

Digitale Erweiterung einer analogen Kamera

Maturitätsarbeit 2017

Peter Kuhn

Rämibühl
MNG

Zusammenfassung

Das praktische Ziel dieser Arbeit ist: Eine Technik zu entwickeln, mit der man eine analoge Kamera zu einer digitalen Kamera erweitern kann.

Im ersten Teil (2) erkläre ich, aus welchem Material jedes Element der neuen Erweiterung besteht, wie es funktioniert und warum ich mich dafür entschieden habe, genau dieses Element zu verwenden.

Im zweiten Teil (2.9) beschreibe ich meinen eigenen Arbeitsprozess chronologisch geordnet. Dort zeige ich meine Überlegungen und Arbeitsschritte auf. Der Prozess bestand aus einer Abfolge unerwarteter Probleme. Für die Probleme konnte ich Lösungen finden, die dann teils zu noch mehr Problemen geführt haben.

Vertieftes technisches und theoretisches Grundlagenwissen ist im Abschnitt 3 zu finden. Dieser Teil ist eine Ergänzung für technisch Interessierte.

Während der Arbeit habe ich Respekt vor dem Handwerk der Fotografie und ihrem Material entwickelt. Die Arbeit ist für mich auch Anlass, die mich umgebenden Bilder und ihre Produktion analytischer wahrzunehmen. In Zukunft möchte ich mit der hybriden Kamera weiter erforschen, welchen Einfluss ein künstliches Auge auf meine Sicht der Welt hat.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
1.1	Ausgangssituation	6
1.2	Motivation	8
1.3	Zu erwartende Probleme	10
1.4	Aufbau der Arbeit	11
1.5	Zeitplan	12
1.6	Ähnliche Produkte	12
2	Praktischer Teil	13
2.1	Edixa	13
2.2	Warum Raspberry Pi	15
2.3	Raspberry Pi	16
2.4	PiCam	18
2.4.1	Übertragungsprotokoll der PiCam	19
2.5	Funktionsweise	20
2.6	Materialien	20
2.7	3D-Druck	21
2.8	Design	21
2.8.1	Von Teilen vorgegeben	21
2.8.2	Von Funktion vorgegeben	24
2.8.3	Formensprache	24
2.8.4	Ergonomie	26
2.9	Arbeitsschritte	27
2.9.1	Ursprung	27
2.9.2	Gehäuse	27
2.9.3	Bildsensor	30
2.9.4	3-D Druck	40
2.9.5	Probleme des Displays	44
2.9.6	Programmieren	47

2.9.7 Hülle	47
2.9.8 Bedienung der Kamera	49
2.10 Programmstruktur	50
2.11 Software	50
2.11.1 Linux	52
2.12 Abgrenzung meines Produkts	52
2.13 Arbeitszeitdiagramm	53
3 Theoretischer Teil	55
3.1 Farbenlehre	55
3.1.1 Additive Farbmischung	56
3.1.2 Subtraktive Farbmischung	57
3.1.3 RGB	58
3.1.4 Dateiformate	59
3.2 Photoresistor Electronic	61
3.2.1 Bildsensor Farbfilter	64
3.3 Optik	66
4 Fazit	67
4.1 Reflexion	67
4.2 Rückblick	68
4.3 Ergebnisse	70
4.4 Ausblick	71
5 Danksagung	72
6 Bibliography	74

1 Einleitung

Ich bin ein 18-jähriger Schüler des MNGs. Ich interessiere mich für visuelle Kunst im Allgemeinen, Fotografie im Besonderen. Ich arbeite gerne und gut mit meinen Händen. Ich habe dieses Projekt als Maturitätsarbeit gewählt, weil ich sehr viele verschiedene Techniken, Theorien und Aufgabenbereiche in dieser interdisziplinären Arbeit zusammenbringen konnte.

Ich werde beschreiben, mit welchem Wissen und welcher Technik jeder eine analoge Kamera in eine Digitalkamera umbauen kann. Ich habe mich nicht auf ein einzelnes Kamera-Modell konzentriert, sondern ich habe die Beschreibung so nachvollziehbar gehalten, dass das Vorgehen prinzipiell auf jedes Modell anwendbar ist.

1.1 Ausgangssituation

Meine Maturitätsarbeit ergab sich aus folgender Situation:
Ich habe eine analoge Kamera geerbt, die sich durch mechanische Präzisionsarbeit in der Herstellung, Leistung, Langlebigkeit und Verlässlichkeit auszeichnet. Diese Kamera bietet manuelle Einflussmöglichkeiten auf das Foto. Die Kamera verwende ich aber im Alltag nicht mehr. Analoge Filme zu kaufen, zu belichten, zu entwickeln und abziehen zu lassen ist mir zu mühsam. Ich möchte auch für ein Foto nicht zusätzlich Geld ausgeben, nachdem ich die Anschaffungskosten für die Kamera und Computer einmal gezahlt habe. Ich empfinde es als Einschränkung, dass ich nicht beliebig viele Fotos machen kann.

Wir leben in einer Konsumgesellschaft, das heisst, wir kaufen ständig neue Sachen. Heute hat eine Kamera eine Lebenserwartung von ca. 3 Jahren, meist kommt dann das nächste Update auf den Markt. Trotzdem sind wir noch Sammler. Die meisten Menschen werfen Ihre Kameras nicht weg, vielleicht weil sie eine emotionale Beziehung zu der Kamera aufgebaut haben durch schöne Erinnerungen, oder sie halten sie für wertvoll, weil sie lange darauf gespart haben. So kommt es, dass viele Menschen noch alte Kameras besitzen, die sie nicht mehr benutzen.

Die mechanische Kamera meines Grossvaters hat die letzten 65 Jahre funktioniert und wird - wenn kein Unfall passiert - nochmals so lange funktionieren.

Mechanische Kameras zwingen den Fotografen zu einer Reihe von Entscheidungen, bevor er ein Foto belichtet. Diese Kameras haben damit einen grossen Vorteil: sie bieten eine

komplette Kontrolle über sämtliche Eigenschaften des Fotos. Das ermöglicht dem Fotografen, Bilder nach eigener Vorstellung zu gestalten. Dann ist Fotografieren eine handwerklich und grafisch anspruchsvolle Aufgabe. Eine vergleichbare Kontrolle bekommt man heute nur noch in teuren High-End-Kameras.

Vollautomatische Kameras, wie zum Beispiel im Smartphone, bieten dem Benutzer 'point and shoot'. Andreas Feininger schreibt dazu: 'Der Fotograf kann schon zufrieden sein, wenn er seine Opfer auf das Bild bringt, ohne ihnen die Köpfe abzuschneiden.' [1] Dafür steht das digitale Bild sofort zur weiteren Verarbeitung zur Verfügung. Es geht nicht um das Können des Anwenders, sondern um den sozialen Nutzen des Bildes.

Da ich die alte Kamera mit ihren komplexen Abläufen gerne weiter benutzen will, suchte ich einen Weg um die analogen Filme zu umgehen. Ich entschied mich dafür, einen digitalen Bildsensor zu verwenden. Die einfachste Lösung habe ich im Internet gefunden: Rückwände für analoge Kameras mit integrierten Bildsensoren. Diese kosten ca. 10'000 Fr. [2] und kommen damit für mich nicht in Frage. Ich finde den Preis auch nicht angemessen. Hätte ich dieses Geld, würde ich es in eine moderne High-End-Kamera investieren, weil dann alle Komponenten aufeinander abgestimmt wären.

Die Erweiterung der Kamera ist für mich ein Experiment an der Schnittstelle zwischen analoger Bildproduktion mit der mechanischen Edixa und digitaler Bildverarbeitung mit der automatischen PiCam.

In diesem Sinne erfüllt meine erweiterte Kamera die

Definition eines Hybrids nach Wikipedia: 'Allgemein versteht man in der Technik unter Hybrid ein System, bei welchem zwei Technologien miteinander kombiniert werden. Die vorangestellte Bezeichnung Hybrid- betont ein aus unterschiedlichen Arten oder Prozessen zusammengesetztes Ganzes. Die Besonderheit liegt darin, dass die zusammengebrachten Elemente für sich schon Lösungen darstellen, durch das Zusammenbringen aber neue erwünschte Eigenschaften entstehen können.' [3]

1.2 Motivation

Mich fasziniert visuelle Gestaltung. Visuelle Gestaltung ist für mich in drei Schritte auf zu teilen. Das bewusste Sehen ist der erste Schritt und die Voraussetzung für die beiden nächsten: Im zweiten Schritt muss ich meine eigene Wahrnehmung analysieren und dann gezielt einzelne Komponenten beeinflussen. Im letzten Schritt kann ich meine eigene Wahrnehmung präzise in einem grafisch befriedigenden Produkt umsetzen.

Die Wahrnehmungsveränderung des Sehens ist besonders offensichtlich bei der Fotografie. Da kann und muss ich mit verschiedenen Linsen und Blenden den Bildausschnitt und die Tiefenschärfe gezielt wählen. Das heisst nicht einfach auf den Auslöser zu drücken, und aus 100 Fotos eines auszuwählen, sondern hundertmal durch den Sucher zu schauen und sämtliche Eigenschaften des Fotos zu kontrollieren und dann dieses Foto zu generieren.

Ich tüftle gerne an mechanischen und elektronischen Sachen, besonders, wenn ich damit die Möglichkeit habe,

etwas wieder zu verwenden, was ansonsten weggeworfen werden würde. Ich freue mich, wenn diese Arbeit eine Motivation für Leute mit ähnlichen Ideen wird. Ob dieser Prozess Up-, Down- oder Recyclen ist, muss jeder selbst entscheiden.

1.3 Zu erwartende Probleme

In der Anfangsphase der Arbeit habe ich Bekannte, die in Technik und Informatik versiert sind, angefragt, ob sie Ideen und Erfahrungen mit Bildsensoren haben. Anhand der Rückmeldungen wurden zwei Probleme sichtbar.

1. Die Sensoren werden sehr viel Daten liefern, die sich schwer auslesen und speichern lassen: 'Es scheint aber nicht gerade ein trivialer Task zu sein, da moderne Sensoren eine riesige Menge von Daten erzeugen, die schnell weggeschafft werden müssen. Ich vermute, dass die Protokolle, die sonst so im Hobby Bereich verwendet werden (SPI,I2C) um mehrere Grössenordnungen zu langsam sind.' [4]
2. Das Projekt gehört in den Fachbereich Hardwareinformatik. Niemand kannte jemanden, der konkret dort arbeitet: 'ich habe herumgefragt, aber niemand scheint sich damit gut vertraut zu sein.' [5]

1.4 Aufbau der Arbeit

Die Themenwahl bringt es mit sich, dass ich mich zuerst mit der theoretischen Grundlage auseinandersetzen muss, und danach dieses Wissen praktisch auszuprobieren habe. Mein primäres Ziel ist eine Methode zu finden, mit der analogen Kameras erweitert werden könnten. Ich habe viele Ideen in diesem Prozess entwickelt, ausprobiert und verwerfen müssen. Die Irrwege beschreibe ich, weil sie lehrreich sind. Am Schluss entstand der Prototyp eines Produktes.

In den letzten Jahren hat sich die Mobil-Computing-World so weit entwickelt, dass es nun möglich ist für wenig Geld viel Rechenleistung und Sensorik zu bekommen. Jetzt ist eine günstige Zeit, sich der analogen Kameras an zu nehmen und diese zu digitalisieren. [6] Da diese Arbeit eine der ersten ist, die sich umfassenden dem Thema annimmt, gibt es noch keine fertigen Lösungen, welche schnell gelesen und nachgemacht werden könnten. Ich musste viele verschiedene Veröffentlichungen und Internetdokumentationen durchforsten, bis ich erneut einen brauchbaren Puzzlestein gefunden hatte.

Zur Arbeit gehören Elektronik, Mikroprozessoren, Bildsensoren, Python (Programmiersprache) und Design. Praktisch musste ich einen Prototyp bauen, Teile zuschneiden, löten, 3D-designen und 3D-drucken.

1.5 Zeitplan

Als ich im Januar 2016 mit meiner Maturitätsarbeit anfang, habe ich einen Plan erstellt, in welchen Monaten ich welche Phasen der Arbeit abgeschlossen haben muss.

- Der Sensor sollte bis Ende Mai funktionieren
- Das Design und die Ausführung sollten bis Ende Oktober fertig sein
- Die schriftliche Arbeit sollte bis Ende November fertig sein

1.6 Ähnliche Produkte

Ich habe meine Arbeit damit begonnen, dass ich im Internet nach ähnlichen Vorhaben gesucht habe. Ich bin auf einige Projekte gestossen, die mit Hilfe eines kleinen Computers und einer digitalen Kamera den Anschein erwecken, es handle sich um eine analoge Kamera, die digitale Fotos macht.

Keines der Projekte benutzte die Optik und Mechanik der analogen Kamera. Stattdessen wurde das Gehäuse der alten Kamera ausgebeint und eine neue Kamera eingesetzt. Mein Ziel war es stattdessen, die Praxis des Fotografierens mit der digital erweiterten Kamera möglichst gleich zu lassen wie mit einer analogen.

Im Sommer 2016 habe ich interessanterweise ein Crowd Funding Projekt gefunden, das ähnliche Ideen verfolgt wie ich [6].

2 Praktischer Teil

In diesem Teil beschreibe ich zuerst jedes Einzelteil, das in meiner Kamera verwendet wird.

2.1 Edixa

Die Edixa Mat Reflex Mod. D-L ist eine mechanische Kamera, produziert in Deutschland um 1960. Mein Grossvater liess sie sich von einem Schulfreund kaufen, der damals bei AGFA arbeitete und sich technisch sehr gut auskannte.

Die Kamera hat ein Wechselobjektiv mit einem Schraubverschluss.

