Carl-Fuhlrott-Gymnasium Jahrgangsstufe Q1

Wuppertal Schuljahr 2021/2022

Projektarbeit im Projektkurs MiLeNa

„Verrückte Brillen“ und ein Teleskop aus dem 3D-Drucker

Verfasser: Lenny Sienczak und Selin Seyfi

E-Mail: lenny.sienczak@gy-cfg.de und selin.seyfi@gy-cfg.de

Projektleiter: Michael Winkhaus

Abgabedatum: 09. Juni 2022

Inhaltsverzeichnis

Glossar 4

1. Einleitung 8

1.1 Motivation zur Wahl des Projektkurses MiLeNa 9

2. Unsere Station „Verrückte Brillen“ 10

2.1 Stationsaufbau 10

2.2 Bericht der Grundschulbesuche 12

2.3 Lerneffekt 13

3. Ein Teleskop aus dem 3D-Drucker 15

3.1 Erklärung der Funktionsweise eines 3D-Druckers 15

3.2 „The Micro Scope“ 20

3.3 Bau des Teleskops 25

3.4 Theoretische Praxis-Grundlagen 29

3.5 Fehlermeldungen und Reflexion 30

4. Fazit und Danksagung 31

5. Literaturverzeichnis 33

6. Anhang 34

7. Abschlusserklärung 41

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die Facettenaugenbrille (Quelle: H.-H.-Grundschule) 14

Abbildung 2: Der Prusa MK3S+ (Quelle: PrusaResearch) 16

Abbildung 3: Stützstrukturen (Quelle: TLB.de) 18

Abbildung 4: Die verschiedenen "Infill"-Typen (Quelle: All3DP) 18

Abbildung 5: Ausschnitt der Plattform 'Thingiverse' (Quelle: eigene Aufnahme) 19

Abbildung 6: Skizze des "Micro Scope" (Quelle: Greg Holloway)..... 21

Abbildung 7: Software/Optik-Aufbau (Quelle: eigene Komposition) 23

Abbildung 8: Der INDI "Web-Manager"; für uns keine langfristige Option (Quelle: INDI Library) 24

Abbildung 9: Stellarium's Teleskopsteuerung (Quelle: Stellarium Labs) 24

Abbildung 11: Das Stativ (Quelle: Greg Holloway) 34

Abbildung 12: Die Fernsteuerung (Quelle: Greg Holloway)..... 34

Abbildung 13: Die Rektaszensionsachse (Quelle: Greg Holloway) 35

Abbildung 14: Das "Power Pack" (Quelle: Greg Holloway) 35

Abbildung 15: "DEC Idle Arm" (Quelle: Greg Holloway)..... 36

Abbildung 16: "DEC Drive Arm" (Quelle: Greg Holloway) 36

Abbildung 17: Die Kameravorrichtung (Quelle: Greg Holloway)..... 37

Abbildung 18: Äquatoriale Montierung (Quelle: Greg Holloway) 37

Abbildung 19-22: 3D-Druck Prozess (Quelle: eigene Aufnahme)..... 38

Glossar

A

Arduino

Open-Source orientiertes Unternehmen mit eigener Programmierplattform („Arduino IDE“) zum projektorientierten Programmieren und Hersteller gleichnamiger Boards.

Äquatoriale Montierung

Dient dazu, das astronomische Beobachtungsobjekt zu tragen und die Erddrehung zu kompensieren

B

Bill of Materials

Eine umfassende Liste der benötigten Anforderungen/Teile eines Projekts, meist auch mit Kostenangaben.

C

Computer-Aided Design (CAD)

Ein Designprozess, bei dem eine 2D- oder 3D-Software hinzugezogen wird. Es wird zum Entwerfen und Konstruieren von ebensolchen Modellen benutzt, die auch später für den 3D-Druck benutzt werden können.

CNC-Shield

Board zum Kontrollieren von Schrittmotoren und entworfen für Selbstbau-Maschinen, in Kombination mit einem Schaltboard (z. B. WeMos D32) benutzbar.

Config.h

Eine Datei, die die wesentlichen Konfigurationseinstellungen innerhalb eines Programms enthält.

D

Deklination

Himmlischer Breitengrad, welcher den Winkelabstand eines Objekts vom Himmelsäquator angibt, wird in Grad, Bogenminuten und Bogensekunden angegeben.

Do it yourself (DIY)

Bezeichnet den Prozess des selbst-nachmachens, z. B. von Heimwerkern.

E

Ethernet-Kabel

Typ von Netzwerkkabeln zur Verbindung innerhalb des eigenen Netzwerkes (meist LAN-Kabel genannt).

F

Frühlingsäquinoktium

Zeitpunkt des astronomischen Frühlingsanfangs (20. März), wobei Tag und Nacht fast gleichlang sind.

G

General Purpose Input/Output (GPIO)

Kontaktstift auf einem Schaltbrett (z. B. beim Raspberry Pi) mit einem eigenen Schaltkreis, der programmiert werden kann.

GitHub

Archiv für Informatik und projektbasierter Programmierung mit gleichnamigem Forum zum Austausch.

H

Hardware

Physische, bzw. materielle Bestandteile eines Computers.

I

Instructables

Ähnliche Plattform wie Thingiverse, mit dem Unterschied, dass auf der „Instructables“ Seite der 3D-Druck außenvor gelassen wird, denn dort beschäftigt man sich eher mit den Themen Maschinenbau, Holzbearbeitung, Elektronik und vielem weiteren im Bereich „Do it yourself“.

M

Messier-Objekte

110, von dem Astronom Charles Messier im Jahre 1771 veröffentlichte, Himmelsobjekte. Diese Liste besteht aus verschiedenen Galaxien, Sternhaufen und Nebeln.

N

Nachführung

Funktion eines Teleskops, welche die Erddrehung ausgleicht und das zu beobachtende Objekt am Himmel „verfolgt“.

Neumond

Mit dem Auge nicht erkennbare Periode des Mondes die auftritt, wenn der Mond in Konjunktion mit der Sonne steht.

O

OnStep

Software zum Steuern von Teleskopen, welche auf Kontrolle der Schrittmotoren über Arduino oder „Teensy“ Boards basiert.

Open-Source

Computerprogramme, die gratis, für jeden öffentlich zugänglich sind und von jedem weiterentwickelt werden können.

Polyethylenterephthalat (PETG)

Material, welches im 3D-Bereich sehr beliebt ist. Es stammt aus der Familie des PET-Plastiks, das z. B. auch für die meisten Plastikflaschen benutzt wird.

R

Raspberry Pi

Programmierbarer Mini-Computer zum einfachen Realisieren von Projekten.

Rektaszension

Himmlischer Längengrad, gibt den Winkel zwischen Frühlingsäquinoktium und Objekt an und wird in Sekunden, Minuten und Stunden angegeben.

Remix

Bearbeitung/Anpassung eines schon vorhandenen 3D-Modells; in der Regel nicht-kommerzialisierbar.

S

Secure Shell (SSH)

Netzwerkprotokoll, das dem Benutzer ermöglicht, über ein ungesichertes Netzwerk auf einen Computer zuzugreifen.

Sequenz

Eine vorprogrammierte, voll automatisierte Abfolge innerhalb eines Programmes.

Software

Nicht-physische Bestandteile und Daten eines Computers (z. B. Programme).

Stellarium

Ein Programm, dass ein Planetarium simuliert, also einen dreidimensionalen Sternenhimmel zeigt.

T

Thermoplastisches Polyurethan (TPU)

Sehr flexibles und beständiges Material, welches im 3D-Druck öfter Anwendung findet.

W

WeMos R32

Ein Arduino Uno ähnliches Board mit WLAN und Bluetooth Ausstattung.

Wiring Diagram

Ein Diagramm, bzw. Schaubild der Verkabelung einer Hardware-Schaltung.

1. Einleitung

Physik und Astronomie sind heutzutage für jeden anschaulich:

Physikalische Phänomene, die für uns im Alltag teilweise nicht richtig sichtbar werden, können durch Experimente anschaulich und interessant erklärt werden. In der von uns geführten Station drehte sich alles um die Optik. Durch verschiedenste Brillen lernten Kinder, welche Effekte ein Alkoholrausch auf die Wahrnehmung haben kann, wie Insekten die Welt mit ihren Augen betrachten und wie schwierig es sein kann, mit verschobener Perspektive sensomotorische Aufgaben zu lösen.

Auf der anderen Seite ermöglicht einem die Technik, jederzeit Astronomie zu erleben. Man kann beispielsweise mit Apps auf seinem Smartphone Sternkarten abrufen, in ein Planetarium gehen oder mithilfe eines 3D-Druckers, einer Maschine, die mit gegebenem Material gewünschte Formen „ausdruckt“, und mit diversen technischen Teilen ein funktionierendes Teleskop bauen.

Da uns mehrere 3D-Drucker zur Verfügung stehen und wir Interesse an Astronomie und Technik haben, wollten wir die Herausforderung annehmen und ein vollfunktionsfähiges Teleskop mit automatischer GPS-Ausrichtung und WLAN bauen, dass sich durch eine tragbare Batterie auch mitnehmen lässt. Das Teleskop gleicht seine Position mit einer digitalen Sternkarte ab und richtet sich somit zielgenau auf das zu beobachtende Objekt im Himmel aus.

Zum anderen fanden wir die Reaktion der Kinder auf die Effekte der Brillen sehr spannend, da jedes Kind die Effekte anders wahrgenommen und eine individuelle Anpassung gezeigt hat.

Diese Projektarbeit lässt sich in zwei Teile teilen:

Im ersten Teil beschäftigt sich Selin mit unserer Station „Verrückte Brillen“, wobei sie die verschiedenen Elemente der Station auch auf den dazugehörigen Lerneffekt überprüft. Schließlich ist besonders im Themenbereich Physik die visuelle Darstellung von Lerninhalten essenziell; mithilfe spielerischer Aufgaben wird das Gelernte eher gefestigt.

Im anderen Teil beschäftigt sich Lenny mit der Funktionsweise und dem Aufbau eines 3D-Druckers, dem Bau des Teleskops und vollzieht einen Praxistest.

1.1 Motivation zur Wahl des Projektkurses MiLeNa

Wir haben von MiLeNa durch einige Freunde in der Stufe über uns erfahren. Da wir interessiert waren, schauten wir uns die offizielle Präsentation/Vorstellung von Herrn Winkhaus an. Diese war sehr überzeugend. Das Konzept war schnell klar:

Im ersten Halbjahr werden Stationen, die von Kurs zu Kurs weitergegeben und -entwickelt werden, eingeübt. Dann kommen ab den Herbstferien Grundschüler von mehreren Wuppertaler Grundschulen und werden durch die Stationen geführt:

In unserem Jahrgang gab es die Stationen „Verrückte Brillen“, eine Station mit Experimenten zu Magnetismus, eine mit optischen Täuschungen, im Astronomie-Raum wurden drehbare Sternkarten gebastelt, Herr Winkhaus führte den Grundschülern das Planetarium vor und die Sternwarte konnte besichtigt werden.

Ist das erste Halbjahr überstanden, geht es dann an das Schreiben der Projektarbeit. Dabei hat man eine große Auswahl an Themenbereichen, auf die man sich spezialisieren kann: verschiedene Bereiche der Astronomie, physikalische Effekte, die Station weiterentwickeln – einem sind keine Grenzen gesetzt.

Dann gibt es die Möglichkeit, seine Forschungen für eine „besondere Lernleistung“ fortzuführen, was bedeutet, dass man diese eigenständig fortsetzt und in einer zweiten Arbeit festhält.

Uns gefiel das Konzept der pädagogischen Grundausbildung im Bereich MINT (**M**athe, **I**nformatik, **N**aturwissenschaft, **T**echnik) sehr, vor allem, weil auch Interesse an einem Beruf im Bereich Pädagogik besteht. Andererseits gefiel uns die freie Auslebung der Kreativität in Form vom Schreiben einer Projektarbeit, auch, weil wir dann keine verpflichtende Facharbeit abgeben müssten.

Außerdem ist das Verfassen dieser eine gute Vorbereitung für die spätere Universitätskarriere, erst recht in einem so gut geleiteten Umfeld wie dem von Herrn Winkhaus. Immerhin ist er ein Experte in der Physik und Astronomie, langjähriger Pädagoge und für Fragen und Anregungen immer offen.

Also wählten wir den Projektkurs MiLeNa und fokussierten uns auf die Station „Verrückte Brillen“.

2. Unsere Station „Verrückte Brillen“

2.1 Stationsaufbau

Vorerst sollte erwähnt werden, dass wir unsere Station in zwei Teile aufgeteilt haben:

Im ersten Teil der Station haben wir die Grundschüler aufgeteilt und somit hatte Selin in der Regel für das erste Experiment drei, und Lenny ein Kind.

Im zweiten Teil der Station haben wir uns dann wieder zusammengetan und einen dritten, gemeinsamen Versuch mit den Kindern durchgeführt, worauf wir später intensiver eingehen werden.

Bei Lennys Teil der Station wurde den Kindern ein Phänomen der Natur nähergelegt. Das Kind durfte eine Brille aufsetzen, dessen Effekt die Sicht von Insekten, wie beispielsweise Libellen oder Fliegen, imitiert: Das Facettenauge.

Durch die Brille lernten die Kinder neue Sinneswahrnehmungen kennen. Damit die Kinder den Effekt lernen und besser verstehen konnten, zündete man eine Kerze an und stellte sie in die Mitte des Tisches. Die Kinder hatten somit die Aufgabe, die Brille aufzusetzen und die Anzahl der Kerzen, die sie sehen, zu zählen. Bei diesem Experiment fiel den Kindern direkt auf, dass die Kerze öfter als einmal zu sehen ist. Danach wurden die Kinder gebeten, einen ersten Erklärungsversuch zu unternehmen. Den meisten fiel beim Umdrehen der Brille auf, dass das Brillenglas kantig geschliffen ist und somit das Licht spiegelte, weshalb die Kerze insgesamt 24-mal gesehen wurde.

Währenddessen betreute Selin die restlichen Grundschüler. Hierzu wurde eine Dartscheibe mit Klettbällen aufgebaut und die Kinder wurden gebeten, mit zwei unterschiedlichen Brillen auf die Dartscheibe zu werfen.

