

Chemie der Farbstoffe



Martin Vonlanthen 2006

1. Einführung

Was ist Farbe? Jeder von uns kann sich zwar intuitiv etwas vorstellen, eine allgemein gültige Definition vermag jedoch kaum jemand zu geben. Für den Physiker ist Farbe etwas anderes als für die Malerin. Für den Physiologen wieder etwas anderes als für die Sprachwissenschaftlerin – auch wenn alle das gleiche Phänomen beschreiben.

Mit dieser Veranstaltung wollen wir versuchen, ein bisschen Klarheit zu schaffen. Wir werden uns fragen, wie Licht entsteht und wie uns bei der Erklärung Atommodelle helfen können. Dann ergründen wir Farbe und Farbigkeit: was bedeuten die Begriffe subtraktive – additive Farbmischung. Wie werden Farben wahrgenommen, was geschieht dabei in unserem Gehirn? Welche Rolle spielen Farben in unserem Alltag? Schliesslich werden wir auch die Chemie der Farbstoffe genauer untersuchen: dabei wollen wir zwischen den eigentlichen Farbstoffen und den Pigmenten unterscheiden. Ersteres sind molekulare Verbindungen, die z.B. in Pflanzen vorkommen und daraus gewonnen – oder durch chemische Synthese in grossen Mengen hergestellt werden. Letzteres sind anorganische Metallverbindungen die häufig aus Gesteinen oder anderen Mineralien gewonnen werden und durch ihre grosse Beständigkeit als Farbstoffe eine wichtige Bedeutung einnehmen.

Wir wollen aber nicht nur die Theorie der Farbstoffe kennen lernen. Genau so wichtig ist der praktische Zugang zu diesem Thema. Einfache Experimente sollen uns helfen, das Thema *begreifbar* zu machen.

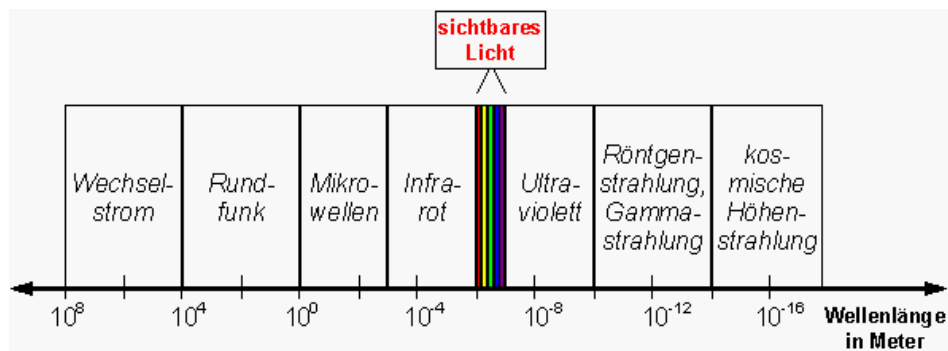
2. Licht



Wer kennt nicht das wunderbare Phänomen des Regenbogens nach einem Gewitterregen oder unter einem Wasserfall. Wer hat nicht einmal das schillernde Farbenspiel von Tautropfen auf nassen Blättern beobachtet?



Einen künstlichen "Regenbogen" stellt das **Prisma** dar. Schickt man weisses Licht durch ein prismenförmig geschliffenes Glas, wird das Licht an den beiden Grenzflächen zweimal gebrochen. Kurzwelliges Licht (z.B. blaues Licht) wird generell stärker gebrochen als langwelliges, daher kann mit Hilfe eines Prismas **weisses Licht in seine Wellenanteile zerlegt** werden.



Die meisten elektromagnetischen Wellen wie Radiowellen oder die Röntgenstrahlung sind für unser Auge nicht sichtbar. Sie übertragen Energie und schwingen senkrecht zu ihrer Ausbreitungsrichtung. Die Wellen unterscheiden sich in ihrer Wellenlänge: Rundfunkwellen können mehrere hundert Meter lang sein, während die kosmische Höhenstrahlung Wellenlängen im kaum vorstellbaren Bereich von Millionstel Nanometer (1 nm = 1 Milliardstel Meter) besitzt. Die Wellenlänge des für uns **sichtbaren Lichts** liegt zwischen 700 nm und 400 nm.

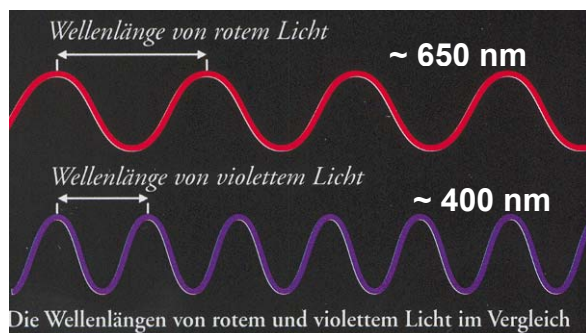


Abbildung: Zwei Beispiele für Lichtwellen. Rotes Licht hat eine grössere Wellenlänge als violettes Licht.

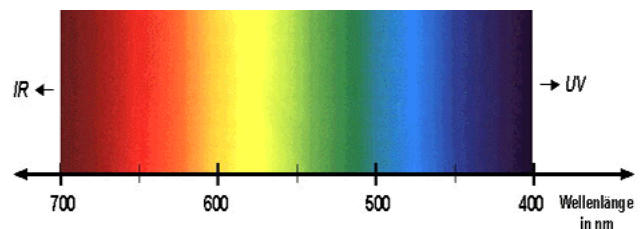


Abbildung: Das Spektrum des sichtbaren Lichtes (optisches Spektrum).

Im optischen Spektrum des Lichts sind nicht alle Farben der gängigen Farbkreise und Farbsysteme enthalten. Durch eine Mischung mehrerer farbiger Lichter aus dem optischen Spektrum kann auch wieder weisses Licht erzeugt werden.

2.1. Wie entsteht Licht?

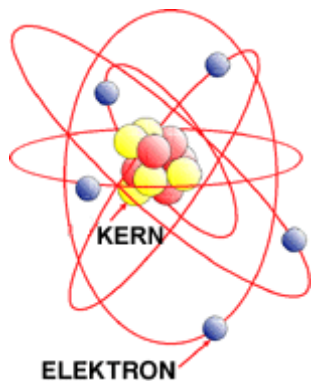


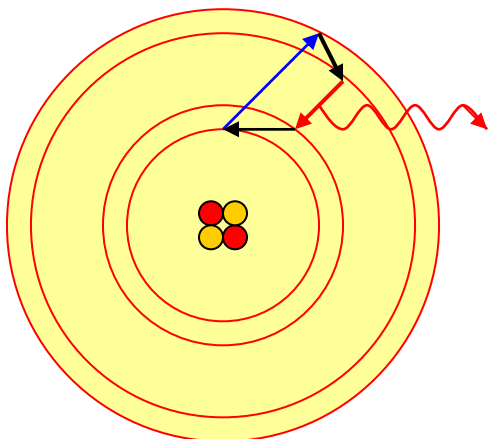
Abbildung: Das Bohrsche Atommodell.

Niels Bohr hat in seinem Atommodell von 1913 angenommen, dass die Atome Mini-Planetensystemen gleichen: um den Atomkern bewegen sich, wie Planeten um die Sonne, auf festgelegten Bahnen die Elektronen. Wird einem **Elektron Energie zugeführt**, dann kann es auf eine **höhere Bahn** springen. Fällt es kurze Zeit später wieder auf eine niedrigere Bahn, dann kann es ein **Lichtteilchen**, das sogenannte **Photon** aussenden – und Licht blitzt auf. Eine andere Möglichkeit ist hierbei ist, dass die frei werdende Energie in Form von Wärme an andere Atome weitergegeben wird. Diese Energie ist für das Licht verloren.

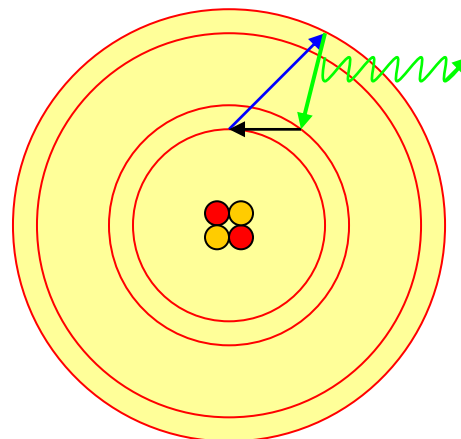
Photonen entstehen also aus bestimmten Energieübergängen von Elektronen in Atomen, Licht ist pure Energie.

In jeder Lichtquelle, ob Glühlampe, Leuchtstoffröhre oder Laser, ist es ganz wesentlich dieser Prozess, der für die Helligkeit sorgt. Die eigentliche Elementarlichtquelle, das Atom, ist dabei nur etwa 1/10 Nanometer gross. Selbst das kleinste Stückchen Materie besteht jedoch aus einer so unglaublich grossen Anzahl von Atomen, in denen dieser Prozess immer wieder stattfindet, so dass insgesamt eine Flut von Photonen ausgelöst wird.

Die Farbe des Lichts, oder ob Licht überhaupt für uns sichtbar ist, hängt von dem Energiesprung des Elektrons bei der Erzeugung der Photonen ab. Je grösser der Energieabstand ist, desto mehr Energie kann das einzelne Lichtteilchen aufnehmen. Und dabei gilt: für grünes Licht ist ein grösserer Energiesprung notwendig als für rotes Licht.



Geringe Energiedifferenz:
Langwelliges Licht (z.B. rot)



Höhere Energiedifferenz:
Kurzwelliges Licht (z.B. grün)

Abbildung: Die Energiedifferenz des strahlenden Übergangs entspricht der Energie des ausgesendeten Photons und bestimmt damit die Farbe des Lichts.

