

Algorithmische Rekonstruktion von Funktionen eines Bildbearbeitungsprogramms Didaktische Hinweise

Didaktische Einordnung

Das Kerncurriculum Informatik für die Sekundarstufe I (s. [2]) sieht im Lernfeld „Computerkompetenz“ ein Modul *Bildbearbeitung* vor, in dem die Schüler*innen das Bearbeiten und Verfremden von Fotos mithilfe einer Bildbearbeitungssoftware erlernen. Da wir beispielsweise in Werbung und Nachrichten täglich der Wirkung von Bildern ausgesetzt sind und diese gezielt eingesetzt werden, um uns zu beeinflussen, ist es wichtig, um die Möglichkeiten der Manipulation von Bildern zu wissen. Die Verfremdung von Bildern durch Falschfarbendarstellungen wird in verschiedenen Wissenschaften zur Veranschaulichung von Sachverhalten verwendet und begegnet den Schüler*innen daher in unterschiedlichen Schulfächern.

Diese Einheit knüpft an die Bildbearbeitung aus Anwendersicht, welche die Bedienung eines Bildbearbeitungsprogramms erfordert, an. Durch die (vereinfachte) Rekonstruktion ausgewählter Algorithmen, die den Funktionen eines Bildbearbeitungsprogramms zugrunde liegen, soll das Verständnis für die digitale Bearbeitung von Bildern vertieft werden. Damit kann dann auch ein Übergang zur digitalen Verarbeitung von Bildern und einer Diskussion der technischen Möglichkeiten geschaffen werden.

Zielgruppe

Die vorliegenden Materialien sind so aufbereitet, dass sie bereits in der Sekundarstufe I verwendet werden können. Die Aufgaben eignen sich auch für die Sekundarstufe II, können dann jedoch auf einem höheren Abstraktionsniveau und ggf. mit anderen Werkzeugen bearbeitet werden. Auf der Seite für die Sekundarstufe 2 stehen daher angepasste Materialpakete zum Download bereit.

Voraussetzungen

Idealerweise sollten die Schüler*innen mit den Funktionen eines Bildbearbeitungsprogramms, mit der Farbdarstellung im RGB-Modell und dem Aufbau von Rastergrafiken bzw. digitalen Fotos vertraut sein. Letzteres kann ggf. auch im Kontext dieser Einheit thematisiert werden. Je nach Klassenstufe kann in Bezug auf die Verwendung eines Bildbearbeitungsprogramms auch auf Erfahrungen aus dem Kunstunterricht zurückgegriffen werden (vgl. beispielsweise [3], S. 20 oder [4], S. 19).

Weiterhin sind Vorerfahrungen im algorithmischen Problemlösen mit einer grafischen Programmiersprache notwendig. Um die Algorithmen vollständig selbst zu entwickeln, sollten die Schüler*innen mit den Kontrollstrukturen *wiederhole-n-mal* und Verzweigung sowie logischen Verknüpfungen und Variablen umgehen können. Es ist aber auch möglich Teile der Algorithmen vorzugeben, so dass die Schüler*innen auch mit weniger Vorkenntnissen im Bereich Algorithmik auskommen.

Lernziele

Die vorliegenden Materialien verknüpfen das Modul *Bildbearbeitung* aus dem Lernfeld „Computerkompetenz“ mit dem Modul *Algorithmisieren und Implementieren* aus dem Lernfeld „Algorithmisches Problemlösen“. Kompetenzen aus beiden Bereichen werden gefestigt und vertieft. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Anwendung des RGB-Modells und der algorithmischen Auswertung und Veränderung einzelner RGB-Werte zur Manipulation von Bildern. Dadurch wird erfahrbar, dass ein Rechner ein Bild nicht als Ganzes „sieht“, sondern ein Bild aus vielen einzelnen Bildpunkten besteht, wobei die Farbe eines Bildpunktes mit drei Zahlen codiert wird.