Die Brillen verschoben die Sicht, die eine um 30 Grad nach links, die andere um 30 Grad nach rechts. Als das erste Kind die erste Brille aufgesetzt hat, stellte sich heraus, dass es schwierig ist, die Zielscheibe zu treffen. Die Kinder hatten jeweils zwei Bälle und somit zwei Versuche. Durch den Effekt der Brille war die Zielscheibe, je nach Brille, eher nach rechts oder eher nach links verschoben, weshalb sie sich erst an die Veränderung, dass Motorik und visuelle Reize nicht, wie gewohnt, übereinstimmen, anpassen mussten. Nach einiger Zeit und einigen Versuchen gelang dies dann auch.

Nachdem wir beide fertig waren, vereinten wir uns wieder und bauten die nächste Station auf:

Hierzu haben wir fünf Pylonen in einer Reihe aufgestellt.

Für diesen Versuch wurden Alkohol-Brillen, auch Rauschbrillen genannt, genutzt. Die erste Brille hat 1,8, die andere 2,6 Promille, sie simulieren also eine gewisse Blutalkoholkonzentration. Dies erzählten wir den Kindern jedoch nicht, denn unser Ziel war es, die Kinder selbst erraten zu lassen, um welche Art von Brillen es sich hier handelt.

Die Aufgabe der Kinder war es, sich eine der beiden Brille aussuchen und sie dann aufsetzen. Nun sollten sie versuchen, mithilfe der Brillen im „Slalom“-Stil um die Pylonen herum zu gehen.

Wir hatten außerdem auch Zugang zu einem Bobbycar, welches die Grundschüler sehr gerne, auch im „Slalom“-Stil und mit den Brillen durch die Pylonen, zu steuern versuchten.

Der Effekt der ersten Brille mit 1,8 Promille ist, dass die Pylonen weiter entfernt erscheinen, als sie tatsächlich sind. Des Weiteren sehen die Kinder die Pylonen doppelt und haben somit Schwierigkeiten, nicht gegen die Pylonen zu laufen oder zu fahren. Aufgrund dessen wird das Sehvermögen der Kinder geschwächt. Ein weiterer Effekt, welchen die Kinder auch direkt erkannt haben, ist, dass Gleichgewichtsstörungen auftreten.

Der Effekt der Brille mit 2,6 Promille ist, dass die die Pylonen sehr groß erscheinen. Zusätzlich hatten die Kinder das Gefühl, dass die Pylonen sehr nah an ihnen seien. Durch diese Brille hat man ebenfalls Gleichgewichtsstörungen.

Nachdem jedes Kind beide Brillen aufgesetzt hatte und um die Pylonen umherging, haben wir die Kinder gefragt, welche Effekte sie gespürt haben und wo der Unterschied zwischen den beiden Brillen lag.

Den meisten ist ein deutlicher Unterschied zwischen beiden aufgefallen, viele empfanden die Brille mit dem niedrigeren Promillegehalt als „einfacher“.

Nach ungefähr 10-15 Minuten waren wir fertig und die Kinder mussten dann zu der nächsten Station gehen.

2.2 Bericht der Grundschulbesuche

Wie schon in der Einleitung erwähnt, sind ab den Herbstferien jede Woche Donnerstag Grundschüler von Wuppertaler Grundschulen zu uns ans Carl-Fuhlrott-Gymnasium gekommen.

Wir Schüler aus dem Projektkurs Milena haben uns schon in der Pause im Physik Raum getroffen, um die Stationen für die Kinder aufzubauen. Nach ungefähr 15 Minuten waren die Stationen fertig aufgebaut und wir haben uns schon auf die Zeit mit den Kindern sehr gefreut.

Ab ca. 10.25 Uhr sind die Grundschüler angekommen. Meistens hat ein Schüler des Projektkurses zusammen mit Herrn Winkhaus die Kinder auf dem Schulhof dann empfangen. Nachdem Herr Winkhaus sich vorgestellt hat, wurden die Kinder auch schon in verschiedene Gruppen aufgeteilt. Die Grundschüler wurden dann von jenem Schüler zum Physikraum geleitet. Als die Kinder den Raum betraten, hat man die Freude der Kinder schon gesehen. Sie sollten schonmal ihre Rucksäcke und Jacken ausziehen und auf einen Tisch legen.

Nachdem die Sachen der Kinder abgelegt wurden, konnten wir auch schon beginnen, indem die Kinder in Dreier- oder Vierergruppen aufgeteilt wurden.

Die jeweiligen Gruppen sind pro Station ca. zehn Minuten geblieben. In dieser kurzen Zeit haben wir dann versucht, viele Experimente und Versuche durchzuführen. Kurz vor dem Wechseln haben wir dann die Kinder gefragt, ob ihnen die Station gefallen hat. Anhand der Reaktionen konnten wir direkt feststellen, dass die Kinder die Station mochten und mit ganz viel Spaß und Interesse experimentiert haben.

Als die Zeit dann vorbei war, konnten wir anhand der Gesichter erkennen, dass die Kinder traurig waren, da sie die Station, hinsichtlich der spaßigen Versuche noch nicht wechseln wollten.

Nachdem die Kinder alle Stationen in der Physik besucht hatten, war die Zeit auch schon rum und die Kinder mussten zurück, um ihre Jacken und Rucksäcke abzuholen.

Die Grundschulkinder wurden dann von Herrn Winkhaus abgeholt und er brachte die nächste Gruppe mit.

2.3 Lerneffekt

Doch nun stellt sich die Frage, was für einen Lerneffekt unsere Station auf die Kinder hatte.

Dies werden wir im folgenden Text erläutern:

Vorerst ist jedoch zu erwähnen, dass jedes spielerische Experiment einen anderen Lerneffekt auf die Kinder hat.

Der Lerneffekt der Facettenaugenbrille ist, dass den Kindern ein Phänomen der Natur nähergelegt wird und sie sich einfacher und besser in die Augen eines Tieres hineinversetzen können. Dies lässt sich mit den Entwicklungsstufen nach Jean Piaget überprüfen: dieses erziehungswissenschaftliche Konzept geht davon aus, dass Kinder gemäß ihrem Intellekt und dem sozialen Umgang verschiedene Stufen durchlaufen[1]. Kinder im Alter bis 5 Jahre können sich, laut Piaget, wegen ihres egozentrischen Denkens nicht in Sichtweisen von Objekten oder Menschen hineinversetzen. Da Piaget die Grenzen der Entwicklungsstufen nicht klar gesetzt, sondern nur geschätzt hat, war es umso spannender, die Grundschüler dabei zu beobachten, da sie offensichtlich dazu in der Lage waren, sich in die Sichtweise eines Insekts mit Facettenaugen hineinzuversetzen.

Außerdem war unser Ziel, dass die Kinder an neue Formen der Sinneswahrnehmungen herangeführt werden.

Bei dem Experiment, bei welchem die Sicht der Brillen verschoben war, soll den Grundschülern bewusstwerden, dass manche Menschen, zum Beispiel Betroffene von Winkelfehlsichtigkeit, also verstärktem Schielen verschoben sehen und aufgrund dessen viele Probleme im Alltag auftreten. Wir wollten somit die Kinder aufklären, was uns dann durch unsere Aufklärungen am Ende des Experiments gelungen ist.

Unser Ziel des Experiments mit den Alkoholbrillen war uns schon von Anfang an klar.

Wir haben uns explizit für die zwei Alkoholbrillen entschieden, da wir die Kinder nach dem Experiment direkt aufklären wollten. Wie schon am Anfang der Projektarbeit erwähnt, haben wir die Kinder erstmals selbst überlegen lassen, um welche Art von Brille es sich handelt. Nachdem die Kinder erste Vermutungen aufgestellt haben, erzählt wir ihnen,

[1] Kahl, Yana: Entwicklungsstufen nach Piaget – Entwickelt sich mein Kind seinem Alter entsprechend? Link: https://blog.cognifit.com/de/piaget-theorie-entwicklungsstufen/ (abgerufen am: 31.05.2022, 21:20 Uhr)

dass es sich hier um sogenannte Alkoholbrillen handelt. Manche Kinder konnten sich unter dem Begriff „Alkohol“ nichts vorstellen. Insofern war unser erstes Ziel, den Kindern den Begriff und die Auswirkungen des Alkohols zu erklären. Nachdem dies erfolgt ist, haben wir die Kinder aufgeklärt, indem wir erklärt haben, dass Alkohol nicht für Kinder geeignet ist. Wir haben dann versucht den Kindern zu verdeutlichen, dass Alkohol einiges an der Sinneswahrnehmung verändern kann. Dies haben die Kinder durch das eigene Experimentieren der Brillen bestätigt. Durch das Ausprobieren der Brillen hatten die Kinder Schwierigkeiten, und erzählten uns dann nach der Aufklärung, dass sie niemals Alkohol zu sich nehmen werden. Dadurch haben die Kinder uns gezeigt, dass sie uns zugehört haben und, dass unsere Prävention Wirkung gezeigt hat.

Zusammenfassend kann man sagen, dass alle Experimente unterschiedliche pädagogische Ziele verfolgten, diese jedoch von jedem Kind, wenn auch auf unterschiedliche Weise, wahrgenommen werden konnten.

Abbildung 1: Die Facettenaugenbrille (Quelle: H.-H.-Grundschule)

3. Ein Teleskop aus dem 3D-Drucker

3.1 Erklärung der Funktionsweise eines 3D-Druckers

Es gibt mehrere Arten von 3D-Druck. Der in unserem Fall genutzte Drucker ist ein FDM-Drucker, dies bedeutet **F**used **D**eposition **M**odeling. Dieses Verfahren existiert schon seit den 1980ern und findet seit jeher in der Industrie immer öfter Anwendung.

> Diese Technik wird oft als die wohl simpelste der bestehenden Technologien beschrieben. FDM basiert grundsätzlich auf vier Elementen: einem Druckbett, auf dem das Objekt gedruckt wird, einer Spule Filament, die das Druckmaterial liefert, sowie einem Druckkopf, der auch Extruder genannt wird. Zusammenfassend kann man sagen, dass das Filament abgerollt und anschließend vom Extruder geschmolzen wird, der nun das Material Schicht für Schicht auf der Druckplatte ablegt.
>
> Wer „3D-Druck“ sagt, spricht gleichzeitig vom „3D-Druck-Modell“. Alles beginnt mit der virtuellen Konzeption eines Objektes mit Hilfe einer CAD-Anwendung (wie zum Beispiel Fusion360, TinkerCAD oder Blender). Bevor die erhaltene 3D-Datei an den Drucker geschickt wird, wird sie (meistens im Format STL) über eine spezielle „Slicing“-Software, wie zum Beispiel Simplify3D, Cura oder PrusaSlicer, in viele einzelne Schichten zerlegt. Nun kann der Druck selbst beginnen.
>
> Der 3D-Druck beginnt mit der Aufheizung des Gerätes auf eine Temperatur von ca. 200°C, welche für das Aufschmelzen des Materials erforderlich ist. Als die wichtigsten Materialien im Bereich FDM gelten PLA (Polylactide) und ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer).
>
> Wenn der Drucker einmal aufgewärmt ist, wird das Filament entweder mit dem Durchmesser 1,75 mm oder 2,85 mm auf dem Druckbett abgetragen, indem die Düse sich entlang der X-, der Y- und der Z-Achse bewegt. Nach jeder abgeschlossenen Lage hebt sich der Extruder an (Z-Richtung) und so entsteht Schicht für Schicht das finale Objekt. […] Andere etwas komplexere Drucker machen es möglich, mehrere Farben oder verschiedene Materialien miteinander zu kombinieren.[2]

Wir besitzen zwei Prusa Research-Drucker (*Abbildung 1*), die wir schon im Vorhinein hatten. Prusa Research ist eine, in den letzten Jahren immer beliebter gewordene, tschechische Firma, die ihre Drucker als „Open Source“ verkauft, was bedeutet, dass die Software für jeden zugänglich ist und sie jeder somit auch modifizieren kann.

[2] Vgl. H., Alexander: FDM / FFF: Wir erklären Ihnen das 3D-Druckverfahren. Link: https://www.3dnatives.com/de/3d-druck-schmelzschichtung/#! (22.04.22, 18:45 Uhr)

Abbildung 2: Der Prusa MK3S+ (Quelle: PrusaResearch)

Beim Druck des Teleskops haben wir uns für ein Karbon-Plastik-Gemisch entschieden. Es wird mit Karbon-Fasern verstärkt und kann daher maximale Belastung aushalten. Es ist hitzebeständig (es wird bei ca. 240°C gedruckt), daher hält es auch Elektronik, die warm werden könnte, aus[3]. Außerdem ist Karbon dafür bekannt, leicht zu sein, was auch ein Vorteil ist.

Um Karbon zu drucken, muss eine Düse aus gehärtetem Stahl benutzt werden, da sich normale Düsen aus Messing bei diesem Material sehr schnell abnutzen. Die spezielle „Nozzle X“ ist laut Hersteller der perfekte Kompromiss zwischen Kosten und Verschleißfestigkeit. Außerdem ist sie mit einer „polyphoben Nanobeschichtung“ überzogen, wodurch einerseits die perfekte „erste Schicht“ gedruckt werden kann – das Ziel eines jeden 3D-Druck-Hobbyisten ist es, eine perfekte erste Schicht auf das Druckbett zu bringen, da so der Druck meist sicher gelingt. Dazu muss der Drucker auf ein paar Millimeter genau kalibriert werden. Die meisten neueren 3D-Drucker auf dem Markt haben mittlerweile die Funktion, dies automatisch zu tun. Dazu befindet sich ein Sensor am Extruder, der den Abstand zwischen Druckbett und Extruder misst.

Ist die erste Schicht uneben, zu hoch oder tief, scheitert so meist der ganze Druck. Die Nanobeschichtung verhindert das ungewollte Mitziehen der Schicht auf der Druckplatte, sodass der Druck meist sicher gelingt.