2..1.1. Es geht noch komplizierter: Quantenmechanik

Wollen wir das Phänomen Licht genauer erklären, müssen wir den Atombau quantenmechanisch betrachten. Schauen wir z.B. das Wasserstoffatom genauer an. Nach dem Bohrschen Atommodell kann sich das Elektron des Wasserstoffatoms nur auf einer einzigen Schale befinden. Dieser Zustand ist jedoch nur für „energiearme“ Wasserstoffatome richtig. Führt man dem Wasserstoffatom Energie zu, kann es auch

höhere (also weiter vom Atomkern entfernte) Schalen besetzen, jedoch nur sehr kurzfristig. Die Beschreibung dieser Zustände beschreibt die **Quantenmechanik**. Sie benutzt dazu sogenannte **Quantenzahlen**. Die Hauptquantenzahl ($n = 1, 2, 3, \dots$) kann mit den Bahnradien des klassischen Bohrschen Atommodells gleichgesetzt werden. Man spricht allerdings nicht mehr von Schalen, sondern von **Orbitalen**.

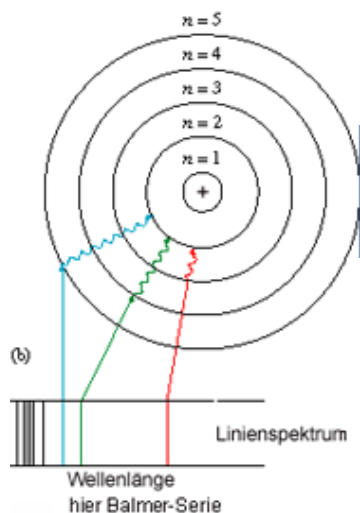
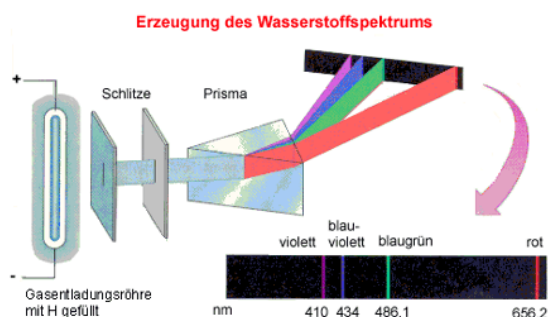


Abbildung: Die Spektrallinien des Wasserstoffs (Balmer Serie)

Im energiearmen Normalzustand wird sich das Elektron des Wasserstoffatoms also auf dem $n=1$ Orbital befinden. Durch Energiezufuhr kann das Elektron nun auch höhere Orbitale ($n=2$ bis $n=5$) besetzen. Beim Zurückfallen in den Grundzustand werden Photonen ausgesendet. Dabei sind vier unterschiedlich energiereiche Photonentypen (violett, blau, grün und rot) möglich. Ein Wasserstoffatom sendet jeweils nur einen Photonentyp aus. In einer Gasentladungsröhre die mit unzähligen Wasserstoffatomen gefüllt wurde entsteht so natürlich eine Mischung der vier Photonentypen. Das Licht erscheint blau. Mit Hilfe eines Spektrums lässt sich die blaue Farbe in die Grundfarben zerlegen. Es entstehen die sogenannten **Spektrallinien des Wasserstoffs**.

Soviel zu dem einfachen Beispiel Wasserstoff. Man kann sich leicht vorstellen, wie viel komplexer die Spektrallinien von Elementen werden, die mehrere Elektronen in der Schale besitzen!



Legt man ein Spannung an eine Gasentladungsröhre an, die mit Wasserstoff bei niedrigem Druck gefüllt ist sieht man blaues Licht.

Leitet man das blaue Licht durch ein Prisma können 4 enge Banden hellen Lichts gegen einen schwarzen Hintergrund beobachtet werden.

Die **Nebenquantenzahl** (s, p, d, f, g) beschreibt die verschieden geformten Aufenthaltsbereiche der Elektronen in den einzelnen Orbitalen („Kugeln“, „Hanteln“). Für Moleküle von Farbstoffen ist eine Kategorie chemischer Bindungen besonders wichtig, die sich zwischen p-Orbitalen ausbilden können und die als **π -Bindungen** bezeichnet werden. Da sich bei mehreren solcher π -Bindungen in einem Molekül leicht räumliche Überlappungen ergeben können, gestatten sie oft eine grosse Beweglichkeit der Elektronen über mehrere Atome hinweg. Elektronen in solchen **π -Systemen** lassen sich bereits durch geringe Energien anregen, weshalb diese Stoffe für unser Auge farbig erscheinen.

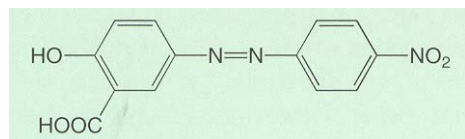


Abbildung: Alizarin gelb R

Das π -System erstreckt sich über die beiden Benzolringe und die Azogruppe -N=N-, die als Bindeglied dient. Die Länge des *Einfach-Doppelbindungs-systems* bestimmt zusammen mit den Substituenten (z.B. NO₂-Gruppe) die Farbigkeit des Moleküls.

3. Farbe und Farbigkeit

Damit Farbe entstehen kann, damit es also zu Wechselwirkungen der farbgebenden Stoffe mit dem einfallenden Licht kommen kann, müssen neben **π -Systemen** auch farbgebende Atomgruppen, sogenannte **Chromophoren**, vorhanden sein. Den gleichen Effekt haben **Pigmente** (in der Regel mineralische Komplexverbindungen). Wir wollen bis auf weiteres der Einfachheit halber von Farbteilchen sprechen und also nicht zwischen Farbmolekülen und Pigmenten unterscheiden.

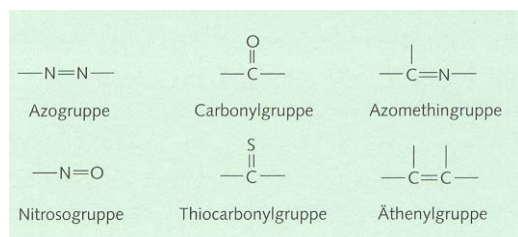


Abbildung: typische Chromophore

Kommen eine oder mehrere solcher Atomgruppen in einem Molekül vor, so werden dessen Absorptionsbanden mehr und mehr in den sichtbaren Bereich verschoben.

Die **Farbigkeit eines Materiales** entsteht durch die Fähigkeit einzelner Farbteilchen, selektiv **einzelne Wellenlängen herauszufiltern**. Vom Menschen wird dann die Komplementärfarbe wahrgenommen.

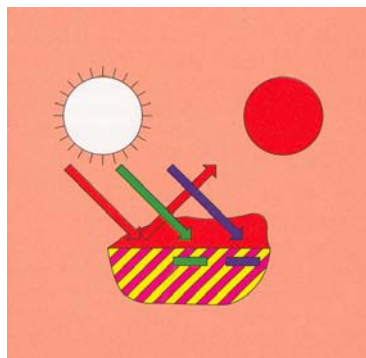


Abbildung: wieso ein Gegenstand rot erscheint

Das Beispiel eines roten Gegenstandes soll dies verdeutlichen. Ein Gegenstand der für uns rot erscheint, besteht chemisch betrachtet keinesfalls aus roten, sondern aus magentafarbenen und gelben Farbstoffteilchen. Die magentafarbenen Teilchen absorbieren die grünen Spektralanteile, die gelben Teilchen verschlucken die blauen Anteile. Es wird nur noch langwelliges Licht reflektiert und ergibt deshalb den roten Farbeindruck.

3.1. Farbmischungen

3.1.1. Additive Farbmischung

Wie entsteht eigentlich weisse Farbe?

Werden alle drei Zapfensorten (siehe nächstes Kapitel) auf der Netzhaut gleichzeitig gereizt, entsteht im Gehirn der Farbeindruck Weiss. Dieses Phänomen kann experimentell beobachtet werden, wenn drei farbige Lichter (rot, blau, grün) auf einer weissen Fläche übereinander projiziert werden. Aus drei farbigen Lichtern wird die Farbe Weiss erzeugt, man spricht auch von **additiver Farbmischung**.

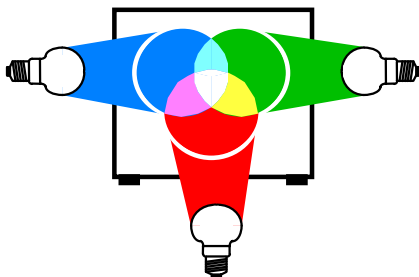


Abbildung: die additive Farbmischung

Die additive Farbmischung tritt bei **selbstleuchtenden** Körpern auf, zum Beispiel einer Farb-Bildröhre eines Fernsehers oder Monitors. In der Bildröhrentechnik werden die drei **Primärfarben** Rot, Grün und Blau verwendet, woraus sich die Bezeichnung "**RGB-Farbsystem**" erklärt. Entscheidend ist bei der additiven Farbmischung, dass der Gesamtfarbeindruck durch die Addition der einzelnen Primärfarben zustande kommt, das heisst jeder der Lichtstrahlen einer Primärfarbe trägt additiv zur Gesamtintensität des wahrgenommenen farbigen Lichtes bei.

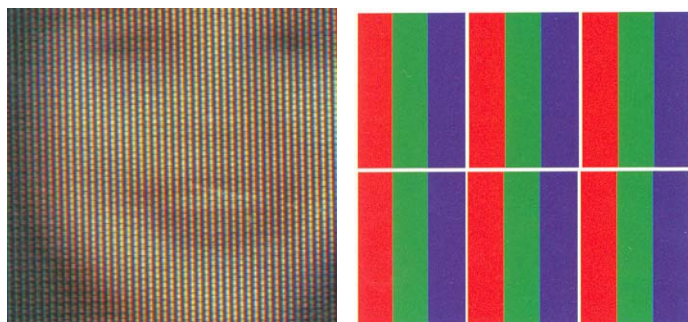


Abbildung: Der Farbfernseher
Auf einem Fernsehschirm sind winzige Streifen aus Phosphor in Dreiergruppen der primären Spektralfarben angeordnet (links).

