

# Umbau der stærnwarte Gersbach zum Remote Betrieb



Nicholas Dahlke (15)

Hans-Thoma-Gymnasium Lörrach  
Schülerforschungszentrum phænovum

Landeswettbewerb Jugend-Forscht Baden-Württemberg 2022

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Ausgangssituation</b>	<b>1</b>
2.1	Rolldach und Klappe . . . . .	1
2.2	Montierung . . . . .	2
2.3	Teleskope . . . . .	2
2.4	Software . . . . .	3
2.5	Netzwerk . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Realisierung des Remote-Umbaus</b>	<b>3</b>
3.1	Ziele . . . . .	3
3.2	Hardware . . . . .	3
3.2.1	Steuerung des Rolldachs . . . . .	3
3.3	Deckel des Planewave CDK 17 . . . . .	4
3.4	Cloudwatcher und Regensensor . . . . .	5
3.5	Software . . . . .	5
3.5.1	INDI . . . . .	6
3.5.2	Shinobi . . . . .	7
3.5.3	Uptime Kuma . . . . .	7
3.5.4	Xfce . . . . .	8
3.5.5	xrdp . . . . .	8
3.5.6	Nutzerverwaltung . . . . .	9
3.5.7	Zusätzliche Software . . . . .	10
3.5.8	Sicherheit . . . . .	10
3.6	Netzwerk . . . . .	10
<b>4</b>	<b>Ergebnis</b>	<b>11</b>
4.1	Probleme . . . . .	12
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>12</b>
<b>6</b>	<b>Danksagung</b>	<b>13</b>

# Abbildungsverzeichnis

1	„Salon“ der stærnwarte . . . . .	1
2	Außenansicht der stærnwarte . . . . .	1
3	Teleskopraum der stærnwarte . . . . .	1
4	AllSky Kamera . . . . .	2
5	Schneckengetriebemotor mit Zahnstange . . . . .	2
6	Vorherige Steuerung des Rolldachs . . . . .	2
7	Planewave CDK 17 . . . . .	2
8	TEC APO 140 ED . . . . .	2
9	Innenansicht des Schaltschranks . . . . .	4
10	Schaltschrank montiert in der stærnwarte . . . . .	4
11	Bedienelemente in der stærnwarte Gersbach . . . . .	4
12	Deckel und Steuerung montiert am Teleskop . . . . .	5
13	3D-Rendering der Platine . . . . .	5
14	Cloudwatcher und Regensensor . . . . .	5
15	Darstellung des INDI Protokolls . . . . .	6
16	KStars Ekos . . . . .	7
17	Shinobi CCTV Software . . . . .	8
18	Uptime Kuma . . . . .	8
19	Xfce . . . . .	9
20	xrdp . . . . .	9
21	Hantelnebel M27 . . . . .	11
22	Workflow zu einer Bildaufnahme . . . . .	11

## Akronyme

**ADU** Analog-Digital-Unit. 7

**CAD** Computer-Aided Design. 5

**CCTV** Closed-Circuit television. 7

**DGUV** Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung. 3

**EDA** Electronics Design Automation. 4

**FITS** Flexible Image Transport System. 7

**GPIO** General Purpose Input/Output. 5

**GUI** Graphical User Interface. 6

**HFR** Half Flux Radius. 7

**HTTP** Hypertext Transfer Protocol. 7

**INDI** Instrument-Neutral Distributed Interface. i, 6, 11, 12

**IP** Internet Protocol. 3, 10

**ONVIF** Open Network Video Interface Forum. 7

**PT** Pan-Tilt. 7

**RDP** Remote Desktop Protocol. 8, 9, 11, 12

**SFTP** Secure File Transfer Protocol. 11

**SPS** Speicherprogrammierbare Steuerung. 3, 4

**TCP** Transmission Control Protocol. 8

**USB** Universal Serial Bus. 5

**VNC** Virtual Network Computing. 9

**VPN** Virtual Private Network. 9–11

**WCS** World Coordinate System. 7

**WLAN** Wireless Local Area Network. 10

**XML** Extensible Markup Language. 6

# 1 Einführung

Das Schülerforschungszentrum phænovum Lörrach hat von 2019 bis 2020 in der Schwarzwaldgemeinde Gersbach eine Schülersternwarte aufgebaut<sup>1</sup>, mit dem Ziel, diese interessierten Schülern für Projektarbeiten zur Verfügung zu stellen. Im letzten Schuljahr konnte ich davon bereits profitieren. Während der Wintermonate habe ich mit zwei Mitschülerinnen mehrere Exoplaneten näher untersucht. Dafür mussten wir teilweise bis 3 Uhr nachts bei eisigen Temperaturen auf der stærnwarte bleiben: und am nächsten Tag ging es natürlich um 7:40 Uhr wieder in die Schule. Da kam mir zum ersten Mal folgende Idee: Es wäre doch schön, vom warmen Lörracher phænovum aus das Dach im kalten Gersbach zu öffnen, das Teleskop auf den Orion Nebel zu schwenken und diesen dann fotografieren zu können. Als im Frühjahr 2021 aufgrund der Corona Pandemie das phænovum für mehrere Monate geschlossen werden musste, war der Bedarf zu einer solchen Remote-Sternwarte noch einmal erhöht. Bei der Besprechung meiner Idee mit den Betreuern des phænovum, fanden sich schnell weitere Argumente für einen solchen Fernzugriff auf die stærnwarte Gersbach: Verzicht auf lange Anfahrten (immerhin beträgt die Distanz zwischen Lörrach und Gersbach 33 km), Nutzung des Teleskops im Physik- bzw. IMP-Unterricht (z.B. zur Sonnenbeobachtung) etc. Die Würfel waren gefallen. Ich machte mich an die Arbeit, die Sternwarte Gersbach für einen Remote-Betrieb umzubauen.

In Kapitel 2 wird zunächst die stærnwarte Gersbach in ihrer ursprünglichen Nicht-Remote-Form beschrieben. Im folgenden Kapitel sollen Ziele und Umsetzung des Remote Umbaus beschrieben werden. Das Kapitel 4 beschreibt, wie heute im Winter 2022 eine astronomische Aufnahme durch Fernzugriff durchgeführt werden kann. Am Schluß dieser Arbeit folgt noch eine Zusammenfassung mit einem Ausblick auf zukünftige Möglichkeiten.

## 2 Ausgangssituation



Abbildung 1: „Salon“ der stærnwarte



Abbildung 2: Außenansicht der stærnwarte

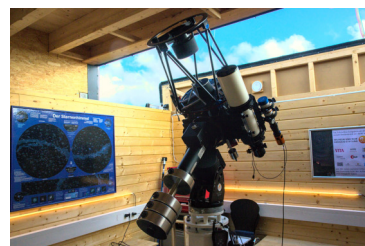


Abbildung 3: Teleskopraum der stærnwarte

Im folgenden werden das Sternwarten-Rolldach, die Montierung, die verfügbaren Teleskope, vorhandene Kameras und die Software zu Beginn dieser Arbeit beschrieben.

### 2.1 Rolldach und Klappe

Die stærnwarte Gersbach ist in Form einer Rolldachhütte gebaut worden (Abbildungen 1, 2, 3). Das bedeutet, dass das Rolldach komplett geöffnet werden kann und es nicht wie bei der klassischen Kuppelsternwarte nachgeführt werden muss.

In der Mitte des Dachs ist eine Zahnstange montiert, sodass das Dach über einen Drehstrommotor bewegt werden kann. Der Motor ist auf einer beweglichen Platte angebracht. Somit kann das Dach in Notfällen auch von Hand bewegt werden. Am südlichen Ende des Dachs ist eine Klappe installiert, die über zwei Linearmotoren bewegt werden kann. So werden auch Beobachtungen von tieferliegenden Objekten ermöglicht.