Werkzeuge

Es wird die grafische Programmiersprache bzw. Entwicklungsumgebung *Snap!*¹ verwendet. Während das in der Sekundarstufe I verbreitete Werkzeug Scratch² ausschließlich mit dem HSV-Modell arbeitet, kann in Snap! auf den RGB-Wert einzelner Pixel zugegriffen werden. Diese Möglichkeit ist entscheidend, um Algorithmen zu entwerfen, die Bilder durch Operationen auf den RGB-Werten manipulieren. Alle übrigen Blöcke, die benötigt werden, sind ähnlich auch in Scratch zu finden, so dass ein Umstieg hier ggf. ohne große Schwierigkeiten möglich sein sollte.

Didaktische Hinweise

Die Grundidee aller im Rahmen dieser Einheit entwickelten Algorithmen besteht darin, mit einem Pixel-Objekt ein Bühnenbild systematisch abzulaufen, dabei an jeder Position den aktuellen RGB-Wert des Bühnenbildes zu ermitteln und je nach gewünschter Manipulation des Bildes einen Abdruck des Pixel-Objektes in dem Farbton des entsprechend veränderten RGB-Wertes zu hinterlassen.

Alternative Zugänge

Der algorithmisch anspruchsvollste Teil ist das systematische Ablaufen der Bühne, da hierzu zwei geschachtelte Schleifen benötigt werden. Die vorliegenden Materialien zielen darauf ab, die Schüler*innen die Algorithmen Schritt für Schritt selbst entwickeln zu lassen. Alternativ dazu kann ein Algorithmus zum systematischen Ablaufen der Bühne vorgegeben und von den Schüler*innen nachvollzogen werden. In dieses Grundgerüst können die Schüler*innen anschließend selbstständig oder zunehmend selbstständig verschiedene Funktionen zur Manipulation von Bildern einbauen. Dabei ist sowohl ein experimenteller als auch ein analytischer Zugang denkbar.

Alternativ zum Umfärben des Pixelkostüms und Hinterlassen eines Abdrucks, könnte auch der Zeichenstift verwendet werden. Durch Hinzuschalten des Moduls *Stiftfarbe auf RGB oder HSV Werte setzen*, erhält man einen Block *set pen color to r: ... g: ... b: ...*. Wird damit die Stiftfarbe vorher auf den neuen RGB-Wert gesetzt, die Stiftdicke auf 1 eingestellt und ein Schritt der Weite 1 gemacht, erhält man ebenfalls einen einzelnen Bildpunkt in der entsprechenden Farbe.

Die hier gewählte Variante bleibt in der Anschauung bei der Veränderung einzelner Bildpunkte und ermöglicht die Entwicklung der Algorithmen zur Manipulation von Bildern aus dem Einstiegsprojekt, dem Erstellen eines Baustein-Mosaiks.

¹ Snap! wird von der University of California, Berkeley zur Verfügung gestellt: <https://snap.berkeley.edu>

² Scratch ist ein Projekt der Scratch Foundation in Zusammenarbeit mit der Lifelong Kindergarten Group des MIT Media Lab. Es ist kostenlos unter <https://scratch.mit.edu> erhältlich.

Snap! bietet grundsätzlich auch die Möglichkeit sich zu einem Bild eine Liste ausgeben zu lassen, die für jeden Bildpunkt eine weitere Liste mit dem Rot-, Grün-, Blau- und Alphawert enthält. In dieser Liste können die RGB-Werte und damit das Bild direkt verändert werden. Der Umgang mit einer Liste von Listen ist für die meisten Schüler*innen der Sekundarstufe I jedoch zu komplex, weshalb hier ein anschaulicherer Zugang gewählt wird.

Hinweise zu den einzelnen Einheiten des Materialpaketes

Das Materialpaket setzt sich aus vier Einheiten zusammen, die aufeinander aufbauen:

1. Einstiegsprojekt: Baustein-Mosaik
2. Algorithmen für Graustufenbilder und andere Bildmanipulationen
3. Falschfarbendarstellungen
4. Das Zauberstab-Werkzeug

Es ist jedoch möglich, einzelne Aufgaben zu überspringen oder die Sequenz vorzeitig abzuschließen. Es folgen Hinweise zu den einzelnen Einheiten.

