

## Kurs 2 – Farben



### Vorbereitungswochenende

LIOBA RATH

Als unser Farben-Kurs sich am Vorbereitungswochenende zum ersten Mal getroffen hatte, war sofort klar: das werden zwei tolle Wochen. Erst einmal mussten wir natürlich festlegen, was wir überhaupt in unserem Kurs machen wollen, denn anders als bei andern Kursen war es nicht vorbestimmt, mit was wir uns zwei Wochen lang beschäftigen würden. Wir haben alle unsere Ideen über das Thema Farben gesammelt und gesehen: das schaffen wir nicht alles in zwei Wochen.

Also mussten wir uns entscheiden: Welches der Themen wollen wir vertiefen? Die Lösung: Alle. Wir wollten alle Themen anschneiden und wenn uns eines gefällt, an ihm weitermachen. Mit diesem Ergebnis waren alle zufrieden. Bei der Einteilung der Referate konnten wir uns ja auch

noch auf ein Thema spezialisieren.

Nach den Formalitäten stiegen wir gleich in die Kursarbeit ein, indem wir einige überraschende Experimente durchführten. Zum Beispiel haben wir uns mit dem Einfluss farbigen Lichts auf farbige Gegenstände beschäftigt. Die Farben auf einem bunten T-Shirt im gelben Licht einer Natriumdampf Lampe nehmen wir ganz anders wahr, als in weißem Licht. Eine Natriumdampf Lampe erscheint für uns gelb, da sie nur die „gelben“ Wellenlängen aussendet. Also können auch keine „andersfarbigen“ Wellenlängen von dem bunten Gegenstand reflektiert werden und so in unser Auge gelangen. Auch in weißem Licht grün erscheinende Gegenstände sind dann für uns gelb bzw. sehr dunkel.

Nach dem Vorbereitungswochenende bekamen wir natürlich auch ein wenig Hausaufgaben: die Ausarbeitung von Kurzreferaten, die dann am Anfang der Sommerakademie präsentiert und

den Grundstock unseres Fachwissens bilden sollten. Es war eine lehrreiche, aber auch arbeitsreiche Erfahrung, über ganz Baden-Württemberg verteilt ein Referat zustande zubringen, lediglich per E-Mail als Kommunikationsmittel. Zum Knobeln und zum Testen des Wissens unserer Chemielehrer gab uns Matthias auch ein Rätsel mit auf den vorübergehenden Heimweg.

## Personenvorstellung

LIOBA RATH

### Annelie Schön

war unsere Hilfe wenn etwas nicht klappte, wie wir es wollten. Sie hatte immer gute Ideen für Neuanfänge. Außerdem kümmerte sich Annelie um jeden, dem es mal nicht so gut ging. In ihrer höflichen, hilfsbereiten Art erledigte sie alle Dinge in Rekordzeit.

### Konstantin Sasse

legte eine offene Fröhlichkeit an den Tag, mit der er jeden ansteckte. Er hatte immer ein lockeres Wort auf den Lippen und verkomplizierte nie unnötig die Dinge. Er erheiterte uns unermüdlich in anstrengenderen Phasen, worüber besonders unsere Kursleiter froh waren.

### Florian Sure

war unser Computerfachmann. Er war mit fast allem einverstanden und hatte immer gute Ideen und Verbesserungsvorschläge. Diese versuchte er in endloser Zusatzarbeit mit Kevin umzusetzen, sofern der Computer nicht streikte. Damit alles nicht zu trocken wurde, baute er auch hin und wieder ein kleines Späßchen ein, die Matthias regelmäßig an den Rand der Verzweiflung brachten.

### Sofie Kober

war eine der ruhigeren Teilnehmerinnen. Für komplizierte Sachverhalte hatte sie immer eine Vereinfachung parat. Sie dachte immer sehr

logisch und konnte Fragen aus dem Effeff beantworten. Sofie gehörte mit Luiza und Lioba zu den jüngsten Mitgliedern unseres Kurses, doch sie hatte fast nie Probleme den anderen zu folgen.

### Frauke Maas

half überall im Kurs, wo gerade Hilfe gebraucht wurde. Souverän arbeitete sie still vor sich hin. Vor der Rotation wurde es dann etwas hektisch, aber mit vereinten Kräften ließ sie sich schnell wieder zu ihrer ursprünglichen Ruhe zurückbringen.

### Luiza Mattoso

arbeitete gern im Hintergrund, doch ohne zu verschwinden, denn mit ihren regelmäßigen Lachanfällen steckte sie alle mit guter Laune an. Luiza war für alles zu haben und auch immer gut drauf. Sie, und die anderen beiden 8-Klässler hatten es seltener etwas schwer Matthias zu folgen, doch mit 11 unterschiedlichen Erklärungen von den anderen kam auch sie, Sofie und Lioba durch.

### Markus Ritter

lenkte uns immer wieder zurück zum Thema, wenn wir uns in weit ausschweifende Diskussionen verstrickten. Mit fachmännischem Wissen brachte er uns weiter, um dann wieder zu Scherzen aufgelegt zu sein, und uns (fast) alle aufzumuntern, indem er sich oft laut „Don't worry – Be happy“ anhörte.

### Ram-Janik Petzold

arbeitete immer gewissenhaft und ruhig vor sich hin und beruhigte uns, wenn es mal heiß her ging. Er hatte immer schon einen Kompromiss bereit, um mögliche kleine Meinungsverschiedenheiten zu beenden, bevor sie überhaupt begonnen hatten.

### Sarah Nill

war sehr zielorientiert und lenkte unsere Aufmerksamkeit immer wieder auf die wichtigen

Dinge. Zusammen mit Ram-Janik schaffte sie es, wenn nötig, wieder Ruhe in den Kurs zu bringen.

### **Thomas Wiesner**

war immer lässig und fröhlich. Er entwickelte sich in nur knapp zwei Wochen zum perfekten DJ und trug damit einen wesentlichen Teil zum Gelingen unseres Abschlussabends bei. Er freute sich über zusätzliches Wissen und verstrickte sich regelmäßig in Diskussionen mit unserem Kursleiter Matthias, da er immer wieder komplizierte Fragen stellte. Thomas direkte Ausdrucksweise erstickte Missverständnisse noch im Ansatz und heiterte uns oft alle auf.

### **Tizian Hoffmann**

Von ihm hörte man meist sehr wenig. Er arbeitete und lachte und redete, wenn er nicht gerade mit Konstantin im Internet nach Spielen suchte. Er und Matthias hatten sich schon im Hector- Seminar kennen gelernt.

### **Lioba Rath**

hörte ruhig und interessiert den Vorträgen von Matthias oder Günther zu, stellte dann aber immer wieder Fragen, die teilweise auch etwas vom Thema wegführten. Sie war für fast alles zu haben, allerdings hatte sie mit einigen Teilen des „Schweins“ Probleme: Sie war den Augen nicht ganz so zugeneigt und beschloss daher später selbst eins zu „schlachten“.

### **Günther Ullrich**

unser Kursleiter, übernahm im Bio- und Chemieraum das Kommando. Auch bei mittelschweren bis schweren Katastrophen blieb er die Ruhe selbst und bog oft noch alles gerade. Er lehrte uns durch anschauliche Beispiele sehr viel und hatte immer gute, teilweise auch lustige Geschichten zu erzählen.

### **Matthias Taulien**

ebenfalls Kursleiter, ergänzte sich wunderbar mit Günther. Er war in Physik fast allwissend

und vermittelte uns in kurzer Zeit sehr viel Fachwissen. Durch kleine Fragen und Stiche führte er uns auf einem bestimmten Weg zum Ziel. Matthias hielt seine Meinung nie hinterm Berg und unterstützte uns mit seinen tollen Ideen. Er stiftete uns aus dem Hector- Seminar Laptops, die uns vieles erleichterten.

### **Kevin Sommer**

unser Schülermentor oder auch „Mädchen für alles“. Er kümmerte sich um die Technik, fotografierte die besonderen und oft auch peinlicheren Momente im Kurs und unterstützte unsere Kursleiter als Protokollant, Aufräumer, Techniker, Postbote und vieles mehr.

## **Stimmung im Kurs**

LIoba RATH

### **8:30–9:00 Uhr Plenum:**

Beim Check-up kommen wir noch etwas müde von unseren Sitzen hoch. Der Raum ist einfach so schön warm. Doch wenigstens kommen unsere Lachmuskeln gleich auf volle Touren, wenn Felix und Ann-Kathrin wieder mal eine ihrer Attraktionen dabei haben.

### **9:10–10:00 Uhr Kurs:**

Immer noch etwas müde aber trotzdem gut gelaunt (wie könnte es auch anders sein?) trudeln wir alle nach und nach ein. Jetzt beginnt wieder der „Ernst“ der Akademie. Jedenfalls fast. Während Konstantin und Tizian noch ein wenig im Internet herumstöbern, unterbreiteten uns Matthias und Günther ihre Pläne für den heutigen Tag: Schweineaugen sezieren und Läuse zermahlen. Jetzt wird's interessant!

### **10:00–12:00 Uhr immer noch Kurs:**

Es geht an die Schweineaugen. Mittlerweile ist auch der/die Letzte hellwach geworden. Diskussionen, was man alles mit diesen Augen anstellen könnte, entstehen. „Schauen wir dann



Kurs am Morgen

da wirklich durch?“, „Die sind so richtig glitschig. Die flutschen einem davon, wenn man sie aufstechen will.“, „Kriegen wir da Handschuhe ...?“ Thomas probiert sofort aus wie man die Welt mit Schweineaugen sieht. Das gibt super Fotos, denn Kevin hat wie immer seine Kamera dabei („Davon hast du jetzt aber kein Foto gemacht, oder?“). Lioba ist den Schweineaugen nicht so zugeneigt, doch die anderen helfen gerne („Ich mach es für dich. Das ist doch voll cool!“). Rechtzeitig zum Mittagessen werden wir fertig. Das heißt, rechtzeitig zum Mittagessen melden sich einige zum Schlussmachen. „Nachher geht’s weiter mit den Läusen“ verkündet Günther, dann sind wir vorerst entlassen.



Beim Sezieren von Schweineaugen

## 12:00–16:00 Uhr Mittagessen und KüAs:

Jetzt konnten wir uns erst mal „richtig“ entspannen.

## 16:00 Kurs:

Alle sind schon aufgeregt, was wir mit den Läusen anstellen dürfen. Das Essen ist gut verdaut, also kann’s weitergehen. Markus träumt während der Verarbeitung schon mal von seinem Tuch, das wir färben. Das ist alles sehr span-



Alle sind konzentriert bei der Arbeit

nend und wir freuen uns schon auf das Ergebnis. Günther muss mal wieder seine Nerven beweisen, denn eine mittelschwere Katastrophe hat sich angebahnt. Es sieht aus als hätten wir nicht nur Schweineaugen, sondern ein ganzes Schwein zerlegt.

Als wir uns vom Lachen erholt hatten, starten wir eine Putzaktion, nach der es wieder ganz ordentlich aussieht, bis auf so manche Finger. Nach der Fertigstellung der Tücher haben wir sie dann ritterlich unter uns aufgeteilt. Endlich hatten auch unsere Kursleiter etwas Ruhe.