Die Steuerung des Rolldachs ist in Abbildung 6 abgebildet. Sie wurde über einen Frequenzumrichter realisiert, welcher über eine Relais Karte gesteuert wurde. Die Steuerung für die Klappenmotoren war über zwei Lichtschalter und eine Rolladensteuerung realisiert.

Diese Art der Steuerung genügte nicht den Anforderungen für einen Remote Betrieb. Es waren auch keine Positionsschalter vorhanden. Daher mussten Nutzer über die Überwachungskamera das Dach beobachten und im entsprechenden Moment auf einen Schalter drücken, um es zu stoppen. Wäre plötzlich die Verbindung zum Steuerungsrechner abgebrochen, hätte das Dach nicht rechtzeitig gestoppt werden können.

---

<sup>1</sup> [staernwarten.de](http://staernwarten.de)



Auf dem Dach der Sternwarte Gersbach ist eine AllSky Kamera *Alcor Systems OMEA 3C*[42] (Abbildung 4) installiert. Diese verwendet eine Kamera, verbunden mit einer Weitwinkel Linse, um ein Bild des gesamten Himmels aufzunehmen. Durch eine integrierte Heizung, kann sie auch bei Schnee oder Regen genutzt werden.



Abbildung 4: AllSky Kamera



Abbildung 5: Schneckengetriebemotor mit Zahnstange



Abbildung 6: Vorherige Steuerung des Rolldachs

## 2.2 Montierung

Als Montierung wird eine *GM3000HPS*[1] von der italienischen Firma *10micron* verwendet. Diese zeichnet sich durch hohe Tracking und Go-To-Genauigkeit aus. Für einen Remote Betrieb ist sie daher sehr gut geeignet. Die Montierung kann über ein Remote Relais Modul der Firma *Gude Systems* vom Typ *Expert Net Control 2302-1*[43], per Webinterface eingeschaltet werden.

## 2.3 Teleskope

**Planewave CDK 17** In Abbildung 7 ist das Hauptteleskop der Sternwarte zu sehen, ein 17 Zoll *Corrected Dall-Kirkham*[24] Teleskop der Firma *Planewave* (Brennweite 2939 mm, Öffnung 432 mm). Zum Scharfstellen des Teleskops wird der *Hedrick Fokusser*[26] von *Planewave* verwendet. Dieser bietet einen Fokusweg von 30 mm und ist - durch einen eingebauten Motor - über das *Planewave EFA*[25] steuerbar.

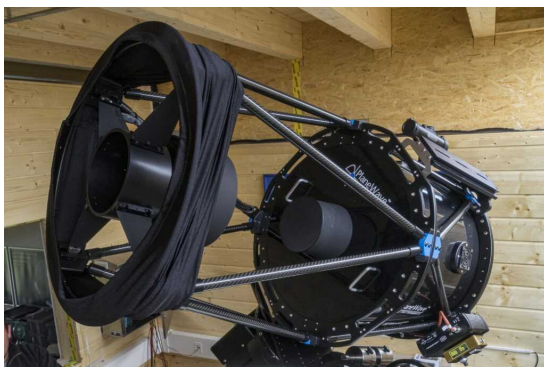


Abbildung 7: Planewave CDK 17



Abbildung 8: TEC APO 140 ED

**TEC APO 140 ED** Parallel zu dem Planewave CDK 17 ist das *TEC APO 140 ED*[38] Teleskop installiert, welches in Abbildung 8 zu sehen ist. Es ist ein apochromatischer Refraktor und bietet eine Öffnung von 140 mm und eine Brennweite von 980 mm. Es ist mit einem *Feather Touch* Fokusser von *Starlight Instruments* ausgestattet.

## 2.4 Software

Für die Steuerung von Montierung und Teleskopen wurde ein Industrierechner mit *Windows 10* verwendet. Jedes Gerät (Fokusser, Teleskop, Kamera, etc.) hatte dabei seine eigene Software. Sie mussten alle über verschiedene und nicht miteinander abgestimmte Software bedient werden. Des weiteren musste jeder Benutzer Administratorrechte erhalten, da manche Software nur so genutzt werden konnte. Auch war eine Benutzerverwaltung nicht vorhanden. Das führte zu dem Problem, dass jeder Benutzer so viel Speicherplatz nutzen konnte, wie er wollte. So konnte der gesamte Speicher des Computers aufgefüllt werden und Beobachtungen anderer behindern, da diese ihre Bilder nicht mehr abspeichern konnten.

## 2.5 Netzwerk

Für den Internet Zugriff wurde ein Vodafone Router verwendet, der sehr wenige Konfigurierungsmöglichkeiten bot. So konnten beispielsweise keine festen IP-Adressen eingestellt werden, was für einige Geräte jedoch nötig wäre.

# 3 Realisierung des Remote-Umbaus

## 3.1 Ziele

Für den Remote Zugriff auf die *sternwarte Gersbach* setzte ich mir zum Ziel, dass die folgenden Komponenten der Sternwarte aus der Ferne steuerbar sein sollten:

- Rolldach
- Montierung
- Teleskopdeckel
- Kameras
- Fokusser
- Überwachungskameras

Sämtliche Komponenten sollten zudem über eine einzige Softwareplattform gesteuert werden können. Wie konnten diese Ziele nun umgesetzt werden? Um das zu erklären, muss zwischen Hard- und Software unterschieden werden. Hardware beschreibt alle Veränderungen die man anfassen kann, während Software alles beschreibt, was mit Hilfe eines Computers umgesetzt wird.

## 3.2 Hardware

### 3.2.1 Steuerung des Rolldachs

Für die Steuerung des Rolldachs konnte über die Firma *Lederle Hermetic* Kontakt zu dem Elektrotechniker Phillip Maciej hergestellt werden. Von dem Schaltschrank habe ich zuerst einen Entwurf erstellt und diesen dann mit Hilfe von Phillip Maciej in einen konkreten Schaltplan umgewandelt. Die Programmierung und den Bau des Schaltschranks habe ich komplett alleine durchgeführt. Gemeinsam mit Herrn Maciej wurde dann im August 2021 der Schaltschrank in Gersbach installiert. Danach erfolgte die Prüfung nach DGUV Vorschrift 3[45] durch Phillip Maciej, um so die korrekte Ausführung und Sicherheit zu überprüfen. Der Schaltschrank (siehe Abbildung 9) ist mit einer Siemens LOGO SPS[39] als Steuerung realisiert. Um den Motor zu steuern, wird ein Frequenzumrichter *SEVA-LS 008M100*[19] verwendet. Dieser wird nötig, da nur eine Einphasen-Stromversorgung im Schaltschrank vorhanden ist. Drehstrommotoren benötigen jedoch eine Dreiphasen-Stromversorgung.[21] Damit das Dach nicht immer über eine Kamera beobachtet werden muss, sind zwei Positionsschalter(*Eaton LS-S02-RLA*[16]) installiert, die von dem fahrenden Dach betätigt werden. Diese sind, um Ausfallsicherheit zu gewährleisten, über zwei Kabel angeschlossen. Fällt eines aus, kann so das Signal weiterhin übertragen werden. Um den Motor im Notfall vor Überlastung zu schützen - zum Beispiel bei einem Ausfall der Endschalter - wurde ein Motorschutzschalter *Eaton PKZM0-6,3*[17] eingebaut. Dieser ist vor den Frequenzumrichter geschaltet. Der Frequenzumrichter wird über zwei 24 V Schütze[15] gesteuert. Diese sind über Hilfsschalterbausteine[14] so verkabelt, dass jeweils nur eine Laufrichtung eingeschaltet werden kann. Um die Linearmotoren zu

steuern, wird ein 12V/6,5 A Netzteil von Siemens verwendet[40]. Dabei kommen zwei Schütze zum Einsatz. Diese sind in einer Umpolschaltung angeordnet. Auch hier sind Hilfsschalter so konfiguriert, dass jeweils nur ein Schütz eingeschaltet werden kann. Somit kann ein Kurzschluss vermieden werden.

