

**Forschungsbasierte Weiterentwicklung einer Lernumgebung zu  
Anaglyphentechnik**

**Bachelorarbeit**

zur Erlangung des akademischen Grades eines Bachelor of Education

an der Karl-Franzens-Universität Graz

vorgelegt von

Stefan ROPAC 01512627

im Fachbereich Fachdidaktik Physik am Institut für Physik

Begutachterin: Dr. Ingrid Krumphals

Graz, Februar 2020

## Abstract

Im Alltag von Schülerinnen und Schülern sind die 3D-Technik und das 3D-Sehen nicht mehr wegzudenken. Kinofilme und Videospiele bedienen sich schon jahrelang der Technik, aus einem 2-dimensionalen Bild eine 3D-Wahrnehmung zu generieren. Für die 7. Fakultät wurde im Rahmen des „Mitmachlabors“ eine Lernumgebung zum 3D-Sehen entwickelt, welche es Schülerinnen und Schülern ermöglichen soll, sich mit diesem Thema genauer auseinanderzusetzen.

Eine Analyse zur Lernwirksamkeit der Lernumgebung für den Lernprozess bei Schülerinnen und Schülern wurde noch nicht durchgeführt. Im Zuge dieser Bachelorarbeit wird die Lernstation „Anaglyphentechnik“, bei der Lernende in die Physik von (farb-)stereoskopischen Bildern, wie sie unter anderem bei 3D Filmen zum Einsatz kommen, eintauchen, qualitativ untersucht. Zu Beginn werden fachliche Aspekte des 3D-Sehens mittels Anaglyphentechnik geklärt. Anschließend werden Schülerinnen und Schüler aus der Sekundarstufe II die Station durcharbeiten und über die Methode des Lauten Denkens dazu interviewt. Die Interviews werden auf die bei den Schülerinnen und Schülern ablaufenden Lernprozesse, sowie auf mögliche lernhinderliche Elemente der Station, hin analysiert. Die die Station „Anaglyphentechnik“ umfassenden Materialien, die Aufgabenstellung, die Versuche, die Hinweiskärtchen und die Nutzung der Applikation „Make it 3D free“, werden anschließend unter Berücksichtigung der Untersuchungsergebnisse weiterentwickelt.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b> .....	1
<b>2 Fachlicher Hintergrund</b> .....	2
2.1 Licht .....	2
2.2 Wie sieht man ein Objekt? .....	3
2.3 Wahrnehmung von Farbe im menschlichen Gehirn.....	5
2.4 Möglichkeiten der Farbmischung .....	7
2.5 Stereoskopie – 3D-Sehen .....	9
2.6 Entstehung der Farbe eines Bildes am (Smartphone-)Bildschirm .....	9
2.7 Farbanaglyphentechnik .....	10
<b>3 Fachdidaktischer Hintergrund</b> .....	13
3.1 Didaktische Rekonstruktion .....	13
3.2 Schülervorstellungen .....	14
<b>4 Untersuchungsdesign</b> .....	14
4.1 Grundlagen des Lauten Denkens .....	14
4.2 Lautes Denken – Anaglyphentechnik .....	15
<b>5 Auswertung der Interviews – Stichprobenbeschreibung und Analysemethode</b> .	15
5.1 Schüler 1 .....	16
5.1.1 Ergebnisse Vorfragebogen .....	17
5.1.2 Erstellen eines 3D-Anaglyphenbildes .....	17
5.1.3 Analyse der beiden Teilbilder .....	18
5.1.4 3D-Wahrnehmung eines Anaglyphenbildes .....	19
5.1.5 Resümee .....	20
5.2 Schüler 2 .....	21

5.2.1 Ergebnisse Vorfragebogen .....	21
5.2.2 Erstellen eines 3D-Anaglyphenbildes .....	21
5.2.3 Analyse der beiden Teilbilder .....	22
5.2.4 3D-Wahrnehmung eines Anaglyphenbildes .....	24
5.2.5 Resümee .....	25
5.3 Schüler 3 .....	26
5.3.1 Ergebnisse Vorfragebogen .....	26
5.3.2 Erstellen eines 3D-Anaglyphenbildes .....	26
5.3.3 Analyse der beiden Teilbilder .....	27
5.3.4 3D-Wahrnehmung eines Anaglyphenbildes .....	28
5.3.5 Resümee .....	29
<b>6 Zusammenfassung und Interpretation .....</b>	<b>30</b>
6.1 Erstellen eines 3D-Anaglyphenbildes .....	30
6.2 Analyse der beiden Teilbilder .....	33
6.3 3D-Wahrnehmung eines Anaglyphenbildes .....	36
<b>7 Überarbeitung der Materialien .....</b>	<b>39</b>
<b>8 Fazit .....</b>	<b>44</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>45</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>46</b>

# 1. Einleitung

Im Mitmachlabor der 7. Fakultät der Universität Graz wurde eine Lernumgebung zum Thema 3D-Sehen entwickelt. Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, eine Station der Lernumgebung, die Station „Anaglyphentechnik“, auf ihre Lernwirksamkeit auf Schülerinnen und Schüler hin zu untersuchen. Anhand der Resultate soll die Station im Anschluss an die Untersuchung entsprechend weiterentwickelt werden, mit dem Ziel, den Lernprozess für Schülerinnen und Schüler zu optimieren. Die Untersuchung der Lernprozesse erfolgt mittels der Interviewmethode des Lauten Denkens von drei Schülern der 4. Schulstufe einer Handelsakademie. Durch die gewählte Methode soll erreicht werden, dass man Lernschwierigkeiten aufdecken kann, ohne die Interviewprobanden bei der Untersuchung maßgeblich zu beeinflussen.

Am Beginn der Arbeit steht die Klärung des fachdidaktischen Hintergrunds der Arbeit, der fachliche Hintergrund des Themas 3D-Sehen und, im Speziellen, der Anaglyphentechnik und eine Zusammenfassung von möglichen Schülervorstellungen. Anschließend daran folgt eine Beschreibung des Untersuchungsdesigns mit den Grundlagen des Lauten Denkens.

Im Hauptteil der Arbeit werden die Ergebnisse der Interviews mit den drei Schülern aufgeführt. Zuerst werden die Ergebnisse der Probanden bei den zu lösenden Aufgaben einzeln aufgeführt, auf diese folgt dann eine Zusammenfassung der Ergebnisse, welche für jede Aufgabe die Ergebnisse aller Schüler erneut auflistet und vergleicht.

Im letzten Teil der Arbeit werden die an den Versuchsmaterialien durchgeführten Anpassungen geschildert und mithilfe der Ergebnisse der Interviews begründet. Zuletzt folgt ein kurzes Fazit.

## 2. Fachlicher Hintergrund

### 2.1 Licht

Das elektromagnetische Spektrum beschreibt alle vorkommenden Frequenzen und Wellenlängen von elektromagnetischer Strahlung. Langwellige und niederfrequente Radiostrahlung und kurzwellige aber hochfrequente Gammastrahlung bilden die untere und obere Grenze der in der Natur vorkommenden elektromagnetischen Strahlung. Für den Menschen sichtbares Licht ist nur ein kleiner Teil dieses Spektrums. Eine elektromagnetische Welle lässt sich durch die drei Größen  $c$  (Lichtgeschwindigkeit),  $\lambda$  (Wellenlänge) und  $f$  (Frequenz) beschreiben und in einer Gleichung in Zusammenhang bringen:

$$c = \lambda * f$$

mit

$$c \cong 300\,000 \frac{km}{h}$$

$$\lambda / [m]$$

$$f / [Hz]$$

Festgelegt wurde der für den Menschen sichtbare Bereich zwischen den Wellenlängen 380nm und 780nm, wobei hier die beiden Grenzen als fließend zu betrachten sind.

Violettes Licht mit einer Wellenlänge von 380nm und einer Frequenz von 790 THz und rotes Licht mit einer Wellenlänge von 780nm und einer Frequenz von 384 THz bilden die beiden Grenzen des für den Menschen sichtbaren Lichts [vgl. Lübke 2012: 2].

Sogenanntes weißes Licht ist elektromagnetische Strahlung mit Anteilen aller Wellenlängen bzw. Frequenzen des für den Menschen sichtbaren Lichts. Weißes Licht lässt sich in seine verschiedenen Anteile aufspalten. Dies kann durch Interferenz, Beugung an Gittern oder Brechung an einem optischen Prisma geschehen. Letzteres macht sich die Frequenzabhängigkeit des Brechungsindex von Medien zu Nutze. Trifft Licht in einem Winkel  $\neq 90^\circ$  auf die Seite eines Prismas mit der Form eines

gleichschenkligen Dreiecks, so werden die Anteile des Lichts entsprechend ihrer Frequenz beim Eintritt in das Prisma unterschiedlich stark gebrochen. Dies geschieht beim Übergang von Luft – Prisma und ein zweites Mal beim Austritt aus dem Prisma, dem Übergang Prisma – Luft. Aufgefangen auf einem Schirm zeigt sich das Spektrum, die Gesamtheit aller Frequenzen, des zwei Mal gebrochenen Lichts [vgl. Hecht 2017: 79].

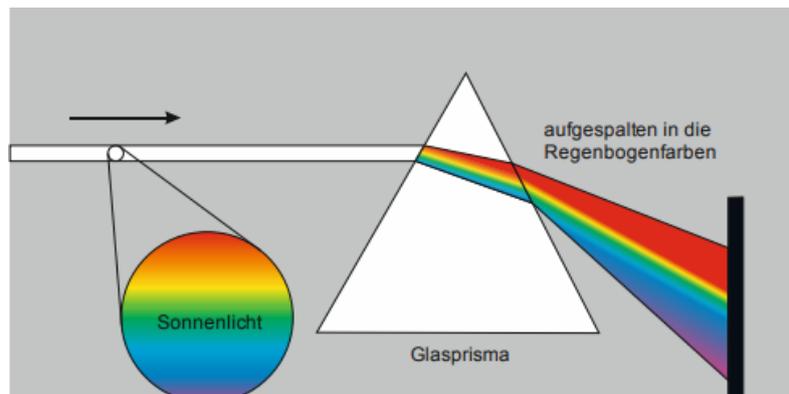


Abbildung 1- Dispersion von weißem Licht an einem optischen Prisma (Haagen-Schützenhöfer 2017, Optik für die Sekundarstufe I (a): 27)

Die gebrochenen Komponenten des weißen Lichts sind monochromatischer Natur, das bedeutet, sie sind elektromagnetische Strahlung von nur einer Frequenz. Diese lassen sich nicht noch einmal mit den bereits erwähnten Methoden aufspalten.

Die Farbempfindungen, die von monochromatischem Licht hervorrufen werden, werden Spektralfarben genannt. Die Farben des Regenbogens, Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo und Violett entstehen ebenfalls durch Brechung von weißem Licht [vgl. Lübke 2012: 4]

## 2.2 Wie sieht man ein Objekt?

Um ein Objekt „sehen“ zu können, muss Licht von dem Objekt in unser Auge gelangen. Die (Körper-)Farbe eines Objekts ist der im Auge des Betrachters entstehende Farbreiz, welcher von der Frequenz des ins Auge fallenden Lichts abhängt [vgl. Lübke 2012: 1]. Körperfarben sind demnach abhängig davon, welche Frequenzen der einfallenden elektromagnetischen Strahlung von einem Körper absorbiert und wieder emittiert werden und welche Ausgangsstrahlung auf das Objekt trifft. Die Reflexions- und Absorptionsgrade von Objekten ändern sich nicht. Sie haben also auf die Körperfarbe

wenig Einfluss. Den größten Einfluss, welcher Körperfarbeneindruck in unserem Gehirn erzeugt wird, hat das auf den Körper einfallende Licht.

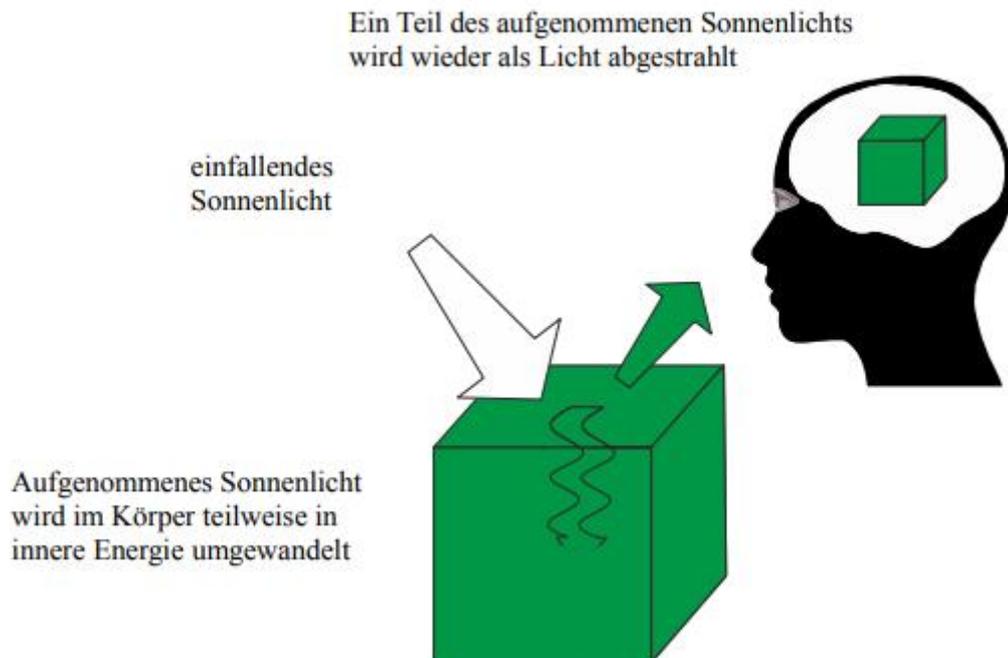


Abbildung 2 - Erzeugung eines grünen Farbeindrucks bei einfallendem weißem Licht (Haagen-Schützenhöfer 2017a: 35)

Der in Abbildung 2 dargestellte Würfel absorbiert jede Frequenz des einfallenden Lichts außer grünes Licht, welches reflektiert wird und in das Auge des Betrachters gelangt und den Farbeindruck „Grün“ erzeugt. Würde die Lichtquelle mit Frequenzen arbeiten, die unter bzw. über der von grünem Licht liegen würden, würde der Würfel schwarz erscheinen, da der gesamte Anteil des einfallenden Lichts absorbiert wird (siehe Abbildung 3).

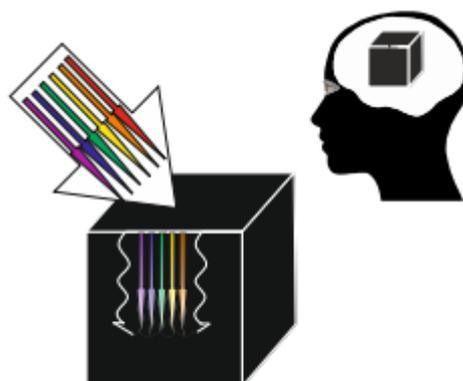


Abbildung 3 - Komplette Absorption des einfallenden Lichts (Haagen-Schützenhöfer 2017a: 37)

### 2.3 Wahrnehmung von Farbe im menschlichen Gehirn

Auf die Netzhaut auftreffende elektromagnetische Strahlung in einem Bereich von 380nm bis 780nm erzeugt beim menschlichen Auge einen Farbreiz. Im Gehirn wird dieser zu einem Farbeindruck verarbeitet. Auf der lichtabgewandten Seite des Auges befinden sich die Sinneszellen zur Wahrnehmung von Licht [vgl. Lübbe 2012: 12]. Diese Sinneszellen haben verschiedene Funktionen: Die Stäbchen sind für das Hell-Dunkel-Sehen verantwortlich und die Zapfen für das Farben-Sehen.

Auf der Netzhaut befindet sich der „Blinde Fleck“, an dem es keine photosensiblen Zellen gibt. Hier laufen die Sehnerven des Auges zusammen und münden, als Strang gebunden, von der Netzhaut in Richtung Gehirn. Die Entstehung von Farbeindrücken im menschlichen Gehirn in der sogenannten Sehrinde ist in Abbildung 4 schematisch dargestellt [vgl. Lübbe 2012: 12].

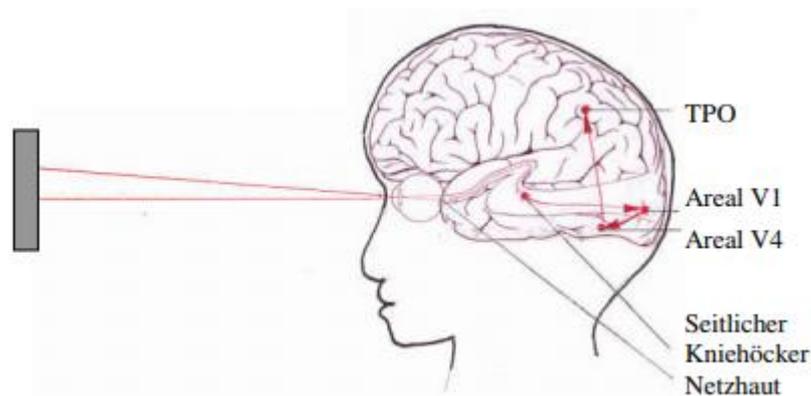
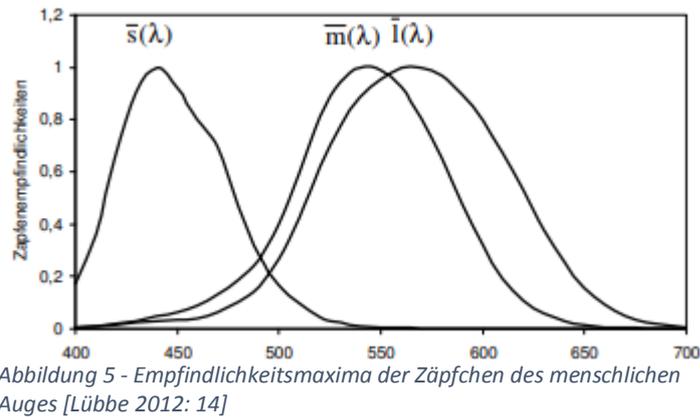


Abbildung 4- An der Entstehung der Farbempfindung beteiligte Areale des Gehirns [Lübbe 2012: 12]

Vom Auge

ausgehend passieren die Nervensignale zuerst das Areal V1 und werden danach zum Areal V4 geschickt, wo der Farbeindruck erzeugt wird. Im TPO-Areal werden Farbinformation und zusätzliche Parameter wie Bewegungsform und Form des Gesehenen zusammengefügt [vgl. Lübbe 2012: 12].

Das menschliche Auge besitzt drei Arten von Zapfen, welche für unterschiedliche Wellenlängenbereiche Empfindlichkeitsmaxima besitzen (siehe Abbildung 5).



$l(\lambda)$ ,  $m(\lambda)$  und  $s(\lambda)$  stehen für den (l)angwelligeren, den (m)ittleren und den kurzwelligen (s) Bereich des Spektrums. Die Maxima der Empfindlichkeit liegen bei Wellenlängen, welche mit den Farben Blau-Violett, Grün und Gelb korrespondieren [vgl. Lübbe 2012: 13-14]

In der Sehrinde wurden insgesamt 6 verschiedene Zelltypen gefunden, denen man die folgenden Farben zuordnen kann:

„S – L      Violettblau

M – S      Gelb

L–M      Orangerot

M – L      Grün

(L+M) – S    Purpurrot (Magenta)

S – (M+L)    Cyanblau“ [Lübbe 2012: 18]

mit

L ... Zellen, die welche den langwelligeren Teil des Spektrums von sichtbarem Licht reagieren

M... Zellen, welche auf den mittleren Teil des Spektrums von sichtbarem Licht reagieren

S ... Zellen, welche auf den kurzwelligen Teil des Spektrums von sichtbarem Licht reagieren

Diese sechs Zelltypen lösen, mit unterschiedlichen Graden der Erregung, im Gehirn den qualitativen „Farbeindruck“ aus [vgl. Lübbe 2012: 18]

## 2.4 Möglichkeiten der Farbmischung

Räumlich nahe oder zeitlich nacheinander angebotene Reize werden im menschlichen Gehirn addiert [vgl. Lübbe 2012: 30]. Als Beispiel für eine zeitliche Nähe können auf einem Kreisel drei Primärfarben (und Schwarz als Zusatz für die Helligkeit) aufgetragen werden und der Kreisel schnell gedreht werden. So vermischen sich die Farben für das menschliche Gehirn additiv zu einer Mischfarbe (siehe Abbildung 6).



Abbildung 6 - unbewegter (links) und drehender (rechts) Farbkreis [Lübbe 2012: 30]

Werden mehrere Lichtquellen auf die gleiche Position gerichtet, kommt es zur additiven Mischung aufgrund von räumlicher Nähe. Aus den Primärfarben kann man mittels zeitlicher oder örtlicher Nähe alle anderen Farben mischen.

Der additive Farbkreis kann als vereinfachtes Modell für die additive Farbmischung herangezogen werden (siehe Abbildung 7).