[3] Vgl. Extrudr: GreenTEC Pro Carbon. Link: https://www.extrudr.com/de/produkte/catalogue/greentec-pro-carbon_2410/ (abgerufen am: 28.04.2022, 11:20 Uhr)

Andererseits haftet so weniger Material an der Düse, was sonst auch dafür sorgen kann, dass der Druck mitgezogen wird oder aus anderen Gründen scheitert[4].

Ein paar der Teile drucken wir auch in farblosem PETG (Polyethylenterephthalat), dieses ist vor allem für mechanische Funktionsteile von Vorteil, da es witterungs- und verschleißbeständig ist, und man es mit Leichtigkeit drucken kann. Es hat außerdem eine höhere Schmelztemperatur und ist in einem weiten Temperaturspektrum stabil[5]. Dazu gibt es eine Studie eines bekannten Video-Produzenten auf der Plattform „YouTube"; dabei kam heraus, dass vor allem PLA und PETG das meiste Gewicht ertragen können[6].

Nun stellt sich die Frage, warum wir ausgerechnet das „GreenTEC Pro Carbon" und nicht PLA oder PETG für die Außenhülle gewählt haben:

Zuerst ist das Karbon-Filament eben nur zu einem Teil aus Karbon, der andere Inhalt ist ein Gemisch aus mehreren abbaubaren Polymeren, darunter eben auch PLA und PETG. Das Hinzufügen von Kohlenstofffasern erhöht die Festigkeit und Steifigkeit.

Bei dem 3D-Druck druckt man Schicht auf Schicht, wobei man, beispielsweise bei unförmigen Objekten, natürlich nicht in die Luft drucken kann. Dabei kommen sogenannte „Stützstrukturen" zum Einsatz (*Abbildung 2*). Wie der Name schon verrät, helfen diese Konstruktionen dabei, das Modell zu stützen. Diese kann man auch im „Slicer" einstellen und gewünscht anpassen. Mit der Software ist es auch möglich, die Strukturen automatisch an Überhängen von einem Winkel über einer gewissen Gradzahl zu setzen, sodass dann beispielsweise alle Überhänge ab einem Winkel von 45° automatisch gestützt werden. Dies wird uns auch beim Bau des Teleskops in die Hände spielen, da bei den gestalteten Modellen auch Flächen „in der Luft hängen". Die Stützstrukturen können nach dem abgeschlossenen Druck einfach entfernt werden.

---

[4] 3DJake/E3D: Nozzle X. Link https://www.3djake.de/e3d/v6-nozzle-x-175-mm/ (abgerufen am 29.04.2022, 09:30 Uhr)
[5] Filamentworld: PETG. Link: https://www.filamentworld.de/3d-druck-wissen/was-ist-petg/ (abgerufen am: 28.04.2022, 11:20 Uhr)
[6] Hermann, Stefan (CNC Kitchen): Comparing PLA, PETG & ASA – feat. Prusament. Link: https://www.cnckitchen.com/blog/comparing-pla-petg-amp-asa-feat-prusament (abgerufen am: 29.04.2022, 09:00 Uhr)

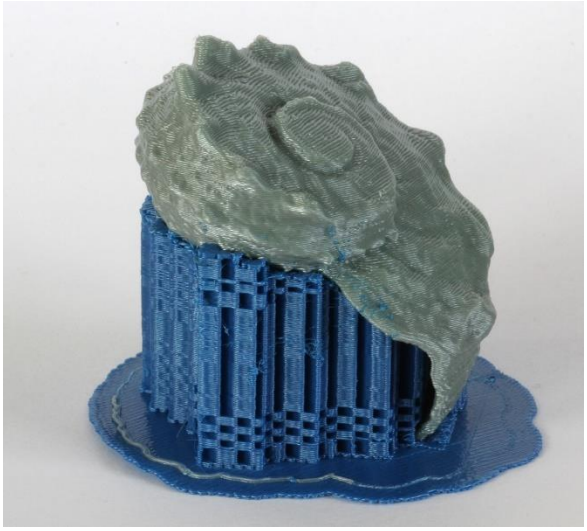

Abbildung 3: Stützstrukturen (Quelle: TLB.de)

Bei einem 3D-Druck ist ein weiterer wichtiger Faktor das „Infill“, auf Deutsch die „Fülldichte“. Dabei handelt es sich um einen Prozent-Faktor, wie sehr das 3D-Modell beim Druck gefüllt werden soll. Dann gibt es noch sogenannte „Füllmuster“, also welches Muster beim Füllen verwenden werden soll. Typische Muster sind Gitternetze, Dreiecke, Honigwaben oder Gyroid (*Abbildung 3*). Ursprünglich ist das 3D-Modell beim Design-Prozess massiv, beim Druck wird es aber vom „Slicer“ umgewandelt. Das kann verschiedene Gründe haben: dichte Modelle haben mehr Stärke, allerdings kann weniger Füllung Material und/oder Zeit und Gewicht sparen. Beim Bau des Teleskops ist es wichtig, Stärke zu haben. Da unser ausgewähltes Material kostspielig ist und das Teleskop später auch tragbar sein soll, müssen wir einen Kompromiss finden, also schätzungsweise 20 bis 30 Prozent.

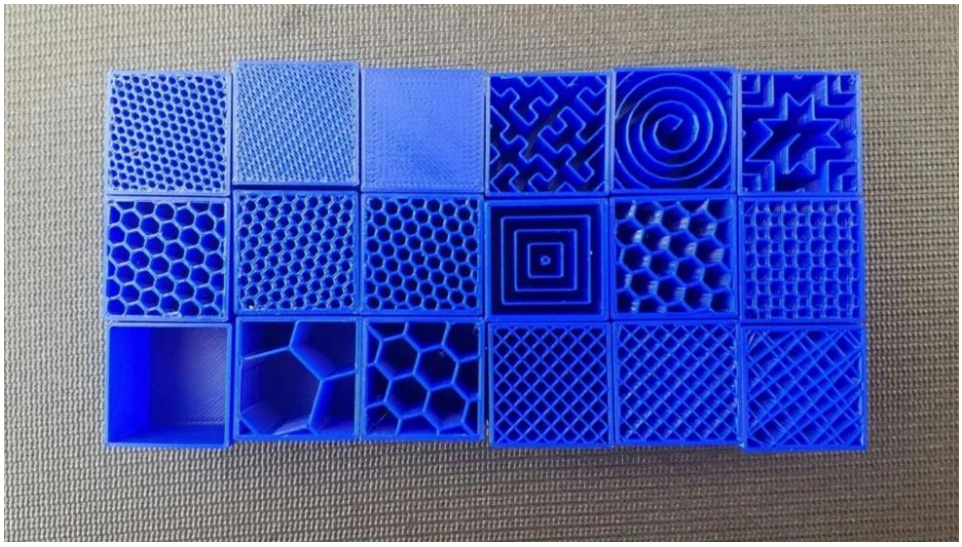

Abbildung 4: Die verschiedenen "Infill"-Typen (Quelle: All3DP)

Mittlerweile gibt es eine große Anzahl an 3D-Druck-Fanatikern, auch „Maker“ genannt, die sich auf diversen Plattformen versammeln und Wunderbares erschaffen. Diese sind auf allen gängigen sozialen Medien und in eigenen Blogs präsent. Aber natürlich kann man seine 3D-Modelle nicht über soziale Medien verschicken, dazu muss etwas Eigenes her. Das dachte sich auch MakerBot Industries, einer der ersten Hersteller von 3D-Druckern, durch die 3D-Druck erst richtig etabliert wurde. Im Jahre 2008 kam die erste richtige Plattform für 3D-Modelle heraus: das „Thingiverse“ (*Abbildung 4*). Der Name spielt auf das eigene Universum aus Things (zu Deutsch: Sachen) an, damit sind die einzelnen 3D-Modelle und Projekte gemeint.

Wenn man dort ein bisschen herumstöbert, kann man zu jedem Schlagwort etwas finden. Es gibt nützliche Modelle, z. B. für den Haushalt oder die Werkstatt, Spielzeuge und Modellbau, 3D-Drucker-Erweiterungen, Kunst, Lernmodelle und vieles mehr.

Diese Plattform ermöglicht es außerdem jedem Nutzer, seine selbsterstellten 3D-Modelle hochzuladen und nachgedruckte Modelle zu veröffentlichen, sowie Modelle von anderen Nutzern zu überarbeiten und als einen sogenannten „Remix“ zu „posten“.

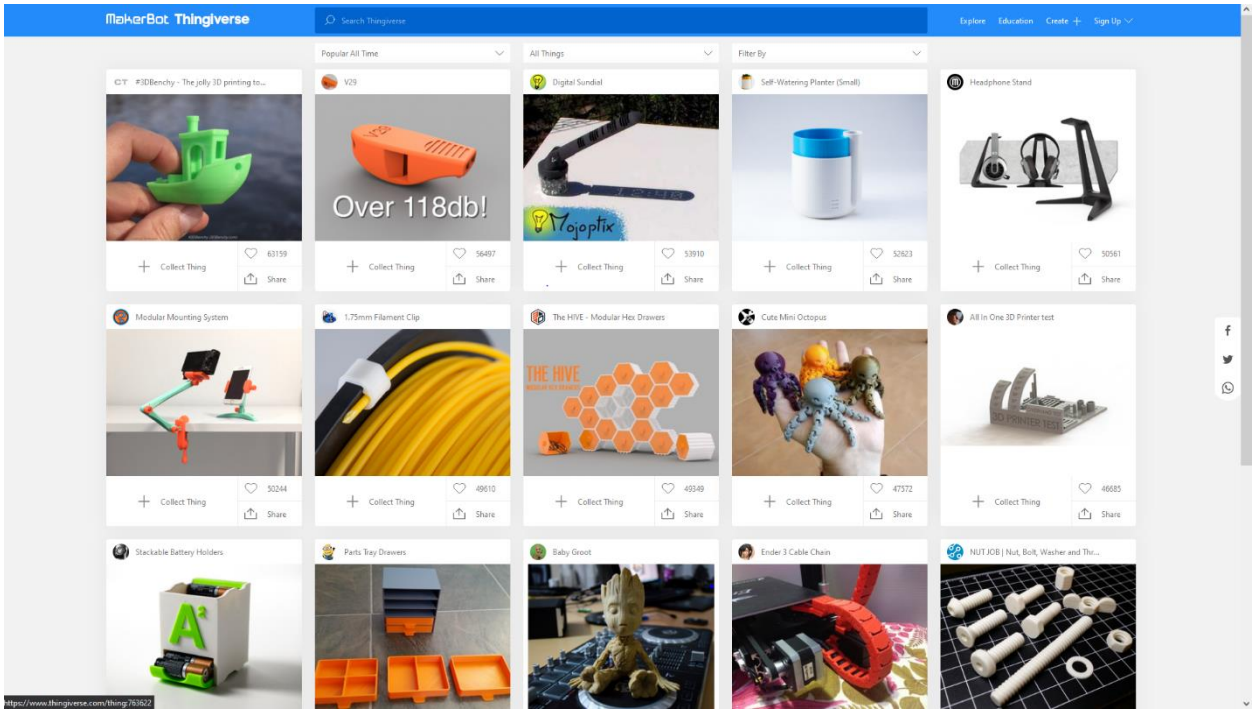

Abbildung 5: Ausschnitt der Plattform 'Thingiverse' (Quelle: eigene Aufnahme)

3.2 „The Micro Scope“

Ebendiese Plattform hat auch eine eigene Kategorie für Mathematik und Astronomie, Modelle und Lernmodelle. Da es sehr interessant ist, die Plattform nach neuen potenziellen Drucken zu durchstöbern, stießen wir dann auf das sogenannte „Micro Scope“ vom Nutzer ‘GregoryHolloway‘, was schon auf den ersten Blick äußerst interessant erschien[7]. Zunächst schauten wir uns auf dem „Instructable“ zum gleichnamigen Projekt um[8]. Während bei Thingiverse außerdem nur wenig Fläche für detaillierte Bauanleitungen zur Verfügung steht, gibt es bei Instructables unbegrenzt Raum für genaue Schritt-für-Schritt-Anleitungen (mit Bildern).
Wir luden uns die „Bill of Materials“ herunter, eine Excel-Tabelle mit einem Kostenüberschlag. Denn: jedes technisch-aufwendige Projekt fängt mit der Planung an.

Leider gab es noch nicht viele Referenzen, das Projekt wurde erst im Februar 2021 veröffentlicht. Es hatten aber schon Leute nachgebaut und es hat scheinbar funktioniert, was ein gutes Zeichen war.

Zunächst besorgten wir uns die genauen Baupläne und Skizzen. Man merkte, dass das Projekt sehr gut konstruiert war. Es bestand aus mehreren zusammengebauten Sektionen, die dann so miteinander verbunden werden, dass ein großes Ganzes entsteht. Es gibt außerdem noch eine Fernbedienung und eine tragbare Batterie mit verbautem WLAN-Router. Da wir mit dem Hintergedanken spielten, das Teleskop eventuell noch weiter zu modifizieren, luden wir uns Stellarium herunter. In dem Programm kann man außerdem die gängigste Technik, wie z. B. verschiedene Kamera-Chips oder Objektive testen und sehen, was als Resultat erwartet werden kann.

---

[7] Holloway, Gregory: The Micro Scope | a Miniture GOTO Telescope. Link: https://www.thingiverse.com/thing:4708262 (abgerufen am: 01.05.2022, 22:00 Uhr)
[8] Holloway, Gregory: The Micro Scope | a Miniture GOTO Telescope. Link: https://www.instructables.com/The-Micro-Scope-a-Miniture-GOTO-Telescope/ (abgerufen am: 01.05.2022, 22:00 Uhr)

Denn ein zentraler Punkt unterscheidet sich von professionellen Teleskopen: das „Micro Scope“ benutzt Technik, die für jeden einfach beschaffbar ist und verbaut und benutzt werden kann.

