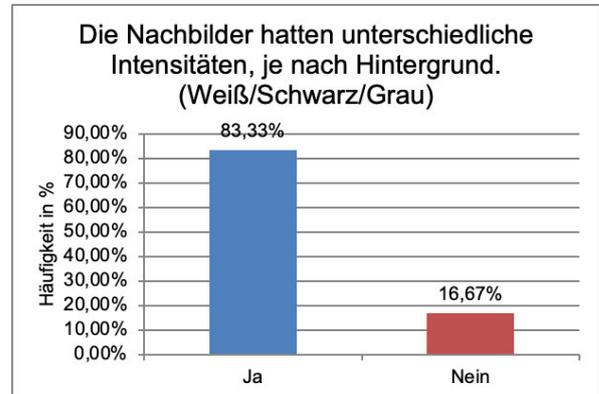
Die Verteilung über die drei unterschiedenen Helligkeiten des Raumes, in dem die TN das Experiment durchführten, ist nicht gleichmäßig. Die kleinste Kohorte wird lediglich von zwei TN gebildet, die angaben, das Experiment in einem sehr dunklen Raum durchgeführt zu haben. Beide gaben an, Nachbilder gesehen zu haben, sodass die Hypothese bezüglich der Unabhängigkeit der Nachbilder von der Helligkeit des Raumes bestätigt werden kann, jedoch erneut mit dem Zusatz der sehr geringen Datenmenge versehen werden muss.

Abschließend konnte Hypothese 01 durch das Experiment größtenteils bestätigt werden. Einzig für die Altersgruppen unter 20 Jahre sowie über 70 Jahre kann sie mit den vorliegenden Daten nicht eindeutig bestätigt werden.

Hypothese 02:

Die Intensität der Nachbilder hängt von der Farbe des Hintergrundes und der Helligkeit des Raumes ab.

20 der 24 TN, die bestätigten, Nachbilder gesehen zu haben, gaben zusätzlich an, Unterschiede in den Intensitäten der Nachbilder wahrgenommen zu haben (D7).



(D7) Filter: Nachbild (24 der 25 TN)

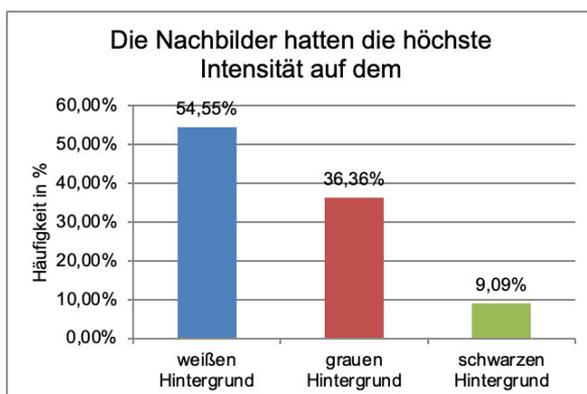
Farbe des Hintergrundes

Dabei war es in 50 Prozent (10 der 20 TN) dieser Fälle der graue Hintergrund, auf dem die Nachbilder die höchste Intensität aufwiesen. 40 Prozent (8 der 20 TN) gaben an, die Nachbilder mit höchster Intensität vor weißem Hintergrund gesehen zu haben. Lediglich zehn Prozent der TN (2 der 10 TN) sahen die Nachbilder mit höchster Intensität vor dem schwarzen Hintergrund.

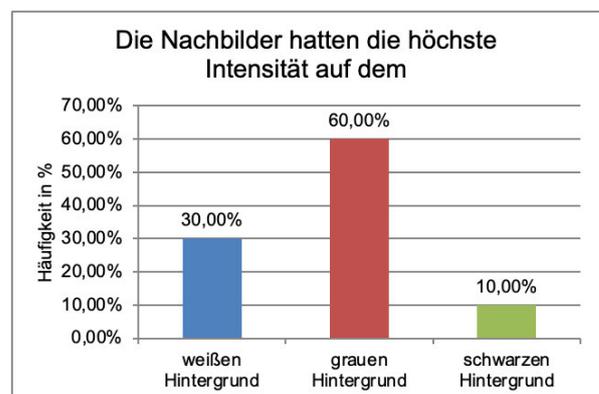
Im nächsten Schritt wurde zusätzlich die Helligkeit des Raumes untersucht und ein Zusammenhang zur Hintergrundfarbe geprüft.

Helligkeit des Raumes

Differenziert wurde nach taghellen, leicht abgedunkelten und sehr dunklen Räumen. Während die Intensität der Nachbilder in taghellen Räumen bei sechs der elf TN vor dem weißen Hintergrund am höchsten war (rund 55 Prozent) (D8), so war es in leicht abgedunkelten und dunklen Räumen bei sechs von zehn TN der graue Hintergrund, der Nachbilder mit der höchsten Intensität hervorbrachte (60 Prozent) (D9). Die Anzahl von zwei TN, die dieses Experiment in sehr dunkler Umgebung durchgeführt haben ist zu klein, als



(D8) Filter: Nachbild und tagheller Raum (11 der 24 TN)



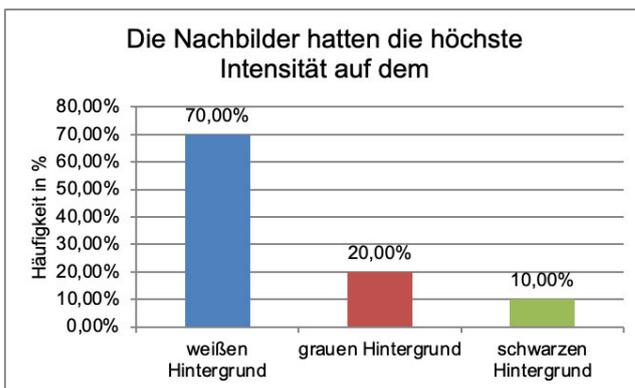
(D9) Filter: Nachbild und leicht abgedunkelter und sehr dunkler Raum (10 von 24 TN)

dass diese Gruppe allein betrachtet werden könnte. Die hier ausgewerteten Ergebnisse stützen die Vermutung, dass die Helligkeit des Raumes die Intensität der Nachbilder direkt beeinflusst.

