

Universität Kaiserslautern

Fachbereich Physik

Prof. Dr. Hans-Jörg Jodl, Dr. Bodo Eckert

**Projektstudie für das Lehramt an Gymnasien
im Wintersemester 2001/2002**

**Thema: Eine Projektwoche „Das menschliche Sehen“ für
Schüler/innen der Klassenstufen 10 bis 13**

Diese Projektstudie wurde vorgelegt von:

Stefan Altherr, altherr@rhrk.uni-kl.de (S.A.)

Andreas Wagner, anwagner@rhrk.uni-kl.de (A.W.)

INHALTSVERZEICHNIS

| | Seite |
|--|-----------|
| 1. Einleitung (S.A., A.W.) | 2 |
| 2. Die Projektwoche zum menschlichen Sehen (A.W.) | 3 |
| 2.1 Sinn und Zweck einer Projektwoche | 3 |
| 2.2 Auswahl des Projektthemas und Bestimmung der Adressaten | 4 |
| 2.3 Didaktisch-methodische Verlaufsplanung | 5 |
| 3. Das Augenfunktionsmodell: 1. Tag (S.A.) | 7 |
| 3.1 Ziele und Inhalte des Projekttages | 7 |
| 3.2 Organisationsstruktur | 7 |
| 3.3 Mögliche Experimente | 9 |
| 3.4 Darstellung von ausgewählten Versuchen | 9 |
| 3.5 Varianten | 11 |
| 4. Farbenlehre: 2. Tag (A.W.) | 12 |
| 4.1 Ziele und Inhalte des Projekttages | 12 |
| 4.2 Organisationsstruktur | 13 |
| 4.3 Mögliche Fragen und Experimente | 14 |
| 4.4 Darstellung von ausgewählten Versuchen | 15 |
| 5. Augenuntersuchungen: 3. Tag (S.A.) | 17 |
| 5.1 Ziele und Inhalte des Projekttages | 17 |
| 5.2 Organisationsstruktur | 17 |
| 5.3 Mögliche Experimente | 17 |
| 5.4 Darstellung von ausgewählten Versuchen | 18 |
| 6. Fehlsichtigkeiten, Sehhilfen und Augenschutzmaßnahmen: 4. Tag (A.W.) | 20 |
| 6.1 Ziele und Inhalte des Projekttages | 20 |
| 6.2 Organisationsstruktur | 21 |
| 6.3 Mögliche Fragen und Experimente | 21 |
| 6.4 Darstellung von ausgewählten Versuchen | 22 |
| 7. Optische Täuschungen: 5. Tag (S.A.) | 24 |
| 7.1 Ziele und Inhalte des Projekttages | 24 |
| 7.2 Organisationsstruktur | 24 |
| 7.3 Mögliche Experimente | 25 |
| 7.4 Darstellung von ausgewählten Versuchen | 25 |
| 7.5 Varianten | 26 |
| 8. Präsentation: 6. Tag (S.A., A.W.) | 27 |
| 8.1 Vorführen von Versuchen | 27 |
| 8.2 Zusammenfassen auf Postern | 27 |
| 8.3 Erstellen von Videosequenzen und einer Website zum Projekt | 27 |
| 8.4 Teilnehmerheft | 27 |
| 9. Fazit (S.A., A.W.) | 28 |
| 10. Literatur (S.A., A.W.) | 28 |
| ANHANG | |
| A) Ergebnisse der Literaturrecherche mit der physikdidaktischen Datenbank für die Sekundarstufe I/II „PhysDat“ | 29 |
| B) Erläuterungen zur beiliegenden CD | 34 |
| C) Inhalte der CD in gedruckter Form | 35 |

1. Einleitung

Bis vor kurzem noch galt das deutsche Bildungssystem als eines der besten in Europa. Die Ergebnisse der PISA- oder TIMMS-Studien zeigen jedoch ein etwas anderes Bild, und platzieren deutsche Schüler im internationalen Vergleich im Mittelfeld.

Die Bedeutung, welche diesen Ergebnissen auch in der Öffentlichkeit zugemessen wird, zeigt sich nicht zuletzt auch in der ausführlichen Medienberichterstattung. Nachrichten, Magazine und Gesprächsrunden berichten darüber und forschen nach Ursachen.

Dabei kristallisiert sich vor allem heraus, dass es keine Patentlösung für die bestehenden Probleme gibt. Und selbst über die Ursachen herrscht Uneinigkeit.

Erst mit der Zeit wird sich zeigen, welche der vielen angedachten Konzepte wirkliche Fortschritte bringen. Wir möchten im Rahmen dieser Projektstudie einen möglichen Ansatz vorstellen.

Am Beispiel einer Projektwoche zum Thema „**Das menschliche Sehen**“ sollen die Vorteile eines projektorientierten Unterrichtes umgesetzt werden. Dazu gehören selbstständiges Arbeiten, Aneignung von Methodenkompetenzen, problemorientiertes Arbeiten, Motivation sowie Selbstorganisation in der Gruppe.

Dabei setzen wir uns zunächst einmal detaillierter mit dem Projektbegriff nach Frey auseinander, und passen diesen an unsere spezielle Situation an. Die Kapitel drei bis sieben beschäftigen sich dann konkret mit Organisation und Inhalt der Projektwoche.

Anschließend geben wir einen kurzen Überblick zur möglichen Präsentation am Ende und verweisen hierzu auf die beiliegende CD, welche ein mögliches Endprodukt der Schüler zeigt.

2. Die Projektwoche zum menschlichen Sehen (A.W.)

2.1 Merkmale und Voraussetzungen der Projektmethode

Der **Begriff „Projektmethode“** steht für den Weg, den Lehrende und Lernende gehen, wenn sie sich bilden wollen. Lehrende und Lernende führen ein konkretes Lernunternehmen, das Projekt, durch. Es wird von einer Schülergruppe ausgehandelt, geplant, durchgeführt, durchgehalten oder auch abgebrochen. Frey sagt dazu: „Entscheidend dabei ist, dass sich die Lernenden ein Betätigungsgebiet vornehmen, sich darin über die geplanten Betätigungen verständigen, das Betätigungsgebiet entwickeln und die dann folgenden verstärkten Aktivitäten im Betätigungsgebiet zu einem sinnvollen Ende führen. Oft entsteht ein vorzeigbares Produkt.“¹

Mit dieser Definition der Projektmethode gehen folgende **Merkmale** einher:

- Ausgangspunkt der Projektarbeit ist die Lebenswirklichkeit.
- Weil die Lebenswirklichkeit sich komplex und vielseitig darstellt, werden Projekte grundsätzlich fach- sowie lernbereichsübergreifend geplant und durchgeführt.
- Realitätsbezogene Themen wecken am ehesten bei den Schülerinnen und Schülern Interesse und entsprechen häufig ihren Bedürfnissen.
- Schüler/innen mit gemeinsamen Interessen, aber mit unterschiedlichen Fertigkeiten und Fähigkeiten arbeiten jahrgangsübergreifend in Projektgruppen zusammen und erweitern dadurch ihre sozialen Erfahrungen und Kompetenzen.
- Über die sozialen Lernerfahrungen hinaus ergeben sich für die Schüler/innen während der Projektarbeit vielfältige Handlungsmöglichkeiten.
- Die handlungsorientierte Arbeit mündet in einem gemeinsam erstellten Produkt.
- Das Produkt wird im Hinblick auf einen vereinbarten Adressatenkreis erstellt.

Das **Ziel einer solchen Projektmethode** ist die Eigenverantwortlichkeit des Einzelnen. In der engen Verknüpfung von Theorie und Praxis wird den Schülerinnen und Schülern deutlich, warum sie lernen. Im Wechsel von eigenständiger Arbeit und Teamarbeit können sie entdecken, wie sie am besten lernen.

Voraussetzung für das Gelingen der Projektarbeit ist eine offene Ausgangssituation. Nach Frey beginnt ein Projekt, „indem jemand eine Idee, eine Anregung, eine Aufgabe, eine besondere Stimmung, ein Problem, ein bemerkenswertes Erlebnis, einen Betätigungswunsch oder einen Gegenstand in eine Gruppe einbringt.“² Ergebnis der Auseinandersetzung um die Projektinitiative und Ausgangspunkt des weiteren Verlaufs des Projekts ist die Projektskizze. Die Art und Weise wie solche Auseinandersetzungen geführt werden, ist oftmals entscheidend für das Gelingen oder Scheitern eines Projekts. Deshalb sollten möglichst frühzeitig Vereinbarungen darüber getroffen werden (Vereinbarungen über Verfahrensregeln, Zeitlimits, vernünftiges Argumentieren, den Umgang miteinander etc.). Solche Regeln einzuführen bzw. darauf zu drängen, dass solche Vereinbarungen getroffen und eingehalten werden, ist Aufgabe des Lehrers.

Frey schlägt als Grundmuster der Projektmethode eine stufenartige Struktur vor, bei der die Lernenden und Lehrenden die Schritte im Projektprozess durchlaufen:

¹ Frey 1993, S. 11.

² Frey 1993, S. 63.

| Stufe | Erläuterung |
|---------------------|--|
| Projektinitiative | Darstellung eines Problems bzw. Themengebiets mit einer offenen Ausgangssituation |
| Projektskizze | Meinungen und Ideen werden diskutiert, man setzt sich mit dem Problem auseinander, über Ziele und Grenzen wird diskutiert |
| Projektplan | Festlegung der Tätigkeiten jeder Gruppe; Strukturierung der Arbeit; Festlegung von Verantwortlichkeiten, Überprüfung der Realisierbarkeit; Festlegung des Zeitpunktes der Fertigstellung |
| Projektdurchführung | Handlungsorientierte Aktivitäten: Informationsbeschaffung, Expertenbefragung, Experimente; Erstellung von Fixpunkten zur Information über die Gruppenergebnisse; evtl. Plankorrekturen und weitere Abstimmungen |
| Auswertung | <ul style="list-style-type: none"> • bewusster Abschluss: Veröffentlichung des Ergebnisses • Rückkopplung: Vergleich des Problems mit dessen Lösung • „Auslaufen“: Umsetzung der erworbenen Fertigkeiten und Kenntnisse |

Zusätzlich können je nach Bedarf im Verlauf des Projektes Fixpunkte und Metainteraktionen eine Rolle spielen.

2.2 Auswahl des Themas der Projektstudie und Bestimmung der Adressaten

Im Rahmen der Projektstudie haben wir uns dafür entschieden, eine **Projektwoche für Schülerinnen und Schüler der Klassenstufen 10 bis 13 zum menschlichen Sehen** zu planen.

Das Thema erfüllt in mehreren Punkten die Anforderungen der Projektmethode, nämlich Praxis- und Situationsbezug, Erfahrungsbezug und Interdisziplinarität. Die Begeisterung der Schülerinnen und Schüler für außergewöhnliche Phänomene, wie z.B. die optischen Täuschungen, dürfte leicht zu wecken sein. Da die Physik des Auges gewisse Voraussetzungen zur Strahlenoptik voraussetzt, ist die Teilnahme am Projekt erst für Schülerinnen und Schüler der Klassenstufen 10-13 sinnvoll. Ferner ist zu berücksichtigen, dass das Themengebiet so umfangreich ist, dass es lohnt, eine komplette Woche dafür zu verwenden.

Einem erfahrenen Beobachter wird bei der ersten Übersicht zum menschlichen Sehen auffallen, dass unsere Projektwoche inhaltlich keine sensationellen Neuerkenntnisse aufweist. Dies hat eine ausführliche **Literaturrecherche**, wie sie in Anhang A zu finden ist, unsererseits auch ergeben. Die physikdidaktische Datenbank für die Sekundarstufe I/II „PhysDat“, eine von der Universität Wuppertal bereitgestellte Datenbank aller bedeutenden physikdidaktischen Zeitschriften, lieferte mit circa 100 von 1100 Treffern eine enorme Zahl von relevanten Beiträgen zum menschlichen Sehapparat. Was wollen wir also Neues zeigen?

Erstens wollen wir in dieser Projektstudie als Lehramtsstudenten dazulernen, d.h. wie man später in der Schule eine Projektwoche angehen kann, und nicht nur unser eigenes fachspezifisches Wissen trainieren. Denn bei genauerer Betrachtung der physikdidaktischen Artikel fällt auf, dass die eigentliche Didaktik und speziell die Projektmethode nicht nur zu kurz kommt, sondern überhaupt nicht vorhanden ist. Und **zweitens** wollen wir großen Wert darauf legen, am Ende der Woche Produkte, wie z.B. Experimente, eine Internetseite und Poster, vorweisen zu können. Spezielle

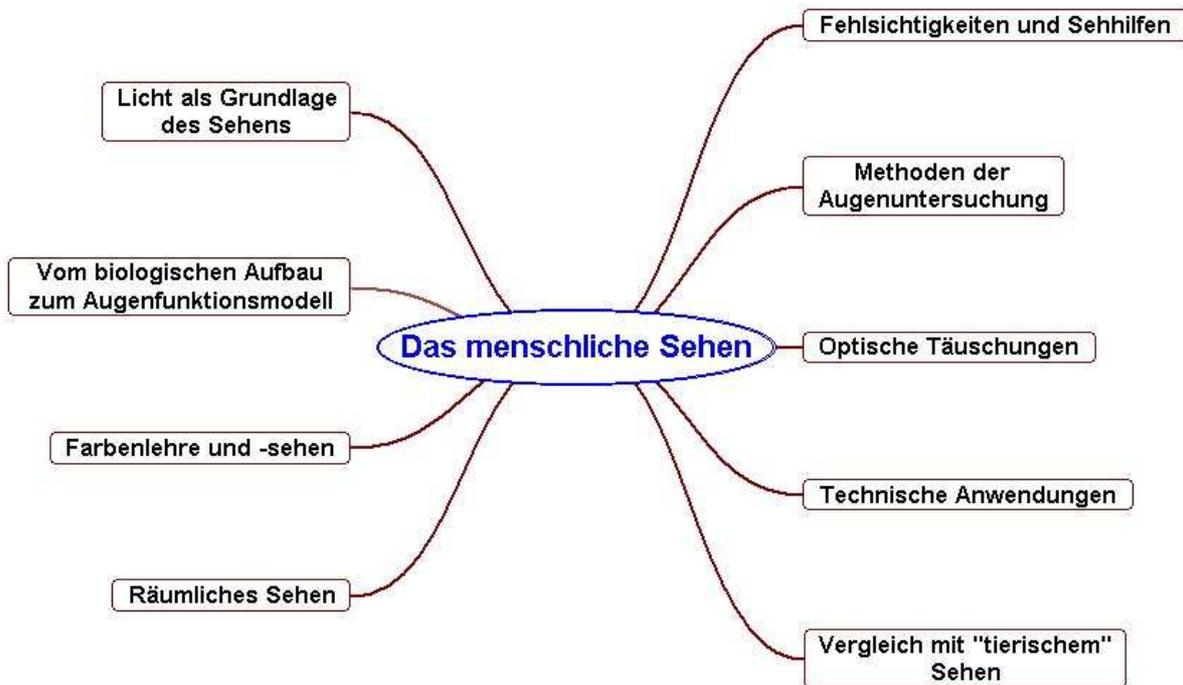
Motivation soll da den Teilnehmern die digitale Videokamera bieten, mit deren Hilfe die Präsentation noch vielseitiger werden kann. Dieser multimediale Aspekt wurde in der Vergangenheit nämlich sehr vernachlässigt.

2.3 Didaktisch-methodischer Verlaufsplan zur Woche „Menschliches Sehen“

Was Merkmale, Ziele, Voraussetzungen und Grundstruktur unserer Woche zum menschlichen Sehen betrifft, versuchen wir uns möglichst an das Verständnis von Frey zu halten. In Detailfragen kann es sicherlich fachspezifische Abweichungen geben. Im Großen und Ganzen würden wir die Projektwoche wie folgt organisieren:

| Zeitplan | Ziel | Erläuterung |
|---|--------------------------------------|---|
| Vorbesprechung mindestens eine Woche vorher | Projektinitiative und Projektskizze | Zunächst stellt der Lehrer übergeordnete Verhaltensregeln (Vereinbarungen über Verfahrensregeln, Zeitlimits, vernünftiges Argumentieren, den Umgang miteinander) klar. Dann machen die Schüler/innen Vorschläge zum erarbeitenden Problem bzw. Themengebiet, welche die Gruppe gemeinsam mit einer sogenannten Mindmap visualisiert. Zum Schluss wird grob festgelegt, was an welchem Tag erarbeitet werden soll. |
| 1. Tag | Projektplan zum Tag und Durchführung | Die Erstellung des Projektplans fällt in der Projektwoche immer konkret auf den Beginn des jeweiligen Tages, weil jeder Tag so weit wie möglich eine geschlossene Einheit darstellen soll. |
| 2. Tag | Projektplan zum Tag und Durchführung | |
| 3. Tag | Projektplan zum Tag und Durchführung | |
| 4. Tag | Projektplan zum Tag und Durchführung | |
| 5. Tag | Projektplan zum Tag und Durchführung | |
| Präsentation am 6. Tag | Auswertung | Die Präsentation der Experimente, der gesammelten Informationen und der Produkte soll öffentlich (Poster, Website, Versuche an einem Besuchertag) erfolgen. |

Zum menschlichen Sehen könnte die **Projektskizze** etwa folgendermaßen aussehen:



Die Querverbindungen zwischen den einzelnen Teilaspekten werden zunächst ausgelassen, weil die Schüler diese durch ihre Zusammenarbeit in der Projektwoche selbst herausfinden können.

3. Das Augenfunktionsmodell: 1. Tag (S.A.)

3.1 Ziele und Inhalte des Projekttages

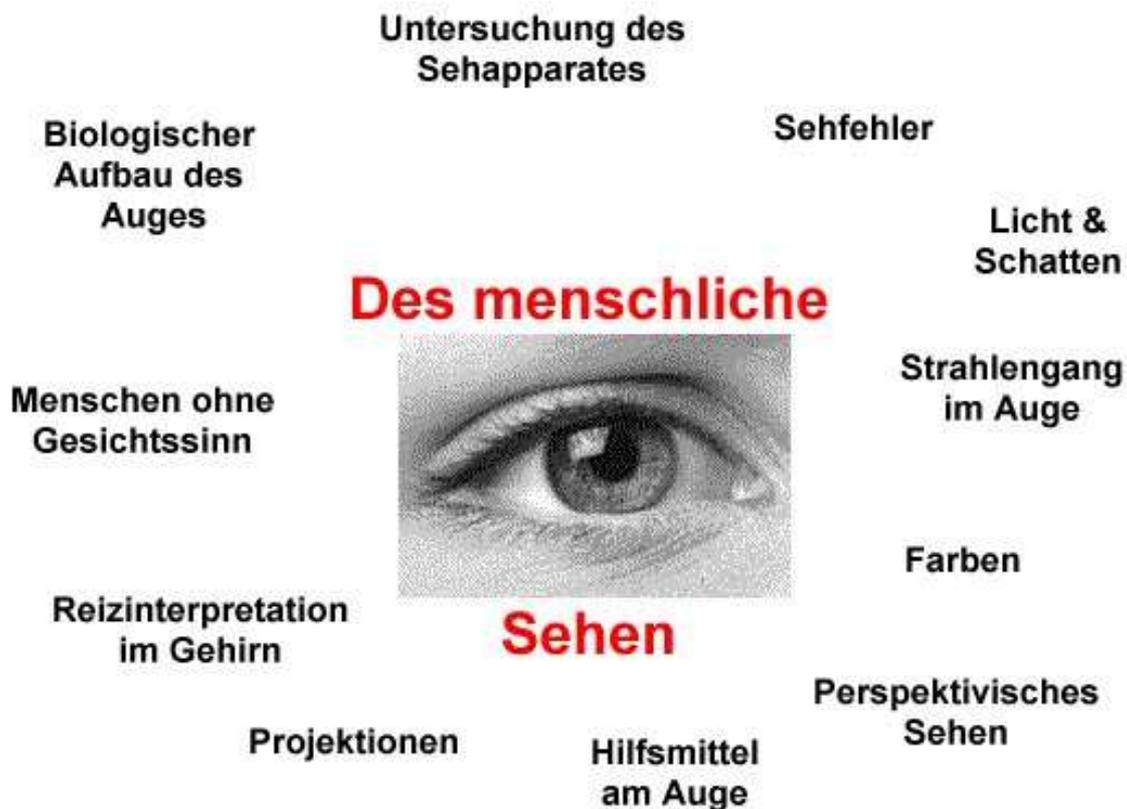
Dieser erste Projekttag hat weit mehr als nur inhaltliche Ziele. Dies liegt an der schwierigen Ausgangssituation, dass Schüler aus vier verschiedenen Klassenstufen, die sich zu großen Teilen gegenseitig nicht kennen, aufeinandertreffen.

Es gilt also zum einen die soziale Aufgabe zu bewältigen, die Schüler miteinander bekannt zu machen sowie eine allzu starke Cliquenbildung zu verhindern. Zum anderen sollen allen Schüler inhaltliche Mindestkenntnisse den Aufbau des Auges betreffend vermittelt werden.

Es soll erreicht werden, dass alle Teilnehmer am Ende des Tages wenigstens den groben Aufbau des Auges, dessen Abstraktion durch Linsen und Schirm sowie die Konstruktion einer Abbildung durch zwei der drei Konstruktionsstrahlen kennen.

Je nach Klassenstufe sollen dabei unterschiedliche Abstraktionsgrade erarbeitet werden.

Die verschiedenen Aspekte des menschlichen Sehens sollten zu Beginn des Tages verdeutlicht werden.

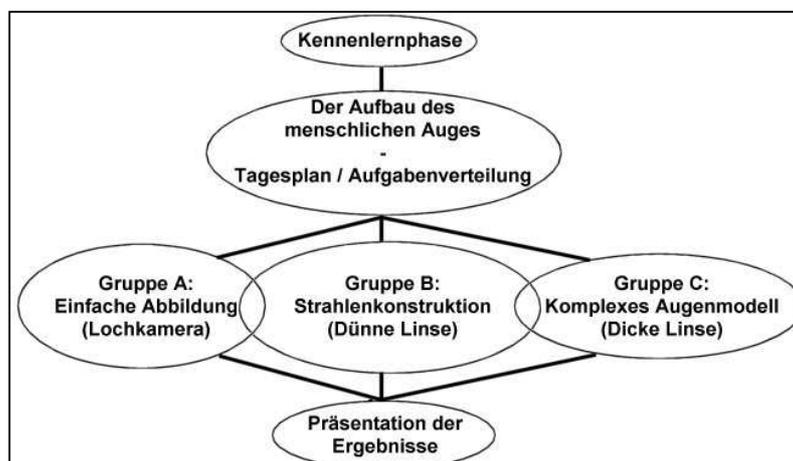


3.2 Organisationsstruktur

Der erste Abschnitt des Tages soll dem gegenseitigen Kennenlernen dienen. Er wird also mit der gesamten Gruppe zusammen stattfinden. Es bestehen nun verschiedene Möglichkeiten, die Teilnehmer miteinander vertraut zu machen. Welche Methode man auch wählt, es ist durchaus sinnvoll, neben den obligatorischen Informationen wie Name und Hobbies auch einen speziellen Bezug zum Projekt herzustellen. Mögliche weitere Fragen innerhalb dieses Blocks könnten genereller Natur sein:

Über die Funktion des Auges und seiner Rolle im täglichen Leben. Seine Wichtigkeit im Vergleich zu anderen Sinnesorganen und so weiter (siehe auch Grafik in 3.1). Ist ausreichend Zeit vorhanden, so kann in diesem Zusammenhang ein einfaches „Spiel“ viel Interesse wecken und die Teilnehmer sich gegenseitig näher bringen. Aufgabe ist es, sich gegenseitig Aufgaben zu stellen, die dann unter Verzicht des Gesichtssinns gelöst werden müssen. Einfachere Aufgaben können dabei alleine, schwierigere Aufgaben unter Hilfe eines sehenden Mitschülers gelöst werden. Aufgrund der unterschiedlichen Ausgangssituationen erscheint es ratsam, anschließend die Projektgruppe in drei Teile aufzuspalten. Jede der Untergruppen soll sich nun eigenverantwortlich mit Aufbau und Funktion des menschlichen Auges und der Abbildung im Rahmen der geometrischen Optik beschäftigen. Dabei sollen innerhalb der Gruppen verschiedene Bereiche wie Bücherei und Internet abgedeckt werden. Es ist wichtig, genaue Ziel- sowie Zeitangaben zu machen. Ebenfalls in diesen Zeitabschnitt gehört die Erarbeitung einer Präsentation der Ergebnisse. Zur Präsentation können dabei neben Tafel und Folien auch Filme, Experimente und weiteres nach Wunsch der Schüler gehören. Folgende Unterteilung stellt dabei eine sinnvolle Einordnung dar:

- Die erste Gruppe ist vorwiegend für Schüler der Klassenstufen 10 und 11 gedacht. Hier soll aus biologischer Sicht das Auge als mit Flüssigkeit gefüllte Kugel mit einer Linse betrachtet werden. Die Rückseite des Auges soll dabei als Schirm verstanden werden. Die Konstruktion des Bildes soll einfach über zwei sich in der Linse kreuzende Strahlen erfolgen. Damit ist zu erarbeiten, dass sich das Bild auf den Kopf stellt und seitenverkehrt ist.
- Hier soll für Schüler der Klassen 11 und 12 die Möglichkeit zu einem vertieften Einstieg in die Materie gegeben werden. Aus biologischer Sicht sollen auch feinere Strukturen des Auges und deren Funktion geklärt werden. So stellt sich unter anderem die Frage nach der Regulierbarkeit der Iris und der Auswirkung auf die Abbildung. Diese soll als die einer dünnen Linse abstrahiert werden und die Kenntnis der drei Konstruktionsstrahlen erlangt werden. Der Zusammenhang von Gegenstands- und Bildweite sowie der Größe von Gegenstand und Bild soll erarbeitet werden.
- In dieser Fortgeschrittenengruppe der Klassenstufen 12 und 13 schließlich soll sowohl ein detailliertes Bild des biologischen Augenaufbaues entworfen, als auch die Abbildungsgesetze einer Dicken Linse erarbeitet werden. Dabei sollen die für die weiteren Betrachtungen während der Projektwoche erforderlichen Kenntnisse keine Beschränkung für die gesammelten Daten darstellen.



Aufgabe der Projektleitung ist es hierbei beratend, helfend und in begrenztem Maße auch koordinierend einzugreifen.

Im Anschluss an die Gruppenarbeitsphase werden nun die Ergebnisse der einzelnen Gruppen vorgestellt. Dabei ist vor allem wichtig, dass alle Teilnehmer die Ergebnisse der Gruppe A verstanden haben. Alles weitere Wissen ist optional. Mit dieser Aufteilung sollte es möglich sein, alle Schüler im angemessenen Rahmen sinnvoll zu beschäftigen und ihnen neben inhaltlichen Kenntnissen auch eine Methodenkompetenz zu vermitteln.

3.3 Mögliche Experimente

A) Einführungsphase

Für die Einführungsphase eignen sich vor allem kleine, motivierende Experimente, die sich mit unterschiedlichsten Phänomenen des menschlichen Sehens auseinandersetzen. Diese können auch Vorgriffe auf die später folgenden Themen Farbenlehre oder Optische Täuschungen sein.

B) Gruppenarbeitsphase

- Bau einer Lochkamera (verschiedene Öffnungen)
- Wasserglas als Linse/Lupe
- Abbildung eines Objektes mit Linse und Schirm auf optischer Bank
- Darstellung des Strahlenganges im Auge mit parallelen Laserstrahlen
- Verhalten von Lichtstrahlen beim Übergang zwischen Medien (Luft/Wasser)
- Linsentypen
- Bau eines Augenmodelles

3.4 Darstellung von ausgewählten Versuchen

Hier sollen nun die Versuche zur Darstellung des Strahlenganges in einem Auge mittels paralleler Laserstrahlen sowie das Wasserglas als Linse gezeigt werden. Schließlich wird kurz der Bau eines Augenmodelles angesprochen.