Die Vielfalt der Farben, die wir auf dem Bildschirm sehen, setzt sich aus unterschiedlichen Mengen der einzelnen Grundfarben zusammen.

3.1.2. Subtraktive Farbmischung

Die **subtraktive Farbmischung** tritt im Gegensatz zur additiven dann auf, wenn **nicht-selbstleuchtende** Körper den Farbeindruck hervorrufen, zum Beispiel Maler-(Öl-, Aquarell-) oder Druckfarben. Da die Pigmente der Farben nicht selber leuchten, verändern sie die wahrgenommene Farbe des auf sie fallenden Lichtes durch pigmentspezifische **Absorption**.



Das heisst, jede der drei Grundfarben des subtraktiven Systems (Gelb, Cyan und Magenta, daher die Bezeichnung **CMY-Farbsystem**) nimmt einen bestimmten Teil des einfallenden Lichtes fort und trägt somit durch Verminderung der Intensität bestimmter Wellenlängen zum Farbeindruck bei.

Die Mischungsverhältnisse sollen anhand eines **Farbkreises** detaillierter betrachtet werden. Auf einem Kreis werden gleichmässig die subtraktiven Grundfarben Cyan, Magenta und Gelb verteilt, man erhält einen Farbkreis, der ausschliesslich die Grund- oder **Primärfarben** enthält (linkes Bild). Je zwei benachbarte Grundfarben werden nun zu gleichen Teilen gemischt und liefern so drei weitere Farben, die nun Mischungs- oder **Sekundärfarben** sind. Werden wiederum je zwei benachbarte Farben zu gleichen Teilen gemischt (Primärfarbe mit Sekundärfarbe!), erhält man sukzessive weitere Farben, **Tertiärfarben**, **Quartärfarben** und so fort. Die Mischfarben folgen den bekannten Mischungsgesetzen: Gelb + Blau = Grün, Gelb + Rot = Orange, Blau + Rot = Violett. Beachten Sie dabei, dass die tatsächlichen

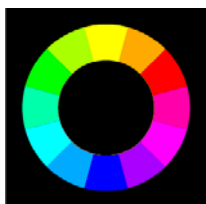
Primärfarben Cyan und Magenta von den "bekannteren" Grundfarben Rot (in der Schulpraxis meist Scharlach oder Reinrot) und Blau (häufig Ultramarin oder Kobaltblau) stark abweichen, diese sind vielmehr selber bereits zusammengesetzt und führen leicht zu Verwechslungen und "falschen" Mischungen (siehe unten)!



Primärfarben



Sekundärfarben



Tertiärfarben



Voller Farbkreis

Eine **Komplementärfarbe** ist eine Farbe, die zu gleichen Teilen zu einer anderen Farbe gemischt, einen grauen Farbeindruck ergibt.

Mit Hilfe des Farbkreises kann man einfach die Komplementärfarbe einer gegebenen Farbe herausfinden: man betrachtet die der fraglichen Farbe genau gegenüberliegende Farbe! Die drei folgenden Farbkreise zeigen.

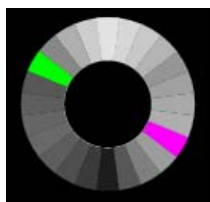
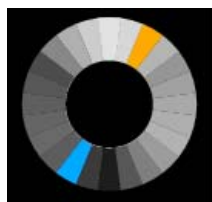
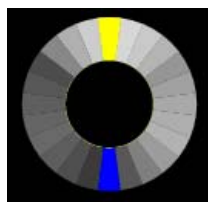


Abbildung: Komplementärfarben im Farbkreis
Die Komplementärfarbe zu Gelb (Blau), Orange (Cyan) und Grün (Violett).



Abbildung: Der Vierfarbendruck

Es ist theoretisch möglich aus den Primärfarben Cyan, Magenta und Gelb alle weiteren Farben zu mischen. Nur reines Schwarz lässt sich so nicht erreichen. Deshalb wird es beim Druckverfahren als vierte Farbe hinzugefügt.

Durch vollflächiges Übereinander drucken mehrerer Farben dieser Viererdrucke können insgesamt 8 Farben erzeugt werden (Sekundärfarben plus Schwarz und Weiss). Nur theoretisch lassen sich auch alle anderen Farbtöne herstellen, indem man die Deckkraft der Farben verändert. Druckmaschinen können allerdings normalerweise an einer bestimmten Stelle nur entweder Farbe auftragen oder nicht; zur Abstufung der Intensität müssen deshalb Rasterverfahren herangezogen werden.

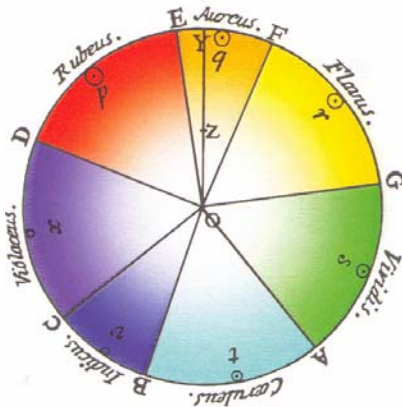
3.1.3. Farbmodelle

Aus den ca. 2600 Jahren, in denen sich Menschen bewusst mit Farben befasst haben, sind mehr als 60 verschiedene Farbordnungen und Farbmodelle überliefert. Wir wollen die Entwicklung Farbsysteme an drei Beispielen diskutieren.



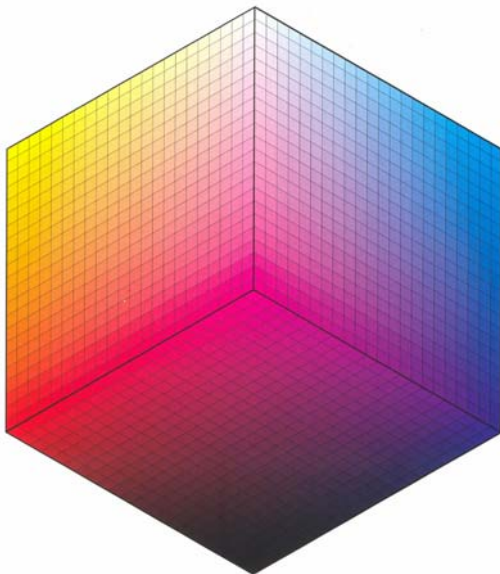
lineares Farbsystem:

Nach **Aristoteles** (382 – 322 v. Chr.) entstehen alle Farben als Mischung von schwarz und weiss. Heute wissen wir aber, dass die Sekundärfarben nicht mischbar sind (siehe oben).



kreisförmiges Farbsystem:

Isaac **Newton** (1643-1727) beobachtet, dass Farben durch Brechung des Sonnenlichts entstehen. Er schliesst daraus, dass jede Farbe eine bestimmte Wellenlänge zugeordnet werden kann. Er begründet die Regeln der additiven Farbmischung. Seine Erkenntnisse publiziert er in einem Farbkreis mit Spektralfarben, die wir heute als Violettblau, Ultramarinblau, Cyanblau, Grün, Gelb, Orange und Rot bezeichnen. Ausgespart wird lediglich Magenta, weil diese Farbe auch im Lichtspektrum fehlt.



dreidimensionales Farbsystem:

Harald **Küppers** (1928) geht ebenfalls von einem sechsfarbigem Farbkreis aus, denkt diesen aber weiter in die dritte Dimension. Küppers addiert zu den drei physiologischen „Urfarben“ Orangerot, Grün und Violett die reinen Farben Magenta (Purpur), Gelb und Cyanblau. Die Addition aller Farben ergibt Weiss, die Subtraktion aller Farben ergibt Schwarz. Er überträgt dann die acht Farben auf einen Würfel, indem jeweils eine Ecke eine dieser Farben einnimmt. Er stellt den Würfel so auf eine Spitze, dass Schwarz unten ist und Weiss oben. Nun zieht er den Würfel noch zu einem Rhomboid auseinander. In dieser Weise entsteht ein Farbmodell, mit dem sämtliche Farbmischungen auf der Oberfläche und innerhalb des Rhomboids dargestellt werden. Auch Grau- und Brauntöne sind an bestimmten geometrischen Orten des Würfels definiert.

4. Farben sehen

Im menschlichen Leben spielt die Farbe als Informationsträger eine überragende Rolle. Der Mensch ist ein Augentier. Schätzungen gehen davon aus, dass etwa 40% aller von uns aufgenommenen Informationen über Farben verfügbar werden. Ein normalsichtiger Mensch kann etwa 100 000 – 1 Million Farbtöne unterscheiden, doch fehlen ihm für die meisten allgemein verbindliche Bezeichnungen. Der Wortschatz der deutschen Standardsprache umfasst ca. 75 000 Wörter, ein durchschnittlicher Sprecher verfügt über einen aktiven Wortschatz von etwa 8 000 bis 10 000 Wörtern. Doch schon mit **6 bis 11 grundlegenden Hauptfarben** Weiss, Schwarz, Rot, Grün, Gelb, Blau, (Braun, Orange, Rosa, Purpur und Grau) lassen sich fast alle farbigen Objekte benennen und seine Farbeindrücke mitteilen. Allerdings ist dieses Farbvokabular keineswegs eindeutig. Die farbliche Erfassung von Gegenständen und der gesamten Umwelt ist das Ergebnis unserer bewussten und unbewussten Wahrnehmung und damit auch ein **Lernprozess**.