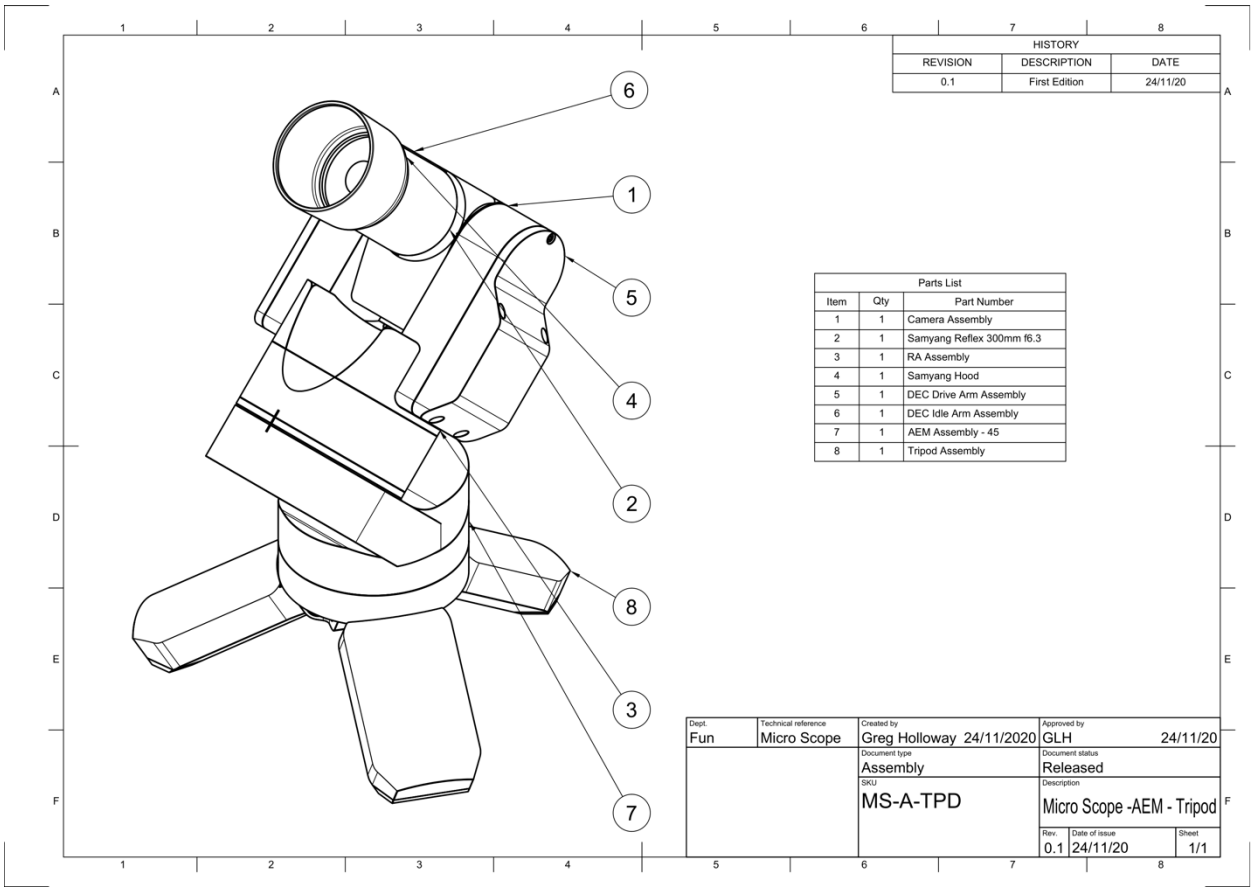

Abbildung 6: Skizze des "Micro Scope" (Quelle: Greg Holloway)

Grundlegend hat das geplante Teleskop ein Objektiv mit 300mm Brennweite. Dies wird an einen Kamera-Sensor geschraubt, welcher mit einem kleinen Mini-Computer, einem Raspberry Pi, verbunden ist. Das Teleskop kann mithilfe eines Sternenkatalogs und dem Bild, was es über das Objektiv empfängt, sowie einem GPS-Sensor ganz genau ausgerichtet werden. Zu unserem Glück gibt es die Software dafür schon, diese ist „Open Source“.

Das Teleskop besteht aus insgesamt sechs Einheiten (*Skizzen im Anhang*): der Kameravorrichtung, der äquatorialen Montierung, der Deklinationsachse, der tragbaren Batterie mit WLAN-Router, der Rektaszensionsachse, der Fernsteuerung und dem Stativ.

Die Begriffe „äquatoriale Montierung“, „Deklination“ (DEC) und „Rektaszension“ (RA) sind im nicht-astronomischen Bereich weitgehend unbekannt.

Eine Definition der beiden Achsen findet man im Internet:

> RA (Rektaszension) und DEC (Deklination) sind für den Himmel das, was Längengrad und Breitengrad für die Erdoberfläche sind. Rektaszension entspricht der Ost/West-Richtung (wie die geografische Länge), während Deklination die Nord/Süd-Richtung misst (wie die geografische Breite).
>
> RA wird in der Tat in Stunden, Minuten und Sekunden gemessen. Das liegt daran, dass wir aufgrund der Erdrotation während der Nacht verschiedene Teile des Himmels sehen. Das bedeutet, dass, wenn ein Objekt bei, sagen wir, 3h 5m 38s, jetzt über uns ist, dass in einer Stunde ein Objekt bei 4h 5m 38s über uns sein wird, und so weiter. 0 Stunden Rektaszension entspricht der Konvention zufolge der Rektaszension der Sonne am 21. März, dem Frühlingsäquinoktium. Ihr Objekt befindet sich also 3h 5m 38s östlich des Frühlingsäquinoktiums.
>
> Die Deklination wird in Grad, Bogenminuten und Bogensekunden gemessen. Ein Grad besteht aus 60 Bogenminuten und eine Bogenminute aus 60 Bogensekunden. Die Symbole für Bogenminuten und Bogensekunden sind die gleichen wie die für Fuß und Zoll (obwohl wir manchmal einen kleinen Bogen über die ' und " Zeichen zeichnen, um sie von den Fuß- und Zollzeichen zu unterscheiden). Ihr Objekt befindet sich also 48 Grad, 50 Bogenminuten und 2 Bogensekunden nördlich des Himmelsäquators, der der Ursprung des Deklinationssystems bei genau 0 Grad ist. Der Himmelsäquator ist der Teil des Himmels, der sich direkt über dem Äquator der Erde befindet. Der Nordstern befindet sich bei etwa +90 Grad, während der Südpol bei -90 Grad liegt, genau wie der Breitengrad auf der Erde.
>
> Die Deklination gibt an, wie hoch das Objekt am Ende über der Erde stehen wird. Ein Objekt mit einer Deklination von +48 Grad würde also jede Nacht direkt über einem Punkt auf der Erde auf 48 Grad nördlicher Breite vorbeiziehen. Wenn Sie auf, sagen wir, 38 Grad nördlicher Breite stünden, würde das Objekt seine größte Höhe 48-38=10 Grad nördlich am Himmel von oben erreichen[9].

Die äquatoriale Montierung dient dazu, die Erddrehung auszugleichen. Die bei diesem Teleskop verwendete Art von Montierung wird auch Gabelmontierung genannt.

Die Software muss genau aufeinander abgestimmt werden und kompatibel miteinander sein, damit alles funktioniert. Der Erfinder des Projekts schlug „Ekos“, bzw. „INDI“ vor, eine Software, die als Brücke zwischen der weiteren Software und Hardware dient. Es wird auch in größeren Observatorien verwendet, um die Teleskope zu steuern.

Um die Motoren auf die richtige Position zu bringen, benutzen wir „OnStep“. Dies ist ein spezielles Programm, welches gezielt für selbstgebaute Teleskope verwendet werden kann. Die Software bedient die verbauten Schrittmotoren.

---

[9] Saintonge, Amelie: What are RA and DEC? (Intermediate). Link: http://curious.astro.cornell.edu/about-us/112-observational-astronomy/stargazing/technical-questions/699-what-are-ra-and-dec-intermediate (abgerufen am 02.05.2022, 09:50 Uhr) (Übersetzung, Original im Anhang)

Der Aufbau sollte wie folgt aussehen: INDI verfügt über eine digitale Sternenkarte mit Koordinaten in ihrem System. Der Raspberry Pi, auf dem INDI geladen und die Kamera angeschlossen ist, gleicht die Bilder ab und sichert seine Position via GPS-Sensor. INDI kommuniziert dementsprechend bei der Eingabe bestimmter Planeten oder Koordinaten mit OnStep, welches dann die Schrittmotoren bewegt und sich somit nach Wunsch ausrichtet. Das Ergebnis wird von der Software konstant mit dem Bild der Kamera abgeglichen, um zu versichern, dass alles funktioniert (*Abbildung 6*).

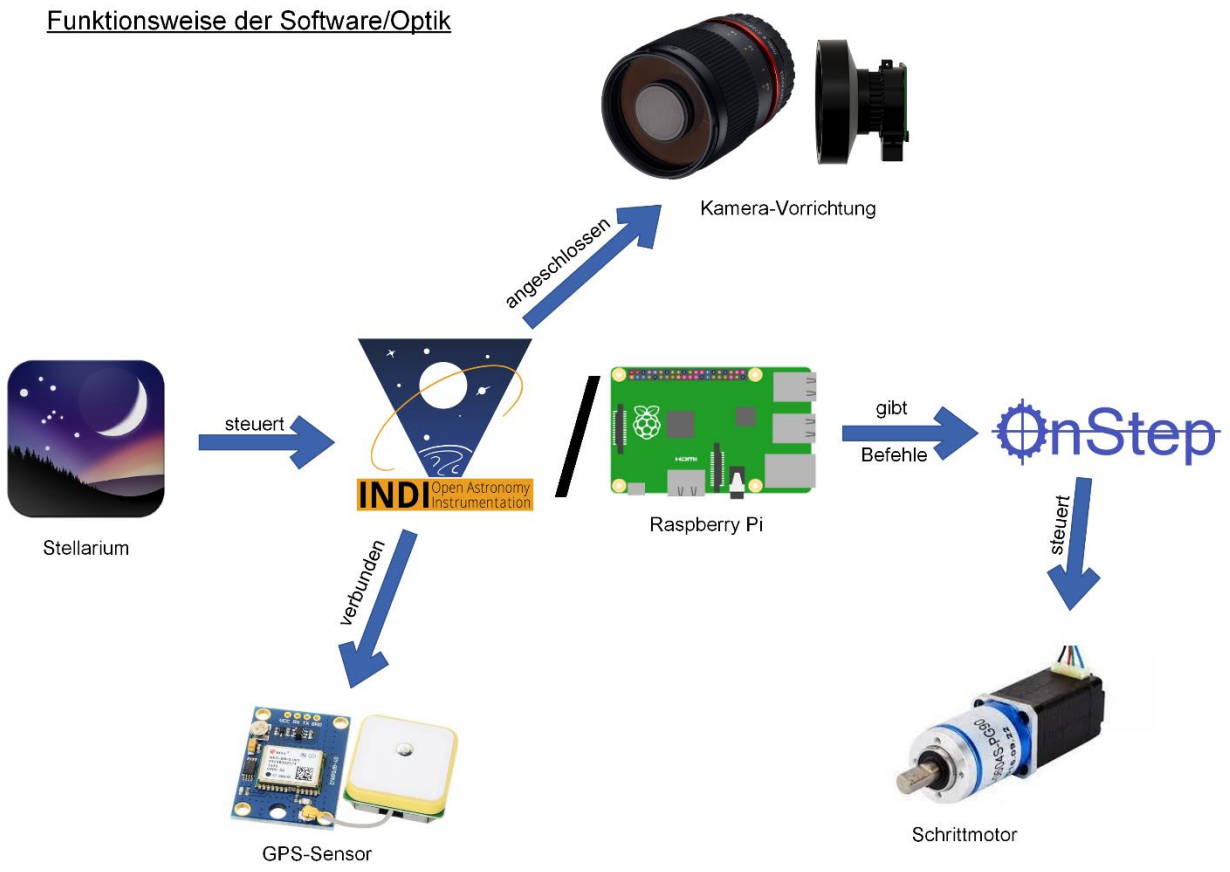

Abbildung 7: Software/Optik-Aufbau (Quelle: eigene Komposition)

Da INDI keine direkte Benutzeroberfläche, sondern nur einen „Web-Manager“ (*Abbildung 7*) anbietet, benutzen wir Stellarium. Es gibt eine installierbare Erweiterung, die Teleskopsteuerung, die via Bluetooth GoTo-Teleskope steuern kann. Eine andere Option wäre die vom Ersteller vorgeschlagene Software „KStars“.

Als wir beide testeten, überzeugte uns jedoch Stellarium mehr, da die Benutzeroberfläche und Bedienung simpler und besser kontrollierbar sind (*Abbildung 8*).

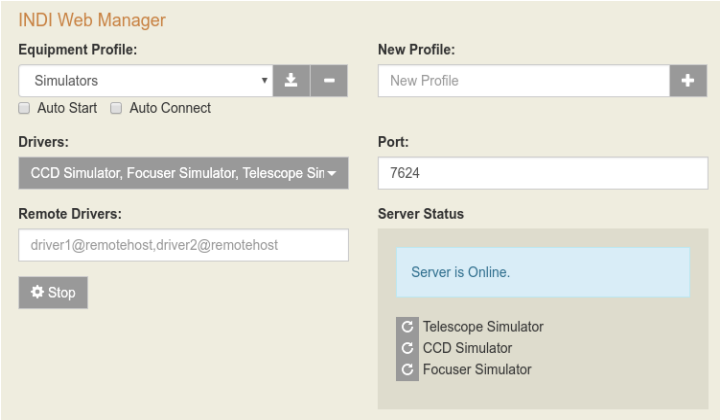

Abbildung 8: Der INDI "Web-Manager"; für uns keine langfristige Option (Quelle: INDI Library)

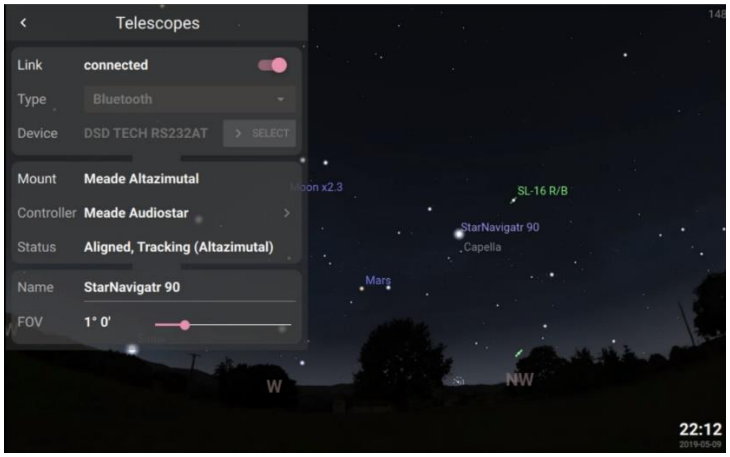

Abbildung 9: Stellarium's Teleskopsteuerung (Quelle: Stellarium Labs)

Da dieses Teleskop mit einer digitalen Kamera arbeitet und es dadurch keine Möglichkeit gibt, ein Okular zu verbinden, kann man die Objekte nachher nur durch Fotos oder Videos, bzw. eine Software, betrachten. Dafür eignet sich N.I.N.A (Nighttime Imaging 'N' Astronomy), ein kostenloses Programm zur Astrofotografie.

