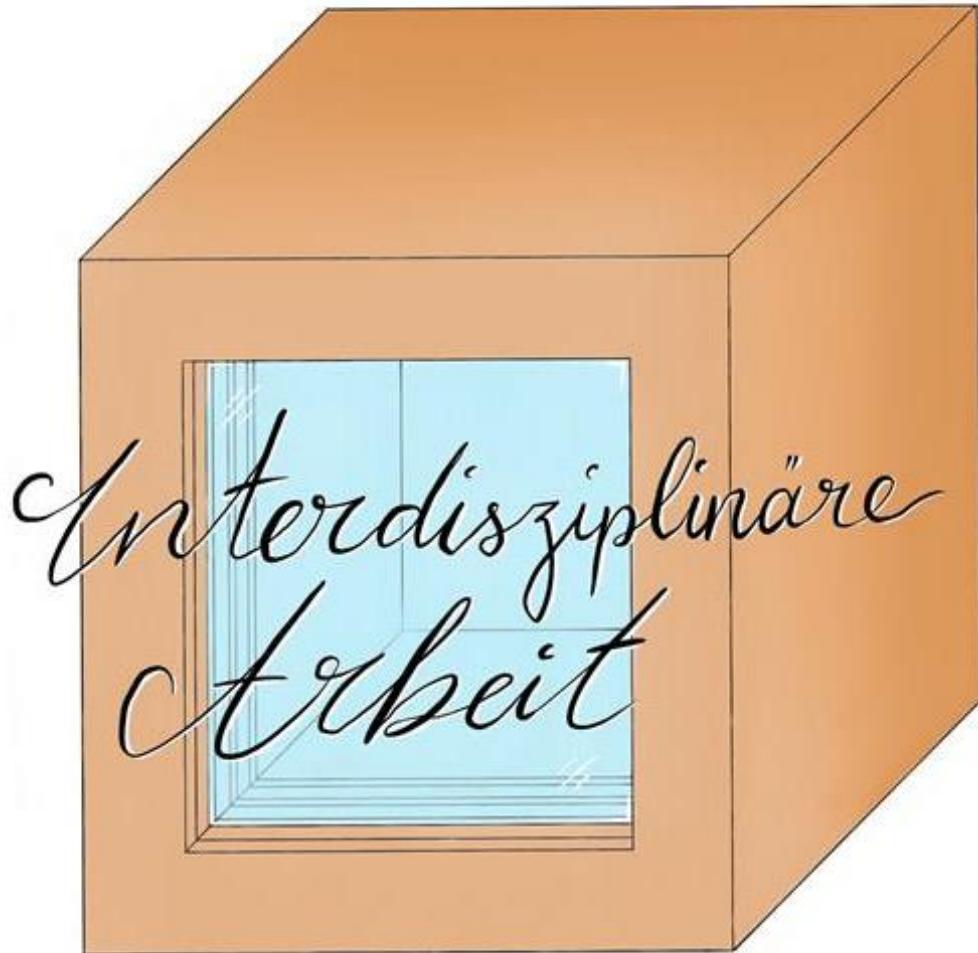


Wassergekühltes Fenstersystem

H₂O



Berufsschule Aarau, Technische Berufsmaturität

Jennifer Schumacher, Dominik Abt

BM2TE24a, Gert Siegenthaler

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung

- 1.1 Ideensammlung
- 1.2 Kurzbeschrieb
- 1.3 Hintergrund und persönliche Motivation
- 1.4 Ziel des Projektes
- 1.5 Risiken und Herausforderungen
- 1.6 Erwartetes Ergebnis
- 1.7 Methodenüberblick

2. Hauptteil

- 2.1 Physikalische Grundlagen
 - 2.1.1 Energieberechnungen
 - 2.1.2 Wasserkreislaufberechnungen
- 2.2 Elektronik
 - 2.2.1 Ziele in der Technik
 - 2.2.2 Elektronische Komponenten
- 2.3 Programmierung
 - 2.3.1 Ordnerstruktur
 - 2.3.2 Skizze der Oberfläche
 - 2.3.3 Programmiersprache und IDE
 - 2.3.4 Grundgerüst des Codes
 - 2.3.5 Wetter API
 - 2.3.6 Aufnahmefunktionen
 - 2.3.7 RaspberryOS Installation
 - 2.3.8 Sensorik im Programm
- 2.4 Messungen und Datenauswertung
 - 2.4.1 Aufbaue einer verlässlichen Datenerhebung
 - 2.4.2 Datenauswertung
 - 2.4.3 Experimente
- 2.5 Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung
- 2.6 Erweiterbarkeit
- 2.7 Bau des Projekts
 - 2.7.1 Brainstorming
 - 2.7.2 Masse bestimmen
 - 2.7.3 Recherche und Elektronik
 - 2.7.4 Einkaufen
 - 2.7.5 Bauen

3. Schlussteil

- 3.1 Zusammenfassung der Projektergebnisse*
 - 3.1.1 Leitfrage 1*
 - 3.1.2 Leitfrage 2*
 - 3.1.3 Leitfrage 3*
- 3.2 Vergleich mit den Erwartungen*
- 3.3 Persönliche Rückblicke*
- 3.4 Ausblick*

4. Anhang

- 4.1 Interview*
- 4.2 Quellenangabe*
- 4.3 Abbildungsnachweis*
- 4.4 Erklärung der Eigenständigkeitserklärung*
- 4.5 Wortverzeichnis*

1. Einleitung

1.1 Ideensammlung

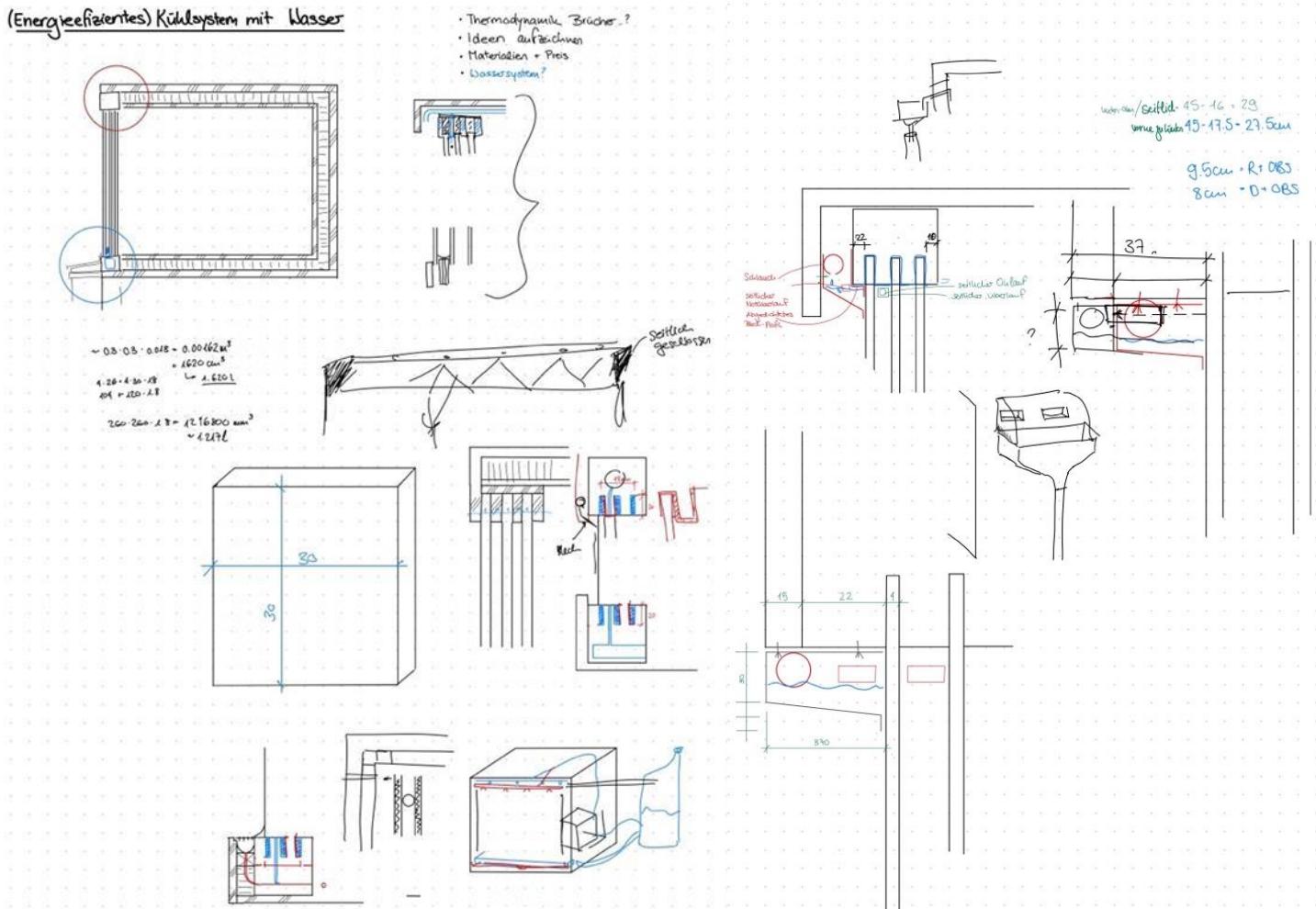


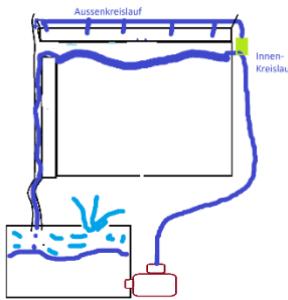
Abb. 1: Prozessskizzen, Jennifer Schumacher, Oktober 2024

Alle unsere Ideen haben wir aufgezeichnet. Unsere Grundidee war es von Beginn an, ein doppeltes Kühlsystem zu bauen. Dabei soll der eine Kreislauf durch die Scheiben gehen und der andere sollte einen Wasserfilm über der äussersten Scheibe erstellen. Wir haben auch beide Systeme vollkommen durchgeplant, aber hatten schlussendlich keine Zeit mehr, um das äussere System zu bauen.

Durch den Zeitdruck mussten wir uns für ein System entscheiden. Wir haben uns für das innere Kreislaufsystem entschieden, da es für die thermische Isolation effektiver sein sollte. Das System mit dem Wasserfilm wäre für eine direkte Kühlung besser und effektiver gewesen, wenn eine intensive Sonneneinstrahlung vorgelegen hätte, da die Hitzestrahlung und die Wärme gar nicht erst an die Scheibe gelangt, sondern direkt abgeführt worden wären.

1.2 Kurzbeschrieb

Im Rahmen unseres Projekts, das sich unter dem übergeordneten Thema «H₂O» mit der Entwicklung eines wassergekühlten Fenstersystems beschäftigt, konstruieren wir zwei Boxen, von denen eine als Referenz dient und die andere den entwickelten Wasserkreislauf enthält. Der Kreislauf besteht aus zwei unterschiedlichen Systemen: Im ersten, dem inneren Kreislauf, wird Wasser zwischen die äusseren beiden Glasscheiben gepumpt, um eine konstante Kühlung dieser Schicht sicherzustellen. Im zweiten, dem äusseren Kreislauf, fliesst das Wasser über die äussere Glasscheibe und wird dabei kontinuierlich gekühlt, um eine gleichmässige Kühlwirkung zu erzielen. Zur Beurteilung der Wirksamkeit der Systeme führen wir Temperaturmessungen an den relevanten Stellen durch. Dabei messen wir die Temperatur der Glasscheiben, des Innenraums, des Außenraums sowie des Wassers. Diese Messungen ermöglichen es uns, die Daten der Referenzbox und der Box mit dem Wasserkreislauf zu vergleichen und so die Effizienz der beiden Kühlansätze genau zu bewerten.



1.3 Hintergrund und persönliche Motivationen

Die Kombination unserer individuellen Interessengebiete sowie die wertvolle Unterstützung durch Herrn Siegenthaler führten uns schliesslich zur finalen Idee. Unsere Motivation für diese Projektarbeit resultierte aus der Begeisterung, die sich nach der Konkretisierung der Idee entwickelte. Durch den intensiven Austausch und die gemeinsame Weiterentwicklung des Konzepts wuchs unser Interesse stetig. Darüber hinaus sind wir beide gespannt auf die Ergebnisse und darauf, wie sich der Verlauf der Projektarbeit gestalten wird.

Durch meine Lehre als Zeichnerin bin ich am Baugewerbe sehr interessiert. Der Klimawandel bezweckt gerade in diesem Gewerbe ein riesiges Wandeln und ein Umdenken der Planung. Es ist nicht nur ein Verwenden von ökologischen Baumaterialien, sondern es wird auch beachtet, wie eine Konstruktion, in einem Fall des Abbruchs oder Umbaus, rückgebaut werden kann. Zudem ist heutzutage wichtig, den Innenraum nicht nur vor Kälte, sondern auch vor Wärme zu schützen. Dabei stellen die Fenster das grösste Problem durch die Sonneneinstrahlung, welche sie durchlassen, dar. Man hat bereits Folien entwickelt, welche diese Einstrahlung kleihalten sollen, doch die Untersuchung einer komplett neuen Idee zur Bekämpfung der Hitze wird sicher sehr spannend und aufschlussreich.

Jennifer

Wegen meiner Faszination für Technik und meins Interesses, ob so ein System wirklich funktionieren kann, wollte ich nach dem Denkanstoß von Herrn Siegenthaler das Projekt umsetzen, da es mich brennend interessierte, wie der Outcome sein würde. Ich finde es für die Zukunft wichtig, jetzt schon für alternative Lösungen zu sorgen. Das Projekt klingt umsetzbar und realistisch, zudem kann ich auch mein Wissen in der Informatik einbringen und erweitern. Ich finde

es toll, dass wir Datenerhebungen mit Messdaten und die Auswertung dieser machen können, das wollte ich schon immer gerne einmal machen.

Dominik

1.4 Ziel des Projektes

Der Aufbau des Wasserkreislaufs stellt den ersten zentralen Schritt unseres Projekts dar. Ziel unserer Untersuchung ist es, die Wirkung der Wasserschicht auf die Temperatur des Innenraums zu analysieren. Im Fokus steht die Überprüfung, ob die Wasserschicht eine kühlende Wirkung auf die Fenster entfaltet bzw. als Isolator der Strahlung dient und dadurch eine Erwärmung des Innenraums effektiv verhindert. Dabei bilden die praktischen Versuche und die daraus gewonnenen Messdaten die Grundlage für unsere Ergebnisse.

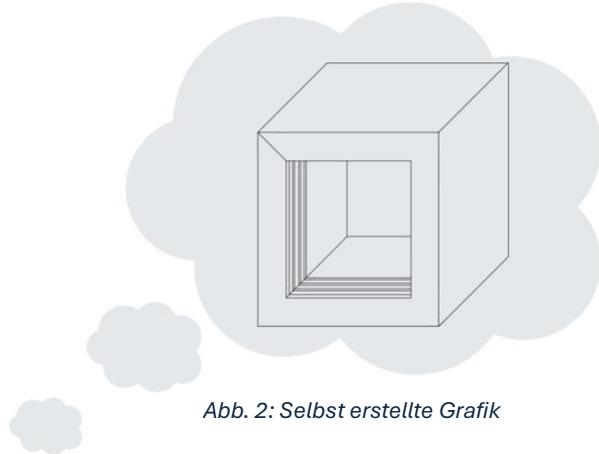


Abb. 2: Selbst erstellte Grafik

Ein weiterer Schwerpunkt liegt in der Bestimmung des U-Werts für unsere beiden Varianten, um festzustellen, welches System effizienter ist. Zusätzlich wollen wir klären, welche Inhaltsstoffe im Wasser enthalten sein dürfen, ohne Rückstände oder technische Probleme zu verursachen. Um das System wintertauglich zu machen, planen wir Massnahmen, das Wasser bei Bedarf vollständig aus dem Kreislauf entfernen zu können. Neben den technischen und wissenschaftlichen Zielen streben wir eine konstruktive Zusammenarbeit an, bei der beide Teammitglieder mit dem Ergebnis zufrieden sind. Ein besonderes Augenmerk liegt darauf, sich gegenseitig zu unterstützen und zu motivieren, um eine produktive und angenehme Arbeitsatmosphäre zu schaffen.