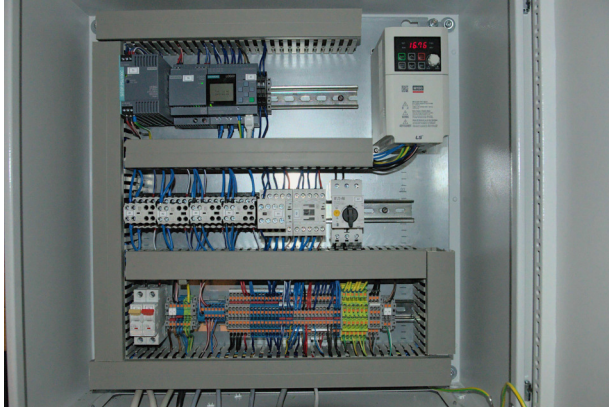


Abbildung 9: Innenansicht des Schaltschranks



Abbildung 10: Schaltschrank montiert in der sternwarte

Der Schaltschrank ist über zwei Leistungsschutzschalter abgesichert. Zusätzlich ist ein Not-Aus-Schalter angeschlossen. Dieser ist mit zwei Öffner-Kontakten an zwei redundanten Schütze angeschlossen, sodaß der Rolldachmotor jederzeit gestoppt werden kann. Neben dem Not-Aus-Schalter sind Schalter für das Öffnen und Schließen von Dach und Klappe an die SPS angeschlossen. So kann das Dach auch von Gersbach aus geöffnet werden, da weiterhin eine Vor-Ort-Betrieb der Sternwarte möglich sein muß.



Abbildung 11: Bedienelemente in der sternwarte Gersbach

Alle Kabel sind in Installationsrohren und Kabelkanälen verlegt und über Kabelverschraubungen in den Schaltschrank (*Rittal AX 1054.000*[37]) eingeführt. So ist der gesamte Schaltschrank wasserdicht und Probleme wie Feuchtigkeitseintritt lassen sich vermeiden.

### 3.3 Deckel des Planewave CDK 17

Um Beobachtungen überhaupt erst zu ermöglichen, wurde gemeinsam mit dem Maschinenbaustudent und ehemaligem phœnovum Schüler Rickmer Krinitz ein Deckel für das Teleskop konstruiert. Dieser besteht aus zwei Kreishälften welche über zwei Motoren bewegt werden können. In dem Deckel sind vier Endschalter eingebaut, über welche die Positionen der Deckelhälften überprüft werden können. Als Steuerung für den Deckel habe ich mit der EDA-Software *Autodesk Eagle*[3] eine Platine designt, welche in Abbildung 13 dargestellt ist. Die Schaltpläne dafür finden sich unter [7]. Diese nutzt den Microcontroller



*ESP32*[20] der Firma *Espressif*, da in die Module Dinge wie Clockschaltungen oder SPI Flash integriert sind. Zusätzlich sind genügend GPIO-Pins vorhanden, wodurch zusätzliche Bauteile wie Schieberegister oder Multiplexer nicht benötigt werden. Dabei wird ein *L298N*[31] Halbbrückentreiber der Firma *ST Microelectronics* genutzt, um die Motoren zu steuern. Die Platine ist in einem Metallgehäuse befestigt, welches an das Teleskop montiert ist.

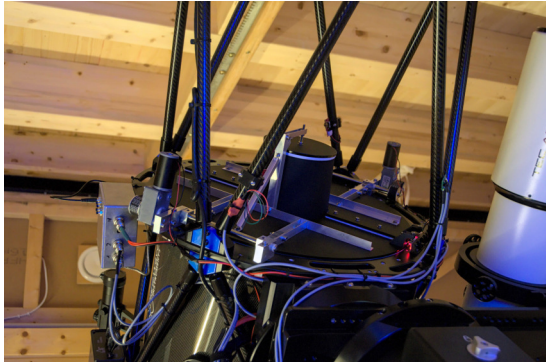


Abbildung 12: Deckel und Steuerung montiert am Teleskop

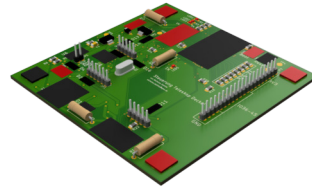


Abbildung 13: 3D-Rendering der Platine

Dafür wurde ein Halter mit der CAD Software *Onshape*[34] erstellt und mit einem 3D-Drucker gedruckt. An dem Gehäuse sind verschiedene Anschlüsse vorhanden: Ein 4-Pin Rundstecker für die Motoren, zwei 4-Pin Rundstecker für die Endschalter, ein USB-Port für den Anschluss an einen Computer und ein Rundstecker für die 12V Stromversorgung. Die Firmware ist in der Programmiersprache *C* geschrieben und verwendet das *FreeRTOS*[22] Betriebssystem. Der Microcontroller akzeptiert dabei serielle Befehle, um den Deckel zu öffnen oder zu schließen.

### 3.4 Cloudwatcher und Regensensor

Da das Dach auf keinen Fall geöffnet sein darf, wenn es regnet, wurde der Regensensor *Hydreon RG-9*[6] eingebaut. Dieser ist an der Seite des Daches montiert und an den Steuerungsrechner angeschlossen. Der Vorteil dieses Sensors ist die Nutzung optischer Effekte anstatt von elektrischen. Elektrische Regensensoren erkennen den Regen durch eine Reihe von Elektroden und die Veränderung deren Widerstandes bei Regen. Der *Hydreon* Sensor nutzt dagegen eine Glaskuppel in der das Licht bei trockenem Wetter so gebrochen wird, dass es auf eine Fotodiode fällt. Fallen Regentropfen auf die Kuppel, wird das Licht anders gebrochen, auf die Fotodiode fällt kein Licht und Regen wird erkannt.

Neben dem Regensensor ist auch ein *Cloudwatcher*[2] der Firma *Lunático Astronomia* installiert. Dieser misst die Temperatur am Boden und vergleicht sie mit der Temperatur am Himmel. So kann die Wolkenbedeckung des Himmels berechnet werden.

Beide wurden an einer Stange montiert, die an die Seite der Sternwarte Gersbach geschraubt ist. Für die Strom- und Datenverkabelung wurde ein Kabel in den Schaltschrank des Steuerungsrechners geführt und dort angeschlossen.



Abbildung 14: Cloudwatcher und Regensensor

### 3.5 Software

Ein wichtiger Teil einer Remote Sternwarte ist die Steuerungssoftware. Diese verknüpft die Hardware miteinander und macht den Remote Betrieb erst möglich. Da das Steuerungssystem möglichst stabil laufen sollte, wurde als Betriebssystem des Steuerungsrechners die Linux Distribution *Ubuntu Server 20.04.3 LTS*[27] gewählt.



