

Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/
Masterarbeit ist in der Hauptbibliothek der Tech-
nischen Universität Wien aufgestellt und zugänglich.

<http://www.ub.tuwien.ac.at>



The approved original version of this diploma or
master thesis is available at the main library of the
Vienna University of Technology.

<http://www.ub.tuwien.ac.at/eng>



DIPLOMARBEIT

„light thing“

Entwurf eines Lichtobjekts

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung
des akademischen Grades einer Diplom-Ingenieurin

unter der Leitung von

Univ.Prof.Arch.Dipl.Ing.Christian Kern

E264/2 Institut für Kunst und Gestaltung
dreidimensionales Gestalten und Modellbau

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Marie Manske

9700635

Wien, am

Abstract:

Ziel dieser Diplomarbeit war es, ein raumgestaltendes Lichtobjekt zu entwerfen.

Ausgehend von einer interessanten Aufgabenstellung der Lehrveranstaltung „Modul Form und Design“ im Sommersemester 2014 folgte eine Auseinandersetzung mit verschiedenen Formen und Materialien in Zusammenhang mit unterschiedlichen Lichtquellen.

„dieses Licht (...) sollte in einer Reihe von noch zu definierenden Situationen den Ort so verändern können, dass Menschen sich dort gerne versammeln (...) wichtig ist uns das Schaffen eines besonderen Ortes durch Licht (...).“¹

In Experimenten mit sogenanntem Farbeffekt-Acrylglas waren vor allem Reflexionen und Projektionen von Interesse. Das an sich farblose Material weist sowohl spiegelnde als auch transluzente Eigenschaften auf und erzeugt zudem je nach Blickwinkel, Lichteinfall und Lichtquelle chromatische Farb-Lichteffekte.

Diese Effekte sind auf das Phänomen von Interferenzen an dünnen Schichten zurückzuführen, die einzelne Spektralfarben des Lichts sichtbar machen.

Anhand von zahlreichen im Raum beweglich abgehängten und in verschiedenen Winkeln zueinander positionierten Scheiben konnten unter dem Einfluss von Tageslicht bzw. mit künstlichen Lichtquellen einer gewissen Intensität unterschiedliche Farbeffekte beobachtet werden. Interessante Formen waren dabei nach thermischer Bearbeitung des Materials in Zusammenhang mit mehreren gleichzeitig aus verschiedenen Richtungen strahlenden Lichtquellen zu beobachten. In bestimmten Konstellationen erschienen in den Projektionen bewegte Formen, die man als Lichtmalerei bezeichnen könnte.

So sind zwei Objekte entstanden, die gemeinsam eine synchron gesteuerte Sequenz bewegter farbiger Lichtprojektionen erzeugen. Zwei dreidimensional gekrümmte Farbeffekt-Acrylglascheiben, sind jeweils in einem Rahmen kardanisch gelagert und können gleichzeitig auf drei Drehachsen gesteuert bewegt werden. Die Objekte werden im Raum vor einer Projektionsfläche aufgestellt und mit thermischen Lichtquellen angestrahlt. Dazu werden sie so zueinander positioniert, dass die farbigen Reflexionen der beiden Scheiben sich gegenseitig beeinflussen. Die Objekte sind mobil und können theoretisch in jedem Raumkontext funktionieren, vorausgesetzt es sind ausreichende Lichtintensitäten vorhanden.

Experimente mit Sonnenlicht führten zu Resultaten, die sich mit künstlichem Licht nicht reproduzieren lassen. Diese werden in Form von Fotografien präsentiert.

Als Endresultat der Arbeit wird in der Präsentation eine choreografierte Sequenz von chromatischen Lichtprojektionen zu sehen sein.

1: Modul Form und Design SS 2014, Institut für Kunst und Gestaltung, Dreidimensionales Gestalten und Modellbau – 264/2

Abstract:

The aim of this study was to design a light object that would create an interesting space. Inspired by a challenging premise for a design-studio course entitled „Modul Form und Design“ in the summer of 2014 I began working with different materials and shapes in conjunction with various lighting sources. “this light (...) should in a number of yet to be defined ways be able to modify a space in such a way that will make people want to gather there (...).”²

In Experiments with so called color effect glass I became interested in the way light was reflected and projected onto the surfaces of the space. The chosen material which has translucent as well as reflective properties changes color according to the angle of the lighting source and according to where the observer is standing. These chromatic color effects are due to the phenomenon of thin film interference where under certain conditions specific wavelengths of the spectrum are reflected.

Numerous adjustable discs were suspended and positioned in certain angles toward each other so that different color effects could be observed depending on the lighting source and the way the reflections of light were interacting with each other.

Morphing the material so that it became three-dimensionally curved and exposing it to light from two different directions led to interestingly shaped projections. In conjunction with movement these shapes could be seen as instruments for a way of painting with light. As a consequence two objects were created consisting of shaped acrylic color effect glass held within two frames on three computer controlled rotary axes. Under the influence of spotlights together they produce a sequence of moving chromatic light projections. They are positioned in the space in front of a projection plane in such a way that their respective reflections interact with each other influencing the projected results.

The objects are not fixed and could theoretically work in any space independent of context, as long as adequate intensity of lighting is provided.

Experiments with sunlight have yielded excellent results that cannot be reproduced with artificial light sources and will thus be shown in form of photographs.

As an end result of my work, there will be a presentation of a choreographed sequence of light projections.

2: Modul Form und Design SS 2014, Institut für Kunst und Gestaltung, Dreidimensionales Gestalten und Modellbau – 264/2



INHALTSVERZEICHNIS

Was ist Farbe ?	3
Philosophische Aspekte	4
Physiologische Aspekte	6
Farbbegriffe	7
Aspekte der Farbgestaltung	8
Farbtheorien	9
Der menschliche Sehsinn	9
Frühe Farbtheorien	12
Farbtheorien seit dem 18. Jahrhundert	12
Goethes Farbenlehre	17
Johannes Itten – Kunst der Farbe	19
Moderne Farbtheorien	21
wahrnehmungspsychologische Aspekte	27
Studien zum Thema Wahrnehmungspsychologie der Farben	30
Farbempfindungen und ihre Bedeutung im visuellen System	30
Farbpräferenzen – geschlechtsspezifische Unterschiede	33
Farben und ihre Wirkung	36
Farbe als Träger kodierter Informationen	38
Josef Albers - Interaction of Color	39
Licht und Farben – physikalische Aspekte	41
Wie entstehen Farben ?	42
Lichtfarbe und Farbtemperatur	44
Licht, Raum, Bewegung	45
Entwurf	51
Erste Versuche mit Farbeffekt-Acrylglas	51
Materialeigenschaften von Farbeffektglas	52
Versuche mit geometrischen Körpern	56
Versuchsaufbau - Lichtquellen	59
Versuche mit runden Scheiben	63
Versuche mit Glühlampenlicht	68
Projektionen mit thermisch geformten Acrylglasplatten	79
Versuche mit Sonnenlicht	89
Anfertigung eines Prototypen	95
Detailplanung	99
Modellbau	106
Danksagung	109
Literatur- und Quellenverzeichnis:	110
Andere Quellen:	116
Abbildungsverzeichnis:	117

Die entwurfsbegleitende Auseinandersetzung mit Licht und Farben führte zu Einblicken in eine sehr komplexe Thematik. Im vorliegenden Rechercheteil werden einige relevante Aspekte dargestellt.

Was ist Farbe ?

Die Frage nach der Natur der Farben ist untrennbar verbunden mit der Frage nach der Natur des Lichts. Licht bedingt jegliche optische Wahrnehmung. Physikalisch gesehen sind Farben Teil seines Spektrums. Alle sichtbaren Erscheinungen werden in ihren Formen durch Helligkeit und Farben für unser Auge erkenntlich.

Licht und Farben tragen zu unserer Wahrnehmung von dreidimensionalen Strukturen bei. Eine Textur erhält erst durch ihre Schatten räumliche Tiefe, und diese Schatten wiederum können wir unter anderem durch ihre Färbung besser erkennen.

Unser Farbsehen ist ferner beteiligt am Differenzierungsprozess zwischen einzelnen Objekten bzw. zwischen Materialien, da die Spektralzusammensetzung der reflektierten Wellenlängen innerhalb eines Materials eine spezifische Konstanz aufweist (vgl. Chirimuuta & Kingdom 2015).

Licht phänomenologisch betrachtet, Licht als Bedingung der Möglichkeit von Farbe, zeigt die Notwendigkeit der Farbigkeit von Objekten auf. So erweist sich Farbigkeit als Eigenschaft, die jeglicher Form der optischen Erkenntnis anhaftet.

In der Antike entsteht das Konzept von Sehstrahlen (vgl. Schreiber 2013): Der Mensch wirft sein Augenlicht auf jedes wahrgenommene Objekt und färbt es dadurch zwangsläufig ein. Wahrnehmung, Erkenntnis und Licht sind bei sehenden Menschen wesentlich miteinander verbunden.

Sprachlich besteht eine Verbindung zwischen den griechischen Wörtern für Sehen und Wissen. Das griechische Perfekt von sehen „*horáō*“, ich habe gesehen „*oída*“, bedeutet gleichzeitig „*ich weiß*“ (vgl. Gemoll 2006). „Die griechischen Ausdrücke für Wissen und Sehen, „*eidēnai*“ und „*idein*“, sind abgeleitet von derselben Wurzel „*vid*“, die im Altindischen das Sehen bezeichnet, im Lateinischen zu „*videre*“ und über das althochdeutsche „*wizzan*“ zum „*wissen*“ wird.“ (Schmidt 2006:32)

Licht und Farbigkeit sind prozessual mit dem Subjekt verbunden. Licht affektiert Objekt und Subjekt frei von Hierarchie gleichermaßen; es ermöglicht erst den Kontakt bzw. die Vermittlung von Subjekt und Objekt.

„At least one important necessary condition of any subjectivist account of colour seems to me to be this: A subjectivist thesis must have as a consequence that, in the absence of perceivers with colour vision, there are no colours. Subjectivism requires that sunsets have not been red since time immemorial, but only since the appropriate living forms evolved.“ (Campbell 1993:264)

„Farbe ist immer Farbempfindung.(...) die Welt an sich ist völlig farblos.“, so der Farbforscher Harald Küppers. (1987:22)

Bereits Newton erkannte, dass die Wahrnehmung der Farben immer in Relation zum menschlichen Auge und zum menschlichen Bewusstsein gesehen werden muss (vgl. Zollinger 2005). Er schreibt 1730 in seinem Werk *Opticks, or a Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections & Colours of Light*: „For the Rays to speak properly are not coloured. In them there is nothing else than a certain Power and Disposition to stir up a Sensation of this or that Colour.“

und im Weiteren betreffend die Farbigkeit von Objekten: „(...) so Colours in the Objects are nothing but a Disposition to reflect this or that sort of Rays more copiously than the rest; in the Rays they are nothing but their Dispositions to propagate this or that Motion into the Sensorium, and in the Sensorium they are Sensations of those Motions under the Forms of Colours.“ (Newton 1730:125)

Physikalisch gesehen handelt es sich um elektromagnetische Strahlung jener Wellenlängen, die in den verhältnismäßig kleinen Bereich des sichtbaren Lichts zwischen etwa 380nm (Blau) und 780nm (Rot) fallen. Die Lichtstrahlen treffen auf unsere Netzhaut und werden über den Sehnerv ins Gehirn weitergeleitet, wo Farben letztlich entstehen.

Man unterscheidet chromatische (bunte) und achromatische Farben. Stoffe mit einem Reflexionsvermögen bestimmter Wellenlängen werden als bunt wahrgenommen, Grautöne ergeben sich durch Reflektanz über das gesamte Spektrum (vgl. Dorsch 2013).

In vielen Kulturen und Sprachen werden die achromatischen Farben von den chromatischen getrennt betrachtet. In östlichen Kulturen hingegen haben laut Heinrich Zollinger Schwarz und Weiß einen anderen Stellenwert: „Als in Japan das Farbfernsehen eingeführt wurde, wurde diese Technik nicht wörtlich mit *iro no terebi* übersetzt, sondern mit *tennenshoku terebi* (*natürliches Fernsehen*) weil in Japan Schwarz/Weiß als Zweifarbensystem betrachtet wird.“ (Zollinger 2005:2)

Philosophische Aspekte

Der Philosoph Stephen Melville schreibt in seinem Aufsatz *Color Has Not Yet Been Named*: „Farbe kann zugleich unendlich benennungsresistent erscheinen, gebunden wie sie ist an ihre eigene Spezifität und an die Oberflächen, auf denen sie ihre Sichtbarkeit besitzt oder erlangt, sogar wenn sie, bedingt durch die unmittelbare Nähe anderer Farben, gleichzeitig unaufhörlicher Veränderung unterworfen scheint. Als Etwas zugleich Subjektives und Objektives, physikalisch Festgelegtes und kulturell Konstruiertes, absolut Passendes und unendlich Deplaziertes (...).“ (Melville 1996:144, zit.n. Gage 2010:7)

„Ob etwas »Farbe« hat oder nicht, ist sprachlich ebenso schwer zu definieren, wie »Was ist Musik« oder »Was ist musikalisch.«“ So Josef Albers in seinem Werk über die Wechselbeziehungen der Farbe. (Albers 1997:68)

Farben sind einerseits eine höchst subjektive Sinnesempfindung und andererseits sind sie Teil von präzisen, objektiv messbaren Phänomenen. In der Art wie sie von uns Menschen wahrgenommen und empfunden werden, sind sie im Gegensatz zu Form, Textur und Raum nicht existent in der physikalischen Wirklichkeit. Es fällt schwer, einen so allgegenwärtigen Teil unserer Sinneswahrnehmung als ein bloßes „Konstrukt unseres Nervensystems“ zu begreifen (vgl. Goldstein 1984).

Aus der Physik wissen wir, dass das Licht selbst nicht sichtbar ist, und erst durch das

Sichtbarmachen von Materie zum Vorschein kommt. Gernot Böhme plädiert in seinem Buch *Architektur und Atmosphäre* (2013) für eine Phänomenologie des Lichtes und bezieht sich dabei auf Goethe, der in Band I seiner Farbenlehre schreibt: „Denn es bleibt uns auch hier nichts übrig, als zu wiederholen: die Farbe sey die gesetzmäßige Natur in Bezug auf den Sinn des Auges.“ (Goethe 1810:XXXIX)

Böhme beschreibt in der Folge einen Versuch des US-Amerikanischen Physikers Artur Zajonc zum Beweis der Behauptung, dass das Licht nicht sichtbar sei: Zajonc konstruiert einen geschlossenen, innen geschwärzten Körper in den er durch eine kleine Öffnung Licht eindringen lässt. Im Inneren wird das Licht wiederholt reflektiert bis zur vollständigen Absorption, so dass nichts mehr davon aus dem Körper herausstrahlt. Schaut man nun in den Kasten in dem das Licht gefangen ist hinein, so sieht man nichts; das Licht ist sichtlich unsichtbar.

Dieser Versuch setze allerdings das Wissen um die Natur des Lichts als elektromagnetische Welle voraus, so Böhme. Es handle sich folglich um einen Kasten, in dessen Innerem sich elektromagnetische Strahlen befinden, die wir nicht sehen können. Ob es sich hierbei allerdings um Licht handelt, bezweifelt er, denn: phänomenologisch gesehen ist Licht immer in Bezug zu unserem Sehsinn zu betrachten. (vgl. Böhme 2013)

„Wenn man von Licht als Phänomen redet, ist es absurd zu behaupten, man könne es nicht sehen.“ (Böhme 2013:94)

Ludwig Wittgenstein widmet dem Thema Farben vor allem in seinem Spätwerk viel Aufmerksamkeit. Er schreibt in seinem Buch *Bemerkungen über die Farbe*: „Wenn ich von einem Papier sage, es sei rein weiß, und es würde Schnee neben das Papier gehalten und dieses sähe nun grau aus, so würde ich es in seiner normalen Umgebung doch mit recht weiß, nicht hellgrau, nennen.“ (Wittgenstein 1979:10)

Was wir als rein weißes Papier bezeichnen, kann in der realen Farbwahrnehmung unter bestimmten Lichtverhältnissen ein abgedunkeltes Weiß sowie alle Schattierungen von Grau bis hin zu Dunkelgrau mit gegebenenfalls sogar Schwarzwerten sein (vgl. Rothhaupt 2011). Wittgenstein notiert in einem seiner Tagebücher 1936: „Weiß ist auch eine Art Schwarz.“ (Wittgenstein 1997:147)

Hier wird die Diskrepanz zwischen sprachlich-logischen und empirisch wahrnehmbaren Erkenntnissen deutlich. „Wir wollen keine Theorie der Farben finden (weder eine physiologische, noch eine psychologische), sondern die Logik der Farbbegriffe. Und diese leistet, was man sich oft mit Unrecht von einer Theorie erwartet hat.“ (Wittgenstein 1979:15)

Wittgenstein stellt einen Vergleich her zwischen „X ist heller als Y“ und „X ist länger als Y“. Die Messung zweier Stäbe kann einerseits auf empirische Weise im direkten Vergleich der Längen erfolgen, oder logisch im Vergleich zweier Zahlen. Das gleiche gilt auch für die Messung von Helligkeitswerten. (vgl. Rothhaupt 2011)

Hierin zeigt sich die Bipolarität von Empirie und Logik. Die empirische, sprachexterne Betrachtungsweise enthält immer eine zeitliche Relation, während bei der logischen die interne Relation maßgebend ist. Letztere ist eine „(...) logisch-grammatikalische, eine apriorische und damit zeitlos fixierte Bezugnahme.“ (Rothhaupt 2011:68)

Wittgenstein weist in seinen *Sprachspielen* darauf hin, dass die Farbwörter Festsetzungen

seien und damit den Farbeindrücken eine Bedeutung geben, nicht umgekehrt. Das Semantische könne in diesem Zusammenhang nicht auf das Neuronale reduziert werden. Es besteht eine Asymmetrie zwischen dem Semantischen und dem Neuronalen, so der Philosoph Wilhelm Vossenkuhl: „Erst müssen wir wissen, was wir alles »rot« nennen, dann erst können wir – auch neurowissenschaftlich – die Prozesse identifizieren, die mit dem Gebrauch des Prädikats zusammenfallen.“ (Vossenkuhl zit. n. Rothhaupt 2011:77)

Wittgenstein beschäftigte sich in seiner philosophischen Betrachtung der Farben, mit den Farbwörtern und zeigt hier Zusammenhänge zwischen unserer Sprache und unserem trichromatischen Sehsinn auf.

Das Konzept der sich gegenüberstehenden und einander ausschließenden Komplementärfarben spiegelt sich auch in ihrer Benennung wieder. Wir verwenden selten die Worte „Rötlichgrün“ und „Gelblichblau“ und umgekehrt, oder auch die Kombination „ein bläuliches Orange“ oder ein „gelbliches Violett“. Diese Tatsache, die in den zahlreichen Farbtheorien zur Darstellung der Komplementärfarben an einander entgegengesetzten Polen führt, geht einher mit der Theorie, dass die Fotorezeptoren des menschlichen Auge sogenannte Gegenfarbpaare bilden. Wittgenstein geht in der Folge noch weiter in die Tiefe der Farbthematik, indem er sich mit den „Tiefendimensionen“ von Farben auseinandersetzt, worunter er Durchsichtigkeit, Transparenz, Spiegeln und Glänzen, Glühen und Leuchten versteht. (vgl. Rothhaupt 2011)

Physiologische Aspekte

Der Vorgang des Farbsehens kann in drei wesentliche Phasen unterteilt werden: die Stimulation durch Licht, die Wahrnehmung dessen durch die Fotorezeptoren und Nervenzellen, und die Erkenntnis dessen durch unser Bewusstsein (vgl. Bartenbach & Witting 2009).

Farben entstehen also in einem komplexen Zusammenspiel zwischen physikalischen, physiologischen, neurologischen und psychologischen Prozessen an der Schnittstelle zwischen der physikalischen Welt der Atome und Moleküle und der inneren Welt der phänomenologischen Zustände.

Eine häufig gebrauchte Definition von Farbe ist von der *Commission internationale de l'éclairage* (CIE), der Internationalen Beleuchtungskommission in der DIN 5033-3 festgelegt: „Farbe ist diejenige Gesichtsempfindung eines dem Auge des Menschen strukturlos erscheinenden Teiles des Gesichtsfeldes, durch die sich dieser Teil bei einäugiger Beobachtung mit unbewegtem Auge von einem gleichzeitig gesehenen, ebenfalls strukturlosen angrenzenden Bezirk allein unterscheiden kann.“ (DIN 5033, Teil 1 Farbmessung, zit. n. Grütter 2015: 325f.)

Farbe wird hier als nicht objektgebundene elementare Sinneswahrnehmung definiert. Die Farbwahrnehmung unterscheidet sich von der Strukturwahrnehmung, die durch Licht und Schatten ermöglicht wird, und von der Raumwahrnehmung, die erst durch beide Augen und durch die Bewegung des Kopfes möglich ist. Abgesehen davon ist sie abzugrenzen von der Wahrnehmung von Glanz, bei dem es sich um ein Phänomen des Helligkeits-Kontrasts handelt, das durch gleichzeitig für beide Augen unterschiedlich wahrgenommene Helligkeiten entsteht. (vgl. Richter 1981)

Farbbegriffe

Das Wort „Farbe“ selbst wird etymologisch vom mittelhochdeutschen „varwe“, althochdeutsch „farawa“, zu mittelhochdeutsch „var“, „varwer“, althochdeutsch „faro“, „farawēr“ (= farbig) und bedeutet ursprünglich gesprenkelt, bzw bunt (vgl. Duden 2015).

Es hat in den meisten Sprachen eine Vielzahl an übertragenen Bedeutungen; im Deutschen sind es laut Duden rund neun, im Englischen werden im *Webster's Encyclopedic Unabridged Dictionary* etwa 24 verschiedene Bedeutungen genannt. Abgesehen von Bedeutungen aus dem Bereich der Physik fallen diese beispielsweise auch in die Bereiche der Musik (Klangfarbe), der Dichtkunst oder auch der Psychologie. (vgl. Zollinger 2005)

Im Jahr 1969 wurde in der Studie von Berlin & Kay unter dem Titel *Basic Color Terms: Their Universality and Evolution* eine Untersuchung von Farbbegriffen für Grundfarben in 98 Sprachen durchgeführt.

Der Begriff Grundfarbe wurde dabei folgendermaßen definiert: er durfte nur ein sogenanntes Morphem (=die kleinste Spracheinheit, der eine Bedeutung zugeordnet werden kann) enthalten: - z.B. „rot“, aber nicht „ockerfarben“; er durfte nicht in anderem Begriff eingeschlossen sein oder auf einen begrenzten Objektbereich anwendbar sein, wie z.B. „blond“.

Es wurden nur Worte aus dem allgemeinen Sprachgebrauch untersucht. Als Ergebnis dieser Untersuchungen stellte sich heraus, dass elf Begriffe ausreichten, um die Grundfarben in allen untersuchten Kulturen zu bezeichnen. Diese elf Grundfarben stehen in hierarchischer Ordnung, d.h. es sind 33 Kombinationen möglich. (Abb. 01) (vgl. Funke 1998)

„Farbbegriffe sind universal, weil das menschliche Visuelle System universal ist!“ (Funke 1998:77)
Die Logik der Farbbegriffe ist eingebettet in einen bestimmten Kulturkontext und konkrete Lebenswelten von individuellen, sehenden Menschen (vgl. Rothhaupt 2011).



Abb. 01 Die elf Grundfarbbegriffe, hierarchisch geordnet

Aspekte der Farbgestaltung

Farbe steht immer in Zusammenhang mit Licht und ist in der Architektur von essentieller Bedeutung jenseits der Dekoration. Jede Architektur ist farbig, da Farbe untrennbar mit ihrer Materialität verbunden ist.

Studien im Bereich der Wahrnehmungspsychologie haben gezeigt, dass Farben maßgeblich an unserer Fähigkeit, Formen und Materialien zu beurteilen beteiligt sind und nicht auf eine ornamentale oder dekorative Komponente reduziert werden können (vgl. Chirimuuta & Kingdom 2015).³

„The colors of the bronze and the tinted glass of the building by Mies van der Rohe in New York City form as definite a scheme as any with bright colors“ so der Künstler Donald Judd in seinem Aufsatz *Some aspects of color in general and red and black in particular* (Judd 1994:5). Materialien und die Art in der sie miteinander kombiniert werden sind im Zusammenhang mit der Belichtung farbgebende Elemente der Architektur. Jeder Raum wird durch die Farbigkeit seiner Materialien und deren Texturen in seiner Atmosphäre geprägt.

Durch das einfallende Licht kommt es zu einer Wechselbeziehung der Materialien untereinander, wobei je nach Oberflächenstruktur und Lichteinfallswinkel unterschiedliche Farbstrukturen entstehen.

Farben werden auch im übertragenen Sinne als sogenannte Synästhesien bedeutsam, indem sie Eindrücke von Wärme, Kälte, Feuchtigkeit etc. hervorrufen können.

In Ihrer assoziativen Wirkung nach der Theorie der Ökologischen Valenz (vgl. Palmer & Schloss 2010) existieren Zuordnungen zu elementaren ökologischen Phänomenen. Zudem sind Farben im kulturellen und zeitlichen Kontext Träger kodierter Informationen.

Die Anwendung stark gesättigter, reiner Farben als dekoratives Element verlangt immer nach einer gewissen Legitimation.

Architektur sollte sich in ihrer Ästhetik in einen baulichen Kontext bzw. in den Kontext der Landschaft, sowie auch in einen kulturellen Kontext eingliedern.

In der modernen konsumorientierten Architektur werden wir täglich mit gezielt eingesetzten stark gesättigten chromatischen Farben konfrontiert; sei es in Form von Reklamesignalen oder Corporate-Identities. Auch in den modernen Medien, in unserem täglichen Umgang mit Licht emittierenden Screens sind bunte Farben allgegenwärtig und werden gezielt eingesetzt. Es können keine allgemein gültigen Aussagen getroffen werden was deren Symbolik und Bedeutung betrifft. Farben sind in diesem Zusammenhang immer subjektiv und untrennbar verbunden mit dem jeweiligen Kontext zu bewerten.

³: siehe auch: wahrnehmungspsychologische Aspekte, Seite 27

Farbtheorien

Farbenordnungen und Farbenlehren stellen den Versuch dar, den gesamten Farbraum, wie er sich dem menschlichen Auge erschließt, systematisch darzustellen und objektive Gesetzmäßigkeiten zu definieren.

Sie bilden die Grundlage für das Feld der Farbmetrik, welches im Zusammenhang mit der Anwendung von Farben in vielen Bereichen der Technik und der Kunst von Bedeutung ist.

Es existiert eine unglaubliche große Zahl an interessanten Modellen; im folgenden Abschnitt werden einige davon herausgegriffen und verschiedene Aspekte dargestellt.

Um einen tieferen Einblick in die Thematik zu erlangen empfiehlt sich die umfassende Webseite: *colorsystem - Farbsysteme in Kunst und Wissenschaft* <http://www.colorsystm.com> © 2011 Kontext Wissenschaft, Zürich.

Es handelt sich um ein chronologisch übersichtlich strukturiertes Kompendium vieler relevanter Farbtheorien, wobei jede einzelne im Detail betrachtet wird.

Jede solche Theorie ist untrennbar mit dem Verständnis des menschlichen Auges verbunden, welches in diesem Zusammenhang das relevante Bezugssystem ist, unabhängig von den physikalischen Gesetzmäßigkeiten des Lichts. So sind heutige Farbtheorien abgesehen von der Physik unter anderem auch auf Ergebnisse der Forschung im Bereich der Biologie, der Neurobiologie und der Neuropsychologie zurückzuführen.

In der Kolorimetrie wird die spektrale Zusammensetzung eines reflektierten, oder emittierten Farbreizes analysiert und als Spektralkurve dargestellt. In der Folge werden diesen Farbvalenzen zugeordnet, die sich auf die Empfindlichkeiten der drei Zapfentypen beziehen (vgl. Küppers 1987). „Das hat einerseits den Zweck vorzuberechnen, welche Farbempfindung sich beim Vorhandensein eines bestimmten Farbreizes bei einem normalsichtigen Menschen einstellen wird und andererseits – in umgekehrter Richtung – zu errechnen, welcher Farbreiz nötig ist, um beim Betrachter eine bestimmte Empfindung auszulösen.“ (Küppers 1987:143) Erst das Verständnis, wie diese Prozesse im Auge ablaufen, ermöglicht die Umsetzung solcher Verfahren.

Der menschliche Sehsinn

Der Vorgang des Farbsehens kann in drei wesentliche Phasen unterteilt werden: Die Stimulierung durch Licht, die Wahrnehmung und die Erkenntnis.

An erster Stelle steht das physiologische Sehen, bedingt durch das Licht, welches auf unsere Netzhaut trifft. An zweiter Stelle steht das passiv-unbewusste psychophysiologische Sehen als Prozess neuronaler Reaktionen, das was man als Wahrnehmung bezeichnet: das Gesehene wird intern bewertet; und an dritter Stelle steht das psychologische Sehen, d.h. die Wahrnehmung wird bewertet durch unser Bewusstsein und es entsteht ein Farbeindruck.

(vgl. Zollinger 2005, Bartenbach & Witting 2009)

Trifft ein Farbreiz auf unsere Netzhaut, so kommt es hier zu einer spektralspezifischen Reaktion der Fotorezeptoren. Diese werden in der Folge an ein neuronales Netzwerk weitergeleitet und in unserem Gehirn zu dem verarbeitet, was wir bewusst als einen Farbeindruck wahrnehmen. Von Grundlegender Bedeutung für das Verständnis der Physiologie des Auges und der

visuellen Wahrnehmung waren die Arbeiten des englischen Arztes und Physiologen Thomas Young (1773-1829), der bereits 1802 die These aufstellte, dass das menschliche Auge das gesamte Farbspektrum durch drei farbempfindliche Fotorezeptoren zusammensetzt. Er konnte diese These jedoch noch nicht beweisen. (vgl. Zollinger 2005)

Revolutionär für die Entwicklung der modernen Farbsysteme waren in der Folge insbesondere die Forschungsarbeiten des Physikers James Clerk Maxwell (1831-1879), des Physikers Hermann von Helmholtz (1821-1894) und des Physiologen und Neurologen Ewald Hering (1834-1918). Im Zusammenhang mit den Forschungsergebnissen von Maxwell, gelang es Hermann von Helmholtz schließlich, die sogenannte Tristimulus-Theorie zu beweisen, die bis heute als Erklärungsmodell der Funktionsweise des Auges herangezogen wird. (vgl. Liebmann & Welsch 2012)

Aufgrund der drei verschiedenen Typen von Zapfen, die für das menschliche Farbsehen verantwortlich sind, wird dieses als trichromatisch bezeichnet;

Maxwell erkannte den Zusammenhang der Empfindlichkeiten der drei Fotorezeptortypen mit den trichromatischen Phänomenen der additiven und der subtraktiven Farbmischung.

“(…) as pointed out by Maxwell (1855) (...) a linear form must exist between the tristimulus color matching properties of the eye, as established by the three primaries of additive light mixture, and the spectral sensitivities of the three physiological systems mediating the matches.” (Sharpe et al. 1999:3)

Auf der Netzhaut befinden sich in etwa 3- 6,5 Millionen Zapfen, die umgeben sind von etwa 125 Millionen Stäbchen für das Hell-Dunkel-Sehen, während der Sehnerv rund eine Million Nervenfasern aufweist, woraus man schließen kann, dass die Signale vieler Fotorezeptoren auf ein und dieselbe Nervenfasern konvergieren (vgl. Schneider 2013).

Sie reagieren auf elektrochemische Weise durch den Aufbau und Abbau des Sehfärbstoffes Rhodopsin. Die Stäbchen sind im Bereich jener Wellenlängen, die als Blau und Grün interpretiert werden am empfindlichsten, was die Hell-Dunkel Wahrnehmung betrifft, während sie im Rotlichtbereich ab ca. 640 nm unempfindlich sind. Rotes Licht erleichtert für das Auge den Übergang zur Dunkelheit. (vgl. Bartenbach & Witting 2009)

Die Zapfentypen werden als blau- grün- und rottempfindliche Zapfen bezeichnet, wobei diese nicht jeweils nur auf eine Wellenlänge reagieren; genau genommen handelt es sich um drei Bereiche mit einer sich überschneidenden Bandbreite an Wellenlängen. Die sogenannten S-Zapfen sind im kurzwelligeren Bereich für den blauen Anteil des Spektrums maximal empfindlich, die M-Zapfen reagieren im mittelwelligen Gelb-Grün-Bereich und die L-Zapfen im Überschneidungsbereich über Rot und Grün am empfindlichsten. (Abb. 02) Es gibt minimale Abweichung zwischen verschiedenen Menschen; einerseits kann dies auf gelbliche Pigmente in der Makula und der Linse zurückgeführt werden und andererseits gibt es genetisch bedingte geringe aber doch signifikante Abweichungen in der Beschaffenheit der Zapfen selbst. (Es existiert mehr als ein Genotyp.) Die Messung der exakten Empfindlichkeits-Bereiche ist aufgrund ihrer Überlappungen schwierig. (vgl. Stockman et al 1993)

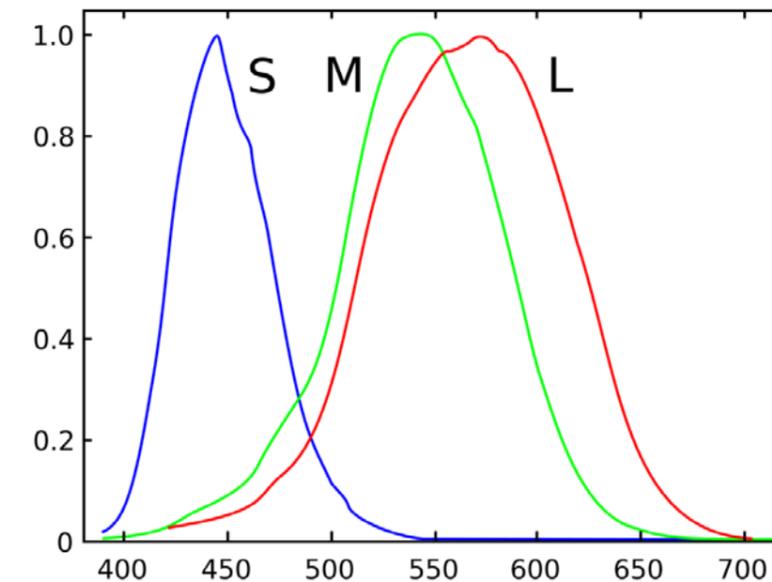


Abb. 02 Empfindlichkeits-Bereiche der S, M und L Zapfen

Was die genauen Vorgänge in der Netzhaut und das Zusammenspiel der Stäbchen und Zapfen sowie deren Kommunikation mit dem neuronalen Netzwerk im Gehirn betrifft, so existieren verschiedene Theorien. Wichtig ist die auf Ewald Hering (1834-1918) zurückgehende und von Leo Hurvich und Dorothea Jameson weiterentwickelte sogenannte Gegenfarb-Theorie (vgl. Hurvich & Jameson 1957).

Hering ging in seinen Untersuchungen von Phänomen der Sukzessivkontraste aus: bei längerem Betrachten einer farbigen Fläche, und bei anschließendem Betrachten einer weißen Fläche erscheint ein Nachbild in der jeweiligen Komplementärfarbe. Er stellte außerdem fest, dass es unmöglich ist, sich ein bläuliches Gelb, ein rötliches Grün, oder ein violettes Orange etc. vorzustellen. So kam er zu den Gegenfarbpaaren Rot-Grün und Gelb-Blau, wobei er das entstehende Nachbild jeweils als Folge der aktiven Hemmwirkung jeder Farbwahrnehmung durch Ihre Gegenfarbe auffasste. (vgl. Liebmann & Welsch 2012)

„Die Aktivität der Gegenfarbzellen beruht auf ihrer Erregbarkeit und Hemmbarkeit durch unterschiedliche Zapfentypen: Jede Gegenfarbzelle reagiert so auf eine Farbdifferenz und wird durch die Anwesenheit bestimmter Farben aktiviert und die Abwesenheit bestimmter Farben gehemmt.“ (Ansorge & Leder 2011:82)

Die Gegenfarbtheorie bildet die Grundlage vieler moderner Farbsysteme, die für die Entwicklung moderner Drucktechniken, der Farbfotographie, des Farbfilms etc. und für die digitale Fotografie bzw. das digitale Rendering wichtig waren (vgl. Liebmann & Welsch 2012)

In der jüngsten Vergangenheit haben moderne Untersuchungsmethoden in den Forschungsfeldern der Biologie, der Neurologie und der Psychologie zu zahlreichen Ergebnissen und Entdeckungen geführt. „Gleichwohl wird man irgendwo auf dem Weg von der Netzhaut bis zum Bewusstsein auf die Grenzen unseres heutigen Wissens stoßen.“ (Liebmann & Welsch 2012:225)

1766 entstand auf Basis von Newtons Modell der Farbenkreis von Moses Harris, in dem den Spektralfarben Helligkeitswerte hinzugefügt werden (Abb. 04) und wenig später erscheint ein Ähnlicher von Ignaz Schiffermüller, wo fließende Farbübergänge dargestellt werden (vgl. Baumann 2011). (Abb. 05)

Harris stellt im Inneren des Kreises drei gleichseitige Dreiecke vereint dar, die das Prinzip der subtraktiven Farbmischung aus den drei Grundfarben demonstrieren.

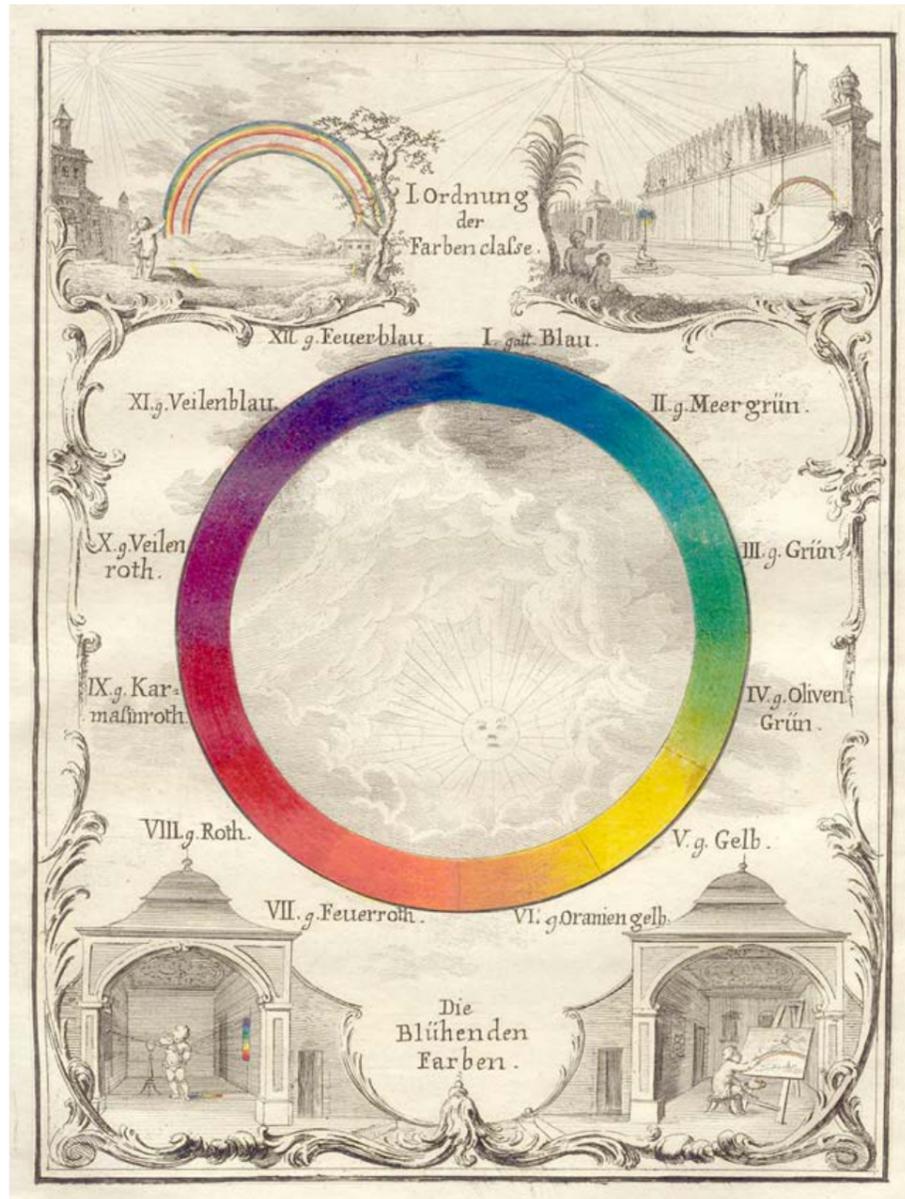


Abb. 05 Farbkreis nach Ignaz Schiffermüller 1772

Eines der ersten wissenschaftlichen Farbmodelle stammt von Phillip Otto Runge aus dem Jahr 1810 unter dem Titel „Construction des Verhältnisses aller Mischungen der Farben zueinander und ihrer vollständigen Affinität.“ (Baumann 2011:771)

Es entsteht zeitgleich mit Goethes Farbkreis und der Veröffentlichung seiner Farbenlehre.

Seine Grundlagen stammen aus der Malerei und er geht somit von den Pigmenten aus, die er in durchsichtig und undurchsichtig gliedert. Er entwickelte eine Farbkugel (Abb. 06) an deren Polen die Farben Schwarz und Weiß stehen, und in deren Zentrum sich Grau befindet. Er ordnete den Farben bestimmte Töne zu, wobei er Helligkeit und Dunkelheit mit den Höhen und Tiefen der Töne und die Qualitäten der Farbe mit den Färbungen der Töne in Zusammenhang stellte. Außerdem war für ihn die mystische und psychologische Bedeutung des Lichts und der Farben wichtig. (vgl. Baumann 2011)

Runges Modell beruht so wie die Theorie von Hering auf den Gegensatzpaaren Rot-Grün und Gelb-Blau und ist von grundlegender Bedeutung für viele nachfolgende Farbsysteme (vgl. Liebmann & Welsch 2012).