1. *Einstiegsprojekt: Baustein-Mosaik*

Als Einstiegsprojekt wurde das Zerlegen eines Portraitfotos in größere Bildpunkte in fünf verschiedenen Farben gewählt. Dabei handelt es sich um eine Farbe für den Hintergrund und vier Graustufen für das Gesicht der Person. Inspiriert ist dieses Projekt durch das Angebot eines Spielzeugherstellers ein Foto in ein Mosaik aus Bausteinen zu zerlegen und nachzubauen.

Dieses Projekt eignet sich aus mehreren Gründen besonders gut für den Einstieg. Beim Erstellen des Baustein-Mosaiks ergeben sich aus dem Kontext heraus zwei hilfreiche Vereinfachungen. Da nur fünf verschiedene Bausteinfarben zur Auswahl stehen, können diese durch fünf entsprechende Kostüme für die Bausteine im Pixel-Objekt vorgehalten werden. Zum anderen ergeben sich durch die Bausteine zunächst größere Pixel, z. B. in der Größe 5 x 5, wodurch sich die Zeit für die Bearbeitung eines vollständigen Bildes deutlich verringert, da nur jedes fünfte Pixel des Hintergrundbildes betrachtet werden muss. Trotzdem sollte das zu bearbeitende Bild nicht zu groß gewählt werden, um die Bearbeitungszeit im Rahmen zu halten. Weiterhin empfiehlt es sich den Turbo-Modus einzuschalten.

Im Beispiel wurde ein Bild der Größe 300 x 300 Pixel mit einer Bausteingröße von 5 x 5 Pixel gewählt. Ausgehend von gängigen Bauplatten und Bausteinen, die sich in den Kinderzimmern befinden, können die Schüler*innen aber eigene Vorschläge für die Größe des Bildes und der Bausteine machen. Ggf. muss dann mit Blick auf die Bearbeitungszeit ein geringerer Maßstab gewählt werden. Die Materialien enthalten exemplarische Werte, die nicht als Vorgabe zu verstehen sind.

Die Materialien führen die Schüler*innen schrittweise an den Algorithmus heran, indem zunächst nur das Bild systematisch abgelaufen werden soll, bevor dabei die Pixel ausgewertet und das Mosaik erstellt werden. Dies ermöglicht es, Zwischenergebnisse zu sammeln und auszutauschen, so dass alle Schüler*innen gemeinsam weiterarbeiten können. Sollte es bei einzelnen Schritten zu Schwierigkeiten kommen, können so dennoch alle Schüler*innen zu einem erfolgreichen Ergebnis kommen.

Da es insbesondere für das systematische Ablaufen der Bühne unterschiedliche algorithmische Ansätze gibt, wurde versucht, die Hilfestellung möglichst allgemein zu halten, so dass die Schüler*innen hier individuelle Lösungen finden können. Je nach Leistungsstand der Schüler*innen kann dabei mit festen Werten passend zur Größe der Bühne und des Baustein-Objektes gearbeitet

werden. Diese Werte können aber auch variabel mithilfe geeigneter Blöcke abgefragt werden. Der Lösungsvorschlag³ enthält in Beispiel 1 eine Lösung mit festen Werten, die Beispiele 2 bis 4 verwenden den gleichen Algorithmus mit variablen Werten. Darüber hinaus gibt es viele weitere denkbare Algorithmen, die hier nicht alle vorgestellt werden können. Im Unterricht kann an diesem Beispiel besonders gut die Gleichwertigkeit unterschiedlicher (Schüler*innen-)Lösungen hervorgehoben werden.

Zum Abfragen des aktuellen RGB-Wertes der Bühne an der Position eines Objekts stellt Snap! im Bereich *Fühlen* den Baustein *Farbton bei ...* zur Verfügung. Hier muss statt Farbton *R-G-B-A-Farbwerte* und im hinteren Teil *bei selbst* ausgewählt werden. Als Rückgabe erhält man eine Liste mit vier Werten. Die ersten drei Werte sind der Rot-, der Grün- bzw. der Blauwert. Der letzte Wert gibt die Transparenz oder Deckkraft der Farbe an. Bei einem Foto ist der letzte Wert durchgängig 255 und kann daher ignoriert werden. Es bietet sich an, diese Liste in einer Variablen zwischenspeichern um anschließend mit dem Block *Element ... von ...* für Listen auf den entsprechenden Wert zuzugreifen.

