Von Muskelkraft zu Strom

Der Umbau eines Ruder-Ergometers zur Stromgewinnung



Maturarbeit Gymnasium Biel-Seeland

Maturjahrgang 2024

Klasse 24n

Mario Schoch

Abstract

Die Fragestellung meiner Arbeit lautet: "Wie kann ich einen Ruder-Ergometer modifizieren, damit ich während des Trainings die abgegebene Körper-Energie in Strom umwandeln kann?"
Das Hauptziel meiner Arbeit ist, einen Ruder-Ergometer so zu modifizieren, dass man ihn als herkömmliches Trainingsgerät gebrauchen kann, man aber einen Teil der Energie, die aufgewendet wird, in Form von Strom zurückbekommt.
Ein weiteres Ziel ist es, herauszufinden, inwiefern eine solche Modifizierung sich aus finanzieller Sicht lohnen würde, und wie gut man den Stromverbrauch meiner Trainingsstätte (Seeclub Biel) abdecken könnte, wenn man für jeden Ruder-Ergometer im Klub solche Anpassungen machen würde.
Zum Erarbeiten dieser Frage habe ich mich mit der Theorie auseinandergesetzt, Recherchen dazu betrieben, mit Fachpersonen unterhalten und mich dem praktischen Teil, dem Umbau und Modifizierung des Ergometers gewidmet.
Das Projekt, welches meine Arbeit ausmacht, konnte ich wie geplant umsetzen. Die Bestandteile habe ich zusammengesetzt und in einer selbst gebauten Kiste verstaut. Die Ergebnisse des Projektes waren jedoch weniger erfolgreich als erhofft. Ich habe es nicht geschafft, genug von der Energie, welche der Rudernde produziert, so umzuwandeln, damit ein Handy betrieben werden kann
Die Ergebnisse der hypothetischen Kalkulationen, welche die Infrastruktur des Seeclubs betreffen, waren jedoch sehr klar. Bei einer 100-prozentigen Stromgewinnung durch die Installation auf allen acht Ergometer, könnte man etwa 1/20 der jährlichen Stromrechnung des Seeclub Biel abdecken. Man muss hier aber im Hinterkopf bewahren, dass es etwa 24 Jahre dauern würde, bis die Baukosten der Installation gedeckt wären.

Inhaltsverzeichnis

Abstract **3**

Vorwort **6**

Einleitung **6**

Projektbeschrieb **7**

Theorie **8**

Übersicht der Bauteile *8*

Ruder Ergometer *9*

Permanentmagnet Generator *10*

Gleichspannung/-strom *10*

Wechselspannung/-strom *10*

Gleichrichter *10*

Wechselrichter *11*

Spannung *11*

Strom *11*

Leistung *11*

Wahl und Kosten der Bauteile **12**

Concept 2 Ergometer *12*

Permanentmagnet Generator 3-Phasen Wechselstrom 300W *13*

Dreiphasengleichrichter 24V *14*

Leistungs- und Energieanzeige *14*

Wechselrichter 24V DC zu 230V/50Hz AC *14*

Lötkabelschuhe Jumbo *15*

3D Verbindungsstücke *15*

Gehäuse *16*

Gesamtkosten *16*

Zusammenbau **18**

Elektronik *18*

Gehäuse und Befestigung *19*

Testberichte **22**
Testdurchlauf 07.07.2023 ..... *22*
Analyse und Schlussfolgerung Test 07.07.2023 ..... *23*
Testdurchlauf 15.07.2023 ..... *23*
Analyse und Schlussfolgerung Test 15.07.2023 ..... *24*
Testdurchlauf 29.08.2023 ..... *24*
Analyse und Schlussfolgerung Test 29.08.2023 ..... *26*
Testdurchlauf 04.09.2023 ..... *26*
Analyse und Schlussfolgerung Test 04.09.2023 ..... *26*
Testdurchlauf 15.09.2023 ..... *27*
Analyse und Schlussfolgerung Test 15.09.2023 ..... *28*
Resultat **30**
Was habe ich erreicht? *30*
Würde der Strom für den Seeclub Biel ausreichen? *30*
Reflexion **34**
Wieso lief meine Installation, und somit mein Projekt nicht wie erwartet? *34*
Was würde ich beim nächsten Mal anders machen? *34*
Protokoll der praktischen Arbeit **35**
Abbildungsverzeichnis **36**
Literaturverzeichnis **37**
Redlichkeitserklärung **38**

Vorwort

Durch das Planen, Durchführen und Schreiben dieser Arbeit habe ich mich mit vielen Themen der Elektrizitätslehre auseinandersetzen müssen und habe mir so auch viel neues Wissen angeeignet, welches ich in Zukunft mit Sicherheit gut gebrauchen kann. An dieser Stelle möchte ich mich bei meinen Kollegen bedanken, die
mich sehr grosszügig mit Material ausgestattet haben, welches ich selbst nicht organisieren konnte. Vielen Dank an meinen Betreuer für die klärenden
Gespräche und das besprechen der nächsten Schritte. Herzlich bedanken möchte ich mich zudem bei meiner Familie, die mich in Situationen, bei denen ich eine dritte Hand gebraucht habe, immer unterstützt hat, und die fertige Arbeit kritisch durchgelesen und kommentiert hat.

Einleitung

Ich rudere seit gut fünf Jahren intensiv und trainiere etwa neun Mal die Woche. Zwei bis drei von diesen Trainings finden auf dem Ruder-Ergometer statt. Ein Ergometer ist ein Sportgerät, auf dem man die Ruderbewegung an Land simulieren kann und somit auch, bei unmöglichen Bedingungen auf dem See, optimal trainieren kann. Als sich im Jahr 2022 die Energiekrise zugespitzt hat, kam mir die Frage: Könnte man die Unmengen an Energie, die ins Training investiert werden, zur Stromgewinnung brauchen? Ich bin zum Schluss gekommen, dass diese Idee im Ruderboot und beim Krafttraining wahrscheinlich nicht umsetzbar ist, jedoch auf dem Ruder-Ergometer eine spannende Herausforderung wäre.
Nebst der Tatsache, dass meine Arbeit etwas mit meinem Lieblingssport zu tun hat, fand ich die Idee spannend, etwas Neues zu entwerfen und technische Probleme zu lösen. Aus diesen Gründen habe ich mich dazu entschlossen, dieses Thema für meine Maturarbeit zu wählen.
Die Fragestellungen meiner Arbeit sind folgende:

- Wie kann ich einen Ruder-Ergometer modifizieren, damit ich während des Trainings meine Energie in Strom umwandeln kann?
- Lässt sich mit der Energie-Gewinnung aus den Ruder-Ergometer-Trainings im Seeclub Biel den Stromverbrauch decken?

Projektbeschrieb

Für das Projekt werde ich aus den Kenntnissen, welche ich habe, und die ich im Verlauf der Arbeit dazu gewinne, einen Ruder-Ergometer mit verschiedenen elektronischen Bauteilen ergänzen und so versuchen, Strom zu produzieren. Der Bau eines Gehäuses für diese Bauteile wird auch Teil der Arbeit sein. Das Ziel wäre es, mit dem Ergebnis der Arbeit auf dem Ergometer rudern zu können und dabei Strom zu produzieren. In einem zweiten Teil des Projektes werde ich berechnen, wie viel Energie mit meinem Konstrukt produziert werden könnte, und ob der Stromverbrauch vom Seeclub Biel damit gedeckt werden kann.

Theorie

In diesem Teil meiner Arbeit werde ich einen kurzen Beschrieb der Mechanik machen und einige komplexere Begriffe und Mechanismen erklären, die man aus dem Alltag nicht unbedingt kennt. Sie werden vorausgesetzt, um meine Arbeit verstehen zu können.

Übersicht der Bauteile

Der **Ruder-Ergometer** ist die Grundlage meiner praktischen Arbeit. Eine Person muss für die Stromproduktion immer auf dem Gerät sitzen und rudern. Durch die Ruderbewegung bringt sie ein Schwungrad zum Drehen. An diesem Schwungrad wird durch ein Verbindungsstück der **Permanentmagnet-Generator** befestigt, so dass er sich mit dem Schwungrad mit dreht. Der daraus erzeugte **Wechselstrom** wird von dem **Gleichrichter** in **Gleichstrom** umgewandelt. Der Gleichstrom fliesst dann durch die Leistungsanzeige und danach direkt zum **Wechselrichter**, wo man ihn anschliessend gebrauchen kann.