Mehr oder weniger schwere Katastrophen ...

Alles in allem ein ganz „normaler Tag“ in unserem Kurs (was die Stimmung angeht).

Wir alle hatten zwei wunderbare Wochen, in denen wir zusammengewachsen sind.

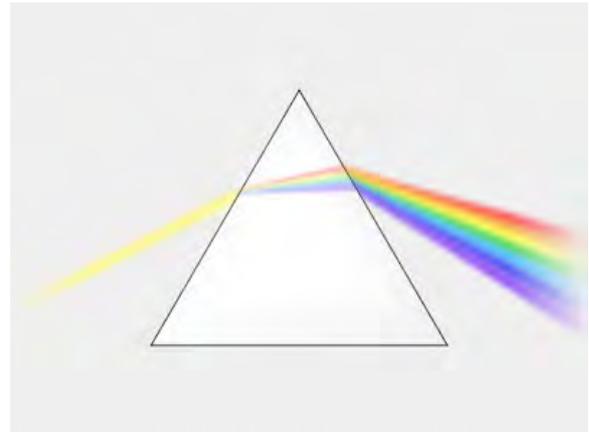
## Licht

FRAUKE MAAS

Obwohl wir den Lichtschalter während der Kursarbeit nicht immer fanden, was teilweise zu großem Amüsement führte, standen am Anfang jeglicher Ausführungen über die Farben doch das Licht. Wenn wir von Licht sprechen, taucht oft das Wort „Welle“ oder auch das Wort „Photon“, also Lichtteilchen, auf. Fakt ist, dass Licht Eigenschaften einer Welle und eines Teilchens besitzt. Dies bezeichnet man als Welle-Teilchen-Dualismus.

Sonnenlicht scheint uns im Alltag weiß, in Wahrheit ist es aber bunt. Mithilfe eines Prismas lässt sich das Licht in seine verschiedenen Farben zerlegen, da Licht von unterschiedlichen Wellenlängen verschieden stark gebrochen wird. Wir sehen dann ein **kontinuierliches Spektrum**. Es erstreckt sich von violett über blau, grün, gelb, orange bis rot, von den kurzen zu den langen Wellenlängen, vom besonders energiereichen bis zum weniger energiereichen Licht.

<sup>1</sup>aus Wikipedia [http://de.wikipedia.org/wiki/Prisma\\_\(Optik\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Prisma_(Optik))



Brechung am Prisma<sup>1</sup>

Zwischen Frequenz  $f$  und Wellenlänge  $\lambda$  des Lichts gilt folgender Zusammenhang:

$$f \cdot \lambda = c$$

Das Produkt aus Wellenlänge und Frequenz ist konstant, diese Konstante ist gerade die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts.

## Spektrometer und Spektroskope

Um die Farbbestandteile des Lichts genauer untersuchen zu können, verwendet man ein Spektroskop oder ein Spektrometer.

Mit einem Spektroskop kann man das Spektrum einer Lichtquelle beobachten, mit einem Spektrometer kann man außerdem die Wellenlängen ausmessen.

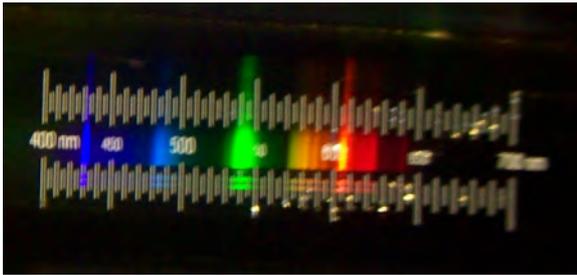
Dabei wird das Spektrum nicht durch ein Prisma erzeugt sondern durch *Beugung* an einem optischen Gitter (siehe *Beugung* und *Interferenz*).

Ein solches Spektrometer haben wir in einer fröhlichen Bastelstunde während der Sommerakademie selbst gebaut und damit verschiedene Spektren beobachtet.

Funktionsweise:

Das Licht fällt durch den Eintrittsspalt, trifft auf der gegenüberliegenden Seite auf das optische Gitter und tritt aus dem Spektrometer wieder aus. Allerdings wird das Licht durch

<sup>2</sup>von Astromedia [http://www.astromedia.de/shop/csc\\_fullview.php?Artikelnummer=406.hsp](http://www.astromedia.de/shop/csc_fullview.php?Artikelnummer=406.hsp)



Blick durch unser Spektrometer



Handspektroskop von Astromedia<sup>2</sup>

das optische Gitter gebeugt und es kommt zu Interferenz, da das Licht je nach Wellenlänge unterschiedlich stark gebeugt wird, kommt es zu einer Spektralzerlegung des Lichts.

Dank des geometrischen Aufbaus des Spektrometers, der festgelegten Abstände und der eingebauten Skala, kann man die Wellenlängen näherungsweise ablesen.

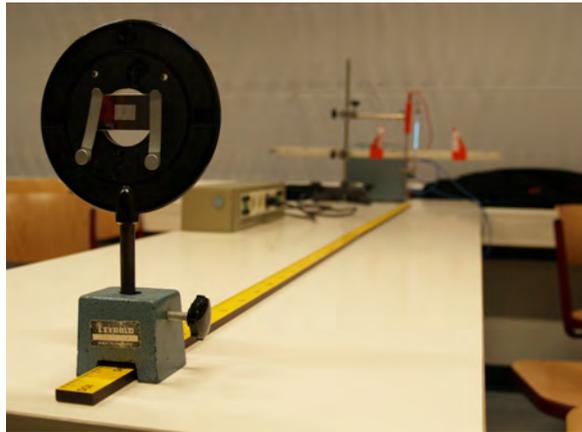
Mit unseren Handspektrometern haben wir die Spektren von Sonnenlicht, Glühlampen, von gefärbten Flammen und von leuchtenden Gasen beobachtet. Dabei haben wir festgestellt, dass es sich bei den leuchtenden Gasen um **Linienspektren** handelt.

## Spektrallinien

TIZIAN HOFFMANN

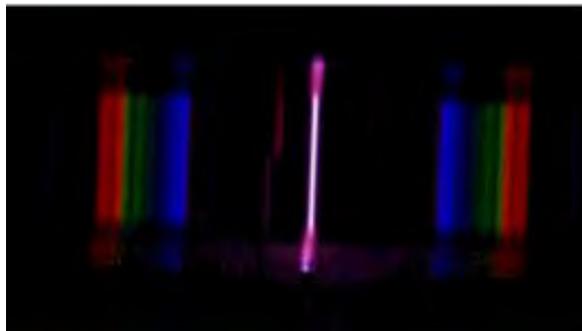
Manchmal gibt es Lichterscheinungen, die wir nicht mit einem Lichtstrahlenmodell beschreiben können. Das Licht verhält sich nicht so, wie wir es von einem Strahl erwarten würden. So auch bei diesem Experiment:

An einem Ende des Tisches sind sog. Gasent-



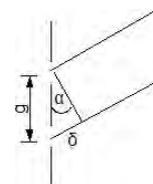
Aufbau Spektrallinienversuch

ladungsröhren vor einem Maßstab angebracht (Glasröhren, die jeweils unterschiedlichen Gasen wie zum Beispiel Neon, Argon, Wasserstoff, Stickstoff oder Sauerstoff gefüllt sind und durch hohe Spannungen zum Leuchten gebracht werden). In einiger Entfernung steht ein optisches Gitter. Durch dieses kann man im dunklen Raum mehrere Spektrallinien erkennen.



Entladungsröhre Stickstoff

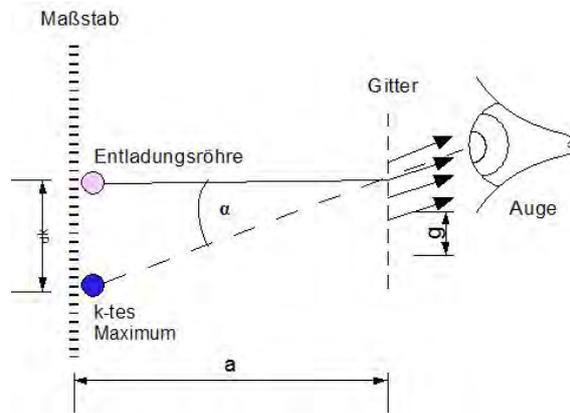
Indem wir nun die Abstände zwischen zwei zusammengehörenden Abbildern sowie den Abstand Gitter zu Entladungsröhre messen, können wir die Wellenlänge des Lichtes der Abbilder berechnen.



Gangunterschied zweier Lichtwellen

Die Lichtwellen verstärken sich, falls der Gangunterschied  $\delta$  der Lichtwellen ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge ist:  $\delta = k \cdot \lambda$ . Wir betrachten im Folgenden nur Spektren der 1. Ordnung, d. h. es gilt  $k = 1$ .

Damit gilt weiterhin:



Zum Versuchsaufbau

$$\sin(\alpha) = \frac{\delta}{g} = \frac{\lambda}{g}$$

Dabei ist  $g$  die Gitterkonstante, also der Abstand benachbarter Spaltenmitten.

$$\tan(\alpha) = \frac{d}{a}$$

$a$  ist dabei der Abstand des Gitters von der Entladungsröhre.

Für kleine Winkel gilt:

$$\sin(\alpha) \approx \tan(\alpha)$$

Aus beiden Formeln zusammen folgt:

$$\frac{\lambda}{g} = \frac{d}{a}$$

und damit:

$$\lambda = \frac{g \cdot d}{a}$$

Mit dieser Formel kann man sofort die Wellenlängen einer Spektrallinie berechnen.

Für  $a = 1,945 \text{ m}$ ,  $d = 1,945 \text{ m}$  und  $g = 10 \mu\text{m}$  hatten wir diese Werte (siehe Tabelle) berechnet.