1.5 Risiken und Herausforderungen

Bereits in der Planungsphase wird deutlich, dass unser Projekt mit einigen Herausforderungen verbunden sein wird. Ein zentrales Risiko stellt die Verarbeitung der Fenster dar, insbesondere das Fenster, in welches der Wasserkreislauf integriert wird. Die Dichtigkeit von Fenstern ist auch im Bauwesen ein häufig auftretendes Problem, vor allem an der Schnittstelle zwischen Fensterrahmen und Baukonstruktion. In unserem Fall ist jedoch bereits die Abdichtung des Fensters selbst eine kritische Herausforderung, die eine sorgfältige Planung und Umsetzung erfordert.

Eine weitere wesentliche Schwierigkeit stellt der Faktor Zeit dar. Aufgrund der Komplexität unseres Projekts erwarten wir einen hohen Zeitaufwand. Dies betrifft nicht nur den Bau der Boxen, sondern auch die Installation der Technik und Elektronik sowie die Programmierung des Systems, die jeweils detaillierte und zeitintensive Arbeitsschritte erfordern. Zudem wird unser Vorhaben als

Partnerarbeit durchgeführt, wodurch uns zwei zusätzliche helfende Hände fehlen, die bei einer Gruppenarbeit zur Verfügung stehen könnten.

1.6 Erwartetes Ergebnis

Am Ende des Projekts planen wir die Präsentation eines vollständig funktionstüchtigen Modells. Die durchgeführten Messungen sollen belegen, dass der Wasserkreislauf einen positiven Einfluss auf die Temperaturregulierung von Innenräumen ausübt. Während des Arbeitsprozesses rechnen wir mit möglichen Herausforderungen und unvorhergesehenen Schwierigkeiten, die wir jedoch durch lösungsorientierte Diskussionen bewältigen möchten. Insgesamt sind wir zuversichtlich, dass unser Ansatz zu positiven Ergebnissen führen wird und unser Konzept nicht nur technisch realisierbar, sondern auch nachhaltig und innovativ ist.

1.7 Methodenüberblick

Zur Erweiterung unseres Wissens greifen wir auf eine Vielzahl von Quellen zurück, darunter das Internet und relevante Fachliteratur. Aufgrund der bislang begrenzten Forschung zu diesem Thema stehen uns jedoch nur wenige Studien und Dokumentationen zur Verfügung. Eine wichtige zusätzliche Informationsquelle stellt das geplante Interview mit einem Fensterbauer dar, das uns wertvolle Einblicke und praxisnahe Expertisen liefern soll. Für den Bau der Experimentierboxen erhalten wir zudem externe Unterstützung von einem Kollegen, der eine Ausbildung als Spengler absolviert hat und uns bei der praktischen Umsetzung beratend zur Seite stehen wird.

2. Hauptteil

2.1 Physikalische Grundlagen

2.1.1 Energieberechnungen

Während unserer Arbeit haben wir erkannt, dass nicht der U-Wert relevant ist, wie wir bei der Erstellung der Leitfragen dachten, sondern der g-Wert. Der g-Wert ist der Gesamtenergiedurchlass eines Fensters. Er gibt an, wie viel Sonnenenergie in Form von elektromagnetischer Strahlung im Vergleich zu Luft durchstrahlt. Bei keiner Verglasung wäre der g-Wert bei 100%. Miteinberechnet werden dabei der Lichttransmissionswert, was die direkte Strahlung ist, und die Lichtkonvektion, was eine sekundäre Abstrahlung ist.

Ein normales Fenster hat einen g-Wert von 0.6, also 60%. Die zusätzliche Wasserschicht zwischen den Scheiben beeinflusst den g-Wert erheblich und reduziert somit den Durchlass der Sonnenenergie. Folgende Berechnungen haben wir dazu gemacht:

Unser Fenster ist folgendermassen aufgebaut:

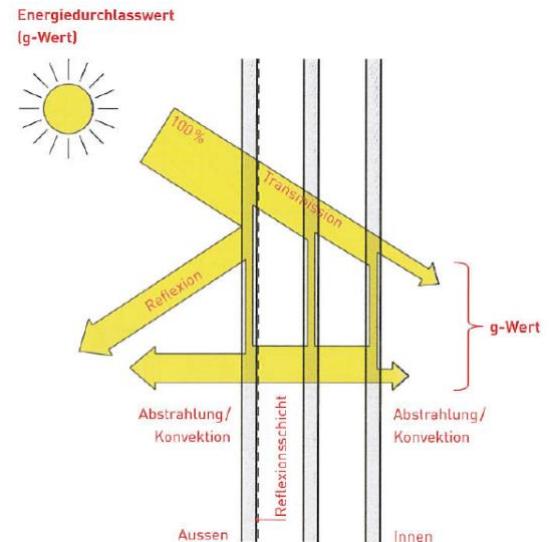
Baumaterial	Dicke [mm]	g-Wert
Glas ₁	4	0.85
Wasser	18	0.5
Glas ₂	4	0.85
Luft	18	0.9
Glas ₃	4	0.85
Gesamt	48	0.276

$$g_{gesamt} = g_{glas1} \times g_{wasser} \times g_{glas2} \times g_{luft} \times g_{glas3}$$

$$g_{gesamt} = 0.85 \times 0.5 \times 0.85 \times 0.9 \times 0.85 = 0.27636$$

$$g_{gesamt} \approx 0.276 = 27.6\%$$

Mit unserer Berechnung konnten wir bereits beweisen, dass die Kühlung mit Wasser eine Wirkung zeigen muss. In einem professionell gebauten Fenster wird nicht Luft, sondern ein Edelgas verwendet. Oft nutzt man dafür Argon. Wir haben zusätzlich zu unserem selbstgebauten Fenster eine Berechnung für ein Fenster mit Argon gemacht.



Baumaterial	Dicke [mm]	g-Wert
Glas ₁	4	0.85
Wasser	18	0.5
Glas ₂	4	0.85

Argon	18	0.85
Glas ₃	4	0.85
Gesamt	48	0.261

$$g_{gesamt} = g_{glas1} \times g_{wasser} \times g_{glas2} \times g_{argon} \times g_{glas3}$$

$$g_{gesamt} = 0.85 \times 0.5 \times 0.85 \times 0.85 \times 0.85 = 0.291709$$

$$g_{gesamt} \approx 0.261 = 26.1\%$$

Wie man bei unserer Berechnung sehen kann, gibt es kleine Abweichungen zur Variante mit Luft. Argon hat eine geringere Wärmeleitfähigkeit als Luft, somit gelangt weniger Wärme ins Haus sowie auch aus dem Haus, weshalb es auch in die meisten Fenster verbaut wird.

Um die angestellten Berechnungen zu überprüfen, haben wir Sensoren installiert, die unsere These beweisen sollen. Diese Sensoren sind innerhalb der Boxen, außerhalb der Boxen, an den Scheiben und im Wasser montiert. Die Messungen im Außenbereich sollen die aktuell herrschende Lufttemperatur erfassen, um Verzerrungen durch kalte oder warme Testumgebungen zu vermeiden und die Ergebnisse überprüfbar zu machen.

An den Scheiben möchten wir beobachten, wie heiß die Aussengläser werden und wie das Wasser die Oberflächentemperatur beeinflusst. Wir messen die Temperatur des Wassers vor und nach der Kühlung, um herauszufinden, wie stark sich das Wasser in den Scheiben erwärmt. So können wir bestimmen, wie viel Wärme das Wasser aufnimmt. Dieser Punkt ist ebenfalls wichtig, da das Kühlen des Wassers viel Energie erfordert. Wir möchten wissen, ob sich die investierte Energie in unseren Ergebnissen auszahlt.

In Kombination mit den anderen Sensoren ist der wichtigste der innere Sensor, da er die Temperatur misst, die effektiv in einer Wohnung oder, wie bei uns, in einer Box herrscht. Anhand unserer Messergebnisse konnten wir feststellen, dass unser Projekt tatsächlich so effektiv ist, wie es unsere Berechnung vorhersagte.

2.1.2 Wasserkreislaufberechnungen

Zusätzlich zu den energetischen Berechnungen mussten wir Berechnungen zu unserem Wasserkreislauf anstellen.¹

Schlauchquerschnitt

- Innendurchmesser d = 10mm = 0.01m
- Querschnittsfläche A = $\pi (d/2)^2 = \pi (0.005m)^2 = 7.85 \times 10^{-5} m^3/s$

Gewünschte Fliessgeschwindigkeit

- Typischerweise wählt man eine Fliessgeschwindigkeit von v = 0.5 bis 1 m/s

¹ Berechnungen zum Wasserkreislauf, <https://www.studysmarter.de/ausbildung/ausbildung-in-handwerkproduktion-und-gewerbe/anlagenmechaniker/druckverluste/>

Volumenstrom

- $Q = A \times v$
- $Q = 7.85 \times 10^{-5} \times 0.5 = 3.93 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q = 3.93 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \times 3600 \text{ s/h} \times 1000 \text{ L/m}^3 = 141 \text{ L/h}$

Förderhöhe 1-2m

- Um eine Höhe von 1 bis 2 Metern zu überwinden, braucht es einen Druck von 0.1 bis 0.2 bar.
- Eine normale kleine Pumpe mit ca. 300 bis 400 L/h und 0.2 bis 0.5 bar Druck eignet sich daher ganz gut.

Dank der Berechnungen konnten wir die passende Wasserpumpe kaufen, welche dann für unseren Kreislauf ausreichend war.

2.2 Elektronik

2.2.1 Ziel in der Technik

Die elektronischen Komponenten und die Steuerung des wassergekühlten Fenstersystems spielen eine zentrale Rolle für die Funktionalität und Effizienz unseres Projekts. Ziel war es, ein einfaches, robustes und gleichzeitig technisch ausgereiftes System zu entwickeln, das den Wasserfluss kontrolliert und die Temperatur der Fenster wie auch die Innen- und Außentemperatur präzise überwacht. Uns war es zudem wichtig, die Elektronik von Grund auf selbst zu erstellen und nicht auf fertige Lösungen zurückzugreifen.

Die Steuerung unseres wassergekühlten Fenstersystems wird durch eine präzise Kombination aus Hardware- und Software-Komponenten realisiert. Die Verkabelung haben wir über Steckverbindungen realisiert, um einen einfachen Transport der Boxen sicherzustellen. Herzstück der Steuerung ist ein Raspberry Pi 4B, der in Verbindung mit Sensoren, Pumpen und Magnetventilen die Funktionalität des Systems sicherstellen sollte. Dabei sollten sowohl moderne Elektrotechnik als auch grundlegende Prinzipien der Steuerungstechnik genutzt werden, um die Temperaturmessung und den Wasserfluss effizient zu gestalten.

Der Raspberry Pi ist aber nur ein kleiner Computer, auf dem Linux läuft. Wir mussten eine Software haben, die sich um die Steuerung und die Datenerhebung kümmert. Da wir die ganze Elektronik selbst machten, gab es keine fertigen Programme, die für unsere Zwecke geeignet waren. Somit haben wir uns dazu entschieden, ein eigenes Programm in Python zu schreiben. Hier waren uns Einfachheit, Erweiterbarkeit und eine geringe Fehleranfälligkeit wichtig. Dieses Programm sollte sich dann über einen 7 Zoll grossen Touchscreen bedienen lassen und uns ein schnelles Ein- und Ausschalten des Systems und ein einfaches Starten der Aufnahme sichern. Zudem sollen alle Werte der Sensoren in Echtzeit dargestellt werden.

2.2.2 Elektronische Komponenten

Raspberry Pi 4B

Der zentrale Ort, an dem alles zusammenläuft, ist wie schon erwähnt der Raspberry Pi 4B. Wir haben uns für diesen entschieden, da er durch seinen Quad-Core-Prozessor und seine 8GB RAM deutlich leistungsfähiger als beispielsweise ein Arduino ist. Diese Leistungsfähigkeit ist wichtig bei unseren komplexen Steuerungsaufgaben, wie der Verarbeitung von Temperaturdaten, der Steuerung eines geschlossenen Wasserkreislaufs und gleichzeitiger Datenspeicherung. Da er über ein eigenes Betriebssystem verfügt, sind Aufgaben wie die Programmierung mit Python einfach umzusetzen. Der Raspberry Pi verfügt auch über diverse GPIO-Pins, über die wir externe Geräte mit einem selbst gebauten Kabel anschliessen können, was für unser Projekt elementar ist. Weiter sollten ein USB- und ein HDMI-Anschluss für den Monitor und den Touchscreen verfügbar sein. Da der Raspberry Pi alle unsere Notwendigkeiten abdeckt, war er eine sehr gute Wahl für unser Projekt.²

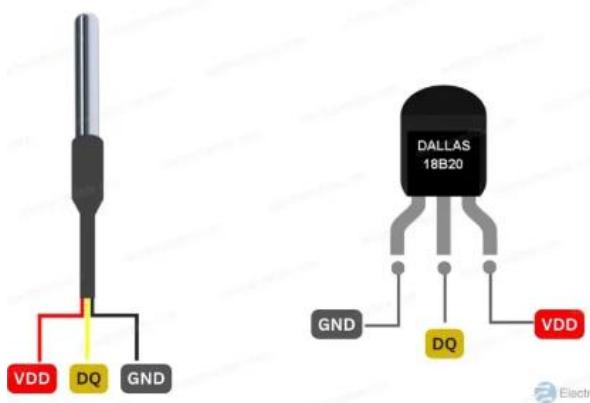


Abb. 3: Produktbild Raspberry Pi 4B, direnc.net

DS18B20 Temperatursensoren

Nachdem die zentrale Steuereinheit für unseren Wasserkreislauf festgelegt war, stand die Auswahl geeigneter Temperatursensoren im Fokus. Die Wahl fiel auf die DS18B20-Sensoren, da sie zuverlässig arbeiten und sich problemlos mit dem Raspberry Pi 4B verbinden lassen. Gemäss der offiziellen Raspberry Pi-Dokumentation³ ermöglicht die DS18B20-Technologie die Nutzung

eines **1-Wire-Busses**, über den mehrere Sensoren effizient angeschlossen werden können. Alle Sensoren teilen sich dabei ein gemeinsames Datenkabel, was den Verkabelungsaufwand reduziert. Jeder Sensor wird durch das von uns entwickelte Programm mit einer eindeutigen Adresse identifiziert. Dadurch können die Signale sequentiell und ohne Interferenzen übermittelt werden.



² Raspberry Pi Hardware, <https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/raspberry-pi.html>

³ Raspberry Pi-Konfiguration, 1-Wire,

<https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/configuration.html#one-wire-nonint>

Den Sensor gibt es als wasserfeste Sonde und als Sensor mit TO-92-Gehäuse, also können wir die trockenen und die nassen Bereiche messen.