Da Schüler*innen in der Sekundarstufe I häufig noch nicht mit dem Umgang von Listen vertraut sind, werden in der Datei *Bildbearbeitung_Bloecke* drei Blöcke für den Bereich *Fühlen* zur Verfügung gestellt, welche den Zugriff auf den Rot-, den Grün- bzw. den Blauwert direkt ermöglichen, indem sie den Zugriff auf die entsprechenden Listenelemente kapseln.

Die Verwendung dieser Bausteine hat weiterhin den Vorteil, dass die Schüler*innen sich auf die RGB-Werte konzentrieren. Der Block *Farbton bei ...* bietet nämlich noch weitere Optionen u. a. für die Arbeit mit dem HSV-Modell an und dementsprechend auch die Option Helligkeit. Die Idee für das Erstellen des Baustein-Mosaiks auf der Basis der RGB-Werte besteht darin, die Helligkeit aus dem Durchschnitt des Rot-, Grün- und Blauwertes zu berechnen und den vier Grautönen der Bausteine geeignete Helligkeitsintervalle zuzuordnen. Aufgrund der Helligkeit kann dann das passende Baustein-Kostüm ausgewählt werden. Einige Schüler*innen könnten zu Recht auf die Idee kommen, die Helligkeit mithilfe des Blocks *Helligkeit bei selbst* direkt ausgegeben zu lassen, anstatt sie aus den RGB-Werten zu berechnen. Dabei ist jedoch Folgendes zu beachten: Während sich als Durchschnitt aus dem Rot-, dem Grün- und dem Blauwert ein Wert zwischen 0 und 255 ergibt, bewegen sich die Helligkeitswerte des HSV-Modells zwischen 0 und 100, so dass die Skalen nicht identisch sind. Eine eigene Berechnung hat zudem den Vorteil, dass das Vorgehen exemplarisch für die Auswertung des Rot-, Grün- und Blauwertes ist und damit die Rekonstruktion weiterer Funktionen eines Bildbearbeitungsprogramms vorbereitet. Wenn mit dem Block *Farbton bei ...* gearbeitet wird, sollte daher im Vorfeld überlegt werden, wie mit dieser Möglichkeit umgegangen wird, so dass die Idee der Schüler*innen einerseits nicht abgewertet wird, andererseits aber der Zusammenhang mit den RGB-Werten bzw. die Unterschiede der Farbmodelle deutlich werden.

Der beiliegende Lösungsvorschlag enthält vier algorithmische Varianten zur Auswahl der Baustein-Kostüme. Tabelle 1 gibt einen Überblick. Weitere Varianten sind denkbar und diese Lösungen sind nicht alle so von den Schüler*innen zu erwarten. Es soll vielmehr den Kolleg*innen die Bandbreite der Lösungsansätze aufgezeigt werden. Darauf aufbauend kann ggf. auch weiter experimentiert und die Ansätze können kombiniert werden.

³ Die Lösungsvorschläge sind nur in dem Materialpaket inklusive Musterlösungen enthalten.

Eigener Block	Besonderheiten
waehle Kostuem 1	arbeitet ohne Listenoperationen und verwendet die Bausteine aus der Datei <i>Bildbearbeitung_Bloecke</i> Die Intervalle für die Graustufen wurden experimentell ermittelt.
waehle Kostuem 2	wie <i>waehle Kostuem 1</i> , aber mit Listenoperationen und Block <i>R-G-B-A-Farbwerte bei selbst</i>
waehle Kostuem 3	Verwendung des Blocks <i>Helligkeit bei selbst</i> . Dabei wird der Bereich von 0 bis 100 rechnerisch in vier Intervalle eingeteilt und entsprechend der Intervallnummer das Kostüm ausgewählt. Dieser Ansatz basiert auf einer Idee von Jens Mönig (vgl. [5])
waehle Kostuem 4	arbeitet wie <i>waehle Kostuem 2</i> , allerdings wird hier von einem Bühnenbild ausgegangen, bei dem der Hintergrund vorher bearbeitet wurde, so dass alle Pixel des Hintergrunds den gleichen RGB-Wert haben (hier 0, 0, 255). Als Bühnenbild sollte daher das dritte Hintergrundbild der Bühne ausgewählt werden.