### 3.5.1 INDI

INDI ist eine Softwareplattform um astronomische Geräte zu steuern. Es läuft auf dem Steuerungsrechner in der *sternwarte Gersbach*. Es ist ein XML-ähnliches Kommunikationsprotokoll[13]. Das INDI Protokoll basiert auf sogenannten *Properties*. *Properties* sind Name-Wert Kombinationen. Aktuell unterstützt INDI folgende Typen von *Properties*

- Text - Textwerte
- Number - Zahlenwerte
- Switch - boolsche Werte d.h 0 oder 1
- Light - Zustandswerte für GUIs
- BLOB - größere Binärdaten(z.B Bilder)

Die Properties werden von den Treibern (engl. Drivers) definiert. Sie werden von einem Client mit dem Befehl `getProperties` ausgelesen. *Clients* können dabei Werte verändern, dies teilen sie dem Gerät meistens über eine entsprechende Nachricht mit. Der Treiber entscheidet dabei, wie die Property Änderung umgesetzt wird. Wird beispielsweise bei einem Teleskop-Treiber die Positions-Property verändert, entscheidet der Treiber, welche Befehle an das Gerät gesendet werden müssen, um die nötige Bewegung auszuführen. Welche Befehle tatsächlich ausgeführt werden, wird allerdings vom Treiber entschieden. Er kann die Befehle vom Client auch ignorieren. Um Probleme wie Blockaden zu vermeiden, ist die Standardprozedur bei unbekannten Properties oder Befehlen, diese zu ignorieren. Bekommt z.B ein Fokuser den Befehl, auf Orion zu schwenken, wird dieser ignoriert, da nicht definiert ist, wie dieser ausgeführt werden soll. Es werden also keine Fehlermeldungen oder ähnliches ausgegeben. Es ist von Client Seite her allerdings möglich diese Fehler zu Loggen. Im Normalfall ist ein INDI-Client allerdings nicht nur mit einem Treiber verbunden, sondern meistens mit mehreren. So können z.B Teleskop und Kamera gleichzeitig gesteuert werden. Die Nutzung des INDI-Protokolls bietet hierbei verschiedene Vorteile, es ermöglicht beispielsweise den Austausch der Kameras, selbst zwischen verschiedenen Herstellern, ohne jegliche Änderungen am Workflow.

Das herausragende Merkmal von INDI ist, dass eine Änderung an den Treibern keinerlei Änderung an der Client Software voraussetzt. So können auf einfachste Weise Treiber neu programmiert oder verändert werden. Eine großer Vorteil von INDI ist auch seine Offenheit. INDIs gesamter Quellcode ist Open-Source und kann durch Nutzer auch verändert werden. Dadurch konnte ein Fehler in einem Treiber selbst behoben werden. Der Fehler befand sich dabei in dem Code für das Überprüfen der Checksumme des Planewave Delta-T Heizers. In dem ursprünglichen Code wurde dabei die berechnete Checksumme in einer Variable vom Typ `int8_t` gespeichert und später mit der tatsächlichen Checksumme aus der Antwort des Heizers verglichen. Dieser Vergleich schlug allerdings fehl, da die die Antwort als `uint8_t` gespeichert wurde.

```
- int8_t chk = calculateChecksum(res, res_len);  
+ uint8_t chk = calculateChecksum(res, res_len);
```

Durch das Ändern des Datentyps zu `uint8_t` konnte der Fehler behoben werden. Danach wurde diese Korrektur als Pull-Request<sup>2</sup> auf Github eingereicht und im nächsten Update an alle Nutzer verteilt.

**INDI-Server** INDI-Server ist eine Möglichkeit, INDI-Treiber im Netzwerk verfügbar zu machen. Er erlaubt auch die Nutzung mehrerer Clients. So kann zum Beispiel die Software *Stellarium* (siehe Kapitel 3.5.7) genutzt werden, um die Montierung zu steuern, während KStars die Kamera steuert. INDI-Server agiert als Schicht zwischen Treiber und Client. Er sendet die Befehle von Client an Treiber und von Treiber an Client über das Netzwerk. Dieser Aufbau ist in Abbildung 15 dargestellt.

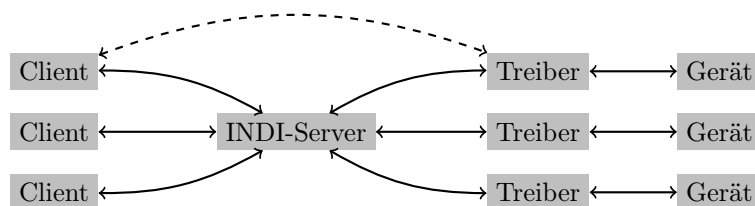


Abbildung 15: Darstellung des INDI Protokolls

<sup>2</sup><https://github.com/indilib/indi/pull/1516>

**KStars** Für die Steuerung der Sternwarte Gersbach, wurde die Astronomiesoftware *KStars*[36] gewählt. Diese hat einen Katalog aus bis zu 100 Millionen Sterne. Sie bietet mit dem integrierten Ekos Aufnahme-modul, welches in Abbildung 16 zu sehen ist, Möglichkeiten zur Datenaufnahme. Durch den Einsatz von Ekos ist nicht nur die Steuerung des Teleskops möglich, es können auch Geräte wie Fokusser, Kameras, Deckel oder Heizer gesteuert werden. Aufgrund des integrierten astrometrischen Solvers können Bilder im FITS-Format[32] auch automatisch mit WCS-Headern versehen werden. WCS-Header sind zusätzliche Datenfelder im FITS-Header in denen die Position des Bildausschnitts vermerkt wird. Dadurch werden Objekte automatisch zentriert und es wird ein fast perfektes Alignment ermöglicht. Durch die Informationen im WCS-Header können Aufnahmen auch unterbrochen und später fortgesetzt werden, da der Software die exakte Position des Bildes mitgeteilt werden kann. Auch wird die spätere Verwendung der Daten so vereinfacht. Eine weitere Möglichkeit von Ekos ist das automatische Fokussieren. Um die Schärfe

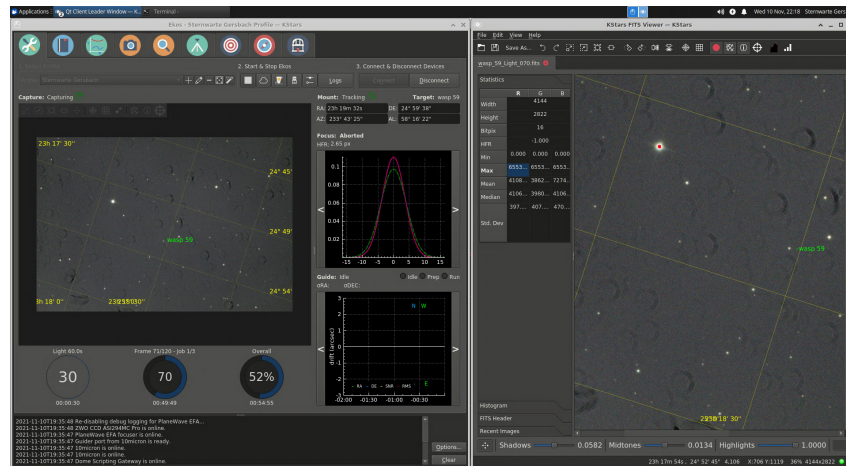


Abbildung 16: KStars Ekos

eines Sterns zu quantifizieren, wird dabei der HFR[29] benutzt. Der HFR gibt dabei den Radius eines Kreises um das Zentrum des Sternes an, in dem die Summe der Pixel innerhalb des Kreises gleich der Summe der Pixel außerhalb des Kreises ist. Die Software erzeugt dabei Datenpunkte aus Fokusserposition und HFR. Wenn mehrere dieser Datenpunkte vorhanden sind, wird eine hyperbolische Kurve zu diesen gefittet und die korrekte Fokusposition berechnet.

Des weiteren ermöglicht Ekos das Erstellen automatisierter Aufnahmesequenzen. Hiermit können Sequenzen von Lightframes, Darkframes und Biasframes erstellt werden und automatisch abgearbeitet werden. Dabei werden Anzahl, Typ und beispielsweise Belichtungszeit der Aufnahmen festgelegt. Für Flatframes geschieht das ganze automatisch, dort wird ein ADU-Wert festgelegt und Ekos berechnet die passende Belichtungszeit.