Abbildung 7 - Additive Farbmischung [Lübbe 2012: 33]

Bei der subtraktiven Farbmischung (Abbildung 8) kommt es zur Verringerung des Lichts aus einer Ausgangsquelle. Am einfachsten lässt sich das mit Farbfiltern realisieren. Wenn Licht, bestehend aus elektromagnetischer Strahlung unterschiedlicher Frequenzen, auf Farbfilter trifft, absorbieren die Farbfilter jeweils einen frequenzabhängigen Anteil des Ausgangslichts. Ein Magentafilter absorbiert beispielsweise alle Grünanteile des Ausgangslichts und lässt nur elektromagnetische Strahlung durch, deren Frequenzbereich bei „Rot“ und „Blau“ liegt. Der nicht absorbierte Anteil des Ausgangslichts erzeugt dann beim Betrachter additiv gemischt den Farbeindruck „Magenta“.



Abbildung 8 – Subtraktive Farbmischung [Lübbe 2012: 33]

## 2.5 Stereoskopie – 3D-Sehen

Unter dem Begriff Stereoskopie versteht man die Erzeugung einer Tiefenwahrnehmung von einem zweidimensionalen Bild. Um ein Objekt dreidimensional wahrnehmen zu können, muss Licht von diesem reflektiert werden und auf der linken und der rechten Netzhaut der Augen in einem unterschiedlichen Winkel auftreffen. Dies geschieht beim Menschen durch die nebeneinander liegenden Augen. Durch deren natürlichen Abstand bildet jedes Auge eine eigene Sehachse zum Objekt [vgl. Tauer 2010: 21].

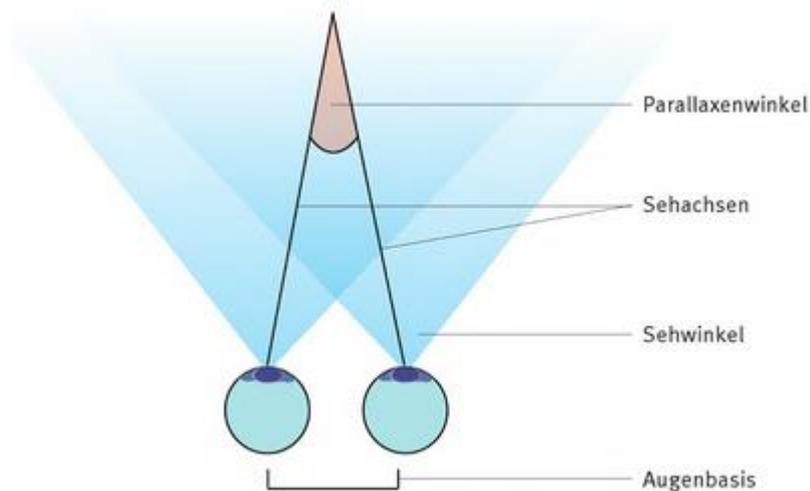


Abbildung 9- Unterschiedliche Sehachsen der Augen [Tauer 2010: 22]

Der Unterschied zwischen den beiden auf den Netzhäuten entstandenen Bildern, wird Disparität genannt. Räumliches Tiefensehen wird durch die Auswertung und Verschmelzung der Bilder der beiden Augen ermöglicht [vgl. Tauer 2010: 21-24].

## 2.6 Entstehung der Farbe eines Bildes am (Smartphone-)Bildschirm

Die Farbentstehung eines Bildes auf dem Smartphonebildschirm bedient sich eines ähnlichen Prinzips wie die eines Fernseher: Ein sogenannter Pixel, bestehend aus drei Unterpixeln (Rot, Grün, Blau), wird im Hintergrund mit Licht bestrahlt. Dabei kann gesteuert werden, welcher der drei Unterpixel beleuchtet werden soll. Durch subtraktive Farbmischung werden dem Ausgangslicht alle anderen Frequenzanteile absorbiert, so dass der Unterpixel in der gewünschten Farbe „leuchtet“. Durch räumliche

Nähe der Unterpixel erscheinen die einzelnen Lichtquellen als eine Gesamtlichtquelle und jeder additiv-mischbare Farbeindruck kann erzeugt werden.

Smartphones verwenden organische Leuchtdioden (OLEDs) zur Erzeugung von Farbe. OLEDs bestehen aus mehreren Schichten. Zwei Schichten organischen Materials werden eingeschlossen durch eine Anode und eine Kathode. Das organische Material kann unterteilt werden in eine emittierende Schicht und eine leitende Schicht. Wird eine Spannung an der OLED angelegt, fließen Elektronen von der Kathode zur Anode. Die Kathode emittiert Elektronen, welche von der Anode angezogen werden [vgl. Yersin 2004: 3-4].

Elektronen und „Löcher“ (die Abwesenheit von negativ-geladenen elektrischen Ladungsträgern) rekombinieren. Die Rekombination von Elektronen und Löchern findet in der emittierenden Schicht statt, da positiv-geladene Löcher dazu tendieren, zu den Elektronen nahe der emittierenden Schicht zu wandern. Es kommt zur Emission von elektromagnetischer Strahlung, welche, je nach gewähltem organischem Stoff, im für den Menschen sichtbaren Bereich liegen kann. Die Frequenz der emittierten Strahlung ist abhängig vom Energieunterschied der Energiebänder (vom Energieunterschied des energietechnisch höchsten besetzten Orbitals und des energietechnisch niedrigsten unbesetzten Orbitals) [vgl. Yersin 2004: 3-7].

OLEDs haben den Vorteil, dass sie keine Hintergrundbeleuchtung benötigen, um ein Bild mit hoher Auflösung zu erzeugen, da sie mehr Pixel pro Fläche erzeugen können als beispielsweise LEDs. Durch das Ersetzen von kristallinen Festkörpern durch dünne Schichten organischen Materials können OLEDs platzsparender gebaut werden und eignen sich besser für Smartphonebildschirme und Fernseher. Da jeder Unterpixel ein- bzw. ausgeschaltet werden kann und nicht eine dauernde Hintergrundbeleuchtung für den gesamten Bildschirmbereich vorherrschen muss, benötigen sie auch weniger Strom als LEDs [vgl. Yersin 2004: 5-7].

## *2.7 Farbanaglyphentechnik*

Mithilfe einer Farbanaglyphenbrille und einem Anaglyphenbild lässt sich aus einem zweidimensionalen Bild ein Stereogramm erzeugen, welches im menschlichen Gehirn einen Eindruck von räumlicher Tiefe des Bildes erzeugt. Ein Anaglyphenbild besteht aus

zwei Teilbildern, die in einem leicht unterschiedlichen Winkel aufgenommen wurden. Bei einem der Teilbilder wird entweder der Rotanteil oder der Cyananteil herausgefiltert, sodass es nur aus den additiven Mischungsmöglichkeiten der beiden Farben Blau und Grün im einen und Rot im anderen Fall besteht. Beim zweiten Teilbild wird der Komplementärteil zum ersten herausgefiltert. Die beiden Teilbilder werden übereinandergelegt und dann leicht gegeneinander verschoben. Mithilfe der Smartphoneapplikation „Make it 3D“ kann ein solches Anaglyphenbild erzeugt werden (Abbildung 10). Die Applikation bearbeitet die Farbausgangskanäle für die beiden Teilbilder: Beim „linken“ Bild blockiert sie den Rotausgang und somit besteht dieses nur aus Blau und Grün, welche additiv gemischt Cyan ergeben. Beim „rechten“ Bild wird der Cyanausgang blockiert.

Eine Farbanaglyphenbrille besitzt anstelle von Brillengläsern Farbfilter, welche nach dem Modell der subtraktiven Farbmischung arbeiten. Eine Anaglyphenbrille muss mit denselben Farben als Filter arbeiten, wie sie im Anaglyphenbild benutzt werden. In diesem Fall ist, vom Brillenträger aus, der Rotfilter vor dem linken Auge und der Cyanfilter vor dem rechten Auge.

Mit aufgesetzter Anaglyphenbrille erreicht Licht unterschiedlicher Frequenzbereiche die einzelnen Netzhäute: Auf die linke Netzhaut trifft nur rotes Licht, auf die rechte Netzhaut Cyanfarbenes. Somit ist jeweils eines der Teilbilder für ein Auge nicht sichtbar. Es kommt zu einer Nachahmung des natürlichen stereoskopischen Sehens des Menschen: Das rechte Auge besitzt einen anderen Sehwinkel auf das Bild der Applikation als das linke Auge. Durch Auswertung und Fusion der beiden unterschiedlichen Teilbilder im Gehirn des Betrachters entsteht der Eindruck von Tiefe bei den zweidimensionalen Teilbildern (Abbildung 12). Rot-Cyan-Brillen eignen sich gut für 3D-Brillen, da so keine Frequenzen „verloren gehen“ – bei einer Rot-Blau-Brille würde der Grünanteil eines Bildes komplett von den Filtern absorbiert werden.

Der Prozess des 3D-Anaglyphensehens ist in den Abbildungen 10 bis 13 schematisch dargestellt.

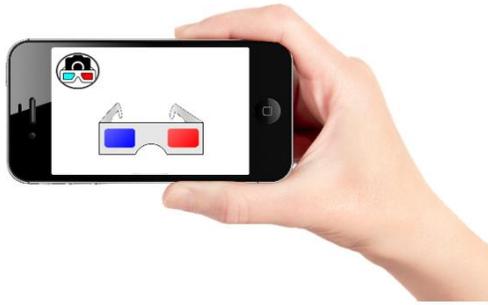


Abbildung 10 - Schematische Darstellung des 3D-Anaglyphensehens (1)



Abbildung 11 - Schematische Darstellung des 3D-Anaglyphensehens (2)

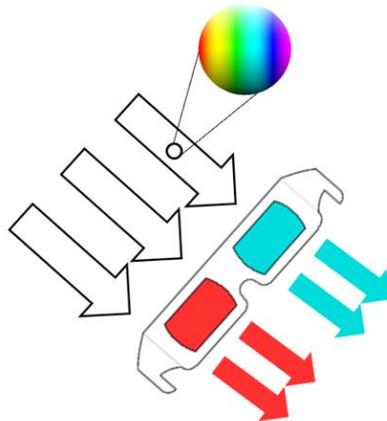


Abbildung 12 - Schematische Darstellung des 3D-Anaglyphensehens (3)

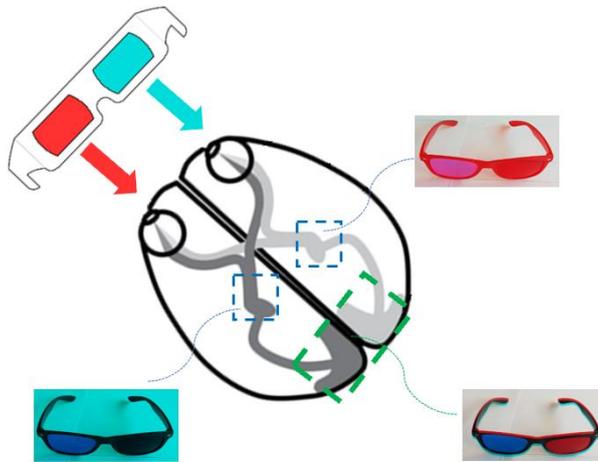


Abbildung 13 - Schematische Darstellung des 3D-Anaglyphensehens (4)

### 3. Fachdidaktischer Hintergrund

#### 3.1 Didaktische Rekonstruktion

Mithilfe des Modells der Didaktischen Rekonstruktion lassen sich Schülervorstellungen mit fachlichen Vorstellungen in Verbindung bringen, sodass daraus eine Lernumgebung konstruiert werden kann. Aussagen und Erkenntnisse aus der Wissenschaft sind nicht ohne Aufbereitung in den Unterricht übernehmbar, es muss ein Bezug zwischen dem Lehrstoff und dem Alltagsleben der Lernenden hergestellt werden. Dies kann erreicht werden durch Berücksichtigung der Vorstellungen und des Vorwissens der Lernenden zu einem Thema. Durch eine didaktische Rekonstruktion eines Themas kann dieses erst in den Schulunterricht eingebaut werden. [vgl. Duit et al. 1987: 3]

Fachliche Konzepte und Schülervorstellungen zu diesem werden im Modell der Didaktischen Rekonstruktion als gleichberechtigt erachtet. Ein Vergleich der Ergebnisse einer Analyse des fachlichen Inhalts und der Erfassung von Schülervorstellungen bildet die Grundlage für die didaktische Strukturierung des Unterrichts. Mithilfe einer didaktischen Strukturierung kann im Anschluss eine Lernumgebung erstellt werden. [vgl. Duit et al. 1987: 4-6]

Die Didaktische Rekonstruktion bildet das fachdidaktische Grundgerüst dieser Arbeit. Als Ausgangsmaterialien wird ein Teil einer bereits fertiggestellten Lernumgebung zum Thema 3D-Sehen herangezogen, welche in Hinsicht ihrer Lernwirksamkeit für Lernende untersucht werden soll.

## 3.2 Schülervorstellungen

Haagen-Schützenhöfer [April 2017 (b) ; Mai 2017 (c)] fasst in Ihren beiden Arbeiten häufig auftretende Schülervorstellungen zum Thema „Licht“ und „Farbensehen“ zusammen: „Weißes Licht“ als Begriff der Physik für Licht aller für den Menschen sichtbaren Wellenlängen wird gleichgesetzt mit den Begriffen „normales Licht“ oder nur „Licht“, welche als Termini im täglichen Sprachgebrauch benutzt werden; Sonnenlicht im Speziellen wird oft einzig und alleine die Farbe „Gelb“ zugeschrieben; eigentlich weißes Licht wird als „rein“ und „farblos“ beschrieben und lässt einen Beobachter zusätzlich „die Farben eines Objekts sehen“ [vgl. 2017c: 2]; weißes Licht mischt sich mit der Farbe eines Objekts; weißes Licht gibt seine Farbe an ein Objekt an und man sieht das Objekt dann in der Farbe des Lichts [vgl. 2017b: 192-193]. Haagen-Schützenhöfer & Hopf [in Schecker et al. 2018: 92-93] ergänzen, dass Schülerinnen und Schüler von einem aktiven Sehprozess ausgehen, bei dem das Auge aktiv auf ein Objekt blickt, welches zur selben Zeit von Licht angestrahlt wird, was zusammen den Sehprozess möglich macht.

## 4. Untersuchungsdesign

### 4.1 Grundlagen des Lauten Denkens

Bei der Methode des Lauten Denkens werden die Probanden in einem Interview aufgefordert, ihre Gedanken auszusprechen. Dadurch soll ein Einblick in die laufenden Denkprozesse der Befragten gewährleistet werden [vgl. Konrad 2010: 476-477]. Diese Methode ermöglicht es, gewisse Aspekte einer Lernumgebung, die möglicherweise unklar formuliert sind, aufzudecken. Die in dieser Arbeit gewählte Art des Lauten Denkens ist die unmittelbare Retrospektion. Hier werden Gedanken im direkten

Anschluss nach Bearbeiten einer Reihe von Aufgaben beschrieben. Hier kommt es, neben dem aussprechen seiner Gedanken, zu einer Versprachlichung von Inhalten, die nur in schriftlicher Form vorliegen. [vgl. Konrad 2010: 476–479]. Vom Versuchsleiter wurde ein Interviewleitfaden für die Lernumgebung erstellt. Das Interview gestaltete sich so, dass der Interviewer den Probanden möglichst offene Fragen zu jedem Unterpunkt der zu bearbeitenden Aufgaben vorgab und die Befragten sich ohne große Unterbrechungen seitens des Interviewers dem Prozess des Lauten Denkens widmen konnten. Wurde ein Teil einer Aufgabe ausgelassen oder wurde ein Teil nicht ausführlich genug behandelt, kam es zum Eingreifen des Versuchsleiters.

#### *4.2 Lautes Denken – Anaglyphentechnik*

Vor dem Bearbeiten der Materialien durch die Probanden wurde deren Vorwissen überprüft. Ein eigens für die Lernumgebung erstellter Vorfragebogen fragte nach etwaigem bereits vorhandenem Vorwissen der Lernenden zum Thema Anaglyphentechnik, danach folgte eine Aufgabe, bei der die Probanden eine Abbildung mit auf einen Farbfilter auftreffendem Licht ergänzen und beschreiben mussten. Zuletzt folgte eine Single-Choice Frage, bei der eine Abbildung auszuwählen war, die den physikalisch korrekten Sehvorgang beschreibt. Zusätzlich musste die Wahl motiviert werden.

Im Anschluss an den Vorfragebogen folgte eine fachliche Inputphase des Interviewers, welche die theoretische Basis bilden sollte, auf die die Lernenden beim Bearbeiten der Materialien zurückgreifen konnten. In der Inputphase wurden, unter anderem, der richtige Sehvorgang und die Abbildung mit dem Farbfilter aus dem Vorfragebogen erklärt.

Nach der Inputphase bearbeiteten die Schüler die Materialien der Lernumgebung und schließlich folgte ein Interview mit jedem der Lernenden, welches die Methode des Lauten Denkens nutzte.

## **5. Auswertung der Interviews – Stichprobenbeschreibung und Analyseverfahren**

Die Interviews wurden mit 3 Schülern der 4. Schulstufe einer Handelsakademie durchgeführt. Diese 3 Schüler meldeten sich freiwillig für die Analyse der Lernumgebung. Die Interviews folgten auf die Bearbeitung der Aufgaben durch die Schüler. Die angestrebte Arbeitszeit von 30 Minuten wurde von allen Schülern leicht überschritten, mit der längsten Arbeitszeit von 36 Minuten bis hin zur kürzesten Arbeitszeit von 32 Minuten.

Zu Beginn wurde den Befragten der Arbeitsablauf erklärt. Der Vorfragebogen wurde von den Schülern bearbeitet und danach kurz durchbesprochen. Darauf folgte ein fachlicher Input des Autors. Nach einer kurzen Pause bearbeiteten die Schüler die Aufgaben. Das Interview folgte nach einer erneuten kurzen Pause. Im Interview wurde versucht, die Schüler ihre gegebenen Antworten erläutern zu lassen und ihnen genug Redefreiraum zu geben, dass sie in einen Redefluss gelangen konnten.

Somit wurde eine explorative Fallstudie mit drei Schülern durchgeführt. Die Transkriptionen wurden qualitativ analysiert und die Ergebnisse werden im nächsten Kapitel zusammenfassend dargestellt. Bei den Interviews wurden sowohl Audio-, als auch Videoaufnahmen durchgeführt, um etwaige Skizzen der Probanden, die sie bei den Interviews anfertigen, ebenfalls dokumentieren und analysieren zu können. Bei den Interviews wurden die Videoaufnahmen jedoch nicht genutzt, da die Lernenden nichts mehr schriftlich hinzufügten.

Die auf die Transkription und auf die Angabenblätter der Schüler verweisende Zitiermethode setzt sich wie folgt zusammen:

Zitat aus dem **Interviewtranskript**:

„Zitat“ [Schülernummer : Zeilennummer des Transkripts]

Zitat aus dem **Angabeblatt**:

„Zitat“ [Schülernummer : Aufgabennummer]

## 5.1 Schüler 1

### 5.1.1 Ergebnisse Vorfragebogen

Der Befragte gibt an, von der Anaglyphentechnik noch nie gehört zu haben. Die Themen additive Farbmischung und subtraktive Farbmischung gibt er als bekannt an und schätzt, dass diese Themen zwischen zwei und vier Schulstunden lang im Unterricht behandelt wurden. Sein Vorwissen zu diesem Thema schätzt er als schlecht ein. Bei der ersten Verständnisfrage des Vorfragebogens gibt er an, dass der Rotfilter die „rotfarbenen Dinge“ intensiviert, der „Rest“ mit Rot überdeckt wird, so dass man die „alte, eigentliche Farbe“ nicht mehr erkennen kann, nachdem das Licht mit dem Rotfilter interagiert. Bei der zweiten Frage wählt Schüler 1 Option Vier und ergänzt: „Da das Licht und das Auge zugleich auf die Pflanze gehen.“

### 5.1.2 Erstellen eines 3D-Anaglyphenbildes

Die erste Aufgabe ist für den Befragten ohne weitere Hilfestellungen zu lösen gewesen. Er gibt an, das entstandene Bild 3D wahrnehmen zu können.

Bei der zweiten Aufgabe gibt er an, dass das erste Bild „mehr mit Rot“ hinterlegt wird und das zweite Bild mit Blau, wodurch, in Kombination mit der 3D-Brille, das Bild „so“ erkannt wird [S1: A2]. Der Befragte gibt an, bei dieser Aufgabe nicht mehr auf das in der vorherigen Aufgabe erstellte Bild gesehen zu haben, sondern alles mit dem „Vorwissen“ gemacht zu haben [S1:15-20].

Bei der anschließenden Formulierung einer Hypothese zum Zustandekommen des 3D-Effekts schreibt er, dass in der 3D-Brille rechts ein blaues Glas und links ein rotes Glas ist. Die Bilder würden dann durch das linke Brillenglas Rot „aufgenommen“ und durch das rechte Brillenglas Blau. Beim Durchsehen durch die Brille könne man dann das Bild als 3D wahrnehmen [S1:A3]. Bei der Nachfrage im Interview hat der Befragte Probleme, seine niedergeschriebene Aussage in eigenen Worten noch einmal zu erklären und fängt zwei Mal von vorne an mit seiner Erklärung. Bei seiner Hypothesenformulierung beim Interview ändert Schüler 1 seine Hypothese ab und lässt den Begriff „Glas“ weg: „Die Bilder werden links rot und das rechte Bild wird blau aufgenommen, ähm, und wenn

man, wenn man dann durchsieht durch die 3D-Brille, kann man eben das 3D-Bild erkennen“ [S1:31-33]. Nach dem Formulierungsvorgang gefragt gibt er an, dass er sich seine Gedanken zu diesem Thema, soweit er es bisher behandelt hat, durch den Kopf gehen hat lassen und sie für sich selbst so einfach wie möglich niedergeschrieben hat [S1:35-36]. Schüler 1 gibt sich zufrieden mit seiner Hypothese und verneint die Frage nach der Notwendigkeit etwaiger zusätzlichen Hilfestellungen zu den ersten drei Aufgaben. Schüler 1 scheint von der Richtigkeit seiner Antworten überzeugt zu sein und erkennt keine fachlichen Widersprüche bei seinen Antworten.