**„Man sieht nur was man weiss.
Man weiss nur was man sieht.“**
Marcel Proust

Farbe ist eine **Empfindungsgrösse**, nicht Licht ist farbig, die Verarbeitung im visuellen System erzeugt den Eindruck Farbe. Das Licht wird zunächst im Auge in Nervenimpulse umgewandelt. Erst durch die Verarbeitung dieser Impulse in den nachgeschalteten Hirnstrukturen kommt es zu der Empfindung, die wir "Farbe" nennen.

4.1. Das Auge

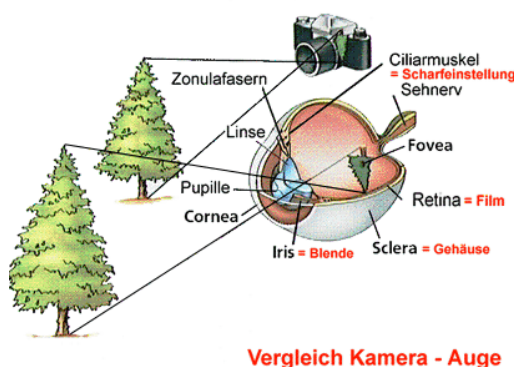
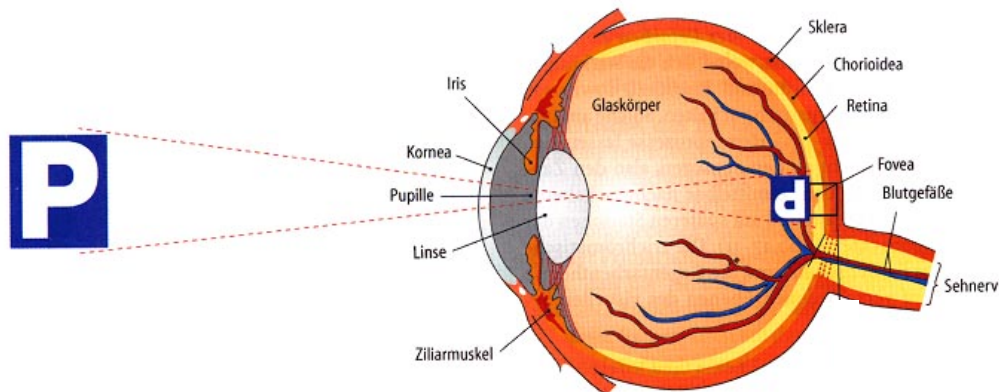


Abbildung: Vergleich Kamera – Auge

Im Prinzip kann man ein Linsenauge mit einer Kamera vergleichen. Man findet Strukturen, die denen der Kamera ähnlich sind: lichtundurchlässiges Gehäuse, eine Linse, eine Blende und die Scharfeinstellung.

Unsere Augen bestehen aus einem gallertigen Glaskörper, der von verschiedenen schützenden Häuten (Sklera und Chorioidea) umgeben ist. Die Netzhaut (Retina) enthält die Sehzellen (Photorezeptoren). Das Licht, das auf das Auge trifft wird von der Linse (Pupille) gebrochen und auf dem Kopf stehend und verkleinert auf den gelben Fleck (Fovea) projiziert. Die Iris wirkt dabei als Blende – sie kontrolliert den Lichteinfall. Das Auge kann in kurzer Zeit auf nahe und ferne Gegenstände fokussieren („scharf stellen“). Bei nahen Gegenständen wird mit Hilfe des Ziliarmuskels die Linse gewölbt, dadurch wird das Licht stärker gebrochen – Gegenstände in der Nähe werden scharf abgebildet. Erschlaffet der Ziliarmuskel, flachen die Linse ab, das Licht wird weniger stark gebrochen, dadurch erscheinen Gegenstände in der

Ferne scharf. Den Prozess des Scharfstellens auf nahe Gegenstände nennt man **Akkommodation**.



4.1.1. Bau der Netzhaut (Retina)

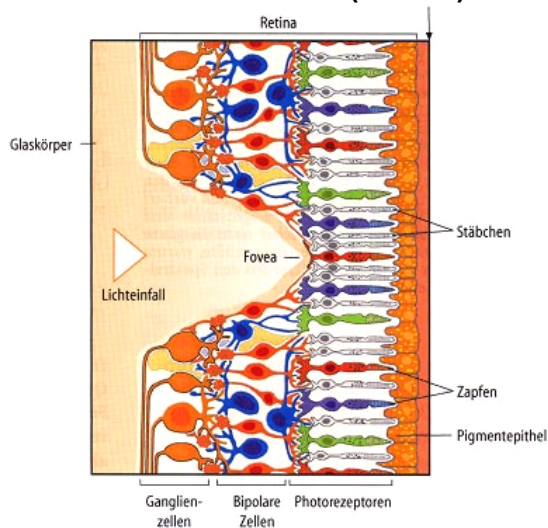


Abbildung: Netzhaut

Die Netzhaut (Retina) besteht aus drei Schichten. Die **Photorezeptoren**, bestehen aus Stäbchen und Zapfen; die **bipolaren Zellen** kombinieren Impulse der Stäbchen und Zapfen; die **Ganglienzellen** bündeln die Impulse der bipolaren Zellen und leiten diese über den Sehnerv ans Gehirn weiter.

Zu beachten gilt es im Besonderen, dass das Licht nicht direkt auf die empfindlichen Photorezeptoren trifft, sondern zuerst die beiden vorgelagerten Schichten durchdringen muss.

Im Auge wird das Licht von Photorezeptoren absorbiert. Es gibt zwei Klassen von Photorezeptoren: **Stäbchen** und **Zapfen**. 125 Millionen Stäbchen stehen 300 000 Zapfen gegenüber. **Stäbchen** sind sehr lichtempfindlich und ermöglichen das Sehen bei **Dunkelheit** und in der **Dämmerung**. Da alle Stäbchen dieselbe spektrale Absorption aufweisen, können sie nicht zwischen Wellenlängen- und Intensitätsunterschieden diskriminieren. Farbunterscheidungen sind daher beim Stäbchensehen nicht möglich. Stäbchen sind in der Fovea seltener als in der übrigen Retina. Unter Tageslichtbedingungen sind die Stäbchen vollständig gesättigt und unfähig Information zu verarbeiten. Dann sind die weniger lichtempfindlichen **Zapfen** aktiv. Diese sind für das **Farbsehen** verantwortlich. Man findet sie vor allem häufiger in der Nähe der Fovea. Die Stelle, an der der Sehnerv aus dem Auge austritt ist frei von Photorezeptoren also „blind“. Man nennt diesen Ort deshalb blinden Fleck. Trotzdem haben wir kein Loch im Gesichtsfeld. Der fehlende Bildteil wird im Gehirn ergänzt.

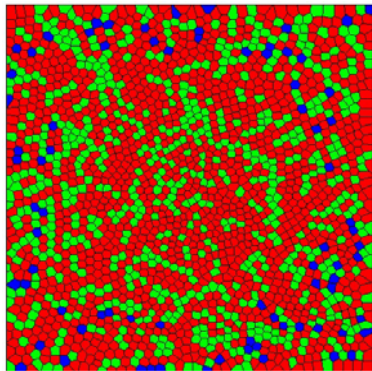


Abbildung: Zapfenmosaik in der Fovea

Die Zapfen und Stäbchen sind auf der Netzhaut zu einem unregelmässigen Mosaik angeordnet. Dabei kann man drei Sorten von Zapfen unterscheiden: rote, grüne und blaue – entsprechend den Farben, die wahrgenommen werden. An der Stelle des schärfsten Sehens – der Fovea – fehlen interessanterweise die blauen Zapfen. Auch dieser „Fehler“ wird im Gehirn kompensiert. Durch unterschiedliche Erregungsstärke der drei verschiedenen Zapfensorten kann unser Auge die grosse Vielzahl verschiedener Farbtöne unterscheiden.

4.2. Farbwahrnehmung

Der genaue Vorgang der Farbwahrnehmung ist äusserst komplex und wird hier nur stark vereinfacht dargestellt. In der Netzhaut findet eine Art Verrechnung der Zapfeninformationen statt. Zusätzlich zu den Farben wird von den Zapfen auch ein **Helligkeitssignal** errechnet. Man spricht in diesem Zusammenhang von **Luminanz**. Durch Addition resp. Subtraktion der Informationen der drei Zapfentypen entstehen die Signale für Helligkeit (Luminanz-System) und die Farben Rot-Grün (Rot-Grün-System) resp. Blau-Gelb (Blau Gelb-System).

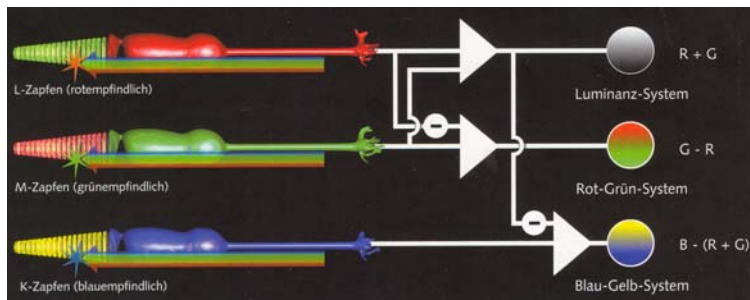


Abbildung: Farbverrechnung in der Netzhaut



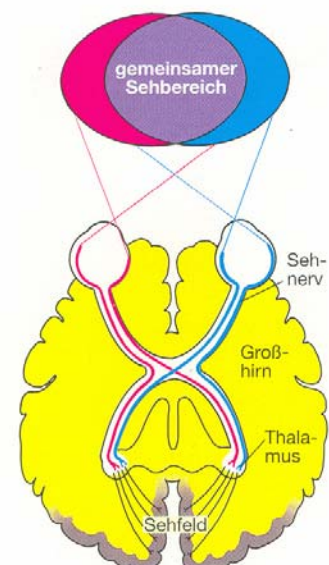
Ein Farbbild auf dem Weg ins Gehirn (links) und die Zusammensetzung im Sehzentrum (rechts).