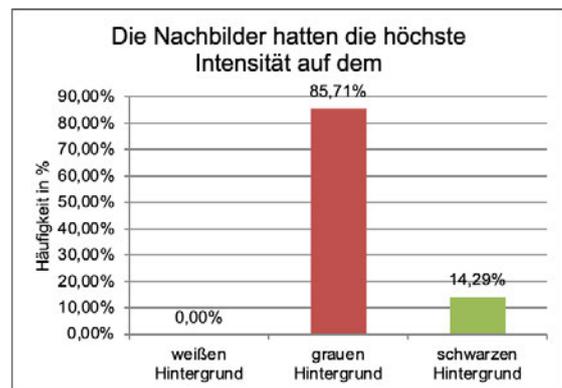
Ein weiterer, sehr interessanter Aspekt, der sich in Verbindung zur Intensität der Nachbilder je nach Hintergrund zeigt, ist die Abhängigkeit vom Alter der TN.

Altersgruppen

Während sieben der zehn TN in der Kohorte 20 - 29 Jahreangaben, Nachbilder mit der höchsten Intensität vor dem weißen Hintergrund gesehen zu haben (D10), ist es (die Kategorie 30 - 39 Jahre überspringend) in der Kohorte ab 40 Jahre mit 85 Prozent der graue Hintergrund, vor dem die Nachbilder die höchste Intensität aufwiesen (6 der 7 TN) (D11). Die Kohorte der TN im Alter zwischen 30 und 39 Jahre markiert einen Bruch. Während rund 90 Prozent der jüngeren sowie der älteren Gruppeangaben, einen

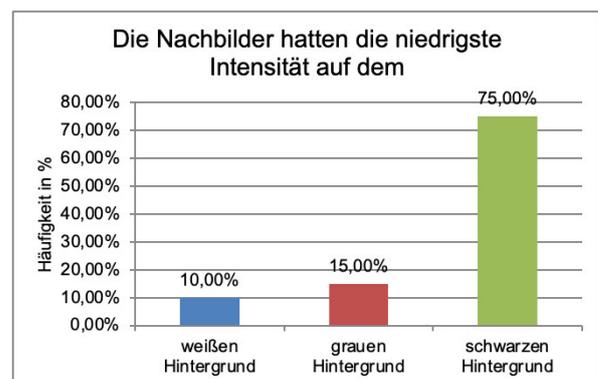


(D10) Filter: Nachbild und 29 Jahre und jünger (10 von 24 TN)



(D11) Filter: Nachbild und 40 Jahre und älter (7 von 24 TN)

Unterschied in den Intensitäten wahrgenommen zu haben, waren es in der Gruppe 30 bis 39 Jahre bloß rund 60 Prozent. Während die Zuordnung nach höchster Intensität auf Weiß bzw. Grau in beiden Gruppen eindeutig ausfiel, waren es in der Gruppe 30 bis 39 Jahre genau 50 Prozent auf ebendiese Hintergründe. Um hier eine zuverlässige Aussage über die Abhängigkeit nach Alter treffen zu können, müsste eine größere Gruppe an TN in jenem Alterssegment befragt werden. Über alle Gruppen hinweg lässt sich jedoch deutlich ablesen, dass die geringste Intensität der Nachbilder mit 75 Prozent vor dem schwarzen Hintergrund gesehen wurde (18 der 24 TN) (D12).



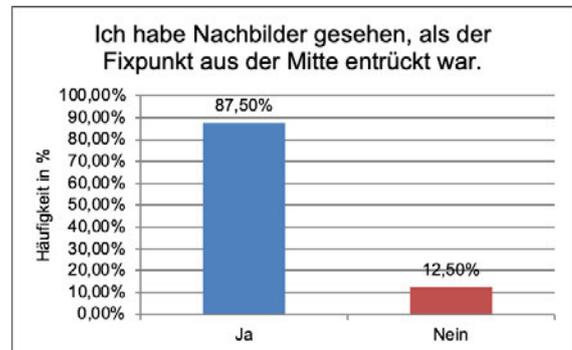
(D12) Filter: Nachbild (24 der 25 TN)

Hypothese 03:

Die Beschaffenheit der Nachbilder ist am stabilsten, wenn der Fixpunkt statisch in der Mitte der Formen liegt.

Aus der Mitte entrückter Fixpunkt

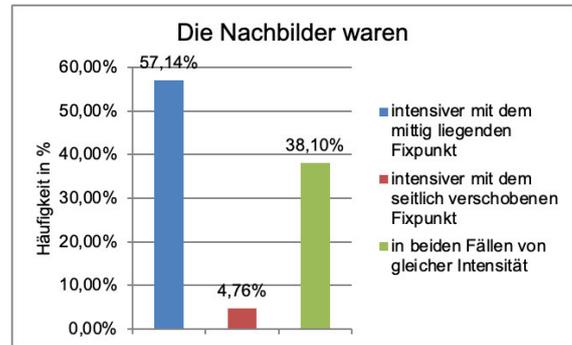
21 der 24 TN, die Nachbilder gesehen haben, haben diese auch gesehen, als der Fixpunkt seitlich aus der Mitte entrückt war (D13). Von diesen 21 TN gaben zwölf TN jedoch an, dass die Intensität der Nachbilder am höchsten war, als der Fixpunkt mittig lag. Die übrigen neun TN nahmen die Intensität der Nachbilder dagegen als gleich hoch oder sogar höher wahr (D14).



(D13) Filter: Nachbild (24 der 25 TN)

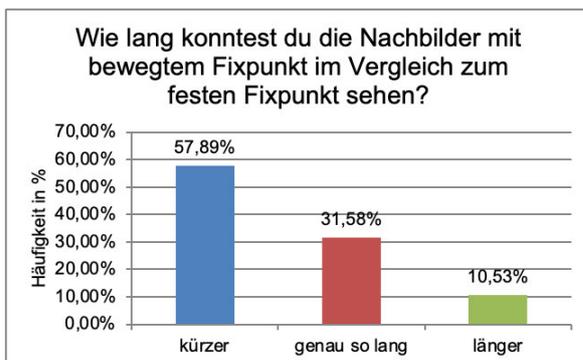
Bewegter Fixpunkt

Die weiteren Untersuchungen zeigen darüber hinaus, dass 19 der 24 TN Nachbilder auch mit bewegtem Fixpunkt sehen konnten. Während elf dieser 19 TN dabei angaben, die Nachbilder mit dynamischem Fixpunkt kürzer als mit statischem Fixpunkt gesehen zu haben, waren es sechs TN, die die Nachbilder genau so lang und zwei TN, die sie sogar länger gesehen haben (D15).