Gas	Farbe	Wellenlänge
Stickstoff	Lila	479 nm
	Grün	514 nm
	Gelb	586 nm
	Rot	664 nm
Sauerstoff	Lila	432 nm
	Gelb	573 nm
Neon	Grün	539 nm
	Gelb	548 nm
	Orange	642 nm
	Rot	667 nm

Messung von Wellenlängen

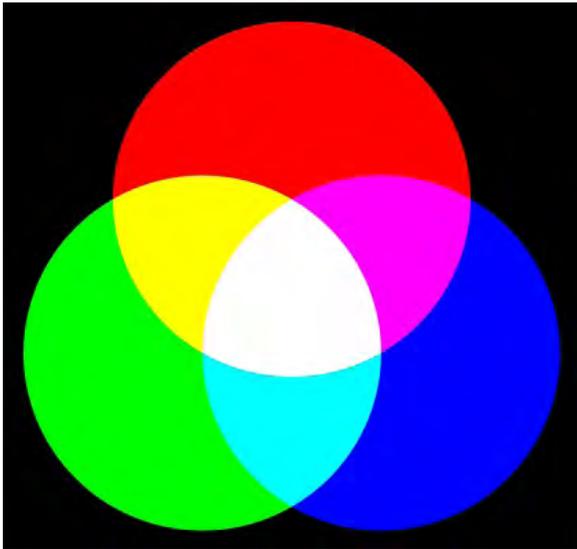
## Farbmischung

MARKUS RITTER

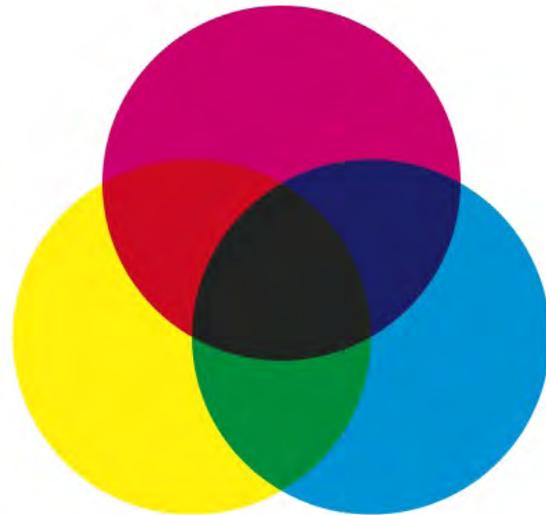
Schon der bedeutende englische Physiker und Mathematiker Isaac Newton (1643–1727) zerlegte das weiße Tageslicht bei seinen Versuchen mit Prismen in sein Spektrum, darunter in die primären Spektralfarben Rot, Grün und Blau. Mithilfe einer Sammellinse gelang es ihm die Farben wieder zu weißem Licht zusammenzuführen. Damit entdeckte er die **additive Farbmischung**. Diese tritt bei der Mischung farbigen Lichts, nämlich der primären Spektralfarben Rot, Grün und Blau, auf. Die Tatsache, dass sich durch additive Mischung dieser Farben jede andere Farbe erreichen lässt, ist eine direkte Folge des trichromatisch menschlichen Farbsehensystems mit drei Zapfentypen unterschiedlicher spektraler Empfindlichkeit. Die additive Farbmischung ergibt sich aus der Überlagerung von Lichtstrahlen, es werden mit jeder neuen Farbe weitere Wellenlängen hinzugefügt. So ergibt sich aus der Mischung von Lichtblau und Lichtgrün die reine Sekundärfarbe Cyan, Lichtrot und Lichtblau ergeben Magenta und Lichtgrün und Lichtrot Gelb. Bei der Mischung aller primären Spektralfarben entsteht weißes Licht. Ein schwarzer Farbeindruck entsteht, wenn kein Licht reflektiert wird.

Wir haben in unserem Kurs Farben additiv gemischt, und haben hierfür mit einem Tageslichtprojektor und Farbfiltern gearbeitet.

<sup>3</sup>aus Wikipedia [http://de.wikipedia.org/wiki/Additive\\_Farbmischung](http://de.wikipedia.org/wiki/Additive_Farbmischung)



Additive Farbmischung<sup>3</sup>



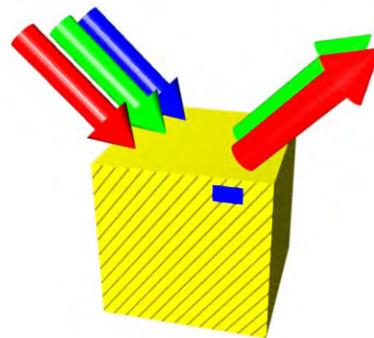
Subtraktive Farbmischung<sup>4</sup>

Die additive Farbmischung findet heute z. B. Anwendung bei farbigen Fernseh- und Computerbildschirmen, sowie bei Beamern und Digitalkameras.

Wesentlich häufiger begegnet uns im Alltag die **subtraktive Farbmischung**. Hier werden die primären Pigmentfarben Cyan, Magenta und Gelb gemischt. Diese entsprechen den Sekundärfarben der additiven Farbmischung. Mit jeder weiteren aufgetragenen Pigmentschicht werden weitere Wellenlängen absorbiert, sodass die Lichtanteile immer geringer und die Farben damit immer dunkler werden. Die entstandenen Mischfarben können nur die Wellenlängen reflektieren, die jede einzelne Farbe vor der Mischung reflektierte. Die zurückgestrahlten Lichtbestandteile mischen sich nach den Regeln der additiven Farbmischung auf der Netzhaut. Die Sekundärfarben der subtraktiven Farbmischung entsprechen den primären Spektralfarben Rot, Grün und Blau.

Auch wir in unserem Kurs haben mit Wachsmalstiften Pigmentfarben subtraktiv gemischt, indem wir die Farben flächig aufeinander aufgetragen haben und daraus als Sekundärfarben die primären Grundfarben Rot, Grün und Blau erhalten haben.

Um mittels der subtraktiven Farbmischung die



Subtraktive Farbmischung bei der Farbe Gelb

Farbe Gelb zu erzeugen, trägt man auf eine Oberfläche gelbe Pigmentfarbe auf. Dadurch wird das blaue Licht absorbiert, das rote und grüne reflektiert, dieses erzeugt nach den Regeln der additiven Farbmischung auf der Netzhaut einen gelben Farbeindruck.

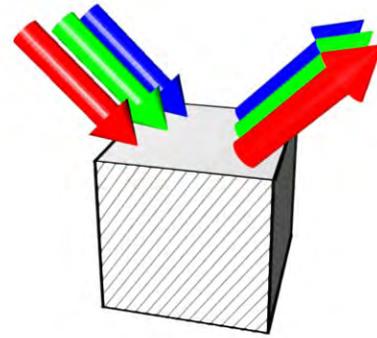
Entsprechend verhält es sich bei den Farben Cyan und Magenta, hier werden jedoch die Farben Grün und Blau reflektiert und Rot absorbiert, bzw. Rot und Blau reflektiert und Grün absorbiert.

Um die Farbe Blau zu erhalten müssen die Farben Cyan und Magenta gemischt werden, dadurch wird das rote und grüne Licht absorbiert und das blaue reflektiert, wir sehen die Farbe Blau.

<sup>4</sup>aus Wikipedia [http://de.wikipedia.org/wiki/Subtraktive\\_Farbmischung](http://de.wikipedia.org/wiki/Subtraktive_Farbmischung)



Subtraktive Farbmischung bei der Farbe Blau



Subtraktive Farbmischung bei der Farbe Weiß

Bei der Farbe Rot wird grünes und blaues Licht absorbiert und rotes Licht reflektiert, bei der Farbe Grün rotes und blaues Licht absorbiert und grünes Licht reflektiert.



Subtraktive Farbmischung bei der Farbe Orange

Etwas anders verhält es sich bei der Farbe Orange. Hier muss mehr gelbe Pigmentfarbe aufgetragen werden, damit das komplette blaue Licht absorbiert wird. Damit nur ein Teil des grünen Lichts absorbiert wird, wird weniger Magenta aufgetragen, dadurch wird gleichzeitig zusammen mit dem roten Licht ein Teil des grünen Lichts reflektiert. Auch dieses wird nach den Regeln der additiven Farbmischung auf der Netzhaut zu dem Farbeindruck Orange gemischt.

Der Farbeindruck „weiß“ entsteht, indem keine Pigmentfarbe aufgetragen wird und somit sowohl rotes als auch grünes und blaues Licht reflektiert wird.



Subtraktive Farbmischung bei der Farbe Schwarz

Damit der Farbeindruck „schwarz“ entsteht, werden alle drei primären Pigmentfarben Cyan, Magenta und Gelb gemischt, im Idealfall wird kein Licht reflektiert und wir sehen die Farbe Schwarz.

Auf diesem Prinzip der subtraktiven Farbmischung basieren viele Druckverfahren und die Entwicklung von Farbfilmen.

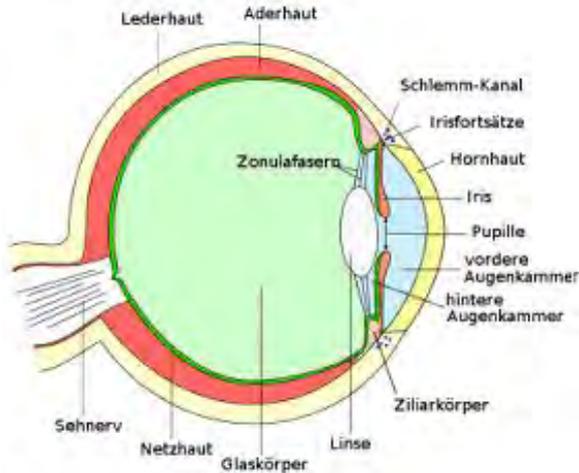
## Das Farbsehen beim Menschen

RAM-JANIK PETZOLD

### Aufbau des Auges

Für den Mensch ist das Auge eines der wichtigsten Sinnesorgane. Mit ihm kann er Licht,

also Wellenlängen zwischen ca. 380 bis 780 nm, wahrnehmen.



Aufbau des Auges<sup>5</sup>

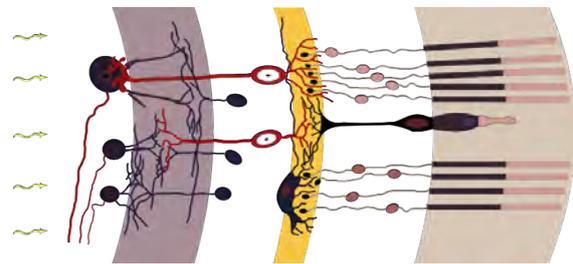
### Sehvorgang

Damit wir einen Gegenstand sehen können, muss das Licht von ihm in unser Auge fallen. Nachdem das Licht durch die Hornhaut, die Linse und den Glaskörper gebrochen wurde entsteht ein umgekehrtes Bild auf der Netzhaut. Die Linse ist an Zonulafasern aufgehängt. Um das Bild scharf zu stellen, kann die Linse durch den Zilliarmuskel abgeflacht oder abgekugelt werden. Wenn wir in die Ferne sehen, ist der Muskel entspannt und die Linse abgeflacht. Betrachten wir Gegenstände aus der Nähe, spannt sich der Zilliarmuskel an, die Linsenbänder entspannen sich und die Linse kugelt sich ab. Sechs Muskeln um das Auge herum sorgen dafür, dass wir verschiedene Punkte in unserem Gesichtsfeld fixieren können. Die Iris, die sich vor der Linse befindet, reguliert den Lichteinfall und vergrößert oder verkleinert damit die Pupille. Bei hoher Lichtintensität verkleinert sich die Pupille, sodass nicht zu viel Licht ins Auge fällt. Wenn es dunkel ist, vergrößert sie sich, um möglichst viel Licht ins Auge zu lassen.