Beim ersten Versuch wird auf einer Magnetplatte der Schnitt durch ein Auge aufgebracht.

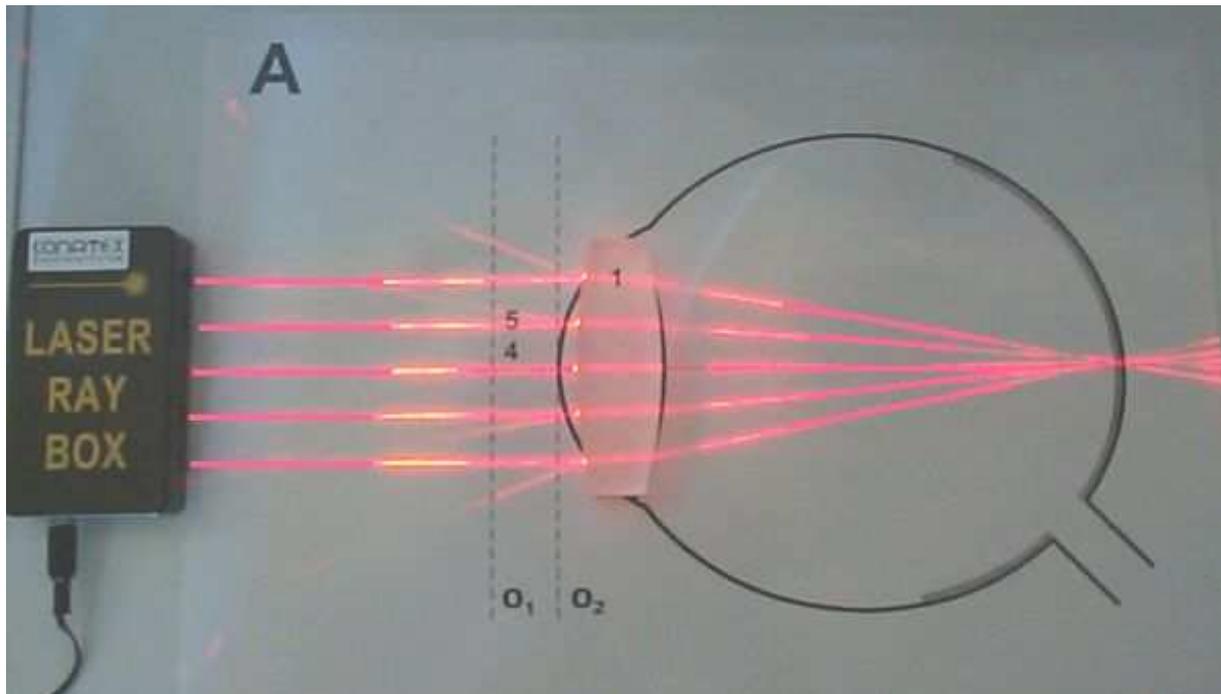
Die einfallenden Lichtstrahlen werden mit einer Laser-Ray-Box von Conatex simuliert. Diese strahlt fünf parallele Laserstrahlen im Abstand von etwa einem Zentimeter aus. Dabei sind diese leicht zur Zeichenebene hin geneigt, um den Strahlengang auf dem Untergrund sichtbar zu machen. Da es sich dabei um Laser der Klasse II handelt, ist besondere Vorsicht geboten. Schüler, die sich mit diesem Gerät beschäftigen, sind besonders auf die notwendigen Vorsichtsmaßnahmen hinzuweisen. Der Versuch sollte nur unter Aufsicht ausgeführt werden. Alternativ kann man auch eine andere Lichtquelle wählen und einen Aufbau zusammensetzen, der parallele Lichtstrahlen aussendet.

Die Linse des Auges wird dabei durch eine Konvexlinse simuliert.

Wie im Bild deutlich zu sehen ist, sind die Strahlen bis zur Linse parallel, in der sie dann zur Mittelachse hin gebrochen werden und sich in einem Punkt auf der Netzhaut treffen. Dies entspricht einer auf „unendlich“ eingestellten Linse, was auch für die parallelen Strahlen gilt.

Durch Einsetzen von Linsen mit kleinerer beziehungsweise größerer Brennweite lassen sich in Vorbereitung auf den vierten Projekttag Kurz- und Weitsichtigkeit erklären.

Dieser Versuch eignet sich vor allem für die Teilnehmer der Gruppe B, da daran der Strahlengang an einer dünnen Linse sehr schön veranschaulicht wird.



Ein weiterer, sehr einfach zu realisierender Versuch zeigt wie die Brechung der Lichtstrahlen von der Brechkraft des Mediums abhängt.

Dazu nimmt man ein einfach zylindrisches Glas und stellt es vor ein zu betrachtendes Objekt. In diesem Beispiel haben wir ein weißes Blatt Papier mit dem Aufdruck „A B C D E F G H I J K“ benutzt.

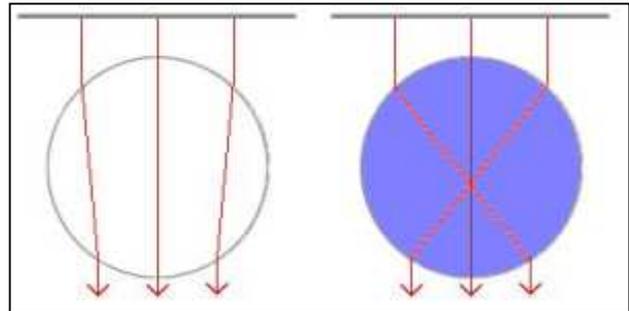


Auf dem linken Bild steht das leere Glas vor der Schrift, die sich leicht verzerrt, sich aber ansonsten richtig herum lesen lässt.

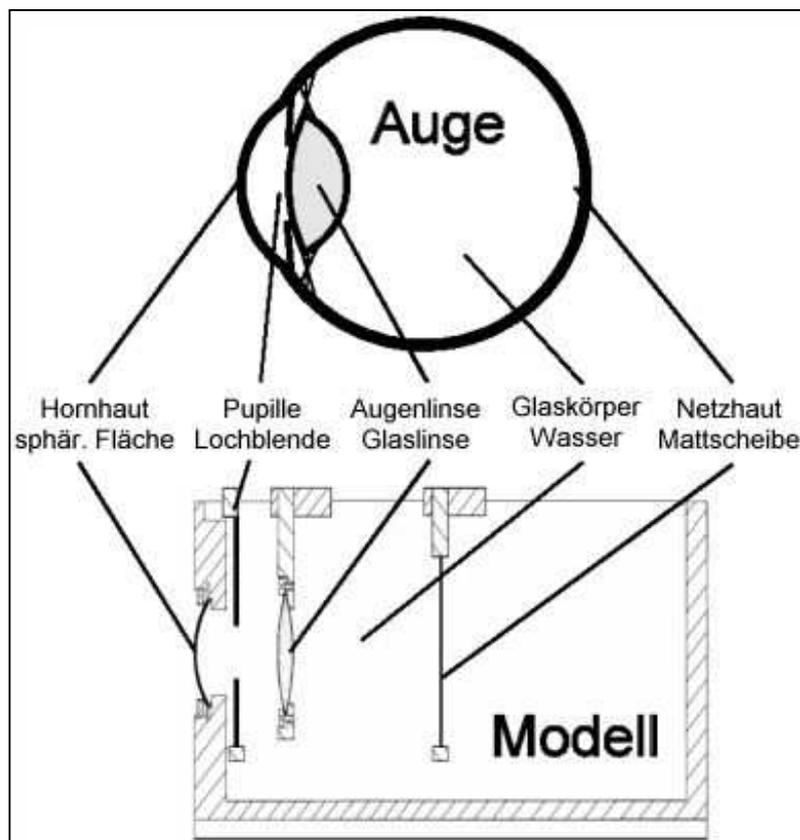
Beim rechten Bild wurde nun das Glas mit Wasser gefüllt. Die Schrift erscheint nun spiegelverkehrt.

Rechts sieht man die beiden vereinfacht dargestellten Strahlengänge durch das Glas.

Durch die höhere Brechzahl des Wassers im Vergleich zur Luft, ist der Brechwinkel beim rechten Bild im Inneren größer als der äußere. Dieser Versuch kann als anschauliche Darstellung der Bildumkehrung von Gruppe A durchgeführt werden.



Als letztes soll noch kurz der Bau eines Augenmodells angesprochen werden, wie er z.B. von Gruppe C in Angriff genommen werden könnte.



Schritt für Schritt werden die bekannten Teile des Auges durch entsprechende Gegenstücke aus der Optik ersetzt.

3.5 Varianten

Alternativ zur Aufspaltung der Gruppen nach Altersvorgaben können auch Arbeitsaufträge vergeben werden, die sich thematisch stark unterscheiden.

So könnte sich eine Gruppe mit dem biologischen Aufbau, eine weitere mit den chemischen Abläufen und eine dritte mit den physikalischen Abbildungseigenschaften beschäftigen.

Auch eine Aufspaltung in rein physikalische Themen (Farbsehen; Abbildung; Photometrie) wäre möglich, würde in diesem Fall jedoch in Konflikt mit der weiteren Planung der Projektwoche stehen.

4. Farbenlehre: 2. Tag (A.W.)

4.1 Ziele und Inhalte des Projekttages

Am zweiten Tag der Projektwoche sollen die wichtigsten Aspekte zum **Farbsehen** erarbeitet werden.

Erster Anknüpfungspunkt ist die Zerlegung von weißem Licht in seine Spektralfarben. Ausgehend davon soll auf biologischer Ebene das Farbsehen mittels verschiedener Sehzellen so weit wie möglich geklärt werden. Je nach Altersstufe werden dazu verschieden komplexe Experimente aufgebaut und dokumentiert. Neben den rein physikalischen Lernzielen sollen zusätzlich fachübergreifende Methoden gefördert werden: das Arbeiten in einer Gruppe, das Recherchieren und Verarbeiten von Informationen in der Bibliothek und im Internet, das Austauschen von Informationen mit Fachspezialisten (Biologielehrer), das Zusammenarbeiten mit anderen Gruppen sowie das Dokumentieren der wichtigsten Kernaussagen in Wort und Bild.

Zu **Beginn des Projekttages** erarbeiten alle Projektteilnehmer zusammen eine grobe Inhaltsübersicht zum Farbsehen. Die Schülerinnen und Schüler machen Vorschläge, welche mit Hilfe des Lehrers sinnvoll gegliedert werden. An der Tafel wird eine sogenannte „Mindmap“ festgehalten, welche die wichtigsten Aspekte zum menschlichen Sehen beinhaltet. Diese „Mindmap“ könnte wie folgt aussehen:



Abgesehen von den Inhalten der einzelnen Gruppen sollen alle Projektteilnehmer zum Schluss des Tages Grundkenntnisse zu folgenden Bereichen verinnerlicht haben:

- Biologische Funktionsweise des Farbsehens

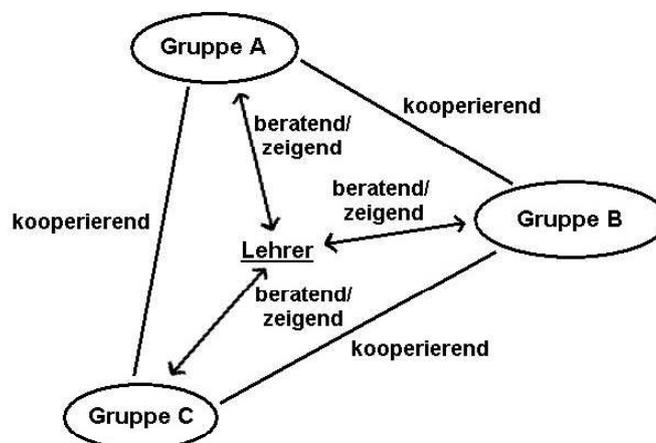
- Kurze Erklärung des zeitlichen Auflösungsvermögens, der Adaption, der Farbmischungen und der Körperfarben
- Einordnung von Licht in die Theorie der elektromagnetischen Wellen und Bedeutung für den menschlichen Sehapparat (Kategorie C ausführlich)

4.2 Organisationsstruktur

Ausgehend von dieser inhaltlichen Gliederung ist es sinnvoll, die Teilnehmer nach der Einführungsphase in **drei Kategorien** zu gruppieren: Die Gruppe der Kategorie A (Klassenstufe 10-11) erarbeitet sich im Folgenden die biologischen Grundlagen des Farbensehens und führt einfache Versuche zur additiven bzw. subtraktiven Farbmischung durch. Die Kategorie C weiter fortgeschrittener Schülerinnen und Schüler der Oberstufe 12 und 13 bekommt die Aufgabe, die Erfahrungen der Gruppe A tiefgreifender im Rahmen des Wellenmodells von Licht zu deuten und entsprechende Versuche aufzubauen. Ebenfalls können sie nach anspruchsvollen biologischen Theorien des Farbensehens recherchieren. Um eine bestmögliche Präsentation aller Experimente und Informationen in einem Endprodukt zu realisieren, bilden erfahrene und interessierte Schüler die Kategorie B (Klassenstufe 11-12). Diese sollen sich zuerst mit der entsprechenden Photo- bzw. Kameraausrüstung vertraut machen. Zusätzlich erhalten sie den Auftrag, nach weiteren interessanten Phänomenen des Farbensehens im Internet zu recherchieren.

Insgesamt stehen den Gruppen die Schulbibliothek, Computerarbeitsplätze mit Internetanschluss, Plakatwände, eine Digital-Videokamera und entsprechende Experimentiergeräte zur Verfügung. Großen Wert soll zunächst auf die Eigenverantwortlichkeit der jeweiligen Gruppen gelegt werden, d.h. jede Gruppe plant ihr Teilgebiet selbst, mitsamt den möglichen Fragestellungen und Experimenten. Der Lehrer hat lediglich die Funktion, bei organisatorischen und inhaltlichen Problemen Hilfestellungen zu geben.

Die „Verteilung der Themen“ für den zeitlich größten Anteil des Tages soll jedoch nicht so geschehen, dass jede Gruppe nur für sich allein arbeitet. Vielmehr soll unsere Kategorienbildung die Kommunikation zwischen den Gruppen fördern:



In diesem Sinn soll der Tag auch mit einer kurzen Präsentationsrunde unter den Projektteilnehmern abgeschlossen werden, in der die wichtigsten Inhalte und Endprodukte vorgestellt werden.

4.3 Mögliche Fragen und Experimente

Kategorie A:

- Versuch zum kontinuierlichen Spektrum von weißem Licht (Dispersion am Prisma)
- Wie funktioniert das Farbsehen biologisch?
- Versuch zur additiven Farbmischung mit dem Spiegelsystem
- Versuch zur subtraktiven Farbmischung mit dem Projektor und/oder dem Farbkasten
- Farbaddition am Beispiel der rotierenden Farbenscheibe
- Welche Rolle spielt das zeitliche Auflösungsvermögen?
- Was ist Adaption?

Kategorie B:

- Dokumentation der Experimente mit Hilfe der Digital-Kamera und entsprechender Bearbeitung am Computer
- Demonstration des farbigen Simultankontrastes am Computer und Begründung
- Demonstration farbiger Nachbilder am Computer und Begründung
- Wie entstehen die Farben am Fernseher?

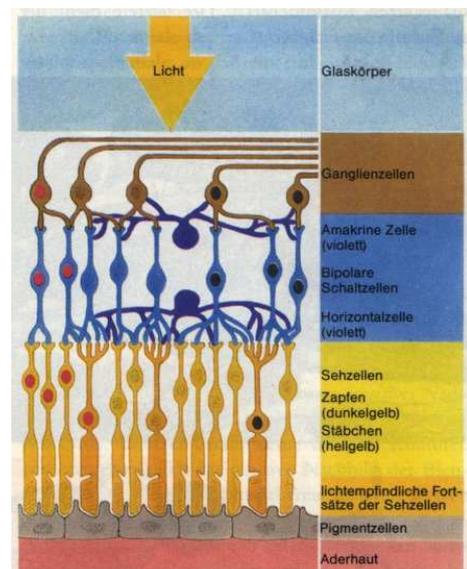
Kategorie C:

- Versuch zum kontinuierlichen Spektrum von weißem Licht (Beugung am Gitter): Licht als elektromagnetischen Welle
- Wie hängt die Empfindlichkeit der verschiedenen Zapfentypen von der Wellenlänge ab?
- Wie werden die Farbreize im Gehirn verarbeitet? (Hering'sche Vierfarbentheorie)
- Untersuchung von Farbfiltern mit Hilfe des kontinuierlichen Spektrums
- Sichtbarmachen der UV-Strahlung mit Hilfe eines Zinksulfid-Schirms

4.4 Darstellung von ausgewählten Versuchen

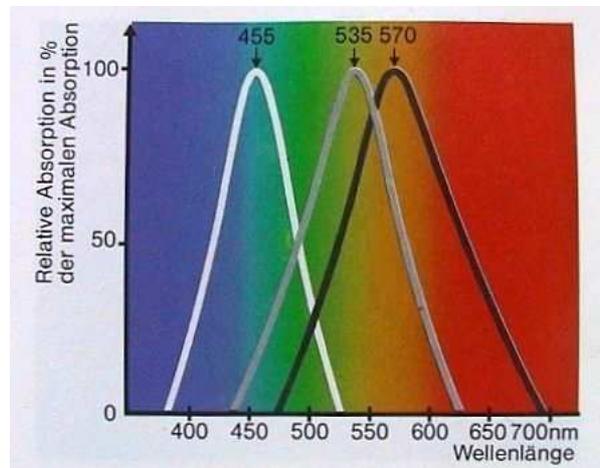
An dieser Stelle möchten wir exemplarisch zwei Aspekte des Farbsehens darstellen, erstens die biologischen Grundlagen des Farbsehens und zweitens ein Versuch zur Demonstration der beiden wichtigsten Farbmischvorgänge.

Aufgrund biologischer Untersuchungen weiß man heute, dass bei der Reizaufnahme zwei Arten von Sehzellen eine Rolle spielen: die hell-dunkel-empfindlichen Stäbchen und die farbeempfindlichen Zapfchen. Dies zeigt die Abbildung zum **Aufbau der Netzhaut**.³



³ Linder Biologie 1989, S. 223.

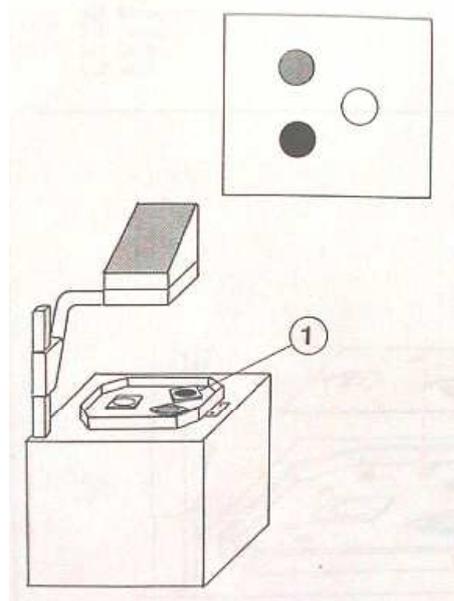
Bei den Zäpfchen gibt es wiederum drei Typen. Jede Zapfenart ist jedoch nicht nur für das Licht einer bestimmten Farbe empfindlich, sondern für einen ganzen Spektralbereich. Die eine **Zapfensorte** ist für orangerotes Licht am empfindlichsten, die andere für grüngelbes und die dritte für blaues:⁴



Gelbes Licht beispielsweise reizt demnach die rot- und grünempfindlichen Zapfen. Dieselben Zapfen werden aber auch durch rotgrünes Mischlicht gereizt. In beiden Fällen haben wir denselben Farbeindruck, obwohl das rotgrüne Mischlicht kein Gelb enthält.

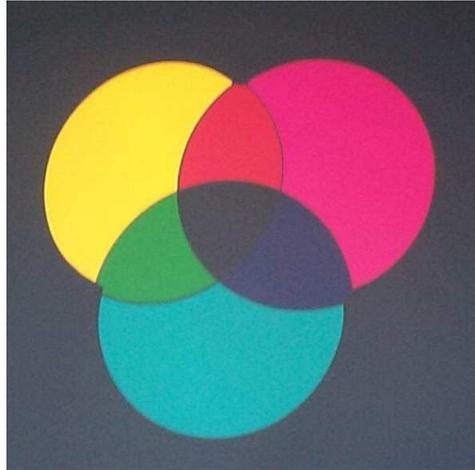
Diese Phänomene der Farbmischung kann die Gruppe A mit einem einfachen Experiment demonstrieren. Im ersten Teil durchleuchtet man mit Hilfe eines herkömmlichen Schulprojektors drei sich teilweise überlagernde Farbfilter (Abbildung rechts) und betrachtet das entstehende Bild an der Projektionswand.

Diese sogenannte **subtraktive Farbmischung** zeigt, dass jeder Farbfilter nur Licht eines begrenzten Farbbereiches durchlässt. Die Überlagerung der drei Filter Rot, Gelb und Blau lässt kein Licht mehr durch. Bei zwei Filtern ergeben sich andere subtraktive Mischfarben.



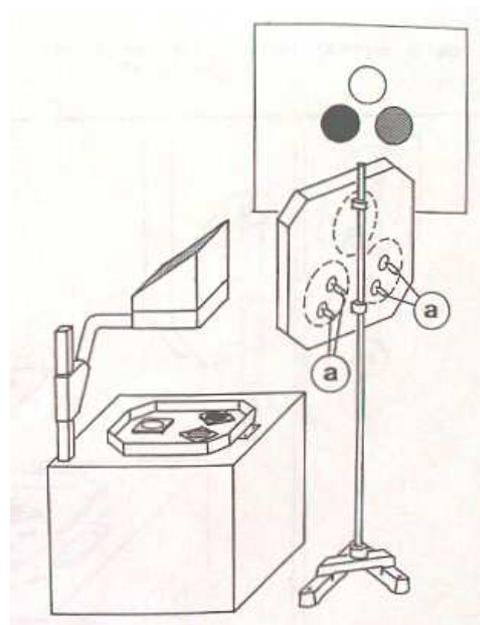
⁴ Linder Biologie 1989, S. 227.

Subtraktive Farbmischung:

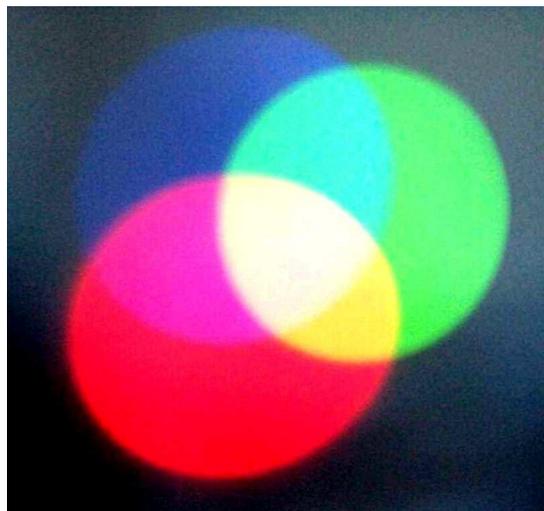


Im zweiten Teil stellt man rechts neben den Projektor einen Stativfuß mit einer Stativstange, an der man ein Spiegelsystem befestigt hat (Abbildung rechts). Den Projektionskopf dreht man um 90° , so dass das Licht dreier getrennter Farbfilter auf das Spiegelsystem fällt, das um 45° gegen die Richtung des einfallenden Lichtes gedreht ist. Nun justiert man die Spiegel noch so, dass an der Wand die drei getrennten scharfen Farbfelder teilweise überlagern.

Im Gegensatz zum ersten Teil erscheinen die drei Farben Rot, Grün und Blau zusammen weiß. Diese **Farbmischung** nennt man **additiv**, weil der Farbeindruck des Menschen durch die Summe aller Farbreize zustande kommt.



Additive Farbmischung:



Eine ausführlichere Beschreibung der gesammelten Informationen und Experimente stellen wir auf der Präsentationswebsite (CD) zur Verfügung.

5. Augenuntersuchungen: 3. Tag (S.A.)

5.1 Ziele und Inhalte des Projekttages

Im Mittelpunkt des dritten Tages der Projektwoche stehen Untersuchungsmethoden des menschlichen Auges.

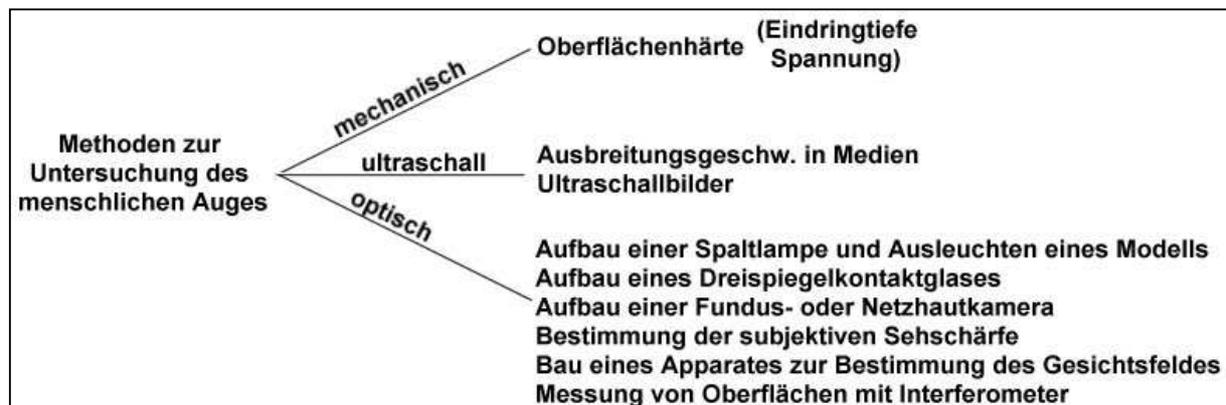
Dieser Projekttag gliedert sich dabei grob in zwei Teile, zum einen in den eher theoretischen Teil, der in der Schule stattfindet und zum anderen in einen Besuch einer Augenklinik oder eines Augenarztes, um Untersuchungsmethoden kennen zu lernen.

Zur Funktionsprüfung und Untersuchung des visuellen Systems werden die unterschiedlichsten Beobachtungs-, Beurteilungs- und Messverfahren angewendet. Man unterscheidet dabei qualitative und quantitative Verfahren.

Im wesentlichen bestehen erstere aus der Inspektion des Auges mit vergrößernden Hilfsmitteln und der fotografischen Dokumentation. Von Interesse sind hierbei vor allem die Untersuchungen des vorderen und hinteren Augenabschnittes, während die Inspektion des äußeren Auges nicht weiter beschrieben werden muss.

Bei den quantitativen Verfahren werden entweder mit objektiven Meßmethoden Daten zu den Funktionen des visuellen Systems erhoben, oder es werden mit subjektiven Verfahren die Antworten oder Reaktionen von Patienten auf definierte Reize ausgewertet.

Es soll nun ein Überblick über die möglichen Untersuchungsmethoden gegeben, sowie deren Funktionsweise verstanden werden.



5.2 Organisationsstruktur

Da es eine Vielzahl von Augenuntersuchungsmethoden gibt, lohnt es sich hier in Absprache mit dem die Exkursion betreuenden Arzt einen Katalog von Verfahren aufzustellen, die im Vorfeld besprochen werden können.