Es ist eine Spiegelreflexkamera, das heisst ein Spiegel und verschiedene Prismen erzeugen ein Bild. Dieses Bild ist direkt für den Fotografen im Sucher sichtbar. Wenn der Auslöser gedrückt wird, wird der Spiegel hoch geklappt und das Licht kann ungehindert auf den Film fallen. Diese Technik ist heute noch in DSLR (Digital Single-Lens Reflex) verbreitet. Ihr Vorteil ist, dass der Fotograf eine perfekte Vorschau auf das Foto hat.



Abbildung 1: Die Edixa MAT Reflex Mod. D-L

Die Edixa hat keine integrierte Elektronik und braucht deshalb keine Batterie. Um den Film zu belichten muss zuerst die Belichtung gemessen werden und zwar mit einem externen Belichtungsmesser. Danach können die ermittelten Werte an der Kamera eingestellt werden. Die Belichtung kann von einer 1000stel Sekunde bis zu einer achte Sekunde lang sein. Zusätzlich kann man extrem lange Belichtungen benutzen, indem man den Auslöser gedrückt hält. Diese einfache Methode gibt es bei digitalen Kameras nicht mehr, da die Eigenwärme der Sensoren auf den Bildsensoren falsche Information erzeugt, es entstünde ein starkes Bildrauschen. Das Bildrauschen ist proportional zu der Belichtungszeit.

Die Blende des Standard Objektivs reicht von 1,9 bis 22, die Brennweite ist fix 50 mm.

In der in Edixa können die Standard 135er Filme eingelegt werden.

Die Edixa ist 1050 g schwer. Durch dieses hohe Eigengewicht fällt das zusätzliche Gewicht der Erweiterung kaum auf. Die Edixa ist original durch eine Lederhülle geschützt. (siehe Abbildung 2.9.2)

2.2 Warum Raspberry Pi

Bis im Juni war in meinem Zeitplan vorgesehen, dass ich einen funktionsfähigen Bildsensor habe.

Die naheliegendste Lösung war, einen Bildsensor in der Grösse eines analogen Filmes (3,5 cm auf 2 cm) zu nehmen und am Ort des früheren Filmes zu fixieren.

Ich habe 5 Monate lang intensiv im Internet nach Bildsensoren gesucht. Diese sind sehr teuer. Einzelne Bildsensoren mit zugehöriger Steuertechnik in Full-Frame Format sind etliche 100 Fr. wert, der am besten geeignete hätte 3000 CHF gekostet. Die einzigen Bildsensoren zu günstigeren Preisen sind Sensoren von Systemkameras. Das Problem ist dann, dass die gesamte Kamera die Steuereinheit ist und die Sensoren einzeln nicht nutzbar sind. Das sind geschlossene Systeme, und es gibt keine Möglichkeit, sie zu verstehen oder gar selber zu programmieren. Ich denke, dass die Kamerahersteller sich so einen Marktvorteil mit ihren Produkten sichern möchten.

Ich wollte aber keine teure Blackbox verwenden, sondern eine Methode suchen, die für jeden zugänglich und

verständlich ist.

Nach 5 Monaten beendete ich die Suche nach einem Full-Frame Sensor. Mein neuer Lösungsansatz war eine PiCam Kamera mit dem dazugehörigen Raspberry Pi.

Da der Sensor der PiCam Kamera 100 mal kleiner ist als die Fläche eines analogen Filmes, kann ich damit keine vergleichbar gute Bildauflösung erreichen. Diese neue Variante braucht mehr Licht, bzw. ist weniger lichtempfindlich als ein analoger Film, weil ich einen Schirm (siehe 2.9.3) benutzen muss und zudem die sehr kleine Linse der PiCam (siehe Abbildung 13) weniger Licht hereinlässt.

2.3 Raspberry Pi

Der Rasperry Pi ist ein kompletter Computer auf einer einzigen Platine in der Grösse einer Checkkarte. Es läuft für gewöhnlich Rasperian als Betriebssystem (siehe 2.11.1). Der Raspberry Pi ist für Schulen entwickelt worden. Er ist der meist verbreitete Single-Board-Computer der Welt mit 10 Millionen verkauften Exemplaren. Somit gibt es endlos viele Einsteigertutorials, aber auch viele für Fortgeschritte sowie Dokumentationen zahlreicher Projekte.

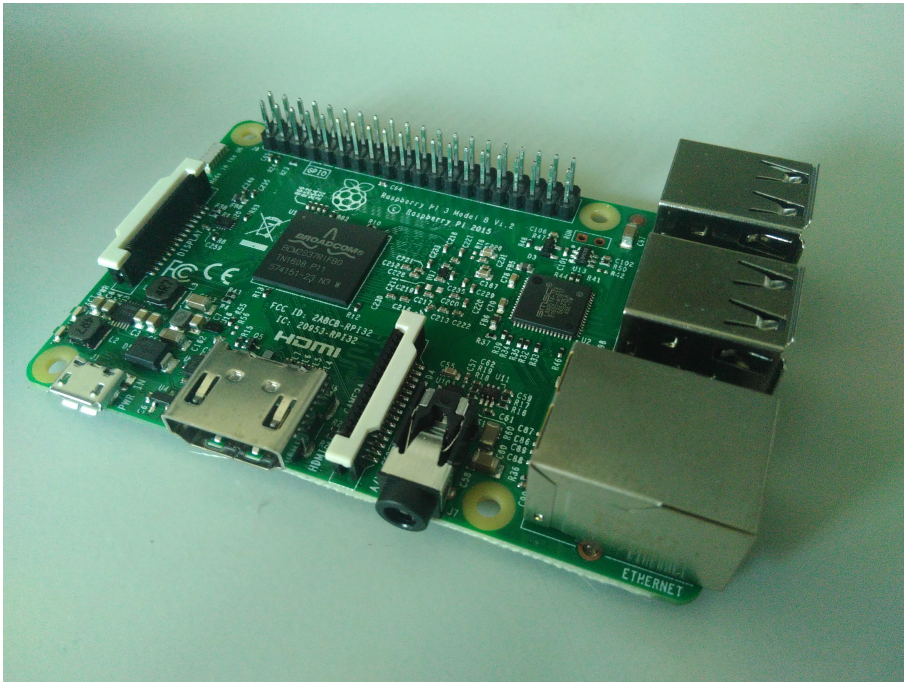


Abbildung 2: Raspberry Pi 3

Der Raspberry Pi hat einen Prozessor, 4 USB Ports, Ethernet, HDMI, 3.5mm Audio Jack, zwei 15 Pin Connectors, 40 GPIO (General Purpose Input Output). Diese GPIO werden von den meisten Bastlern verwendet, da die GPIO alle möglichen Funktionen übernehmen können. Ich verwende sie zum Beispiel als Steuerung des Displays und als Schalter. Damit eignet sich der Raspberry Pi für alle Anwendungen, in denen etwas Kompliziertes gerechnet werden muss, aber nur wenig Platz oder Energie zur Verfügung steht.

2.4 PiCam

PiCam ist eine Kamera, die mit einer Linse und einem Bildsensor Fotos macht. Die PiCam ist eine Kamera für den Raspberry Pi optimiert und integriert.

Die Brennweite und der Focus der Picam sind standardmässig fixiert. Die Kamera hat einen Fokus von 50 cm bis unendlich. Für meine Anwendung muss der Focus bei 1.4 cm liegen. Mit einem Abstand zwischen Kamera und Schirm von 1.4 cm wird genau die Fläche des analogen Filmes (3.5 cm auf 2 cm) abgebildet. Ich habe den Wert mit Trigonometrie berechnet. Daher habe ich die verklebte Linse heraus geschraubt und mit einer Halterung auf den richtigen Abstand fixiert.

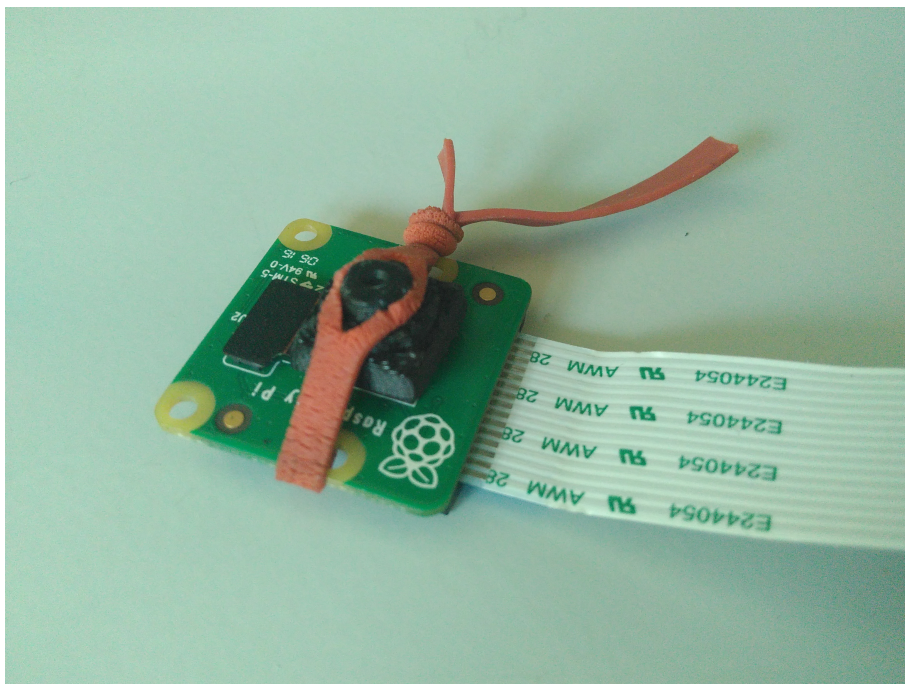


Abbildung 3: Raspberry Pi Camera V2, mit Kabel und Linse

Der Bildsensor in der PiCam ist der IMX219PQ von Sony. Dieser hat eine Diagonale von 4.6 mm. Damit ist es ein sehr kleiner Bildsensor für hochqualitative Kameras. Trotz der geringen Grösse hat der Sensor 8.08 Mega-Pixel. Der Sensor ist ein back-illuminated CMOS. Das heisst, zur verbesserten Sensibilität wird der lichtempfindliche Siliziumkristall (siehe 3.2) nicht nur von direkt einfallendem Licht von vorne, sondern auch von der Spiegelung des Lichtes von hinten beleuchtet. Diese Technik war bis vor einigen Jahren Spezialanwendungen vorbehalten. Aber Sony hat begonnen auch Handycameras mit dieser Technik auszurüsten. Der IMX219PQ ist für den wachsenden High-Quality Smartphone Markt und ähnliche Anwendungen konzipiert. [7] [8]

2.4.1 Übertragungsprotokoll der PiCam

Die Information wird durch ein 15 Pin Kabel nach dem Mobile Industry Processor Interface (MIPI) Camera Serial Interface Type 2 (CSI-2) Protokoll übertragen. Die meisten der Pins werden für Stromversorgung und andere grundlegende Funktionen wie die Zeittaktung verwendet. Es gibt nur zwei Linien für Informationen. Jede der Linien besteht aus zwei Kabeln, das heisst, wenn das Signal 1 übertragen wird, wird ein Pin eine 1 haben und die Doppelführung 0 haben. Die Daten werden direkt in den Prozessor des Raspberry Pis weitergeleitet. [9]

2.5 Funktionsweise

Das Objektiv der Edixa projiziert ein Bild auf den Ort, wo früher der Film war. Der Film ist durch eine halbtransparente Plastikfolie ersetzt. Das durchscheinende Lichtbild wird von der PiCam aufgenommen.

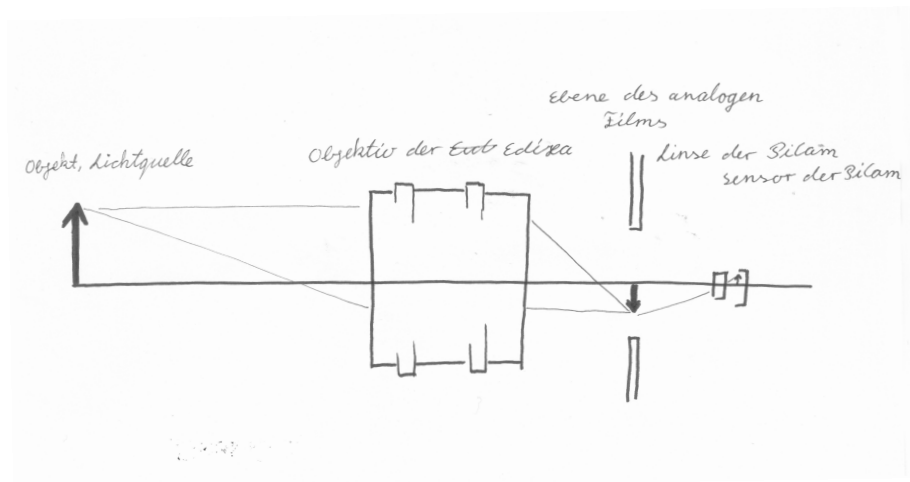


Abbildung 4: Darstellung der Funktionsweise

2.6 Materialien

Für grosse, wenig beanspruchte Flächen verwende ich bevorzugt braunen Wellkarton. Er hat eine gute Stabilität, ist einfach zu verarbeiten und hat eine sehr schöne Haptik. Er ist sehr leicht, kostengünstig und verfügbar. (siehe Abbildung 2.9.2)

Kleine, komplizierte, kompakte Teile habe ich mit einem 3D-Drucker aus PLA oder ABS gedruckt.

2.7 3D-Druck

Das grundlegende Prinzip eines 3D-Druckers besteht darin, ein Objekt aus Schichten aufzubauen.

Es gibt viele Materialien, die sich für unterschiedliche Einsatzgebiete eignen. Der gewöhnliche 3D-Drucker druckt mit thermoplastischen Kunststoffen, meistens PLA (Poly Lactat Amid), ABS (Acrylnitril Butadien Styrol) oder PET (Poly Ethylen Terephthalat).