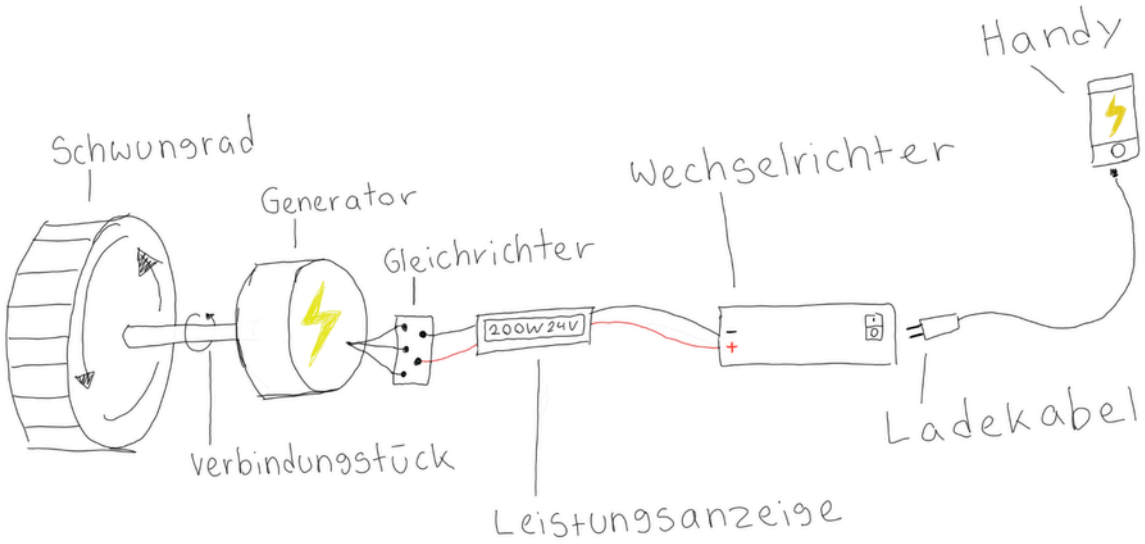


Abbildung 1: Schema der Installation

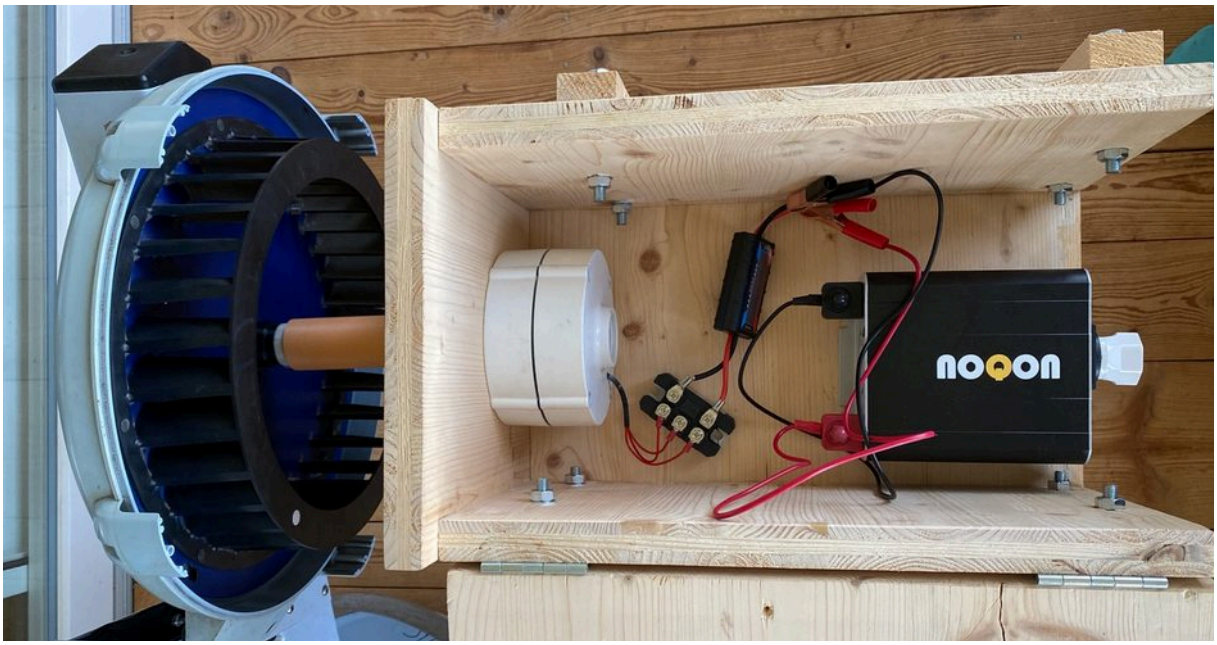


Abbildung 2: Bild der Installation

Ruder Ergometer

Der Ruder-Ergometer ist ein weit verbreitetes Trainingsgerät, welches tagtäglich von Sport- und Freizeitruderern zum Trainieren geschätzt wird. Er besteht aus folgenden vier Hauptteilen, welche von Dudhia (Dudhia, 2001) wie folgt beschrieben werden:

1. Einem Schwungrad, um die Energie zwischen den Ruderschlägen speichern zu können (simuliert das Momentum des Bootes).
2. Einem Griff und einer Kette, die durch ein Zahnrad mit dem Schwungrad verbunden sind (simuliert das Ruder).
3. Einem Dämpfungssystem auf dem Schwungrad (simuliert den Widerstand des Wassers auf der Bootsschale).
4. Einem Rückzugs-Mechanismus, der mit einem Gummiband den Griff wieder nach vorne zieht (simuliert die Bewegung des Bootes, welches unter dir nach vorne gleitet).

Verbindet man diese verschiedenen Bestandteile noch mit einer Rollbahn, einem Rollsitz und einem Display, der die Leistung sowie die Geschwindigkeit anzeigt, hat man ein Ergometer.

Permanentmagnet Generator

Ein Permanentmagnet Generator ist eine Maschine, die aus Mechanischer Energie Wechselstrom produziert (Fischer Future Heat, 2018). Der Prozess ist aber ziemlich komplex und ein Beschrieb hiervon würde den Rahmen überschreiten. Jedoch habe ich, für die Leser und Leserinnen, welche es interessiert, einen spannenden Beitrag dazu im Internet gefunden[1].

Gleichspannung/-strom

Gleichstrom ist Strom der konstant in die gleiche Richtung fliesst. Die freien Elektronen bewegen sich also immer vom Minuspol zum Pluspol der Spannungsquelle. Die Spannung und die Stärke des Stromes können aber dennoch variieren. Gleichstrom wird beispielsweise bei Laptops, beim Telefon und anderen kleinen Geräten verwendet. Der Wechselstrom vom Stromnetz wird dann bei diesen Geräten mit Hilfe des Netzteils in Gleichstrom umgewandelt.

Wechselspannung/-strom

Im Gegensatz zum Gleichstrom ändern sich die Minus- und Pluspole der Spannungsquelle periodisch. Dies führt dazu, dass die Elektronen bei jeder Poländerung die Fliessrichtung ändern. Wievielmal pro Sekunde diese Richtungsänderung stattfindet, wird in Herz (Hz) angegeben. In der Schweiz werden alle Stromnetze mit 50 Hz betrieben. In der Regel wird Wechselstrom dann verwendet, wenn grössere Strommengen gebraucht werden. Dies kann zum Beispiel bei einem Wasserkocher, Toaster oder auch bei einem Elektromotor der Fall sein.

Gleichrichter

Ein Gleichrichter ist eine elektrotechnische Maschine, die Wechselspannung und -strom in Gleichspannung und -strom umwandelt.

[1] https://www.fischerfutureheat.de/generator/#:~:text=An%20den%20Spulen%20befinden%20sich,erzeugt%3A%20Es%20wird%20Wechselstrom%20erzeugt.