Da mit den Verfahren auch die erforderlichen theoretischen Kenntnisse sehr stark schwanken, scheint es ratsam, die Projektteilnehmer in verschiedene Gruppen aufzuspalten. Die Gruppen können sich dann mit entsprechender Literatur versorgen (zusätzlich Internet) mit den Untersuchungsmethoden auseinandersetzen. Bevor dann im zweiten Teil des Tages der Ausflug zur Augenklinik/-praxis erfolgt, sollen die Methoden vorgestellt werden. Auch hier steht den Gruppen die komplette Palette der Medien für ihre Kurzpräsentation zur Verfügung.

5.3 Mögliche Experimente

Mechanische Methoden:

- Bau eines Apparates zur Untersuchung der Oberflächenhärte (Eindrücktiefe)

Optische Methoden:

- Aufbau einer Spaltlampe und Ausleuchten eines Modells
- Aufbau eines Dreispiegelkontaktglases
- Aufbau einer Fundus- oder Netzhautkamera
- Bestimmung der subjektiven Sehschärfe
- Bau eines Apparates zur Bestimmung des Gesichtsfeldes
- Messung von Oberflächen mit Interferometer

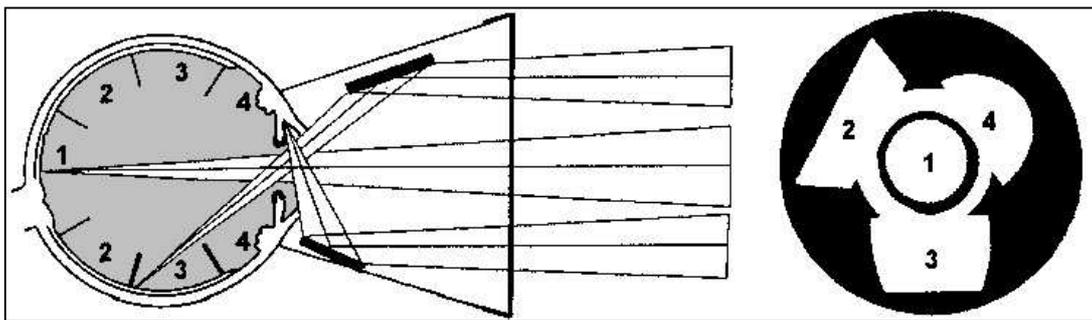
Ultraschall-Untersuchungen:

- Messung der Ausbreitungsgeschwindigkeit von Ultraschall in verschiedene Medien
- Aufnahme eines Ultraschallbildes

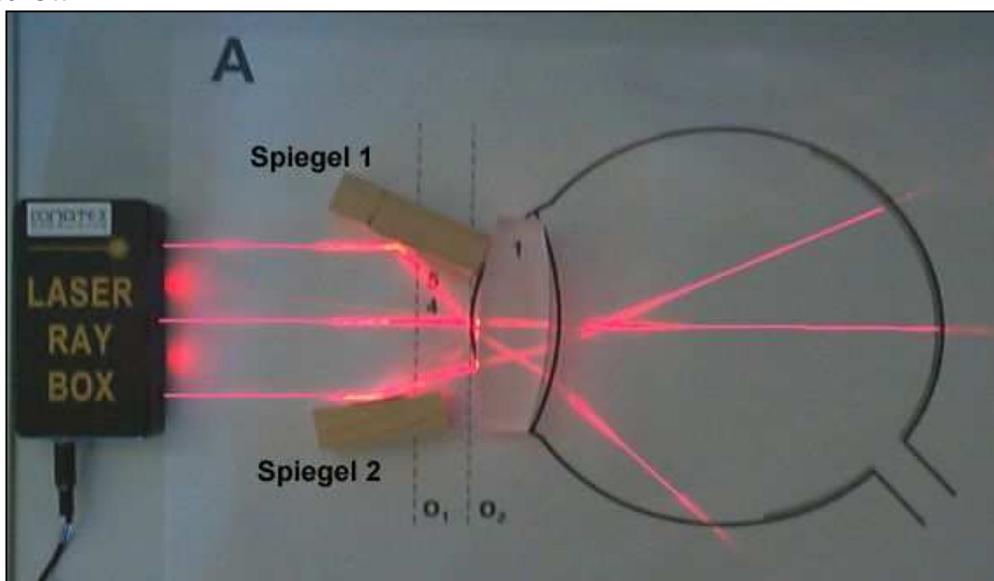
5.4 Darstellung von ausgewählten Versuchen

Exemplarisch für den dritten Projekttag soll der Aufbau eines Dreispiegelkontaktglases gezeigt werden.

Zur Betrachtung der Kammerwinkelregion der vorderen Augenkammer muss durch ein plankonvexes Kontaktglas die Hornhautbrechkraft aufgehoben werden. Der fast tangentielle Einblick ist aufgrund des Unterschieds des Brechungsindex von Luft und vorderer Augenkammer nur auf diese Weise möglich.



Die drei unterschiedlich schräg angeordneten Spiegel ermöglichen eine Untersuchung von Vorderkammer (4), peripherem Netzhautbereich (3) und des Gebietes am Rande des Zentrums (2). Das Zentrum (1) selbst, beobachtet man direkt ohne Spiegel. Für den Versuch bauen wir in der einfachen Version einen zweidimensionalen Nachbau auf dem bereits vom ersten Versuchstag bekannten Magnetbrett.



An der „Laser-Ray-Box“ haben wir zwei Strahlen abgeschirmt, so dass nur noch die drei für uns interessanten Beobachtungsstrahlen zu sehen sind. Der zentrale Strahl geht ohne Ablenkung gerade ins Zentrum der Netzhaut.

Spiegel 1 lenkt den Beobachtungsstrahl in den peripheren Bereich der Netzhaut, während Spiegel 2 den Abschnitt zwischen Zentrum und Peripherie abdeckt.

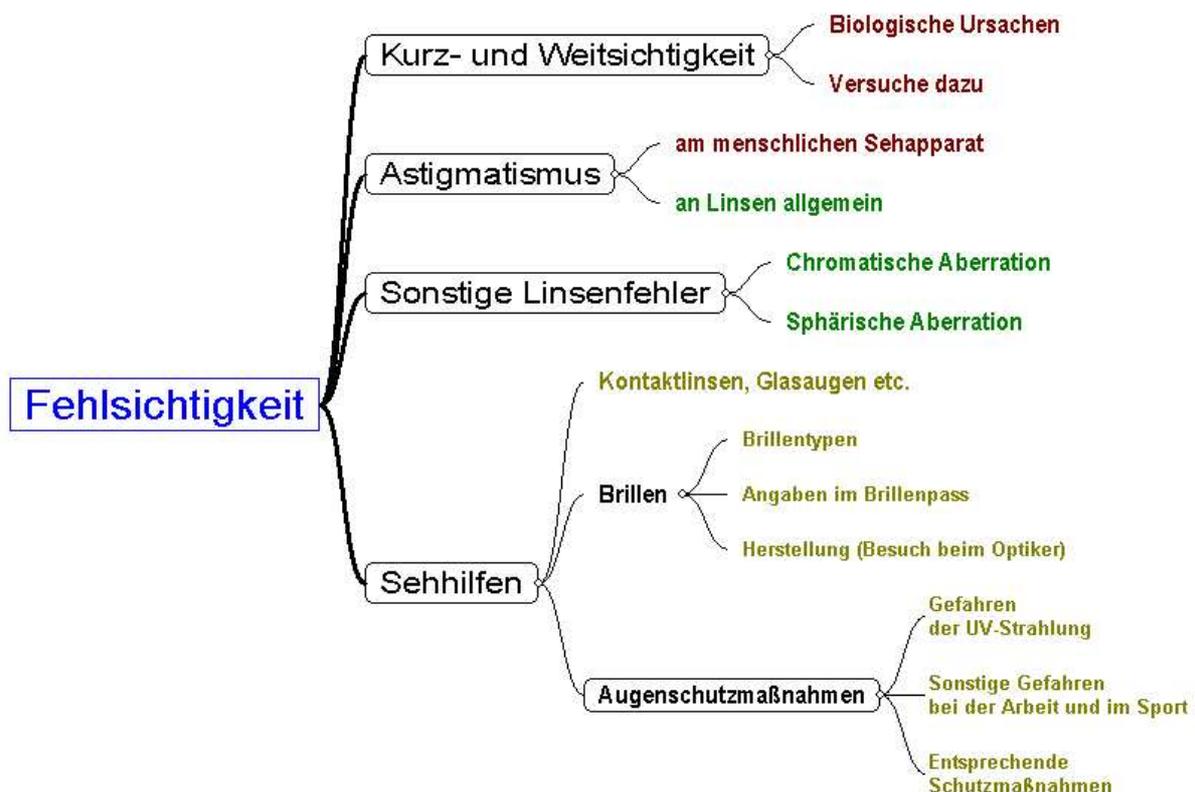
Wie schon am ersten Versuchstag gilt es auch hier auf einen sorgsamem Umgang mit dem Laser zu achten.

6. Fehlsichtigkeiten, Sehhilfen und Augenschutzmaßnahmen: 4. Tag (A.W.)

6.1 Ziele und Inhalte des Projekttages

Nachdem die Teilnehmer am vorherigen Tag ausführlich Methoden zur Augenuntersuchung kennengelernt haben, folgen alltägliche Probleme des menschlichen Sehapparates. Diese fassen wir zusammen unter **Fehlsichtigkeiten, Sehhilfen und Augenschutzmaßnahmen**. Neben den rein physikalischen Lernzielen sollen zusätzlich fachübergreifende Methoden gefördert werden: das Arbeiten in einer Gruppe, das Recherchieren und Verarbeiten von Informationen in der Bibliothek und im Internet, das Austauschen von Informationen mit Fachspezialisten (Optiker), das Zusammenarbeiten mit anderen Gruppen sowie das Dokumentieren der wichtigsten Kernaussagen in Wort und Bild.

Zu **Beginn des Projekttages** erarbeiten alle Projektteilnehmer zusammen eine grobe Inhaltsübersicht zum Oberthema Fehlsichtigkeit, Sehhilfe und Augenschutz. Die Schülerinnen und Schüler machen Vorschläge, welche mit Hilfe des Lehrers sinnvoll gegliedert werden. An der Tafel sollen die wichtigsten Aspekte zum Tag festgehalten werden. Dies könnte wie folgt aussehen:



Abgesehen von den Inhalten der einzelnen Gruppen sollen alle Projektteilnehmer zum Schluss des Tages Grundkenntnisse zu folgenden Bereichen verinnerlicht haben:

- Biologische Ursachen der Kurz- und Weitsichtigkeit
- Typen von Sehhilfen
- Bedeutung der Angaben auf dem Brillenpass
- Maßnahmen zur Vorbeugung von Gefahren für das Auge

6.2 Organisationsstruktur

Wie an den vorherigen Tagen soll aufgrund der unterschiedlichen Wissens- und Interessenlage eine Aufteilung der Gesamtgruppe in **drei Kategorien** erfolgen. Eine erste Unterscheidung ergibt sich aus dem Schwierigkeitsgrad.

Fortgeschrittene Schüler der Kategorie C (Klassenstufe 12-13) befassen sich mit komplexeren Phänomenen, wie z.B. dem Astigmatismus und der schädlichen Wirkung von UV-Strahlung. Die Gruppen A und B widmen sich dagegen den üblichen Fragen zu Fehlsichtigkeiten und Sehhilfen. Damit jeder Schüler einmal die Möglichkeit hat, mit einer Digitalkamera umzugehen, schlagen wir folgende Differenzierung vor: Die Gruppe A (Klassenstufe 10-11) besucht einen Optiker, der sich bereit erklärt hat, den Schülern die wichtigsten Geräte bei der Brillenherstellung zu zeigen. Hier steht demnach das Gespräch mit einem Spezialisten im Vordergrund. Zugleich soll der Prozess der Fertigung mit einer Digital-Videokamera festgehalten werden. Im Gegensatz zu dieser sehr praxisnahen Perspektive bleibt die Gruppe B (Klassenstufe 11-12) am Schulort selbst und führt grundlegende Experimente zur Kurz- und Weitsichtigkeit, den entsprechenden Sehhilfen und anderen Linsenfehlern durch. Vor allem soll diese Gruppe aber deutlich machen, worin die biologischen Ursachen von Kurz- und Weitsichtigkeit liegen.

Um die Zusammenarbeit der Schüler an diesem Tag zu fördern, bekommt jede Gruppe den Auftrag, sich mit den Angaben auf dem sogenannten Brillenpass zu beschäftigen. Gruppe A befragt dazu den Optiker. Gruppe B fasst kurz die wichtigsten Informationen zu Linsentypen zusammen und die Fortgeschrittenen der Kategorie C sollen den Brillenpass im Detail erklären können.

Zur Verfügung stehen den Projektteilnehmern alle Medien wie bisher. Gegen Ende des Tages sollen wiederum die wichtigsten Inhalte und Materialien für den sogenannten Präsentationstag vorliegen. Falls notwendig, können gewisse Aspekte am dafür vorgesehenen 5. Tag noch präsentationsgerecht aufbereitet werden.

6.3 Mögliche Fragen und Experimente

Kategorie A:

- Was bedeuten konkret die Angaben auf dem sogenannten Brillenpass? Was haben diese Angaben mit der Fertigung der Brillenlinse zu tun?
- Welches sind heutzutage die wichtigsten Sehhilfen? Welche Arten unterscheidet man?
- Kurze Videodokumentation zur Herstellung einer Brillenlinse
- Welche Bedeutung haben Schutzbrillen im Chemieunterricht und beim Schweißen? Welche Rolle spielen sogenannte Sportbrillen?

Kategorie B:

- Untersuchung vorhandener Brillen auf Gemeinsamkeiten und Unterschiede
- Welche Vor- und Nachteile haben Kontaktlinsen?
- Demonstration von Kurz- und Weitsichtigkeit sowie deren Korrektur an der Laserbox
- Welches sind die biologischen Ursachen der Kurz- und Weitsichtigkeit?
- Vergleich der Angaben eines Brillenpasses mit den Kennzeichen einer Linse
- Demonstration von chromatischer und sphärischer Aberration an der Magnettafel

Kategorie C:

- Was bedeuten konkret die Angaben auf dem sogenannten Brillenpass?
- Experiment zum Linsen- und Augenfehler „Astigmatismus“
- Warum ist direkte Sonneneinstrahlung für das Auge des Menschen gefährlich?
- Sammeln von Materialien zum Schutz der Augen vor UV-Strahlung: Sonnenbrillen, Vorsichtsmaßnahmen bei einer Sonnenfinsternis

6.4 Darstellung von ausgewählten Versuchen

Die wichtigsten Aspekte des vierten Projekttagess sind die Kurz- und die Weitsichtigkeit, zugehörige Sehhilfen und vor allem die biologischen Ursachen.

Anknüpfungspunkt der **biologischen Betrachtungen** kann der Vergleich zwischen einer Kamera und einem Menschenauge sein. Gemäß der bekannten Abbildungsgleichung legen je zwei der drei Größen Gegenstandsweite, Bildweite und Brennweite die dritte fest. Das bedeutet, dass ein System auf verschiedene Abbildungsentfernungen bei vorgegebener Brennweite durch Variation eines Parameters eingestellt werden muss. Bei fast allen optischen Systemen wird die Abbildungsoptik axial verschoben und so ein scharfes Bild erzeugt. Beim menschlichen Auge erfolgt die Einstellung jedoch durch eine Verformung der Augenlinse. Der sogenannte Ziliarmuskel, welcher über Zonulafasern mit der Linse verbunden ist, ist beim Sehen in der Nähe entspannt. Die Linse hat dann eher kugelförmige Gestalt und höhere Brechkraft. Umgekehrt wird beim Sehen in die Ferne der Muskel gespannt und die Linse flacher. Um zwischen Rechtsichtigkeit und Fehlsichtigkeit zu unterscheiden, führt man folgende Objekte ein: Der Nahpunkt ist derjenige im Außenraum fixierte Punkt, der bei maximaler Akkomodation auf die Netzhaut abgebildet wird. Der Fernpunkt ist dagegen derjenige Punkt im Außenraum, der bei völlig entspannter Akkomodation auf die Netzhaut abgebildet wird.

Kurzsichtig ist ein Auge, wenn der Fernpunkt sich in einer Entfernung von weniger als 5m vor dem Auge befindet. Aufgrund einer zu hohen Brechkraft, gemessen an der Baulänge des Auges, liegt der Brennpunkt für parallel einfallendes Licht vor der Netzhaut. Dieses Auge kann also nur für kürzere Entfernungen eine scharfe Abbildung erzeugen. In den meisten Fällen liegt bei einer Kurzsichtigkeit eine Verlängerung der Achsenlänge des Auges vor, während die Brechkräfte von Linse und Hornhaut etwa einem Normalauge entsprechen (Gullstrand'sches Normalauge).

Weitsichtig ist ein Auge, wenn die Brechkraft des Systems gemessen an seiner Baulänge zu gering ist. Die sogenannte Altersweitsichtigkeit geht einher mit einer Schwächung des Ziliarmuskels und ist daher eine direkte Folge der Abnahme des Akkomodationsvermögens. Dies hat zur Folge, dass kein reeller Fernpunkt existiert, der vor dem Auge liegt, sondern nur ein virtueller hinter dem Auge.

Beide Fälle können die Schüler an dem Laserbox-Augenmodell von Conatex demonstrieren:

Abbildung bei Kurzsichtigkeit

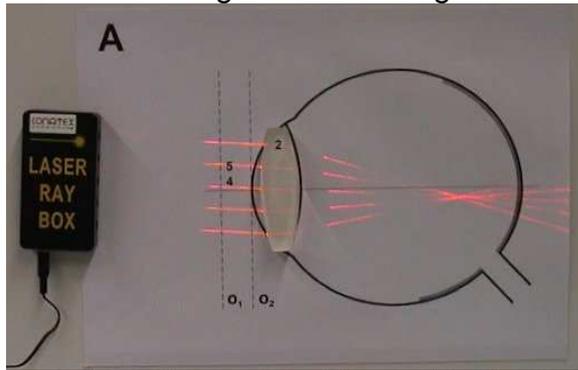
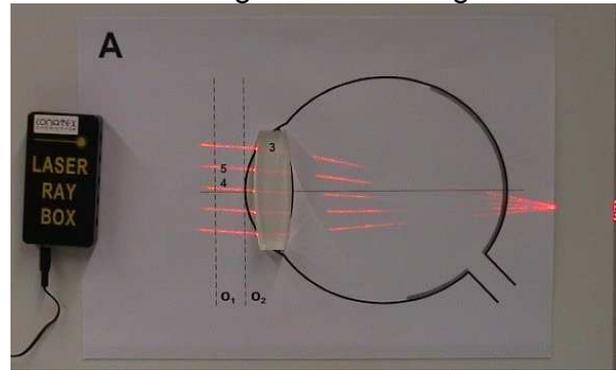


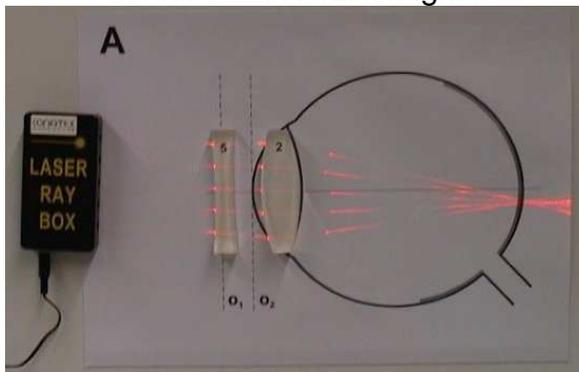
Abbildung bei Weitsichtigkeit



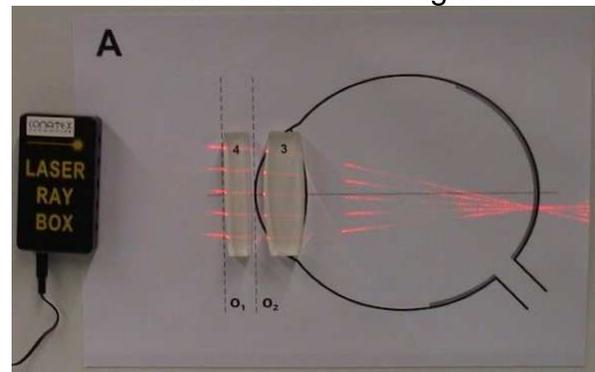
Nachdem die Teilnehmer der Kategorie B die biologischen Ursachen der Kurz- und Weitsichtigkeit untersucht haben, besteht die Möglichkeit, mehrere **Brillen** zu beschreiben. Im Allgemeinen werden dabei zwei Typen auffallen. Die Brillen des ersten Typs sind in der Mitte dünner als am Rand, werfen einen Schatten und zu lesender Text erscheint kleiner als in Wirklichkeit. Zudem laufen parallele Laserstrahlen auseinander. Die Brillen des zweiten Typs zeigen ein umgekehrtes Verhalten. Vergleicht man diese beiden Typen mit den beiden wichtigsten Linsentypen Sammellinse und Zerstreuungslinse, wird klar, dass jedem Typ eine zu korrigierende Fehlsichtigkeit zugeordnet werden kann.

Beide Fälle können die Schüler an dem Laserbox-Augenmodell von Conatex demonstrieren. Eine Zerstreuungslinse korrigiert die Kurzsichtigkeit, eine Sammellinse die Weitsichtigkeit. Damit der neue Fernpunkt des Auge-Brille-Systems ins Unendliche rückt, muss der Brennpunkt des Korrektionsglases im Fernpunkt des unkorrigierten Auges liegen.

Sehhilfe bei Kurzsichtigkeit



Sehhilfe bei Weitsichtigkeit



Eine ausführliche Beschreibung der gesammelten Informationen und Experimente stellen wir auf der Präsentationswebsite (CD) zur Verfügung.

7. Optische Täuschungen: 5. Tag (S.A.)

7.1 Ziele und Inhalte des Projekttages

An diesem letzten Projekttag vor der abschließenden Präsentation sollen zum einen die unterschiedlichen Typen von optischen Täuschungen vorgestellt und verstanden werden. Zum anderen soll der zweite Teil dem endgültigen Zusammenstellen der Präsentation dienen.

Inhaltlich sollen an diesem Tag die unterschiedlichen Typen von Täuschungen vorgestellt werden. Es sollen geklärt werden, worin die Ursache der Täuschungen liegt. Mögliche Punkte sind dabei die Entstehung aufgrund biologischer Merkmale (z.B. Kontrastsehen) und Fehlinterpretationen im Gehirn. Beide Punkte lassen sich weiter unterteilen.

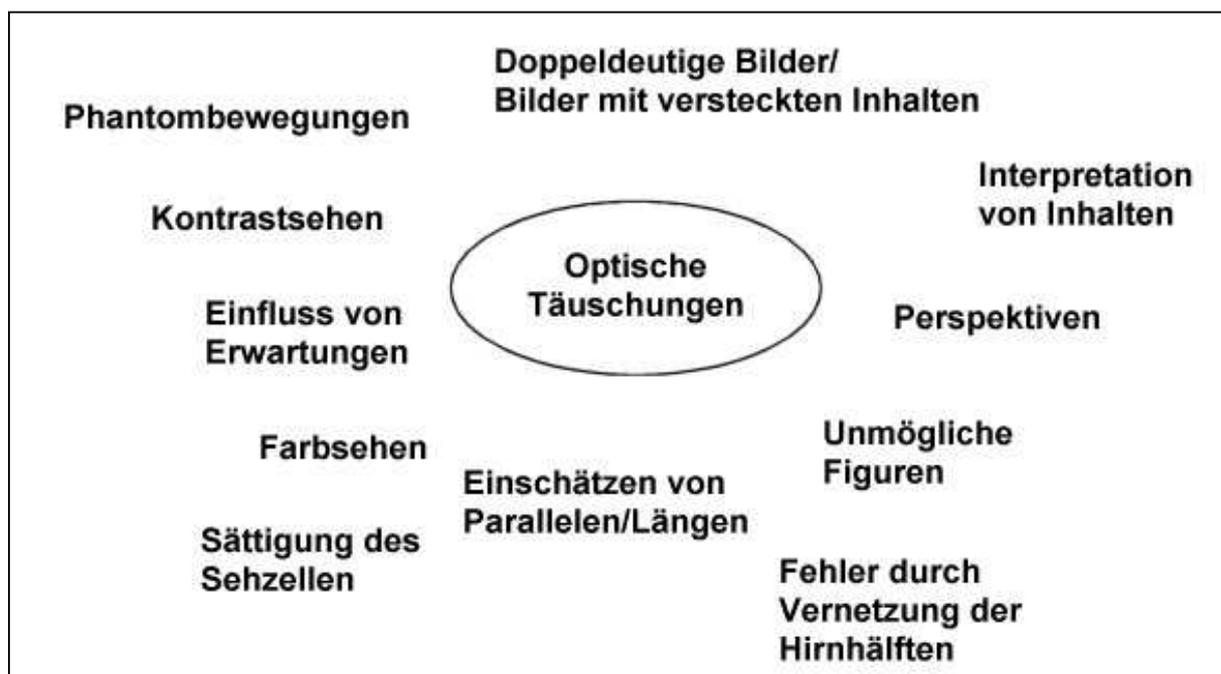
Im Anschluss an den Bereich der optischen Täuschungen soll die abschließende Präsentation vorbereitet werden.

7.2 Organisationsstruktur

Der erste Teil des letzten Tages der Projektwoche soll sehr offen und frei gestaltet werden.

Den Schülern wird entweder eine Sammlung von verschiedensten Optischen Täuschungen zur Verfügung gestellt, die sie dadurch ergänzen können, dass sie weitere von zu Hause mitbringen sowie durch Recherche im Internet.

Aufgabe ist es nun (nachdem die vorhandenen Exemplare ausgiebig betrachtet wurden), diese in Gruppen zu ordnen und nach der Ursache der Täuschung zu forschen. Je nach Anzahl der Teilnehmer kann dies mit der ganzen Gruppe geschehen, oder man teilt in kleinere Einheiten auf.



Hat man die vorhandenen Trugbilder durchschaut, kann man daran gehen, eigene zu erstellen. Diese können auf den vorliegenden Beispielen basieren, auf dem in der Woche gelernten Wissen aufbauen oder aber auch Kombinationen aus Vorhandenem sein.

Dies ist eine Arbeit, die fast nahtlos in die Vorbereitung der Präsentation übergehen kann. Je nach Vorliebe kann man sich an interaktiven Beispielen am Computer versuchen, Fotografien anfertigen, Versuche aufbauen oder sich journalistisch austoben. Die Resultate werden näher unter Punkt 8 besprochen und sind auf der beiliegenden CD ausführlich dargestellt.

7.3 Mögliche Experimente

- Kontrastsehen
- falsche Perspektiven
- Abstumpfung roter Sehzäpfchen
- Aufbau und Aufnahme von Illusionen

7.4 Darstellung von ausgewählten Versuchen

Ein leicht aufzubauendes Experiment zur Veranschaulichung der Abstumpfung der roten Sehzäpfchen soll hier exemplarisch vorgestellt werden. Weiterhin soll der Bau eines Drachen gezeigt werden, der seinem Beobachter mit Blicken folgt. Mehr dazu und zu weiteren Experimenten ist auf der beigelegten CD enthalten.

Um den Versuch zur Abstumpfung der Sehzellen durchzuführen benötigt man lediglich ein Farbfoto sowie eine rote Glühbirne. Dabei sollte das Foto einen gewissen Rotanteil besitzen, da sonst der Effekt kaum wahrnehmbar auftritt.

Zunächst betrachtet man sich das Foto um sich einen Eindruck der Ausgangssituation zu verschaffen. Anschließend blickt man wenigstens 30 Sekunden in die rote Glühlampe. Man sollte darauf achten, keine allzu starke Lampe (z.B. Reflektorstrahler) zu wählen. Betrachtet man sich anschließend das gleiche Foto erneut, so sind die Signalgeber der rotempfindlichen Sehzäpfchen soweit erschöpft, dass sie keinen Reizimpuls mehr abgeben können.