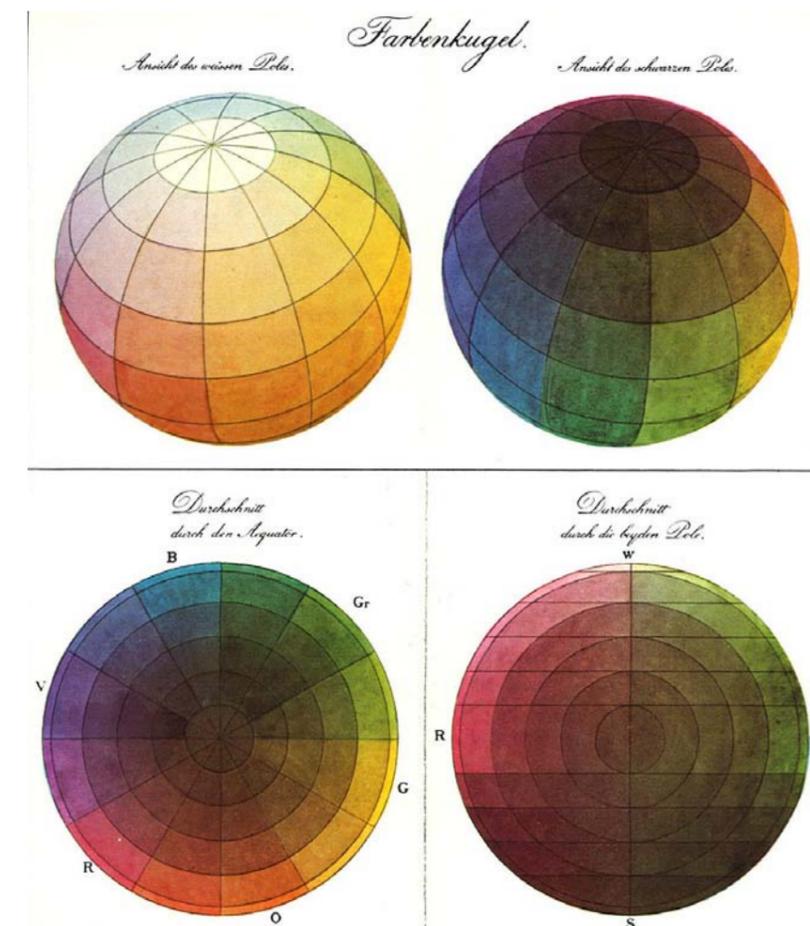


Abb. 06 Farbkugel von Otto Runge 1810

Traditionelle Farbtheorien, die sich seit dem 17. Jahrhundert entwickelten, basieren meist auf dem Konzept der drei Primärfarben Rot, Gelb und Blau, in verschiedenen Fällen ergänzt durch Schwarz, die als pure, reine Farben wahrgenommen werden. In der Mischung sollen theoretisch nahezu alle anderen Farbtöne erzeugt werden können. (vgl. Liebmann & Welsch 2012)

Die Dreifarbttheorien hielten sich teilweise bis ins 20. Jahrhundert, und wurden noch in den 1960er Jahren zum Beispiel von Johannes Itten vertreten. In seinem Werk *Kunst der Farbe* veröffentlichte er seinen bekannten Farbenkreis. (Abb. 07) Im Zentrum des Kreises befindet sich ein gleichseitiges Dreieck mit den drei Primärfarben Zinnoberrot, Ultramarinblau und Gelb. Dieses zentrale Dreieck ist wiederum von einem regelmäßigen Sechseck umgeben. Entlang der Seiten des Dreiecks sind nun jeweils die drei gemischten Sekundärfarben aufgetragen. In einem äußeren Kreis sind radial die Tertiärfarben Gelborange, Rotorange, Blauviolett, Rotviolett, Gelbgrün und Blaugrün, als Zwischentöne der Primär- und Sekundärfarben angeordnet, so dass sich die Komplementärfarben jeweils gegenüberliegen. (vgl. Itten 1987)

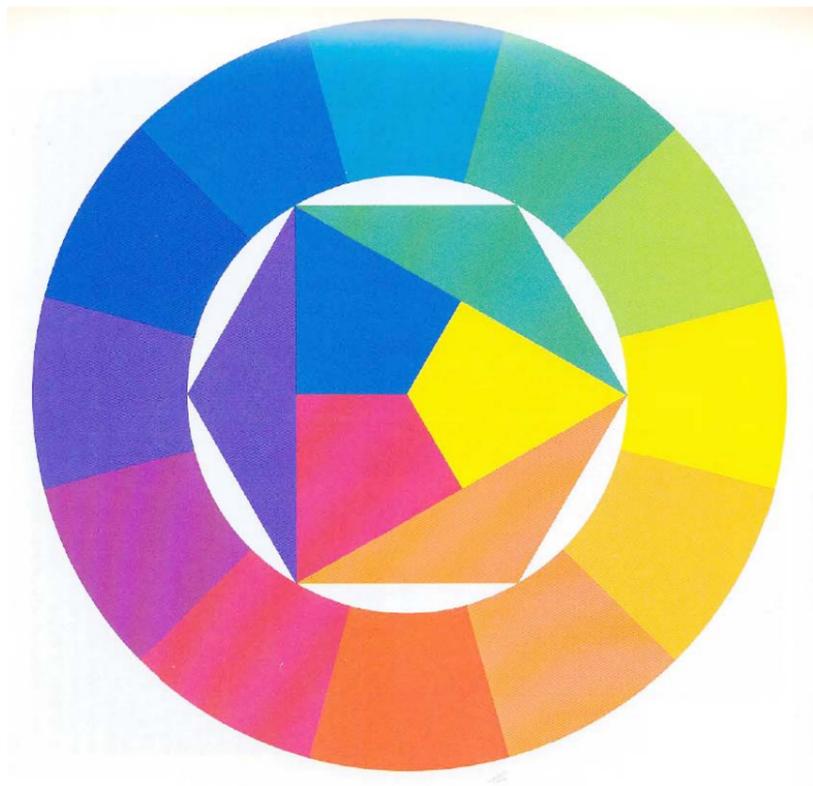


Abb. 07 Farbenkreis nach Johannes Itten

Die Farbenlehre von Johannes Itten ist weiterhin verbreitete, und wird an manchen Schulen gelehrt, obwohl sie nicht dem Stand der Wissenschaft entspricht (vgl. Küppers 2015). Im 19. Jahrhundert sind unter anderem die Farbtheorien von M.E. Chevreul, Charles Henry und Charles Blanc von Bedeutung, die in Zusammenhang mit der Entstehung des Impressionismus und verschiedenen anderen abstrakten Strömungen der Malerei des beginnenden 20.

Jahrhunderts standen (vgl. Weibel 2004).

Die traditionellen Farbenlehren stehen im Widerspruch zu der Tatsache, dass das Newtonsche Spektrum des Sonnenlichts sieben benannte Farbtöne enthält und dazu, dass grünes und oranges Licht physikalisch gesehen aus einer Mischung von zwei Wellenlängen, aber auch aus einer eigenen spezifischen Wellenlänge bestehen können. Farben, die in dieser Art von unserem Auge als identisch wahrgenommen werden, wobei sie gleichzeitig unterschiedliche Spektral-Kompositionen aufweisen, nennt man „metamere Farben“. So kann der Farbeindruck „Gelb“ entweder als Resultat von Licht mit einer Wellenlänge im Bereich von in etwa 575–580 nm entstehen oder als Mischung von rotem und grünem Licht. (vgl. Liebmann & Welsch 2012)

Goethes Farbenlehre

„Die phänomenologische Analyse (wie sie z.B. Goethe wollte) ist eine Begriffsanalyse und kann der Physik weder beistimmen noch widersprechen.“ (Wittgenstein 1979:38) so Ludwig Wittgenstein in *Bemerkungen über die Farben*.

Johann Wolfgang von Goethe (1749-1832) widmet sich in der Zeit seit seiner ersten Italienreise 1786 bis zu seinem Lebensende der Erforschung der Farben. Er selbst bezeichnet sein 1810 veröffentlichtes etwa 2000 Seiten umfassendes Werk, *die Farbenlehre* als sein Wichtigstes (vgl. Küppers 1987). Es besteht aus vier Teilen, einem „didaktischen Teil“, einem „polemischen Teil“, einem „historischen Teil“ und einem vierten weitgehend fragmentarisch gebliebenem Teil, der mit zahlreichen farbigen Illustrationen beginnt.

Er dokumentiert seine umfassenden Naturbetrachtungen und Versuche, wobei er Phänomene beschreibt, die erst sehr viel später durch die Forschung physikalisch erklärbar werden sollten. So beispielsweise das Entstehen komplementärfarbiger Schatten unter bestimmten Lichtverhältnissen oder die blaue Färbung des Himmels durch die Streuung des Sonnenlichts in der Atmosphäre. (vgl. Zollinger 2005)

Farben entstehen für Goethe zwischen Licht und Finsternis, wobei er „Weiß“ mit Licht und „Schwarz“ mit Finsternis gleichsetzt (vgl. Küppers 1987). Die chromatischen Farben leitet er aus Licht und Finsternis in Verbindung mit „Trüben Mitteln“ her: „Das höchstenergische Licht, wie das der Sonne, des Phosphors in Lebensluft verbrennend, ist blendend und farblos. (...). Dieses Licht aber durch ein auch nur wenig trübes Mittel gesehen, erscheint uns gelb.“ (Goethe 1810:57)

Er betrachtet nur Gelb und Blau als „reine“ Farben, wobei sich Gelb „zunächst am Licht“ und Blau „zunächst an der Finsternis“ befinden. Goethe ordnete den Farben auch Stimmungen zu. „Er versteht Farben in erster Linie «als Bewußtseinsinhalte von sinnlichen Qualitäten» und verlagert seine Analyse in das Gebiet der Psychologie. (vgl. Baumann 2011:766)

Goethe befasst sich im Zuge seiner Forschungsarbeiten auch mit dem menschlichen Sehsinn und widmet sich als einer der Ersten einer genauen Untersuchung verschiedener visueller Phänomene, wie unter anderem dem sogenannten Sukzessivkontrast, (auch Simultankontrast genannt) wobei er erkennt, dass es sich bei den hervorgerufenen Kontrastbildern um Komplementärfarben handelt (vgl. Zollinger 2005).

„(...) indem die in demselben diametral einander entgegengesetzten Farben diejenigen sind, welche sich im Auge wechselsweise fordern. So fordert Gelb das Violette, Orange das Blaue,

Purpur das Grüne, und umgekehrt.“ (Goethe 1810:19)

Die Abbildung zeigt Goethes Farbenkreis und die Zuordnungen der Farben zu verschiedenen Qualitäten. (Abb. 08)

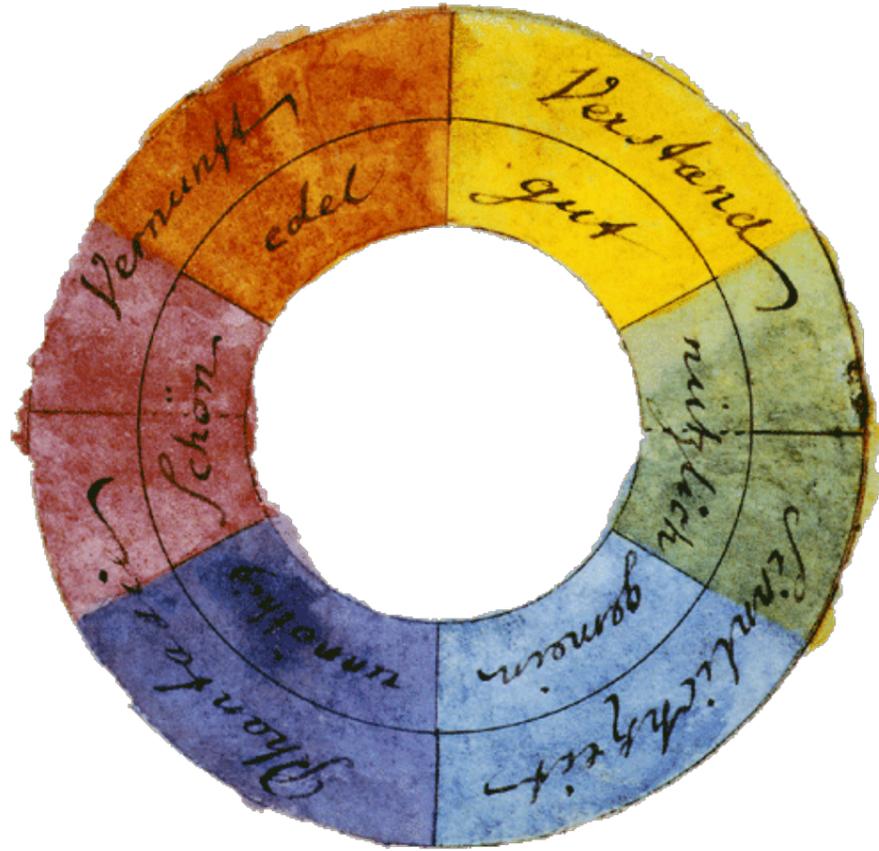


Abb. 08 Goethes Farbenkreis

Der „Polemische Teil“ der Farbenlehre enthält seine Schriften betreffend seine Ablehnung der Theorien von Isaac Newton. (vgl. Zollinger 2005)

„Da wir aber genugsam überzeugt sind, daß die Farbe nicht aus einer Theilung des Lichtes entstehe, sondern vielmehr durch den Zutritt einer äußeren Bedingung, die unter mancherley empirischen Formen, als des Trüben, des Schattens, der Gränze, sich ausspricht; (...).“

(Goethe 1810:231)

Goethe widerstrebt die Tatsache, dass Newton behauptet in seinem zentralen Experiment in der Rekombination der Spektralfarben „aus dunklen Farben ein helles Weiß zu mischen.“ (ebd. 1810:321) Der in der Folge vielfach publizierte Streit zwischen Newton und Goethe kann als Resultat eines grundlegenden Missverständnisses gedeutet werden. Newtons Forschungen galten rein dem Physikalischen, während es sich bei Goethe um eine philosophisch-phänomenologische beziehungsweise psychologische Herangehensweise handelt.

Aus Goethes Sicht können rein quantitative Forschungsmethoden dem Phänomen des Licht-

tes und der Farben und dem menschlichen Empfinden dieser niemals gerecht werden. Seinen naturwissenschaftlichen Schriften ist sein Anliegen zu entnehmen, „(...) dass die Natur als Ganzes anzusehen sei, in dem alles mit allem verbunden ist“ und demnach einzelne Erfahrungen nur isoliert erscheinen. (Zollinger 2005:229)

Johannes Itten – Kunst der Farbe

Itten sei hier genannt, da es sich bei seinem Farbmodell um eines der bekanntesten des 20. Jahrhunderts handelt. Seinen Farbenkreis veröffentlichte er erstmals 1921. Christoph Wagner weist in seinem Beitrag im Katalog zur Ausstellung: *Itten – Klee. Kosmos Farbe* darauf hin, dass bis in die jüngste Vergangenheit relativ wenig über die Entstehungsgeschichte dieses Modells bekannt war. Es stellte sich nun in der Auseinandersetzung mit Ittens Tagebüchern heraus, dass dieser bereits sehr früh Stichworte zu *Parallelen zur Musik*, den *sieben Kontrasten der Farben*, zu *Farbenlehre*, sowie zu *Farbklängen* notiert. (vgl. Wagner 2012) Bereits 1917 schreibt er: „Einen Farbkreis konstruieren, bei dem in gleichen Meridianen gleiche Helligkeiten sind. Dadurch würden die Helligkeitsabstufungen gleichmäßiger.“ (Wagner 2012:18)

Itten bezieht sich in seinen Ausführungen höchstwahrscheinlich auf die Theorien von Otto Runge, der den Farbenraum in Form einer Kugel dargestellt hatte. 1919 dokumentierte er in seinem Tagebuch wesentliche Elemente seiner übergreifenden Farbordnung: das Dreieck der drei Primärfarben Zinnoberrot, Ultramarinblau und Gelb, die „musikalische Klaviatur“, wo er Farbtöne Musiktönen zuordnet, zwei zwölfstimmige Farbenkreise, einer davon analog zu den zwölf Tönen innerhalb der Oktave, sowie den sechsstrahligen Farbenstern mit Bemerkungen zur „abschwellenden“ beziehungsweise „anschwellenden“ Lichtintensität.

Wassily Kandinsky geht davon aus dass das „optisch-psychische Erlebnis“ der Farben allgemeingültig sei für alle Menschen; das kann man den Manuskripten seiner Bauhaus-Vorlesungen aus 1932 entnehmen. Johannes Itten ist hingegen von der Subjektivität der Farbwahrnehmung überzeugt, er unterscheidet verschiedene „Farbtypen“ von Menschen. (vgl. Wagner 2012)

Die sieben Kontraste nach Johannes Itten

Itten beschreibt jeden seiner sieben Kontraste als einzigartig im Charakter und in der Art, wie er für einen Künstler relevant sein könnte und geht dabei auf visuelle, den Ausdruck betreffende und symbolische Aspekte ein, mit der Motivation, eine grundlegende Ressource für die Anwendung von Farben in der Gestaltung zu schaffen. (vgl. Itten 1987)

1.: Der *Farbe-An-Sich-Kontrast* entsteht wenn mindestens drei Farben direkt aufeinandertreffen. Handelt es sich um chromatische Farben, so nennt man ihn Buntkontrast, während beim Unbuntkontrast noch die Farben Schwarz und Weiß hinzukommen. Grundfarben ergeben die stärksten Kontraste.

2.: Der *Hell-Dunkel Kontrast* ist als wesentlicher Primärkontrast der fundamentalen Polarität zwischen Licht und Dunkelheit von entscheidender Wichtigkeit.

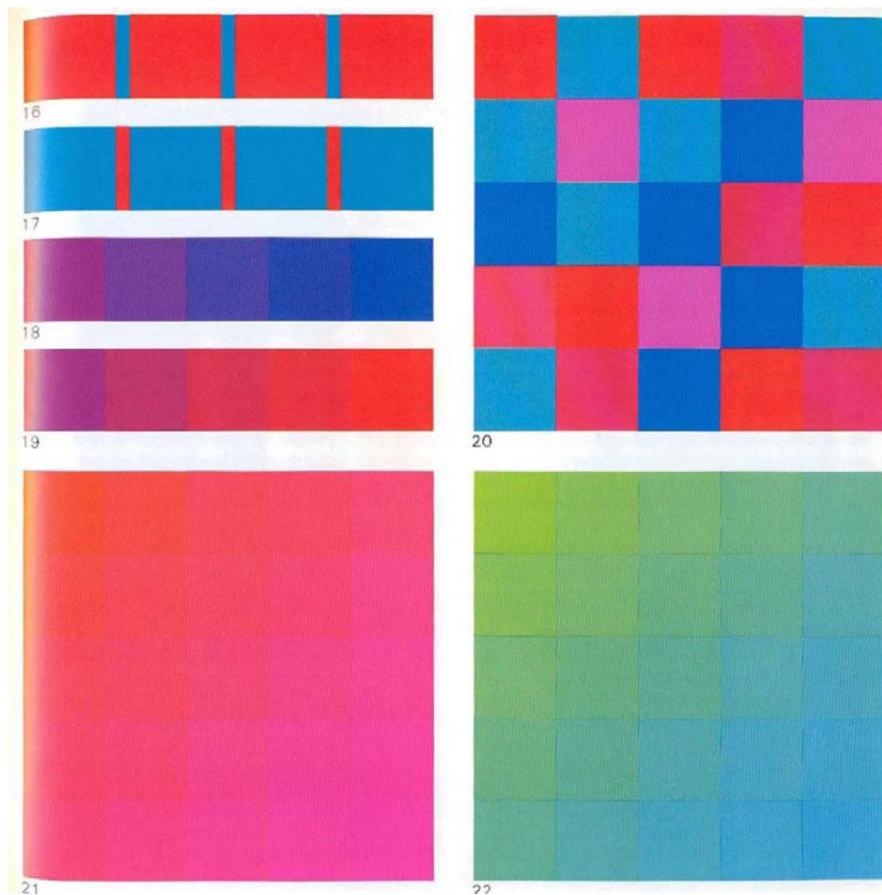


Abb. 09 Johannes Itten - Kalt-Warm-Kontrast

3.: Der Kalt-Warm-Kontrast

Hier geht Itten von den durch die sogenannten *ecological valence theory* (vgl. Palmer & Schloss 2010) bestätigten Annahmen der menschlichen Assoziation von Farben mit elementaren ökologischen Phänomenen aus. Rotorange ist dementsprechend die wärmste Farbe, Blaugrün hingegen die kälteste Farbe. Er wird auch mit dem Nah-Fern Kontrast in Verbindung gebracht der beispielsweise in der sogenannten Farbperspektive angewandt wird. So erscheinen uns ins Bläulichere und Blassere gehende Farben weiter in die Ferne gerückt zu sein. Der Kalt-Warm Kontrast ist von subjektiven Empfindungen abhängig und kann von Mensch zu Mensch unterschiedlich bewertet werden.

4.: Der Komplementär-Kontrast

Stärkste Kontraste können durch die einander diametral gegenübergesetzten Komplementär-farben erreicht werden.

5.: Der Simultan-Kontrast

Farben erscheinen unterschiedlich, wenn sie im Simultankontrast, das heißt gleichzeitig in ihrer Wechselwirkung dargestellt werden. Er basiert auf der Eigenschaft des menschlichen Auges, beim Anblick intensiver Farben komplementärfarbige Nachbilder produzieren, was vielfach in Josef Albers Farbtafeln in seinem Werk über die Wechselbeziehung der Farbe demonstriert wird.

6.: Der Qualitätskontrast

In diesem Zusammenhang bezeichnet die Qualität den Grad der Reinheit oder Sättigung der Farbe. Dieser wird beeinflusst durch die Mischung mit Schwarz, Grau, Weiß oder der jeweiligen Komplementärfarbe.

7.: Der Quantitätskontrast bezeichnet die Größenverhältnisse von mehreren Farbflächen im Kontrast.

(Punkt 1-7 vgl. Itten 1987)

Kritik an Ittens Farbenlehre

Der Farbforscher Harald Küppers erklärt Ittens Farbenlehre schlichtweg für falsch: Ittens Komplementärfarben ergäben in ihrer Mischung nicht Grau, Schwarz und Weiß seien nicht als „Nichtfarben“, sondern als gleichwertig mit den bunten Farben zu betrachten. Aus Ittens drei Grundfarben ließen sich weitaus nicht alle anderen Farbtöne mischen. Was er als Farbe-an-Sich-Kontrast bezeichnet, sei eine Darstellung aller erdenklichen Kontraste, Hell-Dunkel-Kontraste seien ein Phänomen der Helligkeit, nicht der Farbe, bei Kalt-Warm Kontrasten handelte es sich um Variationen der Komplementärkontraste, und der Simultankontrast sei auf physiologische Vorgänge im Auge zurückzuführen, und wäre somit als biologischer Aspekt getrennt zu betrachten. Der Quantitätskontrast schließlich sei eine Darstellung von Flächenbeziehungen und hätte nichts mit Farben zu tun. (vgl. Küppers 2015)

Moderne Farbtheorien

In Zusammenhang mit der Gegenfarbtheorie des Physiologen und Arztes Ewald Hering (1834–1918), welche er in seinem Werk *Grundzüge der Lehre vom Lichtsinn* (1920) darstellt, werden analog zu den Rezeptionsvorgängen im menschlichen Auge vier psychologische Grundfarben unterschieden, die drei Primärfarben ergänzt um Grün, die in zwei einander gegenüberstehende Paare unterteilt werden: Gelb gegenüber von Blau und Rot gegenüber von Grün (vgl. Hurvich & Jameson 1957).

Schwarz und alle Schattierungen von Grau können durch Zusammenmischung von Sekundär- und Primärfarben hergestellt werden und enthalten folglich Mischungen aller drei Primärfarben.

Das Modell der vier Grundfarben korrespondiert mit der Tatsache, dass wir diese Farben als „rein“ wahrnehmen, während alle anderen Farbtöne als Kombinationen zustande kommen; Orange kann immer als rötlich oder gelblich wahrgenommen werden, Violett tendiert in Richtung rötlich oder bläulich, während es für Grün einen Farbwert gibt, der weder ins Gelbliche noch ins Bläuliche tendiert (vgl. Rothhaupt 2011). Bei Violett und Orange „(...) handelt [es] sich daher nicht nur um Mischfarben, also um Farben, die empirisch aus Primärfarben hergestellt werden können, sondern auch um Zwischenfarben, also um Farben, die logisch-grammatikalisch jeweils zwischen zwei Primärfarben situiert sind.“ (Rothhaupt 2011:71)

Bei den vier psychologischen Grundfarben handelt es sich nicht um physikalische Phänomene, sondern um die Primärfarben der menschlichen Wahrnehmung, wobei Blau von den Lichtstrahlen im kurzwelligeren Bereich, Gelb von denen im langwelligen Bereich hervorgerufen wird, Grün im mittelwelligen Bereich liegt und Rot von den zwei Extremen hervorgerufen wird.

Die Theorie der vier primären Farben, die bereits bei Leonardo Da Vinci und Goethe angedeutet wurde ist sind die Grundlage für viele heute gebräuchlichen Farbsysteme, so beispielsweise für das *Ostwald-System* (UK) und das Schwedische *Natural Colour System* (NCS), welches Standard in Skandinavien und Spanien ist (vgl. Baumann 2011).

Rot, Gelb, Grün und Blau sind also die vier Primärfarben der menschlichen Wahrnehmung und die Grundlagen der modernen Farbtheorien. Hier fällt die Farbe Grün auf, die traditionell nicht zu den Grundfarben gezählt wurde.

Dass es sich bei Grün um eine Primärfarbe handelt, spiegelt sich auch in unserer Sprache wieder: „(...) [es] zeigt sich der Sachverhalt, dass »Grün« zwar empirisch eine Mischfarbe [aus Gelb und Blau], aber logisch keine Zwischenfarbe, sondern eine Primärfarbe ist, sprachlich schon daran, dass es möglich ist, wie bei den anderen Primärfarben Gelb, Rot und Blau auch, »-lich« zu verwenden, also »Grünlich«, »Grünlichgelb«, »Grünlichblau« zu formulieren, nicht aber, bei den anderen Mischfarben, die dagegen Zwischenfarben sind, »Orangelich« oder »Violettlich« zu sagen“ (Rothhaupt 2011:71). Wir differenzieren bei den Mischfarben in Wortkombinationen, z.B. im Fall von Violett, Blauviolett oder Rotviolett, beziehungsweise auch Rötlichviolett etc.. In diesem Sinn fordert Wittgenstein die Darstellung des Farbraums nach der Farbgrammatik in einem Farboktaeder, während er die Darstellung als Doppelkegel (wie beispielsweise im HVS- oder NCS-System) für nicht repräsentativ hält (vgl. Rothhaupt 2011). (Abb. 10)

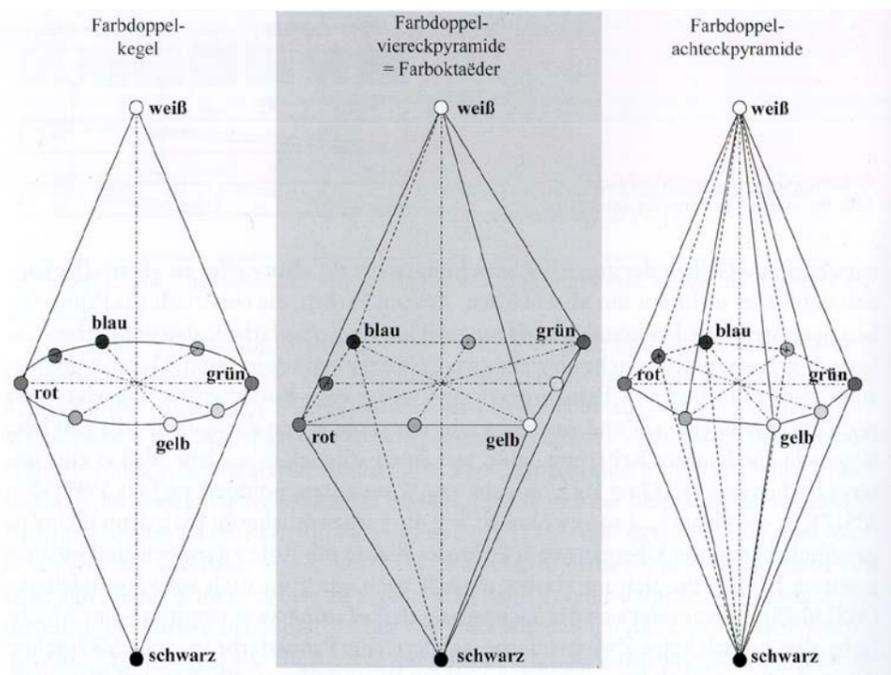


Abb. 10 Farboktaeder nach Wittgenstein

Die vier Grundfarben sind zu unterscheiden von den Farben der additiven und der subtraktiven Farbmischungen, die leicht davon abweichen, obwohl sie in den generellen ähnlichen Bereich fallen: d.h. Cyan ist beispielsweise nicht das, was wir unter Blau verstehen und das Orange-Rot der additiven Farbmischung entspricht nicht ganz dem, was wir unter reinem Rot verstehen.

Die drei Primärfarben der additive Farbmischung sind Rot Grün und Blau (RGB) - bzw. Orangerot, Grün und Violettblau, nach Harald Küppers, [die auch oft synonym als „Spektralfarben“, „Lichtfarben“ oder „RGB-Farben“ bezeichnet werden, Anm.] sind die drei primären Farben, welche durch additive Lichtmischung das gesamte Farbspektrum ergeben (vgl. Küppers 1987).

Es handelt sich beispielsweise um die Farbstimuli auf Licht emittierenden Geräten wie auf allen Bildschirmen, TV-Geräten et cetera. Durch sie kommt der RGB-Farbraum (gamut) zustande. Cyan, Magenta und Gelb (CMY), die drei primären Pigmentfarben, sind die Primärfarben der subtraktiven Farbmischung, die durch Absorption von Licht nur bestimmte Wellenlängen sichtbar werden lassen. (Abb. 11) Diese werden im Digitaldruckverfahren verwendet, wobei hier noch Schwarz dazukommt. So kommt der sogenannte CMYK-Farbraum zustande. (vgl. Liebmann & Welsch 2012)

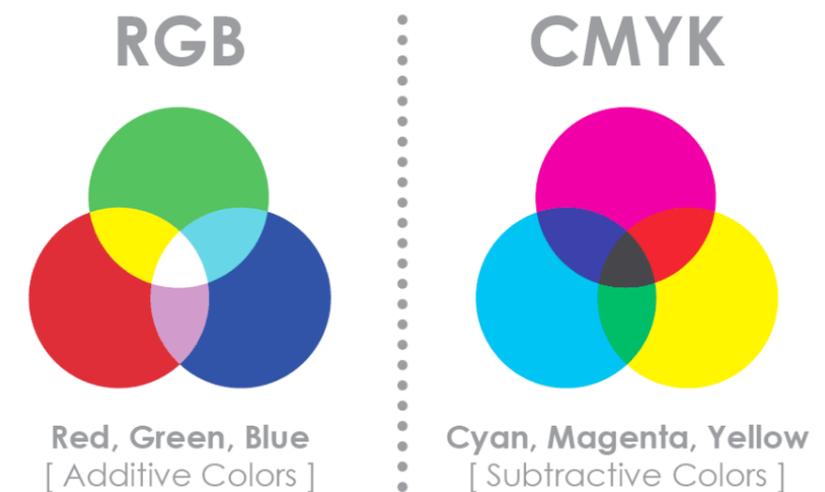


Abb. 11 additive und subtraktive Farbmischung

Farbensystem nach Ostwald

Willhelm Ostwald (1853-1932) konzipierte ein Farbsystem, das 1918 in Leipzig unter dem Titel *die Farbenfibel* erstmals veröffentlicht wurde. Jede Farbe wird durch ihren Ton, ihren Helligkeitswert und ihren Reinheitswert definiert. Er stellt sein System als Doppelkegel dar auf dessen zentraler Kreisfläche 24 Farbtöne aufgetragen sind, die aus vier Grundfarben Gelb, Blau, Rot und Seegrün, hier auch Urfarben genannt, und ihren Zwischentönen bestehen.

Die Vertikalachse bestimmt die Helligkeitswerte, wobei sich Weiß an der oberen, Schwarz an der unteren Spitze befindet. (vgl. Baumann 2011) Das Ostwald System kann gemeinsam mit dem Munsell System als Vorläufer des natural color systems (NCS) betrachtet werden. (vgl. Baumann 2011) (Abb. 12)

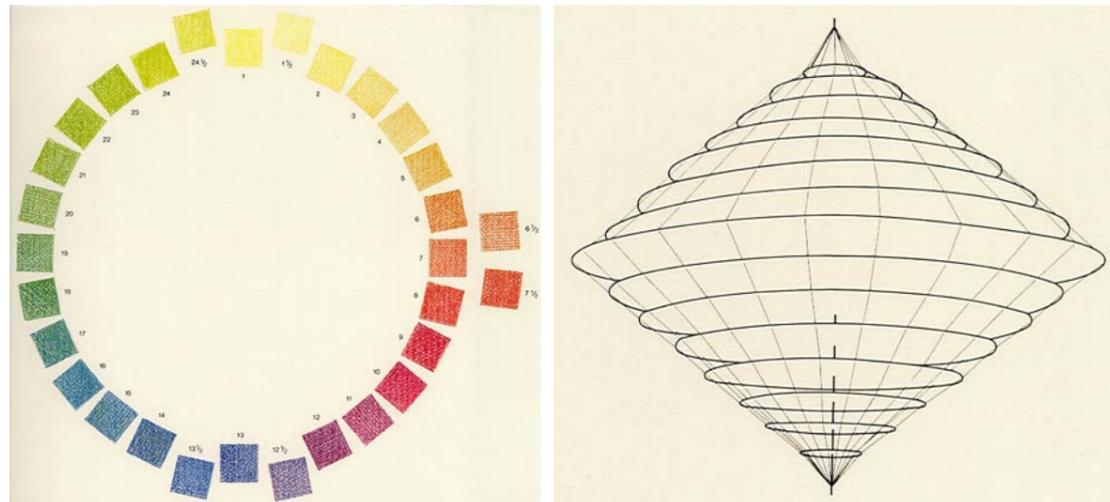


Abb. 12 Farbsystem nach Ostwald 1918



Munsell Color System

Das Munsell Color System nach Albert H. Munsell (1858-1918) entstand etwa zugleich mit dem Ostwald System in den USA nach der Systematik des HSV-Prinzips (hue, saturation,value) und auf der Basis von der „empfindungsgemäßen Gleichabständigkeit“, so dass der Abstand jeder Farbe zur nächsten als in etwa gleich empfunden wird. (Baumann 2011:869)

Bei der graphischen Darstellung des Volumenkörpers seines Farbraums handelt es sich um eine Figur, die oft als „Baum“ bezeichnet wird. (vgl. Sachsse 2004)(Abb. 13)

Das *Munsell Color System* ist eines der bis heute weltweit am häufigsten genutzten Systeme, das grundlegend an der Entwicklung zahlreicher Farbnormen, vor allem in England und in den USA, beteiligt war (vgl. Liebmann & Welsch 2012).

Es führte beispielsweise zur Definition des HSL-Farbraums (hue, saturation, lightness), der im Informatik-Bereich Standard ist. Außerdem war es die Basis für die sogenannten ICC Farb-Normprofile, die in der Software-Entwicklung und beispielsweise auch für Geräte wie Drucker, Scanner und Monitore angewendet werden (vgl. Sachsse 2004).

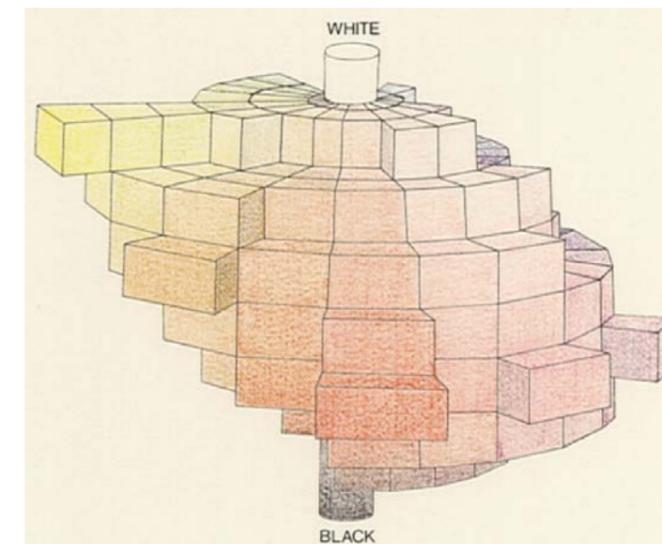
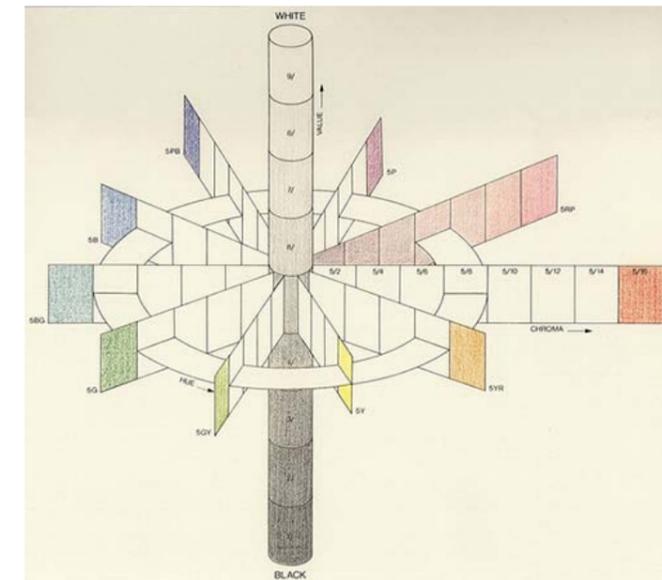


Abb. 13 Munsell Color System

NCS – natural color system

Das *NCS-System*, dessen Farbkörper 1981 von Hard & Sivik entworfen wurde geht auf die Modelle von Ostwald und Munsell zurück und ist Standard in Skandinavien. Alle für das menschliche Auge sichtbaren Farben können definiert werden über die drei Dimensionen hue, saturation und value. Die Farbtöne (hues) sind im waagerechten Kreis radial aufgetragen (Rot-Grün und Blau-Gelb Achse), während ihre jeweilige Sättigung oder Reinheit (Saturation, oder auch Chroma) von innen nach außen abzulesen ist, wobei sich grau im Zentrum der vertikalen Achse, die sich von Schwarz nach Weiß erstreckt, befindet. Komplementärfarben ergeben gemeinsam Grau Die Dritte Dimension beschreibt mit value den Helligkeitswert (lightness, brightness) aufgetragen auf der vertikalen Achse mit Weiß am oberen und Schwarz am unteren Ende des Farbkörpers. (vgl. Baumann 2011)

Jede für das menschliche Auge wahrnehmbare Farbe korrespondiert so mit einem Punkt in diesem dreidimensionalen Farbraum und kann eindeutig identifiziert werden.

„NCS beschreibt die Farbe jedes beliebigen Materials. Mit numerischen Farbkodes, den NCS Bezeichnungen, wie z B NCS S 1080-Y70R, kann jede denkbare Farbe exakt beschrieben werden.“ (NCS Colour GmbH 2015)

CIE Chromatizitätsdiagramm

Das erste bedeutende, farbmetrische Modell veröffentlichte 1931 die *Commission internationale de l'éclairage*, kurz: CIE, die Internationalen Beleuchtungskommission. Es handelt sich um ein System genormter Farbvalenzen, das aus der Übertragung des dreidimensionalen RGB-Farbraumes in die zweidimensionale Fläche entwickelt wurde. Das so entstandene sohlenförmige Feld repräsentiert auf Grundlage der primären Spektralfarben Rot, Grün und Blau alle Farben, die das menschliche Auge wahrnehmen kann. Aus dem CIE-Diagramm wurde auf Grundlage der Theorien von Hering und Munsell durch Hinzufügen einer Hell-Dunkel Achse der sogenannte CIE-L*a*b* Farbraum abgeleitet, wobei a- für Blaugrün, a+ für Karminrot, b- für Blau, b+ für Gelb und L für die Helligkeitswerte steht, der aufgrund seiner Geräteunabhängigkeit heute den Standard für Farbmanagementsysteme darstellt. (vgl. Liebmann & Welsch 2012)

Rolf Sachsse bemerkt in seinem Vorwort zu Willhelm Ostwalds Farbenlehre, dass jenseits aller Debatten in der Kunst die modernen Medien zu einem neuen Farbverständnis geführt haben durch die allgegenwärtige und ständige wechselnde Auseinandersetzung unseres Auges mit den Farben von Licht emittierende Geräten wie Monitoren beziehungsweise mit Farben in ihrer Materialität (vgl. Sachsse 2004).

„Die konstante Kalibrierung von Auge, Monitor, Ausdruck und Festkörper macht die Benennung und Bewertung der einzelnen Farbe sowie ihrer Relationen im Sinne von Stimmigkeit, Kontrast oder Harmonie überflüssig. Josef Albers' Lehre von der Interaktion der Farben erhält unter diesem Aspekt ein neues Gewicht.“ (Sachsse 2004:18)

Er argumentiert in diesem Zusammenhang weiter, dass die Definition der einzelnen Farben vergeblich wäre: „(...) gerade noch ein Aufmerksamkeitswert in ökonomischer Berechnung ist der Farbe zuzuordnen; dies aber auch nur dann, wenn sie mit einem zeitlichen Effekt gekoppelt ist.“ (Sachsse 2004:18)

Farben – wahrnehmungspsychologische Aspekte

„More than the so-called form, or the shapes, color is the most powerful force.“ (Judd 1994:6)
Donald Judd

Die Wirkung von Farben ist unbestritten. Um welche Wirkung es sich im konkreten Fall handelt, und wie diese zustande kommt ist nur in komplexen Zusammenhängen zu beurteilen. Unsere Bewertung von Farbeempfindungen, ob wir eine Farbe beispielsweise als angenehm, schön, ansprechend oder als irritierend oder abstoßend etc. empfinden, und welche Bedeutungen wir diesen Farbeempfindungen zuweisen ist abhängig von einer Vielzahl an externen und internen Faktoren. Es werden objektive und subjektive Faktoren unterschieden.