Abb 4: Varianten DS18B20 Sensor, electrocredible.com

Mountain Ark DC 12V mini Wasserpumpe

Eine geeignete Wasserpumpe zu finden, war der schwierigste Teil. Wie in «Physikalische Grundlagen» beschrieben, musste das Wasser ca. 1-2 Meter hoch transportiert werden und sollte für seine kleine Grösse eine starke Fördermenge haben. Zudem war zu beachten, dass gewisse Pumpen vom Hersteller aus nicht für das Hochtransportieren von Wasser geeignet sind, weil sie entweder nicht ausreichend Druck aufbauen können oder ihre Mechanik für horizontale Förderungen optimiert ist. Viele Pumpen sind zwar leistungsstark, jedoch nicht dafür ausgelegt, Wasser über mehrere Meter in die Höhe zu befördern, was in unserem Fall eine wesentliche Anforderung war.



Abb. 5: Produktbild, Miniwasserpumpe, Hersteller: MOUNTAIN ARK, Vertrieb: amazon.de

Ein weiterer wichtiger Aspekt war die Stromversorgung der Pumpe. Um die Integration in unser System zu erleichtern, bevorzugten wir eine Pumpe, die mit Niederspannung arbeitet, idealerweise im Bereich von 12 bis 24 Volt. Dies reduzierte nicht nur den Energieverbrauch, sondern minimierte auch Sicherheitsrisiken im Umgang mit Wasser. Zu unserem Glück verfügt die gewählte Pumpe sogar zusätzlich über 6 Pump-Modi, mit denen wir die Fördermenge anpassen konnten. Auf dem Maximum ist die Pumpe fähig, 800 Liter in der Stunde zu transportieren, was ausreichte und uns noch einen Puffer gab.



Abb. 6: Produktbild, YF-S201 Wasserdurchflusssensor, Hersteller: DollaTek, Vertrieb: amazon.de

DollaTek YF-S201-Wasserdurchflusssensor

Die präzise Erfassung der Durchflussmenge hilft, den Wasserverbrauch zu erkennen und die Effizienz des Kühlsystems sicherzustellen. Das Kühlsystem soll nachhaltig sein, und durch den Wasserverbrauch können wir darauf schliessen, wie umsetzbar so ein System in der Baubranche sein kann. Der Sensor arbeitet mit einem Hall-Effekt-Sensor, der Signale in Form von Impulsen ausgibt.⁴ Diese lassen sich leicht mit dem **Raspberry Pi 4B** auslesen und verarbeiten. Dank der klaren

⁴ Hall-Sensor, https://en.wikipedia.org/wiki/Hall_effect_sensor

Ausgangssignale kann der Sensor problemlos in die bestehende Steuerungslogik integriert werden. Dieser Sensor kann auch mit 12V betrieben werden.

Nicht explizit erwähnt sind Kabel, Stecker, eine Lötmachine und das Netzteil mit Verteilerkabel.

Kühlung

Für die Kühlung verwendeten wir eine alte AiO-Wasserkühlung, die nicht mehr anderweitig Gebrauch fand und trennten den Kühlkörper von den Schläuchen ab. Das Wasser wird durch Röhrchen geleitet und baut über die Kühllamellen Hitze ab⁵, wodurch es sich super eignet für das Kühlen des Wassers in unserem Kreislauf. Die Kühlung könnte auch realistisch in den Hausbau integriert werden oder mit anderen Kühlsystemen, wie Klimaanlagen-Split-Systemen kombiniert werden, bei denen Wärme an ein Kältemittel abgegeben wird und nach aussen fliesst, wo es dann abkühlt.⁶



Abb. 7: IDPA, Bau der Kühlung, Dominik Abt, 24.11.24

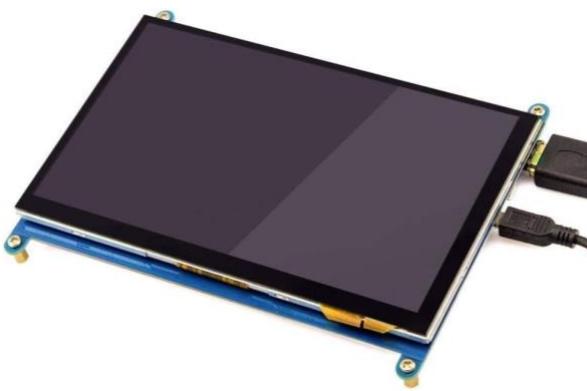


Abb. 8: Produktbild, Raspberry Pi Display, Hersteller: ELECROW, Vertrieb: amazon.de

angezeigt bekommen und den Automatismus des Systems aus- und einschalten können. Ursprünglich war unser Gedanke, dass wir das Wassersystem automatisch starten, wenn ein vorher eingestellter Grenzwert von beispielsweise 20 °C überschritten wird und das Wetter gut ist. Diese Idee haben wir aus Zeitgründen verworfen. Weiter soll der Endkunde die Möglichkeit haben, einzelne Fenster aus- und einzuschalten, durch die er hindurchblicken will. Der Bildschirm würde

Display und Peripherie

Für das User-Interface, das wir programmierten, brauchten wir noch eine geeignete Lösung für die Bedienung durch den Endkunden. Für uns war schnell klar, dass es hier ein Display sein muss. In einer späteren Version könnte man eine App bereitstellen, aber für die generelle Steuerung eignet sich ein Display, das man in die Wand integrieren kann, am besten. Wir verwenden eine Tastatur und einen Laptop, was für den Endkunden eher mühsam sein könnte, wodurch wir uns für einen Touchscreen entschieden haben. Über dieses Display soll der Endkunde die Werte

⁵ All-in-One-Wasserkühlungen, Funktionsweise einer All-in-One-Wasserkühlung, https://www.pcwelt.de/article/1522641/all-in-one-wasserkühlungen-vorteil-nachteile-kauf-tipps-montage.html?utm_source=chatgpt.com

⁶ So funktionieren Splitsysteme, Prinzip der Funktionsweise, https://www.meiertobler.ch/de/klimaanlagen/split-system?utm_source=chatgpt.com

sich gut mit Smart Home (IoT) Geräten kombinieren lassen, die dann darüber gesteuert werden können. 7 Zoll ist hier nicht zu gross und nicht zu klein.

Verkabelung

Für die Verbindung der verschiedenen Komponenten unseres Systems war die Auswahl geeigneter Kabel entscheidend. Die Wahl fiel auf das QWORK Flachbandkabel und das Security-01 DC Power Splitter Kabel.

Das Flachbandkabel bietet mit seinen zehn Adern und dem 1,27-mm-Rastermaß eine platzsparende und gut organisierte Lösung, um mehrere Signalleitungen zwischen den GPIO-Pins des Raspberry Pi und den angeschlossenen Sensoren zu verlegen. Es ermöglicht eine klare Trennung der Signale durch Farbcodierung, was die Zuordnung der einzelnen Leitungen erheblich erleichtert. Für unser Projekt war dies ideal, da wir eine Vielzahl von Komponenten wie Temperatursensoren und Durchflusssensoren über die GPIO-Pins ansteuern mussten. Da die Kabel am Ende auf ein einziges Kabel zusammengeführt werden mussten, entschieden wir uns, diese selbst zu kürzen und zu verbinden. Für dieses Vorhaben nutzten wir weibliche und männliche Pins, die wir an die Kabel montierten. Das Power Splitter Kabel diente zur Stromversorgung unserer Wasserpumpe und des Kühlers. Mit seinen standardisierten Anschlüssen (5,5 mm x 2,1 mm) war es kompatibel mit unserem Netzteil

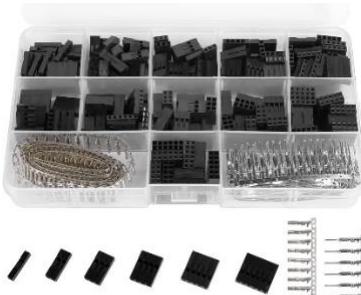


Abb. 10: Produktbild, Stecker Set, Hersteller: TopHomer, Vertrieb: amazon.de

und ermöglichte eine einfache Verteilung des Stroms auf mehrere Verbraucher. Ein Power Splitter ermöglicht es, das Stromkabel vom Netzteil auf zwei separate Bahnen aufzuteilen. Die robuste Bauweise und die ausreichende Belastbarkeit des Kabels trugen zur Sicherheit und Effizienz unseres Systems bei.



Abb. 9: Produktbild, Flachbandkabel, Hersteller: QWORK, Vertrieb: amazon.de



Abb. 11: Produktbild, Power Splitter Kabel, Hersteller: Security-01, Vertrieb: amazon.de

Herausforderungen

Ursprünglich planten wir ein 12V Bluetooth Relais, welches wir kauften, aber sich letztendlich als defekt herausstellte. Mehr dazu in der Dokumentation. Über das Relais sollten wir den Wasserkreislauf und die Kühlung starten und beenden können, wodurch wir eine Automatisierung durch einen Schwellenwert der Temperatur einstellen hätten können.

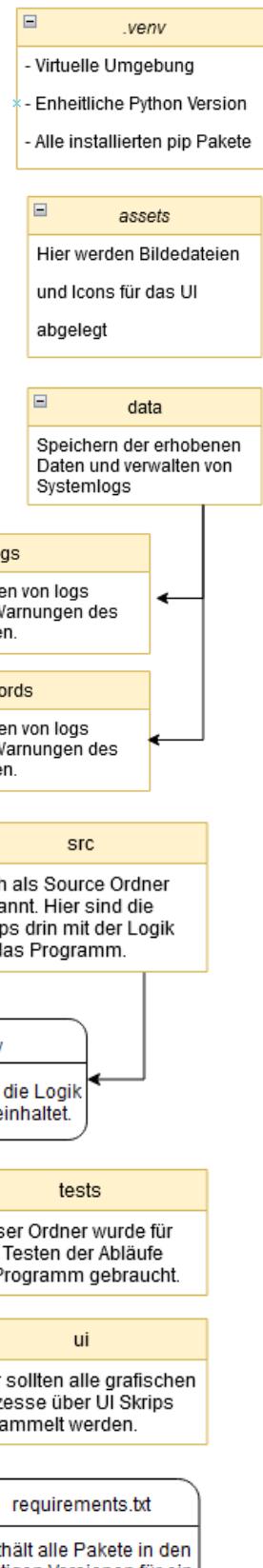
Was uns zudem Probleme bereitete war die Schaltung zwischen äusserem und inneren Kreislaufes. Geplant war, dass wir ein Magnetventil verwenden, dass durch einen

Stromimpuls den Zustand von Kreislauf A zu Kreislauf B wechselt. Nachdem wir keinen für unseren Schlauch (10mm Innendurchmesser) finden konnten, weil alle für kleinere Schläuche gemacht waren, stellten wir auf ein mechanisches System mit einem Kugelventil um. Da uns aber wie schon beschrieben die Zeit ausgegangen ist, verwarfene wir den äusseren Kreislauf, der nicht nötig war für den Erfolg des Projekts.

2.3 Programmierung

2.3.1 Ordnerstruktur

Durch meine Erfahrung in der Programmierung begann ich, Dominik, sofort mit dem Aufbau der grundlegenden Ordnerstruktur, die Sie hier auf der rechten Seite sehen können. Eine klare und übersichtliche Struktur ist essentiell, um ein gut organisiertes Programm zu entwickeln. Der Ordner «.venv» enthält eine virtuelle Python-Umgebung. Diese ermöglicht es, Python-Pakete mit Hilfe von pip (dem Paketmanager von Python) so zu installieren, dass sie nur innerhalb dieser Umgebung verfügbar sind und nicht systemweit. Dadurch werden Konflikte mit betriebssystemrelevanten Paketen vermieden, was die Stabilität und Kompatibilität des Systems sicherstellt.



2.3.2 Skizze der Oberfläche

Dann fuhr ich fort mit dem Erstellen des Designs für die UI. Dafür verwendete ich ein bekanntes Tool namens Figma. Dieses ermöglicht eine gute Skizze von dem Programm zu erstellen. Durch die Skizze hatten wir nun einen Anhaltspunkt was zu machen war. Wir wussten nun wo Label, Bilddateien und wo Buttons plaziert werden sollten.

2.3.3 Programmiersprache und IDE

Wir entschieden uns mit Python, da es vielseitig, leicht zu verwalten und ideal für die Entwicklung von Anwendungen mit grafischen Benutzeroberflächen wie Tkinter ist. Python ermöglicht die einfache Integration von Sensoren, Datenverarbeitung und die Ansteuerung externer Geräte über GPIO-Pins. Die plattformübergreifende Kompatibilität und breite Community-Unterstützung machten Python zur idealen Wahl für unser wassergekühltes Fenstersystem. Als IDE wollte ich PyCharm verwenden, da es eine einfache Programmierumgebung ist die ein gutes Debug-Tool hat. Später sind wir aber auf Thonny umgestiegen welches standardmäßig auf Raspberry OS installiert ist. Dieser Schritt machte es einfach und flüssiger auf weniger starker Hardware weiter zu programmieren. Thonny ist zudem ausgezeichnet für Python geeignet.

Wir entschieden uns zudem auf Python3.10.0, eine ältere Version zurückzugreifen um Kompatibilitätsprobleme mit Paketen und Frameworks zu vermeiden die noch nicht geupdated waren. Diese Version wurde wie oben beschrieben in das Virtuelle Environment installiert.

2.3.4 Grundgerüst des Codes

Zuerst erstellten wir das Grundgerüst. Wie man ganz oben sehen kann, war unser Plan alle GUI (Graphical User Interface) Elemente in separate Skripte zu schreiben und sie dann mit dem «import»-Statement zu importieren. Wir erstellten eine Datei für diverse Fenster, die wir aber später mangels Zeitdrucks nicht mehr integriert haben. Wir haben dann alles in das main.py Skript geschrieben, da wir neben dem Hauptfenster nur noch eine Message-Box behielten, die dem User fragen sollte, ob er die Aufnahme wirklich beenden will und ein Button, der den Ordner öffnen soll, in dem die erhobenen Daten abgelegt wurden. Die restlichen Fenster listen wir später im Teil «Zusätzliche Features» auf.