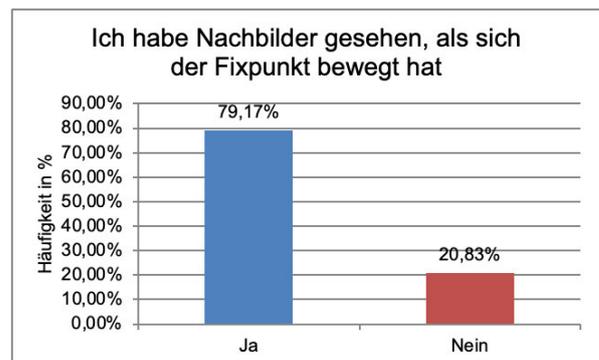


(D14) Filter: Nachbild mit entrücktem Fixpunkt (21 der 25 TN)

Auffällig, wenn auch nur marginal, ist jedoch, dass sich die Anzahl derer, die kein Nachbild sahen, vergrößerte, je variabler der Fixpunkt platziert wurde. Während mit zentriertem, statischen Fixpunkt nur vier Prozent der TN (1 der 25 TN) kein Nachbild sehen konnten, waren es mit entrücktem statischen



(D15) Filter: Nachbilder mit bewegtem Fixpunkt (19 der 25 TN)



(D16) Filter: Nachbild (24 der 25 TN)

Fixpunkt bereits 12,5 Prozent (3 der 24 TN) und mit bewegtem Fixpunkt sogar 20,8 Prozent (5 der 24 TN) der TN, die keine Nachbilder sehen konnten (D16). Die Hypothese der größten Stabilität der Nachbilder mit zentriertem, statischen Fixpunkt kann mit den beschriebenen Erkenntnissen also teilweise bestätigt werden. Es muss jedoch zusätzlich festgehalten werden, dass die Anzahl derer, die die Intensität der Nachbilder bei statischem und bewegtem Fixpunkt als gleich wahrgenommen haben mit 38,1 Prozent (8 der 21 TN) sehr hoch ist und die vorherige Aussage relativiert.

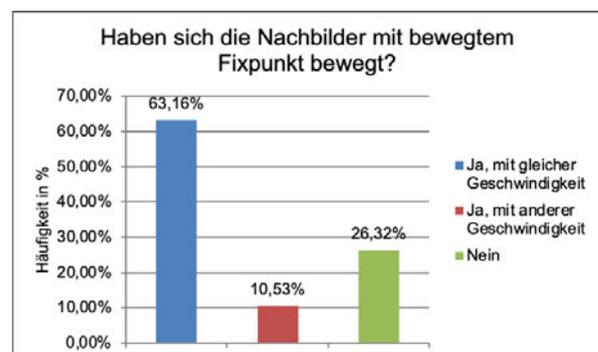
Hypothese 04:

Bewegt sich der Fixpunkt, bewegen sich die Nachbilder mit ihm.

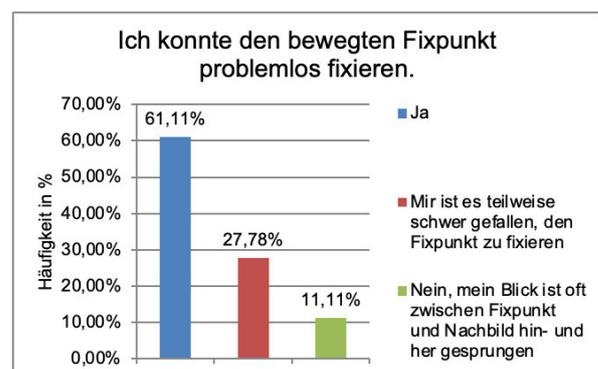
14 der 19 TN, die Nachbilder auch mit bewegtem Fixpunkt gesehen haben, konnten im Zuge der Untersuchung zum dynamischem Fixpunkt eine Bewegung der Nachbilder wahrnehmen, die in etwa 63 Prozent der Angaben (9 der 14 TN) der Geschwindigkeit des Fixpunktes entsprach (D17). Zwei TN konnten eine Bewegung des Nachbildes mit anderer Geschwindigkeit im Vergleich zur Geschwindigkeit des Fixpunktes wahrnehmen.

Eine Ursache für die abweichend wahrgenommene Geschwindigkeit könnte im Fixieren des Fixpunktes selbst liegen. Die Bewegung des Nachbildes ist nämlich direkt an die Bewegung des Auges selbst gekoppelt. Nun kann es allerdings auch mit bewegtem Fixpunkt zu einer andersartigen Bewegung des Auges und somit einer andersartigen Bewegung des Nachbildes kommen. Es kann keine Aussage darüber getroffen werden, wie exakt die TN den Fixpunkt während des gesamten Experiments fixiert haben oder inwieweit der Blick zwischen Bild und Fixpunkt hin- und hergesprungen ist. Allein die Abfrage hierzu führt zu subjektiven Angaben und birgt damit Potenzial für Ungenauigkeiten.

Über ein Drittel der TN (7 der 18 TN) gab an, zumindest teilweise Schwierigkeiten gehabt zu haben, den bewegten Fixpunkt zu fixieren (D18).



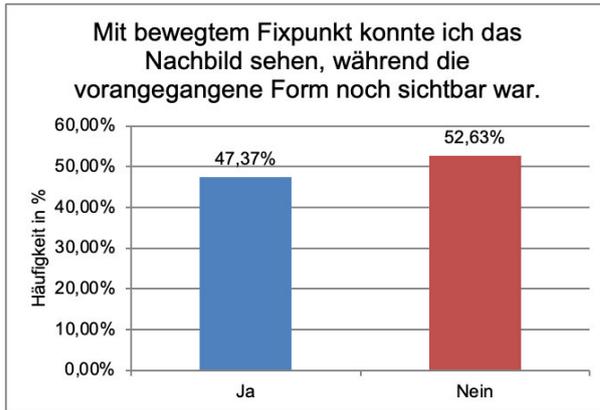
(D17) Filter: Nachbilder mit bewegtem Fixpunkt (19 der 25 TN)



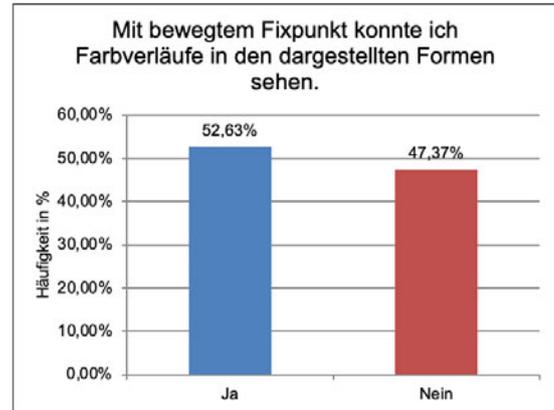
(D18) Filter: Nachbilder mit bewegtem Fixpunkt (18 der 25 TN)