Das Foto erscheint nun so wie im rechten Teil des Bildes unten nachgebildet. Der Rotanteil wird nicht mehr wahrgenommen.



Man kann nun nur noch die blauen und gelben Anteile wahrnehmen. So erscheinen z.B. das Wasser und die kleinen Fische im Hintergrund nahezu unverändert, während die roten Korallen und der dunkelgelbe Fisch nun blau-grün wirken.

Nach gut einer Minute, wenn sich die Zäpfchen wieder „aufgeladen“ haben, verschwindet der Effekt dann wieder.

Je nachdem wie weit man am zweiten Projekttag in den Bereich der Hering'schen Vierfarbtheorie vorgedrungen ist, kann/muss die Erklärung des Phänomens natürlich weitergehend erfolgen.

Als Perspektivische Illusion kann ein Drachen gebaut werden, der dem Beobachter mit Blicken folgt. Diese perspektivische Illusion beruht auf der Projektion dreidimensionaler Gegenstände auf zwei Dimensionen. Durch den Versuch des Gehirns sich die fehlenden Informationen zu erschließen kommt es zu Fehlinterpretationen. Ein kurzer Film zu diesem Versuch befindet sich auf der CD.



7.5 Varianten

Während in diesem Unterrichtsmodell nun die optischen Täuschungen vorgegeben sind (bzw. zunächst recherchiert werden), kann man auch stärker auf Impulse aus der Teilnehmergruppe aufbauen und komplett auf Vorgaben verzichten. Zusammen mit den Schülern können bekannte Täuschungen gesammelt und nachgebildet werden, um dann basierend auf dem erworbenen Wissen weitere zu kreieren.

8. Präsentation: 6. Tag (S.A., A.W.)

Die Präsentation des letzten Projekttagess soll auf verschiedensten Ebenen stattfinden. So ist das Ziel eine Darstellung mit folgenden Methoden:

- Vorführen von Versuchen
- Zusammenfassen auf Postern
- Erstellen einer Webseite zum Projekt
- Zusammenfassen der Ergebnisse in einem Projektheft welches alle Teilnehmer bekommen.

8.1 Vorführen von Versuchen

Hier sollen in einem separaten Bereich, z.B. in einem dafür reservierten Schulsaal, ausgewählte Experimente vorgeführt werden, die im Laufe der Woche von den Schülern unter Anleitung zusammengestellt wurden.

Dabei können einfachere Versuche in einer Dauerpräsentation aufgebaut werden, während kompliziertere Experimente in bestimmten Zeitintervallen von den Schülern vorgeführt und erklärt werden.

8.2 Zusammenfassen auf Postern

Jeder Projekttag soll auf wenigstens einem Poster dargestellt werden. Es soll jeweils ein Überblick über die erlernten Inhalte gegeben werden, aber auch besonders Spektakuläres oder Plakatives gezeigt werden.

8.3 Erstellen einer Webseite zum Projekt

Hier soll Besuchern der Webseite ein umfassendes Bild des Projektes vermittelt werden. Je nach Wunsch der Gruppe sowie der Anzahl der an der Erstellung beteiligten Schüler, kann nur kurz ein grober Überblick vermittelt werden oder aber auch eine Darstellung aller Inhalte, durchgeführten Experimente und Ergebnisse vermittelt werden.

Siehe dazu die beiliegende CD oder auch den Ausdruck in Anhang C.

8.4 Teilnehmerheft

Das Teilnehmerheft, das im Idealfall im Laufe der Woche miterstellt wird, ist hauptsächlich für die Projektteilnehmer (und die Leiter) vorgesehen. Es soll in umfassender Weise die fünf Projektstage in jedem Aspekt dokumentieren.

Neben einer Kurzdarstellung der Teilnehmer und des Inhaltes der einzelnen Tage, soll auch eine Darstellung der vorgetragenen Präsentationen, eine Dokumentation der Experimente und der Exkursionen in Wort und Bild erfolgen.

Je nach vorhandener Technik kann dies auch in digitaler Form geschehen und mit Bildmaterial ergänzt werden.

9. Fazit

Die Projektmethode ist unserer Ansicht nach kein Modell, welches den üblichen Frontalunterricht zu ersetzen vermag. Dennoch denken wir, dass es sich um eine lohnende Ergänzung handelt.

Vom starren Lehrervortrag losgelöst, stecken die Schüler hier selbsttätig Ziele und Wege ab. Die Lernziele sind also nicht nur inhaltlicher Natur, sondern umfassen auch Schlüsselqualifikationen des späteren, alltäglichen Lebens.

Der Lehrer steht nicht mehr im Mittelpunkt des Unterrichtsgeschehens, sondern übernimmt die Rolle eines Moderators.

Durch die Beschäftigung mit dem Aufbau und der Organisation einer Projektwoche haben wir gelernt, wie wir in unserem späteren Berufsalltag an eine solche Aufgabe herangehen können. Aus zeitlichen Gründen war es leider nicht möglich, unsere Ideen mit einer Schülergruppe in die Tat umzusetzen. Deshalb fehlt uns die Kontrolle und die Dynamik, welche durch das „Schüler-Feedback“ entsteht.

Dennoch glauben wir einen praktikablen Ansatz für die Durchführung einer Woche zum Thema „Das menschliche Sehen“ entwickelt zu haben.

10. Literatur

Frey 1993:

Frey K.: Die Projektmethode. 5. Auflage, Weinheim: Beltz Verlag, 1993.

Linder Biologie 1989:

Bayrhuber H. und Kull U. (Hg.): Linder Biologie. 20. Auflage, Stuttgart: J.B. Metzlersche Verlagsbuchhandlung und Carl Ernst Poeschel Verlag GmbH, 1989.

ANHANG A:

Ergebnisse der Literaturrecherche mit der physikdidaktischen Datenbank für die Sekundarstufe I/II „PhysDat“

Angegeben sind die mehr oder weniger relevanten Beiträge der physikdidaktischen Zeitschriften MNU (Der mathematisch-naturwissenschaftliche Unterricht), NIU-P (Naturwissenschaften im Unterricht – Physik), PDN-PH (Praxis der Naturwissenschaften – Physik) und PHYS (Physik in der Schule). Zusätzlich bietet die physikdidaktische Datenbank der Universität Wuppertal eine kleine Zusammenfassung der Artikel.

Relevante Beiträge zum Projekt

Erber D., Klee R.: Zwei Modelle zur Akkomodation des menschlichen Auges. MNU 1986(4), 233-237:

Es werden zwei Modelle zur Akkomodation des menschlichen Auges vorgestellt, die von jedem Lehrer selbst hergestellt werden können. Der Vorgang der Akkomodation kann mit Hilfe dieser Modelle wirklichkeitsnäher dargestellt werden, als dies bisher möglich war.

Campenhausen, C.v.: Farbsehen und Helligkeitskonstanz. MNU 1989(3), 143-152: Dieser Aufsatz führt von der Darstellung subjektiver Farbphänomene über die trichromatische Theorie und die Physiologie des Farbsehens zu der Erkenntnis, daß die Lichtrezeptoren mit ihren verschiedenen spektralen Empfindlichkeiten eine Bedeutung haben, die über das Farbsehen hinaus reicht. Sie sind eine notwendige Voraussetzung für zuverlässiges Sehen überhaupt, weil nicht nur die Farben, sondern auch die Helligkeitsunterschiede der Gegenstände, die man wahrnehmen möchte, von dem wechselhaften Sonnenlicht auf unserem Planeten abhängen.

Berge O.E.: Das menschliche Auge und das Sehen. NIU-P 2000(56), 46-51:

Der Basisartikel gibt einen Überblick über den Bau des Auges, seine physikalischen und einige seiner biologischen Eigenschaften. Es werden spezielle Funktionen und Eigenschaften des Auges angesprochen, wie seine Lichtempfindlichkeit und Hell-/Dunkeladaption, Augenbewegungen, die Einstellung von Linse und Iris sowie Nah-/Fernakkommodation. Ein kurzer Abschnitt ist den Sehphänomenen gewidmet, die nicht auf Eigenschaften des Auges, sondern auf Leistungen des Gehirns zurückzuführen sind.

Das Auge im Optik-Unterricht der Sekundarstufe I. NIU-P 2000(56), 52-56:

Wird das Auge im Optikunterricht behandelt, geht es letztlich meist um Abbildungen durch Linsen, oft um die Analogie zwischen Auge und Fotoapparat. Doch gerade der Vergleich von Auge und Fotoapparat stößt schnell an Grenzen. Darüber hinaus müssen im Optikunterricht immer auch Schülervorstellungen zum Sehen berücksichtigt werden - nicht nur in Unterricht, der explizit das Auge zum Thema hat. Dazu wurden unterschiedliche didaktische Ansätze entwickelt.

Einfache Versuche zum Sehen. NIU-P 2000(56), 57-59:

Der Beitrag umfasst eine Reihe von Versuchen zum Sehen, die sich fast ohne Hilfsmittel oder mit leicht verfügbaren Materialien durchführen lassen. Dabei geht es um ein breites Spektrum von Themen: Versuche zur Akkommodation des Auges beispielsweise, zum zweiäugigen Sehen und solche, die Hinweise auf den Aufbau der Netzhaut liefern. In vielen dieser Versuche spielen nicht nur die optischen Eigenschaften des Auges eine Rolle, sondern auch die Verarbeitung des Gesehenen im Gehirn.

Akkommodierende Linsenmodelle. NIU-P 2000(56), 66-67:

Modelle zur Akkommodation des menschlichen Auges müssen folgendes Grundprinzip veranschaulichen: Veränderung der Brennweite durch die Verformung einer Linse mittels Zug oder Druck. Der Beitrag stellt verschiedene Möglichkeiten vor, verformbare Linsen herzustellen. Die Modelle unterscheiden sich im verwendeten Material, in der optischen Qualität und in der Komplexität ihrer Konstruktion.

Kurz- und Weitsichtigkeit. NIU-P 2000(56), 69-76:

Der Beitrag stellt neben Informationen zur Behandlung von Kurz- und Weitsichtigkeit im Physikunterricht eine Unterrichtseinheit vor, die von den in einer Klasse vorhandenen Brillen ausgeht. Die Schülerinnen und Schüler untersuchen zu Beginn die Brillen ihrer Klassenkameraden und stoßen dabei auf zwei unterschiedliche Formen von Linsen: Sammellinsen und Zerstreuungslinsen. In Versuchen mit entsprechenden Linsen lernen sie deren Wirkung und die Ursachen von Kurz- und Weitsichtigkeit kennen.

Augenkrankheiten. NIU-P 2000(56), 77:

Kurze Beschreibung der wichtigsten Augenkrankheiten (Grauer Star, Grüner Star, Farbenfehlsichtigkeit, Bindehautentzündung).

Volkmer M.: Beseitigung der Kurzsichtigkeit durch Hornhautabtragung. NIU-P 2000(56), 84:

Eine Korrektur der Kurzsichtigkeit ist neuerdings durch Hornhautabtragungen möglich. Dabei wird die Hornhaut mit Hilfe von Laserstrahlen abgeflacht. Die wichtigsten Schritte dieses so genannten PRK-Verfahrens (Photoablative refraktive Keratektomie) werden in dem kurzen Artikel behandelt.

Wiesner H.: Bau eines Augenmodells und wassergefüllter Linsen. NIU-P/C 1985(6), 202-207:

Der Beitrag enthält Anleitungen zum Selbstbau einer Gummilinse, eines Modellauges und wassergefüllter Demonstrationslinsen.

Koppelman G., Krumbügel M.A., Totzeck M.: Versuche zum Auflösungsvermögen der Photokamera, des Tageslichtprojektors und des Auges. PDN-PH 1991(5), 14-19:

Es werden qualitative und quantitative Untersuchungen zur Auflösung von Kleinbildkameras, Overhead-Projektoren und des menschlichen Auges beschrieben. Hierbei werden vorwiegend abgedruckte Testtafeln und Strukturen in Form von Kopien, OH-Folien und abphotographierten Kleinbildnegativen als Test- oder Beugungsobjekte verwendet. Die Versuche lassen sich daher mit Schulmitteln leicht wiederholen und z.T. auch in Schülerübungen einsetzen.

Butt R., Hepp R.: Schülerversuche zur Funktionsweise und zur Fehlsichtigkeit des Auges. PDN-PH 1996(8), 17-25:

In dem Beitrag werden Schülerversuche zur Akkomodation des menschlichen Auges, zur Fehlsichtigkeit und deren Korrektur vorgestellt. Die Versuche haben für die Schüler einen hohen Motivationswert, da sie die Wirkungsweise physikalischer Gesetzmäßigkeiten auch in der lebenden Natur verdeutlichen können. Die Versuchsbeschreibungen bestehen jeweils aus Schülerarbeitsbögen und Lehrerblättern mit Hinweisen und Ergebnissen.

Huhn B.: Ein akkomodierendes Augenmodell. PDN-PH 1996(8), 26-28:

Es werden Aufbau und Funktion eines selbstgebauten Modells beschrieben, das gleichzeitig wesentliche mechanische und optische Eigenschaften des menschlichen Auges demonstriert. Zentraler Bestandteil ist eine weiche Linse.

Jodl H.J., Eckert B.: Praxis-Magazin – Kontaktlinsen/Bestimmung der Adhäsionskräfte. PDN-PH 1997(6), 37:

Bestimmung des Betrages von Adhäsionskräften am Beispiel des Systems Kontaktlinse-Auge.

Huhn B., Koch R., Schwarze H., Wagner C.: Optische Wahrnehmung – Materialien zum fächerverbindenden Unterricht. PDN-PH 1997(7), 29-35:

Als Zugang zum Thema "Optische Wahrnehmung" wird eine Folge von Experimenten vorgeschlagen, die exemplarisch vorgestellt wird. Die Schüler untersuchen selbständig ihre eigene optische Wahrnehmung mit typischen biologischen und physikalischen Methoden. Die Unterrichtseinheit hat das Ziel, den Aufbau, die Funktion und die Leistungsfähigkeit des optischen Abbildungssystems "Augenlinse", des Sensorsystems "Netzhaut" und des Informationsverarbeitungssystems "Gehirn" und insbesondere das sinnvolle Zusammenwirken dieser Komponenten zu vermitteln.

Campenhausen C.v., Schramme J.: Anleitungen zu Experimenten über das Farbensehen. PDN-PH 1998(5), 14-15:

Aus den Experimentieranleitungen der Autoren werden als Beispiele für praktische Übungen die farbigen Nachbilder und der Form-Farbe-Nacheffekt behandelt.

Colicchia G., Wiesner H.: Der Augenspiegel im Physikunterricht. PDN-PH 2000(7), 7-12:

Für Augenärzte ist es von sehr großer Bedeutung, das Innere des Auges, vor allem die Netzhaut, beobachten zu können. In diesem Beitrag wird zunächst die Anwendung des Augenspiegels dargestellt. Für den Einsatz im Unterricht werden einfache Demonstrationsmodelle beschrieben, die auch für Schülerversuche geeignet sind. Diese Versuche verdeutlichen die Funktion des Augenspiegels und die zugehörigen optischen Zusammenhänge.

Colicchia G., Künzl A., Wiesner H.: Einfache Augenmodelle zur Demonstration der Abbildung im Auge. PDN-PH 2001(8), 45-47:

Das Auge bietet eine ausgezeichnete Möglichkeit, medizinisch-biologische Themen in den Physikunterricht einzubringen und damit den Physikunterricht für die Schülerinnen und Schüler interessanter zu gestalten. Mit einfachen und billigen Mitteln nachzubauende Augenmodelle dienen der Demonstration von

Kurz-, Weit- und Normalsichtigkeit. Weiterhin wird der Bau einer Gummilinde beschrieben, mit der ein Augenmodell hergestellt werden kann, das akkommodationsfähig ist und mit dem ebenfalls Fehlsichtigkeiten und ihre Korrektur demonstriert werden können.

Kiupel M.: Farben im Licht – Einfache spektroskopische Experimente mit eindrucksvollen Ergebnissen. PHYS 1999(3), 163-165:

Für die Farbempfindung ist die Zusammensetzung des in das Auge gelangenden Lichts entscheidend. Typisch für die Untersuchung eines Spektrums, das mit Hilfe eines Prismas und einer Abbildungslinse auf einer weißen Wand erzeugt wird. Eine direkte Beobachtung ist aber bedeutend einfacher und kommt vor allem mit deutlich geringeren Lichtstärken aus.

Weniger relevante Beiträge, vor allem zum räumlichen Sehen

Jung A., Schröder K.G.: Einfache Herstellung von Stereobildern mit dem Anaglyphenverfahren. NIU-P 1995(28), 30:

Es wird beschrieben, wie man mit Hilfe eines Doppellochkameravorsatzes für Spiegelreflexkameras einfache Stereobilder realer Objekte nach dem Anaglyphenverfahren (mit Rot-Grün-Brille) herstellen kann. Das Verfahren eignet sich besonders für den unterrichtlichen Einsatz in der Sekundarstufe I.

Weiland F., Berge O.E.: Stereoskopie und Stereofotografie. NIU-P 2000(56), 78-83:

Der Beitrag beschreibt, wie räumliches Sehen zustande kommt. Auf dieser Grundlage erklärt er, wie Stereofotografie und auch die bekannten "magischen Bilder" (sog. Stereogramme) funktionieren. Neben grundsätzlichen Erläuterungen enthält der Beitrag auch Anleitungen für Schülerinnen und Schüler zur Herstellung von Stereofotos und einfachen Stereogrammen sowie Bauanleitungen für Stereoskope.

Hassler E.: Raumvorstellungsvermögen, räumliches Sehen und Projektion von Raumbildern. PDN-PH 1983(10), 291-297:

Viele Schüler haben ein schlechtes oder kein Raumvorstellungsvermögen, wenn ihnen zweidimensionale abstrakte Zeichnungen räumlicher Strukturen vorgelegt werden. Es gibt aber Verfahren, das Raumvorstellungsvermögen zu trainieren. Die Wege dazu führen über das Betrachten von Anschauungsmaterial wie Modelle, das bewußte Erleben des räumlichen Sehens, eigene Skizzen räumlicher Dinge und die Erinnerung an die eigenen Aktivitäten.

Kagerer E.: Versuche mit 3D-Spezial-Fernsehbrillen. PDN-PH 1984(1), 6-7:

Infolge der 1982 im Fernsehen durchgeführten Stereo-Versuchssendungen sind derzeit 3-D-Fernsehbrillen für physikalische Experimente billig zu erhalten. Schon das einfache Hintereinanderschalten von zwei Rot-Grünbrillen zeigt, daß für das Auge Licht nur bei gleichfarbigen Filtern das Gesichtsfeld dunkel bleibt. Beim betrachten geeigneter Rot-Grünzeichnungen durch eine 3-D-Fernsehbrille ergibt sich eine Trennung der Rot-Grüninformation und im Gehirn entsteht so der Eindruck, als betrachte man einen Gegenstand plastisch.

Kaffka D.: Dreidimensionale Bilder. PDN-PH 1995(2), 44-46:

Nicht nur mit dem Stereoskop und zwei geeigneten Bildern läßt sich ein räumlicher Tiefeneindruck gewinnen. Neuerdings gibt es eine Flut von zweidimensionalen Bildvorlagen, die bei geeigneter Betrachtung (ohne technische Hilfsmittel) ebenfalls diesen räumlichen Eindruck vermitteln. Einfache Überlegungen führen zu einer Erklärung dieses Phänomens.

Behr R.: „Magische Bilder“. PDN-PH 1995(7), 43-46:

Um den räumlichen Eindruck bei Betrachtung sog. magischer Bilder zu erklären, wird zunächst die Entstehung des Raumeindrucks beim gewöhnlichen Sehen mit beiden Augen beschrieben. Es wird dargestellt, wie Fotografen bereits im vorigen Jahrhundert durch einen Guckkasten mit Doppelfoto einen räumlichen Eindruck hervorriefen. Beim "magischen Bild" bewirken zwei benachbarte Bilder eines Gegenstandes denselben Raumeindruck. Die Bilder beiderseits dieser beiden Bilder lassen den Eindruck weiterer Gegenstände entstehen.

Jungmann D.: 3D – Dreidimensionales Sehen – Wie ist es möglich, einen räumlichen Seheindruck ohne zusätzliche Hilfsmittel zu erzeugen?. PHYS 1995(3), 95-100:

Seit einiger Zeit erscheinen Publikationen, in denen neue dreidimensionale Bilder abgedruckt sind. Die Begeisterung für diese Bilder geht so weit, daß mittlerweile viele Bücher, Poster und sogar Postkarten mit diesen Motiven verkauft werden. Zum Betrachten benötigt man keine weiteren technischen Hilfsmittel, jedoch ist der räumliche Seheindruck nicht auf Anhieb da, sondern der Betrachter muß sich erst mehr oder weniger konzentrieren. Hat man den richtigen "Blick" eingestellt, wird man durch ein sehr eindrucksvolles, farbiges Seherlebnis belohnt.

Höhne G.: Ein interessantes Schülerexperiment zum räumlichen Sehen. PHYS 1999(6), 414:

Es wird über einen Seheffekt berichtet, der auch für den Schulunterricht von Bedeutung ist. Er kann das räumliche Sehen verständlich machen und kann zur Bestimmung von Brechungsindizes genutzt werden.

ANHANG B:

Erläuterungen zur beiliegenden CD

Um die Internetseite zum menschlichen Sehen zu betrachten, muss von der CD die Datei „**index.html**“ gestartet werden. Zur optimalen Darstellung auf dem Bildschirm ist eine Auflösung von etwa 1152x864 Pixel sinnvoll.

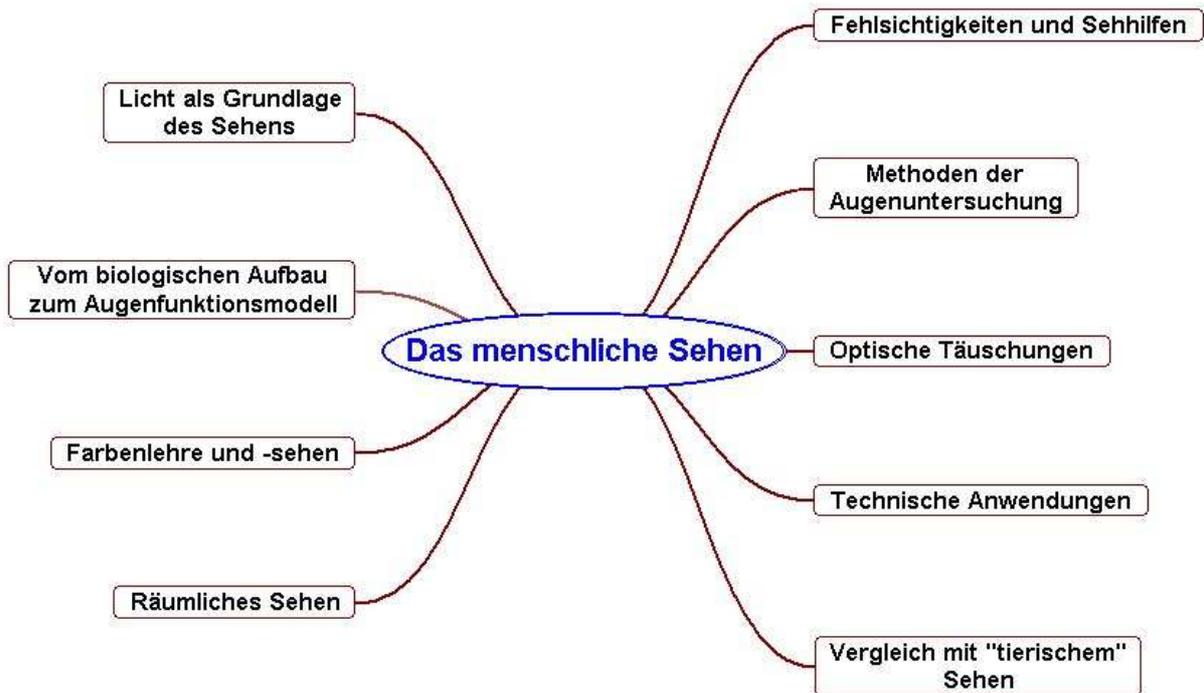
Da die CD auch kleine Video-Sequenzen enthält, die mit dem sogenannten DivX-Codec erstellt wurden, muss auf Ihrem Rechner das Dekodierungsprogramm „divx4-codec.exe“ installiert werden. Dieses befindet sich ebenfalls am Verzeichnisanfang der CD.

Ein Ausdruck der Inhalte der CD befindet sich in Anhang C.

ANHANG C:

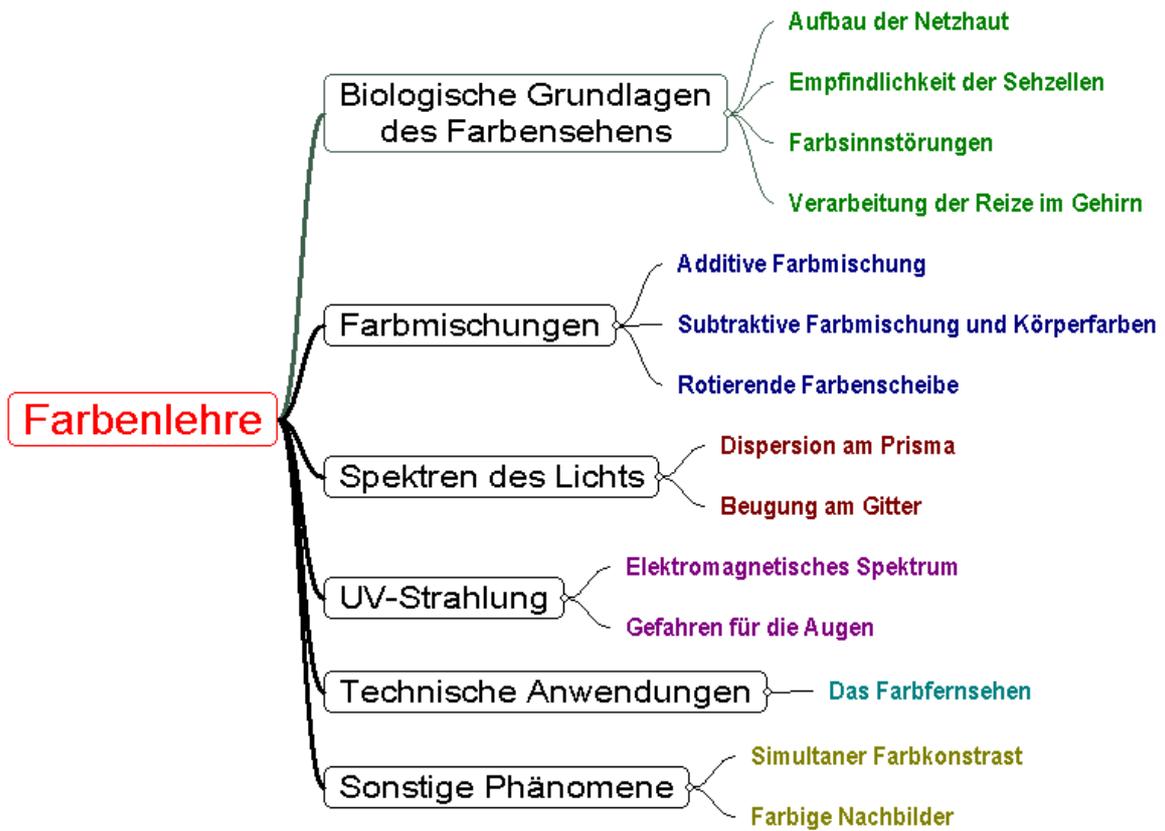
Auf dieser Webseite soll ein umfassendes Bild des Projektes vermittelt werden. Je nach Wunsch der Gruppe sowie der Anzahl der an der Erstellung beteiligten Schüler, kann nur kurz ein grober Überblick vermittelt werden oder aber auch eine Darstellung aller Inhalte, durchgeführten Experimente und Ergebnisse vermittelt werden.