2.3.5 Wetter API

Wir verknüpften mit Hilfe des Wetterdienstes «openweathermap.org» dessen Service über eine API, also eine Programmierschnittstelle mit unserem Programm. Diese soll anhand der Wetterdaten das aktuelle Wetter für Datenerhebungen im Freien liefern und uns das richtige Wetter-Bild auf dem UI darstellen. Durch das Wetter lässt sich später vor allem bei Langzeittests auslesen, ob es bewölkt, sonnig, oder regnerisch war. Dadurch können wir bei der Auswertung der Daten gleiche Tage miteinander vergleichen oder können diesen Faktor miteinrechnen, um das Gesamtbild der Analyse nicht zu verfälschen.

```

import sys
import os
import tkinter as tk
'elbst erstelltes
anuar 2025

# Verzeichnispfad für Module hinzufügen
current_dir = os.path.dirname(os.path.abspath(__file__))
ui_dir = os.path.join(current_dir, "../ui")
sys.path.append(ui_dir)

from gui_main_window import MainWindow
from gui_page_diagram import DiagramWindow
from gui_msg_water_cycle import WaterCycleMessageWindow
from gui_stop_record_msg import StopRecordMessageWindow
from gui_file_screen import FileScreenWindow

class Application:
    def __init__(self):
        """Initialisiert die Hauptanwendung."""
        self.root = tk.Tk()
        self.root.geometry("1024x600")
        self.root.configure(bg="#FFFFFF")
        self.root.resizable(width=False, height=False)

        # Statusvariablen
        self.recording_active = False
        self.selected_cycle = None

    def show_main_window(self):
        """Zeigt den Hauptbildschirm."""
        self.clear_window()
        self.main_window = MainWindow(self.root)
        self.main_window.set_statistic_callback(self.show_diagram_window)
        self.main_window.set_rec_callback(self.toggle_recording)
        self.main_window.set_files_callback(self.show_file_screen)

    def show_diagram_window(self):
        """Zeigt das Diagramm-Fenster."""
        self.clear_window()
        self.diagram_window = DiagramWindow(self.root)
        self.diagram_window.set_return_callback(self.show_main_window)

    def show_water_cycle_message(self):
        """Zeigt das Fenster zur Auswahl des Kreislaufs."""
        self.clear_window()
        self.water_cycle_window = WaterCycleMessageWindow(self.root)
        self.water_cycle_window.set_cycle_selection_callback(self.start_recording)
        self.water_cycle_window.set_back_callback(self.show_main_window)

    def show_stop_record_message(self):
        """Zeigt das Fenster zum Beenden der Aufnahme."""
        self.clear_window()
        self.stop_record_window = StopRecordMessageWindow(self.root)
        self.stop_record_window.set_confirm_callback(self.stop_recording)
        self.stop_record_window.set_cancel_callback(self.show_main_window)

    def show_file_screen(self):
        """Zeigt die Dateiübersicht."""
        self.clear_window()
        self.file_screen = FileScreenWindow(self.root)
        self.file_screen.set_back_callback(self.show_main_window)

    def toggle_recording(self):
        """Schaltet die Aufnahme ein oder aus."""
        if self.recording_active:
            self.show_stop_record_message()
        else:

    def clear_window(self):
        """Löscht das aktuelle Fenster."""
        for widget in self.root.winfo_children():
            widget.destroy()

    def run(self):
        """Startet die Anwendung."""
        self.root.mainloop()

if __name__ == "__main__":
    app = Application()
    app.run()

```

```

def fetch_weather_data(self): 1 usage
    url = f"http://api.openweathermap.org/data/2.5/weather?q={LOCATION}&appid={API_KEY}&units=metric"
    try:
        r = requests.get(url, timeout=5)
        data = r.json()
        if data.get("cod") != 200:
            print(f"[Warnung] Wetterdaten-Fehler: {data.get('message')}")
            return
        wc = data["weather"][0]["main"]
        if wc == "Clear":
            wc = "Clear"
        elif wc == "Clouds":
            desc = [w["description"] for w in data["weather"]]
            if any("sun" in d.lower() for d in desc):
                wc = "Sunny with Clouds"
            else:
                wc = "Clouds"
        elif wc == "Rain":
            wc = "Rain"
        else:
            wc = "sun-cloud.png"
        self.weather_condition = wc
        self.update_weather_image(wc)
    except Exception as e:
        print(f"[Fehler] fetch_weather_data: {e}")

```

Abb. 13: Wetter API, Screenshot, Dominik Abt, Januar 2025

2.3.6 Aufnahmefunktionen

Eines der wichtigsten Dinge auf der ToDo-Liste war der Aufnahmebutton. Dieser ermöglicht uns eine Aufnahme aller Sensorwerte, der Zeit und des Wetters zu starten.

Wir haben uns dafür entschieden, dass das Programm alle Dateien im CSV (Comma Separated Value) Format speichern soll, da dieses Format bestens dafür geeignet ist Rohdaten zu speichern und zu verwalten. Es erstellt ein Text File in dem die einzelnen Messdaten, wie der Name schon sagt durch Kommata getrennt sind. Das ist speziell gut weil es mit allen gängigen Textverarbeitungsprogrammen gelesen und interpretiert werden kann. Man kann sowohl Excel von Microsoft wie auch Calc von LibreOffice verwenden.

Für den Aufnahmebutton mussten wir diverse Funktionen erstellen. Hier eine Auflistung mit Erklärung:

def start_recording(self):

startet die Aufnahme, erstellt ein CSV-File, wechselt das Bild von button_rec.png auf button_rec_on.png

def recording_loop(self):

schreibt alle 4s eine Zeile in das CSV-File mit allen Messdaten. Das ist eine Loop-Funktion, die weiterläuft bis der User die Aufnahme beendet.

def stop_recording_confirmed(self):

wird aufgerufen, wenn User in StopRecordWindow 'YES'

Abb. 14: Grundgerüst Programm, Screenshot, Dominik Abt, Januar 2025

```

def toggle_recording(self): 1 usage
    """Start/Stop-Aufnahme: bei Stop => StopRecordWindow."""
    if not self.recording:
        # Aufnahme starten
        self.start_recording()
    else:
        # Aufnahme stoppen >> Fragefenster
        sw = StopRecordWindow(self.master)
        sw.parent = self # referenz
        sw.grab_set() # focus
        sw.focus()

def start_recording(self): 1 usage
    """Aufnahme starten => CSV erstellen, button_rec_on.png etc."""
    self.recording = True
    self.button_rec.config(image=self.rec_img_on, bg="#ffffff")
    # CSV-Datei anlegen
    now = datetime.now()
    dt_str = now.strftime("%d.%m.%Y-%H.%M")
    # Sensorwerte aus self.sensor_vars
    # - temp_outside_fixed (Ganzzahl)
    # - temp_box_ref, temp_sunlight_box_ref, temp_box_water, temp_sunlight_box_water (1 Komma)
    # - water_temp (2 Komma?), flow(2 Komma?), cooling_sensor(2?), cooling(2?), wetter(as string)
    # wetter => self.weather_condition
    try:
        outside_int
        outside_val = int(round(float(self.sensor_vars["temp_outside_fixed"].get())))
    except:
        outside_val = 0
    try:
        box_ref_val = float(self.sensor_vars["temp_box_ref"].get())
    except:
        box_ref_val = 0
    try:
        sun_ref_val = float(self.sensor_vars["temp_sunlight_box_ref"].get())
    except:
        sun_ref_val = 0
    try:
        box_water_val = float(self.sensor_vars["temp_box_water"].get())
    except:
        box_water_val = 0
    try:
        sun_water_val = float(self.sensor_vars["temp_sunlight_box_water"].get())
    except:
        sun_water_val = 0
    try:
        wtemp_val = float(self.sensor_vars["water_temp"].get())
    except:
        wtemp_val = 0
    try:
        flow_val = float(self.sensor_vars["flow"].get())
    except:
        flow_val = 0
    try:
        cool_raw = float(self.sensor_vars["cooling_sensor"].get())
    except:
        cool_raw = 0
    try:
        cool_diff = float(self.sensor_vars["cooling"].get())
    except:
        cool_diff = 0

```

klickt. Beendet die Aufnahme und setzt den richtigen Dateinamen. Das Bild des Buttons wird zurückgesetzt.

```
def continue_recording(self):
```

führt die Aufnahme fort weil der User 'No' geklickt hat.

```
def toggle_recording(self):
```

öffnet das Fragefenster zum Stoppen der Aufnahme und ruft dann andere Funktionen auf.

In jeder dieser Funktionen steht die Logik, die ausgeführt werden soll wenn diese Funktion aufgerufen wird. Sozusagen ein Ablaufplan, oder ein Rezept das dann von oben nach unten durchgearbeitet wird. Wenn etwas in dem Rezept nicht stimmt, kann es die ganze Funktion ruinieren und zu Fehlern führen, die schwer zu finden sind.

2.3.7 RaspberryOS Installation

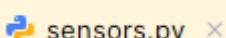
Abb. 15: Ausschnitt aus main.py, Screenshot, Dominik Abt, Januar 2025

Sobald wir das Grundprogramm fertig geschrieben hatten, installierten wir das RaspberryOS, das dann als Betriebssystem auf dem kleinen Computer läuft. RaspberryOS ist nichts anderes als Debian, dass ein Ableger von Linux ist. Linux, speziell Debian, wird oft für Server eingesetzt, da es stabil läuft und gut für die Verwaltung von solchen Systemen und Netzwerken geeignet ist. Wir haben uns dann, wie vorher kurz erwähnt, entschieden die Programmierung auf dem Raspberry Pi fortzusetzen, da wir alle Systemvariablen und Pfade gleich so setzen konnten, dass sie auf dem fertigen System funktionieren. Die Programmierung haben wir mit Thonny, einer für Python gut geeigneten IDE fortgesetzt. Nach einigen Updates und Packet Installationen lief dann auch schon alles rund.



Abb. 16: IDPA, Installation Raspberry Pi, Dominik Abt, November.24

2.3.8 Sensorik im Programm



Als wir die Elektronik fertig hatten, mussten wir die Sensoren testen und ins Programm einbinden. Das erledigten wir mit einem Skript, dass wir sensors.py nennen. Dieses Skript ruft den Pfad «/sys/bus/w1/devices» auf der die erkannten 1-Wire-Geräte, also die DS18B20 Sensoren, enthält. Es wird dann die ID des Sensors mit den Rohdaten zurückgegeben. So konnten wir jeden der Sensoren einzeln Testen und ihn mit der ID ins Programm schreiben. Hier hatten wir Probleme und mussten bei einigen Kabeln die Stecker neu machen, da sie das Signal nicht richtig übertrugen.

```
wl_bus_master1
idpa@raspberrypi:~$ cd Desktop/
idpa@raspberrypi:~/Desktop $ ls
IDPA
idpa@raspberrypi:~/Desktop $ cd IDPA/IDPA -\ UI\RasPI/
idpa@raspberrypi:~/Desktop/IDPA/IDPA - UI RasPI $ ls
assets data requirements.txt src tests ui
idpa@raspberrypi:~/Desktop/IDPA/IDPA - UI RasPI $ cd src/
idpa@raspberrypi:~/Desktop/IDPA/IDPA - UI RasPI/src $ ls
controllers main.py sensors.py
idpa@raspberrypi:~/Desktop/IDPA/IDPA - UI RasPI/src $ continue
controllers/ main.py sensors.py
idpa@raspberrypi:~/Desktop/IDPA/IDPA - UI RasPI/src $ python3.10 sensors.py
Keine 1-Wire-Geräte gefunden.
idpa@raspberrypi:~/Desktop/IDPA/IDPA - UI RasPI/src $ python sensors.py
Keine 1-Wire-Geräte gefunden.
idpa@raspberrypi:~/Desktop/IDPA/IDPA - UI RasPI/src $ python3.10 sensors.py
Keine 1-Wire-Geräte gefunden.
idpa@raspberrypi:~/Desktop/IDPA/IDPA - UI RasPI/src $ python3.10 sensors.py
Keine 1-Wire-Geräte gefunden.
idpa@raspberrypi:~/Desktop/IDPA/IDPA - UI RasPI/src $ python3.10 sensors.py
-> Temperatur-Sensor erkannt: 22.94 °C
Rohdaten: ['6f 01 7f 80 7f ff 01 10.e8 : crc=8 YES\n', '6f 01 7f 80 7f ff 01 10.e8 t=22937\n']
idpa@raspberrypi:~/Desktop/IDPA/IDPA - UI RasPI/src $
```

Abb. 17: IDPA, Sensoren verbinden Raspberry Pi, Dominik Abt, Januar 2025

In unserer main.py erstellten wir dann eine ID-MAP die die Sensoren mit der ID und dem Namen das für unser Hauptskript gebraucht wird enthält. Durch diese Auflistung ist es ein Einfaches im Programm den richtigen Sensor auszuwerten und das Label auf dem UI anzupassen. Nachher testeten wir das Programm auf dem Display, das wir bestellt hatten und schauten, ob der Touchscreen richtig funktionierte. Wir hatten Probleme mit der Auflösung, weil das Display eine vom Hersteller festgelegte Auflösung von 1024x600px hatte aber RaspberryOS diesen Wert nicht in den vorkonfigurierten Auflösungen hatte, was uns einiges an Zeit kostete. Aber wir haben es mit einem, wer hätte es gedacht, Bash-Skript hinbekommen, dass wir per Doppelklick ausführen können.

```
SENSOR_ID_MAP = {
    # "cooling_sensor" => DS18B20-Rohwert
    "28-00000088219a": "cooling_sensor",
    "28-00000085ed37": "water_temp",
    "28-00000086d2b5": "temp_outside_fixed",
    "28-00000023b011": "temp_sunlight_box_water",
    "28-000000223239": "temp_sunlight_box_ref",
    "28-00000022c4b3": "temp_box_water",
    "28-00000023ad63": "temp_box_ref",
}
```

Abb. 18: Ausschnitt main.py, Screenshot, Dominik Abt, Januar 2025

Somit war nun alles Technische erledigt und wir konnten mit unserem fertigen Programm Anfangen Messungen zu erstellen und zu schauen, ob unser Projekt Erfolg hat.



Abb. 19: IDPA, Programm live Test, Dominik Abt, Januar 2025



Abb. 20: IDPA, Bestrahlung mit Bauleuchte, Dominik Abt, Januar 2025

2.4 Messungen und Datenauswertung

2.4.1 Aufbaue einer verlässlichen Datenerhebung

Uns war es sehr wichtig, dass wir die richtigen Messungen machen, um gute Daten für eine Analyse zu bekommen. Bei der Ideenfindung beschäftigten wir uns schon intensiv mit den Sensoren und der optimalen Positionierung. Es sollten nicht zu viele Sensoren sein, weshalb wir uns auf die wichtigsten, die oben schon beschrieben wurden, beschränkten.

Das Experiment führten wir bei beiden Boxen unter möglichst ähnlichen Bedingungen durch. Wir verwendeten eine Baustellenlampe, die bereits in einem Abstand von mehr als 30 cm spürbare Hitze durch ihr Licht verursachte. Baustellenstrahler mit Halogenlampen wandeln einen

erheblichen Teil der aufgenommenen elektrischen Energie in Strahlung um⁷. Diese Strahlung umfasst sowohl sichtbares Licht als auch infrarote Wärmestrahlung⁸.

Die Hitze entsteht auf zwei Arten: Erstens wird Strahlung von festen Oberflächen absorbiert, wodurch deren Temperatur steigt. Zweitens erwärmt die Strahlung auch die Luft, da Moleküle wie Wasserdampf und CO₂ die Energie absorbieren und dadurch die Lufttemperatur erhöhen.⁹ Zusätzlich gibt die Lampe selbst durch Konvektion Wärme an die Umgebung ab, da der erhitzte Wolframdraht und die Lampenumgebung Wärme an die Luft abgeben.

Dank dieser Eigenschaften konnten wir das Experiment unter kontrollierten, konstanten Bedingungen durchführen und die Auswirkungen der Wärmeentwicklung auf unser Fenstersystem untersuchen. Baustrahler sind ideal, um die Sonne zu simulieren, da sie Hitze und Strahlung erzeugen.

Für unsere Experimente erfanden wir Szenarien, die auf der Welt real vorkommen und passten den Abstand der Lampe, die Ausgangstemperatur des Inneren der Boxen und die zugeführte kalte Luft in der Umgebung, durch ein offenes oder geschlossenes Fenster, an. Ein Szenario, welches gleich besser erleuchtet wird, ist ein heißer Sommertag in Afrika, wo die Hitze und Strahlung der Sonne eine sehr hohe Intensität erreicht. Wie in diesem Beispiel, versuchten wir immer nachzuvollziehen ob es realistisch ist unser Fenstersystem an diesem Ort einzusetzen.

2.4.2 Datenauswertung

Nach dem Messen speicherte unser Programm alle Daten in einem CSV-File, dass in der Rohform sehr chaotisch aussieht. Unseren Datensatz haben wir dann genommen und in Excel importiert. Das ist sehr einfach möglich, da Excel das CSV-Format einfach lesen und verarbeiten kann.