### 5.1.3 Analyse der beiden Teilbilder

Bei der vierten Aufgabe, der Untersuchung der weit gegeneinander verschobenen Teilbilder, gibt Schüler 1 an, dass das erste Bild mit einem blauen Farbfilter hinterlegt wurde und das zweite Bild mit einem roten Farbfilter [S1:A4]. Diese Antwort ähnelt seiner Antwort von Aufgabe 2, wobei er hier den Begriff Farbfilter verwendet. Bei dieser Aufgabe wendet sich der Befragte zum ersten Mal zu einem Hilfekärtchen, dem in der Aufgabe vorgeschlagenen Hilfekärtchen 1. Er geht nicht darauf ein, wie genau er es zum Lösen der Aufgabe benutzt hat aber erklärt, dass er bei dieser Aufgabe zum ersten Mal beobachten konnte, dass eines der Teilbilder verschwindet, wenn man beide Teilbilder durch einen der beiden Farbfilter hindurch betrachtet. Konkret wählt er die Formulierung, dass man ein „schwarzes Bild sehen kann“ [S1:62-63]. Die Frage, ob er das Hilfekärtchen 1 auch ohne Text verstanden habe, bejaht der Befragte. Die Abbildungen auf dem Hilfekärtchen erschienen dem Schüler anscheinend so intuitiv, dass er den Text als nicht relevant erachtete.

Bei der nächsten Aufgabe, Aufgabe 5, mussten zwei Blumen aufgelegt, mit der App fotografiert werden und anschließend die entstandenen Teilbilder analysiert werden. Hierbei mussten die Teilbilder ein Mal ohne Anaglyphenbrille, ein Mal durch das rote Brillenglas und ein Mal durch das blaue Brillenglas betrachtet werden. Der Befragte gibt an, dass er die Aufgabenstellung problemlos verstanden habe [S1:83]. Beim Betrachten der Blumen ohne Brille gibt er an, vier Blumen, zwei rote und zwei blaue, zu sehen. Durch das rote Brillenglas kann er die blaue Blume „ganz normal“ sehen, durch das blaue

Brillenglas die rote Blume. Im Interview sagt er es dann genau anders herum, nämlich, dass er durch den Rotfilter die rote Blume und durch den Cyanfilter die cyanfarbene Blume sehen konnte. Schüler 1 scheint sich bei seinen Beobachtungen unsicher zu sein.

Beim Betrachten der beiden Teilbilder (Aufgabe 6) entweder mit dem Rotfilter oder dem Cyanfilter gibt der Befragte an, dass er für das rechte Teilbild, welches aus dem Rotanteil des Gesamtbildes besteht, mit dem Rotfilter die rote Blume nicht erkennen konnte, die blaue Blume aber schon. Diese Aussage wiederholt er im Interview noch einmal, ergänzt jedoch, dass die rote Blume „schwarz hinterlegt“ ist [S1:94]. Bei der Betrachtung des linken Bildes mit dem Rotfilter gibt er an, ein schwarzes Bild zu sehen. Beim rechten Bild mit dem Cyanfilter erkennt er nur die rote Blume und beim linken Bild mit dem Cyanfilter sieht er ein „normales“ Bild [S1:A6]. Das linke Teilbild besteht aus dem Cyananteil, das rechte Teilbild aus dem Rotanteil des Gesamtbildes.

Zu erwarten ist, dass jeweils eines der beiden Teilbilder bei der Betrachtung durch einen der beiden Farbfilter (ein Brillenglas) verschwindet: Betrachtet man das Bild ohne Rotanteil (linkes Teilbild) durch den Rotfilter und das Bild ohne Cyananteil (rechtes Bild) durch den Cyanfilter, so verschwinden diese. Das „rote Teilbild“ (rechtes Bild) wird nur bei Betrachtung durch den Rotfilter erkennbar, das „cyanfarbene Teilbild“ (linkes Bild) nur durch den Cyanfilter.

#### 5.1.4 3D-Wahrnehmung eines Anaglyphenbildes

Bei Aufgabe 7 musste eine Hypothese formuliert werden, wie die Smartphone-App die Teilbilder verändert. Der Befragte gibt an, dass dem linken Bild der Rotanteil und dem rechten Bild der Blauanteil weggenommen wird. Schüler 1 verwendete für diese Aufgabe nur das Hinweiskärtchen 2, welches an sich die Aufgabe erklärt. Auf Hinweiskärtchen 2 findet sich eine Abfolge von Grafiken, welche erklären, wie die Applikation die Teilbilder verändert und wie die veränderten Teilbilder durch die Anaglyphenbrille betrachtet für den Menschen erscheinen. Das Hinweiskärtchen findet Schüler 1 gut strukturiert [S1:121-122]. Hier wird deutlich, dass es, trotz des Hinweiskärtchens, für den Befragten nicht möglich ist, die Aufgabe fachlich korrekt zu lösen.

Der Befragte kommt bei Aufgabe 8 zu folgender Begründung: „Durch das Verschieben der Bilder erkennt das Gehirn eine räumliche Wahrnehmung. So kann das Gehirn dann aus diesen beiden Bildern ein räumliches Bild machen mit Hilfe der 3D-Brille“ [S1:A8] Diese Aufgabe löste er unter Zuhilfenahme von Hinweiskärtchen 3, welches die Notwendigkeit von zwei leicht unterschiedlichen Bildern für eine räumliche Wahrnehmung beschreibt. Bei diesem Hinweiskärtchen treten für ihn Probleme auf beim Verknüpfen des Bildes mit dem Text [S1:149-152]. Schüler 1 sagt auch, dass er vor allem den letzten Absatz des Hinweiskärtchens, welcher kurz und knapp das gesamte Hinweiskärtchen zusammenfasst, genutzt hat, um bei dieser Aufgabe eine Begründung zu formulieren [S1:160-161]. Schüler 1 bringt hier die Notwendigkeit von zwei verschiedenen Teilbildern, die zu einem Bild im Gehirn fusioniert werden, ein, welche Rolle die Anaglyphenbrille hier spielt, ist aus seiner Erklärung nicht ersichtlich.

Beim Formulieren, wie das Zustandekommen der Bilder bei der Smartphone-App besser beschrieben werden könne, ergänzte der Befragte die Aussage von Holger Tauer zu Beginn der Station mit dem Aspekt der 3D-Brille: „Die Bilder werden mit Rot und Blau eingefärbt überlegt und mit Hilfe der 3D-Brille kann man dann ein räumliches Bild erkennen“ [S1:A9]. Hier wird deutlich, dass Schüler 1 nicht kritisch über die Beschreibung von Tauer nachgedacht hat, sie als richtig identifiziert und sie in sein Wissen integriert hat.

### 5.1.5 Resümee

Während des Interviews wirkte der Befragte sicher, wenn es um das Erklären der Vorgänge bei der Anaglyphentechnik ging. Dem Befragten waren die Begriffe additive und subtraktive Farbmischung zwar schon im Vorhinein ein Begriff und er bekam sie im fachlichen Input vor den Aufgaben noch einmal zusammengefasst, er verwendete sie jedoch kein einziges Mal bei seinen Erklärungen. Schüler 1 hatte nach den Aufgaben das erstrebte Lernziel nicht erreicht – er konnte nicht mittels Lichtseparation beim Erklären der Anaglyphentechnik argumentieren und gestaltete seine Erklärungen sehr oberflächlich. Bei seinen Erklärungen dominierte das „Überlegen“ beziehungsweise „Einfärben“ der beiden Teilbilder, also das aktive Dazugeben von etwas, wobei er die

Funktionsweise der Anaglyphenbrille komplett außer Acht ließ. Auch nahm er die Beschreibung der Anaglyphentechnik von Tauer unreflektiert in sein Wissen auf und konnte nicht erkennen, dass, aufgrund der Erkenntnisse aus den vorhergehenden Aufgaben, eine andere Beschreibung benötigt wird, um die Technik fachlich korrekt zu beschreiben.

Schüler 1 änderte seine Antworten bei Aufgabe 5 bei den Betrachtungen der Teilbilder mit rotem und cyanfarbenen Brillenglas beim Interview – da dies dem Interviewer leider nicht auffiel, konnte hier nicht weiter nachgefragt werden. Trotz der vorhergehenden fachlichen Inputphase und den Verwendungen der Wörter „Cyan“ und „cyanfarben“ in den Aufgabenstellungen verwendete der Befragte bei seinen Antworten jedes Mal „Blau“.

## 5.2 Schüler 2

### 5.2.1 Ergebnisse Vorfragebogen

Schüler 2 gibt an, noch nie von der Anaglyphentechnik gehört zu haben. Die Themen additive Farbmischung und subtraktive Farbmischung gibt er als unbekannt an und schätzt sein Vorwissen zu diesem Thema als schlecht ein. Bei der ersten Verständnisfrage schreibt er, dass das Licht reflektiert wird, sobald es auf den roten Farbfilter trifft. Bei der zweiten Frage wählt er die korrekte Antwort, Nummer 3. Er begründet seine Wahl folgendermaßen: „Die Blume wird durch das Licht beleuchtet bzw. sichtbar. Anschließend wird das Bild reflektiert und für das Auge sichtbar“.

### 5.2.2 Erstellen eines 3D-Anaglyphenbildes

Aufgabe 1, die Einführungsaufgabe, ist für den Befragten ohne Probleme lösbar. Er wählt als Gegenstand das Bild auf der ersten Seite der Angabe und sagt, dass er mithilfe der Bilder auf Seite 2 ein 3D-Anaglyphenbild erstellen konnte und es 3D wahrnehmen konnte.

Bei Aufgabe 2, dem ersten Erklärungsversuch des Zitates von Holger Tauer, schreibt er: „Ein Bild [wird] mit der additiven und ein Bild mit der subtraktiven Farbmischung eingefärbt“ [S2:A2]. Im Interview gibt Schüler 2 zu Protokoll, dass er bei dieser Aufgabe zur ersten Seite der Angabe zurückgekehrt ist, sich den Einführungstext noch einmal durchgelesen hat und mittels Hinweiskärtchen 1 und dem Einführungstext seine Antwort formuliert hat [S2:18-19]. Informationen aus Hinweiskärtchen 1 zog er durch „ansehen“ der Bilder auf dem Hinweiskärtchen [S2:20]. Schüler 2 zog also aus Hinweiskärtchen 1 fachlich inkorrekte Informationen.

Bei der Formulierung einer ersten Hypothese (Aufgabe 3), wieso man ein von der App erstelltes Bild in Kombination mit der Anaglyphenbrille 3D wahrnehmen kann, schreibt er, dass das Gehirn zwei ähnliche Bilder „hat“ und diese miteinander kombiniert und so ein 3D-Effekt entsteht [S2: A3]. Beim Interview ändert er seine Formulierung leicht ab und sagt, dass das Gehirn zwei „ähnliche Bilder sieht“ und diese dann kombiniert [S2:26-27]. Bei der Frage nach der Formulierung der Hypothese erklärt Schüler 2, dass er hier auf die vorherigen Aufgaben zurückgesehen hat [S2:31-32].

### 5.2.3 Analyse der beiden Teilbilder

Die Schwierigkeiten mit den Begriffen additive und subtraktive Farbmischung zeigen sich auch in Aufgabe 4, bei der die beiden von der Applikation erzeugten Teilbilder weit gegeneinander verschoben und untersucht werden mussten. Für Schüler 2 unterscheiden sich diese Teilbilder dadurch, dass das linke Teilbild additive Farbmischung zeigt und das rechte Teilbild subtraktive Farbmischung [S2:A4]. Im Interview ergänzt er hier, dass die beiden Bilder jeweils additiv und subtraktiv „eingefärbt“ werden [S2:44-46]. Hinweiskärtchen 1 verwendete er für diese Aufgabe nicht (Das linke Teilbild besteht bei diesen Versuchen aus dem Cyananteil des Gesamtbildes, das rechte Teilbild aus dem Rotanteil des Gesamtbildes). Somit scheint die Erklärung für die beiden Teilbilder als subtraktive und additive Farbmischung für den Schüler plausibel zu sein, da diese hier nun auch schon ein zweites Mal angewendet wird.

Bei Aufgabe 5 mussten zwei Blumen aufgelegt werden, mit der App fotografiert werden und anschließend die entstandenen Teilbilder analysiert werden. Danach wurden die Teilbilder einmal ohne Anaglyphenbrille, einmal durch das rote Brillenglas und einmal durch das blaue Brillenglas betrachtet und etwaige Unterschiede notiert. Schüler 2 interpretiert die Angabe jedoch anders als intendiert und machte ein linkes (Teil-)Bild, auf dem sich nur die cyanfarbene Blume befindet und ein rechtes (Teil-)Bild, auf dem sich nur die rote Blume befindet [S2:63-65]. Für die Untersuchung der Lernprozesse der Aufgaben sind die Ergebnisse der folgenden Ergebnisse von Schüler 2 somit nicht verwendbar, wenngleich sich die Korrektheit seiner Untersuchungen analysieren lässt. Auf eine Verbesserung des Angabentextes muss in Hinsicht auf Schüler 2 besonderer Wert gelegt werden. Bei der Betrachtung ohne Brille gibt der Befragte an, dass er die Hortensie in Cyanfarbe und die Nelke in roter Farbe sehen kann [S2:A5]. Durch das rote Brillenglas sieht er nur die Hortensie, durch das cyanfarbene Brillenglas nur die Nelke. Das Bild, welches von der App gemacht wird, wenn man, wie Schüler 2 angegeben hat zuerst ein Bild der Hortensie und danach ein Bild der Nelke macht, ist in Abbildung 14 ersichtlich. Es lässt sich erkennen, dass die Hortensie rot erscheint und die Nelke cyanfarben. Die Vermutung liegt nahe, dass der Befragte die beiden Blumenarten verwechselt hat, da seine Antworten bei Aufgabe 6 zu seinem im Interview angegebenen Aufbau (Abbildung 14) passen und er im Interview angibt, dass die Nelke auf dem rechten (also auf dem zweiten) Bild zu sehen ist [S2:95-96].

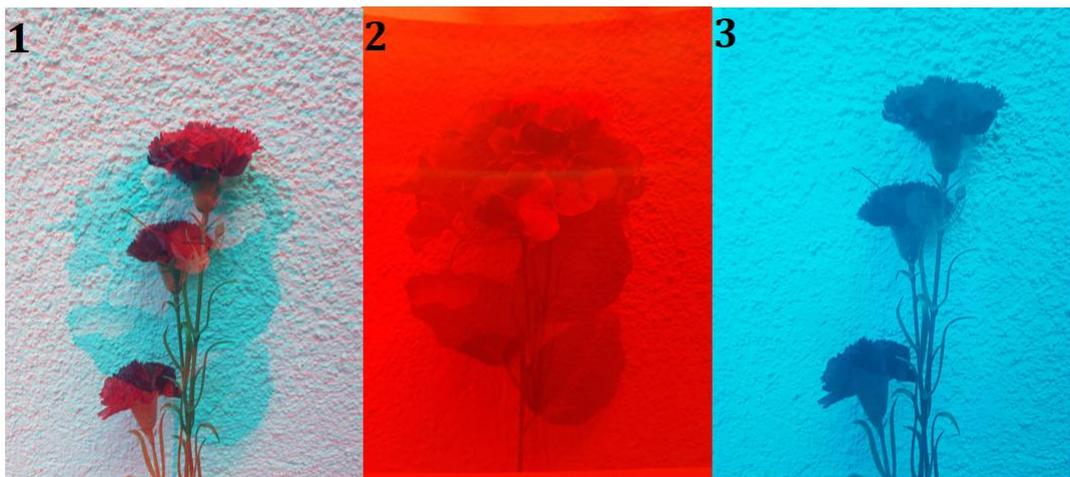


Abbildung 14 - Versuchsanordnung Schüler 2: 1) Von der App erstelltes Bild; 2) Betrachtung des Bildes durch den Rotfilter; 3) Betrachtung des Bildes durch den Cyanfilter

Bei

Aufgabe 6 wurden die beiden Teilbilder jeweils durch einen der beiden Farbfilter betrachtet. Bei der Betrachtung des rechten Bildes (in diesem Fall das zweite (Teil-)Bild)

gibt Schüler 2 an, dass das Bild verschwindet. Zum gleichen Ergebnis kommt er bei der Betrachtung des linken Bildes (das erste (Teil-)Bild) mit dem Cyanfilter. Wird das linke Bild mit dem Rotfilter betrachtet sieht er die Hortensie, beim rechten Bild mit dem Cyanfilter sieht er die Nelke [S2:A6]. Wie bereits bei Aufgabe 5 erwähnt passen die Beobachtungen von Schüler 2 zu seiner Missinterpretation der Angabe.

#### 5.2.4 3D-Wahrnehmung eines Anaglyphenbildes

Bei der zu formulierenden Hypothese, wie die Applikation die Teilbilder verändert, bei Aufgabe 7, bedient sich der Befragte bei Hinweiskärtchen 2 und verschriftlicht die im Unterpunkt „Was macht die App?“ dargestellten Schritte. Seine Hypothese lautet: „Das linke Bild wird in Cyanfarbe dargestellt. Hier wird auch der Rotanteil weggenommen. Das rechte Bild besteht aus dem Rotanteil des ersten Bild[es]“ [S2:A7]. Bei der Frage nach dem Formulieren der Hypothese sagt der Befragte, dass er sich bei dieser Aufgabe ausschließlich des Hinweiskärtchens 2 bedient hat [S2:123-126]. Aufgrund der Missinterpretation aus den vorigen Aufgaben lässt es sich vermuten, dass Schüler 2 hier unreflektiert eine schriftliche Version der Grafiken beim Unterpunkt „Was macht die App?“ für seine Hypothesenformulierung genutzt hat.

Bei Aufgabe 8, bei der ein Bild des gesamten Blumenstraußes erstellt werden musste und anschließend eine Begründung für das Zustandekommens einer Tiefenwahrnehmung formuliert werden musste, kommt Schüler 2 zu folgender Begründung: „Es entstehen auf der linken und rechten Netzhaut Bildpunkte des Objekts. Betrachtet man das Bild durch die Brille, wird eine Tiefenwahrnehmung vorgetäuscht. Man nimmt das Bild dann mit einem 3D-Effekt wahr“ [S2:A8]. Im Interview gibt er an, dass er für das Lösen dieser Aufgabe Hinweiskärtchen 3 benutzt hat. Den Text auf dem Hinweiskärtchen finde er verständlich [S2:149]. Wie auch Schüler 1 und 3 verwendet der Befragte hier keinen Erklärungsansatz mit Lichtseparation. Vielmehr wird eine aus dem Hinweiskärtchen genommene Information leicht umformuliert, ohne darauf einzugehen, wieso man beim Betrachten des entstandenen Bildes mit der Anaglyphenbrille für jedes Auge ein leicht unterschiedliches Bild bekommt.

Dasselbe Muster lässt sich beim Befragten auch bei der letzten Aufgabe erkennen. Hier geht er auf die Tiefenwahrnehmung des entstandenen Bildes ein, jedoch nicht, wie die beiden unterschiedlichen Bilder in unser Auge gelangen. Schüler 2 schreibt hier: „Linkes und rechtes Auge projizieren jeweils ein eigenes, ähnliches Bild. Das Gehirn konstruiert die Bilder anschließend und man nimmt die Bilder bzw. Gegenstände in 3D wahr“ [S2:A9]. Es scheint, also ob Schüler 2 hier die Angabe von Aufgabe 9 nicht richtig zu Ende gelesen hat, da dort explizit nach einer Erklärung für das Zustandekommen der Bilder und nicht nach einer Erklärung für das Tiefensehen gefragt wird.

### 5.2.5 Resümee

Schüler 2 wirkte relativ sicher beim Beantworten der Fragen der Angabe. Wurde jedoch nachgefragt, beispielsweise beim Bild auf Hinweiskärtchen 3 [S2:162-165] war sich Schüler 2 unsicher. Schüler 2 verwendete bei seinen Erklärungen bis auf eine Ausnahme [S2:127] immer den Begriff „cyanfarben“, wenn es sich um diesen Farbfilter handelte. Die Begriffe additive und subtraktive Farbmischung wurden beim fachlichen Input extra erklärt, da der Befragte angab, sich mit beiden Begriffen in der Schule nicht beschäftigt zu haben. Die Antworten des Befragten bei den Aufgaben 2 und 4, als es um eine Interpretation der Aussage von Holger Tauer und um die Frage, welche Aspekte die beiden Teilbilder unterscheiden, ging, zeigen jedoch, dass er das Konzept nicht verstanden hat. Es wirkt so, als ob er versuchte, die beiden Begriffe unbedingt integrieren zu wollen, da Aufgabe 2 relativ schnell nach dem fachlichen Input kam und die erste Aufgabe darstellte, bei der der Befragte selbst etwas schreiben musste. Bei Aufgabe 4 wurde dann erstmals Hinweiskärtchen 1, bei dem es um diese beiden Begriffe geht, vorgeschlagen. Auffallend ist, dass er diese Erklärung der unterschiedlichen Bilder nicht mehr in den darauffolgenden Aufgaben verwendet hat.