Wechselrichter

Ein Wechselrichter ist eine elektrotechnische Maschine, die Gleichspannung und -strom in Wechselspannung und -strom umwandelt.

Spannung

Die Spannung, in Volt gemessen, beschreibt man als den Druck, der die Elektronen vorantreibt. Mehr Spannung = Mehr Volt = Mehr Druck.
In meiner Konstruktion würde die Spannung die Elektronen vom Generator bis zum Verbraucher treiben. Die SI-Einheit der Spannung ist U (SI steht für das internationale Einheitensystem).

Strom

Strom ist die Bewegung von Elektronen in eine Richtung. Die Stromstärke ist von der Anzahl der Elektronen pro Sekunde abhängig. Mehr Elektronen pro Sekunde bedeuten grössere Stromstärke. Die SI-Einheit der Stromstärke ist I.

Leistung

Als Leistung bezeichnet man den Vergleich von verrichteter Arbeit mit der dafür benötigten Zeit. Die SI-Einheit der Leistung ist W.

Wahl und Kosten der Bauteile

Bei der Wahl der Komponenten haben folgende Faktoren Einfluss gehabt:

1. Kostenpunkt: Der Preis der verschiedenen Komponenten muss meinem Budget entsprechen. Die Obergrenze, welche ich mir für die Maturarbeit gesetzt habe, ist CHF 400.-. In diesem Rahmen kann ich ein Gerät zusammenbauen, welches qualitativ gut sein sollte.
2. Kompatibilität: Die verschiedenen Komponenten müssen miteinander kompatibel sein und etwa die gleichen Anforderungen an Leistung haben, damit sie gut miteinander funktionieren.
3. Praktikabilität: Die Komponenten müssen einfach zu verstehen sein, so dass ich sie im Rahmen meiner Möglichkeiten montieren und gebrauchen kann.

In folgendem Abschnitt sind die Komponenten aufgelistet, welche ich für den praktischen Teil ausgewählt habe. Ich erläutere auch kurz, wieso ich mich für diese Modelle entschieden habe.

Concept 2 Ergometer

Der Concept 2 Ergometer ist der verbreiteste Ergometer in der Ruderszene, da er für den Preis von CHF 1200.- der fortgeschrittenste und beste Ergometer ist. Der Concept 2 Ergometer wurde auch von der World Rowing Federation als Standard festgelegt, so dass man Resultate untereinander vergleichen kann. Da mein Projekt für meinen Ruderclub gedacht ist, und ich praktisch nur von solchen Geräten umgeben bin, war es für mich ziemlich naheliegend, diesen Ergometer Typ für mein Projekt zu wählen.

Hersteller	Concept 2
Modell	D/E
Version	PM*
Preis	CHF 1200.- (Wurde mir zur Verfügung gestellt)



Abbildung 3: Ruder-Ergometer im Seeclub Biel

Permanentmagnet Generator 3-Phasen Wechselstrom 300W

Ich habe mich für ein Windrad Generator entschieden, da er meinen Bedürfnissen ziemlich genau entspricht. Der Generator hat eine Nennleistung von 300 Watt. Die Nennleistung ist die Leistung, welche ein Gerät über mehrere Stunden betreiben kann, ohne Schaden zu nehmen. Das entspricht etwa der Leistung, die ich auf dem Ergometer über eine Stunde erbringen kann. Zudem ist er nicht allzu gross, hat gute Möglichkeiten zur Befestigung und war vom Preis her im Rahmen.

Hersteller	LiebeWH
Modell	AVAN-300W
Nennleistung	300W
Nenngeschwindigkeit	600 U/m
Herkunft	Amazon.de
Preis	CHF 145.-

Dreiphasengleichrichter 24V

Bei dem Gleichrichter hatte ich keine Wahlmöglichkeit, da er zusammen mit dem Generator geliefert wurde. Er hat drei Eingänge für die drei Phasen des Generators und einen Plus- und einen Minus-Ausgang.

Hersteller	Samfox
Modell	Bruckengleichrichter

Leistungs- und Energieanzeige

Die Leistungsanzeige soll neben der Leistung auch noch andere Werte aufzeigen können. Ich habe mich für diejenige von Markerfire entschieden, da sie Volt, Ampere und Watt anzeigt, ein gutes Design hat und nicht allzu gross ist. Der Preis hat bei diesem Produkt eine kleine Rolle gespielt, da alle Konkurrenzprodukte sehr nahe beieinander liegen. Ich habe gewusst, dass diese Leistung für meine Zwecke reichen würde, da 300W durch die 24V etwa 12.5A gibt. Alle diese Werte kann die Leistungsanzeige messen.

Hersteller	Markerfire
Messbereiche	0-200 Ampere, 0-60 Volt
Herkunft	Amazon.de
Preis	CHF 15.-

Wechselrichter 24V DC zu 230V/50Hz AC

Der Wechselrichter musste ein paar Anforderungen erfüllen. Er musste eine Gleichspannung von 24V haben und eine Wechselspannung, die der Wechselspannung der Schweizer Stromnetzes entspricht (230V/50Hz). Auch vom Preis her sollte er nicht teurer als CHF 100.- sein, damit ich unter meinem Budget bleiben kann. Der Wechselrichter NSP324 von NOQON hat diese Anforderungen alle erfüllt, also habe ich mich für ihn entschieden.

Hersteller	NOQON
Modell	NSP324
Dauerleistung	300W

Herkunft	Swissbatt24.ch
Preis	CHF 79.-

Lötkabelschuhe Jumbo

Um die Kabel des Generators und des Leistungsanzeigers am Gleichrichter zu befestigen, brauchte ich noch Lötkabelschuhe. Es musste einerseits eine M5 Schraube in den Ring passen und auf der anderen Seite etwa der Dimension des Kabels entsprechen.

Hersteller	Jumbo
Modell	M5, 0,5 – 1 mm
Herkunft	Jumbo
Preis	CHF 10.-

3D Verbindungsstücke

Bei dem Verbindungsstück bin ich sofort auf die Idee gekommen, dieses 3D zu drucken. So konnte ich selbst die Dimensionen und das Design entwerfen. Da ich mich jedoch mit dem CAD und dem Slicer Programm nicht auskenne, habe ich das Modell gezeichnet und einen Klassenkameraden, der sich in diesem Gebiet auskennt, gebeten, mir das Modell umzusetzen. Ein paar Tage später habe ich das erste fertige Produkt in den Händen gehalten.

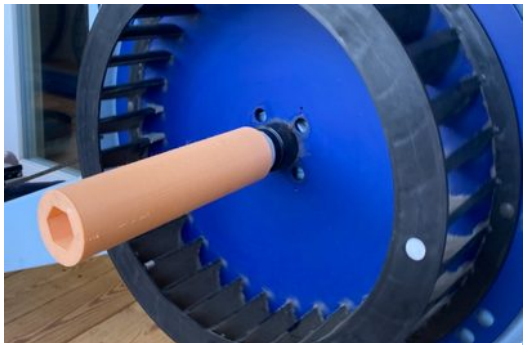


Abbildung 4: Bild von Modell 1

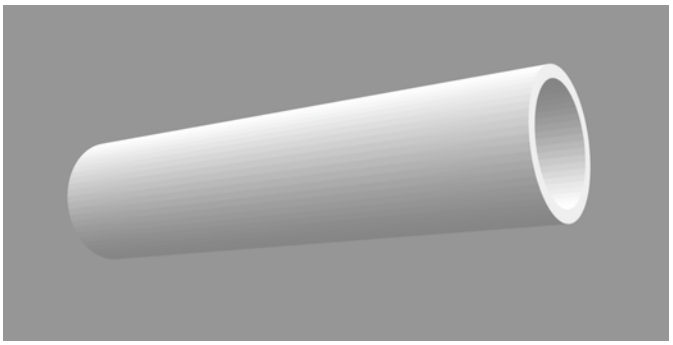


Abbildung 5: CAD Zeichnung von Modell 1

Da es bei dem ersten Produkt Schwierigkeiten mit der Befestigung gegeben hat, habe ich ein neues entworfen. Später wird dann die Veränderung noch genauer erläutert. Das zweite Modell sieht so aus:



Abbildung 6: Bild von Modell 2

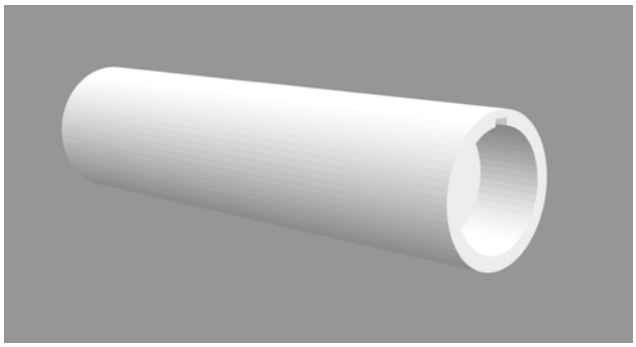


Abbildung 7: CAD Zeichnung von Modell 2

Preis	Total ca. 100.- (CHF 20.- Material, CHF 80.- Arbeit)

Gehäuse

Die Holzkiste ist wichtig um die ganze Apparatur auf die richtige Höhe zu montieren, nur so kann der Schwung, und somit die Energie, übertragen werden. Der Selbstbau des Gehäuses ist in einem nächsten Kapitel detailliert beschrieben.

Material	**Herkunft**	**Preis**
Bretter	Zuhause	CHF 0.-
Latten	Jumbo	CHF 20.-
Schrauben	Jumbo	CHF 10.-
Scharniere	Jumbo	CHF 10.-
Bolzen	Jumbo	CHF 10.-
Farbe	Zuhause	CHF 0.-

Gesamtkosten

Die gesamten Kosten beliefen sich auf CHF 399.-, ohne Ruder-Ergometer, Bretter und Farbe (ausgeliehen, und bereits im Ruderklub bzw. zu Hause verfügbar).

Bauteil	**Preis**
Ruder-Ergometer	CHF 0.- (Wurde mir zur Verfügung gestellt)
Permanentmagnet Generator	CHF 145.-
Dreiphasengleichrichter	CHF 0.- (Wurde mit Generator geliefert)
Leistungs- und Energieanzeige	CHF 15.-
Wechselrichter	CHF 79.-
Lötkabelschuhe	CHF 10.-
3D Verbindungstücke	CHF 100.-
Gehäuse	CHF 50.-
Total	**CHF 399.-**

Zusammenbau

Elektronik

Als ich die verschiedenen Komponenten beisammenhatte, habe ich mit dem Zusammenbauen begonnen.

Als erstes musste ich die Lötkabelschuhe und die Ausgangskabel des Generators und des Wattmesser löten. Diese Arbeit ist mir gut gelungen, da ich alles nötige Lötmaterial zuhause hatte (Ausnahme Lötkabelschuhe) und von verschieden Nebenjobs schon Löterfahrung hatte. Im nächsten Schritt schloss ich dann die drei Phasen vom Generator an den Gleichrichter an. Auf der Ausgangsseite des Gleichrichters habe ich den Wattmesser angeschlossen. Als ich das 3D gedruckte Verbindungsstück an das Schwungrad stecken wollte, war die Aushöhlung zu gross und die Kontaktstelle hat nicht gehalten. Die provisorische Lösung war, ein paar Schichten Klebeband, um die Achse des Schwungrades zu kleben, um diese zu vergrössern.

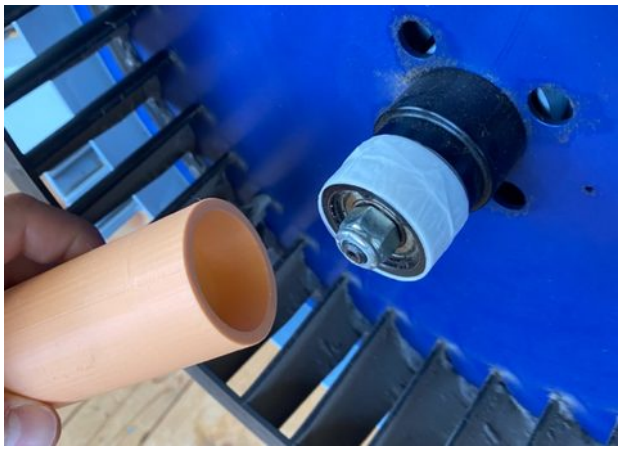


Abbildung 8: Rutschproblematik bei Modell 1

Dies hat für eine erste Testphase sehr gut funktioniert. Den Wechselrichter habe ich provisorisch mit den Klammern auf der anderen Seite des Wattmessers befestigt. Somit war die Konstruktion für einen ersten Test fertiggestellt.

Gehäuse und Befestigung

Die Anforderungen an meine Halterung für die Elektronik waren folgende: Die Kiste sollte genau die richtige Höhe haben, so dass der Generator mit der Achse des Schwungrades auf einer Höhe liegt. So kann ich sicherstellen, dass mein Verbindungsstück optimal funktioniert. Ausserdem sollte die Kiste genug gross sein, um all die Elektronik darin zu verstauen, die richtigen Löcher für Input, Output und Anzeige haben und sie soll zudem gut aussehen. Begonnen habe ich mit den Seitenwänden. Ich habe auf einem grossen Brett die Dimensionen der Wände aufgezeichnet und anschliessend mit einer kleinen Kreissäge alle schön ausgesägt. Am Anfang machte mir der Gebrauch der Kreissäge ein bisschen Mühe. Nach ein paar Fehlversuchen hatte ich die Technik jedoch im Griff. Im Anschluss musste ich die Bretter mit der Schleifmaschine auf jeder Seite gut abschleifen, um Splitter zu vermeiden und weil es viel besser aussieht. Danach habe ich mit dem Zusammenbau begonnen. Ich habe jede Seite einzeln mit Holzleim bestrichen und danach mit einer Klemme befestigt, bevor ich dann die Teile noch mit Holzschrauben endgültig aneinandergeschraubt habe. Für den Deckel habe ich zwei Scharniere gekauft, die ich an der einen Seite und an der oberen Holzplatte befestigt habe.



Abbildung 9: Halbfertige Kiste

Foto entfernt (Person)

Abbildung 10: Löcher bohren

Damit die Standbeine genau die richtige Höhe bekommen haben, musste ich zuerst am Ergometer ausmessen, wie hoch die Kiste sein muss. Danach habe ich auch hier die Latten auf die richtige Länge gesägt und gründlich abgeschliffen. Für die Befestigung an der Kiste habe ich schlussendlich eine gute Lösung gefunden. Anstelle von Schrauben, welche eventuell Risse ins Holz machen könnten, habe ich zuerst Löcher in Latte und Seitenwand gebohrt und danach Bolzen durchgeschoben, mit Schraubenmuttern befestigt und anschliessend die Überreste abgesägt. Dies hat zwar viel länger gedauert, hält aber auch viel besser.

Zum Schluss der Bauphase musste ich noch ein paar Löcher in die Kiste bohren. Eines für das Verbindungsstück, welches direkt vom Ergometer zum Generator führt und eines für den Output, also der Wechselrichter, von dem man den generierten Strom nehmen will.



Abbildung 11: Überschuss absägen

Foto entfernt (Person)

Abbildung 12: Stehbeine anschrauben

Als die Kiste, nach einer gefühlten Ewigkeit, endlich zusammengesetzt war, habe ich die verschiedenen Komponenten an die designierten Stellen geschraubt und genagelt. Der Generator hat seinen Platz vorne bei dem Loch, alle Kabel und kleinen Komponenten habe ich im Inneren der Kiste versorgt und die Ausgänge am Wechselrichter wurden so platziert, dass man sie von hinten an der Box bedienen kann.