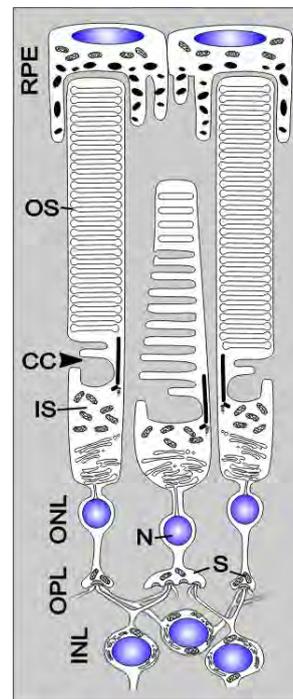
Das Licht, das auf die Netzhaut (*Retina*) fällt, dringt durch das neuronale Geflecht der Netzhaut und die Sehsinneszellen hindurch und nur das von der darauf folgenden Pigmentschicht

<sup>5</sup>aus Wikipedia <http://de.wikipedia.org/wiki/Auge>

zurückreflektierte Licht wird von den Sehsinneszellen absorbiert. Bei ihnen unterscheidet man zwei Arten: Die **Stäbchen**, die für das Hell-Dunkelsehen und die **Zapfen**, die für das Farbsehen verantwortlich sind. Am gelben Fleck, der Stelle des schärfsten Sehens gibt es nur Zapfen. Zur Peripherie nimmt die Anzahl der Zapfen ab und im Verhältnis die Anzahl der Stäbchen zu. Dort, wo der Sehnerv das Auge verlässt, befinden sich keine Sehsinneszellen. Diese Stelle nennt man auch den blinden Fleck. Insgesamt gibt es in der Netzhaut etwa 125 Millionen Stäbchen und 6 Millionen Zapfen.



Die Netzhaut mit Sehsinneszellen<sup>6</sup>



Sehsinneszellen<sup>7</sup>

<sup>6</sup>aus Wikipedia <http://de.wikipedia.org/wiki/Netzhaut>

<sup>7</sup>aus Wikipedia <http://de.wikipedia.org/wiki/Netzhaut>

### Stäbchen:

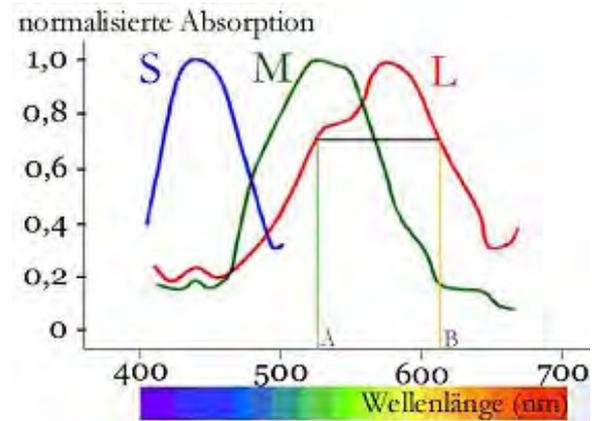
Die Stäbchen ermöglichen es uns auch im Dämmerlicht noch Gegenstände zu erkennen. Damit wir uns von Tageslichtsehen auf das Nachtsehen umgewöhnen können, benötigen wir eine halbe Stunde. Stäbchen sind etwas schlanker als Zapfen und enthalten einen Sehfärbstoff, der **Rhodopsin** oder Sehpurpur genannt wird, weil er Magentafarben ist. Sein Absorptionsmaximum liegt bei etwa 500 nm; also bei Grün – der Komplementärfarbe von Magenta. Da alle Stäbchen den gleichen Sehfärbstoff haben, können wir mit ihnen keine Farben wahrnehmen. Außerdem sind Zapfen, die unser Farbsehen bestimmen, bis zu 100 000 Fach weniger lichtempfindlich als Stäbchen. In Folge dessen können wir nachts, bei geringer Lichtintensität, keine Farben sehen. Um aber tatsächlich etwas wahrnehmen zu können, müssen mehrere Sinneszellen gleichzeitig an einer Stelle gereizt werden. Dies geschieht, wenn das von der Pigmentschicht zurückreflektierte Licht auf das in Membranen eingelagerte Rhodopsin fällt.

Ist eine Sehsinneszelle einmal belichtet worden, muss das Rhodopsin erst wieder nachgebildet werden. Zur Bildung dieses Sehfärbstoffs benötigen wir Opsin, der Proteinanteil, und vor allem Vitamin A. Deshalb sagt man Vitamin A (aus Karotten, usw.) stärken die Sehkraft. Um für diesen Generationsprozess Zeit zu haben sind die Augen ständig in unmerklicher Bewegung, damit nicht immer dieselben Sehzellen belichtet werden.

### Zapfen:

Bei Tageslichtsehen sind die Stäbchen vollständig gesättigt und unfähig Informationen über die Umwelt zu geben. Die weit weniger empfindlichen Zapfen sind aber voll aktiv. Es befinden sich drei verschiedene Zapfentypen in der Netzhaut. Je nach Sehfärbstoff sind deren Absorptionskurven leicht verschoben und überlappen sich teilweise.

Auf diese Weise können wir Farben von einander unterscheiden. Die blauempfindlichen Zapfen haben ihr Absorptionsmaximum im kurzwelligen Bereich (S-Zapfen). Die grünempfindlichen Zapfen haben ihr Absorptionsmaximum



Absorptionskurve der Zapfentyp<sup>8</sup>

im mittelwelligen, die rotempfindlichen im langwelligen Bereich (M- und L-Zapfen). Durch diese Verteilung des Spektrums auf die drei Zapfentypen ist die Additive Farbmischung, wie sie bei uns auftritt, zu erklären. So können wir zum Beispiel rot-grünes Mischlicht nicht von einem rein gelben Spektrallicht unterscheiden, da in beiden Fällen die M- und die L-Zapfen angesprochen werden. Das bedeutet, dass bei uns derselbe Farbeindruck entsteht, wenn eine reine Spektralfarbe oder deren Mischfarbe in unser Auge fällt.

### Netzhaut bis Gehirn:

Inzwischen geht man davon aus, dass die Signale der Zapfen nun nicht genau so zum Gehirn weitergeleitet werden, wie sie von den Zapfen ausgesendet werden. Trotz der Aufteilung des Spektrums in drei Wellenlängenbereiche, die von den Zapfen registriert werden können, besitzt der Mensch vier psychologische Farbkomponente. Paarweise ergeben sie Gegenfarben: Rot und Grün sowie Gelb und Blau. Ein drittes System, das Luminanz-System informiert über die Helligkeit und ergibt sich aus der Summe der Signale von Rot- und Grün-Zapfen. Das ist nötig, da die Stäbchen bei Tageslicht übersättigt sind, also keine Informationen über Hell-Dunkel geben können. Diese Farbverrechnung findet schon in der Netzhaut statt.

Alle gesammelten Informationen in der Netzhaut gelangen über den Sehnerv, der das Auge am blinden Fleck verlässt, durch elektrische Impulse und chemische Übertragung bei den Synapsen zur Sehrinde des Großhirns. Erst hier

<sup>8</sup>aus Wikipedia <http://de.wikipedia.org/wiki/Farbwahrnehmung>

kommt es zum tatsächlichen Farbensehen.

# HIER STEHT NICHTS!

In diesem Fall können wir nur durch die Verarbeitung der Farbeindrücke und unseren Erfahrungswerten etwas lesen.

## Sehfehler

### Unschärfe:

Unscharfes Sehen kann zum einen durch die Verkrümmung der Hornhaut oder die Verformung des Augapfels zustande kommen, sodass also der Brennpunkt nicht mehr auf der Netzhaut liegt. Bei Kurzsichtigen liegt der Brennpunkt vor der Netzhaut, weil der Augapfel zu lang ist. Bei Weitsichtigkeit ist der Augapfel zu kurz und dadurch liegt der Brennpunkt hinter der Netzhaut. Die Kurzsichtigkeit kann durch eine Zerstreuungslinse, die Weitsichtigkeit durch eine Sammellinse ausgeglichen werden.

### Farbfehlsichtigkeit:

Wir Menschen sind Trichromaten, besitzen also drei verschiedene Zapfentypen, die je nach Wellenlänge des Lichts unterschiedlich gereizt werden und so alle Farben wahrnehmen können. Es kann aber vorkommen, dass ein oder mehrere dieser Zapfenarten ausfallen. Farbfehlsichtige können so bestimmte Wellenlängenbereiche nicht wahrnehmen oder sie legen sie anders aus. Man unterscheidet deshalb je nach dem welcher Zapfentyp fehlt. Bei der **Protanopie** (Rotblindheit) wird Rot nicht wahrgenommen da sich Rot- und Grün-Zapfen nicht mehr unterscheiden. Grünblinde sehen nur Farben von Gelb bis Blau, weil bei ihnen die Grün-Zapfen das Opsin für langwelliges rotes Licht enthalten. Zwischen Gelb und Blau sehen sie nur Grauabstufungen. Bei Blaublindheit wird Blau nicht wahrgenommen, weil die Blau-Zapfen schlicht weg fehlen.

## Farbensehen bei Tieren

FLORIAN SURE

### Wie kann man das Farbensehen bei Tieren erforschen?

Das Farbensehen von Tieren lässt sich auf unterschiedliche Weise erforschen. Man kann zum Beispiel eine Biene auf 2 verschiedene Gefäße fliegen lassen. In einem mit zum Beispiel blauer Farbe ist ein süßer Saft und im anderen, das beispielsweise gelb ist, nur Wasser. Lässt man die Biene nun fliegen, probiert sie aus beiden Behältern und fliegt wieder zurück. Wenn man nun die Flüssigkeiten umtauscht, sodass im gelben Becher nun der süße Saft ist und die Biene dann auf den blauen Becher fliegt, kann man darauf schließen, dass die Biene ihr Futter anhand der Farbe wiedererkennen wollte, d. h. die Biene kann Farben sehen und gelb und blau unterscheiden. Dieses Verhalten nennt sich Farbdressur und ist auch bei anderen Tieren möglich.

Außerdem kann man die Netzhaut bzw. die Sehfärbstoffe untersuchen (Absorptionsspektren aufnehmen o. Ä.).

### Farbensehen beim Hund

Der Hund hat im Unterschied zum Menschen nur 2 Zapfen, d. h. er ist **dichromatisch**. Seine Zapfen reagieren am stärksten bei gelbem und blauem Licht. Der Hund hat allerdings wenige Zapfen (ca. 1 Mio, vgl. Mensch 6 Mio). Dafür hat er viel mehr Stäbchen. Daraus kann man schließen, dass der Hund vor allem in der Dunkelheit oder in der Dämmerung sehr gut sehen kann und Farben weniger differenzieren kann.

### Farbensehen beim Fangschreckenkrebs

Der Fangschreckenkrebs ist ein Tier mit exzellentem Farbsehvermögen. Er hat bis zu ca. 100.000 Einzelaugen und 12 Zapfentypen, mit denen er über 100.000 verschiedene Farben erkennen kann, dazu gehört auch UV-Licht und zirkular polarisiertes Licht (s. o.). Der Fangschreckenkrebs sendet auch selbst polarisiertes

Licht aus und dies dient ihm als eine Art Geheimsprache unter Wasser.



Fangschreckenkrebs<sup>9</sup>

### Farbensehen bei der Honigbiene

Die Honigbiene hat 3 Punktaugen (unten im Bild mit Kreisen markiert) und 2 Fassettenaugen. Mit den Fassettenaugen kann die Biene die Polarisation des Lichtes erkennen, sodass sie sich besser orientieren kann. Die Honigbiene erkennt außerdem auch UV-Licht, da viele Blüten UV-Licht abstrahlen und die Biene die Blüten so besser findet.