Ein 2.85 mm dicker Plastikstrang wird durch eine heisse, bewegliche Düse gepresst, dabei aufgeschmolzen und kühlt am berechneten Ort wieder ab. Die Düse bewegt sich weiter und trägt das Material am nächsten Ort auf. Das ist die einfachste Methode und völlig ausreichend für mein Produkt.

2.8 Design

Ich habe mich auf Funktionalität konzentriert. Mein Hintergedanke ist 'form follows function'. Ich habe mich bei der Erweiterung nicht vorrangig mit einem ansprechenden Erscheinungsbild abgegeben. Ich habe auf kleine Verzierereien verzichtet, weil sie nur ablenken.

2.8.1 Von Teilen vorgegeben

Das Aussehen der Kamera soll, soweit möglich, durch die ursprüngliche Edixa bestimmt sein. Deshalb habe ich versucht für die Erweiterungen, also Batterie, das Display und Raspberry Pi, jeweils möglichst kleine Varianten zu benutzen, zum Beispiel ein Display mit nur 2,8 Inch Durchmesser oder eine Batterie mit nur 2200 Milliampere (siehe Abbildung ??).

Zu Beginn des Designprozesses habe ich eine Skizze angefertigt, in welcher der verfügbare Raum zwischen der Kamera und meinem Gesicht eingezeichnet wird, wenn ich durch den Sucher der Kamera schaue und das Objektiv bediene. Im dann definierten Freiraum können die Teile an der Kamera befestigt werden.

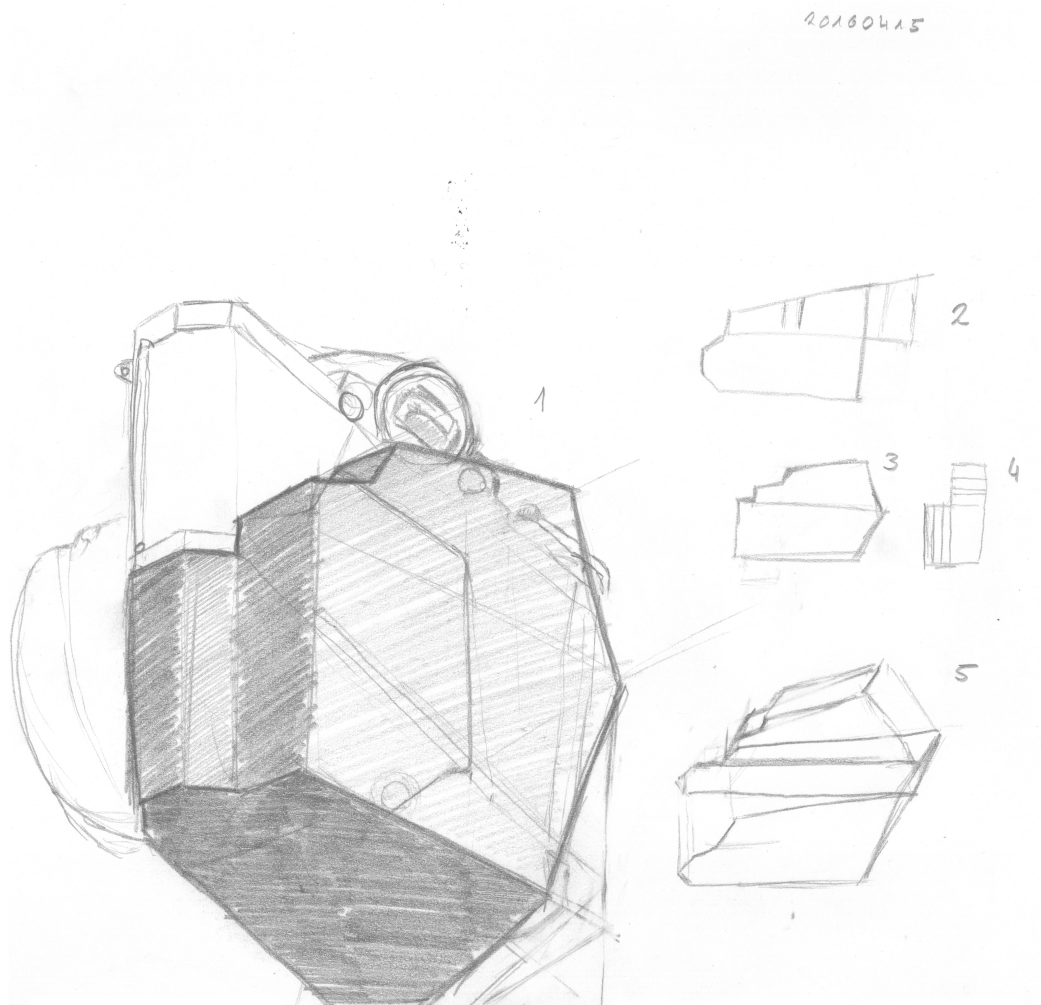


Abbildung 5: Skizze des verfügbaren Raumes: 1 Schrägbild, 2 Aufsicht, 3 Seitenansicht vorne, 4 Seitenansicht seite, 5 Schrägbild

Mir ist aufgefallen, dass sich viele Designer mit eleganten Erweiterungen für Kameras beschäftigen. Ein Beispiel ist der externe Batterie Grip. Meine Erweiterung befindet sich an dem gleichen Ort wie externe Batterie Grips: Unter der Kamera, nach links und vorne verschoben.



Abbildung 6: Kamera mit External Battery Grip Sony A 99 [10]

2.8.2 Von Funktion vorgegeben

Nachdem der Raum vorgegeben ist, müssen die Teile aufeinander abgestimmt werden. Es reicht nicht, dass jedes Teil für sich funktioniert, es muss mit den anderen Teilen zusammenspielen. Diese räumlichen Beziehungen sind mechanischen bedingt, wie zum Beispiel bei der PiCam durch das begrenzt lange FlexKabel.

2.8.3 Formensprache

Ich wollte die Formensprache in der Erweiterung, wenn möglich aus der Edixa übernehmen.

Die Edixa strahlt noch heute eine gewisse Eleganz aus.

Die Edixa (siehe Abbildung 1) betont ihre Cutting-Edge-Technologie. Leder und Stahl sind ihre Materialien, Schwarz und Silber die Farben. Der Stahl ist grösstenteils matt, einzelne Ringe sind glänzend poliert, andere schwarzlackiert oder emailliert. Die Rädchen und Einstellknöpfe sind mit präzisen, praktischen Rillen versehen. Das reibungslose Zusammenspiel aller Teilchen erinnert mich an den Film der 'Lauf der Dinge' von Fischli Weiss. Die Knöpfe machen angenehme, mechanische und interessante Geräusche, es klickt, rastet ein und schnurrt. Die Kamera gibt viel auditives Feedback. Es ist eine Freude die Mechanik zu spüren, eine Kaskade von elektronikfreien Aktionen auszulösen und dabei zu wissen, dass diese High-End-Mechanik zu einem Ziel führt.

Ich erkenne in der Edixa auch den Hintergedanken, die Produktion der Kamera einfach zu halten. Es sind sehr

feingearbeitete Rillen mit kaum bearbeiteten Flächen kombiniert. Schrauben sind sichtbar und leicht zu erreichen.

Es ist anstrengend, die über ein Kilogramm schwere Kamera zu halten, da nimmt das Design für mich überraschend wenig Rücksicht auf den Benutzer.

Zum Vergleich beschreibe ich eine moderne digitale Kamera: Das Gehäuse der Kamera (siehe Abbildung 6) ist ganz aus Plastik. Die Oberfläche ist glatt, am Griff antirutschend beschichtet. Die Farbe ist fettglänzend Schwarz. Die zahlreichen Bedienungsknöpfe sind schwarz, glatt, flach, sehen alle ähnlich aus. Die Produktionstechnik hat sich dahingehend entwickelt, dass die Kamera eine Einheit bildet, alle Ecken, Kanten und Flächen sind weich, sie legen sich fließend über die Bestandteile der Kamera. Die Ergonomie des Benutzers steht neu im Fokus, die Kamera schmiegt sich in die Hand.

Die visuelle Formensprache der alten Kameras ist abgelöst worden durch ganz neue Formen. Im auditiven Bereich werden die Geräusche der analogen Kamera mit viel technischem Aufwand imitiert. Meine hybrid Kamera wird das nicht nötig haben, sie macht noch die vielen Geräusche.

Um eine Gemeinsamkeit zwischen den Plastikteilen der Erweiterung und der Edixa (Leder, Stahl) zu schaffen, habe ich die Teile in der gleichen Farbe (Schwarz) wie das Leder der Edixa gedruckt. Ich habe versucht die Formensprache weiterzuführen, auch wenn mein Material völlig anders ist: Nur einfache Kuben, möglichst 90° oder 45° Winkel, möglichst einfache Flächen.

2.8.4 Ergonomie

Heutige vergleichbare Kameras wiegen nur noch halb soviel wie die Edixa. Sie sind zudem ergonomischer gestaltet. Die elektronischen Signale lassen sich durch einen leichten Fingerdruck erzeugen. Es muss keine Kraft mehr aufgewandt werden, um eine Mechanik in Gang zu setzen. Bei der erweiterten Kamera muss man, wie bei der alten Kamera, Kraft und Geschick benutzen. Um die Haltung für die rechte Hand zu verbessern, habe ich einen Griff hinzugefügt.

Die Edixa wurde prinzipiell mit beiden Händen oder einem Stativ gehalten, weil es keinen Autofokus gab und die linke Hand immer am Objektiv war, um den Fokus einzustellen. Ein weiterer Grund sie mit beiden Händen zu halten, war, dass jedes Foto möglichst perfekt, das heisst verwacklungsfrei sein sollte.

2.9 Arbeitsschritte

2.9.1 Ursprung

Meine Maturitätsarbeit hat damit angefangen, dass ich in einer Schublade meines Grossvaters die Edixa gefunden habe.

2.9.2 Gehäuse



Abbildung 7: Edixa im unterem Teil der Lederhülle

Die erste Überlegung zur Digitalisierung war, einfach ein Loch in die Rückwand der Kamera zu schneiden. Durch dieses Loch wollte ich dann die Kabel für den Bildsensor führen. Das wäre ein klares Downcycling gewesen. Ich war aber sehr beeindruckt, dass die Kamera noch nach 60 Jahren einwandfrei funktioniert. Deshalb überlegte ich mir eine reversible Methode, die nur Veränderungen vornimmt, die

später wieder zurückgebaut werden können. Ich kann annehmen, dass meine Elektronik nicht 60 Jahre funktionieren wird. Der Umbau zum Hybrid sollte nicht in die alte Kamera eingreifen.

So war mein erster Arbeitsschritt, das Scharnier der Rückwand vorsichtig zu öffnen und die Rückwand abzunehmen. Die sichere Lagerung der Kamera ist damit viel anspruchsvoller geworden, weil die Mechanik ungeschützt ist.



Abbildung 8: Abgenommene Rückwand, das Scharnier ist rechts zu erkennen

Als Schutz habe ich ein Stück Karton in der Form der Rückwand zu geschnitten. Da ich kein Scharnier zur Befestigung mehr habe, habe ich ein grosses Gummi genommen und die Kartonrückwand damit fixiert. Das sieht recht provisorisch aus, funktioniert aber.



Abbildung 9: Kartonrückwand mit Gummi provisorisch befestigt

2.9.3 Bildsensor

Ich habe etliche Stunden im Internet nach Full-Frame Bildsensoren gesucht. Aber entweder sind die Sensoren sehr teuer oder sie kommen ohne Anleitung. Ohne Anleitung sind die Sensoren fast unbrauchbar, weil ich die Sensoren nicht bedienen kann. Zudem kann ich sie nicht erklären, das Erklären sollte aber ein Teil meiner Arbeit sein.

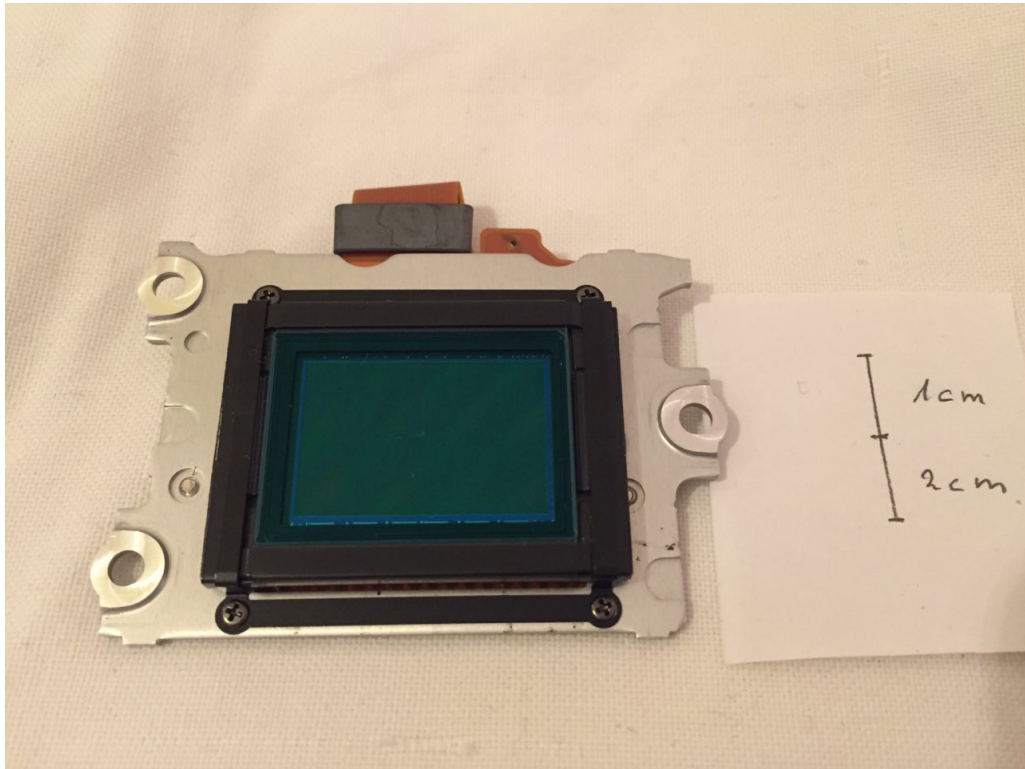


Abbildung 10: Bildsensor der Nikon D-50, 6.24 MP

Um Zugang zum Innenleben der Kamera zu haben, habe ich ein Loch mit der Grösse des Filmes ($3.5\text{cm} \cdot 2\text{cm}$) in den Karton geschnitten, an der Stelle, an der der Film belichtet werden sollte. Mit dieser Konstruktion habe ich die ersten Bilder aufgenommen. Dann habe ich die PiCam von Hand vor die Öffnung gehalten. Um den richtigen Ausschnitt und Fokus zu bekommen habe ich die live Videofunktion der PiCam aktiviert und die PiCam mit Hilfe des Bildschirmbildes ausgerichtet. Das ganze Prozedere musste in einem dunklen Raum stattfinden, um kein Streulicht auf der PiCam zu haben.