Hypothese 05:**Mit bewegtem Fixpunkt entstehen zusätzliche Nachbild-Effekte.**

Die Untersuchung bezüglich zusätzlich zu den Nachbildern auftretender Effekte lässt keine eindeutige Erkenntnis zu. Es wird jedoch deutlich, dass Effekte eintreten, die das bloße Erscheinen von Nachbildern ergänzen. So gaben neun TN an, dass sich das Erscheinen des Nachbildes mit dem eingeblendeten Bild zeitlich überschneidet (D19). Weiter gaben zehn der TN an,



(D19) Filter: Nachbilder mit bewegtem Fixpunkt (19 der 25 TN)



(D20) Filter: Nachbilder mit bewegtem Fixpunkt (19 der 25 TN)

Farbverläufe in den dargestellten Formen gesehen zu haben, die damit begründet werden können, dass Nachbilder zeitgleich mit realen, dargestellten Formen zu sehen und nicht klar voneinander abzugrenzen waren (D20).

In den Antworten der Freitextfelder wird zudem deutlich, dass 1.) spezielle Einzelheiten und zusätzlich auftretende Effekte sehr subjektiv wahrgenommen wurden und 2.) die Sprache als Werkzeug nur bedingt ausreichte, diese zu beschreiben (D21).

TN1:

„Ich hatte in einigen Fällen das Gefühl, dass wenn sich das Nachbild bei dem bewegten Fixpunkt in die anderen Formen hineinbewegt, die eine andere Farbe als das Nachbild haben, das Nachbild ausgelöscht wird.“

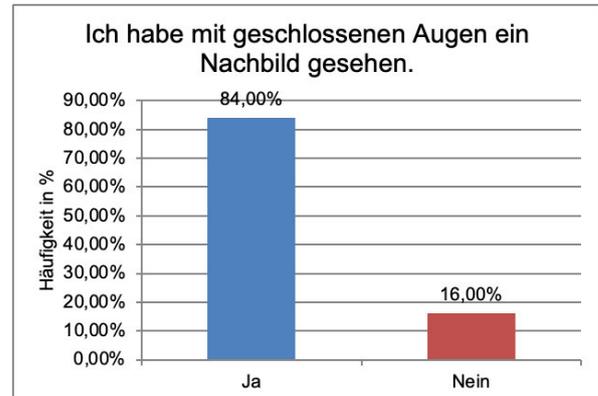
TN2:

„Bei bewegtem Fixpunkt "flossen" Nachbilder in Bewegungsrichtung „aus“.“

(D21) Antworten aus Freitextfeld zur Frage nach weiteren Effekten.

Hypothese 06:**Nachbilder lassen sich auch mit geschlossenen Augen wahrnehmen.**

21 der 25 TN gaben an, nach dem Herunterzählen des 20-sekündigen Countdowns mit geschlossenen Augen ein Nachbild gesehen zu haben (D22). Die Gruppe der vier TN, die mit geschlossenen Augen kein Nachbild gesehen hat, lässt sich nicht eindeutig anhand eines Parameters kategorisieren. Aus den Datensätzen lässt sich daher kein Zusammenhang zwischen abgefragten Parametern und der Wahrnehmung von Nachbildern mit geschlossenen Augen herstellen.



(D22) Ohne Filter über 25 TN

TN1:

„Beim Schließen meiner Augen "pulierte" das Nachbild. Es war für ca. 2s da und für 2s weg und dann wieder da, etc.“

TN2:

„Das Nachbild bei dem Countdown hat ungefähr 15 - 18 Sekunden angehalten, ist allerdings ab Sekunde 10 schwächer geworden.“

TN3:

„Experiment mit geschlossenen Augen: Erst nichts, dann kurz Nachbild des Quadrates, dann kurz Nachbild der gesamten Monitorfläche, danach abwechselnd so weiter bis zum Verblässen.“

(D23) Antworten aus Freitextfeld zur Frage nach weiteren Kommentaren.

04.3 | Kritische Würdigung und potenzielle Anknüpfungspunkte

Größe und Demografie der Testgruppe

Generell lässt sich zu dem im Rahmen dieser Abschlussarbeit durchgeführten Experiment festhalten, dass auf Grund der variierten Parameter einige interessante Erkenntnisse gewonnen werden konnten. Trotz der kurzen Laufzeit des Experimentes von acht Tagen fanden sich 25 Proband*innen, die vollständige Datensätze generierten und deren Antworten sich zur Beantwortung der Hypothesen eigneten.

Grundsätzlich ist zu betonen, dass die Aussagekraft und Allgemeingültigkeit der Ergebnisse solcher Experimente mit der Größe des Teilnehmerkreises zunimmt. Zusätzlich zur Größe der Testgruppe sollte diese möglichst heterogen in ihren demografischen Merkmalen sein, um Rückschlüsse auf ebendiese zuzulassen. Es war Ziel, die künstlerischen Herangehensweisen Eliassons weiterzuführen und Fragestellungen, die bei der Analyse seiner Kunstwerke aufkamen, zu untersuchen und seine Experimente mithilfe variierten Parameter zu ergänzen. Dies konnte auch mit dem überschaubaren Teilnehmer*innenkreis erreicht werden. Das Experiment ist die eigene Erweiterung einer künstlerischen Herangehensweise an ein naturwissenschaftliches Phänomen.

Dennoch werden Konzeption und Durchführung des Experimentes im Folgenden bewertet und potenzielle Anknüpfungspunkte für weiterführende Experimente geliefert.

Testumgebung und Ausstattung

Um die Beobachtungen hinsichtlich der wahrgenommenen Intensität vor unterschiedlichen Hintergründen in Bezug zur Helligkeit des Raumes zu validieren, bedarf es weiterer Experimente. Dabei müssen die unterschiedlichen Helligkeiten im Raum explizit differenziert und in Bezug zu kleinteiligeren Grauabstufungen des Hintergrundes gesetzt werden. Um die Versuchsumgebungen möglichst vergleichbar zu machen, dürfte die Helligkeit des Raumes nicht subjektiv als *hell* oder *dunkel* beschrieben, sondern mit Hilfe eines Luxmeters in definierte Kategorien eingeteilt werden.