Mit N.I.N.A kann man außerdem ganze Sequenzen planen und umsetzen, was bedeutet, dass man theoretisch das Teleskop aufstellt, ein Skript erstellt, und das Teleskop dann zu den ausgewählten Himmelsobjekten fährt, sich ausrichtet, die theoretische Position mit der tatsächlichen abgleicht (diesen Vorgang nennt man Plattenlösung) und dann Bilder macht. Diese werden dann systematisch gespeichert.

Da diese Bilder manchmal etwas verschwommen sein können, sollte man diese dann „stacken“. Dies funktioniert durch ein Programm („DeepSkyStacker“), dass aus allen Bildern ein optimales Bild erstellt. Dieses kann dann (je nach Dateiformat) in den üblichen Bildbearbeitungsprogrammen (z. B. Photoshop oder GIMP) weiterbearbeitet werden.

3.3 Bau des Teleskops

Als erstes müssen elektronische Teile bestellt und die 3D-Modelle gedruckt werden. Dies war zum Zeitpunkt der Bestellungen eine große Herausforderung; in der Millionen-Metropole Shenzhen in China, die eine der führenden Technik-Produktionsstätten ist, wurde ein strikter Shutdown wegen aktueller Corona-Fallzahlen für mindestens eine Woche angeordnet. Gleichzeitig wurde der Weltmarkt durch den russischen Angriff auf die Ukraine erschüttert und der weltweite Mangel an Halbleitern resultierte zusätzlich in aufsteigenden Technikpreisen.

Also erkundigten wir, bis der Lockdown in Shenzhen gelockert wurde, nur, was genau wir kaufen mussten und vor allem wie viel, denn an einigen Stellen war die „Bill of Materials“ etwas schwammig.

Dann wurde der Lockdown tatsächlich aufgehoben und die Weltwirtschaft entspannte sich, trotz anhaltendem Krieg in Europa.

Die meisten Teile, die wir direkt bestellten, kamen schnell an. Wenn man jedoch Technik bei „Aliexpress“, einem chinesischen Vertrieb der „Alibaba“ Gruppe, bestellt, dauert es meist zwei Wochen bis zum Eintreffen der Teile.

Notgedrungen mussten wir den Raspberry Pi von einem Privatverkäufer kaufen, da der Kaufpreis bei anderen Händlern das Doppelte vom Original betrug.

Währenddessen konnte es schon an das 3D-Drucken gehen:

Der Drucker lief Tag und Nacht und kein Druck ging schief, obwohl besonders Karbon anspruchsvoll zu drucken ist. Nach ca. 11 Tagen und Nächten waren alle Drucke fertig: dies ging vor allem so schnell, weil wir die Drucke schon vorher in mehrere Druckplatten aufteilten und möglichst viele Modelle auf eine Platte platzierten (*Abbildungen 17-21 im Anhang*).

Die Drucke waren sehr präzise, weshalb wir nichts nachbearbeiten mussten (bei Druckern von schlechter Qualität müssen Bohrlöcher und Überhänge oft nachgebessert werden).

Für das Projekt werden außerdem Zahnriemen mit 150 Zähnen benötigt, welche aber nicht rechtzeitig angekommen sind. Es hat sich herausgestellt, dass es CAD-Modelle für Zahnriemen-Generatoren gibt, was bedeutet, dass man die Parameter dieser frei bestimmen kann.

Also passten wir die Parameter auf unseren Wunsch an (6 mm Höhe, 288/300 mm Länge, geschlossener Kreis, 144/150 Zähne) und druckten diese aus dem elastischen Material TPU. Diese Riemen müssen möglichst detailliert sein, weshalb diese in möglichst geringer Schichthöhe gedruckt werden sollten. Nach dem Eintreffen der Teile konnte es an das Bauen gehen:

Der ganze Bau begann mit der Kamera-Vorrichtung. Der Sensor wird in den 3D-Druck eingesetzt, festgeschraubt und mit dem Raspberry Pi verbunden, der dann auch eingebaut wird. Das GPS Modul wird auch noch in die Kamera-Vorrichtung eingesetzt und an den Raspberry Pi angeschlossen.

Als nächstes kommt die Deklinationsachse, die bei dem Bau in zwei Teile aufgeteilt wird: der „DEC Idle Arm“ und der „DEC Drive Arm“. Im „Drive Arm“ befinden sich die Motorentreiber und das CNC Board zusammen mit einem WeMos R32, das Herzstück des ganzen Teleskops. Diese werden also verkabelt, zusammengesetzt und verschraubt. Die Kabel hängen erst noch aus dem Gehäuse raus, darum wird sich später gekümmert.

Jetzt folgt die Rektaszensionsachse, dort werden zwei Kugellager eingesetzt. Ein Zahnrad und ein Zahnriemen, die mit dem Motor verbunden werden, sorgen dafür, dass sich die Achse später um sich selbst drehen wird. Auch hier hängen erst noch Kabel raus, werden aber später verbunden. Erst müssen die einzelnen Einheiten zusammengesetzt werden, dann wird alles miteinander verbunden.

Danach folgt die äquatoriale Montierung. Es ist wichtig, diese genau auszurichten, um die Erddrehung auszugleichen. Dazu nehmen wir unseren Breitengrad, für Wuppertal sind das ca. 51,25°N.

Als letztes kommt das Stativ. Dort werden auch die Buchsen verschraubt, wo später die Kabel zu Fernbedienung und Strom angeschlossen werden.

Für die Fernbedienung werden die Knöpfe eingesetzt und das Display und die Platine vorbereitet, also verkabelt. die Knöpfe werden reihengeschaltet und Widerstände eingesetzt, um die Spannung auszugleichen.

Für die tragbare Batterie wird alles mit dem Schalter verkabelt. Es befinden sich ein Akku, ein WLAN-Router und zwei Spannungsumwandler in dem Gehäuse. Das Ganze wird als Reihenschaltung verkabelt, sodass beim Einschalten des Akkus und des Schalters der WLAN-Router und die Stromversorgung reibungslos verläuft. Der Akku bietet Strom für ca. 12 Stunden, was in jedem Fall genug sein sollte.

Als alle Teile eingesetzt und festgeschraubt wurden, ging es an das Verbinden der Kabel, wo es wirklich schwammig wurde.
Normalerweise gibt es bei jedem großen Projekt ein „Wiring Diagram“. Dies gab es bei diesem Projekt nicht und basierte hauptsächlich auf Intuition und Bildern, die auch nicht alle Perspektiven einwandfrei zeigen. Da wir die Kabel trotzdem irgendwie verbinden mussten und auch keinen Kurzschluss oder Defekt auslösen wollten, durchsuchten wir zahllose Foren, insbesondere im Bereich „WeMos/OnStep“, dies ist der Hersteller des Mainboards und der Treiber, welche auch ein eigenes Forum bieten.
Dadurch fanden wir auch heraus, dass viele Selbstbau- und Hobbyteleskope mittels OnStep gesteuert werden.

Die Software auf das WeMos Board zu kriegen war eine wahre Herausforderung, die sich dann doch als einfach entpuppte. Es wird mit Arduino IDE programmiert, die Programmdateien können einfach von dem GitHub des Projekts runtergeladen werden[10]. Es gibt einen Konfigurator, wo man die Werte seiner Hardware eingeben kann, und eine Konfigurationsdatei bekommt, die man einfach in das Projekt einfügt.
Wie sich herausstellt, haben wir zuerst eine ältere Version des Konfigurators benutzt, weshalb wir dauerhaft Fehlermeldungen herausbekamen. Ein Post im Forum konnte das Ganze lösen. Einer der wichtigsten Werte, den wir noch ermitteln mussten, ist die „Schritt-pro-Grad“-Rate, also wie viele Schritte der die Achse durch den Schrittmotor für einen Grad am Himmel umsetzen muss. Das Ganze rechnet sich so:

$$Steps\ per\ degree = \frac{stepper\ steps * micro\ steps * \frac{belt\ teeth}{gear\ teeth} * overall\ gear\ reduction}{360°}$$

Bei der Deklinationsachse sieht das wie folgt aus:

$$S.p.d._{Dec} = \frac{200 * 32 * \frac{144}{16} * 90{,}25}{360} = 14440$$

Und für die Rektaszension dementsprechend:

$$S.p.d._{RA} = 200 * 32 * \frac{150}{16} * 90{,}25 = 15041{,}7$$

Die Werte dafür werden aus den Datenblättern der Schrittmotoren entnommen, bzw. „gear teeth“ meint die Anzahl der Zähne an dem, am Schrittmotor befestigten Rad.

[10] Dutton, Howard: OnStep release-4.24. Link: https://github.com/hjd1964/OnStep (abgerufen am: 30.05.2022, 14:30 Uhr)

Nach dem vielen „Feintuning“ kam die Config-Datei dann zustande und konnte auf das WeMos-Board geladen werden. Auch auf die Fernsteuerung wurde eine Software geladen.

Außerdem hat der WeMos R32 ein Problem mit der On-Board Stromversorgung, weshalb noch eine 5V Stromversorgung für den Ersatz-Bluetooth-Chip und die Fernsteuerung benötigt wird. Dazu wird ein Umwandler an die Stromversorgung angeschlossen, der von den 12V Eingangsspannung auf 5V runterregelt. Nach mehreren Versuchen mit dem Umwandler, der aber nur auf 8V runterregelt, haben wir uns entschieden, die Fernsteuerung erst einmal wegzulassen und ausschließlich über den Computer zu steuern.

Außerdem läuft der Raspberry Pi auch auf 5V, weshalb dort auch ein Umwandler platziert werden muss. Den Raspberry Pi kann man über den USB-C Anschluss, aber auch über die GPIO-Pins mit Strom versorgen.

Ebendieser wird danach auch eingerichtet und die Software „INDI“ darauf geladen.

Auf dem Raspberry Pi läuft zunächst die Software „Raspberry Pi OS Lite 64-bit“, welches keine Benutzeroberfläche bietet. Dafür kann man sich per Ethernet-Verbindung über SSH verbinden und so seine Befehle eingeben.

Die Software benötigt mehrere Pakete, um zu funktionieren, diese bestehen aus der INDI an sich, den GPS-Treiber, die INDI- und GPS-Drittbetreiberdienste (um später mit Stellarium arbeiten zu können) und den INDI Web-Manager (man sollte ihn installiert haben, selbst wenn er nicht benutzt wird).

Davor müssen aber erst grundlegende Bibliotheken installiert werden.

Dann sollte alles zugeschraubt werden können und die Beobachtungssoftware konfiguriert werden.

3.4 Theoretische Praxis-Grundlagen

Es wurde bereits erwähnt, dass wir schon im Vorhinein Stellarium austesteten und dort die Sensordaten und die des Objektivs eingaben – natürlich hofften wir, schöne und interessante Motive „vor die Linse“ zu bekommen.

Für den Anfang eignen sich helle Objekte am besten, bis man dann mit etwas Erfahrung auch „Deep Sky“ Objekte fotografieren kann. Im Deep-Sky Bereich eigenen sich die Messier-Objekte; 110, von dem Astronom Charles Messier im Jahre 1771 veröffentlichte, Himmelsobjekte. Diese Liste besteht aus verschiedenen Galaxien, Sternhaufen und Nebeln[11].

Im Juni sieht man zum Beispiel die Whirlpool Galaxie M51, die Bodes Galaxie M81 oder den Trifid Nebel M20[12].

Die Frage nach einem geeigneten Beobachtungsort mit möglichst viel Rundum-Blick, oder zumindest eines freien Sichtfeldes auf den Südhimmel, stellt sich weiterhin. Der perfekte Ort ist allerdings die Sternwarte am Carl-Fuhlrott-Gymnasium. Sie bietet den höchsten, für uns bestzugänglichen Ort in Wuppertal und einen weiten Blick mit nicht allzu hoher Lichtverschmutzung.

Die optimalen Orte und Daten können beispielsweise mit Hilfe der Internetseiten https://www.lightpollutionmap.info/, bzw. https://clearoutside.com ermittelt werden.

Um Galaxien und andere Deep-Sky-Objekte wirklich gut fotografieren zu können, müssen die Bedingungen perfekt sein. Außerdem darf der Mond auch nicht zu hell sein, am besten fotografiert man also bei der Mond-Phase Neumond, welcher alle 29,5 Tage auftritt[13].

Nun kann man N.I.N.A benutzen, um eine Sequenz zu erstellen:

Das Teleskop soll zuerst überprüfen, ob software- und hardwaretechnisch alles einwandfrei läuft. Dann steuert es die Motoren zum gewünschten Objekt und macht eine Plattenlösung. Stimmt diese überein, macht das Teleskop mit aktivierter Nachführung jeweils 10 Bilder à 30 Sekunden. Danach fährt es zum nächsten Objekt, das Prozedere wird wiederholt.

---

[11] Koch, Bernd und Korth, Stefan: Die Messier-Objekte. Stuttgart: Franckh-Kosmos 2001 (S. 30, 46, 60)
[12] Koch, Bernd und Korth, Stefan: Stars am Nachthimmel. Stuttgart: Franckh-Kosmos 2001 (Seite 4)

[13] Werner, Jörg und Manja Werner, Elena: Das Neumond-Wissen. Link: https://www.neumond.info/de/neumond-wissen.html (abgerufen am: 16.05.2022, 10:00 Uhr)

3.5 Fehlermeldungen und Reflexion

In der Theorie sollte das Teleskop jetzt zur Beobachtung bereit sein und funktionieren.