Tabelle 1: Erläuterung zu den Unterschieden der vier Lösungsvarianten

Beim Erstellen der Portraitfotos, sollte die Hintergrundfarbe so gewählt werden, dass es möglichst keine Überschneidung mit den Farben des eigentlichen Portraits gibt. Im Beispiel ist dies nicht vollständig gelungen, da der blaue Hintergrund schwer vom Blau der Augen zu unterscheiden ist. Steht keine passende Farbe als Hintergrund zur Verfügung kann beispielsweise auch ein weißer Hintergrund zuvor mit einem Bildbearbeitungsprogramm und dem Zauberstab-Werkzeug einheitlich gefärbt werden.

Das Ergebnis wird immer abhängig von der Helligkeit und dem Kontrast des verwendeten Fotos sein, so dass sich ein Algorithmus ggf. nicht auf beliebige Fotos anwenden lässt. Ziel sollte daher nur sein, dass die Schüler*innen einen Algorithmus entwerfen, der ihr eigenes Foto in ein passendes Baustein-Mosaik transformiert. Leistungsschwächeren Schüler*innen kann auch ein Grundgerüst des Algorithmus zur Verfügung gestellt werden. Die Eigenleistung besteht dann darin, geeignete Intervalle für die verschiedenen Grautöne der Baustein Kostüme zu ermitteln.

2. Algorithmen für Graustufenbilder und andere Bildmanipulationen

Bevor den Schüler*innen das Arbeitsblatt an die Hand gegeben wird, sollte ihnen Gelegenheit gegeben werden, selbst zu überlegen, in wieweit der Algorithmus für das Baustein-Mosaik als Grundlage für weitere Algorithmen zur Manipulation von Bildern verwendet werden kann (vgl. Aufgabe 1).

Am Beispiel des Erstellens eines Graustufenbildes werden die Schüler*innen angeleitet, die notwendigen Anpassungen vorzunehmen. Als Grauton wird hier der Durchschnitt des Rot-, Grün- und Blauwertes genommen. Es gibt jedoch noch andere Methoden zum Bestimmen des passenden Grautons. Beispielsweise können die Farbanteile unterschiedlich gewichtet oder der Median der drei Farbanteile bestimmt werden (vgl. z. B. [1]).

Anschließend sollten die Schüler*innen selbständig Algorithmen für verschiedene weitere Funktionen erstellen können. Je nach Komplexität der Funktion kann es dabei nicht darum gehen, die exakten Berechnungen eines Bildbearbeitungsprogramms zu rekonstruieren, sondern vereinfachte rechnerische Ansätze zu finden, die das Bild in die gewünschte Richtung verändern. Auch die Lösungsvorschläge sind als Vereinfachungen in diesem Sinne zu verstehen.

Bevor die Hinweise zum Einsatz kommen, sollten die Schüler*innen daher zu einem gezielten Experimentieren mit den RGB-Werten auf der Basis ihres Wissens über die Bedeutung der Farbwerte angeregt werden.

Da das Ablaufen eines Bildes mit einem 1 x 1 großen Pixel selbst im Turbomodus sehr lange dauert, kann es sinnvoll sein, die Rechenoperationen zunächst mit einem größeren Pixel-Kostüm zu testen.