Schüler 2 hat das angestrebte Lernziel nicht erreicht, da er nie die Lichtseparation für seine Erklärungsversuche heranzog und die Wichtigkeit und Funktionsweise der Anaglyphenbrille als Lichtseparator nicht erkannt hat. Die Annahme liegt nahe, dass Schüler 2 ebenfalls die Aussage von Holger Tauer bezüglich des Einfärbens der Bilder

unreflektiert übernommen hat, da er im Interview ebenfalls diesen Term beim Beschreiben der 3D-Anaglyphentechnik benutzt [S2:249-250].

## 5.3 Schüler 3

### 5.3.1 Ergebnisse Vorfragebogen

Der Befragte gibt an, noch nie von der Anaglyphentechnik gehört zu haben. Vorwissen zum Thema Farbenlehre ist laut Schüler 3 vorhanden, das Thema wurde in der 3. Schulstufe HAK im Unterricht behandelt. Sein Vorwissen zum Thema schätzt er als ganz schlecht ein. Bei der ersten Frage des Vorfragebogens schreibt er, dass das auf den Rotfilter einfallende Licht gebrochen und rötlich wird. Bei der zweiten Frage wählt er die Option 4 und ergänzt: „Ich sehe etwas und mein Gehirn verarbeitet dann das Gesehene“.

### 5.3.2 Erstellen eines 3D-Anaglyphenbildes

Die erste Aufgabe wurde mit Schüler 3 in der fachlichen Inputphase zusammen gelöst. Hier zeigte der Befragte keine Probleme beim Bedienen der Applikation.

Bei Aufgabe 2 treten für Schüler 3 leichte Verständnisprobleme auf. Im Interview gibt er an, dass er den Einstiegstext auf der ersten Seite der Angabe öfters durchlesen musste, um die Aufgabe bearbeiten zu können [S3:16-19]. Des Weiteren ergänzt er, dass er die Angabe gerne umformuliert hätte, konnte aber zuerst nicht genau sagen, wie er sie verändert haben möchte [S3:27]. Der Befragte gibt an, dass er Probleme hatte zu verstehen, auf was er bei der Aussage von Tauer eingehen sollte [S3:18-19, 30-32]. Er würde es begrüßen, wenn sich in der Aufgabenstellung Stichworte finden würden, auf was man bei dieser Aussage genauer eingehen sollte [S3:33-34]. Die Antwort des Befragten lautet: „Das[s] zwei unterschiedliche Teilbilder wahrgenommen werden und

diese zu einem zusammengefügt werden. Die Teilbilder werden jeweils in unterschiedlichen Farben gemacht“ [S3:A2].

Bei der Formulierung einer Hypothese zum Zustandekommen des 3D-Effekts des Bildes schreibt Schüler 3, dass die Tiefe eines Objekts dadurch entsteht, dass man dieses aus verschiedenen Richtungen wahrnimmt und sich die Teilbilder überlappen [S3:A3]. Nach dem Formulierungsprozess gefragt gibt er an, den Einleitungstext der ersten Seite noch einmal durchgelesen zu haben und zusätzlich noch das erste Hinweiskärtchen benutzt zu haben [S3:42-45]. Auf Nachfrage, was er denn vom ersten Hinweiskärtchen benutzt hat antwortet er, dass er zu diesem Zeitpunkt schon mit der Anaglyphenbrille gearbeitet hat. Er hat sie aufgesetzt und die sich „verändernden Farben“ untersucht, wenn er nur durch jeweils einen Farbfilter blickt [S3:59-63]. Hinweiskärtchen 1, vermutlich der additive Farbkreis, brachten ihn auf die Idee dies zu untersuchen [S3:51-53]. Die Frage, ob er Hinweiskärtchen 1 unbedingt gebraucht hätte und ob man es als Vorschlag schon hier bringen sollte, verneint er [S3:78]

Schüler 3 zeigt sich, ebenso wie beiden anderen Befragten, zufrieden mit seinen bisherigen Antworten und Hypothesen. Wie es zu erwarten war, ist er bei Aufgabe 2 der Meinung, dass die beiden Teilbilder aktiv eingefärbt werden [S3:A2]. Schüler 3 formuliert eine ähnliche Hypothese wie Schüler 2, beide lassen hier jedoch noch die Anaglyphenbrille außer Acht.

### 5.3.3 Analyse der Teilbilder

Bei Aufgabe 4 musste der Befragte argumentieren, welche Aspekte die beiden Teilbilder unterscheiden. Hier antwortet er: „Die Farben. [Die] Farbmischung“ [S3:A4]. Im Interview gibt er zu Protokoll, dass er bei dieser Aufgabe ähnlich wie bei der Vorigen vorgegangen ist. Er untersuchte das schon von der App erstellte Bild einer Flasche, indem er ein Mal das Bild durch den Rotfilter und ein Mal das Bild durch den Cyanfilter betrachtete. Trotz der Angabe, in der steht, dass man die Teilbilder weit gegeneinander verschieben soll, ließ er sie enger zusammen [S3:103-108]. Hinweiskärtchen 1 verwendete er bei dieser Aufgabe nicht [S3:110-111].

Bei der nächsten Aufgabe, Aufgabe 5, schreibt der Befragte, dass er bei der Betrachtung des Bildes ohne Brille „vier Blumen, zwei [von] jeder Art, ein Mal in [R]ot, ein Mal in [C]yan“ sieht [S3:A5]. Durch das rote Brillenglas sieht er zwei Blumen in Rot und durch das cyanfarbene Brillenglas zwei Blumen in Cyan [S3:A5]. Im Interview ergänzt er, dass sich bei der Betrachtung des Bildes durch die Farbfilter die Blütenfarbe der Blumen geändert hat [S3:129]. Des Weiteren kann er feststellen, dass sich beim Betrachten der Bilder durch die Farbfilter die Position der Blumen geändert hat [S3:143-146] (Das linke Teilbild besteht bei diesen Versuchen aus dem Cyananteil des Gesamtbildes, das rechte Teilbild aus dem gefilterten Rotanteil des Gesamtbildes).

Beim Betrachten der Teilbilder in Aufgabe 6 mit den beiden Farbfiltern konzentriert sich der Befragte nur auf den Aspekt der sich ändernden Blütenfarbe. Für die Betrachtung des rechten Bildes mit dem Rotfilter und des linken Bildes mit dem Cyanfilter bemerkt er eine Änderung der Blütenfarbe auf Weiß, bei der Betrachtung des linken Bildes mit dem Rotfilter sowie des rechten Bildes mit dem Cyanfilter bemerkt er eine Änderung der Blütenfarbe auf Schwarz [S3:A6]. Im Interview bestätigt er seine Beobachtungen und merkt an, dass er sich bei der Betrachtung der Teilbilder durch die Filter nur auf jeweils eine der im Bild vorhandenen Blumen konzentrierte [S3:159-162].

Es scheint, als ob Schüler 3 die Angaben der letzten beiden Aufgaben deutlich anders interpretiert hat als Schüler 1 und 2. Die beiden anderen konnten feststellen, dass bei der Betrachtung eines Teilbilds mit dem „richtigen“ Filter dieses komplett verschwand. Schüler 3 betrachtet bei Aufgabe 6 nicht beide Blumen pro Beobachtung, sondern nur eine der Blumen.

### 5.3.4 3D-Wahrnehmung eines Anaglyphenbildes

Bei Aufgabe 7 musste eine Hypothese formuliert werden, wie die Smartphone-App die Teilbilder verändert. Der Befragte schreibt, dass die Smartphone-App die Bilder durch einen anderen, „durch die [Smartphone-]Linse aufgenommenen“, Farbbereich verändert [S3:A7]. Im Interview erklärt der Befragte, dass er für das Lösen dieser Aufgabe Hinweiskärtchen 1 und 2 benutzt hat. Bei Hinweiskärtchen 2 bezieht sich Schüler 3 vor allem auf die erste Grafik, welche darstellt, wie die Applikation die Bilder manipuliert

[S3:175-178]. Er gibt an, dass er mit den Grafiken bei Hinweiskärtchen 2 zufrieden ist und keine weiteren Erklärungen dieser durch etwa einen Zusatztext gebraucht hätte [S3:179-182].

Bei der geforderten Begründung, warum wir das Bild der App im Zusammenspiel mit der Brille 3D wahrnehmen können, bringt Schüler 3 die Fusion der Teilbilder sowie die Brille ins Spiel: „Die beiden Teilbilder in unterschiedlichen Farben werden fusioniert und durch die Versetzung der Bilder nimmt unser Gehirn ‚Tiefe‘ wa[h]r, die aber eigentlich von der Brille vorgetäuscht wird“ [S3:A8]. Im Interview gibt er an, dass er für diese Aufgabe Hinweiskärtchen 3 verwendet hat. Von diesem hat er hauptsächlich Absätze 2 und 3 für seine Begründung verwendet und gibt an, dass man für Aufgabe 8 eigentlich die Begründung von Hinweiskärtchen 3 übernehmen kann [S3:194-203].

Bei der letzten Aufgabe formulierte der Befragte keine neue Erklärung, sondern ergänzte: „Man sollte noch hinzufügen, dass diese Teilbilder vom Gehirn zu einem Bild zusammengefügt werden“ [S3:A9]. Im Interview merkt er noch zusätzlich an, dass die Erklärung von Tauer, die es zu verbessern galt, „an und für sich passt“ [S3:207].

### 5.3.5 Resümee

Schüler 3 gab als einziger der drei Befragten an, ein „ganz schlechtes“ Vorwissen zum Thema Farbenlehre zu haben, obwohl er im Interview angab, dass er Vorwissen im Bereich der Fotografie besitze, welches ihm, laut eigener Aussage, half, Aufgabe 2 zu lösen [S3:47]. Der Befragte verwendete bei beinahe allen Formulierungen den Begriff „Cyan“, wenn dieser gebraucht wurde. An zwei Stellen verwendete er stattdessen „Blau“ [S3:121, 328]. Bei Schüler 3 fand die längste und detailreichste fachliche Inputphase statt. Ihm wurde das Prinzip des Lichtsenders – Zwischensenders – Empfängers anhand eines konkreten Beispiels nähergebracht. Darüber hinaus wurde dezidiert erwähnt, dass bei der Anaglyphenbrille subtraktive Farbmischung stattfindet, sowie Aufgabe 1 zusammen mit dem Interviewer durchgeführt und anhand derer noch einmal die Notwendigkeit der Anaglyphenbrille erläutert. Trotz alledem hat auch Schüler 3 das angestrebte Lernziel nicht erreicht. Genauso wie Schüler 1 und 2 hat auch er kein einziges Mal die Lichtseparation für seine Erklärungsversuche genutzt und scheint die

Erklärung von Tauer unreflektiert in sein Wissen integriert zu haben. Auffallend ist sein Gebrauch des Wortes „Linse“ bei seiner Lösung für Aufgabe 7. Dies könnte man durch sein Vorwissen zum Bereich Fotografie erklären. Hier könnte sich dies aber als hinderlich erwiesen haben, da der Befragte bei Aufgabe 7 der Linse (anstelle der Applikation) eine aktive, Farbereich-ändernde Rolle zuschreibt.

## **6. Zusammenfassung und Interpretation**

### **6.1 Erstellen eines 3D-Anaglyphenbildes**

Bei Aufgabe 1, der Einführungsaufgabe, bekamen die Befragten einen Input in Form eines Zitats aus einem Buch von Holger Tauer, welcher, fachlich inkorrekt, das Zustandekommen des 3D-Effekts beim Menschen beim 3D-Anaglyphenbild, beschreibt. Tauer spricht von einem „Einfärben“ der Teilbilder, schreibt der App also zu, dass sie bei beiden Teilbildern etwas dazugibt. In Wahrheit filtert die App aber bei den Teilbildern jeweils einen Farbanteil komplett weg. Das Zitat fand sich in einer späteren Aufgabe wieder – die Aufgabenstellung war es dort, das Zitat richtig zu stellen. Auf das Zitat folgt ein kurzer Text, der die Vorgehensweise beim Erstellen eines eigenen 3D-Anaglyphenbildes beschreibt. Nach einer Auflistung der Arbeitsschritte folgte eine Sequenz von 3 Bildern, welche den Schülerinnen und Schülern (SuS) das Erstellen eines 3D-Anaglyphenbildes anhand des Interfaces der Applikation erklärte.

Alle drei Befragten konnten die Aufgabe lösen und ein Anaglyphenbild mit der App erstellen – Schüler 1 hatte bei dieser Aufgabe keine Probleme, Schüler 2 wählte anstatt eines 3D-Objekts, beispielsweise seine Federschachtel oder Ähnliches, das (2D) Bild der Pflanze im Blumentopf auf der ersten Seite der Angabe. Er gab an, dass er nach Bearbeitung des Bildes mittels der Applikation einen 3D-Effekt wahrnehmen konnte. Somit meinte er, dass er das ursprüngliche 2D Objekt (das Bild) dreidimensional wahrnehmen konnte. Schüler 3 löste die Aufgabe zusammen mit dem Interviewführenden in der fachlichen Inputphase. Trotz der Verwendung von den Wörtern „Gegenstand“ und „Objekt“ wählte Schüler 2 das Bild auf der ersten Seite der

Angabe, um die Applikation, wie beschrieben, auszuprobieren und gab an, einen 3D-Effekt wahrnehmen zu können – eine Rekreation des Aufbaus lieferte zwar einen leichten Tiefeneindruck, welcher jedoch nicht mit dem Eindruck zu vergleichen ist, der entsteht, wenn man ein 3D-Objekt als Motiv wählt. Da Schüler 1 und 3, Schüler 3 unter leichter Anleitung, beide ein 3D-Objekt als Testmotiv nahmen, wurde im Fall von Schüler 2 von einem Missverständnis der Angabe ausgegangen.

Aufgabe 2 verlangte von den Befragten eine erste Reflexion des Zitats von Holger Tauer und verweist auf die soeben erstellten Teilbilder aus Aufgabe 1. Hier hatten alle 3 Schüler Probleme, jedoch verschiedener Art. Schüler 1 verstand die implizierte Reflexion des Zitats von Holger Tauer sowie die angedeutete Inkorrektheit dessen nicht und versuchte den Ausschnitt des Zitats in seinen eigenen Worten zu erklären. Er gibt an, dass das erste Bild „mehr mit Rot“ hinterlegt wird und das zweite Bild mit Blau, wodurch, in Kombination mit der 3D-Brille, das Bild „so“ erkannt wird [S1: A2]. Schüler 1 verwendete für seine Erklärungen, bis zu Aufgabe 5, immer das Wort „Blau“ anstelle von „Cyan“, obwohl in den Angaben immer „Cyan“ und „cyanfarben“ benutzt wurde. Weiters gibt er an, dass er zum Lösen der Aufgabe nicht auf seine erstellten Teilbilder aus Aufgabe 1 gesehen hat. Schüler 2 brachte bei dieser Aufgabe das Konzept der additiven und subtraktiven Farbmischung ins Spiel und antwortete, dass eines der Teilbilder mit „der additiven Farbmischung eingefärbt“ wird und das andere mit der subtraktiven Farbmischung [S2:A2]. Auf diese Antwort angesprochen gab Schüler 2 zu Protokoll, dass er mit dem Einführungstext, zusammen mit den Bildern auf Hinweiskärtchen 1, zu diesem Entschluss gelangt sei. Schüler 3 zeigte Verständnisprobleme mit der Angabe selbst – er war sich unsicher, auf was und auf welche Weise er auf das Zitat von Holger Tauer eingehen sollte. Hier gab der Befragte an, dass er es begrüßen würde, wenn sich Anleitungen zur Interpretation der Aussage in Form von Stichworten in der Angabe befinden würden. Des Weiteren gibt Schüler 3 an, dass er den ganzen Einleitungstext von Holger Tauer auf der ersten Seite der Angabe noch mehrmals durchlesen musste, um zu seiner Antwort („Das[s] zwei unterschiedliche Teilbilder wahrgenommen werden und diese zu einem zusammengefügt werden. Die Teilbilder werden jeweils in unterschiedlichen Farben gemacht“ [S3:A2]) zu gelangen. Bei Aufgabe 2 zeigten alle Befragten unterschiedliche Probleme beim Lösen – was jedoch alle 3 verbindet, ist das Fehlen der kritischen

Reflexion über das gegebene Zitat. Die Befragten versuchten hier vielmehr Holger Tauer's Zitat umzuformulieren und zeigten keine Skepsis bzgl. der fachlichen Richtigkeit.

Aufgabe 3 verlangte von den Befragten die Formulierung einer Hypothese zum Zustandekommen des 3D-Effekts. Hier zeigen sich erstmals starke Unterschiede bei den Antworten der 3 Befragten - 2 der 3 Schüler beziehen die Notwendigkeit von den 2 Teilbildern zum Zustandekommen des 3D-Effekts in ihre Formulierungen mit ein, einer der Schüler erkennt einen Anteil, der vom Gehirn kommt und ein Schüler sieht einen Zusammenhang zwischen Anaglyphenbrille und Wahrnehmung eines 3D-Effekts. Schüler 2 wählt hier die Formulierung, dass das Gehirn 2 „ähnliche“ Bilder sieht und diese dann zu einem einzelnen kombiniert. Er ist der einzige der Befragten, der das Gehirn in seine Hypothese miteinbezieht. Schüler 3 schreibt in seiner Hypothese, dass die Tiefe eines Objekts dadurch entsteht, dass man dieses aus verschiedenen Richtungen wahrnimmt und sich die Teilbilder überlappen. Schüler 3 bezieht hier als einziger explizit auch die leicht unterschiedlichen Winkel, aus denen die Teilbilder aufgenommen werden, in seine Antwort mit ein. Die Hypothese von Schüler 1 sticht von den 3 am meisten heraus – er gibt an, dass sich in der 3D-Brille rechts ein blaues Glas und links ein rotes Glas befinden. Die Bilder würden dann durch das linke Brillenglas Rot „aufgenommen“ und durch das rechte Brillenglas Blau. Beim Durchsehen durch die Brille könne man dann das Bild als 3D wahrnehmen. Der Befragte ist der einzige, der bei seiner Hypothese die Anaglyphenbrille heranzieht und versucht dessen Funktionsweise, wenngleich fachlich inkorrekt, in die Entstehung des 3D-Effekts einzubauen. Bei dieser Aufgabe zeigten die 3 Befragten gute Ansätze, denen sie in den folgenden Aufgaben nicht mehr folgen konnten.

Hinweiskärtchen 1 wird bei den ersten 3 Aufgaben von den Befragten wenig benutzt – Schüler 2 nutzte es bei Aufgabe 2 und Schüler 3 nutzte es bei Aufgabe 3. Auf dessen Verständlichkeit angesprochen antwortet Schüler 1, dass er sich einen kurzen Text unter den Abbildungen für additive und subtraktive Farbmischung gewünscht hätte, um die beiden Konzepte zu erläutern. Schüler 2 zeigte sich zufrieden mit den beiden Bildern und benötigte, laut eigenen Angaben, keine weitere Beschreibung. Schüler 3 las aus Hinweiskärtchen 1 heraus, dass „durch die Überlappung von Farben [...] verschiedene Farben entstehen“ [S3:51-52]. Schüler 3 benutzte das Hinweiskärtchen in Kombination mit der Anaglyphenbrille bei Aufgabe 3, um die „sich verändernden“ Farben zu untersuchen – die beiden Farbkreise auf dem Hinweiskärtchen brachten ihn dazu.

Schüler 2 bekam eine längere Inputphase als Schüler 1, jedoch eine kürzere als Schüler 3, in welcher besonderer Wert auf additive und subtraktive Farbmischung gelegt wurde – anhand des Hinweiskärtchens wurden die beiden Konzepte erklärt. Dies könnte erklären, warum Schüler 2 hier als einziger explizit die Farbmischungen ins Spiel brachte – die Antwort zu Aufgabe 2 formulierte er mittels Hinweiskärtchen 1, welches in der Inputphase bereits genutzt wurde. Trotz dieser sowie den Abbildungen auf Hinweiskärtchen 1 scheint der Befragte ein falsches Verständnis von additiver und subtraktiver Farbmischung zu besitzen. Das Phänomen der subtraktiven Farbmischung ist für die Bearbeitung der folgenden Aufgaben unentbehrlich. Aus diesem Grund sollte Hinweiskärtchen 1 um eine schriftliche Beschreibung von additiver und subtraktiver Farbmischung ergänzt werden.