In der Realität ist der Bau nicht auf Anhieb gelungen. Aufgrund der schwammigen Dokumentation des ursprünglichen Projekts und mehreren Problemen filtern sich folgende, noch zu behebende Probleme heraus:

- Das GPS-Modul lieferte anfangs ein Signal, schaltete sich dann nach gewisser Zeit ab, jedoch ist die Verkabelung korrekt und es lässt sich Spannung auf dem Modul messen.
- Der Indi-Webserver startet nicht automatisch. Dies soll über eine Service-Datei funktionieren, die sich aber nicht hinterlegen lässt. Mehrere SD-Karten, Raspberry Pi's und Neustarts oder Updates konnten da auch nicht helfen.
- OnStep, bzw. die Schrittmotoren, konnten am Anfang über die Android-Fernbedienung gesteuert werden. Nach ein paar Versuchen damit reagierten diese jedoch nicht mehr. Dazu gibt es mehrere Meldungen im OnStep-Forum, wofür es aber noch keine Fehlerbehebung gibt.
- INDI stellt keine Verbindung zur Kamera her. Dies könnte aber auch an dem INDI-Webserver insgesamt liegen, welcher nur sehr fehlerhaft aufgesetzt werden konnte.
- Der Motor-Pulley (Verbindungsstück von Motor zu Zahnriemen) ist lose. Da der „DEC Drive Arm“ so eng designt ist und trotzdem viel reinpassen muss, kann dieser nur angezogen werden, wenn sich der Motor dreht.
- Die Fernsteuerung kriegt keinen Strom, obwohl Spannung am Board gemessen werden kann. Vermutlich handelt es sich um ein defektes Board, welches ausgetauscht werden müsste.
- N.I.N.A ist in der Konfiguration nicht kompatibel, was vorher so nicht abzusehen war. Es müsste auf den Raspberry Pi geladen werden und „remoteless“ gesteuert werden, da das Programm direkt mit der Kamera und Montierung verbunden sein muss. Dazu müsste aber eine andere Raspberry Pi OS Version benutzt werden, da die jetzige keine Benutzeroberfläche bietet.

Trotz all dieser Probleme sind wir auf dem besten Weg, ein funktionsfähiges Selbstbau-Teleskop zu realisieren.

Dies streben wir auch im Rahmen der besonderen Lernleistung an, indem zusätzlich zum ursprünglichen Bau die Technik optimiert und die Benutzung vereinfacht werden soll. Gerade durch die auftretenden Probleme entstehen neue Optimierungsideen.

4. Fazit und Danksagung

Am Ende möchten wir sagen: das Projekt ist schwieriger, als wir es uns vorgestellt haben. Zuallererst haben wir jedoch einen neuen Themenbereich für uns entdeckt: Die Astrofotografie.

Wir konnten außerdem unser Wissen erweitern und uns darüber hinaus mit etwas in der Schule beschäftigen, dass nicht auf dem Lehrplan steht – immerhin sind wir die einzige Schule in Nordrhein-Westfalen, die eine Sternwarte beherbergt.

Aber trotz alldem hätten wir uns niemals vorstellen können, welches physikalische Wissen, Soft- und Hardware Kenntnisse und welche Tricks damit zusammenhängen.

Wir sind sehr gespannt auf die ersten Bilder.

Hätte das Projekt besser laufen können?

Sicherlich, es hätte reibungsloser ablaufen können, allein schon durch wirtschaftliche Schwierigkeiten hat der Versand der Teile so lange gedauert und die technischen Schwierigkeiten waren so im Vorhinein nicht abzusehen.

Nun ist es aber auch unsere Pflicht, unseren größten Unterstützern zu danken:

Unser Dank geht vor allem an unseren Projektleiter Herrn Winkhaus, der nicht nur die Finanzierung des Projekts in die Wege geleitet hat und professionell Unterstützung geleistet, sondern den MiLeNa-Kurs mit Leidenschaft und Motivation geleitet hat, denn vor allem das merkte man das ganze letzte Schuljahr über.

Wir hatten bei jedem Grundschul-Besuch den Eindruck, dass die Grundschüler riesigen Spaß hatten und mit einem Lächeln nachhause gegangen sind.

Außerdem danken wir Herrn Koch für seine großartige und professionelle Hilfe und für die Einweisung in die Astrofotografie. Herr Kochs schriftliche Werke „Die Messier-Objekte“ und „Stars am Nachthimmel“, die er zusammen mit Stefan Korth geschrieben hat, bzw. „Digitale Astrofotografie“, zusammen mit Axel Martin, beinhalten wichtige Tipps, Grundlagen und Informationen und waren ein wesentlicher Bestandteil im Hintergrund dieser Projektarbeit.

Beiden möchten wir am Ende riesigen Respekt vor ihrer Arbeit aussprechen – was beide für diese Schule, die Astronomie-Interessierten und zur Bildung von Schülern leisten, ist unfassbar und einzigartig.

Zusätzlich danken wir der Wilhelm und Elsa Heraeus-Stiftung und der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, die dieses Projekt im Rahmen des Programms „Physik für Schülerinnen und Schüler“ finanziert hat. Ohne sie würde das Projekt nicht stehen. Über 1000 Euro hat dieses Projekt gekostet – und es hat sich gelohnt.

Wir sind froh, MiLeNa gewählt zu haben. Man kann und konnte immer mit seinen Ideen und Fragen zum Projektkurs kommen und einem wurde geholfen. Die Stationen, die wir über das ganze erste Halbjahr bedient haben, sind von Kurs zu Kurs immer verbessert und angepasst worden – ein System, welches sich bewährt.
Nicht nur die Arbeit mit den Grundschülern, die wir in die Welt der Physik eingeführt haben, sondern auch durch die Möglichkeiten dieses Projektkurses wurden wir sehr inspiriert. Als wir die Idee hatten, ein Teleskop zu bauen, war Herr Winkhaus von Anfang an sehr unterstützend und hat uns motiviert.
Außerdem war die Unterstützung der Stiftung sehr hilfreich. Dadurch sind dem Projekt keine finanziellen Grenzen gesetzt.

Wir würden nicht nur denen MiLeNa empfehlen, die Lust haben, später etwas im MINT- oder Pädagogik-Bereich zu machen, sondern auch allen, die ihr Wissen gerne in neue Bereiche erweitern möchten oder mit großer Freude experimentieren, erforschen oder kreativ sind.

5. Literaturverzeichnis

3DJake/E3D: Nozzle X. Link: https://www.3djake.de/e3d/v6-nozzle-x-175-mm/ (abgerufen am: 29.04.2022, 09:30 Uhr)

Dutton, Howard: OnStep release-4.24. Link: https://github.com/hjd1964/OnStep/blob/release-4.24/ (abgerufen am: 30.05.2022, 14:30 Uhr)

Extrudr: GreenTEC Pro Carbon. Link: https://www.extrudr.com/de/produkte/catalogue/greentec-pro-carbon_2410/ (abgerufen am: 28.04.2022, 11:20 Uhr)

Filamentworld: PETG. Link: https://www.filamentworld.de/3d-druck-wissen/was-ist-petg/ (abgerufen am: 02.05.2022)

H., Alexander: FDM / FFF: Wir erklären Ihnen das 3D-Druckverfahren. Link: https://www.3dnatives.com/de/3d-druck-schmelzschichtung/#! (abgerufen am: 22.04.22, 18:45 Uhr)

Hermann, Stefan (CNC Kitchen): Comparing PLA, PETG & ASA – feat. Prusament. Link: https://www.cnckitchen.com/blog/comparing-pla-petg-amp-asa-feat-prusament (abgerufen am: 29.04.2022, 09:00 Uhr)

Kahl, Yana: Entwicklungsstufen nach Piaget – Entwickelt sich mein Kind seinem Alter entsprechend? Link: https://blog.cognifit.com/de/piaget-theorie-entwicklungsstufen/ (abgerufen am: 31.05.2022, 21:20 Uhr)

Koch, Bernd und Martin, Axel: Digitale Astrofotografie: Grundlagen und Praxis der CCD- und Digitalkameratechnik. Erlangen: Oculum-Verlag 2009

Koch, Bernd und Korth, Stefan: Die Messier-Objekte: Die 110 klassischen Ziele für Himmelsbeobachter. Stuttgart: Frankh-Kosmos 2001

Koch, Bernd und Korth, Stefan: Stars am Nachthimmel – der sichere Wegweiser zu den 50 schönsten Himmelsobjekten. Stuttgart: Kosmos 2001

Saintonge, Amelie: What are RA and DEC? (Intermediate) Link: http://curious.astro.cornell.edu/about-us/112-observational-astronomy/stargazing/technical-questions/699-what-are-ra-and-dec-intermediate (abgerufen am 02.05.2022, 9:00 Uhr).

Werner, Jörg und Manja Werner, Elena: Das Neumond-Wissen. Link: https://www.neumond.info/de/neumond-wissen.html (abgerufen am: 16.05.2022, 10:00 Uhr)

6. Anhang

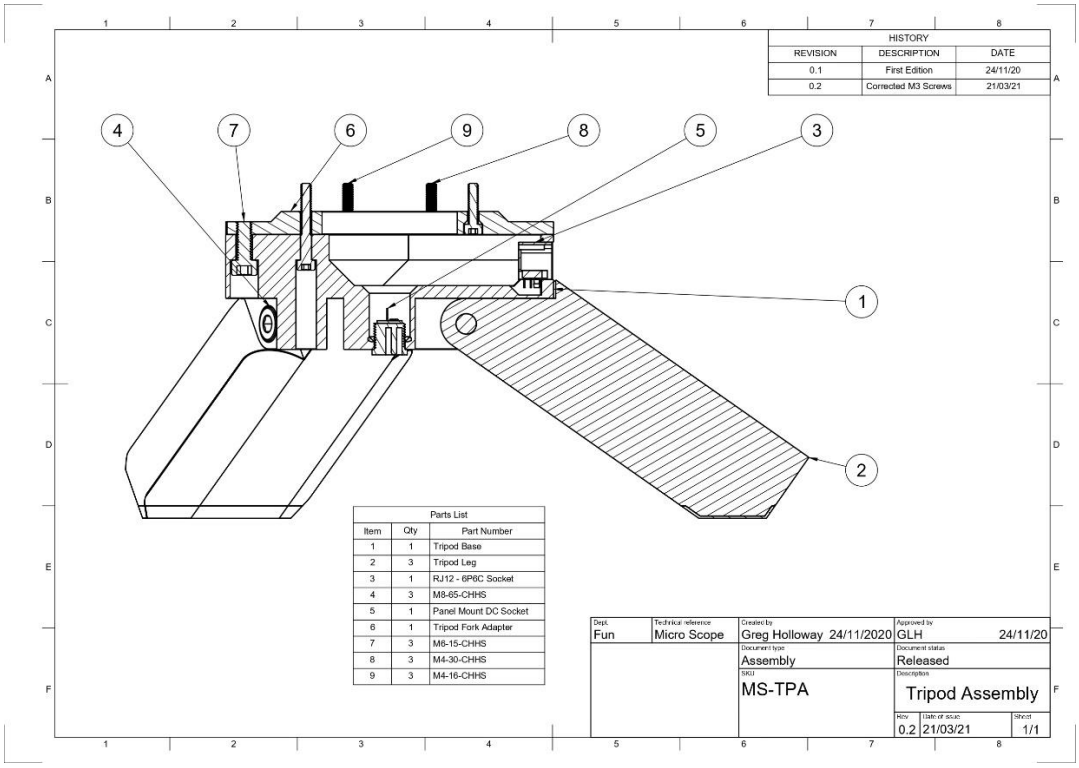

Abbildung 10: Das Stativ (Quelle: Greg Holloway)

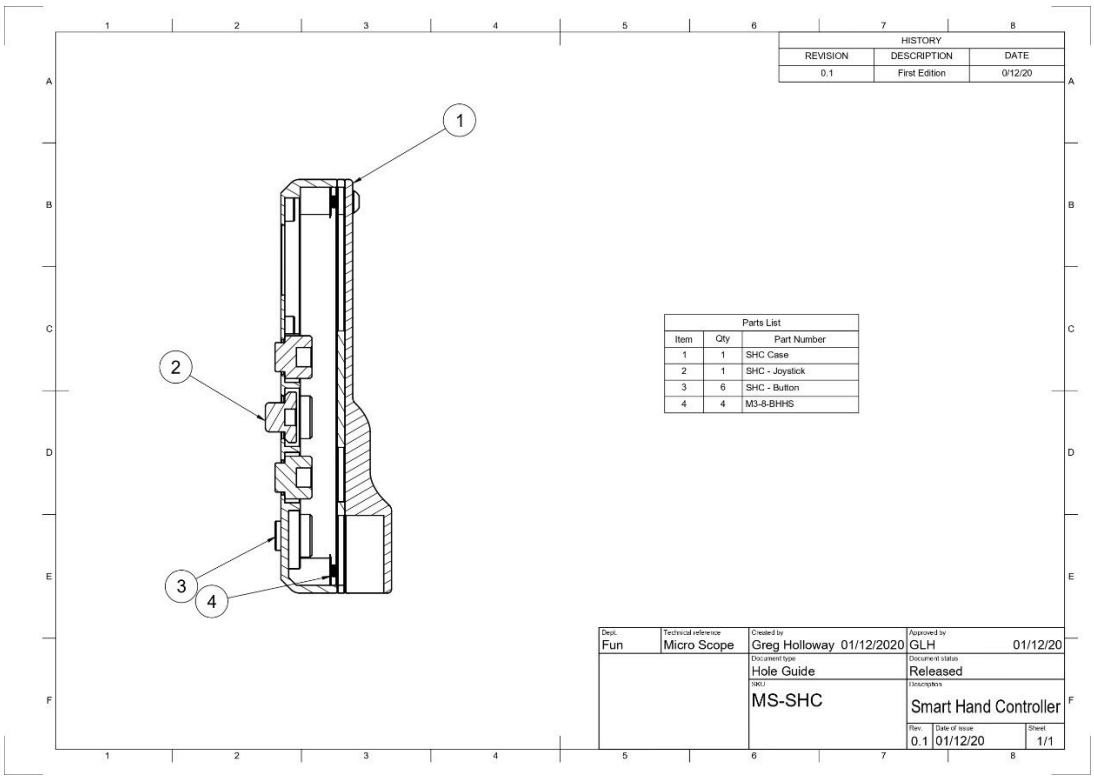

Abbildung 11: Die Fernsteuerung (Quelle: Greg Holloway)