„Wenn jemand >Rot< sagt (als Bezeichnung einer Farbe) und wenn 50 Personen zuhören, darf man erwarten, daß [sic] 50 verschiedene Rot in ihrem Bewusstsein auftauchen. Man darf sicher sein, daß [sic] all diese Rot verschieden sind.“ Josef Albers (1997:22)

Farben existieren immer in einem Kontext, sie existieren in Relationen, und, wie Josef Albers in seinem Werk *Interaction of color* zeigt, können sie dabei starken Schwankungen unterliegen (vgl. Albers 1997). Abgesehen vom subjektiven internen und externen Kontext, der wesentlich zur Rezeption von Farben beiträgt und mit dem sie untrennbar verbunden sind können objektive Wahrnehmungsphänomene beobachtet werden, die unter anderem darauf beruhen, dass alle Menschen über die gleichen Sinnesorgane verfügen und Lichtreize sofern keine Störungen vorliegen auf die gleiche Weise aufgenommen werden.

Der Farbenpsychologe und Zoologe Heinrich Frieling (1910–1966) schreibt in seinem Buch *Mensch und Farbe*: „Werden wir von der Sonne oder einer hell blendenden Glas- oder Metallfläche getroffen, so sehen wir eine weiße Buchseite mit schwarzen Buchstaben nur noch in Purpur und Grün, wobei die Buchstaben dunkel aussehen, das Papier aber hell purpurn erscheint.“ (Frieling 1981:14f.) Frieling führt im Weiteren aus, dass eben dieses Phänomen selbst beim Betrachten einer weißen Schneefläche auftritt. „(...) beim Blick in einen dunklen Raum aber sehen wir alles grün.“ (Frieling ebd.)

Goethe beschreibt in seiner Farbenlehre (1810) das Phänomen der komplementärfarbige Schatten in vielen empirischen Versuchen (vgl. Goethe 1810). Es wird deutlich, dass die Komplementärfarben Purpur bzw. Violett und Grün, je nach Schattierung, wesentliche Bestandteile unseres Sehsinns sind. Dies entspricht den Ergebnissen der Forschung (vgl. Stockman et al 1993), wonach zwei der drei Typen der Fotorezeptoren im menschlichen Auge ihre maximale Empfindlichkeit im Rot-Grün-Bereich aufweisen. Rot und Grün sind auch jene Farben, die in der Natur von großer Bedeutung sind: Chlorophyll, der grüne Blattfarbstoff, der für alle Pflanzen zur Photosynthese dient, absorbiert Licht im hauptsächlich violetten und blauen, aber auch im roten Wellenlängenbereich und reflektiert daher Grün (vgl. Raven et al. 2006). In der Natur färben sich die Blätter im Herbst von Grün nach Rot. Grün ist in Form von Chlorophyll für die Versorgung mit Sauerstoff notwendig. Der rote Blutfarbstoff Hämoglobin ist erforderlich, um diesen in die Zellen des menschlichen Körpers zu transportieren. (vgl. Frieling 1981)

Donald Judd schreibt in seinem Aufsatz *Some aspects of color in general and red and black in particular* (1994), dass es sich bei Farben wie bei allen Sinneserfahrungen um Wissen handle. Subjektive Erfahrung oder objektive Erfahrung führten zu [Er]kenntnissen, so auch im Falle der Farben (vgl. Judd 1994).

Wir wissen, dass eine Wiese grün ist, da wir sie so erlebt haben; folglich werden wir auf Abbildungen auch jene Wiesen als grün erkennen, die isoliert betrachtet nicht als solche bezeichnet werden könnten. Untersuchungen zu Farbzuordnungen bei bekannten bzw. abstrakten Objekten haben gezeigt, dass assoziationsbedingte Abweichungen in der Variabilität des akzeptierten Farbtons, der einem Objekt zugeordnet wird bestehen (vgl. Yendrikhovskij et al 1996). Unser Farbgedächtnis hat einen starken Einfluss darauf, wie wir Farbeindrücke assoziativ korrigieren. Beim Betrachten eines Fotos einer realen Situation werden die dargestellten Farben mit jenen, die in unserer Erinnerung an vergleichbare Situationen bestehen bzw. mit unserer erlernten korrekten Farbassoziation abgeglichen und gegebenenfalls korrigiert.

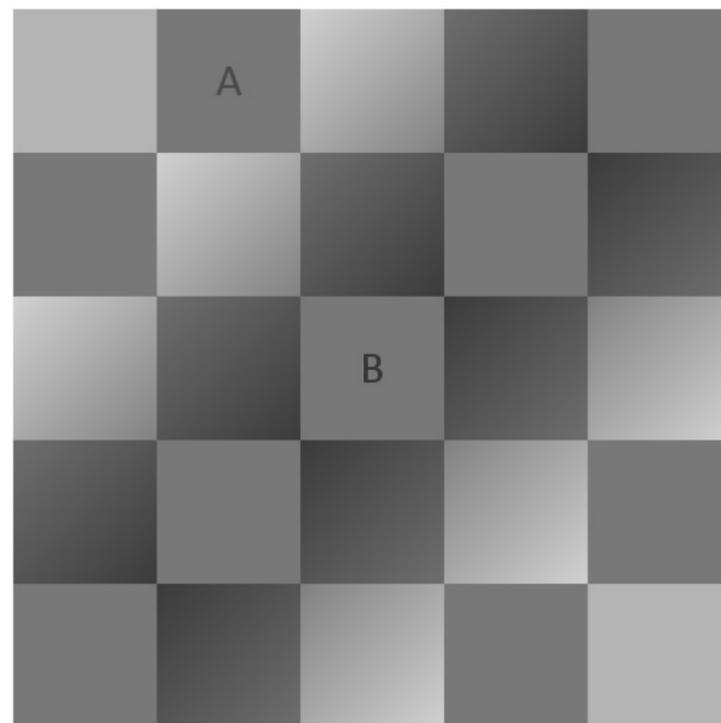


Abb. 14 Feld B scheint heller als A

Der erwartete Helligkeitsunterschied wird von unserem Gehirn entsprechend ausgeglichen: Obwohl die beiden Felder A und B identisch sind in ihrer Farbe und denselben Helligkeitswert besitzen, erscheint uns Feld A vergleichsweise dunkler. (Abb. 14)

Wir erkennen aus der Logik der Schattenbildung zwei verschiedenen Schattierungen einer Farbe auf dem Schachbrettmuster obwohl es sich, isoliert betrachtet um ein und dieselbe Farbe handelt. Das hat damit zu tun, dass unser visuelles System über Mechanismen verfügt, die zur Konstanz von Farbeindrücken in unterschiedlichen Belichtungssituationen führen (vgl. Chirimuuta & Kingdom 2015).

Wir sehen Farb- und Helligkeitsunterschiede immer in Relationen. Die Abbildung (Abb. 15) illustriert den Einfluss der Hintergrundfarbe auf den mittleren Streifen. Wird der verlaufende Hintergrund entfernt, so erscheint der mittlere Streifen einheitlich grau.



Abb. 15 relative Helligkeitswahrnehmung 1



Abb. 16 relative Helligkeitswahrnehmung 2

(Abb. 16) Das linke Farbfeld erscheint dunkler, de facto handelt es sich um dieselbe Farbe. Der Effekt ist darauf zurückzuführen, dass die beiden Felder in der Mitte durch einen Streifen mit einem einseitigen Farbverlauf in einen dunkleren Grauton getrennt sind. Die Abbildung rechts zeigt dieselben Farbfelder ohne den trennenden Streifen, die wir jetzt als zwei idente Grautöne wahrnehmen. (vgl. Walairacht 2013)

Studien zum Thema Wahrnehmungspsychologie der Farben

In zahlreichen Studien zum Thema Farbpräferenzen und Farbwirkung konnten kulturübergreifende Übereinstimmungen festgestellt werden, die unter anderem mit der Theorie der Ökologischen Valenz erklärt werden können, wonach Farbpräferenzen durch die affektive Reaktion, die mit assoziierten Objekten verbunden ist zustande kommen (vgl. Palmer & Schloss 2010). Geht man von den Ergebnissen verschiedener wissenschaftlicher Forschungsstudien aus, gibt es ferner wahrnehmungspsychologische kulturübergreifende Phänomene die nicht auf ökologische bzw. biologische Ursachen zurückgeführt werden können.

So existieren beispielsweise zahlreiche Studien, die auf geschlechtsspezifische Farbpräferenzen eingehen und es konnten Korrelationen zwischen den Abweichungen in der Bewertung von Farben zwischen Männern und Frauen festgestellt werden:

“Both sexes preferred colors that were more violet to colors that were more yellow-green. On the LM-axis, however, females weighted somewhat positively, preferring redder colors, and males weighted somewhat negatively, preferring colors that were more blue-green.” (Palmer & Schloss 2010:8877)

Wir sind ständig von Farben umgeben, es handelt sich um ein allgegenwärtiges Phänomen. Andrew J. Elliot weist in seinem Forschungsbericht zum Thema „Color and Psychological Functioning“ (2015) darauf hin, dass mehr Forschungsarbeit zum Thema Farben und wie sie Affekte, Kognitionen und Verhalten beeinflussen notwendig sei (vgl. Elliot 2015).

Farbempfindungen und ihre Bedeutung im visuellen System

Im folgenden Abschnitt wird näher auf einen Forschungsbericht von M. Chirimuuta und F. A. Kingdom aus dem Jahr 2015 mit dem Titel: *The Uses of Colour Vision: Ornamental, Practical, and Theoretical* eingegangen.

Im Zuge der Fragestellung nach dem Sinn unserer Fähigkeit Farben wahrzunehmen, stellen sie die Hypothese auf, dass das Farbsehen nicht auf eine rein ornamentale Rolle in einer achromatischen Welt der Formen und der Bewegungen beschränkt sein könne. Sie stützen sich dabei auf jüngste Forschungsergebnisse aus dem Bereich der Psychologie, welche gezeigt haben, dass die Farbwahrnehmung an einer Reihe von visuellen Prozessen maßgeblich beteiligt ist; unter anderem an der Beurteilung von Umrissen und Formen, Distanzen und Texturen (vgl. Osorio und Vorobyev 2005)

Nach dem sogenannten Colouring Book-Modell entwickelt von McIlhagga & Mullen 1997, wonach Farbe zweitrangig gegenüber der Segmentierung des Gesichtsfeldes durch die Wahrnehmung differenzierter Helligkeiten betrachtet wird, sei unser Farbsehen darauf beschränkt, Objekten Farbe zu geben, unabhängig von ihrer Materialität und ihrer Oberflächenbeschaffenheit, erst nachdem diese in ihrer Form bestimmt wurden. Zum Erkennen von Konturen der Objekte und deren Bewegung im Raum sei das Farbsehen nicht notwendig. Dieses Modell der Farbwahrnehmung konnte durch neuere Forschungsergebnisse nicht bestätigt werden. Das visuelle System erweist sich als komplexer als bisher angenommen; Helligkeitsempfinden und Farbempfinden können nicht unabhängig voneinander betrachtet werden (vgl. Shevell & Kingdom 2008).

Es konnte gezeigt werden, dass jene Neuronen, die für Wellenlängeninformationen empfindlich sind, auch zur Beurteilung von Attributen wie Orientierung und Größe eines Objekts beitragen. Ferner konnte die Theorie eines sogenannten „Farbzentrums“ im Gehirn von zahlreichen Studien widerlegt werden (vgl. Conway 2009).

In einer Zusammenfassung der jüngsten Forschungsergebnisse aus dem Bereich der Psychologie zum Thema “Color in Complex Scenes” ist das Farbsehen auch für folgenden Aufgaben der visuellen Wahrnehmung von Bedeutung: für die Gliederung von Objekten, für die Wahrnehmung von Konturen und Formen, für die Identifikation von Objekten, für die Fähigkeit des Erinnerns, für die Wahrnehmung von Tiefe, für die Wahrnehmung von Bewegung komplexer Objekte und für das Erkennen von Schatten (vgl. Shevell et al. 2008).

Die Differenzierung von Schattengrenzen im Vergleich zu Materialgrenzen erfordert sehr komplexe Vorgänge in unserem visuellen System. Wären wir dazu nicht in der Lage, so könnten wir beispielsweise Schatten von Bäumen nicht von dunklen Objekten am Boden beziehungsweise von Veränderungen in der Oberflächenstruktur des Grundes unterscheiden. “Chromaticity is probably relatively stable (constant) in natural illumination, so that it gives information about surface reflectance, pigmentation and other material properties... Colour vision is therefore likely to be important for object detection or classification.” (Osorio und Vorobyev 2005:1745)

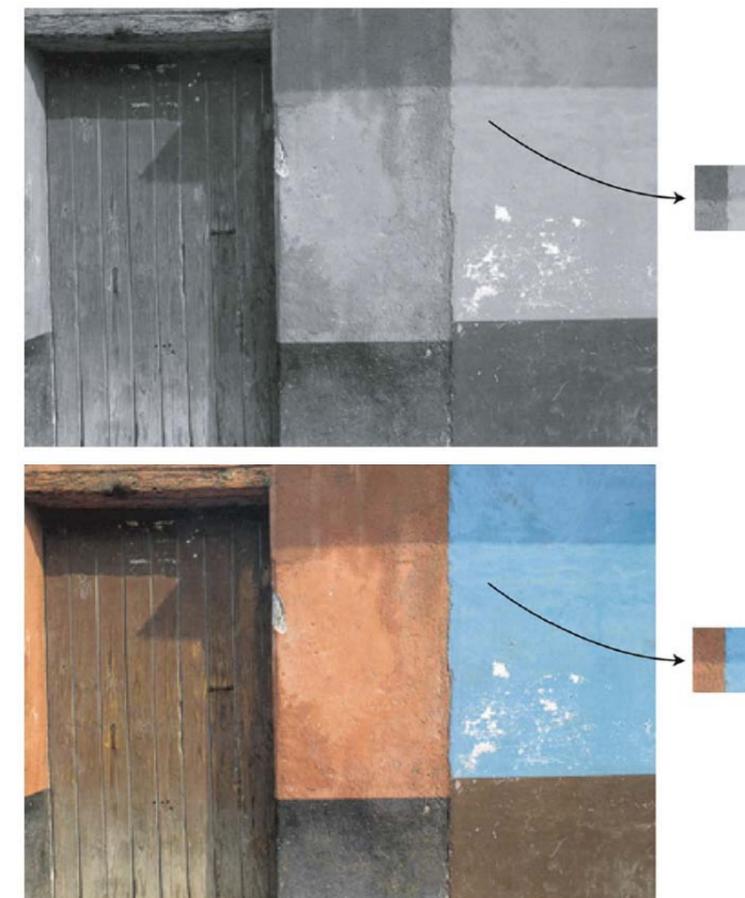


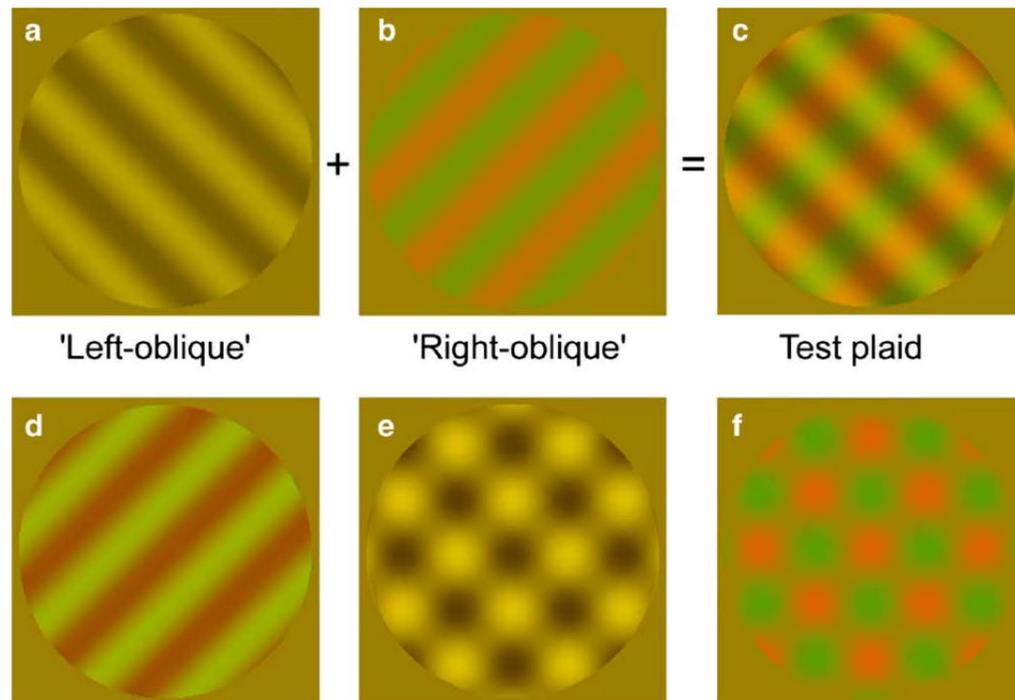
Abb. 17 Farbe und Identifikation von Schatten

Die Abbildung (Abb. 17) zeigt die Bedeutung von Farben für die Identifikation von Schatten. Im oberen achromatischen Ausschnitt ist es schwieriger, die Materialgrenze von der Schattengrenze zu unterscheiden (vgl. Kingdom et al. 2004).

In Versuchen mit Menschen, die von einer speziellen Form der Farbenblindheit betroffen sind, stellte sich heraus, dass diese oftmals Schwierigkeiten hatten, achromatische Helligkeitsgrenzen korrekt als Schattengrenzen einzuordnen, was in manchen Fällen zu Täuschungen führte. Beispielsweise wurden Schatten in Straßen mit Strukturänderungen verwechselt: "A major problem occurred when he drove, in that he tended to misinterpret shadows as cracks or ruts in the road and would brake or swerve suddenly to avoid these." (Chirimuuta & Kingdom 2015:219)

Aus Phänomenen wie diesem lässt sich schließen, dass unser visuelles System durch Farbreize auch Informationen über die Beschaffenheit von Materialien erhält, was es uns erleichtert zwischen Objekten zu differenzieren.

Abbildung 18 (Abb. 18) illustriert einen weiteren Aspekt der Wahrnehmung von Schattierungen durch Farbunterschiede. Ein allein durch Helligkeitsunterschiede dargestelltes Raster-Bild erzeugt noch keine Illusion eines gewellten Materials mit Höhen und Tiefen; dies erklärt sich laut Kingdom (2003) aus der Tatsache, dass das farbige Raster als Material wahrgenommen wird, während das auf Helligkeitsunterschieden basierende Raster als ein Schattenraster interpretiert wird, das aufgrund von materialbedingten Höhenunterschieden zustande kommt.



The colour-shading effect. **a** Luminance-varying grating, **b** colour-varying grating and **c** combined grating forming a plaid. Readers may perceive **c** as corrugated in depth, **d** shows that when the colour and luminance gratings are added in alignment there is even less depth than in (a), **e** shows a luminance-only and **f** a colour-only plaid, showing that the depth effect in **c** is not merely due to the pattern being a plaid

Abb. 18 Farbe und Schattenwirkung

Farbe kann als wichtiges Erkennungsmerkmal für Materialgrenzen innerhalb eines Objekts gesehen werden. Unterscheiden sich zwei Materialien in ihrer Oberflächenbeschaffenheit, so weisen sie meist eine unterschiedliche spektrale Reflektanz auf. Eine Ausnahme hierzu bilden metamerische Farben, [d.h. Farben, die wir als ident wahrnehmen, obwohl sie eine unterschiedliche spektrale Zusammensetzung haben]. (vgl. Chirimuuta & Kingdom 2015)

Farbpräferenzen – geschlechtsspezifische Unterschiede

In einer wissenschaftlichen Forschungsstudie von Piotr Sorokowski, Agnieszka Sorokowska und Christoph Witzel, die im Februar 2014 veröffentlicht wurde unter dem Titel: *Sex differences in color preferences transcend extreme differences in culture and ecology* wurden Farbpräferenzen von Männern und Frauen in Europa (Polen) mit denen eines Bergvolkes in einer abgelegenen nicht-industrialisierten Region von Papua (Indonesien) untersucht. Hierbei wurden große Abweichungen zwischen den beiden Teilnehmergruppen gefunden. Diese Ergebnisse entsprechen den Ergebnissen einer vorhergehenden Studie von Taylor, C., & Franklin, A. (2012), wonach Farbpräferenzen nicht als universal gültig bezeichnet werden können.

Abgesehen davon wurden trotz der großen kulturellen Unterschiede signifikante Übereinstimmungen bei den unterschiedlichen Präferenzen von Frauen und Männern gefunden. Diese beobachteten geschlechtsspezifischen Unterschiede können nicht auf biologische neuronale Eigenschaften des Sehsinns zurückgeführt werden. Es wurden somit Charakteristika aufgezeigt, die unabhängig von biologischer Prädisposition und kultureller Prägung existieren. Im folgenden Abschnitt wird näher auf diese Studie eingegangen.

Gegenstand der Untersuchung waren Farbpräferenzen im interkulturellen Vergleich wobei gleichzeitig geschlechtsspezifische Unterschiede von Interesse waren. Untersucht wurde eine Gruppe von 108 Yali aus kleinen, sehr entlegenen Bergdörfern in Papua (Indonesien), die aufgrund der Tatsache, dass kaum Touristen die Region frequentierten, so gut wie keinen Kontakt zur westlichen Kultur hatten. So war die Voraussetzung für grundsätzliche Unterschiede zur Europäischen Industriellen Gesellschaft gegeben: keine Elektrizität, kein Fließwasser, keine modernen Gebrauchsgegenstände, Polygynie.

Die Vergleichsgruppe bestand aus 200 Teilnehmer der Stadt Warschau in Polen. Die beiden Gruppen bestanden jeweils zur Hälfte aus männlichen und zur Hälfte aus weiblichen Testpersonen, wobei die Yali Frauen zwischen 25 und 59 Jahre alt, die Yali Männer zwischen 19 und 50 Jahre alt waren. Die Frauen und Männer aus Polen wurden analog in vergleichbarem Alter ausgewählt.

Zwölf farbige Stimuli wurden in Form eines gedruckten Farbkreises mit den sechs Hauptfarben Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Violett und sechs Zwischentönen Rotviolett, Rotorange, Gelborange, Gelbgrün, Blaugrün, Blauviolett präsentiert und die Teilnehmer wurden aufgefordert, zuerst ihre Lieblingsfarbe auszuwählen und dann jene Farbe, die ihnen am wenigsten gefiel. Die Testpersonen aus Papua wurden dabei in ihrem örtlichen Dialekt interviewt.

Im Ergebnis konnten was die Wahl der Lieblingsfarben betraf signifikante interkulturelle Unterschiede festgestellt werden. Während die polnischen Teilnehmer Blau mit 17% am häufigsten

figsten als Lieblingsfarbe, und Orange mit 2,5% am seltensten wählten, waren bei den Yali Rot mit 15,7 % und Gelb mit 14,8 % die beliebtesten Farben, wobei Orange auch hier die am seltensten als Lieblingsfarbe ausgewählte Farbe war. (Abb. 19) (Abb. 20)

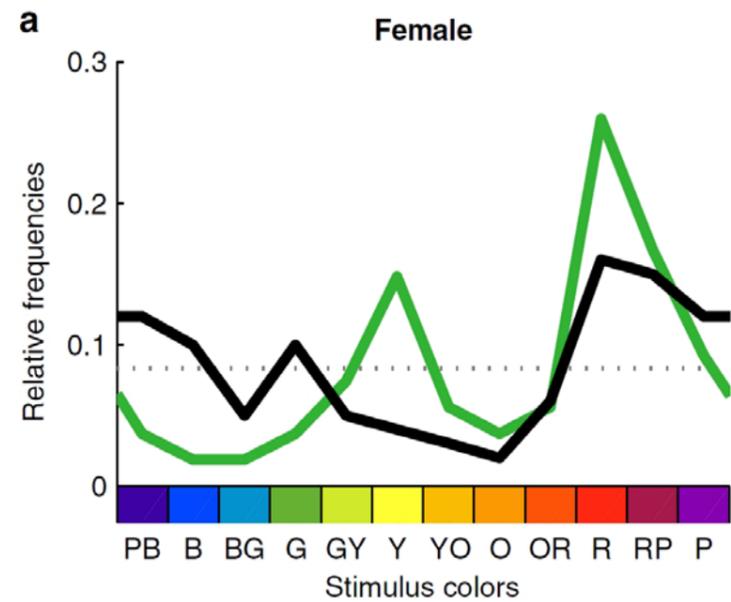


Abb. 19 Sex-specific preferences across cultures. Relative frequencies of
Abb. 20 Papuan (green curves) and Polish (black curves) favorite color choices are shown separately for women (a) and men (b) (Sorokowski et al. 2014:1198).

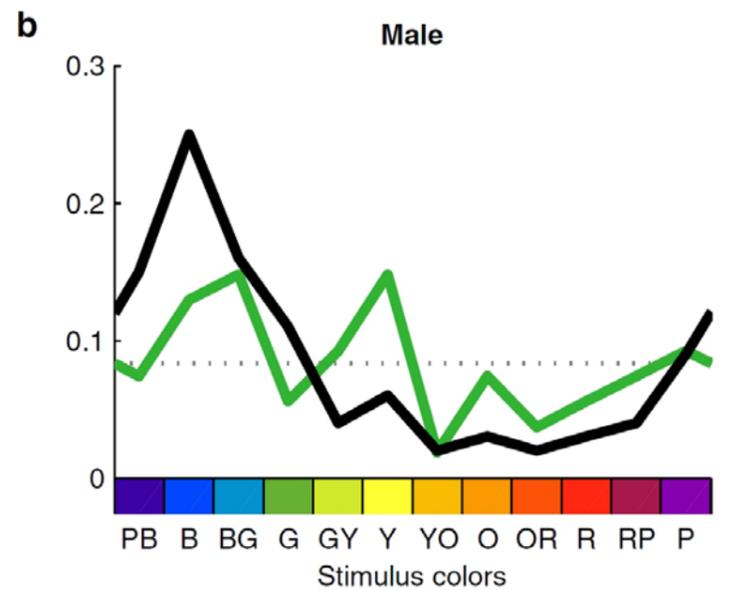


Abb. 21 favorite choices (...) Within each culture, male and female curves differ significantly, and across cultures, the sex specific curves in each panel correlate. (Sorokowski et al. 2014:1198)

Signifikant waren allerdings die Übereinstimmungen der Abweichungen in der Farbpräferenz zwischen den männlichen und den weiblichen Teilnehmern. Es stellte sich heraus, dass die Farben umso beliebter bei den Frauen waren, je mehr Rot-Anteil sie enthielten, während es sich bei den Männern genau umgekehrt verhielt. Dasselbe konnte was den Blauanteil der Farben betraf beobachtet werden: je blauer eine Farbe, umso mehr war sie für Männer ansprechend und für Frauen wenig ansprechend. (vgl. (Sorokowski et al. 2014)

Dieses Ergebnis war interkulturell bei beiden Teilnehmergruppen, sowohl bei den Yali, als auch bei den Europäern festzustellen: "The most impressive result, however, is illustrated by (...) [(Abb. 22)] The green curves show the sexual contrasts for Yali, the black curves for Polish observers. Sexual contrasts are the differences between the relative frequencies for men and women." (Sorokowski et al. 2014:1198)

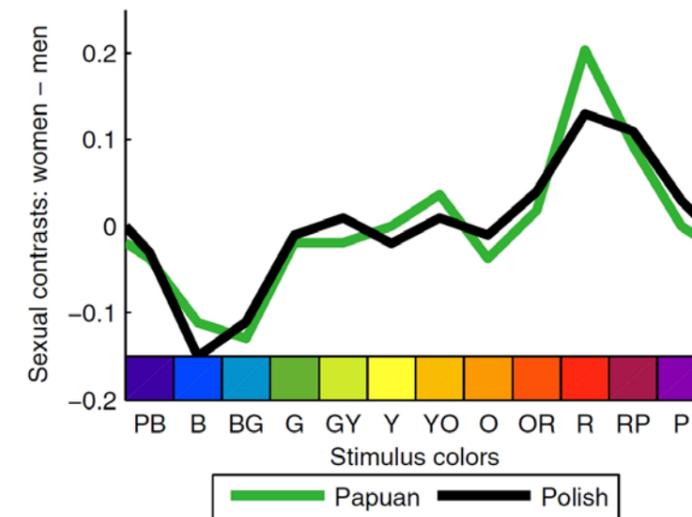


Abb. 22 Korrelation in der Abweichung von männlichen und weiblichen Farbpräferenzen : Sexual contrasts. Differences between women's and men's relative frequencies of choosing the favorite color are shown along the y-axis. For least favorite choices, (...) The sexual contrasts are highly correlated between Polish and Papuan observers.

Es existieren zahlreiche Studien zu Farbpräferenzen, die unterschiedliche Ergebnisse darstellen. Hier ist anzumerken, dass insbesondere bei interkulturellen Studien, wenn Teilnehmer aus Ländern moderner Industriegesellschaften mit Ethnizitäten aus nichtindustrialisierten Gegenden verglichen werden die Methoden der Forschung kritisch betrachtet werden müssen. Entscheidende Einflussfaktoren sind möglicherweise auf die zum Einsatz kommenden Mittel zurückzuführen. Beispielsweise wurden in einigen Studien Computer-Bildschirme zur Darstellung der Farbstimuli eingesetzt. Allein die Tatsache, dass hier ein völlig ungewohntes licht-emittierendes Medium genutzt wird, muss in der Bewertung der Ergebnisse einer solchen Studie miteinbezogen werden. (vgl. Sorokowski et al. 2014)

Farben und ihre Wirkung

Im Folgenden werden kurz exemplarisch einige Studien erwähnt, in denen die Wirkung von Farben auf menschliches Verhalten untersucht wird.

In einer Studie, die 2012 von Stephanie Lichtenfeld und Anderen an der Universität München durchgeführt wurde, konnten eindeutige Zusammenhänge zwischen der Betrachtung der Farbe Grün und kreativer Leistung hergestellt werden. In vier Experimenten wurden Probanden jeweils mit der Farbe Grün konfrontiert, sowohl auf chromatischem als auch auf achromatischem kontrastierendem Hintergrund, bevor sie eine kreative Aufgabe zu lösen hatten. Es wurden sowohl künstlerische als auch sprachliche Fähigkeiten gefordert. Den Testpersonen wurde der Gegenstand des Forschungsinteresses nicht bekanntgegeben. Die Farbe Grün konnte in beiden Fällen mit besseren Ergebnissen assoziiert werden. Diese Ergebnisse zeigen, dass die Farbe Grün signifikante Wirkung auf Menschen haben kann, jenseits von Ästhetik und dass im Bereich der funktionalen Bedeutung weitere empirische Forschungsarbeit gefordert ist. (vgl. Lichtenfeld et al. 2012)

An der Universität Essex, UK untersuchten Forscher an der *School of Biological Science* die Wirkung der Farbe Grün auf Menschen während sportlicher Betätigung. Titel der Studie war: „Visual Color Perception in Green Exercise: Positive Effects on Mood and Perceived Exertion“ Jungen Männern mit einem Durchschnittsalter von in etwa 20 Jahren wurden als Testpersonen ausgewählt. Die gewählte Sportart war Radfahren in einem Raum, wo gleichzeitig ein Videofilm lief, der das Fahren durch eine Landschaft simulierte. Der Film wurde mir drei verschiedenen Farbfiltern gezeigt: Einmal mit starkem Grünton, einmal achromatisch und einmal mit einem starken Rotfilter. Nach einer Aufwärmphase und in der Folge fünfzehn minütiger sportlicher Betätigung wurden Puls, Sauerstoffaufnahme und andere biologische Faktoren gemessen, sowie die Selbsteinschätzung was das Level der subjektiven Anstrengung betraf festgehalten. Außerdem wurden Interviews geführt um die Gefühlsstimmung der Testpersonen zu ermitteln. (vgl. Akers et al. 2012)

“The main finding of this study is that total mood disturbance and perceived exertion were lower during simulated green exercise in the VGREEN condition compared to VGRAY and VRED. The only difference in POMS subscales was higher anger during VRED.” [POMS= Profile of Mood State, Anm.] (Akers et al. 2012:8664)

Der Einfluss der Farbe Rot auf Wettkampfergebnisse bei männlichen Sportlern

Ausgehend von vorhergehenden Forschungsergebnissen betreffend Rot als Farbe der sexuellen Potenz und als Zeichen der maskulinen Qualität zahlreicher Spezies im Tierreich konnte die These bewiesen werden, dass Rot bei Männern in vielen Sportdisziplinen erhebliche Leistungssteigerungen bewirkt: „These results indicate not only that sexual selection may have influenced the evolution of human response to colours, but also that the colour of sportswear needs to be taken into account to ensure a level playing field in sport.“ (Hill & Barton 2005:293) Es konnte in diesem Zusammenhang gezeigt werden, dass ein Zusammenhang zwischen den Gewinnchancen von Sport-Teams und der Farbe ihrer Trikots besteht.

“Here we show that a similar effect can influence the outcome of physical contests in humans — across a range of sports, we find that wearing red is consistently associated with a higher probability of winning.” (Hill & Barton 2005:293)

Wie aus den Resultaten der verschiedenen Studien deutlich wird, können Farben einen signifikanten Einfluss auf unsere bewussten als auch unsere unbewussten Affekte, sowie auf Kognitionen und auf unser Verhalten haben. Abgesehen davon besteht auch eine umgekehrte Wechselbeziehung zwischen unseren Farbeindrücken und unserer Wahrnehmungspsychologie.

In der Studie *Phenomenology of Attention: 1. Color, Location, Orientation, and Spatial Frequency* untersuchte ein Team von Forschern von der Yale University und der Berkely Universität (Kalifornien), in welchem Maß unsere Aufmerksamkeit sich auf die phänomenologische Erscheinung der Dinge auswirkt.

Sie stellten im Zuge dessen unter anderem die These auf, dass unsere Aufmerksamkeit unsere Farbwahrnehmung von verschiedenen Farbtönen beeinflussen kann.

Sie konnten ihre These in umfangreichen Versuchen bestätigen und fanden unter anderem heraus, dass analog zu einer Abnahme der Aufmerksamkeit die Variabilität im festgestellten Farbtönen geringer wurde (vgl. Prinzmetal et al. 1998).

„On a trial with attention, an observer might be certain that the stimulus was a certain shade of green (e.g., chartreuse). However, without attention, the observer might have some uncertainty about the precise stimulus color, only know that it was “greenish.” Over trials, this effect of attention would translate into greater variability of responses when attention is diverted.“ (Prinzmetal et al. 1998:263)

Farbe als Träger kodierter Informationen

Der Philosoph, Schriftsteller und Literaturkritiker Roland Barthes, der bedeutende Forschungsarbeit im Bereich der Semiotik geleistet hat, beschreibt in *Elemente der Semiotik* (1979) einige Werbeanalysen, in denen er unter anderem den Versuch unternimmt, auch für Farben Zuweisungen im Zeichensystem zu finden; „Als Element der bildlichen Narration, als Auslöser spezifischer rhetorischer Effekte, als Evokateur besonderer Erinnerungen werden einzelne Farben analysiert, doch letztlich bezieht sich die Botschaft auf Raum und Zeit und da sind Farben immer nachgeordnet.“ (Sachsse 2004:21)

Der Philosoph, Schriftsteller und Publizist Max Bense beschäftigt sich in seiner Schrift zur Informationstheoretischen Ästhetik (1979) ebenfalls mit der Thematik, ohne diesbezüglich eine Aussage treffen zu können. Eine allgemeingültige Semiotik der Farben, darauf wiesen schon die Philosophen der Antike hin, ist im Sinne ihrer untrennbaren Verbundenheit mit dem jeweiligen Kontext nicht denkbar. (vgl. Sachsse 2004)

Josef Albers - Interaction of Color

Josef Albers widmete sich dem Thema Farben unter dem Aspekt der sinnlichen Erfahrung. Es ging ihm nicht darum, ein Farbsystem oder eine Harmonielehre zu entwerfen, vielmehr war es ihm wichtig, die Aufmerksamkeit auf die Wahrnehmung und auf „(...) die Variabilität und Relativität unseres Sehens gegenüber dem Gesehenen“ (Albers 1997:11) zu konzentrieren. Seit 1950 lehrte er an der Yale University, New Haven Connecticut; er forderte seine Studenten dazu auf, mit Ausschnitten aus farbigem Papier verschiedene Übungs-Aufgaben zu von ihm definierten Farbproblemen zu lösen. Es handelte sich um einen praktischen Kurs „(...) als solcher läuft er der verordneten Dichotomie von Theorie und Praxis zuwider. Es versteht sich von selbst, dass die Theorie der Praxis folgt und nicht ihr vorangeht.“ (Albers 1997:91) So entstand in Zusammenarbeit mit seinen Studenten Kompendium von 150 Farbtafeln: das im Jahr 1963 erstmals erschienene Buch *Interaction of Color* bestehend aus 119 Siebdrucken auf 63 Doppelseiten und 33 Offset-Reproduktionen auf 17 Doppelseiten. (Die Originalauflage von *Interaction of Color* wog nahezu 10kg und kostete 200 USD. Später erschien eine Taschenbuchausgabe in Deutschland, die allerdings nicht alle Farbtafeln enthielt.) (vgl. Albers 1997) Sein Werk, das gleichzeitig künstlerische und philosophische Aspekte aufzeigt, ist nach wie vor relevant und wurde in seiner Gesamtheit als eine der besten IOS-Apps des Jahres 2013 veröffentlicht (vgl. interaction of color 2013).

Eine der Übungen war beispielsweise eine Farbe wie zwei verschiedene aussehen zu lassen. Hier wird die von Albers genannte charakteristische Instabilität der Farbe deutlich. So kann Hellgrau gleichzeitig Dunkelgrau und bis nahezu Weiß wirken, wenn sie in zwei unterschiedliche Hintergrundfarben eingebettet ist. Dies ist durch den sogenannten Simultankontrast, d.h. die Wechselwirkung der nebeneinander liegenden Farben erklärbar: Bei gleichzeitiger Betrachtung von zwei Farben findet eine Farbverschiebung hin zu den Komplementärfarben statt. Im Unterschied dazu steht das Phänomen des sogenannten Nachbildes (sukzessiver Kontrast), wobei hier bei der Betrachtung zweier Farben hintereinander die jeweilige Komplementärfarbe erscheint (vgl. Albers 1997).

Diese Farbillusion oder Relativität der Farbe führt Albers zu der Unterscheidung von „factual fact vs actual fact“, wobei sich „factual“ auf objektiv messbare konstante Tatsachen, d.h. auf die Wellenlängen des Lichtspektrums bezieht, während „actual“ das tatsächliche Erscheinungsbild, also die Abweichung von der physikalisch wahren Farbe beschreibt, die für ihn keineswegs nur als solche, sondern als die „eigentliche Farbe“, die Farbe unserer Realität, beschrieben wird. (vgl. Albers 1997)

Orange und Blau befinden sich an den gegenüberliegenden Seiten des Farbkreises, sie sind sogenannte Komplementärfarben. So sehen wir auf der Farbtafel (Abb. 23) das obere Ende des orangenen Papier-Streifens auf türkis-blauem Hintergrund als ein reineres Orange, wäre das andere Ende auf dem intensiv-Orangen Hintergrundpapier als mehr bräunlich erscheint, da die Komplementärfarbe Blau von unserem Auge hinzugemischt worden ist (Orange + Blau = Braun). Im Original konnten die Papierstreifen in der Mitte - der dunkelblaue und der zitronengelbe - seitlich weggeklappt werden, so dass der durchgehende, orange Streifen sichtbar wurde um die Illusion aufzulösen. (vgl. Faruquee 2013)

Abgesehen von der beschriebenen visuellen Abänderung einer Farbe durch die angrenzen-

den Farben sind viele der Tafeln dem Thema der Angleichung von faktisch unterschiedlichen Farben durch andersfarbige angrenzende Farben gewidmet.

So war es beispielsweise eine Aufgabenstellung an die Studenten mit Hilfe der farbigen Papierstreifen zwei Farben so darzustellen, dass sie als ein und dieselbe wahrgenommen werden. (vgl. Faruquee 2013) Weitere Phänomene des Farbsehens, die Albers in seinem Werk beschreibt beziehen sich auf den Anschein von Farbmischungen und von räumlichen Phänomenen wie Transparenz, Schichtung, Wölbung und Volumen. Hier unterscheidet er wiederum die Wirkung, die „actual facts“, die „wirkungshaften“ (sinnlichen) von den „factual facts“, den „faktischen“ physikalischen Tatsachen. Seine Forschungsarbeiten hatte Albers bereits in den 1920er Jahren, in seiner Zeit am Bauhaus in Weimar und Dessau (1925-32) und in Berlin (1932-33) in seinen Glasbildern begonnen. Ab 1947 entstand seine Bilderserie „Variants“ in der zwei gleichfarbige rechteckige Zentren in einer querförmigen Rechtecksfläche dargestellt sind. In seiner bekanntesten Bildserie „Homage to the square“ die ab 1950 entstand, sind die Formen auf das Quadrat reduziert, wodurch die von ihm aufgezeigte Differenzierung zwischen dem Sehen und dem Sichtbaren hervortritt: denn jede wahrgenommene Dynamik, Bewegung, Räumlichkeit, Transparenz etc. ist hier allein auf die Verhältnisse der Farben zueinander und unserer Wahrnehmung dieser zurückzuführen. (vgl. Albers 1997)



40

Abb. 23 Tafel zur Illustration des Simultankontrasts

Licht und Farben – physikalische Aspekte

Licht ist eine elektromagnetische Transversalwelle, deren Bewegung durch die einander hervorruhenden elektrischen und magnetischen Felder zustande kommt, die über die sogenannte Maxwell-Gleichung geregelt werden (vgl. Fischer 2011).