## 6.2 Analyse der beiden Teilbilder

Bei Aufgabe 4 mussten die Befragten ein neues Anaglyphenbild eines Objekts anfertigen, die Teilbilder dann soweit gegeneinander verschieben, dass diese sich möglichst nicht mehr überlappen und danach beschreiben, welche Aspekte die Teilbilder unterscheiden. Hierzu wurde den Schülern ein (Kunst-)Blumenstrauß zur Verfügung gestellt, welcher neben gelben und grünen auch rote und cyanfarbene Blumen enthielt. Das Motiv des Blumenstraußes wurde gewählt, da die Farben, insbesondere Rot und Cyan, besonders „kräftig“ erschienen und es vermutet wurde, dass die Befragten durch das Vorhandensein von Rot und Cyan als einzelne Farben die Teilbilder besser analysieren können. Die erwartete Antwort wäre gewesen, dass die beiden Teilbilder aus unterschiedlichen Farben bestehen – eines verwendet nur die Blau- und Grünanteile, das andere nur den Rotanteil. Schüler 1 verwendet hier seine Formulierung aus Aufgabe 3 und ergänzt sie um den Begriff „Farbfilter“, anstelle von „als Rot aufgenommen“ und „als Blau aufgenommen“ verwendet er: „Das erste Bild ist mit einem blauen Farbfilter hinterlegt und das zweite Bild mit einem Roten“ [S1:51-52]. Auf Nachfrage hin, was er denn denke, was er bei dieser Aufgabe zu tun habe, antwortet Schüler 1, dass er denkt, dass es darum geht den Unterschied zu erkennen, welches Bild „mit Rot hinterlegt“ wurde und welches mit Blau. Schüler 1 bleibt somit bei seiner, im vorigen Abschnitt formulierten Theorie, dass den Bildern aktiv eine Farbe „hinzugegeben“ wird. Der

Befragte gibt zusätzlich noch an, dass er bei dieser Aufgabe zum ersten Mal beobachten konnte, wie beim Betrachten durch einen der beiden Farbfilter eines der Teilbilder verschwand. Für das Verschwinden eines der Teilbilder wählte er die Formulierung, dass man „ein schwarzes Bild sehen kann“ [S1:62-63]. Er verwendete zuerst den Begriff „Verschwinden“ und dann präzierte er seine Aussage mit „[...] ein schwarzes Bild sehen [...]“ [S1:62-63]. Somit verwendet der Proband für das Verschwinden des Bildes die Erklärung, dass das Bild schwarz wird, obwohl das Bild gar nicht zu sehen ist. Schüler 2 verwendet bei dieser Aufgabe erneut seine Hypothese, dass die beiden Teilbilder Produkte von jeweils additiver und subtraktiver Farbmischung sind und ergänzt im Interview, dass die Bilder additiv und subtraktiv „eingefärbt“ werden [S2:44-46]. Schüler 2 besitzt offensichtlich fachlich inadäquate Vorstellungen von additiver und subtraktiver Farbmischung, die besonders lernhinderlich wirken. Genauso wie Schüler 1 ist Schüler 2 überzeugt, dass die Applikation den Teilbildern aktiv etwas dazugibt. Schüler 3 verwendete für diese Aufgabe sein Anaglyphenbild aus dem vorigen Abschnitt. Für ihn unterscheiden sich die Bilder in ihrer Farbe beziehungsweise in ihrer „Farbmischung“. Schüler 3 scheint noch immer an seiner Überlappung oder Mischung von mehreren Farben zu einer neuen Farbe vom vorigen Abschnitt festzuhalten. Bis auf Schüler 1 wurde Hinweiskärtchen 1 von keinem der Befragten verwendet. Die Befragten argumentieren bei Aufgabe 4 immer noch mit einem aktiven „Dazugeben“ von Farbe, wenn es um die Funktionsweise der App geht.

In Aufgabe 5 mussten 2 ausgewählte Blumen, eine rote und eine cyanfarbene, aufgelegt werden, ein Anaglyphenbild erstellt und die beiden Teilbilder dann wieder so gegeneinander verschoben werden, dass sich nichts mehr überlappt. Die Befragten mussten angeben, was sie beobachten konnten bei einer Betrachtung der Teilbilder ohne Anaglyphenbrille, bei einer Betrachtung durch das rote Brillenglas und einer Betrachtung durch das cyanfarbene Brillenglas. Hier wurde von den Befragten erwartet, dass sie erkennen und beschreiben können, dass bei der Betrachtung eines der Teilbilder mit dem dazugehörigen Farbfilter eine der Blumenarten nicht mehr sehen kann. Schüler 1 hatte, kein Problem, die Angabe zu verstehen. Bei seinen Beobachtungen scheint er sich jedoch unsicher zu sein, da er hierzu auf dem Arbeitszettel und im Interview widersprüchliche Angaben abgibt: Beim Arbeitszettel gibt er an, mit dem Rotfilter die blaue (eigentlich cyanfarbene) Blume und mit dem Cyanfilter die rote Blume sehen zu können und im Interview sagt er, mit dem Rotfilter die rote Blume und

mit dem Cyanfilter die blaue (eigentlich cyanfarbene) Blume sehen zu können. Die Interview-Antwort stellt hier die fachlich korrekte Beobachtung dar. Schüler 2 hatte Probleme damit, die in der Angabe geforderten Schritte durchzuführen und machte ein linkes Teilbild, auf dem nur die Hortensie zu sehen war und ein rechtes Teilbild, auf dem nur die Nelke zu sehen war. Somit konnte Schüler 2 die Aufgabe nicht wie geplant durchführen und die zu einer Hypothesenformulierung benötigten Erkenntnisse sammeln. Bei Aufgabe 5 kann jedoch die „Richtigkeit“ der Beobachtungen von Schüler 2 untersucht werden. Wie im Abschnitt zu Schüler 2 bereits diskutiert lieferte ein Nachbau des Versuchsaufbaus von Schüler 2 (mit der Nelke auf einem Teilbild und der Hortensie auf dem anderen) dieselben Ergebnisse, wie sie Schüler 2 in seiner Antwort formulierte, nämlich, dass er bei der Betrachtung ohne Brille die Hortensie in Cyanfarbe und die Nelke in roter Farbe sehen kann, durch das rote Brillenglas sieht er nur die Hortensie, durch das cyanfarbene Brillenglas nur die Nelke. Schüler 3 konnte wie Schüler 1 den Anweisungen folgen und kam zum Ergebnis, dass er ohne Brille „vier Blumen, zwei [von] jeder Art, einmal in [R]ot, einmal in [C]yan“ sieht [S3:A5]. Bei einer Betrachtung durch den roten Farbfilter gab der Befragte an, zwei rote Blumen zu sehen und bei einer Betrachtung durch den cyanfarbenen Farbfilter zwei Cyanfarbene. Er verwendete den Begriff einer sich ändernden Blütenfarbe der Blumen und gab an, dass sich die Blütenfarbe der Blumen bei einer Betrachtung durch einen der beiden Farbfilter „änderte“. Schüler 3 war bei dieser Aufgabe der einzige, der eine „Veränderung der Position“, also ein Verschwinden eines Teilbilds bei einer Betrachtung durch den korrespondierenden Farbfilter, feststellen konnte, jedoch blieb der Befragte bei der Formulierung einer „Änderung“ der Positionen der Blumen. Der Text zu Aufgabe 5 muss in der Überarbeitung präzisiert werden, um sicherzustellen, dass SuS die intendierten Schritte durchführen.

Aufgabe 6 verlangte von den Befragten eine über die Unterpunkte von Aufgabe 5 hinausgehende Analyse der beiden Teilbilder. Hier mussten das rechte und linke Teilbild jeweils einmal mit dem Rotfilter und einmal mit dem Cyanfilter betrachtet werden und die Beobachtungen notiert werden. Das linke Teilbild besteht aus dem Cyananteil, das rechte Teilbild aus dem Rotanteil des Gesamtbildes. Die gewünschte Schülerantwort wäre, dass sie bei der Betrachtung der beiden Teilbilder durch einen der beiden Farbfilter (ein Brillenglas) eines der Bilder nicht mehr wahrnehmen können. Schüler 1 gibt an, dass er bei der Betrachtung des rechten Teilbilds die rote Blume nicht mehr

erkennen kann, die blaue (eigentlich cyanfarbene) aber schon. Unter Verwendung des Rotfilters sieht er beim linken Teilbild ein schwarzes Bild. Beim rechten Bild mit dem Cyanfilter erkennt er nur die rote Blume und beim linken Bild mit dem Cyanfilter sieht er ein „normales“ Bild [S1:A6]. Schüler 2 konnte, aufgrund seiner Fehlinterpretation des Aufbaus aus Aufgabe 5, hier nicht zu den Zielformulierungen gelangen. Die Unterpunkte der Aufgabe wurden auf den Versuchsaufbau von Schüler 2 angewendet mit dem Ergebnis, dass er eine korrekte Beobachtung durchgeführt hat. Schüler 3 konzentrierte sich bei Aufgabe 6 auf die Veränderung der Blütenfarbe der Blumen bei Betrachtung durch die Farbfilter aus Aufgabe 5. Für die Betrachtung des rechten Bildes mit dem Rotfilter und des linken Bildes mit dem Cyanfilter bemerkt er eine Änderung der Blütenfarbe auf Weiß, bei der Betrachtung des linken Bildes mit dem Rotfilter sowie des rechten Bildes mit dem Cyanfilter bemerkt er eine Änderung der Blütenfarbe auf Schwarz [S3:A6]. Es scheint, als ob Schüler 3 die Angaben der letzten Aufgabe deutlich anders interpretiert hat als Schüler 1 und 2. Die beiden anderen konnten feststellen, dass bei der Betrachtung eines Teilbilds mit dem „richtigen“ Filter dieses komplett verschwand. Schüler 3 betrachtet bei Aufgabe 6 nicht beide Blumen pro Beobachtung, sondern nur eine der Blumen und gab, weder im Interview noch auf dem Angabezettel an, dass er ein Verschwinden eines der beiden Teilbilder beobachten konnte, da er sich bei der Beschreibung seiner Beobachtungen aus Aufgabe 6 jeweils immer nur eine der beiden Blumen anschaute. Aufgabe 6 würde am meisten von der Präzisierung und Neugestaltung von Aufgabe 5 profitieren, da es sich hier um eine Folgeaufgabe zu Aufgabe 5 handelt.

### 6.3 3D-Wahrnehmung eines Anaglyphenbildes

Bei Aufgabe 7 musste von den Befragten eine Hypothese formuliert werden, wie und auf welche Weise die Smartphone-Applikation die Teilbilder verändert. Zur Hilfe wurde auf Hinweiskärtchen 1 und 2 verwiesen. Schüler 1 gibt an, dass dem linken Teilbild der Rotanteil und dem rechten Teilbild der Blauanteil weggenommen wird. Zum Lösen der Aufgabe verwendete er nur Hinweiskärtchen 2, welches an sich die Aufgabe erklärt. Dieses betrachtete er zur Gänze und gab auf Nachfrage des Interviewers an, dass ihm die Abbildungen geholfen hätten und er Hinweiskärtchen 2 gut strukturiert findet und für

ihn alles beim ersten Mal durchlesen verständlich war. Hier wird deutlich, dass es, trotz des Hinweiskärtchens, für den Befragten nicht möglich ist, die Aufgabe fachlich korrekt zu lösen. Schüler 2 bediente sich ebenfalls nur des zweiten Hinweiskärtchens – seine Antwort zu Aufgabe 7 liest sich wie eine verschriftlichte Version der ersten Grafiken unter dem Unterpunkt „Was macht die App?“: „Das linke Bild wird in Cyanfarbe dargestellt. Hier wird auch der Rotanteil weggenommen. Das rechte Bild besteht aus dem Rotanteil des ersten Bild[es]“ [S2:A7]. Wie bereits bei der Zusammenfassung von Schüler 2 alleine liefern die Daten Hinweise darauf, dass er das, was er hingeschrieben hat, nicht verstanden hat. Aufgrund seiner Fehlinterpretation aus den vorigen zwei Aufgaben liegt die Vermutung nahe, dass Schüler 2 den Inhalt der genannten Grafiken unreflektiert übernommen und für seine Hypothesenformulierung herangezogen hat. Schüler 3 benutzt ebenfalls Hinweiskärtchen 2 zum Lösen von Aufgabe 7. Die Frage nach zusätzlichen Beschreibungen oder Grafiken bei Hinweiskärtchen 2 verneint der Befragte und gibt an, dass er sich nach dem Durchsehen des ganzen Kärtchens ebenso wie Schüler 2 nur auf die ersten Grafiken im Unterpunkt „Was macht die App?“ konzentrierte. Schüler 3 attestierte die Änderung der Teilbilder durch die App einer Änderung der durch die Kameralinse aufgenommenen Farbbereiche [S3:167-168]. Es kann abgeleitet werden, dass die Befragten Informationen aus Hinweiskärtchen 2 für die Aufgabe herausnehmen, diese aber unreflektiert in ihre Hypothese einzubauen scheinen.

Bei Aufgabe 8 mussten die Schüler nun ein Anaglyphenbild eines Blumenstraußes erstellen, es mit der Anaglyphenbrille betrachten und beantworten, warum man ein mittels der Smartphone-App erzeugtes Bild bei Betrachtung durch die Rot-Cyan-Brille 3D wahrnimmt. Als zusätzliche Hilfe wird Hinweiskärtchen 3 vorgeschlagen. Aufgabe 8 sollte die Befragten auf die letzte Aufgabe vorbereiten. Eine zu erwartende Antwort hätte die Lichtseparation des Ausgangslichts des Smartphones durch die Anaglyphenbrille, sowie die Fusionierung der beiden „Einzelbilder“ der beiden Augen im Gehirn beinhaltet. Schüler 1 benutzt zum Lösen der Aufgabe Hinweiskärtchen 3, beschränkt sich aber hauptsächlich auf dessen letzten Absatz, welcher die Wichtigkeit von zwei (räumlich) leicht unterschiedlichen Bildern heraushebt. Im Interview gibt er an, dass er Probleme damit hatte, das Bild auf Hinweiskärtchen 3 mit dem dazugehörigen Text zu verknüpfen, weshalb er sich auf den letzten Absatz konzentrierte. Der Befragte schreibt: „Durch das Verschieben der Bilder erkennt das

Gehirn eine räumliche Wahrnehmung. So kann das Gehirn dann aus diesen beiden Bildern ein räumliches Bild machen mit Hilfe der 3D-Brille“ [S1:A8]. Das „Verschieben“ der Bilder von Schüler 1 Antwort bezieht sich auf das Verschieben der von der Applikation erzeugten Teilbilder, bis diese beinahe deckungsgleich sind. Durch die verschiedenen Farbfilter in der Anaglyphenbrille sieht ein Auge nur jeweils eines der beiden, räumlich leicht unterschiedlichen, Bilder und es kommt, wie Schüler 1 es ansatzweise korrekt beschreibt, zu einem 3D-Eindruck im Gehirn des Betrachters. Schüler 2 verwendete bei Aufgabe 8 ebenfalls Hinweiskärtchen 3, hatte jedoch mit dem Text und dem Bild laut eigenen Angaben keine Verständnisprobleme. Er kommt zu folgendem Ergebnis: „Es entstehen auf der linken und rechten Netzhaut Bildpunkte des Objekts. Betrachtet man das Bild durch die Brille, wird eine Tiefenwahrnehmung vorgetäuscht. Man nimmt das Bild dann mit einem 3D-Effekt wahr“ [S2:A8]. Hier lässt sich vermuten, dass Schüler 2 den Inhalt von Hinweiskärtchen 3 nicht völlig verstanden hat. Genauso wie bei Hinweiskärtchen 3 beginnt seine Erklärung mit den Bildpunkten, welche in den beiden Augen beim Betrachten des Bildes / der beiden Teilbilder entstehen. Hier geht Schüler 2 jedoch nicht weiter auf diese Information ein oder führt aus, dass die Bildpunkte, die in den beiden Augen entstehen, leicht unterschiedlich sein müssen, damit ein 3D-Effekt zu beobachten ist. Obwohl der Befragte bei seiner Erklärung die Anaglyphenbrille miteinbezieht tut er dies, ohne zu beschreiben, warum man sie denn braucht, damit ein 3D-Effekt entsteht. Schüler 3 verwendete ebenfalls Hinweiskärtchen 3 für diese Aufgabe, konzentrierte sich jedoch auf Absätze 2 und 3 des Hinweiskärtchens. Absatz 2 erklärt den Begriff der Disparität und Absatz 3 erwähnt den Aspekt der „Fusion“ der beiden Teilbilder. In der Antwort des Befragten lässt sich der Umstand, dass er sich auf Absätze 2 und 3 fokussierte, erkennen: : „Die beiden Teilbilder in unterschiedlichen Farben werden fusioniert und durch die Versetzung der Bilder nimmt unser Gehirn ‚Tiefe‘ wa[h]r, die aber eigentlich von der Brille vorgetäuscht wird“ [S3:A8]. Schüler 3 findet den Aufbau von Hinweiskärtchen 3 logisch und ergänzt, dass man dessen „Begründung“ (für die Bearbeitung von Aufgabe 8) beinahe einfach so übernehmen könne. Wie auch Schüler 1 und 2 verwendet der Befragte hier keinen Erklärungsansatz mit Lichtseparation. Vielmehr wird eine aus dem Hinweiskärtchen genommene Information leicht umformuliert, ohne darauf einzugehen, wieso man beim Betrachten des entstandenen Bildes mit der Anaglyphenbrille für jedes Auge ein leicht unterschiedliches Bild bekommt. Allgemein, ist somit zu erkennen, dass alle Befragten

nicht mit Lichtseparation argumentieren und ihre Antworten sehr oberflächlich ausfallen.

Die letzte Aufgabe, Aufgabe 9, stellte die Schüler vor die Frage, ob die zu Anfang gegebene Erklärung von Holger Tauer, „... bei dem die beiden Teilbilder gegensätzlich eingefärbt werden“ für sie zufriedenstellend ist und fragte sie nach einer für sie besseren Formulierung des Zustandekommens des 3D-Effekts. Hier ist bereits in der Angabe impliziert, dass die Erklärung von Holger Tauer fachlich inkorrekt ist. Zu erwarten wäre gewesen, dass die Befragten ihre Erkenntnisse aus den vorigen Aufgaben, im Speziellen Aufgabe 8, nutzen, um Tauers Aussage richtig zu stellen. Hier wären, analog zu Aufgabe 8, das Phänomen der Lichtseparation sowie die Fusionierung der beiden Einzelbilder von Nöten gewesen. Schüler 1 ergänzte die Aussage Tauers mit dem Aspekt der 3D-Brille: „Die Bilder werden mit Rot und Blau eingefärbt überlegt und mit Hilfe der 3D-Brille kann man dann ein räumliches Bild erkennen“ [S1:A9]. Es scheint, als ob Schüler 1 hier das Zitat von Tauer als richtig identifiziert hat und es in sein Wissen integriert hat. Ein ähnliches Bild findet sich bei den anderen beiden Befragten. Schüler 2 schrieb: „Linkes und rechtes Auge projizieren jeweils ein eigenes, ähnliches Bild. Das Gehirn konstruiert die Bilder anschließend und man nimmt die Bilder bzw. Gegenstände in 3D wahr“ [S2:A9]. Schüler 2 scheint die Angabe der letzten Aufgabe nicht korrekt verstanden zu haben, da diese explizit nach dem Zustandekommen der Teilbilder gefragt wird und nicht nach einer Erklärung für das Tiefensehen. Schüler 3 meinte hier nur, dass noch ergänzt werden sollte, dass die Teilbilder zu einem Bild im Gehirn zusammengefügt werden. Er merkt ebenfalls an, dass die zu verbessernde Aussage Tauers „an und für sich passt“. Allgemein kann abgeleitet werden, dass der Einstieg mit einem fachlich nicht gänzlich korrekten Zitat nicht zielführend ist, da SchülerInnen diese Aussage nicht zu hinterfragen scheinen.

## **7. Überarbeitung der Materialien**

In diesem Abschnitt werden die Änderungen, die an den Materialien durchgeführt wurden, zusammengefasst. Die Basis hierfür bilden die Erkenntnisse aus den Schülerinterviews.

Um die Änderungen leichter nachzuvollziehen werden die Begriffe „Einleitungstext“ und „Angabentext“ für die Angaben der Aufgaben eingeführt. Die Begriffe *Einleitungstext* und *Angabentext* beziehen sich jeweils auf den nicht-fetten Text einer Aufgabe und den **in-fett-geschriebenen** Text einer Aufgabe.

Hinweiskärtchen 1 wurde um einen Text ergänzt, der additive und subtraktive Farbmischung näher beschreibt. Die drei Probanden hatten entweder Probleme damit, das Hinweiskärtchen ohne Hilfstext zu verstehen, oder besaßen ein inadäquates fachliches Verständnis von additiver und subtraktiver Farbmischung, welches nicht durch das ursprüngliche Hinweiskärtchen korrigiert werden konnte. Im Text wird der Begriff „Lichtsorte“ für Licht bestimmter Wellenlängenbereiche verwendet. Erklärte Phänomene sollen durch Verweis auf die zwei Abbildungen des Hinweiskärtchens leichter verständlich gemacht werden. Für die Bearbeitung der späteren Aufgaben, vor allem Aufgabe 5 und 7, wurden fachlich relevante Elemente, wie die Absorption des gesamten Ausgangslichts bei Verwendung eines Cyanfilter und eines Rotfilters, sowie die Absorption von rotem Ausgangslicht mithilfe eines Rotfilters extra als Beispiele gewählt.

Hinweiskärtchen 2 wurde an den veränderten Versuchsaufbau bei Aufgabe 5 angepasst und gekürzt. Die neue Version verzichtet auf eine schematische Darstellung der Funktionsweise der App. Anstelle dieser wurde eine Darstellung der beiden von der App erzeugten Teilbilder für ein Bild einer Anaglyphenbrille hinzugefügt. Zusätzlich findet sich bei beiden Teilbildern eine Darstellung, was man beobachten kann, wenn man das Bild mit jeweils einem Farbfilter betrachtet. Eine Infobox am Ende des Hinweiskärtchens, welche den Lernenden helfen soll, die Darstellungen zu verstehen, wurde hinzugefügt. Da die Probanden angegeben haben, dass sie sich bei Hinweiskärtchen 2 hauptsächlich auf die ersten paar Grafiken bezogen, wurden alle anderen Grafiken entfernt. Des Weiteren wurde eine Infobox am Ende von Hinweiskärtchen 2 hinzugefügt, welche den auftretenden Rot- und Cyanstich bei den Bildern erklärt.