### 3.5.2 Shinobi

In der Sternwarte sind 3 PT Kameras vom Typ *Tapo C210* und eine Außen Kamera vom Typ *Tapo C310* installiert. Um den Benutzern der Sternwarte deren Bilder zur Verfügung zu stellen, wird die Open-Source CCTV-Software *Shinobi*[44] verwendet. Shinobi ist eine Serveranwendung, welche die Möglichkeit bietet, verschiedene Überwachungskameras zu betrachten und aufzunehmen. Für die Kommunikation mit den Kameras wird hier der ONVIF Profile S Standard benutzt. Dieser unterstützt Videostreams, sowie Kontrolle der PT Funktionen der Kameras. Shinobi bietet außerdem einen Bewegungsmelder. Dieser wird aktuell dazu genutzt, um schneller auf Ereignisse wie zum Beispiel ein unerwünschtes Öffnen des Dachs reagieren zu können. Um dabei eine Benachrichtigung auf Smartphone oder Computer zu bekommen, wird von Shinobi aus ein HTTP-POST Request an einen *IFTTT*<sup>3</sup> Webhook gesendet und so eine *Telegram*<sup>4</sup> Nachricht gesendet.

### 3.5.3 Uptime Kuma

*Uptime Kuma*[28] ist eine Software, welche die Erreichbarkeit von Geräten innerhalb eines Netzwerks überwacht. Hierdurch können beispielsweise ausgefallene Überwachungskameras erkannt werden, die einen

<sup>3</sup><https://www.ifttt.com>

<sup>4</sup><https://www.telegram.org>

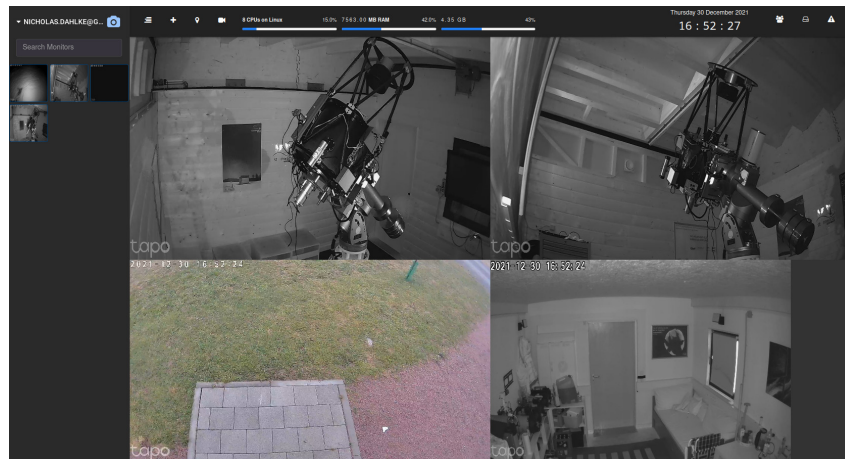


Abbildung 17: Shinobi CCTV Software

sicheren Remote-Betrieb verhindern könnten. Um die Erreichbarkeit eines Geräts festzustellen, wird ein Ping gesendet und wenn dieser fehlschlägt, wird das Gerät als nicht erreichbar eingetragen. Auch Uptime

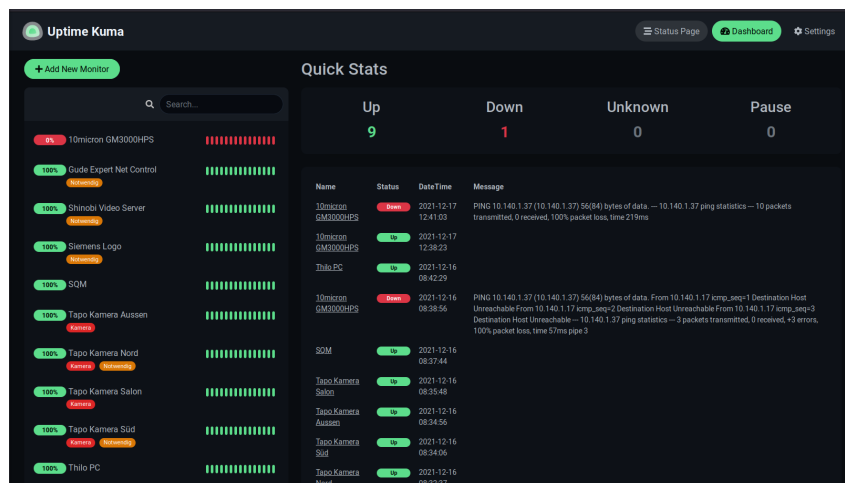


Abbildung 18: Uptime Kuma

Kuma ist in *Node.js* geschrieben, und ist auf dem Steuerungsrechner in Gersbach installiert. Die Statusseite, welche in Abbildung 18 zu sehen ist, ist auf dem TCP-Port 3001 erreichbar. Wie *Shinobi* sendet *Uptime Kuma* eine *Telegram* Nachricht wenn ein Gerät nicht mehr erreichbar ist.

### 3.5.4 Xfce

In der Standardversion von *Ubuntu Server* ist keine Desktop Umgebung enthalten. Ohne diese ist das System allerdings nur über eine Befehlszeile bedienbar, was man einem Endnutzer nicht zumuten kann. Die Desktopumgebung ist bei Betriebssystemen wie *Windows*<sup>5</sup> oder *macOS*<sup>6</sup> bereits integriert, bei Linux/UNIX Systemen kann diese selbst ausgewählt werden. Für die starnwarte Gersbach ist die Wahl auf *Xfce*[46] gefallen, da es die Ziele hat möglichst schnell und ressourcenschonend zu sein. Diese Eigenschaften sind wichtig, da die Rechenleistung in Gersbach nur begrenzt ist und daher nicht auch auf das Darstellen einer Desktop Umgebung verwendet werden soll. Für den Remote Zugriff auf die Desktop Umgebung wird *xrdp* (siehe Kapitel 3.5.5) verwendet.

### 3.5.5 xrdp

*xrdp*[33] ist eine Open-Source Implementation des RDP-Protokolls. Es erlaubt den Zugriff auf eine grafische Oberfläche(siehe Kapitel) für eine einfachere Bedienung des Systems. *xrdp* startet dabei eine Session

<sup>5</sup><https://www.microsoft.com/de-de/windows>

<sup>6</sup><https://www.apple.com/de/macros/>



Abbildung 19: Xfce

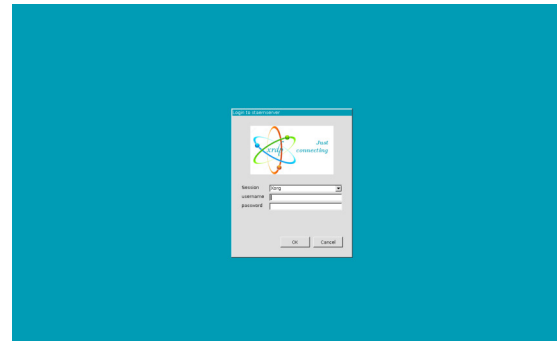


Abbildung 20: xrdp

des *X Window Manager*[23] und verbindet sich mit dieser. So werden Maus, Tastatur und Bildschirm über das Netzwerk übertragen. *xrdp* bietet gewisse Vorteile, gegenüber Alternativen wie VNC. Einer davon ist, dass eigentlich alle Betriebssysteme einen RDP-Client integriert haben, somit müssen Nutzer keine zusätzliche Software installieren.

### 3.5.6 Nutzerverwaltung

Um die Steuerung für die *sternwarte* Gersbach mehreren Nutzern zur Verfügung zu stellen, wird die Linux Benutzerverwaltung genutzt. Diese funktioniert, indem sie Nutzer in Benutzer und Gruppen organisiert. Benutzer haben dabei jeweils einen eigenen Ordner in `/home/<Benutzername>`, zu dem nur sie Schreibrechte haben. So wird sichergestellt, dass nur der autorisierte Benutzer Zugriff auf seine persönlichen Dateien wie zum Beispiel Aufnahmen hat. So können mehrere Projekte die *sternwarte* nutzen und ihre Daten besser organisieren. Ein weiteres wichtiges Konzept sind die Gruppen, Nutzer können in Gruppen organisiert werden um ihnen bestimmte Rechte oder Beschränkungen zu erteilen. Benutzer müssen beispielsweise Mitglied der Gruppe `dialout` sein, um auf serielle Geräte wie Fokuser, zuzugreifen. Um das Hinzufügen von Benutzern zu vereinfachen, wird ein Shellskript verwendet, welches hier kurz erklärt werden soll (für das volle Skript siehe [8]).