Eine mögliche Hypothese, die auf Grundlage der hier gewonnenen Erkenntnisse aufgestellt werden könnte, lautet: Die Intensität der Nachbilder ist direkt an die Helligkeit des Raumes gekoppelt und immer dann am höchsten, wenn die Helligkeit des Raumes und die Helligkeit des Hintergrundes übereinstimmen.

Für belastbare Ergebnisse sind in diesem Kontext darüber hinaus weitere Parameter von erheblicher Bedeutung. So spielen maximale und eingestellte Helligkeit des Bildschirms sowie die Geräteeigenschaften des Bildschirms eine entscheidende Rolle.

Erfassung der Augenbewegungen

Zur untersuchten Thematik der dynamischen Nachbilder und der in diesem Kontext wichtigen Frage nach der exakten Fixierung des Fixpunktes bedarf es einer Überprüfung der Augenbewegung der Proband*innen. Mit einem Abgleich der gemessenen Augenbewegung und der Angabe zur Bewegung der Nachbilder könnte dieses Verhalten vertiefend untersucht werden. Nutzte man die Möglichkeiten, die Augenbewegungen der Teilnehmer*innen zu erfassen, könnte das Experiment bspw. um weitere, unterschiedliche Geschwindigkeiten oder sprunghafte Ortswechsel der Fixpunkte erweitert werden. Außerdem könnte diese Erweiterung des Experiments Aufschluss über die im Text beschriebenen sakkadischen Augenbewegungen liefern und diese visualisieren.

Protokollierung wahrgenommener Effekte

Ein Aspekt, der die Ergebnisse maßgeblich beeinflusst, ist die Schwierigkeit, das Gesehene adäquat in Worte zu fassen. Die Formulierungen der Fragen und Antwortmöglichkeiten war so klar und eindeutig wie möglich. Jedoch kann nicht sichergestellt werden, dass alle Proband*innen eben diese Formulierung gewählt hätten, gleich verstanden haben und genau so verstanden haben, wie sie gemeint waren.

Die sprachliche Hürde umgehend wäre eine Möglichkeit zur Visualisierung der Antworten denkbar. Die Teilnehmer*innen, könnten ihre Erfahrungen bspw. mittels verschiedener Formen und Farben verbildlichen. Jedoch birgt diese Art der Antwort ein erhebliches Maß an Individualität, was den Vergleich und die Auswertung erheblich erschwert. Außerdem würde diese Art der Antwortmöglichkeiten ein anderes Format zur Erfassung ebendieser erfordern.

Möglicherweise hätten zudem aussagekräftigere Ergebnisse erzielt werden können, wenn einige im Vorfeld und in der Produktion der Sequenzen beobachtete Nachbild-Effekte visualisiert und den Proband*innen an dieser Stelle gezeigt worden wären. Abbildung 36 zeigt ein Standbild aus der Sequenz, während Abbildung 37 das gleiche Standbild mit digital hinzugefügtem Nachbild (bei bewegtem Fixpunkt) zeigt. Konkrete, visuelle Beispiele, die von den Teilnehmer*innen mit *Ja* oder *Nein* beantwortet werden können, lieferten hier ein klareres Bild über die zusätzlichen Effekte. Jedoch

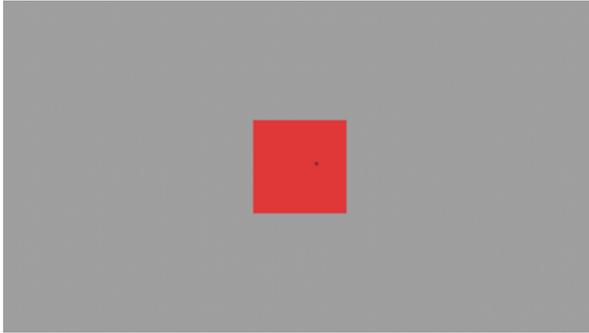


Abbildung 36: Standbild aus der gezeigten Sequenz mit bewegtem Fixpunkt

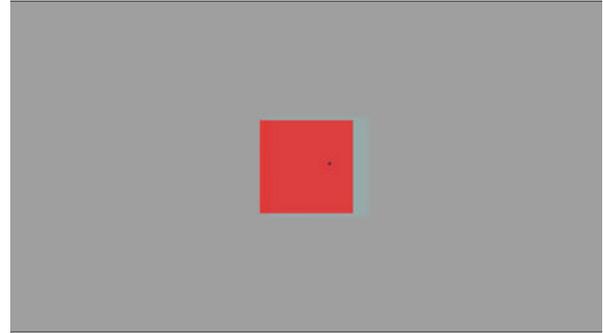


Abbildung 37: Standbild aus der gezeigten Sequenz mit bewegtem Fixpunkt und digital hinzugefügtes Nachbild

müssten die Beispiele im Vorfeld auch mit Hilfe subjektiver Eindrücke verschiedener Personen erstellt werden.

05 | Fazit

Die vorliegende Abschlussarbeit lieferte im ersten Teil einen detaillierten Überblick über die theoretischen Grundlagen, die Bestandteile des menschlichen Auges und ihre Funktionen als Werkzeug des Sehens. Anschließend wurden Licht und Farbe definiert, um die Entstehung von Bildern und visuellen Reizen zu erklären. Licht ist so gesehen Trägermedium und Inhalt zugleich und bildet damit die Grundlage der Wahrnehmung. Des weiteren wurden verschiedene Effekte beleuchtet, die das Sehen beeinflussen und Auslöser unterschiedlicher optischer Phänomene bzw. Sinnestäuschungen sind. In diesem Kontext wurden vor allem die Adaptation des Auges, die sakkadischen Augenbewegungen sowie die laterale Hemmung hervorgehoben, die maßgeblich für die Entstehung von Nachbildern verantwortlich sind. Es wurde gezeigt, dass die Gegenfarbentheorie nach Hering als Grundlage für die Funktionsweise der Farbwahrnehmung mit ihren drei unabhängigen Wahrnehmungskanälen fungiert und komplementäre Farbpaare hervorruft. Daraufhin wurden Nachbilder charakterisiert, definiert und unter anderem von positiven Nachbildern sowie durch externe Einwirkungen entstehenden, blitzenden Erscheinungen abgegrenzt. Im Überblick über den aktuellen Forschungsstand wurde die Theorie der Ermüdung der Sehzellen betrachtet und um weitere erklärende Ansätze ergänzt. So wurde bspw. die Forschung zur verzögerten

Biolumineszenz durch eine nachgelagerte Emission absorbiertes Photonen vorgestellt.