Projektskizze:



Exemplarisch haben wir hierzu mögliche Darstellungen der Projektstage zwei, vier und fünf angedacht.

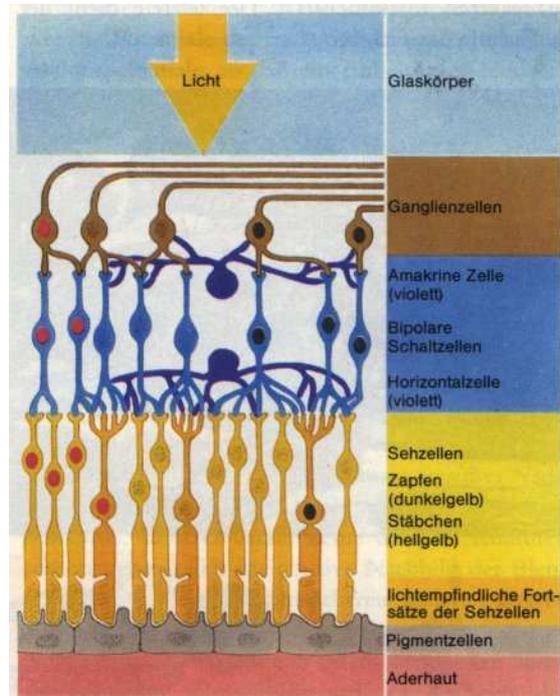
Tag 2:



Biologische Grundlage des Farbsehens

Aufgrund biologischer Untersuchungen weiß man heute, dass bei der Reizaufnahme zwei Arten von Sehzellen eine Rolle spielen: die hell-dunkel-empfindlichen Stäbchen und die **farbempfindlichen Zäpfchen**.

Aufbau der Netzhaut:



Bei den **Zäpfchen** gibt es wiederum **drei Typen**. Jede Zapfenart ist jedoch nicht nur für das Licht einer bestimmten Farbe empfindlich, sondern für einen ganzen Spektralbereich.

Der in den Sehzellen gebildete Code, der schließlich zur Farbempfindung führt, entspricht nicht linear den **spektralen Intensitäten des Farbreizes**. Denn das Sehorgan verfügt über verschiedene Korrekturmechanismen, um sich optimal an die gegebenen Beleuchtungs- und Betrachtungsbedingungen anzupassen. Bei sehr großer Helligkeit schließt sich die Iris des Auges und vermindert so die Gesamtintensität des Farbreizes. Das nennt man Adaptation. Die Anpassung an die spektrale Zusammensetzung des Beleuchtungslichtes heißt Umstimmung. Wenn sich das Aussehen einer Farbe durch das Vorhandensein von Umfeldfarben verändert, wird das Simultankontrast genannt. Erst nachdem diese Anpassungsvorgänge stattgefunden haben, wird der elektrische organeigene Code gebildet, der schließlich zur Farbempfindung führt.

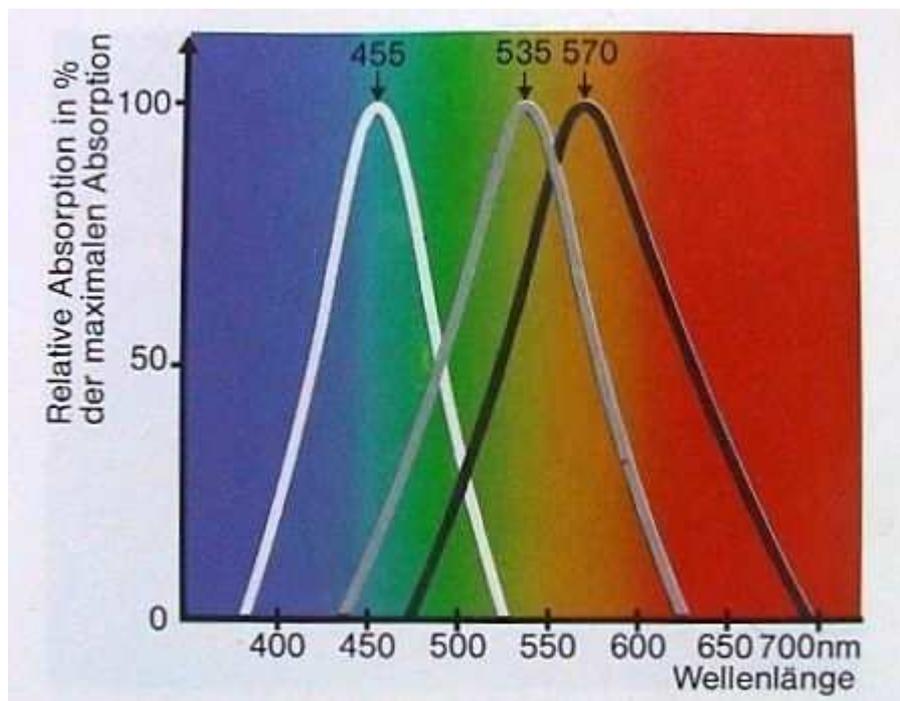
Dieser **elektrische Code** wird über die Nervenbahnen ins Gehirn geleitet. Die Sehzellen in der Netzhaut sind auf komplizierte Weise und durch Zwischenschaltung von Ganglienzellen mit dem Gehirn verbunden.

Wie nun die Lichtreize der verschiedenen Zapfentypen im Gehirn weiterverarbeitet werden, stellen wir im Abschnitt Reizverarbeitung im Gehirn in einer Übersicht dar.

Empfindlichkeit der Sehzellen

Bei den **Zäpfchen** gibt es wiederum **drei Typen**. Jede Zapfenart ist jedoch nicht nur für das Licht einer bestimmten Farbe empfindlich, sondern für einen ganzen Spektralbereich. Die eine Zapfensorte ist für orangerotes Licht am empfindlichsten, die andere für grüngelbes und die dritte für blaues.

Reizempfindlichkeit der Zäpfchen für Licht verschiedener Wellenlänge:



Gelbes Licht beispielsweise reizt demnach die rot- und grünempfindlichen Zapfen. Dieselben Zapfen werden aber auch durch rotgrünes Mischlicht gereizt. In beiden Fällen haben wir denselben Farbeindruck, obwohl das rotgrüne Mischlicht kein Gelb enthält. Vergleiche dazu die additive Farbmischung.

Farbsinnstörungen

Das durch die drei Rezeptortypen vermittelte, normale Farbsehen wird als **trichotomisches Sehen** bezeichnet. Störungen dieses Systems werden eingeteilt in Farbsehschwächen, teilweise Farbenblindheit und totale Farbenblindheit.

Farbsehschwächen:

- Rotschwach
- Grünschwach
- Blauschwach

Partielle Farbenblindheit:

- Rot-Grün-Blind (rot, grün, gelb werden verwechselt, da sie nur in Graustufen vorkommen)
- Blaublind (nur rot- und grünliche Bunttöne)

Totale Farbenblindheit: alle Farben fehlen, reines Stäbchensehen

Angeborene Farbsinnstörungen treten wegen genetischer Bedingungen überwiegend nur bei Männern auf. **Erworbene Farbsinnstörungen** sind meist entweder auf Medientrübungen (Augenlinse) oder auf retinale Erkrankungen zurückzuführen.

Reizverarbeitung im Gehirn

Sobald der Code im Gehirn angekommen ist, macht das Sehorgan daraus eine Farbempfindung. Für jeden Bildpunkt auf der Netzhaut wird ein solcher Code gebildet, der zu einer entsprechenden Farbempfindung führt. Das Sehorgan ist ein kompliziertes Instrument. Denn von jedem Punkt der Netzhaut fließt ein kontinuierlicher Strom von Daten zum Gehirn, wo das vielfarbige Bild aufgebaut wird.

Doch wie das genau geschieht, ist nicht einfach zu beantworten: **Helmholtz** stellte nach der Beurteilung von Farbfehlsichtigkeiten die nach ihm benannte Dreifarbentheorie auf, nach welcher Blau, Grün und Rot die Grundfarben sind. Aufgrund der gesicherten Existenz von drei unterschiedlichen Sehpigmenten, welche in verschiedenen Zapfen lokalisiert sind, könnte man der Helmholtz-Theorie zustimmen.

Bei genauen Untersuchungen hat sich allerdings ergeben, dass das Absorptionsmaximum der Zapfen mit der höchsten Empfindlichkeit am langwelligen Ende noch im Gelbbereich liegt. Einen neuen Ansatz zur Erklärung der psychologischen Farbbeurteilungen gibt dabei die **Hering'sche Vierfarbentheorie**. Nach Hering beruht das Farberkennungssystem auf drei Gegensatzpaaren: Rot/Grün, Blau/Gelb und Schwarz/Weiß.

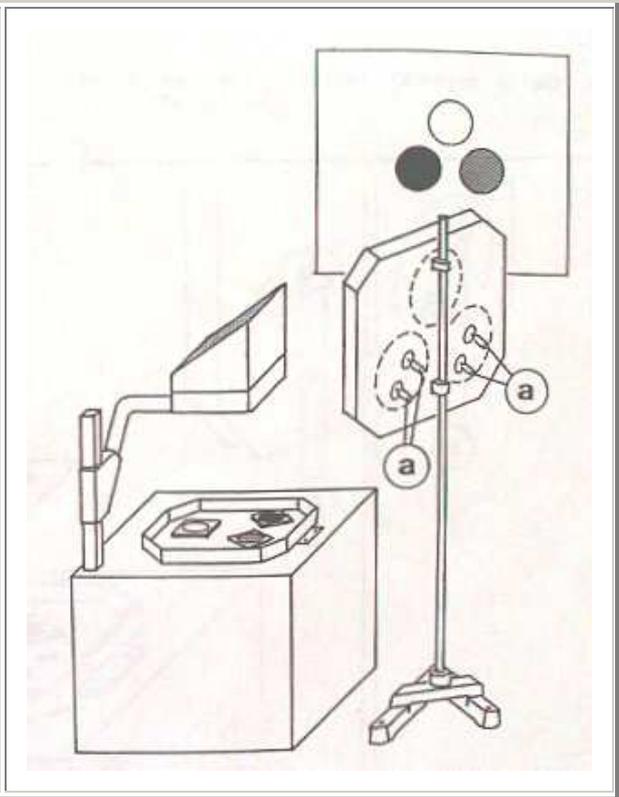
Heutzutage geht man davon aus, dass auf der Rezeptorebene ein Dreifarbensystem besteht. Auf der Ebene der neuronalen Verarbeitung erfolgt die **Farbinformationsverarbeitung** durch Verstärkung und Auslöschung im Sinne der Gegenfarbentheorie: Die Vierfarbeninformation (Blau, Grün, Gelb und Rot) und die Weißinformation werden von allen drei Rezeptortypen beeinflusst. Der Blaurezeptor verstärkt das blaue und das rote System, hemmt aber das Gelb und Grün. Der Grünrezeptor reizt das Grünsystem und hemmt Rot. Der dritte Gelbrezeptor verstärkt Gelb und Rot, hemmt jedoch Grün und Blau.

Die additive Farbmischung

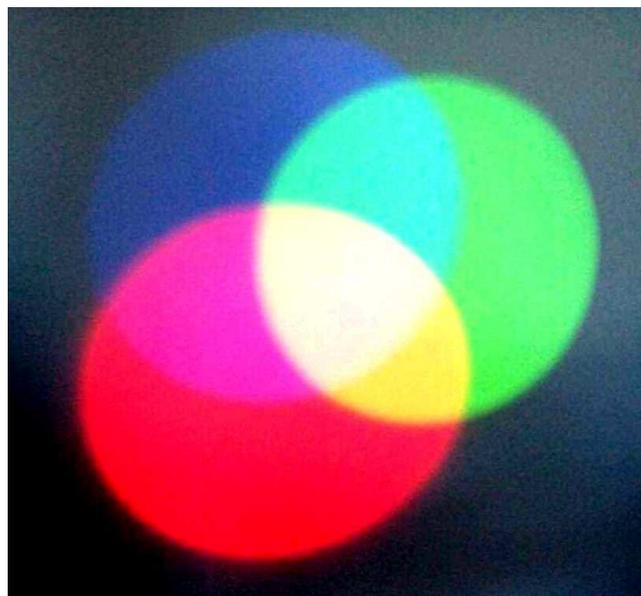
Gelbes Licht beispielsweise reizt (siehe Empfindlichkeit der Sehzellen) die rot- und grünempfindlichen Zapfen. Dieselben Zapfen werden aber auch durch rotgrünes Mischlicht gereizt. In beiden Fällen haben wir denselben Farbeindruck, obwohl das rotgrüne Mischlicht kein Gelb enthält.

Versuch:

Dieses Phänomen der **additiven Farbmischung** kann man mit einem einfachen Experiment demonstrieren. Im diesem Teil stellt man rechts neben einen Projektor einen Stativfuß mit einer Stativstange, an der man ein Spiegelsystem befestigt hat (Abbildung rechts). Den Projektionskopf dreht man um 90° , so dass das Licht dreier getrennter Farbfilter auf das Spiegelsystem fällt, das um 45° gegen die Richtung des einfallenden Lichtes gedreht ist. Nun justiert man die Spiegel noch so, dass an der Wand die drei getrennten scharfen Farbfelder teilweise überlagern.



Im Gegensatz zur subtraktiven Farbmischung erscheinen die drei Farben Rot, Grün und Blau zusammen weiß. Diese Farbmischung nennt man additiv, weil der Farbeindruck des Menschen durch die Summe aller Farbreize zustande kommt.



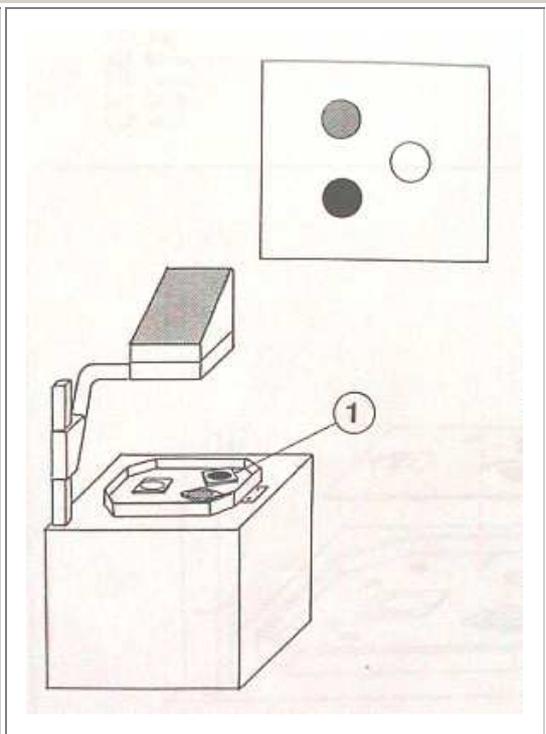
Die subtraktive Farbmischung

Wie kommt die Farbe eines Körpers zustande? Dazu folgender

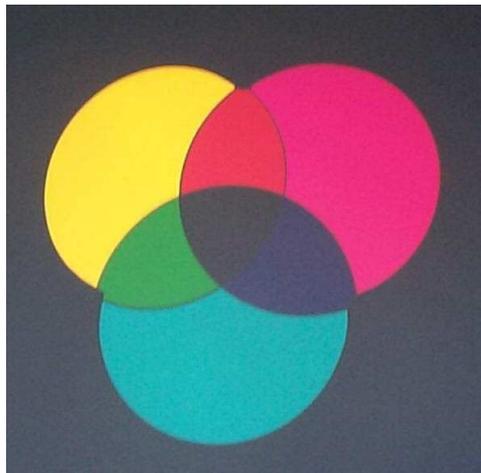
Versuch:

Das Phänomen der **subtraktiven Farbmischung** kann man mit einem einfachen Experiment demonstrieren.

Im ersten Teil durchleuchtet man mit Hilfe eines herkömmlichen Schulprojektors drei sich teilweise überlagernde Farbfilter (Abbildung rechts) und betrachtet das entstehende Bild an der Projektionswand.



Diese sogenannte subtraktive Farbmischung zeigt, dass jeder Farbfilter nur Licht eines begrenzten Farbbereiches durchlässt. Die Überlagerung der drei Filter Rot, Gelb und Blau lässt kein Licht mehr durch. Bei zwei Filtern ergeben sich andere subtraktive Mischfarben.



Auch die Farben lichtundurchlässiger Körper, die sogenannten **Körperfarben**, entstehen durch Farbsubtraktion. So absorbiert zum Beispiel ein roter Stoff alle Spektralfarben außer Rot, Orange und Gelb. Das Licht dieser Farben wird gestreut und ruft in unserem Auge den Eindruck eines bestimmten Rots hervor.

Die rotierende Farbenscheibe

Versuch: Mit Hilfe eines kleinen Motors lassen wir eine Scheibe, welche auf der Vorderseite aus Sektoren unterschiedlicher Spektralfarben (Violett, Blau, Grün, Hellgelb, Dunkelgelb, Orange, Rot und Dunkelrot) besteht, rotieren. Für die Darstellung des folgenden avi-Videos muss ein PlugIn sowie der notwendige DiVX-Codec installiert sein.



Beobachtung: Bei zunehmender Drehfrequenz "verwischen" die Farben immer mehr. Ist die Drehfrequenz ausreichend groß, erscheint die Farbenscheibe annähernd weiß (bzw. weißgrau), wie bei der additiven Farbmischung.

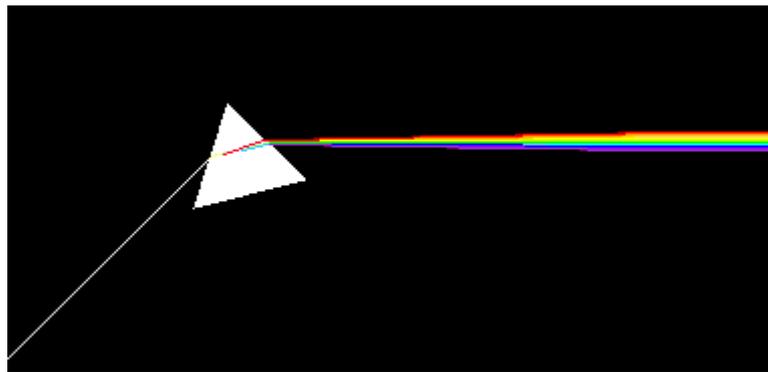
Erklärung: Ein kurzer Lichtblitz erzeugt ein Rezeptorpotential, das den Reiz eine Zeitlang überdauert. Bei rasch aufeinanderfolgenden Lichtreizen verschmelzen die Rezeptorpotentiale sowie die Potentiale der nachgeschalteten Zellen ohne Aktionspotentiale, so dass ein einheitlicher Eindruck entsteht. In unserem Experiment werden so die verschiedenen Farben additiv gemischt.

Beim Menschen liegt dieses **zeitliche Auflösungsvermögen** unterhalb von 16 Bildern pro Sekunde. Für eine Filmvorführung benötigt man also mindestens 16 Bilder pro Sekunde.

Spektralfarben - Dispersion am Prisma

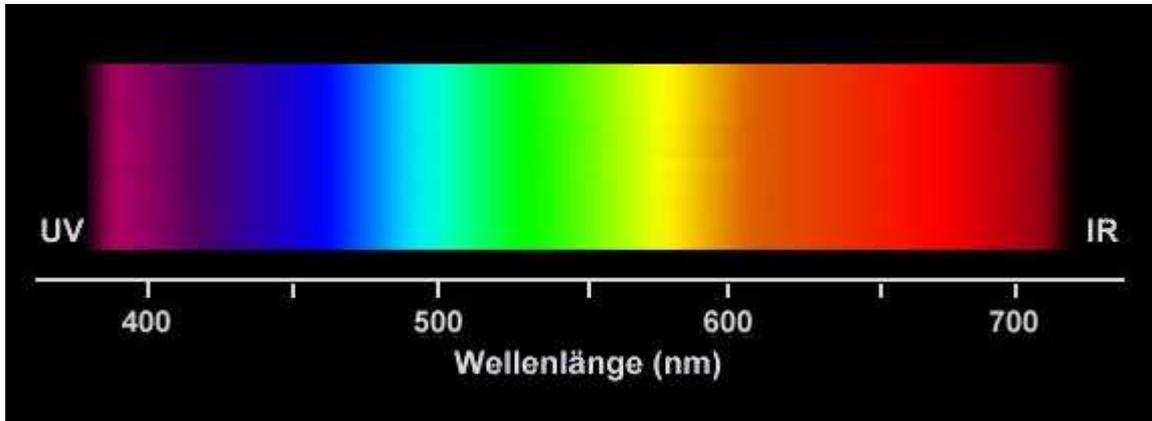
Tritt Licht in ein anderes durchsichtiges Medium (Glas, Wasser, Luft) über, ändert sich die Lichtgeschwindigkeit. Durch eine Art Trägheitseffekt wird dabei der Strahl gebrochen, also abgelenkt. Die Stärke dieses Effekts hängt vom Medium ab, man misst ihn mit dem Brechungsindex. Er ist definiert als das Verhältnis der Vakuumlichtgeschwindigkeit zur Lichtgeschwindigkeit in diesem Medium. Er beträgt damit für Licht immer mehr als 1, da es keine höhere Ausbreitungsgeschwindigkeit gibt als die Vakuumlichtgeschwindigkeit. Für Luft kann man ihn noch mit hinreichender Genauigkeit gleich 1 setzen, für Wasser beträgt er rund 1.33. Die meisten Glassorten liegen im Bereich zwischen 1.5 und 2.

Gleichzeitig tritt eine Aufspaltung des weissen Lichts in die Spektralfarben auf, da der Effekt für die einzelnen Wellenlängen unterschiedlich ist. Dies bezeichnet man als Dispersion. Trifft ein Lichtstrahl auf ein Prisma, wird der Strahl von der brechenden Kante weg gebrochen. Die Dispersion hängt quantitativ nicht mit dem Brechungsindex zusammen, es gibt auch hochbrechende Gläser mit geringer Dispersion und niedrigbrechende mit hoher Dispersion. Diese Gläser mit anormaler Teildispersion spielen zur Korrektur von chromatischen Abbildungsfehlern eine wichtige Rolle im Objektivbau.



Spektralfarben - Beugung am Gitter

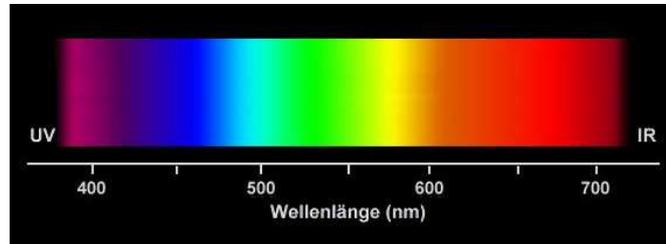
Hier können die Schüler den zur Dispersion am Prisma analogen Versuch der Beugung am Transmissionsgitter durchführen, um erstens das Wellenmodell des Lichtes zu motivieren und zweitens das kontinuierliche Spektrum zu zeigen:



Ebenfalls kann an diesem der Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichts bestimmt werden. Zusätzlich demonstriert werden kann daran die Wirkung der unsichtbaren UV-Strahlung auf einen Zinksulfid-Schirm.

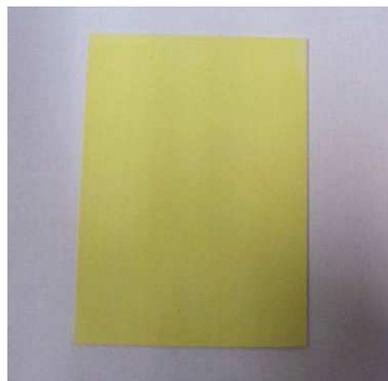
Das elektromagnetische Spektrum

Sichtbares Licht ist eine **elektromagnetische Strahlung** mit Wellenlängen zwischen etwa 400 und 750 Nanometer. Dies zeigt auch der Versuch zur Beugung von Licht am Transmissionsgitter.



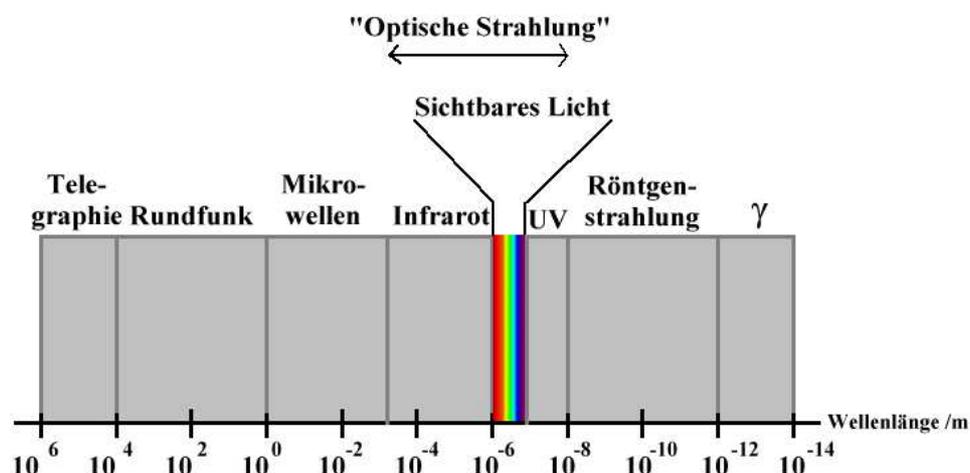
Diese Grafik zeigt das ungefähre Spektrum des sichtbaren Lichts. Die Empfindlichkeit des Auges ist im grüngelben Bereich am höchsten. Daher werden diese Farben bei gleicher Intensität heller wahrgenommen. Begrenzt wird das sichtbare Spektrum durch den Ultraviolett-Bereich bei niedrigen Wellenlängen und den Infrarot-Bereich bei hohen Wellenlängen.

Indirekt sichtbar kann man die **ultraviolette Strahlung** mit Hilfe eines Zinksulfid-Schirms machen:



Fällt nämlich UV-Strahlung auf den ZnS-Schirm, so beobachtet man in der Dunkelheit ein Leuchten (teilweise Nachleuchten) an der Auftreffstelle.

Eine Gesamtübersicht zum **elektromagnetischen Spektrum** gibt folgende Abbildung:



Gefahren von UV-Strahlung und sichtbarem Licht

Biologisch interessierte Schüler könnten sich mit UV-Strahlung und entsprechenden Schutzmaßnahmen beschäftigen.

Die Gefahren, die von ultravioletter Strahlung bzw. Licht allgemein auf den Menschen ausgehen, beruhen auf **drei Wirkungsmechanismen**: auf der Ionisierung von Stoffen, auf photochemischen Prozessen und thermischen Prozessen.