Am Anfang des Skripts werden Vorname, Name und Email abgefragt, diese werden später im Skript benötigt. Name und Nachname werden dann zum Benutzernamen kombiniert.

```
1 username='echo "$vorname$nachname" | tr '[:upper:]' '[:lower:]'
```

Als nächstes wird ein zufälliges Passwort generiert.

```
2 password='openssl rand -base64 7'
```

Von diesem Passwort wird dann ein Hash erstellt und als Argument an den `useradd` Befehl übergeben. So wird ein neues Konto mit voreingestelltem Passwort erstellt.

```
3 password_hashed='mkpasswd -m sha-512 $password'
4 sudo useradd -m -p $password_hashed -s /bin/bash $username
```

Im nächsten Schritt wird der Nutzer den nötigen Gruppen hinzugefügt.

```
5 sudo usermod -a -G dialout,tsusers,plugdev,quotalimited $username
```

Damit alle Nutzer die selben Programme mit den gleichen Einstellungen nutzen können, werden die Konfigurationsdateien aus einem Ordner in den Home Ordner des erstellten Benutzers kopiert. Um dem Benutzer Schreibrechte auf diese zu gewähren, wird auch der Besitzer der Ordner und Dateien verändert.

```
6 sudo cp -r /home/staernwarten_admin/template/. /home/$username
7 sudo chown -R $username:$username /home/$username
```

Danach werden Benutzername und Passwort über den `mail` Befehl an die vorher eingegebene Email-Adresse gesendet. Dafür wird ein *Postfix* Server verwendet, welcher die Emails über *Gmail* versendet. Das ist im Normalfall eine nicht optimale Lösung. Emails sind normalerweise unverschlüsselt und können einfach abgefangen werden. In diesem Fall ist es allerdings angemessen dies zu tun, da die Benutzer keine `sudo` Berechtigungen erhalten, keine sensiblen Daten gespeichert werden und das gesamte Netzwerk nur über ein VPN erreichbar ist. Um diese Nutzer auch wieder entfernen zu können, wurde auch dafür ein Skript erstellt, welches unter [9] zu finden ist. Da der Computer nur einen begrenzten Speicherplatz von



500 GB hat, wird die Software *Quota* genutzt, um Nutzern der Gruppe *quotalimited* nur einen begrenzten Speicherplatz von 30GB zur Verfügung zu stellen.

### 3.5.7 Zusätzliche Software

Zusätzlich zu den oben beschriebenen Programmen sind noch einige weitere zur Verfügung gestellt. Diese sollen hier kurz beschrieben werden.

- Stellarium[47] - Planetariumsprogramm, zeigt eine 3D-Ansicht des Himmels
- Siril[41] - astronomisches Bildbearbeitungsprogramm zur Nachbearbeitung von Aufnahmen
- AstroImageJ[30] - ImageJ verbunden mit vielen astronomischen Plugins, bietet Möglichkeiten wie Photometrie
- FireCapture[18] - Videoaufnahmesoftware spezialisiert auf Planeten- und Sonnenastronomie

### 3.5.8 Sicherheit

Um die Sicherheit der Computersysteme zu gewährleisten, wurden verschiedene Vorkehrungen getroffen. Da die Sternwarte mit dem VPN des phænovum verbunden ist und nicht mit dem kompletten Internet, können so die meisten Probleme vermieden werden. Um eine Brute-force Attacke auf den SSH-Zugang zu vermeiden, wird die Software *fail2ban*[4] verwendet. Diese blockiert eine IP-Adresse bei zu vielen fehlgeschlagenen Login Versuchen. Um diese Möglichkeiten für den Admin Account komplett auszuschließen, wird dort die Public-Key Authentifizierung verwendet. Dabei wird ein Public-Key auf dem Server gespeichert und ein Private-Key beim Benutzer. Darüber kann dann eine sichere verschlüsselte Verbindung aufgebaut werden.

## 3.6 Netzwerk

Damit der entfernte Zugriff auf das Netzwerk möglich ist, wird ein VPN verwendet. Dazu wird WireGuard[12] auf einer FritzBox[11] mit dem OpenWrt[35] Betriebssystem verwendet. Aufgrund der Lage der stærnwarte Gersbach ist es nur möglich eine mobile Internetverbindung zu erhalten. Über diese wird allerdings keine öffentliche IP-Adresse vergeben. Daher ist es nicht möglich, den Router als einen VPN-Server einzurichten. Stattdessen wird der Router in Gersbach als VPN Client des phænovumVPN benutzt. So kann auf alle Geräte im Netzwerk Remote zugegriffen werden. Der OpenWrt Router wird auch als Wireless Accesspoint verwendet. So ist ein WLAN Netzwerk vorhanden, mit dem zum Beispiel Überwachungskameras verbunden werden können.

## 4 Ergebnis

Durch die im vorherigen Kapitel beschriebenen Schritte, ist die Sternwarte Gersbach seit Ende des Jahrs 2021 Remote fähig. Sie kann nun vollkommen ferngesteuert genutzt werden. Der in Abbildung 21 dargestellte Nebel M27[10] wurde vollkommen Remote aufgenommen. Dazu wurde die Kamera ZWO ASI 294MC Pro[48] genutzt. Der Workflow zum Aufnehmen dieses Fotos, ist in Abbildung 22 dargestellt.