Der zweite Teil der Arbeit widmete sich der praktischen Herangehensweise und künstlerischen Untersuchung von Nachbildern des dänischen Künstlers Olafúr Eliasson. Dabei wurden vier Werke explizit analysiert, um die Grundlage für die Überlegungen der eigenen experimentellen Erweiterung und die formulierten Hypothesen zu schaffen. Dabei war es vor allem Eliassons Werk „Co-Producer Experiment“ aus dem Jahr 2007, welches mit der Abfolge sich überlagernder farbiger Kreise und Quadrate die Grundlage für das Experiment lieferte.

Im dritten Teil dieser Arbeit wurden Erstellung und Durchführung des eigenen Experiments geschildert sowie eine Auswertung im Hinblick auf die zuvor aufgestellten Hypothesen vorgenommen. Die Auswertung der 25 Datensätze lieferte einige signifikante Ergebnisse angesichts der Intensität von Nachbildern in Bezug auf die Hintergrundfarbe sowie die Helligkeit des Raumes. Die Untersuchungen lieferten auch hinsichtlich des Alters der Proband*innen bemerkenswerte Erkenntnisse. Mit Hilfe des Experiments konnte bestätigt werden, dass (eine*n TN ausgenommen) alle Proband*innen Nachbilder gesehen haben und eine große Anzahl diese auch mit entrücktem oder bewegtem Fixpunkt sehen konnte. Darüber hinaus konnte die Mehrheit der Proband*innen auch mit geschlossenen Augen Nachbilder sehen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass das optische Phänomen der Nachbilder ein komplexes Thema ist, welches sich sowohl über biologische und physikalische, als auch psychologische Forschungsbereiche erstreckt. Es bietet auch heute noch einige ungeklärte Facetten, die Bestandteil zeitgenössischer Forschung sind. Im künstlerischen Kontext folgt die Arbeit mit Nachbildern und damit die Einbeziehung der Betrachter*innen als aktiven Bestandteil der Kunst selbst einer Entwicklung, die mit dem klassischen Kunstbegriff bricht und die Frage „Was ist Kunst?“ und konkret auf diesen Fall angewandt „Was ist Teil des Kunstwerkes?“ neu beantwortet.

10 | Anhang

10.1 | Literaturverzeichnis

BÓKKON, VIMAL, WANG, DAI, SALARI, GRASS, ANTAL 2011

Visible light induced ocular delayed bioluminescence as a possible origin of negative afterimage. Veröffentlicht in: Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 103, 2011, S. 192-199.

BROEKER 2004

Holger Broeker: Licht - Raum - Farbe. Olafúr Eliassons Arbeiten mit Licht. In: Your Lighthouse - Arbeiten mit Licht. 1991-2004. Kunstmuseum Wolfsburg, 2004.

CRARY 2004

Jonathan Crary: Abstraktes Sehen. In: Olafúr Eliasson. Your Lighthouse - Arbeiten mit Licht. 1991-2004. Kunstmuseum Wolfsburg, 2004.

DITZINGER 2013

Thomas Ditzinger: Illusionen des Sehens. Eine Reise in die Welt der virtuellen Wahrnehmung. Heidelberg 2013.

ELIASSON 2006

Olafúr Eliasson: Some Ideas About Colours. In: Your Cooler Memory. Glenside, 2006.

ELIASSON 2012

Studio Olafúr Eliasson: An Encyclopedia. Anna Engberg-Pedersen (Hrsg.), Köln, 2012.

EYSEL 2011

Ulf Eysel: Sehen und Augenbewegungen. In: Physiologie des Menschen. Robert F. Schmidt u.a. (Hrsg.), Berlin 2011.

FAHLE 2005

Manfred Fahle: Ästhetik als Teilaspekt bei der Synthese menschlicher Wahrnehmung. In: Wahrnehmung, Kognition und Ästhetik. Ralf Schnell (Hrsg.), Bielefeld, 2005.

FAHLENBACH 2019

Kathrin Fahlenbach: Medien, Geschichte und Wahrnehmung. Eine Einführung in die Mediengeschichte. Wiesbaden, 2019.

LEUTE 2011

Ulrich Leute: Optik für Medientechniker. Optische Grundlagen der Medientechnik. Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, 2011.

LI, SUN 2021

Visual Characteristics of Afterimage under Dark Surround Conditions. Veröffentlicht in: Energie 2021, 14, 1404.

LUPYAN 2015

Gary Lupyan: Object knowledge changes visual appearance: Semantic effects on color afterimages. Veröffentlicht in: Acta Psychologica 161, 2015, S. 117–130.

RAAB 2013

Erich Raab: Komplexität und ästhetisches Erleben. Auf dem Weg zu einer neuen Hedonik. In: Musik, Medien, Kunst - Wissenschaftliche und künstlerische Perspektiven. Beate Flath (Hrsg.), Bielefeld, 2013.

ROTH 2005

Gerhard Roth: Wahrnehmung: Abbildung oder Konstruktion? In: Wahrnehmung, Kognition und Ästhetik. Ralf Schnell (Hrsg.), Bielefeld, 2005.

SALARI, SCHOLKMANN, VIMAL, CSASZAR, ASLANI, BOKKON 2017

Phosphenes, retinal discrete dark noise, negative afterimages and retinogeniculate projections: A new explanatory framework based on endogenous ocular luminescence. Veröffentlicht in: Progress in Retinal and Eye Research 60, 2017, S. 101-119.

SCHÖNHAMMER 2013

Rainer Schönhammer: Einführung in die Wahrnehmungspsychologie. Sinne, Körper, Bewegung. Wien, 2013.

WITTING 2014

Walter Witting: Licht. Sehen. Gestalten. Lichttechnische und wahrnehmungspsychologische Grundlagen für Architekten und Lichtdesigner. Bartenbach Lichtgestaltung GmbH (Hrsg.), Basel, 2014.

STUDIO OLAFÚR ELIASSON

<https://olafureliasson.net>

10.2 | Medienverzeichnis

Abbildungen

Abbildung 1

Vertikaler Schnitt durch das menschliche Auge. <https://www.leifiphysik.de/optik/optische-linsen/ausblick/das-menschliche-auge-aufbau-und-funktion-einzelner-teile>
letzter Zugriff: 22. März 2022.