Abbildung 11: Kartonrückwand mit Zugang nach Innen, und davor geklebte Halterung (siehe Abbildung 2.9.4)

Zu diesem Zeitpunkt schwebt mir noch die Idee des Full-Frame Sensors vor. Daher habe ich die Linse der PiCam abgeschraubt, um das Bild direkt auf den Sensor zu bekommen. Die Erweiterung hat so nur einen sehr kleinen Bildausschnitt, weil der Sensor nur sehr klein ist. Aber es funktioniert.



Abbildung 12: Erstes funktionierendes Foto: Es sind die Löcher meines Regalsträgers zu erkennen 20160617

Würde man den Sensor der PiCam über die Fläche des ganzen ursprünglichen Filmes bewegen, könnte man das grosse Bild aus vielen kleinen Bildern zusammensetzen. Die Bildqualität wäre sehr gut, aber es könnten nur Standfotos aufgenommen werden. Die mechanische Bewegung der PiCam müsste sehr genau ausgeführt werden. Das würde zu einer sehr grossen Kameraerweiterung führen.

Die Zeit, die ich mir gegeben habe, um einen funktionierenden Bildsensor zu haben, ist im Juni abgelaufen. Daher habe ich die Suche aufgegeben und nach Lösungen mit der bereits funktionierenden PiCam gesucht.

Als nächstes habe ich nach Linsen gesucht, um das Bild des Edixa Objektivs auf die Grösse des Picam Sensors zu verkleinern. Ich bin erneut nicht fündig geworden. Die meisten Linsen sind entweder mit der richtigen Brennweite aber zu klein, oder gross genug - aber mit einer falschen Brennweite. Daher habe ich über zusammengesetzte Linsen nachgedacht, um mit den grossen Linsen die richtige Brennweite zu erzielen. Das hätte aber zu weiteren starken Farbstörungen geführt, weil nicht jede Lichtwellenlänge gleich stark gebrochen wird. [11]

Dann ist mir eingefallen, dass die Linse der PiCam ja bereits die gewünschte Brennweite aufweist, und ich eigentlich nur den Fokus anpassen muss. Das geht ganz einfach, indem man den Abstand zwischen PiCam Sensor und Linse verlängert. Zuerst habe ich den Abstand mit einem kleinen Stück Graukarton getestet und schlussendlich mit einem genau dafür 3-D gedruckten Halter fixiert.

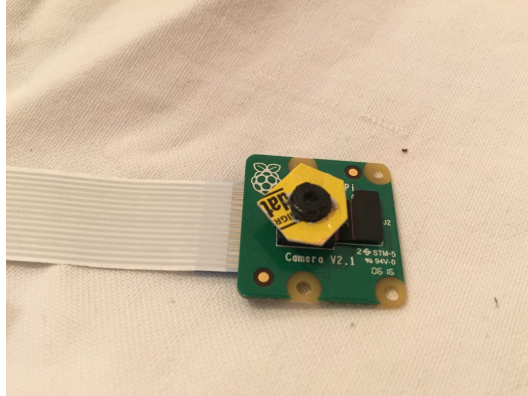


Abbildung 13: Graukarton als Halter für die Linse der PiCam

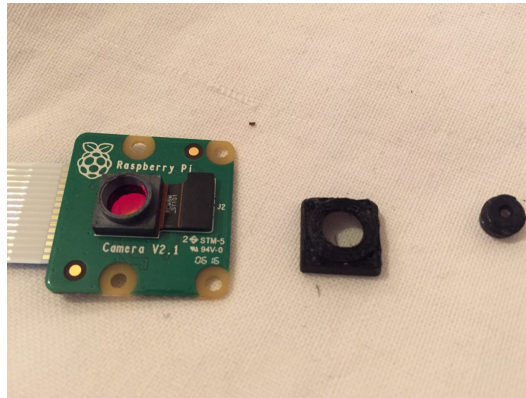


Abbildung 14: von links nach rechts: FlexKabel in PiCam, PiCam, 3-D gedruckter Linsenhalter, Linse der PiCam

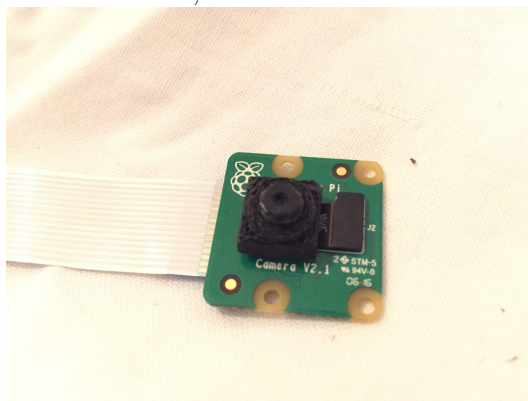


Abbildung 15: alle Teile zusammengesetzt

Die Bilder, die ich so produziert habe, sind rund, weil die äusseren Teile des Bildes vom Objektiv nur in einer Richtung dargestellt werden. Daher habe ich ein rechteckiges Transparentpapier an die Stelle des Filmes gehalten. Jetzt bildet man das volle Bild ab.



Abbildung 16: Rundes Bild, kein Schirm

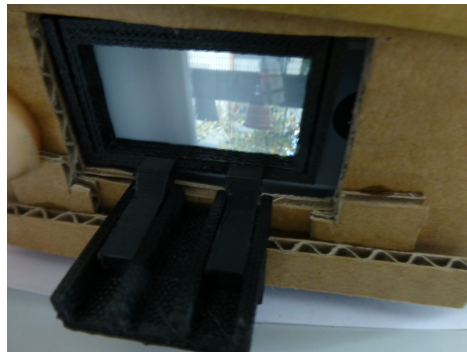


Abbildung 17: Schirm, Schiene, Halter des Schirms in Schiene

Ein Problem war, dass man die Struktur des Papiers sehr deutlich sah. Ich habe später in einem Musterfächer für Scheinwerfer einen transparenten Filter gefunden, der noch bessere Eigenschaften aufweist als das Papier, und homogener ist. Der Filter absorbiert laut Hersteller 25 Prozent des Lichtes.

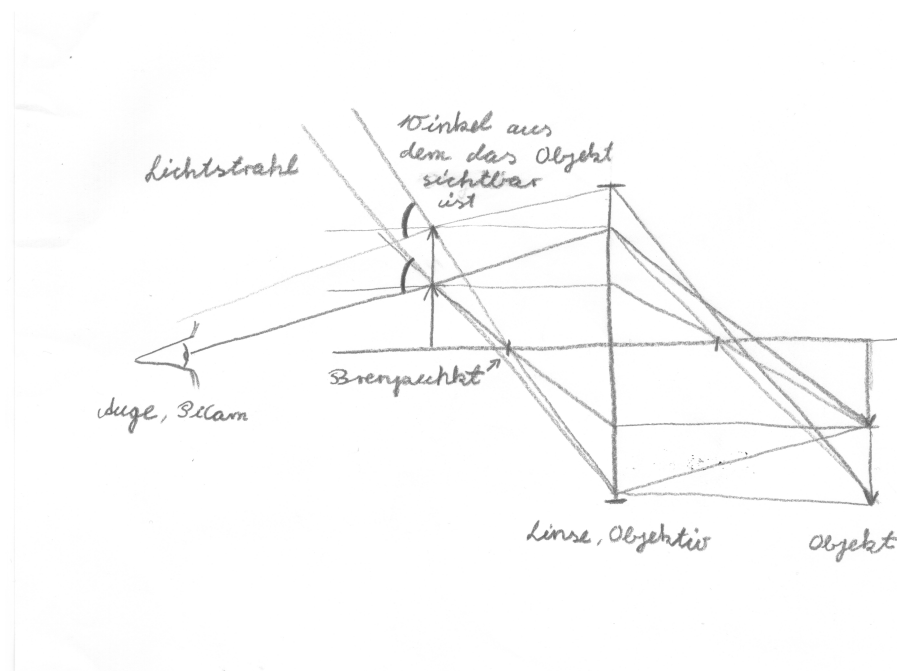


Abbildung 18: Rundes Bild, nur Objekte nahe der optischen Achse werden direkt in die PiCam projiziert. Mit dem Schirm wird das Licht zerstreut und kommt so in die PiCam. Der abgebildete Bereich ist noch immer rund, jetzt aber viel grösser, sodass ein eckiger Teil herausgeschnitten werden kann

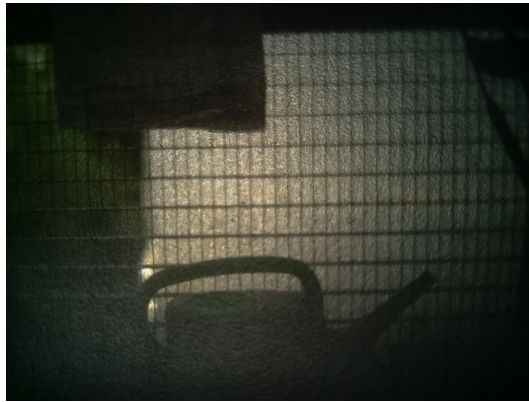


Abbildung 19: Erstes erkennbares Foto: 'Die Giesskanne' 20160614

Die Position der PiCam kann nicht wie die anderen Teile (siehe 2.8.1) frei verschoben werden, weil sie für ihre Aufgabe eine fest vorgegebene Position hat. Ich kann nur das Erscheinungsbild der Halterung gestalten.

Die Verwendung der Kamera ist noch sehr umständlich, weil man von Hand die PiCam hinter die Kamera halten muss, der normale Computerbildschirm mit einem schweren Adapter verbunden ist, der Bildschirm eine externe Stromversorgung braucht, das Bild mit der Tastatur ausgelöst werden muss, der Auslöser der Edixa mit einem Fernauslöser konstant gedrückt werden muss und die Batterie und der Raspberry Pi nur schlecht an der Kamera mit etlichen Gummies halten. Aber es funktioniert.



Abbildung 20: Erstes Foto um des Fotos Willen, der Mammutbaum in der Abendsonne vor dem Gemeindezentrum Riesbach 20160614

Um die Kamera leichter zu machen, habe ich ein kleineres Display und kleinere Batterien gekauft.

Ich habe einen Halter für den Schirm und die PiCam aus Dämmmaterial und Holzstäben gebaut. Dieses Modell hat bestätigt, dass ich sowohl den Schirm als auch die PiCam mit einem einzigen Teil fixieren kann.



Abbildung 21: Batterie, Raspberry Pi, Display

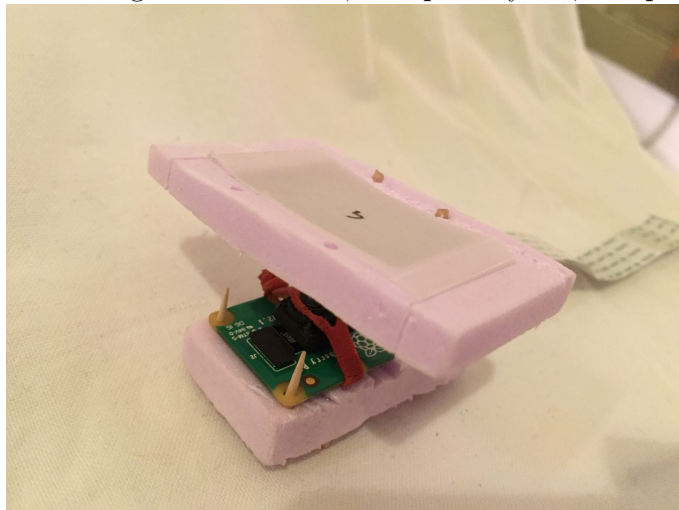


Abbildung 22: Halterung aus Schaumstoff und Zahnstochern

2.9.4 3-D Druck

Wenn ich etwas 3-D gedruckt habe, habe ich immer zuerst ein kleines Teilstück gedruckt, daran dann alle Planungsfehler korrigiert und erst dann ein zusammenhängendes Stück gedruckt. Ich habe anfangs nicht die in 2.8.2 angesprochene Funktion berücksichtigt, sondern jedes Teil hat eine Aufgabe auf die effizienteste Weise gelöst. Das hat dazu geführt, dass in einer Version die Führung des FlexKabel nicht möglich war. In dieser Version haben die Teile keine Einheit gebildet, sondern befanden sich noch zufälligerweise an der gleichen Kamera, ohne Bezug aufeinander zu nehmen. (siehe Abbildung 25)

Die Version mit der Schiene hat nicht funktioniert, weil das FlexKabel keinen Platz hat. Die Idee dieser Version war, dass ich damit die Möglichkeiten mit weiteren Linsen austesten kann, indem ich sowohl den Schirm als auch die PiCam stabil auf beliebige Abstände fixieren kann.