Augen einer Honigbiene

### Praktikum: Schweineaugen sezieren

Um das menschliche Auge genauer zu verstehen muss man es untersuchen. Da es im Rahmen unseres Kurses nicht möglich war ein echtes Menschaugen zu sezieren, mussten wir uns mit Schweineaugen zufriedengeben. Wir haben mit Skalpell und Schere die Augen aufgeschnitten

und haben dann Glaskörper und Linse rausgeholt. Einige haben auch ein rechteckiges Loch hinten in das Schweineauge geschnitten.



Einfügen eines Sichtfensters in ein Schweineauge

Dadurch konnte man durch das Auge z. B. auf eine Kerze schauen und man sah sie spiegelverkehrt. Wir konnten dann auch die einzelnen Elemente des Auges betrachten, wie z. B. die Netzhaut. Obwohl man dabei natürlich nicht die einzelnen Zapfen und Stäbchen erkennen konnte, konnte man die Struktur der Netzhaut sehen und fühlen. Wir haben auch die Funktion der Linse getestet, indem wir sie über ein Blatt Papier mit Text gelegt haben und sie auch mal zusammengedrückt und auseinandergezogen haben und das Bild wurde dann mehr oder weniger scharf. In einem Wasserglas waren Linse und Glaskörper kaum zu erkennen, da sie den gleichen oder zumindest einen ähnlichen Brechungsindex wie Wasser haben. Das Schweineaugen-Sezieren war ein gelungenes Praktikum, bei dem niemand aus unserem Kurs aussteigen musste und auch wollte.

### Farben in der Natur

SOFIE KOBER

Farben haben sehr vielfältige Bedeutungen und Aufgaben in der Natur: Sie können der Warnung und Abschreckung, der Tarnung, der Werbung und der Kommunikation dienen. Farbstoffe werden unter anderem auch in Steuerfunktio-

<sup>9</sup>Autor: Claudia Loechte



Betrachten eines Gegenstandes abgebildet durch ein Schweineauge

nen und als „Energie-Sammler“ (Chlorophyll) verwendet. Auf diese Themenbereiche gingen wir näher ein:

**Tarnung** ist für viele Tiere von großem Nutzen. Entweder um sich vor Fressfeinden zu schützen oder selbst ein erfolgreicher Jäger zu sein. Viele Tiere tarnen sich, indem sie sich ihrer Umgebung anpassen, wie Eisbär und Wüstenfuchs. Schneehase und Hermelin wechseln ihre Farbe je nach Saison. Einige Tiere, zum Beispiel Tiger und Leopard, tarnen sich durch ihre Musterungen, die die Körperrumrisse verschwinden lassen. Ähnlich ist es auch bei den Zebras. Ein Einzelnes wäre in der Steppe sofort zu erkennen, da sich die Farben gut vom Hintergrund abheben. Allerdings sind ihre Feinde verwirrt, wenn sie eine laufende Gruppe von Zebras sehen, weil die Streifen die Umrisse der einzelnen Zebras verschwinden lassen. Eine weitere Möglichkeit der Tarnung ist die **Mimese**. Dieser Begriff ist griechisch und bedeutet „täuschende Nachahmung“. Hierbei kopieren die Tiere leblose Teile ihrer Umgebung, wie Steine, Blätter, Äste, Kot, den Meeresboden etc. Sie werden

zwar nicht unsichtbar, sind aber nicht mehr zu erkennen. Selbst wenn Gefahr droht, fliehen sie nicht, bewegen sich wenig und verlassen sich auf ihre perfekte Tarnung. Ein sehr gutes und bekanntes Beispiel sind die Gespenstschrecken (u.a. „Wandelndes Blatt“). Sie tarnen sich als Laubblatt und wiegen sich sogar hin und her, um ein im Wind wehendes Blatt nachzuahmen.



Gespenstschrecke

Rot, Gelb und Orange in Kombination mit Schwarz sind die typischen Farben der **Warnung** in der Natur, selten auch grün. In der Regel warnen diese Farben vor Gift oder Unbekömmlichkeit.



Feuersalamander

**Mimikry**, bei der wehrlose, harmlose Tiere wehrhafte, gefährliche Tiere in Farbe, Form und Verhalten nachahmen hilft vielen vor dem Gefressenwerden. Im Laufe der Evolution veränderten die Tiere ihre Farben immer wieder und wurden weniger gefressen, wenn sie die

gleichen Warnfarben trugen wie ihre gefährlichen/wehrhaften Zeitgenossen. So täuschen die Schwebfliegen mit ihrer schwarz-gelben, wespenähnlichen Färbung ihren Feinden eine Gefährlichkeit vor, die sie gar nicht besitzen. Im Tierreich fixieren Räuber ihre Beute oftmals vor dem Angriff. Augen und augenähnliche Muster haben auf viele Tiere also auch eine abschreckende Wirkung. Daher sind die sogenannten Augenflecke meist bei wehrlosen Tieren, wie bei Schmetterlingen oder Raupen anzutreffen. Einige Jäger verwenden auch Mimikry und Mimese gleichzeitig, wie zum Beispiel der Seeteufel: Einerseits tarnt er sich selbst, andererseits lockt er mit seinem Äußeren kleinere Fische an. Er hat ein wurmähnliches Anhängsel, das er hin und her baumeln lässt. Andere Fische halten es für etwas Essbares und wollen es verspeisen. Sobald sie nah genug sind, frisst der Seeteufel sie.

Bei der **Partnerwerbung** sind viele Tiere in prächtige Farbkleider gehüllt, denn häufig gilt je kräftiger die Farben, desto höher die Fitness und Gesundheit und desto größere Chancen auf einen Partner! Sehr schön kann man dies bei vielen Vögeln oder beim Lachs beobachten, der zur Paarungszeit rötlich wird. Manche Echsen nutzen ihre Farben auch um Rivalen abzuschrecken.

Blumen nutzen oft schillernde Farben, um ihre Bestäuber anzulocken. Dies war aber nicht immer so, denn **Blumen** wurden erst vor ca. 130 Mio. Jahren bunt. Davor wurden sie vom Wind bestäubt. Seither dient die Vielfalt von

Farbtönen der Kommunikation zwischen Pflanze und Bestäuber. Da die Pflanzen auf ihre Bestäuber angewiesen sind, spezialisierten sie sich und ihre Blütenfarbe wurde dem Farbsehvermögen der jeweiligen Hauptbestäuber angepasst. So sind Blüten eher rot, wenn sie von Vögeln und Schmetterlingen bestäubt werden, Blau bei Hummeln und haben Anteile von Ultraviolett bei Bienen und Hummeln. Zusätzlich ist die Blütenmitte oftmals besonders kräftig gefärbt, damit die Bestäuber schneller die Nahrungsquelle finden. Die häufigsten Blütenfarben sind Rot, Weiß, Blau, Gelb und Violett. Zur Bildung dieser Farbstoffe verwenden Pflanzen nur eine relativ geringe Anzahl von Verbindungen.



Chamäleon

So sind für rote, blaue und violette Farbtöne meistens Anthocyane und Anthocyanine verantwortlich. Für gelbe und orangene Blüten sorgen Carotinoide und/oder Flavone. Viele weiße Blüten sind nicht nur einfach farblos, sondern besitzen, wenn auch für das menschliche Auge unsichtbare, Anteile von Ultraviolett, die verschiedenen Insekten den Eingang zur Nahrungsquelle zeigen. Dunkle Farbtöne, wie zum Beispiel die des Hundsvilchens, entstehen wenn mehrere verschiedene Farbzelltypen übereinander liegen. Manche Pflanzen haben lackartige Glanzeffekte, die entweder durch Einlagerung von Öltröpfchen im Abschlussgewebe oder durch oberflächliche Wachsschichten und Interferenz (siehe Beugung und Interferenz) entstehen. Obwohl fast alle Pflanzenfarbstoffe zu den sekundären Pflanzenstoffen gehören, da sie weder eine Funktion im Zellwachstum, noch im Stoffwechsel haben, sind sie trotzdem enorm wichtig für die Fortpflanzung der Pflanze.

**Chlorophyll** dagegen ist beim Stoffwechsel einer Pflanze beteiligt. Es ist der Katalysator der

Fotosynthese, bei der aus  $CO_2$  und  $H_2O$  mit der Energie des Sonnenlichts Zucker und  $O_2$  entstehen. Den Sauerstoff gibt die Pflanze als „Abfallprodukt“ ab und wird durch unser Atmen wieder in Kohlenstoffdioxid umgewandelt.

### Farbwechsel

Es gibt nicht immer eine klare Abgrenzung zwischen Mimikry und Mimese, sowie zwischen Tarnung, Warnung und Partnerwerbung. Einige Tiere verwenden den Farbwechsel um alle „Farbaufgaben“ zu nutzen. So zum Beispiel beim **Chamäleon** oder beim Tintenfisch:

Früher dachte man, das Chamäleon wechsele seine Farbe, um sich der Umgebung anzupassen und sich somit in der freien Natur perfekt zu tarnen. Man dachte auch, dass es jede Farbe annehmen kann. Heute aber weiß man, dass das nicht stimmt und der Farbwechsel hauptsächlich der Kommunikation dient. So können Chamäleons mit bestimmten Färbungen Gefühlszustände wie Hunger oder Sätttheit, Partnersignale, Ruhebedürfnis, Unterlegenheit, Warnsignale usw. ausdrücken. Bei Angst und als Zeichen der Unterlegenheit werden die meisten Chamäleons grau, bei Stress nehmen sie helle Töne an, bei der Partnerwerbung leuchten sie in ihren buntesten Farben und bei Angriffslust präsentieren sie sich in einem kräftigen, roten Farbkleid.

Die Chamäleons haben keinen bewussten Einfluss auf ihren Farbwechsel; er wird hormonell bzw. durch Nervenreize gesteuert. Der Farbwechsel funktioniert folgendermaßen: In der Unterhaut eines Chamäleons liegen zwei Farbzellentypen übereinander. Die unteren Farbzellen sind Iridocyten, auch Flitterzellen genannt. Diese enthalten kleine Guaninplättchen. Guanin ist eigentlich farblos. Erst durch Interferenz an den Grenzflächen der dünnen Plättchen entfaltet sich die Farbwirkung. Über den Flitterzellen liegen die farbpigmenthaltigen Zellen, die Chromatophoren. Die Farbpigmente sind entweder über die ganze Zelle verteilt oder in bestimmten Bereichen konzentriert. An den Chromatophoren sind radial Muskelstränge angeheftet. Wenn das Chamäleon auf Nervenreize reagiert, ziehen sich die Muskelstränge zusammen und die elastischen Pigmentsäckchen werden gedehnt. Dabei breiten sich die Pigmentfarbstoffe aus

und werden mithilfe von Flitterzellen sichtbar.

Auch **Tintenfische** können ihre Farbe wechseln. Sie besitzen kugelförmige, mit Melanin gefüllte, Chromatophoren. Mit Hilfe der Farbzellen können sie sich tarnen oder ihre Stimmung ausdrücken. An diese greifen fünf Muskelstränge an, die die Zelle in erregtem Zustand auseinander ziehen. Es ist ein Farbfleck auf der Haut erkennbar. Zusätzlich sind in der Haut der Tintenfische Spiegelzellen eingelagert, die die Umgebungsfarbe reflektieren.