Bei diesem Arbeitsblatt ergeben sich vielfältige Möglichkeiten zur Differenzierung. Sowohl hinsichtlich der Quantität der Funktionen, die umgesetzt werden, als auch der Komplexität. Auch einzelne Funktionen lassen sich unterschiedlich komplex umsetzen. So kann z. B. beim Verändern der Helligkeit mit einem festen Wert gearbeitet werden oder dem Anwender die Auswahl über einen Schieberegler ermöglicht werden. Weiterhin kann der Schwerpunkt auf das kreative Experimentieren mit den RGB-Werten oder auf das gezielte Rekonstruieren einzelner Effekte gelegt werden.

Leistungsstarke Schüler*innen können außerdem die jeweilige Funktion nur auf einen ausgewählten Bereich des Bildes Anwenden (s. Abschnitt *Für Fortgeschrittene*)

3. Falschfarbendarstellungen

Das Erzeugen von Falschfarbenbildern stellt die Schüler*innen algorithmisch vor keine neuen Herausforderungen. Das Arbeitsblatt eignet sich daher gut zum selbständigen Weiterarbeiten der Schüler*innen nach Aufgabenblatt 2. Die Falschfarbendarstellung kann aber auch alternativ zu den verschiedenen Manipulationen eines Bildes in Aufgabe 6 von Arbeitsblatt 2 eingesetzt werden.

Da die Schüler*innen aus den vorangegangenen Arbeitsblättern auf Erfahrungen im Umgang mit den RGB-Werten zurückgreifen können, sieht das Arbeitsblatt vor, dass sie die Grundlagen für das Erstellen von Falschfarbenbildern, Rot-, Grün- und Blauauszug und Farbcodierungen anhand von Beispielen selbst erarbeiten. Prinzipien, die bei früheren Algorithmen bereits angewendet wurden, wie das Einteilen eines Bildes in Helligkeitsintervalle, kommen hier in einem anderen Kontext wieder zum Einsatz.

Da das Arbeitsblatt entsprechend wenig Erklärungen enthält, ist für Möglichkeiten der Zwischensicherung zu sorgen, insbesondere wenn Schüler*innen das Aufgabenblatt weitgehend selbständig bearbeiten.

Im Zusammenhang mit der Falschfarbendarstellung gibt es viele Anwendungsgebiete in verschiedenen Wissenschaften, die sich auch in den entsprechenden Schulfächern wiederfinden lassen. Hier bestehen daher verschiedene Möglichkeiten des Fächerübergreifhs beispielsweise zu Biologie oder Erdkunde, indem entsprechende Kontexte gewählt werden, in denen diese Darstellungen zum Einsatz kommen.

4. Das Zauberstab-Werkzeug

Bei der Rekonstruktion des Zauberstab-Werkzeuges kommt der Vergleich von RGB-Werten und das Auswählen eines Referenzwertes hinzu. Hier kann wieder mit dem RGB-Wert als Liste oder den einzelnen Werten gearbeitet werden. Daher gibt es hier zwei Versionen des Arbeitsblattes, die sich

aber nur in dem Punkt *Auswahl des Referenzwertes* unterscheiden. Die exemplarische Lösung enthält beide Varianten.

Da ein Farbton aus drei Werten besteht, ist hier zunächst zu erarbeiten, wie zwei Farbtöne verglichen werden können. Hinzu kommt, dass es bei Fotos viele Nuancen eines Farbtons gibt, so dass RGB-Werte auch als gleich eingestuft werden müssen, wenn der Rot-, Grün- und Blauanteil nur im gleichen Bereich liegen. Programme zur Bildbearbeitung ermöglichen dem Anwender hier in der Regel die Toleranz festzulegen. Aufgabe 2 soll entsprechende Überlegungen bei den Schüler*innen motivieren.

Das Beispiel in Abbildung 1 zeigt, dass es notwendig sein kann, den Hintergrund schrittweise zu löschen, um ein Objekt freizustellen, wenn sich die Bildpunkte beispielsweise zu stark in der Helligkeit unterscheiden. Deshalb kann es spätestens hier sinnvoll sein, die Auswahl eines Bildbereichs anzubieten, um die Bearbeitungszeit überschaubar zu halten. Die beiliegende Lösung enthält in dem Objekt *Auswahlbereich* einen Vorschlag zur Umsetzung. Das Objekt *Pixel* arbeitet mit den einzelnen Rot-, Grün und Blauwerten, während das Objekt *PixelL* den RGB-Wert als Liste verarbeitet.