Hinweiskärtchen 3 wurde leicht gekürzt und eine neue Grafik erstellt. Die Probanden erklärten, dass sie bei diesem Hinweiskärtchen die Grafik nicht nutzten. Die neue Grafik soll verdeutlichen, dass die beiden Augen ein leicht unterschiedliches Bild sehen. Das aus den beiden Teilbildern fusionierte Bild sowie die Teilbilder wurden grafisch mit

dem Gehirn verbunden, um zu verdeutlichen, dass der Fusionsprozess im Gehirn stattfindet. Die Zusammenfassung des Textes wurde erweitert und präzisiert.

Aus den Ergebnissen der Interviews wird vermutet, dass der am stärksten lernbehindernd wirkende Umstand jener ist, dass die SuS nicht erkennen, dass das Smartphone ein Lichtsender ist. Ohne dieses Erkenntnis ist es nicht möglich mit Lichtseparation bei der Anaglyphentechnik zu argumentieren. Hierzu wurde Hinweiskärtchen 4 ergänzt. Es soll die Bildentstehung am Smartphone erläutern. Anhand einer Erklärung, wie durch Pixel Farben (und dadurch Bilder) am Smartphonebildschirm entstehen soll den SuS die Hilfestellung geboten werden, in Verbindung mit Hinweiskärtchen 3, den subtraktiven Farbmischungscharakter der Anaglyphentechnik zu erkennen und beschreiben zu können. Abbildung 1 von Hinweiskärtchen 4 soll, zusammen mit dem Text des Kärtchens, vor allem die Entstehung von cyanfarbenen und schwarzen Pixeln für die SuS verständlicher machen.

Aus den Interviews geht hervor, dass keiner der Schüler das angestrebte Lernziel erreicht hat. Um sicherzustellen, dass die SuS beim Bearbeiten der letzten Aufgabe mit einer fachlich möglichst adäquaten Hypothese arbeiten, wurde eine Musterlösung erstellt. Diese sollen sich die SuS vor der letzten Aufgabe ansehen und ihre bisher aufgestellten Hypothesen noch einmal überprüfen und gegebenenfalls adaptieren. Bei der Musterlösung wurde darauf geachtet, dass sie nicht einfach so von den SuS für die letzte Aufgabe übernommen werden kann. Der Hauptfokus liegt auf einer schematischen Darstellung des Versuchsaufbaus: Vom Lichtsender (Smartphone) gelangt (physikalisch) Licht zum Lichtempfänger (Mensch) mit aufgesetzter Anaglyphenbrille (Zwischensender). Teilbild 3 geht noch genauer auf die als Brillengläser eingesetzten Farbfilter und wie das Licht mit aufgesetzter Anaglyphenbrille in die Augen des Betrachters gelangt ein.

Bei Aufgabe 1 wurde der Einleitungstext stark gekürzt. Der Absatz, der das Zitat von Tauer enthielt, wurde komplett weggenommen, da aus den Schülerinterviews abgeleitet wurde, dass das Zitat von den Probanden als wahr eingestuft wurde und es zu keiner kritischen Auseinandersetzung damit kam, auch nicht bei Aufgabe 9, welche nach einer solchen kritischen Hinterfragung verlangte. Somit wurde das fachlich zu korrigierende Zitat aus der Station gestrichen.

Um zu vermeiden, dass SuS ein Bild der Angabe als ihr Motiv für das in Aufgabe 1 zu erstellende Anaglyphenbild wählen, wurde der Angabentext erweitert und fordert nun auf, ein „reales“ (3D) Objekt zu verwenden. Die Grafiken, die erklären, wie man die App bedient, wurden unverändert gelassen.

Da das Zitat von Tauer aus dem Einleitungstext gestrichen wurde, wurde Aufgabe 2 ebenfalls herausgenommen.

Um zu erreichen, dass SuS sich bei Aufgabe 3 beim Formulieren ihrer ersten Hypothese bereits Gedanken zur Funktionsweise der 3D-Anaglyphentechnik machen, wurde die Angabe erweitert und spricht von einer „gut begründeten“ Annahme als Beschreibung einer Hypothese. Die Version, die die drei Schüler bekamen, sprach hier nur von einer Annahme.

Der Einleitungstext bei Aufgabe 4 wurde nur geringfügig geändert – hier ist nun nicht mehr von „einem Objekt“, welches fotografiert werden soll, die Rede, sondern vom Blumenstrauß, den die SuS bereitgestellt bekommen. Zusätzlich wurde der Begriff „Bilder“ ergänzt mit „(linkes und rechtes Teilbild)“. Das neu geschaffene Hinweiskärtchen 4 wird bei dieser Aufgabe zum ersten Mal vorgeschlagen, da hier erstmals die Bilder am Smartphonebildschirm genauer untersucht werden sollen.

Aufgabe 5 erhielt eine Änderung des Versuchsaufbaus sowie eine damit einhergehende Umformulierung des Einleitungs- und des Angabentextes. Die Blumen wurden klarer definiert, sodass es zu keiner Verwechslung der beiden kommt. Sie werden nun nicht mehr nebeneinandergelegt, sondern die kleinere Rose auf die größere Hortensie hinaufgelegt. Hier soll es für die SuS offensichtlicher werden, dass bei der Betrachtung durch den entsprechenden Farbfilter eine der Blumen verschwindet. Als zusätzliche Hilfestellung dafür wurde in der Einleitung der Aufgabe festgelegt, dass die Teilbilder nur soweit gegeneinander verschoben werden sollen, dass sie sich etwa zur Hälfte überlappen.

Ebenso soll vermieden werden, dass die SuS die Teilbilder verwechseln. Auf diesen Punkt wird im Einleitungstext nochmals extra hingewiesen. Um sicherzustellen, dass die SuS die Anaglyphenbrille richtig verwenden, wird im Einleitungstext ebenfalls extra erklärt, dass sie, zum Beispiel bei der Betrachtung „durch das rote Brillenglas“ die Brille so halten, dass der rote Farbfilter sich über beiden Teilbildern befindet. Durch die

geänderte Formatierung rutschten die Unterpunkte der Aufgabe auf die nächste Seite, was im Angabentext erwähnt wird. Schlussendlich werden die Begriffe „rotes Brillenglas“ und „cyanfarbenes Brillenglas“ durch „roten Farbfilter“ und „cyanfarbenen Farbfilter“ ersetzt, um die gleichen Begriffe wie Aufgabe 6 zu verwenden und die SuS implizit nochmals darauf hinzuweisen, dass bei der Betrachtung durch die Brillengläser nur ein Farbanteil emittiert wird.

Bei Aufgabe 6 wurde ergänzt, dass die SuS die beiden Teilbilder nun soweit gegeneinander verschieben sollen, dass sie sich nicht mehr überlappen. Dieser Schritt fand in der vorherigen Version bereits in Aufgabe 5 statt.

Aufgabe 7 stellte sich als zu schwer heraus und wurde erweitert. Im Angabentext werden die SuS nun darauf hingewiesen, dass sie bei ihrer Hypothese auf schwarze Bilder beziehungsweise verschwindende Bildbereiche eingehen sollen. Eine weitere Hilfestellung bieten der Verweis auf Hinweiskärtchen 2 sowie einen Absatz von Hinweiskärtchen 4. Hinweiskärtchen 3 findet sich nun ebenfalls als vorgeschlagene Hilfestellung bei Aufgabe 7.

Vor Aufgabe 8 findet sich nun eine Anweisung, sich die Musterlösung anzusehen, bevor man mit der letzten Aufgabe weitermacht.

Aufgabe 8 bildet die letzte Aufgabe der neuen Version. Der Einleitungstext wurde präzisiert und der Hinweis auf Hinweiskärtchen 3 soll den SuS die Erklärung der Bildanordnung mit aufgesetzter Anaglyphenbrille erleichtern. Da die Probanden ihre Erklärungen eng an das (fachlich inkorrekte) Zitat von Tauer angelehnt hatten, wurde im Angabentext erwähnt, auf welche Punkte sie eingehen sollen. Als vorgeschlagene Hilfestellung wurden Hinweiskärtchen 2, 3 und 4 angegeben.

Im Allgemeinen wurden also hauptsächlich Begrifflichkeiten und Formulierungen präzisiert und die Aufgabenstellungen vom Umfang her gekürzt. Für den Lernprozess nicht förderliche Aufgaben wurden herausgenommen und Materialien überarbeitet, um sie besser an die Bedürfnisse der Schülerinnen und Schüler anzupassen.

## 8. Fazit

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden die Lernprozesse, die Schülerinnen und Schüler beim Bearbeiten der Versuchsmaterialien durchlaufen, untersucht. Um deren Lernwirksamkeit zu erhöhen wurden die Materialien anhand der Ergebnisse der Interviews überarbeitet. Eine Verallgemeinerung der Ergebnisse ist aufgrund des viel zu kleinen Umfangs der Arbeit nicht möglich.

Was sich bei allen drei Befragten zeigte war, dass keiner der Schüler das angestrebte Lernziel erreichen konnte. Weitere Gemeinsamkeiten fanden sich in der Art, wie die Schüler eine (fachlich inkorrekte) Aussage, welche zu Beginn der Station gegeben wurde, als fachlich korrekt annahmen und diese im weiteren Verlauf nicht umformulieren konnten, was eigentlich den Hauptteil der Station ausmachte. Deswegen wurde das Design der Station stark überarbeitet – das fachlich inkorrekte Zitat wurde entfernt und es wird nun mehrmals von den Schülerinnen und Schülern explizit verlangt, sich mit aufgestellten Hypothesen kritisch auseinanderzusetzen und, vor Bearbeitung der letzten Aufgabe, eine bereitgestellte Musterlösung zu konsultieren. Diese Schritte wurden gesetzt, um eine Optimierung des Lernprozesses bei den Schülerinnen und Schülern zu erreichen.

## Literaturverzeichnis

- Duit, R. et al. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion - Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3., S. 3 – 18.
- Haagen-Schützenhöfer, C. et al. (2017). *Optik für die Sekundarstufe I*. Universität Wien/Graz.
- Haagen-Schützenhöfer, C. (April 2017). A Hands-on to Teach Colour Perception: The Colour Vision Tube. *Scientia in educatione*, 8., S. 191 – 198.
- Haagen-Schützenhöfer, C. (Mai 2017). Students' conceptions on white light and implications for teaching and learning about colour. *Physics Education*, 52. S: 1 – 8.
- Hecht, E. (2017). *Optics*. Hong Kong: Pearson Education.
- Konrad, K. (2010): Lautes Denken. In: Günter Mey und Katja Mruck (Hg.): *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie*. 1. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH Wiesbaden, S. 476 – 490.
- Lübbe, E. (2012). *Farbempfindung, Farbbeschreibung und Farbmessung*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Schecker, H. et al. (2018). *Schülervorstellungen und Physikunterricht*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Tauer, H. (2010). *Stereo 3D*. Berlin: Schiele & Schön.
- Yersin, H. (2004). Triplet Emitters for OLED Applications. Mechanisms of Exciton Trapping and Control of Emission Properties. *Topics In Current Chemistry*, 241. S: 1 – 26.

## Anhang

# Anaglyphentechnik

Bei dieser Station wirst du mit Hilfe eines Smartphones (du kannst auch gerne dein Smartphone verwenden) Bilder machen, die du anschließend mit einer Anaglyphenbrille betrachten und dreidimensional wahrnehmen kannst. Für die App, die du in dieser Station benutzen wirst, brauchst du Zugang zum Android Playstore. Falls du kein Android Smartphone besitzt, stehen dir welche zur Verfügung.

### 1. Erstellen eines 3D-Anaglyphen-Bildes



Um ein 3D-Anaglyphenbild zu erstellen, müssen vom Objekt, welches 3D erscheinen soll, zwei Bilder gemacht werden. Ein „linkes Bild“ und ein „rechtes Bild“. Der Unterschied zwischen dem linken und dem rechten Bild soll dabei klein gehalten werden. Anschließend muss das erstellte Bild mittels der Rot-Cyan Anaglyphenbrille betrachtet werden, um den 3D-Effekt zu erkennen.

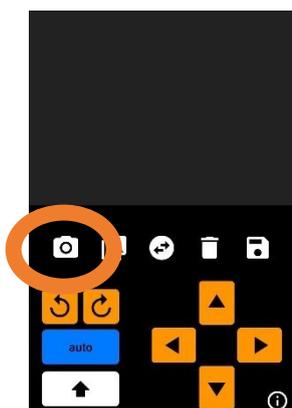
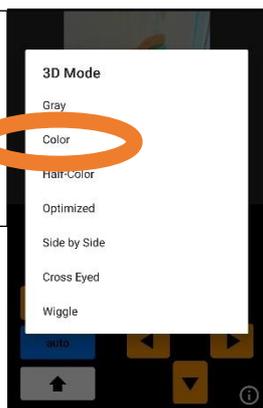
Das nebenstehende Bild wurde mit diesem App erstellt. Betrachtest du es mit der Anaglyphenbrille, so erkennst du deutlich einen räumlichen Wahrnehmungseffekt.



**Erstelle ein 3D-Anaglyphen-Bild von einem dreidimensionalen Objekt mithilfe der App! Nimm hierzu deine Federschachtel oder Ähnliches.**

Die Vorgehensweise mit Hilfe der App wird hier beschrieben.

1. Öffne die App auf deinem Smartphone und klicke auf das Kamera-Symbol.
2. Mache von deinem ausgewählten Gegenstand (es soll ein *3D Gegenstand* sein – also keines der Bilder auf der Angabe) ein „linkes Bild“ und ein leicht verschobenes „rechtes Bild“.
3. Nun kannst du das Bild bereits mit der Anaglyphenbrille betrachten und mit Hilfe der Pfeile die beiden erstellten Bilder noch verschieben (oben-unten, links-rechts und drehen), falls sie noch nicht optimal für die räumliche Wahrnehmung mit der Anaglyphenbrille passen. Achte beim Speichern darauf, dass du für die Anaglyphentechnik „Color“ auswählst. (Später kannst du mit der App auch andere Techniken ausprobieren.)

	<p><b>Schritt 1:</b> Fotos machen</p>		<p><b>Schritt 2:</b> ev. mit Pfeiltasten verschieben/drehen.</p>		<p><b>Schritt 3:</b> Bild speichern</p>
---	---	---	--	---	---



**Formuliere eine erste Hypothese: Wieso können wir das Bild 3D wahrnehmen?**

Eine Hypothese ist nur eine gut begründete Annahme, die durch weitere Nachforschung bestätigt oder widerlegt werden kann. Was denkst du könnte den 3D-Effekt des Bildes erzeugen?

*In den nächsten Aufgaben wirst du klären, wie diese Technik tatsächlich funktioniert.*

## 2. Analyse der Teilbilder

---



In diesem Abschnitt soll geklärt werden, wie die App „Make it 3D“ die Teilbilder manipuliert.

Fertige hierzu erneut ein neues 3D-Anaglyphenbild des Blumenstraußes an, verschiebe jetzt die beiden Bilder jedoch deutlich, sodass sich diese so wenig wie möglich überlappen und du die einzelnen Bilder (linkes und rechtes Teilbild) einzeln untersuchen kannst.

**Welche Aspekte unterscheiden die beiden Bilder?**



Lege die Hortensie (cyanfarbene Blume) und die Nelke (rote Blume) so übereinander, wie es rechts gezeigt ist.

Fertige nun ein 3D-Anaglyphenbild von den beiden Blumen mit Hilfe der App an. Verschiebe die beiden Teilbilder so weit, dass sich diese etwa zur Hälfte überlappen. Achte beim Bearbeiten der Aufgabe darauf, dass du die Teilbilder (die einzelnen Blumen) der App nicht verwechselst.



Betrachte anschließend das 3D-Anaglyphenbild zuerst ohne Brille, dann durch das rote Brillenglas und abschließend durch das cyanfarbige Brillenglas. Halte also die Anaglyphenbrille einmal so, dass du mit beiden Augen durch das rote Brillenglas auf dein Handy schaust und einmal so, dass du mit beiden Augen durch das cyanfarbene Brillenglas auf das Handy schaust.

**Beschreibe auf der nächsten Seite für jeden Schritt was du beobachten kannst.**

Ohne Brille:

Durch den roten Farbfilter:

Durch den cyanfarbenen Farbfilter:



Verschiebe nun die beiden entstandenen Bilder (linkes und rechtes Bild) anschließend so weit, dass sich die beiden Teilbilder nicht mehr überlappen.

**Beschreibe, was du beobachten kannst, wenn du das rechte und das linke Bild entweder durch das rote oder durch das cyanfarbige Brillenglas betrachtest. Betrachte also jeweils ein Bild durch ein Brillenglas / einen Farbfilter!**

Rechtes Bild mit Rotfilter:

Linkes Bild mit Rotfilter:

Rechtes Bild mit Cyanfilter:

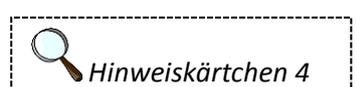
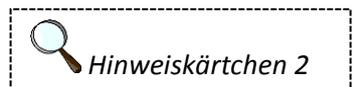
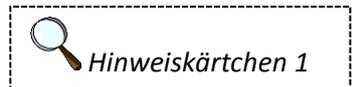
Linkes Bild mit Cyanfilter:



Wie und auf welche Art und Weise ändert die Smartphone-App die Farben der beiden Bilder?

**Formuliere eine Hypothese. Versuche in deine Hypothese einzubauen, welche Rolle die Anaglyphenbrille spielt und wie schwarze und verschwindende Bildbereiche zustande kommen.**

**Siehe dir zum Bearbeiten der Aufgabe Hinweiskärtchen 2 und Hinweiskärtchen 4 (vor allem) Absatz 4 etwas genauer an.**





Wirf einen Blick auf die Musterlösung, bevor du die letzte Aufgabe bearbeitest!



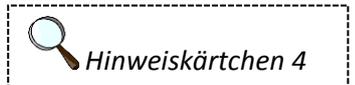
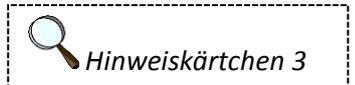
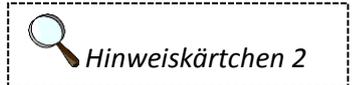
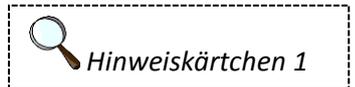
Stecke die rote und cyanfarbene Blume wieder zurück in den Blumenstrauß. Fertige nun erneut ein 3D-Anaglyphenbild des gesamten Blumenstraußes an. Betrachte das Bild mit der Anaglyphenbrille.

Wie kommt es dazu, dass wir ein mit der Smartphone-App angefertigtes Bild mittels der Anaglyphenbrille als 3D wahrnehmen? (*Tip*p: Wenn dir die Bildanordnung mit aufgesetzter Anaglyphenbrille Kopfzerbrechen bereitet, schau dir Hinweiskärtchen 3 nochmals an)

**Formuliere eine Begründung.**

**Gehe in deiner Begründung auf alle Aspekte des Zustandekommens des 3D-Effekts ein:**

- ✓ Wie bearbeitet die App die beiden Teilbilder?
- ✓ Was passiert bei den Farbfiltern der Anaglyphenbrille?
- ✓ Was sieht man als Betrachter/in mit aufgesetzter Anaglyphenbrille?
- ✓ Wie kommt der 3D-Effekt in unserem Gehirn zustande?



**Zusatz (falls du noch Zeit hast): Du kannst noch einen Kurzfilm mit der Anaglyphenbrille oder den Farbfiltern ansehen:**

Natürlich sind mittlerweile auch bereits 3D-Filme verfügbar:

<https://www.youtube.com/watch?v=pq2awQckyfg&t=21s>

(shorturl.at/eEQ57)



# Anaglyphentechnik Hinweiskärtchen 1

Es gibt zwei Arten von Farbmischung – additiv und subtraktiv. Das soll dir helfen eine Idee zu generieren wie die App funktioniert.