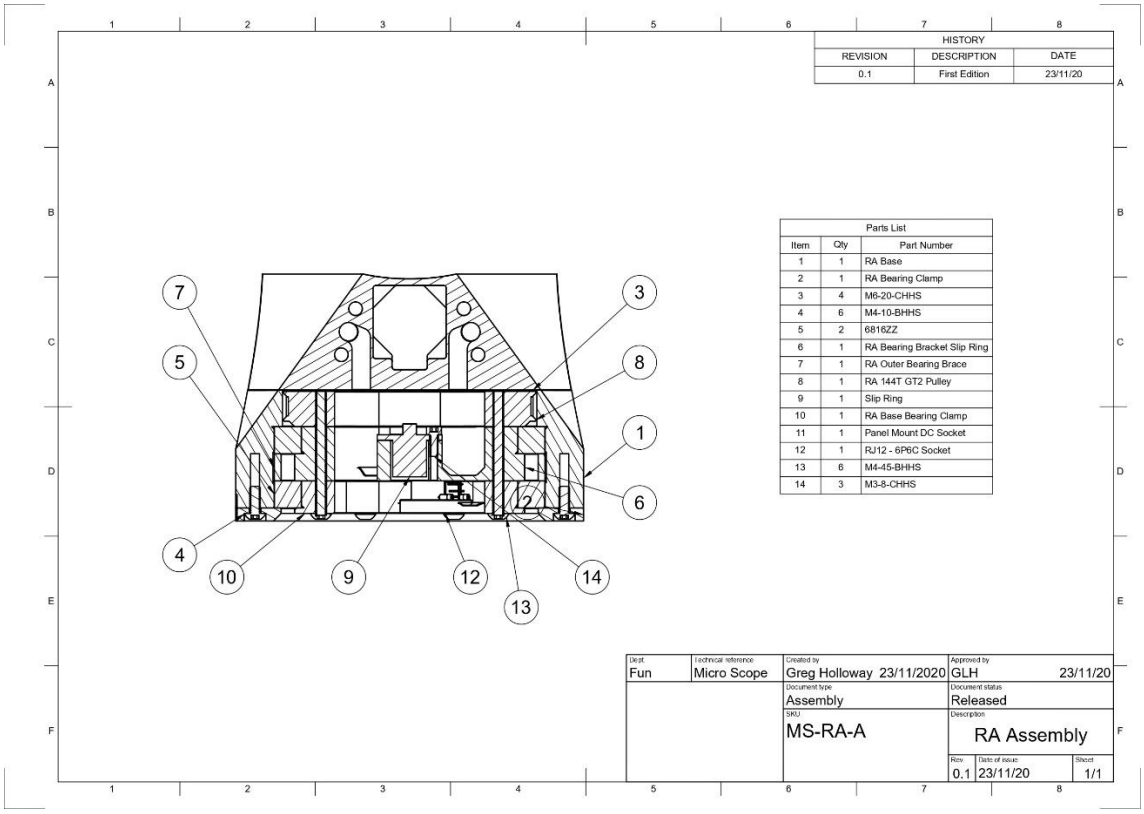

Abbildung 12: Die Rektaszensionsachse (Quelle: Greg Holloway)

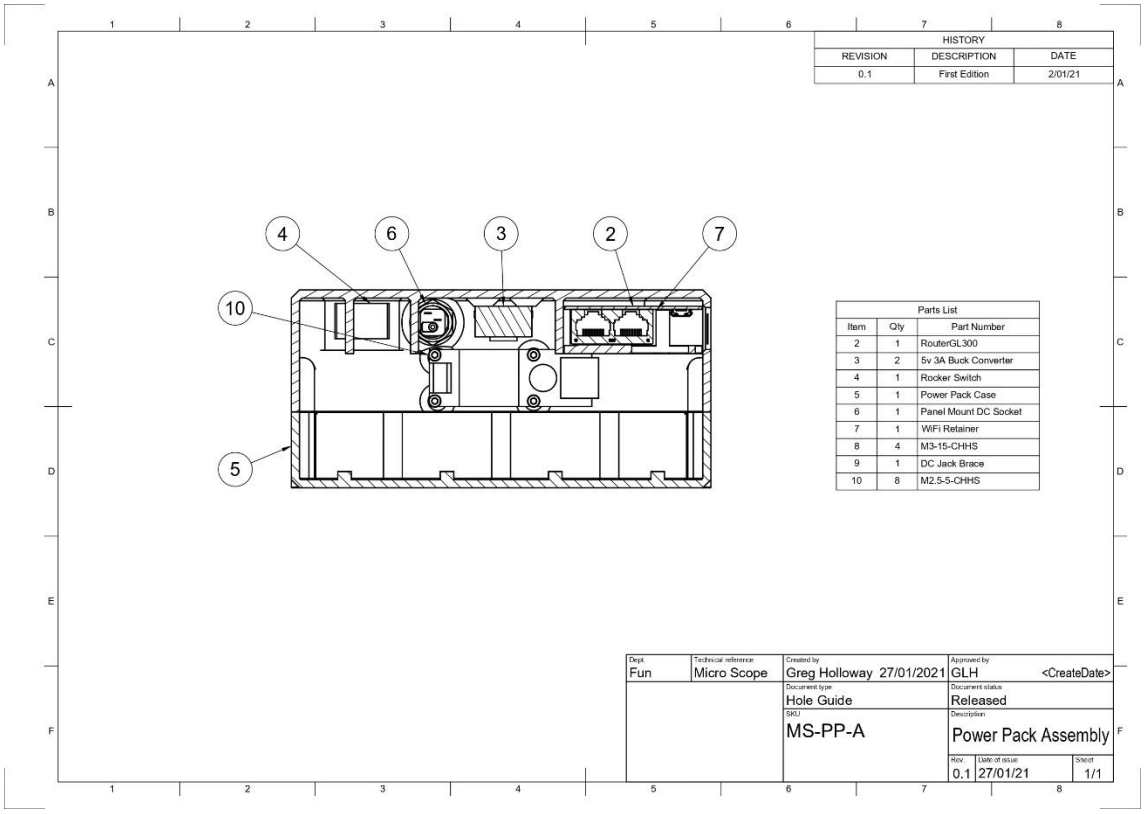

Abbildung 13: Das "Power Pack" (Quelle: Greg Holloway)

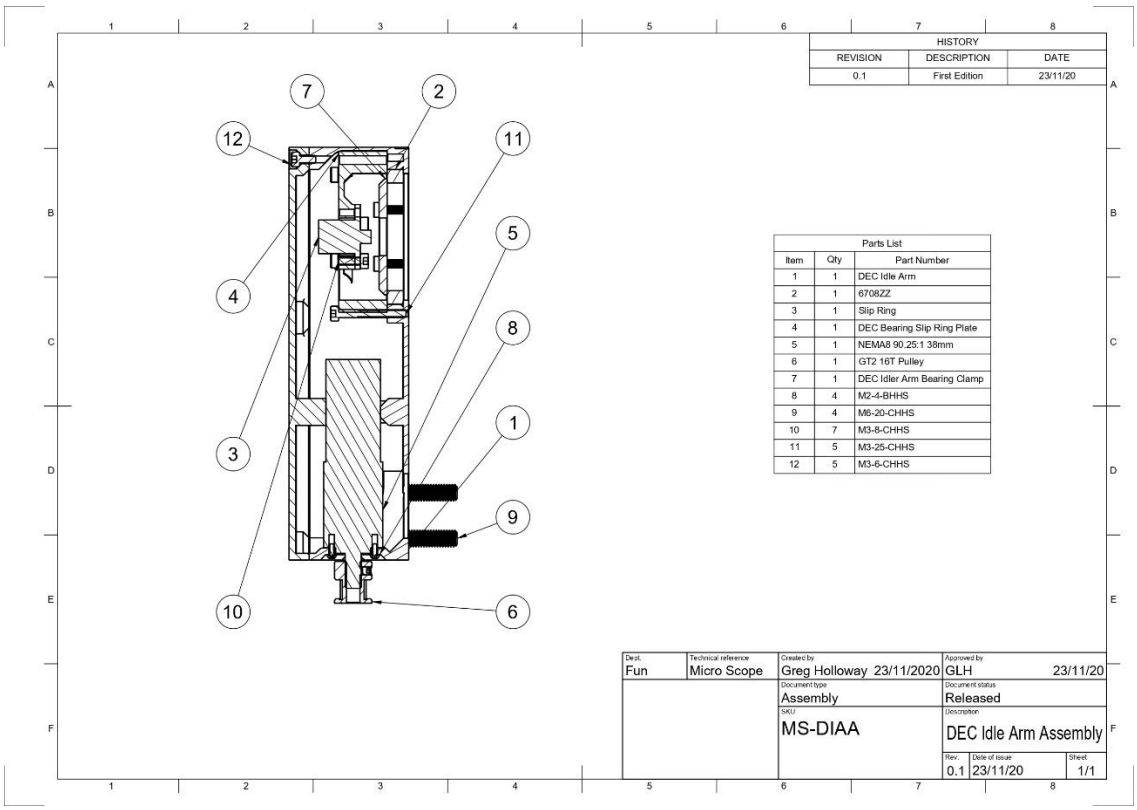

Abbildung 14: "DEC Idle Arm" (Quelle: Greg Holloway)

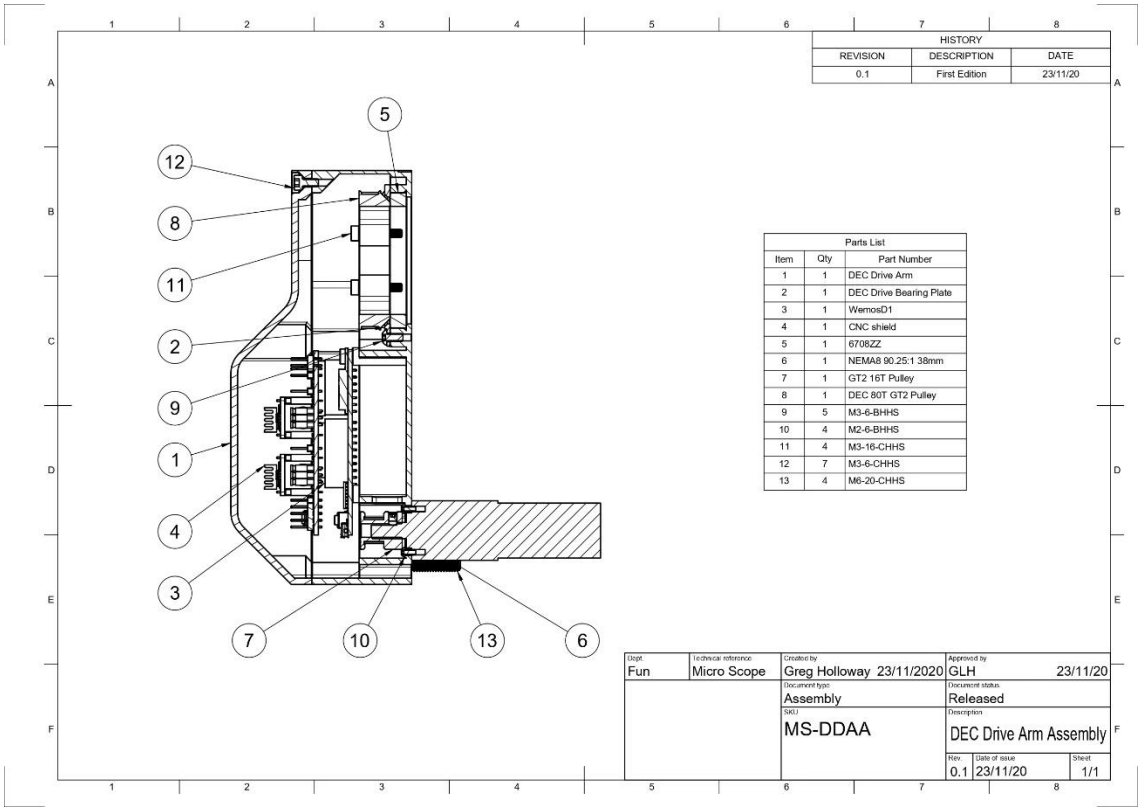

Abbildung 15: "DEC Drive Arm" (Quelle: Greg Holloway)