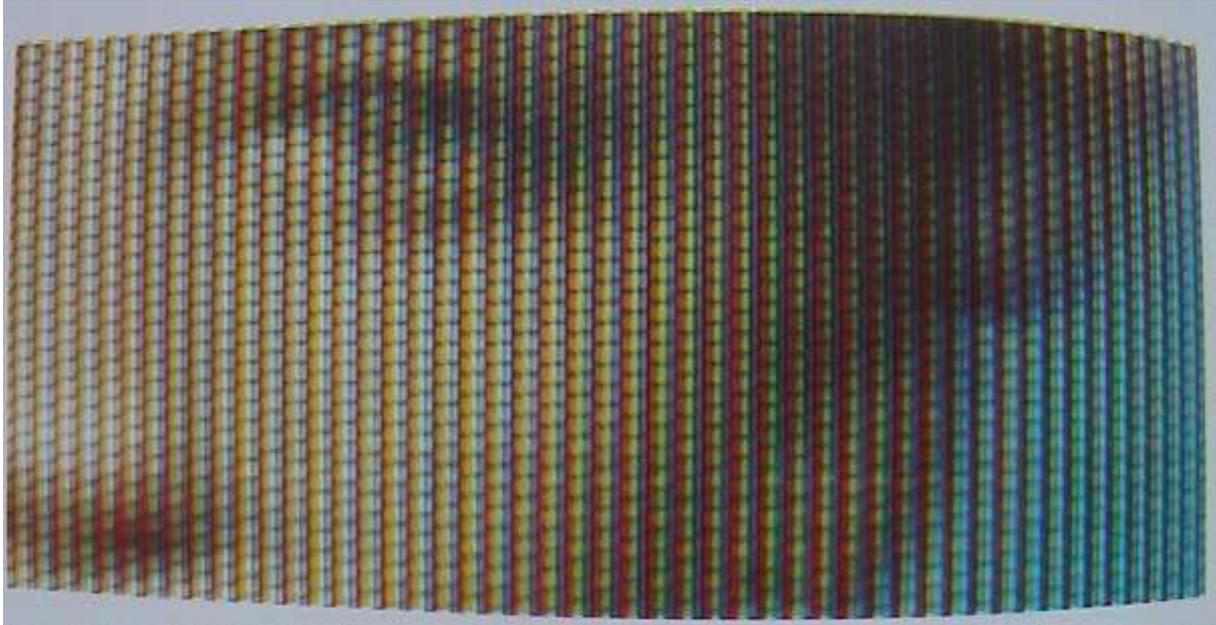
In besonderem Maße betroffen sind die Haut und die Augen. Die Wirkungen für die **Haut** sind Hautrötungen (Sonnenbrand), schnelleres Altern der Haut und im schlimmsten Fall Hautkrebs.

Die **Augen** sind in mehrerer Hinsicht gefährdet. Die **UV-Strahlung** wird bei erwachsenen Personen fast zu 100% in der Hornhaut absorbiert. Eine zu hohe UV-Belastung im Gebirge beispielsweise führt dann zur Entzündung der Bindehaut und der Hornhaut. Viel kritischer zu bewerten ist der thermische Wirkungsmechanismus durch gewöhnliches **sichtbares Licht**. Da die Leistungsdichte eines eintreffenden Lichtstrahls durch die Augenoptik um einen Faktor mehrerer Zehnerpotenzen ansteigen kann, ist die Gefahr einer Netzhautverbrennung keinesfalls zu vernachlässigen. Klassisches Beispiel ist das Hineinschauen in die Sonne. Entstehende Narben reduzieren die zentrale Sehschärfe sehr stark.

Das Farbfernsehen

Frage: Wie entstehen die vielen Farben am Fernseher?

Dazu eine Detailbetrachtung eines Fernsehbildes mit der Lupe:



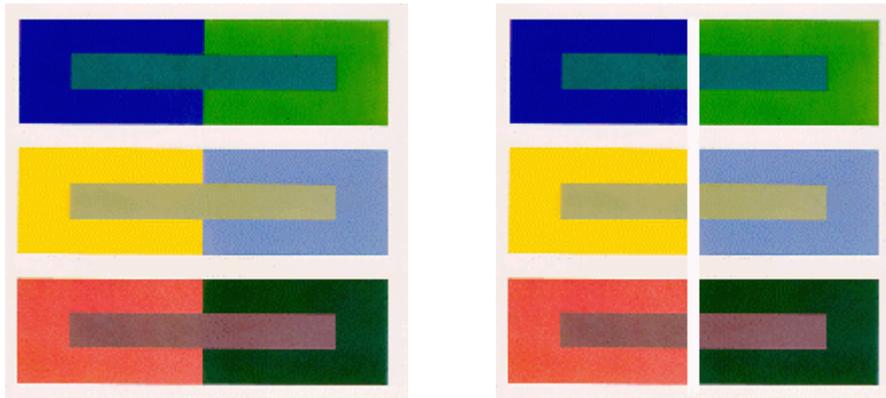
Das farbige Fernsehbild besteht aus lauter kleinen Stäbchen, welche rot, grün oder blau leuchten können. Je ein rotes, ein grünes und ein blaues bilden ein Farbtupel. In einiger Entfernung kann man keine einzelnen Stäbchen mehr erkennen. Zusätzlich kann die Helligkeit eines Stäbchens variiert werden, wodurch ebenfalls unterschiedliche Farbeindrücke simuliert werden, wie wir am Beispiel des farbigen Simultankontrastes sehen werden. Auf diese Weise kann eine Vielzahl von Farben erzeugt werden.

Das Fernsehbild setzt sich aus ca. 1000000 Stäbchen zusammen. Und jedes dieser Stäbchen leuchtet 25mal pro Sekunde mit unterschiedlicher Helligkeit auf. So entsteht das farbige Fernsehbild.

Der farbige Simultankontrast

Phänomen:

Wenn das Aussehen einer Farbe durch die Umfeldfarben beeinflusst wird, nennt man das **Simultankontrast**. Jeder der drei waagerechten Innenstreifen ist in sich gleichfarbig. Durch die Umfeldfarben wird aber ihr Farbeindruck verändert. Das kann man leicht sichtbar machen, indem man über die senkrechten Mittellinien einen schmalen Papierstreifen hält. Es genügt schon, einen Bleistift oder eine Schere vor den Monitor so hinzuhalten, daß die senkrechten Mittellinien verdeckt sind.



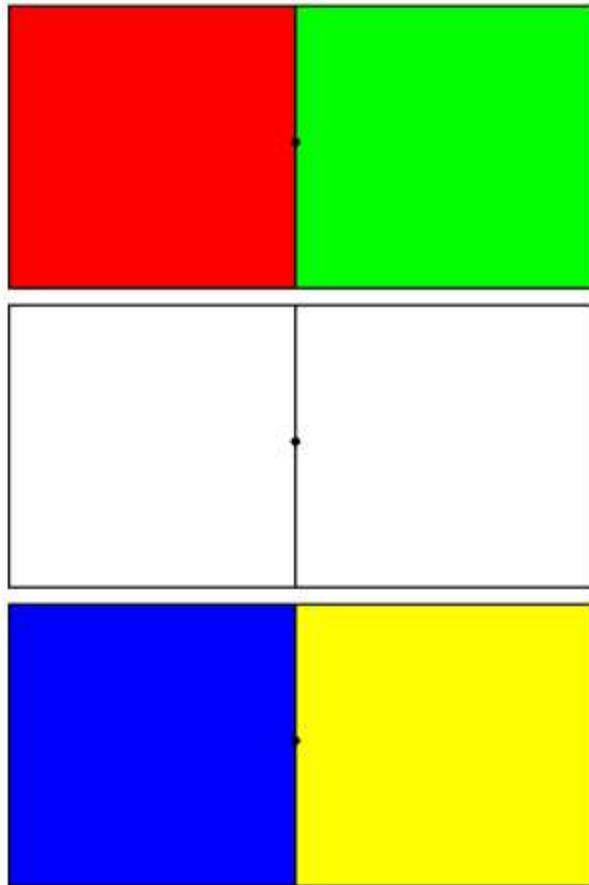
Erklärung:

Der sogenannte farbige Simultankontrast hat seine Ursachen im Gehirn. Man kann davon ausgehen, dass sich benachbarte Nervenzellen im Nervensystem gegenseitig hemmen. Sind sie stark erregt, so hemmen sie die Nachbarn auch stärker. Darum erscheinen dunkle Flächen in heller Umgebung noch dunkler. Ebenso ruft die "gleiche Farbe" in unterschiedlicher Umgebung verschiedene Farbeindrücke hervor. Beispielsweise wirkt Okkerfarbe auf hellem gelben Untergrund dunkler als auf dem dunklen blauen Untergrund.

Farbige Nachbilder

Phänomen:

Man fixiere bei den unteren Abbildungen für die Dauer von 30 Sekunden den Mittelpunkt in einem der farbigen Quadrate und gleich danach den Punkt im weißen Feld. Nach wenigen Sekunden verfärben sich die weißen Felder derart, dass diese getönt mit den Komplementärfarben (gelb <-> blau, rot <-> grün) erscheinen. Der Fixierpunkt und der Rahmen hilft jeweils, störende Augenbewegungen zu unterdrücken.

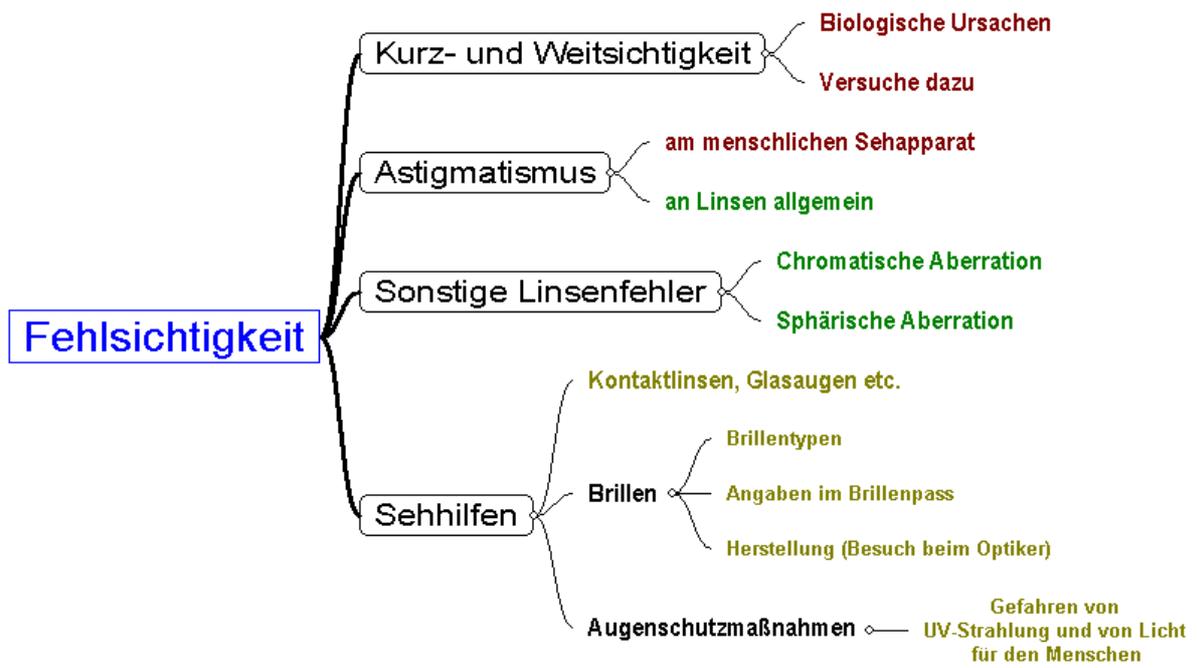


Erklärung:

Ursache von Nachbildern ist das **Fortdauern der Erregung** in den Sinneszellen (Zäpfchen/Stäbchen) des Auges. Entscheidend für das Nachbild ist die Zahl der in den Sinneszellen absorbierten Lichtquanten (abhängig von Strahlungsenergie und Reizzeit). Die chemischen Substanzen in den Zapfen, welche für die Farbwahrnehmung eine Rolle spielen, müssen "erneuert" werden; bei starker Reizung (lang bzw. hell) dauert dies einige Sekunden. Fällt in dieser Zeit weißes Licht auf die Netzhaut, so liefern die nicht gereizten Zellen stärkere Signale als von den vorher stark Gereizten. Es entsteht der Eindruck, man sehe die entsprechende Komplementärfarbe.

Die Erregung ist im Auge an den Ort gebunden, der beim Fixieren gereizt wurde. Lässt man den Blick auf dem Papier wandern, so wandert das Nachbild mit.

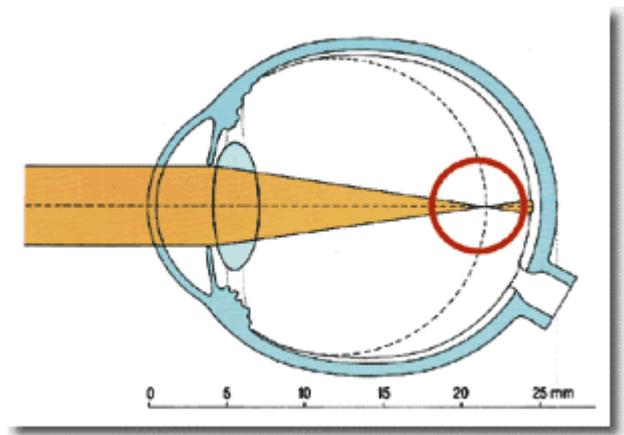
Tag 4:



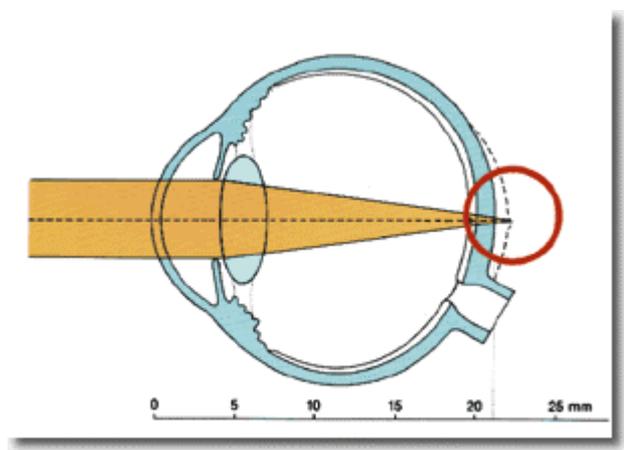
Biologische Ursachen von Kurz- und Weitsichtigkeit

Gemäß der bekannten Abbildungsgleichung legen je zwei der drei Größen Gegenstandsweite, Bildweite und Brennweite die dritte fest. Das bedeutet, dass ein System auf verschiedene Abbildungsentfernungen bei vorgegebener Brennweite durch Variation eines Parameters eingestellt werden muss. Bei fast allen optischen Systemen wird die Abbildungsoptik axial verschoben und so ein scharfes Bild erzeugt. Beim menschlichen Auge erfolgt die Einstellung jedoch durch eine Verformung der Augenlinse. Der sogenannte Ziliarmuskel, welcher über Zonulafasern mit der Linse verbunden ist, ist beim Sehen in der Nähe entspannt. Die Linse hat dann eher kugelförmige Gestalt und höhere Brechkraft. Umgekehrt wird beim Sehen in die Ferne der Muskel gespannt und die Linse flacher. Um zwischen Rechtsichtigkeit und Fehlsichtigkeit zu unterscheiden, führt man folgende Objekte ein: Der **Nahpunkt** ist derjenige im Außenraum fixierte Punkt, der bei maximaler Akkomodation auf die Netzhaut abgebildet wird. Der **Fernpunkt** ist dagegen derjenige Punkt im Außenraum, der bei völlig entspannter Akkomodation auf die Netzhaut abgebildet wird.

Kurzsichtig ist ein Auge, wenn der Fernpunkt sich in einer Entfernung von weniger als 5m vor dem Auge befindet. Aufgrund einer zu hohen Brechkraft, gemessen an der Baulänge des Auges, liegt der Brennpunkt für parallel einfallendes Licht vor der Netzhaut. Dieses Auge kann also nur für kürzere Entfernungen eine scharfe Abbildung erzeugen. In den meisten Fällen liegt bei einer Kurzsichtigkeit eine Verlängerung der Achsenlänge des Auges vor, während die Brechkräfte von Linse und Hornhaut etwa einem Normalauge entsprechen (Gullstrand'sches Normalauge).



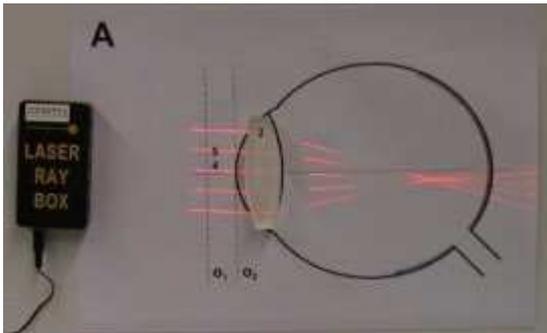
Weitsichtig ist ein Auge, wenn die Brechkraft des Systems gemessen an seiner Baulänge zu gering ist. Die sogenannte Altersweitsichtigkeit geht einher mit einer Schwächung des Ziliarmuskels und ist daher eine direkte Folge der Abnahme des Akkomodationsvermögens. Dies hat zur Folge, dass kein reeller Fernpunkt existiert, der vor dem Auge liegt, sondern nur ein virtueller hinter dem Auge.



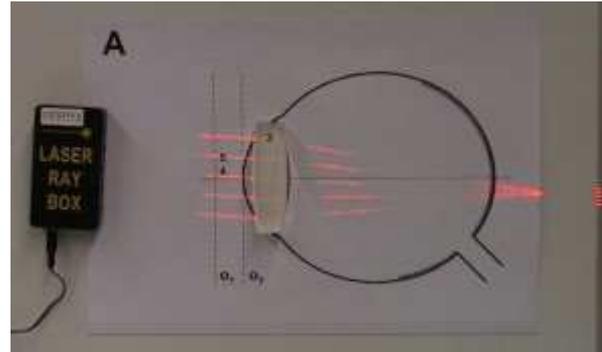
Versuche zur Kurz- und Weitsichtigkeit

Beide Fälle, Kurz- und Weitsichtigkeit, kann an dem Laserbox-Augenmodell von Conatex demonstriert werden. Eine Zerstreuungslinse korrigiert die Kurzsichtigkeit, eine Sammellinse die Weitsichtigkeit. Damit der neue Fernpunkt des Auge-Brille-Systems ins Unendliche rückt, muss der Brennpunkt des Korrektionsglases im Fernpunkt des unkorrigierten Auges liegen.

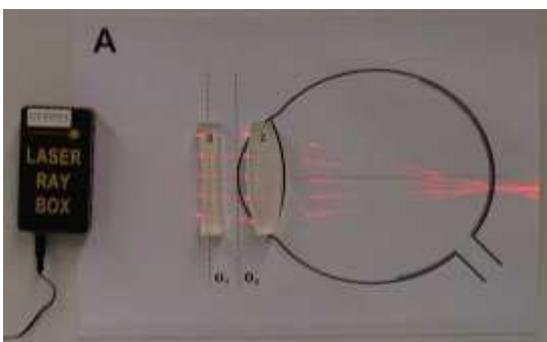
Kurzsichtigkeit



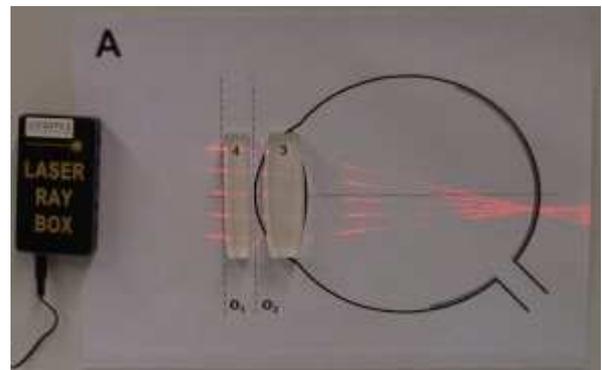
Weitsichtigkeit



Zerstreuungslinse für Kurzsichtige

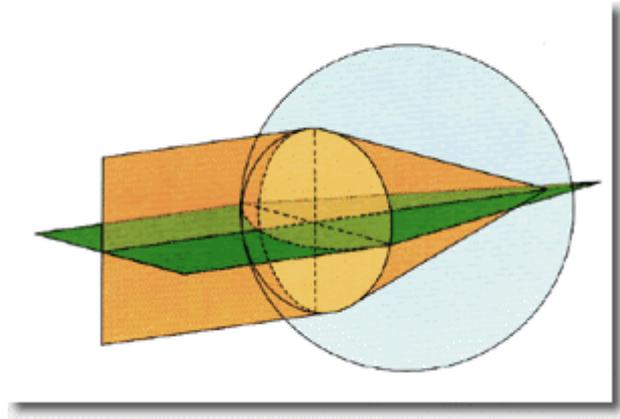


Sammellinse für Weitsichtige



Astigmatische Fehlsichtigkeit

Die brechenden Flächen der optischen Medien des Auges sind keine Kugelabschnitte, sondern torische Flächen. Ein Auge, bei dem zwei Meridiane unterschiedliche Krümmungsradien haben, wird als **astigmatisch** bezeichnet. In der Regel stehen der Meridian mit dem kleinsten und der mit dem größten Krümmungsradius senkrecht aufeinander. Seltener kommt es vor, dass sie nicht senkrecht stehen. Die Abbildung am astigmatischen Auge entspricht im Grunde der Abbildung an einer Linse mit astigmatischem Fehler:

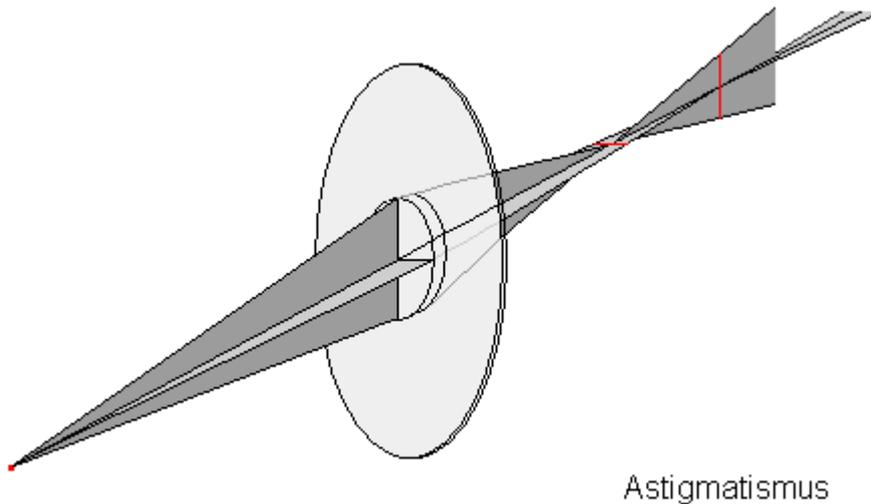


Die optische Wirkung einer torischen Fläche lässt sich aus der Addition einer sphärischen und einer zylindrischen Fläche herleiten. Um die astigmatische Fehlsichtigkeit zu beschreiben und zu korrigieren, muss die Meridianlage der korrigierenden Zylinderlinse bestimmt werden. Man unterscheidet dann zwischen Astigmatismus nach der Regel, Astigmatismus gegen die Regel und schrägen Astigmatismus. Bei irregulärem Astigmatismus stehen entweder die Hauptmeridiane nicht senkrecht zueinander oder Meridiane sind keine Kreisbögen.

Astigmatismus an einer Linse

Astigmatismus (Punktlosigkeit) betrifft alle möglichen Strahlenbündel, also auch solche, die schräg eintreffen: Der Querschnitt dieses Strahlenbündels ist in der Schnittebene der Linse nicht kreisrund, sondern elliptisch. Die längere (meridionale) Schnittebene unterliegt daher einer stärkeren sphärischen Aberration als die kürzere (sagittale).

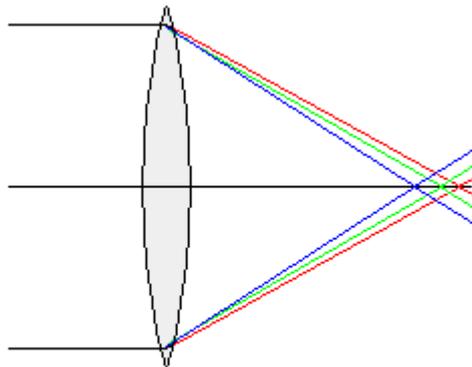
Damit ergeben sich für diese Strahlenbündel **unterschiedliche Brennpunkte**. Ein heller Punkt am Bildrand wird daher als tangentialer (im sagittalen Brennpunkt) oder radialer Strich (im meridionalen Brennpunkt) in zwei Ebenen abgebildet. Der Fehler äussert sich in Schärfeabfall zum Bildrand hin, Abblenden bringt Verbesserung.



Chromatische Aberration

Das von einer Lupe erzeugte, vergrößerte Bild des Objekts ist nur zur Mitte hin scharf - an den Rändern ist die Abbildung unscharf und verschmiert. Dieser Abbildungsfehler beruhen auf sphärischer und **chromatischer Aberration**.

Wie bei einem Prisma wird auch in der Lupenlinse Licht unterschiedlicher Wellenlänge (Farbe) unterschiedlich stark gebeugt, denn der Brechungsindex ist z.B. für blaues Licht größer als für rotes Licht. Die Aufspaltung (Dispersion) des weißen Lichtes in seine spektralen Bestandteile ist die Ursache der chromatischen Aberration einer Linse: Anstatt eines einzigen, scharfen Bildes entstehen mehrere Bilder in unterschiedlichen Abbildungsebenen (rechts oben). Durch die Überlagerung von mehreren, verschiedenfarbigen Bildern, von denen die meisten nicht fokussiert und damit unscharf sind, verschmiert die Abbildung des Objekts. Dieser Effekt tritt vor allem in den Randbereichen der Linse auf, weil die Lichtstrahlen dort besonders stark gebeugt werden.

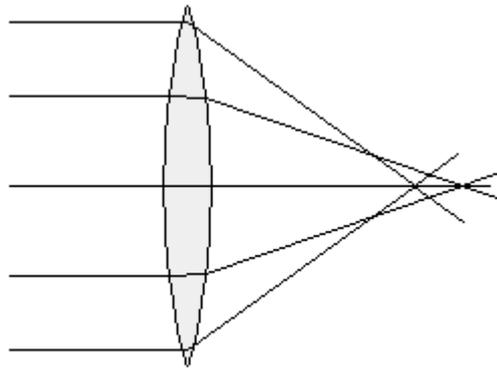


Chromatische Aberration

In Mikroskopen wird die chromatische Aberration **korrigiert**. Dies ist möglich, weil unterschiedliche Glasarten unterschiedlich stark ausgeprägte Dispersion zeigen. Durch Kombination zweier Linsen mit unterschiedlicher Dispersion entsteht ein achromatisches Linsensystem, bei dem die Brennweiten für Licht von zwei unterschiedlichen Wellenlängen (z.B. blau und rot) gleich sind. Linsensysteme, die für drei unterschiedliche Wellenlängen korrigiert sind, werden als Apochromaten bezeichnet.

Sphärische Aberration

Die **sphärische Aberration** (der Öffnungsfehler) tritt immer dann auf, wenn Lichtstrahlen im äußeren Bereich von großen Linsen in einem relativ flachen Winkel auf die Linsenoberfläche treffen. Diese Randstrahlen werden näher zur Linse hin fokussiert als die Mittel- oder Axialstrahlen, die senkrecht auf die Linsenoberfläche fallen. Die einzelne, große Linse einer Lupe hat damit keine einheitliche Brennweite. Stattdessen nimmt die Brennweite von der Mitte her zum Rand der Linse hin ab. Öffnungsfehler kann man dadurch beseitigen, daß man den Durchmesser der Linse mit Hilfe einer Blende verringert. Dabei werden die Randstrahlen der Linse ausgeblendet und die Bildqualität verbessert. Allerdings verliert man durch Blenden Licht, und das Bild des Objektes wird dunkler.



Sphärische Aberration

In Mikroskopen wird die sphärische Aberration **durch Linsensysteme kompensiert**, die so ausgelegt sind, daß der Auftreffwinkel bei jeder Linse des Systems so steil wie möglich ist. Wenn für die einzelnen Linsen dieser Systeme unterschiedliches Glas verwendet wird, können solche Systeme auch achromatisch gemacht werden.

Kontaktlinsen, Glasaugen etc.