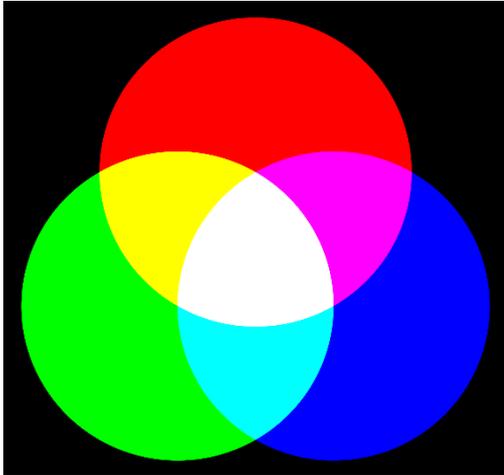


Abbildung 1 – Additive Farbmischung

Bildquelle:  
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Synthese%2B.svg>

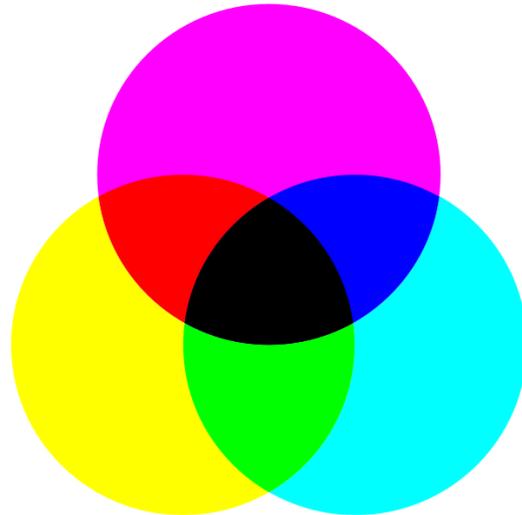


Abbildung 2 – Subtraktive Farbmischung

Bildquelle:  
[https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:CMY\\_ideal\\_version\\_rotated.svg](https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:CMY_ideal_version_rotated.svg)

Wir gehen im Folgenden davon aus, dass wir als Ausgangslicht sogenanntes „weißes Licht“ benutzen. Weißes Licht besteht aus allen für den Menschen wahrnehmbaren Lichtsorten des elektromagnetischen Spektrums – in der Technik ist es üblich, diese Bereiche auf die Lichtsorten „rotes Licht“, „blaues Licht“ und „grünes Licht“ zu reduzieren. Man sagt also, weißes Licht besteht aus rotem, blauem und grünem Licht.

Bei der additiven Farbmischung kommt es physikalisch gesehen zu einer Überlagerung der Eigenschaften der Lichtsorten (Wellenlängen) – gelangt rotes Licht und blaues Licht von einem Objekt aus in unser Auge, dann nehmen wir es als magentafarben wahr; rotes, blaues und grünes Licht zusammen nehmen wir weiß wahr. Sieh dir zu den Möglichkeiten der additiven Farbmischung Abbildung 1 an

Bei der *subtraktiven Farbmischung* (Abbildung 2) wird ein Teil des Ausgangslichts entfernt – wir sagen dazu auch, ein Teil des Lichts wird „weggefiltert“. Legt man einen Magentafilter (Abbildung 2 als magentafarbener Kreis dargestellt) über eine Lichtquelle mit weißem Licht, dann wird grünes Licht weggefiltert, rotes und blaues Licht kann durch den Filter durch. Rotes und blaues Licht additiv gemischt ergibt magentafarbenes Licht (siehe Abbildung 1 der Überlappungsbereich von Rot und Blau). Ein Gelbfilter und ein Cyanfilter funktionieren nach dem gleichen Prinzip: Der Gelbfilter filtert Blau (übrig bleibt Rot+Grün=Gelb) heraus, der Cyanfilter filtert Rot (übrig bleibt Blau+Grün=Cyan) heraus.

Filter gibt es auch für die Farben Rot, Blau und Grün. Ein Rotfilter filtert blaues und grünes Licht weg und lässt nur die Lichtsorte Rot durch. Legt man über einen Cyanfilter zum Beispiel einen Rotfilter, dann kommt kein Licht mehr durch den Rotfilter durch: Beim Cyanfilter wird schon rotes Licht weggefiltert – beim Rotfilter kommt dann nur blaues und grünes Licht an und der Rotfilter filtert beide weg. Wenn kein Licht mehr durch einen Filter gelangt, dann erscheint er uns schwarz

# Anaglyphentechnik Hinweiskärtchen 2

So sehen wir die 3D-Anaglyphenbrille mit unseren Augen:



3D-Anaglyphenbrille



Was macht die App?



Linkes, von der App erstelltes Bild\*



Rechtes, von der App erstelltes Bild\*

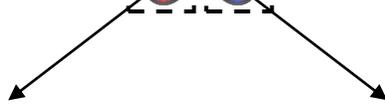
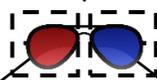
Auf der nächsten Seite geht es weiter!

\*Die Brillen wurden auf einem weißen Hintergrund fotografiert. Dieser wird natürlich von der App auch mitbearbeitet – deswegen sieht man auf manchen Bildern einen Cyanstich, auf anderen einen Rotstich.

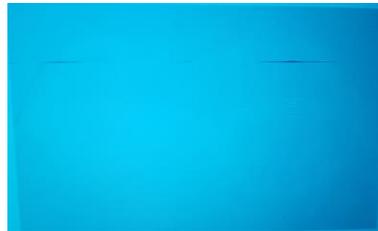




Linkes, von der App erstelltes Bild (erstes gemachtes Foto)



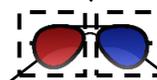
Linkes, von der App erstelltes Bild durch den Rotfilter betrachtet



Linkes, von der App erstelltes Bild durch den Cyanfilter betrachtet



Rechtes, von der App erstelltes Bild (zweites gemachtes Foto)



Rechtes, von der App erstelltes Bild durch den Rotfilter betrachtet



Rechtes, von der App erstelltes Bild durch den Cyanfilter betrachtet

Wundere dich nicht, wenn du bei deinem Foto in der App die beiden gemachten Teilbilder nicht so schön „trennen“ kannst – wenn du durch je einen Farbfilter der Anaglyphenbrille auf dein Handy (also, auf das gemachte Foto in der App) siehst, solltest du trotzdem ähnliche Beobachtungen machen.

# Anaglyphentechnik Hinweiskärtchen 3

# 3

Betrachten wir mit beiden Augen ein Objekt, so entstehen auf der linken und der rechten Netzhaut die Bildpunkte des Objekts. Fallen diese Bildpunkte auf leicht unterschiedliche Netzhautstellen (das bedeutet also, dass sie auf den beiden Netzhäuten nur leicht verschoben sind), wird dieser Unterschied wahrgenommen und man nennt ihn Disparität. Unser Gehirn vergleicht die beiden Netzhautbilder und berechnet daraus die Tiefe des betrachteten Objekts und man sieht ein räumliches Bild. Diesen Vorgang nennt man Fusion. Das bedeutet, für die räumliche Wahrnehmung ist ganz entscheidend, dass wir zwei leicht unterschiedliche Bilder wahrnehmen, welche dann in unserem Gehirn weiterverarbeitet werden und uns somit eine dreidimensionale Wahrnehmung vermittelt wird. Sind die beiden Bilder zu unterschiedlich, so ist es für unser Gehirn nicht möglich die beiden Bilder zu einem Bild zu fusionieren

Mit Hilfe der beiden unterschiedlichen Bilder, die wir durch die Anaglyphenbrille wahrnehmen, wird uns also eine Tiefenwahrnehmung vorgetäuscht. Wir sehen nämlich durch den roten Filter ein leicht anderes Bild als durch den blauen Filter, daher entsteht die Disparität auf der Netzhaut, obwohl das Bild, das wir betrachten, eigentlich zweidimensional ist.

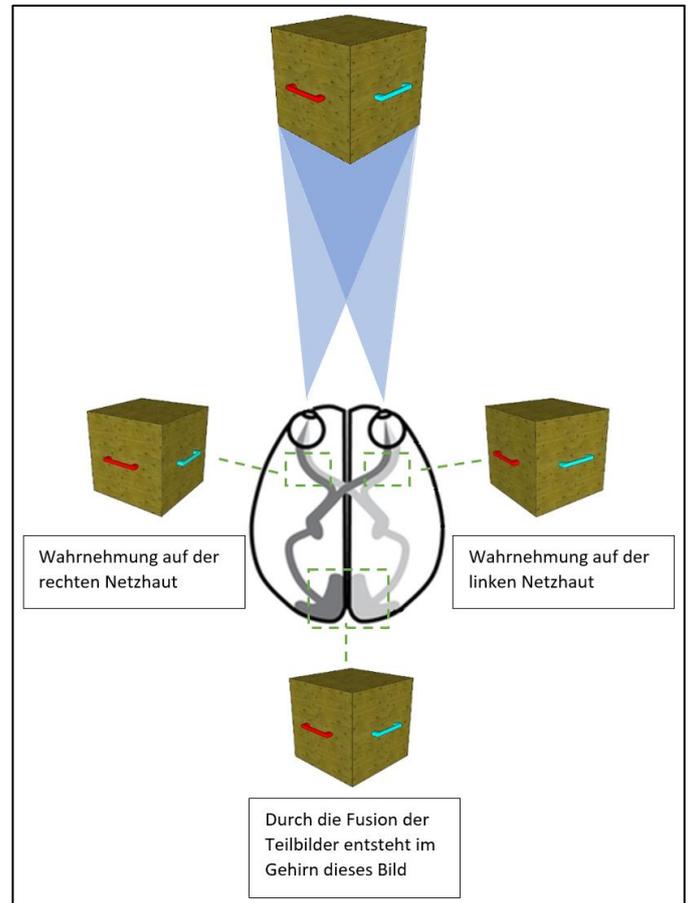


Abbildung 1 – Fusion von zwei Teilbildern

Mit Hilfe der beiden leicht unterschiedlichen Bilder, die wir durch die Anaglyphenbrille wahrnehmen und anschließend fusionieren, wird uns also eine Tiefenwahrnehmung „vorgetäuscht“.

**Die Wahrnehmung von zwei leichtverschobenen Bildern und deren Fusion ist eine Möglichkeit, um bei Menschen eine räumliche Wahrnehmung zu erzeugen. Bei der Anaglyphentechnik werden zwei leicht unterschiedliche Bilder durch die Anaglyphenbrille (zwei unterschiedliche Farbfilter) betrachtet. So ist es möglich auf beiden Netzhäuten leicht unterschiedliche Bilder wahrzunehmen und diese zu fusionieren. (Die beiden Bilder dürfen nicht zu unterschiedlich, also zu weit gegeneinander verschoben sein, ansonsten ist für unser Gehirn keine Fusion mehr möglich.)**

# Anaglyphentechnik Hinweiskärtchen 4

Sehen wir uns die Bildentstehung auf einem Bildschirm etwas genauer an. Fernseher, Werbetafeln und Smartphonebildschirm besitzen hier große Ähnlichkeiten – ihre Bilder bestehen aus sogenannten Pixeln. Einen Pixel kann man sich als einen Leuchtpunkt vorstellen. Ein Bild auf einem Bildschirm besteht aus sehr vielen einzelnen Bildpunkten / Pixeln. Vereinfacht können wir uns die Bildentstehung am Bildschirm so erklären: Die Pixel werden im Hintergrund mit (weißem) Licht bestrahlt. Das Material, das in den Bildschirmen zum Einsatz kommt, lässt nicht das ganze weiße Licht durch – was durchgelassen wird, ist dann nur ein kleiner Restanteil. Dieser Restanteil entspricht den Farbempfindungen Rot, Grün oder Blau. Das bedeutet, die Pixel strahlen selbst Licht aus – ein roter Pixel strahlt rotes Licht aus, ein blauer Pixel blaues Licht und ein grüner Pixel grünes Licht. Du kannst dir einzelne Pixel vorstellen wie Mosaiksteinchen. Viele Steinchen zusammen ergeben ein färbiges Bild. Aus dem Alltag weißt du natürlich, dass ein Fernseher oder ein Smartphone alle Farben darstellen kann – von Gelb bis Magenta oder auch Schwarz oder Weiß. Hier machen wir einen kleinen Exkurs zur *additiven Farbmischung*.

Additive Farbmischung beschreibt eine Änderung des vom Menschen wahrgenommenen Farbeindrucks, wenn sich mehrere Lichtarten „vermischen“. Physikalisch gesehen ist die „Vermischung“ der Lichtarten eine Überlagerung der unterschiedlichen Eigenschaften der Lichtarten (Wellenlängen) – gelangt rotes Licht und blaues Licht von einem Objekt in dein Auge, dann erscheint es dir magentafarben. Sieh dir zu den Möglichkeiten der additiven Farbmischung Abbildung 1 an.

Gehen wir zurück zu unserem Beispiel mit dem Smartphonebildschirm. Die Pixel sind sehr klein und liegen nahe beieinander. Unser Auge kann die einzelnen Pixel nicht mehr unterscheiden – denke an Sand, den du von weiter weg auch nur als „braune Masse“ wahrnimmst. Erst wenn du nahe hinsiehst, kannst du die einzelnen Sandkörner erkennen. Es kommt zu einer Vermischung der Lichtarten, die von den Pixeln ausgesendet werden. In unserem Gehirn entsteht durch die additive Farbmischung ein neuer Farbeindruck – siehe dir zu den Pixelkombinationen Abbildung 1 an.

Schwarze Pixel bekommt man, indem man die Hintergrundbeleuchtung der jeweiligen Pixel ausschaltet – *gelangt kein Licht von den Pixeln in unser Auge, dann nehmen wir die Pixel als Schwarz wahr*. Weiße Pixel entstehen durch eine Kombination von roten, blauen und grünen Pixeln – alle drei additiv zusammengemischt ergeben Weiß.

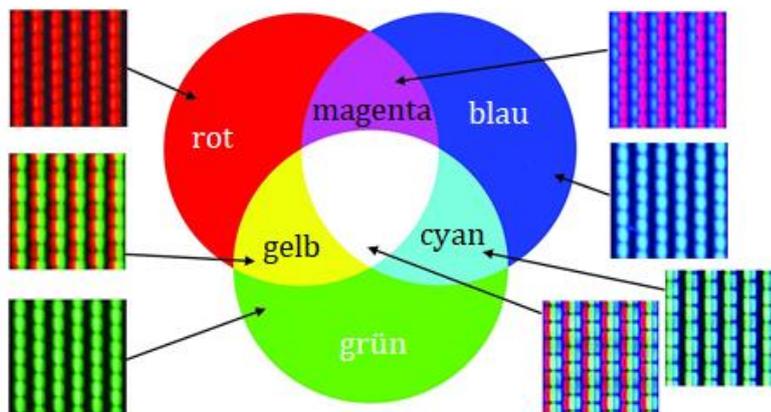
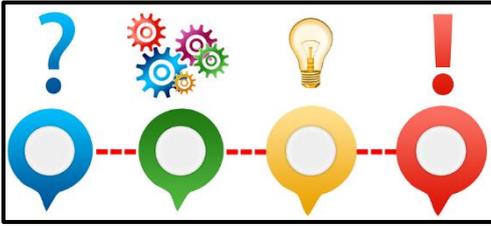


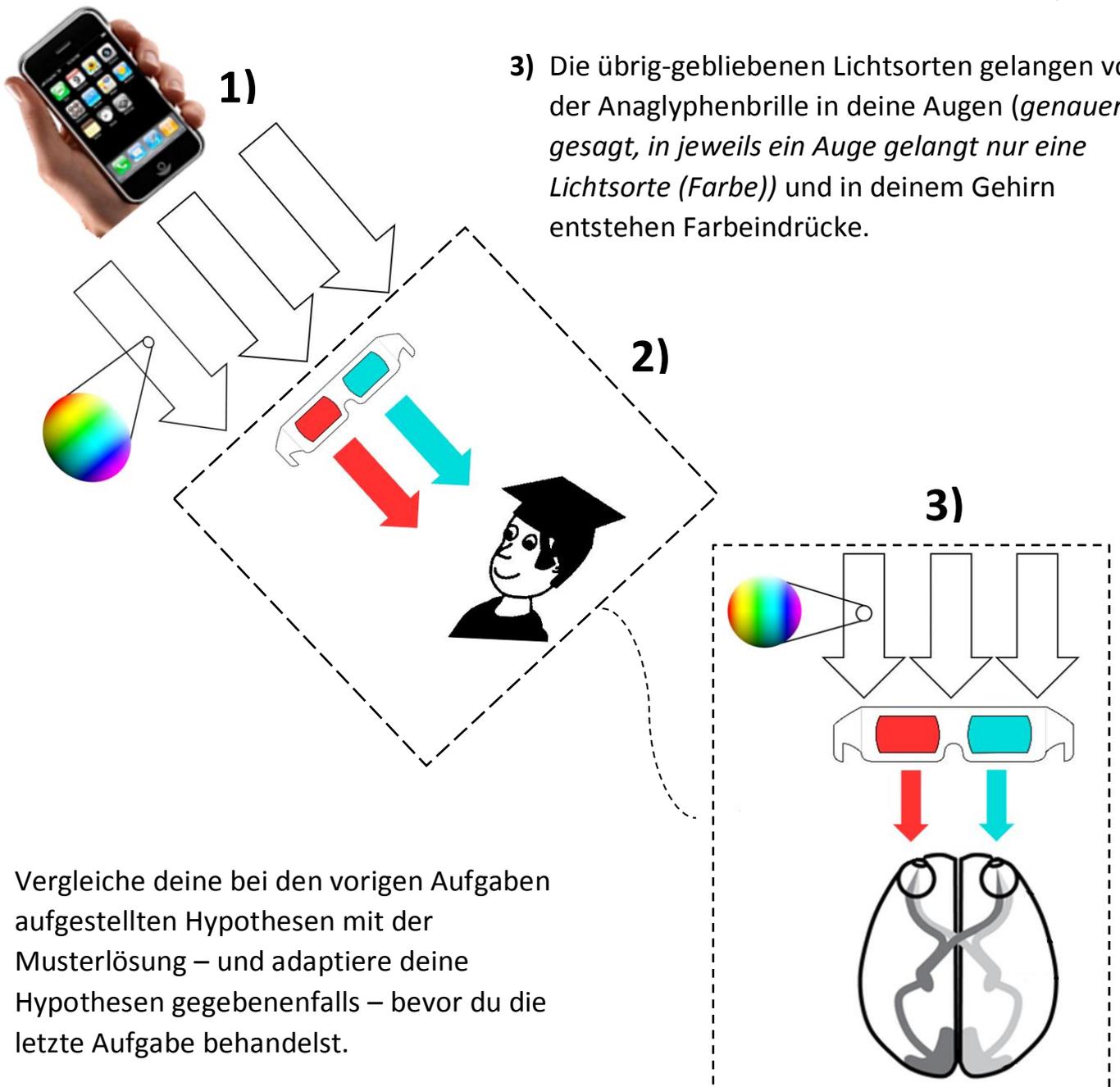
Abbildung 1 – Additive Farbmischung mit den dazugehörigen beleuchteten Pixeln

Bildquelle: [https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Additive\\_Farbmischung.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Additive_Farbmischung.jpg)  
[leicht verändert]



# Musterlösung

- 1) Dein Smartphone sendet Licht aus.
- 2) Das Licht trifft auf die Anaglyphenbrille. Die beiden Farbfilter in den Brillengläsern lassen beide jeweils nur gewisse Lichtsorten durch – der Rotfilter eine andere Lichtsorte als der Cyanfilter!
- 3) Die übrig-gebliebenen Lichtsorten gelangen von der Anaglyphenbrille in deine Augen (*genauer gesagt, in jeweils ein Auge gelangt nur eine Lichtsorte (Farbe)*) und in deinem Gehirn entstehen Farbeindrücke.



Vergleiche deine bei den vorigen Aufgaben aufgestellten Hypothesen mit der Musterlösung – und adaptiere deine Hypothesen gegebenenfalls – bevor du die letzte Aufgabe behandelst.

## Interviewleitfaden - Anaglyphentechnik



### Erstelle ein 3D-Bild von einem Objekt mithilfe der App!

Die Vorgehensweise mit Hilfe der App wird hier beschrieben.

1. Öffne die App auf deinem Smartphone und klicke auf das Kamera-Symbol.
  2. Mache von deinem ausgewählten Gegenstand ein „linkes Bild“ und ein leicht verschobenes „rechtes Bild“.
  3. Nun kannst du das Bild bereits mit der Anaglyphenbrille betrachten und mit Hilfe der Pfeile die beiden erstellten Bilder noch verschieben (oben-unten, links-rechts und drehen), falls sie noch nicht optimal für die räumliche Wahrnehmung mit der Anaglyphenbrille passen. Achte beim Speichern darauf, dass du für die Anaglyphentechnik „Color“ auswählst. (Später kannst du mit der App auch andere Techniken ausprobieren.)
- 1) Hast du die Aufgabe lösen können?
- a. Wenn ja,
    - i. Fasse bitte kurz zusammen, wie du die Aufgabe gelöst hast.
  - b. Wenn nein,
    - i. Woran glaubst du liegt es, dass du die Aufgabe nicht lösen konntest?  
Beschreibe es mir bitte.
    - ii. Welche Hilfestellungen würdest du benötigen, um die Aufgabe lösen zu können?
    - iii. Hast du den Text verstanden, oder findest du etwas darin unlogisch oder schlecht beschrieben?  
**ggf.:** Was findest du unlogisch? Was soll genauer beschrieben werden?  
Wie sollte das besser beschrieben werden?
    - iv. Kannst du die Aufgabe jetzt lösen?
    - v. Fasse bitte kurz zusammen, wie du die Aufgabe gelöst hast.



Im Buch von Holger Tauer steht: „...bei dem die beiden Teilbilder gegensätzlich eingefärbt werden“.

**Was könnte Holger Tauer mit dieser Aussage meinen? Betrachte die zwei Bilder, die die App erzeugt.**

- 2) Wie hast du diese Frage aufgefasst? Beschreibe mir bitte, wie du vorgegangen bist, um die Frage zu beantworten.
- 3) Konntest du die Frage beantworten?
  - a. Wenn Ja, wie lautete deine Antwort?
  - b. Wenn Nein,

- i. Woran glaubst du liegt es, dass du die Aufgabe nicht lösen konntest? Beschreibe es mir bitte.
- ii. Welche zusätzlichen Hilfestellungen hättest du benötigt, um eine für dich zufriedenstellende Hypothese aufstellen zu können?