⁷ Was ist Infrarotstrahlung und wie entsteht diese?, Die berühmte Halogenlampe, Die Farbe von Tageslicht, https://www.vattenfall.de/infowelt-energie/strom-ratgeber/halogenlampe-funktion-vorteile-nachteile?utm_source=chatgpt.com

⁸ Fu-Berlin, «Anonymus», https://refubium.fu-berlin.de/bitstream/handle/fub188/13144/2_Kapitel2.pdf

⁹ Die Sonne als größte Quelle für Infrarotstrahlung, <https://infrarot-thermometer.info/know-how/infrarotstrahlung/>

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Datum, Zeit, temp_outside_fixed, temp_box_ref, temp_sunlight_box_ref, temp_box_water, temp_sunlight_box_water, water_temp, flow, cooling_sensor, cooling, wetter											
2	11.01.2025, 20:31:08, 8, 16.4, 15.6, 16.7, 17, 16.56, 4.89, 16.38, 0.19, Clouds											
3	11.01.2025, 20:31:16, 8, 17.8, 17, 18.1, 18.4, 16.88, 5.09, 16.44, 0.44, Clouds											
4	11.01.2025, 20:31:23, 8, 19.2, 18.9, 19.4, 19.6, 17.49, 4.94, 16.44, 0.56, Clouds											
5	11.01.2025, 20:31:31, 8, 20.9, 20.7, 20.4, 20.4, 16.94, 4.89, 16.38, 0.56, Clouds											
6	11.01.2025, 20:31:39, 8, 22.5, 22.3, 21.2, 21.2, 16.81, 5.02, 16.25, 0.56, Clouds											
7	11.01.2025, 20:31:46, 8, 23.9, 23.6, 21.8, 22.1, 16.69, 4.92, 16.19, 0.5, Clouds											
8	11.01.2025, 20:31:54, 8, 25.3, 24.6, 22.4, 22.7, 16.56, 5.02, 16.12, 0.44, Clouds											
9	11.01.2025, 20:32:02, 8, 26.5, 25.4, 22.8, 23.2, 16.5, 4.85, 16.19, 0.31, Clouds											
10	11.01.2025, 20:32:09, 9, 27.6, 26.1, 23, 23.8, 16.44, 4.81, 16.25, 0.19, Clouds											
11	11.01.2025, 20:32:17, 9, 28.5, 26.9, 23.3, 24.1, 16.38, 4.53, 16.31, 0.06, Clouds											
12	11.01.2025, 20:32:25, 9, 29.3, 27.8, 23.4, 24.2, 16.31, 3.89, 16.38, -0.06, Clouds											
13	11.01.2025, 20:32:32, 9, 30.1, 28.8, 23.6, 24.4, 16.25, 3.73, 16.38, -0.12, Clouds											
14	11.01.2025, 20:32:40, 10, 30.7, 29.6, 23.8, 24.7, 16.25, 3.83, 16.38, -0.12, Clouds											
15	11.01.2025, 20:32:48, 10, 31.2, 30.2, 23.9, 25.16, 19.3, 3.71, 16.38, -0.19, Clouds											
16	11.01.2025, 20:32:55, 10, 31.7, 30.9, 24.2, 25.2, 16.19, 3.76, 16.38, -0.19, Clouds											
17	11.01.2025, 20:33:03, 10, 32.2, 31.6, 24.1, 25.3, 16.19, 3.88, 16.31, -0.12, Clouds											
18	11.01.2025, 20:33:11, 11, 32.5, 32.2, 24.4, 25.4, 16.19, 3.78, 16.25, -0.06, Clouds											
19	11.01.2025, 20:33:19, 11, 32.9, 32.8, 24.4, 25.4, 16.19, 3.78, 16.25, -0.06, Clouds											
20	11.01.2025, 20:33:26, 11, 33.1, 33.2, 24.5, 25.7, 16.19, 3.86, 16.19, 0, Clouds											

Abb. 21: Ausschnitt aus Datensatz,
Dominik Abt, Januar 2025

Den Datensatz haben wir dann visuell angepasst und auf Fehler geprüft. Wir mussten zudem die richtigen Einheiten den richtigen Werten zuweisen. Die Daten werden chronologisch von oben nach unten angezeigt. Eine Zeile steht für eine Messeinheit aller Werte unserer Sensoren. Unser Programm haben wir so eingestellt, dass alle 4 Sekunden eine Messeinheit erfasst wird. Das hat den Vorteil, dass wir eine sehr genaue Auswertung bekommen.

Datum	Zeit	Aussen	Referenz	Scheibe	Wasser	Scheibe	Wasser	Durchfluss	Wasser nach	Kühleffekt	wetter
		Box	Box	Ref. Box	Box	Wasser Box	Box		Kühlung	ivität	
11.01.2025	20:31:08	8.0°C	16.4°C	15.6°C	16.7°C	17.0°C	16.6°C	4.89 m/s	16.38°C	0.19°C	Clouds
11.01.2025	20:31:16	8.0°C	17.8°C	17.0°C	18.1°C	18.4°C	16.9°C	5.09 m/s	16.44°C	0.44°C	Clouds
11.01.2025	20:31:23	8.0°C	19.2°C	18.9°C	19.4°C	19.6°C	17.0°C	4.94 m/s	16.44°C	0.56°C	Clouds
11.01.2025	20:31:31	8.0°C	20.9°C	20.7°C	20.4°C	20.4°C	16.9°C	4.89 m/s	16.38°C	0.56°C	Clouds
11.01.2025	20:31:39	8.0°C	22.5°C	22.3°C	21.2°C	21.2°C	16.8°C	5.02 m/s	16.25°C	0.56°C	Clouds
11.01.2025	20:31:46	8.0°C	23.9°C	23.6°C	21.8°C	22.1°C	16.7°C	4.92 m/s	16.19°C	0.50°C	Clouds
11.01.2025	20:31:54	8.0°C	25.3°C	24.6°C	22.4°C	22.7°C	16.6°C	5.02 m/s	16.12°C	0.44°C	Clouds
11.01.2025	20:32:02	8.0°C	26.5°C	25.4°C	22.8°C	23.2°C	16.5°C	4.85 m/s	16.19°C	0.31°C	Clouds
11.01.2025	20:32:09	9.0°C	27.6°C	26.1°C	23.0°C	23.8°C	16.4°C	4.81 m/s	16.25°C	0.19°C	Clouds
11.01.2025	20:32:17	9.0°C	28.5°C	26.9°C	23.3°C	24.1°C	16.4°C	4.53 m/s	16.31°C	0.06°C	Clouds
11.01.2025	20:32:25	9.0°C	29.3°C	27.8°C	23.4°C	24.2°C	16.3°C	3.89 m/s	16.38°C	-0.06°C	Clouds
11.01.2025	20:32:32	9.0°C	30.1°C	28.8°C	23.6°C	24.4°C	16.3°C	3.73 m/s	16.38°C	-0.12°C	Clouds
11.01.2025	20:32:40	10.0°C	30.7°C	29.6°C	23.8°C	24.7°C	16.3°C	3.83 m/s	16.38°C	-0.12°C	Clouds
11.01.2025	20:32:48	10.0°C	31.2°C	30.2°C	23.9°C	25.0°C	16.2°C	3.71 m/s	16.38°C	-0.19°C	Clouds
11.01.2025	20:32:55	10.0°C	31.7°C	30.9°C	24.0°C	25.2°C	16.2°C	3.76 m/s	16.38°C	-0.19°C	Clouds
11.01.2025	20:33:03	10.0°C	32.2°C	31.6°C	24.1°C	25.3°C	16.2°C	3.88 m/s	16.31°C	0.12°C	Clouds
11.01.2025	20:33:11	11.0°C	32.5°C	32.2°C	24.2°C	25.4°C	16.2°C	3.76 m/s	16.31°C	0.12°C	Clouds

Abb. 22: Ausschnitt aus Datensatz,
Dominik Abt, Januar 2025

Zuletzt schrieben wir noch Kommentare und erstellten Diagramme, die die Messdaten visualisierten. Unsere Auswertungen legen wir der Arbeit bei.

2.4.3 Experimente

Extremsituation: Heisser Tag am Äquator

Szenario: Afrika, Sommer, sehr warmer Tag, Morgen – Mittag

Testkriterien: Fenster nicht geöffnet, Lichtquelle 20cm entfernt, ~30min

Messfehler: Keine zum jetzigen Zeitpunkt bekannt

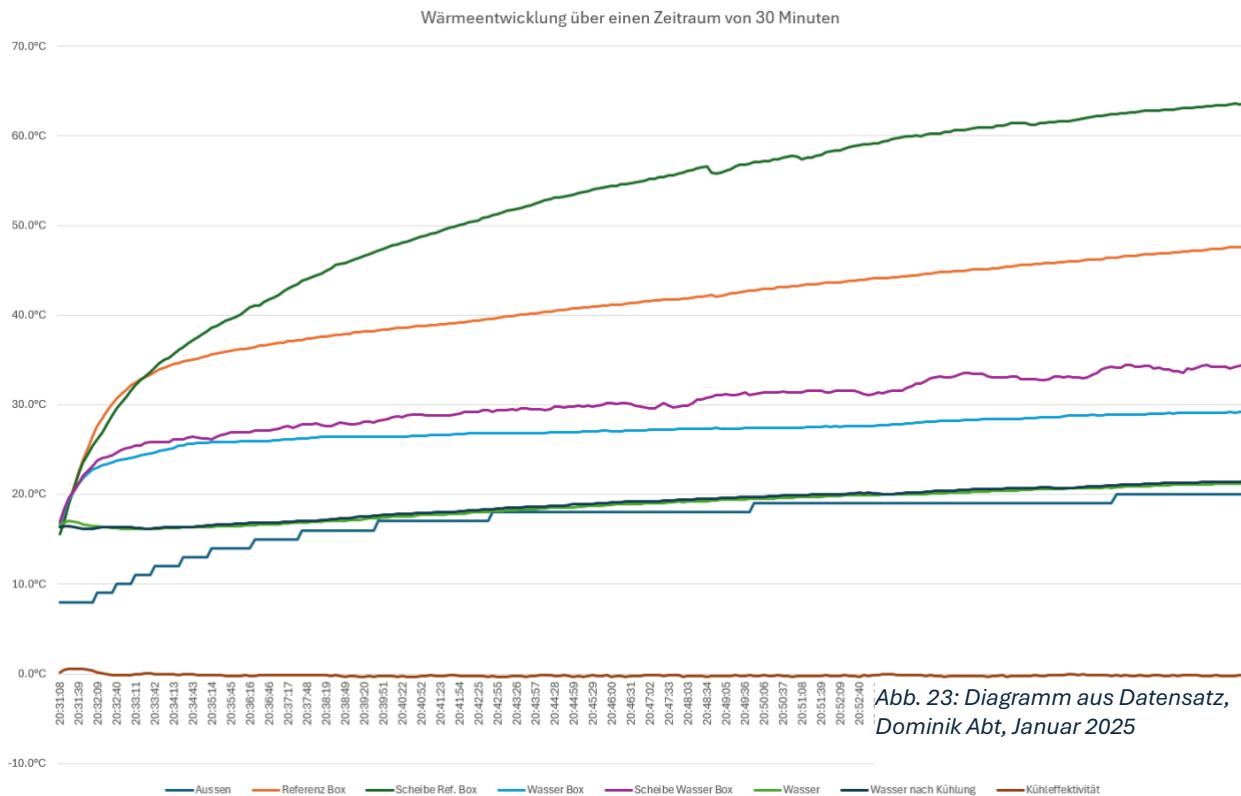


Abb. 23: Diagramm aus Datensatz,
Dominik Abt, Januar 2025

Analyse

Aus dem Diagramm lässt sich ganz klar ablesen, dass die Scheiben immer heißer waren als die der Innenraum der Box. Die Scheibe der Referenzbox war gegen Ende sogar über 60°C heiß. Auch eindeutig zu sehen ist, dass unser Wassersystem überraschend gut funktioniert.

Die Innentemperatur der wassergekühlten Box blieb beinahe konstant, wohingegen die der Referenzbox stark ansteigt. Die Wärmedifferenz des Innenraums der beiden Boxen war bei gleichen Bedingungen gegen Ende bei 18.4°C, was einen deutlichen Unterschied zeigt. Bei den Scheiben waren es sogar 29.1°C.

Wir sehen, dass sich die Außentemperatur, also die Raumtemperatur, konstant erhöht. Am Anfang schneller und gegen Ende langsamer, was einem Morgen bis Mittag Zyklus nahekommt.

Auch beim Wasser kann man dasselbe beobachten. Somit ist auch die Kühlung effektiv, die das Wasser zumindest auf der Temperatur gehalten hatte, die es vor der Wärmeaufnahme durch sie simulierte Sonne hatte. Hier sieht man das es auch gut ist die Wassertemperatur vor und nach der Kühlung zu messen, um zu sehen, ob es eine zu starke Veränderung gab und so vielleicht ein Sensor falsche Werte erfasst.

Auch die braune Linie die sozusagen auf der gleichen Höhe bleibt zeigt das das Kühlssystem effektiv genug ist, um die Temperatur zu halten. Würde sich der Graph nach oben bewegen mit der Zeit so wäre die Kühlung so effektiv, dass sie das Wasser trotz der abgeführten Hitze noch kühler macht als zuvor. Wäre die Linie im negativen Zahlenbereich, so würde die Kühlung nicht gut genug funktionieren. Mit dieser Leistung sind wir zufrieden.

Warmer Sommerabend in Europa

Szenario: Europa, Sommer, durchschnittlich warmer Tag, Mittag – Abend

Testkriterien: Fenster dauerhaft geöffnet, Außentemperatur 2°C, Lichtquelle 31cm entfernt, ~30min

Messfehler: Sensor «Temp Wasser» zeigt immer gleichen Wert > Kühleffektivität zu hoch (nicht repräsentativ)

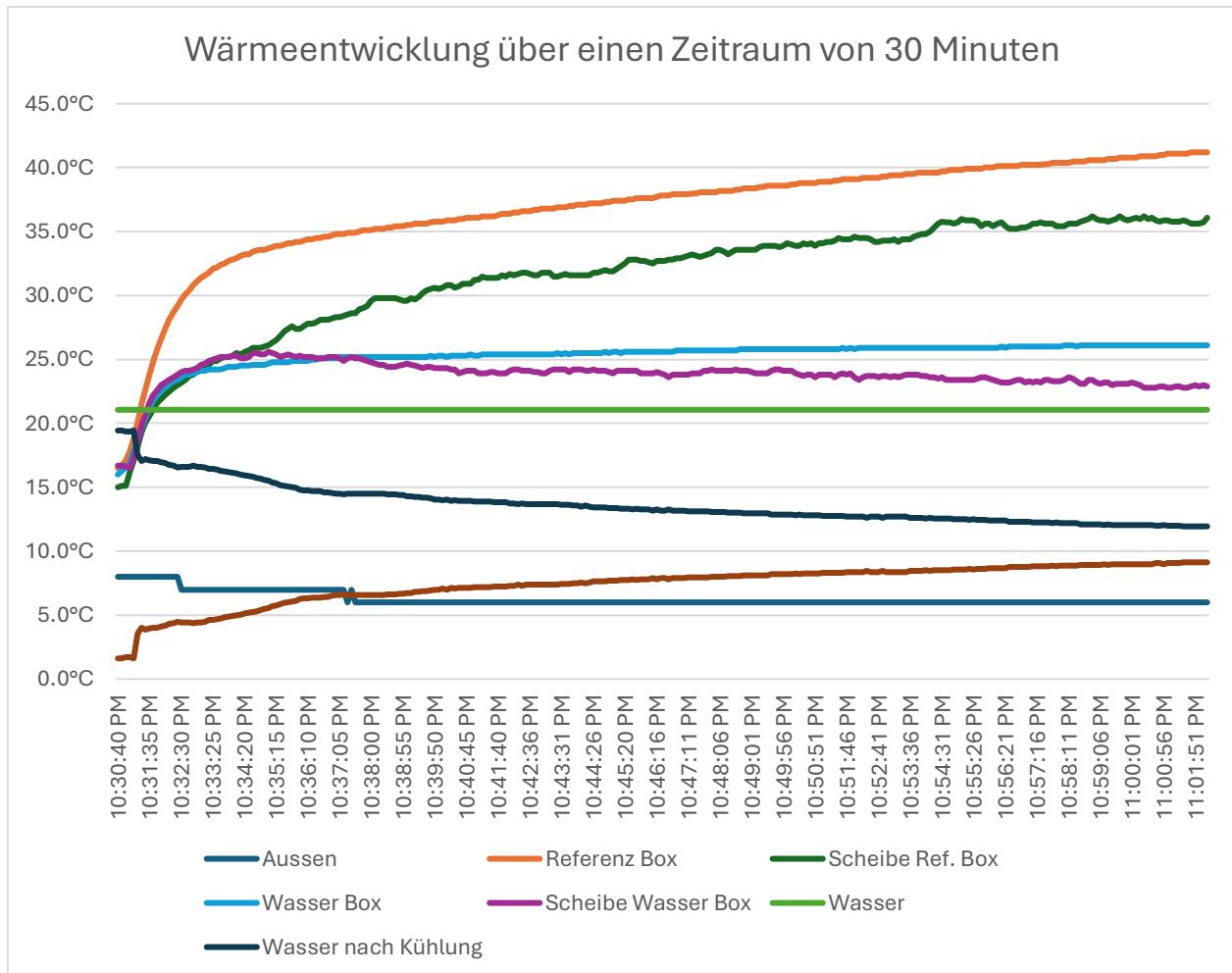


Abb. 24: Diagramm aus Datensatz,

Diese Messung wollten wir in die Arbeit nehmen, da sie perfekt. Dominik Abt, Januar 2025
Sensorfehler die Daten verfälschen kann und man deshalb die Datei immer auf Richtigkeit prüfen sollte. Aber beginnen wir am Anfang.