Gleichzeitig kann es als Photonenstrom bezeichnet werden. Die Emission und Absorption von Licht kann mit dem Bohrschen Atommodell erklärt werden. Elektronen werden in einen angeregten Zustand versetzt und emittieren in diesem Prozess Strahlung in Form von Photonen. (vgl. Liebmann & Welsch) „Wenn ein Photon von einem Atom absorbiert wird, geht das Atom in einen energetisch höheren Zustand über, das Photon wird dabei vernichtet. Bei der Emission eines Photons gibt das Atom Energie ab, die sich als Photon einer bestimmten Frequenz manifestiert: Das Photon wird erzeugt.“ (Marsch 2009:104)

Newton entdeckte 1676 die Spektralfarben durch seine Versuche mit einem dreieckigen Prisma (vgl. Newton 1730).

Das Sonnenlicht enthält das gesamte Spektrum von Wellenlängen, wobei nur ein kleiner Anteil in den Bereich des sichtbaren Lichts fällt. Dieser befindet sich zwischen der Infrarot-Strahlung und der ultravioletten Strahlung bei in etwa 380 – 780nm. Wenn man das spektrale Band der Farben von Rot über Orange, Gelb, Grün, Blau bis Violett in zwei Teile teilt und diese wiederum addiert, durch Bündelung mit einer Linse, so erhält man die zwei Komplementärfarben, die durch additive Lichtmischung gemeinsam wiederum Weiß ergeben. Entfernt man eine Farbe aus dem Spektrum, so ergeben die verbliebenen Spektralfarben deren Komplementärfarbe. (vgl. Itten 1987)

Monochromes Licht kann durch eine spezifische Frequenz f und eine Wellenlänge λ (Lambda) beschrieben werden, wobei $c = \lambda f$ (c =Lichtgeschwindigkeit). Lichtquellen enthalten eine Vielzahl unterschiedlicher Wellenlängen, deren Verteilung die Art des Spektrums bestimmen. Jeder Farbton kann über spezifische Wellenlängen definiert werden. (vgl. Waliracht 2013)

Wir nehmen Dinge als farbig wahr, wenn sie Licht von bestimmten Wellenlängen reflektieren. Man unterscheidet chromatische, bunte Farben, die durch Reflexionsvermögen bzw. den Reflexionsgrad von bestimmten Wellenlänge entstehen, und achromatische, sogenannte unbunte Farben, die durch Reflektanz über das gesamte Spektrum zustande kommen (vgl. Dorsch 2013).

Licht als farbig zu bezeichnen, beispielsweise von „gelbem Licht“ zu sprechen verwechselt ein physikalisches Phänomen mit einem Phänomen der Wahrnehmung. Darauf weisen Shevell et al. in ihrem Artikel zum *Farbsehen in komplexen Szenen* (2008) hin. Licht einer spezifischen Wellenlänge von etwa 580nm erscheint uns gelb; allerdings kann exakt dieses Gelb auch aus einer Mischung zweier unterschiedlicher Wellenlängen von 540 und 600nm, oder auch von einer unendlich großen Anzahl von Mischungen verschiedener anderer Wellenlängen bestehen. Die identen Farbeindrücke, die all diese physikalisch gesehen unterschiedlich zusammengesetzten Spektren erzeugen sind auf die identen Nervenreaktionen die sie in unserem visuellen System hervorrufen zurückzuführen (vgl. Shevell et al. 2008): „The determination of color by neural responses to light—not apprehension of color within the light rays themselves—is a foundational and functional property of color vision.“ (Shevell et al. 2008:144f.)

41

Wie viele Farben wir tatsächlich unterscheiden können, darüber herrschen unterschiedliche Meinungen. Aus in etwa 200 verschiedenen erkennbaren Farbtönen ergeben sich in Zusammenhang mit ihren Helligkeitswerten mehrere Millionen Farben. Laut einer Studie aus 2004 sind es in etwa 2,3 Millionen (vgl. Kleiner 2004). Andere Quellen nennen 6 -10 Millionen sichtbare Farben.

Wie entstehen Farben ?

Der Chemiker und Mineraloge Kurt Nassau beschreibt in *The Physics and Chemistry of Color* 15 verschiedene Mechanismen wie Farben entstehen können. Er unterscheidet in diesem Zusammenhang fünf Gruppen, wobei I, IV und V zu den physikalischen, III zu den chemischen Phänomenen gezählt werden können, während jene der Gruppe II zwischen Physik und Chemie stehen. (vgl. Zollinger 2005)

Im folgenden Abschnitt werden die von ihm definierten Mechanismen kurz beschrieben.⁴

I: Farbe kann erzeugt werden durch Schwingungen und einfache physikalische Anregung durch Wärme- oder Energieübertragung innerhalb von Molekülen: Hier können drei verschiedene Arten unterschieden werden:

- 1.: Leuchten und Glühen (Beispiele hierfür sind die Sonne oder Flammen etc.)
- 2.: Anregung von Gasen (beispielsweise in Neon-Lampen, Gaslampen, Blitzen, Nordlichtern oder auch bei einigen Lasern)
- 3.: Farberzeugung durch Schwingung und Drehbewegung: Atome und Moleküle sind in ständiger Bewegung und können Photonen absorbieren. Dies geschieht meist bei Wellenlängen im Infrarotbereich. Bei Wasser, oder Eis im sichtbaren Bereich, was erklärt, warum Wasser blau erscheint. (siehe Seite 43)

II: Anregungen nach der sogenannten Ligandenfeldtheorie⁵

- 1.: Übergangsmetallverbindungen, so zum Beispiel Türkis, Malachit, Chromgrün, Kupfer u.a.
- 2.: Übergangsmetallverunreinigungen, so zum Beispiel bei Rubinen, Smaragden und anderen Edelsteinen. Edelsteine sind stark lichtbrechende Minerale, die meist bearbeitet oder geschliffen werden, was zu zusätzlichen für die Lichtbrechung günstige Eigenschaften führt. Die Grundsubstanz allein macht den Farbeffekt meistens nicht aus, es handelt sich um eine Verunreinigung mit metallischen Substanzen (vgl. Liebmann & Welsch: 2012).

4: die hier genannten physikalischen und chemischen Phänomene sind durchwegs hochkompliziert. Um sie zu beschreiben bedarf es eines Physikers. Prof. Dr. Dietrich Zawischa - Institut für Theoretische Physik, Universität Hannover hat umfangreiches Material zu farbgebenden Prozessen übersichtlich und anschaulich zusammengestellt auf seiner Webseite: <http://www.itp.uni-hannover.de/~zawischa/ITP/ursachen.html>

5: „Die Kristall(CF)- und Ligandenfeldtheorie (LF) sind zwei unterschiedliche, aber sich gegenseitig ergänzende Theorien der Komplexverbindungen. (...) die Ligandenfeldtheorie (von Hermann Hartmann und F.E. Ise 1951 veröffentlicht) erlaubt quantitative Voraussagen der Eigenschaften von Übergangsmetallsalzen oder -komplexen. Beide Theorien erklären Struktur, Farbe und Magnetismus dieser Substanzen.“ (Klein et al. 2011:139)

„Wie bei fast allen Prozessen, die zur Absorption und Entstehung von Licht führen, sind auch in Mineralien Elektronenübergänge zwischen mindestens zwei Energieniveaus beteiligt, und der Prozess kann als eine Art Lumineszenz aufgefasst werden. Unterschiede in der Farbe ergeben sich aus den beteiligten Energieniveaus und deren Potenzialdifferenzen.“ (Liebmann & Welsch 2012:291)

In der dritten von Nassau definierten Gruppe (III): „Elektronenübergänge zwischen Molekülorbitalen“ (Nassau 2003:249) befinden sich organische Verbindungen wie beispielsweise Pigmente und Farbstoffe und durch Ladungsübertragung entstehende Farbeffekte. Dieses Phänomen tritt unter anderem bei blauem Saphier, Magnetit oder Ultramarin auf.

Die Klasse IV umfasst Übergänge zwischen Energiebändern; in diese Kategorie fallen :

- 1.: Metalle wie u.a. Kupfer, Silber, Gold, Eisen, Messing
- 2.: reine Halbleiter wie Silizium
- 3.: sogenannte gedopte Halbleiter wie verschiedene Diamanten
- 4.: Farbzentren: wie zum Beispiel bei Amethyst oder Rauchquarz

„Vielfach beruht die Farbe fester Körper wie etwa der Metalle (...) auf einer Anregung nicht-lokalisierter (...) Elektronen, d.h. Elektronen, die sich als „Elektronengas“ innerhalb des ganzen Festkörpers mehr oder weniger frei bewegen (...)“ (Holleman & Wiberg 2007:171f.)

Die fünfte Gruppe (V) „Geometrische und physikalische Optik“ (Nassau 2003:249) umfasst optische Effekte an halbtransparenten Materialien: Dazu gehören Dispersionsbrechung wie beim Regenbogen oder beim Spektrum des Prismas, Lichtstreuung, z.B. die Mie-Streuung und die Rayleigh-Streuung. Letztere wurde gegen Ende des 19. Jahrhunderts von John William Strutt (Lord Rayleigh) entdeckt und ist für das Blau des Himmels verantwortlich (vgl. Zawischa 2011). Die Luftmoleküle sind Partikel, die kleiner als die Wellenlänge des Lichtes sind und sie können deshalb symmetrisch gestreut werden. Die Spektralfarben des Sonnenlichtes werden dabei unterschiedlich stark gestreut: die blauen, kurzwelligeren Anteile mit einer Wellenlänge im Bereich von 450 nm werden dabei über viermal mehr gestreut als die roten. (vgl. Zawischa 2011)

Warum ist Wasser Blau?

Die blaue Färbung des Wassers, die in der Vergangenheit fälschlicher Weise oft mit Lichtstreuung oder mit der Spiegelung des Himmels oder auch mit gewissen chemischen Verunreinigungen in Zusammenhang gebracht wurde, kann durch Schwingungen und Rotationen erklärt werden.⁶ Den Forschern C.L. Braun und S.N. Smirnov (1993) gelang es nachzuweisen, das Wasser eine intrinsische blaugrüne Färbung aufweist und dass diese Farbe einer eigenen Ursache unterliegt. Wenn Licht durch metertiefes Wasser fällt, so werden Wellenlängen im roten Bereich des Spektrums absorbiert, wodurch der Anteil der Wellenlängen, die für einen blauen Farbeindruck verantwortlich sind sichtbar wird. Während andere Stoffe ihre Farbe in der Interaktion der Elektronen mit den Photonen des sichtbaren Lichts erhalten, durch Absorption, Emission, selektive Reflektion oder durch Phänomene wie Streuung, Interferenz und Brechung, stellt Wasser einen Einzelfall dar: „To our knowledge the intrinsic blueness of water is the only example from nature in which color originates from vibrational transitions.“ (Braun & Smirnov 1993:612)

6: Die hierfür verantwortlichen Vorgänge können im Journal of Chemical Education 1993, 70(8), 612 unter <http://www.dartmouth.edu/~etrnsfer/water.htm> nachgelesen werden.

Lichtfarbe und Farbtemperatur

Die Farbtemperatur in Kelvin mit dem Nullpunkt bei -173° Celsius dient zur Qualifizierung der Lichtfarbe. Je höher die Farbtemperatur, desto kühler und ins Bläulichere gehend die Lichtfarbe. Die Farbtemperatur wird mithilfe des sogenannten Planck'schen schwarzen Strahlers gemessen, der alle in ihn eindringende elektromagnetische Strahlung nahezu vollständig absorbiert. Es handelt sich um einen Temperaturstrahler, d.h. seine Strahlung ist ausschließlich durch seine Temperatur bedingt. Im Unterschied zu anderen Temperaturstrahlern gibt er dabei die jeweils größtmögliche Menge an Energie ab. (vgl. Gröber 2013)

Dieser kann annäherungsweise realisiert werden in Form eines Hohlkörpers, dessen Innenfläche durch Ruß vollständig matt geschwärzt ist. Licht dringt über eine sehr kleine Öffnung an einer Stelle in ihn ein und wird in der Folge im Inneren mehrfach reflektiert und schließlich vollständig absorbiert. Wird dieser Planck'sche schwarze Körper nun erhitzt, bis er zu glühen beginnt, so kommt es zu einer Strahlungsemission, wobei sich die Lichtfarbe in Abhängigkeit von der Temperatur verändert. Je heißer der Körper wird, umso mehr geht der Farbton von den anfänglich wärmeren Rottönen über Orange nach Gelb, Weiß und schließlich Blau. Rotes Licht hat eine Farbtemperatur von in etwa 1200 Kelvin, Weißgelb liegt bei etwa 3000 Kelvin Neutralweiß bei 5000 und blaues Licht bei bis zu 10.000 Kelvin.

Die Sonne hat an ihrer Oberfläche eine vergleichsweise niedrige Temperatur von ca. 6.227° Grad Celsius, das sind in etwa 6.500 Kelvin. Im Inneren der Sonne herrschen Temperaturen von mehr als 15 Millionen Grad Celsius. (vgl. Bartenbach & Witting 2009)

Licht, Raum, Bewegung

Inspirierend im Entwurfsprozess waren unter anderem die Arbeiten Künstlergruppe ZERO, gegründet von Heinz Mack und Otto Piene 1957; sowie die Arbeiten von László Moholy-Nagy.

der Licht-Raum-Modulator von László Moholy-Nagy

„(...) why my work since those days has only been a paraphrase of the original problem, light. I became interested in painting-with-light, not on the surface of canvas, but directly in space. Painting transparencies was the start. I painted as if colored light was projected on a screen, and other colored lights superimposed over it.“ (Moholy-Nagy 1949:75)

Der in Ungarn geborene und später am Bauhaus lehrende László Moholy-Nagy (1895-1947) kann als einer der ersten Lichtkünstler betrachtet werden. Anfang der 20er Jahre lebt er in Berlin und widmete sich hauptsächlich der Malerei, aber auch der sich neu entwickelnden Farb fotografie. Sein Interesse an Farben und der Darstellung von Licht ist bereits in seinen frühen Arbeiten ersichtlich. 1922 verlässt er das Bauhaus und betreibt ein Atelier für Design in Berlin. Gleichzeitig arbeitet er an Bühnenbildern und Dokumentarfilmen. In dieser Zeit entsteht auch seine erste lichtkinetische Plastik, genannt: „Lichtrequisit für eine elektrische Bühne.“ (Abb. 24) , (Abb. 25) (vgl. Moholy-Nagy 2006)

Das Konzept hierfür entstand bereits in seiner Zeit am Bauhaus in Weimar und Dessau zwischen 1922 und 1929. Bei der Konstruktion handelt es sich um einen kontinuierlich rotierenden Apparat, einem Mechanismus, der aus transparenten, transluzenten sowie durchbrochenen Materialien wie Glas und Metall aufgebaut, und in drei Bewegungssektoren aufgeteilt ist. Der gesamte Apparat rotiert um die eigene Achse, während die Bauteile innerhalb der Sektoren sich wiederum individuell bewegen.

Ursprünglich war das Lichtrequisit mit einem umschließenden Kubus versehen, in dessen kreisförmiger Öffnung von innen 140 Lämpchen wahlweise weißes oder farbiges Licht abstrahlten. Die so erzeugten bewegten Licht- und Farbphänomene in unendlichen Variationen sollten die Sinne des Betrachters stimulieren.

Moholy-Nagy drehte als Teil einer geplanten Filmreihe über das Licht eine Sequenz, die das Lichtrequisit mit seinen Schatten und Projektionen in Bewegung zeigt. Der Film blieb unvollendet und wurde 1932 als Experimentalfilm mit dem Titel „Ein Lichtspiel schwarz weiß grau“ im Berliner Kino „Kamera“ öffentlich gezeigt. (man kann die Sequenz in unterschiedlichen Variationen auf Youtube finden.)

In der Arbeit des Lichtrequisits manifestieren sich einige seiner bedeutendsten Thesen zum Kunstwerk in der Moderne, welches für ihn ein „optophonetisches Erlebnis in Raumzeit“ darstellt (Moholy-Nagy 2006:27) in dem Sinn, dass für ihn jede schöpferische Kunst „Raum“ und „Zeit“ als Größen zu repräsentieren hat. Ideen wie diese waren generell für die künstlerische Avant-Garde dieser Zeit von Interesse, und sind beispielsweise auch bei Raoul Hausmann zu finden. (vgl. Moholy-Nagy 2006)

Walter Gropius schreibt in seinem Vorwort zu Moholy-Nagys *The New Vision and Abstract of an Artist* (1949): „his conception of spatial problems may be difficult to understand. (...) in the history of painting the content of what is portrayed recedes before the more important problem of space. (...) today we are confronted by new problems, e.g. the fourth dimension and the simultaneity of events.“ (Gropius 1949:5f.)

Die zeitliche Dimension als eine vierte Dimension des Raumes wurde in der Kunst seiner Zeit zu einem wichtigen Element. Gropius führt im Weiteren aus, dass Moholy-Nagy bald erkannt hatte, dass das Licht das beste Mittel ist, um Raum zu begreifen. Auch in seiner Malerei versuchte er, die Intensität des Lichts derart zu maximieren, dass sie dessen Intensität in der Natur nahe kommen sollte. (vgl. Gropius 1949)

Moholy Nagy war von kinetischer Kunst fasziniert; in seinem Werk „*Abstract of an Artist*“ (1949) stellt er diesbezüglich einen geschichtlichen Rückblick dar und zitiert im Zuge dessen das *Realistische Manifest* der russischen Konstruktivisten, das 1920 in Moskau veröffentlicht worden war: „Space and time are two exclusive forms of fulfillment of life, and therefore art must be guided by these two basic forms, if it is to encompass true life.“ (Moholy-Nagy 1949:49)

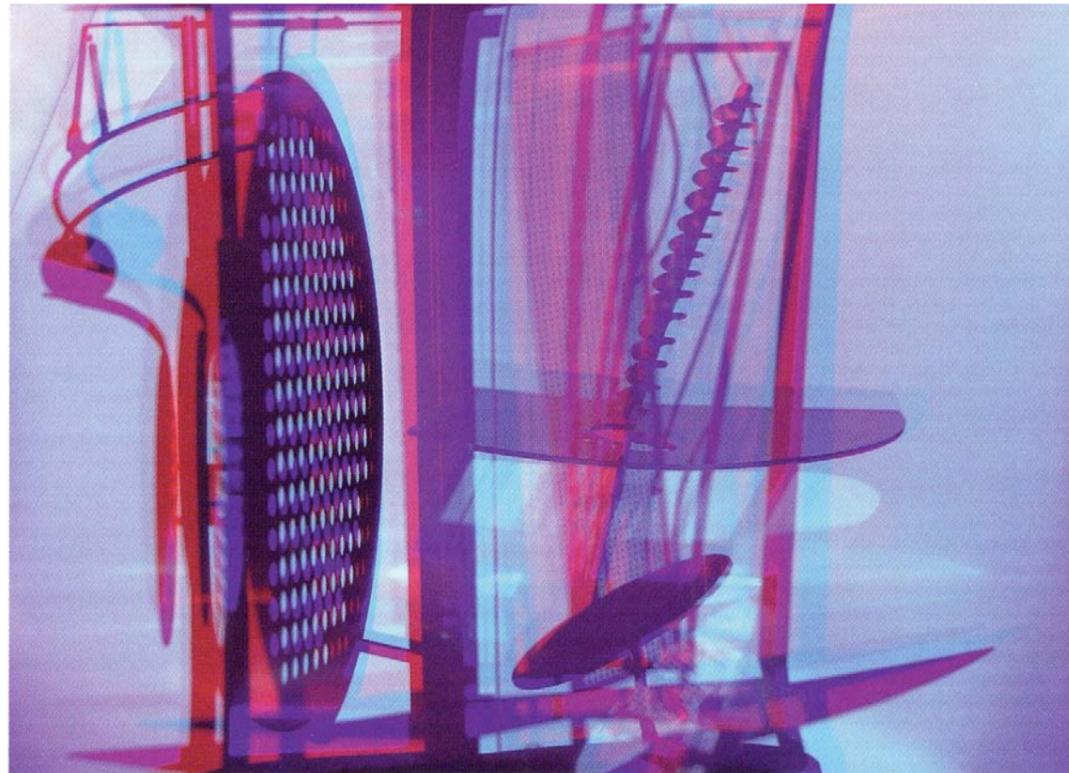


Abb. 24 Moholy Nagy: Licht-Raummodulator (Fotogramm)

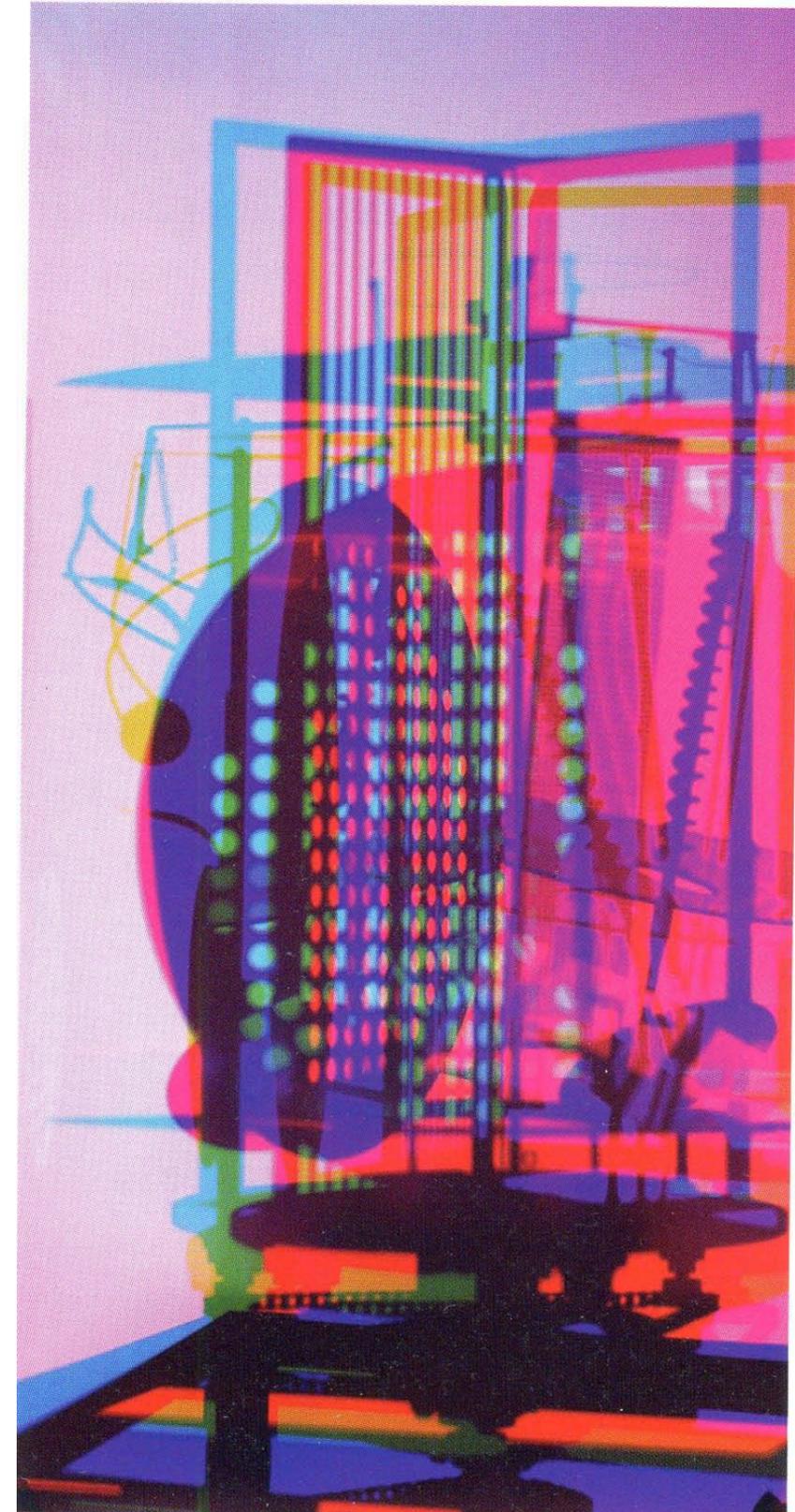


Abb. 25 Moholy Nagy: Licht-Raummodulator (Fotogramm)

Licht, Raum, Bewegung:

Heinz Mack, Otto Piene, Günther Uecker und die Kunst der ZERO Avantgarde

ZERO steht für eine neue künstlerische Aufbruchsstimmung in Deutschland in den 1950er Jahren, für einen Neustart von Null aus, für eine Rückbesinnung auf das Elementare. „ZERO ist STILLE“, „ZERO ist WEISS“ beziehungsweise „ZERO ist ZERO“ schreibt Otto Piene in seinen Gedichten, die später als das ZERO-Manifest bezeichnet werden (vgl. Kuhn 1991).

Die Künstler versuchen durch eine Reduktion der künstlerischen Mittel, „(...) auf die reine Farbempfindung, die intensive Auseinandersetzung mit dem Medium Licht und die Erweiterung der traditionellen Medien der Kunst einen neue Kunstrichtung zu etablieren (...).“ (Pörschmann 2015:244)

„Ein Blick zum Himmel, in die Sonne, auf das Meer genügt zu zeigen, daß [sic] die Welt außerhalb des Menschen größer ist als die in ihm, daß sie so gewaltig ist, daß der Mensch ein Medium braucht, das die Kraft der Sonne transformiert zu einem Leuchten, das ihm angemessen ist (...).“ (Piene zit. n. Pörschmann 2015:241); so Otto Piene in seinem Manifest für ZERO im Jahr 1961.

In seinen Arbeiten sucht er nach neuen eindrucksvollen Möglichkeiten des Sehens, nach einer neuen Form der ästhetischen Erfahrung, nach einer Umsetzung des Lichts in Energie und Bewegung, wobei er von einer Energieübertragung vom Objekt zum Sehenden ausgeht (vgl. Pörschmann 2015). In der von ihm und Heinz Mack herausgegebenen Zeitschrift *ZERO* schreibt er 1958 „über die Reinheit des Lichts“: „Die Energie des Lichts verwandelt sich auf rätselhafter Weise über dem Felde des Bildes in vitale Energie des Sehenden.“ (Piene zit. n. Pörschmann 2015:242)

Ausgehend von Projektionen mit aus Karton oder Blech hergestellten Rasterebenen entwickelt Otto Piene sein „Lichtballett“⁷ bestehend aus tanzenden bewegten Lichtprojektionen in einem abgedunkelten Raum; zunächst 1959 in seiner ursprünglichen Form mit von Hand operierten Lichtquellen als „archaisches Lichtballett“, wobei hier anfangs nur Piene selbst, dann später ein ganzes Team von Leuten intuitiv die Komposition des Lichtspiels bestimmen. 1960 konzipiert er das „mechanische Lichtballett“ dessen Choreographie von der Interaktion mit den Besuchern bestimmt war, die verschiedene mit Rastern ausgestattete Maschinen steuern konnten und in der Folge das „automatische Lichtballett“, mit einem programmierten elektrisch betriebenen Steuerungssystem für seine Choreographie. Ihm geht es dabei nicht um den Apparat selbst, sondern vielmehr um die immateriellen Erscheinungen, die er produziert. Beim „automatischen Lichtballett“ ist es ihm wichtig, dass sich die Besucher nun ganz der Wahrnehmung des von ihm inszenierten Lichtspiels widmen konnten. (vgl. Pörschmann 2015)

„Für Zero bleibt die Struktur in erster Linie Mittel, um Licht und Bewegung darzustellen.“ (Kuhn 1991:68) Das Lichtballett und die Lichtträume symbolisieren den Wunsch nach Schwerelosigkeit und Immaterialität (vgl. Caianiello 2005).

1964 entsteht in Zusammenarbeit von Otto Piene mit Heinz Mack und Günther Uecker zur Documenta der „Lichtraum - (Hommage à Fontana)“, dem italienischen Künstler Lucio Fontana gewidmet, der nicht zur Documenta eingeladen worden war. Sieben kinetische Objekte, [Werke aus den Jahren 1960 bis 1964], darunter eine „Lichtscheibe“, ein „Silber Rotor“, eine „Silber Mühle“ und ein „Weißer Dynamo“ werden in einem Raum angeordnet und in Sequenzen von sich wiederholenden 6-Minuten Zyklen in Zusammenhang mit Lichtmaschinen gesteuert. Die Lichtreflexionen nehmen in den Sequenzen gegen Ende eskalationsartig zu. Zwischenzeitlich und am Ende der Zyklen wird eines der Kunstwerke von Fontana in Form eines Dias projiziert. (vgl. Caianiello 2005)

In den Lichträumen der ZERO-Künstler zeigt sich ein Zusammenhang zu den Ideen von Moholy-Nagy, der geschrieben hatte: „ich träume von lichtapparaten, mit denen man handwerklich oder automatisch-mechanisch licht-visionen in die luft, in große räume und auf schirme von ungewöhnlicher beschaffenheit, auf nebel, gas und wolken schleudern kann. (...) ich wünschte mir einen kahlen raum mit zwölf projektionsapparaten, damit die weiße Leere unter den kreuzen farbiger lichtfarben aktiviert werden sollte.“ (Moholy-Nagy 1936 zit. n. Caianiello 2005:65)

Die abstrakten bedeutungsfreien reinen Formen des Lichts geben dem Betrachter die Möglichkeit sich auf den von Licht erfüllten und durch das Licht erst entstehenden Raum zu konzentrieren und in der Erfahrung der rein ästhetischen Lichtprojektionen auf die sinnliche Wahrnehmung selbst aufmerksam zu werden.

Die Wahrnehmung durch die Sinnesorgane des Körpers ist die Verbindung der inneren und der äußeren Welt. Sie ist dabei nicht passiv, sie ist bestimmt von einem inneren Kontext, der jedem Menschen individuell eigen ist und vom externen Kontext der jeweiligen Lebenswelt; sie ist bestimmt von Erfahrungen und von unserem aktiven Bewusstsein, das in seiner Fähigkeit der Selbstreflexion Einfluss hat auf die Art, wie Dinge erlebt werden.

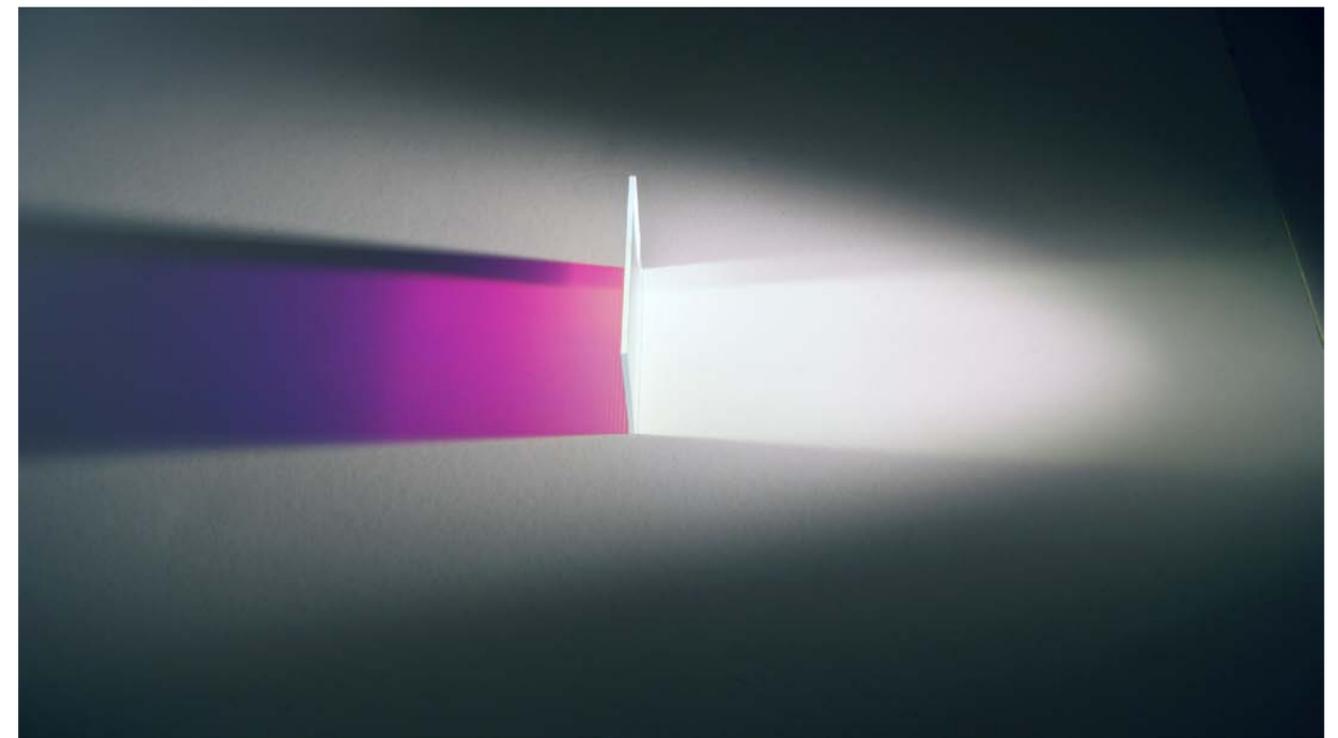
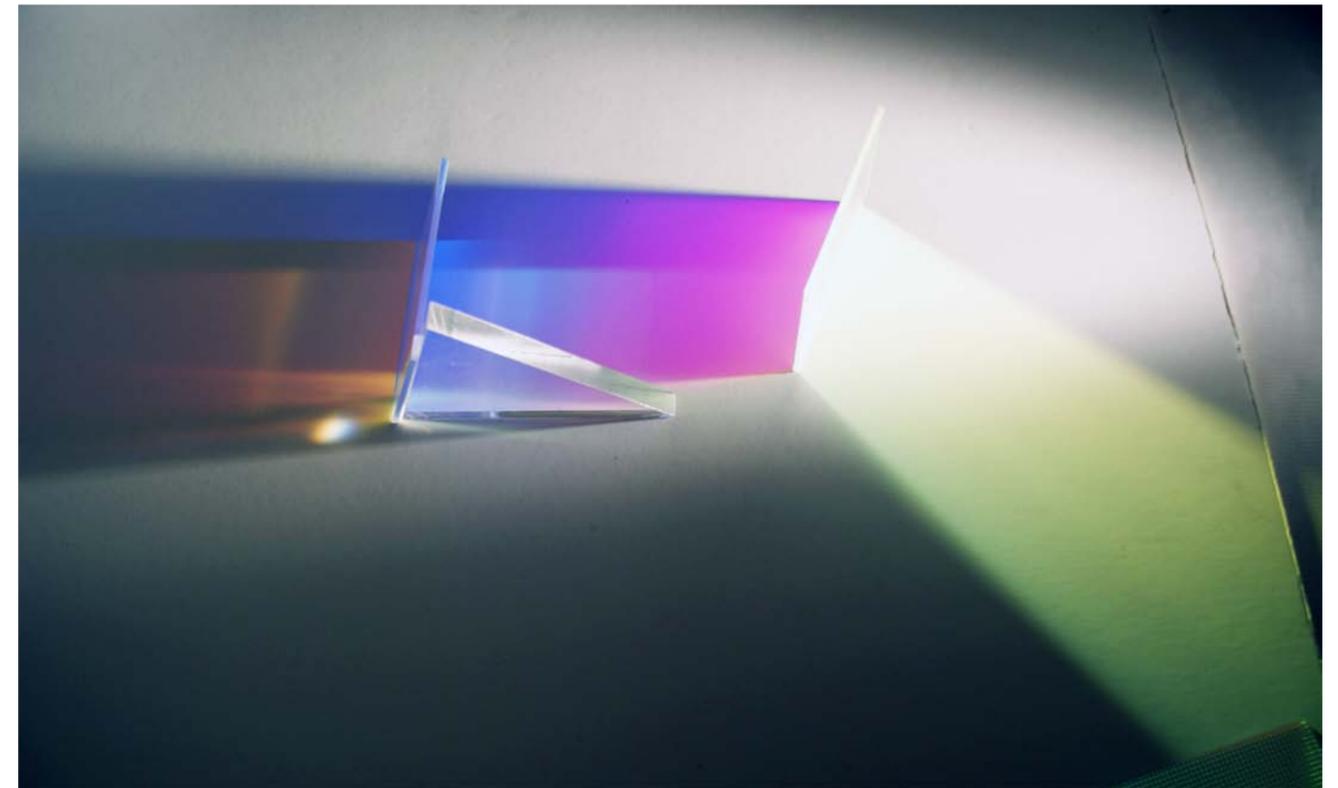
„Das Licht, das Medium des Scheinens, (...) ist nicht nur universales Darstellungsmedium, sondern selbst schöpferisch: es generiert die Bilder, die die Welt sind, die ein Lichtspiel ist. Realität und Bild, Dinge und Zeichen sind entkoppelt.“ (Böhme 1994:17)

Die bewegten Formen, die von den kinetischen Objekten an die Projektionsflächen des Raumes geworfen werden lassen Illusionen von Transparenz und Tiefe entstehen, sie scheinen sich gegenseitig zu überlagern, sich zurückzuziehen oder aus den Wänden hervorzukommen etc. „Zimmer und Zelle respondieren im Medium des Lichtes auf den Umgebungsraum. Der Raum ist 'sensibel'; der Betrachter nimmt wahr und nimmt sein Wahrnehmen wahr.“ (Böhme 1994:25)

7: Video Reproduktionen von Otto Pienes *Lichtballett* sind auf Youtube zu finden.



Abb. 26 Kinetische Lichtobjekte der ZERO-Künstler



Entwurf

Erste Versuche mit Farbeffekt-Acrylglas

Bei den reflektierten Farben in der oberen Abbildung handelt es sich um die Komplementärfarben zu den transmittierten. Die Farben entstehen in Abhängigkeit des Neigungswinkels der Acrylglasplatte zur Lichtquelle.