Abbildung 2

Horizontaler Schnitt durch das rechte Auge. In: Ulrich Leute, *Optik für Medientechniker. Optische Grundlagen der Medientechnik*, Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, 2011, S. 73.

Abbildung 3

Spektrale Bereiche des für den Menschen sichtbaren Lichtes, sowie UV-Licht und Infrarotlicht. In: Ulrich Leute, *Optik für Medientechniker. Optische Grundlagen der Medientechnik*, Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, 2011, S. 31.

Abbildung 4 + 5

Reflexion und Absorption von Licht. In: Moritz Zwimpfer, *Licht und Farbe: Physik, Erscheinung, Wahrnehmung*, Niggli Verlag, 2012, Abbildungen 094 + 105.

Abbildung 6

Additive Farbmischung nach Dreifarbentheorie. https://www.druckportal.de/lexikon/Additive_Farbmischung
letzter Zugriff: 25. April 2022

Abbildung 7

Gegenfarbentheorie nach Hering, Grafik erstellt von Tilo Hauke. https://de.wikipedia.org/wiki/Gegenfarbtheorie#/media/Datei:Ewald_hering_colors.jpg
letzter Zugriff: 25. April 2022.

Abbildung 8

Visualisierung der Gegenfarbentheorie nach Hering. In: Thomas Ditzinger, *Illusionen des Sehens. Eine Reise in die Welt der virtuellen Wahrnehmung*. Heidelberg 2013, S. 137.

Abbildung 9

Die experimentelle Untersuchung der Müller-Lyer'schen Täuschung. In: *Thomas Ditzinger, Illusionen des Sehens. Eine Reise in die Welt der virtuellen Wahrnehmung*. Heidelberg 2013, S. 26.

Abbildung 10

Randkontrastverstärkung im Herrmann'schen Gitter. In: *Thomas Ditzinger, Illusionen des Sehens. Eine Reise in die Welt der virtuellen Wahrnehmung*. Heidelberg 2013, S. 30.

Abbildung 11

Die Entstehung von Bild und Nachbild im menschlichen Auge. In: *Visible light induced ocular delayed bioluminescence as a possible origin of negative afterimage*. Veröffentlicht in: *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 103, 2011, S. 195.

Abbildung 12

Ausstellungsansicht in der Neuen Pinakothek in München, Dan Flavin „Untitled (to you, Heiner, with admiration and affection)“, 1973 und „'monument' for V. Tatlin VII“, 1964.
<https://www.dasmaximum.com/08-2014-dan-flavin-in-oberbayern/>
letzter Zugriff: 17. März 2022.

Abbildung 13

Olafúr Eliasson „Your blue afterimage exposed, 2000.
<https://olafureliasson.net/archive/artwork/WEK101381/your-blue-afterimage-exposed>
letzter Zugriff: 4. März 2022.

Abbildung 14

Olafúr Eliasson „Your orange afterimage exposed, 2000.
<https://olafureliasson.net/archive/artwork/WEK101291/your-orange-afterimage-exposed>
letzter Zugriff: 4. März 2022.

Abbildung 15 + 16

Olafúr Eliasson, Notizen zu „Your orange/blue afterimage exposed“, 2000.
<https://olafureliasson.net/archive/artwork/WEK101381/your-blue-afterimage-exposed>
letzter Zugriff: 16. April 2022.

Abbildung 17 - 22

Olafúr Eliasson „Your color memory“, 2000.
<https://olafureliasson.net/archive/artwork/WEK100865/your-colour-memory>
letzter Zugriff: 17. März 2022.

Abbildung 23 - 28

Olafúr Eliasson „Co-Producer Experiment“, Experiment Marathon 2007, London Serpentine Gallery.

<https://www.youtube.com/watch?v=8IPxc3mAZfo>

letzter Zugriff: 2. April 2022.

Abbildung 29 - 34

Studio Olafúr Eliasson „After Image Experiment (hexagonal)“, 2017.

<https://www.soe.tv/search/after%20image#after-image-experiment-hexagonal>

letzter Zugriff: 2. April 2022.

Abbildung 36

Standbild aus der gezeigten Sequenz mit bewegtem Fixpunkt.

Abbildung 37

Standbild aus der gezeigten Sequenz mit bewegtem Fixpunkt und digital hinzugefügtes Nachbild.

Alle Diagramme der Auswertung sind auf Grundlage der erhobenen Daten erstellt.

Filme

AFTER IMAGE EXPERIMENT (HEXAGONAL)

Studio Olafur Eliasson, After Image Experiment (hexagonal). Veröffentlicht auf soe.tv.

<https://soe.tv/video/after-image-experiment-hexagonal>

letzter Zugriff: 25. April 2022.

AFTERIMAGES EXPERIMENT

Eigene Sequenzen in DaVinci Resolve erstellt, in Anlehnung an Co-Producer Experiment, Datei im Anhang.

CO-PRODUCER EXPERIMENT

Experiment Marathon 2007 - Olafur Eliasson: Co-Producer Experiment (Co = Colour), Serpentine Galleries. Veröffentlicht auf YouTube, 2007.

<https://www.youtube.com/watch?v=8IPxc3mAZfo>

letzter Zugriff: 25. April 2022.

COUNTER (GREY)

Eigene Sequenz in DaVinci Resolve erstellt, Datei im Anhang.

CYAN AFTERIMAGE

Eigene Sequenz in DaVinci Resolve erstellt auf Grundlage subjektiv wahrgenommener Nachbilder, Datei im Anhang.

10.3 | Ergebnisse der Fragen im Rahmen des Experiments

Absolute Anzahl der Teilnehmenden: 28

Absolute Anzahl beendeter Abgaben: 25

Hinweis: Fragen 2 - 18 sind jeweils von den Antworten vorangegangener Fragen abhängig, deshalb unterscheidet sich die Gesamtzahl der Antworten in einigen Fällen von der absoluten Zahl der beendeten Abgaben.

Frage 1 - Ich habe Nachbilder gesehen.

Optionen	Anzahl
Ja	24
Nein	1
Gesamt	25

Frage 2 - Die Nachbilder hatten die gleichen Formen, wie die jeweils vorangegangenen Formen.

Optionen	Anzahl
Ja	23
Nein	1
Gesamt	24

Frage 3 - Die Nachbilder hatten jeweils den gleichen Farbton, wie die vorangegangenen Formen.