Auf dem Weg ins Gehirn werden die drei Signale verändert und gefiltert. Erst in den Sehfeldern des Sehzentrums – einem Teil des Grosshirns – werden die Teilinformationen wieder zu einem „Gesamtbild“ zusammengesetzt.

Abbildung: Der Weg der „Farbe“ ins Gehirn

Auf dem Weg ins Gehirn gelangen die Informationen durch den **Thalamus**, hier wird gefiltert, nur ein kleiner Teil der Eindrücke gelangt schliesslich ins Sehzentrum und damit in unser Bewusstsein. Der entscheidende Verarbeitungsort für alle Informationen die aus den Sinnesorganen kommen, ist die **Grosshirnrinde**. Hier werden aus den Nervenzellsignalen Wahrnehmungen. Informationen aus den anderen Sinnesorganen (z.B. dem Gehör) werden hier verknüpft. Die Auswertung der Informationen, die von den Augen im Gehirn ankommen, werden mit bereits gemachten **Erfahrungen** verglichen.

Deshalb gilt das Sprichwort, das jeder Mensch die Welt mit eigenen Augen sieht!

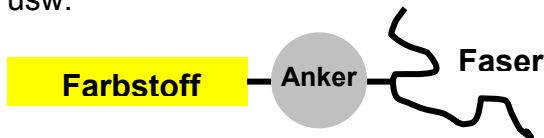


5. Farbstoffe

Im Gegensatz zu den wasserunlöslichen Pigmenten sind Farbstoffe in **Wasser** oder anderen Lösungsmitteln **löslich** und färben Textilmaterialien wie Baumwolle, Seide und Wolle an. Beim Färbevorgang gehen die Farbstoffe **chemische Verbindungen** mit Atomen oder Atomgruppen der Substrate ein. Für die Färbung mit Farbstoffen ist kein Bindemittel notwendig.

5.1. Eine Auswahl organischer Farbstofftypen und ihre Substrate

- **Saure und basische Farbstoffe** (anionische bzw. kationische Farbstoffe) besitzen ionisierbare funktionelle Gruppen (z.B. SO_3H). Sie gehen mit dem Substrat (siehe unten) Ionenbindungen ein. Beispiele: Azofarbstoffe wie Kongorot, usw.
- **Beizenfarbstoffe** sind Farbstoffmoleküle, die zusammen mit der „Beize“ auf der Faser einen unlöslichen Farbstoff bilden. Als Beizen eignen sich z.B. Metallsalze (Alaun). Beispiele: Alizarin, Luteolin., usw.
- **Küpenfarbstoffe** sind durch Reduktion löslich gemachte Farbstoffe, die dadurch auf die Faser leicht aufziehen und nachher an der Luft durch Oxidation in einen unlöslichen Farbstoff umgewandelt werden und somit im Gewebe „gefangen“ werden. Beispiele: Indigo, Henna, usw.
- **Reaktivfarbstoffe** enthalten eine chemisch reaktive Gruppe (Anker), die eine kovalente Bindung mit einer funktionellen Gruppe des Substratmoleküls eingehen. Beispiele: synthetische Farbstoffe wie Cibacron, Lanasol, Remazol usw.



Wer an weitergehenden Informationen interessiert ist, der findet auf folgenden Internetseiten umfassendes Material:

<http://www.2k-software.de/ingo/farbe/norg.html> systematische Zusammenstellung organischer Pigmente (Farbstoffe); noch nicht vollständig; unter der gleichen Adresse findet sich auch eine Zusammenstellung der wichtigsten Pigmente.

<http://www.seilnacht.com/Lexikon/FLexikon.htm> bei Thomas Seilnacht findet sich die umfassendste Sammlung zum Thema Farbe – Farbstoffe. Viele Hintergrundinfos.

<http://dc2.uni-bielefeld.de/dc2/farben/> auch bei Prof. Blume findet sich zahlreiches Material zu Farbstoffen, wie immer mit guten Experimentieranleitungen.

Substrate:

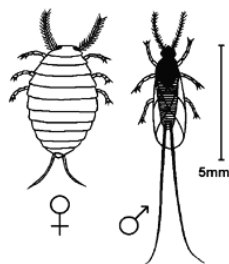
- **Wolle, Seide** (Proteinfasern) besitzen ampholytcharakter (reagieren sowohl mit Säuren als auch Basen) und können deshalb leicht mit anionischen und kationischen Farbstoffen angefärbt werden.
- **Cellulose** (Cellulose in Baumwolle, Leinen, Hanf, Jute, Sisal, Viskose, Zellwolle usw.) hat keine sauren und basischen Funktionen. Anfärbbar mit Beizen, Küpen- und Reaktivfarbstoffen.
- **Synthesefasern** (Nylon, Orlon) werden meist mit Dispersionsfarbstoffen angefärbt.

5.2. Geschichte der Färberei

Über Jahrtausende wurden färbende Substanzen aus den Säften von Pflanzen oder Tieren gewonnen:



Die Krapppflanze, liefert den roten Farbstoff *Alizarin*



Die Kochenilleläuse liefern ebenfalls roten Farbstoff *Carmin*



Das *Hämatoxilin* aus Blauholz färbt Textilien intensiv blau.



Purpur wird aus Drüsen von Wasserschnecken gewonnen.

Natürliche Farbstoffe boten nur ein beschränktes Farbenspektrum, waren oft sehr umständlich und nur in begrenzten Mengen zu erzeugen, erforderten aufwändige Färbeverfahren und lieferten häufig blasse und wenig lichtechte Farben. Das änderte sich erst ab dem Beginn des 19. Jahrhunderts mit dem Aufkommen **synthetisch** erzeugter Farbstoffe. Fortan standen den Färbereien eine grosse Vielzahl leuchtender, lichtbeständiger Farbstoffe zur Verfügung.

Chemisch gesehen bestehen Farbstoffe hauptsächlich aus Ketten und Ringen von Kohlenstoffatomen, die ihrerseits vorwiegend mit Wasserstoff-, Stickstoff-, Sauerstoff- und Schwefelatomen mittels einfach oder Doppelbindungen verknüpft sind (siehe Kapitel 3. *Farbe und Farbigkeit*).

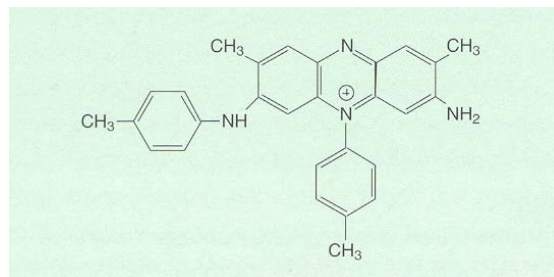
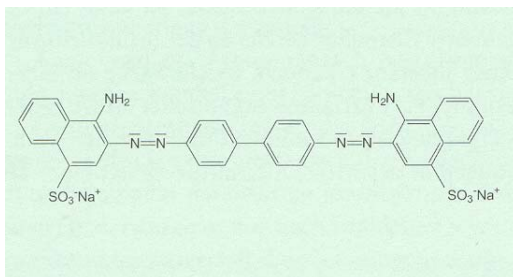


Abbildung: Beispiele für **synthetische** Farbstoffe; links Kongorot, rechts Mauvein

5.2.1. Indigo der König der Farbstoffe

Indigo ist einer der ältesten bekannten pflanzlichen Farbstoffe, mit dem schon vor Jahrtausenden in Ägypten, Indien und China Kleider, Teppiche und Tongefässe gefärbt wurden. Der eigentliche Indigo ist das Produkt der in tropischen und subtropischen Gebieten wachsenden Pflanze *Indigofera Tinctoria* (indicum = aus Indien kommend). Indigo kann auch aus dem heimischen Färberwaid (*Isatis tinctoria*) gewonnen werden.

Isatis tinctoria



Die Färberwaid: ein Kreuzblütler

Indigofera tinctoria



Die Indigopflanze: ein Schmetterlingsblütler

Exkurs: Geschichte der Indigofärberei

Die Indigopflanze enthält weder in ihren Wurzeln noch in den Blättern oder Blüten einen blauen Farbstoff. In ihr findet sich lediglich die gelbe Zuckerverbindung Indican, eine Vorstufe des Farbstoffes. Der Mensch erhält den blauen Farbstoff erst durch eine Vergärung und eine nachträgliche Oxidation.

Indigo gehört in die Gruppe der **Küpenfarbstoffe**. Für diese ist charakteristisch, dass sich das Farbstoffmolekül nicht chemisch mit der Textilfaser verbindet, sondern als unlösliches Pigment physikalisch auf der Faseroberfläche haftet.

Die Färbung der Textilien mit Küpenfarbstoffen erfolgt aus technischen Gründen meist in einer wässrigen Lösung, der sogenannten **Flotte**. Wegen ihrer Unlöslichkeit in Wasser muss der Farbstoff allerdings vor der Färbung erst wasserlöslich gemacht (verküpt) werden. Chemisch gesehen stellt dies eine Reduktion dar. Diese findet heute mit Hilfe von Dithionit (Hydrosulfit) statt. Auf diese Weise entsteht aus dem blauen Indigo das wasserlösliche, hellgelbe Leukoindigo. (Indigoweiss) das an der Luft wieder zu Indigo oxidiert wird.



Auch heute wird noch mit natürlichem Indigo gefärbt



Die Bluejeans: das wohl bekannteste Indigo-Färbeprodukt

Im **Mittelalter** wurde der Färberwaid vor allem in weiten Teilen Europas angebaut. Der Indigo aus Indien und aus dem Orient wurde zwar immer noch nach Europa eingeführt, doch im 16. Jahrhundert wurde die Einfuhr von Indigo nach Europa zeitweise unter Androhung der Todesstrafe aus Konkurrenzgründen verboten.