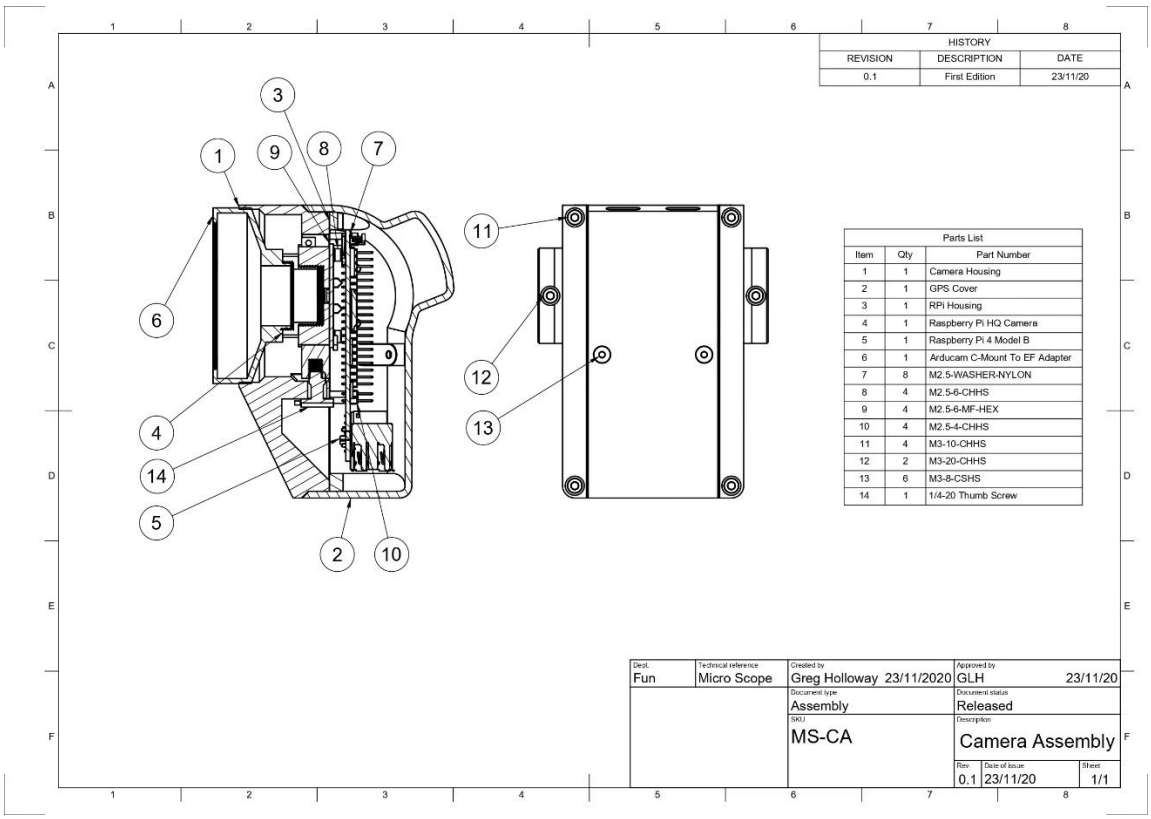

Abbildung 16: Die Kameravorrichtung (Quelle: Greg Holloway)

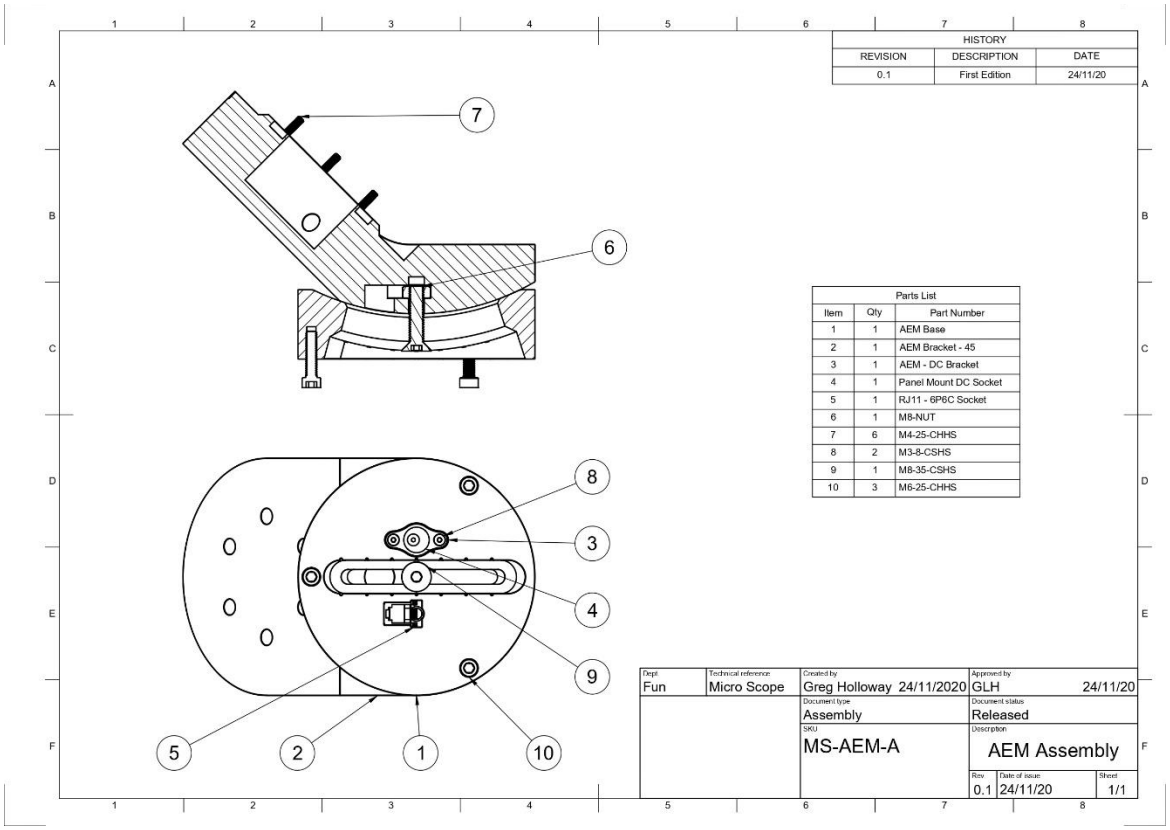

Abbildung 17: Äquatoriale Montierung (Quelle: Greg Holloway)

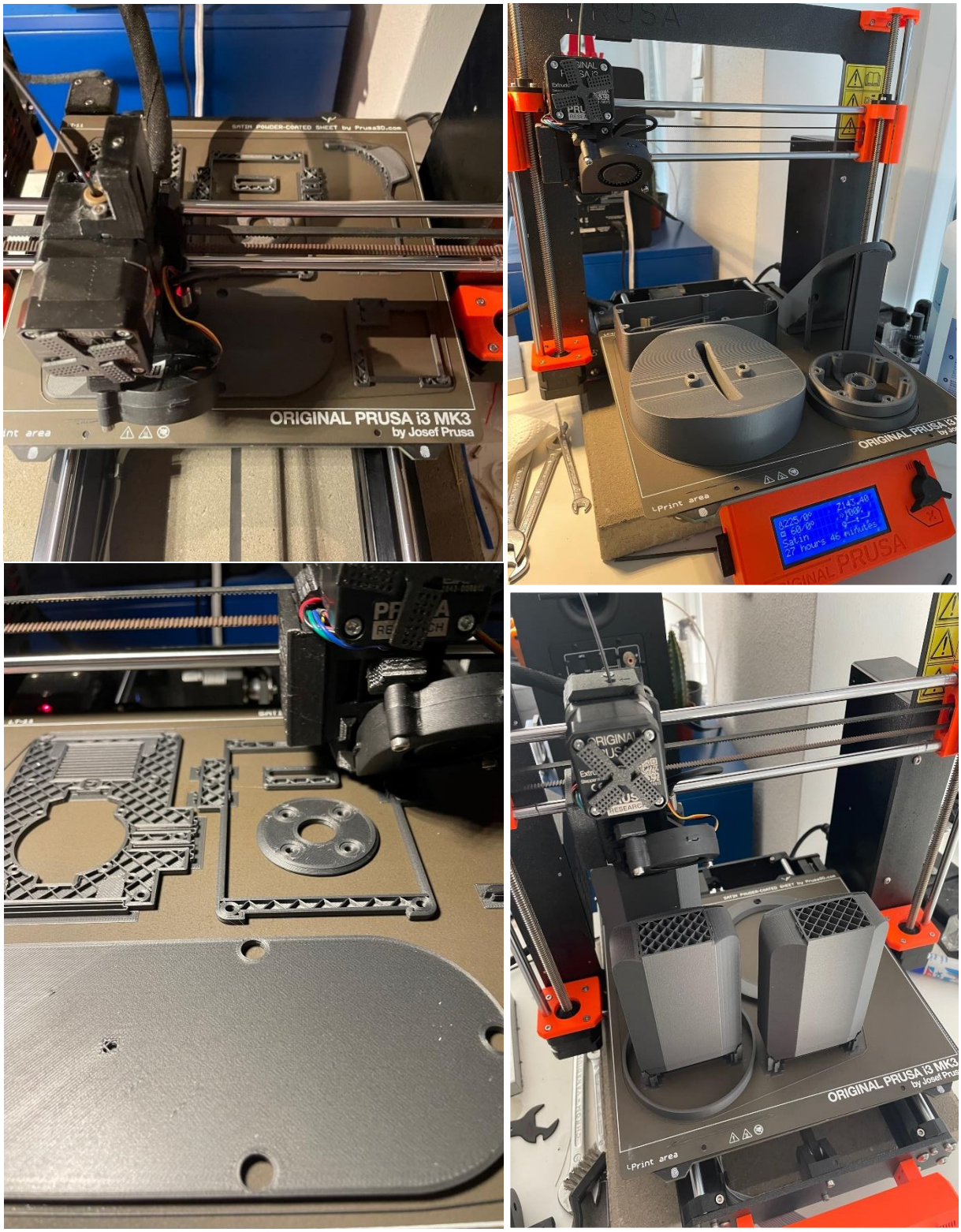

Abbildung 18-22: 3D-Druck Prozess (Quelle: eigene Aufnahme)

Druckeinstellungen der Karbon-Teile:

0,4 mm Düse

0,2 mm Schichthöhe

3 Konturen

5 Decken-, 4 Basisschichten

20 % Gitternetz Infill

Stützstrukturen manuell gesetzt

Die restlichen Einstellungen sind dem Standard PrusaSlicer „0,20 mm Speed“ Profil für den Prusa MK3S+ zu entnehmen.

Druckeinstellungen der PETG-Teile:

0,25 mm Düse

0,1 mm Schichthöhe

3 Konturen

5 Decken-, 4 Basisschichten

30 % Gitternetz Infill

Keine Stützstrukturen

Die restlichen Einstellungen sind dem Standard PrusaSlicer „0,10 mm Detail“ Profil für den Prusa MK3S+ mit 0,25 mm Düse zu entnehmen.

Internet-Quellen:

E3D:

Die Düse ist immens hart, die ihre Härte auch bei hohen Temperaturen beibehält ohne zu erweichen. Die Düse ist mit einer harten und glatten Nickelschicht überzogen, um ein fantastisches Gleichgewicht zwischen Kosten und Verschleißfestigkeit zu bieten. Die neue polyphobe Nanobeschichtung lässt keine geschmolzene Polymere mehr an der Düse haften! Die Nozzle X ist die perfekte Kombination aus hoher Temperaturbeständigkeit & Abnutzungsbeständigkeit.

Extrudr:

Das Material zeichnet sich durch ein geringes spezifisches Gewicht, hohe Temperaturbeständigkeit und hohe Steifigkeit aus.

Hohe Belastbarkeit, Geeignet für Leichtbauweise, Hohe Thermische Belastbarkeit […]

Hermann, Stefan:

As expected, PLA is really the stiffest with a bending modulus of 3300MPa, next comes ASA with 2300MPa and with only 70% of the stiffness of PLA, PETG is the most flexible material of the 3 with only 1900MPa, really interesting!

Kahl, Yana:

Piagets Theorie besagt, dass Kinder gemäß ihres Intellekts und ihrer Fähigkeit, reife Beziehungen wahrzunehmen, spezifische Phasen durchlaufen. Diese Phasen der Kindesentwicklung treten bei jedem Kind in jedem Land in einer festen Reihenfolge auf. Allerdings kann das Alter in welchem die Phasen auftreten von einem Kind zum anderen leicht variieren. […] Das “egozentrische Denken” nach Piagets Theorie: Warum können sich die Kinder in dieser Entwicklungsstufe nicht in andere hineinversetzen? Diese Tatsache hängt mit der “Theory of Mind” zusammen, die sich auf die Fähigkeit, sich in andere hineinzuversetzen bezieht. Kinder haben diese Fähigkeit bis zum Alter von 4 oder 5 Jahren nicht. Deshalb denkt das Kind bis zu diesem Alter, dass “die anderen genau so wie es selbst sehen und denken”.

Werner, Jörg und Manja Werner, Elena:

Wie oft gibt es Neumond? Der Mondzyklus dauert im Durchschnitt ca. 29,5 Tage, variiert aber in der Länge über das Jahr verteilt.

Saintonge, Amelie:

RA (right ascension) and DEC (declination) are to the sky what longitude and latitude are to the surface of the Earth. RA corresponds to east/west direction (like longitude), while Dec measures north/south directions, like latitude.

RA is indeed measured in hours, minutes, and seconds. This is because as the Earth rotates, we see different parts of the sky throughout the night. What this means is that if an object at, say 3h 5m 38s, is overhead now, in an hour from now an object at 4h 5m 38s will be overhead, and so forth. 0 hours right ascension is by convention the right ascension of the sun on the vernal equinox, March 21. So, your object is 3h 5m 38s east of the vernal equinox.

Declination is measured in degrees, arcminutes, and arcseconds. There are 60 arcmin in a degree, and 60 arcsec in an arcmin. The symbols for arcmin and arcsec are the same as for feet and inches. (Although sometimes we draw a little arc over the ' and " signs to tell them apart from the feet and inches signs.) So, your object is 48 degrees, 50 arcminutes, and 2 arcseconds north of the celestial equator, which is the origin of the declination system at exactly 0 degrees. The celestial equator is the part of the sky which is directly overhead the equator of the Earth. The north star is at about +90 degrees, while the south pole would be at -90 degrees, just like latitude on Earth.

Declination tells you how high overhead your object eventually will rise. So, your object at +48 degrees declination would pass directly over a point on the Earth at 48 degrees north latitude each night. If you were standing at, say, 38 degrees north latitude, the object would reach its greatest elevation (height) 48-38=10 degrees north on the sky from overhead.

7. Abschlusserklärung

Hiermit versichern wir, dass wir diese Arbeit selbstständig angefertigt, keine anderen als die von uns angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und die Stellen der Facharbeit, die im Wortlaut oder dem Inhalt nach aus anderen Werken entnommen wurden, in jedem einzelnen Fall mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht haben. Verwendete Informationen aus dem Internet sind der Arbeit als Ausdruck im Anhang beigefügt. Wir sind damit einverstanden, dass die von uns verfasste Projektarbeit der schulinternen Öffentlichkeit in der Bibliothek der Schule oder sonst wo zugänglich gemacht wird.

Wuppertal, den 09.06.2022

_____	_____
Lenny Sienczak	Selin Seyfi