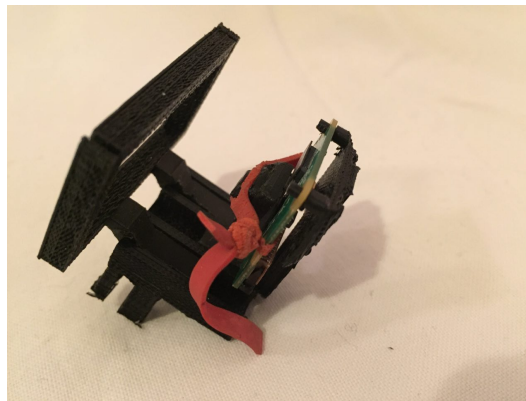


Abbildung 23: Schiene mit Halterung des Schirms und der PiCam, FlexKabel nicht berücksichtigt

Ich habe, wenn möglich, kleine Teile gedruckt, weil ich keinen 3-D Drucker zuhause habe und ich die Druckzeit kurz halten will. Ich bin zum Drucken entweder in das Fablab Zürich gegangen und habe dort eine Maschinenstunde mit 6 Fr. bezahlt, oder ich habe die Teile Marc Widmer - wie ich Schüler im MNG in der 4a - geschickt, damit er es auf seinem Drucker zuhause druckt.

Es ist schwierig, grössere Änderungen an PLA nachträglich durchzuführen. PLA wird schnell weich und verklebt den Bohrer. Die bessere Lösung ist das PLA aufzuschmelzen mit dem Multitool und dann das PLA Teil zurecht zu schneiden. Es ist ein overkill, aber funktioniert.

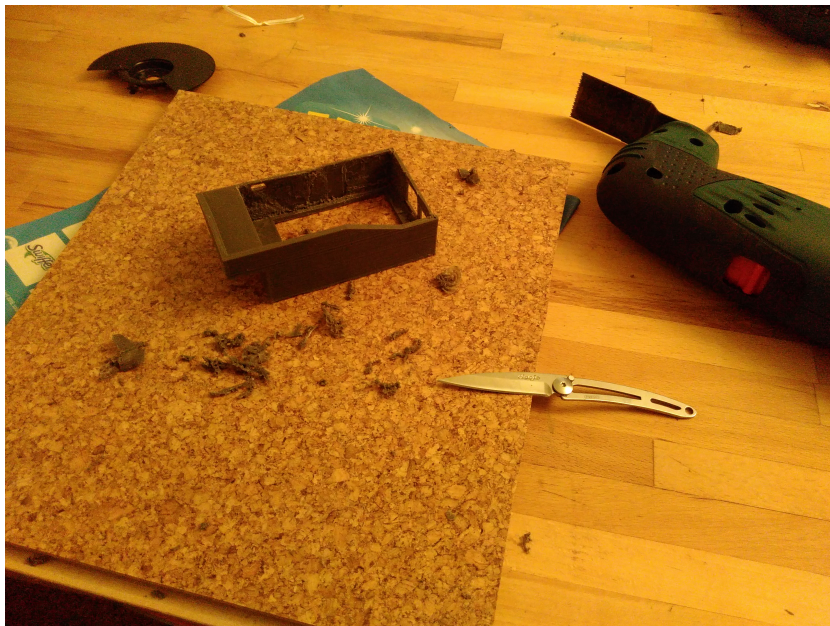


Abbildung 24: Mein Arbeitsplatz, Halterung RaspberryPi, Taschenmesser, Multitool

Der Mankati Drucker im Fablab arbeitet genauer und schneller als Marcs und ich habe die Teile sofort nach dem Druck zur Verfügung. Marc druckt zudem in der Farbe, die er gerade im Drucker hat. Im Fablab habe ich meistens mehr Auswahl. Für den Handhalter habe ich nur ein transparentes Schwarz bekommen. Es sieht nicht sehr schön aus. Ich möchte am Ende alles in der gleichen Farbe halten, wahrscheinlich wird es Schwarz in Anlehnung an das ursprüngliche Schwarz der Edixa.

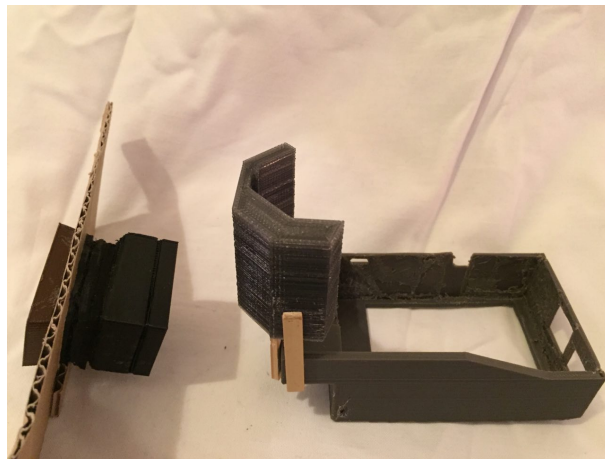


Abbildung 25: verschiedene Farben im Prototyp, von links nach rechts: Braun (Anfang HalterungPiCam), Schwarz, transparentes Schwarz, Grau

Ich habe den Druck der Einzelteile um 1 Prozent vergrößert, um Ungenauigkeiten und das Zusammenziehen nach dem Abkühlung des gedruckten Objekts auszugleichen. Die Hülle des Raspberry Pi ist aber noch immer zu eng geworden. Ich habe mit dem Multitool an einer Wand einen Millimeter wegggenommen. Vor allem durch Reibung ist das PLA weich geworden, so dass ich es mit einem Messer schneiden konnte. Die Halterung ist nicht sehr schön, aber sie

funktioniert. Ich habe jetzt für die folgenden Druckteile 3 Prozent Vergrößerung eingeplant.



Abbildung 26: Halterung RaspberryPi, ausgedünnte Seitenwände

Die bisher benutzten Teile sind Kuben, die ihre Funktion erfüllen, aber die Teile sehen nicht einheitlich aus. Der nächste Schritt wäre ein befriedigendes Design.

Die Kabelführung, die ich in den ersten Prototypen vollständig vernachlässigt habe, ist doch prominenter als erwartet, daher habe ich die Kabel, wo möglich, nach innen verlegt. Damit wird das Zusammenbauen aufwendiger, aber es wird weniger Fehler mit abgerissenen Kabeln geben. Wichtig ist mir dabei, dass die Verbindung von Raspberry Pi und Edixa reversibel ist.

2.9.5 Probleme des Displays

Der Raspberry Pi hat seine GPIO Stecker unten. Das Display hat als Input sämtliche GPIO. Das Display hat die gleiche Fläche wie der Raspberry Pi, die Anschlüsse für den USB sind damit aber zu hoch. Daher brauche ich eine Verlängerung der GPIO, die ich an das Display anlöten muss.

Da der Hauptvorteil des Raspberry PI seine GPIO sind, hat das Display unten erneut alle GPIO des Raspberry Pis. Ich habe einige Kabel an diese Weiterleitung gelötet. Ich wusste nicht, wie die Verbindung ist, parallel oder gespiegelt. Daher habe ich zwei Farben verwendet für die unterschiedlichen Seiten und es einfach ausprobiert. Ich habe mit etwas Duct-Tape einige Kontakte isoliert. Wenn es einen Kurzschluss gibt, startet der RaspberryPi neu. Ich habe auch alle GPIO Kontakte, die ich noch nicht brauche, einzeln abgeklebt.

Dieser Abschnitt wird verständlich wenn man den Raspberry und das Display vor sich hat.

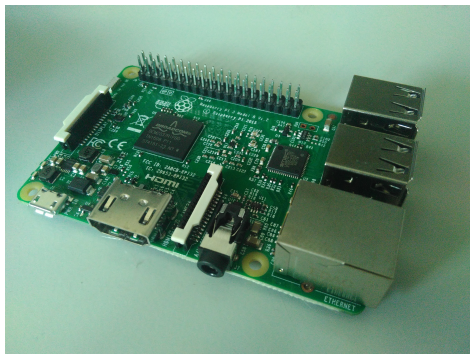


Abbildung 27: GPIO sind auf der Ebene des Prozessors

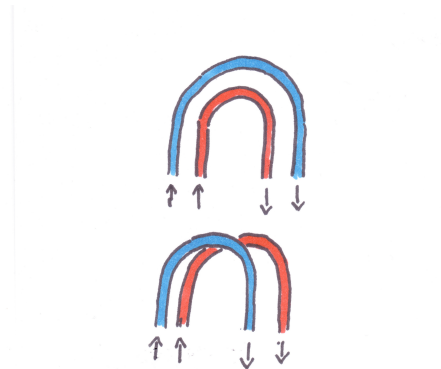


Abbildung 29: Die beiden Möglichkeiten der Weiterleitung



fig:gleichGross

Abbildung 28: Display gleiche Grösse wie Raspberry Pi

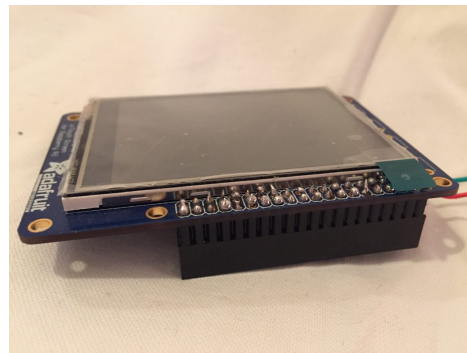


Abbildung 30: Verlängerung der GPIO für Display

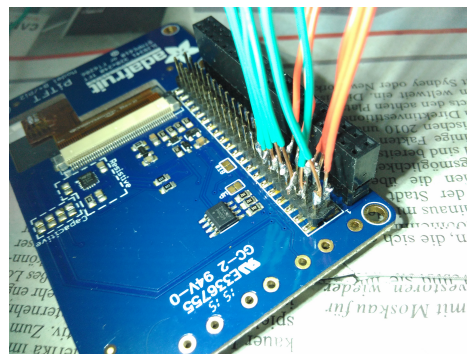


Abbildung 31: gelötete Weiterleitung unter dem Display

Ich habe noch Probleme, ein Foto auf dem Display zu sehen. Ich weiss nicht genau woran es liegt. Ich weiss: das Display nutzt alle GPIO und verwendet daher sein eigenes Betriebssystem. Dieses Display funktioniert nicht wie ein Bildschirm mit HDMI Anschluss. Alle Anleitungen im Internet gehen aber davon aus, dass es sich um einen HDMI Bildschirm handelt, und wahrscheinlich funktioniert es daher nicht.

Das Display ist so klein, dass ich es nur brauche, um die IP-Adresse zu ermitteln. Alles andere mache ich mit SSH (Secure Shell) auf einem anderen Computer.

Für SSH brauche ich eine Internetverbindung. Der Raspberry 2 hat kein integriertes WLAN, daher habe ich einen USB-Empfänger verwendet. Der hat aber nach einiger Zeit aufgehört zu funktionieren. Ich habe dann bemerkt, dass der Raspberry 3 integriertes WLAN hat. Jetzt muss ich nicht mehr mit dem Ethernetkabel arbeiten, sondern kann auch in der Schule oder in meinem Zimmer arbeiten.



Abbildung 32: Raspberry Pi mit WLAN Empfänger

2.9.6 Programmieren

Um die Benennung der Fotos zu vereinfachen verwende ich jetzt die Uhrzeit und nicht mehr die Durchnummerierung der Bilder, weil ich nicht genau weiss, wie man eine Variable speichert, nachdem das Programm geschlossen worden ist. Wenn ich noch Zeit habe, schreibe ich das Programm so, dass es das Datum richtig darstellt. Das ist nicht notwendig aber schön z.B. 20170105-114738 anstelle von 1483613258.57. Es ist das selbe Datum nur einmal in JahrMonatTag-StundeMinuteSekunde und das andere mal Sekunden nach dem 1 Januar 1970 00:00:00 (epoch).

2.9.7 Hülle

Die Originalhülle der Edixa besteht aus zwei festen Lederteilen. Die Hülle ist im Stativgewinde festgeschraubt. Da ich das Gewinde mit dem Raspberry verdecke, und die Kamera vergrössert wurde, brauche ich eine komplett neue Hülle. Als 'proof of concept', für eine eigene Hülle, habe ich eine Hülle aus Karton gemacht, die die Lederhülle ersetzt. Unter anderem auch, weil die Lederhülle unhandlich ist.

Ich möchte eine genau passende Hülle. Um die Hülle aus Karton zu konstruieren, habe ich die Edixa mit kleinen und grossen Kartonstücken beklebt. Danach habe ich einige Klebebänder wieder aufgeschnitten. Damit habe ich das Schnittmuster für die Hülle gemacht. Ich habe einen sehr dünnen Karton für den Prototypen genommen.