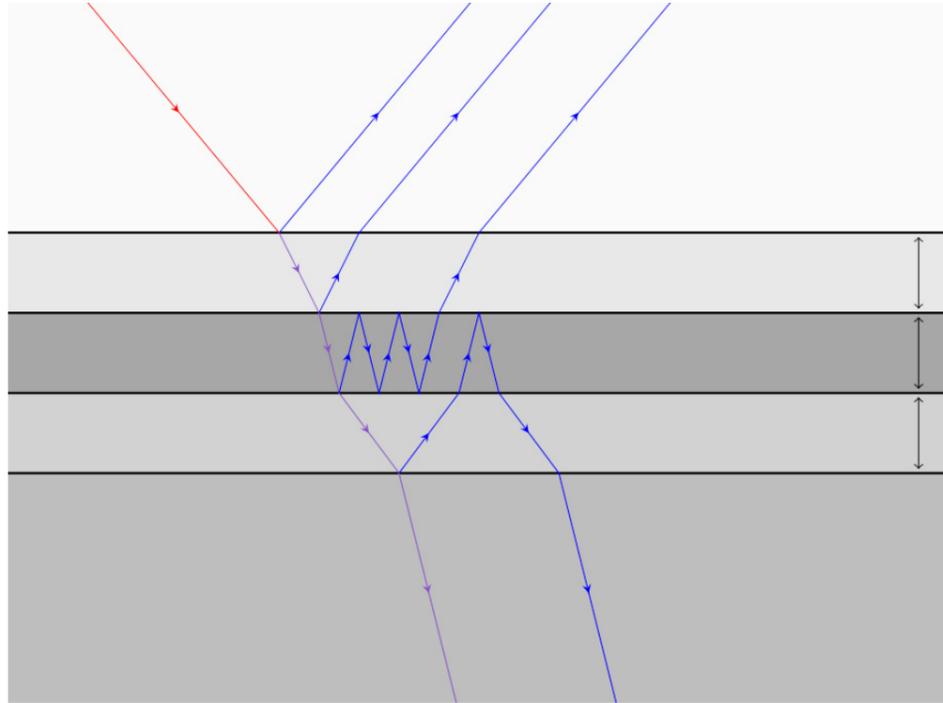
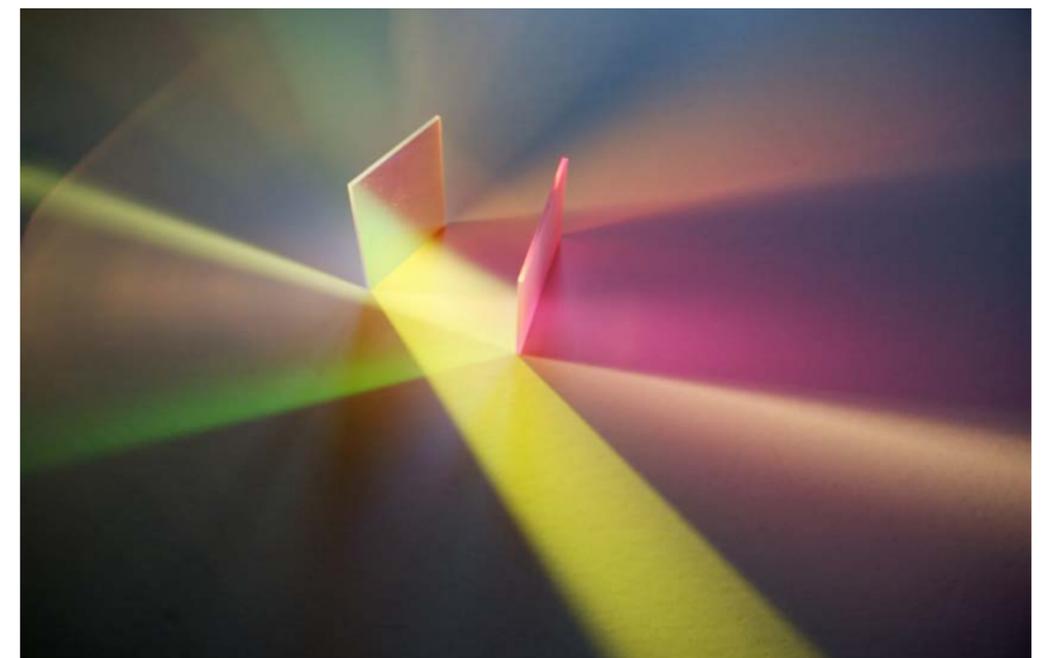
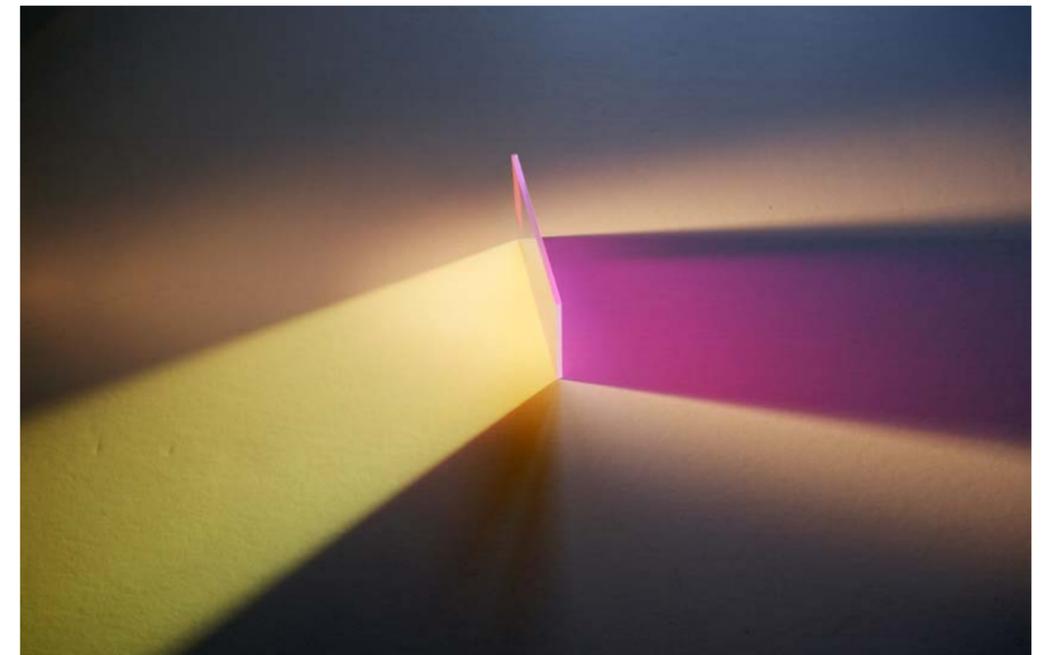
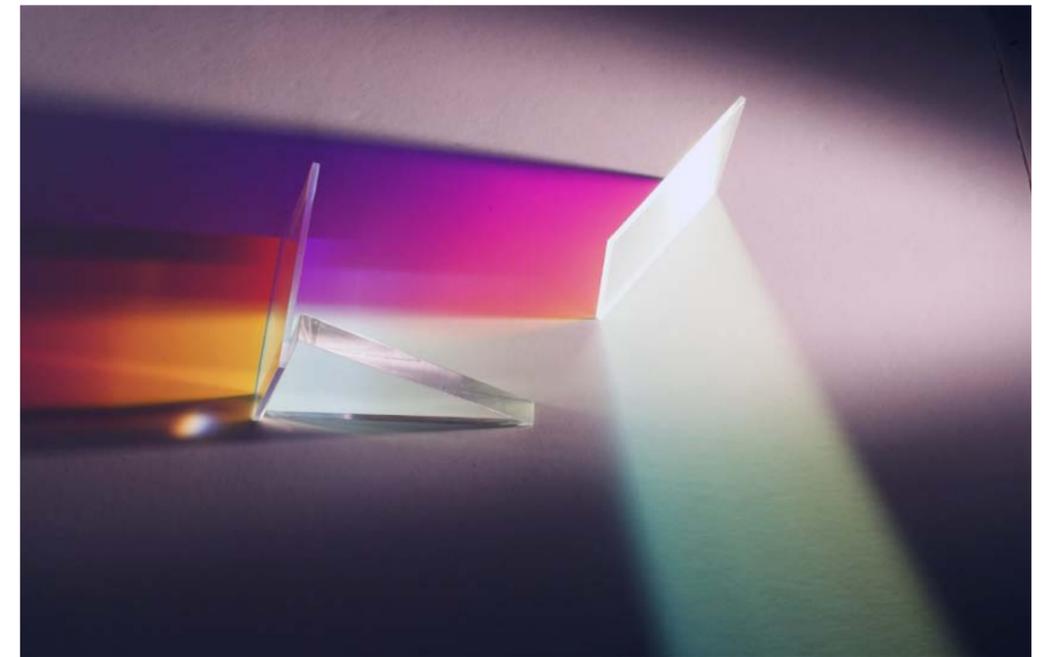


Abb. 29 einige ausgewählte Strahlenverläufe in einem dielektrischen Vielschichtsystem



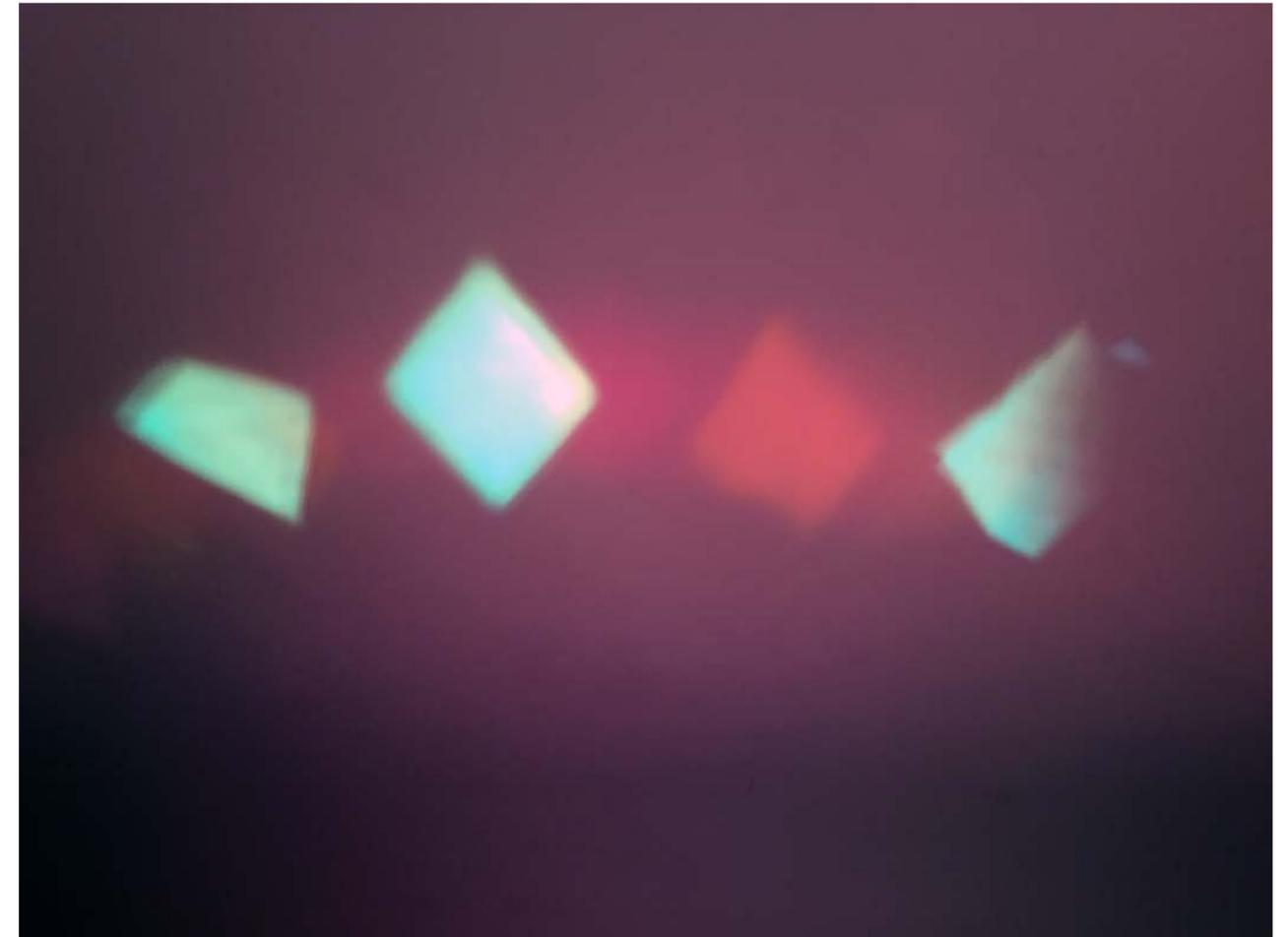
9: „Photonik bezeichnet jenes immer wichtiger werdende Fachgebiet, das mit der kontrollierten Erzeugung, Ausbreitung und Detektion von (vor allem kohärentem) Licht, also von Photonen beschäftigt. Die Anlehnung der Wortbildung an ‚Elektronik‘ steht dabei für ein ganzes Programm: Nicht nur sind die genannten optischen Prozesse aufs engste mit elektronischen Vorgängen verbunden, in zahlreichen technischen Anwendungen gehen Photonik und Elektronik auch eine überaus fruchtbare, einander ergänzende Verbindung ein“ (Reider 2005:VIII).

10: Alle Informationen in diesem Abschnitt stammen sofern nicht anders angegeben von Professor Georg Reider, (Institut für Photonik, TU Wien), September 2015), der mich freundlicherweise bei meiner Arbeit unterstützt hat



Versuche mit geometrischen Körpern

Zu Beginn stand eine Auseinandersetzung mit Reflexionen und Schatten, die durch geometrische Körper erzeugt werden. Bei der gewählten Form handelt es sich um ein Hendekaeder, bestehend aus elf Flächen mit zwei Rautenflächen, vier Dreiecksflächen, vier Deltoidflächen und einer Quadratfläche. Hendekaeder sind raumfüllende geometrische Körper. Die Flächen wurden teilweise mit opakem Acrylglas sowie mit Farbeffektacrylglas umgesetzt. In der Versuchsanordnung waren vor allem die Reflexionen der Körper untereinander interessant, die sich durch unterschiedliche Positionierungen ergaben.



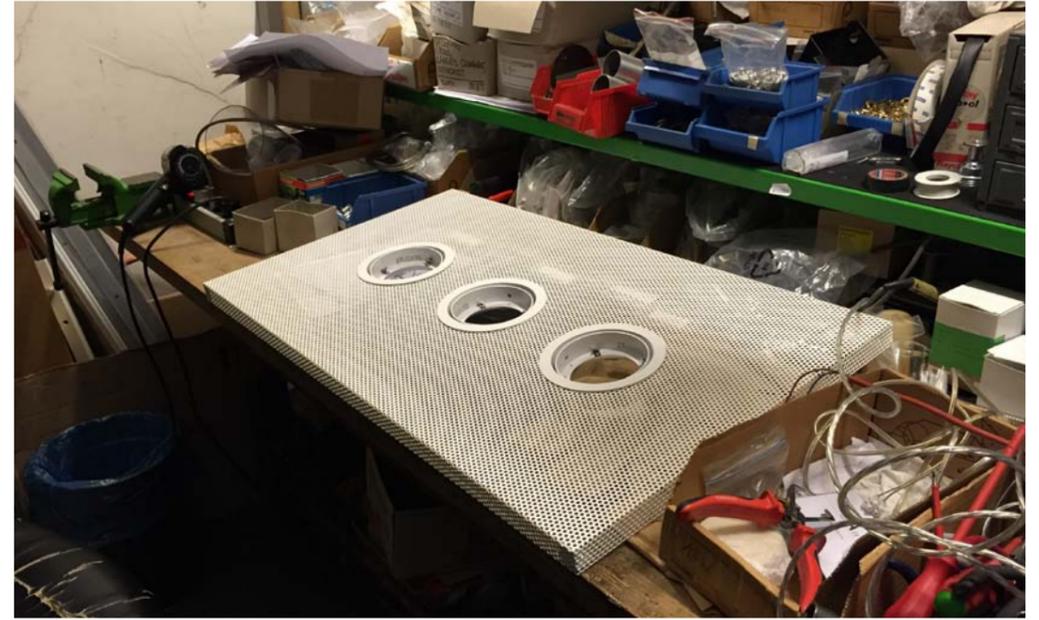


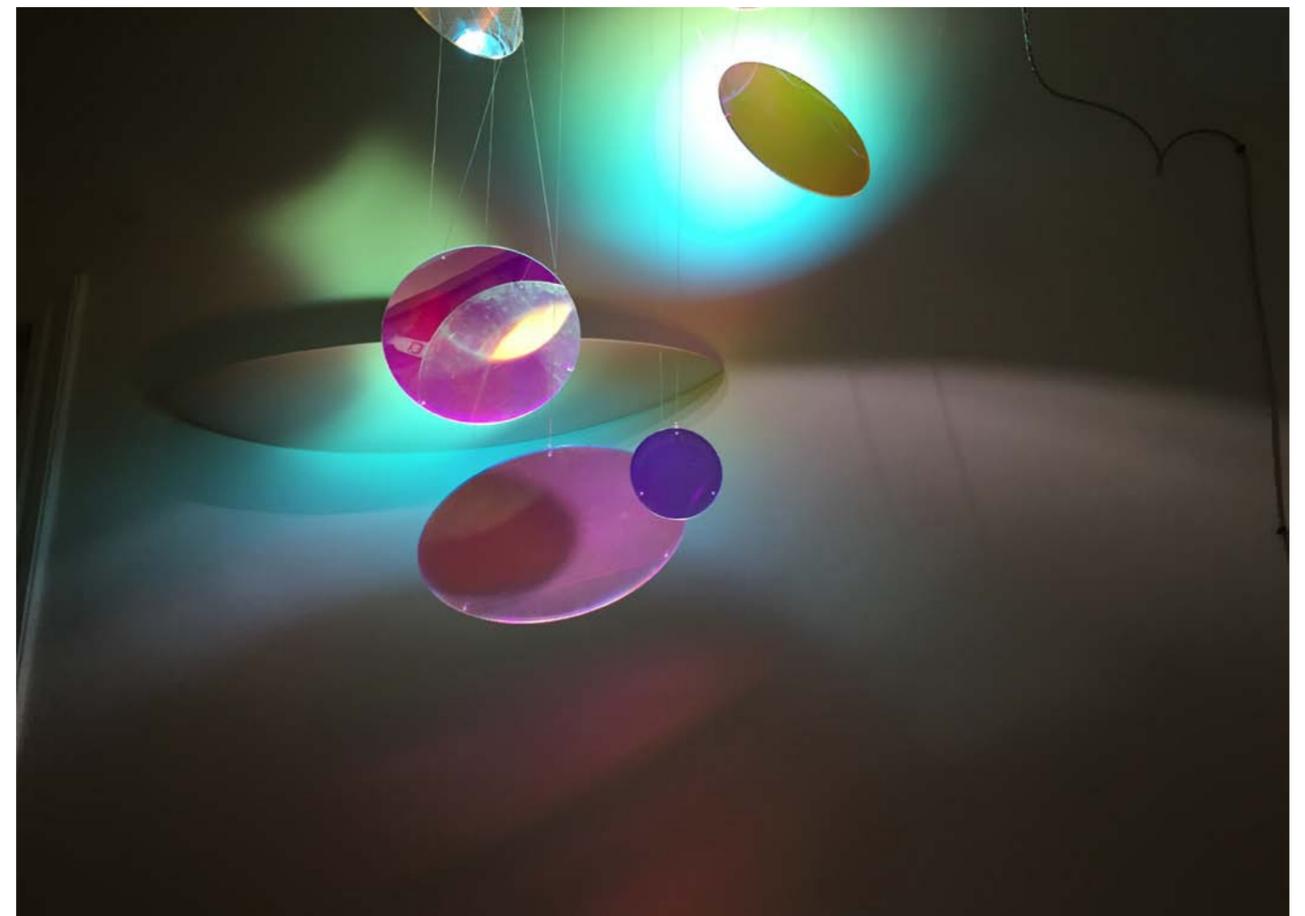
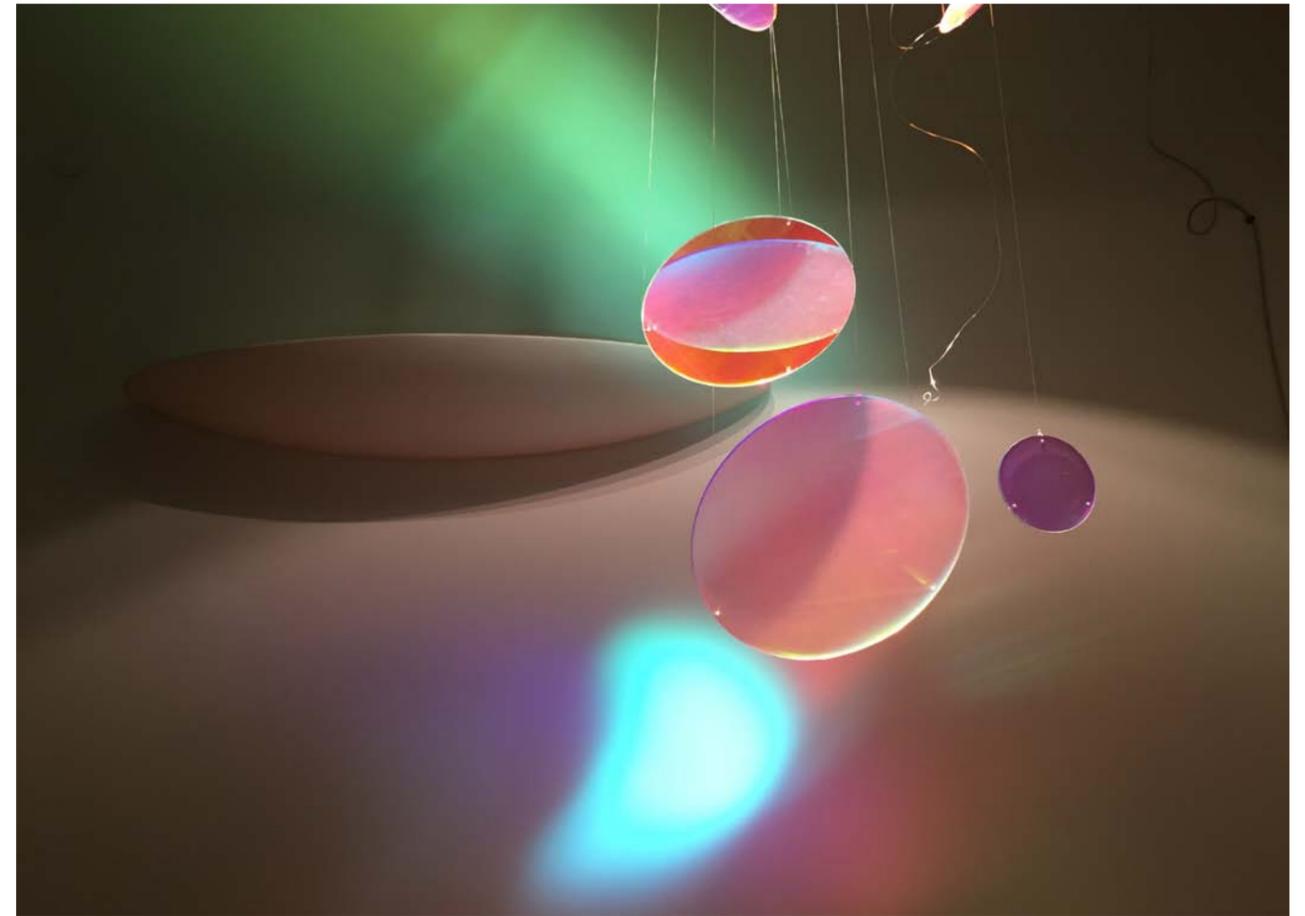
Versuchsaufbau - Lichtquellen

Die Voraussetzung für das Gelingen der Versuche war eine gewisse Mindest-Lichtintensität, die einerseits mit direkt durch ein hohes Fenster einfallendem Sonnenlicht zu gewissen Uhrzeiten an sonnigen Sommertagen erfüllt werden konnte oder durch das Anbringen von mehreren Halogen-Spotlights in einem gewissen Abstand vom Objekt. Um die Farbeffektglasscheiben von oben zu beleuchten, wurde eine Leuchte mit drei dreh- und schwenkbaren Halogen-Spots (jeweils mit einer Leistung von 50 Watt und einem Abstrahlungswinkel von 24°) konstruiert. Halogenspots sind Temperaturstrahler, die aufgrund ihres Lichtspektrums gut geeignet sind, um optimale Farbeffekte zu erzielen. Fehlen Wellenlängen im Spektrum, so können diese auch nicht durch die Interferenzen am Farbeffektglas sichtbar gemacht werden. Die Leuchtenplatte wurde aus Lochblech ausgeführt, sodass die Acrylglascheiben mit Hilfe einer Anglerschnur daran befestigt werden konnten. Die Scheiben wurden an jeweils drei Punkten angebohrt, und waren so variabel in ihren Neigungswinkeln positionierbar. Auf den folgenden Seiten werden verschiedene Versuchsaufbauten dargestellt. Dabei kam immer ausschließlich weißes Licht mit einer Farbtemperatur von 2800 Kelvin zum Einsatz. Das gewählte Material ist an sich farblos und teilweise transparent. Die chromatischen Farbeffekte kommen erst in Zusammenhang mit Licht zustande¹¹.



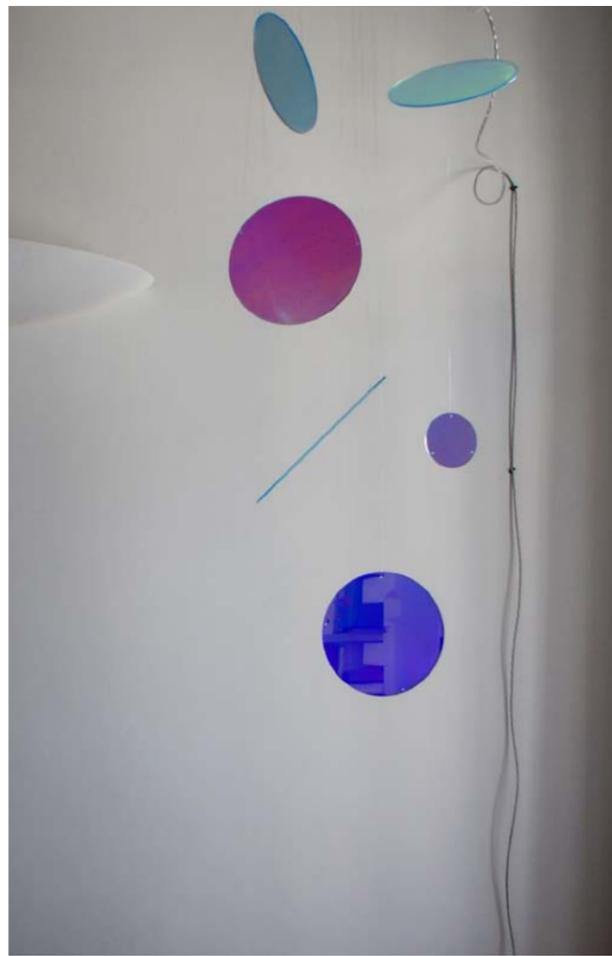
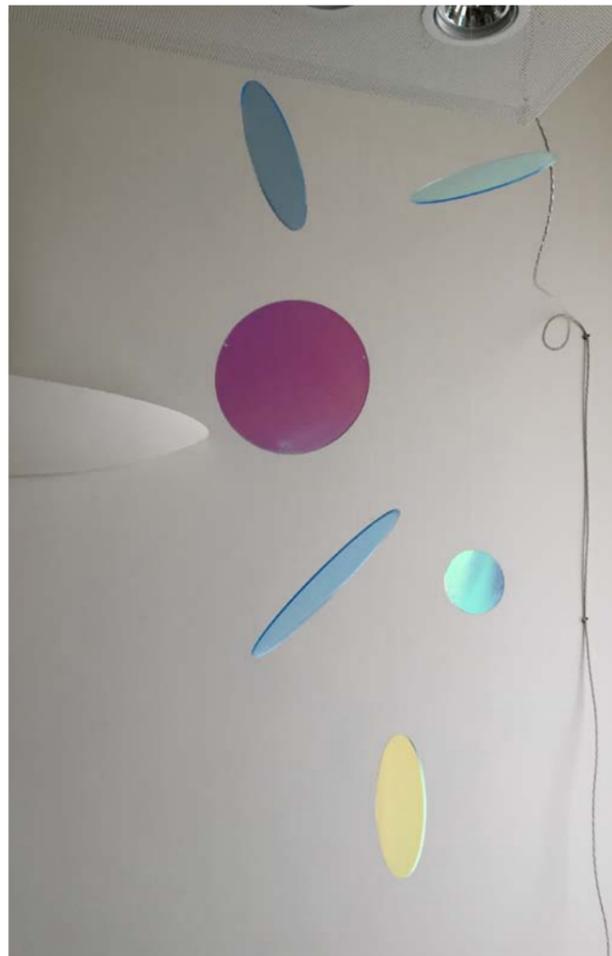
11: die physikalischen Vorgänge, die für die chromatischen Farbeffekte verantwortlich sind, werden im Kapitel: Materialeigenschaften von Farbeffektglas auf Seite 54 genauer beschrieben.







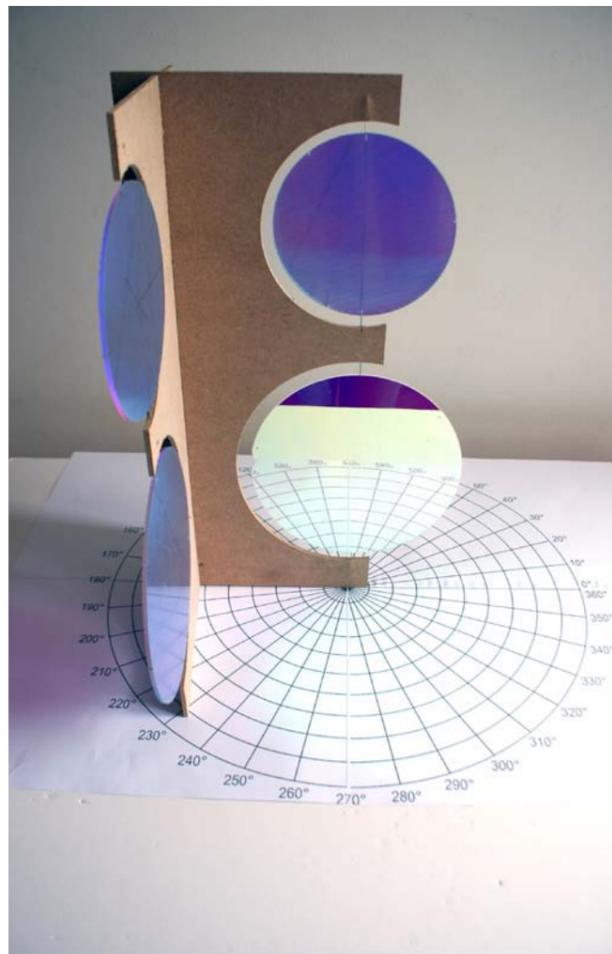
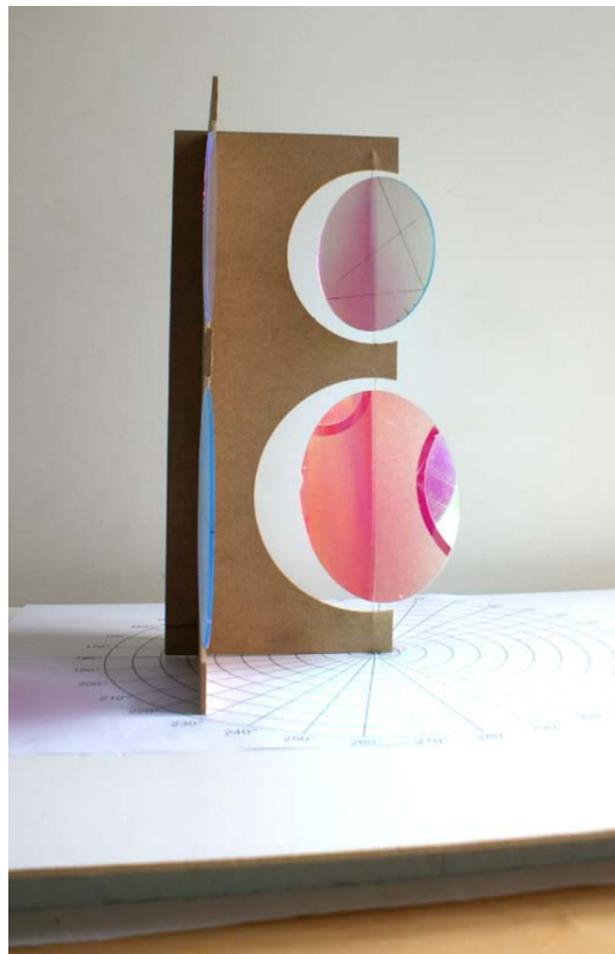
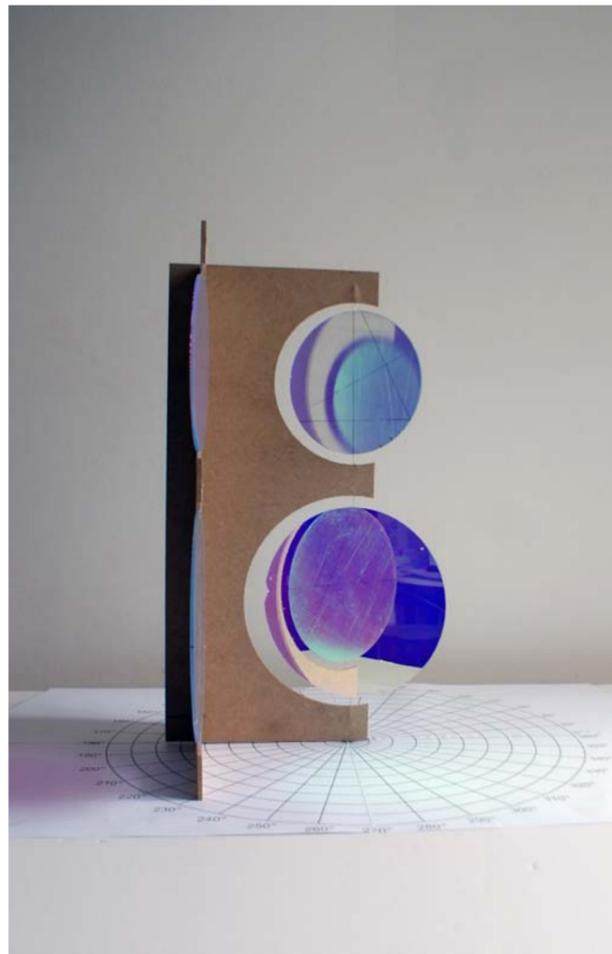
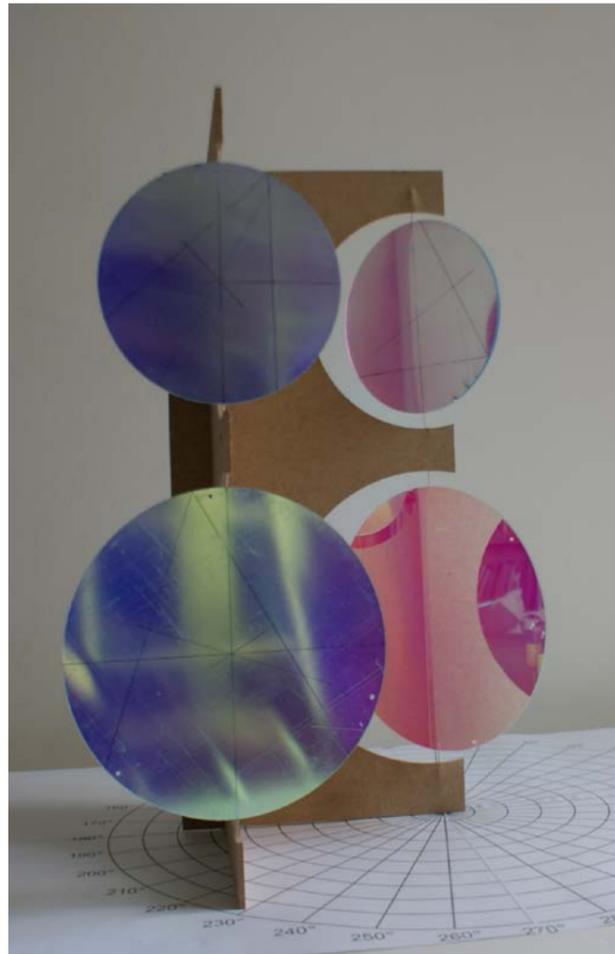
Versuche mit runden Scheiben bei Tageslicht





Versuche mit Glühlampenlicht



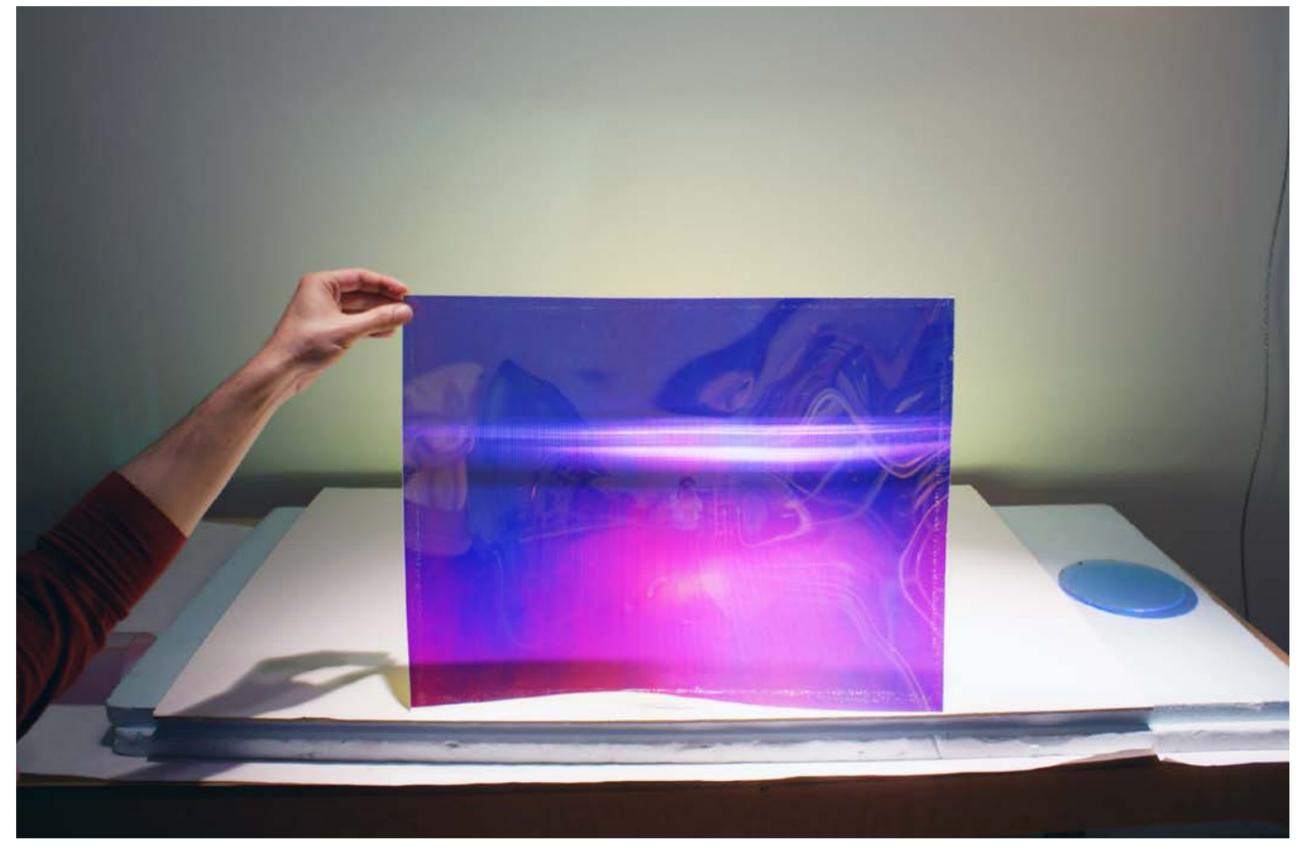


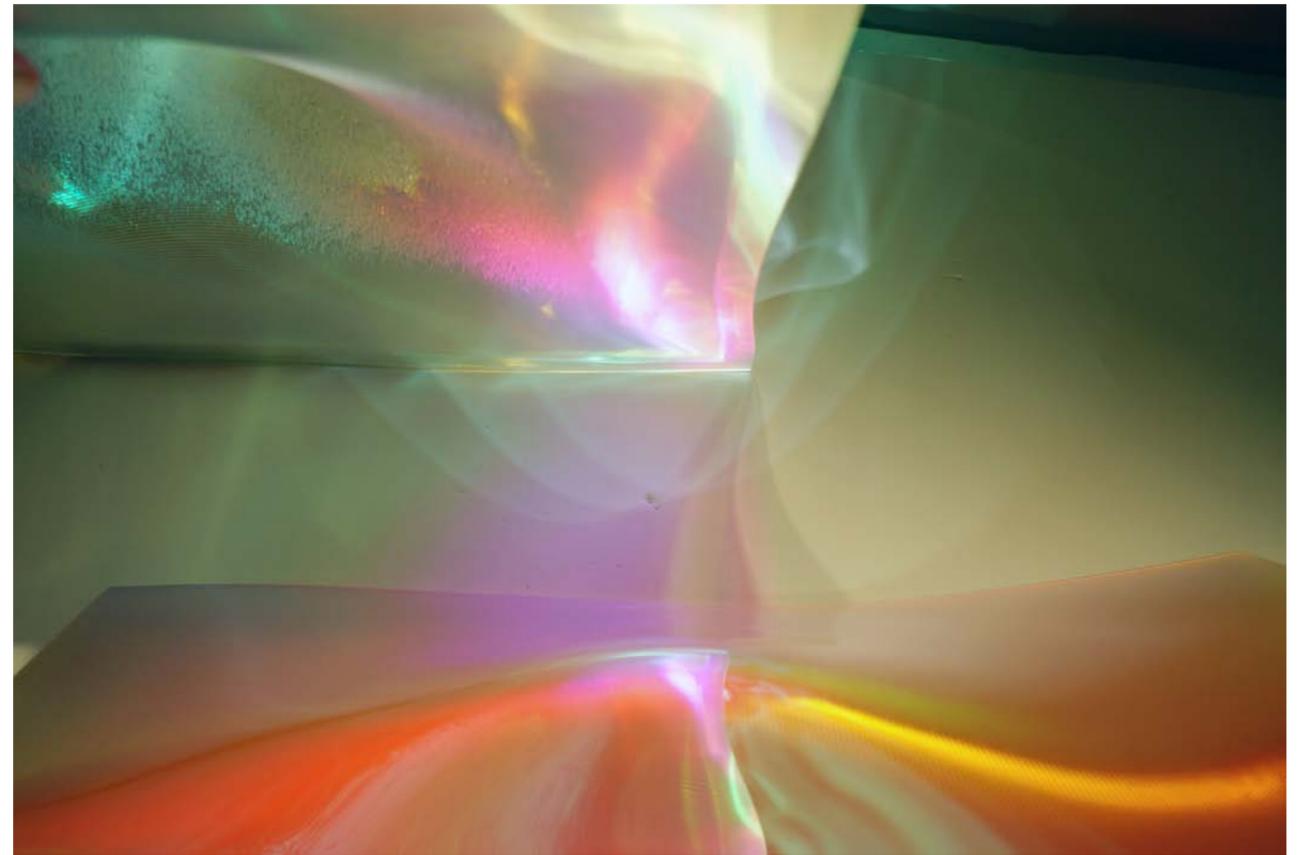
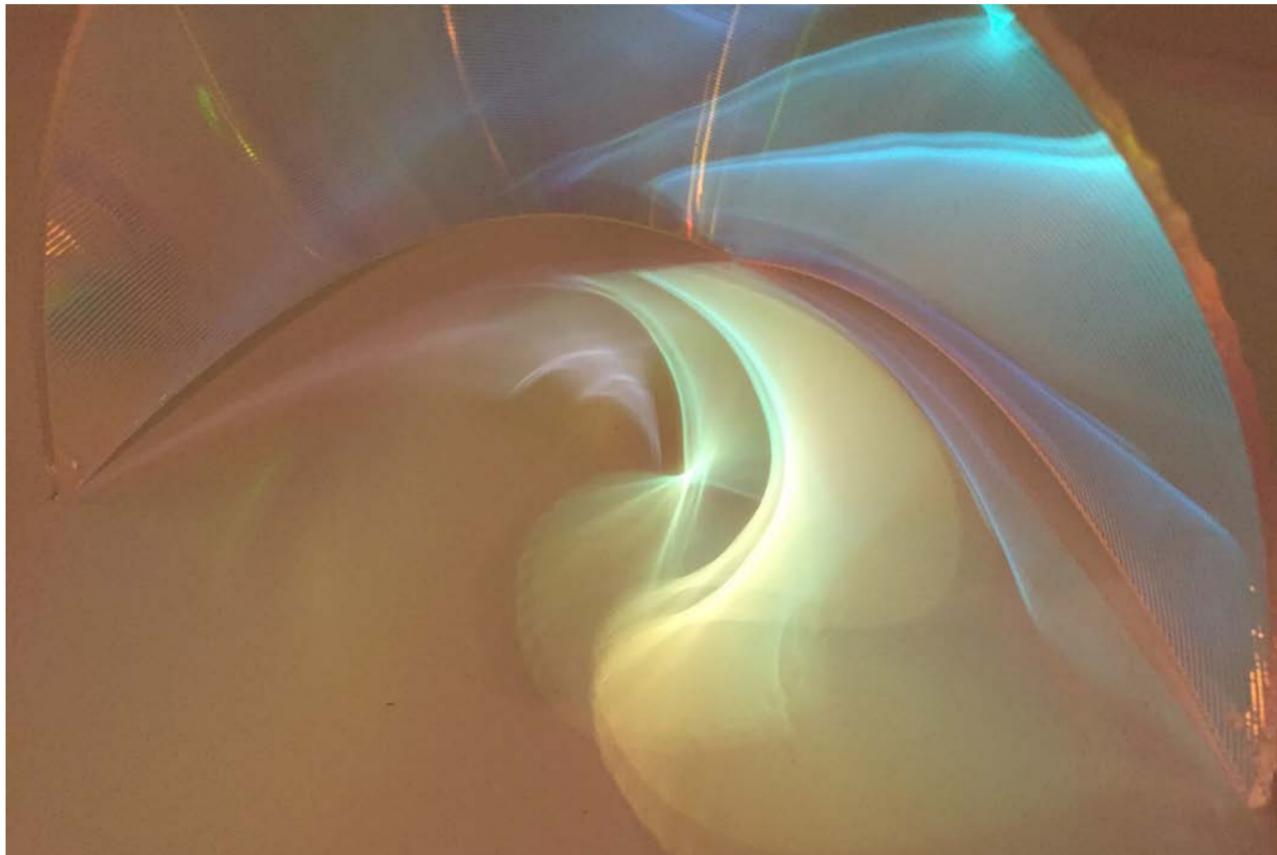
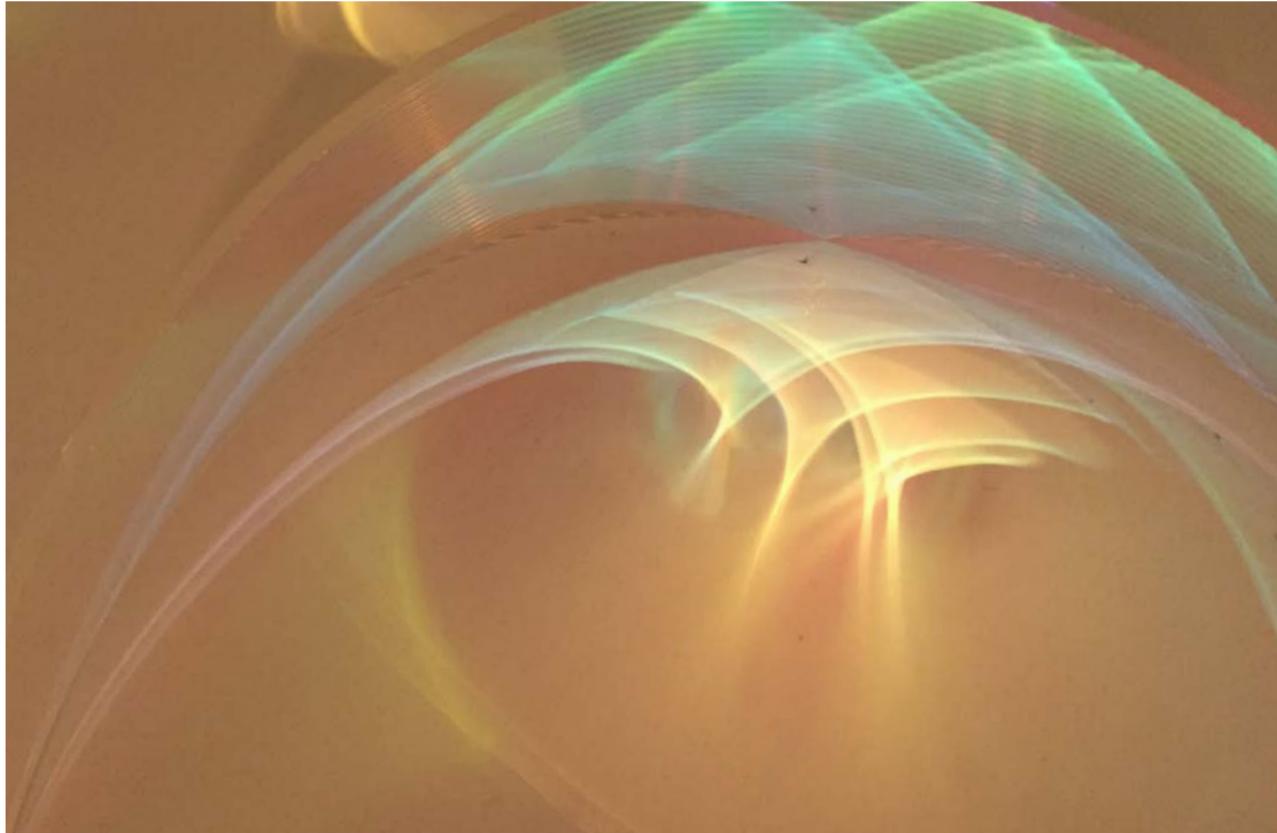
Versuche mit fixierten drehbaren Scheiben

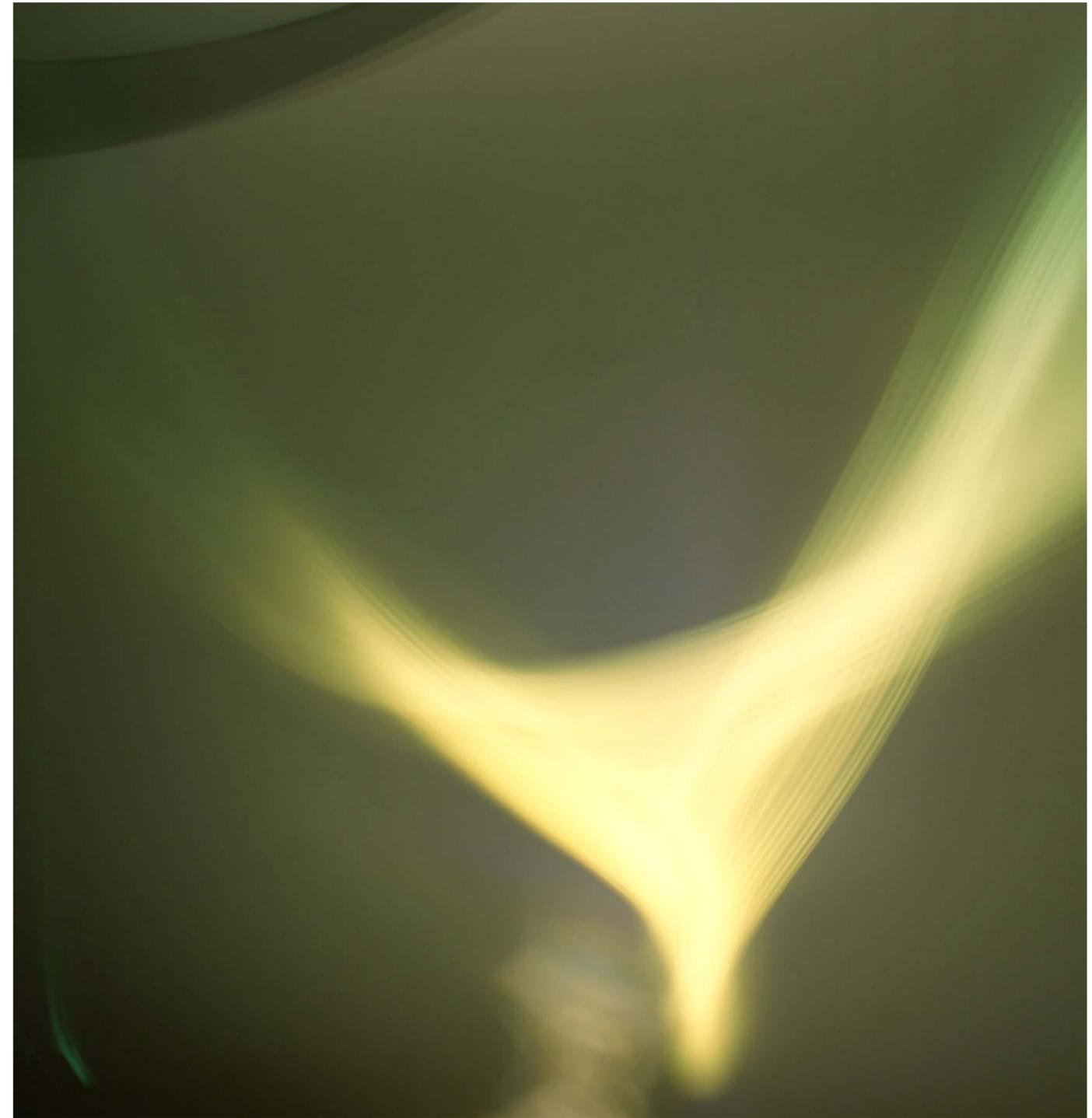


Versuche mit thermisch geformten Acrylglasplatten

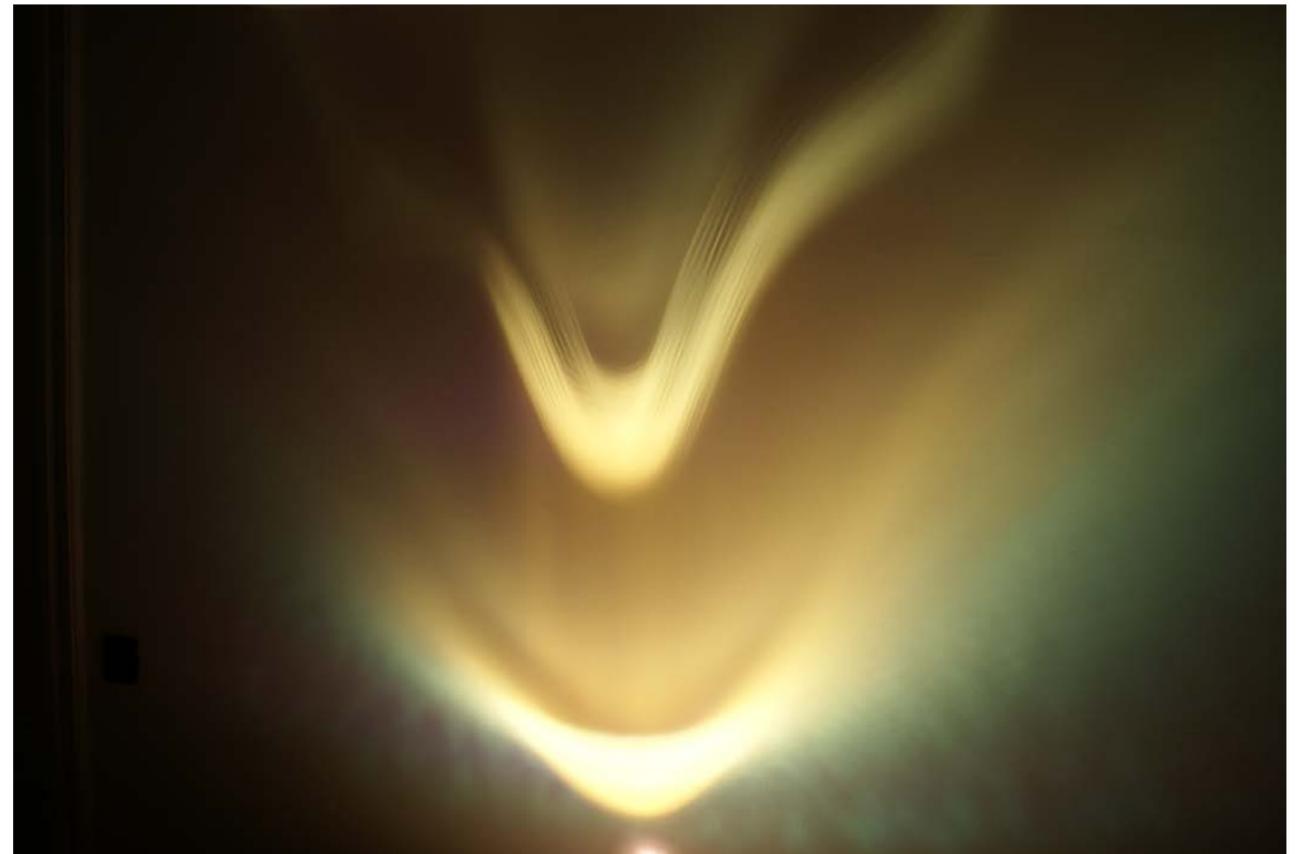
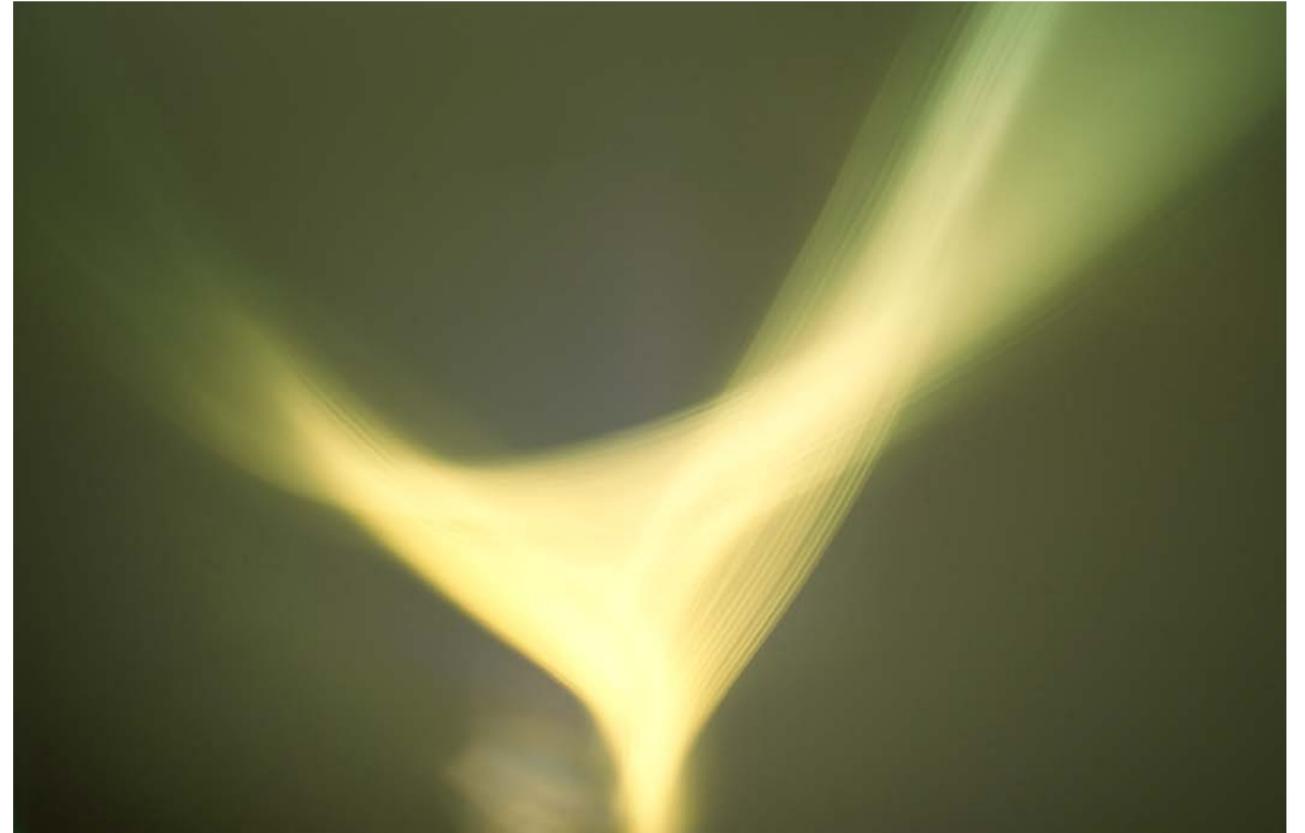
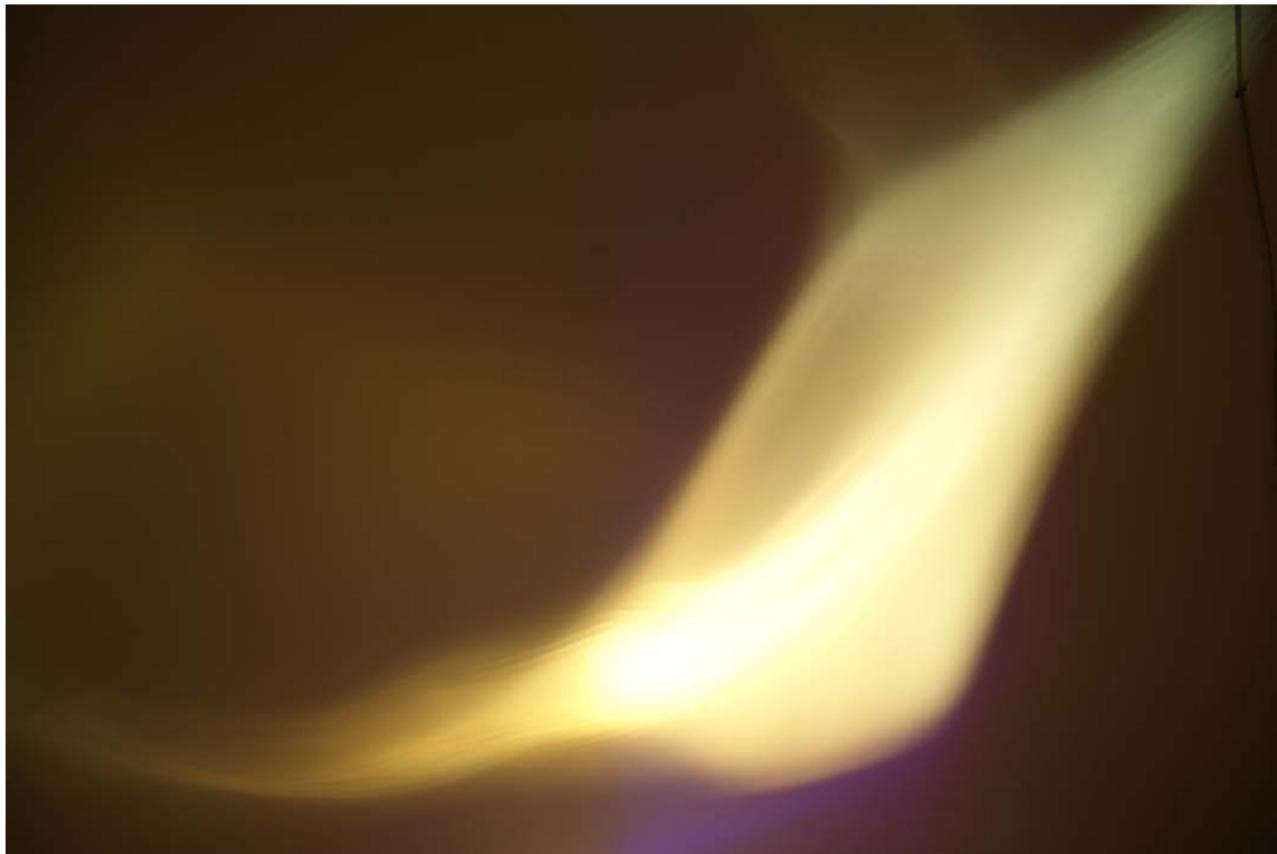
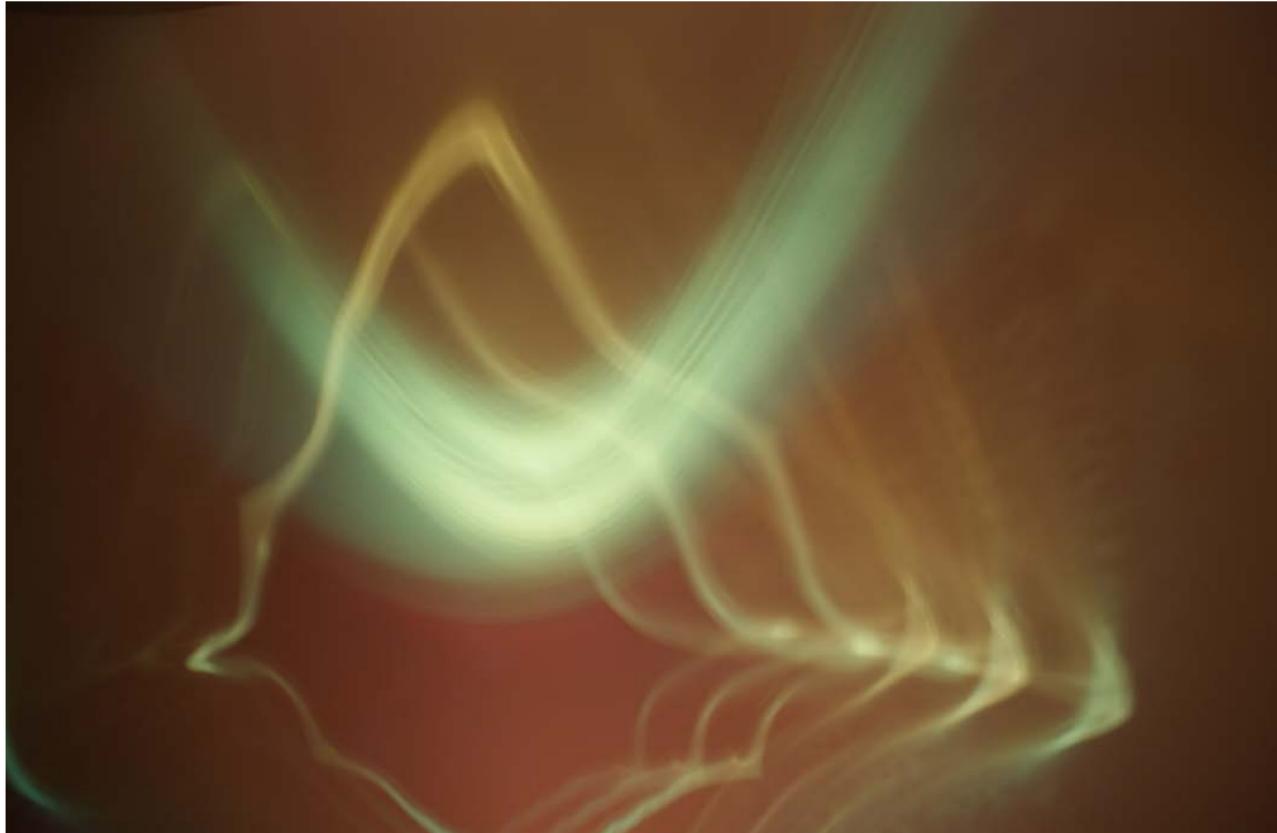
Verformung des Materials durch Thermoformen in einer Vakuum-Tiefzieh-Maschine: sowohl konvex als auch konkav, wobei die größte Fläche in einer Wölbung nach außen gekrümmt wurde, sodass eine voluminösere Reflexionsfläche entstand. Die Beschichtung wurde beim Verformen einer Platte teilweise zu stark erhitzt und zerstört, was zusätzlich zu interessanten Reflexions-Effekten führte. Bei den Versuchen kamen zwei unterschiedlich gekrümmte Platten zum Einsatz, die gleichzeitig im Licht bewegt wurden, was in der Interaktion der Reflexionseffekte und der Transmissionseffekte verschiedene Farben und Formen auf den Projektionsflächen entstehen ließ. Zur Beleuchtung dienten drei dreh- und schwenkbare Halogenspots, welche die Objekte von oben anstrahlten. Zudem wurde teilweise eine vierte Lichtquelle hinzugenommen, ebenfalls ein 24° Halogenspot, der in horizontaler Richtung positioniert war. Die Versuche erforderten mindestens zwei Personen, wobei jeweils einen Person eine geformte Acrylglasplatte in den Händen hielt und in Abhängigkeit zur Lichtquelle bewegte. Die beiden Platten wiesen jeweils eine charakteristische Verformung auf. Hierbei war vor allem die Art und Weise in der die entstehenden chromatisch-farbigem Lichtreflexionen einander beeinflussen konnten eine Herausforderung. Verschiedene Szenarien wurden definiert, was die Lichtquellen und die Neigungswinkel der Acrylglasplatten zueinander betraf.

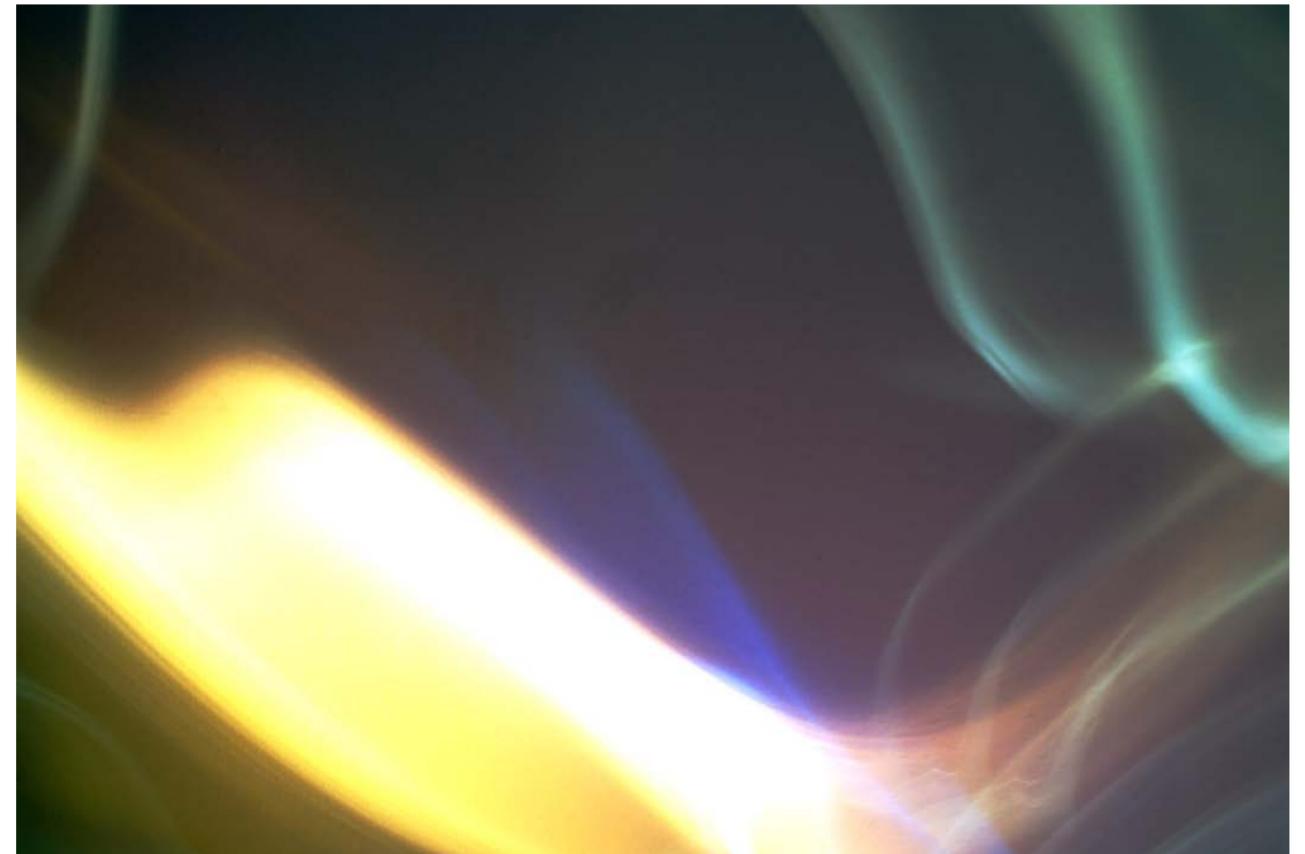
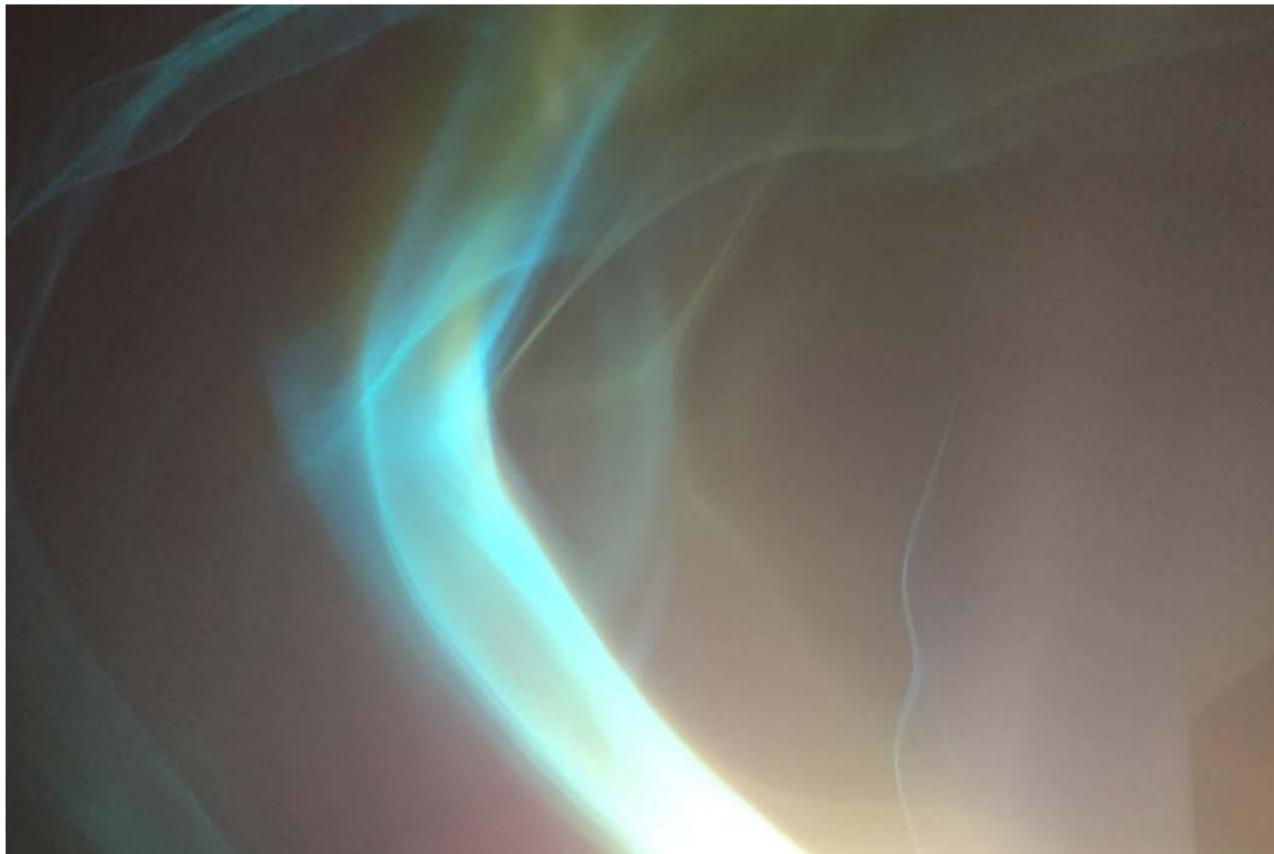
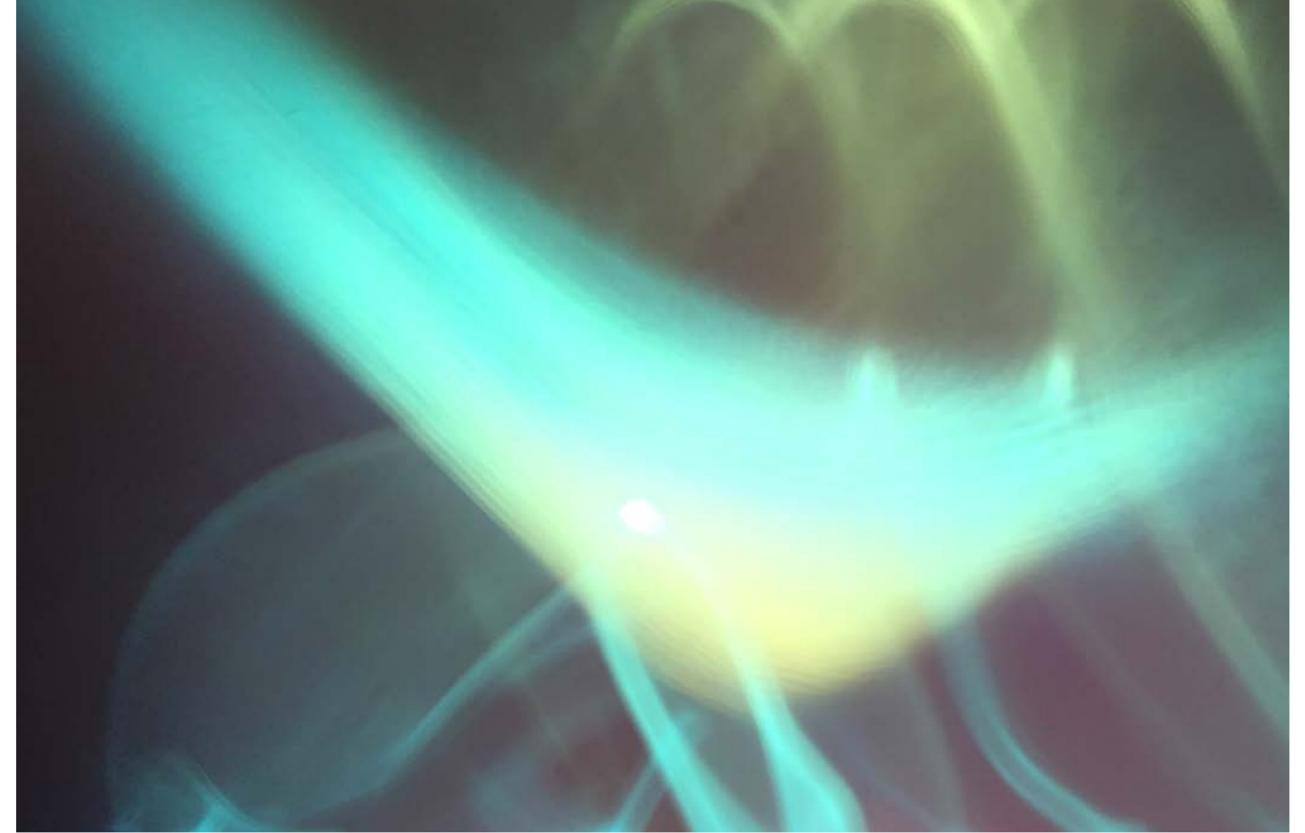
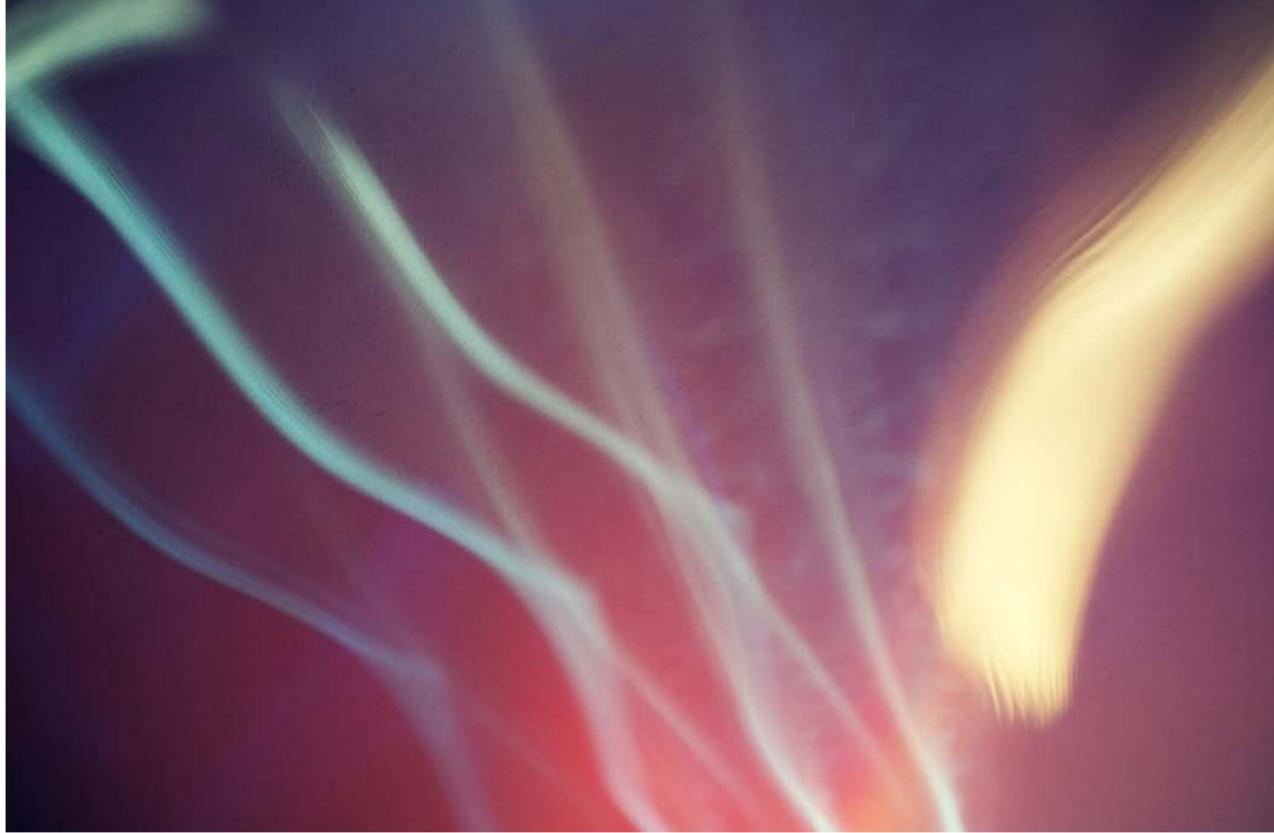


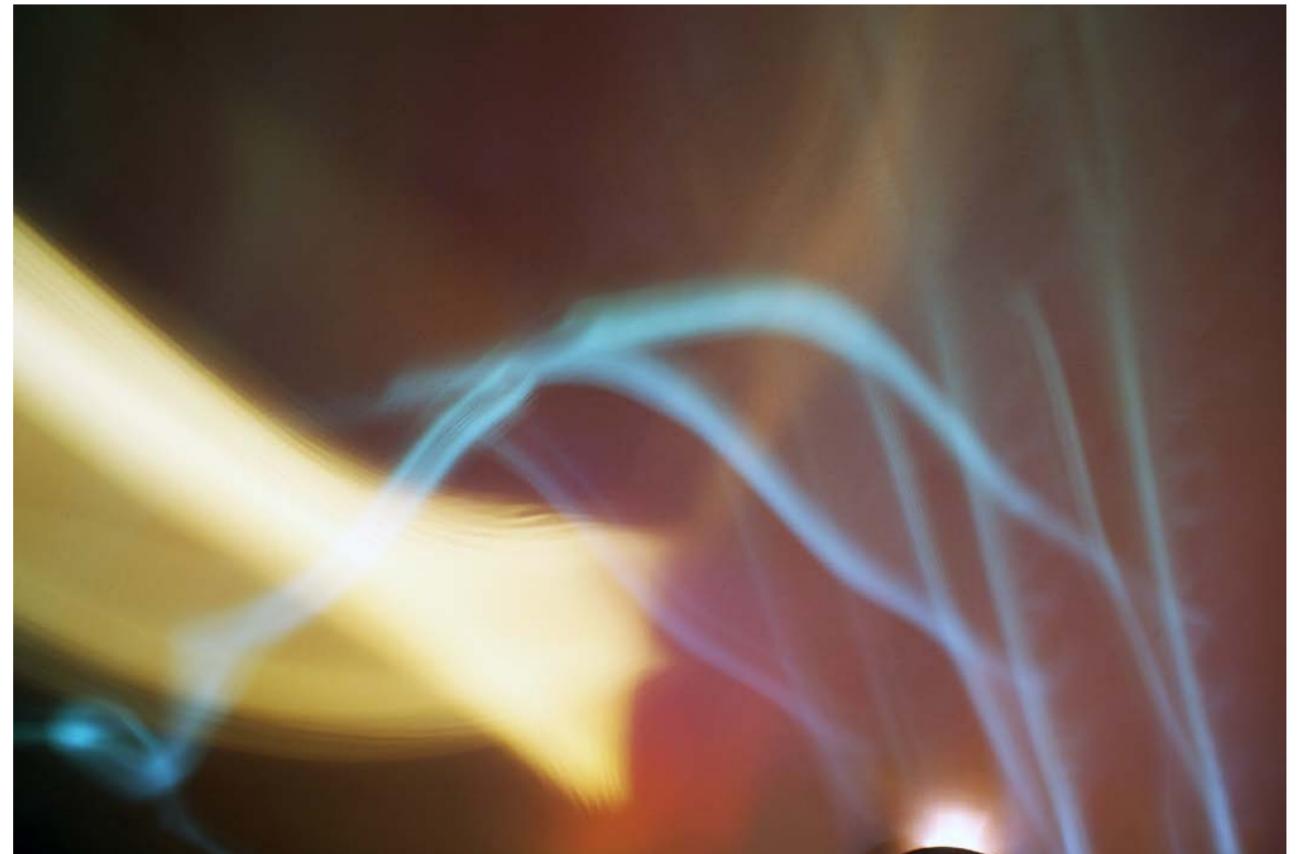
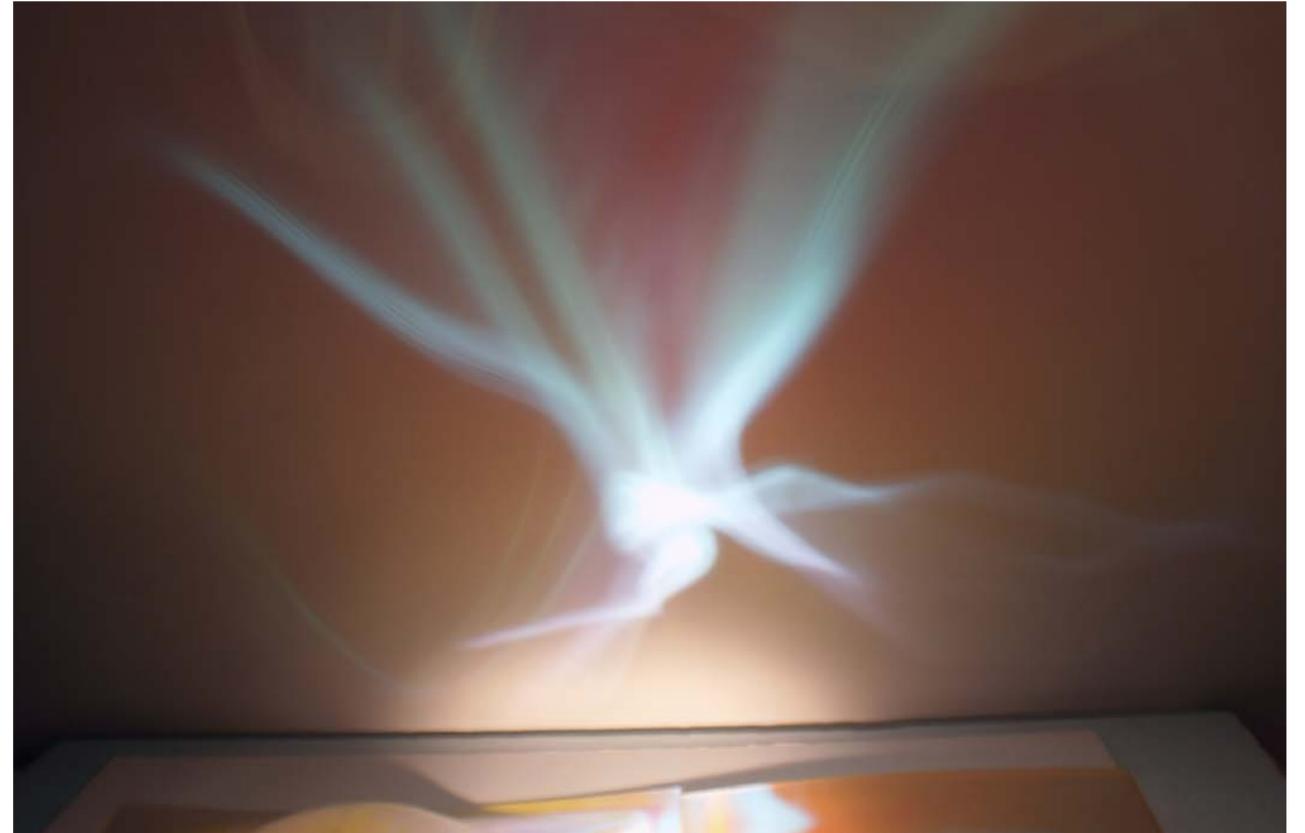
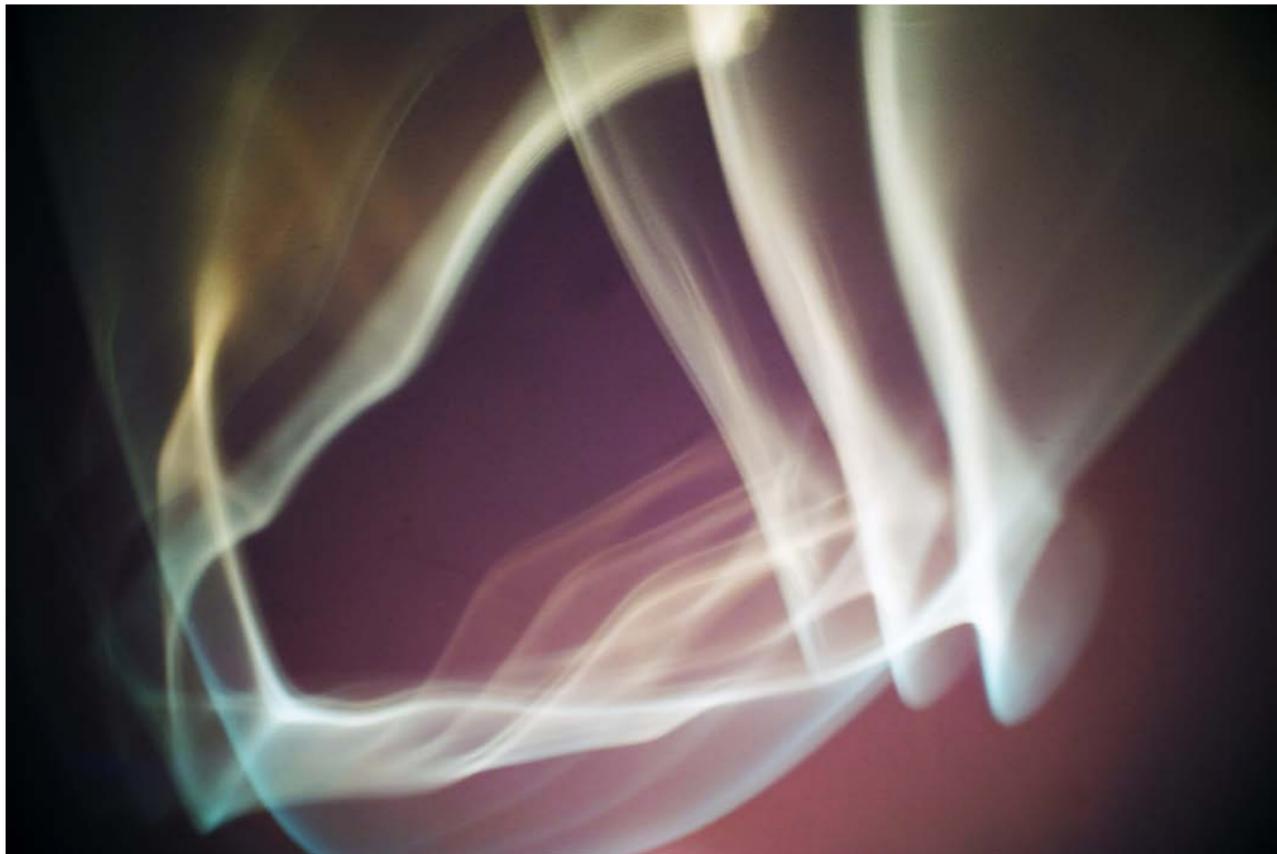


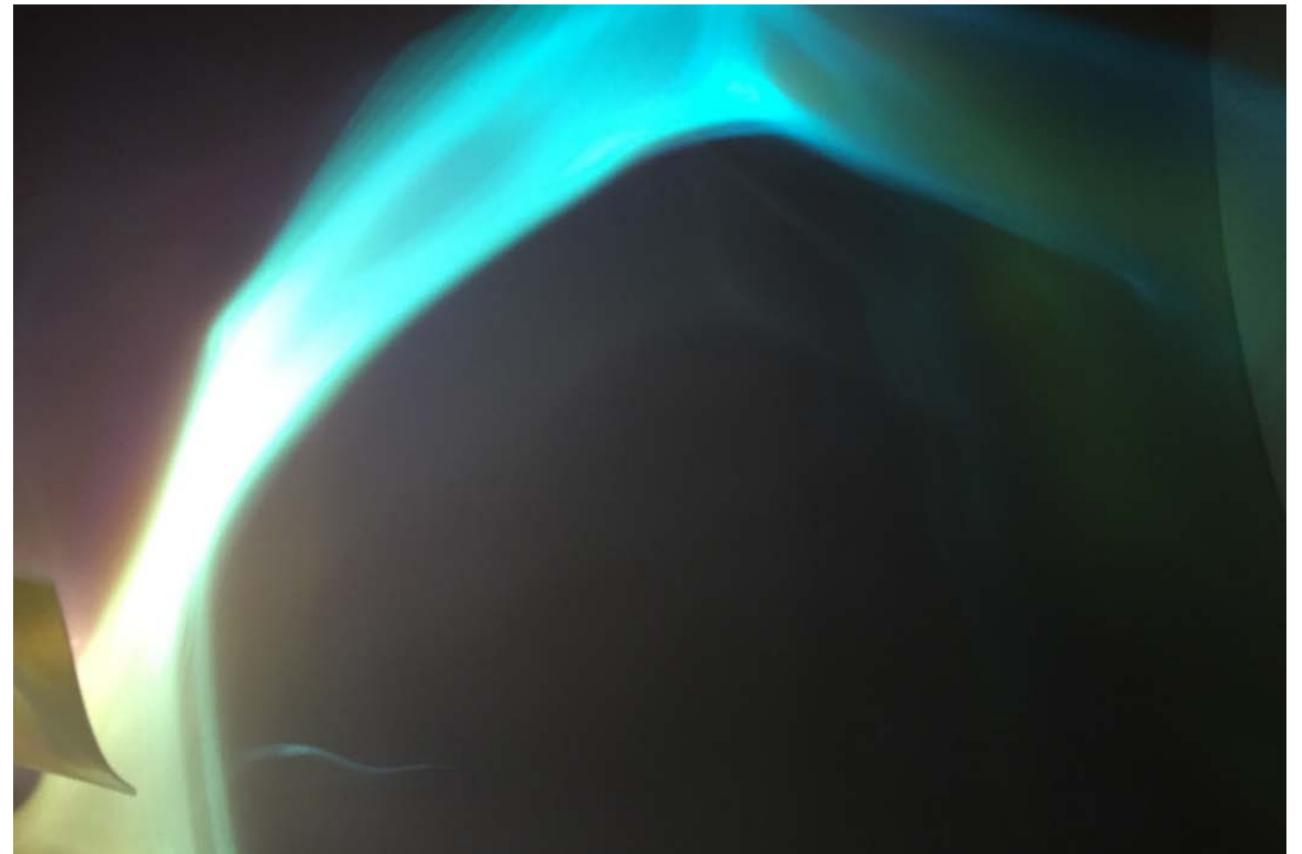
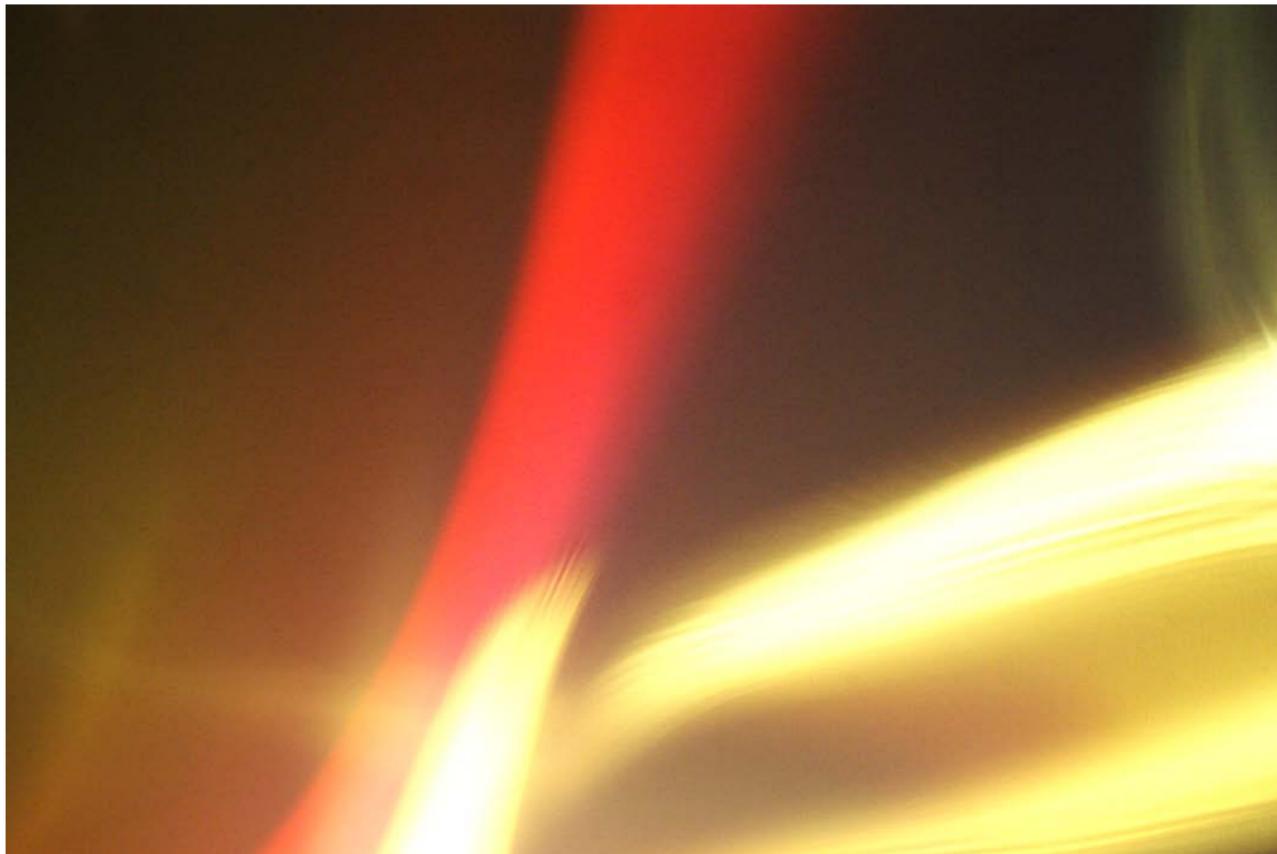
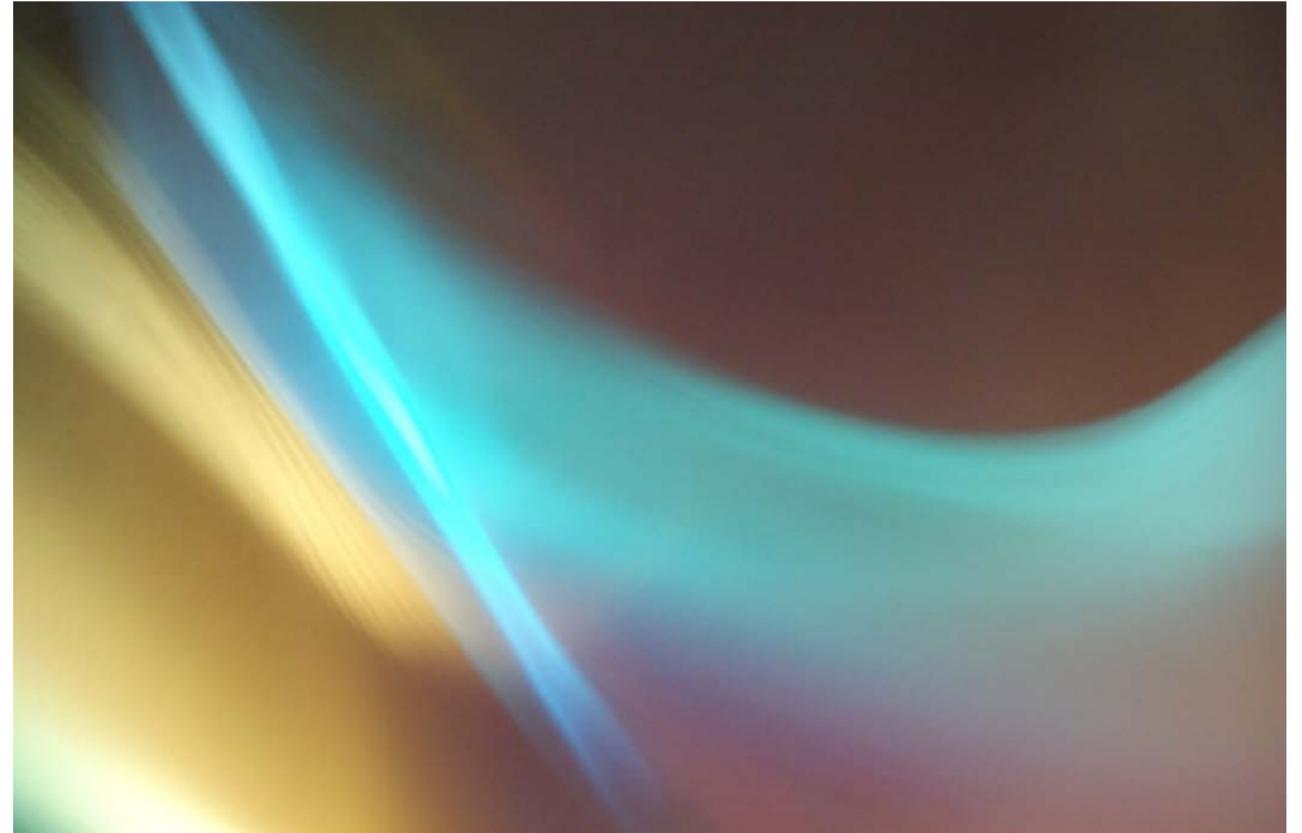
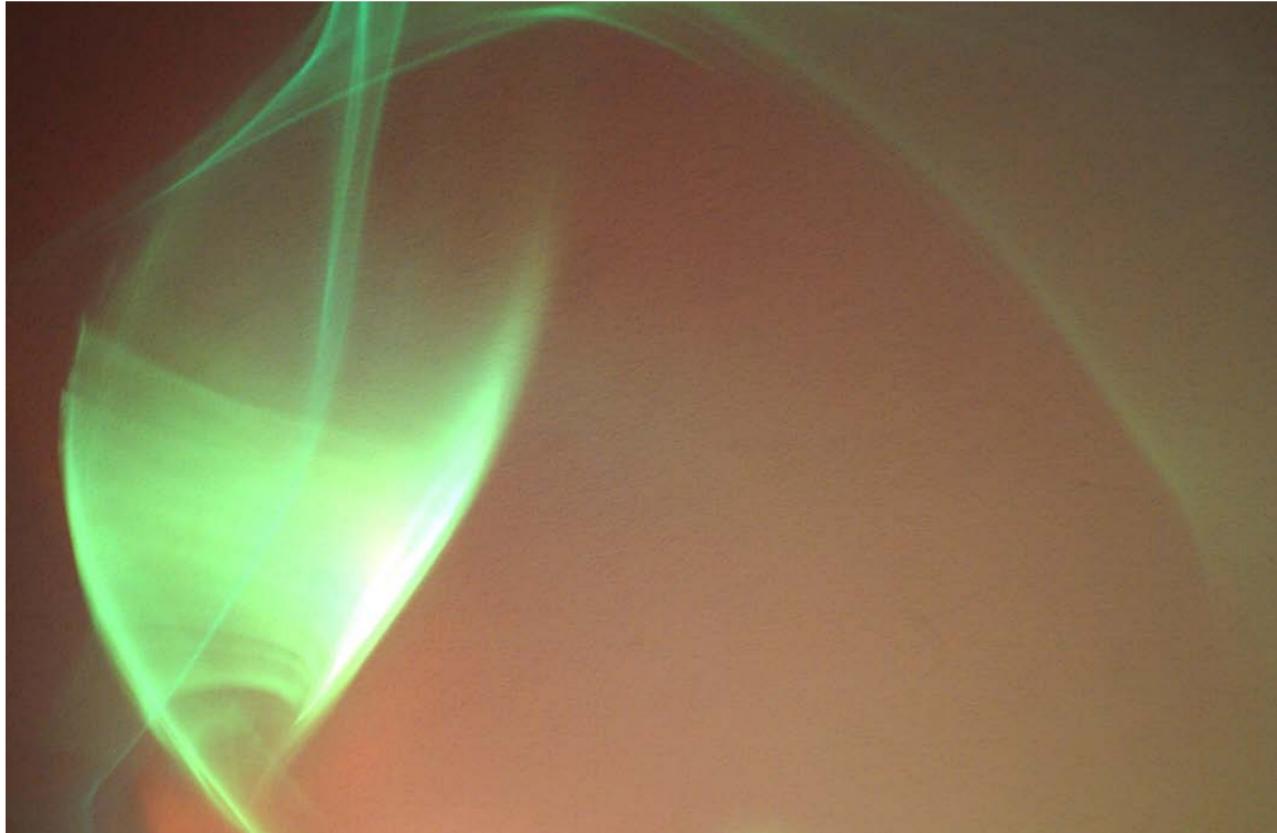


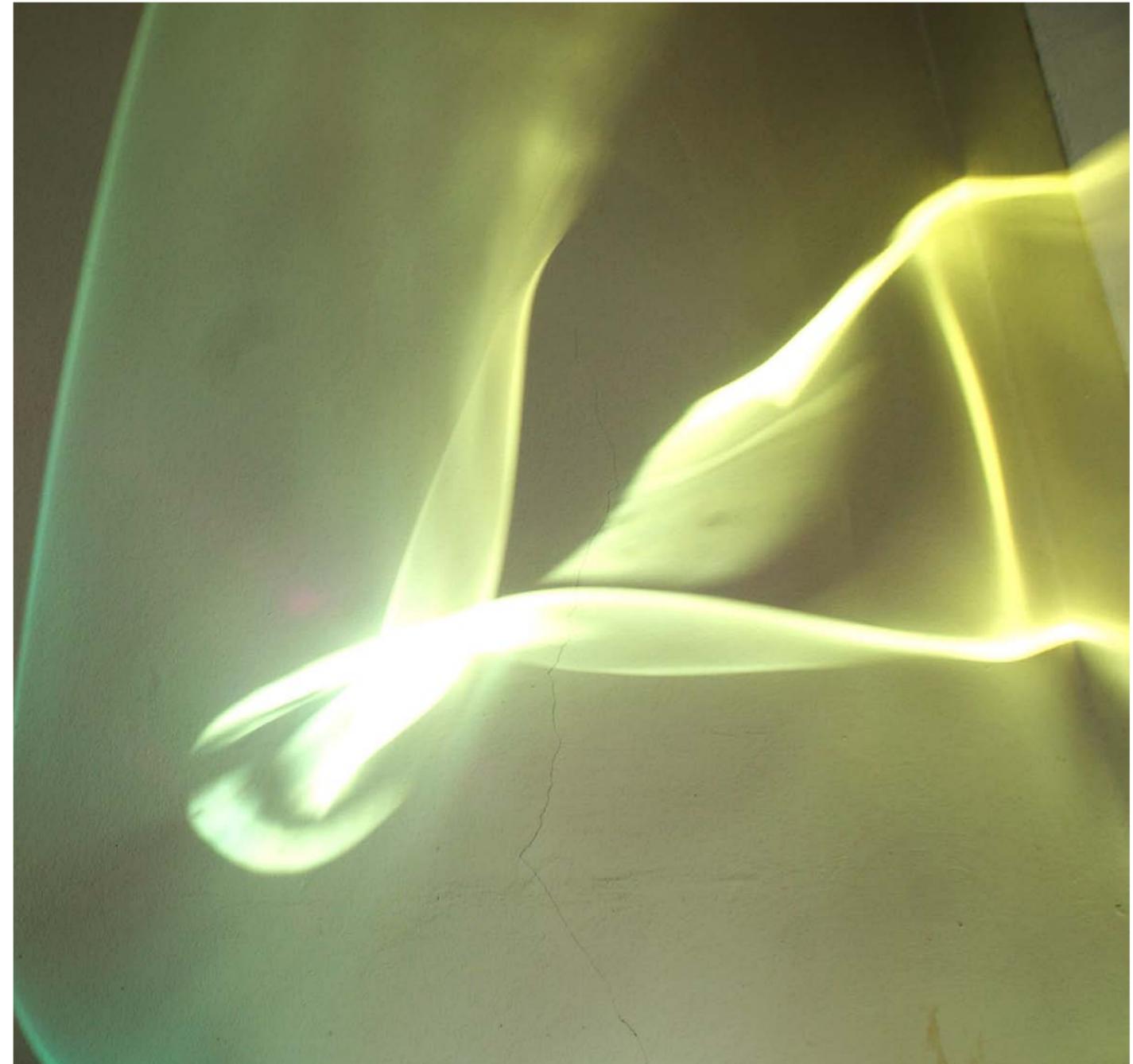
Projektionen mit thermisch geformten Acrylglasplatten

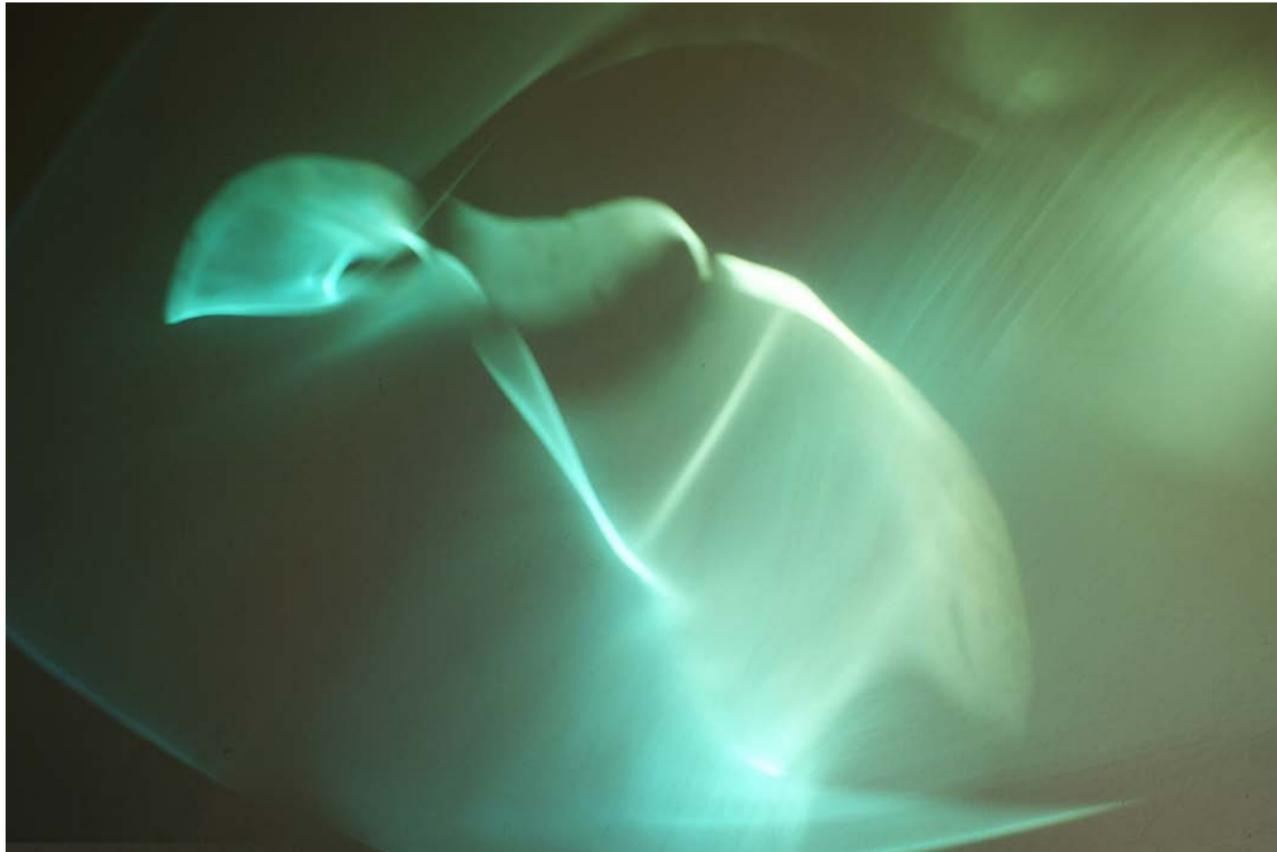
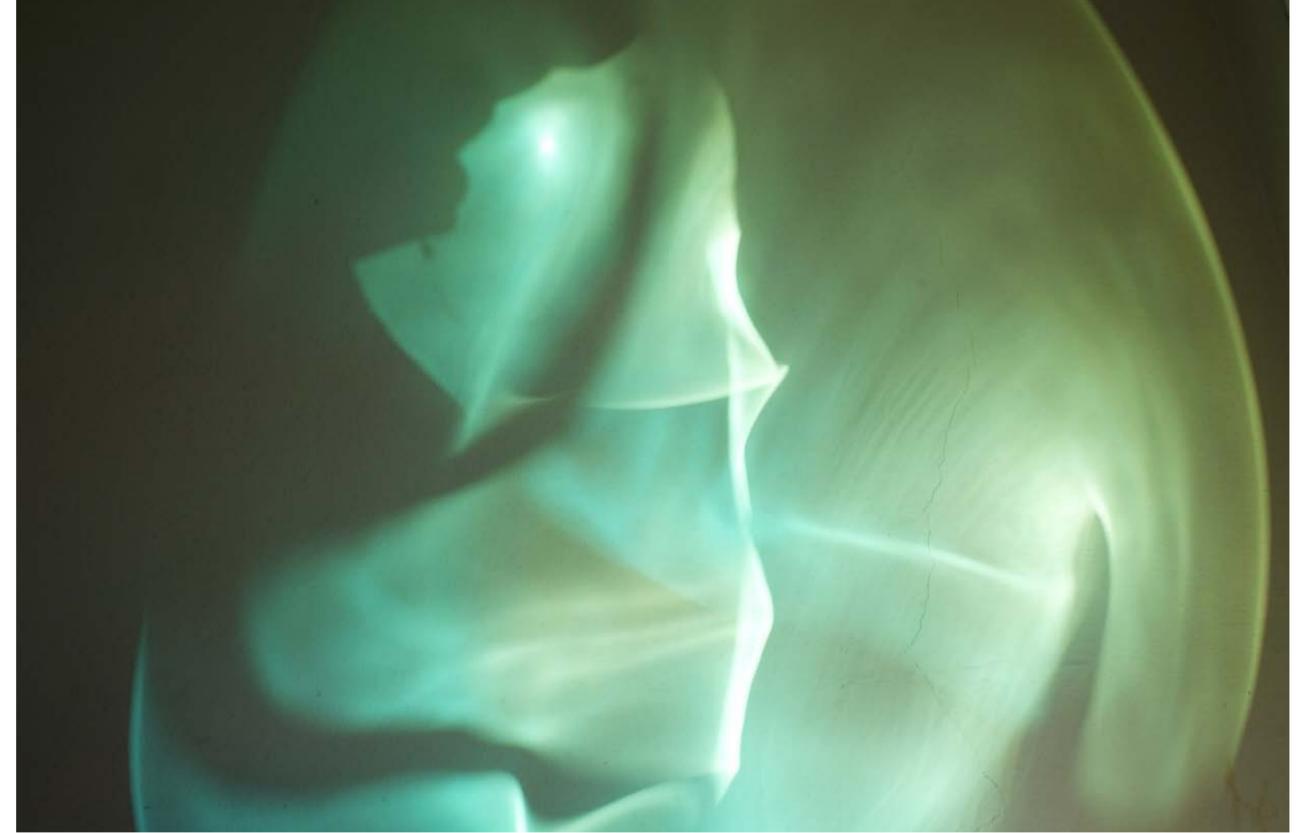


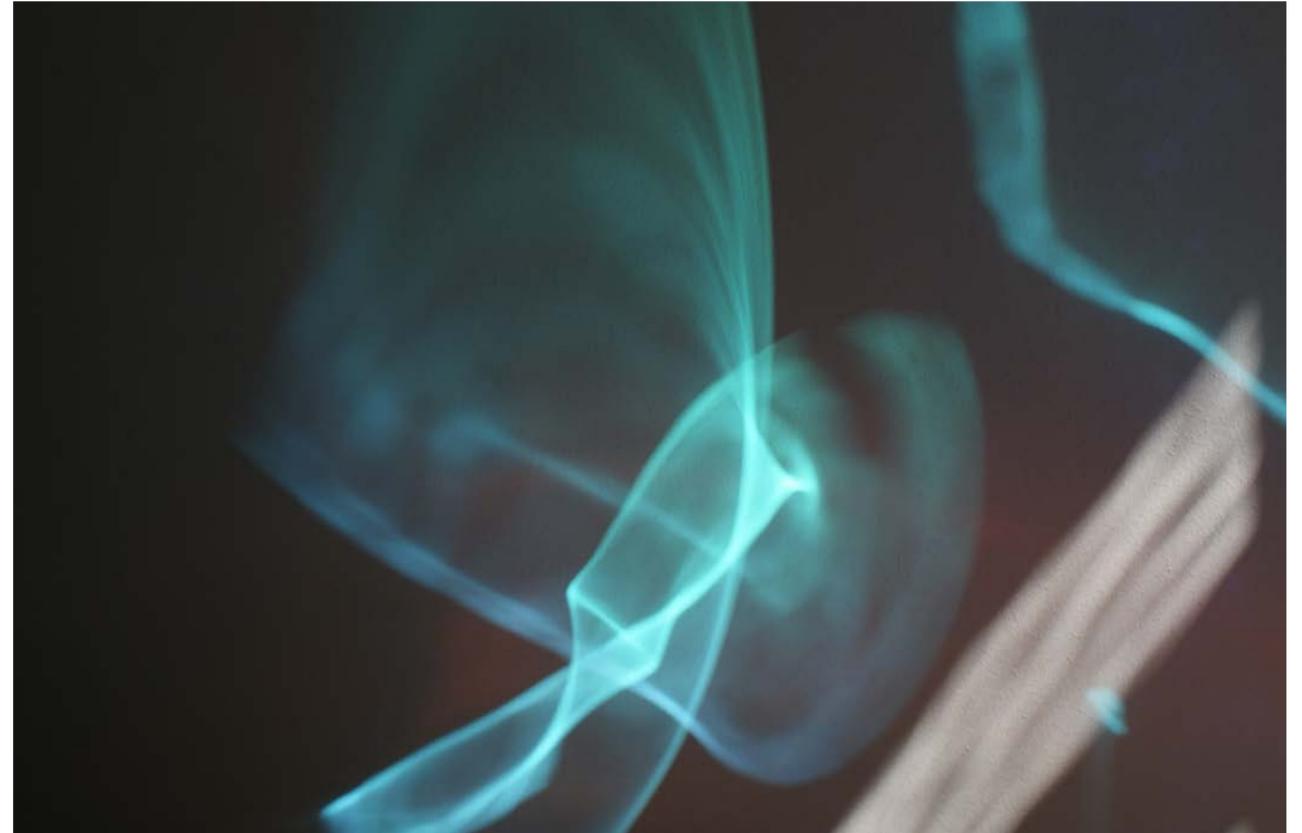
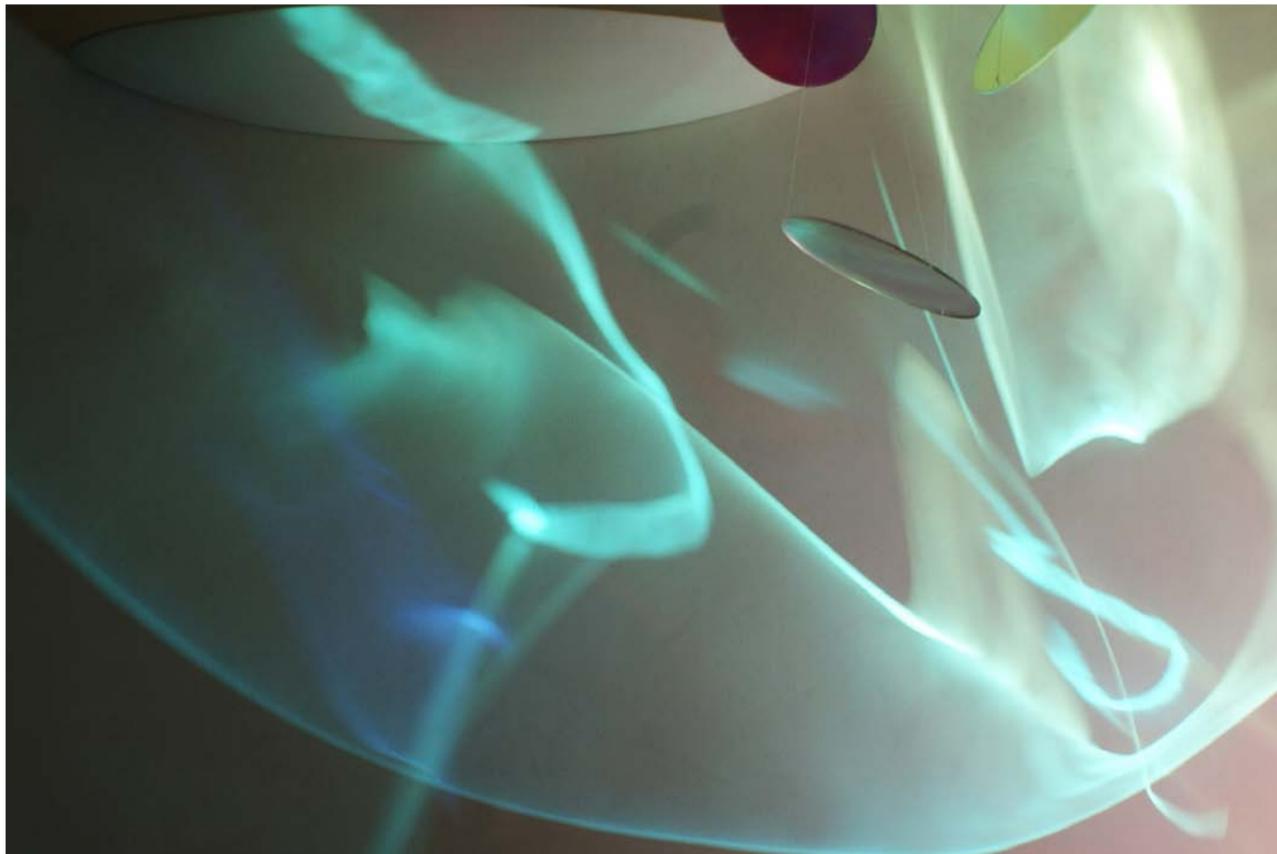