Zu guter Letzt wollte ich der Kiste auch noch ein ansprechendes Design geben. Da die Box Strom produzieren soll und ich Strom mit einem Blitz symbolisiere, habe ich mich dazu

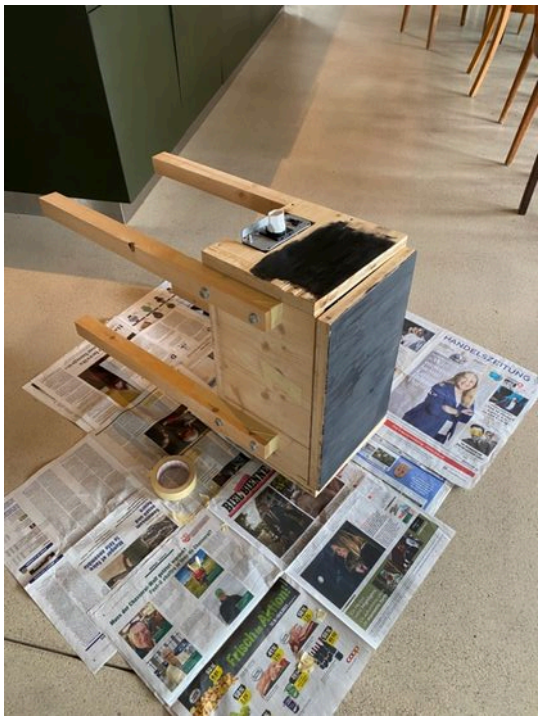


Abbildung 13: Bemalen der Kiste in der Küche



Abbildung 14: Endlich die fertige Kiste!

entschieden, auf jede Seite einen gelben Blitz zu malen. Da man die Farbe Gelb auf dem hellen Holz jedoch sehr schlecht sieht, musste zuerst einen Kontrast her. Die Blitze wurden mit Bleistift gezeichnet, das Innere vom Blitz mit Malerklebeband abgeklebt und dann rundherum alles schwarz bemalt. Gebraucht habe ich dafür alte Acryl Farbe, welche wir zuhause hatten. Als das Schwarz getrocknet war und ich das Klebeband entfernt hatte, war ich so begeistert von den hell hervorstechenden Blitzen, dass ich mich dazu entschieden habe, sie nicht noch Gelb zu bemalen. Die Kiste war fertig!

Testberichte

Testdurchlauf 07.07.2023

Für diesen Test habe ich zuerst die Schraubenmutter des Generators in das Verbindungsteil gesteckt und von Hand gehalten. Angeschlossen an den Generator war nur der Gleichrichter und der Leistungsanzeiger. Da ich nicht gleichzeitig alles halten und rudern konnte, habe ich meine Mutter gebeten auf dem Ergometer zu rudern, während ich das Material gehalten habe. Als das Schwungrad sich zu drehen begonnen hat, leuchtete das Display des Leistung-Anzeigers auf. Dies hat bedeutet, dass Strom produziert wird. Auf dem Display waren die Leistungsdaten angezeigt, Watt, Ampere, Volt und Ah. Die einzigen zwei Felder, die jedoch etwas angezeigt haben, waren das Volt Feld und das Ah Feld. Zuerst habe ich gedacht, dass ich etwas falsch angeschlossen habe. Doch schnell habe ich gemerkt; um eine Watt Angabe zu bekommen muss zuerst ein Verbraucher am Leistungsanzeiger angeschlossen werden. Aus diesem Grund habe ich den Wechselrichter angeschlossen, an welchem mein Handy eingesteckt war, und habe anschliessend nochmals getestet. Diesmal war auf der Anzeige eine Wattzahl zu erkennen, sie war klein, aber sie war da, schon einmal nicht schlecht! Was jedoch nicht funktionierte, wie es sollte, war der Wechselrichter. Anstelle einer einwandfreien Funktion hat er laute Töne von sich gegeben. Manchmal waren es drei hintereinander, manchmal vier. Nach dem Testdurchlauf habe ich in der Bedienungsanleitung nachgeschlagen, was diese Töne bedeuten könnten, und habe Folgendes gelesen: Drei Töne hintereinander bedeutet, dass die Mindestspannung nicht erreicht wurde und dass sich das Gerät ausschaltet. Vier Töne bedeutet, dass die Spannung zu gross ist und dass das Gerät sich ausschaltet. Als ich das gelesen habe, war ich verwirrt. Ich dachte, die Spannung des verwendeten Generators würde immer 24V betragen. Als ich mir das Video des Probedurchlaufes angeschaut habe, ist mir aufgefallen, dass je mehr Leistung man in den Ergometer steckt und somit die Drehzahl des Generators erhöht, desto mehr Volt zeigt es auf dem Display an. Dies hat bei mir einige Fragen aufgeworfen. Ist es möglich mit einem Schwungrad, welches sich nicht kontinuierlich bewegt, einen Wechselrichter zu betreiben, der immer eine gewisse Spannung braucht? Brauche ich zwischen dem Generator und dem Wechselrichter eventuell noch eine Batterie, auf der ich den Strom speichere?
Auch die Watt, die es mir auf dem Display angezeigt hat, waren noch nicht sehr vielversprechend. Meistens hat es 0 angezeigt und hin und wieder ist die Zahl auf etwa 5 gesprungen. Das sind noch nicht die 300W, die mir versprochen wurden. Auch hier habe ich

Fragen. Liegt es an den Lötstellen, die nicht gut genug sind? Haben die Kabel einen genug grossen Durchmesser? Produziert der Generator seine 300 Watt? Ist die Umdrehungszahl vom Schwungrad die richtige?

Analyse und Schlussfolgerung Test 07.07.2023

Nach dem Gespräch mit meinem Betreuer und ein paar weiteren Beobachtungen, bin ich auf folgenden Schluss gekommen: Das Problem des ersten Testdurchlaufes war sehr wahrscheinlich der zu geringe Stromverbrauch, was zur Folge hatte, dass mehr Elektronen in Bewegung gesetzt wurden, als tatsächlich auch vom Verbraucher (Handyladekabel am Wechselrichter) gebraucht wurden. Dies hat vermutlich einen "Elektronenstau" verursacht, den man an der zu hohen Volt Zahl erkennen konnte.
Der erste Lösungsansatz für das aufgetauchte Problem wäre, den gleichen Prozess noch einmal zu testen, aber diesmal mit einem grösseren Verbraucher. In meinem Beispiel werde ich einen Wasserkocher verwenden. Falls das nicht funktionieren sollte, werde ich versuchen, einen sogenannten Spannungsrichter einzubauen, der die zu hohe Spannung auf 24V reduziert. Schade wäre bei dieser Lösung der Leistungsverlust, welcher unvermeidbar wäre. Ein dritter Versuch, den ich noch machen könnte, wäre der Umweg über eine Batterie. Anstelle des direkten Anschlusses des Wechselrichters, der immer die präzise Spannung braucht, würde ich eine Batterie anschliessen. Diese Batterie würde vom Generator aufgeladen und würde an den Wechselrichter gesteckt werden, sobald ich Strom brauche.

Testdurchlauf 15.07.2023

Nach dem Gespräch mit meinem Betreuer habe ich mich dazu entschieden, nochmals einen Testdurchlauf zu machen in der genau gleichen Art und Weise, wie der Erste. Das Einzige, was ich ändere, ist, dass ich anstelle eines Handyladekabels einen Wasserkocher an den Gleichrichter anschliesse. Da der Wasserkocher einen viel höheren Strombedarf hat, sollte dies zur Folge haben, dass er den produzierten Strom aufbraucht und so kein "Elektronenstau" mehr verursacht wird.

Der Test war auf der einen Seite erfolgreich, hat aber auch wieder Negatives hervorgebracht. Das Positive war, dass der Wechselrichter keine Töne mehr von sich gegeben hat und, dass die Volt auf der Anzeige jetzt auch regelmässig waren. Negativ war die Leistung. Der

Leistungsanzeiger hat während des ganzen Testes konstant etwa 5 Watt angezeigt. Der Generator sollte aber in etwa 300W produzieren, solange ich voll rudere.