Analyse

Wie beim ersten Datensatz steigt bei der Referenz Box die Innentemperatur schlagartig an sobald unsere künstliche Sonne eingeschalten wird. Die Werte der Referenz Box, also Innen und Scheibentemperatur sehen normal aus. Durch die weite Entfernung des Baustrahlers ist die Erhitzung nicht so stark.

Auch interessant ist, dass die wassergekühlte Box ständig gering an Temperatur zunimmt, aber die Scheibe dieser Box 22:34 Uhr sogleich an Temperatur verliert.

Wir können zudem aus dem Diagramm ablesen, dass wir die Baubeleuchtung vor dem Start des Wasserkreislaufs eingeschalten haben müssten, da es am Anfang bei beiden Boxen einen sehr starken Temperaturanstieg gab.

Was sehr merkwürdig ist und auf einen Fehler schliessen lässt ist das die Wassertemperatur konstant auf dem gleichen Wert ist, obwohl der Raum eindeutig abkühlt. Das der Raum Kühler wird war bewusst, um den Mittag bis Abend Zyklus des Tages zu simulieren. Ein weiterer Indikator für einen Messfehler ist, dass das Wasser nach der Kühlung stark in der Temperatur sinkt, was rein logisch nicht sein könnte wenn es 1 Meter weiter unten die gleiche Temperatur wie zum Beginn der Messung hatte.

2.5 Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung

Unser Projekt zielt darauf ab, durch den Einsatz eines wasserbasierten Kühlsystems die Energieeffizienz von Gebäuden zu verbessern. Dabei ist die nachhaltige Nutzung von Ressourcen ein zentraler Aspekt. Der geschlossene Wasserkreislauf, den wir in unserem System integriert haben, minimiert den Wasserverbrauch und reduziert gleichzeitig den Bedarf an stromintensiven Klimaanlagen. Durch die mögliche Wiederverwendung des gekühlten Wassers, beispielsweise als Grauwasser für Toilettenspülungen oder zur Bewässerung, leisten wir einen weiteren Beitrag zur Ressourcenschonung. Zusätzlich haben wir bei der Auswahl der Materialien darauf geachtet, möglichst umweltfreundliche und langlebige Komponenten zu verwenden. Ziel war es, Abfall zu vermeiden und die Haltbarkeit des Systems zu erhöhen. Denkbar wäre in einer Weiterentwicklung auch der Einsatz von recycelten oder recyclingfähigen Materialien, um die ökologische Bilanz weiter zu verbessern.

Unser Projekt unterstreicht die Bedeutung einer nachhaltigen Bauweise, indem es zeigt, dass natürliche Ressourcen wie Wasser gezielt und effizient zur Temperaturregulierung genutzt werden können. Gleichzeitig betont es die Notwendigkeit, technische Lösungen zu entwickeln, die sich durch geringen Energieverbrauch und minimale Umweltbelastung auszeichnen. Unser Ansatz stellt somit einen kleinen, aber bedeutsamen Schritt in Richtung einer nachhaltigeren Bau- und Gebäudetechnologie dar. Um das Modell zu entsorgen wäre es uns möglich das Ganze wieder in Einzelteile zu zerlegen und einzelne Komponenten zu recyceln.

2.6 Erweiterbarkeit

Unser Projekt ist noch nicht am Ende, es gibt viele weiter interessante Anpassungen und Erweiterungen, die man noch vornehmen kann. Angefangen mit dem zweiten, äusseren Wasserkreislauf. Dieser könnte nochmal eine Wendung in das Projekt bringen und zu neuen

Erkenntnissen

führen.

Welcher Wasserkreislauf wird verwendet?

innen

aussen

Auch die Effizienz könnte weiter verbessert werden, um noch nachhaltiger und energieschonender vorzugehen. Dazu könnte man die Nutzung erneuerbarer Energien wie Solarenergie in Betracht ziehen und effizientere Pumpen einsetzen, die weniger Strom verbrauchen. Eine intelligente Steuerung könnte sicherstellen, dass das System nur bei tatsächlichem Bedarf aktiv ist, während verbesserte Materialien und eine optimierte Isolierung die Wärmeübertragung und -speicherung effizienter gestalten könnten. Zusätzlich liesse sich das verwendete Wasser als Grauwasser weiterverwenden, um den Ressourcenverbrauch zu minimieren. Insgesamt würde eine Kombination aus technischen Optimierungen und smarter Steuerung die Nachhaltigkeit des Systems erheblich steigern.

Um das Projekt weiter zu verbessern, könnte die Automatisierung des Systems durch Wetterdaten oder KI-gestützte Optimierung vorangetrieben werden, um Energieeffizienz und Benutzerfreundlichkeit zu steigern. Nachhaltigkeitsaspekte wie die Nutzung von Regenwasser oder recycelbaren Materialien könnten ebenfalls integriert werden. Für den Winter wären Frostschutzmaßnahmen wie eine automatische Drainage oder Beheizung wichtig. Verbesserte Materialien für die Wärmeübertragung und die Wartungsfreundlichkeit, etwa durch automatische Reinigung, könnten die Langlebigkeit des Systems sicherstellen. Eine Kosten-Nutzen-Analyse und Langzeitmessungen würden zusätzlich helfen, das System in der Praxis zu etablieren und seine Realisierbarkeit zu bewerten.

Das Programm lässt sich durch verschiedene Erweiterungen einfacher bedienen. Ein paar Beispiele wäre ein System für die Verwaltung der Messungen. Einträge könnten direkt im Programm gelöscht oder geöffnet werden und der Kreislauf wird angezeigt, der verwendet wird.

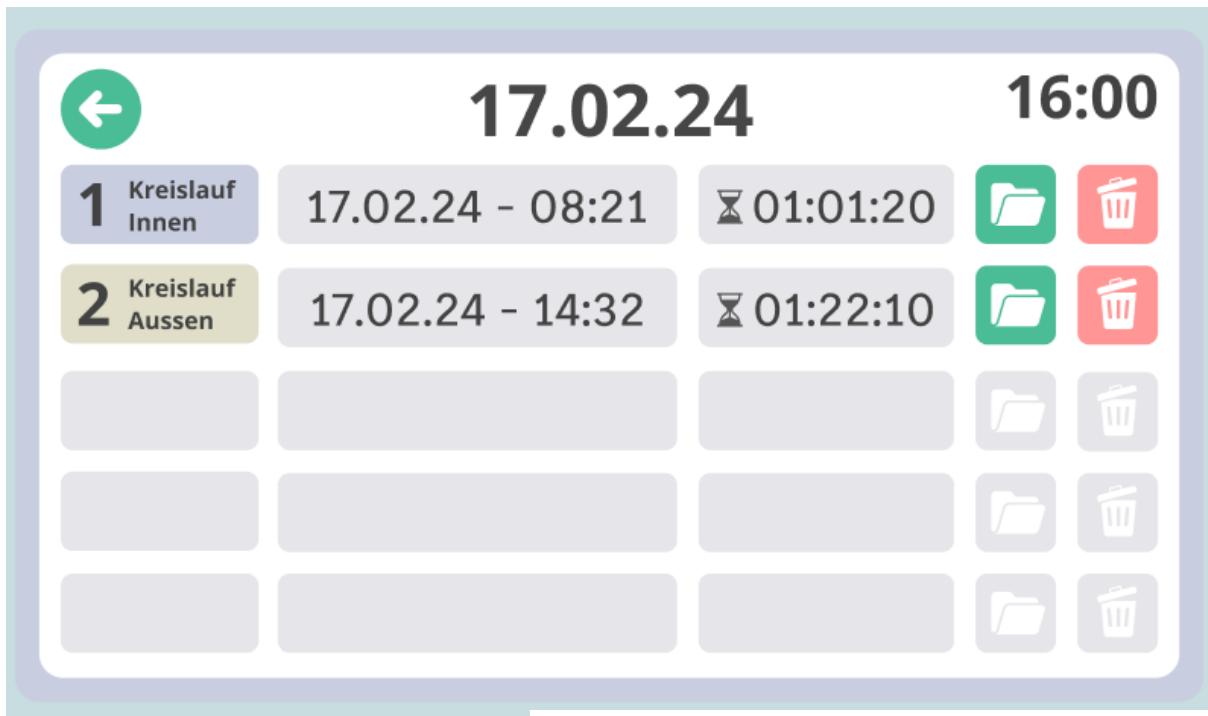


Abb. 26: Skizze Programmerweiterung, Dominik Abt, Januar 2025

... eine Seite für Diagramme, die die Messungen von der letzten Stunde als Graphen angezeigt. Die einzelnen Graphen liessen sich über die Tasten rechts ein und ausschalten.

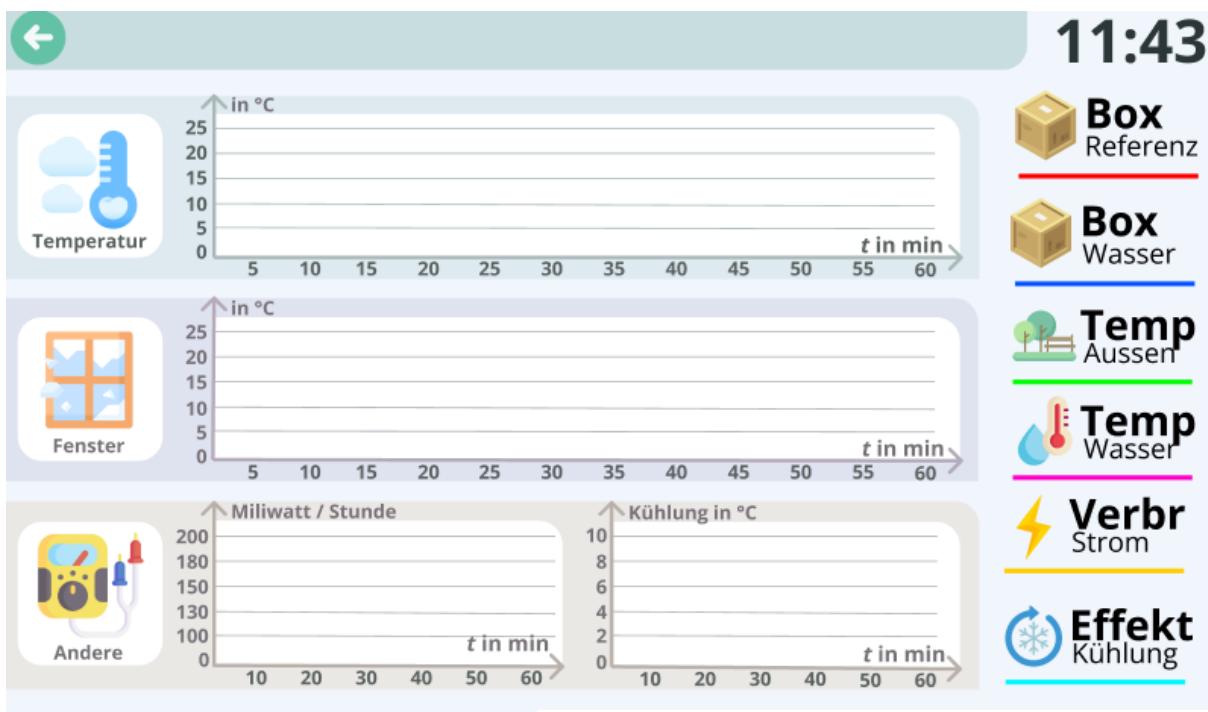


Abb. 27: Skizze Programmerweiterung, Dominik Abt, Januar 2025

2.7 Bau des Projekts

2.7.1 Brainstorming

Der erste Schritt unserer Projektarbeit war das Brainstorming.

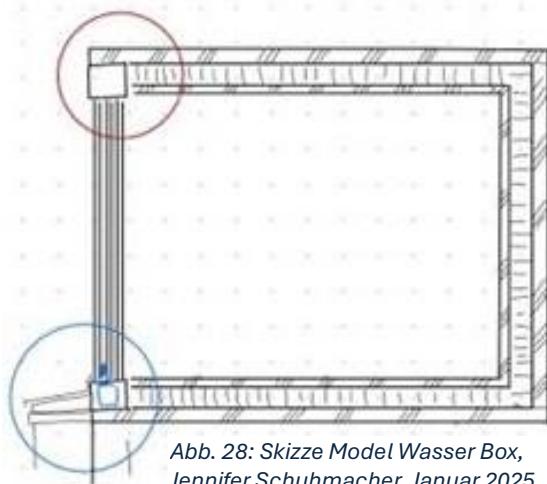


Abb. 28: Skizze Model Wasser Box,
Jennifer Schuhmacher, Januar 2025

In dieser Phase haben wir uns Gedanken über unser Projekt gemacht. Wir haben das Projekt möglichst genau durchgeplant und anschliessend Skizzen zu unseren Überlegungen erstellt.

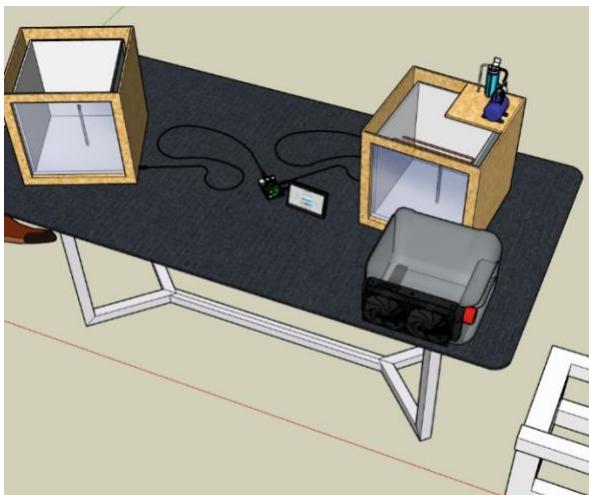


Abb. 29: Digitales Model Wasser Box, Dominik Abt,
November 2024

Mithilfe der Skizzen erstellten wir einen Massgetreuen 3D Plan in SketchUp, wodurch wir die Masse der Einzelteile jederzeit griffbereit hatten und schon vorzeitig mögliche Fehler in der Planung evaluieren konnten. Dieser Schritt half zudem bei Planen der weiteren Schritte und beim Klären von Fragen, da wir die Boxen in jeder Position anschauen konnten und so eine effektivere Zusammenarbeit hatten.