Abbildung 33: Zweiteilige Lederhülle, äusserer Teil weggeklappt

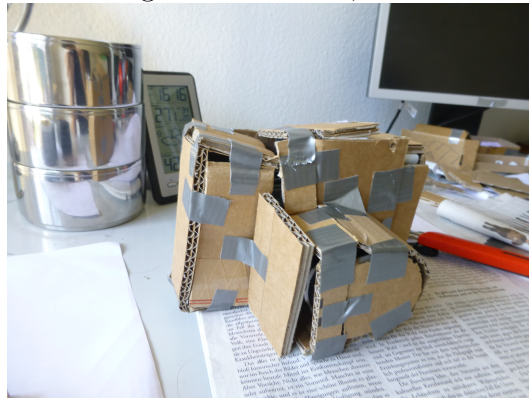


Abbildung 34: Einzelteile um die Edixa geklebt

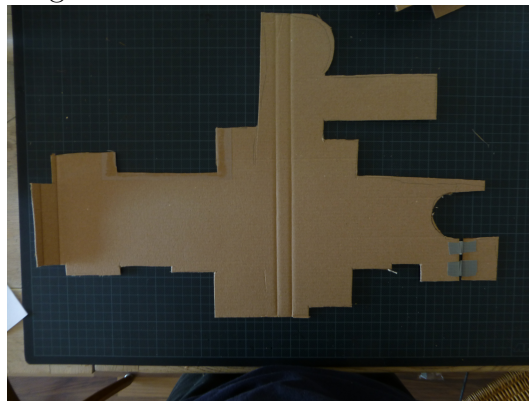


Abbildung 35: umgesetztes Schnittmuster der Kartonhülle, proof of concept

2.9.8 Bedienung der Kamera

Anfangs muss der Raspberry Pi hochgefahren werden. Das passiert automatisch, wenn das Micro USB Kabel eingesteckt wird. Der Auslöser der Edixa muss gespannt werden. Die Belichtung muss mit einem Belichtungsmesser ermittelt werden. Die Belichtungszeit ist einzustellen, indem man das Rad anhebt und dann umstellt. Die Blende ist am Objektiv zu wählen. Die Vorbereitungen sind damit abgeschlossen.

Mit dem Sucher kann jetzt der Bildausschnitt gewählt werden, mit der linken Hand kann simultan der Fokus eingestellt werden. Wenn man sich für das Bild entschieden hat, kann jetzt der Auslöser gedrückt werden.

Das Bild wird ausgelöst, der Spiegel klappt nach oben, der Verschluss öffnet und schliesst sich, die elektronische Verbindung zum externen Blitz wird hergestellt. Das Signal des Blitzes aktiviert den Raspberry Pi.

Nachdem das Foto gemacht ist, hat man die Möglichkeit den Raspberry Pi herunter zu fahren, indem man den Knopf an der Erweiterung betätigt. Sonst kann das Fotografieren fortgesetzt werden.

Zum Entfernen der Erweiterung muss das FlexKabel der PiCam und das Auslöserkabel ausgesteckt werden. Dann kann der untere Teil der Erweiterung nach rechts herausgezogen werden. Die so freigelegte Schraube des Stativgewindes kann gelöst werden und die Platte ist somit abgenommen. Die Rückwand ist im Scharnier links befestigt. Ich rate davon ab, die Erweiterung weiter zu zerlegen, weil die Verbindung zwischen Raspberry Pi und Display schwer zu lösen ist, aber es ist theoretisch möglich.

2.10 Programmstruktur

Die Programmstruktur des Raspberry Pi ist simpel.

Nachdem der Pi gebootet hat, wird in einem Autostart das Programm gestartet.

Alle 0.1 Sekunden wird geprüft, ob der Blitzauslöser verbunden ist, das heisst, ob ein Bild gemacht wird. Nachdem ein Foto ausgelöst worden ist, hat man die Möglichkeit das Fotografieren hier abzubrechen, indem man den Ausschaltknopf drückt. Es ist eine Schleife, die überprüft, ob der Knopf innerhalb von 5 Sekunden gedrückt ist.

Wenn die Kamera in 5 Minuten nicht ausgelöst wurde, schaltet sich die Kamera auf die gleiche Art wie mit dem Knopf aus.

2.11 Software

Ich habe als Programmiersprache Python verwendet, weil das der Standard auf dem Raspberry Pi ist. Das Programm besteht, wie fast alle Programme, aus copy paste von diversen Beispielen aus dem Internet. Für Python hat sich besonders Stack Overflow, sharelatex.com, python.org und wikibooks.org geeignet. Für die hilfreichen Inputs beim Programmieren danke Thomas Klemm.

Listing 1: Program, das läuft für die Erweiterung

```
import os#comands in terminal
import RPi.GPIO as GPIO#General Purpos Input Output
import time

GPIO.setmode(GPIO.BCM)
CameraTrigger = 2
PoweroffTrigger = 4
GPIO.setup(CameraTrigger, GPIO.IN)#setup input
GPIO.setup(PoweroffTrigger, GPIO.IN)#setup input

PoweroffTime = 0

while PoweroffTime < 300000:
    if GPIO.input(CameraTrigger) == False:
        NameFile = time.strftime('%Y%m%d-%H%M%S.jpg')
        #NameFile = time.time()
        CapturePhoto = 'raspistill -v -o ' + str(NameFile)+
            ' --exposure night --awb
            off --rotation 180 --raw'
        os.system(CapturePhoto)
        #fireworks, verylong
        CopyPhoto = 'cp ' + str(NameFile) +
            ' /media/pi/EDIXA/
            DCIM/EdixaErweiterung'
        os.system(CopyPhoto)
        PoweroffTime = 0#reset

        for i in range(5):
            if GPIO.input(PoweroffTrigger) == False:
                exit()
            else:
                time.sleep(1)
    else:
        PoweroffTime += 1
    time.sleep(0.1)

os.system(umount /media/pi/EDIXA)
os.system("poweroff")
```

2.11.1 Linux

Linux ist in Distributionen ein Betriebssystem, wie Windows und macOS. Es ist eines der wenigen Systeme, das von einer aktiven Community benutzt, verändert und angepasst wird. Für den Raspberry Pi ist eine vereinfachte Version von Debian entwickelt worden, so dass es mit weniger RAM und CPU-Power auskommt.

2.12 Abgrenzung meines Produkts

Meine Erweiterung hat keinen Full-Frame Bildsensor. Ich verwende keine anderen optischen Teile ausser der Linse der PiCam.

Die Kosten meiner Erweiterung (220 Fr.) liegen weit unter den Preisen anderer Beispiele (500 - 10'000 Fr.).

Die anderen Beispiele haben nur den Anspruch, dass sie funktionieren. Der Anspruch meines Produktes ist aber, dass es jedem möglich ist, es selber nach zu bauen und dabei das alte Material intakt zu lassen. Ich verfolge keine kommerziellen Interessen an der Idee meiner Erweiterung.

2.13 Arbeitszeitdiagramm

Das Diagramm zeigt für jeden Tag, wie viel Zeit ich an der Maturitätsarbeit gearbeitet habe. Ich habe die Information über meine Arbeitszeit vereinfacht, denn ich hatte über 40 verschiedene Aktivitäten. Ich habe die Arbeitszeit in fünf fundamental unterschiedliche Aktivitäten unterteilt: Schreiben der schriftlichen Arbeit, Lesen von Texten - Recherchieren, Arbeiten an der Erweiterung, Programmieren des Raspberry Pi, Diskutieren mit Anderen über die Arbeit.

Ich mache diese Vereinfachung, weil ich es nicht ansprechend finde, über jede gearbeitete Minute Rechenschaft abzulegen. Wenn es den Leser doch interessieren sollte, ist es minuziös in der .tex Datei nachzulesen.

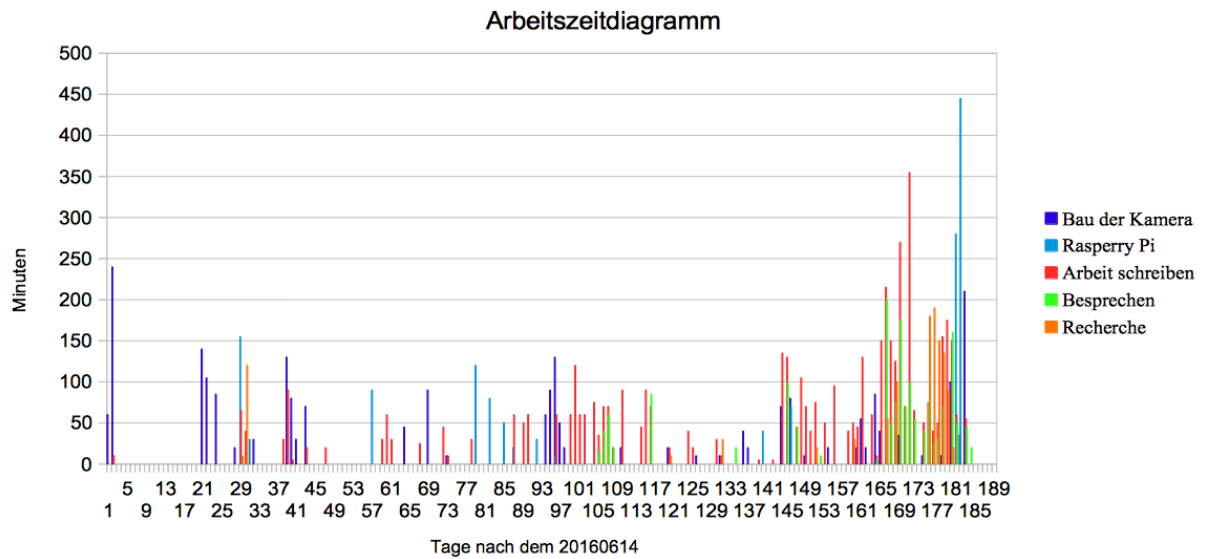


Abbildung 36: Umfasst die Zeitspanne von dem 2016-06-14 bis zum 2017-01-09

Ich habe 39 % der insgesamt 230 Stunden an der Arbeit geschrieben, 22 % an der Erweiterung gebaut, 21 % die Arbeit besprochen, 10 % an dem Rasperry Pi programmiert und 8 % recherchiert.

3 Theoretischer Teil

Dieser Teil der Arbeit erklärt die Grundlageninformation, die für das grundlegende Verständnis der Erweiterung benötigt wird. Es ist nicht unbedingt nötig dieses Wissen zu haben, um die Kameraerweiterung eigenständig zusammen zu setzen. Ich habe dieses Verständnis zu einem Teil meiner Arbeit gemacht, weil mich immer alles bis zum Ende interessiert.

3.1 Farbenlehre

Licht ist eine Welle. Licht kann verschiedene Wellenlängen haben. In unseren Augen sind drei verschiedene Arten von lichtempfindlichen Zapfen. Die Zapfen sprechen auf verschiedene Wellenlängen an (etwa 400-500 nm, 450-630 nm, 500-700 nm). So können wir die Welt in verschiedenen Wellenlängen sehen. Unser Gehirn interpretiert die verschiedenen Wellenlängen als verschiedene Farben. Der Mensch kann Licht zwischen 380 und 780 Nanometern sehen. Es gibt Tiere, wie zum Beispiel Papageien, die einen vierten Rezeptor haben, mit dem sie UV-Licht sehen können. Andere Tiere können UV wahrnehmen, weil sie keinen Filter wie der Mensch haben. [13]

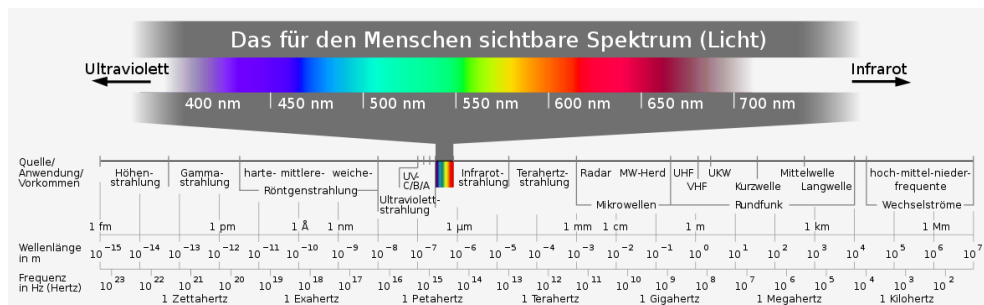


Abbildung 37: Elektromagnetisches Spektrum [14]

3.1.1 Additive Farbmischung

Die Vielfalt an Farben, die wir sehen können, setzt sich additiv aus den drei Primärfarben zusammen, die unser Auge wahrnehmen kann. Jede andere Farbe aktiviert mehr als nur einen Zapfen, was unser Hirn dann als die Farbe interpretiert. So ist es auch möglich, dass wir Pink oder Braun sehen können, obwohl es keine Wellenlänge dafür gibt.

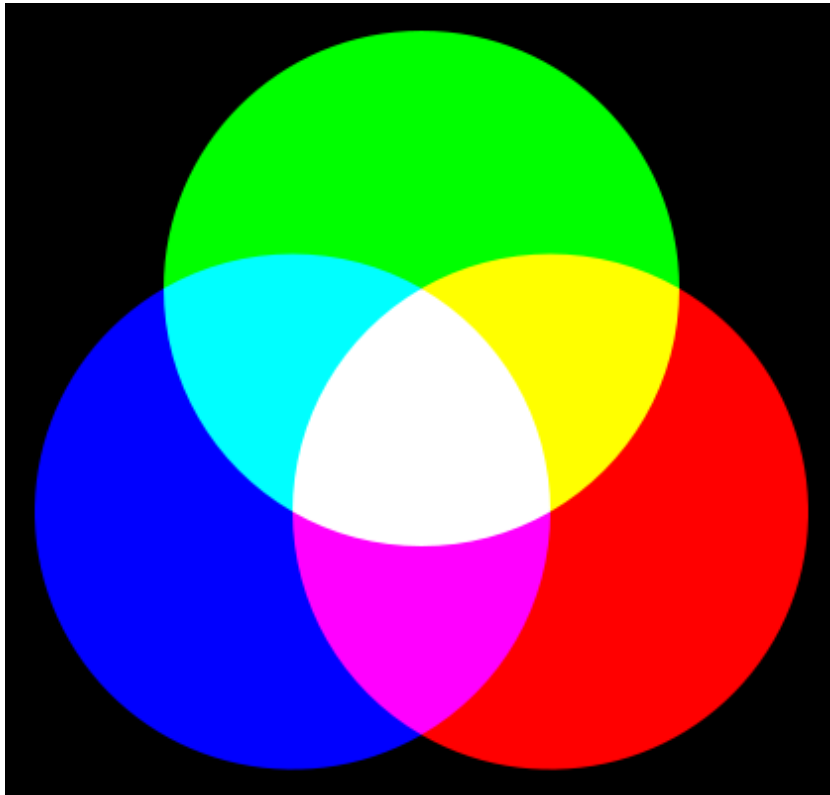


Abbildung 38: Additive Farben, Rot, Grün, Blau [15]

3.1.2 Subtraktive Farbmischung

Wenn ein Lichtphoton auf ein Atom trifft, kann das Photon ein Valenzelektron energetisch auf ein höheres Level anheben, dabei wird das Photon absorbiert. Das ist nur möglich, wenn die Energie des Photons gleich dem Energieanstieg des Elektrons ist. Das heisst, eine bestimmte Wellenlänge des Lichts wird von einer bestimmten Atomsorte absorbiert. Jedes Atom besitzt etliche Valenzelektronen, so kann mehr als nur eine Farbe absorbiert werden.