**Schmetterlinge** sind wohl die buntesten und schillerndsten Wesen der Natur. Diese Farbenpracht haben sie den Schuppen auf ihren Flügeln zu verdanken, die Chromatophoren enthalten. Durch Anordnung und innere Struktur pigmentloser Zellen nutzen die Schmetterlinge viele optische Effekte, wie Brechung, Streuung, Reflexion, Absorption und Interferenz.



Tagpfauenauge

## Psychologie und Manipulation

KONSTANTIN SASSE

„Das Leben ist bunt“ – denn wir sehen Farben und nehmen sie überall wahr. Sie sind für den farbsichtigen Menschen allgegenwärtig und selbstverständlich. Man kann sich eine Welt ohne Farberlebnisse kaum vorstellen, da wir Farben schon seit der Geburt an wahrnehmen und mit unserem Erleben, unseren Erfahrungen, abspeichern. So beeinflussen Farben unsere Gefühle, rufen Erinnerungen wach und halten für uns eine bunte Vielfalt des Sehens im Gehirn bereit. Demzufolge bestimmen Farben unser

Leben, denn sie können nur im dunklen Raum für unsere Augen ausgeblendet werden, nicht in unserem Gedächtnis. Dies wird besonders deutlich, wenn man versucht, sich ein Leben ohne Farben vorzustellen. Dann geht es dem Denkenden so, dass er das, was er ausblenden will in den Vordergrund rückt: er wird Farben sehen – nicht nur schwarz, weiß und grau. Also werden wir in gewisser oder besonderer Weise durch Farben bestimmt.

Betrachten wir das Angebot der Farbenvielfalt in der Natur. Ihre Fülle erleben wir zu allen Jahreszeiten. Das Spannungsfeld liegt dabei in ihren unterschiedlichsten Wirkungsweisen ihrer Farbüberzüge. Hier sei das Drohen oder Werben mit Farbe, das Anlocken oder das Schocken mit Farbflecken genannt. Beeindruckend ist auch, das geschickte Tarnen durch scheinbare Anpassung des Farbenkleides in der Natur.

Greifen wir zu einigen Beispielen aus der Natur (siehe Artikel Farben in der Natur).

Farben und ihre Signale bzw. ihre bedeutungsvolle Wirkung sind nicht nur in der Natur zu finden, sondern wir Menschen verwenden ebenfalls Farben, um eine Wirkung zu erzielen. Auch hier gibt es eine Vielzahl von Beispielen zu nennen. Zur Warnung benutzen wir gerne die rote Signalfarbe: rote Warnschilder (STOP), rotes Licht vor dem OP-Saal, roter Punkt für Heißwasser ... Die Tarnfarben finden wir bei der Bundeswehr, auch hier sollen die Erdfarben das Leben schützen. Bei uns greifen Frauen zu einem wohldurchdachten Farbenmix bei ihrer Kleidung, um bei der Partnerwerbung gesehen zu werden. Der rote Lippenstift und Nagellack als Signalfarben sind besonders auffällig und sorgen für Hingucker. So dienen Farben auch der indirekten Kommunikation. In unserer Kultur verstehen wir unsere Absichten durch Kleidungsfarben: die Schwarze Kleidung zur Beerdigung als Zeichen der Trauer oder der dunkle Anzug für Seriosität, Bunt jedoch zum Anlass der Freude wie an Sommertagen oder an Fastnacht, das weiße Kleid zur Hochzeit oder zur Taufe, um die Reinheit zu symbolisieren, das Positive auszudrücken. Doch gibt es auch hier Unterschiede in den Kulturen. Zum Beispiel trägt man in Indien zur Beerdigung Weiß. Unter Modefachleuten wird jedes Jahr eine Mo-

defarbe für Verkaufszwecke kreiert (2001 war es schwarz). Ferner hat man bei Untersuchungen festgestellt, dass im Bezug auf andere Farben die Farbe Gelb weniger benutzt wird, da sie hier in Europa mit negativen Eigenschaften verbunden wird, wie z. B. der Judensterne oder gelb als Farbe der Randgruppen und der Kranken.

Wichtig zu wissen, dass wir auch immer von einer persönlichen Wahrnehmung bei Farben sprechen müssen. Wenn der Blick auf eine Farbe fällt, wirkt diese in zwei unterschiedlichen Arten. Zunächst die direkte oder kurzfristige Art, so zu sagen der erste Eindruck einer Farbe. Dort gilt zu unterscheiden ob die Farbe einem warm oder kalt, leicht oder schwer, aggressiv oder beruhigend vorkommt.

Die andere Art ist die langfristige Wirkung der Farbe. Von Langfristigkeit spricht man, wenn man z. B. in einem Büro arbeitet und dieses in gräulichen Tönen gestrichen ist, so ist nachgewiesen, dass dort die Stimmung zu sinken beginnt und man schlechte Laune bekommt. Um dieser Erkenntnis Bedeutung zu geben, ist es nicht egal, in welcher Farbe Schulräume, Wohnräume, Kindergärten etc. gestrichen werden.

In jeder Kultur ordnet man Farben bestimmte Eigenschaften zu. In jedem Menschen gibt es wiederum ein generelles, innewohnendes, kollektives Muster von Farbbedeutungen, was jeder in sich trägt, egal wo er auf dieser Welt lebt. So soll die Farbe Rot bei allen Menschen gleichermaßen erregend wirken. Die Farbe Rot bedeutet zum Beispiel auch Feuer. Das Feuer ist heiß also muss man bei der Farbe Rot achtsam sein, damit man sich keine Schmerzen zufügt. Da das Feuer überall auf der Welt bekannt ist, hat jeder das Muster dieser Erfahrung verinnerlicht. Doch gibt es auch manche kulturelle Abweichungen. Die Wüstenbewohner verknüpfen schlechte „heiße“ Erfahrungen mit dem gelben heißen Sand und der gelben Sonne, im Gegensatz dazu haben die Bewohner, die selten sonniges Wetter haben, sehr gute Erinnerungen und das Gelb weckt in ihnen die Freude. Oder die Farbe gelb als Farbe der Kaiser in China und in Europa ist es die Farbe der Randgruppen. Auf die Frage „Welche Farbe hat die Liebe?“ heißt die häufigste Antwort „rot“.



Waschmittelverpackungen Ariel und Persil

man wird gelb vor Neid und man ist blau, wenn man zu viel getrunken hat.

Diese spezifischen Eigenschaften von Farben lassen sich als die Lieblingsfarben auf die Menschen übertragen.

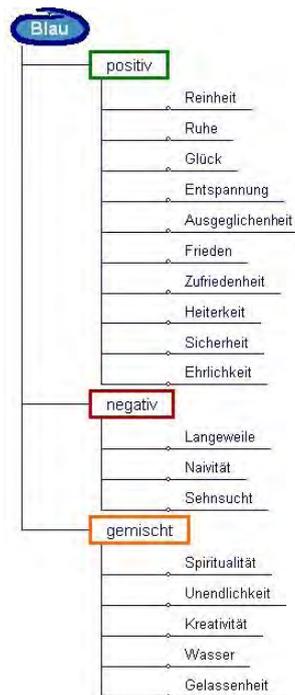
Ordnet man nun bestimmte Farben in seiner Lieblingsreihenfolge an, dann bekommt man einen Eindruck über seine Einstellung zum Leben, seine Vorzüge, seine Begabungen usw. Manche Firmen lassen einen Farbentest auch von ihren Bewerbern absolvieren. Er bringt Auskunft über Willenskraft, Durchzugsvermögen oder Motivation. Der berühmteste dieser Art Test kommt von Herrn Lüscher und ist im Internet unter google.de und Lüscherfarbentest zu finden – einfach mal ausprobieren um neue Seiten von sich selber kennenzulernen.

Da Farben immer vorhanden sind, haben sie auf uns einen großen Einfluss. Deshalb lassen sich die Menschen durch sie manipulieren. Diese Manipulation funktioniert nur, weil wir von Geburt an Farben/Farbeindrücke sammeln und sie im Gedächtnis speichern. Durch den permanenten Kontakt mit ihnen ist das nicht verhindert. Im Laufe der Zeit werden dann Emotio-

nen, Situationen und Erfahrungen im Unterbewusstsein mit verschiedenen Farben verknüpft. Diese Erfahrungen werden wieder hervorgerufen, wenn man der Farbe erneut begegnet und es ergibt sich eine unbewusste Reaktion, die das Denken, Fühlen und Handeln beeinflusst bzw. manipuliert. Die Werbung macht sich dieses Erkenntnis zur Nutzen, um gezielt Menschen zu manipulieren. Das funktioniert eben nur, weil wir Farben mit Eigenschaften assoziieren.

Die Waschmittel Werbung ist ein sehr eindeutiges Beispiel. Beide Verpackungen weisen dieselben Farben auf. Zuerst fällt einem der Produktname ins Auge, dies geschieht weil wir rot als Signalfarbe erkennen und ihr deshalb mit erhöhter Aufmerksamkeit begegnen. Die zentralen Farben sind weiß und ein grün, das sich in gelb verläuft. Diese Farbkombination erweckt ein Gefühl von Sauberkeit. Auch das in Teilen vertretene Blau vermittelt dies. Das Produkt wirkt mit den Farben zweckgerichtet. Man erkennt, dass die Farbkombinationen Eigenschaften besitzen, die uns zum Kauf anregen. Ein weiteres sehr eindeutiges Beispiel ist dieses Logo.

Die direkte Wirkung des Originals ist warm



Lesezeichen der Farbe Blau

und anziehend. Das helle Grün des etwas anderen Logos verbinden wir schon seit Urzeiten mit eher unreifen Früchten. Ebenso hat die Farbe dunkelblau und schwarz nicht mit Essen zu tun. Die roten und gelben Töne des originalen Logos verbinden wir dagegen mit den reifen Früchten. Die Farben lassen uns sofort an Essen denken, regen den Speichelfluss an und der potenzielle Kunde bekommt Hunger. Diese Farben sind nicht zufällig gewählt, denn andere Firmen verwenden dieselben Farbtöne. (so wie Burger King oder Langnese)

Ein anderes Beispiel sind die Kreidetafeln in der Schule. Sie sind in allen Schulen durchgehend in dunkel grünen Farbtönen. Als diese Farbe gewählt wurde, standen noch schwarz und rot neben dem Grün zur Auswahl. Der Kontrast ist mit Schwarz am besten, jedoch wirkt Schwarz sehr trist und ist die Farbe der Trauer. Rot und Grün waren im Kontrast relativ gleichwertig, doch die rote Farbe macht bei einem 8 Stunden Schultag eher aggressiv. Deshalb hat man sich für das beruhigende Grün entschieden.

Einer der gängigen verwendeten Kennfarben ist das Postgelb. Gut in der Stadt sichtbar, wusste jeder wo die Post eingeworfen werden musste. Ein positives Beispiel, wie Farbe uns führt.