**Formuliere eine Hypothese: Wieso können wir das Bild 3D wahrnehmen? Eine Hypothese ist nur eine Annahme, die durch weitere Nachforschung bestätigt oder widerlegt werden kann. Was denkst du könnte den 3D-Effekt des Bildes erzeugen?**

- 4) Konntest du eine Hypothese aufstellen?
  - a. Wenn Ja, wie lautet deine Hypothese? Beschreibe mir bitte, wie du beim Formulieren deiner Hypothese vorgegangen bist.
  - b. Wenn Nein, woran glaubst du liegt es, dass du die Aufgabe nicht lösen konntest? Beschreibe es mir bitte.
  - c. Welche zusätzlichen Hilfestellungen hättest du benötigt, um eine für dich zufriedenstellende Hypothese aufstellen zu können?

## 2. Analyse der Teilbilder

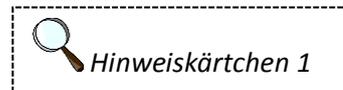
---

In diesem Abschnitt soll geklärt werden, wie die App „Make it 3D“ die Fotos manipuliert.

Fertige hierzu erneut ein Foto von einem Objekt an, verschiebe dazu die beiden Bilder jedoch deutlich, sodass sich diese so wenig wie möglich überlappen und du die Bilder untersuchen kannst.



**Welche Aspekte unterscheiden die beiden Bilder?**



- 5) Beschreibe mir bitte, was du bei dieser Aufgabe zu tun hast.
- 6) Hast du die Aufgabe lösen können und die Frage beantworten können?
  - a. Wenn Ja, wie lautet deine Antwort?
    - i. Fasse bitte kurz zusammen, wie du die Aufgabe gelöst hast.
  - b. Wenn Nein,
    - i. Woran glaubst du liegt es, dass du die Aufgabe nicht lösen konntest? Beschreibe es mir bitte.
    - ii. Welche Hilfestellungen würdest du benötigen, um die Aufgabe lösen zu können?
    - iii. Es gibt hier ein Hilfekärtchen. Ließ dir das einmal durch.
    - iv. Hat dir das Hilfekärtchen geholfen? Warum? Warum nicht?
    - v. Hast du den Text verstanden, oder findest du etwas darin unverständlich beschrieben?
 

**ggf.:** Was findest du unverständlich? Was soll genauer beschrieben werden? Wie sollte das besser beschrieben werden?
    - vi. Kannst du die Fragen jetzt beantworten?
    - vii. Fasse bitte kurz zusammen, wie du die Aufgabe gelöst hast.



Lege die Hortensie (cyanfarben) und die Nelke (rot) so nebeneinander auf, sodass zwischen ihnen noch etwa eine „Blume breit“ Abstand ist.



Fertige nun ein Bild von den beiden Blumen mit Hilfe der App an. Achte darauf, neben der von dir aus rechten Blume noch etwas Platz zu lassen. Verschiebe nun die beiden entstandenen Bilder (linkes und rechtes Bild) anschließend wieder so weit, dass sich die Blumen nicht mehr überlappen.

**Betrachte anschließend die rote Blume und die cyanfarbige Blume zuerst ohne Brille, dann durch das rote Brillenglas und abschließend durch das cyanfarbige Brillenglas. Beschreibe für jeden Schritt was du beobachten kannst.**

*Ohne Brille:*

*Durch das Rote Brillenglas:*

*Durch das cyanfarbige Brillenglas:*

- 7) Beschreibe mir bitte, was du bei dieser Aufgabe zu tun hast.
- 8) Konntest du die Aufgabe lösen?
  - a. Wenn Ja,
    - i. Wie lautet deine Antwort?
    - ii. Beschreibe mir bitte, wie du vorgegangen bist.
    - iii. Hast du den Text verstanden, oder findest du etwas darin unverständlich oder schlecht beschrieben?  
**ggf.:** Was findest du unverständlich? Was soll genauer beschrieben werden? Wie sollte das besser beschrieben werden?
  - b. Wenn Nein,
    - i. Woran glaubst du liegt es, dass du die Aufgabe nicht lösen konntest? Beschreibe es mir bitte.
    - ii. Welche Hilfestellung würdest du benötigen, um die Aufgabe lösen zu können?
- 9) Was konntest du wahrnehmen, als du die Bilder ohne 3D-Brille betrachtet hast?
- 10) Was konntest du wahrnehmen, als du die Bilder mit der 3D-Brille betrachtet hast?
- 11) Vergleiche deine beiden Wahrnehmungen – beschreibe mir bitte etwaige Unterschiede, die du feststellen konntest.



Beschreibe, was du beobachten kannst, wenn du das rechte und das linke Bild entweder durch das rote oder durch das cyanfarbige Brillenglas betrachtest.

*Rechtes Bild mit Rotfilter:*

*Linkes Bild mit Rotfilter:*

*Rechtes Bild mit Cyanfilter:*

*Linkes Bild mit Cyanfilter:*

12) Beschreibe mir bitte, was du bei dieser Aufgabe zu tun hast.

13) Konntest du die Aufgabe lösen?

a. Wenn Ja,

- i. Wie lautet deine Antwort?
- ii. Beschreibe mir bitte, wie du vorgegangen bist.
- iii. Hast du den Text verstanden, oder findest du etwas darin unverständlich oder schlecht beschrieben?

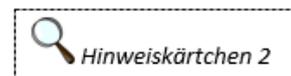
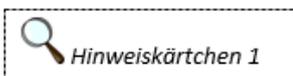
**ggf.:** Was findest du unverständlich? Was soll genauer beschrieben werden? Wie sollte das besser beschrieben werden?

b. Wenn Nein,

- i. Woran glaubst du liegt es, dass du die Aufgabe nicht lösen konntest? Beschreibe es mir bitte.
- ii. Welche Hilfestellung würdest du benötigen, um die Aufgabe lösen zu können?



Wie und auf welche Art und Weise ändert die Smartphoneapp die Farben der beiden Bilder? **Formuliere eine Hypothese.**



14) Konntest du eine Hypothese aufstellen?

a. Wenn Ja, wie lautete deine Hypothese?

- i. Beschreibe mir bitte, wie du beim Formulieren deiner Hypothese vorgegangen bist.

b. Wenn Nein,

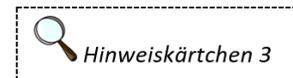
- i. Woran glaubst du liegt es, dass du die Aufgabe nicht lösen konntest? Beschreibe es mir bitte.

- ii. Es gibt hier ein Hilfekärtchen. Ließ dir das einmal durch.
- iii. Hat dir das Hilfekärtchen geholfen? Warum? Warum nicht?
- iv. Hast du den Text verstanden, oder findest du etwas darin unverständlich beschrieben?  
**ggf.:** Was findest du unverständlich? Was soll genauer beschrieben werden? Wie sollte das besser beschrieben werden?
- v. Welche zusätzlichen Hilfestellungen hättest du benötigt, um eine für dich zufriedenstellende Hypothese aufstellen zu können?



Fertige nun ein 3D-Anaglyphenbild des gesamten Blumenstraußes an (Vorgehensweise siehe Aufgabe 1). Betrachte das Bild mit der Cyan/Rot-Brille.

Wie kommt es dazu, dass wir ein mit der Smartphone-App angefertigtes Bild mittels der Rot/Cyan-Brille als 3D wahrnehmen? **Formuliere eine Begründung.**



15) Beschreibe mir bitte, was du bei dieser Aufgabe zu tun hast.

16) Hast du die Aufgabe lösen können und die Frage beantworten können?

- a. Wenn Ja, wie lautet deine Antwort?
  - i. Fasse bitte kurz zusammen, wie du die Aufgabe gelöst hast
- b. Wenn Nein,
  - i. Woran glaubst du liegt es, dass du die Aufgabe nicht lösen konntest? Beschreibe es mir bitte.
  - ii. Welche Hilfestellungen würdest du benötigen, um die Aufgabe lösen zu können?
  - iii. Es gibt hier ein Hilfekärtchen. Ließ dir das einmal durch.
  - iv. Hat dir das Hilfekärtchen geholfen? Warum? Warum nicht?
  - v. Hast du den Text verstanden, oder findest du etwas darin unverständlich beschrieben?  
**ggf.:** Was findest du unverständlich? Was soll genauer beschrieben werden? Wie sollte das besser beschrieben werden?
  - vi. Kannst du die Fragen jetzt beantworten?
  - vii. Fasse bitte kurz zusammen, wie du die Aufgabe gelöst hast.



Ist die Erklärung „... bei dem die beiden Teilbilder gegensätzlich eingefärbt werden.“ Somit zufriedenstellend? **Formuliere mit einem Satz, wie das Zustandekommen der Bilder deiner Meinung nach besser beschrieben werden kann.**

17) Beschreibe mir bitte, was du bei dieser Aufgabe zu tun hast.

18) Konntest du die Aufgabe lösen?

- a. Wenn Ja,
  - i. Beschreibe mir bitte, wie du vorgegangen bist.
  - ii. Was ist deine Antwort?
- b. Wenn Nein,
  - i. Woran glaubst du liegt es, dass du die Aufgabe nicht lösen konntest? Beschreibe es mir bitte.
  - ii. Welche Hilfestellung würdest du benötigen, um die Aufgabe lösen zu können?

**(Falls nicht schon im Interview gemacht):**

---

19) Ließ dir bitte alle drei Hinweiskärtchen noch einmal durch.

- i. Hat dir Hilfekärtchen 1 geholfen? Warum? Warum nicht?
  - ii. Hast du den Text verstanden, oder findest du etwas darin unverständlich beschrieben?  
**ggf.:** Was findest du unverständlich? Was soll genauer beschrieben werden? Wie sollte das besser beschrieben werden?
  - iii. Hat dir Hilfekärtchen 2 geholfen? Warum? Warum nicht?
  - iv. Hast du den Text verstanden, oder findest du etwas darin unverständlich beschrieben?  
**ggf.:** Was findest du unverständlich? Was soll genauer beschrieben werden? Wie sollte das besser beschrieben werden?
  - v. Hat dir Hilfekärtchen 3 geholfen? Warum? Warum nicht?
  - vi. Hast du den Text verstanden, oder findest du etwas darin unverständlich beschrieben?  
**ggf.:** Was findest du unverständlich? Was soll genauer beschrieben werden? Wie sollte das besser beschrieben werden?
- 

20) Was hältst du von den Versuchen, die du gerade gemacht hast?

21) Fasse mir bitte noch einmal zusammen, was du bei den Versuchen gelernt hast.

22) Erkläre mir bitte in eigenen Worten, wie 3D-Sehen mit einer Anaglyphenbrille funktioniert.

Bedanken!

## **Fachlicher Input:**

Mehrere Mechanismen ermöglichen dem Menschen, seine Umgebung dreidimensional wahrzunehmen. Neben den Augen spielt auch die Verarbeitung der durch die Augen aufgenommenen Reize, welche im Gehirn weiterverarbeitet werden, eine wichtige Rolle. Die sogenannte Disparität nimmt hier einen besonderen Stellenwert ein. (Abbildung linkes Auge rechtes Auge)

Mit unseren beiden Augen nehmen wir zwei unterschiedliche Bilder wahr. Beim Betrachten eines Gegenstands nimmt das rechte Auge diesen aus einem anderen Winkel wahr, als das linke Auge. Das kann man anschaulich demonstrieren, indem man den eigenen Daumen ausgestreckt vor sein Gesicht, ungefähr auf Nasenhöhe, hält und abwechselnd das linke Auge und das rechte Auge schließt. Es entsteht der Eindruck, dass der Daumen hin- und her hüpfet. Das bedeutet, dass je ein Auge ein leicht unterschiedliches Bild auf seine Netzhaut projiziert. Von den Netzhäuten aus werden die Bilder ins Sehzentrum des Gehirns übermittelt, wo sie dann zu einem Bild verschmolzen werden. Den Verschmelzungsprozess nennt man „Fusion“.

Um zu erkennen, dass manche Objekte näher und manche Objekte weiter weg vom Betrachter sind, hat unser Gehirn, unter anderem, die Möglichkeit zwei gleiche Bilder aus unterschiedlichen Blickwinkeln zu fusionieren. Sind zwei Objekte sehr weit voneinander entfernt, kann eine Fusionierung der beiden Bilder zu einem Bild nicht mehr stattfinden – es ist nicht möglich beide Objekte gleichzeitig scharf zu sehen.

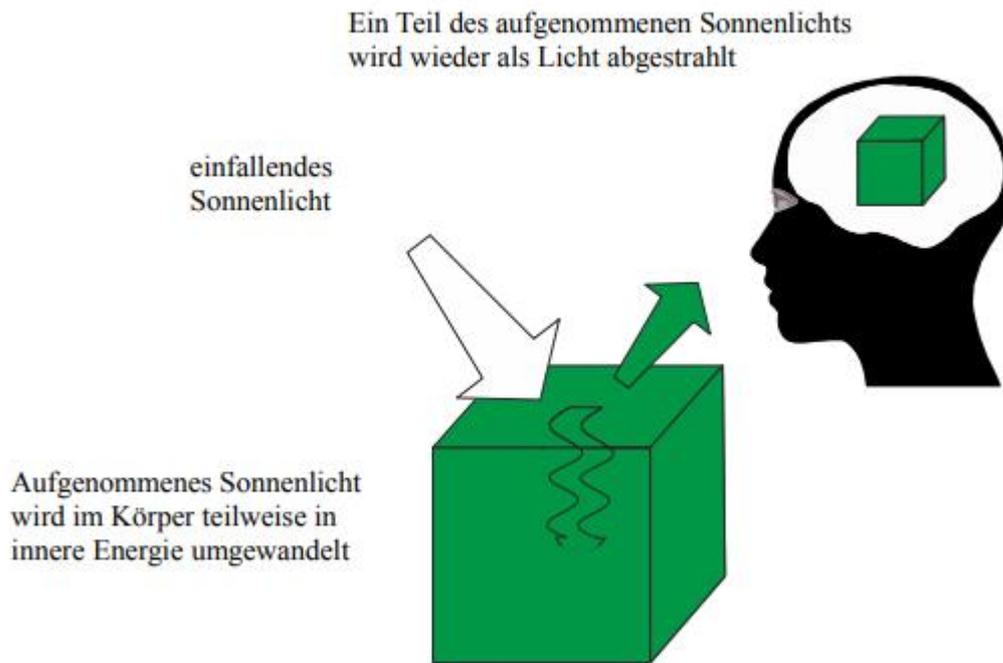
### *Anaglyphentechnik*

Licht wird in der Physik mithilfe seiner Frequenz bzw. seiner Wellenlänge kategorisiert. Für den Menschen sichtbares Licht ist elektromagnetische Strahlung eines kleinen Frequenzbereichs. „Blaues Licht“ hat also eine andere Wellenlänge bzw. eine andere Frequenz als rotes Licht. Im Sonnenlicht sind alle für den Menschen sichtbaren Frequenzen bzw. Wellenlängen enthalten – es erscheint für den Beobachter weiß.

Um ein Objekt „sehen“ zu können, muss Licht von dem Objekt in unser Auge gelangen. Trifft Licht auf ein Objekt, kann es reflektiert, absorbiert oder gestreut werden. Die Lichtquelle ist ein Lichtsender, das Auge ein Lichtempfänger und der Körper ein Zwischensender. Im Regelfall kommt es zu einer Kombination der drei Möglichkeiten – ein Teil des Lichts wird reflektiert und gelangt in unser Auge, ein Teil wird absorbiert und ein Teil wird gestreut und kann ebenfalls ins

Auge gelangen. Das Licht, das von einem Zwischensender durch Streuung und Reflexion in unser Auge gelangt bestimmt die „Körperfarbe“ des Zwischensenders.

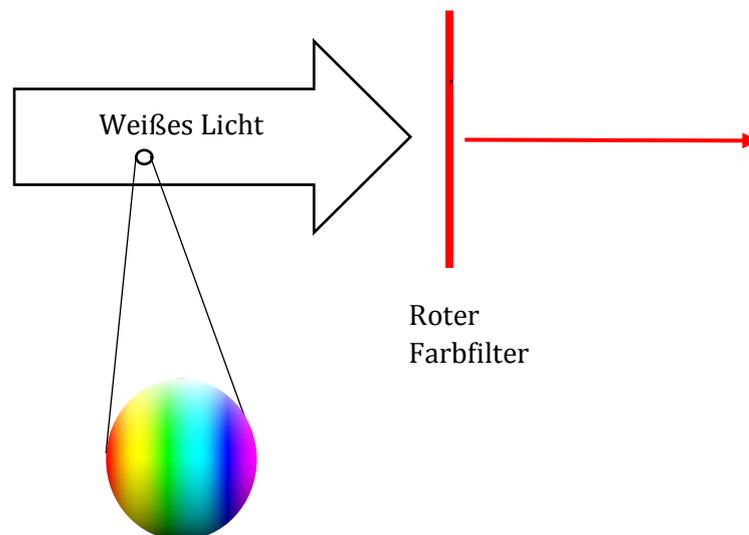
Körperfarben sind demnach abhängig davon, wie der Zwischensender mit Licht reagiert und was der Lichtsender für ein Licht aussendet. Unter Normalbedingungen reagieren Objekte immer gleich mit einfallendem Licht – welche Frequenzen absorbiert, reflektiert oder gestreut werden ändert sich nicht.



*Erzeugung eines grünen Farbeindrucks bei einfallendem weißem Licht (Bildquelle: Haagen-Schützenhöfer, 2017, Optik für die Sekundarstufe 1, S. 35)*

Das bedeutet, dass das auf den Körper einfallende Licht bestimmt, welche Körperfarbeneindruck er in unserem Gehirn erzeugt. Demnach kann ein Objekt unter weißem Licht, wie Sonnenlicht, einen anderen Farbeindruck beim Menschen erzeugen, als unter Licht eingeschränkter Frequenzen, zum Beispiel unter reinem Rotlicht.

Es gibt Materialien, die nur eine gewisse Lichtart durchlassen. Diese werden Filter genannt. Sie lassen nur Licht eines engen Frequenzbereichs durch – ein Rotfilter absorbiert alle Frequenzen außer Rot (d.h., er lässt nur rotes Licht durch), ein Grünfilter alle außer Grün usw. Wird monochromatisches Licht benötigt, kommen oft diese Farbfilter zum Einsatz.



## Vorfragebogen

Hast du schon einmal von Anaglyphentechnik gehört?  Ja  Nein

Wenn **Ja**, wo?

Hast du dich in der Schule mit Farbenlehre, additiver und/oder subtraktiver Farbmischung beschäftigt?  Ja  Nein

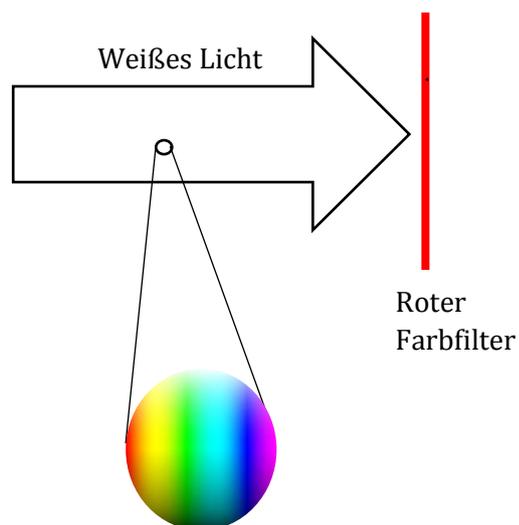
Wenn **Ja**, in welcher Schulstufe? Wieviel Zeit habt ihr ungefähr in dieses Thema investiert?

Wenn **Nein**, hast du dich mit dem Thema schon einmal außerhalb der Schule beschäftigt?

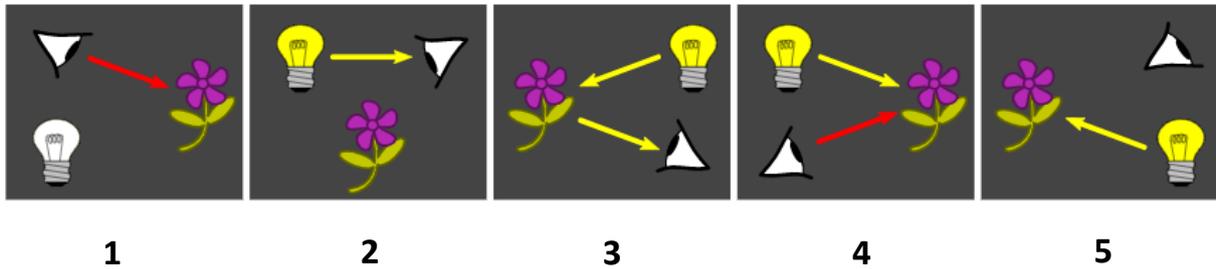
Wie würdest du dein **Vorwissen** zu diesem Thema einschätzen? Kreuze bitte an.

<b>Sehr gut</b> <input type="radio"/>	<b>Gut</b> <input type="radio"/>	<b>Mittel</b> <input type="radio"/>	<b>Schlecht</b> <input type="radio"/>	<b>Ganz schlecht</b> <input type="radio"/>
--	-------------------------------------	--	--	---

Was passiert mit Licht, wenn es auf einen roten Farbfilter trifft? Ergänze die Abbildung und beschreibe kurz was du denkst.



Welche dieser Abbildungen beschreibt den Sehvorgang korrekt? Begründe kurz deine Antwort.



Bildquelle: <https://www.leifiphysik.de/optik/lichtausbreitung>