Das Verbot konnte sich jedoch nicht halten, da der Indigo aus Indien eine höhere Qualität aufwies. Damals waren die Waidbauern für den Anbau und die Ernte zuständig und zermahlten die geernteten Blätter zu einem Brei, der zur Gärung gebracht wurde. Nach zwei Wochen, in denen die Masse mehrmals gewendet werden musste, wurden die „Waidkugeln“ oder „Blaukörner“ geformt und getrocknet. Die weitere Verarbeitung war den Bauern verboten und durfte nur von Waidhändlern durchgeführt werden. Diese zerkleinerten die Waidkugeln und unterwarfen die gebildete Masse durch anfeuchten mit Wasser und Urin einer weiteren, mit enormen Geruchsbelästigungen verbundenen Gärung in Kübeln und Bottichen. Wegen des Gestankes durfte dieser Arbeitsgang nicht an Festtagen stattfinden.

Der eigentliche Färbevorgang wurde bis ins 19. Jahrhundert nach komplizierten Rezepten und streng traditionsgebundenen Verfahrensvorschriften durchgeführt:

Dem zwölfstündigen Ansetzen der Küpe und dem Behandeln des textilen Färbegutes darin folgte eine ebenso langes „Aushängen“, wobei unter Einwirkung des Luftsauerstoffs, also durch Oxidation, die blaue Indigofarbe entstand. Am arbeitsfreien Sonntag blieb das Färbegut in der Küpe. Am darauffolgenden Montag wurde sozusagen „blau gemacht“, und die Gesellen überliessen der Luft einen wesentlichen Teil der Arbeit (die Bezeichnung des „blauen Montags“ geht also auf diesen „arbeitsfreien“ ruhigen Wochenbeginn zurück). Das Endprodukt wurde in Fässern zu den Verbrauchern transportiert.

Um 1870 gelang dem **Chemiker Adolf von Baeyer** die erste künstliche (synthetische) Herstellung von Indigo aus Anilin. Im Jahre 1897 kam dieser synthetische Indigo durch die Firma **BASF** (Badische Anilin und Soda Fabrik) in Ludwigshafen auf den Markt. Indigo selbst ist nicht giftig. Heute werden jährlich über 12000 Tonnen Indigo weltweit produziert. Er ist der wichtigste Farbstoff zum Färben von **Jeans**. Die in Amerika erfundenen Jeans wären ohne den Indigo nicht denkbar.

5.3. Moderne Farbstoffe – die Azofarbstoffe

Die wichtigste Klasse ausschliesslich synthetischer Farbstoffe ist die der Azofarbstoffe (franz. Azote, Stickstoff). Alle Moleküle der Azofarbstoffe lassen sich von der folgenden Formel ableiten:



Dabei verknüpft die **Azogruppe** - $\bar{N} = \bar{N}$ - als Teil eines Chromophors zwei meist aromatische Systeme R und R' miteinander. Die grosse Vielfalt von über 2000 technisch verwendeten Azofarbstoffen erklärt sich dadurch, dass R und R' Substituenten (z.B. NH₂, COOH) enthalten können, die das chromophore System noch erweitern.

Die Farbigkeit der Azofarbstoffe kommt durch die Ausbildung eines mesomeren Doppelbindungselektronensystems zustande, das sich über Benzolkerne und Azogruppe erstreckt. Dieses wird hier am Beispiel des bereits 1861 synthetisierten 4-Aminoazobenzols (Anilingelb) dargestellt:

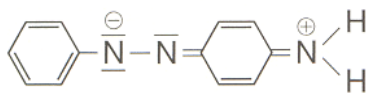


Abbildung: eine der mesomeren Grenzstrukturen des 4-Aminoazobenzols
Die Doppelbindung zwischen der Azogruppe (-N=N-) hat sich zum zweiten Benzolring hin verschoben (-N=N=).

Ein solches System absorbiert im Bereich der Farbe Blau, es zeigt also die Komplementärfarbe Gelb als Eigenfarbe. Die Lichtabsorption lässt sich durch den gleichzeitigen Einbau von Elektronendonator- bzw. akzeptorgruppen in das entsprechende Molekül gezielt verändern.

5.3.1. Verwendung von Azofarbstoffen

Azofarbstoffe zeichnen sich durch grosse *Farb-* und *Lichtechtheit* aus und sind daher sehr beliebte Färbemittel. Für ihre Verwendbarkeit zum Färben sind die Substituenten an den aromatischen Systemen der Farbstoffmoleküle von entscheidender Bedeutung. So wird durch das Einführen von Sulfonsäuregruppen (-SO₃H) die für die Textilfärberei erforderliche Wasserlöslichkeit der Azofarbstoffe verbessert.

Saure (enthalten saure Substituenten, z.B. -COOH) und basische (enthalten basische Substituenten, z.B. -NH₂) Azofarbstoffe eignen sich besonders als **Wollfarbstoffe**, Azofarbstoffe mit Sulfonsäuregruppen als **Lederfarbstoffe**. Der Grund liegt darin, dass solche Azofarbstoffe sich mit den Seitenketten der Polypeptide von tierischen Fasern (Wolle, Seide) oder von Leder durch eine Ionenbindung verbinden können.

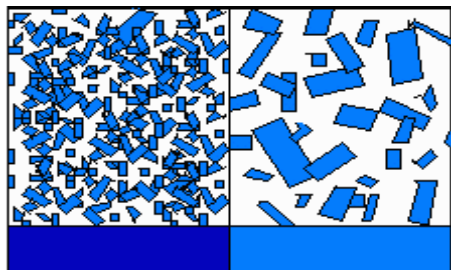
Auch viele **Lebensmittelfarbstoffe** (siehe Kapitel 8.) sind Azoverbindungen. Da jedoch nur solche Farbstoffe eingesetzt werden dürfen, die sich als toxikologisch unbedenklich erwiesen haben, ist die Verwendung von Azofarbstoffen im Lebensmittelbereich zurückgegangen, da einige von ihnen Allergie auslösende, toxische oder kanzerogene Eigenschaften haben.

Azofarbstoffe können auch als **Arzneimittel** eingesetzt werden. Bestimmte Farbstoffe färben nur krankheitserregende Zellen (Bakterien), reagieren mit dem Zellmaterial und vernichten so die Zellen

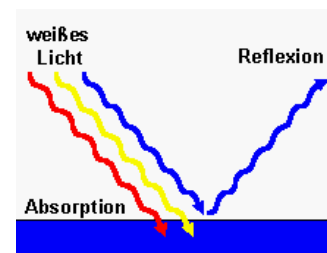
6. Pigmente und Bindemittel

Pigmente sind farbgebende Teilchen, die in der Regel **unlöslich** und zum Gebrauch in natürliche oder synthetische Medien eingebettet sind. Meist handelt es sich um **kristalline anorganische- oder organische Partikel**, deren Grösse üblicherweise im Mikrometerbereich, bei ganz feinen Pigmenten sogar im Nanometerbereich liegt. Lichtwellen, die auf die farbgebenden Pigmente treffen, werden gestreut, d.h. mehr oder weniger aus ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt.

Zur Herstellung einer Farbe wird ein Pigment mit einem **Bindemittel** (z.B. Casein oder Leinöl; siehe Kapitel 6.2.) verrührt und nach dessen Erstarrung auf einem Malgrund festgehalten. Das Bild verdeutlicht die Herstellung einer Ölfarbe aus Ultramarinblau und Leinöl.



Je kleiner die Pigmentteilchen desto stärker die Farbstärke



Reflexion von weissem Licht an einem blauen Pigment

6.1. Einteilung der Pigmente

Nach ihrem Farbton werden Pigmente in **Weiss-, Schwarz- und Buntpigmente** unterteilt.

6.1.1. Weisspigmente:

In natürlichen Organismen bzw. -teilen wie Pflanzen oder Haaren sind meist eingelagerte Luftbläschen für die Reflexion der Lichtwellen verantwortlich. So entstehen z.B. die weisse Farbe von Blüten oder Haare erscheinen weiss, wenn das farbgebende Pigment Melanin durch Luftbläschen ersetzt wird.

Das bekannteste Weisspigment ist das Titandioxid (TiO_2). Wird es in Teilchengrößen deutlich unterhalb der Wellenlänge sichtbaren Lichts, also im Nanometerbereich (10 – 30 nm), hergestellt, so wird das Pigment für das Licht transparent.

Diese Nanoteilchen-Pigmente sind aber noch immer in der Lage, das kurzwellige Ultraviolette Licht zu streuen, sie werden deshalb als anorganische UV-Absorber für Schutzlacke und Sonnencremes eingesetzt.

Andere Weisspigmente sind z.B. Bleiweiss ($2 \text{Pb}(\text{CO}_3)_2 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$), Zinkweiss (ZnO) und Kreide (CaCO_3).

6.1.2. Schwarzpigmente:

Die am weitesten verbreiteten Schwarzpigmente sind die über 100 verschiedenen Arten von Russpigmenten, die aus unvollständiger Verbrennung von Kohlenwasserstoffen entstehen.

Daneben diene aber auch Holzkohle und verbrannte Knochen (Beinschwarz) als mögliche Pigmentquellen.