Kontaktlinsen:

Dies sind kleine Linsen aus Kunststoff, welche auf einem Tränenfilm schwimmend direkt auf der Hornhaut sitzen. Sie haften am Auge Adhäsionskräfte. Individuell angepasst müssen bei den Kontaktlinsen sowohl der optische Korrektionswert, als auch der Krümmungsradius der Innenfläche, damit ein optimaler Tränenfilm entsteht.

Vorteile gegenüber der Brille:

- eventuell kosmetisch-ästhetische Aspekte
- zentrierte und dem Blick folgende Korrektion
- bei großen Unterschieden zwischen rechtem und linkem Auge: Bildgrößenveränderung vernachlässigbar
- berufliche Gründe (Sport, ...)

Nachteile gegenüber der Brille:

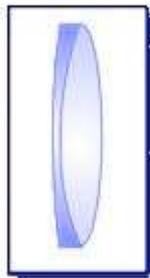
- sehr pflegebedürftig
- Probleme bei hohen Astigmatismen durch Rotation der Kontaktlinse
- Korrektion des Alterssichtigen schwierig
- auf Dauer teuer

Intraokularlinsen ("Glasaugen"): Personen, bei denen die Augenlinse trübe ist bzw. gänzlich fehlt, kann unter Umständen eine sogenannte Intraokularlinse implantiert werden. Die ursprüngliche Linsenkapsel bleibt erhalten, es wird nur das trübe Linsenmaterial entfernt und ersetzt.

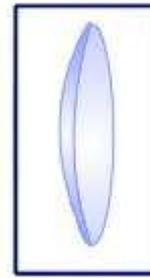
Brillentypen

Im Allgemeinen werden bei der Untersuchung üblicher Brillen **zwei Typen** auffallen. Die Brillen des ersten Typs sind in der Mitte dünner als am Rand, werfen einen Schatten und zu lesender Text erscheint kleiner als in Wirklichkeit. Zudem laufen parallele Laserstrahlen auseinander. Die Brillen des zweiten Typs zeigen ein umgekehrtes Verhalten. Vergleicht man diese beiden Typen mit den beiden wichtigsten Linsentypen **Sammellinse und Zerstreuungslinse**, wird klar, dass jedem Typ eine zu korrigierende Fehlsichtigkeit zugeordnet werden kann.

Schnitt durch Brillenglas für
Kurzsichtige



Schnitt durch Brillenglas für
Weitsichtige



Zur Korrektur der astigmatischen Fehlsichtigkeit finden Sie mehr unter dem Menüpunkt Brillenpass.

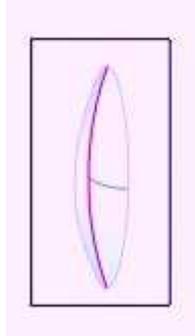
Angaben im Brillenpass

Wie wir schon bei der Kurz- bzw. Weitsichtigkeit festgestellt haben, muss eine entsprechende Korrektionshilfe die folgende **Bedingung** erfüllen:

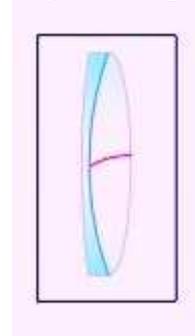
Der Brennpunkt des Korrektionsglases muss im Fernpunkt des unkorrigierten Auges liegen.

Für astigmatische Fehlsichtigkeiten muss diese Regel für beide Hauptmeridiane erfüllt sein. Und da dieser Fall in der Realität meistens auftritt, gibt ein üblicher Brillenpass insgesamt drei charakteristische Informationen an: die **sphärische Brechkraft**, die **astigmatische Brechkraft** als Differenz der Brechkräfte der beiden Hauptmeridiane und die **Achsenlage** des diese Differenz auskorrigierenden Zylinderglases. Insgesamt korrigiert man durch eine sogenannte **sphärozyklindrische Linsen Kombination**:

Schnitt durch Brillenglas



Schnitt (um 90° gedreht)



Diese kann man auf zwei Wegen herstellen:

1. Auskorrigieren des schwächer brechenden Hauptschnitts mit einem sphärischen Glas der Brechkraft A_{sph} und Korrektion des schwächer brechenden Hauptschnitts mit einem Pluszylinder der Brechkraft B_{zyl} in einer Lage C° [Pluszylinderschreibweise: A_{sph} ; B_{zyl} ; C°]
2. Auskorrigieren des stärker brechenden Hauptschnitts mit einem sphärischen Glas der Brechkraft A_{sph} und Korrektion des schwächer brechenden Hauptschnitts mit einem Minuszylinder der Brechkraft B_{zyl} in einer Lage $(C+90)^\circ$ [Minuszylinderschreibweise: $(A+B)_{\text{sph}}$; $-B_{\text{zyl}}$; $(C+90)^\circ$]

Beispiel: Sehhilfe für einen Kurzsichtigen mit Astigmatismus-Fehlsichtigkeit in Minuszylinderschreibweise

R -3.50dpt -1.5dpt 10°
L -3.25dpt -1.0dpt 10°

Besuch beim Optiker

Ziel: Mit Hilfe einer digitalen Videokamera dokumentieren wir den Besuch bei einem Optiker. Dieser hat sich erfreulicherweise bereiterklärt, uns grob zu zeigen, welche Arbeitsschritte nötig sind, um die Rohlinse an das gewünschte Brillengestell des Kunden anzupassen. Für die Darstellung des folgenden avi-Videos muss ein PlugIn sowie der notwendige DiVX-Codec installiert sein. [Anmerkung: Auf der Web-CD folgt an dieser Stelle das kleine Video.]

Beobachtung:

Die computergesteuerten Arbeitsschritte beim Anpassen des Rohlings sind grob:

1. Prüfen der angelieferten Rohlinse



2. Abtasten des Brillengestelles
3. Bestimmung der Schlifflinien durch Projektion der gescannten Form auf die Rohlinse
4. Justage der Rohlinse im Schlifffautomat
5. Grob- und Feinschliff
6. Test "Passt die Linse in die Form?"

Besonderes beim Optiker:

"Windkanal" zum Testen von Sport- und Skibrillen: "Tränen die Augen bei hoher Geschwindigkeit?"



Gefahren von UV-Strahlung und sichtbarem Licht

Biologisch interessierte Schüler könnten sich mit UV-Strahlung und entsprechenden Schutzmaßnahmen beschäftigen.

Die Gefahren, die von ultravioletter Strahlung bzw. Licht allgemein auf den Menschen ausgehen, beruhen auf **drei Wirkungsmechanismen**: auf der Ionisierung von Stoffen, auf photochemischen Prozessen und thermischen Prozessen.

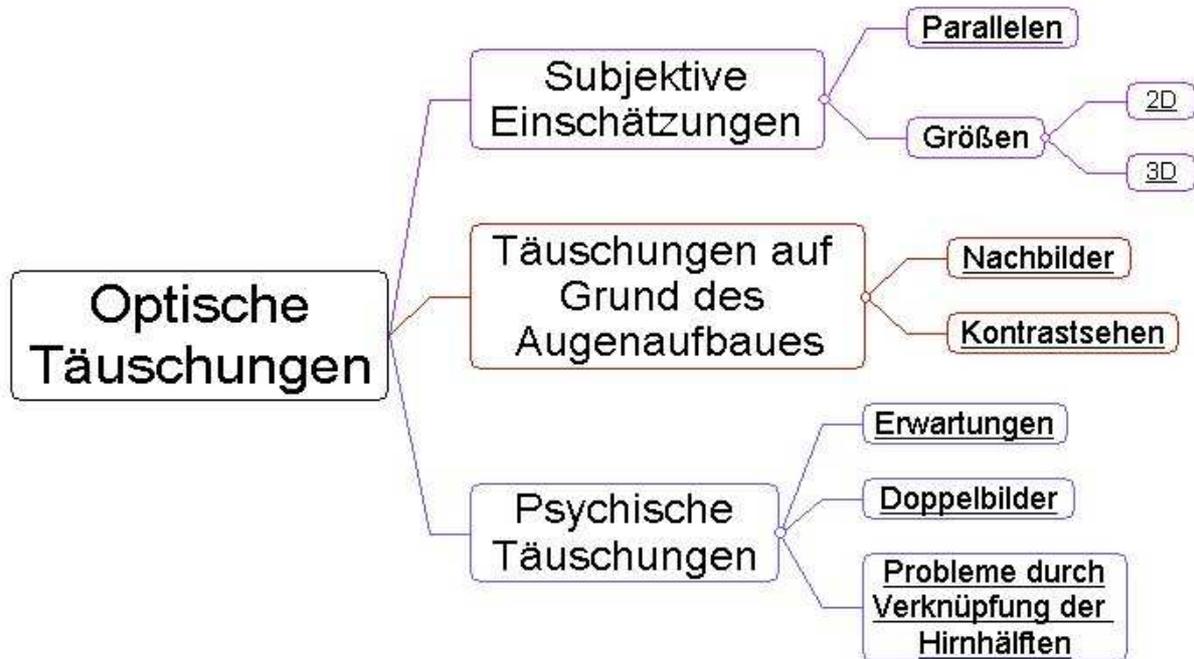
In besonderem Maße betroffen sind die Haut und die Augen. Die Wirkungen für die **Haut** sind Hautrötungen (Sonnenbrand), schnelleres Altern der Haut und im schlimmsten Fall Hautkrebs.

Die **Augen** sind in mehrerer Hinsicht gefährdet. Die **UV-Strahlung** wird bei erwachsenen Personen fast zu 100% in der Hornhaut absorbiert. Eine zu hohe UV-Belastung im Gebirge beispielsweise führt dann zur Entzündung der Bindehaut und der Hornhaut. Viel kritischer zu bewerten ist der thermische Wirkungsmechanismus durch gewöhnliches **sichtbares Licht**. Da die Leistungsdichte eines eintreffenden Lichtstrahls durch die Augenoptik um einen Faktor mehrerer Zehnerpotenzen ansteigen kann, ist die Gefahr einer Netzhautverbrennung keinesfalls zu vernachlässigen. Klassisches Beispiel ist das Hineinschauen in die Sonne. Entstehende Narben reduzieren die zentrale Sehschärfe sehr stark.

Tag 5:

Verknüpfungen sind jeweils die letzten Einträge einer Reihe!

Doch zuvor noch ein kleiner Rat: Oftmals steht die Erklärung zu den gezeigten Bildern unmittelbar darunter. Deshalb sollte man sich die Seiten in Ruhe durchsehen, und nicht nur schnell überfliegen.



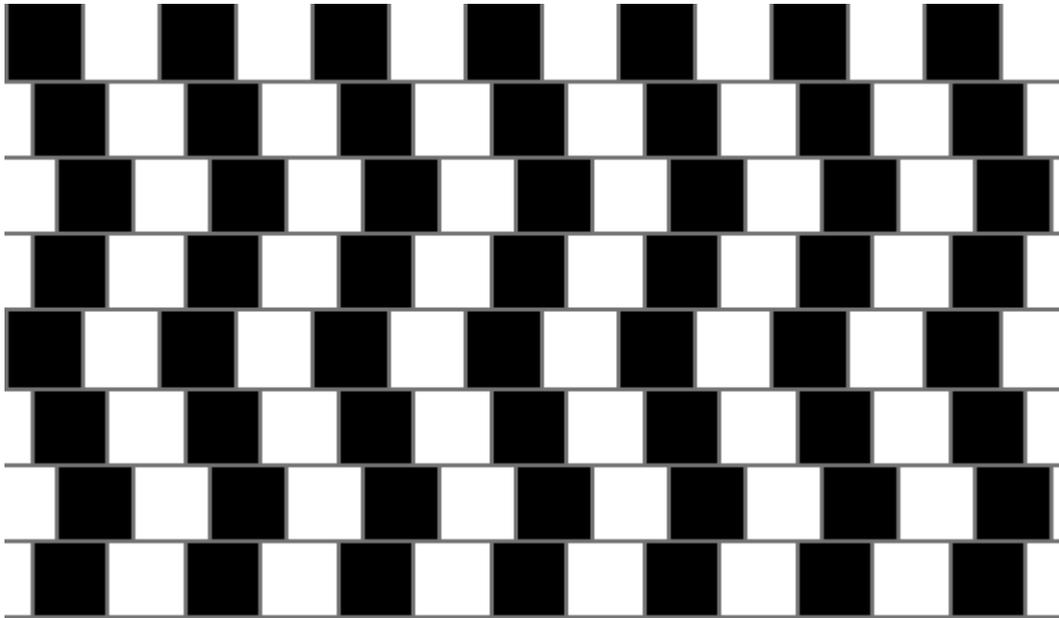
Und hier noch eine kleine Sammlung verblüffender Täuschungen und Illusionen die sich keiner Kategorie direkt zuordnen lassen.

Eine direkte Verknüpfung zu den beiden Filmen dieses Projekttagess befindet sich hier.

Parallelen

Das Einschätzen von Parallelen stellt sich oftmals als schwieriger heraus als es auf den ersten Moment scheint.

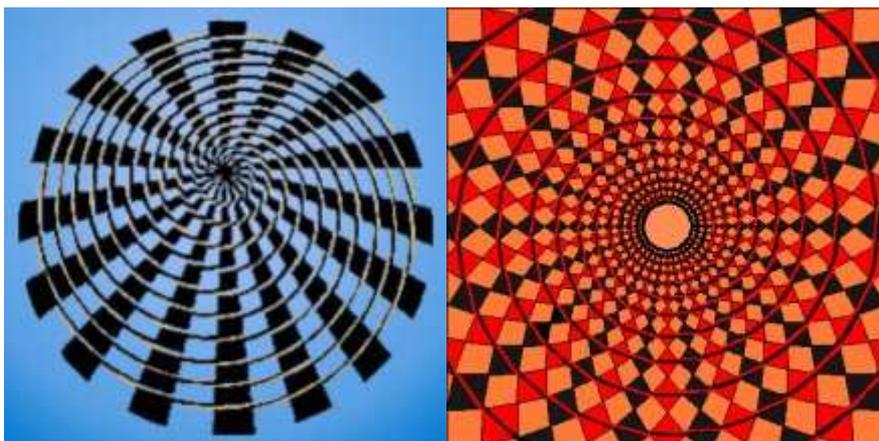
Handelt es sich beim folgenden Bild um parallele Linien oder stehen sie schräg zueinander??



Zwei Effekte machen es nahezu unmöglich diese Linien auf den ersten Blick als parallel zu erkennen.

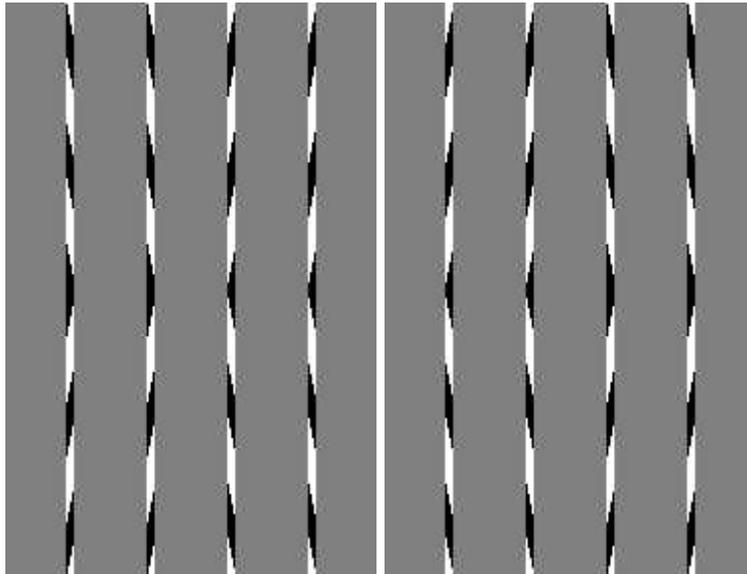
Zum einen ist es die Eigenschaft des Auges Kontraste zu Verstärken (siehe dazu: Kontrastsehen) und weiterhin der Wunsch des Gehirns das Schachbrettmuster "geradezurücken".

Weitere, etwas ausgefeiltere Beispiel zeigen folgende Spiralbilder:

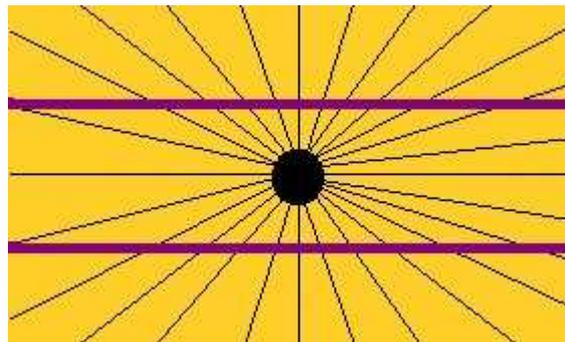


Wobei man bei genauerer Betrachtung erkennen kann, dass es sich eigentlich um konzentrische Kreise handelt. Der Effekt wird jeweils durch das zusätzlicher Muster der Ringe verursacht, welches es in steilem Winkel kreuzt.

Dies lässt sich etwas besser bei der "Twisted Cord Illusion", also bei der Illusion der verdrehten Schnüre, beobachten:



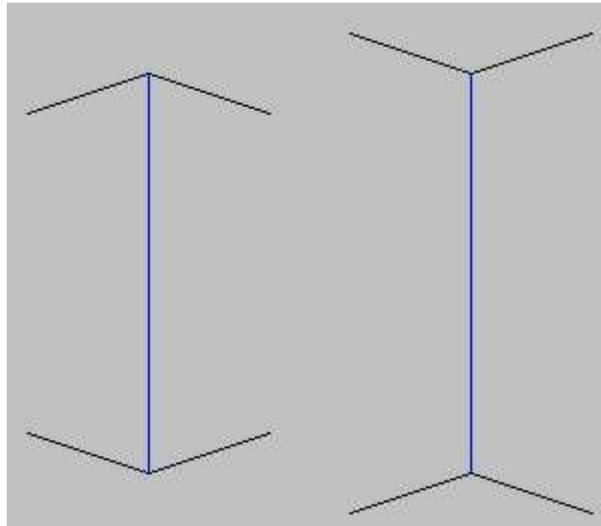
Wieder handelt es sich um parallele Geraden welche durch die in steilem Winkel kreuzenden Strahlen mit hohem Kontrast (hier schwarz/weiß) gebogen wirken. Abschließend das wohl offensichtlichste Beispiel zu diesem Themenkreis, welches schön die Abhängigkeit der vermeintlichen Biegung vom Winkel der kreuzenden Strahlen zeigt:



2D Größeneinschätzung

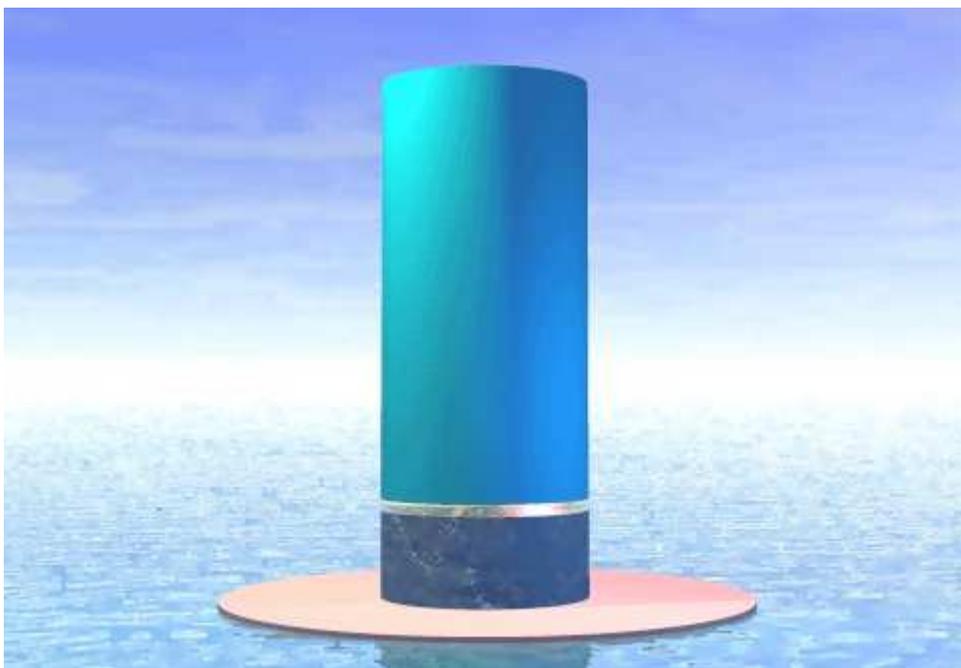
Das Einschätzen von Größen und Längen kann durch vielerlei Einflüsse erschwert werden. In diesem ersten Block zum Thema wollen wir und einige Beispiele für zweidimensionale Längenabschätzungen betrachten.

Beginnen wir mit dem wohl bekanntesten Vertreter dieser Gattung, bei dem es darum geht, die Längen zweier paralleler Linien abzuschätzen:



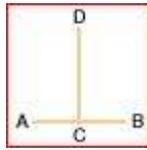
Natürlich sind die beiden blauen Linien gleich lang. Die unterschiedlichen Eindrücke rühren vom Versuch des Gehirns her, eine perspektivische Information in das abstrakte zweidimensionale Bild zu interpretieren.

Betrachten wir uns nun folgendes Bild und stellen uns die Frage: Ist der Hut (inklusive Krempe) höher als die Krempe breit ist??

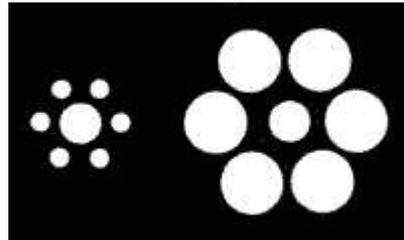


Die Antwort ist natürlich wieder, nein! Der Hut ist ebenso groß wie breit. Die Fehleinschätzung beruht auf dem Effekt, dass eine horizontale Linie die von einer

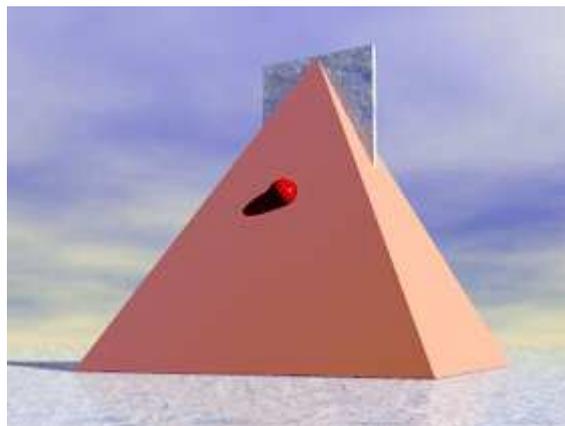
vertikalen unterbrochen wird kürzer erscheint. In der folgenden kleinen Illustration ist die Strecke AB ebenso lang wie die Strecke CD:



Ebenso hängt die Größenwahrnehmung stark von den Umgebungsobjekten ab. Ein Beispiel hierfür sind die beiden mittigen Kreise in folgendem Bild:



Als abschließendes Beispiel Stellen wir bei einer Pyramide die Frage, ob der Ball den halben Weg nach oben bereits zurückgelegt hat, schon weiter ist, oder noch etwas bis dorthin fehlt.

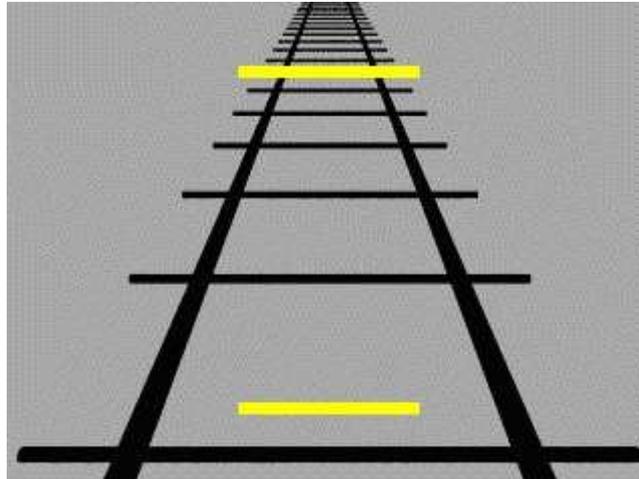


Der Ball befindet sich genau auf halber Höhe. Dabei handelt es sich nicht um eine dreidimensionale Täuschung, wie die folgende Projektion der Pyramide zeigt, bei der die Täuschung ebenfalls auftritt:



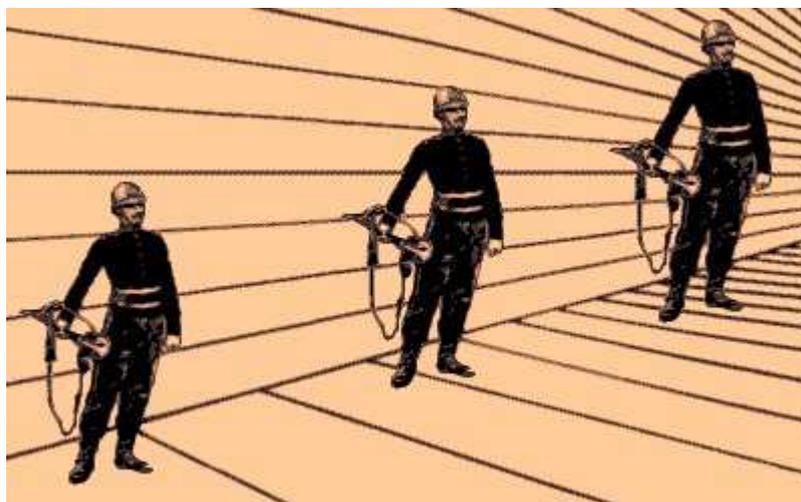
3D Größeneinschätzung

Hier zunächst ein einfaches Beispiel, das zeigt, wie leicht man unsere Wahrnehmung mit zweidimensionalen Bildern täuschen kann, die einen scheinbar dreidimensionalen Inhalt besitzen. Dabei ist es verblüffend, wie gut doch die Täuschung funktioniert, auch wenn man sich darüber im klaren ist:



Die beiden gelben Balken sind exakt gleich lang. Da jedoch der obere als weiter entfernt interpretiert wird, korrigiert unser Gehirn den vermeintlich kleineren Sehwinkel in der Größenabschätzung.

Das gleiche Prinzip liegt der folgenden Täuschung zu Grunde. Welcher Soldat ist der größte?



Und wieder einmal kann man sich der Illusion kaum entziehen, auch wenn man bereits ahnt, dass wieder einmal drei gleich große Soldaten, und hier sogar drei identische abgebildet sind.

Als drittes Beispiel die Frage, welcher der beiden Bälle auf dem folgenden Bild der größere ist:



Wieder einmal sind die Größen identisch!
Abschließend zu diesem Gebiet ein kurzer Film, der zwei Comicfliegen (Vater und Sohn) zeigt.
Den Film findet man hier.

Nachbilder

Sogenannte Nachbilder entstehen durch nicht schnell genug vollzogene Regenerierung der Botenstoffe in unseren Sehzellen.

Dadurch dass man sich lange (30 bis 60 Sekunden) ein Bild ansieht, "brennt" es sich bildlich gesprochen in die Netzhaut ein. Genauer passiert folgendes:

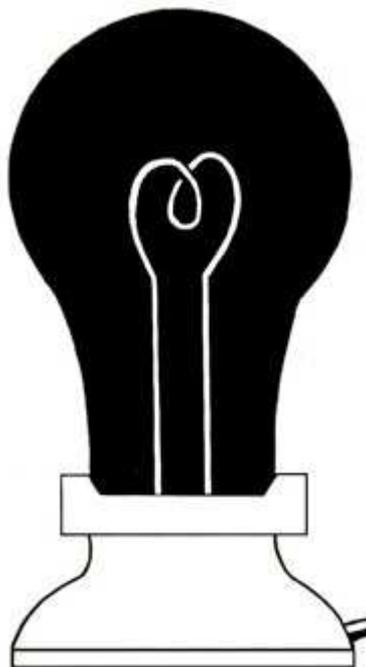
Durch das ruhige Betrachten wird immer der gleiche Gegenstandspunkt auf die gleiche Stelle der Netzhaut projiziert. Betrachtet man also einen roten Fleck, so nimmt dieser auf der Netzhaut immer den selben Platz ein. Den Sehzellen geht nach einiger Zeit der Botenstoff für das Signal "Ich sehe rot!" aus.