2.7.2 Masse bestimmen

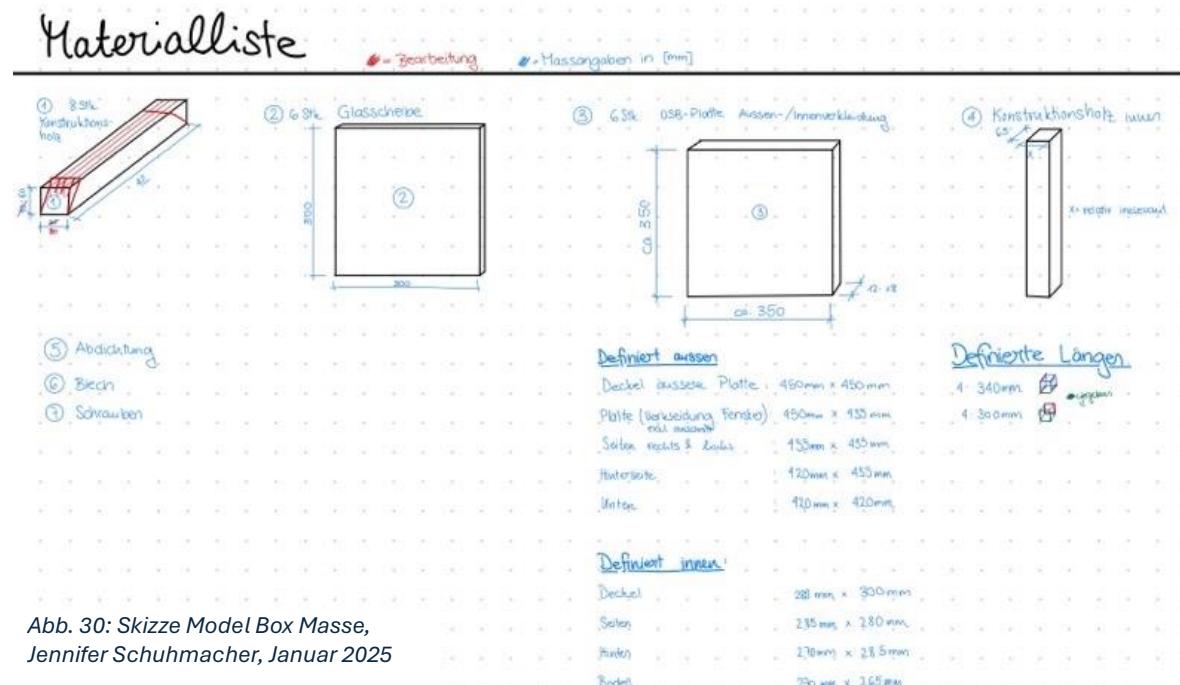


Abb. 30: Skizze Model Box Masse,
Jennifer Schuhmacher, Januar 2025

In einem weiteren Schritt haben wir die Masse der Box, die wir vorher im 3D Plan getestet haben, festgelegt und bestimmten, was wir alles an Material benötigen. Im Nachhinein mussten wir jedoch mehr improvisieren, als wir erwartet hätten.

2.7.3 Recherche und Elektrotechnik



Abb. 31: Screenshot, chatgpt.com, OpenAI, November 2024

Für die Unterstützung bei Fragen und die Recherche haben wir einen eigenen GPT erstellt, der spezifisch auf unsere Projektarbeit trainiert wurde. Diesen updateten wir jede Woche mit den neuen Erkenntnissen und Dokumenten, damit er immer auf dem aktuellen Stand bleibt.

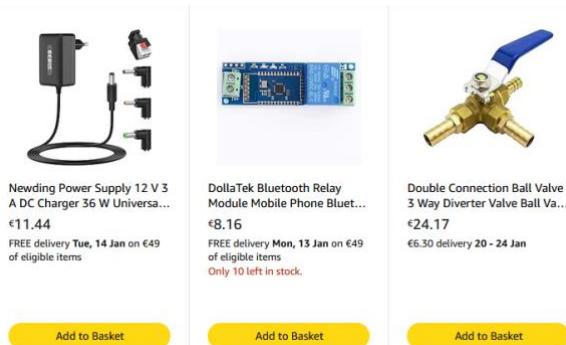


Abb. 32: Screenshot, amazon.de, Dezember 2024

Nach einer etwas längeren Phase der Planung unserer Elektronik konnten wir die meisten Teile auf Amazon bestellen. Die Wasserpumpe die optimal war für das Projekt konnte nur nach Deutschland geliefert werden, wodurch wir sie zu einer Bekannten schickten mussten, die sie uns

dann

sendete.

2.7.4 Einkaufen



Abb. 33: IDPA, Einkaufen, Dominik Abt, Oktober 2024



Abb. 34: IDPA, Holzzuschnitte, Dominik Abt, Oktober 2024

Das Einkaufen war unser nächster Schritt. Die Scheiben für das Fenster haben wir bei Glaswelt 24 bestellt und das restliche Material haben wir in diversen Baugeschäften, wie Hornbach und Jumbo erhalten oder auch auf Amazon bestellt.

2.7.5 Bauen



Abb. 35: IDPA, Bau der Box, Dominik Abt, Januar 2025

Die Spanplatten für die aussen und Innenseite der Box haben wir zuschneiden lassen und konnten dadurch sofort mit dem Zusammenschrauben der Boxen beginnen. Als erstes schraubten wir die kleineren Platten aneinander, welche Zusammen den Innenraum ergeben. Die Holz-konstruktion aus Weissholz, die als Rahmen diente, schraubten wir an die inneren Platten und dämmten die Zwischenräume mit Steinwolle aus. Weissholz besitzt eine niedrige Wärmeleitfähigkeit, wodurch es gut isoliert. Die äusseren Platten konnten wir an diese Holzkonstruktion anschrauben.



Abb. 36: IDPA, Bau der Box, Dominik Abt, Januar 2025

Für das Fenster erstellten wir einen Rahmen aus vier Holzleisten. Diese haben wir alle im 45° Winkel abgeschnitten und drei Einschnitte gemacht, in welche dann die Gläser einlassen wurden. Wir entschieden uns für eine Dreifachverglasung wie es üblich im Hausbau ist und dichteten die Scheiben mit einer Silikonfuge ab. Das Silikon isoliert die Fenster und bringt die einzelnen Scheiben in eine feste Position.



Abb. 37: IDPA, Bau der Box, Dominik Abt, Januar 2025

Das Fenster mit Rahmen haben wir dann anschliessend in die Box verschraubt. Zum Schluss befestigten wir einen Frontrahmen, der die Ästhetik der restlichen Box aufnahm und den Fensterrahmen hielt.

Den gesamten Prozess des Erstellens dieser Grundkonstruktion wiederholten wir für die zweite Box möglichst äquivalent damit wir anschliessend unverfälschte Messwerte erzielen konnten.



Abb. 38: IDPA, Bau Wasserkreislauf, Dominik Abt, Dezember 2024

Zeitgleich begannen wir mit der Erstellung des Wasser-Kreislaufs für eine unserer Boxen. Hierbei stiessen wir immer wieder auf die Herausforderung den Kreislauf dicht zu halten. Das stellt sich auch in späteren Schritten als grosse Herausforderung heraus.



Abb. 39: IDPA, Planung der Idee, Dan Riskovic, Oktober 2024

Das Kernstück unserer Elektronik bildet ein Raspberry Pi 4b der die Steuerung und die Messungen des Fenstersystems übernimmt. Die Sensoren werden über die GPIO-Pins verbunden damit die Messwerte an das Linux System weitergeleitet werden. Die Steuerung des Wassers und der Kühlung sollte auch über den Raspberry Pi gemacht werden können.

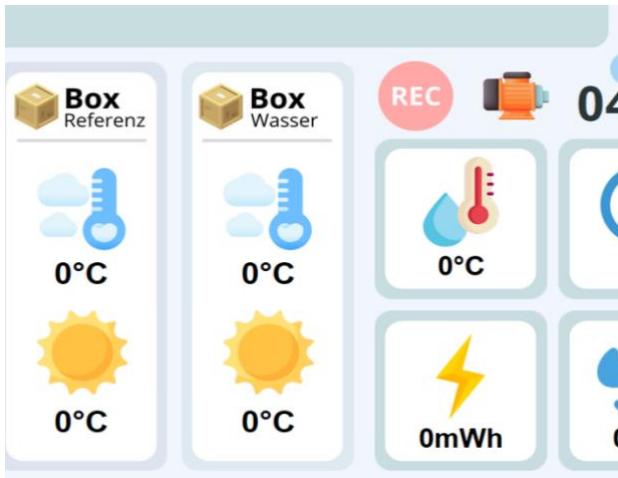


Abb. 40: Screenshot, Programm, Dominik Abt, Dezember 2024

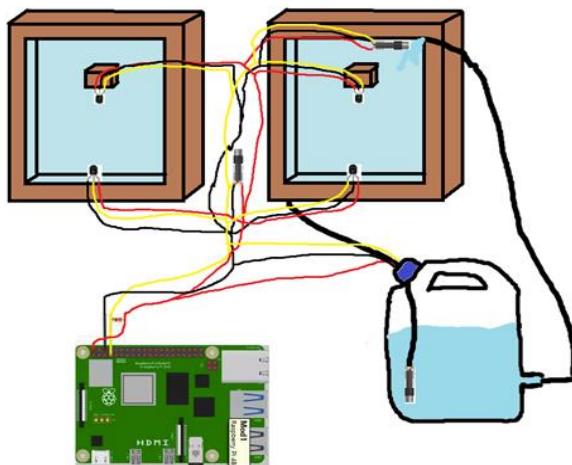


Abb. 41: Skizze, Verkabelung, Dominik Abt, Dezember 2024



Abb. 42: IDPA, Bau Kühlsystem, Dominik Abt, November 2024

Wir erstellten ein Programm, dass wir mit Python geschrieben haben und das uns ein grafisches User Interface anzeigt, auf dem wir die aktuellen Messwerte sehen können. Zudem soll es die Messdaten in einem Format speichern, dass wir dann in Excel bearbeiten können. Aus den erhobenen Daten können wir die Effektivität vom Kühlssystem veranschaulichen und einen Vergleich der beiden Boxen ziehen.

Für die Übersicht erstellten wir uns eine Skizze, in der wir grob aufzeichneten, wie wir die Sensoren effektiv positionieren wollen. Wir wollten pro Box je einen Sensor im Innenraum für die effektive Lufttemperatur und je einen auf der Front für die Messung der Wärmeeinstrahlung auf die Scheibe. Zudem sollte mittig ein Sensor für die Außentemperatur platziert werden. Im Wasserkreislauf wollten wir die Wassertemperatur vor und nach dem Kühlen messen und haben somit einen Tauchsensor in der Box und einen im Wasserkanister. Die Kühlung sollte dann dazwischen gebaut werden.

Uns war es wichtig das Wasser kühlen zu können und zu messen, wie effektiv die Kühlung ist. Durch das Kühlen des Wassers erreichen wir erst den erwünschten Effekt der Wärmeisolation von Gebäuden, da kaltes Wasser mehr Wärme von aussen abfangen kann in das Ausheizen der Scheibe reduziert. Deshalb begann unser Abenteuer mit der Elektronik des Kühlssystems. Hierfür verwendeten wir einen Computerlüfter.

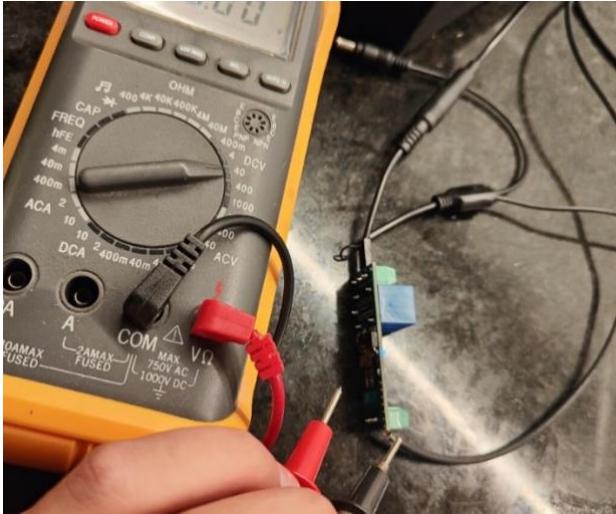


Abb. 43: IDPA, Reparaturversuch, Dominik Abt, Januar 2025



Ein Bluetooth-Relais sollte die Pumpe und das Kühlssystem über den Touch-screen starten. Als wir das Relais aber testeten, wollte es leider nicht funktionieren. Wir haben systematisch nach dem Ausschlussverfahren versucht herauszufinden, wo das Problem lag. Dafür haben wir die Spannung getestet, Teile wie den USB-Adapter ausgewechselt und die Kabel ohne das Relais verbunden. Schliesslich haben wir herausgefunden das der mechanische Schalter im Relais defekt war, also stellten wir auf einen manuellen Kippschalter um.

Bevor wir die gesamte Verkabelung begonnen hatten, platzierten wir die Sensoren an den vorher geplanten Stellen. Anschliessend verbanden wir die Sensoren mit Kabeln, die wir selbst mit Steckverbindungen ausgestattet hatten. Das war ein sehr grosser Aufwand, da wir jede einzelne Verbindung selbst getrennt, abisoliert, zusammengedrückt und gelötet hatten. Wir haben die Kabel dann beim Raspberry Pi zusammengeführt und mit einer BUS-Schaltung über einen GPIO-Pin für die Erdung, einen für die Daten und einen für den Positiv-Leiter angeschlossen.

Abb. 44: IDPA, Kabelherstellung, Dominik Abt, Dezember 2024



Abb. 45: IDPA, Ablauf Wasser, Dominik Abt, Dezember 2024



Abb. 46: IDPA, Standfuss für Box, Dominik Abt, Januar 2025

Auf der rechten, auf der linken und auf der Stirnseite bohrten wir ein Loch. Es wurde jeweils ein Schlauch mit dem Innendurchmesser von 10 mm befestigt und abgedichtet. Rechts ist der Einlauf, links der Überlauf und vorne ist der Ablauf. Der Ab- und Überlauf führt in unseren Kanister, von dort aus wird das Wasser wieder über eine Pumpe und einen Kühler durch den Einlauf zwischen die zwei äussersten Scheiben des Fensters gepumpt. Beim Ablauf haben wir uns dafür entschieden mit einer Schlauchschelle die Grösse des Ausflusses anhand vom Schweredruck des Wassers so zu bestimmen, dass das Wasser im Glas, wenn es ganz oben ist den Ausgleich von abfliessendem und nachfliessendem Wasser erreicht.

Unsere Box mit dem Wasserkreislauf stellten wir etwas höher, wodurch das Wasser vom Ab- und Überlauf her nur in unseren Wasserbehälter zurückfliessen kann. Wir nutzten das Prinzip der Gravitation, indem die Pumpe das Wasser anhob und dessen kinetische Energie in potentielle Energie umwandelte, welche beim Abfliessen wieder in kinetische Energie zurückverwandelt wurde. Zudem war es so einfacher den gesamten Stromkreislauf am Gehäuse zu befestigen.