Analyse und Schlussfolgerung Test 15.07.2023

Zum einen war froh, dass ich das Problem um den Wechselrichter für den Moment lösen konnte. Jedoch gilt es jetzt herauszufinden, wo die Leistung, die der Generator produziert, verloren geht. Ich habe im Moment zwei Vermutungen; entweder könnte der Leistungsverlust an einer nicht gut gelöteten Lötstelle liegen, oder aber, er könnte daran liegen, dass das Verbindungstück nicht gut am Schwingrad hält und einfach durchdreht. Um herauszufinden, was Sache ist, 3D-drucke ich mir ein neues Verbindungsstück, welches eine Einkerbung hat. So kann es nicht mehr durchdrehen. Danach werde ich versuchen, fünf Minuten auf dem Ergometer zu rudern und zu schauen, ob die Lötstellen warm werden. Warme Lötstellen weisen auf grossen Energieverlust hin. Falls sich weder das eine noch das andere zeigt, muss ich weiter nach dem Problem suchen.

Testdurchlauf 29.08.2023

Das neue 3D Verbindungsstück beinhaltet zwei Veränderungen im Druck. Der Radius der runden Seite wurde um einen halben Millimeter verkürzt und es wurde auch noch eine Einkerbung hinzugefügt. Auf der Abbildung 15 ist dies gut zu sehen.

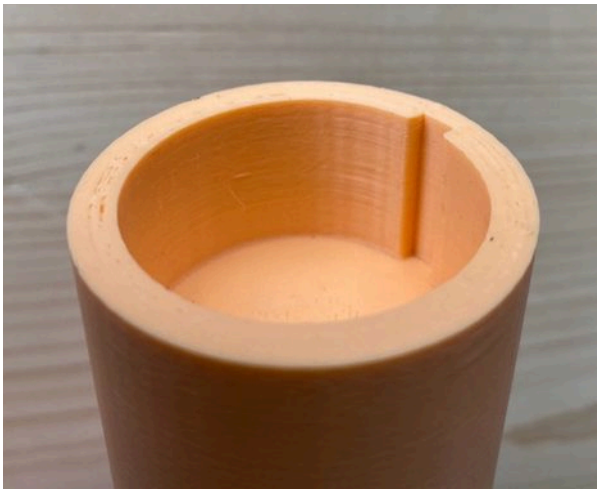


Abbildung 15: Einkerbung bei Modell 2

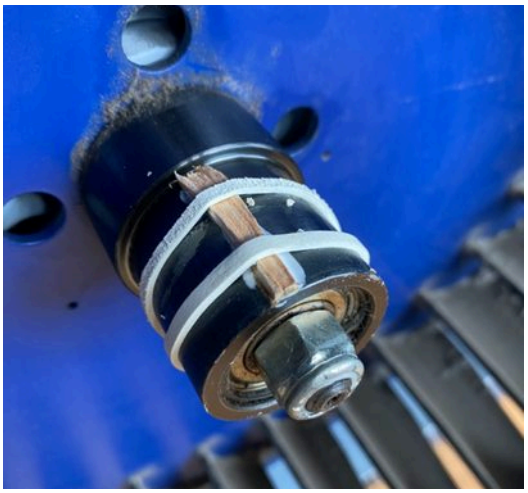


Abbildung 16: Gegenstück von Modell 2

Die Einkerbung dient dazu, dass ich mit einem Gegenstück (Abbildung 16) einen fixen Halt am Schwungrad kreieren kann. Somit kann ich sicher sein, dass die Umdrehungen des Schwungrades alle auf den Generator übertragen werden.

Für diesen Testdurchlauf hatte ich zwei Ziele. Das eine Ziel war es herauszufinden, ob die Lötstellen heiss werden (Energieverlust aufgrund schlechten Lötens), und das andere Ziel war es, das Verbindungsstück zu testen. Für diesen Zweck habe ich wieder den Wasserkocher angeschlossen, um sicher zu sein, dass der produzierte Strom verbraucht wird.

Als ich zu rudern begonnen habe, hat sich schnell herausgestellt, dass die Veränderung der Verbindung zwischen Schwungrad und Generator trotz der Einkerbung keine Resultatverbesserung gebracht hat. Das Holzstück, welches ich als Gegenstück benutzt habe, hat dem Druck nicht standgehalten.
Zum Glück hatte ich noch einen anderen Lösungsansatz. Ich habe zwei Löcher in das Verbindungsstück gebohrt und es anschliessend mit Kabelbindern an das Schwungrad gefesselt (Abbildung 17).

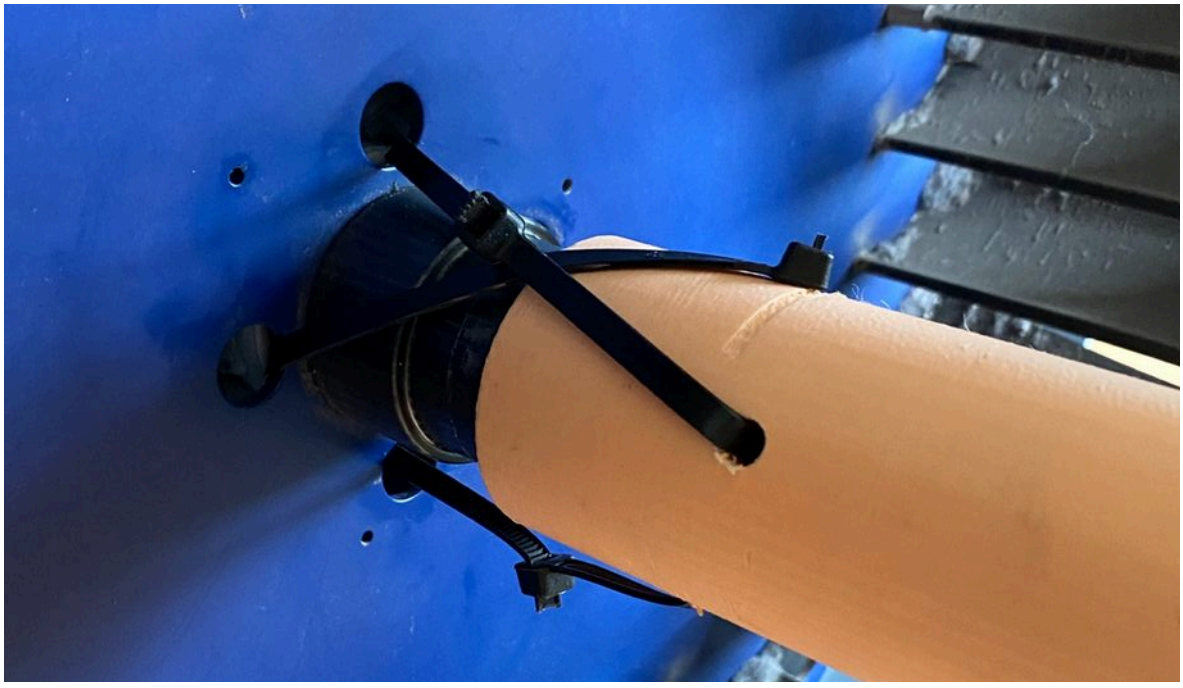


Abbildung 17: Befestigung durch Kabelbinder

Dieses Mal hat es sehr gut gehalten. Es hat weniger Geräusche gemacht und die Stabilität war auch sichtlich besser. Nun war die Aufgabe, etwa 5 Minuten zu rudern und anschliessend

die Lötstellen nach Hitze zu prüfen. Nach 5 anstrengenden Minuten hielt ich meine Hände an die Lötstellen und musste feststellen, dass sie kalt waren. Dies bedeutet, dass ich bei den Lötstellen keinen Stromverlust zu vermelden habe.

Analyse und Schlussfolgerung Test 29.08.2023

Bei diesem Test hat alles reibungslos funktioniert. Nun gilt es die Funktionalität des ganzen Konstruktes zu prüfen.

Testdurchlauf 04.09.2023

Da der Materialtest vom 29.08.2023 sehr gut gelaufen ist, wollte ich nun noch einmal kontrollieren, ob die Maschine nun auch Strom liefert. Wie bei den vorgängigen Testdurchläufen schloss ich den Wasserkocher an, schaltete den Wechselrichter an, beauftragte meine Schwester, die Leistungsanzeige zu filmen und ruderte los. Nach 2 Minuten rudern habe ich mir das Video angeschaut.