Als Beispiel: Ein blaues Stück Papier absorbiert alle sichtbaren Wellenlängen rot und grün, und strahlt die blauen ab (400 nm). Dieses blaue Licht wird von den blauen

Rezeptoren wahrgenommen. Dann interpretiert das Gehirn dieses Signal des Auges als 'blau'.

Diese Technik wird bei allen Farbdrukken verwendet.

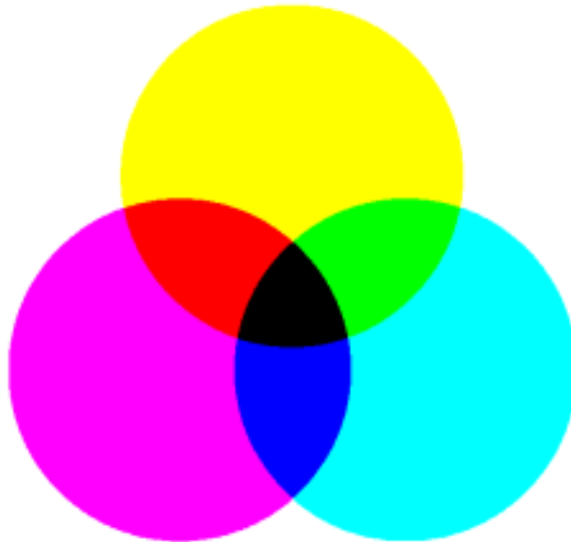


Abbildung 39: Subtraktive Farbmischung, Magenta, Cyan, Yellow [16]

3.1.3 RGB

RGB steht für Rot Grün Blau. Die Abkürzung wird meistens im Kontext von Computern verwendet.

Ein Pixel ist die kleinste Einheit eines digitalen Bilds, der Begriff wird sowohl beim Aufnehmen eines Bildes als auch beim Abgeben verwendet.

Ein Computerbildschirm besteht aus Pixeln und jedes Pixel aus drei verschiedenen LEDs. Die meisten Bilder bestehen aus Information für jede der drei LEDs. Die Information für jedes Pixel besteht daher aus drei Zahlen

zwischen 0 und 255 (2^8), also drei Byte. 0 bedeutend kein Licht und 255 volle Lichtstärke.

3.1.4 Dateiformate

Bei dem JPEG File wird nicht die Information in RGB gespeichert, sondern die Farben werden in ein YCbCr Farbenraum projiziert. Hier werden die Farben nicht in drei Farbkoordinaten gespeichert, sondern in zwei für die Farbe und einer für die Helligkeit.

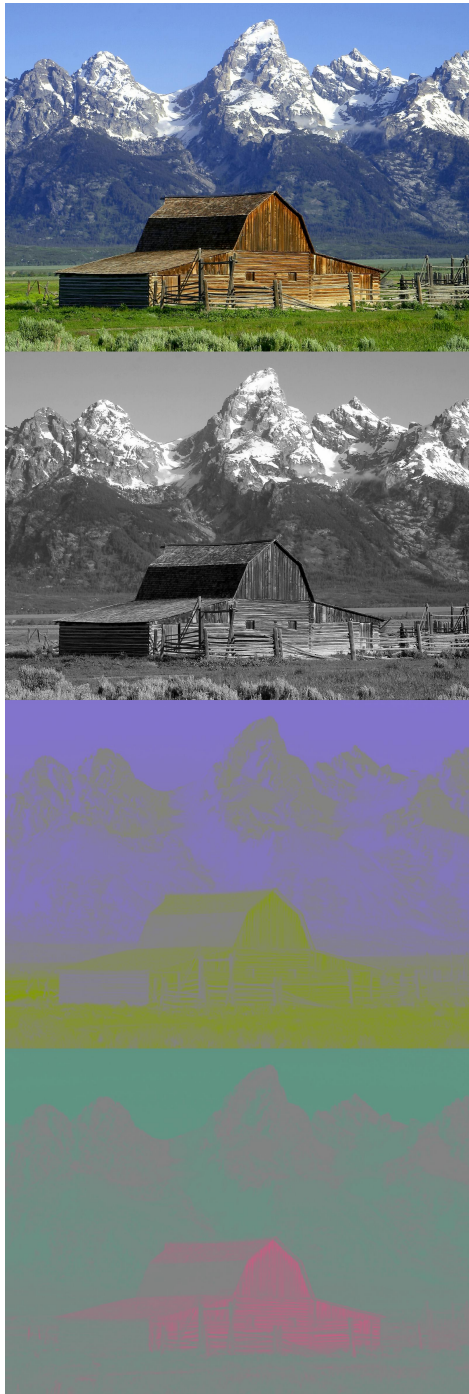


Abbildung 40: In YCbCr: Schwarz-Weiss, Blue-Yellow Chrominance, Red-Green Chrominance [17]

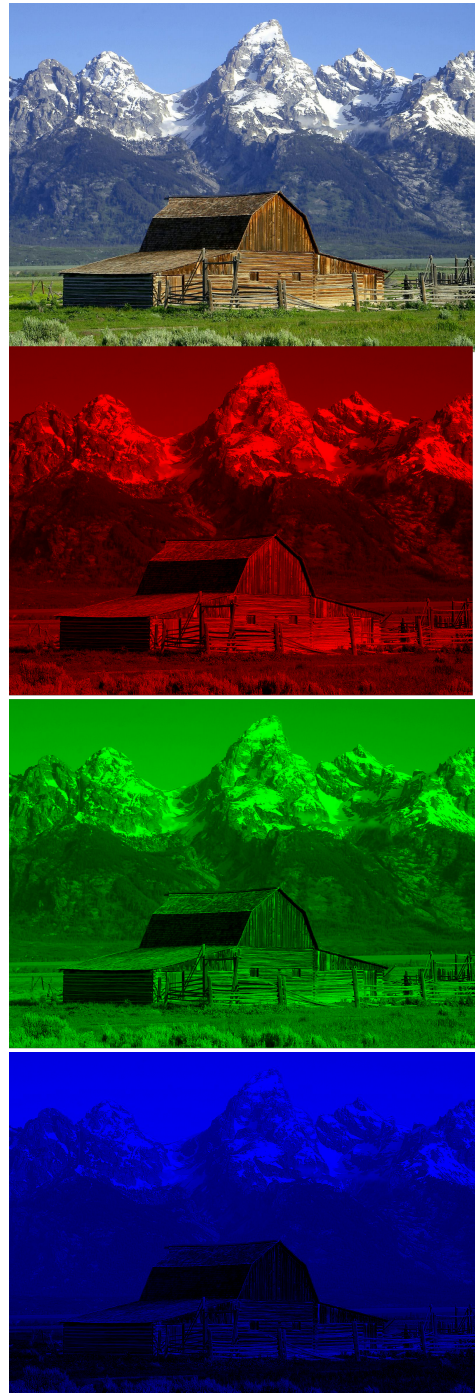


Abbildung 41: In RGB: Rot, Grün, Blau

3.2 Photoresistor Electronic

Um ein Abbild mit Licht zu erhalten, braucht man ein Material, das auf Licht reagiert. Daher sind elektronische Bildsensoren aus Photoresistoren. Um mehr als die Helligkeit des Bildes festzustellen, wird bei einem Bildsensor nicht ein Photoresistor sondern bis zu 100'000'000 verwendet. [18]

Ein Photon ist ein Teilchen, welches eine Lichtwelle verkörpert. Das Photon kann Energie abgeben, wenn es mit einem anderen Teilchen zusammenstösst. So kann ein Valenzelektron eines Atoms rausgerissen werden. Die nun freien Elektronen erleichtern den Stromfluss durch die Siliziumkristalle aus denen ein Pixel besteht. Das heisst, dass der Widerstand dieser Pixel mit nimmt zunehmender Lichtstärke ab. [19]

So wird ein analoges Signal im Pixel selbst generiert. Es gibt zwei unterschiedliche Ansätze zur Umwandlung dieses analogen Signals in ein digitales. Im ersten Ansatz wird das analoge Signal ausserhalb des Sensors von der Kamera umgewandelt. Diese Sensoren werden CCD genannt. Der zweite Ansatz ist: an jedem einzelnen Pixel wird das analoge Signal direkt in ein digitales Signal umgewandelt und dann an die Kamera übertragen. Diese Sensoren werden COSM genannt.

CCD Sensoren waren lange der Qualitätsstandard. Bei CCD Sensoren wird das analoge Signal erst am Rand des Sensors in ein digitales Signal umgewandelt. Damit ist kein Platz der Sensorenfläche für andere Elektronik als dem eigentlichen Pixel verbraucht. Die Pixel sind bei gleicher Sensorfläche und Pixelanzahl grösser. Daher ist die Bildqualität besser. Erst in den letzten Jahren konnten COSM

Sensoren gegenüber CCD Sensoren in punkto Bildqualität aufholen. Das wird vor allem durch die höhere Auslesegeschwindigkeit erreicht. Die Geschwindigkeit ist höher, weil die Kamera nicht mehr die Umwandlung von analog nach digital machen muss. Mit der hohen Geschwindigkeit können Slow-Motion und schnelle Serienbilder gemacht werden. Es ist möglich einen post focus zu benutzen (man entscheidet, nachdem man das Bild gemacht hat, wo der Focus liegt, indem man tatsächlich nicht ein Bild sondern viele Bilder gemacht hat). Auch HDR (High Dynamik Range) Bilder setzen sich aus mehreren schnell hinter einander aufgenommenen Bildern zusammen.

Ein weiterer Trick der COSM Sensoren ist es, auf den Umwandlern (von analog zu digital) mit kleinen Spiegeln das Licht, das auf den Umwandler im Sensor fallen würde, in das eigentliche Pixel um zu leiten.

COSM Sensoren können mit weniger Teilen implementiert werden, brauchen weniger Energie und können schneller ausgelesen werden.

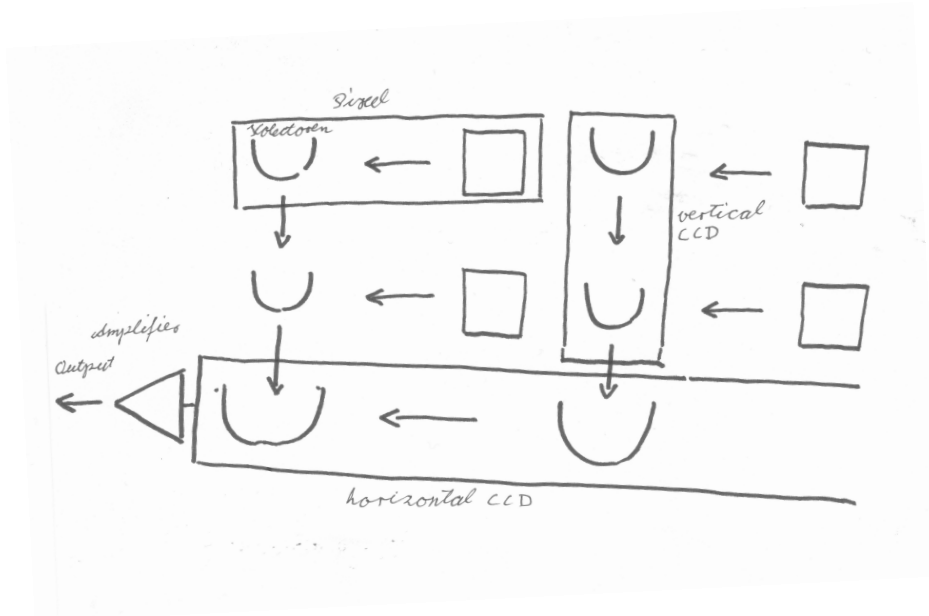


Abbildung 42: Schematische Darstellung eines CCD Sensors

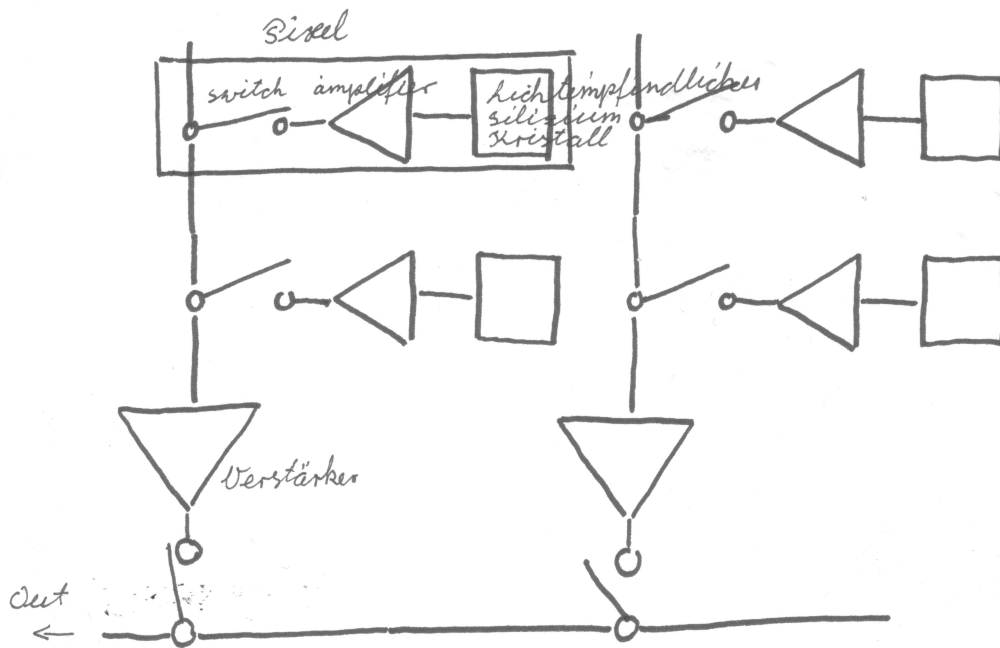


Abbildung 43: Schematische Darstellung eines CMOS Sensors

3.2.1 Bildsensor Farbfilter

Ein Pixel ist die kleinste Einheit eines digitalen Bildes, es ist ein Farbpunkt.