MCs

Dies ist nur ein kleiner Ausschnitt von Beispielen aus dem täglichen Leben. Vielleicht gehen wir mal aufmerksamer zum Einkaufen oder durch den Wohnort und stellen so manche Farbgestaltung und seine Wirkung bewusster fest.

Moderne Psychologen und Farbtherapeuten sagen, dass sich niemand der Wirkung von Farben entziehen kann. Farben besitzen Macht, mit denen wir Menschen in positiver oder in negativer Weise in Beziehung treten. So können wir auch verstehen, dass Farbtherapien zu Heilungsprozessen angewandt werden oder warum wir Farben ablehnen oder bevorzugen.

Abschließen möchte ich mit dem Zitat eines Kunstpädagogen:

„Farbe ist das Leben, denn eine Welt ohne Farben erscheint wie tot. Das Wesen der Farbe ist traumhaftes Klingen, ein Musik gewordenes Licht.“

Kunstpädagoge Johannes Itten (1888-1967)

In den zwei Wochen Akademiezeit hat man nur wenig Zeit, um sich in der Tiefe mit der Psychologie der Farben zu beschäftigen, denn die Farbenwelt und ihre Wirkung auf den Menschen wird immer so komplex sein, wie das Individuum selber, eine Herausforderung für den Forscher.

## Farbmittel

SARAH NILL

Für den Laien sind alle färbenden Stoffe Farbstoffe. So ist es aber nicht. Die Fachwelt defi-

niert den „Farbstoff“ aber enger, nämlich als ein „Farbmittel“.

Bis zur industriellen Herstellung großer Mengen synthetischer Farbstoffe ab Mitte des 19. Jahrhunderts schränkten Verfügbarkeit und Kosten die Nutzung von Farben ein. Man konnte bis dahin Farbstoffe nur aus Pflanzen, Tieren, Mineralien und Erden herstellen. Zu Zeiten der Höhlenmalerei vor 35 000 Jahren wurden die Farbmittel aus Erde und Mineral gewonnen, deswegen erhielt man auch nur rot, schwarz, grau und gelb Töne.



Höhlenmalerei

Später erlernte man weitere natürliche Farbmittel herzustellen. Einer davon war zum Beispiel Indigo, der aus einer Pflanze gewonnen wird. Er ist einer der ältesten und wichtigsten Textilfarbstoffe und wird aus der Indigoferapflanze (tropisch) oder dem einheimischen Färberwaid gewonnen.

Das Farbmittel Indigo wird auch Waid- oder Stahlblau genannt und dient zur Jeansfärbung oder auch als Holzschutzmittel. 1897 gelang es dem deutschen Chemiker Adolf v. Baeyer das Indigoblau zu synthetisieren und dies war der Beginn des Siegeszuges der „Blue Jeans“. Seither produziert der deutsche Chemiekonzern BASF große Mengen davon. Jährlich werden rund 17 000 t des synthetischen Indigos hergestellt und davon allein 10% in der BASF. Nun haben wir in unserem Kurs selbst auch einmal eine kleine Attrappe von Baumwolljeans gefärbt. Zuerst mussten wir eine Küpe herstellen d. h. wir haben in ein Becherglas ein wenig Indigopulver mit einem Schluck Brenn-



Färberwaid

spiritus gegeben. Danach haben wir dies mit etwas heißem Wasser aufgefüllt. Zum Schluss kam noch ein klein wenig von dem Reduktionsmittel Dithionit dazu. Dieses brauchte man, weil Indigo nur im reduzierten Zustand wasserlöslich ist und an Baumwollfasern haftet. Diese Küpe sah nun gar nicht blau sondern eher grün aus. Zum Färben wurde die Baumwolljeans in das Becherglas mit der Küpe gelegt. Nun musste man ein paar Minuten warten um dann die Jeans herauszunehmen. Diese war nun immer noch nicht richtig blau, denn erst durch das Oxidieren an der Luft bekamen wir eine richtig blaue Jeans. Die Jeans war nun licht- und waschfest gefärbt.

Desweiteren beschäftigten wir uns mit natürlichen Farbmitteln aus Tieren. Da fällt jedem natürlich sofort die Purpurschnecke ein. Jedoch gibt es auch noch ein Farbmittel, das uns jeden Tag fast in den Lebensmitteln gegenübertritt. Nämlich das Cochenille rot. Das Farbmittel wird nur aus den Eiern und dem toten Körper der weiblichen Cochenille-Läuse gewonnen. Diese sind ungefähr so groß wie ein Streichholzkopf.



Selbstgefärbte Jeans

Meistens ist das rot von unseren Lebensmitteln von den Läusen, weil es der einzig, natürlich hergestellte Farbstoff aus einem Tier ist, der in Deutschland als Lebensmittelfarbstoff zugelassen ist. Man findet ihn wieder in M&M's, Campari, Gummibärchen und noch vielem mehr. Natürlich wollten wir dieses Farbmittel auch selber herstellen. Zuerst mussten Läuse klein gemörsert werden, um sie danach in schwefelsaurem Wasser aufzukochen. Dies war jedoch gleich einmal gar nicht so leicht ohne dass alles überkochte. Danach wurde etwas Kalk dazu gemischt und dann gefiltert. Dies mussten wir dann aber erst einmal über Nacht stehen lassen. Für das zu färbende Seidentuch brauchten wir dann auch noch eine Beize. Die Beizionen (z. B.  $Al^{3+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ , ...) behandelten die Seide so, dass sie am folgenden Tag sofort in den Farbstoff gegeben werden konnte und die Farbe gut annahm. Diesen Vorgang verkürzten wir, indem wir das Becherglas mit der Seide kurz auf  $70^{\circ}C$  erhitzen. Danach mussten wir die Seide nur noch gründlich mit Wasser auswaschen und dann trocknen. Als Ergebnis bekamen wir wunderschöne rot bis pinkfarbene Seidentücher.

Leider hat in unsrem Farbenkurs die Zeit nicht mehr gereicht, um die vielen synthetisch hergestellten Farbmittel zu besprechen. Fast alle Farbmittel, die wir heute einsetzen, werden von der chemischen Industrie synthetisch hergestellt. Dies ist viel kostengünstiger ist und die Farben sind leichter anwendbar. Früher hatte man nur ein beschränktes Farbspektrum und



Cochenilleläuse

man konnte die Farbmittel nur umständlich und in begrenzten Mengen herstellen. Die Färbverfahren waren dazu noch sehr aufwendig und man erhielt häufig nur blasser Farben. Ab dem 19. Jahrhundert gelingt es Farbchemikern preiswerte, natürliche Farbmittel in größeren Mengen zu erlangen. Nun hatte man auch eine große Vielzahl leuchtender und lichtbeständiger Farben. Heute kann die chemische Industrie weit über 100 000 verschiedene synthetische Farben aufweisen, jedoch werden nur 7000 wirklich benutzt und 500 in größeren Mengen hergestellt.

## Lumineszenz

THOMAS WIESNER

Wir hatten einen Schwerpunkt unseres Kurses auf das Thema Lumineszenz gelegt, ein Phänomen, das jeder auch aus dem Alltag kennt: Leuchtsterne, Glühwürmchen, Tiefseequallen, Uhrzifferblätter, Knicklichter – sogar gentechnisch veränderte Fische und Mäuse lumineszieren.

<sup>10</sup>aus Wikipedia <http://de.wikipedia.org/wiki/Leuchtkäfer>



Selbstgefärbtes Seidentuch

Man unterscheidet dabei zwischen Fluoreszenz und Phosphoreszenz. Bei Fluoreszenz (wie beim Fluorescein oder Textmarkern) wird die aufgenommene Energie sofort wieder abgegeben, was heißt, dass man kontinuierlich Energie hinzugeben müsste um die Fluoreszenz aufrecht zu erhalten. Die Phosphoreszenz speichert die Energie eine Weile und gibt sie über einen längeren Zeitraum langsam wieder ab, wie z. B. in Uhren oder Leuchtsternen.

Es gibt viele verschiedene Arten von Lumineszenz, die häufigsten zwei sind die Fotolumineszenz und die Chemolumineszenz, welche auch sehr nahe an der Biolumineszenz liegt. Mit diesen haben wir uns näher befasst.

Fotolumineszenz kommt durch Lichteinstrahlung zustande. Das Licht wird vom lumineszierenden Körper umgewandelt (z. B. wandeln manche Körper UV-Licht in für uns sichtbares Licht um) und gibt das Licht in anderen Intensitäten und Wellenlängen wieder ab, was vom Stoff abhängt. Die Fotolumineszenz wird in der Gentechnik in Form eines Marker-Gens zum Überprüfen ob ein Gentransfer geglückt ist, aber auch in Leuchtsternen zum Vergnügen ausgenutzt.

Chemolumineszenz kommt durch chemische Reaktionen zustande, die die entstehende Energie nicht in Form von Wärme sondern fast ausschließlich in Form von Licht abgeben. Das ist der Grund, aus dem man Lumineszenz auch als „kaltes Licht“ bezeichnet. Die Chemolumineszenz wird in der Kriminalistik zum Nachweisen von Blut eingesetzt, durch den Luminolversuch



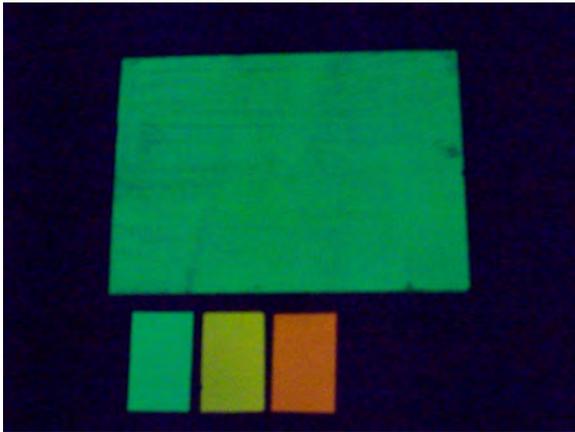
Glühwürmchen<sup>10</sup>

(der bei der Endpräsentation der Farbengruppe gezeigt wurde), sowie in den Knicklichtern, wobei ein Farbstoff die Lichtfarbe beeinflusst.

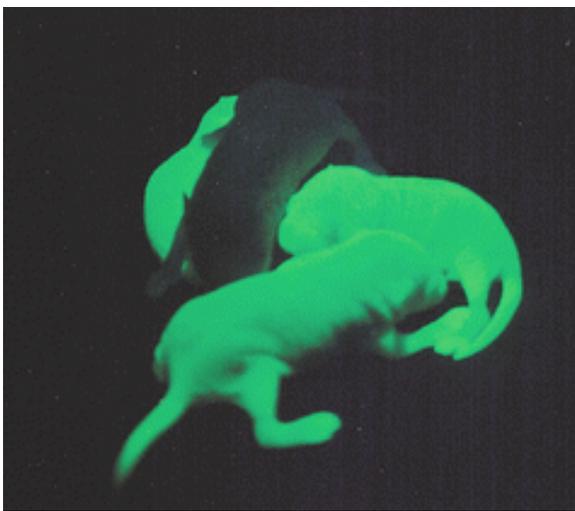
Die Biolumineszenz wird hauptsächlich mit 2 verschiedenen Systemen ausgelöst. Einerseits durch den Luciferin-Luciferase Vorgang, bei dem Luciferin durch das Luciferase-Enzym oxidiert wird und beim Übergang zurück in den Grundzustand ein Photon abgibt, andererseits in Bakterien, in denen auf einen Reiz hin eine Reaktion mithilfe eines Proteins und Wasserstoffperoxid katalysiert wird, die das Licht aussendet. Die Methode der Bakterien ist zwar nicht so effektiv wie das der höheren Lebewesen, kam aber schon Millionen von Jahren früher in der Evolution vor.