Analyse und Schlussfolgerung Test 04.09.2023

Schon nach wenigen Sekunden der Videoanalyse konnte ich feststellen, dass etwas immer noch nicht stimmte, die Volt waren jetzt zwar immer noch konstant bei etwa 14, die Wattzahl jedoch bliebt immer bei 0 mit eins oder zwei Ausnahmen, bei denen sie auf maximal 3 anstieg. Da ich vor diesem Test fast alles optimiert habe, war dies ein Rückschlag in meiner Arbeit. Die Verbindung Schwungrad – Generator war nahezu makellos geregelt, von dem Generator bis zur Leistungsanzeige war alles mit Schrauben und Lötzinn geregelt, ich wusste nicht mehr, was ich noch verbessern könnte. Die einzige Schwachstelle an dem System könnte eventuell noch die Verbindung Leistungsanzeige – Wechselrichter sein. Diese wurde bis dahin mit zwei Klammern geregelt. Um diese Schwachstelle ausschliessen zu können, habe ich mich dazu entschieden, diese Verbindung zu löten und danach den Test nochmals durchzuführen.

Testdurchlauf 15.09.2023

Heute war das Löten an der Reihe. Als Erstes habe ich, wie auf der Abbildung 18 zu sehen ist, die Klammern vom Wechselrichter abgeknipst, damit ich die anderen zwei Kabel an deren Stelle anlöten konnte.

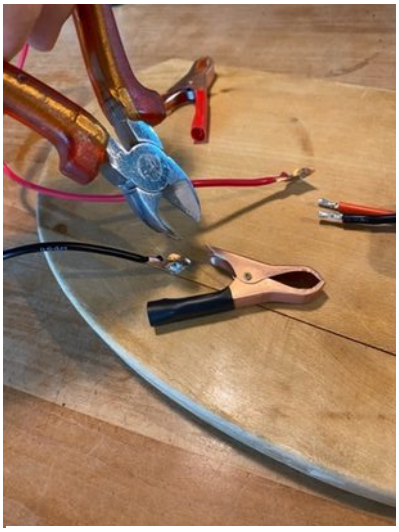


Abbildung 18: Abknipsen von Klammern



Abbildung 19: Fertig gelötet!

Als die Klammern weg waren, musste ich nur noch die zwei Kabel mit dem Lötkolben erhitzen, Lötzinn dazwischen verfliessen lassen und warten, damit die Lötstellen abkühlen konnten.

Nun war es an der Zeit, nochmals auszuprobieren. Wie gewohnt, wurde wieder der Wasserkocher als Verbraucher benutzt, und der Wechselrichter eingeschaltet. Zusätzlich habe ich noch mein Handy auf das Gehäuse gestellt, um zu filmen, was auf dem Display passiert. Als alles bereit war, habe ich mich auf das «Metallpferd» (Ergometer) gesetzt und habe losgerudert. Sofort meldete sich ein Geräusch, welches ich schon lange nicht mehr gehört hatte; das Pieps-Geräusch vom Wechselrichter war wieder da. Auf dem Video war auch nichts Besseres zu sehen, die höchste Wattzahl war eine glatte 10. Für diejenigen, die sich dieses Video ansehen wollen, habe ich es auf Vimeo veröffentlicht. Der link befindet sich in der Fussnote[2] (oder QR-Code einscannen).

[2] https://vimeo.com/868318485?share=copy

Analyse und Schlussfolgerung Test 15.09.2023

Hier angelangt, wusste ich nun wirklich nicht mehr, was zu machen war. Ich bin meine Konstruktionsschritte mehrmals durchgegangen, habe jede Stelle, bei der ich noch Verbesserungspotenzial gesehen habe, verbessert und die verschiedenen Optionen ausgiebig getestet. Da nun auch die Zeit am Davonlaufen, aber auch mein Budget so gut wie aufgebraucht war, blieb mir nach diesem letzten Versuch nichts anderes übrig, als dieses Projekt an dieser Stelle stehen zu lassen. Ich müsste jetzt ein Elektroexperte die Installation überprüfen lassen, was kurzfristig nicht möglich ist. Es würde mich jedoch sehr reizen, mit meinem gesammelten Wissen in Zukunft, doch noch ein funktionierendes Modell zu entwickeln.

Resultat

Was habe ich erreicht?

Die Installation, welche ich gebaut habe, hat folgende Resultate vorgewiesen: Sie konnte beim besten Test etwa 5W Dauerleistung erbringen und hat das angeschlossene, elektrische Gerät immer wieder mit einer ganz kleinen Menge Strom versorgt.
Obwohl das finale Konstrukt nicht die Leistung erbringen kann, die ich mir gewünscht hätte, ist es trotzdem auf irgendeine Art eine Errungenschaft. Ich konnte aus einer Idee heraus eine kleine Maschine zusammenstellen, welche mir hinten Strom ausgibt, gut aussieht und mir viel beigebracht hat. Damit man sich besser vorstellen kann, wie die fertige Installation aussieht, habe ich mich gefilmt und das Video auf Vimeo veröffentlicht[3].

Würde der Strom für den Seeclub Biel ausreichen?

Damit meine Maturarbeit auch etwas aussagen kann, wollte ich noch herausfinden wie viel der Strom, welcher ich mit einer voll funktionierenden Arbeit hätte produzieren können, auch wirklich wert wäre. Als zu beliefernde Infrastruktur, habe ich das Gebäude genommen, in dem ich tagtäglich trainiere und wo auch viele Ergometer untergebracht sind, welche man potenziell mit meiner Technik ausstatten könnte. Ich wollte wissen, wie viel Strom der Seeclub Biel in einem Jahr verbraucht und anschliessend ausrechnen, wie viel man durch die Ergometer im Club produzieren könnte.

[3] https://vimeo.com/868324762?share=copy

Im ersten Schritt habe ich mich bei den Vorgesetzten vom Club gemeldet und meine Vorhaben erklärt. Diese wiederum haben mir gesagt, dass es im Seeclub noch einen alten Drehstromzähler hat und dass ich mir diesen gerne mal anschauen gehen kann. Gesagt, getan. Am nächsten Tag habe ich den Drehstromzähler inspiziert. So sieht dieser aus:



Abbildung 20: Drehstromzähler Seeclub Biel

Viel herausfinden konnte ich so leider nicht. Das Gerät war geschlossen und ich hatte die Kenntnisse nicht, um es zu öffnen und genau anzuschauen. Da mir dieser Zähler nicht sehr geholfen hat, habe ich mich für eine andere Option entschieden. Ich habe die Geschäftsstelle des Clubs nach den Stromrechnungen vom letzten Jahr gefragt. Diese habe ich sofort bekommen. In dem Jahr 2022 hat der Seeclub Biel 8461 kWh verbraucht.

Nun konnte ich berechnen wie viel von diesem Strom man mit meiner Projektidee kompensieren könnte:
Man muss für die Berechnungen die Sportler, welche Ergometer fahren, in zwei Gruppen teilen. In der einen Gruppe sind die Regattierenden, welche sehr regelmässig trainieren und eine bessere Leistung vorweisen. In der anderen Gruppe sind die Breitensportler, welche hin und wieder mal eine halbe Stunde auf dem Ergometer Rudern.

10 Regattierende:
Wintermonate – 3x pro Woche 90min etwa 200W = 3 x 26 Wochen x 1,5h x 200W
Sommermonate – 1x pro Woche 90min etwa 200W = 26 Wochen x 1,5h x 200W

20 Breitensportler:
Wintermonate – 2x pro Woche 45min etwa 130W = 2 x 26 Wochen x 0,75h x 130W
Im Sommer sind die Breitensportler meistens auf dem Wasser und brauchen die Ergometer nicht.

Wenn man dies nun ausrechnet:
234’000Wh + 78’000Wh + 101’400Wh = 413,4 kWh

Die 413,4 kWh entsprechen etwa 1/20 des Stromverbrauches des Seeclubs. Um die 8461kWh zu erreichen, welche der Seeclub im Jahr etwa braucht, müssten alle acht Ergometer im Seeclub 14,5 Stunden am Tag, 365 Tage im Jahr bedient werden. Obendrauf kommt noch, dass diese Berechnungen von einem Wirkungsgrad von 100% ausgehen, welche aufgrund von Energieverlust gar nicht möglich ist. Laut Paschotta (Paschotta, 2010) haben die allerbesten Generatoren heutzutage einen Wirkungsgrad von 98-99% und somit einen Energieverlust von 1-2%.