Wenn in einem Bildsensor jedes Pixel gleich ist, können nur Helligkeiten, d.h. Grauwerte aufgenommen werden. Daher wird über die Pixel ein Raster aus Farbfiltern gelegt. Ein Farbfilter besteht aus einem transparenten Material, welches nur bestimmte Lichtwellenlängen durchlässt. Ein roter Farbfilter ist rot, dass heisst alles Blau und Grün wird absorbiert. Es wird also ein rotes, ein blaues und ein grünes Bild erstellt. Auf diese Weise kann ein Bild in Farben aufgenommen werden.

Es ist das umgekehrte Prinzip als das beschrieben in 3.1.3 der RGB.

Das meist benutzte Farbfiltermuster ist die Bayer-Matrix [20]. Es besteht aus kleinen Farbfiltern, die so wie in der Abbildung sichtbar, angeordnet sind.

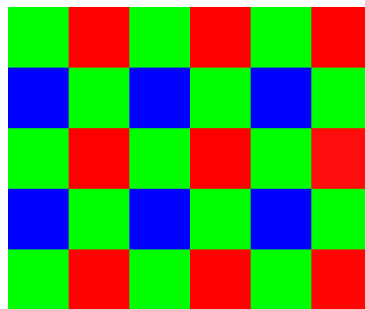


Abbildung 44: Bayer-Matrix

Die grünen Pixel sind doppelt vertreten, weil das menschliche Auge besonders empfindlich auf grünes Licht reagiert.

Um die fehlende Farbinformation, das heisst die anderen beiden Farben, für jedes Pixel zu erhalten, wird ein der Anwendung angemessener Algorithmus auf die Rohdaten angewendet. [21]

Bei einer anderen Farbbildtechnik wird das Bild mithilfe von Prismen und geeigneten Farbfiltern in drei Bilder aufgeteilt und dann mit drei verschiedenen Bildsensoren ohne Farbfilter aufgenommen. Diese Dreichip-Farbkameras [22] werden nur bei höchstem Anspruch an Wirklichkeitstreue verwendet. Beispiele sind Medizintechnik, Erkennung kleinster Verunreinigungen in Industrie und Broadcast. Diese Technik ist aber nur eingeschränkt nutzbar, unter anderem auch deshalb, weil die Temperatúrausdehnung der Prismen bei Temperaturwechseln schwer zu kompensieren ist.

3.3 Optik

Eine Linse besteht aus einem transparenten Material, welches eine andere Lichtgeschwindigkeit aufweist als Luft. Daher wird das Licht gebrochen. Wenn das Material konkav gewölbt ist, fokussiert die Linse alle parallelen Strahlen in einen Brennpunkt. Alle Strahlen die durch dem Brennpunkt gehen werden parallel zur optischen Achse. Danach entsteht ein Abbild auf einer dahinter liegenden Fläche, welches meist entweder grösser oder kleiner ist (siehe Abbildung 18).

Mehrere Linsen können hintereinander aufgereiht werden. Damit erreicht man neue Eigenschaften. Wenn man eine Linse in der bestimmten Anordnung verschiebt, verändert sich zum Beispiel der Brennpunkt oder die Brennweite. [23]

4 Fazit

4.1 Reflexion

Ich habe mich in zwei sehr unterschiedliche Technologien eingearbeitet - die analoge Fotografie und die digitale Fotografie. Eine Hybrid Kamera zu bauen war technisch aufwendig. Es ist ein neuartiges Instrument entstanden. Ich freue mich auf das produktive Arbeiten mit dieser Kamera, die die gestalterischen Vorteile der digitalen und analogen Fotografie vereint.

Ich habe meine Definition von Erfolg im Laufe der Arbeit geändert: Es muss am Ende nicht ein makelloses Produkt vorhanden sein, sondern die Auseinandersetzung mit den verschiedensten Schnittstellen und Themenbereichen steht im Vordergrund.

4.2 Rückblick

Als Haupterrungenschaft meiner Arbeit sehe ich das Herunterbrechen eines zu Beginn fast unmöglich erscheinenden Problems: Wie kann ich die 100 Jahre lang erprobte Technologie des analogen Films, welche auf komplizierten mechanischen und chemischen Vorgängen basiert, durch Etwas völlig Neues ersetzen und dabei jeden Schritt erklären?

Als Methode hat sich bewährt, das ganze Problem, in kleine Fragestellungen aufgeteilt, Stück für Stück zu begreifen und zu lösen.

Ich habe viel Zeit damit verbracht, im Internet nach Antworten zu suchen. Die Suche war notwendig und hilfreich, aber auch sehr zeitaufwendig, weil ich oft die Frage noch gar nicht präzise formulieren konnte.

Mühsam fand ich das Schreiben der Arbeit. Ich habe daher die Texte dem Computer diktiert, aber die Nachbearbeitung dieser Texte war fast so anstrengend wie das Schreiben. Mein Text bis Anfang Dezember war eine inhaltsorientierte Ansammlung von Fakten. Ich habe mir am Ende der Arbeit jeden Abschnitt vorlesen lassen, und dann noch einmal neu formuliert. Auf diese Weise ist aus meinem Gebrauchsanweisungs-Schreibstil ein flüssiger Text entstanden. 39 % der Zeit habe ich auf das Verfassen der Arbeit verwendet.

Ich habe 32 % der Zeit damit verbracht, meine alte Kamera aufzubereiten. Besondere Freude an der Arbeit hat mir gemacht, die 3D-Teile zu entwerfen. Das Ausdrucken am 3D-Drucker ab Juli 2016 war für mich faszinierend, weil ich

meine Entwürfe endlich in der Wirklichkeit sehen konnte.

Während dieser 74 h handwerklichen Arbeit habe ich grossen Respekt vor der Feinmechanik der Edixa bekommen. Sie ist der einzige Teil meiner Arbeit, den ich nicht versucht habe zu analysieren, weil ich nicht die Werkzeuge und Erfahrung besitze, sie auseinander zu bauen. Meinen Verstehensdrang habe ich auf die für die digitale Erweiterung relevanten Teile der Edixa beschränkt. Das ist die Optik der Kamera und bis zu einem gewissen Grad der Auslösemechanismus.

Der Informatik und Hardware habe ich mich von der praktischen Seite genähert. Ich habe einfach ein Problem nach dem anderen gelöst oder - falls dies unmöglich war - umgangen. Auf diese Weise habe ich die Verwendung und Programmierung des Raspberry Pis und Python gelernt.

4.3 Ergebnisse

Ich bin zufrieden damit, dass ich die Arbeit im Januar 2016 geplant hatte und über ein ganzes Jahr ohne äusseren Druck das Projekt durchgehalten habe. Ich habe meine eigene Idee verfolgt, obwohl ich anfangs auf Skepsis von Profis und Freunden gestossen bin (siehe 1.3).

Wie beeinflusst Technik unser Handeln und Denken? Ist Ihnen als Leser an der Wortwahl meiner Maturitätsarbeit etwas aufgefallen?

Ich habe den gesamten Text von Anfang an in TeXShop - LaTeX - geschrieben. Dort werden die Umlaute (ä, ö, ü) mit einem Anführungszeichen und dem normalen Buchstaben (a, o, u) geschrieben. Ich wollte wissen, ob diese technische Eigenheit einen Einfluss auf meine Wortwahl hat. Bei der Auswertung habe ich festgestellt, dass ich tatsächlich nur die Hälfte der statistisch zu erwartenden Umlaute benutzt habe [25]. Das heisst ich habe unbewusst Wörter gewählt, in denen keine Umlaute vorkommen. Ich habe auf die Technik, die mir zur Verfügung steht, ständig reagiert ohne dass dies mir oder dem Leser bewusst geworden wäre.

4.4 Ausblick

Um die Arbeit abzuschließen, werde ich das Design der Erweiterung verfeinern. Die Kamera muss zuverlässig und handhabbar werden.

Ich werde auf den Raspberry Pi Zero umsteigen, sobald das Produkt wieder erhältlich ist. Mit dem Raspberry Pi Zero wird das Volumen der Erweiterung kleiner (siehe 2.8.1). Zudem ist Raspberry Pi Zero energiesparender, ich könnte spezielle Batterien einbauen.

Wenn ich alle Komponenten optimiert habe, werde ich die Erweiterung aus Metall drucken oder fräsen. Damit wird die Erweiterung stabiler und kleiner.

Als nächstes Projekt möchte ich die Unterschiede und Einsatzbereiche von vier verschiedenen Kameras erforschen: meiner Hybrid-Edixa, einer Camera Obscura, einer manuell bedienbaren spiegellosen Digitalkamera (Lumix LX 100) und meiner Smartphonekamera. Die Zivildienstzeit eignet sich für die Fortführung gut. Diese Maturitätsarbeit ist ein Schritt in meinem Fotografie Projekt:

Wie beeinflusst die Technik der Kamera die Erstellung von Fotos, ihre weitere Präsenz und die Wirkung der Fotos. Die Bilder werden Teil unseres visuellen Gedächtnisses und damit unserer Erinnerung. Wenn schon ein Schreibprogramm einen messbaren Einfluss auf meinen Schreibstil hat, welchen Einfluss hat dann ein künstliches Auge, die Kamera, auf meine Sicht der Welt, auf mein Bewusstsein?

5 Danksagung

Ich möchte Marc Widmer danken, der mir 3D-Teile gedruckt hat. Ich möchte auch dem Fablab Zürich danken. Ich möchte meiner Familie, im besonderen Christine und Johannes Kuhn, für ihre Ratschläge und das Korrekturlesen danken. Ich bedanke mich bei meiner betreuenden Lehrperson Adriana Mikolaskova.

Eigenständigkeitserklärung

Der Unterzeichnete bestätigt mit Unterschrift, dass die Arbeit selbstständig verfasst und in schriftliche Form gebracht worden ist, dass sich die Mitwirkung anderer Personen auf Beratung und Korrekturlesen beschränkt hat und dass alle verwendeten Unterlagen und Gewährspersonen aufgeführt sind.

Peter Kuhn

Ort & Datum

6 Bibliography

Alle angegebenen Links beinhalten eine Information oder eine Abbildung, die direkt in der Arbeit vorkommt.

Alle Bücher und anderen Webseiten, mit denen ich mir allgemeineres Information angeeignet habe, sind nicht aufgeführt. Das betrifft Texte für das Design und die Fotografie.

Literatur

- [1] Andreas Feininger (1978): Andreas Feiningers Grosse Fotolehre, München: Wilhelm Heyne Verlag
- [2] <http://www.hasselblad.com/digital-backs/multi-shot-digital-back>
- [3] <https://de.wikipedia.org/wiki/Hybrid>
- [4] Eine E-Mail weitergeleitet bekommen, (2016)
- [5] David Small (2016 April): Email
- [6] <http://ibackcamera.eu/photo/>
- [7] http://www.sony.net/Products/SC-HP/new_pro/april_2014/imx219_e.html
- [8] <http://mipi.org/specifications/camera-interface>
- [9] http://www.petervis.com/Raspberry_Pi/Raspberry_Pi_CSI/Raspberry_Pi_CSI_Camera_Interface.html

- [10] <https://i1.wp.com/www.fotov60.com/wp-content/uploads/2012/09/Sony-a99-external-battery-grip.jpg>
- [11] Mirco Vandeventer, Peter Kuhn (2016): Dispersion of Light Lab Report V, Zurich: MNG
- [12] <https://us.leica-camera.com/Photography/Leica-M/Leica-M-D>
- [13] <https://en.wikipedia.org/wiki/Light>
- [14] Horst Frank / Phrood / Anony - Horst Frank, Jailbird and Phrood, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3726606>
- [15] <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e8/AdditiveColorMixiing.svg/420px-AdditiveColorMixiing.svg.png>
- [16] <http://www.directxtutorial.com/Lessons/9/B-D3DGettingStarted/3/15.png>
- [17] <http://metacolor.de/farbenlehre/subtraktiv.gif>
- [18] <http://www.hasselblad.com>
- [19] <https://en.wikipedia.org/wiki/Photoresistor>
- [20] <https://de.wikipedia.org/wiki/Bayer-Sensor>
- [21] https://www.matrix-vision.com/tl_files/mv11/Glossary/art_bayermosaic_de.pdf
- [22] <http://www.vision-doctor.de/flaechenkameras/3chip-kameras.html>
- [23] Mirco Vandeventer, Peter Kuhn (2016): Thin Lenses Lab Report III, Zurich: MNG

- [24] <https://www.raspberrypi.org/wp-content/uploads/2013/07/RaspiCam-Documentation.pdf>
- [25] <http://www.sttmedia.de/buchstabenhaeufigkeit-deutsch>
- [26] <http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/camera-sensors.htm>
- [27] http://www.petervis.com/Raspberry_PI/Raspberry_Pi_CSI/Raspberry_Pi_CSI_Camera_Interface.html