Es stellt sich dann doch immer wieder die Frage, wie die Lumineszenz funktioniert. Vereinfacht kann man es mit folgendem Modell beschreiben:

Ein Elektron wird in einer Atomhülle vom Weg um den Atomkern abgebracht und zwar durch Energie, deren Form von der Art der Lumi-



Lumineszierende Notizzettel



Mäuse nach Genversuch im UV-Licht

neszenz abhängt (wenn es Fotolumineszenz ist, Energie in Form von Licht, bei Chemolumineszenz chemische Reaktionsenergie, bei Elektrolumineszenz Energie in Form von elektrischem Strom, etc.). Das Elektron entfernt sich ein wenig vom Kern, d. h. es begibt sich in einen höheren Energiezustand. Beim Weg zurück in den Normalzustand gibt es die aufgenommene Energie in unterschiedlichen Stufen ab. Je größer der Energiesprung, desto energiereicher und somit kurzweiliger ist das Licht, das freigegeben wird. Das Elektron muss nicht nur in einer Stufe in den Ausgangszustand „zurückspringen“, es können auch mehrere sein, wodurch die Farbänderung des freigegebenen Lichts im Gegensatz zum evtl. zum Anstrahlen benutzten Licht zustande kommt (in diesem Fall wäre es eine Fotolumineszenz).



Chemolumineszenz

Ein Beispiel wäre:

Fluorescein wird mit einer UV-Lampe bestrahlt und fängt an, gelb zu leuchten.

Wir sehen das UV-Licht nicht, jedoch macht es das Fluorescein für uns sichtbar. Das Licht „stößt“ Elektronen innerhalb der Flüssigkeit aus ihren Bahnen und diese geben ihre Energie in Stufen und damit in Wellenlängen wieder ab, die in unserem Auge zu einem Gelb zusammengefügt werden.

## Exkursion zu BASF

ANNELIE SCHÖN UND LUIZA MATTOSO

Am 7. September 2009 hat unser Farbenkurs eine Exkursion zur BASF mit dem Schwerpunkt Effektpigmente gemacht.

Weil wir einen langen Anfahrtsweg mit der S-Bahn hatten und wir sehr früh aufstehen mussten, kamen wir recht müde am Tor 5 der BASF an, wo uns Frau Seefeldt abholte. Unsere Müdigkeit verflog aber sofort als wir erfuhren, dass wir „geheime“ Informationen der BASF erhalten würden. Wir durften zum Beispiel auf dem ganzen Gelände keine Fotos schießen oder mit unseren Informationen zu Konkurrenten gehen.

Das Besprechungszimmer war ziemlich komfortabel eingerichtet und wir wurden mit Getränken und Keksen versorgt. Frau Seefeldt hat

uns den groben Tagesablauf geschildert und danach haben wir endlich erfahren was BASF bedeutet. Diese Information hatten wir schon im Internet gesucht und nicht finden können.

BASF bedeutete ursprünglich „Badische Anilin und Soda Fabrik“ und ist das weltweit führende Chemieunternehmen. Im Laufe der Globalisierung hat sich man den Untertitel „The Chemical Company“ zugelegt. Allein in Ludwigshafen arbeiten 30% aller Mitarbeiter weltweit.

Zu den bekannten Produkten gehören Sportböden, Baumaterial, verschiedene Kraftstoffe und der Superabsorber in Windeln.

Nachdem wir diese und weitere allgemeine Informationen erhalten hatten, haben wir zusammen eine Einteilung zu den Farbmitteln erstellt. Dabei unterscheidet man zunächst zwischen unlöslichen Pigmenten und in einem bestimmten Medium löslichen Farbstoffen. Die Pigmente unterteilt man wieder in transparente und deckende Pigmente. Bei transparenten Pigmenten geht ein Teil des Lichts durch den Stoff, während bei deckenden Pigmenten das Licht vollständig reflektiert und absorbiert wird.

Eine besondere Art von Pigmenten sind die Effektpigmente. Die Effektpigmente findet man auf sehr vielen Produkten zum Beispiel in Autolacken, auf Shampooflaschen und auf vielen anderen Kosmetikprodukten, aber auch auf Kinderspielzeug.

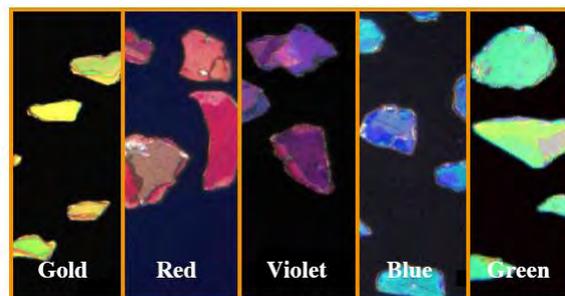
Ein Effektpigment besteht beispielsweise aus einem Glimmerplättchen, das mit Metalloxid beschichtet wird, damit es sichtbar ist. Die Beschichtung ist sehr dünn, nämlich nur 70-140 Nanometer dick. Solche Schichtdicken erreicht man durch besondere chemische Prozesse. Da diese Prozesse aber Betriebsgeheimnisse der BASF sind, konnte uns Frau Seefeldt hierzu keine genaueren Angaben machen.

Durch die unterschiedliche Schichtdicke und den Betrachtungswinkel lassen sich die Farbeffekte steuern (siehe Interferenz). Um optimale Verhältnisse zu schaffen, werden die Glimmerplättchen mehrfach und mit unterschiedlichen Pigmenten beschichtet.

Es blieb aber nicht nur bei der Theorie. Nach einem kleinen Imbiss hatten wir die Gelegenheit, eine Führung im Labor zu machen. Zu-

erst haben wir erfahren, wie man Pigmentplättchen aus Kunststoff herstellt: Zunächst wird der Kunststoff im Extruder verarbeitet, dann wird Granulat eingefüllt und die Schmelze mit Gas unter Druck aufgepustet, sodass Folien oder Hohlformen entstehen. Danach kommt der Kunststoff in die Spritzgussmaschine, wird dort zu einer bestimmten Form geschmolzen und anschließend mit normalen Pigmenten oder Effektpigmenten gefärbt.

Um zu testen ob der Lack wetterbeständig ist, bestrahlt man lackierte Gegenstände einige Zeit lang mit UV-Licht. Je weniger sie sich entfärben, desto besser ist der Lack. Später durften wir auch selbst einen Basis-Lack auf schwarzem und weißem Blech auftragen. Auf dem weißen Blech glitzert der Lack nicht so wie auf dem schwarzen. Das liegt daran, dass Weiß das Licht reflektiert und somit die Effektpigmente überstrahlt und Schwarz das Licht absorbiert und daher die Effektpigmente gut sichtbar sind. Die Teilchen der Effektpigmente nennt man Borosilikat. Diese spielen eine große Rolle beim Glanz der Effektpigmente: Je größer ein Teilchen ist, desto besser kann es das einfallende Licht reflektieren und desto stärker schimmert es. Die kleinen Teilchen streuen das Licht und schimmern deshalb kaum. Zum Schluss haben wir noch ein Effektpigment unter dem Mikroskop betrachtet.



Transparente Effektpigmente in unterschiedlichen Schichtdicken von Titandioxid.<sup>11</sup>

Dann war die Führung im Labor zu Ende, und wir fuhren zu einer anderen Abteilung der BASF. Nachdem wir das Gebäude gewechselt und einen kurzen Einleitungsfilm, in dem nochmals die Sicherheitsvorkehrungen erwähnt wurden, gesehen hatten, wurden wir mit dem

<sup>11</sup>Bild: BASF

Bus durch die Straßen der BASF geführt. Uns wurde etwas über die Geschichte erzählt, und die zahlreichen Gebäude wurden beim Vorbeifahren erklärt.

Die BASF ist mit ihren 11 km<sup>2</sup>, das entspricht dreimal der Fläche Monacos, das größte Chemieareal weltweit. Die Firma wurde 1865 als Farbenfabrik gegründet und besitzt heute eine Vielzahl von Produktionsstätten. Das „A“ bei BASF kommt von der Anilinfabrik. Die Indigo-fabrik, die Farbenfabrik und die Styrodurfabrik sind auch ein wichtiger Bestandteil der Firma.

Um das Gefrieren von Produkten zu verhindern wird Glycol benutzt, auch das wird bei der BASF hergestellt. Außerdem besitzt die BASF eine Ameisensäurefabrik, eine Kohlen-säurefabrik, die weltweit bekannte Ammoniak-fabrik und drei Chlorfabriken, die die größten Stromverbraucher der BASF sind. In der BASF steht noch ein Forschungshaus, ein Lagerhaus und das Friedrich-Engel-Hochhaus, das erste Hochhaus in Deutschland, das nach dem ersten Weltkrieg gebaut worden ist.



Müde Kursleiter

Da die Firma direkt am Rhein liegt, nutzt man dies auch aus, indem man das Rheinwasser zur Kühlung exothermer Reaktionen nutzt. Durch Klärwerke wird dieses entnommene Wasser gereinigt und anschließend oft sauberer als zuvor in den Rhein zurückgeführt.

Die Petrochemie ist das Herz der BASF. Dort wird Erdöl innerhalb weniger Sekunden zerlegt. Zur Fabrik gehört selbstverständlich auch eine Gasverbrennungsanlage, und damit die Emissionen in Grenzen gehalten werden können,

fahren auch Messfahrzeuge durch die Anlagen, die Emissionen messen.

Als die Führung mit dem Bus fertig war, verließen wir mit neuen Informationen die BASF und fuhren sehr erschöpft mit dem Zug zurück nach Adelsheim.

### Ausklang

Alles so schön bunt hier?! So fing es für euch (zumindest in diesem Kurs) vor nicht ganz einem Jahr an. Wir haben oft genug gefragt, ob es bunt, hell, leuchtend oder glänzend genug war, und wir hoffen, ihr habt alle verstanden, dass wir unseren Kurs sehr ernst genommen, aber niemals ins Zentrum der Akademie gestellt haben. Ihr sollt nicht bei jeder schönen Farbe überlegen, welche Wellenlängen nun absorbiert und welche reflektiert werden, über die Länge eines konjugierten Doppelbindungssystems grübeln, im Geiste die Schichtdicke eines Glimmerkristalls abschätzen oder gar berechnen, wie weit ein Elektron aus dem angeregten Zustand zurückfallen muss (tut es nämlich nicht, O-Ton Matthias). Manchmal ist es auch erlaubt, Phänomene einfach hinzunehmen und zu genießen. Das wünschen euch jedenfalls

Matthias und Günther