Da der Preis vom Strom momentan bei etwa 32 Rappen pro kWh (Adam, 2023) liegt und man realistischerweise etwa 413 kWh produzieren könnte, würde man 132,16 Franken sparen. Da jedoch das Material einer solchen Anlage um die 399 Franken kostet und man für alle 8 Ergometer eine Anlage bräuchte, wären die Ausgaben bei 3'192 Franken. Man müsste also bei den heutigen Strompreisen die Anlage etwa 24 Jahre lang in Betrieb nehmen, bis man die Investitionskosten decken kann. Es ist jedoch klar, dass diese Anlagen vorher ersetzt werden müssten, nur schon wegen der technologischen Entwicklung. Die entsprechende Investition lohnt sich somit nicht.
Da die Frage, ob es für den Seeclub reichen würde, eine klare negative Antwort aufweist, wollte ich noch einen anderen Vergleich ziehen. Ich habe Geräte gesucht, welche man, mit der Menge an Strom, die ein Ergometer produzieren könnte, am Laufen halten könnte. Da ein Kühlschrank oder eine Kühltruhe um die 200W verbraucht, könnte man sie knapp

betreiben. Eine andere Option wäre ein PC oder ein Fernseher. Trainieren und gleichzeitig die Lieblingsserie schauen, würde also ohne Problem gehen.

Reflexion

Wieso lief meine Installation, und somit mein Projekt nicht wie erwartet?

Ich nehme nicht an, dass es nur einen Grund für das Verfehlen des gesetzten Zieles gibt. Es haben mehrere Faktoren eine Rolle gespielt. Zum einen habe ich vielleicht nicht die richtigen Komponenten ausgewählt; auch ist es schwierig, mit einem Budget von 400.- ein qualitativ hochstehendes Endprodukt zu entwickeln. Eine andere Ursache könnte aber auch einfach fehlendes Fachwissen sein. Möglicherweise hätte ich mit mehr Wissen auch besser herausgefunden, wo die verschiedenen Probleme liegen und wie Lösungen aussehen könnten.

Was würde ich beim nächsten Mal anders machen?

Es gibt verschiedene Etappen in meiner Arbeit, welche ich das nächste Mal anders angehen würde. Beginnen wir ganz am Anfang. Bei der Wahl der Komponenten hätte ich mir im Nachhinein mehr Zeit einplanen müssen und alles besser hinterfragen. Da die verschiedenen Komponenten eine Hauptrolle für die Funktion des Endproduktes spielen, wäre es sicher hilfreich gewesen, in diesem Schritt noch eine Expertenmeinung von einem Elektriker, oder jemandem, der etwas in dieser Art schon einmal umgesetzt hat, zu holen. Dies hätte mir dann die Sicherheit gegeben, dass ich das Richtige gekauft habe. So wie ich die Komponenten bei dieser Arbeit ausgesucht habe, war ich immer ein bisschen ahnungslos, ob sie wirklich die Richtigen sind, und für meine Zwecke funktionieren würden.
Etwas anderes, was ich an der Arbeitsweise noch anpassen würde, ist die Zielsetzung. Während der ganzen Versuche war ich mir nicht sicher, was ich schlussendlich erreichen will. Will ich mein Handy laden? Will ich den Strom in das Stromnetz einspeisen? Will ich etwas in Echtzeit betreiben?
Ein klares Ziel hätte mir sicher auch bei der Zielstrebigkeit geholfen.

Protokoll der praktischen Arbeit

25.02.2023 – Abholen Ruder-Ergometer

21.04 – Gespräch mit Erfinder in Zürich

25.04 – Materialliste zusammenstellen

02.05 – Gespräch mit dem Betreuer für Rückmeldung der Material Liste

05.06 – Bestellung von Generator, Leistungsanzeige und Wechselrichter

13.06 – Gespräch mit dem Betreuer über das 3D Drucken

15.06 – Teile provisorisch zusammengesteckt, um auf Funktion zu überprüfen

26.06 – Erhalt Verbindungsstück

06.07 – Kauf von Kabelschuhen für Ausgangskabel des Generators und Leistungsanzeiger

07.07 – Erster provisorischer Zusammenbau und erster Test

10.07 – Kaufen Material für Gehäuse

12.07 – Gespräch mit dem Betreuer nach erstem Test

13/14.07 – Bau des Gehäuses

15.07 – Testdurchlauf Nummer zwei

24.08 – Gespräch mit dem Betreuer über ersten Teil der Arbeit

28.08 – Erhalt von 2. Verbindungsstück

29.08 – Testdurchlauf Nummer drei

03.09 – Anfrage der Stromrechnung bei Seeclub Biel

04.09 - Testdurchlauf Nummer vier

07.09 – Inspektion des Stromzählers im Seeclub

15.09 – Löten der letzten Kabel

15.09 - Testdurchlauf Nummer fünf

Abbildungsverzeichnis

Die Abbildungen, welche ich für diese Arbeit gebraucht habe, habe ich alle selbst fotografiert und das Schema selbst gezeichnet.

Abbildung 1: Schema der Installation 8
Abbildung 2: Bild der Installation 9
Abbildung 3: Ruder-Ergometer im Seeclub Biel 13
Abbildung 4: Bild von Modell 1 15
Abbildung 5: CAD Zeichnung von Modell 1 15
Abbildung 6: Bild von Modell 2 16
Abbildung 7: CAD Zeichnung von Modell 2 16
Abbildung 8: Rutschproblematik bei Modell 1 18
Abbildung 9: Halbfertige Kiste 19
Abbildung 10: Löcher bohren 19
Abbildung 11: Überschuss absägen 20
Abbildung 12: Stehbeine anschrauben 20
Abbildung 13: Bemalen der Kiste in der Küche 21
Abbildung 14: Endlich die fertige Kiste! 21
Abbildung 15: Einkerbung bei Modell 2 24
Abbildung 16: Gegenstück von Modell 2 24
Abbildung 17: Befestigung durch Kabelbinder 25
Abbildung 18: Abknipsen von Klammern 27
Abbildung 19: Fertig gelötet! 27
Abbildung 20: Drehstromzähler Seeclub Biel 31

Literaturverzeichnis

Adam, A. (5. September 2023). *Weiter steigende Strompreise 2024: Der Bundesrat*. Abgerufen am September 2023 von Der Bundesrat-Website: https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-97619.html#:~:text=Ein%20typischer%20Haushalt%20mit%20einem,Franken%20(%2B%20222%20Fr.)

Dudhia, A. (2001). *The Physics of Ergometers: Physics of Rowing*. Abgerufen am März 2023 von Physics of Rowing-Website: http://eodg.atm.ox.ac.uk/user/dudhia/rowing/physics/ergometer.html

Fischer Future Heat. (18. Dezember 2018). *Der Generator: Fischer Future Heat*. Abgerufen am April 2023 von Fischer Future Heat-Website: https://www.fischerfutureheat.de/generator/#:~:text=An%20den%20Spulen%20befinden%20sich,erzeugt%3A%20Es%20wird%20Wechselstrom%20erzeugt.

Paschotta, D. R. (26. April 2010). *Generator: RP-Energie-Lexikon*. Abgerufen am August 2023 von RP-Energie-Lexikon-Website: https://www.energie-lexikon.info/generator.html#:~:text=Energieverluste%20entstehen%20in%20einem%20Generator,bei%20größeren%20Generatoren%20durch%20den

Redlichkeitserklärung

Name, Vorname: Schoch Mario

Klasse: 24n

Schule: Gymnasium Biel-Seeland

Titel der Arbeit: Von Muskelkraft zu Strom - Der Umbau eines Ruder-Ergometers zur Stromgewinnung

Betreuungsperson:

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Maturarbeit eigenständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe erstellt habe und dass alle Quellen, Hilfsmittel und Internetseiten wahrheitsgetreu verwendet wurden und belegt sind.

Ort / Datum: Unterschrift: