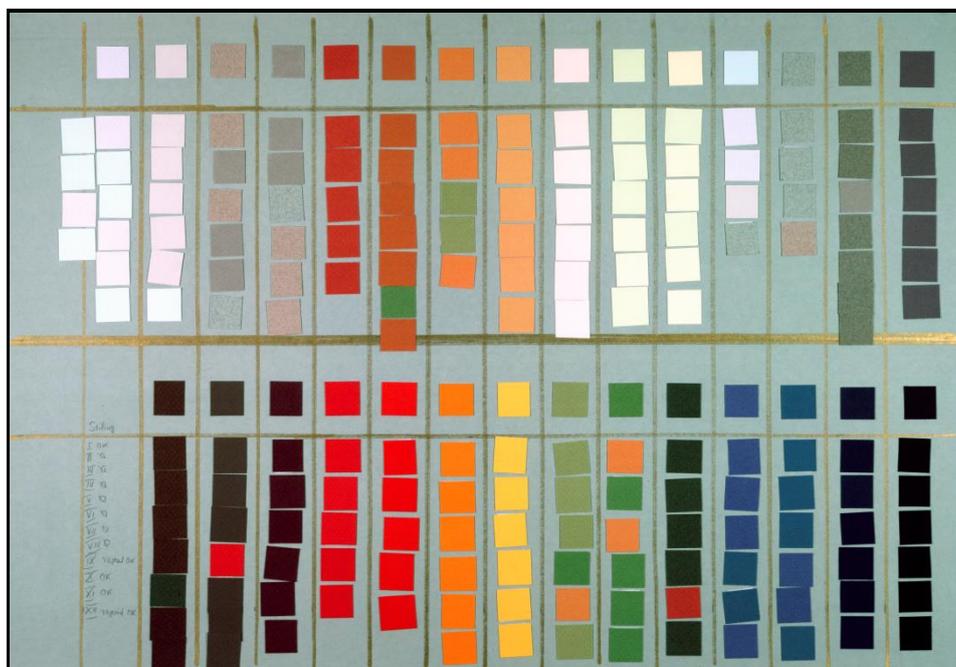
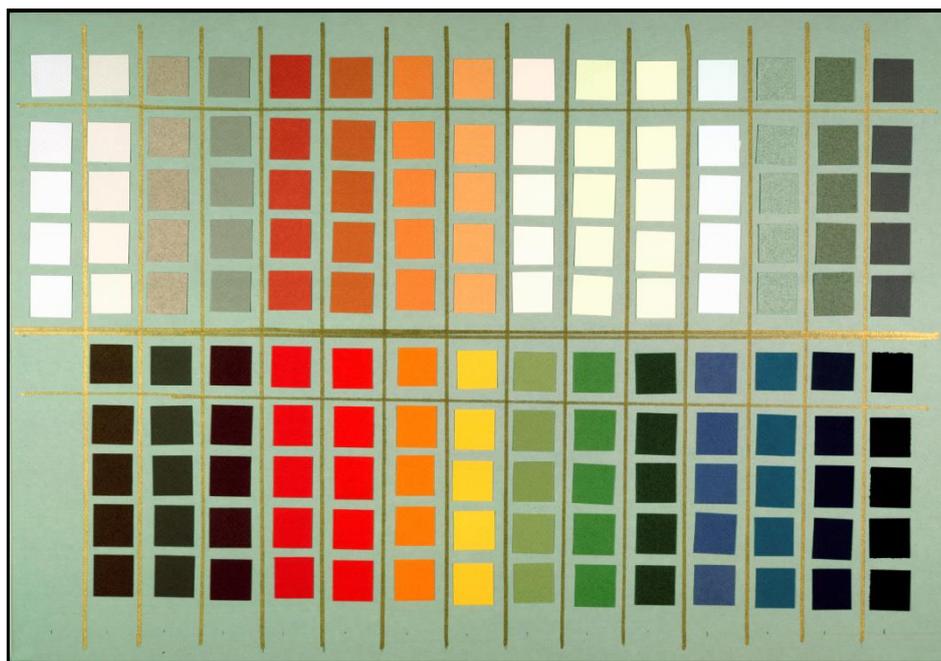


Georg Eisner

# Farbenblind - und dennoch Maler?

Wie beeinflusst ein abnormer Farbsinn den künstlerischen Ausdruck?



Version „Web“ 2013

## **Verdankungen:**

Ich danke

- Meinem Kollegen Philippe Lanthony, Professor für Ophthalmologie, Paris, für Anregungen und Antworten auf meine Fragen
- Meinem Kollegen André Roth, Professor für Ophthalmologie, Genf, für die kritische Durchsicht des Manuskriptes vom fachspezifischen Gesichtspunkt aus
- Herrn Hans Holzherr, wissenschaftlicher Illustrator, für die gute Zusammenarbeit bei der Umsetzung meiner Ideenskizzen in präsentierbare Graphik
- Herrn Hans Grieshaber und der Grieshaber Stiftung für Augenforschung für die grosszügige Unterstützung
- Herrn Roland Bertschinger EDV, Schaffhausen, für seinen Einsatz beim Aufbau meiner Webseite und seine Geduld mit mir
- Meiner Tochter Miriam Eisner Müller, Journalistin, für die Durchsicht des Manuskript hinsichtlich allgemeiner Verständlichkeit
- Meiner Ehefrau Susanne Eisner-Kartagener für die Durchsicht des Manuskripts hinsichtlich sprachlicher Lesbarkeit

## Prolog

„Dennoch?“ – dieses Wort mit Fragezeichen gibt unser Ziel vor. Die beiden anderen Wörter („Farbenblind“ und „Maler“) könnten, wären sie allein gestellt, suggerieren, dass es bei unserem Thema darum gehe, in einer langen Liste von Malern diejenigen aufzustöbern, die von Farbsinnstörungen betroffen sind. „Dennoch“ hingegen steht für unser Erstaunen, dass man die Existenz von farbenblinden Malern überhaupt für denkbar hält. In der Tat, ist die Vorstellung, dass farbenblinde Personen zur Malerei taugen, nicht absurd? Müssten sich denn die Maler ihrer Beeinträchtigung nicht bewusst sein? Müssten Normalsichtige beim Betrachten ihrer Werke nicht auf schon auf den ersten Blick irritiert sein?

Dass die Frage nach farbenblinden Malern jedoch keineswegs abwegig ist, lässt sich aus der Tatsache ableiten, dass 8% aller Männer eine mehr oder weniger ausgeprägte Farbsinnstörung haben. Es ist deshalb aus rein statistischen Überlegungen anzunehmen, dass von ihnen einige den Beruf eines Malers wählen wollen. Bloss stellt sich dann die Frage: Können sie das? Werden sie auf Grund von Fehlleistungen nicht von ihrem Ziel abgehalten? Und falls nicht, warum?

Im Folgenden werde ich zeigen, dass es farbenblinde Maler tatsächlich gibt. Und ich werde erklären, warum– entgegen gängigen Vorstellungen - einerseits sie selbst sich ihrer Fehlsichtigkeit nicht bewusst werden; und warum dies andererseits auch für normalsichtige Betrachter gilt, denen die Farbgebung der farbenblinden Maler nicht abnorm erscheint.

Wenn dem aber so ist, hat dies gewiss Konsequenzen für die Art und Weise, wie wir unsere Welt erkennen. Wenn man nämlich Defizite unserer Wahrnehmung nicht einmal in einem so sensiblen Bereich wie der Malerei registrieren kann, so stellt sich die Frage nach der Zuverlässigkeit unserer Sinne generell. Wie vertrauenswürdig ist das Bild der Welt, das sie uns vermitteln? Inwiefern widerspiegelt sich denn in ihnen die Realität? Die Frage, ob und wie wir unserer Begrenztheit gewahr werden, ist das eigentliche Ziel meiner Untersuchungen. Und wenn ich dafür ausgerechnet das Thema der Farbenblindheit von Malern gewählt habe, gibt es dafür mehrere Gründe:

- Das Beispiel des visuellen Systems eignet sich besonders gut, um die Mechanismen unserer Wahrnehmung zu verstehen. Wir können nämlich viele seiner Funktionen mit technischen Modellen vergleichen, die von uns entwickelt wurden und deren Funktion wir deshalb auch begreifen: Optische Abbildungssysteme, elektronische Schaltschemata, Verrechnung von Information mittels Computerprogrammen, etc..
- Der Farbsinn seinerseits ist für die Untersuchung des visuellen Systems besonders interessant, weil hier die zu verarbeitenden Signale – etwa im Vergleich zum Formen- oder Bewegungssehen – relativ einfach, die beteiligten hierarchischen Stufen jedoch anderen visuellen Prozessen ähnlich sind.

- Die Gegenüberstellung zu Störungen des Farbsinns eignet sich dann als anschauliches Mittel, um die normalen Verarbeitungsmechanismen herausarbeiten.
- Und in diesem Kontext verspricht gerade die Beschäftigung mit der Malerei vertiefte Einsichten. Hier werden die Manifestationen der Farbsinnstörungen nicht in Laborexperimenten untersucht, welche die Phänomene möglichst abstrakt voneinander isolieren, sondern vielmehr in ihren komplexen Interaktionen mit der realen kulturellen Umwelt.

Im Folgenden soll als Erstes erklärt werden, was wir unter Farbenblindheit gemeinhin verstehen und wie sie in Erscheinung tritt.

Dann werden wir den Weg der eintreffenden Signale verfolgen, wie unser Auge diese aufnimmt, und wie sie auf ihrem Weg vom Auge über das Gehirn zum ICH, jeweils von einer Stufe zur nächsten, umgewandelt werden. Im Falle von Farbenblindheit kann auf irgendeiner dieser Stufen die Verarbeitung der Signale gestört sein. Die häufigste Form nun, die vererbte Rot-Grünblindheit, zeichnet sich dadurch aus, dass die Fehlleistungen nicht auf falschen Verknüpfungen beruhen, d.h. auf Fehlschaltungen, die auf einen bestimmten Stimulus immer die gleiche Fehlantwort geben, sondern vielmehr auf einer unpräzisen Interpretation des Eingangssignals. Sie folgen deshalb keinen starren Mustern, die sichere Voraussagen erlauben. Es gelten vielmehr statistische Kriterien, bei denen die Resultate manchmal so, manchmal anders ausfallen.

Als nächstes werde ich die Versuche von Malern und Wissenschaftlern schildern, die Vielfalt der Farben in Farbsysteme zu ordnen - analog den Tonleitern in der Musik - und die Komplexität des Farbsinnes daran illustrieren, dass es bisher niemandem eine Lösung gelungen ist, welche alle Besonderheiten des Farbsinns berücksichtigt.

Schliesslich werde ich auf die Irrungen und Wirrungen eingehen bei den Versuchen, auf Grund ihrer Bilder diejenigen Maler auszumachen, welche farbenblind sind. Die Leser können sich anhand von Tests selber von den Schwierigkeiten überzeugen. Ja, nicht einmal die Biographien von Malern sind verlässlich, denn es gibt Farbenblinde, die jahrelang unerkannt geblieben sind, und es gibt Normalsichtige, die fälschlicherweise einer Farbsinnstörung verdächtigt wurden.

Und zum Abschluss werde ich, als Gegensatz zu den vererbten Formen, die Probleme bei einer im Laufe des Lebens aufgetretenen – sog. erworbenen - Farbsinnstörung analysieren, und zwar anhand des gut dokumentierten Falles Claude Monet. Dieser wusste, wie die Farben normalerweise aussahen und wurde sich deshalb seiner Defizite bewusst. Wie er diese beim Malen ausglich, und wie er sie, im Sinne eines Experimentes, sogar in einigen Bildern zum Thema machte – dies zu verfolgen ist gewiss spannend und führt überdies zu einem tieferen Verständnis des Umgangs mit Farben.

Im Schlusswort wird der Leser noch einmal angeregt, über die Konsequenzen der hier geschilderten Probleme auf den Realitätsbezug unserer Sinneswelt nachzudenken.

## Einleitung

Als eine junge Malerin ihrem Augenarzt berichtete, dass sie auf einem ihrer Augen keine Farben mehr erkenne, bat dieser sie, zu malen was sie sehe. Wie **Abb. 1** zeigt, hatte auf dem erkrankten Auge das Sonnenspektrum seine Buntheit verloren. Alles war grau geworden, und was früher farbig war, unterschied sich nur noch durch verschiedene Helligkeiten.

### Abb. 1



### Darstellung einer totalen Farbenblindheit (Anfang des zwanzigsten Jahrhunderts):

„Die Patientin, 22 Jahre alt, litt an progressiver multipler Sklerose mit einer partiellen Lähmung des linken Beines und linken Armes. Auf meine Bitte hin malte sie in Farben das Spektrum des Sonnenlichtes, so wie sie es mit jedem ihrer beiden Augen sah. Man beachte die weissen Streifen in der Position von Blau und Gelb. Sehschärfe rechts 6/6, links 6/9.“<sup>1</sup>  
 (Dr. Lindsay Johnson)

<sup>1</sup> Übersetzung aus dem Englischen durch den Autor

Wenn nun dies die Welt wäre, die Farbenblinde sehen, dann wäre die Antwort auf die Frage im Titel „Farbenblind – und dennoch Maler?“ ein einfaches Nein. Aber es gibt farbenblinde Maler. Jedoch wird erstaunlicherweise deren Farbsinnstörung kaum je bemerkt, weder von den Malern selbst, noch von den Betrachtern ihrer Bilder. Und nicht nur das: es gibt auch farbenblinde Kritiker, Kunstexperten, Kunstsammler, bei denen niemand auf ein Farbdefizit schliessen würde. All dies widerspricht unseren gängigen Erwartungen.

Wir nehmen es als selbstverständlich an, dass in unserem Gehirn die Wirklichkeit richtig und bei Störungen falsch abgebildet wird. Nach weit verbreiteten Vorstellungen sehen wir z.B. eine grüne Wiese deshalb grün, weil von ihr grünes Licht in unser Auge reflektiert wird, dieses von spezifischen Detektoren für Grün aufgenommen, von grünspezifischen Nervenfasern weiter ins Gehirn geleitet und dort in einem Grünzentrum wieder als „Grün“ repräsentiert wird. Wäre dieser Verarbeitungsmechanismus für Grün defekt, so gäbe es für die betroffene Person kein Grün mehr („Grünblindheit“).

Der hier postulierte Weg zur Verarbeitung visueller Signale könnte jedoch viele Phänomene des Farbsinns nicht erklären. Zum Beispiel:

- Eine grüne Wiese kann nicht nur mit grünem Pigment gemalt werden, sondern auch indem die Künstler auf ihrer Palette gelbe und blaue Pigmente mischen. Mischen sie jedoch Gelb und Blau am Computer, so entsteht nicht grün, sondern die Farbe Weiss (siehe später: *Farbmischungen*).
- Das Grün einer Wiese wirkt auf uns intensiver, wenn in dieser roter Mohn blüht (siehe später: *Kontrastphänomene*)
- Eine grüne Wiese erscheint für uns stets im selben Grün, auch wenn die Wellenlängen des Lichtes, das sie beleuchtet, sich verändern - und somit auch die Wellenlängen, die von der Wiese in unsere Augen reflektiert werden- (siehe später: *Farbkonstanz*).

All dies zeigt, dass die Art und Weise, in der wir die Erscheinungen der sichtbaren Welt aufnehmen, komplizierter ist, als wir gemeinhin annehmen. Die Signale aus der Aussenwelt werden in unserem Gehirn über mehrere Stufen geleitet, wobei sie auf jeder Stufe in andersartige Signale umgewandelt, miteinander verrechnet und erneut umgewandelt werden, bis sie schliesslich zur Endstufe, zum bewussten ICH gelangen. Alle Signale sind farblos: Sie kommen als farblose, rein physikalische Daten aus der Umwelt und werden als farblose, rein elektro-chemische Signale weitergeleitet zum Gehirn und dort auf verschiedene spezialisierte Bezirke verteilt. Erst im ICH (das sich naturwissenschaftlichen Betrachtungen entzieht) entsteht die Empfindung, die wir als Farbe bezeichnen.

Aber wie wirkt es sich für das ICH von Farbenblinden aus, wenn eine Stufe im Signaltransport fehlerhaft arbeitet? Erhält dann das ICH die Information „falsch“? Oder werden allfällige Fehler in nachfolgenden Stufen korrigiert und kompensiert? Wären solche Korrekturmechanismen allenfalls die Erklärung für das Paradoxon, dass Farbenblindheit unerkannt bleiben kann – und dies sogar bei Malern?

Wie auch immer, wenn wir ein Sinnesdefizit vom Gewicht einer Farbsinnstörung nicht wahrnehmen können, bedeutet dies, dass unser visuelles System - dem wir geneigt sind, höchste Genauigkeit zuzuschreiben - in Tat und Wahrheit nicht präzise arbeitet.

## 1. Der Begriff der Farbenblindheit

Für Störungen des Farbsehens gibt es mehrere Ursachen, wobei man zwei grundsätzlich verschiedene Kategorien unterscheidet:

- Anomalien des Farbsinnes<sup>2</sup>, die auf Veränderungen des Genetischen Codes beruhen und seit Geburt existieren („*Angeborene*“ Farbsinnstörungen).
- Krankhaft bedingte Störungen, die erst im Laufe des Lebens auftreten („*Erworbene*“ Störungen).

### Erworbene Störungen des Farbsehens

Die *erworbenen* Störungen entstehen durch Krankheiten oder Degenerationen von Geweben, die am visuellen Verarbeitungsprozess beteiligt sind. Bei ihnen sind allfällige Farbsehstörungen lediglich Nebenerscheinungen, denn im Vordergrund stehen die Symptome der Grundkrankheit, wie etwa eine generalisierte Sehschwäche, Nebelsehen, Schmerzen, etc.. Die erworbenen Störungen des Farbsehens sind deshalb nur ausnahmsweise bedeutsam im Zusammenhang mit der Malkunst. In einer Gegenüberstellung zu den genetisch bedingten Farbsinnstörungen jedoch können diese Ausnahmen zu interessanten Erkenntnissen führen.

### Angeborene Farbsinnstörungen

Bei den *genetisch* bedingten Formen unterscheidet man zwischen totaler und partieller Farbenblindheit.

Eine *totale* Farbenblindheit, d.h. reines Schwarz-Weiss-sehen, ist selten. Sie ist immer mit anderweitigen Sehbehinderungen verbunden, mit mehr oder weniger ausgeprägter Blindheit, mit unerträglicher Blendung, etc., die eine Tätigkeit als Maler im Prinzip ausschliessen.

Anders bei einer *partiellen* Farbenblindheit. Hier können die Betroffenen durchaus Farbtöne sehen, wenn auch nicht in gleicher Weise wie Personen mit normalem Farbsinn. Grau aber ist ihre Welt nie, und die Bezeichnung

---

<sup>2</sup> Die Wörter „Farbsinn“ und „Farbsehen“ werden wegen ihres ähnlichen Klanges oft verwechselt, betreffen aber verschiedene Begriffe. Der *Farbsinn* umfasst die Verarbeitungsprozesse im visuellen System, das *Farbsehen* hingegen ist deren Resultat. Farbsehen ist der generelle Begriff, dem die verschiedenen Ursachen untergeordnet sind – eine davon die Farbsinnstörungen. In der Literatur zu unserem Thema werden die Begriffe nicht immer scharf getrennt und man findet z.B. auch folgende Terminologie: „Angeborene Farbsinnstörungen“ (für Farbenblindheit) und „erworbene Farbsinnstörungen“ (für krankheitsbedingte Störungen)

„Farbenblindheit“, wie sie in der Alltagssprache gebraucht wird, ist demnach irreführend. Das Wort wird deshalb bei höheren Ansprüchen an Genauigkeit üblicherweise durch „Farbsinnschwäche“, „Farbsinnstörung“, „Farbanomalie“, englisch „color deficiency“, „Daltonism“ ersetzt. Da sich der Begriff „Blindheit“ jedoch eingebürgert hat, und auch die mit ihm verbundenen Assoziationen Allgemeingut sind, soll er hier weiterhin benützt werden<sup>3</sup>.

Bei den vererbten Formen unterscheidet man zwischen Farbenblindheit im Blau-Gelb- und im Rot-Grün-Bereich. Die Blau-Gelbblindheit ist – zumindest in unseren Breitengraden - zu selten, um ausserhalb des engen Fachgebiets von Spezialisten Interesse zu finden. Was man gemeinhin unter Farbenblindheit versteht, ist die weit verbreitete Rot-Grün-Störung, welche die eingangs erwähnten 8% der männlichen Bevölkerung, d.h. jeden zwölften Europäer, betrifft<sup>4</sup>. Sie ist es, um die es im Folgenden geht.

Die Rot-Grün Farbenblindheit kann sich in verschiedener Weise manifestieren, nämlich durch

- *Farbverwechslungen*: Manche Farben, die für Normalsichtige verschieden aussehen, werden für Farbsinngestörte als gleich empfunden und deshalb miteinander verwechselt.
- *Falsche Farbmischungen*: Farbtöne, welche Normalsichtige aus Einzelfarben in immer gleichen Mengenverhältnissen mischen, werden von Farbsinngestörten in anderen, oft variierenden Mischverhältnissen, d.h. „falsch“, zusammengestellt.
- *Gesteigerten Simultankontrast*: Der Simultankontrast ist ein normaler physiologischer Verarbeitungsmechanismus im visuellen System, dank dem Helligkeits- und Farbdifferenzen zwischen benachbarten Farbflächen subjektiv stärker erscheinen, als sie objektiv (d.h. physikalisch gemessen) sind. Maler benützen den Simultankontrast, um ihre Farbtöne stärker leuchten zu lassen, indem sie z.B. in eine grüne Wiese rote Punkte – etwa die bereits erwähnten Mohnblumen – einfügen. Rot-Grünblinde empfinden charakteristischerweise die Simultankontraste verstärkt und übertrieben.

Weder die angeborene Blau-Gelb noch die Rot-Grün Farbenblindheit sind mit anderen Sehstörungen gekoppelt<sup>5</sup>. Dies ist der Grund, dass die Betroffenen ihr Manko anfänglich kaum je realisieren. Erst wenn sie beim Lösen bestimmter Aufgaben zu anderen Ergebnissen kommen als Normalsichtige, d.h. erst bei einer *Konfrontation* mit Anderen, werden sie ihrer Farbenblindheit gewahr und sind dann von ihrer Andersartigkeit völlig überrascht und erschüttert (Beispiele s. **Kasten**: Konfrontationssituationen).

---

<sup>3</sup> In unserer Umgangssprache sind solch ungenaue Bezeichnungen nicht ungewöhnlich - man denke etwa an „trockenen Weisswein“, der weder trocken noch weiss ist. Sie sind tauglich, solange wir wissen, was damit gemeint ist.

<sup>4</sup> Die Häufigkeit variiert bei verschiedenen Völkerschaften und Gegenden. Bei Indo-Europäern sind 8% der Männer und 0,4% der Frauen betroffen.

<sup>5</sup> Dies im Gegensatz zur erworbenen und zur absoluten Farbenblindheit, die mit schweren Sehbehinderungen und anderen subjektiven Störungen verbunden ist.

## Beispiele für kritische Konfrontationssituationen

### Farbverwechslung

„Stroudley's Improved Engine Green“ war eine spezielle Farbe, mit der englische Bahngesellschaften auf Betreiben des Superintendenten Stroudley ihre Lokomotiven bemalten (1872-1880). Dieses „Green“ war allerdings nicht grün, sondern goldgelb. Stroudley war nämlich, wessen er sich nicht bewusst war, grünblind. Erst in der Konfrontation mit Normalsichtigen wurde der Irrtum evident. Interessanterweise akzeptierte die überwiegende farbtüchtige Mehrheit in der englischen Öffentlichkeit die falsche Farbbezeichnung ohne Widerspruch.....

(Patrick Trevor-Roper, 1970)



Lokomotive in "Stroudley's Improved Engine Green"

### Falsche Farbmischungen

Bei der Entwicklung eines Farbmischapparates zur Untersuchung des Farbsinnes testeten drei wissenschaftliche Koryphäen am Amt für Mass und Gewicht in Wabern (Schweiz) einen neuen Prototyp. Dabei kam es zu heftigen Diskussionen, weil sich die Beteiligten über die Kalibrierung nicht einigen konnten. Schliesslich stellte sich heraus, dass einer von ihnen selbst von einer Farbsinnstörung betroffen war - was er zur eigenen Überraschung vorher nie bemerkt hatte.

### Gesteigerter Simultankontrast:

Ein weltberühmter Berner Augenarzt pflegte zu erzählen, dass er einst als junger Mann mit einem Freund an einer Strassenecke gestanden habe, als eine wunderschöne junge Frau vorbeiging. „Schau, welch herrlich rotes Haar sie hat“ rief der Augenarzt aus, worauf der Freund: „Spinnst du, die ist doch blond“. So erfuhr der Arzt zum ersten Mal, dass er farbenblind war. Die Frau hatte nämlich einen grünen Hut getragen, und infolge seiner erhöhten Kontrastempfindlichkeit sah der Arzt die blonden Haare rötlich (zumindest, solange sie den Hut aufhatte). Er hat sie dann geheiratet.....

(Beides: Persönliche Mitteilungen von Prof. Hans Goldmann)

Die vererbliche Rot-Grünblindheit<sup>6</sup>, kommt in verschiedenen Varianten vor (siehe **Tabelle 1**). Da aber im Kontext unseres Themas diesbezügliche Details nicht relevant sind, genügt es, hier vereinfachend von schwerer und leichter Farbenblindheit zu sprechen. Die von schweren Beeinträchtigungen betroffenen geraten ständig in einschlägige Konfrontationssituationen, und kennen deshalb die Behinderung seit ihrer Kindheit. Bei leichten Formen hingegen kommt es viel seltener zu Konfrontationsereignissen, und die Betroffenen können deshalb jahrzehntelang mit ihrem Defizit leben, ohne dass es irgendjemandem auffällt, weder ihnen selbst noch ihrer Umgebung.

Dass man von einer Sinnesstörung betroffen, sich ihrer aber nicht bewusst sein kann, mag auf Anhieb dem gesunden Menschenverstand widersprechen. Wenn man jedoch dem Weg der visuellen Verarbeitung nachgeht, zeigt sich, dass die Information, die schliesslich im bewussten ICH ankommt, eine Interpretation ist, die – unabhängig davon, wie sie unterwegs verarbeitet wurde - vom ICH immer als „Die Realität“ akzeptiert wird.

## 2. Das Verarbeitungsprinzip visueller Signale

Das Auge ist im Prinzip ein Stück Gehirn mit einer Optik. Der optische Teil wird gebildet von den vordersten Augenabschnitten, der Hornhaut und der Linse. Der Gehirnteil befindet sich im hinteren Augenabschnitt in der Netzhaut. Diese ist gewissermassen ein vorverlagerter Teil des Gehirns, in dem die Zellen liegen, die Licht umwandeln können (Rezeptoren)<sup>7</sup>. Hier werden die Signale aufgenommen, und von hier aus werden sie durch Nervenfasern an die weiteren Stationen des Gehirns transportiert (**Abb. 2a**)<sup>8</sup>.

### Hierarchie der Schaltstationen

Den anatomischen Aufbau des visuellen Systems könnte man mit einer Videokamera vergleichen, und darauf gründet auch die nahe liegende Vorstellung, dass die Verarbeitung der Signale in ähnlicher Weise funktioniert. Demnach würde das Bild, das die Optik auf der Netzhaut entwirft, in den Rezeptoren colorimetrisch ausgemessen, durch Nervenleitungen in verschiedene Abschnitte des Gehirns verteilt und dort genau, Pixel für Pixel, reproduziert – oder anders ausgedrückt: die Informationen aus der Umwelt würden Bit für Bit wiedergegeben (hypothetisches Reproduktionsmodell, **Abb. 2b**).

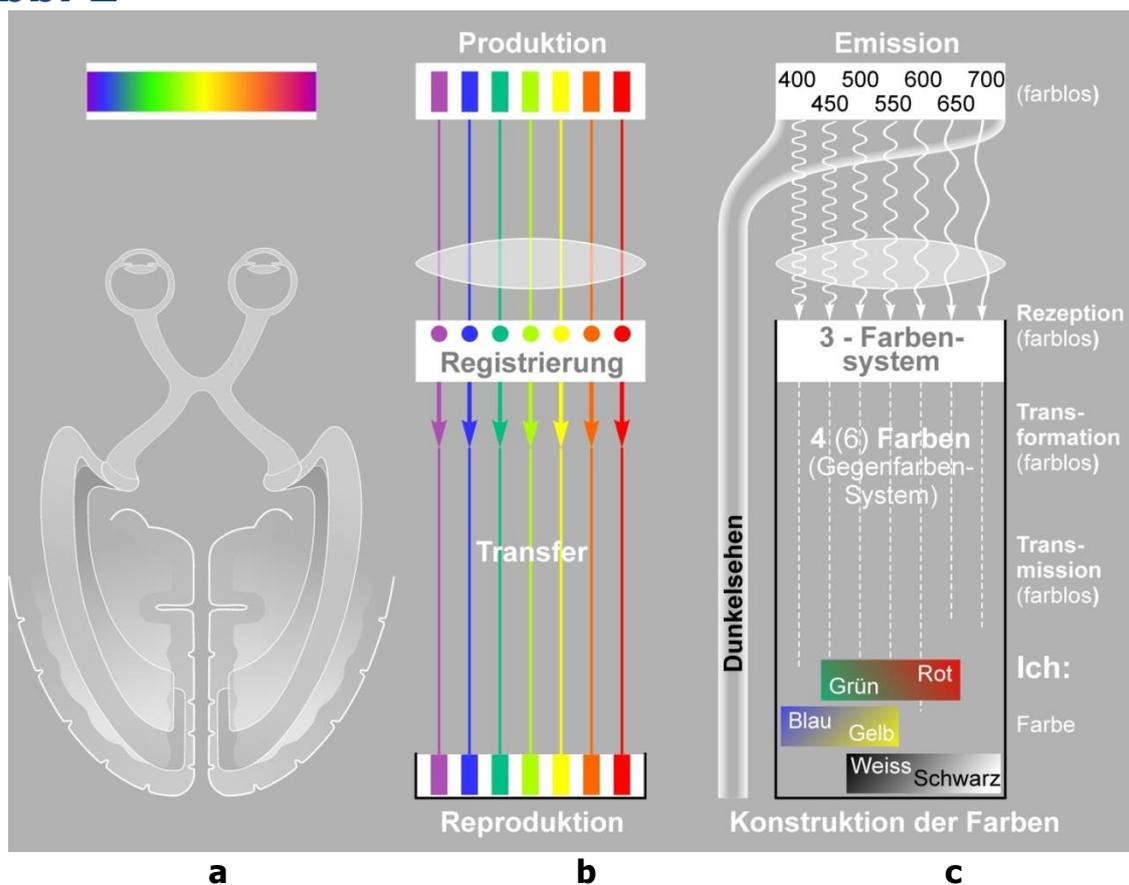
---

<sup>6</sup> Der verantwortliche Gendefekt liegt auf dem Geschlechtschromosom. Er wird über die Mütter, bei denen sich die Störung nicht manifestiert, auf die Söhne übertragen, und bei diesen entsteht die Farbenblindheit. Auch bei Frauen kommt Farbenblindheit vor; diese hingegen beruht auf einer Genkombination, die nur selten auftritt.

<sup>7</sup> Bei den Rezeptoren unterscheidet man Stäbchen und Zapfen. Die Stäbchen sind nur bei niedrigen Lichtintensitäten („Dunkelsehen“) aktiv und können keine Farben unterscheiden. Die Zapfen hingegen verlangen hohe Beleuchtungsintensitäten und sind farbtüchtig. Von ihnen gibt es drei Varianten mit unterschiedlichen Empfindlichkeiten für die Wellenlängen des Lichtes (siehe **Abb. 6**).

<sup>8</sup> Details findet man bei der Suche im Web unter den Stichwörtern: „Visuelles System“, „visual system“.

Abb. 2



### Schematische Darstellungen des visuellen Systems

Oberste Reihe: Der Input aus der Aussenwelt (Spektrum der sichtbaren Lichtwellen)

a. Anatomische Darstellung des visuellen Systems:

- Augen: Registrierung der Signale
- Sehnerv (dessen Fasern sich teilweise kreuzen): Transmission der Signale
- Hirnhemisphären: Höhere Zentren der Verarbeitung

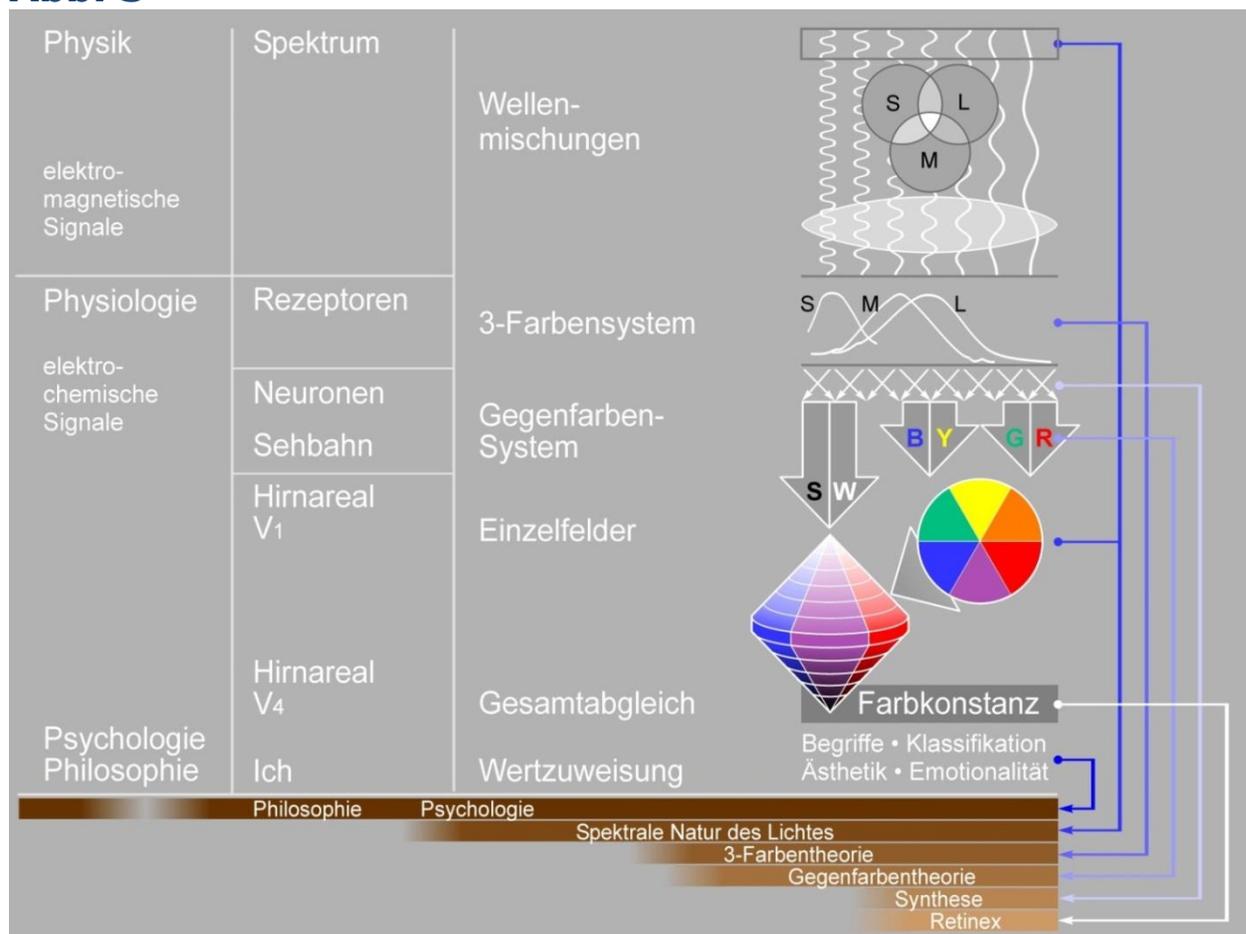
b. Hypothetisches Modell eines Reproduktionssystems („Kameramodell“)

- Die Optik des Auges nimmt die Farben auf, die das Spektrum produziert.
- Die Netzhaut misst die Wellenlängen und registriert sie
- Die Farbsignale werden in die Hirnhemisphären transferiert
- In den höheren Zentren wird das Farbspektrum der Aussenwelt Bit für Bit *reproduziert*

c. Modell eines Konstruktionsystems:

- Elektromagnetische Signale, die in der Aussenwelt emittiert werden, gelangen durch die Optik zum Hirnabschnitt Netzhaut (Innenwelt)
- Bei der Rezeption in den Zapfen der Netzhaut werden sie in elektrochemische analoge Signale umgewandelt (→ 3-Farbensystem)
- Für die Transmission in den Neuronen werden die Signale digitalisiert (→ Gegenfarbensystem, 4-Farbensystem, resp. 6-Farbensystem)
- Erst im ICH wird aus den farblosen Signalen der Farbeindruck *konstruiert*.

Man beachte: Das Dunkelsehen erfolgt in einem anderen System („Schwarz-Weiss Kanal“). Dieses erzeugt keine Farbempfindungen, und das ganze Spektrum wird als Hell-Dunkelwerte interpretiert

**Abb. 3**

### Detailanalyse des Konstruktionsmodells

#### Horizontale Einteilung:

- Oberstes Feld: Aussenwelt
- Mittelfeld: Innenwelt
- Unterstes Feld: Zeitleiste: Historische Entwicklung unserer Kenntnisse über den Farbsinn (Detailanalyse → Abb.4).

#### Vertikale Einteilung:

- Linke Kolonne: Zuordnung der Signale zu den wissenschaftlichen Fachgebieten
- Zweite Kolonne: Anatomische Stationen des Farbsinns
- Dritte Kolonne: Verarbeitungsprinzipien in den visuellen Stationen
- Vierte Kolonne: Graphische Darstellungen des Ablaufs
- Rechte Kolonne: Verweise auf die Zeitleiste:

#### Ablauf der visuellen Verarbeitung:

- Der sichtbare Anteil des elektromagnetischen Spektrums umfasst ungefähr eine Oktave (380 - 760 nm)
- Die Lichtenergie kommt entweder als „reine“ Strahlung (monochromatisches Licht) oder als ein Gemisch (S, M, L) ins Auge (→ Abb. 5)
- In den Zapfen der Rezeptorenschicht gibt es Pigmente mit drei unterschiedlichen Empfindlichkeiten, deren Maxima im kurzwelligen Licht („Blau-Rezeptor“), im mittelwelligen Licht („Grün-Rezeptor“) und im langwelligen Licht („Rot-Rezeptor“) liegen (Dreifarbensystem → Abb.6)

- Auf der nachfolgenden Stufen werden die Signale umgeschaltet für die Transmission in drei Gegenfarbenkanälen: Rot-Grün, Blau-Gelb und Schwarz-Weiss (Gegenfarbensystem → Abb. 7)
- Die Farben, die das ICH wahrnimmt, ordnet es in strukturierte Farbsysteme ein (Farbmodelle → Abb. 8)
- Eine Gesamtverrechnung der Lichtdaten führt zu einem Farbabgleich, der den Farbeindruck bei unterschiedlichen Beleuchtungen konstant hält ( → Farbkonstanz)
- In den höheren psychischen Stufen werden den Farben Werte zugeordnet: → Klassifikation nach ästhetischen Gesichtspunkten, nach emotionalen Einflüssen, nach philosophischen Bedeutungen, etc.

Allein, die Datenmenge, die dabei verarbeitet werden müsste, würde die Kapazität unseres Gehirns bei weitem übersteigen. Unsere Wahrnehmung verlangt deshalb nach einer drastischen Datenreduktion<sup>9</sup>. Dies bedeutet, dass die Signale auf der Endstufe keineswegs deckungsgleich sind mit denjenigen der Eingangsstufe. Oder mit anderen Worten: die Umwelt wird nicht einfach reproduziert, sondern es wird im Gehirn etwas konstruiert, das erst auf der Endstufe „ICH“ schliesslich existiert (Konstruktionsmodell, **Abb. 2 c**). Der Weg führt über eine Hierarchie von mehreren Schaltstellen, auf die im Einzelnen später noch genauer eingegangen wird.

Das Verarbeitungsprinzip des visuellen Systems besteht darin, dass das eintreffende Licht aus *elektromagnetischer* Energie in der Netzhaut in *elektrochemische* Energie umgewandelt und als solche weitergeleitet wird. Die Signale sind demnach Daten, die sich in Zahlen ausdrücken lassen, und die – wie eingangs erwähnt – wertneutral und farblos sind. Um es nochmals zu betonen: Erst in der Endstufe ICH, werden den Signalen Werte zugewiesen, und erst dort wird aus den farblosen Informationseinheiten „Farbe“ konstruiert.

**Abb.2** stellt die Modelle einander gegenüber. Das Konstruktionsmodell wird dann in **Abb. 3** nochmals im Detail analysiert. Ausserdem werden dort die wissenschaftlichen Disziplinen aufgeführt, die sich jeweils mit den einzelnen Stufen beschäftigen. Dabei wird ersichtlich, dass die wertfreie Signalverarbeitung in den naturwissenschaftlichen Disziplinen untersucht wird, während geisteswissenschaftliche Gesichtspunkte gelten, sobald die Informationen für uns eine Bedeutung erhalten.

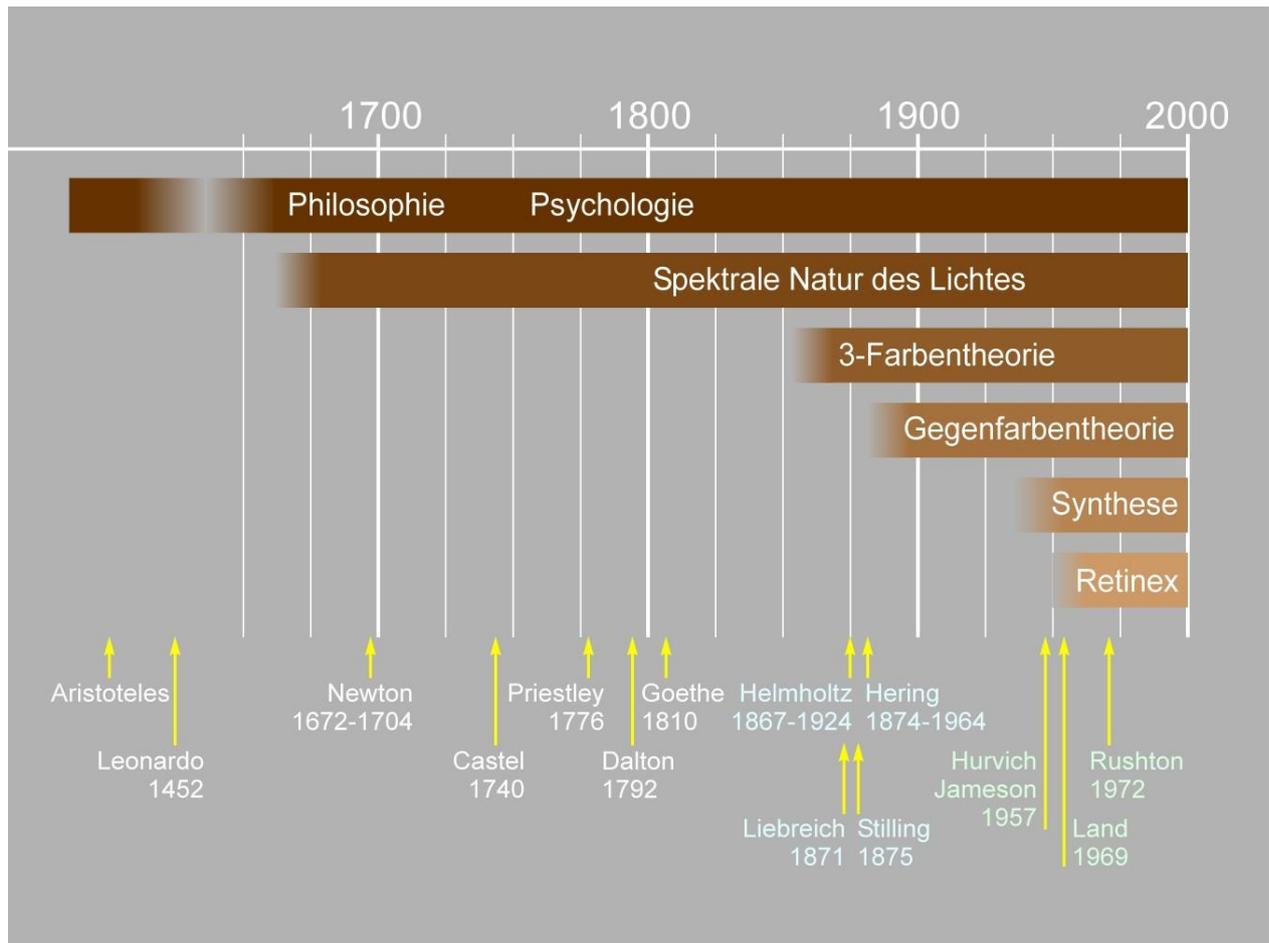
Aus der Zeitleiste der **Abb.3** (detaillierter in **Abb. 4**) ergibt sich, dass beim Konsultieren der Fachliteratur wir uns stets vergewissern müssen, welche Kenntnisse den jeweiligen Autoren zu einem gegebenen Zeitpunkt und in einem bestimmten Fachgebiet zur Verfügung standen. Man muss man sich dabei allerdings im Klaren sein, dass der Zeitpunkt einer Entdeckung noch lange nicht besagt, dass diese unmittelbar danach auch schon überall bekannt war.

---

<sup>9</sup> Allein schon die Netzhaut beider Augen nimmt viele Milliarden Bit pro Sekunde auf; das bewusste ICH kann jedoch nur ca. 40 Bit pro Sekunde (aus all unseren Sinnesorganen) bewältigen.

Neue Erkenntnisse verbreiten sich kaum je schlagartig über die Gesamtheit der wissenschaftlichen Welt, und oft dauert es Dezennien, wenn nicht Jahrhunderte, bis Forschungsergebnisse aus einem Fachgebiet auch in anderen Sparten zur Kenntnis genommen werden. Speziell bei den Arbeiten aus dem Gebiet des Farbensinns ist wegen der zahlreichen beteiligten Fachgebiete<sup>10</sup>, damit zu rechnen, dass zu einem bestimmten Zeitpunkt der Wissensstand der jeweiligen Autoren stark variiert.

## Abb. 4



### Detailanalyse der Zeitleiste:

Die Jahreszahlen beziehen sich auf den Zeitpunkt der wichtigsten Publikationen, resp. die Zeitspanne zwischen der grundlegenden Publikation und deren Verbreitung in weiteren Kreisen.

- Seit der Antike beschäftigt sich die Wissenschaft mit philosophisch-psychologischen Aspekten der Farbe.

<sup>10</sup> Eine unvollständige Liste der verschiedenen Disziplinen umfasst Physik, Physiologie, Psychologie, Molekularbiologie, Genetik, Farbchemie, Philosophie, Wissenschaftsgeschichte, Kunstwissenschaften, Ethnologie, Linguistik, etc.

Die „Association internationale de la couleur“ schliesst all diese Disziplinen ein.

- 17. Jahrhundert: Ein erster Paradigmawechsel erfolgt mit dem Nachweis der physikalischen Grundlagen der Farben. Newton beweist, dass sich Licht nicht nur in Farben zerstreuen lässt (was Vorgänger schon beobachtet hatten), sondern dass es sich aus diesen wieder zu weissem Licht zusammenfügen lässt<sup>11</sup>.
- Mitte des 19. Jahrhunderts: Zum zweiten Paradigmawechsel kommt es, als wahrnehmungsphysiologische und – psychologische Untersuchungen die subjektiven Farbempfindungen in den Vordergrund stellten. Drei-Farben- und Gegenfarbentheorie von Helmholtz<sup>12</sup>, Young, Maxwell (siehe **Abb. 6**); Gegenfarbentheorie von Hering<sup>13</sup> (siehe **Abb. 7**). Die Synthese der beiden Theorien erfolgt erst in der Mitte des 20. Jahrhunderts (u.a. Hurvich und Jameson)
- Mitte des zwanzigsten Jahrhunderts: Der dritte Paradigmawechsel beruht auf dem Nachweis von elektrophysiologischen und molekularbiologischen Grundlagen im psychischen Ablauf der visuellen Informationsverarbeitung.
- Zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts: Die Farbkonstanz, in ihren Ansätzen empirisch nachgewiesen (u.a. von Goethe), wurde experimentell genauer untersucht (→ Retinex-Theorie von Edwin Land).
- Und ein neuer Paradigmawechsel scheint sich, wie wir noch zeigen werden, bereits anzukündigen. Molekularbiologische Untersuchungen, der Nachweis der Rezeptormoleküle (u.a. Rushton), genetische Untersuchungen mit DNA-Bestimmungen, Einzelzelleitungen an visuell aktiven Zellen, etc. erstrecken sich von der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts ins 21. Jahrhundert

Man beachte: Die ersten Beschreibungen von Farbenblinden (Castel, Priestley, Dalton, Goethe) stammen noch aus Zeiten vor der Ausformulierung der Dreifarben- und Gegenfarbentheorien, und deren Symptome konnten damals nicht im heutigen Sinne verstanden werden.

### **Aussenwelt und Innenwelt** (von Gesichtspunkt des ICHs)

Die physikalischen und die physiologischen Signale bewegen sich teils in der Aussenwelt, teils in der Innenwelt. Zur *Aussenwelt (Physik)* gehört nicht nur unsere Umwelt, sondern auch der sie abbildende optische Apparat des Auges. Die *Innenwelt (Physiologie)* umfasst die neuronale Verarbeitung der Signale in Netzhaut-Sehnerv-Gehirn.

Wesentlich für das Verständnis der Ungenauigkeit unseres visuellen Systems ist die unterschiedliche Art und Weise, wie sich die Ereignisse in Aussen- und Innenwelt auf die Wahrnehmung unseres ICHs auswirken. Störungen in der Aussenwelt werden vom ICH unmittelbar erkannt, weil sie von einem intakten

---

<sup>11</sup> Beachte das Zeitintervall: Erste Vorstellung seiner Theorie in der Royal Academy 1672, Veröffentlichung seines Buches erst 1704.

<sup>12</sup> Das Handbuch der Physiologischen Optik von Helmholtz erschien 1867, wurde früh ins Französische übersetzt (→ Impressionisten), eine englische Übersetzung erfolgte erst 1924.

<sup>13</sup> Herings „Lehre vom Lichtsinn“ 1878, ins Englische übersetzt 1964.

Sinnessystem wahrgenommen werden<sup>14</sup>. Demgegenüber bemerken wir Defizite in der Innenwelt kaum, denn wenn die Signale nicht registriert und weitergeleitet werden, existieren sie für unser bewusstes ICH nicht<sup>15</sup>.

### Sensorische Defizite der Innenwelt (1)

#### Der Blinde Fleck

Ein typisches Beispiel für ein unbewusstes Defizit ist der „*Blinde Fleck*“. Dieser beruht darauf, dass in der Netzhaut die lichtempfindliche Schicht an einer bestimmten Stelle unterbrochen wird. Dort, wo die Sehnervenfasern aus dem Auge austreten, sind wir blind, und in unserem Gesichtsfeld fehlt deshalb immer ein kreisförmiger Bezirk. Beim Herumblicken in unserer natürlichen Umgebung bemerken wir diesen jedoch nie - und um ihn nachzuweisen braucht es spezielle Testanordnungen:

Man blicke z.B. im Schema unten mit dem rechten Auge auf den oberen Kreis und führe dann das Bild näher ans Auge heran (resp. weiter weg), bis das Kreuz plötzlich verschwindet. Dieser Versuch – beruhend auf einer *isoliert* stehenden Testmarke – lässt das fleckförmige Defizit bewusst werden.

Was aber bei *kontinuierlichen* Mustern geschieht, zeigt der nächste Versuch: Man blicke auf den unteren Kreis. Jetzt müsste man eigentlich auch in den Sternereihen ein Defizit erkennen. Aber obwohl dieses existiert, nehmen wir es nicht wahr, denn in einem breitflächigen Muster wird die fehlende Stelle durch unser Gehirn „ergänzt“.



<sup>14</sup>Um zu präzisieren: Dies gilt nur für diejenigen Wahrnehmungen aus der Aussenwelt, welche nicht durch die visuelle Verarbeitung in der Innenwelt „korrigiert“ werden (z.B. durch die später noch ausführlich dargestellte „Farbkonstanz“).

<sup>15</sup> Um zu präzisieren: Dies gilt nur für *passive* Störungen (Defizite) im Sinnessystem, bei denen keine neuralen Impulse zum Ich gelangen. *Aktive* Störungen hingegen, bei denen Lichtreize durch innere Stimulation im Nervensystem selbst entstehen (z.B. Halluzinationen), werden von den Betroffenen zwar registriert; aber die resultierenden Phänomene zunächst als Erscheinungen in der Aussenwelt interpretiert (z.B. Lichtphänomene bei Migräne; ferner siehe auch später: „Der Fall Monet“).

Wir alle haben Defizite in der Innenwelt, aber im Alltag können wir sie nicht erkennen. Ein eindrückliches Beispiel ist der „Blinde Fleck“, eine Stelle in unserem Gesichtsfeld, an der wir nichts sehen können. Nirgends aber, wohin wir auch blicken mögen, wird uns das Defizit auffallen, es sei denn, wir verwenden dazu eine besondere Untersuchungsanordnung (siehe **Kasten**: Blinder Fleck).

Ein anderes Beispiel ist das „Skotopische Skotom“ (Nichtsehen in der Nacht). Es verhindert, dass wir bei schwachen Lichtverhältnissen feine Muster erkennen. Die wenigsten Leute wissen von diesem Manko, mit Ausnahme derjenigen, die im Dunkeln spezielle Aufgaben lösen müssen (siehe **Kasten**: Das Skotopische Skotom).

#### Sensorische Defizite in der Innenwelt (2)

##### **Das Skotopische Skotom**

Eine Zone hoher Sehschärfe erreicht die Netzhaut nur an der Stelle, mit der wir ein bestimmtes Ziel fixieren („Gelber Fleck“, resp. genauer: Netzhautgrube, fovea centralis). Diese enthält jedoch fast ausschliesslich Zapfen, welche nur bei hohen Lichtintensitäten aktiv werden können. Zellen für den Empfang von schwachem Licht, d.h. Stäbchen, gibt es nur an Stellen mit geringer Sehschärfe (Netzhautperipherie), und deshalb können wir bei niedriger Lichtintensität feine Details nicht erkennen.

Beispiele praktischer Auswirkungen:

- Wenn wir bei Mondlicht eine Landkarte lesen wollen, so können wir kleine Schrift und Zeichen erst dann erkennen, wenn wir zusätzlich eine helle Taschenlampe benutzen.
- zum Navigieren nach dem Sternenhimmel werden die Matrosen instruiert, einen Stern nicht direkt, d.h. mit der fovea centralis zu fixieren, sondern etwas „daneben zu blicken“, damit sein Bild auf Stäbchen fällt.

All dies gilt auch beim Farbsehen. Eine Störung aus der *Aussenwelt*, z.B. ein falscher Gebrauch von Farbpigmenten, fällt sofort auf. Ein Verarbeitungsproblem in der *Innenwelt* hingegen, wie etwa eine Rot-Grünblindheit, bleibt den Betroffenen verborgen bis zu einer allfälligen Konfrontationssituation. So werden z.B. normalsichtige Personen unmittelbar gewahr, wenn sie den Pinsel in einen falschen Farbtopf tauchen; Farbenblinde werden es - zumindest bei bestimmten Farben - jedoch nicht bemerken, und es wird sie auch so lange nicht stören, bis sie von jemandem darauf aufmerksam gemacht werden.

##### **Monochromasie und Metamerie**

Wäre der Farbsinn ein präziser Analysator der physikalischen Daten aus unserer Umwelt, so käme die Wahrnehmung der Farbe Grün nur dann zustande, wenn monochromatisches (einfarbiges) Licht von ca. 500 nm Wellenlänge ins Auge einfällt (d.h. Licht, das im Spektrum des Sonnenlichts Grün repräsentiert). Die

Ungenauigkeit des Farbsinnes manifestiert sich nun darin, dass der Farbeindruck eines monochromatischen Lichtes in genau gleicher Weise durch ein Gemisch<sup>16</sup> aus verschiedenen Lichtwellen zustande kommen kann.

So ist beispielsweise das Grün, welches eine Wiese reflektiert, ein Gemisch aus anderen Lichtwellen als das Grün der Pigmentfarbe, mit der ein Maler ebendiese Wiese wiedergibt. Unser ICH jedoch kann die zwei grünen Mischungen nicht voneinander unterscheiden (und auch nicht von der entsprechenden monochromatischen grünen Wellenlänge im Sonnenspektrum).

Demnach kann bei der sensorischen Farbverarbeitung

- ein Gemisch von verschiedenen Lichtern genau gleich empfunden werden wie ein monochromatisches Licht, oder
- ein gegebenes Farbgemisch den genau gleichen Farbeindruck erzeugen wie ein Gemisch aus anderen Einzelfarben.

Dieses Phänomen bezeichnet man als *Metamerie*.

Die Metamerie ist das Resultat einer Verarbeitung in der Innenwelt und wird uns deshalb nicht bewusst. Deshalb wissen wir beim Anblick einer Farbe nie, ob sie physikalisch „rein“ ist, oder ob sie aus einem Gemisch, resp. aus welchem Gemisch sie entstanden ist<sup>17</sup>.

Für das Verständnis der Farbenblindheit entscheidend ist nun, dass es die metameren Gemische sind, die den Betroffenen am meisten Probleme bieten. Zwar können auch Farbenblinde metamere Farben einander gleichsetzen, aber bei ihnen sind die Mischverhältnisse anders als bei Normalsichtigen. Da es im Alltag unendlich viele Variationen von metameren Farben gibt, lässt sich in einer gegebenen Situation kaum nachvollziehen, wie den Farbenblinden die Welt erscheint.

### **Systematik der Farbmischungen**

Die Art und Weise, wie wir Farben wahrnehmen, bildet die Grundlage für die Gesetze der Farbmischungen. Dass man Farben durch Mischen erzeugen kann, weiss die Menschheit, seit sie Farben benutzt. Jahrhunderte lange Erfahrung hatte ausserdem gezeigt, dass sich alle Farbtöne durch Mischen von drei Grundfarben<sup>18</sup> erzeugen lassen. Aber um welche drei Grundfarben es dabei geht, war Gegenstand von Kontroversen. Als z.B. Newton seine bahnbrechenden Ergebnisse publizierte, waren seine heftigsten Gegner die Färber. Diese „wussten“ seit Generationen, dass die Grundfarben rote, blaue und gelbe

---

<sup>16</sup> Beachte den Unterschied zwischen Mischung und Addition von Lichtwellen: Eine physikalische Addition erzeugt Interferenz und gehört in den Fachbereich der Physik (Aussenwelt). Gemische von Lichtwellen hingegen beruhen auf der Aufnahme mehrerer Wellenlängen durch ein und dasselbe Rezeptorfeld im Auge und sind Phänomene der Physiologie (Innenwelt).

<sup>17</sup> Beachte den Unterschied zum Gehörsinn: Bei Schallwellen können wir sehr wohl zwischen einem reinen Ton und einem gemischten Klang unterscheiden; denn unser Gehör kann Wellen gewissermassen mathematisch trennen (nach dem Prinzip der Fourieranalyse).

<sup>18</sup> Unter Grundfarben versteht man Farben, die sich nicht aus anderen Komponenten mischen lassen.

Farbstoffe sind, während es bei Newtons Experimenten die Lichtmischungen von Rot, Blau und Grün waren. Es sollten zweihundert Jahre verstreichen, bis man, nach heftigen, emotionell geführten Diskussionen erkannte, dass beide Systeme simultan existieren.

Prinzipiell gibt es zwei Arten, Farbempfindungen auszulösen: Die eine besteht darin, dass man *Lichter* von verschiedenen Wellenlängen zusammenfügt, d.h. sie „addiert“ (*Additive* Mischung). Das Gemisch wird dann mit jeder Addition<sup>19</sup> heller als seine einzelnen Komponenten, und der Endpunkt ist Weiss (resp. Farblos). Bei der zweiten Art werden aus einem bestehenden Licht bestimmte Wellenlängen durch *Pigmente* oder *Farbfilter* entfernt, d.h. „subtrahiert“ (*Subtraktive* Mischung). Mit jeder weiterer Zumischung von „Farben“ wird das Licht dunkler, und der Endpunkt ist Schwarz<sup>20</sup>. Somit kommt es zu einem scheinbaren Paradox: Farben können entstehen, wenn man aus farblosem Licht einige Farben (d.h. Wellenlängen) wegnimmt, aber wenn man Farben zusammenfügt, entsteht schliesslich Farblosigkeit<sup>21</sup>.

Bei additiven Farbmischungen geht es um Lichter (*Emission*), bei den subtraktiven Mischungen hingegen um Pigmente und Filter (*Absorption*). Die zwei Systeme unterscheiden sich in ihren Grundfarben und Metameren. Bei additiven Farbmischungen, z.B., ist die Grundfarbe „reines Gelb“ ein Metamer (aus den Grundfarben Rot und Grün); demgegenüber ist es bei der subtraktiven Mischung die Grundfarbe „reines Grün“, die ein Metamer ist (aus den Grundfarben Blau und Gelb). Was immer auch gemischt wird - und das mag manche Verwirrung erklären - sind unterschiedliche physikalische Daten aus der Aussenwelt; in der Innenwelt jedoch werden diese immer mit den gleichen Netzhaut- und Nervenzellen verarbeitet.

Wenn man nun die Farbschemata, welche als Basis der zwei Mischungstypen gelten (siehe **Abb.5**), näher betrachtet, so fällt auf, dass sich die früher üblichen Farbkombinationen seit Mitte des 20. Jahrhunderts verändert haben. Solange nur subjektive Kriterien galten, konnte man von denjenigen Grundfarben ausgehen, die dem Auge genügend rein erscheinen. Heute jedoch sind die Ansprüche an die Präzision höher, denn die modernen technischen Anforderungen an eine exakte Reproduzierbarkeit verlangen genauer definierte Farbtöne<sup>22</sup>.

---

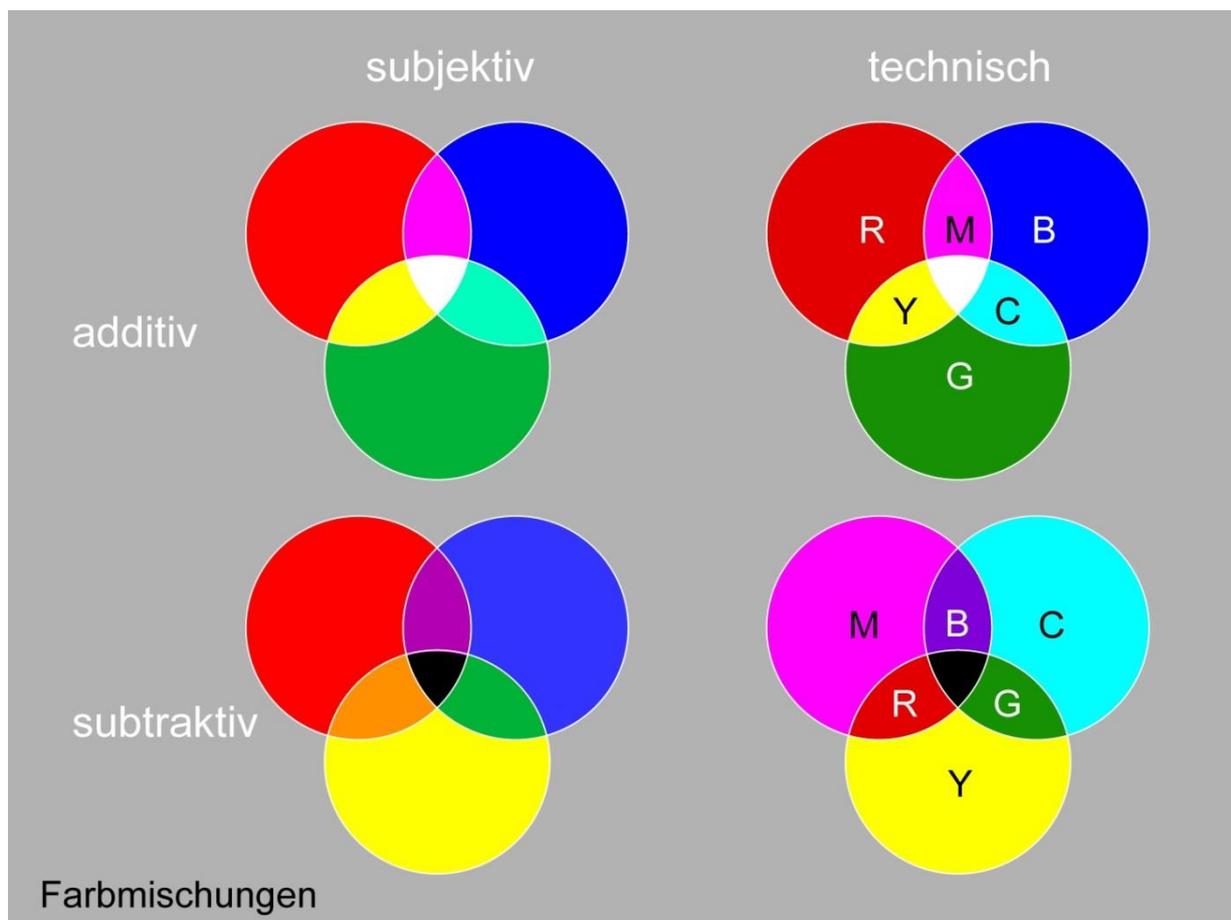
<sup>19</sup> Beachte die Konfusion um das Wort „Addition“: Im Bereich der Farbenlehre hat sich der Begriff eingebürgert für das Zufügen von Farben zu einem Farbgemisch, während man in der Optik den Begriff für die physikalische Addition von Lichtwellen, die zu Interferenz führt, benützt

<sup>20</sup> Zur Subtraktion dienen entweder Filter oder Farbpigmente. Filter halten bestimmte Wellenlängen zurück und lassen nur das Restlicht passieren; Pigmente absorbieren gewisse Wellenlängen und reflektieren dann das Restlicht.

<sup>21</sup> Dieses Paradox hat bei geisteswissenschaftlich orientierten Theoretikern denn auch zu – begreiflichem - Widerspruch geführt (s. Goethe in seiner Farbenlehre)

<sup>22</sup> Für Fernsehmonitoren → Additive Mischungen, für Farbphotographie und Farbdruck → Subtraktive Mischungen.

## Abb. 5



### Farbmischungen

*Links* die konventionellen Farbmischungstypen

*Rechts* die den Bedürfnissen moderner Technik angepassten Mischungen

Oben: **Additive** Mischung: Ausgehend von Nicht-Licht werden Lichtwellen zugefügt.

- *links:* Bei einer Mischung auf Grund *theoretischer* Überlegungen gelten als Grundfarben *subjektiv* „reine“ Farben: Rot, Blau und Grün
- *rechts:* für *technisch* standardisierte Mischungen (z.B. Computerscreens) benutzt man als Grundfarben leicht violett-blau, bläuliches Grün und ein gelbliches Rot (RGB-System). Da jede Mischstufe Licht hinzufügt, geht man von dunkleren Grundfarben aus.

Unten: **Subtraktive** Mischungen: Ausgehend von Weiss werden Lichtwellen aus dem Spektrum entfernt.

- *links:* Auf Grund der praktischen Erfahrungen in der Malerei gelten als Grundfarben ebenfalls *subjektiv* reine Farben, jedoch wird das Grün der additiven Mischung ersetzt durch Gelb
- *rechts:* für standardisierte Verfahren (z.B. Farbdruck) benutzt man Magenta, Gelb und Cyan (MYC-System). Da jeder Schritt Licht wegnimmt, geht man von helleren Ausgangsfarben aus.

Aus entsprechenden Versuchen haben sich als Grundfarben für die additive Mischung ein leicht rotstichiges Blau, ein blautichiges Grün und ein gelbstichiges Rot (→ RGB-System) ergeben, für die subtraktive Mischung hingegen Cyan für Blau, Magenta für Rot und Gelb (→ YMC-System), für Farbdruck zusätzlich Schwarz (→ YMCK-System). Man beachte, dass man deshalb in der Literatur, je nach Editionsdatum, verschiedene Angaben zu den Grundfarben für Farbmischungen zu gewärtigen hat.

Die Mischungstypen sind für technische und wissenschaftliche Belange von grosser Bedeutung. Für unsere Wahrnehmung sind sie jedoch irrelevant, denn ob ein Farbeindruck auf einer additiven oder subtraktiven Mischung beruht, macht für unser ICH keinen Unterschied.

### **Das 3-Rezeptorensystem („3-Farbensystem“)**

Die empirisch gewonnene Erkenntnis von drei Grundfarben führte in der Mitte des 19. Jahrhunderts zur Hypothese, dass es für sie drei Rezeptoren im Auge geben müsse. Auf Grund wahrnehmungspsychologischer Experimente konnte man spezielle Zellen für Blau, Grün und Rot postulieren. Dabei erwartete man zum einen, dass in den Absorptionskurven dieser Zellen die Empfindlichkeitsmaxima jeweils genau in den Wellenbereichen dieser drei typischen Grundfarben liegen, um auf diese optimal ansprechen. Zum anderen erwartete man, dass diese Maxima im Spektrum möglichst weit auseinander liegen, und dass sie sich nicht überlappen, um eine maximale Trennschärfe zu gewährleisten (**Abb. 6**).

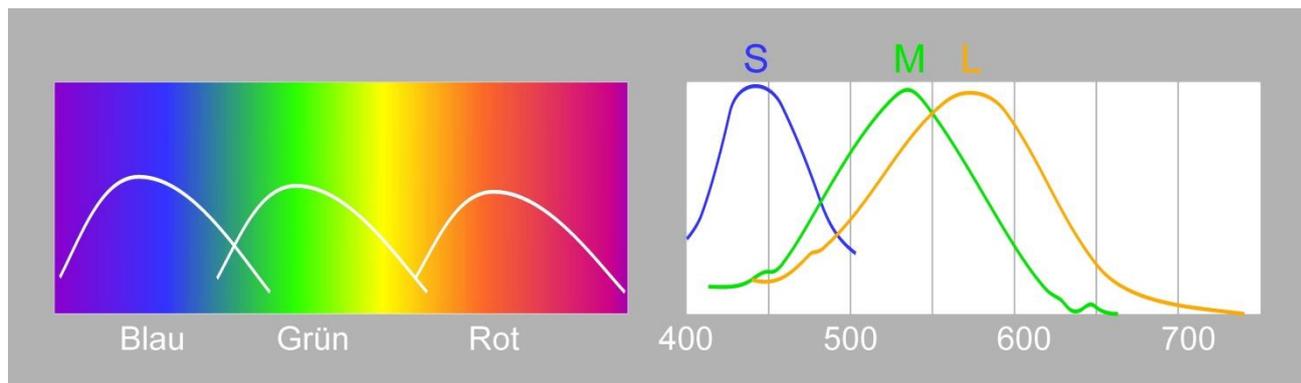
Ein Jahrhundert später allerdings, als man in den Rezeptoren die Pigmente genauer analysieren konnte, fand man erstaunlicherweise eine ganz andere Verteilung der Absorptionskurven. Die Empfindungsmaxima sind gegen das kurzwellige Spektrum verschoben. Zum Beispiel ist ausgerechnet im Bereich der subjektiv lebendigsten und intensivsten Farbe Rot die Sensibilität gering; demgegenüber ist eines der Pigmente sogar noch empfindlich im Ultraviolett, das eigentlich für uns nicht sichtbar ist<sup>23</sup>. Die Maxima der Empfindlichkeit liegen also nicht dort, wo wir sie erwarten, d.h. nicht im subjektiv reinen Rot, reinen Grün und reinen Blau, sondern im Gelborange, Gelbgrün und Blauviolett.

Dies bedeutet, dass z.B. die Empfindung von reinem Grün nicht auf einem einzelnen, auf Grün spezialisierten Rezeptortyp beruht, sondern vielmehr auf unterschiedlich starken Aktivitäten mehrerer Rezeptoren. Man bezeichnet die

---

<sup>23</sup> Der Grund dafür könnte in der Evolution liegen, indem ein bereits vorhandenes Pigment früherer Phasen, in denen Ultraviolett gesehen wurde (z.B. bei Insekten) gewissermassen weitergeführt wurde. Eine andere Erklärung bestünde darin, dass das sichtbare Spektrum am kurzwelligen Ende nicht durch die Empfindlichkeit der Rezeptoren abgeschnitten, sondern von der Lichtdurchlässigkeit der Linse begrenzt wird. Die Linse absorbiert kurzwelliges Licht, und zwar im Laufe des Lebens in zunehmendem Masse. Kinder sehen noch Blautöne, welche die Erwachsenen bereits nicht mehr wahrnehmen, und dieser Prozess setzt sich fort bis ins hohe Alter (siehe später: „Der Fall Monet“).

Abb. 6



### Empfindlichkeitskurven der Rezeptorpigmente im 3-Farbensystem

Links: Hypothetische Verteilung der Kurven auf Grund der klassischen Dreifarbentheorie. Die Maxima werden dort postuliert, wo diejenigen Wellenlängen liegen, die vom ICH als Grundfarben empfunden werden: im „reinsten“ Blau, „reinsten“ Grün und „reinsten“ Rot. Die hypothetischen Empfindlichkeitskurven sind weit voneinander getrennt

Rechts: Gemessene Verteilung: Die Kurven sind nach links verschoben. Die Empfindlichkeit ist im Bereich von Rot (ca. 700 nm) gering. Im Bereich des kurzwelligen Lichtes reicht sie weit ins unsichtbare Ultraviolett (weniger als 370 nm) hinein. Das Maximum der L-Kurve liegt nicht im Rot, sondern im leicht orange gefärbten Gelb. Die S-Kurve hat ihr Maximum nicht im leuchtenden Blau, sondern im Violett. Die M- und L-Kurven verlaufen nah beieinander. Die Kurven überlappen, was bedeutet, dass für die meisten Farbbeobachtungen gleichzeitig mehrere Pigmente – wenn auch in unterschiedlicher Intensität – stimuliert werden

**Tabelle 1:** Anomalien der Rezeptorpigmente bei Farbsinnstörungen

Formen der Rot-Grün-Farbsinnstörungen	L-Pigment	M-Pigment
Nur zwei der drei Rezeptortypen vorhanden: <i>Dichromasie</i>	<b>Protanopie,</b> Rotblindheit	<b>Deutanopie,</b> Grünblindheit
Alle drei Rezeptortypen vorhanden, aber mit abnormen Molekülen: <i>Anomale Trichromasie</i>	<b>Protanomalie</b> Rotschwäche	<b>Deutanomalie</b> Grünschwäche

Zu Rezeptoren und ihren Pigmenten siehe Abbildung 6

drei Pigmente deshalb nicht mehr, wie einst üblich, nach den Grundfarben (Blau - Grün -Rot), sondern nach den Wellenlängen: Kurz- Mittel- Lang (englisch: S für short, M für middle und L für long).

Worauf beruhen nun die Farbsinnstörungen, z.B. diejenigen im Rot-Grün-Bereich? Diese entstehen durch Anomalien von Molekülen in den Zapfepigmenten, die sich mit modernen Methoden genau identifizieren lassen. Entweder fehlen L-Pigment oder M-Pigment gänzlich (Anopsien), oder die Pigmente existieren zwar, sind aber chemisch verändert (Anomalien, siehe **Tabelle 1**).

Dass die L- und M-Kurven dicht beieinander liegen, könnte zur Annahme verleiten, dass sich eine Störung oder ein Ausfall eines der beiden Pigmente in der Praxis kaum auswirken. Da die Verarbeitung visueller Signale aber auf der Verrechnung von Differenzen und nicht von absoluten Grössen beruht, kann jede Differenz zwischen zwei Parametern, wie klein sie auch sei, die Funktion beeinflussen.

Die Vermutung liegt nahe, dass sich aus Form und Verteilung der Empfindlichkeitskurven ableiten lasse, wie das bewusste ICH die Farben wahrnimmt, resp. dass man bei Farbenblinden voraussagen könne, wie sie diese sehen. Allein, die Empfindlichkeitskurven sagen nichts über das subjektive Empfinden aus, denn die Informationen, die schliesslich zum ICH gelangen, sind nicht die primären Rezeptorsignale, sondern die Resultate von Transformationen auf den nachfolgenden Verarbeitungsstufen.

### **Die Umkodierung auf das Gegenfarbensystem (4-Farben- resp. 6-Farbensystem)**

Die erste Transformation in Signale, die sich weiter transportieren lassen, erfolgt noch in der Netzhaut, und zwar in den Zellen, deren Fortsätze als Nervenfasern zum Gehirn führen. Das Resultat ist eine Schärfung des Farbsinns. Während sich im Dreifarbensystem die Signalantworten überlappen, werden sie auf der nächsten Verarbeitungsstufe umkodiert in ein scharf entscheidendes Entweder/Oder-System. Zur Weiterleitung von den Rezeptoren zum Gehirn gibt es Nervenfasern für das Farbenpaar Rot-Grün und das Farbenpaar Blau-Gelb ( → 4-Farbensystem). Eine Nervenfaser auf dieser Stufe reagiert gegensinnig auf Rot oder Grün (resp. Blau oder Gelb), indem die Weiterleitung der einen Farbe die Weiterleitung der Gegenfarbe ausschliesst. Deshalb können wir weder einen Farbton Rot-Grün noch eine Farbe Blau-Gelb sehen<sup>24</sup>. Wenn beide Antagonisten gleichzeitig aktiviert werden, so neutralisieren sie sich zu farblos (**Abb. 7**).

Das Helligkeitspaar „Schwarz – Weiss“ ist ein Sonderfall. In mancher Hinsicht verhalten sich diese Farben wie Gegenfarbenpaare ( → 6-Farbensystem), werden im visuellen System aber anders gesteuert und subjektiv anders empfunden als die bunten Farben (siehe **Kasten**: Spezialfall Schwarz-Weiss).

---

<sup>24</sup> Mischfarben gibt es hingegen bei Gelb-Rot (=Orange), Blaugrün, Grüngelb, Blau-Rot (Violett).

**Schwarz-Weiss verhält sich nur teilweise wie ein Gegenfarbenpaar**

Auf Grund der Simultan- und Sukzessivkontraste müsste man Schwarz-Weiss als Gegenfarben auffassen. Beim Mischen hingegen schliessen sich jedoch Schwarz und Weiss - -im Gegensatz zu Rot-Grün und Blau-Gelb - nicht gegenseitig aus, sondern bilden eine stufenlose Grauskala.

**Weder für Schwarz noch für Weiss gibt es einen Rezeptor:**

Während es für jede der bunten Farben eine korrespondierende Wellenlänge gibt (ausgenommen Purpur), gilt dies für Schwarz und Weiss nicht. Es existieren keine Wellenlängen für Schwarz und Weiss, und es gibt im Auge keine Rezeptoren für Schwarz und Weiss. Weiss ist das Resultat einer Stimulation aller drei Farbrezeptoren (in der ersten Verarbeitungsstufe), aber auch der Mischung von zwei Gegenfarben (auf der nächsten Stufe der Hierarchie).

**Schwarz ist nicht „Nicht-Licht“:**

Beim Fehlen jeglichen Lichteinfalls sinkt die Aktivität der Zellen im visuellen System nicht auf Null. Infolge thermisch bedingter Molekularbewegungen bleibt eine Reststimulation, die wir als bewegte Schlieren in einem diffusen „Eigengrau“ (und nicht Schwarz) wahrnehmen. D.h. Nicht-Licht = Eigengrau

**Schwarz ist auch nicht „Nicht-Sehen“:**

Nicht-Sehen ist ein Defekt in der inneren Verarbeitung und wird vom ICH nicht als selbstständiges Signal wahrgenommen, sondern bloss als Absenz von Signalen registriert (siehe **Kästen:** Defizite der Innenwelt)

**Schwarz ist nicht das Resultat von Null-Reflexion:**

Schwarz entsteht nicht dadurch, dass ein Objekt kein Licht ins Auge reflektiert. Eine schwarze Fläche im hellen Sonnenlicht, z.B., strahlt mehr Licht zurück als eine weisse Fläche im Schatten. Trotzdem nehmen wir die stärker reflektierende Fläche schwarz und die weniger reflektierende Fläche weiss wahr.

**Schwarz beruht allein auf Kontrast zu stark beleuchteten Nachbarfeldern:**

Es ist das Umgebungslicht, das ein Objekt schwarz erscheinen lässt. Stellt man einen farbigen Gegenstand vor eine weisse Wand und beleuchtet allein die Wand mit zunehmender Lichtstärke, so wird der Gegenstand von einer bestimmten Kontraststärke an schliesslich schwarz erscheinen<sup>25</sup>.

**Sind Schwarz-Weiss Farben?**

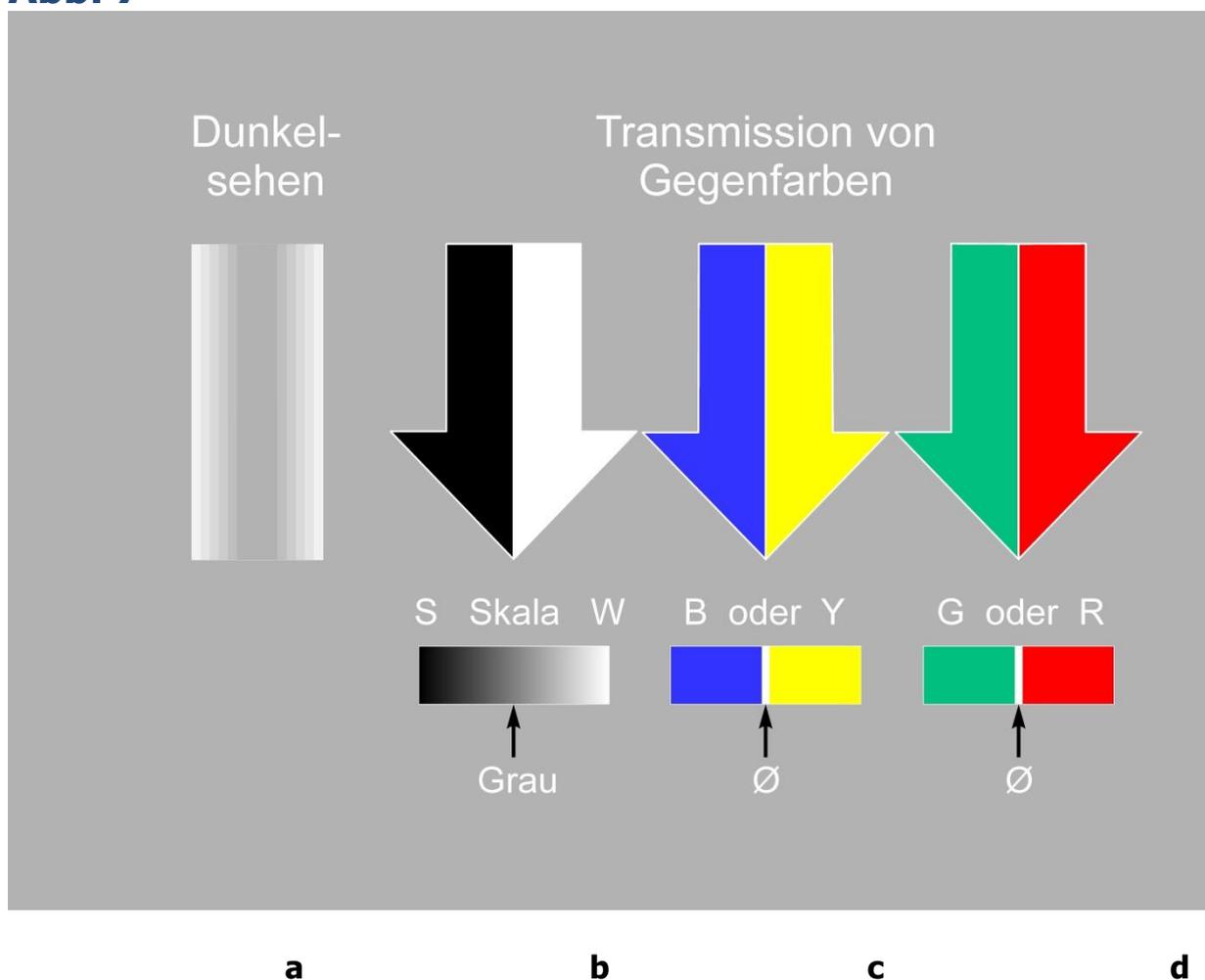
Dass Schwarz und Weiss weniger bunt als andere Farben empfunden werden, könnte theoretisch mit den unterschiedlichen neuronalen Verarbeitungsmechanismen begründet werden. Zweifellos aber spielen auch kulturelle Umstände eine wichtige Rolle. So galten z.B. in der Antike Schwarz und Weiss (zuweilen auch Rot) als Hauptfarben. Und auch in Japan gaben befragte Personen Schwarz und Weiss als die wichtigsten Farben an, Schwarz-Weiss-Filme bezeichnete man dort als Zweifarbenfilme. Für japanische Studenten hingegen, die in Europa lebten, wurden auch die Buntfarben wichtig<sup>26</sup>

**Das Schwarz der Maler:**

Für die Maler ist Schwarz, im Gegensatz zur Wahrnehmung, nicht passiv. Wenn sie mit schwarzem Pigment malen, zeichnen und drucken, wenn sie es andersfarbigen Pigmenten beimischen, wird Schwarz zu einer aktiven Farbe und ist anderen Farbpigmenten gleichgestellt. Und letzteres gilt auch für Weiss, das für Maler ein Pigment und nicht die Totalität aller sichtbaren Wellenlängen ist.

<sup>25</sup> Dass es Schwarz an sich nicht gibt, lässt sich auch beweisen an Hand der Projektion von schwarzen Zeichen auf eine Wand. Durch den Projektor lässt sich dort nur Licht zufügen, aber nicht wegnehmen, und deshalb kann auf einer Wand nichts dunkler werden als ihre Grundfarbe. Aber dennoch sehen wir die Zeichen in tiefem Schwarz. Analoges gilt für Fernseh- und Computermonitoren, die im unbeleuchteten Ruhezustand dunkelgrau sind. Beim Einschalten wird nur Licht dazu gegeben, und wo kein Licht einfällt, dürfte der Schirm nicht dunkler erscheinen als in seinem ursprünglichen Dunkelgrau - aber gleichwohl zeigt er schwarze Farben.

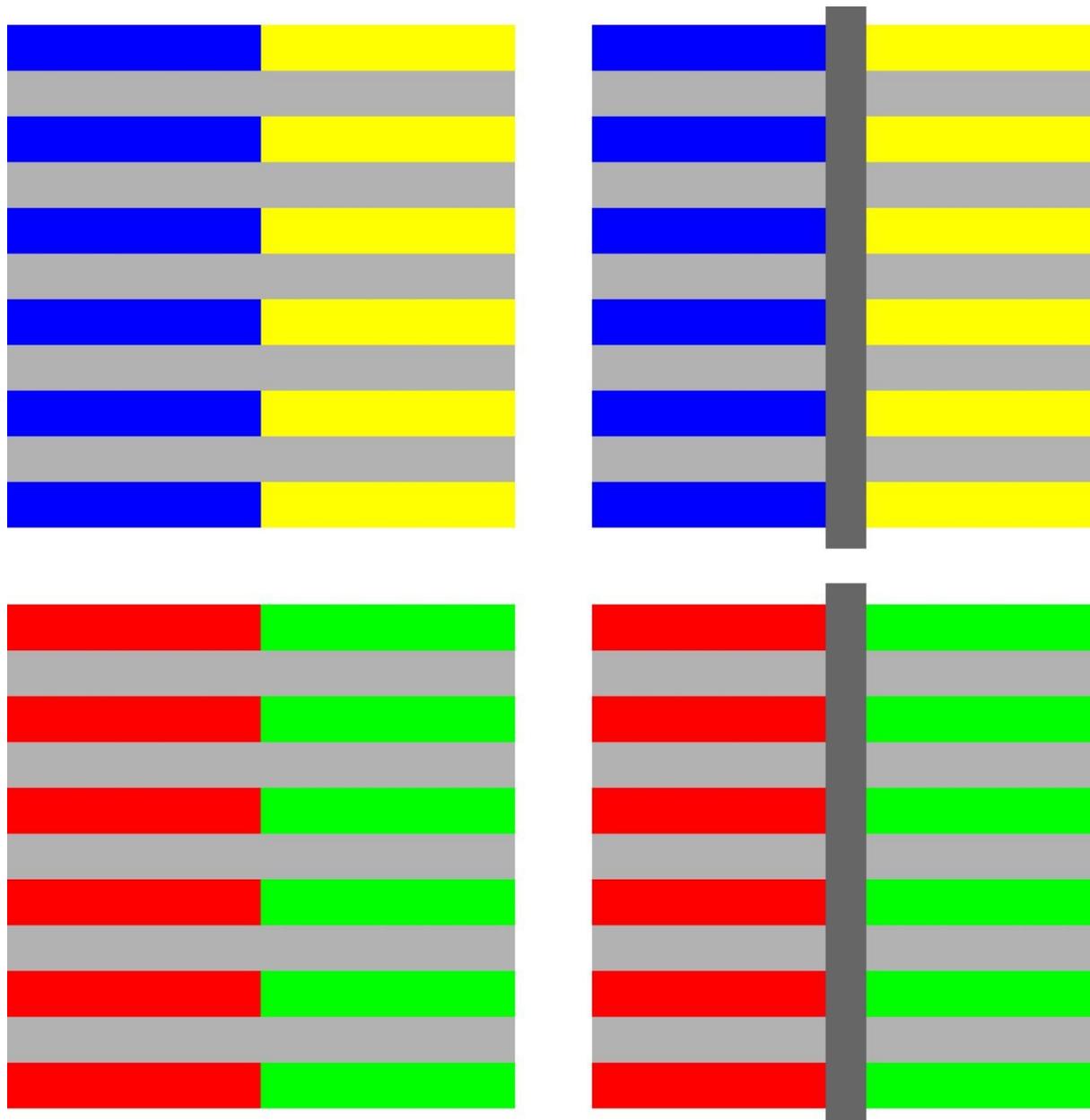
<sup>26</sup> Von Wattenwyl und Zollinger, Farbe und Design, 15/16, S. 80-83, 1979

**Abb. 7**

### Die Gegensatzpaare im Transmissionssystem

- a) Das Dunkelsehen ist nicht Teil der Farbverarbeitung und wird auf anderen Wegen übertragen
- b) Das Schwarz-Weiss-System überträgt Weiss und Nicht-Weiss (= Schwarz)
- c) Das Blau-Gelb-System überträgt entweder Blau oder Gelb
- d) Das Rot-Grün-System überträgt entweder Rot oder Grün, nicht aber beide zugleich

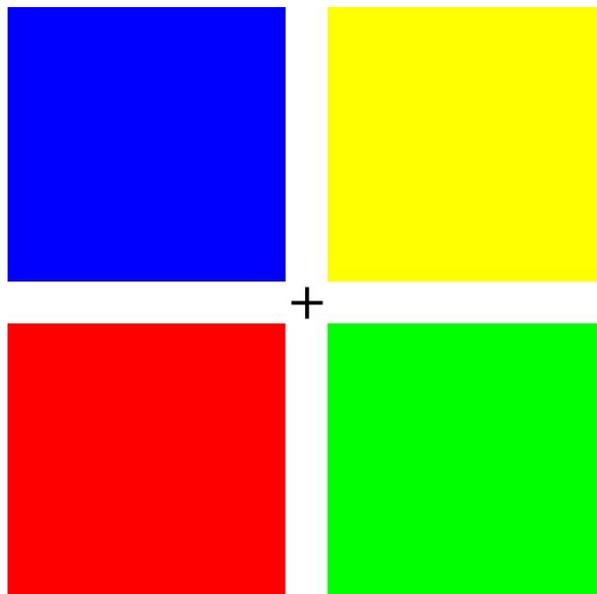
Unten: Die Mischungen von Schwarz und Weiss ergeben eine stufenlose Grau-Skala (Übergang → *Quantitätsdifferenz*), diejenigen von Blau und Gelb, Rot und Grün neutralisieren sich (Übergang → *Qualitätsdifferenz*)

**Abb. 8****Simultankontrast (Gleichzeitigkeitskontrast):**

Farben beeinflussen sich gegenseitig, wenn ihre Flächen aneinander angrenzen. In diesem Versuch erscheint Grau, je nach Nachbarschaft, in einer anderen Tönung, und zwar jeweils im Sinne der Gegenkontrastfarbe. Neben Grün erscheint Grau leicht rötlich, neben Blau gelblich, etc.

Der Kontrast (*rechts*) ist beim ersten Hinschauen wenig eindrücklich, wird aber nach kurzer Zeit deutlicher (→ Anzeichen, dass ein Verarbeitungsprozess im neuronalen System abläuft).

Der Effekt verschwindet, wenn der Trennbalken fehlt (*links*), und dann erscheint das Grau in allen Feldern in gleichem Ton.

**Abb. 9****Sukzessivkontrast (Nachbildkontrast)**

Man blicke ca. 30 Sekunden auf das Kreuz in der Mitte der vier Quadrate. Wendet man dann den Blick nach unten und fixiert die doppelt konturierte Scheibe, so erscheinen in der hellen Fläche die Nachbilder der Quadrate, und zwar in ihren jeweiligen Gegenfarben: Die ehemals rote Fläche erzeugt ein grünliches Nachbild, die blaue ein gelbliches, etc.

Der Nachbildkontrast wird dadurch erklärt, dass „Ermüdung“ einer der beiden Komponenten im Gegenfarbensystem das Gleichgewicht stört und dann die Empfindung der Gegenfarbe überwiegt.

Dass Rot-Grün und Blau-Gelb in einer besonderen Beziehung zueinander stehen (die sie im Dreifarbensystem nicht haben), war seit langem bekannt<sup>27</sup>. Erst im 19. Jahrhundert jedoch zeigten wahrnehmungspsychologische Untersuchungen anhand von Kontrastempfindungen (Simultan- und Sukzessivkontraste, siehe **Abb. 8** und 9), dass die Farbpaare sich wie Gegensätze verhalten.

In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts konnte man schliesslich mit Hilfe elektrophysiologischer Untersuchungen beweisen, dass die Nervenfasern, welche die visuellen Signale von der Netzhaut in die höheren Zentren des Gehirns bringen, tatsächlich antagonistisch gesteuert werden (siehe **Abb. 4**).

Die Farbkodierung im Gegenfarbensystem ist nicht einfach eine Abwandlung des Dreifarbensystems, sondern eine grundsätzliche Neuordnung. Das Ausgangssignal ist völlig verschieden vom Eingangssignal. Es geht nicht mehr um Zusammenfügen (Gemische), sondern um Trennen (Gegensätze). Auch die Farbwertungen sind nicht dieselben. Für die Farbe Rot, z.B., sind im Dreifarbensystem die Rezeptorpigmente nur wenig empfindlich, im Gegenfarbensystem hingegen ist Rot in der Intensität seinem Gegenpart Grün ebenbürtig (und auch dem andern Gegenfarbenpaar Blau-Gelb), und für das ICH ist Rot die auffälligste Farbe schlechthin.

Wenn nun bei einer Rot-Grün Farbenblindheit die Rezeptorfunktion gestört ist, so stellt sich die Frage, wie sich dies bei der Umschaltung in das Gegenfarbensystem auswirkt. Wenn es auch – zumindest bis heute - messtechnisch nicht erfassbar ist, so sprechen doch Beobachtungen von praktischen Situationen dafür, dass die Empfindung des Simultankontrastes gesteigert wird (siehe **Kasten** Konfrontationssituationen). Ein erhöhter Simultankontrast ist sogar ein wichtiger Hinweis auf Farbenblindheit, und allein schon dieses Zeichen kann zur Diagnose führen<sup>28</sup>.

### **Die Synthese von 3-Farbentheorie und Gegenfarbentheorie**

Die 3-Farbentheorie (von Young-Helmholtz) und die Gegenfarbentheorie (von Hering) standen sich in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts als unvereinbare Widersprüche gegenüber. Das Problem war, dass es für beide unwiderlegbare experimentelle Beweise gab, und darauf basierend wurden die gegensätzlichen Ansichten der verschiedenen Schulen - im Stil der damaligen Zeit - in aller Heftigkeit verfochten.

---

<sup>27</sup> Nicht verstanden wurde allerdings ihre gegensätzliche Natur. Leonardo da Vinci, z.B., schreibt in "De' colori": I colori che si convengono insieme („passen zusammen“) sono il verde col rosso, o paonazzo, o biffa, e il giallo coll'azzurro (das Wort "paonazzo" entspricht etwa Violett, "biffa" ist nicht bekannt)

<sup>28</sup> Schon der erste Augenarzt, der die Farbenblindheit beschrieb, nannte als deren Charakteristikum eine Überbetonung von Gegenfarben (d.h. einen verstärkten Simultankontrast), und das Malen von grünen Schatten in Portraits wurde deshalb nach ihm „Liebreich'sches Zeichen" genannt.

Dies galt auch für die Störungen des Farbsinns, deren wissenschaftliche Erforschung etwa in der gleichen Zeit begann. Die einschlägigen Beobachtungen waren je nach Fall nur im Dreifarbensystem, oder nur im Gegenfarbensystem erklärbar, und eine einheitliche Beurteilung von Farbsinnstörungen stiess auf Schwierigkeiten.

Erst hundert Jahre später, in der Mitte des 20. Jahrhunderts, löste sich zur allgemeinen Überraschung der Konflikt durch eine Synthese der beiden Theorien. Neue Techniken ermöglichten Experimente, die bewiesen, dass die 3-Farbsignale der Rezeptoren für die Weiterleitung in den Nervenfasern umkodiert werden in die 4 Gegenfarbsignale. Somit sind beide Theorien richtig (siehe **Abb. 4**), indem die erste Stufe der Signalverarbeitung nach dem Dreifarbensystem, die nächste Stufe nach dem Gegenfarbensystem funktioniert.

### **Die Entstehung der Farben und ihrer Ordnungssysteme: „Der Standpunkt des ICHs“**

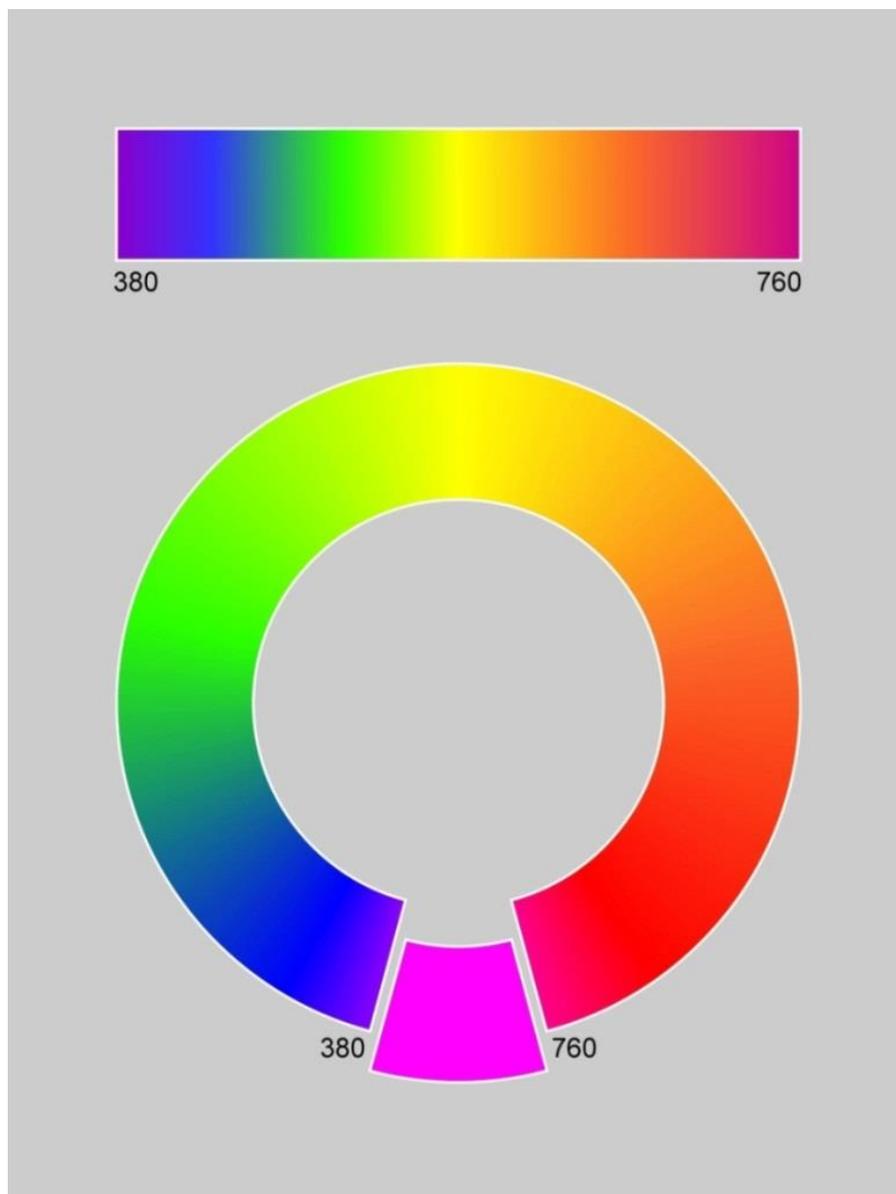
Im physikalischen Spektrum des weissen Lichtes haben alle Farbtöne den gleichen Rang. Seien es reines Rot oder reines Orange, gelbliches Orange, rötliches Orange etc. – sie sind im Spektrum einfach Zahlen einer Wellenlänge. Weder die Verarbeitungsprozesse im Dreifarben- noch im Gegenfarbensystem können erklären, warum wir im Sonnenspektrum (z.B. im Regenbogen) bestimmte Farben privilegieren. In unserem Empfinden nämlich sind die Farben nicht gleichwertig, und nach dem Gefühl sind nur einige der Spektralfarben „rein“, während uns die andern – obwohl physikalisch ebenfalls „rein“ – subjektiv als Mischfarben erscheinen.

Unser ICH hat ein zwanghaftes Bedürfnis, die reiche Farbenwelt mit all ihren Nuancen vereinfachend in Farbsysteme zu ordnen, wenn auch auf Grund der (farblosen) physikalischen und physiologischen Daten dafür keine Notwendigkeit besteht<sup>29</sup>. Alle Farbordnungen sind geistige Konstruktionen, in denen zwar die Gesetzmässigkeiten des 3-Farben- und des Gegenfarbensystems erkennbar sind, die Formen ihrer Darstellung aber vorwiegend von philosophischen, psychologischen und soziokulturellen Faktoren beeinflusst werden.

Allen Modellvorstellungen liegt die erstaunliche Tatsache zugrunde, dass unser ICH das linear auslaufende physikalische Spektrum als geschlossene Form wahrnimmt (**Abb. 10**) und dazu die kürzesten und längsten sichtbaren Wellenlängen – entgegen jeder physikalischer Logik - aneinander fügt. Dies geschieht mittels einer imaginären überbrückenden Farbe, Magenta (früher Purpur genannt), die im physikalischen Spektrum nicht vorkommt, sondern eine reine Konstruktion des Gehirns ist. Es gibt für sie auch keinen spezifischen Rezeptor in der Netzhaut, und dennoch unterscheidet sich für unser ICH die Farbe Magenta in Reinheit und Leuchtkraft nicht von den übrigen Farben des Spektrums.

---

<sup>29</sup> Wir sehen etwa 150 gesättigte Farben. Wenn man auch noch die ungesättigten Töne einbezieht, entstehen daraus etwa 1500 Farbabstufungen. Um über so viele Farben kommunizieren zu können, braucht man Ordnungssysteme.

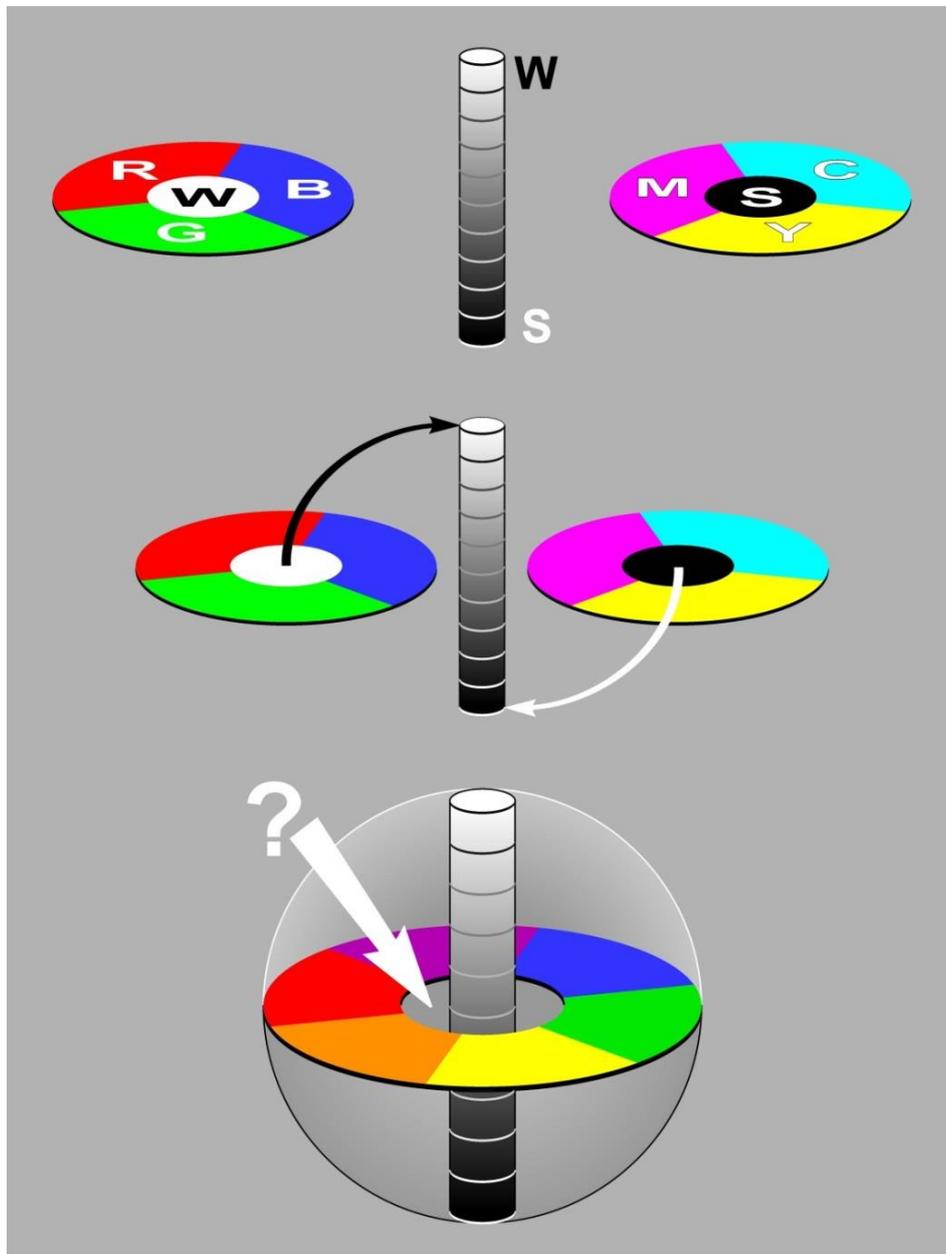
**Abb. 10**

### **Umwandlung des linearen Spektrums in einen Farbkreis**

Oben: Das physikalische Spektrum des Sonnenlichtes ist linear.

Unten: Gemäss subjektivem Empfinden jedoch lässt sich die Farbfolge des Spektrums in einem Kreis anordnen. Zwischen dem kurzwelligen (380 nm) und dem langwelligen Ende (760 nm) besteht kein Unterbruch im Kontinuum. Die Überbrückung geschieht durch Einfügen einer nicht-spektralen „Fremdfarbe“, Magenta.

Abb. 11



### Das Dilemma beim Aufbau von Farbkörpern

Oben: Bei *additiver* Mischung liegt im Zentrum der Spektralfarben-Ebene Weiss (links).  
Bei *subtraktiver* Mischung liegt dort Schwarz (rechts).

Mitte: In der senkrecht stehenden Schwarz-Weiss-Skala ist Weiss oben, Schwarz unten,  
dazwischen liegen Graustufen

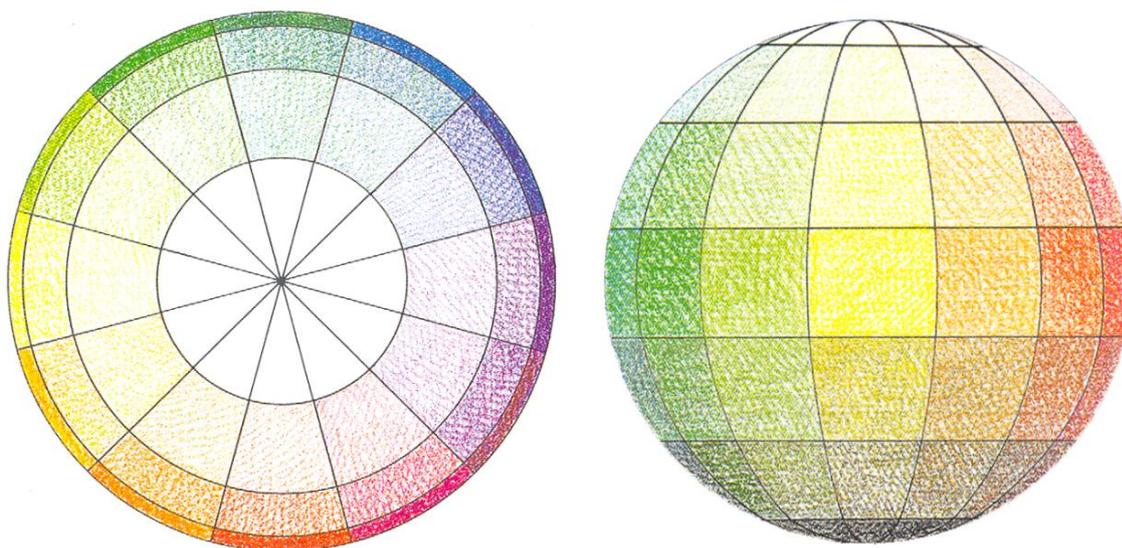
Unten: Vereint man nun alle drei Mischtypen zu einem einzigen Farbkörper, entsteht  
ein Dilemma: Welcher Zentrumswert soll dort gelten, Weiss, Schwarz oder Grau?

Will man dem Farbsystem Schwarz hinzufügen, so wird die Situation noch komplizierter. In der Ebene des Farbkreises ist dafür kein Platz, und man muss dazu in die dritte Dimension ausweichen. So kommt man auf sog. Farbkörper, in denen Schwarz und Weiss an die Enden einer senkrechten Achse zu liegen kommen, und die Mischungen mit Weiss sich oberhalb und diejenigen mit Schwarz unterhalb der Ebene des bunten Farbkreises befinden.

Der Einbezug von Schwarz erlaubt nun, auch subtraktive Mischungen darzustellen. Jedoch führt der Versuch, beide Mischformen, die additiven und subtraktiven, im gleichen Modell zu kombinieren, in ein Dilemma. Welche Farbe soll im Zentrum des Körpers liegen? Die additive Mischung verlangt Weiss, die subtraktive Mischung Schwarz, und auf der vertikalen Skala müsste es ein mittleres Grau sein (**Abb. 11**). Da aber all dies gleichzeitig nicht möglich ist, kann keiner der dreidimensionalen Farbkörper alle Ansprüche befriedigen. Jeder ist ein Kompromiss.

Grundsätzlich kann man die Farbordnungen in geisteswissenschaftlich und naturwissenschaftlich basierte Modelle gliedern. Die Farbsysteme mit *geisteswissenschaftlichen* Vorgaben bevorzugen symmetrische Formen, und die Zahl ihrer Farbstufen lässt sich philosophisch begründen (**Abb. 12, 13, 14, 15**). Sowohl Form als auch Einteilung verkörpern subjektive Wertvorstellungen, z.B. für die Gesamtanordnung eine Idealform (→ Kugel, platonische Körper, etc.) und für die Anzahl der Farbabstufungen eine Zahl mit Symbolcharakter (→ Sieben, Zehn, Zwölf, etc.).

## Abb. 12

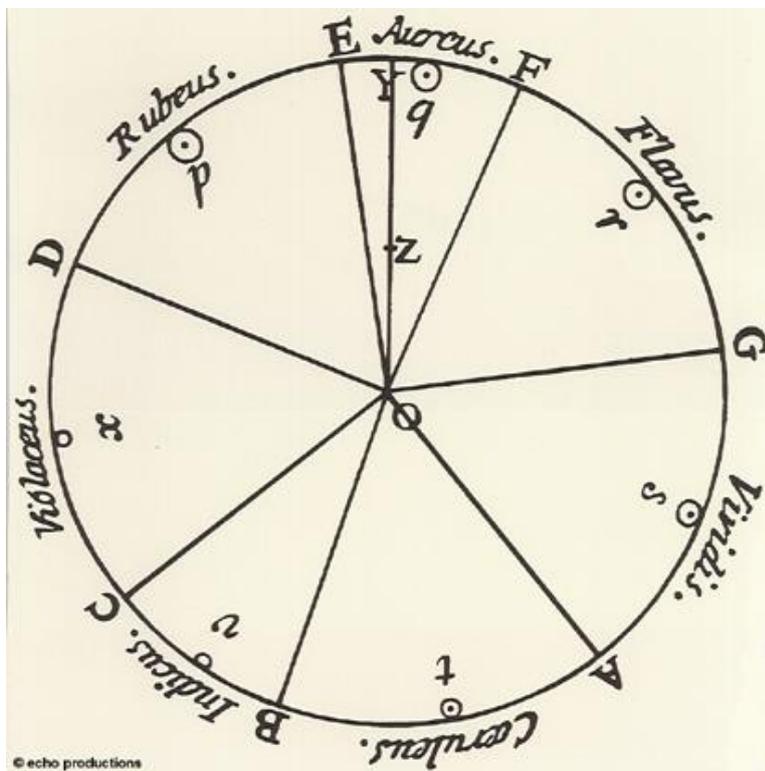
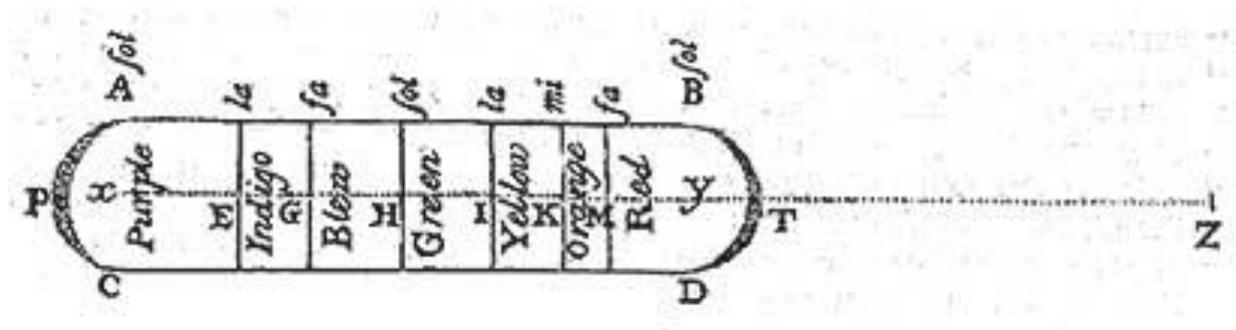


### Grundformen philosophisch begründeter Farbsysteme

Links : Beispiel für eine Farbebene: Ideale Form → Kreis, Zahl der Segmente → 12

Rechts : Beispiel für einen Farbkörper: Idealform Sphäre, Zahl der Segmente vertikal 7, horizontal 12

Abb. 13

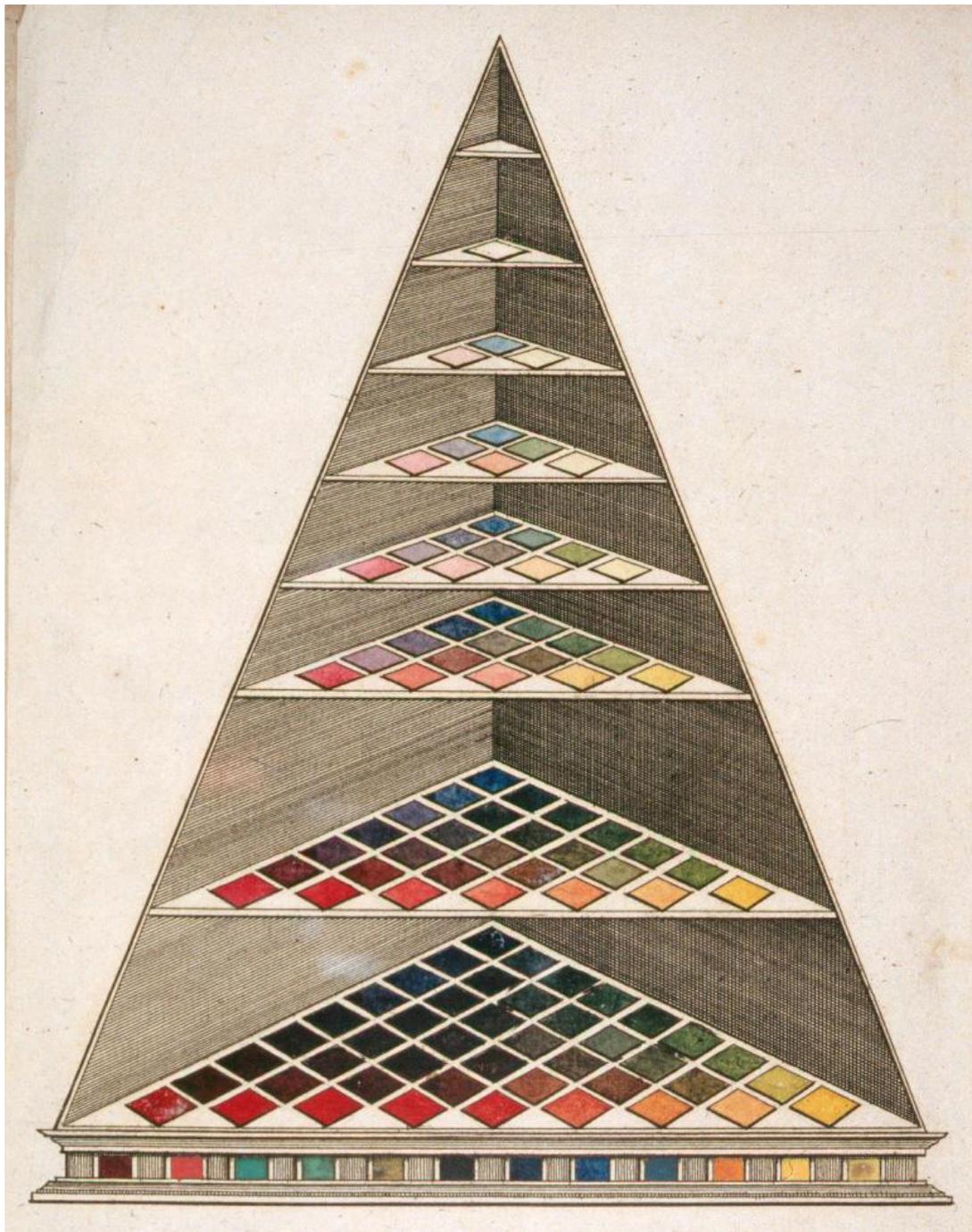


### Farbordnungen von Newton

Oben: Lineares Spektrum,

Unten: Darstellung als Farbkreis

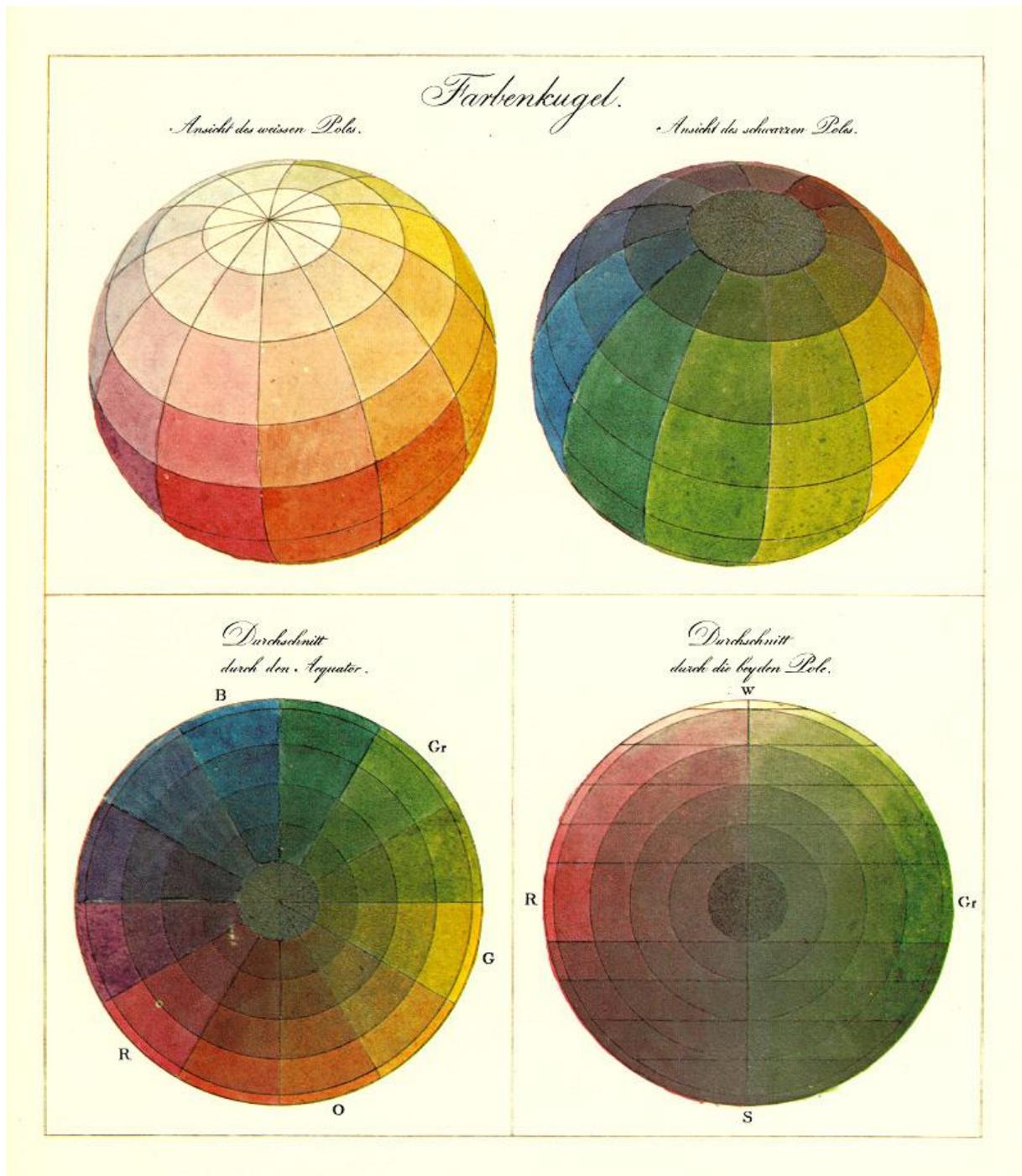
Das Farbsystem, das Newton in den Philosophical Transactions der Royal Society (1672) vorstellte hatte ursprünglich eine Einteilung in 5 Farben. Später erweiterte es Newton (in seiner „Optics“, 1704) auf 7 Farben als Analogie zur musikalischen Tonleiter. Beachte die dadurch bedingte ungleiche Grösse der Segmente der 7 Grundfarben.

**Abb. 14**

**Beispiel eines Farbkörpers, dem nicht das Sonnenspektrum zugrunde liegt**

Johann Heinrich Lambert (1772). Beschreibung einer mit Wachs ausgemalten Farbenpyramide. Möglicherweise hatte der Autor keine Kenntnisse der Schriften von Newton. Auf Grund rein subjektiver Kriterien entwickelte er eine philosophisch begründete räumliche Anordnung, in der allerdings die Abstufungen der Farben nicht dem heutigen Empfinden entsprechen

Abb. 15



### Farbkugel mit philosophischer Grundlage

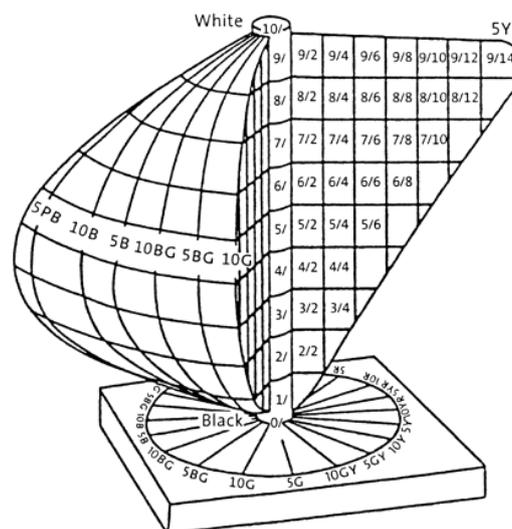
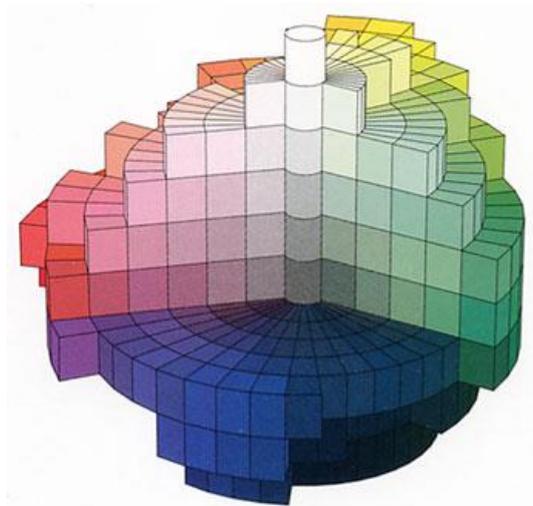
In seiner Farbkugel folgt Philipp Otto Runge (1810) dem Farbverlauf im Newton'schen Spektrum<sup>30</sup>. Da die Grundlagen der Wahrnehmungsphysiologie erst später erforscht wurden, stehen sich die Gegenfarben nicht genau gegenüber.

<sup>30</sup> (Farben-Kugel oder Construction des Verhältnisses aller Mischungen der Farben zu einander, und ihrer vollständigen Affinität, mit angehängtem Versuch einer Ableitung der Harmonie in den Zusammenstellungen der Farben. Hamburg: Friedrich Perthes.)



Farbordnungen nach *naturwissenschaftlichen* Gesichtspunkten hingegen sind asymmetrisch geformt. Der Grund dafür liegt darin, dass hier die Intervalle der Farbstufen durch wahrnehmungspsychologische Messungen bestimmt werden. Sie hängen infolgedessen von der Wahl objektiver Messkriterien ab, und diese folgen nicht den Gesetzen der Symmetrie. Wählt man als Massstab von Intervallen z.B. Unterschiedsschwellen<sup>31</sup>, stellt man fest, dass diese Schwellen je nach Farbe und Helligkeit variieren, und dies erklärt die unregelmässigen Formen solcher Farbordnungen (**Abb. 16, 17**).

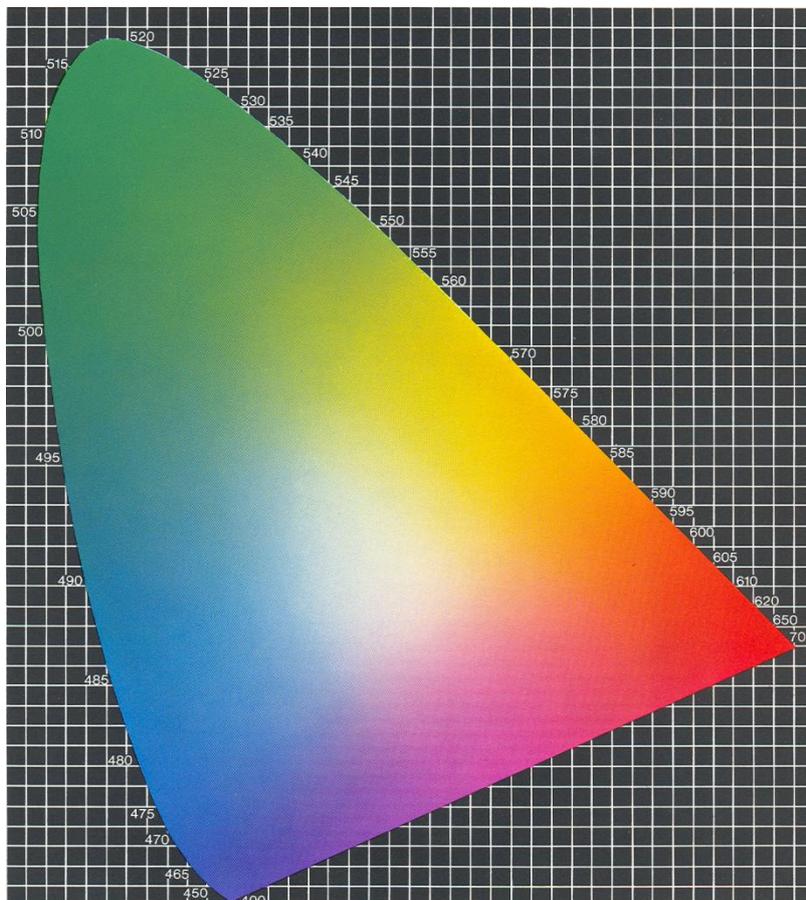
## Abb. 16



### Farbkörper von Munsell

Die Farbfolgen wurden nach wahrnehmungspsychologischen Messungen bestimmt. Die Form ist asymmetrisch, die Farbsegmente werden nach subjektiv ermittelten Zahlenverhältnissen bezeichnet. Das Modell ist sehr populär unter Malern und liefert auch die Basis für manche Farbsinnteste

<sup>31</sup> Als Unterschiedsschwelle bezeichnet man den Unterschied zwischen zwei Farbtönen, die eine Versuchsperson gerade noch wahrnimmt

**Abb. 17**

### Farbschema der Commission Internationale d'Éclairage (CIE)

Das Schema ist nach naturwissenschaftlichen Kriterien aufgebaut. Es repräsentiert farbige Lichter, zeigt deshalb nur additive Mischungen, deren Mitte Weiss ergibt. Es eignet sich für Beleuchtungstechniker, nicht aber für Maler (die subtraktiv mischen). Das Modell ist asymmetrisch geformt, und die Intervalle auf der Kurve sind physikalische Daten (Wellenlängen des sichtbaren Lichtes).

Die Farbfolge entlang des Randes ist diejenige des Spektrums, wobei die beiden Enden der gekrümmten Figur durch eine Gerade, die imaginäre Purpurgerade, miteinander verbunden sind. Wenn man Randfarben miteinander mischt, erhält man Mischfarben. Mischt man Komplementärfarben, die einander gegenüber stehen, entlang ihrer Verbindungslinien (d.h. quer durch das Zentrum), ergeben sich Weisstöne.

Anderen Gesetzen folgen schliesslich die *anwendungsorientierten* Modelle, deren Form und Gliederung sich nach jeweiligen praktisch-technischen Bedürfnissen richtet (**Abb. 18**).

## Abb. 18



### Beispiel eines Farbsystems für technische Zwecke

„Designer’s Color Atlas“ ist ein Farbsystem für den Farbdruck.

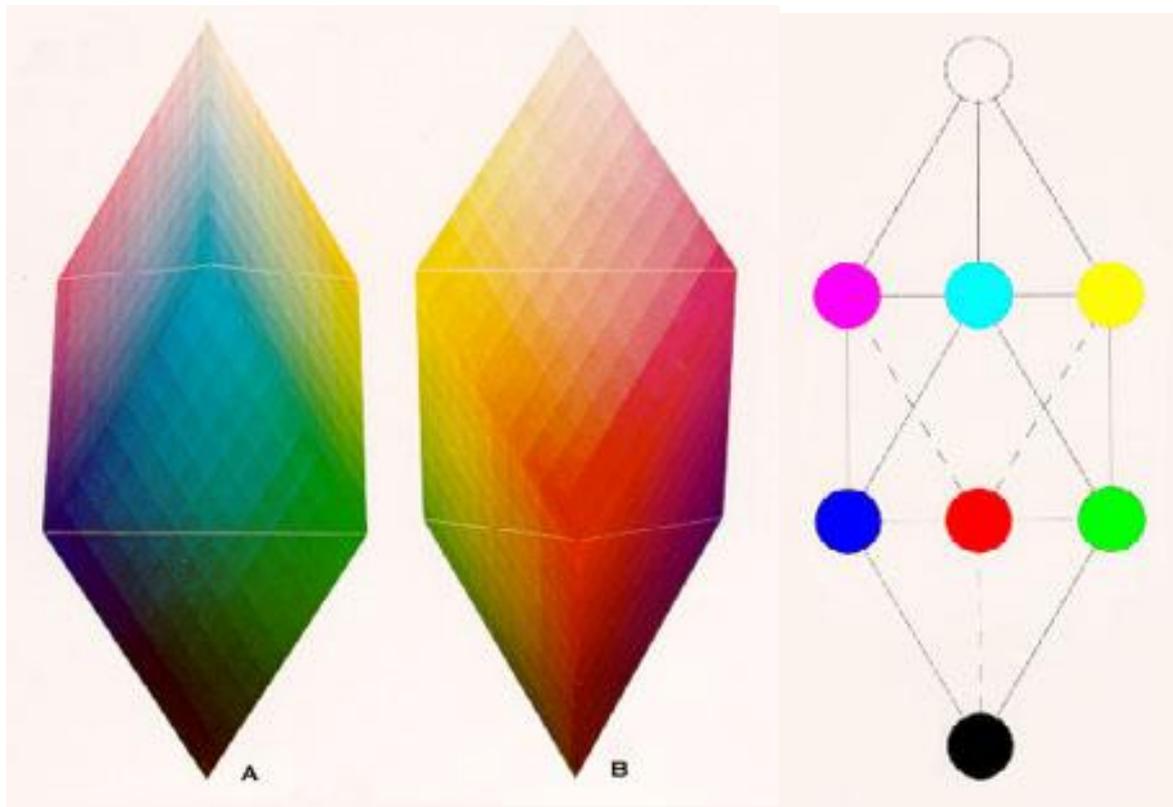
Üblicherweise druckt man im Vierfarbendruck, d.h. Cyan, Magenta, Gelb und Schwarz (CMYK-System). Die gegenwärtig verfügbaren Pigmente sind aber nicht genügend rein, um hohe Qualitätsansprüche zu befriedigen. Für Luxusdrucke werden deshalb zusätzliche Farbtöne eingesetzt. Das „7 Colors Printing System“ benutzt neben CMYK noch Orange, Grün und Violett.

Beachte: Hier ist die Mitte neutral-grau, siehe **Abb. 11**

Wer sich mit den verschiedenen Farbordnungen beschäftigen will, muss noch einen weiteren Faktor berücksichtigen, nämlich den Zeitpunkt, an dem eine bestimmte Ordnung geschaffen wurde. Die frühen Modelle (siehe z.B. **Abb. 13, 14, 15**) entstanden zu einer Zeit, in der die Autoren die relevanten wahrnehmungsphysiologischen und -psychologischen Grundlagen noch nicht kannten. Die modernen Farbkörper aus der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts (RGB, CMYK, siehe **Abb. 5**) hingegen basieren auf wissenschaftlichen Experimenten und wurden mit der Absicht entwickelt, der Industrie streng standardisierte Farbmischsysteme zur Verfügung zu stellen (**Abb. 19**).



## Abb. 19



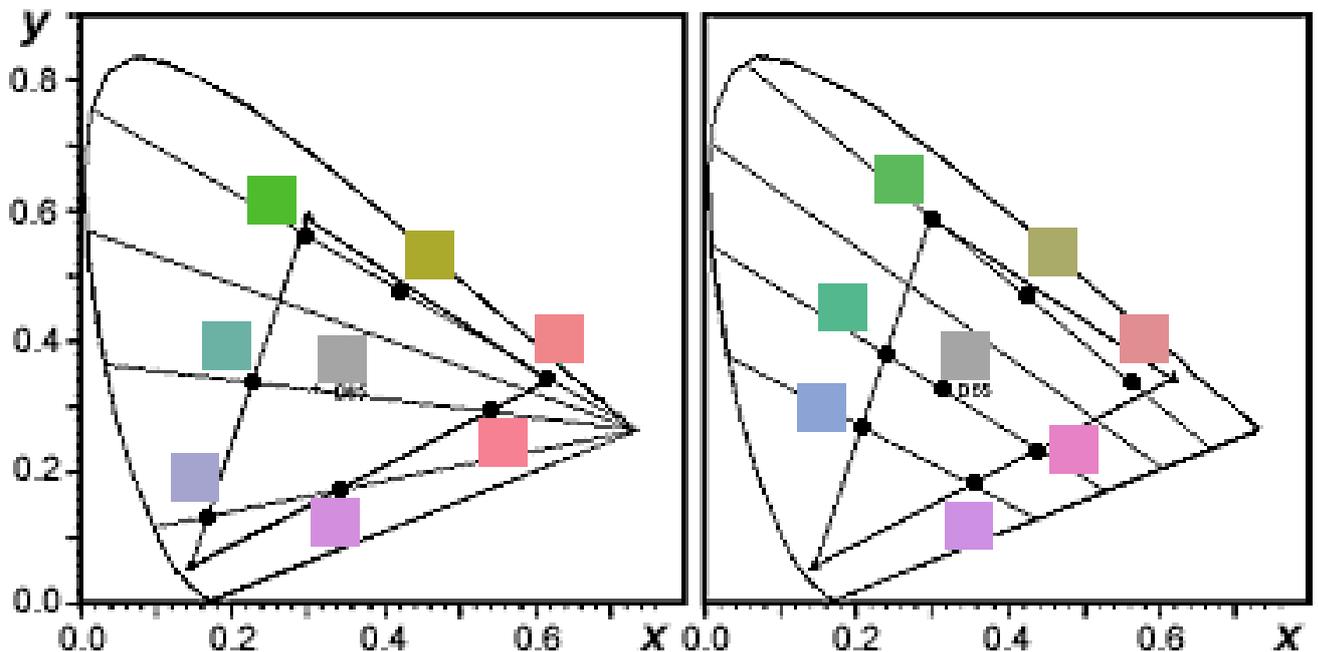
### Harald Küppers Farbraum (1972)

Beispiel eines modernen Farbsystems, das die additiven und subtraktiven Mischtypen in separaten Ebenen darstellt und diese in einen Gesamtkörper einbezieht

Links und Mitte: Der Rhomboeder-Farbraum, in B um 180 Grad gegenüber A gedreht. Anordnung der 8 Grundfarben an den 8 Ecken des Rhomboeders. Obere Etage: Magenta-Cyan-Gelb (CMY-System), untere Etage: Blau-Rot-Grün (RGB-System)

Rechts: Markierung der Position der reinen Grundfarben MCY und RGB, sowie Weiss und Schwarz

Es wäre nun ein grosser Vorteil, wenn Farbkörper gefunden würden, die sich für das Verständnis von Störungen des Farbsinns eignen. In welcher Hinsicht würden sie sich dann unterscheiden von denjenigen der Normalsichtigen? Diese Frage lässt sich generell schwer beantworten aus Gründen, die später noch erörtert werden sollen. Jedoch ist es heute möglich, in gängigen Farbsystemen die Positionen derjenigen Farbtöne zu bestimmen, deren Erkennung den Farbenblinden Schwierigkeiten bereiten (**Abb. 20**). Auf deren Basis sind die Tests zur Diagnose der Farbenblindheit aufgebaut (**Abb.29**).

**Abb. 20**

### Position der Verwechslungsfarben im CIE-Diagramm (s. Abb. 16)

Die Verbindungslinien zeigen die Richtung der stärksten Verwechslungen. Die Farbvierecke zeigen diejenigen Farbtöne an, die auch mit Grau verwechselt werden.

Links: Protanopie

Rechts: Deuteranopie

Die bisher beschriebenen Abläufe im 3-Farben- und im 4-Farbensystem sind durch einschlägige Experimente belegbar, und sie widerspiegeln sich in irgendeiner Weise auch in den zwei- und dreidimensionalen Systemen der Farbordnungen. Was sie aber nicht erklären können, sind die Phänomene, die man als Farbkonstanz bezeichnet.

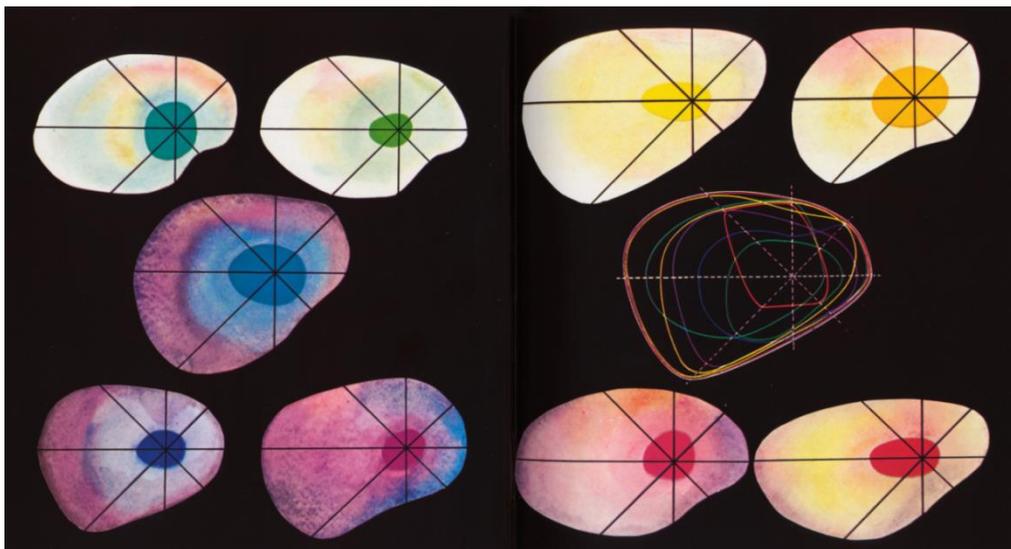
### Die Farbkonstanz

Wenn die Lichtverhältnisse sich ändern, bleibt subjektiv unsere Umwelt, entgegen den Erwartungen, unverändert, d.h. wir sehen sie immer in ihren „richtigen“ Farben. Eine grüne Wiese, z.B., erscheint für uns den ganzen Tag lang als grün, obwohl das bläuliche Morgenlicht sie blaugrün, das gelbliche Mittagslicht gelbgrün und das rötliche Abendlicht braun-orange verfärbt. In diesem stetigen Farbwechsel müssten wir sie eigentlich wahrnehmen, wenn unser visuelles System wie eine Kamera funktionieren würde. Für unser ICH ist es jedoch nicht so.

Bekanntlich erscheinen Objekte in einer bestimmten Farbe, weil von ihnen bestimmte Lichtwellen reflektiert werden. Deren Zusammensetzung ihrerseits hängt ab von den Lichtwellen, welche die Objekte beleuchten. Daraus folgt, dass jedes Mal, wenn sich das Licht in unserem Umfeld verändert - z.B., in der Morgenröte, in der Mittagssonne, im Abendlicht, bei Wolkenhimmel oder bei Kunstlicht und Tageslicht - die Welt andersfarbig aussehen müsste. Um nun zu gewährleisten, dass unsere Umwelt trotz instabiler Lichtverhältnissen für unser ICH stabil bleibt, verfügt das Gehirn über ein Korrektursystem, die sog. Farbkonstanz (Siehe **Kasten:** Farbkonstanz als Verrechnungsprozess).

Interessant ist nun, dass für die Farbkonstanz Teile des Auges eine Rolle spielen, die auch bei Normalsichtigen „farbenblind“ sind. Diese Teile umfassen den weitaus grössten Teil der Netzhaut, nämlich die ganze Peripherie (das periphere Gesichtsfeld, **Abb. 21**). Aber aus den gleichen Gründen, aus denen die Farbenblinden ihre Defizite nicht empfinden, können sich auch die Normalsichtigen ihrer „normalen“ Farbsinnstörung nicht bewusst werden - ja, sogar nicht einmal dann, wenn sie versuchen, sich intensiv auf ihr peripheres Sehen zu konzentrieren.

## Abb. 21



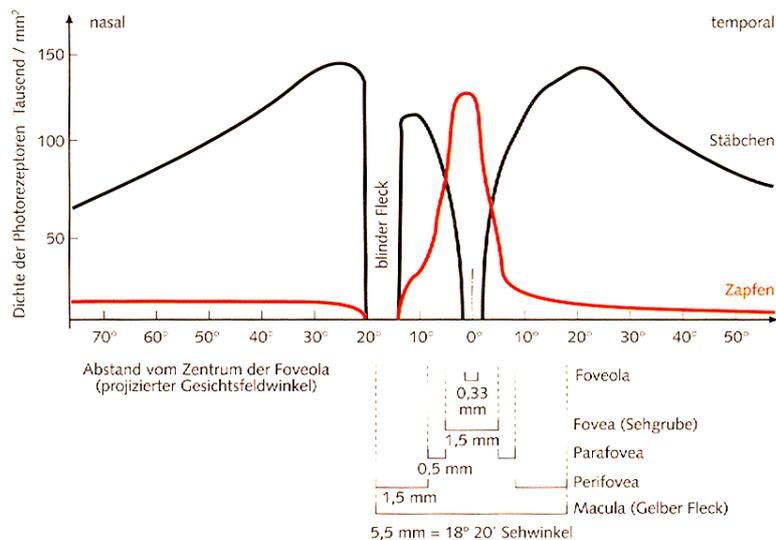
### Schema der Farbempfindung im Gesichtsfeld von linken Augen (Heinrich Frieeling)

Die Querovale sind Gesichtsfelder von verschiedenen Personen (d.h. das Areal der Umwelt, das sie überblicken, wenn sie einen bestimmten Punkt fixieren). Die Netzhautmitte (mit dem Fixierpunkt) ist die kleine Fläche am Kreuzungspunkt der Geraden, das übrige Feld gehört zur peripheren Netzhaut

Dargestellt ist die Erkennung farbiger Stimuli. Deren gesättigte Farbe erscheint jeweils in der Netzhautmitte. In der Peripherie werden Farben nur noch schwach wahrgenommen. Die Kurven in der mittleren Reihe, rechts, zeigen die Grenzen an, innerhalb derer die Farbtöne erkannt werden.

Die Versuchsanordnung, die obigen Bildern zugrunde liegt, ist für brauchbare wissenschaftliche Aussagen zu wenig standardisiert, aber sie vermag zumindest das graphisch anschaulich zu machen, was in **Abb. 22** durch Kurven dargestellt wird.

Abb. 22



### Die Verteilung der Zapfen und Stäbchen in der Netzhaut

Die Stelle, mit der wir fixieren, liegt in der Netzhautmitte in einer schmalen Zone um Null Grad. Sie enthält nur Zapfen (*rot*). In Richtung zur Peripherie, bereits von 15 Grad an, nehmen die Zapfen drastisch ab, und entsprechend vermindert sich auch die Farbempfindung. Die Stäbchen (*schwarz*) hingegen fehlen in der Mitte, peripherwärts wird ihre Zahl grösser, um dann schliesslich wieder abzufallen.

### Die Farbkonstanz als Verrechnungsprozess

Man kann die Farbkonstanz als Resultat eines Verrechnungsprozesses interpretieren. Dieser vergleicht die Beleuchtung in demjenigen Areal, das wir fixieren, mit der Beleuchtung des gesamten Gesichtsfeldes und verrechnet sie dann so, dass die Differenz konstant bleibt. Für die Wahrnehmung des gesamten visuellen Umfeldes gelten demnach andere Gesetze als für ein einzelnes isoliertes Farbfeld, auf das wir gerade blicken.

Anatomisch gesehen, werden die Signale aus der Mitte mit denen aus der Peripherie der Netzhaut verrechnet. Die Netzhautmitte (Gelber Fleck) ist die Stelle des Auges, welche praktisch nur aus Zapfen besteht und somit die volle Farbkapazität aufweist. In der Peripherie der Netzhaut hingegen werden, je weiter man sich von der Mitte entfernt, die farbempfindlichen Zapfen immer spärlicher, d.h. dort wird die Netzhaut auch bei Farbnormalen immer weniger farbtüchtig (**Abb. 21** und **Abb. 22**).

Wenn nun die Erhaltung der Farbkonstanz darauf beruht, dass das farbtüchtige Sehen in der Netzhautmitte mit dem farbsinngestörten Sehen in der Netzhautperipherie verrechnet wird, könnte man das so interpretieren, dass für unsere normale Farbempfindung ein beeinträchtigter Farbsinn - zumindest partiell - sogar eine Voraussetzung ist.

Die Veränderungen des Farbsinns in der peripheren Netzhaut manifestieren sich übrigens nicht nur in der Wahrnehmung von Farben, sondern auch in der Verstärkung des Simultankontrastes. Josef Albers weist in seinem Standardwerk „Interaction of Color“ darauf hin, dass der Simultankontrast auffälliger wird, wenn man die Vorlage so vor die Augen hält, dass die kritischen Stellen auf die periphere Netzhaut fallen (**Abb. 23**).

Der Verrechnungsprozess der Farbkonstanz findet automatisch statt in der freien Natur. Aber wie gehen Kunstmaler in ihren Gemälden damit um? Die Gesamtbeleuchtung, die verrechnet wird, ist diejenige des Raumes, in dem das Bild hängt. Im Bild selbst sollte aber eine eigene Farbkonstanz gelten. Wie können die Maler diese isoliert, nur innerhalb des Rahmens kalibrieren? Dies tun sie durch die Wiedergabe von weissen Flecken, gewissermassen als Test. Weiss gibt nämlich – einer Stimmgabel in der Musik vergleichbar – in einem Bild den Ton an. Wenn die Maler in ihren Bildern dem Weiss eine leichte Tönung verleihen, so bestimmt diese für die Betrachtenden den Grundton des gesamten Lichtes. Wenn z.B. in einem Bild Abendstimmung herrschen soll, können Malende dies durch die rötliche Tönung eines weissen Gegenstandes andeuten. Ein rein weisser Fleck, in solche Bilder gemalt, hingegen durchbricht die Farbkonstanz. Er wirkt auf die Betrachtenden irritierend und wird so zu einem probaten Mittel für die Künstler, um Spezialeffekte zu provozieren.

### **Auswirkungen der Farbkonstanz im Alltag**

Im alltäglichen Leben wird uns die Farbkonstanz nicht bewusst, und dies ist ja gerade der Sinn des potenten Korrekturmechanismus.

#### *Beweis der Farbkonstanz.*

Um sich ein Bild von der Wirkung zu machen, braucht es Experimente, welche den Einfluss der umgebenden Beleuchtung ausschalten. Dazu kann man, wie schon Goethe zeigte, ein bestimmtes Objekt mit einem Auge durch ein Rohr betrachten. Wenn wir z.B. die „richtige“ Farbe einer Wiese im Abendlicht feststellen wollen, blicken wir durch dessen Öffnung, und dann sehen wir sie plötzlich im originalen orange-braunen Farbton, statt im durch Farbkonstanz „korrigierten“ Grün. Noch eindrücklicher wird der Versuch, wenn man dabei das zweite Auge offen hält: Mit dem unbewaffneten Auge sieht die Wiese nach wie vor grün aus, während sie im Rohr in der richtigen Lokalfarbe erscheint.

#### *Unterlaufen der Farbkonstanz.*

Wird die Farbkonstanz gestört, wird man – unbewusst – irritiert. In der Praxis kommt es dazu, wenn die Verrechnungsprozesse der Gesamtbeleuchtung gestört werden durch den Einsatz zusätzlicher Lichter, die unabhängig von der Allgemeinbeleuchtung sind.

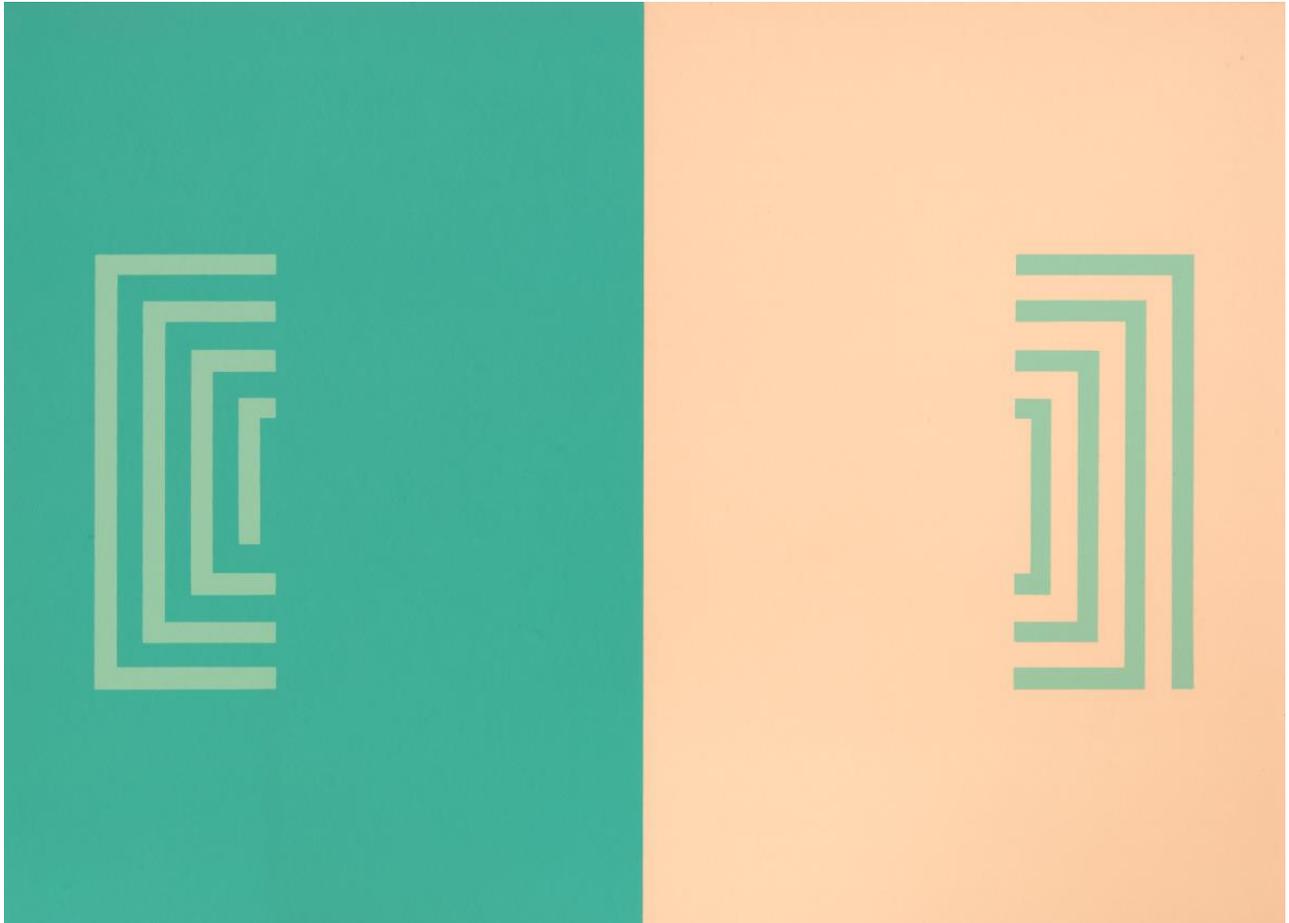
- Dies geschieht z.B. bei Kombinationen von mehreren verschiedenfarbigen Lichtquellen im selben Raum. Wenn in einem Zimmer mit Tageslichtleuchtröhren Kerzen angezündet werden, oder wenn im gleichen Kirchenflügel verschiedene einfarbige Glasfenster das Licht einfallen lassen, wird dies ästhetisch als unangenehm empfunden.

- Absichtlich provozierte Störungen der Farbkonstanz sind ausserdem ein wirksames Mittel zur Erregung von Aufmerksamkeit: Dies ist der Zweck von zusätzlichen Lichtquellen im Strassenverkehr, z.B. von Verkehrslichtern, oder von bei Tageslicht eingeschalteten Autoscheinwerfern.

- Auf Störung der Farbkonstanz beruhen auch die optischen Spezialeffekte fluoreszierender Farben. Fluoreszierende Oberflächen reflektieren nämlich Licht, welches nicht konform ist mit der Allgemeinbeleuchtung. Während bei normaler Reflexion die einfallenden Wellenlängen wieder in gleicher Länge reflektiert werden (z.B. Blau als Blau), werden sie bei Fluoreszenz langwelliger reflektiert (z.B. Blau als Gelb). Bei allgemein bläulicher Umfeldbeleuchtung, bei Tageslicht, erscheint eine fluoreszierende Farbe verfremdet und wirkt so als Aufmerksamkeit erregender Blickfang.

Die Hypothese liegt nahe, dass bei Farbsinn gestörten die Farbkonstanz verändert sein könnte. Allein, es gibt zurzeit noch keine Methoden, die geeignet wären, dies nachzuweisen.

## Abb. 23



### Versuch zum Simultankontrast nach Josef Albers

Die gestreiften Muster in den beiden Feldern haben den genau gleichen Farbton, erscheinen aber je nach Hintergrund verschieden.

Wenn wir in die Mitte, auf die Trennlinie der beiden Farbfelder blicken, fallen in unseren Augen die Testfiguren auf die Peripherie der Netzhaut. Dies verstärkt den Effekt des Simultankontrastes.

Dazu schreibt Albers: „Für ein direktes Vergleichen von solchen innen platzierten Farben, sollte man lernen, ihre Erscheinung gleichzeitig, d.h. zusammen, zu sehen. Anstatt sie, wie üblich, nacheinander von links nach rechts und rück- und vorwärts zu betrachten, fixiert man seinen Blick inmitten der Vergleichsobjekte – hier im Zentrum der senkrechten Trennung der Hintergrundfarben – und erkennt so unser wirkliches Lesen ihrer Erscheinung. Diese Methode erscheint auch physiologisch richtig, nachdem nicht das Zentrum unserer Retina, sondern seine nahe Umgebung als höchstempfindlich gilt.“

Wie man sich bei Befolgung der Anweisung selbst überzeugen kann, ist die Beobachtung von Albers richtig. Die Erklärung des Phänomens würde ein Physiologe allerdings anders formulieren.

(aus Interaction of Colors, Reproduced by permission of Yale University Press)

## Neuere Entwicklungen

Die bisher geschilderten Vorstellungen über die Informationsverarbeitung im Farbensinn (siehe Konstruktionsmodell **Abb. 3**), d.h.

- die Signaleingabe in der Netzhaut gemäss Dreifarbensystem,
- die Umkodierung für die Weiterleitung in ein Gegenfarbensystem,
- der Übergang in eine geordnete Farbenwelt in der Area V1 des Gehirns,
- die Stabilisierung durch die Farbkonstanz in Area V4

zeigen hierarchisch strukturierte Abläufe, die man als logisch konstruiertes Flussdiagramm interpretieren könnte. Da sie durch einschlägige Beobachtungen und Experimente gut belegt sind, könnte man annehmen, dass nunmehr unser Farbsehen eindeutig geklärt sei.

Allein, seit Mitte des 20. Jahrhunderts beginnt sich ein Paradigmawechsel abzuzeichnen. Neuere Beobachtungen nämlich lassen die Frage aufkommen, ob unser Farbsehen wirklich drei verschiedene Zapfenarten erheischt.

### *Genügen schon zwei Zapfenarten?*

Die ersten Zweifel an der Allgemeingültigkeit der Theorie, wonach es für ein normales Farbsehen dreierlei Zapfen für drei spezifische Wellenlängen braucht, traten 1958 nach den Experimenten von Land auf. Der Amerikaner Edwin Land, der Erfinder der Polaroidkamera, konnte nachweisen, dass bereits zwei verschiedene Wellenlängen ausreichen, um die Empfindung aller Farben auszulösen<sup>32</sup> (siehe **Kasten**: Zweifarben-Experimente).

Darauf gründet die Retinex-Theorie von Land, nach der es nicht spezifische Wellenlängen sind, die eine volle Farbempfindung garantieren, sondern dass diese allein schon durch die Verrechnung zweier Impulse zustande kommen kann.

---

<sup>32</sup> Land hatte Vorgänger – was er damals allerdings noch nicht wusste - indem bereits 1914 Fox und Hicky Patente erhielten für eine Farbfilmtechnik, bei der sie eine volle Farbskala erzeugten, ohne dass entsprechende Pigmente im Filmmaterial existierten. Sie produzierten zwei Schwarz-Weissfilme, von denen sie den einen durch einen Rotfilter, den andern ohne Filter aufnahmen, und diese projizierten sie - wiederum durch Rotfilter und ohne Filter – als alternierende Einzelbilder auf eine Leinwand. Weder dieses Verfahren, noch ein späteres von Anthony Bernardi (1929) erreichten das Publikum, und beide gerieten in Vergessenheit (siehe Francis Bello, An Astonishing New Theory of Color, Fortune, May 1959)

## Die Zweifarbenexperimente von Edwin Land

Land wiederholte 1955 die bahnbrechenden Experimente Maxwells (1861) zur Farbphotographie. Maxwell hatte eine Szene dreimal auf einem Schwarz-Weissfilm fotografiert, und zwar jeweils unter Verwendung eines roten, eines grünen und eines blauen Filters. Die resultierenden schwarz-weißen Diapositive projizierte er mit drei Projektoren auf eine Wand, wiederum durch die entsprechenden roten, grünen und blauen Filter hindurch, worauf das Bild dann wieder in seinen ursprünglichen Farbtönen entstand (**Abb.24**).

Als nun Land diese Experimente erneut durchführte, wurde (zufällig oder absichtlich) einer der drei Projektoren abgedeckt. Danach erschien das Bild, zur grossen Verwunderung, dennoch in einer vollen Farbskala. Als Land dann noch einen weiteren Projektor ausschaltete, wurde das Bild einfarbig.

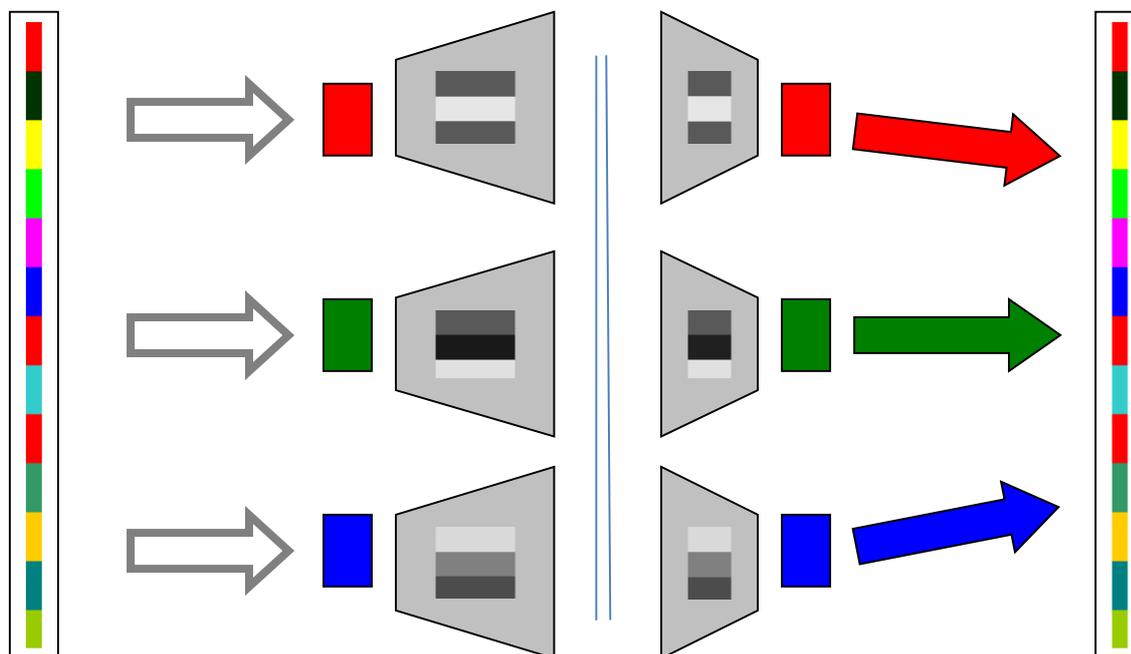
Daraus lässt sich folgern: Mit einem einzigen Projektor erhält man ein monochromes Bild, zwei Projektoren genügen bereits zur Erzeugung vollfarbiger Bilder, und ein dritter Projektor scheint nicht unbedingt nötig zu sein.

Die Fortsetzung der Experimente zeigte, dass man ganz allgemein mit zwei Diapositiven, davon eines aufgenommen durch einen langwelligen Filter, das andere durch einen kurzwelligeren, eine komplette Farbskala erzeugen kann. Dazu reicht es, dass die beiden Wellenlängen sich nur geringfügig unterscheiden. Eine Differenz von lediglich 10 nm im Bereich von Gelb, z.B., kann genügen, um sowohl den Eindruck von Blau, als auch von Grün, Orange, Rot, Braun etc. entstehen zu lassen (**Abb. 25**). Und ähnliches gilt auch für Filter im Blaubereich, etc.

Wenn man für die Experimente Photographien von realen Gegenständen verwendet, so könnte man die Farbwahrnehmung in dem Sinne interpretieren, dass das ICH sich an die originalen Objektfarben „erinnert“ und die abgebildeten Gegenstände entsprechend rein mental einfärbt.

Um solchen Einwänden zu begegnen, benützte Land später rein abstrakte Muster (die er als „Mondrians“ bezeichnete), welche keine Assoziationen zu realen Szenen auslösen. Aber auch bei dieser Versuchsanordnung, bei der das ICH keinerlei Hinweise für eine korrekte Zuordnung erhält, entstand das Muster wieder in seiner vollen Farbskala. Überdies war es bei den Mondrians möglich, die relevanten Parameter bei den erzielten Effekten mittels photometrischer Methoden zu quantifizieren.

Abb. 24



**Objekt** → **Filter** → **Kamera** / **Projektor** → **Filter** → **Bild**

### Maxwell's Experimente

Links: Das farbige Objekt (Säule links) wird durch jeweils einen roten, blauen und grünen Filter auf einen Schwarzweiss-Film aufgenommen.

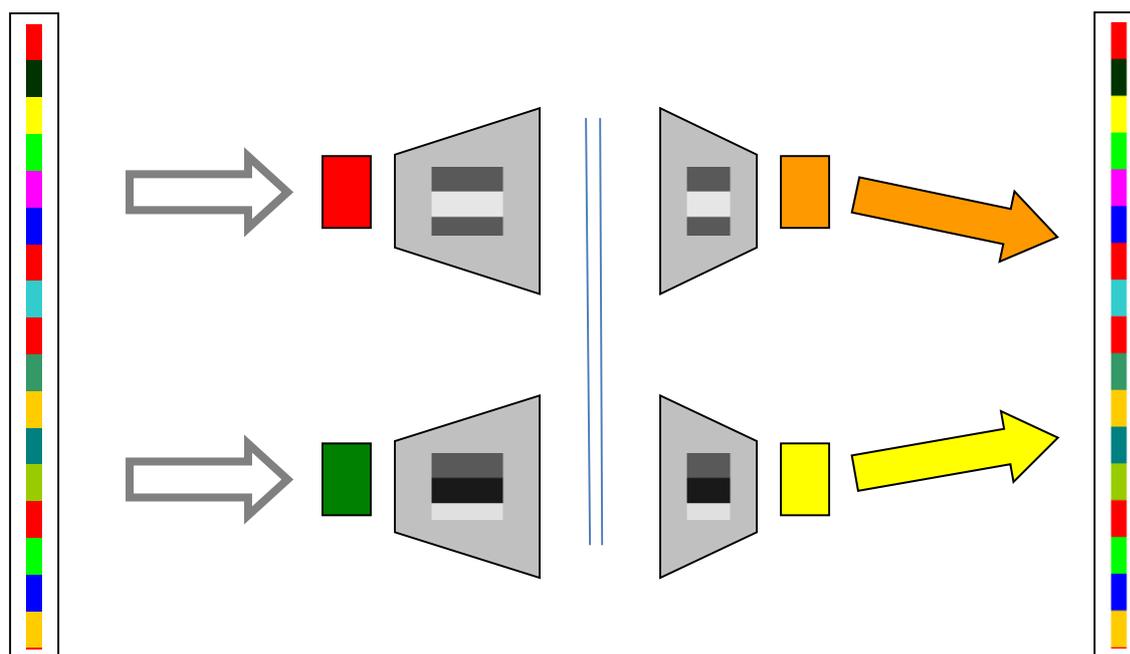
Rechts: Die schwarz-weißen Diapositive werden dann durch die gleichen Filter hindurch auf einen Schirm projiziert, und dabei rekonstruiert sich das ursprüngliche Bild in vollen Farben (Säule rechts).

*Oder genügt bereits eine einzige Zapfenart?*

Weiteres, den gängigen Vorstellungen Widersprechendes, ergab sich aus den Experimenten von Hofer u.a. (2005), denen es gelang, einzelne Zapfen im lebenden menschlichen Auge zu untersuchen und die Pigmente in einzelnen Zellen zu bestimmen<sup>33</sup>.

<sup>33</sup> siehe: Hofer, H., Singer, B., & Williams, D. R. (2005). Different Sensations from Cones with the Same Photopigment. *Journal of Vision*, 5(5), 444-454, <http://journalofvision.org/5/5/5/>, doi:10.1167/5.5.5.

Abb. 25



**Objekt  
Bild**

**Filter Kamera / / Projektor Filter**

### Land's Experiment

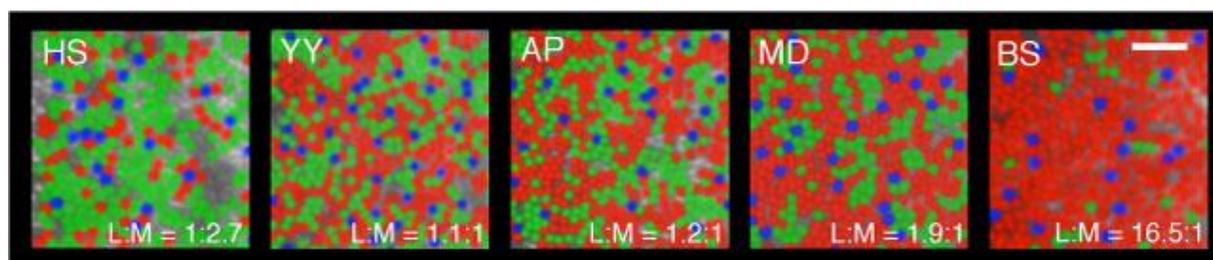
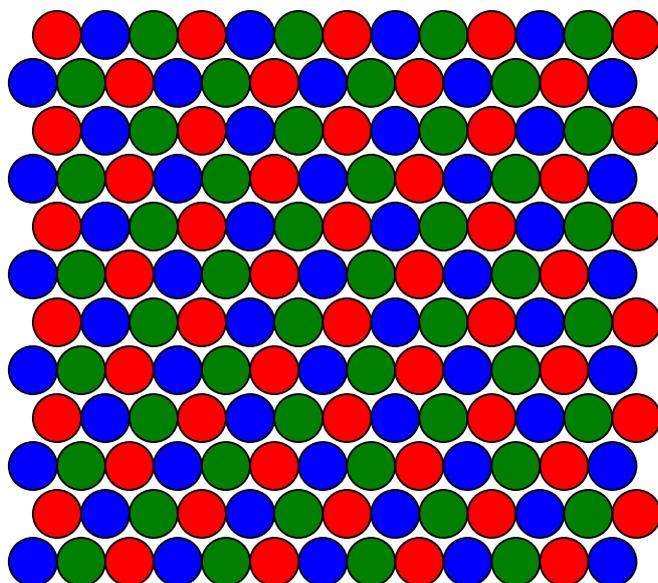
Links: Das Farbbild (Säule links) wird durch einen kurzwelligen (grün) und einen langwelligen Filter (rot) auf einem Schwarzweissfilm fotografiert.

Rechts: Die farblosen Diapositive werden dann durch andersfarbige lang- und kurzwellige Filter projiziert (hier rötliches Gelb und reines Gelb). Auf dem Schirm entsteht wieder ein volles Farbbild (Säule rechts).

Unerwartet war zum einen die topographische Verteilung der Zapfen in der Netzhautmitte. Theoretisch hätte man ein Mosaikmuster erwartet, bei dem die drei Zapfentypen immer regelmässig in Dreiergruppen beieinander liegen. Jedoch zeigte die Analyse der Pigmente in Einzelzellen, dass die Farbrezeptoren in der Netzhautmitte höchst unregelmässig verstreut lagen, und dass in manchen Arealen der eine oder andere Zapfentyp überhaupt fehlte (**Abb.26**).

Was weiterhin auffiel, waren die grossen individuellen Unterschiede bei den verschiedenen Versuchspersonen, indem das Verhältnis von L-Zapfen zu M-Zapfen zwischen 1: 1 und 1:17 variierte(!). Daraus würde man auf Anheb auf Farbsinnstörungen schliessen, aber tatsächlich, so musste man erstaunt zur Kenntnis nehmen, waren mit einer Ausnahme alle Untersuchten normal farbtüchtig. Ausserdem waren unter den Farbnormalen die Variationen in den Verteilungsmustern viel stärker, als zwischen diesen und dem einen farbenblinden Probanden.



**Abb. 26**

### Variationen von Zapfenmustern in der Netzhautmitte

Mosaik der Rezeptorzellen bei fünf verschiedenen Personen mit normalem Farbensinn.

*Ober:* Theoretische Erwartung: Gleichmässige Streuung der Zapfen, analog der Pixel-Verteilung in technischen Geräten.

*Unten:* Die tatsächlich gemessenen Resultate: Dargestellt ist die Lokalisation der Zapfen für langwelliges (rot), mittelwelliges (grün) und kurzwelliges Licht (blau) bei den 5 Probanden. Die Ausschnitte entstammen aus der Netzhautmitte mit ca. 1 Grad Exzentrizität.

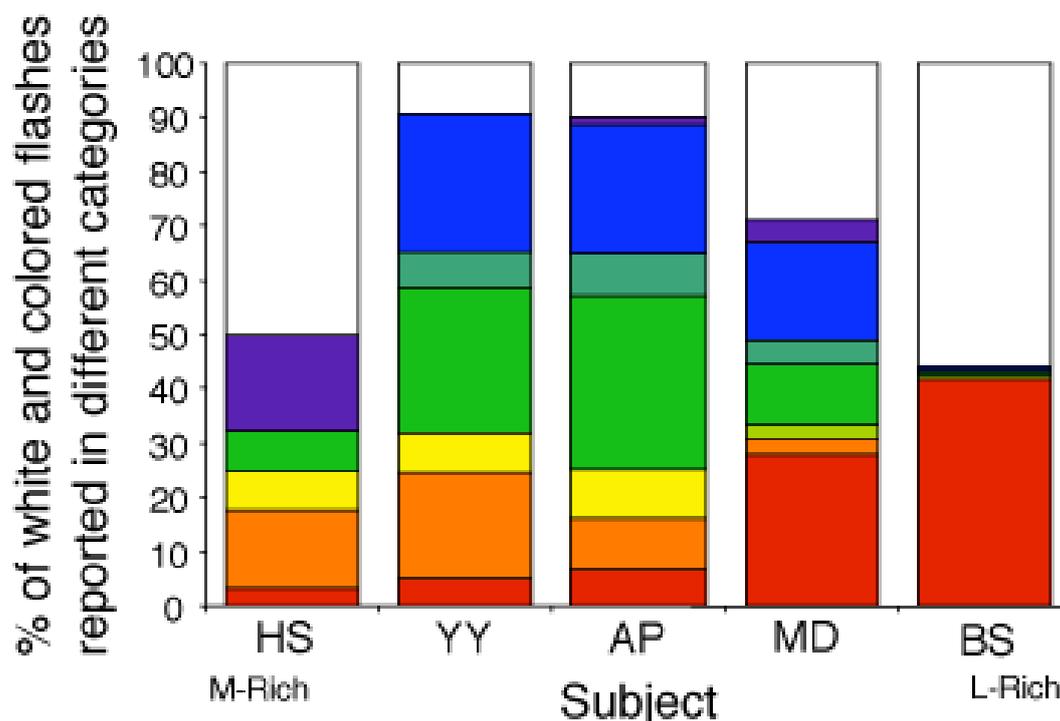
Das Verhältnis zwischen L und M-Zapfen variiert bei den verschiedenen Untersuchten stark, obwohl bei allen der Farbsinn normal ist

Verhältniszahlen für die oben dargestellten Resultate

Proband HS	1:2,7
Proband YY	1:1,1
Proband AP	1:2,1
Proband MD	1:1,9
Proband BS	1:16,5

Die zweite Überraschung war die Reaktion von einzelnen Zapfen auf eine Stimulation mit monochromatischem Licht. Die Reizung eines *einzelnen* Zapfens mit Licht einer *einzig* Wellenlänge löste nämlich verschiedenartige Farbempfindungen aus; und überdies variierte die Palette dieser Farben von Person zu Person (**Abb. 27**). Die Registrierung von Einzelsignalen (ohne Verrechnung mit der Umgebung) widerlegt demnach die Hypothese, dass ein bestimmter Zelltypus stets die gleiche Farbempfindung auslöst, d.h. dass Zapfen wie Wellenanalysatoren funktionieren.

**Abb. 27**



#### Farbempfindung der farbnormalen Personen von Abb. 26

Die Säulen zeigen die Farben, welche die Versuchspersonen subjektiv empfanden, wenn ein einzelner Zapfen mehrmals mit einem kleinen Lichtfleck von 550 nm Wellenlänge (bei der nur L- und M-Zapfen aktiviert werden) beleuchtet wurde. Angabe der Weiss- und Farbempfindungen in Prozenten.

Obwohl jeweils nur Licht einer einzigen Wellenlänge auf den Zapfen traf, gaben die Versuchspersonen an, verschiedene Farben zu sehen.

Gewiss ist es noch zu früh für endgültige Schlüsse. Sollte sich aber bestätigen, dass die einzelnen Zapfen nicht spezifische, sondern multiple Farbempfindungen induzieren, so müsste man manche bisherige Vorstellungen korrigieren. Bringen die Fortschritte der Wissenschaft im 21. Jahrhundert vielleicht die Erkenntnis, dass für ein normales Farbsehen neben dem Dreizapfensystem auch ein Zweizapfen- und gar Einzapfen- System genügen kann?

Es ist vorauszusehen, dass auch unser Bild von Farbenblindheit in den nächsten Dezennien ändern wird. So weisen die neuesten Ergebnisse der Genforschung darauf hin, dass die Vererbung von Farbsinnstörungen komplizierter ist, als bisher angenommen. Ausserdem hat man in den Rezeptoren der Netzhaut Anomalien von Zapfenpigmenten gefunden, die bisher unbekannt waren. Es ist deshalb zu erwarten, dass man in Zukunft auf neue Typen von Farbsinnstörungen stossen wird, deren Symptome mangels geeigneter Tests zurzeit noch nicht erkannt werden.

Wie immer man aber in dieser Hinsicht spekulieren mag: Unsere heutigen Vorstellungen von rezeptorbedingten Farbsinnstörungen basieren darauf, dass normales Farbsehen drei Sehpigmente braucht. Auf dieser Hypothese beruhen alle bisherigen Ansätze zur Entwicklung von Experimenten, Farbsinntests, demographischen Untersuchungen, etc.. Die Dreipigment-Theorie ist heute noch Ausgangspunkt für die genetischen und molekularbiologischen Forschungen, und auf sie beziehen wir uns, wenn wir uns mit der Frage beschäftigen, wie Menschen mit Farbsinnstörungen sehen.

### 3. Wie sehen Farbenblinde?

Wenn mehrere Personen sagen, sie sähen „Rot“, kann niemand wissen, ob sie denselben Farbton sehen. Es ist somit sinnlos, Farbenblindheit verstehen zu wollen, indem man Betroffene fragt: „Welche Farbe sehen Sie?“ Dies – eigentlich ein Grundproblem aller subjektiven Sinnesempfindungen - ist aber nicht die alleinige Ursache dafür, dass Farbenblinde ihr Manko nicht ausdrücken können. Es sind auch physiologische Faktoren, die es verunmöglichen, den Unterschied in der Sehempfindung von Farbenblinden und Normalsichtigen zu verstehen. Die Schwierigkeiten beruhen auf dem Arbeitsprinzip der Nervenzellen. Diese geben keine Signale ab, die „richtig“ oder „falsch“ vermitteln, sondern sie melden nur „ja“ oder „nein“.

Eine übergeordnete Zelle kann nicht die Qualität eines Signals beurteilen, sondern nur, welche Zelle es war, die ihr einen Impuls zuführte<sup>34</sup>. Wenn z.B. eine L-Rezeptorzelle (des Dreifarbensystems) sendet, so weiss die nachfolgende Zelle (im Gegenfarbensystem) nicht, welche Wellenlängen als Eingangssignal wirkten. Sie weiss lediglich, dass sie von einer L-Zelle erregt wurde, und allein das ist es, was sie der nachfolgenden Stufe weitermelden kann. Was wir sehen, repräsentiert demnach nicht einen bestimmten, genau definierten Stimulus. In unserem Gehirn kann dieselbe Sensation durch unterschiedliche Stimulationen im Auge, ausgelöst werden, wobei - und das ist das Entscheidende - das ICH sich dessen in keiner Weise bewusst wird.

---

<sup>34</sup> Ein bekanntes Beispiel dafür, dass das ICH eine unspezifische Stimulation des Auges von einer normalen nicht unterscheiden kann, ist die Empfindung „Licht“ bei einer mechanischen Reizung des Auges (Funkensehen bei Faustschlag).



Daraus folgt, dass im Prinzip auf der Endstufe, dem bewussten ICH, Farbenblinde gleiche Signale erhalten wie Farbnormale. Sie können nicht realisieren, dass die Eingangssignale „falsch“ waren<sup>35</sup>. Dies ist der Grund, dass für Farbenblinde alles so lange normal ist, als es zu keiner Konfrontation mit Normalsichtigen kommt und sie dann feststellen, dass ihre Mitmenschen die Welt anders wahrnehmen.

### **Wie weit kann man Schilderungen von Farbenblinden nachempfinden?**

Wie soll man also Farbenblinde befragen? Auf die Frage, wie sie einen bestimmten Farbton sehen, sind, wie erwähnt, keine brauchbaren Antworten zu erwarten. Ergiebiger sind anekdotische Schilderungen von typischen Konfrontationssituationen, die uns die alltäglichen Schwierigkeiten der Farbenblinden näher bringen. Für eine genauere Erforschung von Farbsinnstörungen sind sie jedoch unzuverlässig. Nur zu leicht kann man sich bei der Interpretation irren, und wie sehr sich sogar erfahrene Fachleute täuschen, beweist die Fehldiagnose beim ersten Entdecker der Farbenblindheit, John Dalton (siehe **Kasten**: Der Fall Dalton).

Wer nach einschlägigen Anzeichen fahndet, muss bei denjenigen Manifestationen der Farbsinnstörungen ansetzen, die Normalsichtige objektiv beobachten können, d.h.

- Verwechseln von Farben,
- Fehler beim Mischen von metameren Farben
- Zeichen des gesteigerten Simultankontrastes.

Die Suche nach solchen Manifestationen ist aber keineswegs so einfach, wie man vermuten möchte. Das Problem besteht darin, dass bei Farbenblinden die Wahrnehmungsstörungen keineswegs konstant sind, sondern den Regeln statistischer Verteilungen folgen. Verwechslung impliziert, dass eine Farbe einmal richtig, ein anderes Mal falsch, dann vielleicht sieben Mal richtig und dreimal falsch gesehen wird. Und wenn man auch eruieren kann, in welchen Bereichen des Farbkreises die Verwechslungen stattfinden, - z.B. Rot-Grün (s. **Abb.** 20) – so lässt sich im Einzelfall nicht vorhersagen, ob und wie sich ein Betroffener in einer gegebenen Situation irrt (s. **Abb.**31). Nur zu leicht kommen deshalb die Farbenblinden in den Verdacht der Unzuverlässigkeit<sup>36</sup>.

---

<sup>35</sup> Dass auf der Endstufe immer das „richtige“ Signal ankommt, auch wenn das Eingangssignal nicht korrekt eingegeben wurde, lässt sich – cum grano salis - mit einem Telefon vergleichen, das auch dann „richtig“ läutet, wenn der Anrufer „falsch verbunden“ ist.

<sup>36</sup> Sogar unter denjenigen, die Farbsinntests durchführen, sind sich viele der statistischen Natur der Fehlangaben nicht bewusst. So gibt es immer wieder Berichte, dass Farbenblinde von ihren Untersuchern getadelt wurden, wenn bei Wiederholungen von Tests jedes Mal ein anderes Resultat herauskam.

### Der Fall Dalton

John Dalton (1766- 1844), dem Vater der chemischen Atomtheorie, verdanken wir eine der ersten Beschreibungen von Farbenblindheit, nämlich seiner eigenen. Diese hatte sich sowohl in Fehlinterpretationen von metameren Farben als auch von Farbkontrasten manifestiert:

*„Vom Jahre 1790 an zwang mich das gelegentliche Studium der Botanik, mehr als bisher auf Farben zu achten. Bezüglich der Farben weiß, gelb oder grün stimmte ich gerne dem entsprechenden Begriff zu. Doch Blau, Purpur, Rosa und Karmesin konnte ich schlecht unterscheiden, und nach meiner Vorstellung hätte man sie alle als Blau bezeichnen müssen. Ich befragte andere Leute, ob eine Blume blau oder rosa wäre, doch wurde dies allgemein als Scherzfrage betrachtet. Gleichwohl kam ich nie auf die Idee, einen abnormen Gesichtssinn zu besitzen, bis ich zufällig die Farben der Blüten von Geranium Zonale bei Kerzenlicht beobachtete. Es war Herbst 1792. Die Blume war rosa, doch mir erschien sie himmelblau. Überraschenderweise jedoch änderte sich die Farbe im Kerzenlicht und enthielt dann kein Blau mehr, sondern nur, was ich Rot nannte, also eine Farbe im scharfen Gegensatz zu Blau. Ich zweifelte damals nicht, dass die Änderung der Farbe allen gleich erschien und forderte einige meiner Freunde auf, das Phänomen zu beobachten. Überraschenderweise stimmten sie alle darin überein, dass die Farbe praktisch genau so erschien wie bei Tageslicht, nur mein Bruder sah sie im selben Farbton wie ich. Die Beobachtung bewies eindeutig, dass mein Gesichtssinn nicht gleich demjenigen anderer Personen ist“. (Leicht gekürzt aus: "Memoirs of the Manchester Literary and Philosophical Society", Bd.5/1798)*

Dalton erklärte sich damals den Zustand nicht als eine Besonderheit der Wahrnehmung (d.h. der Innenwelt), sondern stellte vielmehr die Hypothese auf, dass der Glaskörper oder die Linse in seinen Augen blau gefärbt sei, (d.h. dass es sich um eine Störung der Optik - der Aussenwelt - handle).

Er ordnete testamentarisch an, seine Augen seien nach dem Tode autoptisch zu untersuchen. Dies geschah, allein die Hypothese einer Blaufärbung der optischen Teile des Auges bestätigte sich nicht. Glücklicherweise jedoch wurden die Augen nicht beerdigt, sondern vorerst in getrocknetem Zustand aufbewahrt.

Später, als man die Farbsinnstörungen schon genauer erforscht hatte, schlossen Wissenschaftler auf Grund der Beschreibungen Daltons, dass seine Störung eine Protanopie (Rotblindheit) gewesen sei. Neuerdings jedoch, als eine moderne Methode (Polymerase-Ketten-Reaktion) erlaubte, die aus den Augenresten gewonnene DNA zu analysieren, musste man allerdings zur Kenntnis nehmen, dass bei Dalton nicht das L- Gen gefehlt hatte, sondern vielmehr das Gen für das M-Pigment.

Somit war also die Diagnose aufgrund einer Analyse der subjektiven Symptome falsch gewesen. Tatsächlich war Daltons Farbsinnstörung nicht eine Rot-, sondern eine Grünblindheit.

## Was besagen Farbsinntests?

Die üblichen Farbsinntests können nicht vermitteln, wie die Welt für Farbenblinde aussieht. Ihr Ziel beschränkt sich auf die Triage (d.h. *Aufdeckung* der Fälle von Farbsinnstörungen in der Gesamtbevölkerung) und die Diagnose (*Unterscheidung* der verschiedenen Formen von Farbenblindheit).

Es gibt Tests für folgende Manifestationen der Farbenblindheit:

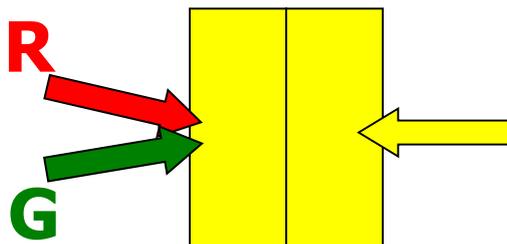
- Für Fehler beim *Mischen* von metameren Farben:
  - Farbmisch-apparate (z.B. Anomaloskop, **Abb. 28**).
- Für Fehler durch *Verwechslung* von Farbtönen:
  - Bildung von systematischen Farbreihen (Farnsworth-Test, **Abb. 29**),
  - Zusammenfassung von Feldern gleicher Farbtönung zu einer Gesamtfigur (z.B. Farbtafeln nach Ishihara, **Abb. 30**).

### Abb. 28



673 nm ↻

535 nm ↻



Y 589 nm

$$R + G = Y$$

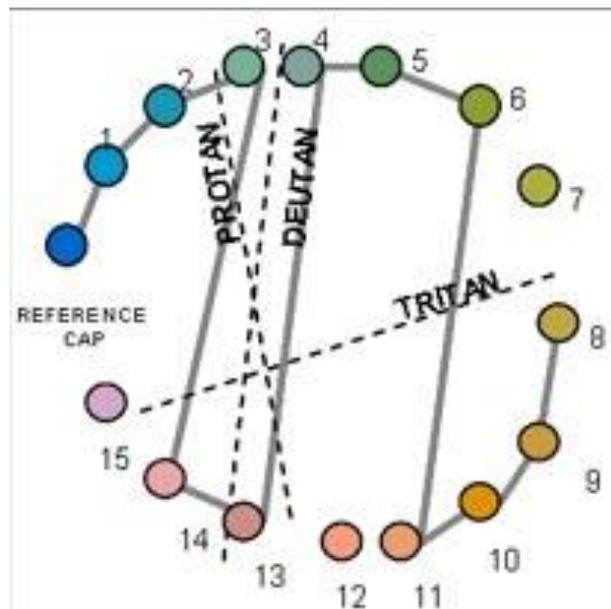
#### Anomaloskop

Oben: Abbildung eines Apparates: *links* das Okular zur Beobachtung der Testfelder, *rechts* die Drehschalter zum Einstellen der Farben und der Helligkeit

Unten: Die Testfelder: Die zu Untersuchenden müssen durch Regulieren der Drehschalter die Farben Grün (Wellenlänge 535 nm) und Rot (673 nm) so dosieren, dass im linken Testfeld ein metamerer Gelb erscheint mit dem genau gleichen Farbton wie das monochromatische Standardgelb im rechten Feld (589 nm)



Abb. 29

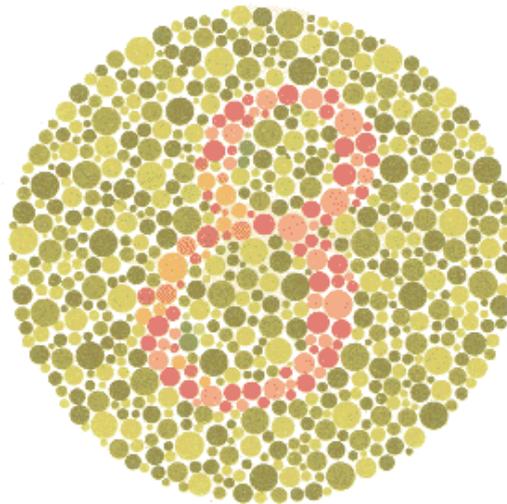
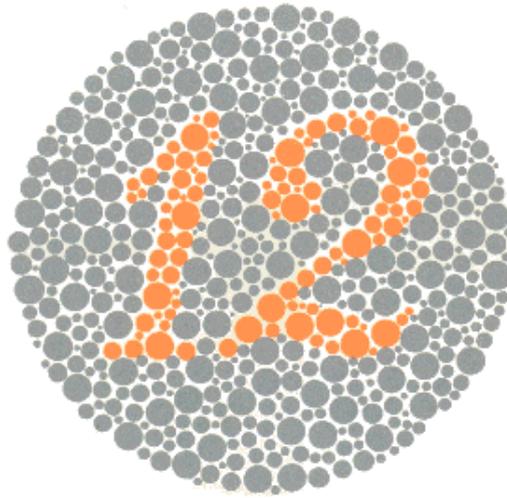


### Farnsworth-Test

Den Versuchspersonen werden Farbkнопfe in genau abgestimmten Tönen vorgelegt in einem Gemisch, aus dem sie die Knöpfe zu einer logischen Reihenfolge ordnen sollen (*oben: Die Serie der Knöpfe, geordnet in nach ihren Farbtönen*). Die Aufgabe besteht demnach darin, einem vorgegebenen Farbkнопf als Nachbarn den Farbkнопf mit dem ähnlichsten Ton beizufügen. So entsteht bei Normalen eine Reihe, die dem Farbkreis folgt (*Unten: Die Farbtonreihe mit den Achsen der Verwechslungen, aus denen man die Diagnose ableiten kann*).

Eine interaktive Simulation des Testes kann auf dem Internet abgerufen werden unter: <http://www.univie.ac.at/Vergl-Physiologie/colortest/> [2008]

## Abb. 30



### Farbtafeln zur Untersuchung der Farbenblindheit nach Ishihara

Oben: Test-Tafel zur vorbereitenden Instruktion der Untersuchten: Bei dieser Art von Farbtönen wird die Zahl 12 von allen richtig gesehen.

Unten: Eine der 38 Testfiguren: Normalsichtige erkennen die Zahl als 8, Rot-Grünblinde hingegen als 3

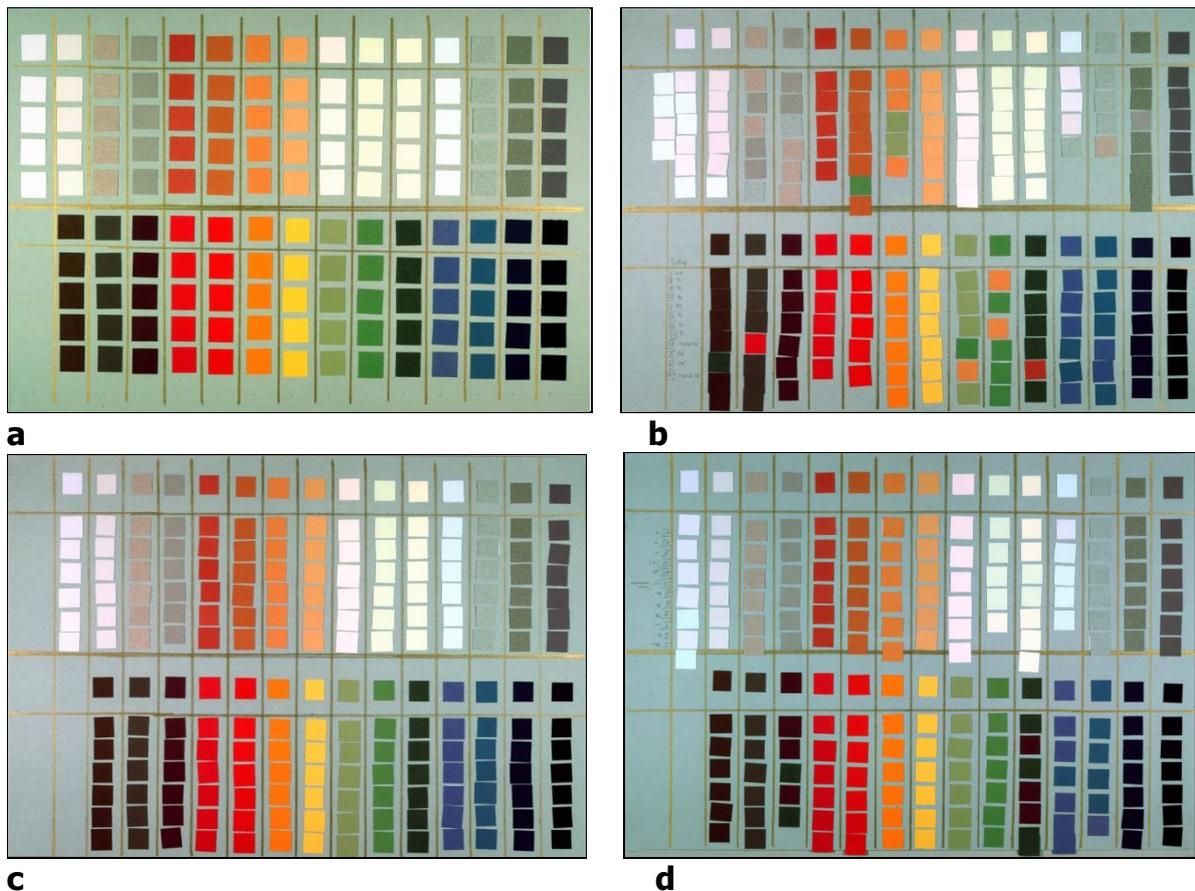
Beachte: Am Bildschirm eines Computers erscheinen die Farben unter Umständen nicht korrekt, und eine genaue Diagnose ist nur mit den originalen gedruckten Farbtafeln möglich

Die frühesten Farbtafeln stammen von Stilling (1875). Damals waren die Kenntnisse über Farbsinnstörungen noch lückenhaft und eine Standardisierung in einer Zeit, in der die Beleuchtungsmöglichkeiten mit Kunstlicht noch prekär waren, schwierig. Die Tafeln, die Ishihara 1917 präsentierte, brachten wesentliche Verbesserungen

Der volle Test kann auf dem Internet eingesehen werden unter:

<http://colorvisiontesting.com/ishihara.htm> [2013]

Abb. 31



### Test zur Demonstration der statischen Natur von Farbuordnungen bei Farbenblinden<sup>37</sup>

Den Testpersonen wurde in den kleinen Feldern der obersten Reihe jeweils eine Reihe von Farbpapieren vorgegeben. Ihre Aufgabe bestand darin, diesen in den darunter stehenden Kolonnen gleichfarbige Papierchen zuzuordnen.

- Farbnormaler: Fehlerlose Zuordnung, alle Farbpapiere stehen in der richtigen Kolonne
- Farbsinngestörter (im Ishihara-Test alle Tafeln falsch gesehen): Hier: deutliche Fehler im Orange-Grün-Bereich, eindrucklich aber auch bei den entsättigten Farben  
Vorgeschichte: Als Kind wollte die Lehrerin den Knaben in die Sonderschule schicken, weil er die Kühe grün und die Wiesen rot gemalt hatte. Er kaufte sich darauf Farbstifte mit Nummernbezeichnungen, lernte diese auswendig und schloss die Normalschule erfolgreich ab. Er wurde später höchster Magistrat seiner Stadt.
- Farbsinngestörter Augenarzt (Ishihara-Test und Farnsworth-test ergeben die Diagnose einer starken Deuteranomalie): Entgegen den Erwartungen keine Fehler bei der Zuordnung
- Farbsinngestörter (im Ishihara-Test alle Tafeln falsch gesehen): Nur vereinzelte Fehler bei den entsättigten Farben im Hellgrün- und Hellblaubereich. Vorgeschichte: Die Störung wurde entdeckt bei Irrtümern in der Kleiderwahl. Als Biologielehrer ordnete der Betroffene die Kreiden nach den Bezeichnungen auf der Schachtel immer in einer bestimmten Reihenfolge, damit er beim Zeichnen auf der Wandtafel jeweils die richtige Farbe fand

<sup>37</sup> Beachte: Dieser „Eisner-Test“ ist kein Mittel zur *Diagnose* von Farbsinnstörungen, sondern dient zur Darstellung der *Häufigkeit* von Verwechslungen.

Um möglichst alle Fälle von Farbsinnsanomalien aufdecken zu können, sollten die diagnostischen Tests so angelegt werden, dass sie bereits auf minimale Störungen ansprechen. Deshalb müssen alle Hinweise aus der visuellen Umwelt unterdrückt werden, die es Farbenblinden ermöglichen könnten, ihre Fehler bei der Interpretation von Farben zu kompensieren.

Voraussetzungen für zuverlässige Testanordnungen sind:

- Testobjekte mit aquilumineszenten Farben, d.h. Farbtönen gleicher Helligkeit (→ Vermeiden einer Ablenkung durch Helligkeitsunterschiede),
- Testmarken von definierten, kleinen Durchmessern (→ Ausschliessen von Einflüssen der Verarbeitungsprozesse in der peripheren, farbenblinden Netzhaut),
- Einhaltung strikt standardisierter Beleuchtungsbedingungen (→ Vermeiden des Einflusses der Farbkonstanz),
- Darbietung auf genau definiertem Hintergrund hinsichtlich Farben und Helligkeiten (→ Umgehen des Simultankontrasts),
- kurze Präsentationszeiten (→ Vermeiden von visuellen Ermüdungserscheinungen durch Sukzessivkontraste).

Alle diagnostischen Tests sind experimentelle Anordnungen und somit Kunstprodukte. Sie sagen nichts darüber aus, wie Farbenblinde unter normalen Umweltbedingungen funktionieren. Im Alltag ist die Farbwahrnehmung wesentlich besser, als es die diagnostischen Tests vermuten lassen, denn zum einen unterstützen die ob genannten fünf Faktoren die Identifikation von farbigen Objekten (weshalb man sie ja bei Tests vermeiden muss), zum andern sehen die Farbenblinden wegen der statistischen Natur der Fehlleistungen immer wieder einmal „richtig“ (**Abb. 31**). Daraus folgt, dass Prognosen von Versagen und Bewährung im praktischen Leben auf Grund der standardisierten Tests kaum möglich sind. Will man die Tauglichkeit von Farbenblinden in der Praxis prüfen, so muss man Testanordnungen konzipieren, die spezifisch auf die zu lösenden Aufgaben ausgerichtet sind<sup>38</sup>.

### **Der Einsatz des Computers bei Farbsinnstörungen**

Als Computer verfügbar wurden, lag es auf der Hand, ihre Eignung zur Lösung von Problemen im Bereich der Farbsinnstörungen zu prüfen.

Die eine Frage war, ob Computer dazu taugen, die Testanordnungen zur Prüfung auf Farbenblindheit zu vereinfachen. Man hatte sich erhofft, bei den Farbmischtests auf die komplizierten und teuren Anomaloskope verzichten, und die Farben am Bildschirm zu mischen können.

Das Prinzip des Anomaloskops besteht darin, dass den Untersuchten ein Testfeld mit Licht aus monochromatischem Gelb angeboten wird. Ihre Aufgabe besteht darin, in einem zweiten Testfeld mittels Stellschrauben den genau gleichen Gelbton aus monochromatischen Lichtern in Rot und in Grün, d.h.

---

<sup>38</sup> Tests für Verkehrstauglichkeit, z.B., sollten anders durchgeführt werden als solche zur Selektion von Lehrlingen im Druckereigewerbe. Über die Problematik von Farbtests zur Tauglichkeitsprüfung für Astronauten siehe [http://www.sotos.com/writings/deutan\\_mission\\_specialists.pdf](http://www.sotos.com/writings/deutan_mission_specialists.pdf) [2011]

metamer, zusammenzumischen (siehe **Abb. 28**). Diese Aufgabe wäre zwar am Computer mit Reglern leicht zu bewerkstelligen, aber solchen Versuchen liegt ein Überlegungsfehler zugrunde: Auf dem Bildschirm kann man nämlich ein gelbes Farbfeld nie monochromatisch erzeugen, sondern einzig und allein als Metamer von Rot und Grün. Man vergleicht hier also zwei gleiche metamere Felder miteinander, was dem Sinn des Testes zuwider läuft. Auch zur Imitation derjenigen Farbsinntests, bei denen die Probanden Flecken aus Farbpigmenten ordnen müssen (siehe **Abb. 29** und **30**), eignen sich Computer nicht, weil sich bei ihnen die Farbtöne nicht genügend präzise abstimmen lassen und jeder Bildschirm andere Resultate liefert<sup>39</sup>).

Noch interessanter war die Frage, ob man die Art und Weise, wie Farbenblinde sehen, mit Computern simulieren könne. Man stellte sich vor, dass sich die Farbskala des Computers mittels Verrechnungsprogrammen so mit den Lichtempfindlichkeitskurven der Zapfen, siehe **Abb. 6**) verstellen liesse, dass der Bildschirm den Seheindruck bei verschiedenen Farbsinnstörungen wiedergibt<sup>40</sup>. Aber auch dies beruht auf einem Überlegungsfehler: Von solchen Programmen wären nämlich nur dann verlässliche Resultate zu erwarten, wenn die Eingangssignale Bit für Bit weitergeleitet würden (gemäss Reproduktionsmodell, siehe **Abb. 2**). Unser visueller Verarbeitungsprozess jedoch, der die Signale umkodiert und mit dem Gesamtkontext verrechnet, lässt sich mittels Computern gegenwärtig nicht imitieren<sup>41</sup>.

### Hat Farbenblindheit auch Vorteile?

Die Tatsache, dass die Farbsinngestörten im Laufe der Evolution nicht eliminiert worden sind, weist darauf hin, dass Farbenblindheit kein existenzgefährdender Nachteil ist. Ja, man kann sich sogar die Frage stellen, ob sie nicht in bestimmten Situationen sogar von Vorteil sein könnte.

Wenn Farbenblinde auch in mancher Hinsicht weniger präzise sehen als Normalsichtige, sehen sie in anderer Hinsicht auch besser. Sie nehmen Dinge nicht wahr, die Farbnormale sehen, sehen demgegenüber aber auch Dinge, die andere nicht wahrnehmen. So können die Farbsinngestörten z.B. im Bereich der metameren Farben manche Farbtöne unterscheiden, die Normalsichtige als identisch empfinden. Möglicherweise haben sie auch ein besseres Unterscheidungsvermögen von Kontrasten, dank der Verstärkung des Simultankontrastes.

Bei gewissen Aufgaben sind demnach Farbsinngestörte den anderen überlegen. Einige Beispiele aus der Praxis:

---

<sup>39</sup> Ein Computerphysiker, Spezialist für Farbprobleme, selber jedoch farbenblind, schreibt: „Da ich mit Farben quasi "mathematisch" und nicht visuell umgehe, d.h. synthetische Bilder durch optische Simulation mit dem Rechner generiere, sollte das Resultat "korrekt" sein. Anders ist es sicherlich, wenn ich beispielsweise PowerPoint-Folien farblich gestalte. Dabei könnte es tatsächlich vorkommen, dass diese bei mir einen anderen Eindruck als bei "Normalsichtigen" erzeugen". (Persönliche Mitteilung von Heinrich Müller, Universität Bern)

<sup>40</sup> Beispiele lassen sich auf dem Internet abrufen unter Suchbegriff: „Color deficiency“

<sup>41</sup> Interessanterweise ist jedoch der Gebrauch von Computern für die ob genannten Aufgaben nach wie vor weit verbreitet ....

- Farbsinngestörte wurden früher in Webereien neben Normalsichtigen als Kontrolleure eingesetzt, da sich durch die Kombination verschiedener Farbsinne die Zuverlässigkeit beim Entdecken von Webfehlern steigern liess<sup>42</sup>.
- Farbenblinde erkennen, wie neuere Untersuchungen mit Farbttests zeigen, diskrete Variationen im Bereich der Farbe Khaki besser als Normalsichtige<sup>43</sup>.
- Farbenblinde sind manchmal im Vorteil, wenn es um das Aufdecken von Gemäldefälschungen geht.
- Farbenblinde Mediziner, deren Störungstyp feine Farbdifferenzen von Hauterkrankungen verstärkt, eignen sich als Dermatologen.
- Farbsinngestörte Chirurgen fühlen sich in ihrer Arbeit nicht behindert und geben an, gewisse Gewebeunterschiede besser unterscheiden, feine Sickerblutungen besser erkennen und deren Quellen schneller finden zu können.
- Es gibt sogar farbenblinde Augenärzte, die offenbar, im Vergleich zu ihren normalsichtigen Kollegen, beim Untersuchen des rotfarbigen hinteren Augenabschnittes („Augenhintergrund“) Blutungen und andere Details besser sehen.
- Farbenblinde Späher und Flugbeobachter berichten, dass sie feindliche Tarnungen besser entlarven können und dass sie im Krieg speziell dafür eingesetzt worden seien<sup>44</sup>.

Man könnte sich etwa vorstellen, dass in frühen menschlichen Gesellschaften die farbenblinden Männer vielleicht als Jäger bei der Enttarnung von Wildtieren im Vorteil waren, während die Farbtüchtigen eher als Sammler von farbigen Früchten taugten.

Ja, es stellt sich sogar die Frage, ob die Bezeichnungen Farben*blindheit*, Farbsinn*störungen*, Farbsinn*defizit*, Farbsinn*schwäche* mit ihrer negativen Konnotation überhaupt angebracht sind. Sollte man nicht eher von Farbsinn*varianten* sprechen? Von Varianten, die auf der einen Seite wohl Defizite, auf der andern aber auch Vorzüge aufweisen?

Wie dem auch sei, bevor das Phänomen der Farbenblindheit im 19. Jahrhundert entdeckt worden war, konnte man weder ihre Nachteile noch ihre Vorteile kennen. Dass man bei den Betroffenen damals nichts Abnormes registrierte, ist wohl darauf zurückzuführen, dass vor dem technischen Zeitalter die Nachteile der Farbsinnstörungen kaum praktisches Gewicht hatten. Sie

---

<sup>42</sup> Persönliche Mitteilung Prof. André Roth

<sup>43</sup> Bosten J., et al. Current Biology, 15. R950 - R952 (2005).

<sup>44</sup> Reglemente zum Thema: [http://www.sotos.com/writings/deutan\\_mission\\_specialists.pdf](http://www.sotos.com/writings/deutan_mission_specialists.pdf) [2011] page 38.

Beispiel einer privaten Beschreibung: <http://signaleer.blogspot.com/2006/02/color-blindness-benefits.htm> [2011]

„I'm red-green colorblind..... I have little concept of Purple, for example and tend to see either blue or red. What you call red I often see as brown. The brown t-shirt that is part of my uniform, I see as green. And US military camouflage nets on their woodland side, in comparison to natural foliage, I see as orange.“

wirkten sich erst dann aus, als sich die Konfrontationssituationen im Alltag zu häufen begannen, d.h. seit der Einführung von modernen Färbetechniken, von standardisierten Farbproduktionsverfahren, von Verkehrssignalen, von Leuchtdioden in Kontrollpanels, etc.<sup>45</sup>.

Und erst seit dann konnte sich auch die Frage nach ihrem Einfluss auf die Kunst stellen.

#### 4. Wie wirkt sich Farbenblindheit auf die Malerei aus?

Wenn es Farbenblinden möglich ist, die Umwelt als normal zu empfinden, so gilt dies selbstverständlich auch für Maler, und zwar sowohl für das, was sie sehen, als auch für das, was sie malen<sup>46</sup>. Zu Konfrontationssituationen werden ihre Bilder erst dann, wenn sie von Normalsichtigen betrachtet werden. Und damit stellt sich die Frage: Können Farbnormale beim Anblick von Bildern beurteilen, ob ihre Schöpfer farbenblind waren? Und falls ja, wie unterscheiden sie deren Bilder von denjenigen der normalsichtigen Maler?

Wer Antworten in der Kunstgeschichte sucht, muss bedenken, dass die kritische Epoche, d.h. der Zeitabschnitt, in dem man einschlägige Hinweise finden könnte, kurz ist.

*Vor* der kritischen Epoche liegt eine Zeit, in welcher die Bilder weniger nach der Realität, als nach festgelegten Regeln gemalt wurden. Farben wurden weniger in abstrakten Begriffen, als nach ihrem Pigmentmaterial benannt. Jeder Mitarbeiter einer Malerwerkstatt – wie immer er auch die Farben wahrnahm – wusste, dass der Mantel der heiligen Maria in teurem Ultramarin gemalt werden musste, derjenige eines Königs in Karmin, ein anderer in Safrangelb, etc.. Die Wahl geschah auf Grund der Bezeichnungen von Farbmineralien. Eine allfällige Farbsinnstörung hätte dabei kaum Einfluss gehabt und wäre nicht aufgefallen.

In der Epoche *danach*, in der Moderne, war in der Malerei ein direkter Bezug zur visuellen Wirklichkeit nicht mehr gesucht. Künstlerische Absicht war die Befriedigung emotioneller Bedürfnisse, und unter diesem Gesichtspunkt hat jede Farbe und Form irgendeine psychische Wirkung. Es gibt keinen Massstab mehr für die Beurteilung von geplanter und ungeplanter Farbgebung, und so lässt sich kaum eruieren, wie weit beabsichtigte und erzielte Effekte übereinstimmen.

Ausserdem wird der kritische Zeitabschnitt, in dem man von der Farbgebung auf Farbsinnstörungen schliessen könnte, durch zwei weitere Faktoren begrenzt: Zum einen muss das Phänomen der Farbenblindheit bereits entdeckt und erforscht worden sein (siehe **Kasten** Dalton). Zum andern muss ein Zeitgeist herrschen, der von den Künstlern fordert, dass sie eine gesehene

---

<sup>45</sup>Bei farbenblinden Frauen konnten die praktischen Probleme schon früher störend wirken, beim Arbeiten mit Textilien (Fäden, Knöpfe) oder in der Küche. Allerdings ist, wie schon erwähnt, Farbenblindheit bei Frauen selten.

<sup>46</sup> Arthur Linkzs formulierte dies in seinem Buch "An Essay on Color Vision" treffend: "Color-blind people will never make mistakes in their mistakes"

Realität abbilden, d.h. dass sie nicht mehr nach kulturell vorgegebenen Vorstellungen malen, sondern nach Augenmass - und dass das Publikum für dieses Augenmass höchste Präzision fordert<sup>47</sup>.

Damit stellt sich die Frage, wie das Augenmass bei den Farbenblinden gestört ist. Bei Malern werden die Probleme der Farbsinngestörten insofern akzentuiert, als die Fehler bei metameren Farben nicht nur bei deren *Wahrnehmung*, sondern auch bei ihrer *Wiedergabe* auftreten, d.h. sich verdoppeln. Erschwerend wirkt sich dabei aus, dass bei den metameren Farben, mit denen sie malen, die Wellenlängen nicht gleich zusammengesetzt sind wie bei den metameren Farben, die sie in der Natur sehen (**Abb.** 37a). Daraus folgt, dass sich farbenblinde Künstler das eine Mal beim Anblick des Bildmotivs und das andere Mal beim Mischen der Farben auf der Palette irren können. Auf welche Art sich solche Fehler manifestieren, lässt sich jedoch nicht voraussagen. Bei der Farbauswahl können die Maler manchmal „Richtig“ und manchmal „Falsch“ treffen, aber wie oft sie das eine oder das andere tun, ist nicht prognostizierbar.

Auch die gesteigerten Simultankontraste können zu Störfaktoren werden. Beim Malen mit Pigmentfarben kann sich bei jedem neuen Farbauftrag wegen neuen Kontrasten das subjektive Erscheinungsbild von benachbarten Farbwerten ändern. Dies betrifft sowohl dasjenige der bereits applizierten als auch dasjenige der zu applizierenden Farbpigmente, und daraus folgt, dass für die farbenblinden Maler während und nach jedem Pinselstrich alles wieder anders sein kann - beachte: ohne dass sie dessen gewahr werden.

Wie reagieren nun farbenblinde Maler auf diese Schwierigkeiten? Solange sie von ihrer Farbsinnstörung nichts wissen, gibt es natürlich auch keinen Grund zu einer Reaktion. Die Frage stellt sich erst in dem Moment, in dem sie sich ihres gestörten Farbsinns bewusst werden. Sobald sie wissen, dass sie sich nicht mehr auf ihre Unterscheidungsfähigkeit zwischen "richtig" und „falsch“ verlassen können, verlieren sie das Vertrauen in ihre eigene Farbgebung. Versuchen sie dann - in Kenntnis eines Mankos, das sie selbst nicht verstehen (können) und sich von anderen erklären lassen müssen - ihre Farbwahl den vermuteten Fehlermöglichkeiten anzupassen? Und wenn ja, wie?

Wenn die Maler versuchen, die *Verwechslung* von metameren Farben zu minimieren, wäre zu erwarten, dass sie die leuchtenden reinen Grundfarben des Spektrums bevorzugen, weil sie sich dann sicherer fühlen als bei entsättigten Farbtönen<sup>48</sup>. Demgegenüber würden sie zur Vermeidung der Störungen durch gesteigerte *Simultankontraste* eher zu blässlichen, kontrastarmen Farben tendieren, bei welchen die Kontrastverstärkungen weniger wirksam werden.

---

<sup>47</sup> Paradox: In der Zeit, in der es Bilder gab, in denen man die Farbenblindheit von Malern hätte vermuten können, kannte man in der Öffentlichkeit die Farbenblindheit noch nicht. Und als man diese dann kannte, liess der Stil der Maler keine diesbezüglichen Rückschlüsse mehr zu...

<sup>48</sup>Die entsättigten Farben sind diejenigen mit der höchsten Verwechslungsgefahr und werden deshalb bei den Tests zur Entdeckung von Farbenblindheit benutzt (siehe **Abb.** 20 und 29).

So stehen farbenblinde Maler vor einem Dilemma. Kann man dann voraussagen, wie sie entscheiden werden? Der statistische Charakter von Farbverwechslungen einesteils und die Unsicherheit in der Kontrasteinschätzung andernteils machen systematische Einschätzungen der Farbgestaltung bei farbenblinden Malern unmöglich. Bestimmt aber darf man den - wohl durch Wortanalogie induzierten - Schluss als falsch bezeichnen, dass bei einer Farbsinn*schwäche* immer die Wahl *schwacher* Farbtöne bevorzugt wird.

Voraussagen sind offensichtlich unmöglich. Aber kann man, zumindest im Nachhinein, aus vorhandenen Werken Rückschlüsse ziehen? Statt langer theoretischer Erwägungen soll hier ein Quiz den Lesern ermöglichen, die Frage selbst zu beantworten. Gezeigt wird eine Serie von Bildern farbenblinder und farbnormaler Maler (**Abb. 32**) mit der Frage: Kann man allein auf Grund der Farbgestaltung feststellen, welche Bilder von den ersteren und welche von den letzteren stammen?

## Abb. 32

### Bilder farbnormaler und farbenblinder Maler

**Frage:** Welche der unten abgebildeten Bilder stammen von farbenblinden Künstlern?  
Lösung am Ende der Serie



**A**



**B**



**C**



**D**



**E**



**F**



**G**



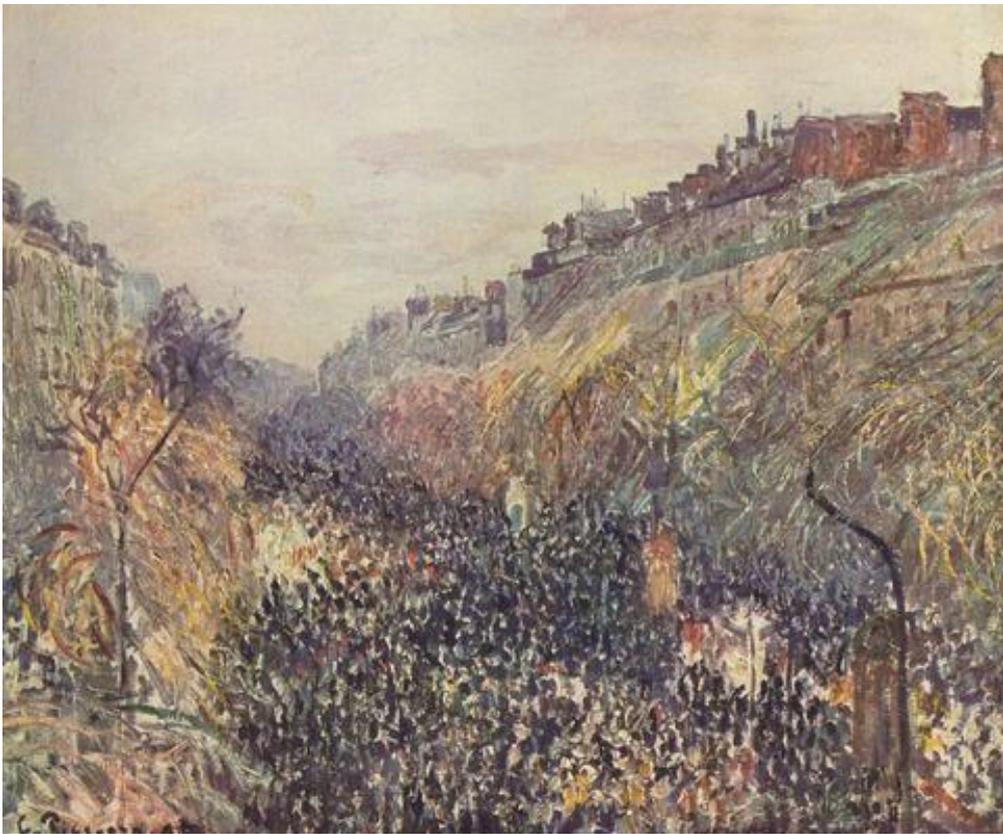
**H**



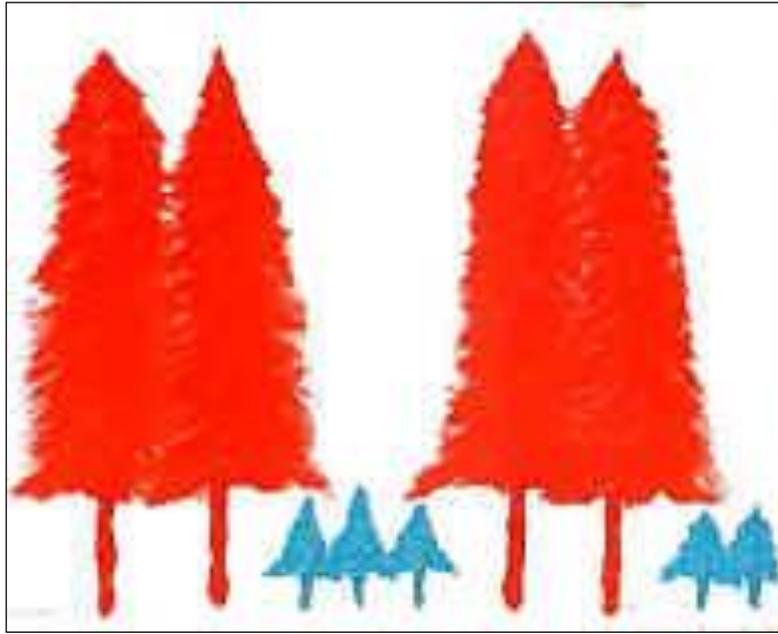
**I**



**J**



**K**



**L**



**M**



**N**



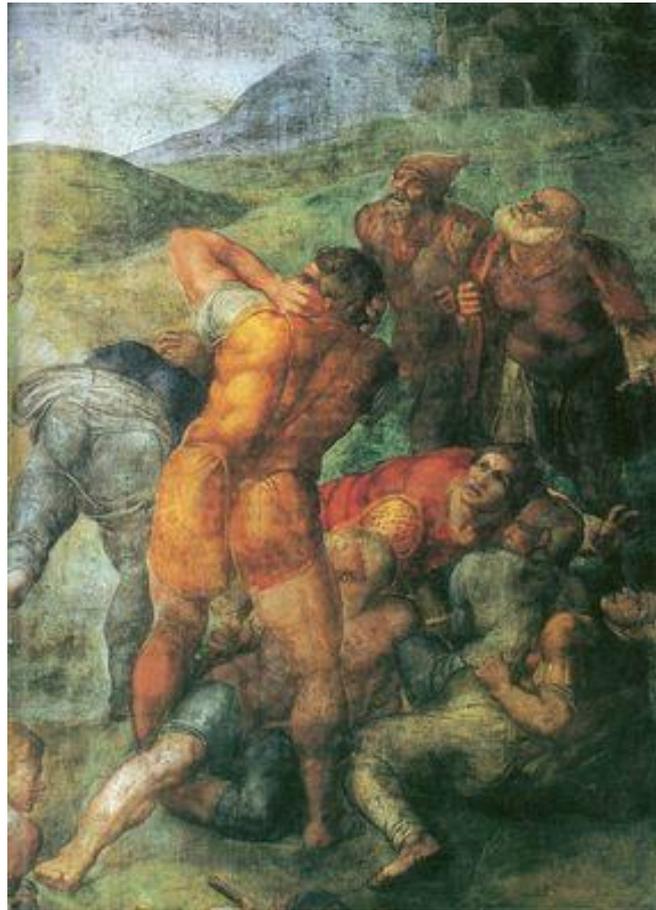
**O**



**P**



**Q**



**R**



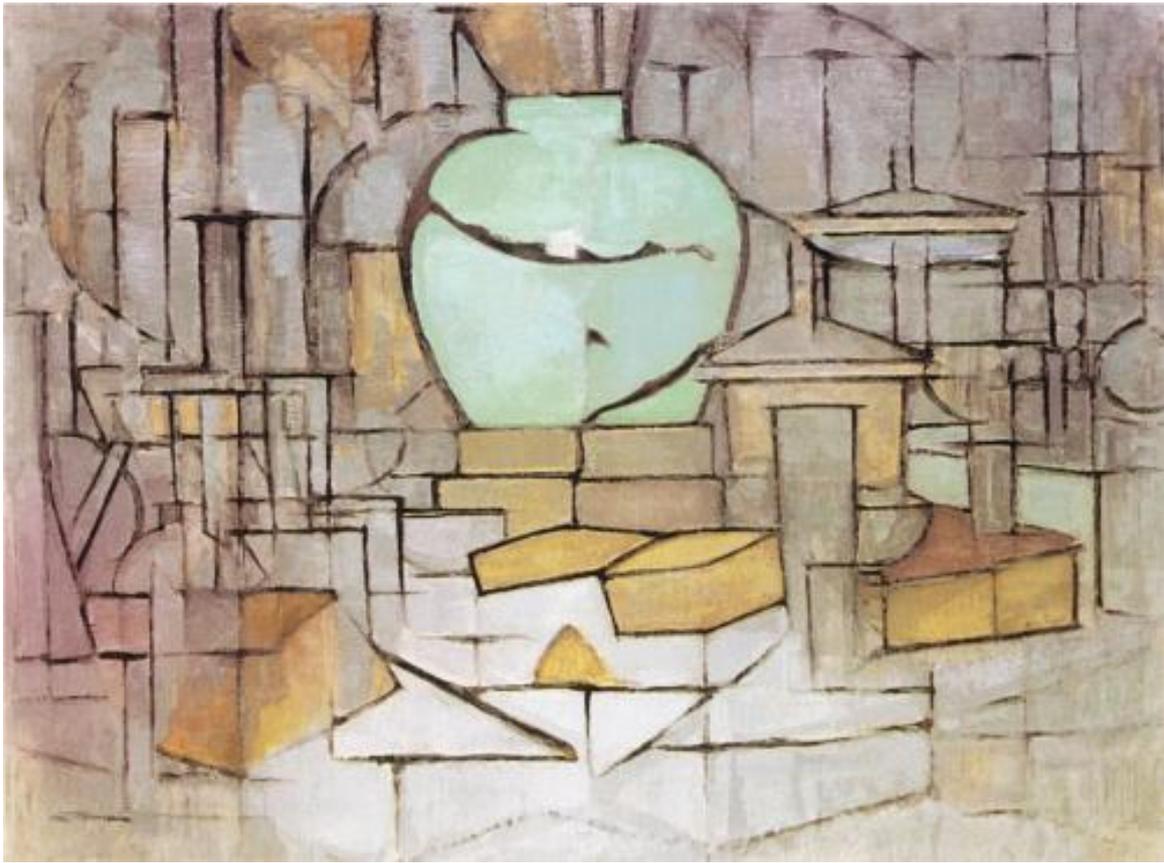
**S**

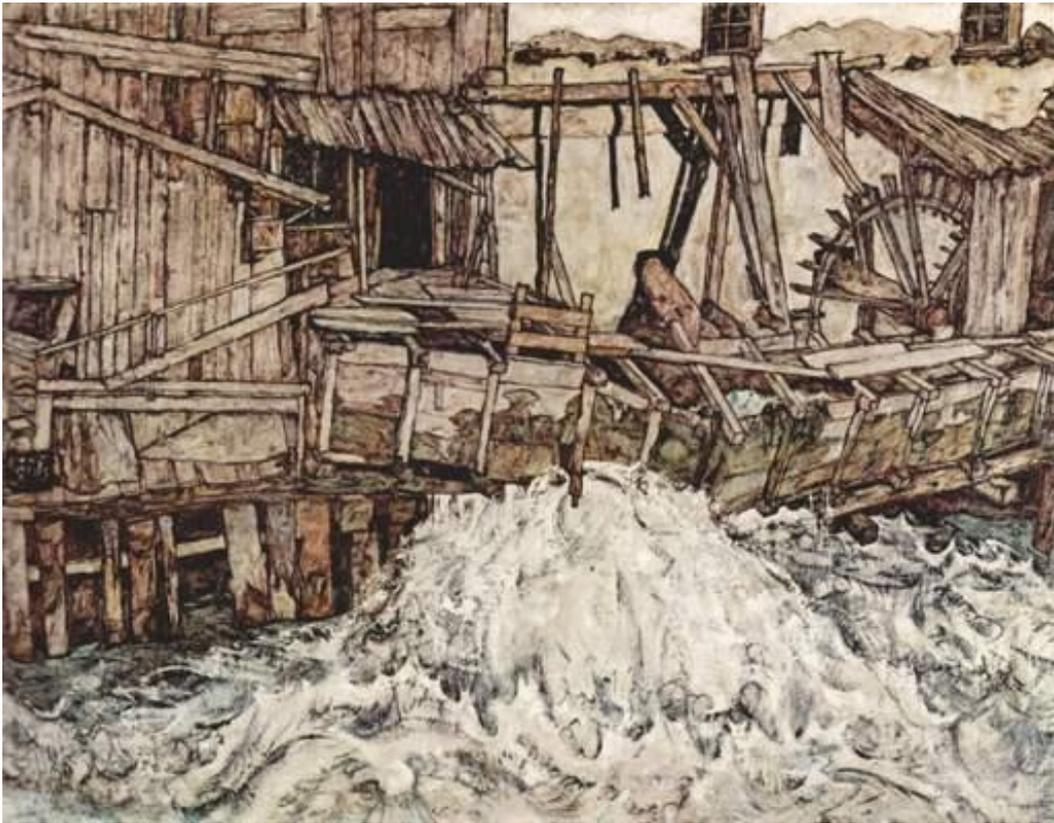


T



U

**V****W**



X



Y



**Z**

### **Lösung:**

Die **farbenblinden** Maler sind:  
**A, B, D, E, F, L, O, P, S, T, U, W**

Die folgende Synopsis erlaubt, auf einen Blick nochmals die Bilder einander gegenüber zu stellen. Es wird leicht ersichtlich, dass es praktisch unmöglich ist, eine Farbsinnstörung bei Malern allein auf Grund ihrer Gemälde zu diagnostizieren.

Z.B.:

- betrachte die Abb. L und B mit ihren grellen Farben
- vergleiche Abb. S und T des gleichen Malers
- erstaune über die blassen Farben der Abb. V des sonst in leuchtenden Grundfarben malenden Mondrian, oder die ungewohnt düsteren Farben bei Klimt (Abb. X) und bei Turner (Abb. Z)

# Synopsis



**A**



**B**



**C**



**D**



**E**



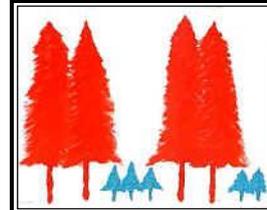
**F**



**G**



**H**



**I**

**J**

**K**

**L**

**M**



**N**



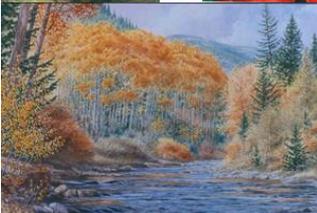
**O**



**P**



**Q**



**R**

**S**

**T**

**U**



**V**



**W**



**X**



**Y**



**Z**

**A Matthew Piunno****B Royce Deans** (siehe unter D)**C Aiwasowskij, Iwan Konstanitowitsch**, (1817 – 1900)**D Royce Deans**

Der farbenblinde Maler erhielt den Auftrag, die Restaurants von MacDonald auszumalen, und seine Werke sind weit über die Welt verstreut

**E Matthew Piunno****F Dan Stouffer** (siehe U)**H William Turner** (1775-1851) Vierwaldstättersee 1902, (siehe unter Z)**G Henry Matisse** (1872- 1944): Notre-Dame 1902**H William Turner** (1775 -1851), siehe unter Z**I Egon Schiele** (1890-1918) Häuserbogen 1915**J El Greco** (1541-1614): Der Evangelist Johannes, um 1594 -1604

Die ungewöhnliche Farbgebung in manchen Bildern El Grecos könnte den Verdacht auf Farbsinnstörungen aufkommen lassen. Dagegen spricht ein Gedankenexperiment: Wenn man sich den Hintergrund als goldfarbig vorstellt, so erscheinen die Bilder wie normale Ikonen im Stil der griechisch orthodoxen Welt, der El Greco entstammt. Interessanterweise ist die ungewohnte Farbwahl auf die religiösen Sujets beschränkt, während El Greco andere, laizistische Themen in normalen Farben malt.

**K Camille Pissarro** (1830 - 1903) Faschingsdienstag auf dem Boulevard Montmartre bei Sonnenuntergang**L Mark Malmgren**

"I had to make a choice when I started painting. Did I want to try and "correct" this deficiency by attempting to paint like non color blind people? Or did I want to just paint the world as a saw it and imagined it? As you can tell, I chose the latter."

**M Amadeo Modigliani**: Baum und Haus, 1919**N John Constable** (1776-1837). (?)

Bei Constable wurde eine Farbenblindheit postuliert, weil er in seinen Landschaftsbildern viele rötliche Brauntöne verwendete. Wenn man dies auch auf atmosphärische Faktoren hätte zurückführen können, oder auf einen damals beliebten Malstil, so fällt doch auf, dass oft nur ein einzelner brauner Baum inmitten einer sonst grünen Landschaft steht. Dies könnte ein Kunstgriff gewesen sein, um durch Komplementärkontrast die grünen Töne zu verstärken (analog dem berühmten „roten Punkt“, der in Kunstschulen gelehrt wird). Allein, diesbezüglich von einem Besucher befragt: „Finden Sie es nicht sehr schwierig, zu entscheiden, wo genau Sie ihren braunroten Baum platzieren wollen?“ antwortete Constable: „Nicht im geringsten, denn ich habe niemals solch ein Objekt in meine Bilder gemalt.“\*

\*Zitiert in P.D. Trevor-Roper 1957

**O Kevin Dadoly** (siehe unter T)**P Dan Stouffer** (siehe unter U)

**Q Macke August** (1887 -1914) Am Rhein bei Hersel, 1908

**R Michelangelo Buonarroti** (1475 -1564): Cappella Paolina, Szene: Bekehrung Pauli, Detail

**S Kevin Dadoly** (siehe unter T)

**T Kevin Dadoly**

Hobbymaler, Art instructor Nantucket, 74-jährig, deuteranop

„Während ich nicht weiss, was das „Farb-Etwas“ ist, verstehe ich Helligkeit und Dunkelheit einer Farbe, in anderen Worten: ich verstehe die Töne. Ich brauche jemanden, der mir die Farbe nennt und dann weiss ich, wie sie zu mischen und im richtigen Ton zu applizieren. So kann Farbenblindheit auch hilfreich sein. Meine grössten Probleme entstehen, wenn ich alleine male. Es gibt (für mich) mehr Tonvariationen in Grün, und wenn ich alleine arbeite, kommt alles was ich mische, schliesslich grün heraus.“

**U Dan Stouffer**

Ursprünglich tätig in Buchgestaltung wandte sich Stouffer der Landschaftsmalerei zu. Seine Werke wurden in mehreren Museen ausgestellt, er erhielt ca. 60 nationale und regionale Auszeichnungen und ist trotz seiner Farbenblindheit Mitglied von mehreren Preisrichtergremien

Quelle: <http://www.danstouffer.com/images.htm>

**V Piet Mondrian** (1872 -1944) Still Life with Gingerpot 2

Mondrian ist vor allem bekannt für seine Bilder in den Grundfarben reines Blau, Rot, Gelb. In seinen Hauptwerken verzichtet Mondrian auf den Gebrauch von Grün, und dies wurde als Ausdruck einer Rot-Grünblindheit gedeutet. Die Gründe für den Verzicht sind jedoch ideologisch. In den Frühwerken verwendete Mondrian Grün im üblichen Masse.

**W Charles Meryon** (1821-1868)

Dieses Bild (im Louvre) ist das einzige bekannte Farbbild des farbenblinden Künstlers, der sich wegen seiner Schwierigkeiten von der Malerei zurückzog und fortan nur noch mit Schwarz-Weiss Grafik beschäftigte.

„Ce défaut de vision des couleurs dont je parle, est tel que je préfère souvent de beaux noirs dans lesquels on peut voir des dégradés de gris, aux couleurs vives des peintures. »

**X Egon Schiele** (1890-1918) Alte Mühle 1916

**Y Egon Schiele** (1890-1918) Stilisierte Blumen 1908

**Z William Turner** (1775-1851) Leuchtraketen bei hohem Seegang 1840

Wegen seiner speziellen Farbgebung wurde bei Turner eine Farbenblindheit postuliert, aber wenn man sein Gesamtwerk betrachtet, zeigt sich, dass er seine Farben normal benützte, und die Spezialeffekte ein bewusst eingesetztes künstlerisches Mittel waren

Präzise Antworten werden dadurch erschwert, dass Maler immer behaupten können, ungewöhnliche Farbgebungen seien Ausdruck künstlerischer Freiheit. Daher sind verlässliche Hinweise nur dort zu erwarten, wo diese Freiheit aufgehoben ist, nämlich beim Kopieren von anderen Bildern. Ein farbenblinder Kopist wird jedes Mal ein anderes Resultat erhalten<sup>49</sup>.

Wahrscheinlich sind es denn auch die fehlerhaften Kopierversuche, welche manche farbenblinde Kunstschüler veranlassen, ihr Studium abzubrechen und sich der Schwarz-Weissgrafik oder der Skulptur zuzuwenden. Solche Reaktionen sind gewiss nicht unerwartet. Erstaunlicher ist vielmehr die beachtliche Zahl von Kunstschülern, die ungeachtet ihrer Farbenblindheit Maler - ja, sogar erfolgreiche Maler - werden<sup>50</sup>.

### Biographien farbenblinder Maler

Aus der Zeit *vor* der Entdeckung der Farbenblindheit, d.h. vor Dalton, sind zuverlässige Angaben über Farbsinnstörungen von Malern nicht denkbar. Es gibt zwar vereinzelte Angaben von Künstlern, die Probleme mit Farben hatten<sup>51</sup>. Bevor man diese jedoch als Farbenblindheit interpretiert, sollte man auch alternative Hypothesen prüfen: Lagen die Schwierigkeiten tatsächlich in der Auswahl des Farbtons, oder ging es etwa einfach um ungenügende Kenntnisse in der Aufbereitung von Farbmaterialien (siehe **Kasten**: Fall Bandinelli)<sup>52</sup>?

Oder hatte, falls es sich tatsächlich um eine Unsicherheit in der Farbgebung handelte, diese vielleicht ihre Ursache nicht in einer *angeborenen* Farbenblindheit, sondern in einer später sich entwickelnden, krankhaften Veränderung der Augen<sup>53</sup>? Entsprechende Beschreibungen aus früheren Zeiten sind retrospektiv schwer interpretierbar.

---

<sup>49</sup> Zur Veranschaulichung der statistischen Natur der Fehler ist das Kopieren eigener Bilder besonders aufschlussreich, weil hier die Metamerien der Farbpigmente, mit denen die Kopien gemalt werden, und diejenigen der Vorlage identisch sind.

<sup>50</sup> In einer statistischen Untersuchung an einer Kunstschule in Dresden wurden unter 342 Schülern 31 Rot-Grünblinde gefunden, d.h. der gleiche Prozentsatz wie in der Gesamtbevölkerung. Nach Testung des Farbsinns beschäftigten sich fortan 17 nur noch mit Schwarz-Weiss Grafik, aber 14 setzten ihre Malerei mit Farben fort. (Münchow, W., Color Vision Deficiencies in Painting, 1978, zitiert in Lanthony, 1999)

<sup>51</sup> Eine ausführliche Zusammenstellung findet sich bei Lanthony (1999 und 2012)

<sup>52</sup> Vor der Einführung industriell hergestellter Farben war die Aufbereitung aus Pigmenten und Bindemitteln ein streng gehütetes Geheimnis von Malern und Ateliers

<sup>53</sup> Eine *angeborene* Farbsinnstörung gilt in der medizinischen Terminologie nicht als Krankheit, sondern als Anomalie. Es handelt sich um eine Pigmentanomalie, vergleichbar mit den *angeborenen* Pigmentvariationen der Haare oder der Haut. Anders verhält es sich bei gewissen *erworbenen* Farbsinnstörungen bei Augenerkrankungen, von denen später noch die Rede sein wird.

### Der Fall Bandinelli

Baccio Bandinelli (1493 -1560) war ein berühmter Bildhauer der Renaissance und hatte Kontakte mit allen grossen Namen seiner Zeit. Charakterlich allerdings war er streitsüchtig, intrigant, gemein gegenüber seinen Rivalen (u.a. Michelangelo) und scheute auch vor Betrug nicht zurück. Seine bekannteste Skulptur ist wohl der Herkules, der neben Michelangelos David auf der Piazza della Signoria in Florenz steht.

Giorgio Vasari weist in seinen „Vite“ (Lebensbeschreibungen) an zwei Stellen darauf hin, dass seine Zeitgenossen für Bandinellis Zeichnungen viel Lob fanden, sich aber bei seinen Gemälden über die Farbgebung, die „grob und ohne Anmut“ war, wunderten.

Es liegt deshalb nahe, auf eine Farbsinnstörung zu schliessen. Eine andere Stelle lässt jedoch auch die Hypothese zu, dass dem arroganten Bandinelli einfach die Geheimnisse des Umgangs mit Farbmaterialien vorenthalten worden waren:

„Nachdem er (Bandinelli) den Ruf eines guten Zeichners erlangt hatte, wollte er auch malen lernen, und in der Meinung, er könne Michelangelo nicht nur ebenbürtig werden, sondern ihn sogar weit überflügeln, wollte er vorgeben, er habe selber den Gebrauch der Farben herausgefunden und nicht etwa von anderen erlernt. Er ging deshalb zu seinem Freund Andrea del Sarto und bat ihn, sein Portrait zu malen, in der Absicht, zwei Ziele bei seinem Vorgehen zu erreichen: erstens könne er sehen, wie man Farben mischt und zweitens besässe er dann das Bild und könnte es als Modell benutzen. Allein, Andrea ahnte, was Bandinelli beabsichtigte und war verärgert über den Täuschungsversuch. Er hätte ihm gerne alles gezeigt, vorausgesetzt, dieser hätte ihn als Freund darum gebeten. Er tat aber so, als hätte er nichts gemerkt. Statt jedoch die Farben in üblicher Weise einzeln zu mischen, brachte er alle in einem Mal auf die Palette und mischte sie zusammen, nahm mit seinem Pinsel einmal von der einen, dann von der andern, und zwar so schnell, dass Baccio, gezwungen, still zu sitzen, wenn er portraitiert werden wollte, nicht herausfinden konnte, was er wollte. Gleichwohl gab Baccio nicht auf und erhielt Hilfe vom Maler Il Rosso ....“

Bandinellis Umgang mit Farben wurde zeitlebens bemängelt. Aber war der Grund Farbenblindheit? Oder war es vielmehr handwerkliches Unvermögen? Die Angaben Vasaris sind nicht leicht zu interpretieren. Es bleibt offen, ob Vasari – wie auch in anderen Fällen – eine unterhaltsame Anekdote erfunden hatte (die nicht in allen Ausgaben der „Vite“ vorkommt), um mit dieser das Versagen Baccios zu erklären, welches man damals, als Farbsinnstörungen gar nicht vorstellbar waren, nicht anders begreifen konnte?

Schwierigkeiten beim *Unterscheiden von Farben* können also verschiedene Ursachen haben und sind kein eindeutiges Kriterium für eine angeborene Farbenblindheit.

Die Steigerungen des *Simultankontrastes* hingegen sind weder bei handwerklichen Problemen noch bei Erkrankungen zu erwarten. Wenn von übertriebenen Kontrastphänomenen berichtet wird, ist die Wahrscheinlichkeit eines Zusammenhanges mit angeborener Farbenblindheit gross (siehe **Kasten**: Castel<sup>54</sup>).

<sup>54</sup> Die beiden Fälle Castels von vermuteter Farbenblindheit werden hier zum ersten Male publiziert

### Die Fälle des Louis Bertrand Castel

Wahrscheinlich verdanken wir Louis Bertrand Castel (1688 – 1757) die erste Beschreibung von Farbenblinden. Der Jesuitenpater war eine der bekannten farbigen Persönlichkeiten des 18. Jahrhunderts. Ein Freund Rameaus, beschäftigte er sich mit dem Bau eines Augenklaviers, einem Cembalo, in welchem bei jedem Tastenanschlag ein erleuchtetes Farbfenster erschien: „.....dass ein Tauber durch Sehen die Schönheit von Musik erfahre und ein Blinder durch Hören die Schönheit der Farben erfahre ....."

Ob ein funktionstüchtiges Instrument je gebaut wurde, wird bezweifelt, aber sowohl der deutsche Komponist Telemann als auch der französische Enzyklopädist Diderot haben darüber Berichte veröffentlicht. Castel selbst wehrte sich, nachdem er kritisiert worden war, dass er je einen Apparat habe bauen wollen, „...er sei Architekt und nicht Zimmermann, solle ihn doch bauen, wer will...“ J.J. Rousseau stellte fest: „ Dieser Mann ist verrückt...“

In seinem Buch „L'optique des couleurs« (siehe **Abb. 33**) erwähnt nun Castel zwei Männer, deren starke Kontrastempfindung auf Grund seiner Erfahrung mit Farbsinnproblemen aussergewöhnlich schien:

*Seite 156:* „Ich habe jemanden gekannt, der in einem kontrastreichen Bild die Schatten rühmte, als wären es die schönsten Farben im Bilde, und der behauptete, er habe nie schönere Farben gesehen als ebendiese Schatten. Er verwechselte den Glanz, der von diesen Schatten auf die farbige Umgebung fiel, mit den Schatten selbst.“ (*Betrachter* mit gesteigertem Simultankontrast)

*Seite 157:* „Ich kannte einen Maler, dessen guten Geschmack und Talent für Portraits ich sehr schätze. Als er mir sein Atelier zeigte, das arm an Farben war, wies er mich ausdrücklich darauf hin, dass es darin weder Karmin, noch Krapplack, noch Zinnober gäbe, auch kein grelles Gelb, sondern lediglich Preussischblau für Blau und Grün, rötliches Braun für alle Arten von Rot und Violett, sowie ein blasses Gelb, dessen Namen ich vergessen habe. Seine Portraits waren sehr schön, seine Fleischfarben waren ganz besonders natürlich, ja gar lebhaft und heiter, wo angebracht.

Ich diskutierte mit ihm und entgegnete, dass andere berühmte Maler nicht auf den Gebrauch der leuchtendsten Rot und der heitersten Gelb verzichten. ....

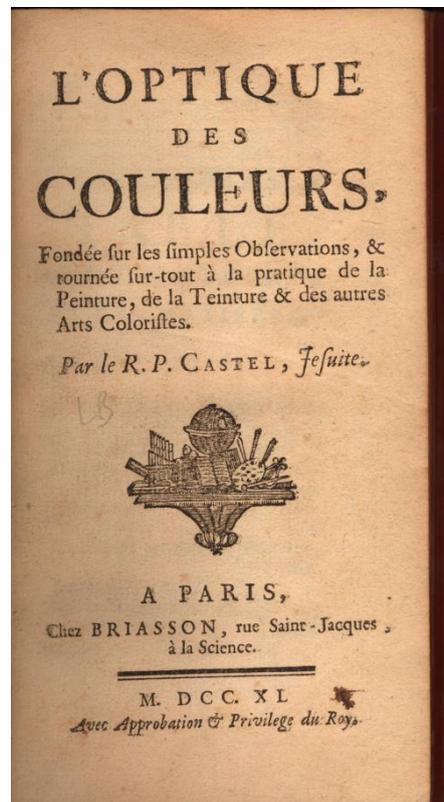
Diese Farben, sagte er, sind falsch. Die Natur ist lebendig nur durch Auseinandersetzung (Kontrast) und Vereinigung; ihre Farben sind gedämpft im Einzelnen; es ist der Gegensatz, der die Dinge hervortreten lässt und ihnen Leben, Feuer und grössten Glanz verleiht.“ (*Maler* mit gesteigertem Simultankontrast)

Übersetzung aus dem Französischen durch den Autor

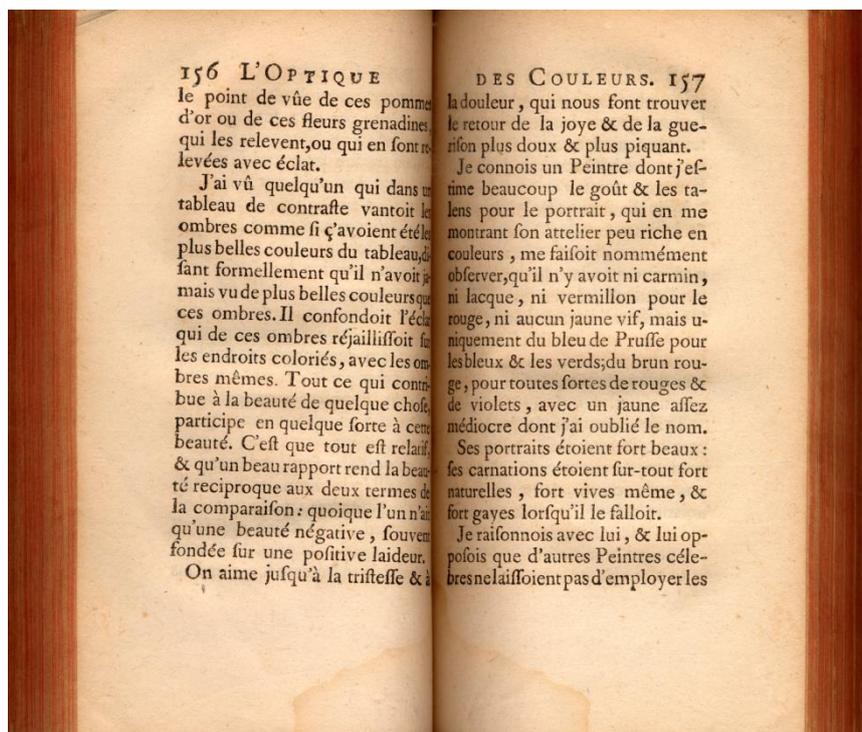
Erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts, als die Erforschung der Farbenblindheit allmählich in Gang kam und standardisierte Tests zur routinemässigen Prüfung des Farbensinns entwickelt worden waren (Stilling, siehe **Abb. 4**), begannen sich Augenärzte für das Thema zu interessieren und ihre malenden Patienten zu untersuchen. Wer jedoch zuverlässige Angaben erwartet hätte, wird erstaunt zur Kenntnis nehmen, dass in vielen Fällen sogar unter den bedeutendsten Fachleuten Uneinigkeit herrschte.

## Abb. 33

### R.P.Castel, l'Optique des couleurs



#### a) Titelblatt



#### b) Texte

## Chapitre Xes. OBSERVATIONS

Sur les Couleurs sales, mêlées de trois Couleurs.

Où l'on voit que ce sont les Couleurs les plus usuelles de la nature & de l'art

### Spectateur avec contrast simultané :

P. 156: J'ai vû quelqu'un qui dans un tableau de contraste vanthoit les ombres comme si ç'avoient été les plus belles couleurs de tableau, disant formellement qu'il n'avoit jamais vu de plus belles couleurs que ces ombres. Il confondoit l'éclat qui de ces ombres réjaillissoit sur les endroits coloriés, avec les ombres mêmes. Tout ce qui contribue à la beauté de quelque chose participe en quelque sorte à cette beauté. C'est que tout est relatif, & qu'un beau rapport rend la beauté reciproque aux deux termes de la comparaison: quoique l'un n'ait qu'une beauté négative, souvent fondée sur une positive laideur.

### Peintre avec palette réduite:

P. 157: Je connois un Peintre dont j'estime beaucoup le goût & les talens pour le protrait, qui en me montrant son atelier peu riche en couleurs, me faisoit nommément observer, qu'il n'y avoit ni carmin, ni lacque, ni vermillon pour le rouge, ni aucun jaune vif, mais uniquement du bleu de Prusse pour les bleux & et les verds; du brun rouge, pour toutes sortes de rouges & de violets, avec un jaune assez médiocre dont j'ai oublié le nom.

Ses portraits étoient for beaux: ses carnations étoient sur-tout fort naturelles, fort vives même, & fort gayer lorsqu'il le falloit.

Je raisonnois avec lui, & lui opposois que d'autres Peintres célèbres ne laissoient pas d'employer les rouges les plus vifs, & les jaunes les plus gais. Il vonvenoit que le tableaux ainsi fardés, sur-tout de rouge, ne laissoient pas de donner la vogue.

Mais il me rappelloit à la vérité & à l'immortalité. Ces couleurs, me disoit-il, sont fausses: la nature n'est vive que dans le contrast & par l'entente: toutes ses couleurs sont assez médiocres dans le détail de chaque trait: mais c'est l'opposition qui fait sortir les choses, & leur donne la vie, le feu, le plus grand

Es gab Maler, bei denen die einen eine Farbenblindheit postulierten, und andere das Gegenteil bewiesen (als Beispiele siehe **Kästen**: Fall Carrière und Fall Léger). Demgegenüber gab es Maler, die jahrelang als farbnormal galten und wie solche erfolgreich waren und deren Farbsinnstörung nur zufällig, anlässlich eines Tests entdeckt wurde (siehe **Kasten** Fall Peter W. Milton).

### Der Fall Eugène Carrière

Der Maler Eugène Carrière (1849 – 1906) , zu den Symbolisten gezählt, ein Freund von Auguste Rodin, geschätzt von Georges Clémenceau, war Ende des 19. Jahrhunderts eine Berühmtheit. Danach lange in Vergessenheit geraten, wurde sein Werk anlässlich seines 100. Todestages 2006 erneut gewürdigt.

Seine Bilder machen einen seltsam eintönigen Eindruck. Die Farben beschränken sich auf gedämpftes Sepiabraun und Blauschwarz, und die Konturen sind verwaschen<sup>55</sup>.

<sup>55</sup> Eine mögliche Erklärung wäre, dass Carrière versucht hatte, die Effekte der neuen Kunst der Photographie auszuloten und die Überlegenheit der Malerei dadurch zu demonstrieren, dass er die Bereiche von Unschärfe nicht auf eine bestimmte Ebene beschränkte (wie es bei der Photographie geschieht), sondern in verschiedener Tiefe, frei nach künstlerischen Gesichtspunkten, wählte.

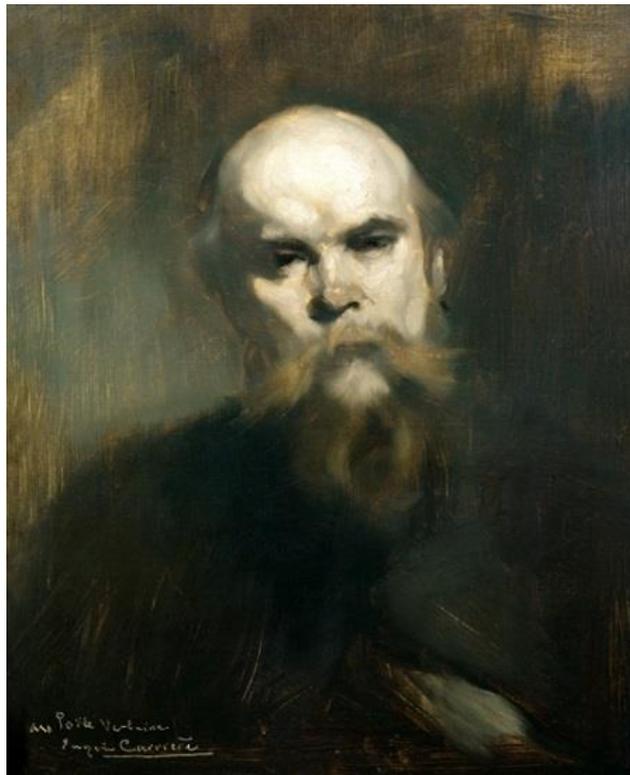
Daraus schloss Dr. Fortin, ein für Forschungen über die Netzhaut seinerzeit berühmter Ophthalmologe, dass „Carrière ein typisches Beispiel von totaler Farbenblindheit (Achromatopsie) sei. In seinen Gemälden finde man alles, was einen Achromaten charakterisiert, einschliesslich der schlechten Sehschärfe“. Und wer heute seine Bilder betrachtet (**Abb. 34**), könnte beim ersten Anblick versucht sein, beizustimmen.

Allein, einige Jahre zuvor hatte Dr. Polack (selbst als Maler an der École des Beaux-Arts in Paris ausgebildet und später als Augenarzt ein anerkannter Spezialist für Farbsinn) die Augen Carrières untersucht, Er hatte damals nicht nur eine normale Sehschärfe und einen intakten Farbsinn festgestellt, sondern auch seine Palette überprüft, deren Farbzusammensetzung keineswegs einer totalen Farbenblindheit entsprach.

Was darauf folgte, waren Kontroversen unter den ophthalmologischen Autoritäten, welche höchst emotional ausgetragen wurden. Aber noch immer taucht hie und da die Hypothese einer Achromatopsie wieder auf, und Lanthony, dessen Darstellung wir hier folgen, stellt lakonisch fest: „...les serpents de mer ont la vie dure“.

## Abb. 34

### Eugène Carrière 1849-1906



a Portrait von Paul Verlaine 1890

Auf Grund der düsteren eintönigen Farben und der unscharfen Konturen war fälschlicherweise eine totale Farbenblindheit postuliert worden.



**b** Mutterschaft

Die Unschärfe der Konturen variiert in verschiedenen Bildabschnitten, die Zone des zärtlichen Kusses ist scharf, das Übrige verliert sich im Unbestimmten



**c** Arsene Carrière ca. 1899

Im Portrait des eigenen Kindes wählte Carrière interessanterweise lebendigere Farben...

Weitere Informationen: <http://www.eugencarriere.com/> [2013]

### Der Fall Fernand Léger

Fernand Léger (1881 – 1955) wurde von P. Trevor-Roper in einem Beitrag in den Proceedings der Royal Society of Medicine 1949 als farbenblind beschrieben. Er zitiert den deutschen Augenarzt Strebel, dem 1933 an einer Ausstellung von Bildern Légers die Farbgebung mit blau-gelber Dominanz auf lehmfarbigem Hintergrund so auffällig schien (**Abb. 35 a und d**), dass er eine Rot-Grünblindheit diagnostizierte. Strebel testete unverzüglich den Künstler, und fand seine Diagnose bestätigt.

Dagegen spricht jedoch, dass Léger in seinen Schriften häufig über das Vergnügen sprach, das ihm die verschiedenen Farbtöne bereiten und dass er in seinen Werken leuchtende und kräftige Farben in reiner Form auftrug. Der formale und farbige Kontrast wurde zum Grundprinzip im Gesamtwerk von Léger (**Abb. 35 b und c**), und er arbeitete mit einem anderen Experimentator in leuchtenden Farben, Robert Delaunay, zusammen. Ausserdem hatte seine Witwe, die 32 Jahre mit ihm gearbeitet hatte, nie eine Anomalie in seinem Farbsehen bemerkt. Später kamen auch bei Trevor-Roper Zweifel auf, und in seinem Buch (1970) wird Léger nicht mehr als farbenblind vermerkt. Die relevanten Passagen im Artikel von Strebel hatten nämlich einen „Maler G.E.“ beschrieben, und nicht Léger \*. Aber: Noch immer wird die Sage von Légers Farbenblindheit in der Literatur aufgewärmt....

\* siehe Marmor, M. F. and Ravin, J.G.: 1997

## Abb. 35

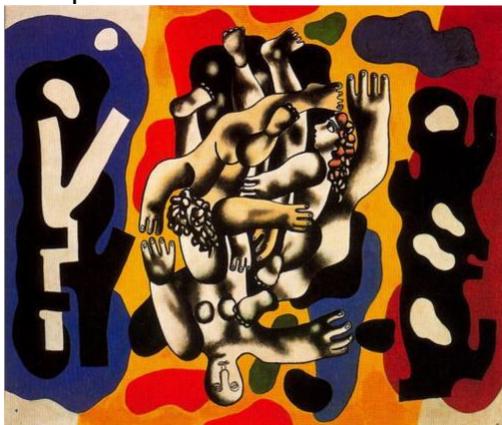
### Fernand Léger 1881 – 1955



**a** La partie de Carte



**b** La Partie de Campagne



Plongeur Sur Fond Jaune



**d** La Fleur polychrome

Schliesslich gab es Fälle, wo das Vorliegen einer Farbenblindheit durch Tests eindeutig festgestellt wurde, die Fachexperten aber nicht eindeutig herausarbeiten konnten, um welche Art von Farbsinnstörung es sich gehandelt haben könnte. Wie schwer es sein kann, dies im Nachhinein, zu eruieren, zeigt das Beispiel der Palette von Ulisse Butin (siehe **Kasten** Butin)<sup>56</sup>.

### Der Fall Ulisse Butin

Ulisse Louis Augustin Butin (1838 – 1883) war an der Ausmalung der Opéra de Paris beteiligt, sonst aber ein wenig bekannter Maler. Dass er farbenblind war, geht aus der Äusserung eines Freundes hervor: „Er schuf wunderschöne Zeichnungen, aber hatte Schwierigkeiten, zu malen, da er an einer Art von intermittierender Farbenblindheit litt...  
...einmal malte (kopierte) er eine grosse Figur in Rot aus Rubens „Abnahme vom Kreuz“ in Grün...“

In seinen vielen Gemälden bevorzugte er gedämpfte Farben (z.B. **Abb.** 36a), was man durch seine Unsicherheit in der Farbgebung erklären könnte. Das düstere Colorit könnte allerdings auch von den Motiven, die er malte (Szenen unter dem bedeckten Himmel der Bretagne) herrühren.

Interessant ist nun, dass seine Palette auf einem Portrait, das Ernest Duez von ihm gemalt hatte, abgebildet ist (**Abb.** 36 b). Könnten Wissenschaftler aus den dortigen Farbkleckschen die Art seiner Farbsinnstörung ableiten?

Der wohl bedeutendste Kenner von Farbsinnstörungen, Philippe Lanthony (2012) schliesst: „...die Existenz eines roten Farbkleckses (auf der Palette) suggeriert, dass er diese Farbe sehen konnte, auch wenn er sie mit Grün verwechselte, was bedeuten könnte, dass er *deuteranop* (grünblind) war.“

Die gleiche Farbwahl auf der Palette könnte man aber auch im Sinne des Gegenteils, nämlich einer *Protanopie* (Rotblindheit) interpretieren (vorausgesetzt, natürlich, die Palette war wirklichkeitsgetreu abgebildet worden):

Das Rot steht in der Farbreihe nämlich zwischen Schwarz und Weiss, so dass man sich fragen kann, ob Butin Rot tatsächlich als rot wahrnahm. Sollte es ihm neutral-grau erschienen sein, so wäre er rotblind gewesen<sup>57</sup>.

Butin ist ein Fall, bei dem man allein auf Grund seiner Bilder nicht auf die Idee einer Farbenblindheit gekommen wäre. Unzweifelhafter Beweis aber ist sein missglückter Kopierversuch.

<sup>56</sup> Siehe auch „Der Fall Dalton“

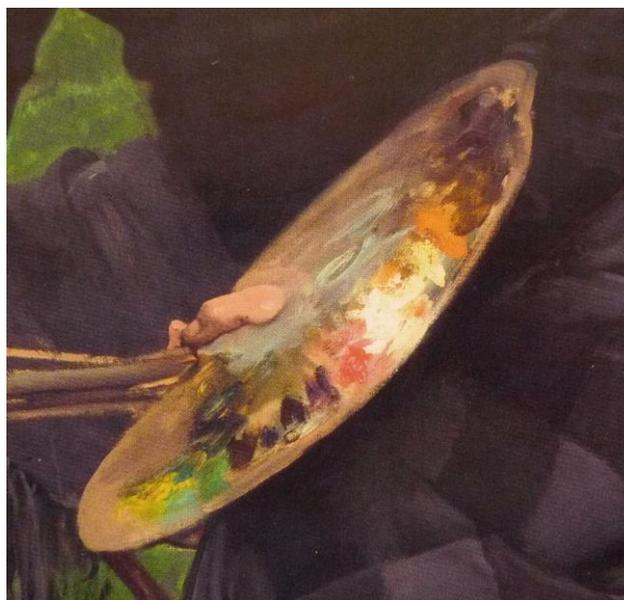
<sup>57</sup> Oder war etwa der Maler Ernest Duez farbenblind, ohne es zu wissen?

## Abb. 36

### Ulisse Louis Auguste Butin



**a** Ex Voto (1880): Düstere Farben in düsterer Landschaft



**b**

**b**) Ausschnitt mit der Palette Butins aus einem Portrait, das sein Freund Ernest Duez (1843 – 1896) von ihm gemalt hatte. Die Farben sind hier nicht in einer chromatischen Reihenfolge angeordnet: Rot liegt zwischen Schwarz und Weiss, d.h. dort, wo man eher einen Grauton erwartet hätte.



### Der Fall Peter Winslow Milton

Peter W. Milton (geb. 1930) studierte an der Yale University School of Art and Architecture bei Josef Albers (dem bereits früher erwähnten Autor der „Interaction of Colors“). An verschiedenen Institutionen arbeitete er als Lehrer und Instruktor in Zeichnen, Malen und Kunstgeschichte. Zuerst malte er im Stile Cezannes, danach abstrakt.

Erst im Alter von 32 Jahren erfuhr Milton anlässlich eines Farbsinntestes, dass er Rot-Grünblind war und „totally taken aback at degree of deficiency“ beschränkte er sich fortan auf Schwarz-Weissgrafik. Zwar hätte er, objektiv betrachtet, keinen Grund dafür gehabt – wie die Leistungen der vergangenen Jahre bewiesen hatten – aber subjektiv erschütterte wohl die Kenntnis der Behinderung das Vertrauen in die eigene Kunst. 20 Jahre später aber kehrte Milton – „concern about color blindness thrown to the winds...“ – zur Farbmalerie zurück.

Miltons Lebenslauf zeigt, dass Farbenblindheit kein Hindernis war für eine erfolgreiche Karriere mit vielen Ausstellungen in allen Kontinenten, Preisen und Auszeichnungen. Zum wirklichen Hindernis wurde die Farbsinnstörung erst, als er sich der farbigen Druckgrafik zuwenden wollte, bei der es nicht um freie Farbgestaltung, sondern um wiederholtes Reproduzieren von Vorlagen ging.

Demgegenüber könnte seine gesteigerte Kontrastempfindung gelegentlich auch nützlich gewesen sein, z.B. beim Studium in Yale, wo sich sein Lehrer Josef Albers in seinen Schulklassen intensiv mit Kontrastphänomenen befasste (s. **Abb.** 23). Vielleicht war die besondere Kontrastempfindung sogar ein Vorteil, als Milton zum Mitglied des „Advisory Committee des Bureau of Printing and Engraving for Ongoing Design of US Currency“ berufen wurde, um – fälschungssichere - Banknoten zu entwerfen.

(basierend auf den Daten aus dem Lebenslauf in der persönlichen Webseite Miltons)

In der modernen Malerei hat die ganze Problematik an Bedeutung verloren. Als Hindernis für eine Tätigkeit als Maler kann Farbenblindheit kaum mehr gelten. Deshalb erfuhren manche erfolgreiche Maler erst im Laufe ihrer Karriere, dass sie farbenblind waren. Der Fall Peter Milton ist besonders aufschlussreich, weil hier drei Hauptcharakteristiken der Farbenblindheit eine Rolle spielen, nämlich, dass der Maler seine Farbsinnstörung selbst nicht bemerkte, dass diese nur in vereinzelt Situationen manifest wurde, und dass sie möglicherweise manchmal sogar von Vorteil war (siehe **Kasten:** Peter Milton).

Heute gibt es spezielle Vereinigungen farbenblinder Maler mit eigenen Ausstellungen in Galerien. Auf Grund der Gestaltung der einschlägigen Publikationen erhält man den Eindruck, dass Farbenblindheit sogar als Verkaufsargument vorgebracht wird<sup>58</sup>.

<sup>58</sup> Demgegenüber wird von anderen Malern, deren Farbenblindheit erst anlässlich von Reihenuntersuchungen mit Farbsinntests entdeckt wurde, berichtet, dass sie auf absoluter Anonymität bestanden, weil sie ihre Reputation gefährdet sahen (Lanthy, 2012)

## 5. Der Gegensatz: Krankheitsbedingte Farbsehstörungen

Die zweite Gruppe von Beeinträchtigungen des Farbsehens, die eingangs aufgeführt wurde, umfasst die Begleiterscheinungen von bestimmten krankhaften oder degenerativen Prozessen, d.h. die sog. *erworbenen Farbsehstörungen*. Diese kommen, im Gegensatz zu den *vererbten Farbsinnstörungen*, auf verschiedenen Stufen des visuellen Systems vor und sind nicht auf die Sinneszellen der Netzhaut beschränkt.

Von klinischer Bedeutung sind die erworbenen Farbsehstörungen allerdings nur bei mildem Krankheitsverlauf. Bei schwereren Gewebsschädigungen treten sie gegenüber den übrigen, weit eindrücklicheren Beschwerden und Funktionsstörungen in den Hintergrund. Wenn Schmerzen und starke Blendung, wenn der Verlust der Sehschärfe das Krankheitsbild beherrschen, dann sind allfällig begleitende Farbsehstörungen Nebensache und werden von den Patienten nicht wahrgenommen.

Die erworbenen Farbsehstörungen lassen sich kaum systematisch einordnen, denn ihre Manifestationen sind so vielfältig wie die verursachenden Krankheiten und. Grundsätzlich unterscheiden sie sich von der bisher beschriebenen genetisch bedingten Farbenblindheit dadurch,

- dass die Betroffenen das normale Farbsehen kennen und es aus ihrer Erinnerung mit dem gegenwärtigen Zustand vergleichen können.
- dass die Symptome sich in den verschiedenen Stadien der zugrunde liegenden Erkrankung verändern und nach deren Ausheilung auch wieder verschwinden können.
- dass die Farbgebung nicht auf einer statistischen Verteilung von richtigen und falschen Entscheiden beruht, sondern während einer gegebenen krankhaften Periode konsequent fehlerhaft ist.
- dass die Farbsehstörungen – und dies ist für das Verständnis der Symptome besonders wichtig - nicht nur durch Phänomene der Innenwelt (d.h. Netzhaut und Gehirn), sondern auch durch solche der Aussenwelt (d.h. der optischen Abschnitte des Auges) verursacht werden können. Solche Störungen wirken sich im Alltag immer aus und sind den Patienten stets gegenwärtig.

Es ist hier nicht der Ort, all die Interaktionen bei krankheitsbedingten Farbsehstörungen abzuhandeln. Vielmehr soll anhand eines Beispiels demonstriert werden, auf welcher komplexen Weise sie die Tätigkeit eines Malers verändern.

Das Beispiel ist der berühmte Impressionist *Claude Monet*, der im höheren Alter an einer Linsentrübung (Grauer Star) erkrankte. Sein Fall eignet sich besonders gut zur Darstellung von erworbenen Farbsehstörungen, weil diese in eigenen Beschreibungen und in Aufzeichnungen seiner Ärzte ausführlich dokumentiert sind. Diese erlauben es, seine künstlerische Ausdrucksweise mit dem Verlauf der allmählich zunehmenden Linsentrübung und deren Behebung durch eine Operation zu korrelieren.

Bevor wir jedoch auf seine Biographie eingehen, sollen hier die optisch-physiologischen Grundlagen beschrieben werden, die für das Verständnis des Sonderfalles Monet essentiell sind.

### **Die erworbenen Farbsehstörungen mit Ursachen in der Innenwelt**

*Erworbene* Farbsehstörungen folgen – wie erwähnt - im Gegensatz zu *angeborenen* Farbsinnstörungen, keinem klar definierbaren Schema. Deshalb sind sie auch nicht mit den gleichen Testanordnungen erfassbar (siehe **Kasten**: Angeborene vs. erworbene Farbsehstörungen). Allfällige Fehlleistungen betreffen vorwiegend die Blau-Gelb-Achse, und nicht wie bei *angeborener* Farbsinnstörung die Rot-Grün-Achse.

Die durch Faktoren in der *Innenwelt* bedingten Störungen manifestieren sich als Farbhalluzinationen, wenn die Krankheit Zellen *stimuliert*. Werden jedoch Zellen *zerstört*, resultieren Defizite. Diese fallen den meisten Patienten – wie schon mehrfach betont - kaum je auf. Sind die Betroffenen jedoch Maler, werden sie dank ihrer geschulten Sensibilität auch auf leichte Abweichungen vom Gewohnten aufmerksam werden, und sie werden sich auch eher darüber äussern. Wieweit sich die Störungen jedoch auf ihre malerische Tätigkeit auswirken, ist schwer abzuschätzen. Erworbene Farbsehstörungen sind nicht häufig genug und ihre Symptome sind zu variabel, um wissenschaftlich belegbare Aussagen zu erlauben.

#### **Angeborene vs. erworbene Farbsehstörungen mit Ursachen in der Innenwelt (Medizinische Grundlagen)**

Obwohl sich sowohl angeborene als auch manche erworbene Farbsehstörungen in der Innenwelt abspielen, unterscheiden sie sich grundsätzlich.

Bei *angeborener* Farbenblindheit ist die ganze Netzhaut betroffen, von den verschiedenen Zelltypen aber sind es nur die Zapfen (mit gleicher Funktion). Bei einer *krankheitsbedingten* Farbsehstörung hingegen erkranken sämtliche Zelltypen, dies aber nur im befallenen Gebiet.

Bei der *angeborenen* Farbenblindheit sind die Sinneszellen der Netzhaut grundsätzlich intakt, und nur einzelne Moleküle in ihnen sind verändert. Die resultierende Funktionsstörung ist genau definierbar. Demgegenüber erkranken bei *erworbenen* Farbsehstörungen die befallenen Zellen als Ganzes. Dadurch wird nicht nur das Farbsehen, sondern es werden auch vielerlei andere Funktionen beeinträchtigt.

Während bei genetisch bedingten Farbsinnstörungen alle Personen mit dem gleichen Anomalietypus stets gleichartige Farbfehler machen, sind bei den krankheitsbedingten Störungen die Auswirkungen variabel und im einzelnen Fall schwer voraussehbar.

## Erworbene Farbsehstörungen mit Ursachen in der Aussenwelt ?

Wenn Farbsehstörungen durch den optischen Apparat des Auges (Hornhaut, Linse, Glaskörper) verursacht werden, so sind sie, wie bereits früher beschrieben, der *Aussenwelt* zuzuordnen. Im Rahmen unseres Themas geht es um die altersbedingte Veränderung der Linse, die sog. *senile Katarakt*, und zwar im speziellen um die *Kernkatarakt*. Diese Form der Katarakt wirkt sich, im Gegensatz zu anderen Linsentrübungen, nicht als Trübung aus<sup>59</sup>, sondern manifestiert sich vorwiegend als Verfärbung<sup>60</sup> und zunehmende Kurzsichtigkeit (**Abb. 38**). Eine Kernkatarakt kann sich deshalb ohne auffällige Begleitsymptome, langsam und still entwickeln (siehe **Kasten** Katarakt), wobei die ursprünglich glasklare Linse sich zunächst in einen Gelbfilter verwandelt, im Laufe der Zeit allmählich in einen Rotfilter, bis sie schliesslich als dunkler Braunfilter den Lichteinfall gänzlich blockiert. Der Prozess beginnt im Kern der Linse und weitet sich allmählich in die Randzonen („Rinde“) aus.

Da die Störquelle in der Aussenwelt liegt, müssten die Betroffenen theoretisch die resultierenden Farbfehler sofort, ohne Konfrontation, bemerken. Bei einer Kernkatarakt aber registrieren sie die Störung oft jahrelang nicht, denn bei den neuronalen Verarbeitungsprozessen im visuellen System (d.h. in der Innenwelt) sorgen die Korrekturprogramme der Farbkonstanz und Gewöhnung dafür, dass den Betroffenen während der langsam fortschreitenden Gelbfärbung die Welt weiterhin normal erscheint<sup>61</sup>. Erst wenn das Auge durch eine Operation plötzlich vom optischen Hindernis befreit wird, geben sich die Patienten Rechenschaft vom Ausmass der Farbverschiebungen, denen sie während Jahren ausgesetzt gewesen waren.

Hat eine Kernkatarakt dennoch einen Einfluss auf das Werk von Malern und Malerinnen<sup>62</sup>? Verändert der Gelbfilter ihre Farbskala, auch wenn ihnen die Verfärbung ihrer Linse nicht bewusst wird? Auf Anhieb möchte man annehmen, dass sich nichts ändert, denn durch ein- und denselben Filter sehen sie sowohl die Farben der Objekte, die sie malen wollen, als auch die Farben, die sie als Pigmente auf der Palette mischen. Nichts würde tatsächlich ändern, wenn in den Objekt- und Malfarben die Lichtwellen genau gleich verteilt wären und der Gelbfilter von beiden die genau gleich grossen Anteile von Blau eliminieren würde. Bei metameren Farben jedoch ist die Situation anders. Die gelbe Linse kann hier aus der einen Mischfarbe mehr Blau herausfiltern als bei der anderen (**Abb.37**). Eine grüne Wiese, z.B., erscheint dann den Malenden gelblicher, und um sie so zu malen, wie sie sie sehen, werden sie ihrer Palette mehr Gelb zumischen.

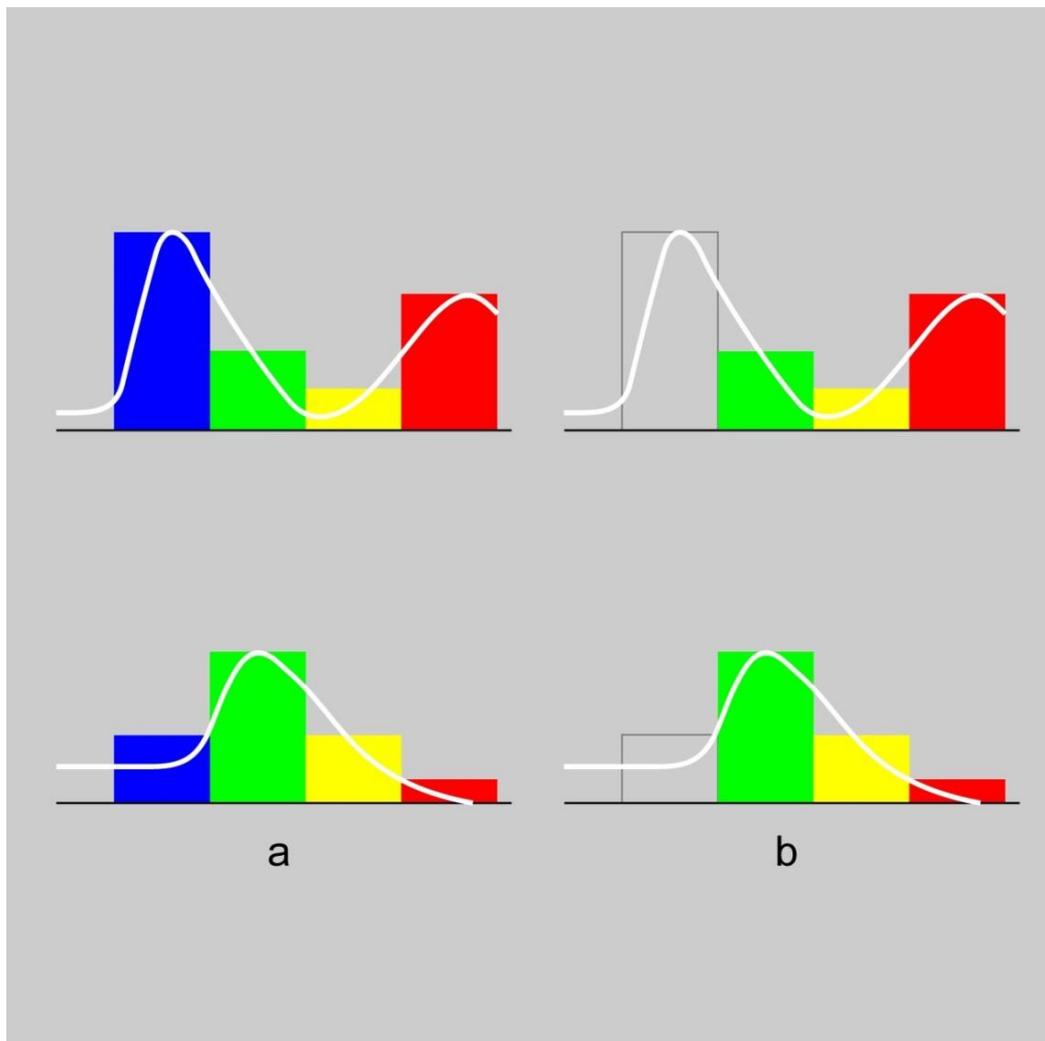
<sup>59</sup> Am ehesten vergleichbar mit Milchglas

<sup>60</sup> Am ehesten vergleichbar mit einem Farbfilter

<sup>61</sup> Die Wirkung dieser zerebralen Korrekturvorgänge kann man veranschaulichen, indem man sich eine gelbe Schneibrille aufsetzt. Unmittelbar danach erscheint der Schnee gelb, aber schon kurz danach wird er bereits wieder als weiss empfunden, und auch alle anderen Farben sieht man wieder normal. Entfernt man die gelbe Brille wieder, tritt der gegenteilige Effekt auf: Der Schnee erscheint nun plötzlich bläulich und erst nach einiger Zeit kehrt die normale Farbempfindung zurück.

<sup>62</sup> Beachte: Der Einbezug der weiblichen Form ist hier zu Recht angebracht, weil diese Art von Störung, im Gegensatz zur *angeborenen* Rot-Grünblindheit, auch Frauen befällt.

Abb. 37



### Auswirkungen von Farbfiltern bei metameren Farben

Die weissen Kurven zeigen, welche Wellenlängen von zwei grünen Flächen reflektiert werden, welche für die Betrachter genau gleich aussehen. Um in der Graphik die Zuordnung zu erleichtern, sind Balkendiagramme mit den entsprechenden Grundfarben unterlegt.

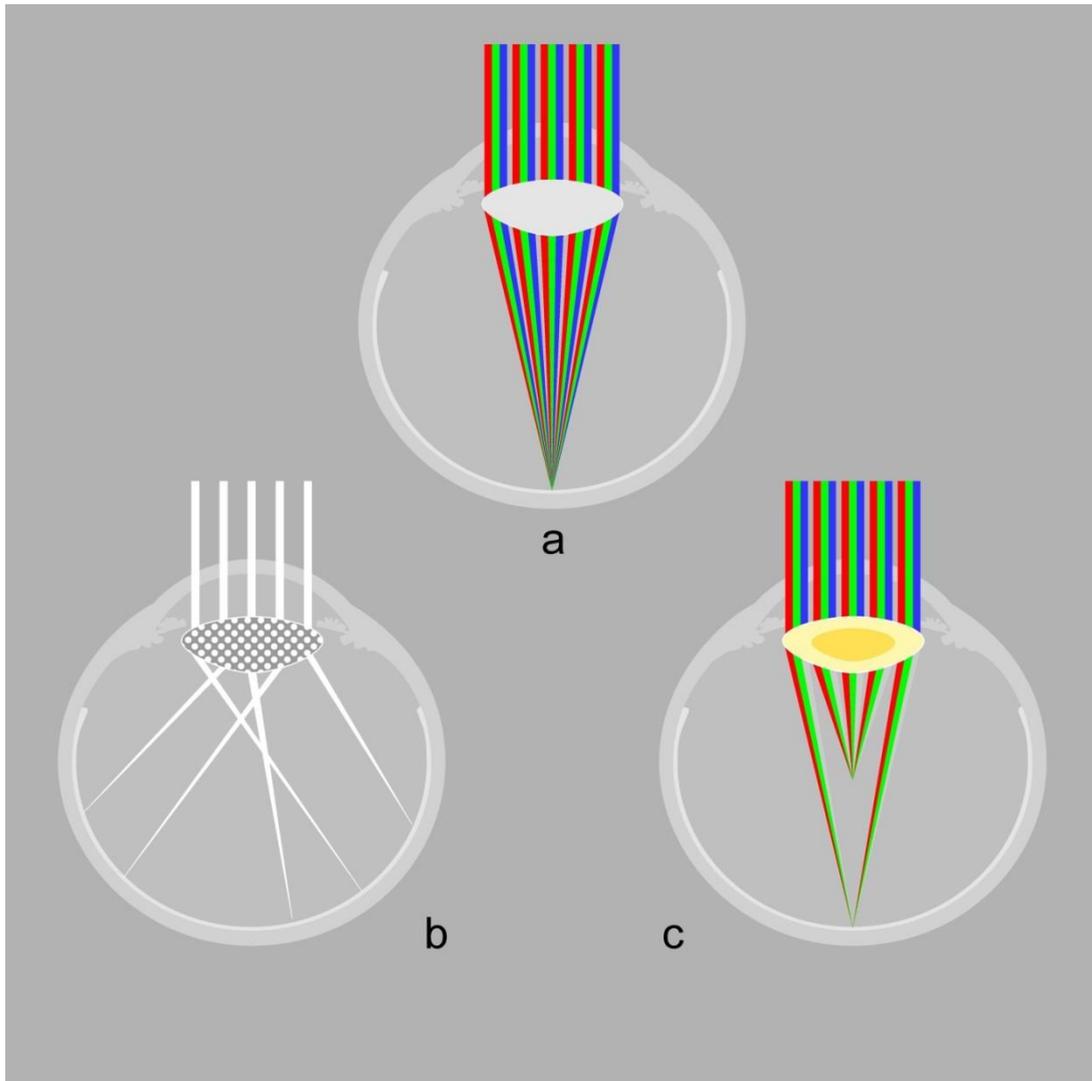
*Obere Reihe:* Das Grün, das der Maler sieht und malen möchte

*Untere Reihe:* Das Grün, das er auf seiner Palette dafür mischt

- a.** Das Lichtwellengemisch „Grün“ (*oben*) enthält mehr Blau als die Pigmentmischung „Grün“ auf der Palette (*unten*)
- b.** Ein Gelbfilter blockiert die kurzen Lichtwellen und Blau wird ausgefiltert. Einem Maler mit Kernkatarakt erscheint somit alles gelblicher. Um zu malen, was er sieht, wird er unbewusst auf seiner Palette mehr Gelb zumischen. Für einen Betrachter mit klarer Linse erscheint dann sein Bild in gelblichem Farbton

(nach Lanthony, 1999)

## Abb. 38



### Eigenschaften von Katarakt

- Normale Linse: Alle Wellenlängen des sichtbaren Lichtes (hier symbolisiert mit den Grundfarben des RGB-systems) passieren die Linse. Dort werden sie derart abgelenkt, dass sich die Strahlen an einem bestimmten Punkt (Brennpunkt, Fokus) auf der Netzhaut treffen.
- Katarakt mit Trübungen und Bläschenbildungen: Die eintretenden Lichtstrahlen werden zerstreut, und es kann keine scharfe Abbildung auf der Netzhaut entstehen. Den Betroffenen erscheint die Umwelt verwaschen
- Kernkatarakt: Die kurzwelligen Lichtstrahlen werden absorbiert und können die Linse nicht passieren. Die mittel- und langwelligen Lichtstrahlen treten durch und erscheinen gelblich (Weiss minus Blau). Der Kern ist dichter und bricht die passierenden Lichtstrahlen stärker, sodass diese näher zur Linse, d.h. vor der Netzhaut fokussiert werden. Die Betroffenen werden kurzsichtig



### Beispiel einer erworbenen Störung in der Aussenwelt: Katarakt

„Katarakt“ ist der medizinische Fachausdruck für eine Verminderung der Durchsichtigkeit der Linse. Der deutsche Begriff „Grauer Star“ ist im Prinzip ungenau, da nicht alle Arten von Katarakt grau sind.

Die Linse des Auges ist normalerweise durchsichtig und lässt alle Wellenlängen des sichtbaren Lichtes passieren (**Abb. 38 a**). Mit fortschreitendem Alter jedoch wird ihre Durchsichtigkeit beeinträchtigt und damit auch die Qualität der Abbildung auf der Netzhaut.

#### *Symptome:*

Die eine Art von Störungen durch Katarakt lässt sich mit einem *Milchglaseffekt* vergleichen. Dieser beruht auf Trübungen und Bläschen, die die durchtretenden Lichtstrahlen wirr zerstreuen (**Abb. 38 b**). Konturen erscheinen dann verschwommen, Kontraste werden abgeschwächt, die Sehschärfe sinkt, und häufig kommt es bei Gegenlicht zu unangenehmer Blendung. Ein derartig verändertes Erscheinungsbild der Aussenwelt wird von den Betroffenen unmittelbar als Störung wahrgenommen, und sie reagieren entsprechend.

Anders bei einer sog. *Kernkatarakt*: Hier besteht die Störung auf einem *Filtereffekt*, d.h. die Linse bleibt weitgehend transparent. Sie verfärbt sich jedoch gelblich und wird im weiteren Verlauf allmählich rötlich, braunrot und schliesslich braunschwarz, sodass nicht mehr Strahlen aller Wellenlängen ins Auge gelangen. Kurzwelliges Licht (blau) kann den Filter der gelben Linse nicht passieren, und nur das Licht im gelben und roten Bereich erreicht die Netzhaut (**Abb. 38 c**). Für die Betroffenen erscheint die Umwelt deshalb in gelblichen Tönen und bei fortschreitender Katarakt wird sie immer dunkler. Eine Kernkatarakt, die nur das Farbsehen beeinflusst, wird – im Gegensatz zu den Linsentrübungen mit Milchglaseffekt - anfänglich kaum beachtet. Erst in einer späteren Phase, wenn im Kern die Brechkraft so stark ansteigt, dass die Betroffenen kurzsichtig werden und entfernte Objekte unscharf sehen, werden sie zu Patienten.

#### *Therapiemöglichkeiten:*

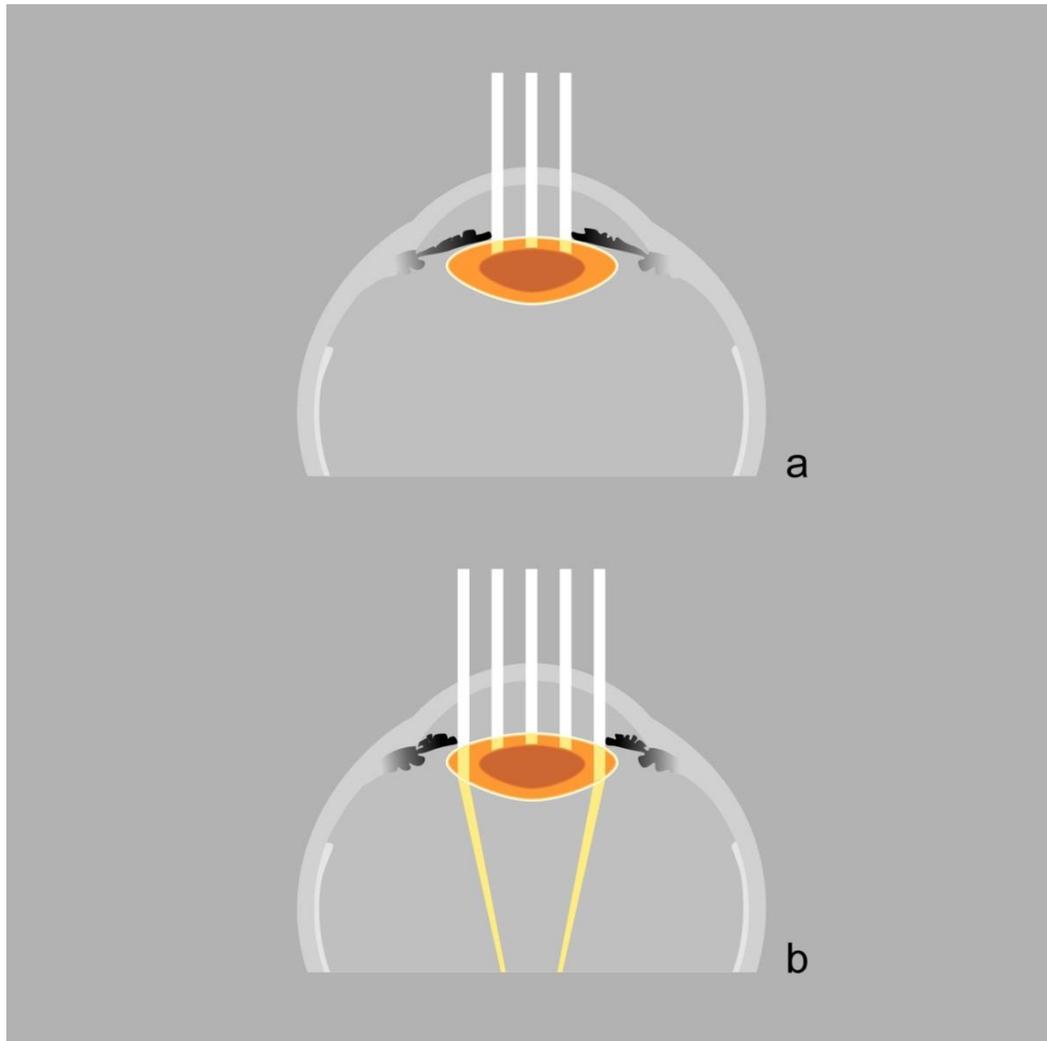
Bei einer beginnenden Kernkatarakt lässt sich die Sehfunktion etwas verbessern, indem man die Pupille mit Augentropfen erweitert (Mydriase) und so den Lichteinfall durch weniger betroffene Randzonen frei gibt (**Abb. 39**). Eine dauerhaft wirksame Behandlung jedoch ist allein die chirurgische Entfernung der Linse und deren Ersatz durch optische Hilfsmittel. In früheren Zeiten waren dies sog. Starbrillen (**Abb. 40 b**), die zwar ein scharfes Sehen ermöglichen, wegen ihrer optischen Nebenwirkungen den Patienten jedoch lange Angewöhnungszeiten abfordern. Erst seit Mitte des zwanzigsten Jahrhunderts gibt es Methoden, die optisch den Normalzustand (**Abb. 40a**) wieder herstellen (Intraocularlinsen) (**Abb. 40 c**).

#### *Simulation des Sehens von Kataraktpatienten mittels Computern*

Wenn man versucht, den Einfluss einer Katarakt auf das Sehen zu simulieren, indem man ein Bild durch geeignete Computerprogramme vernebelt und verfärbt, so kann man wohl das alterierte Bild darstellen, das auf der Netzhaut abgebildet wird, nicht aber das, was eine betroffene Person tatsächlich sieht. Wenn nämlich das visuelle System normal funktioniert (was bei einer Katarakt meist der Fall ist), so werden gewisse Abbildungsfehler der getrübten Linse durch die neuronalen Korrekturmechanismen korrigiert, und die Sehfunktion ist weit besser als man auf Grund der optischen Bedingungen erwarten würde<sup>63</sup>.

<sup>63</sup> Solche Korrekturmechanismen für optische Fehler sind schon im normalen Auge ein wichtiges Element des Sehens. Das Bild, das durch die optischen Teile des Auges auf die Netzhaut projiziert wird, ist so nämlich so unscharf, dass wir unsere Umgebung nur dank einer „neuronalen Verschärfung“ doch noch scharf sehen. Mehreren Wissenschaftlern wird die Aussage zugeschrieben, dass man einen Ingenieur, der einen optischen Apparat mit den (schlechten) Abbildungsqualitäten unserer biologischen Augen entwerfe, sofort entlassen müsste.

## Abb. 39

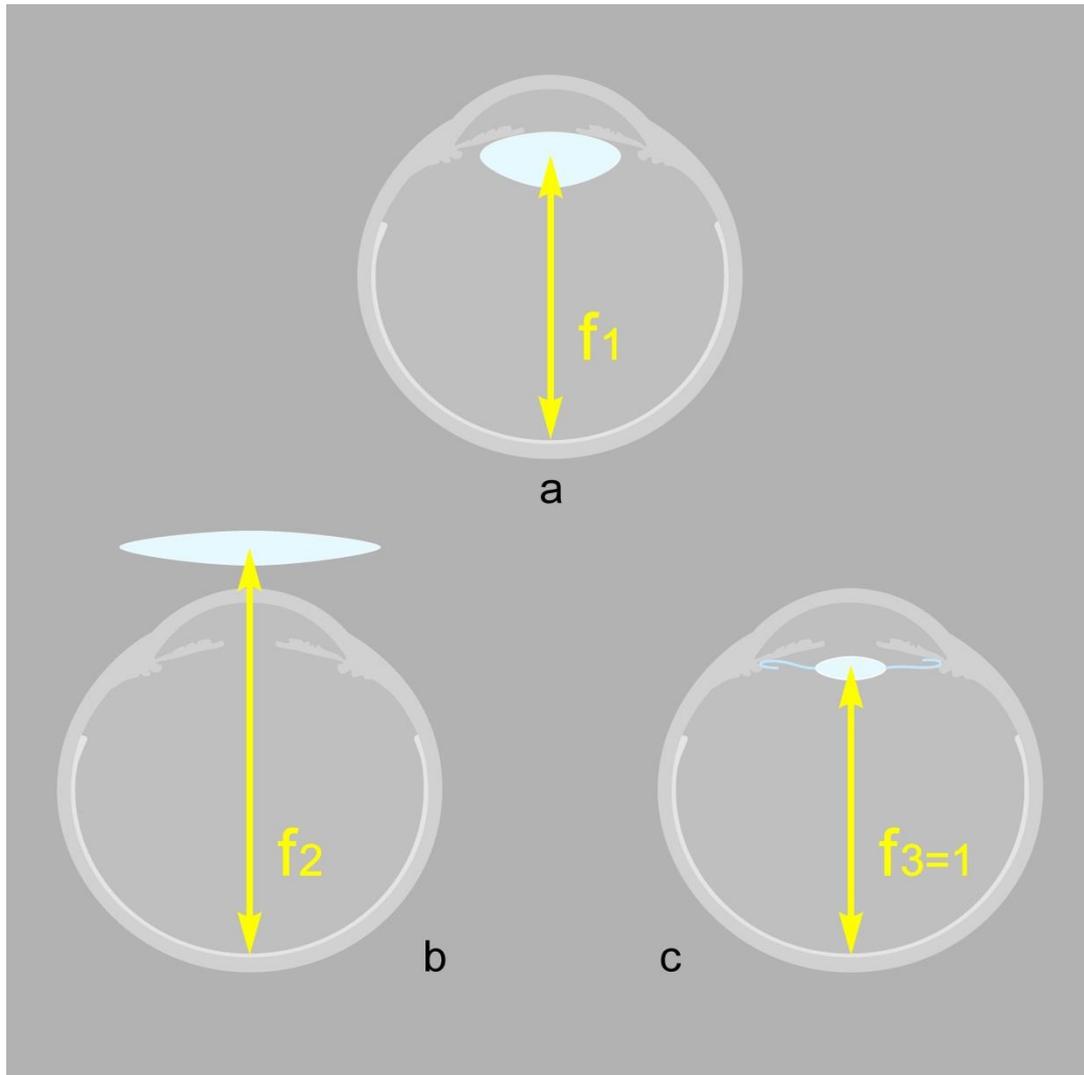


### Wirkung der Pupillenerweiterung bei Kernkatarakt

Bei Kernkatarakt wird die Linse gelblich-rotbraun verfärbt, wobei der Kern stärker betroffen ist als die Randzonen

- a. bei enger Pupille (zwischen den beiden schwarz gezeichneten Querschnitten der Iris) wird der Durchtritt des Lichtes durch den dicht getrübten Kern verhindert
- b. Eine Erweiterung der Pupille gibt die Randzone der Linse frei, welche weniger als Trübung sondern vielmehr als Farbfilter wirkt (siehe auch **Abb.** 37c). Von dort kann langwelliges Licht zur Netzhaut gelangen, und die Patienten sehen wieder besser.

## Abb. 40



### Die optischen Korrekturen nach einer Kataraktoperation

Wenn die Linse des Auges chirurgisch entfernt wurde, muss der Verlust ihrer Brechkraft durch optische Hilfsmittel kompensiert werden.

- Ausgangslage: Normales Auge.  $F_1$  ist die Brennweite der Linse
- Korrektur durch Starbrille: Die operativ entfernte Linse wird durch eine Brille ersetzt. Da diese in einiger *Entfernung* vor dem Auge getragen wird, verlängert sich die Brennweite ( $F_2$ ). Infolgedessen wird das Bild auf der Netzhaut vergrößert und verzerrt (Dies ist die optische Korrektur, die zur Zeit Monets verfügbar war)
- Korrektur durch Intraocularlinse: An die Stelle der ursprünglichen Linse wird eine optische Prothese im *Innern* des Auges fixiert. Die Brennweite entspricht wieder der natürlichen Linse ( $F_3 = F_1$ ) und die Umwelt wird wieder in den richtigen Größenverhältnissen abgebildet (Moderne optische Korrektur)

Wie wirkt sich dies in der Praxis aus? Anhand eines Einzelwerkes wird man keine Veränderung feststellen. Wenn normale Betrachter – d.h. mit klaren Linsen – ein solches Bild sehen, mögen sie zwar einen gelblichem Ton erkennen, aber dies werden sie, da ihnen die Vorlage nicht vertraut ist, als eine Darstellung im Sonnenschein oder in warmem Kunstlicht interpretieren. Erst durch den Vergleich einer Grosszahl von Werken über einen längeren Zeitabschnitt lässt sich bei Künstlern, wie später gezeigt werden soll, eine filterbedingte Gelbverschiebung feststellen.

Die Malenden selbst, welche beim Betrachten der Objekte die Farbverschiebung nicht bemerken, können diese höchstens anhand des veränderten Pigmentverbrauchs auf ihrer Palette realisieren, indem sie mehr Gelb verarbeiten als früher.

### **Der Fall Claude Monet**

Claude Monet (1840-1926) gehörte als Impressionist zu den Malern, deren Ziel es war, die Welt so zu malen, wie sie sie in lebendigem Licht sahen - in flimmernder Helligkeit, mit farbigen Schatten, still und doch bewegt. Dank der Erfindung von Farben in Tuben waren die Impressionisten nicht mehr gezwungen, die Pigmente im Atelier zuzubereiten und daselbst nach Skizzen und Modellen zu malen. Sie konnten nun im Freien arbeiten und so ihre Eindrücke im direkten Kontakt mit der Natur wiedergeben. Die neue Technik des Malens erlaubte, das Gesehene als Momentaufnahme in aller Frische darzustellen, im Gegensatz zum Malen im Atelier, wo die Maler ihre gesammelten Vorlagen zusammenfassten und daraus eine geistige Synthese – ein „Sujet in seiner Essenz“ – schufen.

Um die Stimmungen bei jeder Änderung des Sonnenstandes einzufangen, pflegte Monet mehrere Staffeleien am gleichen Standort aufzustellen und im Laufe des Tages von einer zur anderen zu wechseln. Dieses Verfahren wiederholte er Tag für Tag zu den gleichen Tageszeiten und schuf auf diese Weise die berühmten Serien der Kathedrale von Rouen, von Heustapeln, Palästen in Venedig, Ansichten von London und vor allem auch die Bilder in seinem Garten von Giverny. In diesen Gemälden findet man solche mit Farbstimmungen im Rotbereich (Morgen- und Abendsonne), im Blaubereich (Morgen- und Abenddämmerung) und die Zwischenbereiche im vollen Tageslicht (**Abb. 41**).

## Abb. 41

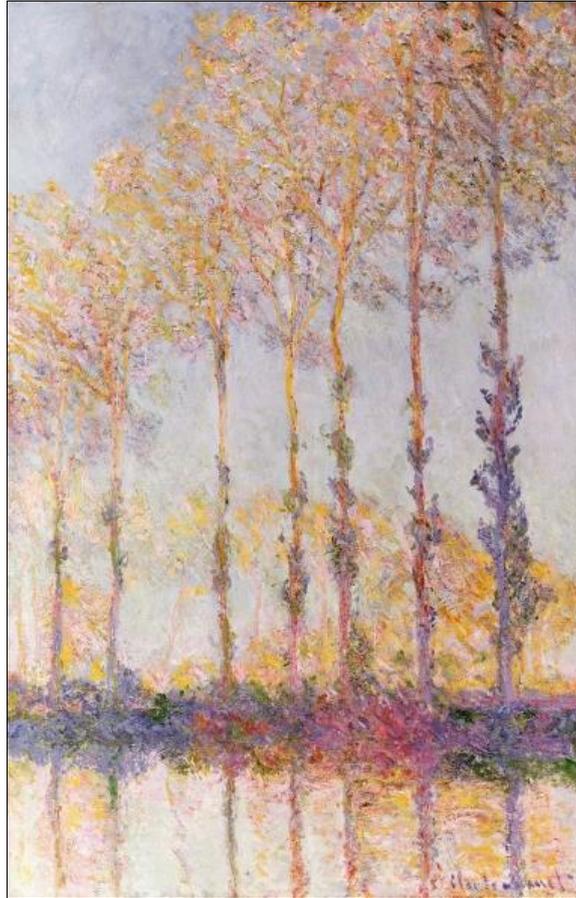
**Claude Monet:** Beispiele von Bildern aus der Periode vor der Katarakt



**a. „Impression“, 1872, Musée Marmottan, Paris**



**b Tulpen von Holland, 1872, Musée d'Orsay, Paris**



**c Pappeln im Sonnenlicht, 1891,**



**d London, Parlamentsgebäude im Nebel**



### e Seerosenteich, 1916-19

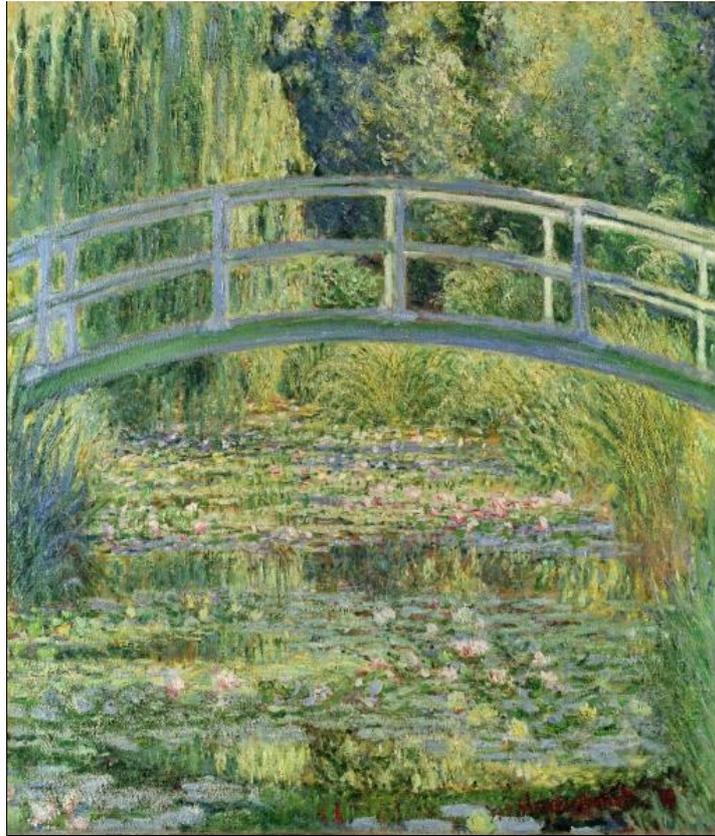
Im hohen Alter änderte sich jedoch merkwürdigerweise sein Stil. Statt der zarten, fein aufeinander abgestimmten Farbtöne seiner früheren Gemälde (**Abb. 42a**) herrschten plötzlich grelles Rot, Orange, Gelb und sogar Schwarz vor, alles durchsetzt von turbulenten, verwirrenden Pinselstrichen<sup>64</sup> (**Abb. 42b**).

Dieser dramatische Farbwechsel gibt Rätsel auf. Was ist seine Ursache? Einer der Erklärungsversuche postuliert eine *geistige* Entwicklung, im Sinne einer künstlerischen Reifung. Diese Auffassung wird von denjenigen Kunsthistorikern vertreten, die einen Aufbruch des bisher konservativ-impressionistischen Monet in die künstlerisch innovative Welt seiner Zeitgenossen sehen wollen, ja, ihn gar als Vorläufer von Jackson Pollock und Sam Francis interpretieren<sup>65</sup>. Diese Ansicht lässt allerdings ausser Acht, dass es nicht die letzten Bilder waren, die Monet rot-turbulent malte, sondern dass er ausgerechnet am Schluss wieder zu einem normalfarbigen nuancenreichen Stil zurückkehrte (**Abb. 47**).

<sup>64</sup> Die roten Bilder sind die am wenigsten bekannten Werke Monets, denn die meisten (22 Gemälde) befinden sich in einem einzigen Museum (Musée Marmottan in Paris). Nur 7 sind in anderen öffentlichen Kunstsammlungen zu sehen, und die übrigen 20 Bilder sind in Privatbesitz.

<sup>65</sup> Siehe Michel Hoog, *Les Nymphéas de Claude Monet*, Ed. Réunion des musées nationaux, Paris, 1984, Seite 71 ff.



**Abb. 42****a****b**

**Claude Monet: Vergleich von Gemälden mit gleichem Motiv** (bevor und nach der Entwicklung einer Katarakt)

Japanische Brücke im Garten von Giverny

**a.** gemalt ca. 1899 National Gallery, London

**b.** gemalt ca. 1918-24 Musée Marmottan, Paris

Eine andere Hypothese erklärt den Stilwechsel als Folge der *Kernkatarakt*, die den Maler in seinen späten Jahren behinderte. Demgemäss hätte er die grell-roten Farbtöne bevorzugt, weil für ihn durch die fortschreitende Verfärbung der Linse das Erscheinungsbild der Welt gelb-rötlich verfärbt worden war. Dieser These jedoch widerspricht, dass auch nach der chirurgischen Entfernung der Katarakt, d.h. als der optische Weg in die ursprüngliche Farbenwelt wieder frei war (**Abb. 40b**), Monet nicht aufhörte, rot-turbulente Bilder zu malen<sup>66</sup> (**Abb. 45, 46**).

Zu einer besseren Antwort auf die Frage nach dem rätselhaften Farbwechsel führt die Analyse der Krankengeschichte Monets.

### *Krankengeschichte*

Im Jahre 1912, im Alter von 71 Jahren entdeckte Monet plötzlich, dass er auf dem rechten Auge nichts mehr sah<sup>67</sup>. Die konsultierten Augenärzte erklärten einstimmig, dass es sich um eine fortgeschrittene Katarakt handle, und dass auch das andere, linke Auge betroffen sei. Wenn man das Sehen verbessern wolle, bliebe nur eine Operation.

Monet lehnte jedoch ab<sup>68</sup>. Die Operationen waren damals für die Patienten beschwerlich und risikoreich<sup>69</sup>, und die optischen Resultate waren auch bei bestem Erfolg unbefriedigend (siehe **Kasten**: Kommentare aus augenärztlicher Sicht). Ja, es war sogar zu befürchten, dass das operierte Auge eher ein Störfaktor geworden wäre, als eine Hilfe. Es erstaunt deshalb nicht, dass auch die Augenärzte sich in Bezug auf eine Operation nicht einigen konnten.

Monet hatte offensichtlich richtig entschieden, denn noch während 11 Jahren konnte er mit seinem besseren, linken Auge weiterhin aktiv sein. „Er arbeitete wie ein Besessener bis zur körperlichen Erschöpfung“<sup>70</sup>. 1916 nahm er sogar sein wichtigstes Werk, die „Grandes Décorations“, die grossen Seerosenbilder, in Angriff (**Abb. 48**).

Als jedoch 1922 auch an seinem zweiten Auge die Linsentrübung zunahm, blieb Monet nichts übrig, als mit dem Malen aufzuhören. Zwar liess sich seine

---

<sup>66</sup> Da Monet seine Bilder im letzten Drittel seines Lebens nicht datierte, sind präzise Zuordnungen in die Phasen vor und nach der Operation nicht möglich. Wildenstein positioniert die turbulent roten Bilder generalisierend in die Zeitspanne zwischen 1918-1924. Daraus ist zu schliessen, dass sie von Monet entweder nach der Operation gemalt oder zumindest überarbeitet wurden, und somit eine Ausdrucksform darstellen, die Monet - wieder im Besitze seiner normalen Farbempfindung bewusst anstrebte.

<sup>67</sup> Monet: "... en me mettant au travail, j'ai constaté avec terreur que je ne voyais plus rien de l'oeil droit. J'ai tout planté là pour aller bien vite me faire examiner par un spécialiste..." (Lantony, p.28)

<sup>68</sup> Nach eigenen Angaben fühlte sich Monet damals aus familiären Gründen ausserstande, einer Operation zuzustimmen (Wildenstein, Seite 397).

<sup>69</sup> Entmutigt wurde Monet durch die Misserfolge der Kataraktoperationen bei anderen Malern, u.a. bei Mary Cassat und Honoré Daumier

<sup>70</sup> Wildenstein, Seite 410

Sehschärfe noch kurzfristig steigern, indem man die Pupille mittels Augentropfen erweiterte (siehe **Abb.** 39, 44), aber 1923 wurde ein chirurgischer Eingriff unumgänglich.

Operiert wurde Monet – wie üblich - am schlechteren Auge. Sollte er jedoch erwartet haben, dass danach seine Probleme gelöst seien, sah er sich getäuscht. Vielmehr wurde alles kompliziert, denn während er *vor* der Operation nur ein Auge hatte, das sehtüchtig war, so hatte er *danach* zwei Augen, von denen aber jedes etwas anderes sah. Das *nicht*-operierte Auge sah wie zuvor nur schattenhaft, aber zumindest die Proportionen des Raumes blieben gewahrt. Das *operierte* Auge hingegen sah zwar klarer in frischen Farben, die räumliche Umwelt aber erschien vergrößert (wegen des Vergrößerungseffektes der Starbrille) und verzerrt (wegen der narbenbedingten Hornhautverkrümmung). Mit beiden Augen gleichzeitig zu sehen, war wegen der ungleichen Doppelbilder nicht möglich, und Monet musste nun entscheiden, welches Auge er zum Malen benutzen wollte.

Um mit der unerfreulichen Situation fertig zu werden, schlugen die Ärzte vor, weiterhin das nicht-operierte Auge zum Malen einzusetzen, indem man erneut die Pupille erweiterte. Ferner versuchte man, die störenden, überlappenden Doppelbilder zu vermeiden, indem man eines der beiden Augen durch eine schwarze Klappe abdeckte (Okklusion).

Die Ungleichheit der beiden Augen hinsichtlich der Bildgrößen wäre eigentlich ein Grund gewesen, auch das zweite Auge zu operieren. Wenn Monet auf solche Vorschläge nicht einging, so hatte dies seinen Grund in seiner Enttäuschung wegen der mühseligen visuellen Rehabilitation des bereits operierten Auges. Darüber verärgert machte Monet seine Ärzte nervös, denn die allgemein üblichen Schwierigkeiten mit den optischen Mängeln der Starbrille (siehe **Abb.** 40 b) wurden bei ihm noch durch zwei zusätzliche Faktoren verstärkt: Zum einen wechselten bei ihm die Brillenstärken ständig. Zum andern fühlte er sich gestört durch falsche Farbempfindungen; manchmal durch einen umschriebenen blauen Kreis, manchmal durch eine Verfärbung des ganzen Gesichtsfeldes in Blau oder in Gelb<sup>71</sup>, und die Versuche einer Kompensation mit farbig getönten Brillengläsern, brachten nur zeitweise Besserung. Immer wieder wurden diese abgelehnt, danach wieder aufgenommen, um dann erneut verlassen zu werden. Deshalb weigerte sich Monet, das zweite Auge operieren zu lassen, bis ein Maler gefunden werde, „der operiert worden ist und nun bestätigt, dass er wieder alle Farben sehen kann“<sup>72</sup>.

---

<sup>71</sup> Bericht von Dr. Mawas, Augenarzt, über einen Besuch in Giverny (1924):

*Monet:* „Je vois bleu, je ne vois plus le rouge, je ne vois plus le jaune; ça m’embête terriblement parce que je sais que les couleurs existent; parce que je sais que sur ma palette il y a du rouge, du jaune, il y a un vert spécial, il y a un certain violet; je ne les vois plus comme je les voyais dans le temps, et pourtant je me rappelle très bien les couleurs que ça me donnait.“

*Mawas:* „Mais comment savez-vous que vous peignez en bleu?“

*Monet:* „Par les tubes de peinture que je choisis“

<sup>72</sup> Wildenstein (Seite 429), der beifügt: „Da eine von Albert Besnard in die Wege geleitete Suche „nach dem weissen Raben“ erfolglos verläuft, findet die Operation nicht statt.“

Erst 1925, zwei Jahre nach der Operation, konnte Monet, der noch im März seinem Arzt geschrieben hatte „bien que je ne sois plus que jamais certain que la vue d'un peintre ne peut être retrouvée“ im Juli desselben Jahres jubeln: „...j'ai retrouvé ma vraie vision et cela presque d'un seul coup.“

So weit die Krankengeschichte. Wie hat sie die Farbgestaltung Monets beeinflusst?<sup>73</sup>

### *Einfluss auf die Malerei*

In seiner späten Schaffensperiode malte Monet drei Gruppen von Werken:

- Die Ansichten des Gartens von Giverny
- Die „Grandes Décorations“ (grosse Seerosenbilder)<sup>74</sup>
- Die turbulent-roten Bilder

Wie entwickelte sich nun die Farbgebung in der Phase bis zur Operation, während die kataraktöse Linse immer gelber wurde? Und wie danach, als das optische Hindernis zwar beseitigt war, nun aber abnorme Farbempfindungen aufgetreten waren?

Für eine Analyse ist entscheidend, dass Monet– wie erwähnt - in den Phasen vor und nach der Operation nicht dasselbe Auge benutzte. Präoperativ malte er mit dem linken Auge (mit Gelbfilter); postoperativ konnte er auch mit dem rechten Auge sehen (filterfrei).

### **Kommentare zur Krankengeschichte aus augenärztlicher Sicht**

Zur Zeit Monets war das Schicksal von Patienten mit Katarakt völlig anders als heute. Um die Schwierigkeiten zu verstehen, mit denen Monet zu kämpfen hatte, soll hier die damalige Situation beschrieben und kommentiert werden. Dabei wird auch verständlich, warum Monet – der von Misserfolgen der Kataraktoperation u.a. auch bei einigen seiner Malerkollegen wusste - die Operation so lange als möglich hinauszögern wollte.

<sup>73</sup> Die anderen Behinderungen durch die Katarakt, wie Störungen des Formensehens, Blendung, etc. sprengen den Rahmen unseres Themas. Es sei hier auf die hervorragende Darstellung von Lanthony (1999) hingewiesen, auf die sich auch ein Teil dieser Präsentation stützt.

<sup>74</sup> Die „Grandes Décorations“, die Monet (auf Betreiben seines Freundes, des damaligen Premierministers Georges Clémenceau) dem französischen Staat schenkte, sind heute im Musée de l'Orangerie in Paris zu sehen. Einzelne grosse Seerosenbilder gibt es auch anderswo, denn ihre Anzahl ist grösser, als in der Orangerie Platz gefunden hätte.  
Siehe <http://www.musee-orangerie.fr/> [2013]

## Die präoperative Phase

### *Die Diagnose*

Bei der Analyse der Krankengeschichte stellt sich als erstes die Frage, warum Monet seine Katarakt nicht spontan bemerkt hatte bis zum Ereignis, das 1912 die augenärztliche Untersuchung veranlasste, – dies, obwohl die Ursache der Störung im optischen Apparat des Auges, d.h. in der Aussenwelt lag.

Daraus kann man schliessen, dass es sich um die spezielle Form der Kernkatarakt gehandelt hatte, die vorwiegend das Farbsehen verändert und über Jahre hinweg äusserst langsam fortschreitet (siehe **Kasten** Katarakt). Wenn Monet sie gleichwohl als akute Sehverschlechterung wahrnahm, lag vermutlich daran, dass er zufällig sein linkes, damals noch besseres Auge verdeckt hatte und so erstmals realisierte, wie sehr sich die Sehfunktion des anderen, rechten Auges verschlechtert hatte.

### *Die Zwischenphase*

Die damals diagnostizierte „beginnende“ Katarakt am besseren Auge war nicht so ausgeprägt, dass Monet nicht mehr hätte malen können. Als nach Jahren die Linsenveränderung zunahm, liess sich, da es sich um eine Kernkatarakt handelte, die Sehfunktion durch die Erweiterung der Pupille noch für kurze Zeit verbessern (siehe **Abb. 39**).

### Die Operation

Zur Zeit Monets erforderte die operative Entfernung einer Katarakt 3 Eingriffe:

1 *Iridektomie*: Durch einen kurzen Einschnitt am Rande der Cornea (Hornhaut) wurde ein Teil der Iris (Regenbogenhaut) aus dem Auge herausgedrückt und abgeschnitten. Die kleine Hornhautwunde liess man spontan ausheilen. (*Heute* ist dieser Eingriff überflüssig geworden).

2 *Extrakapsuläre Kataraktoperation*: In einer zweiten Operation wurde die Cornea durch einen langen Schnitt (120-150 Grad der Zirkumferenz) eröffnet, und zwar so, dass ein aufklappbarer Hornhautlappen entstand, an dessen Rand noch eine Verbindungsbrücke zur angrenzenden Bindehaut verblieb. Danach wurde die Umhüllung der Linse (Linsenkapsel) eingeschnitten und das darin enthaltene getrübbte Linsenmaterial aus dem Auge herausgedrückt und –gespült. Den Hornhautlappen mit der Bindehautbrücke legte man danach zurück, schloss darüber die Augenlider und sicherte diese mit einem Verband. Die lange Hornhautwunde überliess man der Spontanheilung bis zur soliden Vernarbung, denn einen schneller heilenden und präzise fixierenden Verschluss durch Nähte scheute man damals, vor der Ära der Antibiotica, wegen der damit verbundenen Infektionsgefahr. (*Heute* sind die Einschnitte so kurz, dass sie spontan, ohne Naht, innert kürzester Frist einwandfrei heilen. Für die Patienten verkürzt sich die Rekonvaleszenz auf einige Stunden).

3 *Nachstardiszision*: Da es kaum je gelang, die Linsenmassen komplett zu entfernen, entwickelte sich in der Pupille im Laufe der Zeit eine neue Trübung („Nachstarmembran“). Diese durchtrennte man in einem dritten Schritt mit einem feinen Messerchen, das am Rand der Cornea ins Auge gestossen wurde. (*Heute* verwendet man dazu die Lichtenergie von Lasern. Das Auge muss dazu nicht mehr eröffnet werden, und die Patienten sind unmittelbar nach der Laserbehandlung wieder beschwerdefrei).

Da damals zwischen jedem Schritt eine längere Heilungsphase abgewartet werden musste, waren die Patienten in dieser Zeitspanne auf das Sehen mit dem anderen Auge angewiesen, und falls dieses ebenfalls eine Katarakt aufwies, noch während Wochen sehbehindert.

## Die postoperative Phase

### *Allgemeine postoperative Schwierigkeiten:*

Zur Zeit Monets dauerte die Rekonvaleszenz lange, da die Wunden, nicht gesichert durch Nähte, stärkeren mechanischen Belastungen nicht standhielten. Ausserdem änderte sich wegen der labilen Wundverhältnisse die Krümmung der Hornhaut (Astigmatismus), und bis zu einer endgültigen Korrektur mit Brillengläsern mussten die Patienten geduldig ein halbes Jahr und länger warten.

Aber auch nach Stabilisierung der Wunde verblieben Probleme, denn das Auge sah nicht gleich wie zuvor. Wird die Linse aus dem Auge entfernt, so müssen deren optische Eigenschaften durch ein neues optisches System ersetzt werden. Zur Zeit Monets geschah dies durch dicke Brillengläser, sog. Starbrillen (siehe **Abb. 40b**), deren Abbildungsqualität sich von einer natürlichen Augenlinse u.a. dadurch unterschied, dass

- das Bild, das sie auf der Netzhaut entwarfen, ca. 30% *grösser* war
- das Gesichtsfeld seitlich durch eine ringförmige blinde Zone (*Ringskotom*) begrenzt wurde, und die Brillenträger deshalb nur einen relativ kleinen zentralen Bereich überblicken konnten
- das Bild beim *Blick zur Seite* stark verzerrt wurde.

Infolgedessen sahen Patienten, deren anderes Auge noch nicht operiert worden war, mit ihren Augen zwei verschiedenartige Bilder, und um die Verwirrung zu beseitigen blieb nichts übrig, als eines der Augen durch eine Klappe abzudecken.

### *Spezifische postoperative Probleme bei Monet*

Die Rekonvaleszenz dauerte bei Monet sogar für damalige Verhältnisse ausserordentlich lange (2 Jahre statt 6 Monate). Zudem war sie begleitet von ungewöhnlichen Symptomen mit spontan auftretenden Farberscheinungen, die sich, im Ausmass als auch in der Tönung wechselnd, vor allem im Blau-Gelbbereich abspielten.

Das Blausehen erklärten Monets Ärzte als normalen Sukzessivkontrast, d.h. als eine natürliche Folge des vorangegangenen jahrelangen kataraktbedingten Gelbsehens. Dagegen ist einzuwenden, dass sukzessive Kontrastempfindungen nur kurze Zeit andauern<sup>75</sup>. Sie sind einfarbig, und als Kontrast nach Gelbsehen wären sie stets im Blaubereich. Ausserdem würden sie nicht kreisförmige Areale, sondern das ganze Gesichtsfeld einbeziehen.

Ein zweiter Erklärungsversuch ging davon aus, dass sich nach Wegfall der Linse das sichtbare Spektrum in den Ultraviolett-Bereich erweitert hätte. Normalerweise verhindert die natürliche Linse den Zutritt von extrem kurzwelligem Blau (und Ultraviolett); wenn sie fehlt, könnte ein Blaubereich ins Auge gelangen, der zuvor unsichtbar war<sup>76</sup>. Gegen diese Hypothese ist einzuwenden, dass eine Starbrille aus dickem Glas als UV-Filter den Zutritt von kurzen Wellenlängen ins Auge stark reduziert.

## Postoperative Hypotonie?

<sup>75</sup> Einfache Sukzessivkontraste (siehe **Abb. 9**) klingen schon nach wenigen Minuten, der länger andauernde Mc Collough-Effekt spätestens in einigen Tagen ab.

<sup>76</sup> Wie die Kurve in **Abb. 6** zeigt, ist das S-Zapfenpigment in diesem normalerweise unsichtbaren Bereich durchaus noch empfindlich

Keine der bisher genannten Hypothesen kann erklären, warum die postoperativen Farbphänomene so stark variierten, manchmal abgegrenzt (Ring), manchmal diffus (ganzes Gesichtsfeld), wechselnd zwischen blau und gelb. Solche Symptome deuten auf milde Netzhautreizungen, die die Sehzellen stimulieren und so Farbhalluzinationen auslösen.

Wenn man alle Symptome Monets zusammenfasst, so lassen sich am besten durch einen abnorm tiefen Druck (Hypotonie) im Augapfel erklären. Der Schluss liegt nahe, dass, weil das Auge weich war und sich bei Augenbewegungen verformte, ein ständig wechselnder Astigmatismus (Hornhautverkrümmung) entstand und Monet zwang, seine Brillenkorrekturen immer wieder anzupassen. Die abnormen Farbempfindungen sind durch Netzhautschwellungen, die einen abnorm tiefen Augendruck begleiten, zu erklären.

Ursache einer postoperativen Hypotonie ist meist ein ungenügender Wundverschluss. Dieser war zur Zeit Monets keine Seltenheit, denn bei der damals üblichen Operationstechnik war der Wundverschluss häufig mangelhaft. Oft blieben auch kleine Reste von Linsengewebe zwischen den Wundlippen kleben und behinderten die Vernarbung. Wurde die Wunde endlich einmal dicht, konnte der Augendruck wieder ansteigen, und die lästigen Symptome verschwanden schlagartig. Dies dürfte der Moment gewesen sein, an dem Monet nach zwei Jahren plötzlich begeistert verkündete, dass er wieder störungsfrei sehe.

#### *Die Farbwahl in der Phase bis zur Operation*

Im Zeitabschnitt *vor* der Operation verwendete Monet die Farben so, wie man es bei einer zunehmenden Kernkatarakt erwarten würde, d.h. seine Farbskala bewegte sich immer mehr in Richtung der warmen Farbtöne. Diese Farbverschiebungen, die sich durch Lanthony mit statistischen Methoden belegen liessen, finden sich jedoch nur in den Gartenbildern. In den „Grandes Décorations“ hingegen zeigen die gleichen statistischen Methoden, dass die Farbskala konstant blieb und sowohl vor als auch nach der Operation unverändert im Bereich der kälteren Farben lag<sup>77</sup>.

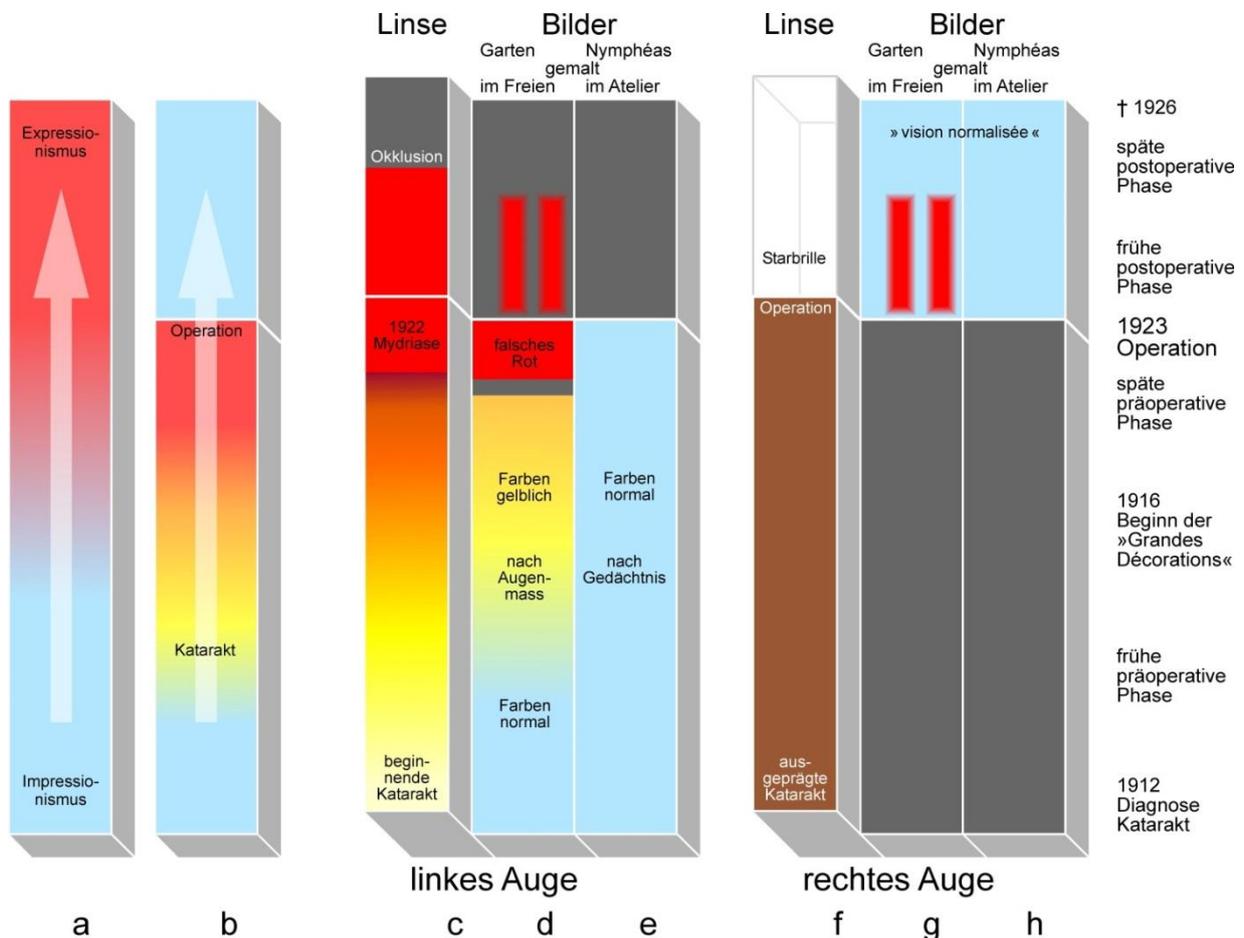
---

<sup>77</sup> Lanthony (1999) hat die Farbverschiebungen quantitativ untersucht, indem er über Farb reproduktionen der genannten Werke Raster legte und deren Zellen hinsichtlich Helligkeits- und Farbwerten ausmass.

In Sujets, die Monet immer wieder gemalt hat, d.h. in den Serien der Gartenbilder „Pont Japonais“ und „Allées du jardin“, fand er im Verlauf der präoperativen Phase eine Zunahme der warmen Farbtöne von 60% auf 75% mit einem Kipppunkt der Farbskala beim Grüngelb; in der späten postoperativen Phase zeigten die Bilder wieder eine gleiche Verteilung der Farbwerte wie die frühen Werke.

In den Nymphéas hingegen blieben die Farbwerte stets im Bereich der kälteren Farben (in der frühen Phase bei 70%, in der späten Phase bei 75%).

## Abb. 43



### Das Auftreten turbulent roter Bilder in Monets Spätwerk

Am *rechten Rand* steht die Zeitleiste, von unten nach oben fortschreitend. Die Säulen geben die Entwicklung des Malstils wieder

- a Die Säule präsentiert schematisch die Hypothese einer geistig künstlerischen Entwicklung: „Künstlerische Reifung“ im Sinne einer kontinuierlichen Zuwendung zu turbulent roter Farbgebung mit zunehmendem Alter
- b Die katarakt-chirurgische Hypothese: Die rote Farbgebung in den Bildern geht parallel zur Rotfärbung der Linse und nach deren Operation verschwindet sie wieder.
- c-h Analyse der Kataraktentwicklung und ihrer Auswirkungen auf den Malstil, unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Entwicklung am linken (c-e) und rechten Auge (f-h).  
Die linken Säulen (c,f,) zeigen die *Linsenverfärbung* mit zunehmendem Alter an, die mittleren Säulen (d,e) die Auswirkungen auf die Farbgebung in den Bildern vom *Garten in Giverny* und die rechten Säulen (d,g) diejenige in den *grossen Seerosenbildern*

### Linkes Auge:

- c. Anfänglich als Gelbfilter wenig störend, wird die Linse allmählich tiefbraun. Wenn die Pupille erweitert wird (Mydriase) bessert sich die Sicht, die rote Zone des Linsenrandes beherrscht den Seheindruck. Nach der Operation des anderen Auges wird das linke Auge beim Malen nur sporadisch benutzt. Es wird vielmehr zu einem Störfaktor, weshalb es durch eine schwarze Klappe (Okklusion) abgedeckt wird.
- d. In den Bildern vom *Garten*, gemalt im Freien nach Augenmass, verschieben sich die Farbtöne gegen die warmen Farben. Nach einer Zwangspause 1922 (*dunkler Balken*) erkennt Monet dank der Mydriase die Veränderung der Welt und malt sie turbulent rot. Welche Gartenbilder Monet nach der Operation des rechten Auges noch mit dem linken Auge gemalt hat, lässt sich nicht sicher festlegen.
- e. Die *Nymphéas*, gemalt im Atelier nach Gedächtnis, behalten die gewohnte Farbgebung, unabhängig von der Linsenverfärbung, bei. Nach der Operation des anderen Auges erfolgt ihre Weiterbearbeitung nicht mehr mit diesem Auge.

### Rechtes Auge:

- f. Die Katarakt ist stark ausgeprägt, und das Auge sieht zu wenig, um zu malen. Nach der Operation jedoch wird das rechte zum besseren Auge und mit dessen Hilfe malt Monet fortan sein Werk
- g. Nach der Operation malt Monet nur noch wenige *Gartenbilder*. Er vergleicht dabei die beiden Augen miteinander, und es entstehen sowohl turbulent rote als auch normalfarbige Bilder. Später normalisiert sich das Farbsehen wieder.
- h. Die *Nymphéas* kann Monet nach der Operation überarbeiten und - wieder farbnormal - Korrekturen bei den früher gemalten Bildern anbringen.

Diese Diskrepanz ist gewiss erklärungsbedürftig. Sie könnte darauf beruhen, dass Monet die Gartenbilder im Freien malte und die Farben so wählte, wie er sie in der Natur sah. Demgegenüber schuf er die „Grandes Décorations“ als Atelierbilder aus dem Gedächtnis. Dabei konnte er sich auf seine über 20 Jahre lange Erfahrung mit Seerosenbildern verlassen und dank ebendieser Erfahrung kannte Monet auch die genaue Lage der Farben auf seiner Palette und konnte sie deshalb auch objektgerecht auswählen<sup>78</sup>. Allerdings fragt es sich, wie er es bei seiner schlechten Sicht fertigbrachte, das Resultat auf der Leinwand zu kontrollieren. Dazu war Monet offensichtlich erst nach der Operation in der Lage, was daraus hervorgeht, dass er dank des neu erworbenen Sehvermögens - einen Teil seiner Bilder verwarf und zerstörte, die anderen – trotz aller Einwände seiner Freunde - immer wieder überarbeitete. verfremdeten Farben und wirren Pinselstrichen wiedergab (**Abb. 42b, 44**).

---

<sup>78</sup> Monet zu Thiébauld-Sisson (1918): "...c'est que j'ai adapté mon procédé de travail à ma vue, et que, la plupart du temps, j'ai posé le ton au hasard, me fiant uniquement d'une part aux étiquettes de mes tubes, de l'autre à l'ordre invariable que j'avais adopté pour ma palette." (zit. Lanthony, 1999, p.31)

Wie aber kam Monet auf seine turbulent-roten Bilder? Es handelt sich bei diesen ausschliesslich um Sujets aus seinem Garten in Giverny, die er schon Jahre zuvor vielfach in Serien gemalt hatte (**Abb.** 42a) und die er nun plötzlich in verfremdeten Farben und wirren Pinselstrichen wiedergab (**Abb.** 42b, 44). Wer als Ursache den Filtereffekt der Katarakt annehmen möchte, muss sich dann aber die Frage stellen, warum gleichzeitig Monet seine Seerosenbilder der „Grandes Décorations“ weiterhin in unverändert natürlichen Farbtönen malte.

Warum der Stilwechsel? Der einfache Erklärungsversuch, dass Monet unbewusst seinen Garten verfärbt gesehen und unbewusst rot-gelb gemalt habe, greift nicht, denn Monet hat rote Bilder auch nach der Operation gemalt, d.h. ohne Rotfilter. Auch wusste er, der dutzendweise die gleichen Sujets noch bei normalem Farbsehen gemalt hatte, aus dem Gedächtnis, wie sie aussahen, und dank der Bezeichnungen auf den Tuben hätte er auch die entsprechenden Farben wählen können – das gleiche Verfahren, das er bereits zum Malen der „Grandes Décorations“ benutzte.

Monet hatte also die optischen Eindrücke, die ihm das kataraktöse Auge noch vermitteln konnte, offenbar als positives Erlebnis betrachtet und absichtlich genau so gemalt: „Ma pauvre vue me fait tout voir dans un brouillard complet; c’est quand-même bien beau et c’est cela que je voulais rendre.“<sup>79</sup> Die der präoperativen Phase zugeschriebenen roten Bilder könnten aus dem Zeitabschnitt stammen, in dem seine Pupille durch Medikamente erweitert worden war (siehe **Abb.** 39 und 44)<sup>80</sup>.

### *Die postoperative Phase*

Nach der Entfernung der kataraktösen Linse entstand eine Konkurrenz zwischen dem operierten und dem nicht-operierten Auge. Mit dem linken Auge sah Monet anders als mit dem rechten, sowohl in der Farbe als auch in Bildgrösse und –form. Er konnte nicht beide Augen gleichzeitig benutzen und musste jeweils entscheiden, welches er beim Malen benutzen wollte. Dass er in dieser Hinsicht experimentierte wissen wir, wie er dies aber in einer gegebenen Situation genau tat, ist nicht bekannt. Es lassen sich auch die Hypothesen nicht beweisen, dass Monet die beiden verschiedenen Seheindrücke auf einem Bild miteinander zu verschmelzen suchte (**Abb.** 45) oder dass er sie auf zwei Bildern einander gegenüber stellte (**Abb.** 46). Sicher ist jedoch, dass nunmehr Monet nebeneinander sowohl turbulent-rote als auch normalfarbige Bilder schuf.

---

<sup>79</sup> (1922). (zit.in Lanthony 1999, p.30)

<sup>80</sup> Eine genaue zeitliche Einordnung ist nicht immer möglich, da Datierungen auf den Bildern fehlen. Wir folgen hier der Einschätzung Wildensteins (1996)

Im Prinzip lebte Monet fortan in drei visuellen Welten, die sein Schaffen bestimmten (siehe **Kasten**: Die visuelle Welt Monets).

- Die eine Welt war diejenige der *Erinnerung*, die „richtige“ alte Welt.
- Die andere war diejenige des linken Auges, wo nach wie vor eine *Katarakt* bestand<sup>81</sup>, mit Farben, die durch die Optik zwar verändert waren, in diesem veränderten Zustand jedoch sensorisch richtig verarbeitet wurden (und mit einem Formsehen in richtigen Proportionen, aber mit verwischten Konturen).
- Die dritte Welt war diejenige des rechten *operierten* Auges, wo optisch die Farben zwar korrekt wiedergegeben wurden, sensorisch aber die Farbempfindungen wegen der postoperativen Komplikationen variierten (und die Formen durch die Starbrille verzerrt waren).

<b>Die visuelle Welt Monets nach der Staroperation</b>			
	<b>Erinnerung</b>	<b>Linkes Auge</b> (mit gelblicher Kernkatarakt )	<b>Rechtes Auge</b> (operiert, mit Starbrille)
<b>Formen:</b>			
- Proportionen	+	+	-
- Konturen	+	-	+
<b>Farben:</b>			
- optisch	+	-	+
- sensorisch	+	+	+/-

**Richtig: + Fehlerhaft: -**

<sup>81</sup> Das linke Auge erhielt auch nach der Operation noch pupillenerweiternde Augentropfen und sah dann gleich wie vor der Operation des anderen Auges. Brief Monets an Dr. Coutela, (Oktober 1923): "l'effet des verres que vous m'avez ordonnés.... De près, c'est merveilleux, mais cela ne suffit pas. Je lis couramment, mais sans les gouttes pour l'oeil gauche (mydriatiques), il me serait impossible de me diriger et de circuler". Als sich dann die Sehfunktion des rechten Auges verbesserte, begann das Kataraktauge das räumliche Sehen zu stören. Es wurde durch ein schwarzes Brillenglas verdeckt, und so ist Monet auf den zeitgenössischen Fotos zu sehen.

**Abb. 44**

**Claude Monet: Das Haus des Künstlers vom Rosengarten aus**  
Musée Marmottan, Paris

Das turbulent rote Bild wurde - gemäss Wildenstein - vermutlich 1922 (vor der Operation) gemalt, nachdem Monet von seinem Augenarzt Tropfen zur Erweiterung der Pupille erhalten hatte.

## Abb. 45



### Claude Monet Das Haus vom Rosengarten aus

Musée Marmottan, Paris.

Das turbulent rote Bild entstand – gemäss Wildenstein - *nach* der Operation. Verarbeitet wurde wahrscheinlich eine Mischung der Eindrücke von beiden Augen, denn die Rotstichigkeit wurde beibehalten, die Grüntöne jedoch treten wieder deutlicher hervor

## Abb. 46



**a**

**b**

**a Haus vom Rosengarten aus.** Musée Marmottan, Paris

Für die auffallende Gelbstichigkeit sieht der Kunsthistoriker Wildenstein einen eventuellen Zusammenhang mit dem postoperativen Gelbsehen Monets

**b Gleiches Motiv.** Musée Marmottan Paris

Für die Blautönung erwägt Wildenstein einen Zusammenhang mit dem postoperativen Blausehen.

Der Augenarzt Lanthony (1999) vermutet demgegenüber, dass Monet in **b** den Seheindruck des linken und in **c** denjenigen des rechten Auge gemalt hatte, um sie miteinander zu vergleichen

Aus der Welt der Erinnerungen stammen die „Grandes Décorations“, die Monet aus dem Gedächtnis gemalt hatte, nunmehr aber in der Welt des operierten Auges überarbeitete.

Bei den roten Gartenbildern hingegen wurde die aktuelle Welt zum eigenständigen Thema, und zwar so, wie sie in der Konkurrenzsituation subjektiv verändert erschien. Monet konnte realisieren, wie sich die Bilder beider Augen voneinander unterschieden und sich mit diesen Unterschieden beschäftigen.

Von besonderem Interesse sind die Bilder, in denen Monet das gleiche Sujet einmal gesehen mit dem einen und dann mit dem anderen Auge darstellt, gemalt vom gleichen Standpunkt aus und wahrscheinlich in der gleichen Sitzung (**Abb. 46**). Hier scheint Monet, gewissermassen im Sinne eines wissenschaftlichen Experiments, beabsichtigt zu haben, seine Seheindrücke rechts und links zu vergleichen.

Kurz vor seinem Tode, als sich das operierte Auge stabilisiert hatte, konnte Monet für einige Zeit in seine ursprüngliche Farbenwelt zurückkehren (**Abb. 47**).

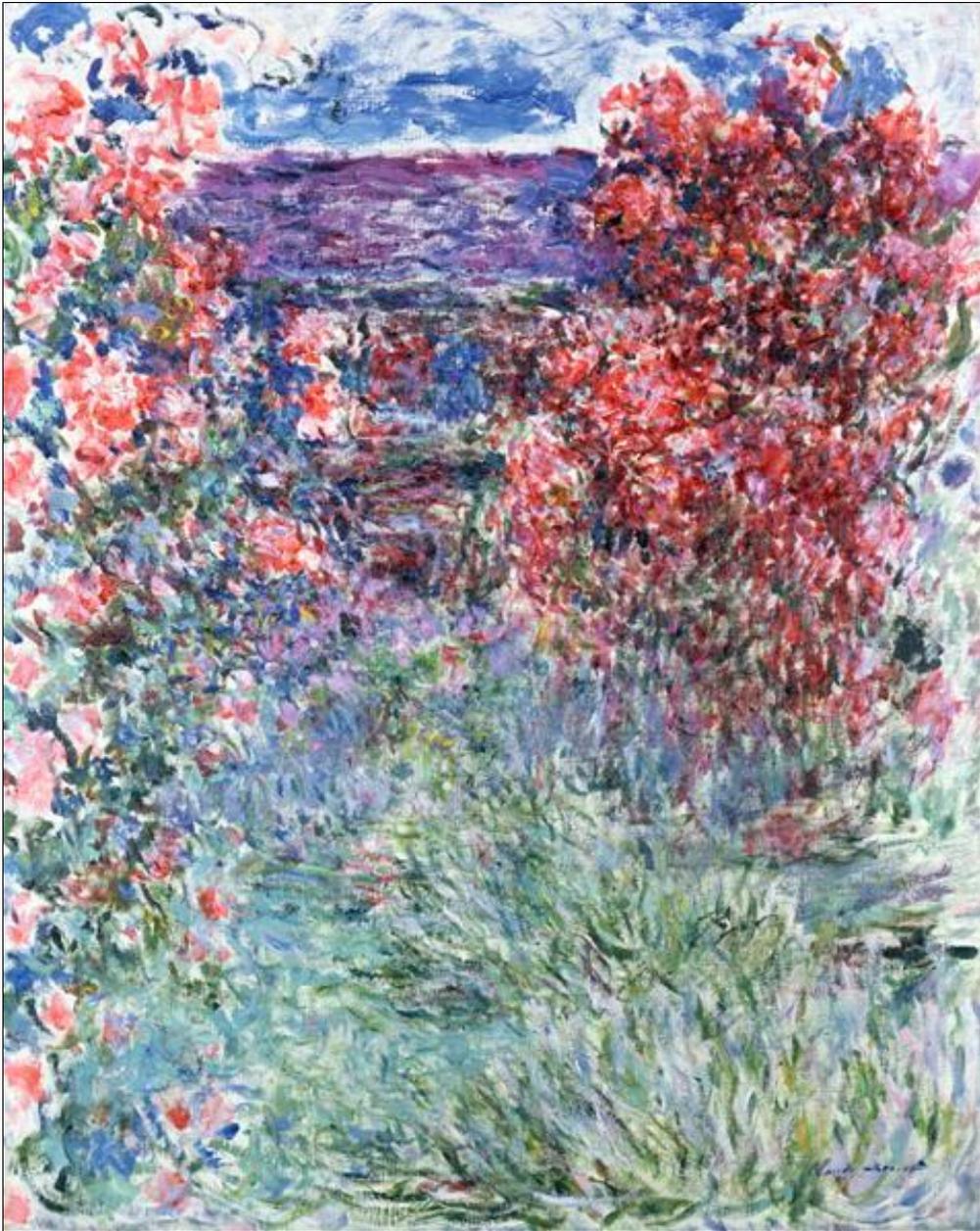
### *Was unterscheidet Monet von Malern mit angeborener Farbsinnstörung?*

Die Farbsehstörung Monets zeigt alle Charakteristiken einer erworbenen Sehstörung:

- Monet wusste, wie etwas „richtig“ auszusehen hatte, ein angeboren Farbenblinder weiss das nicht.
- Monet konnte deshalb erkennen, was er „falsch“ malte, ein farbenblinder Maler kann das nicht.
- Monet konnte frei entscheiden, ob er die „richtige“ oder die „falsche“ Welt zum Sujet machen wollte – er hat beides getan.
- Monet hat Bilder zerstört, wenn er sie als „falsch“ erkannte, ein farbenblinder Maler würde das nicht tun, da er es nicht weiss.

Der Fall Monet ist insofern bemerkenswert, als in seinem visuellen System simultan sowohl Störungen aus der Aussenwelt als auch solche in der Innenwelt vorkamen, und ausserdem in beiden Bereichen auch noch die Ausnahmen von den dafür typischen Manifestationen.

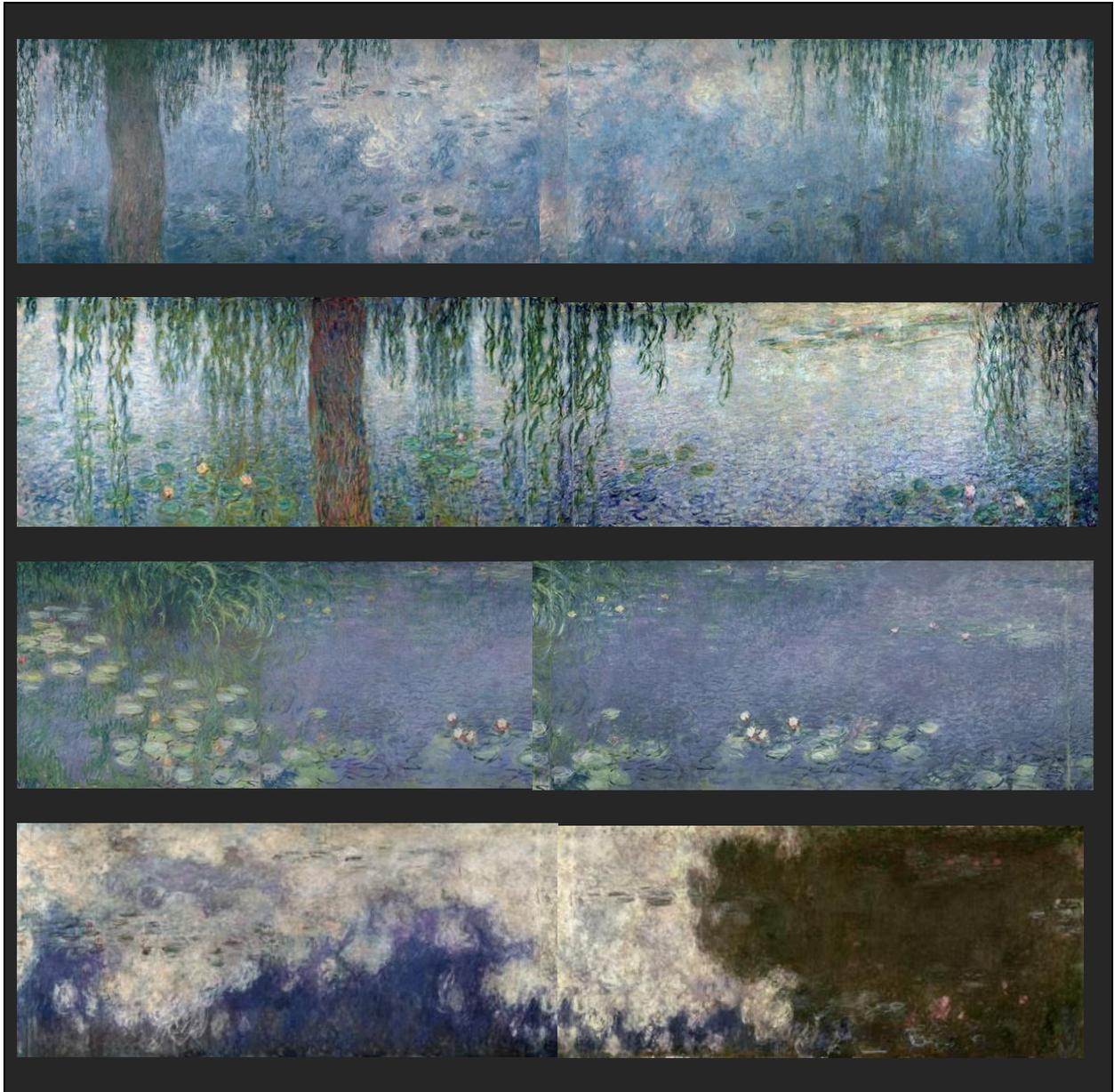
Die Verfärbung der Optik, als Phänomen der Aussenwelt, hätte Monet eigentlich sofort erkennen müssen; aber da sie durch die Farbkonstanz korrigiert wurde, war dies nicht der Fall. Die Störungen durch die Netzhauterkrankung, als Prozesse in der Innenwelt, hätte er spontan nicht bemerkt, wenn die Zellen zerstört worden wären. Aber da die Zellen durch die krankhaften Phänomene stimuliert wurden, erhielt sein Gehirn Signale, die ihm als Farben erschienen und ihm die Störung bewusst machten.

**Abb. 47****Claude Monet: Das Haus in den Rosen**

Privatsammlung USA

Ca. 1925 gemalt, als Monet erfreut über seine „vision normalisée“ berichtete.

## Abb. 48



### Claude Monet: Les Nymphéas, Paris

...und während der ganzen Zeit hat Monet an den Seerosenbildern der „Grandes Décorations“ gearbeitet. Hier einige Ausschnitte. Monet schenkte sie dem Staat Frankreich und heute sind sie in dafür speziell gestalteten Sälen der Orangerie in Paris ausgestellt.

Mehr Informationen und vollständige Ansichten (u.a in einer sehenswerten. „visite virtuelle“) unter:

[http://www.musee-orangerie.fr/homes/home\\_id25184\\_u1l2.htm](http://www.musee-orangerie.fr/homes/home_id25184_u1l2.htm) [2013]

## Schlussbemerkungen

Unser Thema hat – wie eingangs erwähnt - Implikationen, die weit über den engen Rahmen der Farbenblindheit hinausreichen. Im Grunde geht es um die Frage, wie wir unsere Welt wahrnehmen und was das ICH spürt, wenn die Informationsverarbeitung auf irgendeiner Stufe gestört wird. Wenn wir beim Versuch einer Antwort das visuelle System als Modell benutzen, so deshalb, weil unsere Vorstellungen von seinen Funktionsabläufen anschaulich sind.

Unser ICH kann nicht erfahren, wie die Welt wirklich ist; aber es erhält von vielen Sinnesorganen wenigstens diejenigen Informationen, die es braucht, um in ihr zu leben. Die Aufgabe der visuellen Verarbeitungsmechanismen besteht darin, von den unzähligen Signalen aus der Aussenwelt nur die unentbehrlichen einzuverleiben und die entbehrlichen zu unterdrücken. Dies geschieht mittels unbewusster Korrekturprogramme, welche zum einen Überflüssiges herausfiltern und zum andern Fehlendes ergänzen. Ebendiese Korrekturen sind auch dafür verantwortlich, dass uns allfällige interne Störungen der Wahrnehmungsprozesse nicht bewusst werden.

Stellen wir uns in einem Gedankenexperiment eine Welt vor, in der noch niemand etwas von Farbenblindheit weiss - wie würde man dort die Probleme farbenblinder Maler beurteilen? In den meisten Fällen wäre den Betrachtern überhaupt nichts aufgefallen, wie die Versuche der Abbildung 32 belegen. Nur bei Spezialaufgaben, wie etwa beim Kopieren anderer Bilder wäre man auf Unbegreifliches gestossen: Die Formen wären zwar alle richtig wiedergegeben worden, aber bei den Farben hätte es immer wieder seltsame Fehler gegeben. Ein klares System hätte man hinter diesen Fehlern nicht erkennen können, da sie, statistisch verteilt, scheinbar ungeordnet einmal hier, einmal da auftraten. Wäre ein Bild mehrmals kopiert worden, so wäre das Resultat jedes Mal ein anderes gewesen, ja, nicht einmal ihre eigenen Gemälde hätten manche Maler korrekt kopiert.

Einem Maler hätte man das vermutlich als Ausdruck charakterlicher Unzuverlässigkeit angelastet. Der Maler selbst, darauf angesprochen, hätte den Vorwurf nicht begriffen, wäre irritiert gewesen und hätte wahrscheinlich ungehalten reagiert. Und das Gedankenspiel liesse sich phantasievoll fortsetzen mit der Vorstellung, welche Schlüsse ein psychiatrischer Gutachter gezogen hätte<sup>82</sup>.

Daraus ergibt sich verständlicherweise die Frage, wie weit die Farbenblindheit auch als Modellfall für andere geistige Aktivitäten dienen könnte. Gibt es vielleicht weitere unberechenbare Verhaltensweisen, denen nicht komplexe psychische Irrungen, sondern „bloss“ Veränderungen eines einzigen Moleküls zugrunde liegen? Und müssten wir damit rechnen, solche Verhaltensweisen nicht richtig interpretieren zu können, weil sie als statistisch

---

<sup>82</sup> Nur am Rande sei vermerkt, dass man ein ähnliches Gedankenspiel auch mit dem Thema „Farbenblinde Kunstkritiker“ durchführen könnte

verteilte Fehlleistungen in ihrer Gesamtheit zwar einem systematischen Muster folgen, als Einzelereignis aber nicht voraussagbar sind? Wie würde man – in einem neuen Gedankenspiel – z.B. eine Person beurteilen, deren Wutanfälle durch molekulare Fehlsteuerung im Gehirn ausgelöst werden, die sich einmal bei dieser, ein andermal bei jener Gelegenheit entladen, und die keinem typischen, definierbaren Ereignis zugeordnet werden können?

Noch eine andere Frage wirft unser Thema auf: Wie wird unser Denken beeinflusst von veralteten *Modellvorstellungen*, d.h. von Vorstellungen, die obwohl bewusst zwar überwunden, noch immer tief in unserem Unterbewusstsein verankert bleiben? Ein eindrückliches Beispiel ist das Kameramodell (Reproduktionsmodell, siehe **Abb. 2b**), eine Darstellung des visuellen Systems, von der wir uns nur schwer lösen können. Diesem Modell folgend pflegen wir etwa die Veränderungen der Farbempfindung durch Kontraste (siehe **Abb. 8 und 9**) in die Kategorie von visuellen Täuschungen einzureihen<sup>83</sup>. Diese aber sind nur dann Täuschungen, wenn man von der Vorstellung des Reproduktionsmodells ausgeht. In Tat und Wahrheit sind die scheinbaren Irreführungen nichts anderes als Demonstrationen der normalen Pfade, auf denen unser visuelles System das Bild der Umwelt konstruiert. Die Erzeugung von visuellen Täuschungen ist demnach nichts anderes als eine vereinfachende experimentelle Anordnung mit dem Ziel, Prozesse bewusst zu machen, die im natürlichen Umfeld unbewusst sind. Charakteristischerweise können wir visuelle Täuschungen (wie z.B. hier die Kontrasteffekte) nie unterdrücken, nie bewusst korrigieren, sogar dann nicht, wenn wir genau wissen, dass sie „falsch“ sind; denn die einschlägigen Korrekturprogramme laufen in unserer Innenwelt ab. Und wiederum stellt sich die Frage, ob es etwa noch andere Gebiete unserer psychischen Aktivitäten gibt, in denen problematische Modellvorstellungen eine Rolle spielen.

Und schliesslich stellt sich die Frage nach der Veränderung unseres Denkens durch den Gebrauch unpräziser Begriffe, die uns im Alltag auf eine „falsche“ Fährte führen. Was ist denn der Grund unserer Verwunderung, die der Titel mit der Frage „Farbenblind – und dennoch Maler?“ auslöst? Warum würden wir rein empfindungsmässig von vornherein „Nein!“ antworten? Warum sind wir erstaunt, dass dem nicht so ist? Beruht dies nicht allein auf den Assoziationen, die das Wort Blindheit auslöst? Wäre unsere Reaktion dieselbe, wenn wir „Farbenblind“ ersetzen würden durch die etwas weniger emotionsbelasteten Wörter „Farbsinnstörungen“, „Farbsinndefizite“, oder etwa noch neutraler durch den hier vorgeschlagenen Begriff „Farbsinnvarianten“ – oder gar den rein sachlichen medizinischen Terminus „Daltonismus“?

Mit anderen Worten: Bei wem hätte ein Titel: „Daltonismus - und dennoch Maler?“ überhaupt Neugier geweckt?

---

<sup>83</sup> Die Begriffe „visuelle“ und „optische“ Täuschungen werden im allgemeinen Sprachgebrauch oft synonym verwendet. Korrekterweise sollte man aber unterscheiden zwischen *optischen* Täuschungen physikalischen Ursprungs (z.B. Fata Morgana) und *visuellen* Täuschungen mit physiologischen Ursachen (z.B. gegenfarbige Nachbilder)

## **Literaturhinweise:**

### **Kurze, populärwissenschaftliche Schriften zum Farbsinn:**

- Farben, Spektrum der Wissenschaft Spezial 4/2000, Spektrum-Verlag , Heidelberg.
- Rätsel der Wahrnehmung, Gehirn und Geist, Dossier Nr. 2, 2004, Spektrum-Verlag , Heidelberg

### **Grundlegende Werke zu Farbsinnstörungen:**

- Lanthony, Philippe: Les yeux des peintres; Editions l'Age d'Homme, Lausanne 1999
- Lanthony. Philippe : A Natural History of Color Vision, Editions de La Martinière, Paris, 2012
- Livingstone, Margaret: Vision and Art, The Biology of Seeing; Harry A.Abrams, New York, 2002
- Marmor, M. F. and J.G. Ravin: The Eye of the Artist; Mosby, St.Louis, USA 1997
- Trevor-Roper, Patrick und Redwald Hugh: Der veränderte Blick. Über den Einfluß von Sehfehlern auf Kunst und Charakter; DTV, 2001 (Deutsche Übersetzung der englischen Ausgabe 1970)
- Trevor-Roper, Patrick: The Influence of Eye Disease on Pictorial Art; Proceedings of the Royal Society of Medicine 52, 1957
- Welsch, N. und C. Chr. Liebmann: Farben; Spektrum/Elsevier, München, 2004, auch als CD erhältlich
- 
- Wildenstein, Daniel: Monet, oder der Triumph des Impressionismus; Wildenstein Institute I-IV, Benedikt Taschen Verlag, Köln 1996
- Web:  
[www.journalofvision.com/VolumeIndex.aspx?VolumeViewMode=ImagesOnly](http://www.journalofvision.com/VolumeIndex.aspx?VolumeViewMode=ImagesOnly)  
(für neue wissenschaftliche Informationen)

### **Stichwörter für Google-search:**

Farbenblindheit, Farbsinnstörung, color blindness, color deficiency, cécité de couleurs, Daltonism (jeweils Zusatz: .... und Kunst), Retinex (für Theorie Edwin Land)



## Bildnachweis

*Es wurden grösste Anstrengungen unternommen, um die Inhaber der Rechte zu eruieren. Ich danke diesen für ihr Entgegenkommen und ihre Grosszügigkeit bei der Erteilung ihrer Einwilligungen.*

*Sollten dennoch Fehler persistieren, bitte ich um Benachrichtigung, damit die nötigen Korrekturen angebracht werden können.*

Abb. 1 Original Privatbesitz Schweiz

Abb. 2-11 Nach Entwürfen von G. Eisner ausgeführt von Hans Holzherr, Bern

Abb. 12 Quelle: Silvestrini, Narciso und Ernst Peter Fischer: Farbsysteme in Kunst und Wissenschaft, Dumont, Köln, 1998, Abb. 56-1 und 58-1

Abb. 13 Quelle: Newton, Isaak: Opticks, Reprint Dover Publications, New York, 1952, p. 127 and p. 155,

Abb. 14 Quelle

<http://work.popperschule.at/projekte/wahrnehmung/daten/index.php?id=104> (2011)

Abb. 4 Lambert

Abb. 15 Quelle

<http://work.popperschule.at/projekte/wahrnehmung/daten/index.php?id=104> (2011)

(Abb. 5 Runge)

Abb. 16 Quelle: [http://www.daicolor.co.jp/english/color\\_e/color\\_e01.html](http://www.daicolor.co.jp/english/color_e/color_e01.html) (2011)

Bild CIE © Color Planning Center Inc

Abb. 17 Quelle: [http://www.daicolor.co.jp/english/color\\_e/color\\_e01.html](http://www.daicolor.co.jp/english/color_e/color_e01.html) (2006):

Bild "Munsell"

Abb. 18 Quelle: [http://www.daicolor.co.jp/english/color\\_e/color\\_e01.html](http://www.daicolor.co.jp/english/color_e/color_e01.html) (2006)

:Bild Designer's Color Atlas"

Abb. 19 Quelle: Küppers, Harald: Farbe; Callwey Verlag München, 1972: Abb. 69 und 70

Abb. 20 Quelle: [http://colorusage.arc.nasa.gov/indiv\\_diffs.php](http://colorusage.arc.nasa.gov/indiv_diffs.php) 2011

Abb. 21 Quelle: Frieling, Heinrich, Das Gesetz der Farbe, Muster-Schmidt Verlag, Göttingen 1990, Abb. 7

Abb. 22 nach Osterberg, G. (1935) Topography of the layer of rods and cones in the human retina. Acta Ophthal., suppl. **6**, 1-103.

Abb. 23 Quelle: Albers, Josef, *Interaction of Colors*, Yale University Press, New Heaven, 1963 : Tafel VI/2

Reproduced by permission of Yale University Press."

<http://yalepress.yale.edu/yupbooks/book.asp?isbn=9780300179354>

Abb. 24 Nach Entwürfen von G. Eisner ausgeführt von Hans Holzherr, Bern

Abb. 25 Nach Entwürfen von G. Eisner ausgeführt von Hans Holzherr, Bern

Abb. 26 Quelle: Hofer, H., Singer, B., & Williams, D. R. (2005). Different sensations from cones with the same photopigment. *Journal of Vision*, 5(5), 444-454 Fig 1

[www.arvo.org](http://www.arvo.org)

Abb. 27 Quelle: Hofer, H., Singer, B., & Williams, D. R. (2005). Different sensations from cones with the same photopigment. *Journal of Vision*, 5(5), 444-454 Fig. 4

[www.arvo.org](http://www.arvo.org)

Abb. 28 Foto: <http://www.bon.de/anomaloskop-neitz-p-141.html> (2011), Schema: Nach Entwürfen von G. Eisner ausgeführt von Hans Holzherr, Bern

Abb. 29 <http://www.univie.ac.at/Vergl-Physiologie/colortest/> [2008]

Abb. 30 Quelle: <http://colorvisiontesting.com/ishihara.htm> [2013]

Abb. 31 Unpublizierte Experimente Georg Eisner

Abb. 32 Quellen:

Matthew Piunno Quelle: <http://www.colorblindartist.com/Pages/main%20index.html> (2006)

Royce Deans Quelle: <http://www.artist-perspectives.com/interviews/royce-deans.htm> (2006)

Aiwasowskij, Iwan Konstantinowitsch (1817 – 1900), Quelle:

[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aivasovsky\\_Ivan\\_Constantinovich\\_Moonlit\\_Seascape\\_With\\_Shipwreck.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aivasovsky_Ivan_Constantinovich_Moonlit_Seascape_With_Shipwreck.jpg)

Royce Deans Quelle: <http://www.artist-perspectives.com/interviews/royce-deans.htm> (2006)

Matthew Piunno Quelle: <http://www.colorblindartist.com/Pages/main%20index.html> (2006)

William Turner (1775-1851) Vierwaldstättersee 1902 The Yorck Project

Edouart Manet, ( 1832 – 1883): Beim Lesen 1868 Quelle The Yorck Project

Egon Schiele (1890-1918) Häuserbogen 1915 Quelle: The Yorck Project

El Greco (1541-1614): Der Evangelist Johannes, um 1594 -1604 Quelle: The Yorck Project

Camille Pissarro (1830 - 1903) Quelle: The Yorck-Project

Mark Malmgren Quelle:

<http://www.visionaryart.com/vart/scripts/individual.asp?Artist=mam1&LastName=MarkMalmgren&FirstName=Mark> (2006)

Amadeo Modigliani (1884 – 1920). Quelle: The Yorck-Project

John Constable (1776-1837). Quelle: The Yorck Project

Macke August (1887-1914). Quelle: The Yorck Project

Michelangelo Buonarroti (1475 – 1564). Quelle: The Yorck Project

Kevin Dadoly weitere Informationen unter

<http://www.kevindadoly.com/pages/1/index.htm> (2006)

Dan Stouffer Quelle: <http://www.danstouffer.com/images.htm> (2006)

Piet Mondrian (1912), Quelle; <http://www.wikipaintings.org/en/piet-mondrian/still-life-with-gingerpot-2-1912>

Charles Meryon (1821-1868) Louvre,

Egon Schiele (1890-1918) Alte Mühle 1916 Quelle: The Yorck Project

Egon Schiele (1890-1918) Stilisierte Blumen 1908 Quelle: The Yorck Project

William Turner (1775-1851) Leuchtraketen bei hohem Seegang 1840 Quelle: The Yorck Project

Abb. 33 Original in Privatbesitz Schweiz

Abb. 34 Quelle: <http://www.eugenecarriere.com/image/tid/20> (2011)

a: Portrait of Paul Verlaine (1844-96) 1890 (oil on canvas), Carriere, Eugene (1849-1906) / Musee d'Orsay, Paris, France / Giraudon / The Bridgeman Art Library

b: Maternity (oil on canvas), Carriere, Eugene (1849-1906) / Musee des Beaux-Arts, Reims, France / Giraudon / The Bridgeman Art Library

c: Arsene Carriere, c.1899-1900 (oil on canvas), Carriere, Eugene (1849-1906) / Corcoran Gallery of Art, Washington D.C., USA / Edward C. and Mary Walker Collection / The Bridgeman Art Library

Abb. 35 Quellen:

a <http://www.wikipaintings.org/en/fernand-leger/the-part-of-chart-1917> [2013]

b <http://www.wikipaintings.org/en/fernand-leger/the-outing-in-the-country-1954> [2013]

c <http://www.wikipaintings.org/en/fernand-leger/diver-on-a-yellow-background> [2013]

d <http://www.wikipaintings.org/en/fernand-leger/the-polychrome-fleur-1936> [2013]

Abb. 36

a: Quelle: Ulisse Butin [commons.wikimedia.org](https://commons.wikimedia.org) [2013]

b: Quelle: Paris, musée d'Orsay muzeocollection.co.uk

Abb. 37 Nach Lanthony in "Farben", Spektrum der Wissenschaft, 5/2004, S. 72" ausgeführt von Hans Holzherr, Bern

Abb. 38 Nach Entwürfen von G. Eisner ausgeführt von Hans Holzherr, Bern

Abb. 39 Nach Entwürfen von G. Eisner ausgeführt von Hans Holzherr, Bern

Abb. 40 Nach Entwürfen von G. Eisner ausgeführt von Hans Holzherr, Bern

Abb. 41 Quellen:

a: Impression: Sunrise, 1872 (oil on canvas), Monet, Claude (1840-1926) / Musee Marmottan Monet, Paris, France / Giraudon / The Bridgeman Art Library

b: Tulip Fields with the Rijnsburg Windmill, 1886 (oil on canvas), Monet, Claude (1840-1926) / Musee d'Orsay, Paris, France / The Bridgeman Art Library

c: Poplars on the Banks of the Epte, 1891 (oil on canvas), Monet, Claude (1840-1926) / Private Collection / The Bridgeman Art Library

d: The Houses of Parliament, London, with the sun breaking through the fog, 1904 (oil on canvas), Monet, Claude (1840-1926) / Musee d'Orsay, Paris, France / Giraudon / The Bridgeman Art Library

e: Waterlilies, 1916-19 (oil on canvas), Monet, Claude (1840-1926) / Musee Marmottan Monet, Paris, France / The Bridgeman Art Library Bridgeman Art Library

Abb. 42 Quellen:

**a:** Waterlily Pond, 1899 (oil on canvas), Monet, Claude (1840-1926) / National Gallery, London, UK / The Bridgeman Art Library

**b:** The Japanese Bridge at Giverny, 1918-24 (oil on canvas) (see detail 382335), Monet, Claude (1840-1926) / Musee Marmottan Monet, Paris, France / Giraudon / The Bridgeman Art Library

Abb. 43 Nach Entwürfen von G. Eisner ausgeführt von Hans Holzherr, Bern

Abb. 44 The Artist's House from the Rose Garden, 1922-24 (oil on canvas), Monet, Claude (1840-1926) / Musee Marmottan Monet, Paris, France / The Bridgeman Art Library

Abb. 45 Quelle:

The Artist's House from the Rose Garden, 1922-24 (oil on canvas), Monet, Claude (1840-1926) / Musee Marmottan Monet, Paris, France / The Bridgeman Art Library

Abb. 46 Quelle:

a The House at Giverny Viewed from the Rose Garden, 1922-24 (oil on canvas), Monet, Claude (1840-1926) / Musee Marmottan Monet, Paris, France / The Bridgeman Art Library

b The House at Giverny under the Roses, 1925 (oil on canvas), Monet, Claude (1840-1926) / Private Collection / The Bridgeman Art Library

Abb. 47 The House at Giverny under the Roses, 1925 (oil on canvas), Monet, Claude (1840-1926) / Private Collection / The Bridgeman Art Library

Abb. 48 Quelle: Nymphéas, 1915-26 (oil on canvas) Monet, Claude (1840-1926) / Musee de l'Orangerie, Paris, France / Giraudon / The Bridgeman Art Library