Abbildung 1: Zweistufige Anwendung der Zauberstab-Funktion aus dem beiliegenden Lösungsvorschlag.

Ausblick

Im Internet sind prominente Beispiele zu finden, bei denen Bilder in der Presse gezielt manipuliert wurden (s. [6] und [7]). Im Kontext dieser Einheit bietet es sich an, über die Motive für solche Manipulationen, aber auch die technischen Grundlagen zu sprechen, die solche Manipulationen ermöglichen. Daraus ergibt sich dann u. a. die Frage, wie Manipulationen eines Bildes erkannt werden können. Neben Unstimmigkeiten im Bild, die auf Manipulationen hinweisen, wäre hier auch eine Art Prüfcode denkbar, der nicht mehr zu dem Bild passt, wenn es manipuliert wird. Hier können die Schüler*innen eigene Ideen entwickeln.

Denkbar ist auch eine Überleitung zum Modul „technische Realisierung automatisierter Prozesse“ aus dem Lernfeld *Automatisierte Prozesse* mit Aspekten aus den Bereichen *Computer sehen* und *automatisierte Bildverarbeitung*.

Literaturverzeichnis

- [1] Janecke, M. (2013). Farbfotos in Graustufen umwandeln. <https://prlbr.de/2013/farben-in-graustufen-umwandeln/> [Datum des Zugriffs: 29.05.2020]
- [2] Niedersächsisches Kultusministerium (2014). *Kerncurriculum für die Schulformen des Sekundarbereichs I Schuljahrgänge 5 – 10. Informatik*. Hannover: Unidruck
- [3] Niedersächsisches Kultusministerium (2016). *Kerncurriculum für das Gymnasium Schuljahrgänge 5 – 10. Kunst*. Hannover: Unidruck
- [4] Niedersächsisches Kultusministerium (2012). *Kerncurriculum für die Realschule Schuljahrgänge 5 – 10. Kunst*. Hannover: Unidruck
- [5] Mönig, J. (2020). *Dithering - Dice – Hasso*
<https://snap.berkeley.edu/project?user=jens&project=Dithering%20-%20Dice%20-%20Hasso>
[Datum des Zugriffs: 13.05.2020]
- [6] Museum für Kommunikation. (2007). *X für U Bilder, die lügen. Didaktische Materialien*.
https://www.mfk.ch/fileadmin/user_upload/zzz_Dateiliste_alte_Seite/pdfs/Bildung_Vermittlung/Materialien/Ausstellungen/Bdl/Bdl_didakt_Materialien.pdf [Datum des Zugriffs: 29.05.2020]
- [7] Spiegel Geschichte (Hrsg.) (2008). *Bildmanipulationen Mehr Blut, mehr Rauch, weniger Speck*.
<https://www.spiegel.de/fotostrecke/manipulierte-bilder-fotostrecke-107186.html> [Datum des Zugriffs: 29.05.2020]

Lizenz

Dieses Werk ist lizenziert unter einer [Creative Commons Namensnennung - Nicht kommerziell - Keine Bearbeitungen 4.0 International Lizenz](#). Sie erlaubt Download und Weiterverteilung des vollständigen Werkes unter Nennung meines Namens, jedoch keinerlei Bearbeitung oder kommerzielle Nutzung.

Die beiliegenden Schülermaterialien sind lizenziert unter einer [Creative Commons Namensnennung - Nicht-kommerziell - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz](#). Sie erlaubt Bearbeitungen und Weiterverteilung des Werks unter Nennung meines Namens und unter gleichen Bedingungen, jedoch keinerlei kommerzielle Nutzung.

Für die korrekte Ausführbarkeit der beiliegenden Quelltexte wird keine Garantie übernommen. Auch für Folgeschäden, die sich aus der Anwendung der Quelltexte oder durch eventuelle fehlerhafte Angaben ergeben, wird keine Haftung oder juristische Verantwortung übernommen.