6.1.3. Buntpigmente:

Nach ihrem Vorkommen und ihrem chemischen Aufbau werden insgesamt drei Hauptgruppen von Buntpigmenten unterschieden:

1. **Erdfarbenpigmente.** Dabei handelt es sich um farbgebende Metalloxide, die in Farberden vorkommen und gelbliche, rötliche und bräunliche Farbtöne bewirken (z.B. Höhlenmalerei). Beispiele: gelber, roter und brauner Ocker (Eisenoxide Fe_2O_3), usw.
2. **Mineralpigmente.** Werden mittels einfacher chemischer Behandlung aus natürlichen Metalloxiden gewonnen. Im Gegensatz zu den Erdfarbenpigmenten können auch eine Vielzahl von Grün- und Blautönen abgedeckt werden. Beispiele: grüne Erde ($\text{K}[(\text{Al}, \text{Fe}^{\text{III}}), (\text{Fe}^{\text{II}}, \text{Mg})](\text{AlSi}_3, \text{Si}_4)\text{O}_{10}(\text{OH})_2$), Berliner Blau (Eisenhexacyanoferrat $\text{Fe}[\text{Fe}^{3+}\text{Fe}^{2+}(\text{CN})_6]_3$), usw.
3. **Synthetische (organische) Pigmente.** Aus Erdöl, Steinkohle und Steinkohleteer erzeugte Pigmente wie Azin-, Azo- und Anthrachinonfarbstoffe. Die synthetischen Pigmente erzeugen besonders reine, leuchtende Buntfarben für die Druck- und Textilindustrie, für den Wandanstrich und für die Kunstmalerei, die durch ihre hohe Lichtechtheit und Haltbarkeit überzeugen.



Titanweiß
Titan(IV)-oxid



Malachit
Kupfercarbonat



Chromorange
Blei(II)-chromat



Beinschwarz



Kobaltgelb
Cobalt(II)-aluminiumnitrit

Eine übersichtlich Zusammenstellung der wichtigsten Pigmente (mit chemischen Formeln) findet sich unter:

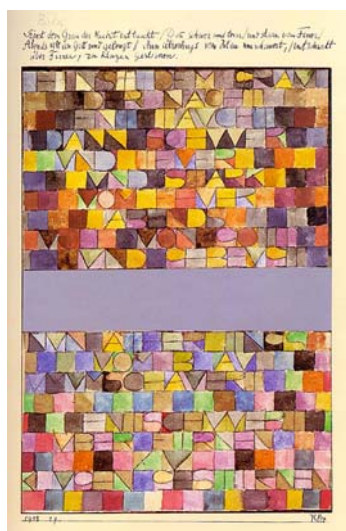
<http://www.educeth.ch/chemie/pigmente/pigmente/pigmhaupttab.html>

6.2. Bindemittel

Wollen wir ein Pigment auf einen Untergrund auftragen, so können wir dies auf einfache Art tun: nehmen wir z.B. ein eisenoxidhaltiges Pigment (z.B. Terra di Siena) so können wir dieses braune Pulver mit Wasser anrühren, es erscheint uns als braune Farbe. Es ist auch streichfähig und mit einem Pinsel verstrichen, gibt es einen farbigen Effekt. Als Anstrich im eigentlichen Sinne kann man das jedoch nicht bezeichnen, denn beim ersten Windzug wäre die ganze Pracht dahin. Es fehlt einfach ein Kleber, der die Pigmentteilchen untereinander und auf dem Untergrund fixiert, das sogenannte **Bindemittel**.

6.2.1. Geschichte der Bindemittel

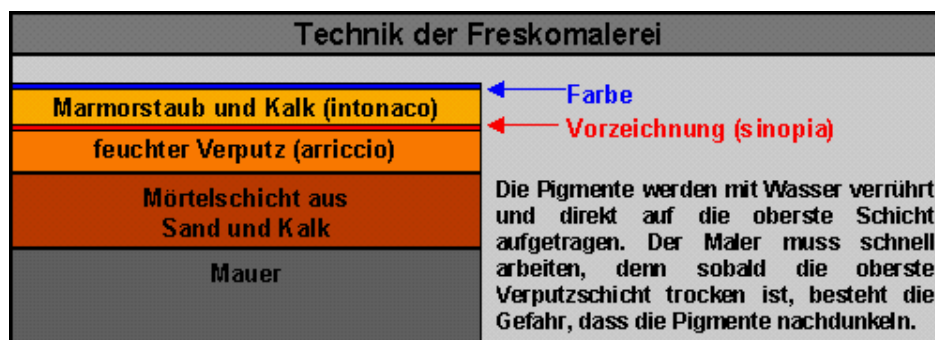
Bindemittel können sehr einfacher Natur sein, im traditionellen Malerhandwerk wurde für bestimmte Techniken lange Zeit **Bier** als Bindemittel verwendet. Es ist in der Lage, bis zu 15 Gewichtsprozent Pigmente völlig wischfest zu verkleben. Allerdings ist es nicht wasserfest.



Baumharze gelten als die ältesten bekannten Bindemittel. Schneidet man die Rinde zahlreicher Bäume und Sträucher an, so tritt ein zähflüssiger Saft aus, welcher nach wenigen Tagen zu einem Harz erstarrt. So ist Gummi arabicum ein wichtiges Bindemittel für die **Aquarellmalerei**.

Abbildung: Aquarell von Paul Klee 1918

Die Technik der **Freskomalerei** kam bereits in der Antike vor. Die Freskotechnik benutzt den noch feuchten Verputz zum Binden von Pigmenten. Auf eine Mauer wird zuerst eine Mörtelschicht aus Sand und **Kalk** aufgetragen, die mit einem feuchten Verputz aus den gleichen Materialien versehen wird. Auf diese zweite Schicht trägt der Freskomaler die Vorzeichnung auf. Darüber kommt nochmals eine Schicht aus Sand oder Marmorstaub und feinem Kalk.



Die Pigmente werden mit Wasser verrührt und direkt auf die oberste Schicht aufgetragen. Der Maler muss schnell arbeiten, denn sobald die oberste Verputzschicht trocken ist, besteht die Gefahr, dass die Pigmente nachdunkeln. Beim Trocknen des Verputzes entstehen Kristalle, die mit dem vermahlen Pigment eine dauerhafte, chemische Bindung eingehen. Dabei ist zu beachten, dass die Farben beim Trocknen des Verputzes aufhellen.



Die Maler der italienischen Renaissance (13. – 15. Jahrhundert) vermischten rohe Eier oder Eigelb mit Pigmenten. Die Proteine (Eiweisse) härteten an der Luft aus und verfestigten das Pigment. Der Nachteil der **Temperafarben** besteht darin, dass sie schnell trocknen, einschrumpfen und rissig werden. Ein weiteres eiweisshaltiges Bindemittel war das aus Milch gewonnene **Kasein**, welches schon die Römer zum Anstreichen von Wänden benutzten.

Abbildung: Temperabild von Fra Angelico um 1440

Bei der **Ölmaltechnik** werden langsam trocknende Öle wie **Leinöl** oder Walnussöl mit Pigmenten vermischt. Die Ölfarben trocknen ohne Risse und lassen sich in dünnen Schichten - auch übereinander - vermahlen. Dadurch entwickeln sie eine Leuchtkraft wie sie mit Temperafarben nicht erzielt werden können.

Im 20. Jahrhundert wurde speziell für den Bedarf der Maler ein neues Bindemittel entwickelt, welches unter allen Malmitteln die besten Eigenschaften aufweist. **Acrylfarbe** besteht im wesentlichen aus Pigmenten und Acrylharz, das durch eine Polymerisation von Acrylsäure, einem Erdölprodukt, gewonnen werden kann. Acrylharze sind klare, wasserfeste und dem Plexiglas ähnliche Kunststoffe mit stark klebenden Eigenschaften. Sie können vor dem Aushärten beliebig mit Wasser verdünnt werden. Sie verändern sich im Laufe der Zeit nicht und garantieren eine maximale Leuchtkraft der Pigmente. Die leuchtenden Farben wurden z. B. von den Künstlern der Pop-Art für schrille Farbdarstellungen verwendet.

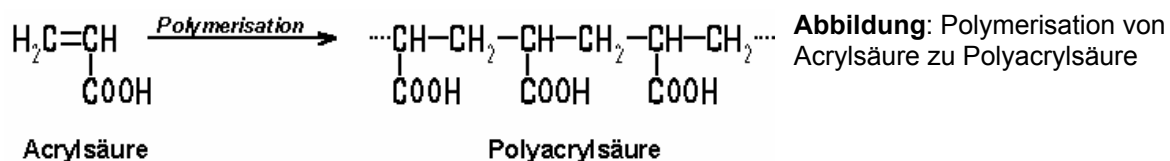


Abbildung: Polymerisation von Acrylsäure zu Polyacrylsäure



Abbildung: Andy Warhol Mao 1972

Die obigen Infos und weiteres interessantes Material zum Thema findet sich bei Thomas Seilnacht: <http://www.seilnacht.tuttlingen.com/Lexikon/Bindemi.htm>

7. Farbstoffe in der Natur

Von den leuchtenden Farben in der Natur gehen viele auf die Klasse der **Flavonoide** zurück. Diese Substanzen weisen alle das gleiche Grundgerüst auf: es besteht aus zwei benzolartigen Teilen und einem weiteren, sauerstoffartigen Sechsering. Meist liegen die Flavonoide in einer Verbindung mit einem Zuckermolekül – als **Glykosid** – vor.

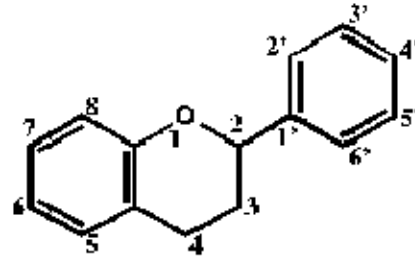


Abbildung: das Flavonoid Grundgerüst

Flavonoide kommen sowohl in Blättern als auch in Blütenblättern vor. In den Blättern besteht ihre Aufgabe darin, die für das genetische Material und die Zelleiweisse schädliche Ultraviolettstrahlung zu absorbieren. Die Färbung der Blüten beruht in erster Linie auf dem Vorhandensein von Pigmenten in **Chromoplasten** oder **Zellvakuolen** des Blütengewebes.

Tabelle: die Stoffklasse der Flavonoide, die Wirkungsweise dieser Verbindungen ist sehr vielfältig

Verbindung	Beispiele	Vorkommen	Eigenschaften
Flavonole	Quercetin Kämpferol	Zwiebeln Endivie	hellgelbe Pigmente
Flavanole	Catechin Epicatechingallate	Rotwein, Äpfel Grüner Tee	adstringierende Wirkung
Flavanone	Naringenin Hesperidin	Grapefruit Orange	Bitterstoffe
Flavone	Apigenin Luteolin	Sellerie Paprika	hellgelbe Pigmente
Anthocyane	Malvidin Cyanidin	blaue Trauben Kirschen	rote und blaue Farbpigmente
Isoflavonoide	Genistein Daidzein	Sojabohnen Sojabohnen	Phytoöstrogene

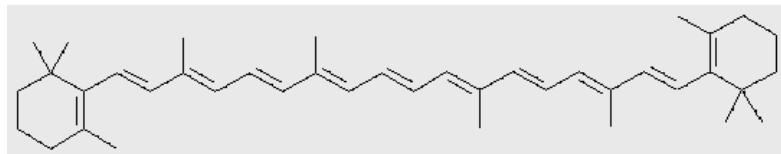
adstringierend: die Mundschleimhäute austrocknend

Phytoöstrogene: Stoffklasse die ähnlich wirkt, wie das weibliche Geschlechtshormon Östrogen

Die einzige andere grössere Gruppe sind die **Carotinoide**, die vor allem gelbe und einige orangefarbene und rote Töne liefern.



Carotinoide sind im Pflanzenreich weit verbreitet, sie geben Obst und Gemüse die gelb-rote Farbe. Ein Teil von Ihnen wird im Körper in **Vitamin A** umgewandelt werden, weshalb man sie auch als Provitamin A bezeichnet:



Das Provitamin A (Beta Carotin) ist eine fettlösliche bioaktive Substanz, die z.B. antikanzinogen wirkt.

Weitere Klassen mit geringerer Bedeutung hinsichtlich der Blütenpigmentierung sind die **Chlorophylle** (Grüntöne), **Chinone** (gelegentlich für Rot- und Gelbtöne verantwortlich).

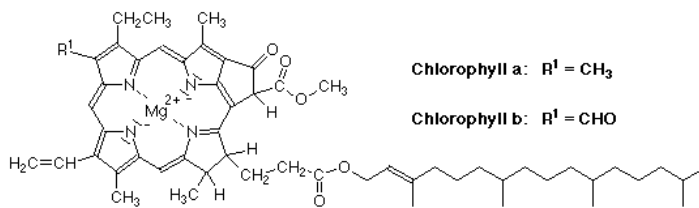
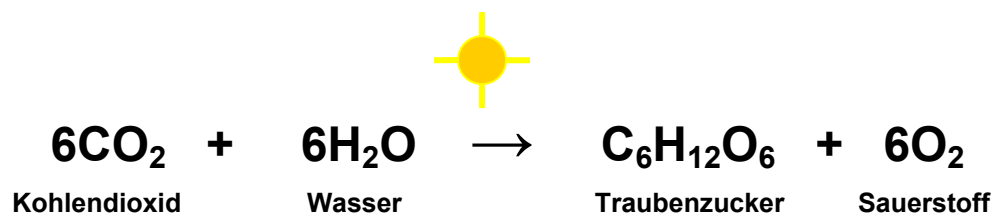


Abbildung: Grundstruktur des Chlorophylls





Man unterscheidet mehrere Chlorophyllmoleküle. In der Abbildung ist die Grundstruktur zu sehen. Chlorophylle sind wie Carotinoide wasserunlöslich. Chlorophylle bilden die Hauptpigmente der Fotosynthese.

Bei der **Fotosynthese** wird Kohlendioxid aus der Luft assimiliert und mit Wasser in Glukose und Sauerstoff umgewandelt. Diese Reaktion benötigt als Katalysator das in den Chloroplasten Zellen grüner Pflanzen vorhandene Chlorophyll. Somit sind grüne Pflanzen Produktionsstätten für Traubenzucker, wobei gleichzeitig molekularer Sauerstoff erzeugt (recyclisiert) wird:



Die Fotosynthese bildet die Lebensgrundlage für alle tierischen Organismen auf der Erde. Sämtliche Energie die Tiere zum Leben benötigen stammt direkt oder indirekt aus der Umwandlung von Sonnenlicht in Traubenzucker.

Im Herbst nach dem Abbau des Chlorophylls bestimmen die Carotinoide und Anthocyan die Farbe.

	Frühling, Sommer Chlorophyll		Herbst Anthocyan
	Herbst Carotine		Herbst Xanthophylle

Eine nützliche Übersicht der Pflanzenfarbstoffe findet sich unter: <http://www.uni-bayreuth.de/departments/didaktikchemie/umat/bluetenfarbstoff/bluetenfarbstoff.htm#3>

8. Lebensmittelfarbstoffe

Ernährungswissenschaftler behaupten, dass Farbstoffe für eine gesunde Ernährung nicht erforderlich sind, wenn man einmal von der möglichen Schutzfunktion von einiger dieser Stoffe als Antioxidantien absieht. So hat eine ausgebleichene, gräuliche Marmelade denselben Geschmack wie eine leuchtend rote und ist genau so gesund. Dennoch würden fast alle Verbraucher, vor die Wahl gestellt, die rote Marmelade bevorzugen. Denn der Mensch **isst** auch mit den **Augen**. Die bunten Farben von Süßwaren wie Bonbons, Pralinen, Speiseeis usw. verleiten zu deren Kauf und Verzehr, auch die Einnahme von einigen Arzneimitteln wird durch eine angenehme Farbe erleichtert.

Doch viele in Obst und Gemüse vorkommende natürliche Farbstoffe sind nicht hitzebeständig, sie werden schon bei Temperaturen zerstört, wie sie aus lebensmittelhygienischen Gründen oder bei der Konservierung angewendet werden. Schwach oder gar abstoßend gefärbte und farblose Lebensmittel wirken unansehnlich und wenig appetitanregend. Deshalb werden sie bunt eingefärbt, und zwar mit zugelassenen Lebensmittelfarbstoffen.

Im rechtlichen Sinne sind Lebensmittelfarbstoffe färbende Einzelsubstanzen, die aus der Natur kommen oder synthetisiert werden. Wie alle bei Lebensmitteln erlaubten Zusatzstoffe, zu denen unter anderen Konservierungsmittel oder Geschmacksverstärker gehören, tragen sie eine **E-Nummer**, z.B. steht **E123** für **Amaranth**, ein roter Azofarbstoff (siehe Kapitel 5.3.), der zum Färben von Desserts und Fruchtkonserven verwendet wird.

Mehr Infos zu den Zusatzstoffen unter www.zusatzstoffe-online.de

9. Quellen

Bücher:

- Norbert Welsch, Claus Chr. Liebmann; Farben, Natur – Technik – Kunst; Spektrum Akademischer Verlag; 2003
- Elementare Chemie II, Gesamtband; Unterrichtswerk für die Sekundarstufe II; Ernst Klett Verlag; 2000
- Margaret Livingstone; Vision and Art, the biology of seeing; Abrams; 2002;
- Reinhold Sölch; Die Evolution der Farben, Goethes Farbenlehre in neuem Licht; Ravensburger; 1998
- Hans Gekeler; Handbuch der Farbe, Systematik, Ästhetik, Praxis; Dumont; 2000
- Ueli Seiler-Hugova; Farben, sehen – erleben – verstehen; AT Verlag; 2002
- Gerd Ziesemann, Martin Krampfer, Heinz Knieriemen; Natürliche Farben, Anstriche und Verputze selber herstellen; 1996
- Ulrich Hamm; Farbe – Arbeitsheft; Klett; 2004
- Farben; Spektrum der Wissenschaft Spezial; Spektrum Akademischer Verlag; 4/2000
- Al Seckel; Meisterwerke der optischen Illusionen; Tosa Verlag; 2003
- Georg Schwedt; Farbstoffen analytisch auf der Spur; Aulis Verlag Deubner; 1996
- Stefan John, Ingo Ludwichowski; Naturfarbstoffe im Unterricht; Aulis Verlag Deubner; 1998
- Lapislazuli, Gold und Eichhörnchenhaare; Materialien und Techniken der Pigmentmalerei; aus de Werkstatt von Meister Bannuji in Jaipur (Indien); Museum Rietberg Zürich; 2004

weitere Internetadressen (Stand März 2005):

- <http://www.mbaselt.de/licht/inhalt.htm> Alles zum Thema Licht (Natur des Lichts)
- www.dutly.ch/indigohtml/indigo1.html Umfassende Geschichte des Indigos in verständlichen Worten
- <http://visor.unibe.ch/~bkersten/web.swf> Sehen mit dem Gehirn, animierte Seite zum Thema Wahrnehmung, recht kompliziert....
- <http://visor.unibe.ch/~bkersten/Texte/VVVV.pdf> Bernd Kerstens lesenswerte Publikation zum Thema Wahrnehmung („Visuelle Wahrnehmung und virtuelle Welten“)
- www.cogsci.uci.edu./personnel/hoffman/Applets/index.html Java Applets zur 3-D Wahrnehmung
- www.vislab.ch/vwsk_tutorial2/content/main.php Visuelle Wahrnehmung, Schönheit & Kunst
- <http://www.ritsumei.ac.jp/~akitaoka/index-e.html> geniale Illusionen von Akiyoshi Kitaoka

Videos:

- Der Farbenmann; Das Geheimnis der vergessenen Farben; Sendungen zur Firma von Georg Kremer, Aichstetten; Kopie zu beziehen bei M. Vonlanthen
- Pigmente und Farbstoffe, Teile 1 – 3; Ausleihe bei Head Film AG / Zürich (www.headfilm.ch)