Abbildung 21: Hantelnebel M27

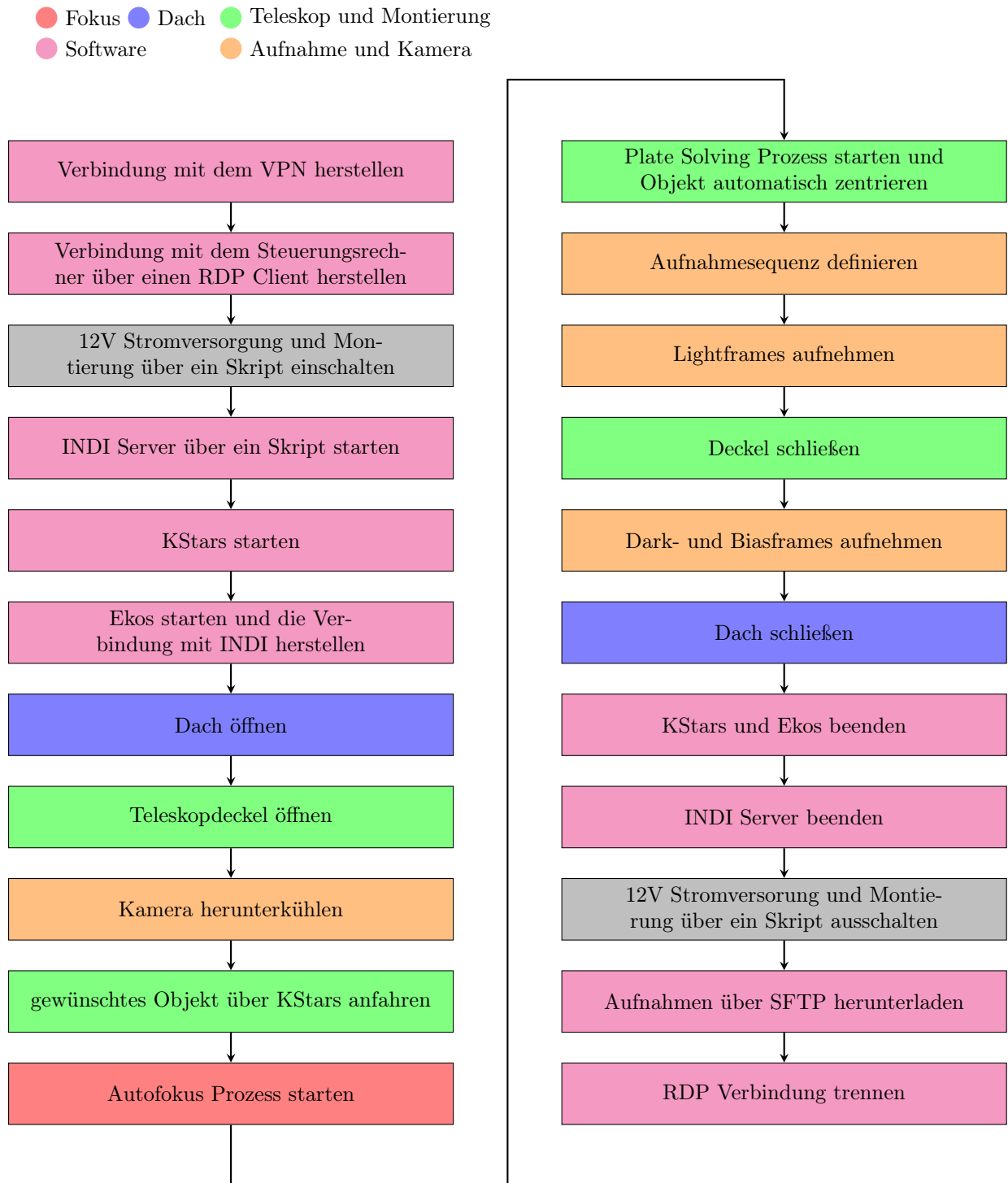


Abbildung 22: Workflow zu einer Bildaufnahme

## 4.1 Probleme

Beim Umbau traten Probleme verschiedener Art auf.

**Deckelsteuerung** Bei der Steuerung des Teleskopdeckels traten zu Beginn zwei verschiedene Probleme auf. Auf der Platine wird ein Logikgatter verwendet. Dieses hat bestimmte Logik Level, das heißt Spannungsbereiche in denen das Gatter einen Port als *Ein* oder *Aus* ansieht. Bei dem ursprünglich verwendeten Logik Gatter war das Logik Level für *Ein* zu hoch und das Gatter schaltete bei angelegtem Signal nicht. Dieses Problem konnte gelöst werden, indem ein anderes Logikgatter verwendet wurde. Ein weiteres Problem bei der Steuerung war der Sense Pin des L298N. Dieser kann, wenn benötigt, verwendet werden, um den Strom, der durch den Motor fließt, zu messen. Da diese Funktion nicht nötig war, wurde der Pin unverbunden gelassen. Wie es sich herausstellte, musste dieser in dem Falle allerdings mit GND verbunden sein. Nachdem diese Verbindung hergestellt wurde, konnte die Steuerung verwendet werden.

**XRDP** Nach der Installation von Xfce und XRDP konnte zuerst keine Verbindung hergestellt werden. XRDP sucht dafür nach der Datei `~/.xsession`, um die X-Session zu starten. Da Ubuntu Server aber ohne eine Desktop Umgebung ausgeliefert wird, war diese Datei nicht vorhanden. Nachdem diese Datei erstellt wurde, konnte eine X-Session gestartet werden.

**Light Locker** Light Locker[5] ist die integrierte Bildschirmsperre von Xfce. Dies führt allerdings zu Problemen in Verbindung mit XRDP, da Light Locker den Bildschirm nach einer gewissen Zeit sperrt und so eine RDP Verbindung verhindert. Indem Light Locker deaktiviert wurde, konnte das Problem behoben werden.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Es konnten ein Deckel konstruiert und die Dachsteuerung erneuert werden. Außerdem wurde erfolgreich INDI als Steuerungssystem implementiert und eine Nutzerverwaltung erstellt. So konnte die *stærnwarte* bereits genutzt werden, um astronomische Aufnahmen zu machen. Durch dieses Projekt können nun auch andere Schüler die *stærnwarte* Gersbach nutzen, ohne lange in der Kälte zu frieren, nachdem sie 40 min mit dem Auto gefahren sind. Auch werden so Langzeitprojekte ermöglicht, da die *stærnwarte* genutzt werden kann, ohne dort hinfahren zu müssen.

Als letztes sollen hier die Erweiterungsmöglichkeiten kurz beschrieben werden.

**Remote Spektroheliograph Sol'æx** Eine Möglichkeit zur Erweiterung wäre der Umbau des Spektroheliographen Sol'æx zum Remote-Betrieb. Ein Spektroheliograph ist ein Gerät zur Aufnahme der Sonne in verschiedenen Wellenlängen. Diesen habe ich im Rahmen eines zweiten *Jugend Forscht* Projektes, zusammen mit zwei Mitschülern gebaut.

**Filterrad** Um Filter nutzen zu können, wird ein Filterrad benötigt, welches über den Computer gesteuert werden kann. Die Nutzung von Filtern würde die Benutzung von Mono-Kameras ermöglichen, indem das selbe Objekt, mit verschiedenfarbigen Filtern, mehrmals fotografiert wird. Das wäre von Vorteil, da Mono-Kameras eine höhere Auflösung im Vergleich zu Farb-Kameras bieten.

**H-Alpha Teleskop** Eine weitere Möglichkeit ist die Montage eines separaten H-Alpha Teleskops verbunden mit einem Deckel und einem Fokuser.

**Spektroskopie** Das *phenovum* besitzt ein Alpy 600 Spektroskop. Dieses kann an das Planewave CDK 17 angeschlossen werden. Durch die integrierte Kalibrationslampe ist das ganze sehr gut geeignet für den Remote Betrieb. Hierfür fehlt nur eine Steuerung dieser Kalibrationslampe.

**Robotic Telescope** Ein Konzept aus der Remote Astronomie, ist das des *Robotic Telescope*. Dieses beschreibt ein Teleskop, welches selbstständig Beobachtungen durchführt. Dafür ist die Hard- und Software bereits vorhanden, sie muss aber noch kalibriert und getestet werden.

## 6 Danksagung

Ein riesiger Dank geht an meinen Projektbetreuer Herrmann Klein, ohne seine Bereitschaft, mich unzählige Male nach Gersbach zu fahren und auch meine Arbeit Korrektur zu lesen, wäre dieses gesamte Projekt nicht möglich gewesen. Auch die Möglichkeit, die *stærnwarte* für längere Zeit unbenutzbar zu machen, war nur durch ihn möglich. Auch möchte ich *phænovum* und *stærnwarte* für die Finanzierung meines Projektes danken. Des weiteren möchte ich der Firma *Lederle Hermetic* und dort speziell Werner Dahlke für die großzügige Spende zu der Dachsteuerung danken. Ein großer Dank auch an Phillip Maciej von der Firma *e-tec Service Maciej* für seine Hilfe bei der Planung des Schaltschranks und der Inbetriebnahme. Dank ihm konnte der Schaltschrank korrekt aufgebaut und geprüft werden. Ich danke auch Jan-Michael Franz für seine Hilfe bei verschiedenen Software Problemen. Dadurch konnte die Firmware der Deckelsteuerung fertiggestellt werden. Ein weiterer Dank geht an Thilo Glatzel vom *phænovum* für das Korrekturlesen meiner Arbeit.