Abb. 47: IDPA, Silikonfugen für Box, Dominik Abt, Januar 2025

Wie vorher erwähnt mussten wir die Konstruktion einige Male aufschrauben, damit wir die Fuge wieder anpassen konnten, da immer wieder eine oder mehrere Stellen undicht waren. Ein Kollege von uns der auf dem Bau Erfahrungen hat, hat uns letztendlich bei der Fuge geholfen, bis alles dicht war. Das Abdichten des ganzen Kreislaufes war sehr zeitaufwendig und hat uns viel Ärger bereitet.

3 Schlussteil

3.1 Zusammenfassung der Projektergebnisse

3.1.1 Wie wird sich der U-Wert eines Fensters verändern, wenn man eine Wasserschicht über oder zwischen die Gläser legt und was ist effizienter?

Wie bereits im physikalischen Teil erwähnt, haben wir das Ziel die erste Leitfrage etwas verfehlt, da nicht der U-Wert relevant für die eindringende Energie ist, sondern der g-Wert. Mit diesen Berechnungen zum g-Wert konnten wir dann aber beweisen, dass unser Projekt eine Wirkung zeigen muss, was sie dann auch, ausgehend unserer Messungen, tat.

3.1.2 Was darf/soll im Wasser enthalten sein, damit keine Rückstände vorhanden bleiben?

Für unser repräsentatives Modell haben wir herkömmliches Hahnenwasser genutzt und bisher sieht man weder Kalkablagerungen noch sonstige wasserbedingten Verschmutzungen. Eine Möglichkeit wäre es, eine Wasserenthärtung oder eine Filtration einzubauen, was in unserem Fall Zeit- und Budgettechnisch nicht aufgegangen wäre.

3.1.3 Welche Methode (Wasser auf Aussenseite oder Innenseite) ist effektiver, um die Erwärmung im Innenraum zu verhindern und die Hitze zu blockieren?

Aus Zeitdruck heraus konnten wir nicht beide Methoden überprüfen. Trotzdem stellt sich die Methode mit dem Wasser, das wir durch das Fenster laufenliessen als sehr gut heraus. Die Temperatur des Innenraums war fast 20°C Kühler als bei der Referenz Box. Auch wenn wir nicht beide Kreisläufe bauen konnten, stellt sich das Projekt trotzdem als ein grosser Erfolg heraus.

3.2 Vergleich mit den Erwartungen

Am Ende unseres Projekts wurde uns bewusst, dass es deutlich zeitaufwendiger und anspruchsvoller war, als wir ursprünglich angenommen hatten. Wir haben von Anfang an jeden Sonntag damit verbracht, an unseren Boxen zu arbeiten, diese zu programmieren, zu zeichnen und zu dokumentieren. Trotz des grossen Aufwands konnten wir aus zeitlichen Gründen nicht alle geplanten Aspekte des Projekts umsetzen. Ein Teil des Kreislaufs musste daher vollständig weggelassen werden, was wir als bedauerlich empfinden.

Die grössten Probleme hat uns die Dichtigkeit des Fensters mit dem Wasser gemacht. Wir mussten dieses mehrmals testen und wieder nachbessern, bis nichts mehr tropfte. Das war eine extrem Zeit- und Nervenintensive Phase unseres Projektes. Trotzdem sind wir mit dem Ergebnis zufrieden. Unsere Messungen haben bestätigt, dass die grundlegende Idee des Projekts wirksam ist. Auch die Zusammenarbeit verlief wie erwartet reibungslos, was uns sehr erleichtert hat. Unser Modell ist funktionstüchtig und aussagekräftig. Besonders stolz machte uns jedoch die Tatsache, dass wir mehrfach darauf angesprochen wurden, ob wir ein Patent auf unser Projekt anmelden möchten.

3.3 Persönliche Rückblicke

Mir persönlich hat die Arbeit an unserem Projekt sehr gefallen. Besonders das Planen und Tüfteln beim Bau der Boxen hat mir aufgrund meiner Interessen grossen Spass gemacht. Wir hatten die Möglichkeit, ausführlich zu diskutieren und zu debattieren, welche Ansätze wohl besser und effizienter sein könnten. Der Bau selbst war für mich jedoch weniger spannend, da wir vieles anpassen und improvisieren mussten, was sich als deutlich schwieriger herausstellte, als wir ursprünglich dachten. Das hat uns zeitlich stark unter Druck gesetzt, uns nervenzerreissende Momente beschert und führte dazu, dass wir kurz vor dem Abgabetermin etwas Stress hatten. Trotz allem nehme ich viel aus dieser Arbeit mit. Neben dem Wissen, das wir uns angeeignet haben, konnte ich vor allem aus der Erfahrung lernen, wie man mit einem nicht immer reibungslos verlaufenden Projekt umgeht. Die Zusammenarbeit mit Dominik empfand ich als sehr angenehm. Zwar hatten wir gelegentlich Meinungsverschiedenheiten, etwa über den Umfang und den Aufwand, den wir betreiben wollten, oder zu einigen inhaltlichen Aspekten, doch konnten wir diese ohne grössere Schwierigkeiten lösen.

Jennifer

Die Arbeit am Projekt hat mir auch gefallen. Es war schöne etwas von a – z komplett umsetzen zu können. Wir hätte uns mehr Zeit nehmen müssen, um schon im Voraus mehr fertig zu bekommen, dass wir am Schluss nicht in so einen Stress gekommen wären. Besonders gefreut hat mich, dass ich wieder einmal Programmieren durfte. Auch die Datenerfassung und die anschliessende Auswertung waren sehr interessant und haben total spass gemacht. Ich habe sehr viel über Elektronik und über das Programmieren von solchen Systemen gelernt und kann einiges mitnehmen. Das Beste finde ich, dass wir tatsächlich ein funktionsfähiges Model mit Programm erstellen konnten und damit Messungen durchführen durften. Es ist ein schönes Gefühl wenn man die Früchte seiner Arbeit ernten kann. Mein Fazit ist, dass auch wenn wir Rückschläge und Zeitnot hatten, das Projekt dennoch eine Bereicherung und ein voller Erfolg war.

Dominik

3.4 Ausblick

In einem weiteren Optimierungsschritt könnte das gesamte Projekt verbessert werden, um realistischere und professionellere Ergebnisse zu erzielen. Aufgrund der begrenzten Möglichkeiten innerhalb unseres Projektrahmens ist es nicht möglich, ein Fenster zu bauen, das mit professionellen Modellen vergleichbar ist. Stattdessen wäre es sinnvoller, ein fertiges Fenstermodell in das Experiment einzubinden. Darüber hinaus sollte nicht nur das Fenster, sondern die gesamte Box vollständig luftdicht versiegelt werden, um präzisere und zuverlässigere Messergebnisse zu gewährleisten. Um realitätsnähtere Bedingungen zu schaffen, wäre der Einsatz einer grösseren Fensterscheibe anstelle der aktuell verwendeten 30x30 cm-Scheibe empfehlenswert. Ebenso sollten die Dämmstärken überarbeitet werden, da die aktuell eingesetzte Steinwolldämmung nicht ausreichend isolierend ist. Eine effizientere Dämmung mit besseren Isolationswerten könnte die thermischen Eigenschaften der Box erheblich verbessern. Auch die Wasserqualität könnte durch den Einsatz umweltfreundlicher Additive oder geeigneter Filtrationssysteme optimiert werden, um Kalkablagerungen und Rückstände auf den Fensterscheiben zu vermeiden. Zusätzlich könnten Tests unter Extrembedingungen wertvolle

Erkenntnisse liefern. Beispielsweise wäre es interessant zu untersuchen, wie sich das System bei hoher Sonneneinstrahlung verhält oder ob das Fenster im Winter durch die Integration eines warmen Wasserkreislaufs beheizt werden könnte.

Diese Massnahmen würden nicht nur die Qualität der Experimente verbessern, sondern auch dazu beitragen, das Potential des Systems unter unterschiedlichen Bedingungen und in verschiedenen Einsatzszenarien genauer zu bewerten.

4 Anhang

4.1 Interview

Ist beiliegend.

4.2 Quellenverzeichnis

Video

¹ Berechnungen zum Wasserkreislauf, <https://www.studysmarter.de/ausbildung/ausbildung-in-handwerkproduktion-und-gewerbe/anlagenmechaniker/druckverluste/>

Webseite

Generell wurde ChatGPT für Fragen und Recherchen verwendet, <https://www.chatgpt.com>

² Raspberry Pi Hardware, <https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/raspberry-pi.html>

³ Raspberry Pi-Konfiguration, 1-Wire,

<https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/configuration.html#one-wire-nonint>

⁴ Hall-Sensor, https://en.wikipedia.org/wiki/Hall_effect_sensor

⁵ All-in-One-Wasserkühlungen, Funktionsweise einer All-in-One-Wasserkühlung, <https://www.pcwelt.de/article/1522641/all-in-one-wasserkühlungen-vorteil-nachteile-kauf-tipps-montage.html>

⁶ So funktionieren Splitsysteme, Prinzip der Funktionsweise, <https://www.meiertobler.ch/de/klimaanlagen/split-system>

⁷ Was ist Infrarotstrahlung und wie entsteht diese?, Die berühmte Halogenlampe, Die Farbe von Tageslicht, <https://www.vattenfall.de/infowelt-energie/strom-ratgeber/halogenlampe-funktion-vorteile-nachteile>

⁸ Fu-Berlin, «Anonymus», https://refubium.fu-berlin.de/bitstream/handle/fub188/13144/2_Kapitel2.pdf

⁹ Die Sonne als größte Quelle für Infrarotstrahlung, <https://infrarot-thermometer.info/know-how/infrarotstrahlung/>

Interview

Milan Budimir, Glaser Fensterbauer, Schweizerischer Fensterverband

Fachliteratur

Die neue Konstruktionslehre für den Hochbau, Heft 12: Fenster, 4. Ausgabe, Januar 2018,
Auflage 4600, LM-A LernMedien-Architektur GmbH

Physikalische Berechnungen Grundlage

Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) | Glas | Bauphysik | Baunetz_Wissen
Druckverluste: Definition & Berechnung | StudySmarter

4.3 Abbildungsnachweis

Abb. 8 (S. 03): Prozessskizzen

Abb. 9 (S. 05): Selbst erstellte Grafik

Abb. 10 (S. 10) Produktbild Raspberry Pi 4B, direnc.net

Abb. 11 (S. 10) Varianten DS18B20 Sensor, electrocredible.com

Abb. 5 (S. 11) Produktbild, Miniwasserpumpe, Hersteller: MOUNTAIN ARK, Vertrieb: amazon.de

Abb. 6 (S. 11) Produktbild, YF-S201 Wasserdurchflusssensor, Hersteller: DollaTek, Vertrieb: amazon.de

Abb. 7 (S. 12) IDPA, Bau der Kühlung, Dominik Abt, 24.11.24

Abb. 8 (S. 12) Produktbild, Raspberry Pi Display, Hersteller: ELECROW, Vertrieb: amazon.de

Abb. 9 (S. 13) Produktbild, Flachbandkabel, Hersteller: QWORK, Vertrieb: amazon.de

Abb. 10 (S. 13) Produktbild, Stecker Set, Hersteller: TopHomer, Vertrieb: amazon.de

Abb. 11 (S. 13) Produktbild, Power Splitter Kabel, Hersteller: Security-01, Vertrieb: amazon.de

Abb. 12: (S. 14) Ordnerstruktur, Selbst erstelltes Diagramm, Dominik Abt, Januar 2025

Abb. 13 (S. 15) Wetter API, Screenshot, Dominik Abt, Januar 2025

Abb. 14 (S. 15) Grundgerüst Programm, Screenshot, Dominik Abt, Januar 2025

Abb. 15 (S. 16) Ausschnitt aus main.py, Screenshot, Dominik Abt, Januar 2025

Abb. 16 (S. 17) IDPA, Installation Raspberry Pi, Dominik Abt, November.24

Abb. 17 (S. 17) IDPA, Sensoren verbinden Raspberry Pi, Dominik Abt, Januar 2025

Abb. 18 (S. 18) Ausschnitt main.py, Screenshot, Dominik Abt, Januar 2025

Abb. 19 (S. 18) IDPA, Programm live Test, Dominik Abt, Januar 2025

Abb. 20 (S. 18) IDPA, Bestrahlung mit Bauleuchte, Dominik Abt, Januar 2025

Abb. 21 (S. 20) Ausschnitt aus Datensatz, Dominik Abt, Januar 2025

Abb. 22 (S. 20) Ausschnitt aus Datensatz, Dominik Abt, Januar 2025

Abb. 23 (S. 21) Diagramm aus Datensatz, Dominik Abt, Januar 2025

Abb. 24 (S. 22) Diagramm aus Datensatz, Dominik Abt, Januar 2025

Abb. 25 (S. 24) Skizze Programmerweiterung, Dominik Abt, Januar 2025

Abb. 26 (S. 25) Skizze Programmerweiterung, Dominik Abt, Januar 2025

Abb. 27 (S. 25) Skizze Programmerweiterung, Dominik Abt, Januar 2025

Abb. 28 (S. 26) Skizze Model Wasser Box, Jennifer Schuhmacher, Januar 2025

Abb. 29 (S. 26) Digitales Model Wasser Box, Dominik Abt, November 2024

Abb. 30 (S. 27) Skizze Model Box Masse, Jennifer Schuhmacher, Januar 2025

Abb. 31 (S. 27) Screenshot, chatgpt.com, openai, November 2024

Abb. 32 (S. 27) Screenshot, amazon.de, Dezember 2024

Abb. 33 (S. 28) IDPA, Einkaufen, Dominik Abt, Oktober 2024

Abb. 34 (S. 28) IDPA, Holzzuschnitte, Dominik Abt, Oktober 2024

Abb. 35 (S. 28): IDPA, Bau der Box, Dominik Abt, Januar 2025

Abb. 36 (S. 29) IDPA, Bau der Box, Dominik Abt, Januar 2025

Abb. 37 (S. 29) IDPA, Bau der Box, Dominik Abt, Januar 2025

Abb. 38 (S. 29) IDPA, Bau Wasserkreislauf, Dominik Abt, Dezember 2024

Abb. 39 (S. 30) IDPA, Planung der Idee, Dan Riskovic, Oktober 2024

Abb. 40 (S. 30) Screenshot, Programm, Dominik Abt, Dezember 2024

Abb. 41 (S. 30) Skizze, Verkabelung, Dominik Abt, Dezember 2024

Abb. 42 (S. 30) IDPA, Bau Kühlsystem, Dominik Abt, November 2024

Abb. 43 (S. 31) IDPA, Reparaturversuch, Dominik Abt, Januar 2025

Abb. 44 (S. 31) IDPA, Kabelherstellung, Dominik Abt, Dezember 2024

Abb. 45 (S. 31) IDPA, Ablauf Wasser, Dominik Abt, Dezember 2024

Abb. 46 (S. 32) IDPA, Standfuss für Box, Dominik Abt, Januar

Abb. 47 (S. 32) IDPA, Silikonfugen für Box, Dominik Abt, Januar 2025

4.4 Erklärung der Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erklären wir, dass wir die vorliegende Interdisziplinäre Arbeit selbstständig und ohne unzulässige fremde Hilfe verfasst haben. Alle genutzten Hilfsmittel, Hilfspersonen und Quellen sind im Quellenverzeichnis aufgeführt.

Unterschriften

Jennifer Schumacher _____

Dominik Abt _____

4.5 Wortverzeichnis

7983 Wörter