Optionen	Anzahl
Ja	5
Nein	19
Gesamt	24

Frage 4 - Die Nachbilder hatten

Optionen	Anzahl
den gleichen Farbton, aber waren heller	5
den gleichen Farbton, aber waren dunkler	0
Gesamt	5

Frage 5 - Die Nachbilder hatten den komplementären Farbton

Optionen	Anzahl
Ja	18
Nein	1
Gesamt	19

Frage 6 - Die Nachbilder hatten unterschiedliche Intensitäten, je nach Hintergrund.

Optionen	Anzahl
Ja	20
Nein	4
Gesamt	24

Frage 7 - Die Nachbilder hatten die höchste Intensität auf dem

Optionen	Anzahl
Weißes Hintergrund	8
Grauen Hintergrund	10
Schwarzen Hintergrund	2
Gesamt	20

Frage 8 - Die Nachbilder hatten die niedrigste Intensität auf dem

Optionen	Anzahl
Weißes Hintergrund	2
Grauen Hintergrund	3
Schwarzen Hintergrund	15
Gesamt	20

Frage 9 - Ich habe Nachbilder gesehen, als der Fixpunkt aus der Mitte entrückt war.

Optionen	Anzahl
Ja	21
Nein	3
Gesamt	24

Frage 10 - Die Nachbilder waren

Optionen	Anzahl
Intensiver mit dem mittig liegenden Fixpunkt	12
Intensiver mit dem seitlich verschobenen Fixpunkt	1
In beiden Fällen von gleicher Intensität	8
Gesamt	21

Frage 11 - Ich habe Nachbilder gesehen, als sich der Fixpunkt bewegt hat

Optionen	Anzahl
Ja	19
Nein	5
Gesamt	24

Frage 12 - Wie lang konntest du die Nachbilder mit bewegtem Fixpunkt im Vergleich zum festen Fixpunkt sehen?

Optionen	Anzahl
Kürzer	11
Genau so lang	6
Länger	2
Gesamt	19

Frage 13 - Wie deutlich konntest du die Nachbilder mit bewegtem Fixpunkt im Vergleich zum festen Fixpunkt sehen?

Optionen	Anzahl
Weniger deutlich	12
Genau so deutlich	6
Deutlicher	1
Gesamt	19

Frage 14 - Haben sich die Nachbilder mit bewegtem Fixpunkt bewegt?

Optionen	Anzahl
Ja, mit gleicher Geschwindigkeit	12
Ja, mit anderer Geschwindigkeit	2
Nein	5
Gesamt	19

Frage 15 - Mit bewegtem Fixpunkt konnte ich das Nachbild sehen, während die vorangegangene Form noch sichtbar war.

Optionen	Anzahl
Ja	9
Nein	10
Gesamt	19

Frage 16 - Mit bewegtem Fixpunkt konnte ich Farbverläufe in den dargestellten Formen sehen.

Optionen	Anzahl
Ja	10
Nein	9
Gesamt	19

Frage 17 - Ich konnte den bewegten Fixpunkt problemlos fixieren.

Optionen	Anzahl
Ja	11
Mir ist es teilweise schwer gefallen	5
Nein, mein Blick ist oft zwischen Fixpunkt und Nachbild hin- und her gesprungen	2
Gesamt	18

Frage 18 - Ich habe zusätzlich zu den Nachbildern andere Effekte beobachtet:

Hinweis: Kommentare konnten in einem Freitextfeld hinterlassen werden.

Dadurch, dass ich Kontaktlinsen trage, musste ich viel blinzeln. Mit dem Blinzeln sind die Nachbilder verschwunden, kamen aber schnell wieder

Ich hatte in einigen Fällen das Gefühl, dass wenn sich das Nachbild bei dem bewegten Fixpunkt in die anderen Formen hineinbewegt, die eine andere Farbe als das Nachbild haben, das Nachbild ausgelöscht wird.

Bei bewegtem Fixpunkt 'flossen' Nachbilder in Bewegungsrichtung 'aus'.

Frage 19 - Sequenz mit Countdown**Frage 20 - Ich habe mit geschlossenen Augen ein Nachbild gesehen.**

Optionen	Anzahl
Ja	21
Nein	4
Gesamt	25

Frage 21 - Ich habe das Video angesehen auf einem

Optionen	Anzahl
Laptop / Monitor (unter 30“)	23
Fernseher (über 30“)	2
Gesamt	25

Frage 22 - Der Raum in dem ich mich befinde ist

Optionen	Anzahl
Taghell	13
Leicht abgedunkelt	10
Sehr dunkel	2
Gesamt	25

Frage 23 - Mein Alter

Optionen	Anzahl
Unter 20 Jahre	1
20 - 29 Jahre	11
30 - 39 Jahre	5
40 - 49 Jahre	1
50 - 59 Jahre	4
60 - 69 Jahre	3
70 Jahre oder älter	0
Gesamt	25

Frage 24 - Ich habe eine diagnostizierte Fehlsichtigkeit. (Nicht- und Mehrfachauswahl möglich)

Optionen	Anzahl
Weitsichtig	10
Kurzsichtig	8
Farbfehlsichtig	1
Gesamt	19

Frage 25 - Ich nutze eine Sehhilfe.

Optionen	Anzahl
Brille	14
Kontaktlinsen	1
Nein	10
Gesamt	25

Frage 26 - Vielen Dank für Deine Teilnahme! Hier kannst Du Kommentare zum Experiment hinterlassen.

Hinweis: Kommentare konnten in einem Freitextfeld hinterlassen werden.

Beim Schließen meiner Augen 'pulierte' das Nachbild. Es war für ca. 2s da und für 2s weg und dann wieder da, etc.

Das Nachbild bei dem Countdown hat ungefähr 15 - 18 Sekunden angehalten, ist allerdings ab Sekunde 10 schwächer geworden.

Ich besitze eine Rot-Grün Schwäche

Experiment mit geschlossenen Augen: Erst nichts, dann kurz Nachbild des Quadrates, dann kurz Nachbild der gesamten Monitorfläche, danach abwechselnd so weiter bis zum Verblässen.

Hinweis: Die Rohdaten der Datensätze sind in der digitalen Abgabe enthalten.

20 | Eigenständigkeitserklärung

Ich versichere, die vorliegende Arbeit selbständig ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen Quellen und Hilfsmittel als die angegebenen benutzt zu haben. Die aus anderen Werken wörtlich entnommenen Stellen oder dem Sinn nach entlehnten Passagen sind durch Quellenangaben eindeutig kenntlich gemacht.

Ort und Datum

Unterschrift