Der Effekt verschwindet nach einiger Sekunden.

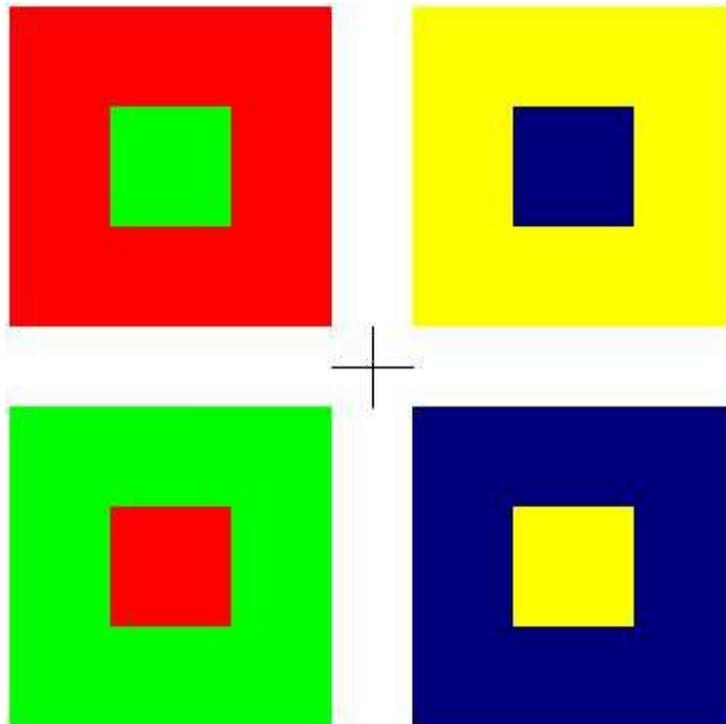
Betrachtet man also ruhig eine farbige Fläche und danach eine weiße Fläche, so erscheint zu jedem Bildpunkt die komplementäre Farbe, da der zugehörige Botenstoff der Originalfarbe ausgegangen ist.

Hier nun einige Beispiele:

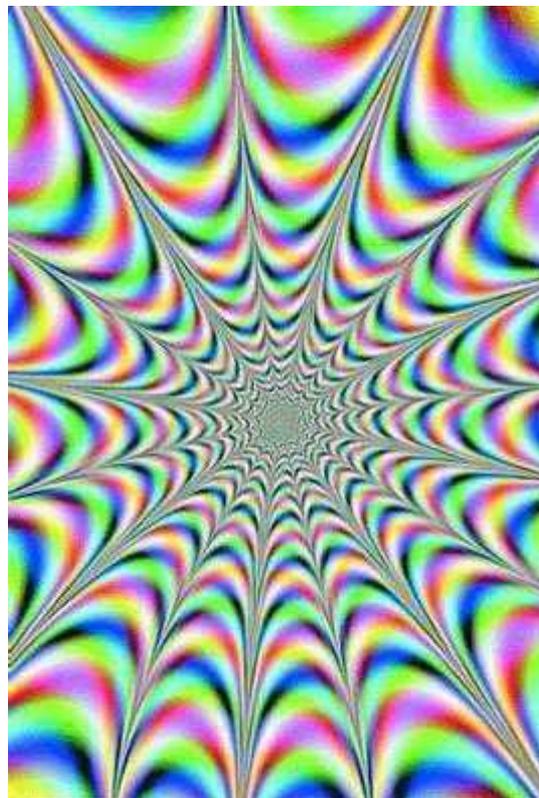
Betrachtet man sich folgendes Bild einer Glühbirne für etwa 30 Sekunden konzentriert, und blick danach auf eine weiße Fläche, so wird man eine "leuchtende Glühbirne" zu erkennen glauben:



Das gleiche Prinzip liegt folgenden farbigen Quadraten zugrunde. Durch die Paarung von Komplementärfarben erhält man hier einen sehr ausgeprägten Effekt. Wieder muss man für gut 30 Sekunden konzentriert auf das kleine Kreuz in der Mitte blicke, und anschließend eine weiße Fläche betrachten.

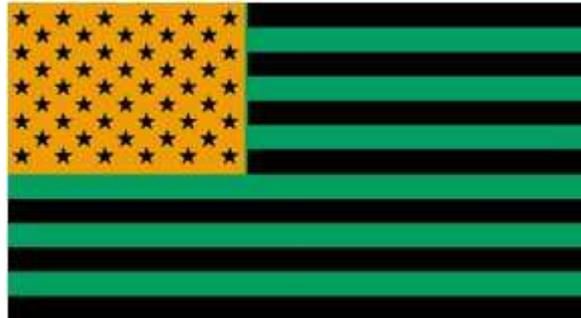


Wer schließlich seinen Augen mal ein richtiges Fest bescheren will, kann sich folgendes Bild zu Gemüte führen. Lässt man seinen Blick leicht um das Zentrum des Bildes kreisen, wird man bald ein Schimmern und eine Wellenbewegung erkennen. Verschiedene Bildteile werden fokussiert und verschwinden wieder aus dem Fokus. Diese "Party für die Augen" vermischt wild Nachbilder und bestehendes Bild zu immer neuen Strukturen:



Die eigentliche Version dieses Bildes existiert im Posterformat und wirkt noch deutlich beeindruckender.

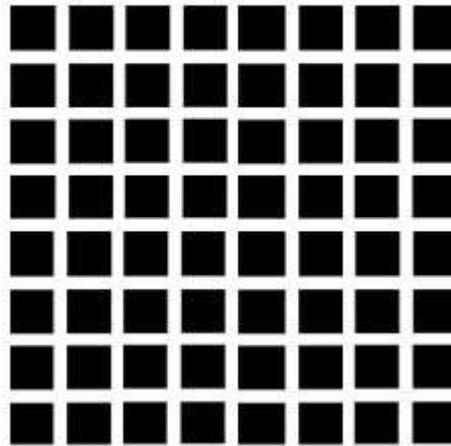
Zum Abschluss dieser Sektion noch ein etwas ruhigeres Erlebnis mit einem "Nachleuchten" der Komplementärfarben. Erneut gilt es, dass folgende Bild etwa 30 Sekunden lang konzentriert zu betrachten, um danach auf einer weißen Fläche die amerikanische Flagge erkennen zu können:



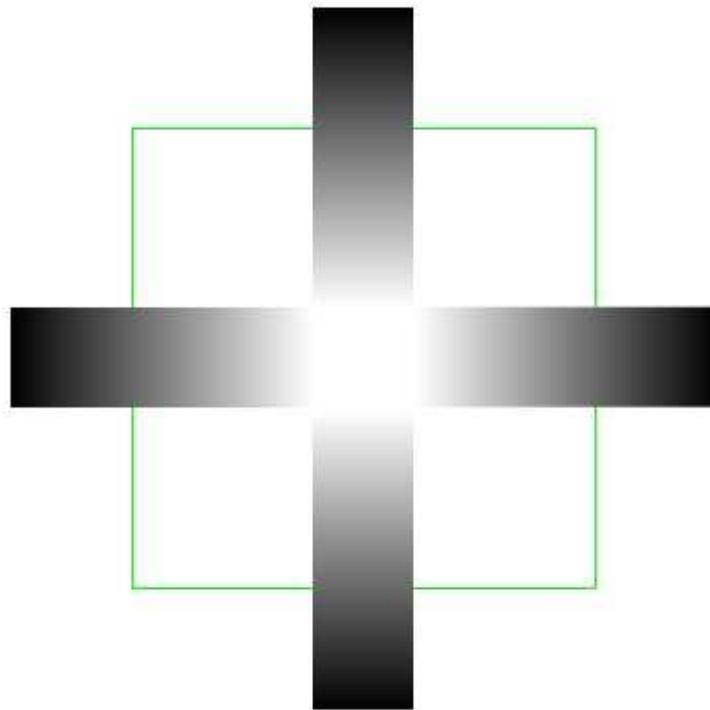
Kontrastsehen

Eine im Grunde genommen sehr nützliche Funktion der physikalischen Reizverarbeitung unseres Sehapparates kann auch dazu genutzt werden optische Täuschungen zu schaffen.

Durch die Verknüpfung der Sehzellen in der Netzhaut schwächen Zellen mit starkem Signal das ihrer Nachbarzellen leicht. Dies führt zu einer Erhöhung des Kontrastes! Sehr schön kann man dies an folgendem Beispiel sehen, dem sogenannten Herman'schen Kontrastgitter. Es zeigt eine periodische Anordnung schwarzer Quadrate auf weißem Grund:

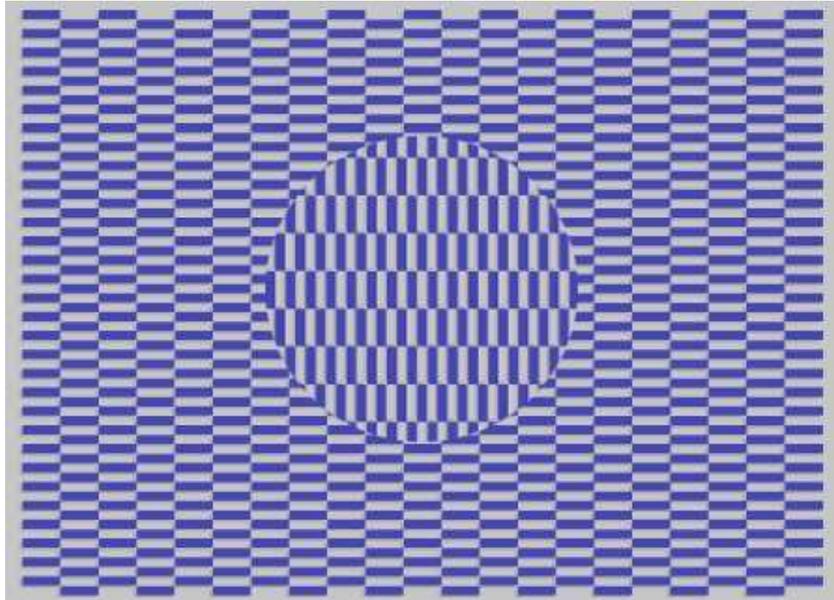


Um den Kontrast zwischen weißen Strecken und schwarzen Quadraten zu erhöhen, schwächen (wie oben beschrieben) die Sehzellen welche die weißen Strecken abbilden ihre Nachbarzellen, so dass das schwarz dunkler wirkt. Dies geschieht allerdings auch dort wo sich zwei Strecken treffen, aber kein schwarzes Quadrat vorhanden ist: An den Kreuzungspunkten. Dort entstehen dunklere Punkte! Ein etwas ausgefeilteres Beispiel zeigt das folgende Bild:



Die Fläche im Zentrum erscheint heller als der umgebende Hintergrund, obwohl alle weißen Flächen identisch sind. Dies liegt wiederum daran, dass (diesmal umgekehrt) helle Flächen neben dunklen noch heller erscheinen.

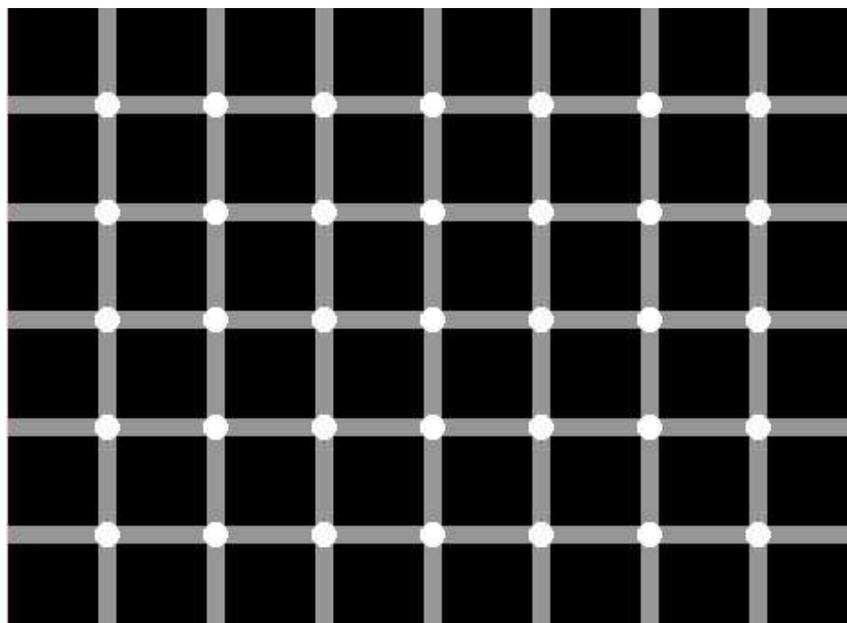
Ein Muster bei dem sich die Kontrastverstärkung als Problem herausstellt zeigt das folgende Bild. Dabei kommen noch einige weitere Effekte hinzu. Betrachtete man sich das Bild, scheint es irgendwann vor den Augen zu schwimmen und ein Tiefeneindruck entsteht:



Dies liegt zum einen an der immer vorhandenen, unwillkürlichen Augenbewegung, die Nachbilder und tatsächlich vorhandenes Muster überlagert.

Weiterhin geht man davon aus, dass das Gehirn Probleme damit hat, Bilder der Außenregionen und die des Sehentrums zu einem ruhenden Bild zu kombinieren. Zum dritten erschweren die Kontraste das fokussieren und verstärken damit die oben erwähnten Effekte.

Ein Musterbeispiel zum Schluss! Auch hier kommt das Auge nicht zur Ruhe, und die "einfache" Aufgabe lautet: "Zählen sie die schwarzen Punkte"

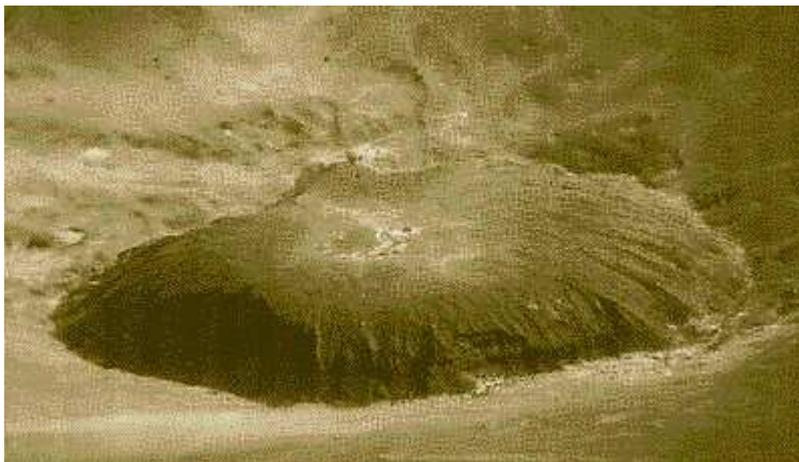


Erwartungen

Eine weiterer wichtiger Ansatzpunkt optischer Illusionen liegt bei der Interpretation der Daten in unserem Gehirn. Betrachten sie sich zum Beispiel folgendes Bild der ehemaligen amerikanischen Regierung:



Man sieht Bill Clinton und seinen Vize Al Gore! Richtig? Falsch! Zu sehen ist zweimal Bill Clinton nur mit verschiedenen Frisuren und unterschiedlicher Kleidung! Bei den Gesichtern handelt es sich um identische Kopien. Nur die Erwartung Al Gore im Hintergrund zu sehen, lässt unser Gehirn zu dieser Interpretation der Dinge greifen. Oder sehen wir uns folgendes Bild einer Urlaubsreise an:



Eine Insel. Eindeutig! Aber leider war der Fotograf nie auf einer Insel während des ganzen Urlaubs. Vielmehr hat er sich einige Kraterlandschaften angesehen, was ein umdrehen des Bildes beweist:



Wieder einmal spielt einem die Erwartung einen Streich. Man glaubt zu sehen, was gar nicht da ist. Lesen sie doch mal folgendes Schild:



Was haben sie gelesen? Lesen sie noch mal!

Das zweite "the" entdeckt? Auch hier möchte es sich das Gehirn so einfach machen wie möglich. Es glaubt den Satz zu erkennen und beendet mitten im Text die genaue Analyse, sondern guckt nur noch schnell drüber ob sich das Bild mit den Erwartungen deckt. Dabei reicht es dann bei den meisten Menschen nicht dazu aus, das doppelte Wort zu entdecken.

Wer es dennoch beim ersten lesen bemerkt, wäre sicherlich mit einem anderen Satz, der ihm geläufiger ist zu täuschen gewesen.

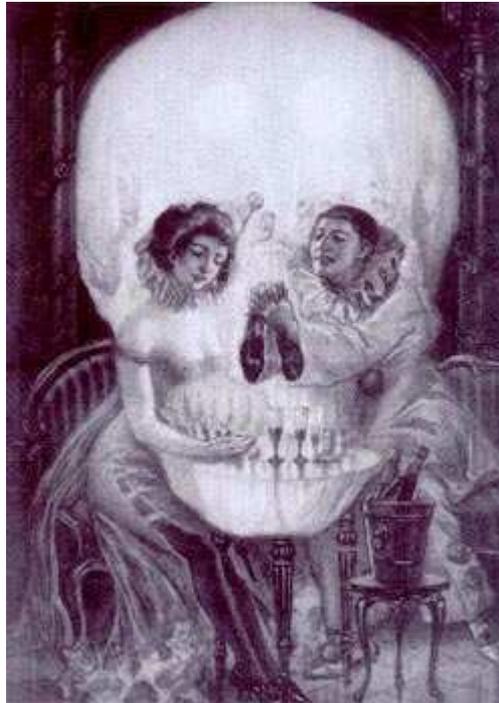
Ein weiteres sehr schönes Beispiel ist dieser kleine Drache, dessen eigentliche Qualität sich erst in der gefilmten Version zeigt, die man hier findet.



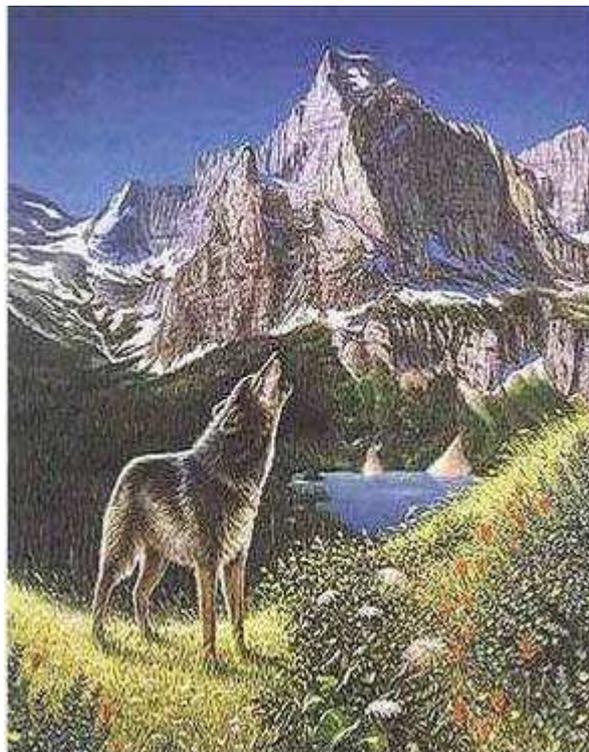
Doppelbilder

Bei Doppelbildern handelt es sich in der Regel um Zeichnungen, welche mehr als eine Bedeutung oder Interpretationsmöglichkeit besitzen.

Recht offensichtlich funktioniert dies im nächsten Bild, wo man mehr Mühe hat das eigentliche Geschehen zu erkennen als die Doppeldeutigkeit:



Etwas subtiler funktioniert dies im nächsten Bild:



Ein Wolf, zwei, oder noch mehr?? Vier Wölfe sind in diesem Bild versteckt, und das Gehirn muss sich nun, hat sie das Auge einmal entdeckt, jedes Mal aufs neue entscheiden, ob es nun gerade einen Gebirgszug erblickt, oder eben das Rudel. Berühmtestes Beispiel dieser Gattung ist das berühmte Doppelgesicht von W. E. Hill, ursprünglich publiziert 1915 als "My Wife and My Mother-in-law."



Und zum Ende noch ein ganz subtiles Beispiel, dass viele Beobachter zur Verzweiflung treibt.

Es handelt sich um eine Gravur aus dem Jahre 1815 des Künstlers Canu. Zu sehen ist ein kleiner Blumenstrauß, und für ganz genaue Beobachter die Gesichter von Napoleon, seiner Frau Josephine und ihrem Sohn.



Probleme durch die Verknüpfung der beiden Hirnhälften

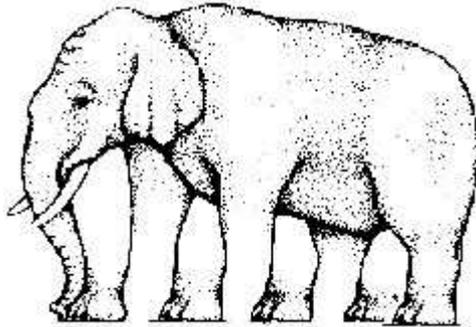
Das Beispiel dieses Unterkapitels zeigt den Kampf beider Hirnhälften auf. Aufgabe ist es, im folgenden Bild die FARBE der gezeigten Worte laut zu sagen, nicht die Worte selbst:

GELB **BLAU** **ORANGE**
SCHWARZ **ROT** **GRÜN**
LILA **GELB** **ROT**
ORANGE **GRÜN** **SCHWARZ**
BLAU **ROT** **LILA**
GRÜN **BLAU** **ORANGE**

Während die rechte Hirnhälfte versucht die Farbe aufzusagen, versucht die linke das Wort selbst auszusprechen. Die Aufgabe des Vorlesens ist sicherlich zu meistern, aber die Schwierigkeit und die notwendige Konzentration verblüffen ob so einer leichten Aufgabe!

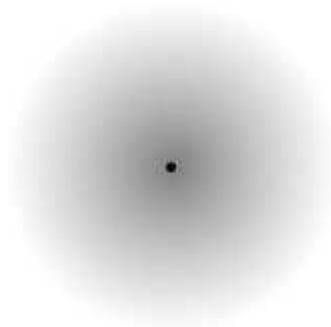
Verblüffendes

Hier zu guter letzt noch eine kleine Sammlung verblüffender Täuschungen und Illusionen, die keine der anderen Kategorien direkt zugeordnet werden können:

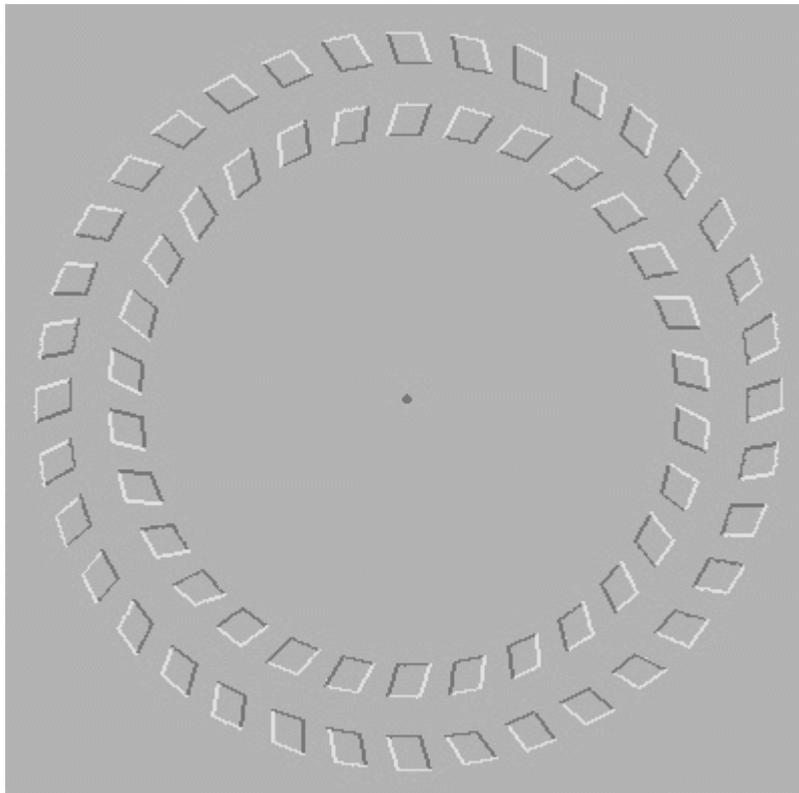


Wie viele Beine hat der Elefant?

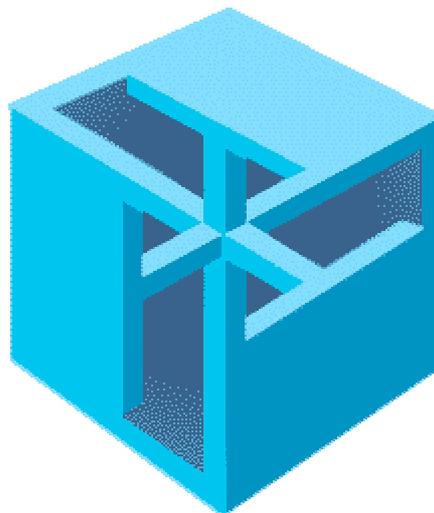
Schauen sie sich im nächsten Bild konzentriert den kleinen schwarzen Punkt an. Das umgebende grau scheint zu schrumpfen:



Etwas ganz anderes verblüfft am nächsten Bild. Schauen sie auch dort auf den Punkt in der Mitte und bewegen sie sich dann leicht auf den Monitor zu oder davon weg. Bewegt sich da was?



Das Spiel mit der Perspektive ermöglicht auch eine ganze Menge unmöglicher Objekte. Oder bauen sie das mal nach:



Oder noch ein Nachschlag zu den Nachbildern. Sehen sie sich die Spirale doch mal einige Zeit genauer an, und betrachten sie danach ihre Hand: (Funktioniert nicht in der gedruckten Version, weil sich die Spirale hier nicht dreht)



Übersicht

Anfang

Farbenlehre

Biologische Grundlagen des Farbsehens

Aufbau der Netzhaut
Empfindlichkeit der Sehzellen
Farbsinnstörungen
Verarbeitung der Reize im Gehirn

Farbmischungen

Additive Farbmischung
Subtraktive Farbmischung und Körperfarben
Rotierende Farbscheibe

Spektren des Lichts

Dispersion am Prisma
Beugung am Gitter

UV-Strahlung

Elektromagnetisches Spektrum
Gefahren für die Augen

Technische Anwendungen

Farbfernsehen

Sonstige Phänomene

Simultaner Farbkontrast
Farbige Nachbilder

Fehlsichtigkeit

Kurz- und Weitsichtigkeit

Biologische Ursachen
Versuche dazu

Astigmatismus

Am menschlichen Sehapparat
An Linsen allgemein

Sehhilfen

Kontaktlinsen, Glasaugen etc.
Brillen

Brillentypen
Angaben im Brillenpass
Herstellung (Besuch beim Optiker)

Augenschutzmaßnahmen

Gefahren von UV-Strahlung und von Licht für den Menschen

Optische Täuschungen

Subjektive Einschätzungen

Parallelen

Größen

2-dimensional
3-dimensional

Täuschungen auf Grund des Augenaufbaues

Nachbilder
Kontrastsehen

Psychische Täuschungen

Erwartungen
Doppelbilder
Probleme durch Verknüpfungen der Hirnhälften

Filme

Übersicht