## Literatur

- [1] 10micron. *GM3000HPS*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: <https://www.10micron.com/en/product/gm3000-hps/>.
- [2] Lunatico Astronomia. *AAG CloudWatcher cloud detector*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: <https://eu.lunaticoastro.com/product/aag-cloudwatcher-cloud-detector/>.
- [3] Autodesk. *Eagle*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: <https://www.autodesk.de/products/eagle/overview>.
- [4] Community. *Fail2ban*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: [https://www.fail2ban.org/wiki/index.php/Main\\_Page](https://www.fail2ban.org/wiki/index.php/Main_Page).
- [5] Community. *Light-Locker*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: <https://wiki.debian.org/light-locker>.
- [6] Hydreon Corporation. *Rain Gauge Model RG-9*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: <https://rainsensors.com/products/rg-9/>.
- [7] Nicholas Dahlke. *Schaltplan Deckelsteuerung*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. 2021. URL: [https://github.com/nicholasdahlke/Jugend\\_Forscht\\_Remote2022/blob/main/Schaltp1%C3%A4ne/Schaltplan%20Deckelsteuerung.pdf](https://github.com/nicholasdahlke/Jugend_Forscht_Remote2022/blob/main/Schaltp1%C3%A4ne/Schaltplan%20Deckelsteuerung.pdf).
- [8] Nicholas Dahlke. *Skript Benutzer erstellen*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. 2021. URL: [https://github.com/nicholasdahlke/Jugend\\_Forscht\\_Remote2022/blob/main/Code/create\\_user.sh](https://github.com/nicholasdahlke/Jugend_Forscht_Remote2022/blob/main/Code/create_user.sh).
- [9] Nicholas Dahlke. *Skript Nutzer löschen*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. 2021. URL: [https://github.com/nicholasdahlke/Jugend\\_Forscht\\_Remote2022/blob/main/Code/delete\\_user.sh](https://github.com/nicholasdahlke/Jugend_Forscht_Remote2022/blob/main/Code/delete_user.sh).
- [10] Simbad astronomische Datenbank. *M27 - Planetary Nebula*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-basic?Ident=m27&submit=SIMBAD+search>.
- [11] AVM Deutschland. *FRITZ!Box*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: <https://avm.de/produkte/fritzbox/>.
- [12] Jason A. Donenfeld. *WireGuard - Fast, Modern, Secure VPN Tunnel*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: <https://www.wireguard.com/>.
- [13] Elwood Charles Downey. *INDI:Instrument-Neutral Distributed Interface*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. 2007. URL: <http://www.clearskyinstitute.com/INDI/INDI.pdf>.
- [14] Eaton. *20DILE - Hilfsschalterbaustein*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: [https://datasheet.eaton.com/datasheet.php?model=010208&locale=de\\_DE](https://datasheet.eaton.com/datasheet.php?model=010208&locale=de_DE).
- [15] Eaton. *Leistungsschütze DIL*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: <https://www.eaton.com/de/de-de/catalog/industrial-control--drives--automation---sensors/dil-contactors.html>.
- [16] Eaton. *LS-S02 - Positionsschalter*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: [https://datasheet.eaton.com/datasheet.php?model=106729&locale=de\\_DE](https://datasheet.eaton.com/datasheet.php?model=106729&locale=de_DE).
- [17] Eaton. *PKZM0-6,3 - Motorschutzschalter*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: <https://datasheet.eaton.com/datasheet.php?model=072738&locale=de>.



- [18] Torsten Edelmann. *FireCapture*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: <http://www.firecapture.de/>.
- [19] Seva Tec Antriebstechnik Energieanlagen. *Frequenzumrichter SEVA-LS 008M100*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: <https://www.seva-tec.de/de/produkte/frequenzumrichter/ls-m100-der-neue-kompakte/32916/frequenzumrichter-seva-ls-008m100?c=521>.
- [20] Espressif. *ESP32*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>.
- [21] SEW Eurodrive. *Drehstrommotoren, Asynchronmotoren*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: <https://www.sew-eurodrive.de/produkte/motoren/drehstrommotoren-asynchronmotoren.html>.
- [22] freeRTOS. *Real-time operating system for microcontrollers*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: <https://www.freertos.org/>.
- [23] Andreas Gottwald. *Ein besonderer X-Client: Der Window-Manager*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: [http://x11.gweb.info/x11\\_0200\\_wm.html](http://x11.gweb.info/x11_0200_wm.html).
- [24] PlaneWave Instruments. *CDK17 Optical Tube Assembly*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: <https://planewave.com/product/cdk17-ota/>.
- [25] PlaneWave Instruments. *Electronic Focus Accessory (EFA) Kit*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: <https://planewave.com/product/efa-kit-electronic-focuser/>.
- [26] PlaneWave Instruments. *Hedrick Focuser*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: <https://planewave.com/product/hedrick-focuser/>.
- [27] Tytus Kurek. *Ubuntu Server 20.04 LTS: stability, security and more*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: <https://ubuntu.com/blog/ubuntu-server-20-04>.
- [28] Louis Lam. *Uptime Kuma*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: <https://github.com/louislam/uptime-kuma>.
- [29] Diffraction Limited. *Half-Flux Diameter*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: <https://cdn.diffractionlimited.com/help/maximdl/Half-Flux.htm>.
- [30] University of Louisville. *AstroImageJ - ImageJ for Astronomy*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: <https://www.astro.louisville.edu/software/astroimagej/>.
- [31] ST Microelectronics. *L298 Dual Full Bridge Driver*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: <https://www.st.com/en/motor-drivers/l298.html>.
- [32] NASA. *Flexible Image Transport System*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: [https://fits.gsfc.nasa.gov/fits\\_documentation.html](https://fits.gsfc.nasa.gov/fits_documentation.html).
- [33] neutrinolabs. *xrdp*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: <http://xrdp.org/>.
- [34] onshape. *onshape*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: <https://www.onshape.com/en/>.
- [35] OpenWrt Project. *OpenWrt*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: <https://openwrt.org/>.
- [36] The KDE Education Project. *KStars*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. 2021. URL: <https://edu.kde.org/kstars/>.
- [37] Rittal. *Kompakt-Schaltsschrank AX1054.000*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: <https://www.rittal.com/de-de/products/PG0002SCHRANK1/PG0021SCHRANK1/PGRP30564SCHRANK1/PR070743?variantId=1054000>.
- [38] Astrogarten Shop. *TEC APO 140ED (f/7)*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: <https://astrogarten-shop.de/de/teleskope-optiken/refraktoren/tec-telescope-engineering-company/tec-apo-140ed-f-7.html>.
- [39] Siemens. *Logikmodul LOGO!*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: <https://new.siemens.com/de/de/produkte/automatisierung/systeme/industrie/sps/logo.html>.
- [40] Siemens. *SITOP PSU100C*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: <https://mall.industry.siemens.com/mall/de/de/Catalog/Product/6EP1322-5BA10>.
- [41] Siril. *SIRIL astronomical image processing tool*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: <https://siril.org/>.
- [42] Alcor Systems. *OMEA - All Sky Camera*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: [https://www.alcor-system.com/new/AllSky/Omea\\_camera.html](https://www.alcor-system.com/new/AllSky/Omea_camera.html).

- [43] Gude Systems. *Expert Net Control* Zuletzt aufgerufen: 2302-1. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: <https://www.gude.info/monitoring/remote-io/expert-net-control-2302-1.html>.
- [44] Shinobi Systems. *Shinobi - The Open Source CCTV Solution*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: <https://shinobi.video>.
- [45] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung. *Elektrische Anlagen und Betriebsmittel*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. 1997. URL: <https://publikationen.dguv.de/regelwerk/dguv-vorschriften/1052/elektrische-anlagen-und-betriebsmittel>.
- [46] Xfce. *Xfce Desktop Environment*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: <https://xfce.org/>.
- [47] Georg Zotti u. a. „The Simulated Sky: Stellarium for Cultural Astronomy Research“. In: *Journal of Skyscape Archaeology* 6.2 (2021), S. 221–258. DOI: 10.1558/jsa.17822. URL: <https://journal.equinoxpub.com/JSA/article/view/17822>.
- [48] ZWO. *ZWO ASI 294MC Pro*. Zuletzt aufgerufen: 23. Februar. 2022. URL: <https://astronomy-imaging-camera.com/product/asi294mc-pro-color>.