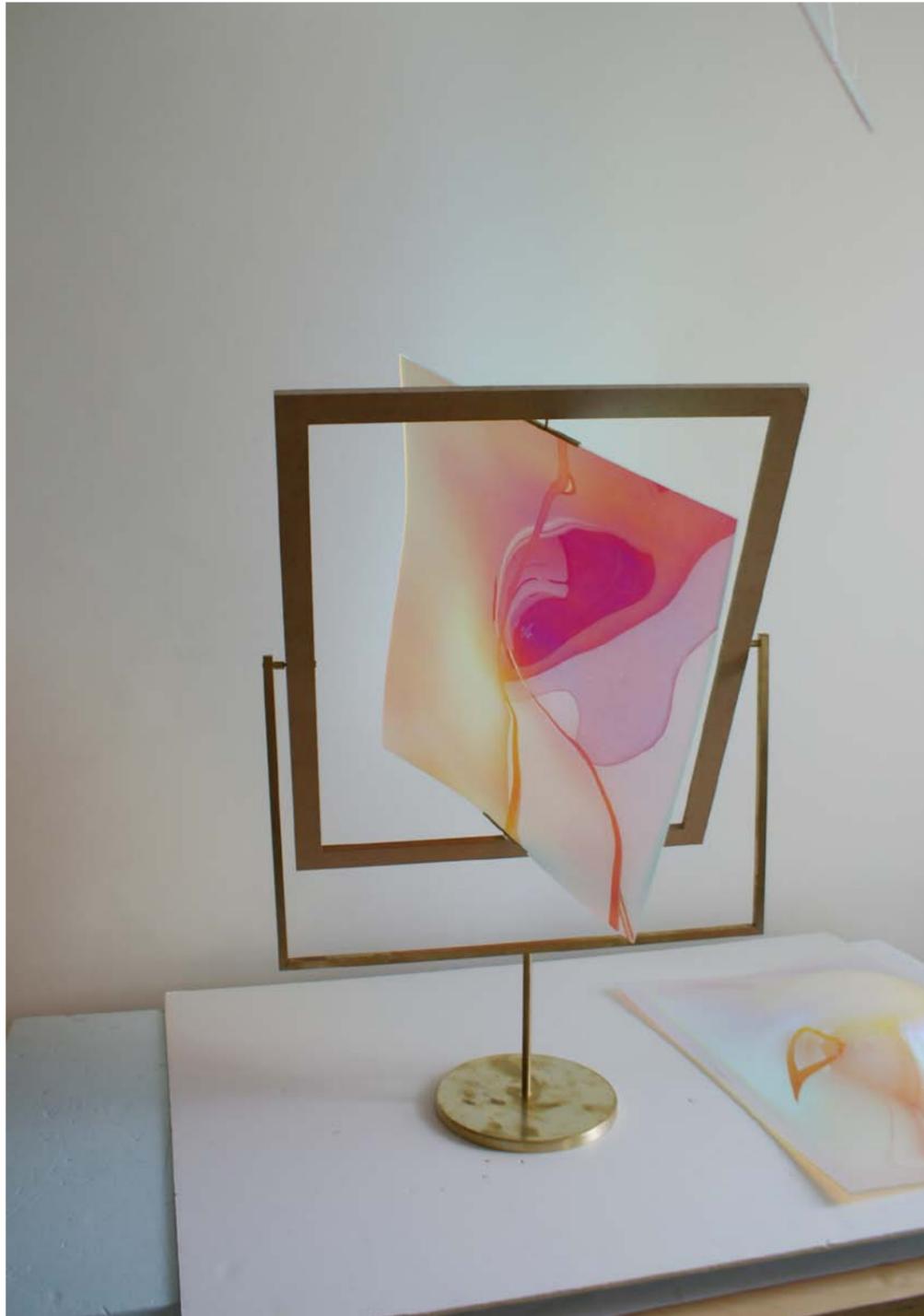




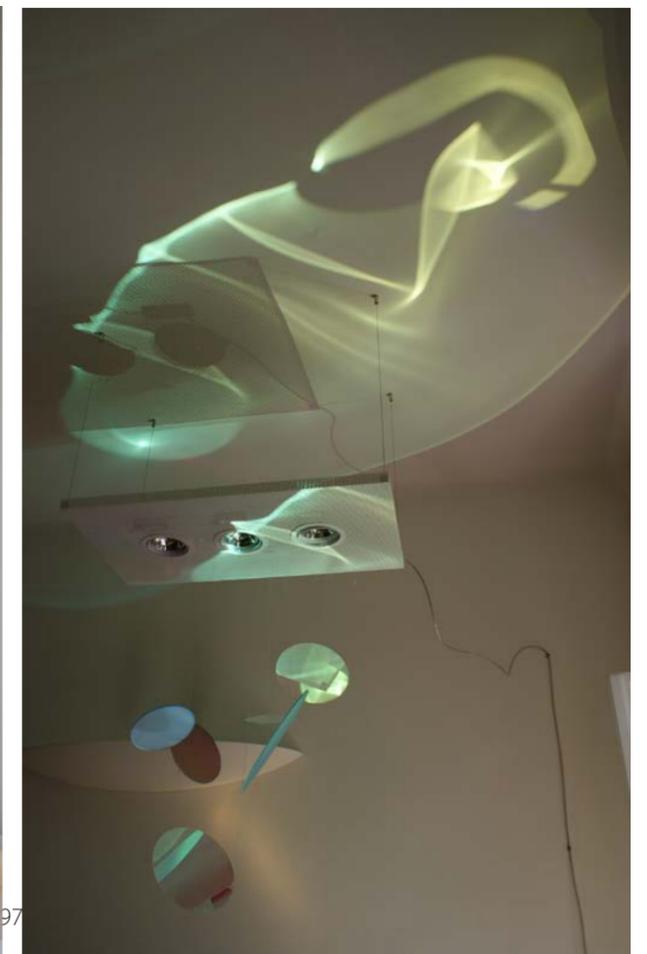
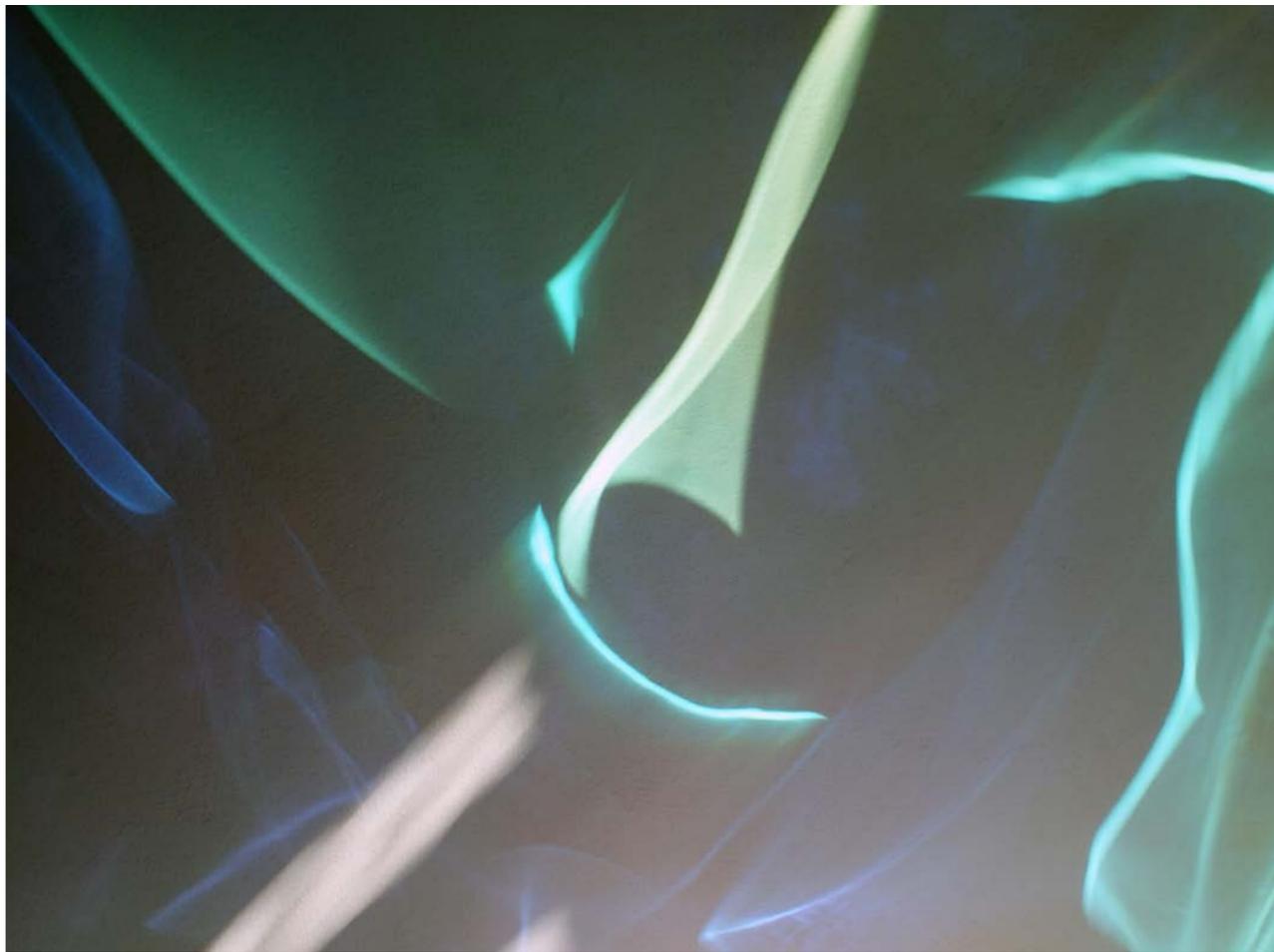
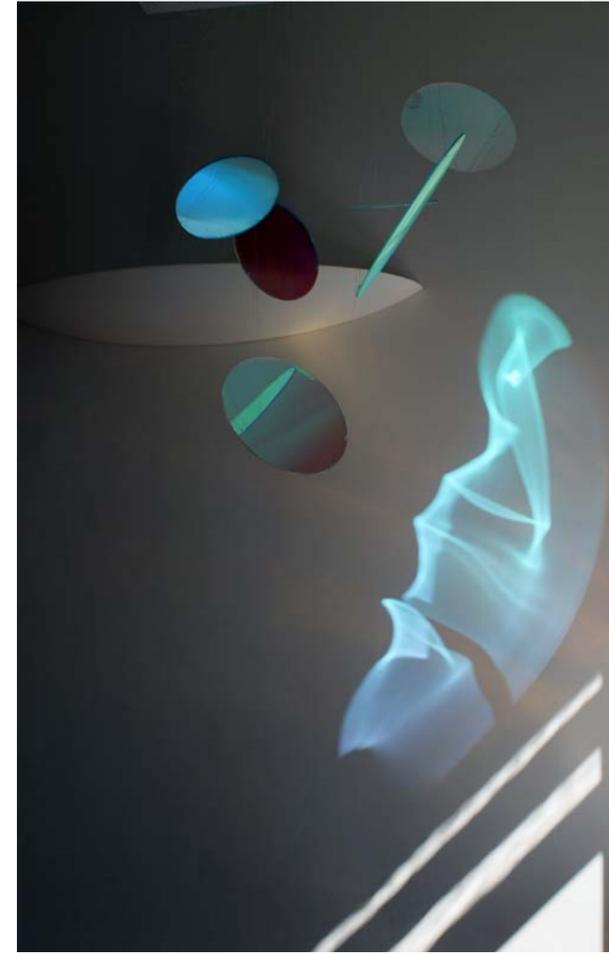
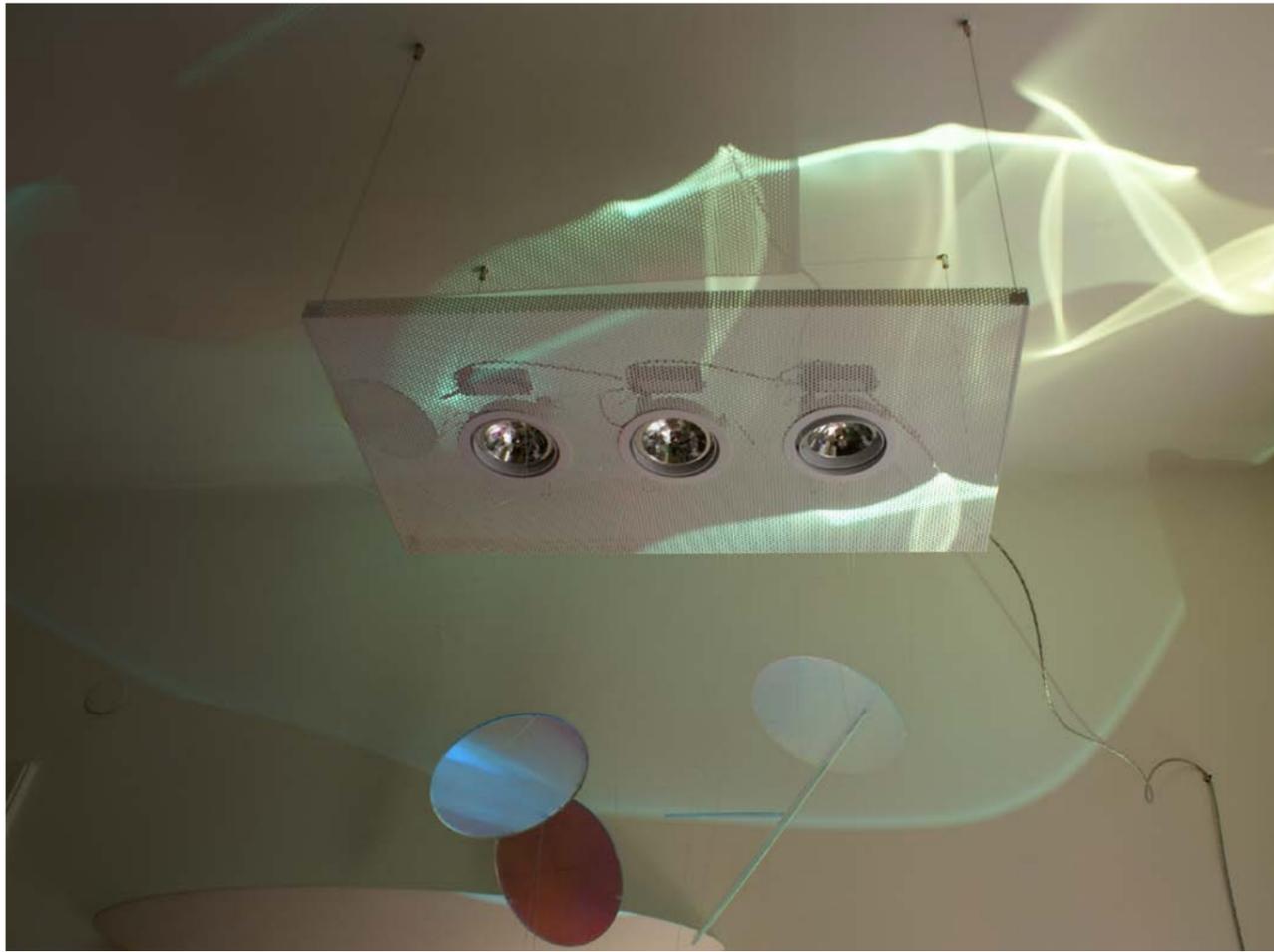


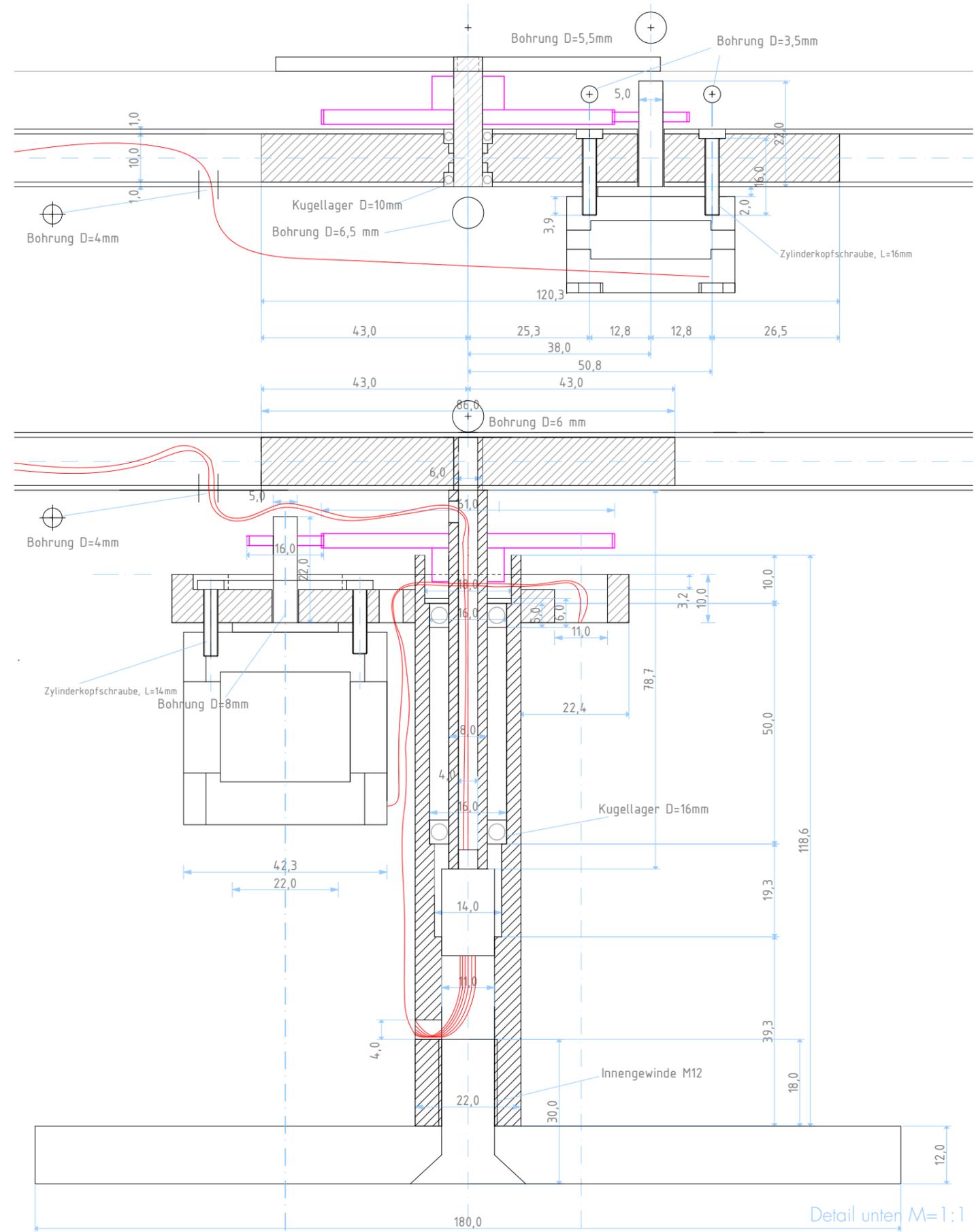






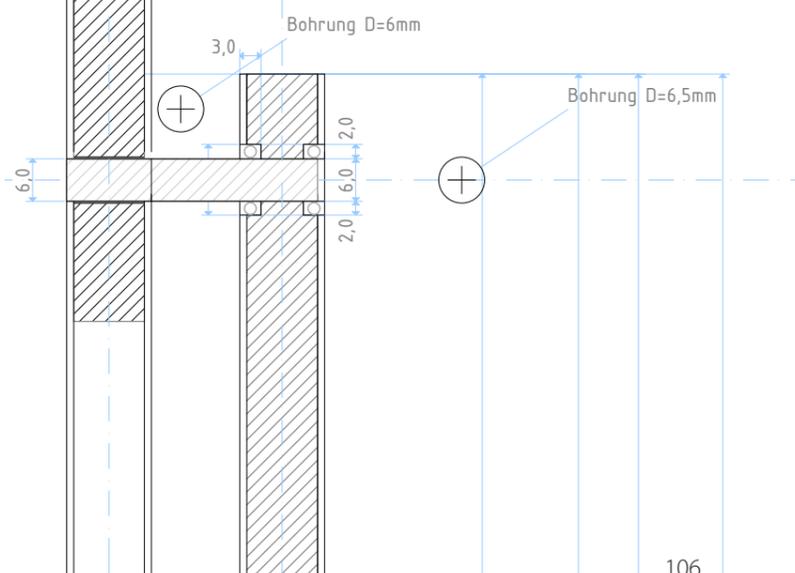
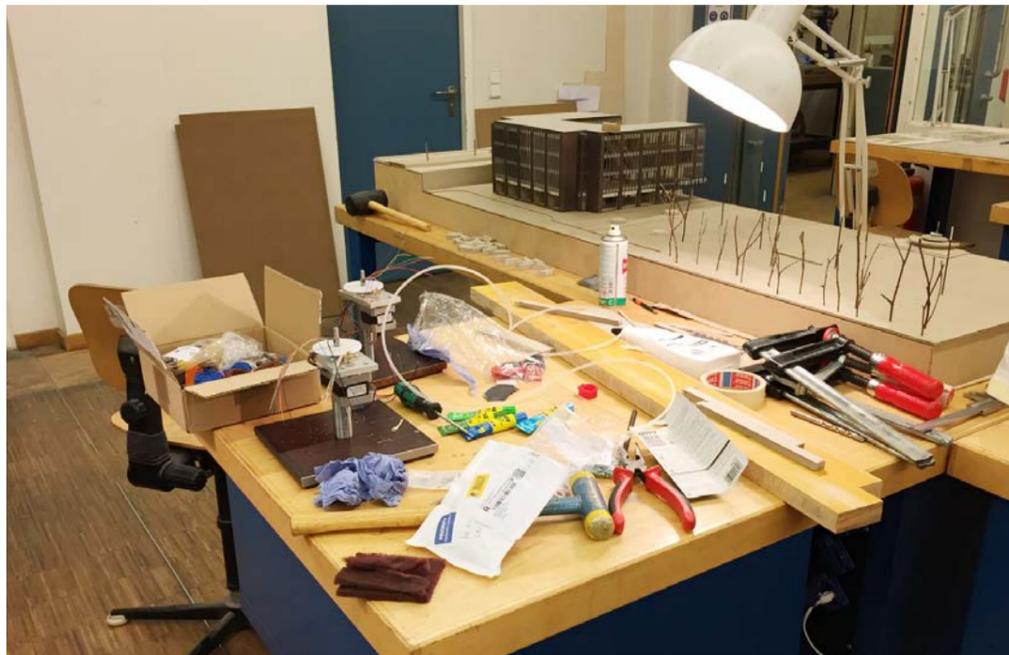
Anfertigung eines Prototypen



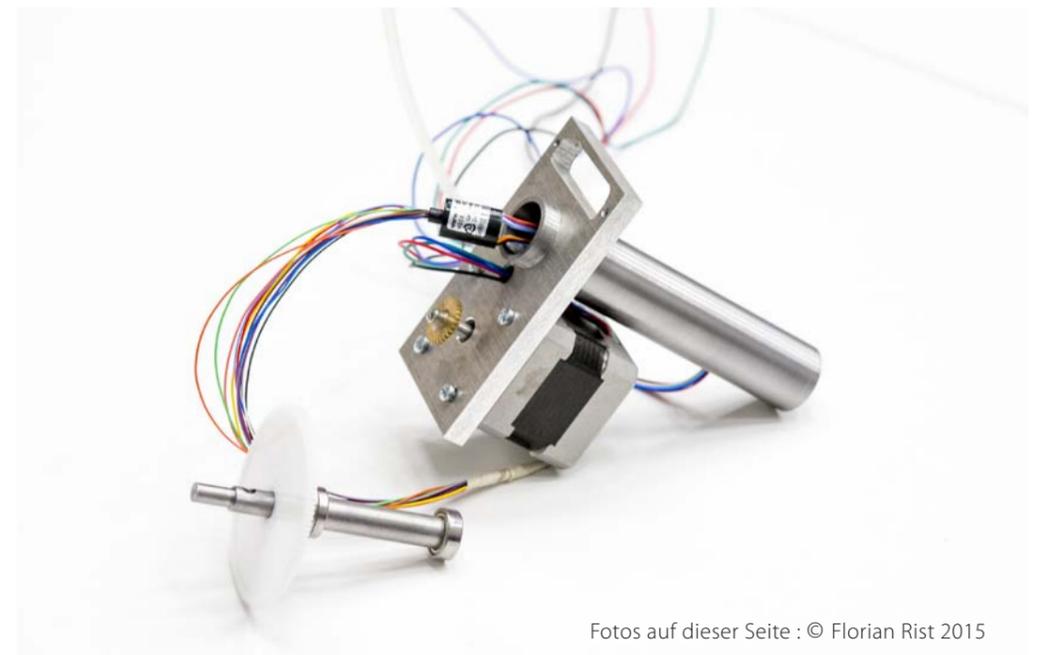


Modellbau

Anfertigung der Rahmen aus Messing-Hohlprofilen
Diese wurden teilweise mit Vollmessing aufgefüllt, um die bei der Drehbewegung auftretenden Momente auszugleichen. Drei Schrittmotoren ermöglichen die synchron gesteuerte Bewegung auf drei Rotationsachsen, wobei die Wellen jeweils durch Kugellager gehalten werden. Ein Schleifring ermöglicht die Kabelführung im inneren der Rahmen.



106



Fotos auf dieser Seite : © Florian Rist 2015

Danksagung

Ich möchte mich ganz herzlich bei all jenen bedanken, die mich bei meiner Arbeit unterstützt haben: In erster Linie bei Univ.Prof.Arch. Dipl.Ing. Christian Kern, für die Betreuung meiner Arbeit, seine essentiell wichtigen Impulse und seine konstruktive Kritik; bei Mag.art.Ass.Prof. Fridolin Welte, der mich in Gesprächen auf interessante Ideen brachte und eine Bereicherung war, vor allem im Entwurfsprozess; bei A.o.Univ.Prof. Dr. Georg Reider am Institut für Photonik für seine freundliche Unterstützung bei der Ausarbeitung physikalischer Themen. Herzlichen Dank auch an das Team der Modellbauwerkstatt, Ing. Cornelia Fischer, Dipl.Ing. Walter Fritz, Modellbaumeister Ronald Buchinger und Angelika Unterholzer, die mir bei den verschiedensten Arbeitsschritten geholfen haben.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei D.I. Alice Eigner bedanken, die mich vor allem in der Endphase beim Korrekturlesen unterstützt hat; und bei meinen Eltern und Geschwistern, die es mir ermöglichten, sehr viel Zeit in diese Arbeit zu investieren.

Ganz besonderer Dank gilt Florian Rist, Senior Scientist am Institut für Kunst und Gestaltung, Dreidimensionales Gestalten und Modellbau, ohne dessen tatkräftige Unterstützung und herausragende Geschicklichkeit die Detailplanung und Realisierung der beiden Objekte für die Präsentation nicht möglich gewesen wäre.

Literatur- und Quellenverzeichnis:

Akers, A., Barton, J., Cossey, R., Gainsford, P., Griffin, M., & Micklewright, D. (2012): Visual color perception in green exercise: positive effects on mood and perceived exertion. *Environmental science & technology*, 46(16), 8661-8666. dx.doi.org/10.1021/es301685g

Albers, Josef (1997): *Interaction of color. Grundlegung einer Didaktik des Sehens. Neuauflage mit einem Vorwort von Erich Franz.* Dumont. Köln

Ansorge, Ulrich, and Helmut Leder (2011): *Wahrnehmung und Aufmerksamkeit.* VS Verlag für Sozialwissenschaften

Attrill, Martin J., et al. (2008): Red shirt colour is associated with long-term team success in English football. *Journal of sports sciences* 26.6 (2008): 577-582

Bartenbach, Christian, Witting, Walter (2009): *Handbuch für Lichtgestaltung - Lichttechnische und wahrnehmungspsychologische Grundlagen,* Springer, Wien

Barthes, Roland (1964): *Elemente der Semiologie.* edition suhrkamp 1171

Baumann, Urs (2011): *Colorsystem,* www.colorsysteem.com Kontext Wissenschaft, Zürich 10.10.15

Böhme, Gernot (2013): *Architektur und Atmosphäre. 2. korr. Auflage,* Willhelm Fink Verlag München

Braun, Charles L.; Smirnov, Sergei N. (1993): Why is water blue? *Journal of chemical education* Vol 70, Issue 8, 612-617 Division of Chemical Education, Dartmouth College, Hanover, NH 03755

Caianiello, Tiziana (2005): *Der Lichtraum (Hommage a Fontana) und das Creamcheese im museum kunst palast.* Transcript

Campbell, Keith (1993): in Armstrong, David Malet, et al. *Ontology, Causality, and Mind.* University Press Cambridge

Chirimuuta, M., & Kingdom, F. (2015): The Uses of Colour Vision: Ornamental, Practical, and Theoretical. *Minds and Machines*, 25(2), 213-229. DOI 10.1007/s11023-015-9364-z Springer Science+Business Media Dordrecht

Conway, Bevil R. (2009): Color vision, cones, and color-coding in the cortex. *The neuroscientist* 15.3 (2009): 274-290. DOI: 10.1177/1073858408331369

Dorsch, Fabian (2013): *Die Natur der Farben .* De Gruyter ebook ISBN 978-3-11-032947-6

Duden (2015): www.duden.de 15.08.2015

Elliot, A. J., & Maier, M. A. (2007): Color and psychological functioning. *Current Directions in Psychological Science*, 16(5), 250-254

Fischer, Ernst P. (2011): *Farben zwischen Licht und Dunkelheit* in: Jehle [Hrsg.] et al. (2011): *Farben: in Kunst- und Geisteswissenschaften* Schnell & Steiner, Regensburg

Frieling, Heinrich (2007): *Mensch und Farbe. veränd. Neuaufl.* Hansen-Schmidt

Elliot AJ (2015): Color and psychological functioning: a review of theoretical and empirical work. *Front. Psychol.* 6:368. doi: 10.3389/fpsyg.2015.00368

Funke, Joachim (1998): *Vorlesung zur Sprachpsychologie Universität Heidelberg,* <https://www.psychologie.uni-heidelberg.de/ae/allg/lehre/sprachpsych.pdf> 08.06.2015

Gage, John (2010): *Die Sprache der Farben: Bedeutungswandel der Farbe in der Wissenschafts- und Kunstgeschichte.* E.A. Seemann Verlag. Leipzig

Gemoll, Wilhelm, Vretska, Karl (2006): *Gemoll. Griechisch-deutsches Schulwörterbuch und Handwörterbuch.* München, Düsseldorf, Stuttgart

Goldstein, E. Bruce (2010): *Sensation and perception,* Cengage Learning, Wadsworth USA
Erstveröffentlichung: Belmont, Calif 1984 Wadsworth

Gropius, Walter (1949): in: Moholy-Nagy, László (1949): *The New Vision and Abstract of an Artist.* Wittenborn, Schultz, Incorporated, New York

Gröber, Heinrich, Erk, Siegmund, Grigull, Ulrich, (2013): *Die Grundgesetze der Wärmeübertragung 3. Auflage,* Springer, Berlin

Grütter, Jörg Kurt (2015): *Grundlagen der Architektur-Wahrnehmung.* Springer Wiesbaden DOI 10.1007/978-3-658-05110-5

Goethe, Wolfgang von (1810): *Zur Farbenlehre, Band I und II.* Cotta Thübingen. Web. Deutsches Textarchiv, Faksimiles und Text, Bibliothek der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften 2013

Hill, R. A., & Barton, R. A. (2005): Psychology: red enhances human performance in contests. *Nature*, 435(7040), 293-293. DOI:10.1038/435293a

Hollemann, Arnod F., Wiberg, Egon (2007): *Lehrbuch der anorganischen Chemie, 102. Auflage,* DeGruyter

Hurvich, Leo M.; Jameson, Dorothea (1957): An opponent-process theory of color vision. *Psychological review*, 64. Jg., Nr. 6, S. 384-404.

Itten, Johannes (1987): *Kunst der Farbe*. gekürzte Studienausgabe Otto Mayer Verlag, Ravensburg

Jaszkowski, D., & Rzeszut, J. (2003): Interference colours of soap bubbles. *The Visual Computer*, 19(4), 252-270 ISSN: 0178-2789 ; E-ISSN: 1432-2315 ; DOI: 10.1007/s00371-002-0195-6

Jehle, Oliver, Steinbrenner, Jakob, Wagner, Christoph (2011): *Farben: in Kunst- und Geisteswissenschaften - (Regensburger Studien zur Kunstgeschichte)* Schnell & Steiner, Regensburg

Judd, Donald (1994): Some aspects of color in general and red and black in particular, Sassenheim : Sikkens Foundation, Stedelijk Museum, Amsterdam <http://newcomplexity.com/post/3035630628/donald-judd> 26.10.2015

Kingdom, F. A., C. Beauce, and L. Hunter (2004): Colour vision brings clarity to shadows. *Perception* 33.8 (2004): 907. DOI:10.1068/p5264

Klein, Helmut; Latscha, H.P.; Mutz Martin (2011): *Allgemeine Chemie: Chemie-Basiswissen I.10.10., vollst. überarb. Auflage*. Springer, Berlin

Kleiner, Kurt (2004): What we gave up for colour vision. *New Scientist* 01 2004, 12

Kluge, Friedrich (2002): *Etymologisches Wörterbuch der deutschen Sprache*, 24. Auflage, de Gruyter, Berlin

Kuhn, Anette (1991): *Zero - Eine Avantgarde der sechziger Jahre*. Propyläen Verlag, Frankfurt am Main

Kühlke, Dietrich (2011): *Optik. 3, überarbeitete Auflage*. Edition. Europa, Verlag Harry Deutsch

Küppers, Harald (1987): *Farbe: Ursprung, Systematik, Anwendung; Einführung in die Farbenlehre*. Callwey, München

Küppers, Harald (2015): Kritischer Rückblick auf Ittens Farbenlehre http://kuepperscolor.farbaks.de/de/farbenlehre/farbenlehre_in_vergangenheit_und_zukunft.html 15.09.2015

Lichtenfeld, S. et al (2012): Fertile green: green facilitates creative performance *Personality & social psychology bulletin* Vol.38(6), pp.784-97

Mahnke, F. (1996): *Color, Environment and the Human Response – an interdisciplinary Understanding of Color and its Use as a Beneficial Element in the Design of the Architectural Environment* John Wiley & Sons

Marsch, Cornelius (2009): *Räumliche Atomvorstellung* Vol. 93. Logos Verlag, Berlin

Murray & D. Carden, *Colour vision research: Proceedings of the John Dalton Conference* pp. 187-196

Melville, Stephen W., Gilbert-Rolfe Jeremy (1996): *Seams: art as a philosophical context*. Taylor & Francis US

Moholy-Nagy, László (2006): *Color in Transparency*, Steidl/Bauhaus-Archiv

Moholy-Nagy, László (1949): *The New Vision (1928) and Abstract of an Artist (1949)*. Mit einem Vorwort von Walter Gropius. Wittenborn, Schultz, Incorporated, New York

Nassau, Kurt (2003): *The Physics and Chemistry of Color: the 15 Mechanisms in: Shevell Steven K. (Hrsg.)(2003):The Science of Color 2nd Ed.* Elsevier Ltd.

Newton, Isaac (1730): *Opticks, or a Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections & Colours of Light: 4th Ed.* London, 1730. Projekt Gutenberg Ebook #33504, Web.2010

Osorio, D., and M. Vorobyev (2005): Photoreceptor spectral sensitivities in terrestrial animals: adaptations for luminance and colour vision. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 272.1574 (2005): 1745-1752

Papari, Vasiliki (2011): *Farbtheorien in antiken Quellen in Wolfschmidt, Gudrun (Hg.) (2011): Farben in Kulturgeschichte und Naturwissenschaft. Vol. 18.* tredition, Hamburg

Palmer, Stephen. E., & Schloss, Karen. B. (2010): An ecological valence theory of human color preference. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(19), 8877–8882 <http://www.pnas.org/content/107/19/8877.full> 09.2015

Payen, V., Elliot, A., Coombes, S., Chalabaev, A., Brisswalter, J., & Cury, F. (2011): Viewing red prior to a strength test inhibits motor output. *Neuroscience Letters*, 495(1), 44-8

Pörschmann, Dirk (2015): *Lichträume als Anschauungsräume. Wahrnehmung und Empfindung im »Lichtballett« des ZERO-Künstlers Otto Piene in :Bruhn, Matthias, Hemken, Kai-Uwe, Hrsg. (2015): Modernisierung des Sehens: Sehweisen zwischen Künsten und Medien.* transcript Verlag

Prinzmetal, W., Amiri, H., Allen, K., Edwards, T., & Carr, Thomas H. (1998): Phenomenology of Attention: 1. Color, Location, Orientation, and Spatial Frequency. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24(1), 261-282

Raven, Peter Hamilton, Ray Franklin Evert, and Susan E. Eichhorn (2006): *Biologie der Pflanzen*, 4. Auflage, de Gruyter

Reider, Georg A. (2005): Photonik – Eine Einführung in die Grundlagen. 2. Auflage, Springer

Richter, Manfred (2011): Einführung in die Farbmeterik. 2. Auflage, de Gruyter

Rothhaupt, Josef G.F. (2011): Ludwig Wittgenstein: „Farben scheinen uns ein Rätsel aufzugeben“ in: Jehle [Hrsg.] et al. (2011): Farben: in Kunst- und Geisteswissenschaften Schnell & Steiner, Regensburg

Sachsse, Rolf, Wilhelm Ostwald, Albrecht Pohlmann, Peter Weibel (Hrsg.)(2004): Wilhelm Ostwald: Farbsysteme-Das Gehirn der Welt, Hatje Cantz

Schmidt, Ulf (2006): Platons Schauspiel der Ideen: Das ‚geistige Auge‘ im Medien-Streit zwischen Schrift und Theater. transcript Verlag, Bielefeld

Schneider, Max (2013): Einführung in die Physiologie des Menschen. 16.Auflage, Springer, Berlin

Schreiber, Peter (2013): Euklid. Vol. 87. Springer DOI :10.1007/978-3-322-84406-4

Sharpe, L. T., Stockman, A., Jägle, H., & Nathans, J. (1999): Opsin genes, cone photopigments and color vision. Color vision: From genes to perception, 3-51

Shevell, Steven K., and Frederick AA Kingdom (2008): Color in complex scenes. Annu. Rev. Psychol. 59 (2008): 143-166. doi:10.1146/annurev.psych.59.103006.093619

Sorokowski, P., Sorokowska, A., & Witzel, C. (2014): Sex differences in color preferences transcend extreme differences in culture and ecology. Psychonomic Bulletin & Review, 21(5), 1195–1201 DOI 10.3758/s13423-014-0591-8

Stoughton, Cleo M., and Bevil R. Conway (2008): Neural basis for unique hues. Current Biology 18.16 (2008): R698-R699

Stockman, Andrew, Donald IA MacLeod, and Nancy E. Johnson (1993): Spectral sensitivities of the human cones. JOSA A 10.12 (1993): 2491-2521

Taylor, C., Clifford, A. and Franklin, A. (2012): Color preferences are not universal Journal of Experimental Psychology General. ISSN 0096-3445

Taylor, C., & Franklin, A. (2012): The relationship between color-object associations and color preference: Further investigation of ecological valence theory. Psychonomic Bulletin & Review, 19(2), 190-7

Vossenkuil, Wilhelm (2012): Wittgensteins Wissenschaftskritik in : Stekeler-Weithofer, Pirmin, Hrsg.(2012): Wittgenstein: Zu Philosophie und Wissenschaft. Vol. 3. Meiner Verlag

Walairacht, Somsak (2013): Color Models and Color Applications: http://www.ce.kmitl.ac.th/download.php?DOWNLOAD_ID=1142 09.2015

Wagner, Christoph, Hrsg.(2012): Itten Klee. Kosmos Farbe: anlässlich Der Ausstellung Itten - Klee. Kosmos Farbe, Kunstmuseum Bern (29.11.2012-1.4.2013) Und Martin-Gropius-Bau Berlin (25.4.-29.7.2013). ed. Regensburg, Schnell & Steiner

Weibel, Peter (2004) in : Sachsse, Rolf, Wilhelm Ostwald, Albrecht Pohlmann,(2004): Wilhelm Ostwald: Farbsysteme-Das Gehirn der Welt. Hatje Cantz

Weibel, Peter (2006): ars lucis - Das Licht als Medium der Kunst. In: Weibel, Peter und Jansen, Gregor, Hrsg. (2006): Lichtkunst aus Kunstlicht – Licht als Medium der Kunst im 20. und 21. Jahrhundert, Ostfildern

Wittgenstein, Ludwig. (1979): Bemerkungen über die Farben. Frankfurt a.M.: Suhrkamp

Wittgenstein, Ludwig (1997): Denkbewegungen: Normalisierte Fassung. T. 2. Diplomatische Fassung. Vol. 1. Haymon-Verlag, 1997

Zawischa, Dietrich (2011): Die physikalischen Ursachen von Farberscheinungen. Universität Hannover. <http://www.itp.uni-hannover.de/~zawischa/ITP/ursachen.html> 20.10.2015

Yendrikhovskij, S. N., F. J. J. Blommaert, de Ridder, H. (1996): Memory representation of object colours. Perception ECVF abstract 25 (1996): 0-0.

Zollinger, Heinrich (2005): Farbe: Eine multidisziplinäre Betrachtung Zürich/Wiley-VCH, Weinheim

Andere Quellen:

Faruqee, Anoka (2013): Color in Context: Revisiting Albers, at the Yale Presidential Inauguration Symposia on October 12th 2013, <https://www.youtube.com/watch?v=8YpZX0Xj9-Y> 07.2015

Interaction of Color - Yale University Press, Ipad Mobile App 2013
<https://itunes.apple.com/us/app/interaction-color-by-josef/id664296461>

Moholy-Nagy, László - Ein LichtSpiel « Schwarz, Weiss, Grau » 1930. Musik -Nicolo Terrasi, 2013.
https://www.youtube.com/watch?v=IVDs_fFV13A 08.2015

NCS Colour GmbH 2015 <http://www.ncscolour.com/de/ncs/> 08.2015

Piense, Otto (2011): „Lichtballett“ at MIT List Visual Arts Center. <https://www.youtube.com/watch?v=Dqem52SSZWE> 05.2015

Piense, Otto (2012): „Lichttraum“, Neue Nationalgalerie - Ausstellung „Der Geteilte Himmel“, Berlin 10.2012 <https://www.youtube.com/watch?v=qN7bylb9axo> 05.2015

Abbildungsverzeichnis

Abb. 01 Die elf Grundfarbbegriffe, hierarchisch geordnet: Funke, Joachim (1998): Vorlesung zur Sprachpsychologie Universität Heidelberg, <https://www.psychologie.uni-heidelberg.de/ae/allg/lehre/sprachpsych.pdf> 06.2015

Abb. 02 Empfindlichkeits-Bereiche der S, M und L Zapfen: Stockman, Andrew, Donald IA MacLeod, and Nancy E. Johnson (1993). Spectral sensitivities of the human cones. *JOSA A* 10.12: 2491-2521

Abb. 03 Farbkreis nach Isaac Newton 1704: Baumann, Urs (2011): Colorsystem, http://www.colorsysteem.com/?page_id=683 KontextWissenschaft, Zürich 08.15

Abb. 04 Farbkreis nach Moses Harris 1766: http://www.gutenberg-e.org/cgi-bin/dkv/gutenberg/show_low.cgi?pn= 08.2015

Abb. 05 Farbkreis nach Ignaz Schiffermüller: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/10/Schifferm%C3%BCller_Versuch_eines_Farbensystems_Farbkreis.jpg 10.2015

Abb. 06 Farbkugel von Otto Runge 1810: Wagner, Christoph, Hrsg.(2012): Itten Klee. Kosmos Farbe, Regensburg, Schnell & Steiner, S 100

Abb. 07 Farbkreis nach Johannes Itten : Itten, Johannes, and Faber Birren (1979): The elements of color. Vol. 4. John Wiley & Sons, S 33

Abb. 08 Goethes Farbkreis: <http://www.goethe-gesellschaft-hannover.de/images/farbkreis.gif> 10.2015

Abb. 09 Johannes Itten - Kalt-Warm-Kontrast: Itten, Johannes, and Faber Birren (1979): The elements of color. Vol. 4. John Wiley & Sons, S 47

Abb. 10 Farbkugel nach Wittgenstein: Jehle [Hrsg.] et al. (2011): Farben: in Kunst- und Geisteswissenschaften Schnell & Steiner, Regensburg S72

Abb. 11 additive und subtraktive Farbmischung: <http://www.hotink.co.za/wp-content/uploads/2014/07/RGB-vs-CMYK-blog.png> 07.2015

Abb. 12 Farbsystem nach Ostwald 1918: Baumann, Urs (2011): Colorsystem, http://www.colorsysteem.com/?page_id=862 08.2015

Abb. 13 Munsell Color System: Baumann, Urs (2011): Colorsystem, http://www.colorsysteem.com/?page_id=860 08.2015

Abb. 14 Feld B scheint heller als A: <http://www.illusionen.biz/blog/?s=schachbrett> 09.2015

Abb. 15, Abb.16: relative Helligkeitswahrnehmung 1 und 2 : Walairacht, Somsak (2013): Color Models and Color Applications. Computer Engineering, chapter 12 KMITL. 01074410 / 13016218 : http://www.ce.kmitl.ac.th/download.php?DOWNLOAD_ID=1142 15.09.2015 02.09.2015 S 53 und 54

Abb. 17, Abb. 18: Farbe und Identifikation von Schatten: Chirimuuta, M., & Kingdom, F. (2015): The Uses of Colour Vision: Ornamental, Practical, and Theoretical. *Minds and Machines*, 25(2), 213-229. DOI 10.1007, S221 und S 222.

Abb. 19, 21, 22 Sex-specific preferences across cultures etc.. : Sorokowski, P., Sorokowska, A., & Witzel, C. (2014): Sex differences in color preferences transcend extreme differences in culture and ecology. *Psychonomic Bulletin & Review*, 21(5), 1195–1201 DOI 10.3758/s13423-014-0591-8, S 1198

Abb. 23 Tafel zur Illustration des Simultankontrasts: <http://tervezografikatorten.hu/2015/05/24/interaction-of-color-josef-albers-yale-1963/> 07.2015

Abb. 24, Abb. 25: Moholy Nagy: Licht-Raummodulator (Fotogramm)1 und 2: Moholy-Nagy, László (2006): Color in Transparency, Steidl/Bauhaus-Archiv S19

Abb. 26 Kinetische Lichtobjekte der ZERO-Künstler: <http://www.zerofoundation.de/exhibitions.html> 06.2015

Abb. 27 Interferenz an einer dünnen Schichte, Abb. 28 vielfache Reflexionen an einer dünnen Schichte: Jazkowski, D., & Rzeszut, J. (2003): Interference colours of soap bubbles. *The Visual Computer*, 19(4), 252-270 ISSN: 0178-2789 ; E-ISSN: 1432-2315 ; DOI: 10.1007/s00371-002-0195-6 S 256, S 257

Abb. 29 einige ausgewählte Strahlenverläufe in einem dielektrischen Vielschichtsystem: http://www.gamedev.net/page/resources/_/technical/graphics-programming-and-theory/thin-film-interference-for-computer-graphics-r2962 09.2015

Fotos auf Seite 121: Florian Rist 10.2015

Alle Fotos im Entwurfsteil sofern nicht anders angegeben: Marie Manske 2014-2015