



Mit der selbst entwickelten Planung und der Konstruktion eines E-Bikes die Mobilität für kleinwüchsige Kinder verbessern

HOTTINGEN WIRTSCHAFTSGYMNASIUM MATURITÄTSARBEIT: LUANA ABPLANALP/ G4b

EINGEREICHT AM 13.12.2021 | BETREUT DURCH RITA STIERLI



Danksagung

Ich möchte mich ganz herzlich bei allen bedanken, die mich bei meiner Maturitätsarbeit unterstützt haben. Die Bearbeitung des komplexen Themas und die praktische Arbeit stellten mich vor einige Herausforderungen. Nur dank des Fachwissens von Personen aus dem mechanischen Bereich und der Übernahme der Material- und Konstruktionskosten von Drittpersonen war es mir möglich, mich mit der Planung und der Konstruktion eines E-Bikes für kleinwüchsige Kinder fundiert auseinanderzusetzen.

Mein besonderer Dank geht an Wim Kolb, der mit mir sein breites Fachwissen über den Rahmenbau sowie über die Technik eines Fahrrades teilte. Aufgrund seiner wertvollen Tipps, Mitarbeit sowie der Mitbenutzung von seinen Werkzeugen und seiner Werkstatt konnte ich meine Idee umsetzen.

Ich möchte mich ebenfalls ganz herzlich bei meiner Betreuerin, Frau Rita Stierli, für Ihre klare Anleitung, Ihre Unterstützung während des gesamten Arbeitsprozesses und der guten Zusammenarbeit bedanken.

Abschliessend möchte ich auch meinen Eltern einen Dank aussprechen. Insbesondere meinem Vater, Hans Abplanalp, welcher mir jederzeit beratend zur Seite stand und mich vor allem im elektrischen Bereich unterstützte.

Abstract

Diese Arbeit befasst sich mit dem Bau eines Fahrrades für kleinwüchsige Kinder. Als Grundlage hierfür dient das Fachwissen eines Velokonstruktors mit jahrelanger Erfahrung.

Als Erstes werden die Finanzierung und bestimmte Zulassungsabklärungen eines solchen umfassenden Projektes beleuchtet. Im darauf folgenden Teil wird spezifisch untersucht, welche Bauteile im Vergleich zu einem standardisierten Fahrrad abgeändert werden müssen, damit es einwandfrei auf den Körperbau meines kleinwüchsigen Cousins Timeo passt und wie dies zu dem einzigartigen Design führt. Anschliessend wird mittels des Bauprozesses erklärt, wie die Ideen umgesetzt wurden. Zum Schluss wird ausgewertet, ob der Fahrradbau funktioniert und wie geeignet es für seinen Einsatz ist.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Kleinwuchs	2
2.1	Definition.....	2
2.2	Arten.....	2
3	Vorbereitung	3
3.1	Finanzierung.....	3
3.2	Invalidenversicherung.....	3
3.3	Zulassungsabklärung zum Führen eines Motorfahrzeugs unter 14 Jahren	3
3.4	Zulassung und Betrieb von Motorfahrrädern	4
4	Design versus Komponenten	5
4.1	Fahrradrahmen.....	6
4.2	Tretlagergehäuse, Tretkurbeln und Sattel	7
4.3	Vorbau und Lenker	8
4.4	Bremsen	8
4.5	Akkumulator.....	8
4.6	Design	9
5	Praktische Umsetzung	10
5.1	Material.....	10
5.2	Schweissarten	10
5.3	Steuerrohr und Unterrohr	11
5.4	Kettenstreben	13
5.5	Sitzrohr	14
5.6	Vorbau	14
5.7	Gehäuse für den Akkumulator und Controller	14
5.8	Pulverbeschichtung	16
5.9	Endgültige Zusammensetzung	16
5.10	Verkabelung.....	17
6	Fazit	18
	Literaturverzeichnis	20
	Abbildungsverzeichnis	22
	Abkürzungsverzeichnis	23
	Anhang	IV

1 Einleitung

Vor neun Jahren kam mein Cousin Timeo kleinwüchsig zur Welt. Durch ihn ist mir bewusst geworden, mit wie vielen Einschränkungen Kleinwüchsige im Alltag und besonders in sportlichen Aktivitäten zu kämpfen haben. So stiess auch mein sportbegeisterter Cousin besonders beim Fahrradfahren auf grosse Schwierigkeiten. Damit er trotz seiner körperlichen Einschränkung das Fahrradfahren und die dadurch verbundene Selbständigkeit geniessen kann, braucht Timeo ein auf seine Bedürfnisse angepasstes Fahrrad.

Bis heute werden jedoch keine Fahrräder für kleinwüchsige Kinder auf dem handelsüblichen Markt angeboten. Das liegt wahrscheinlich an der geringen Absatzmöglichkeit, denn nur ein kleiner Prozentsatz der Schweizer Bevölkerung ist kleinwüchsig und die Fahrräder müssen zudem auf deren individuellen Körperbau angepasst werden. Nur mit grossem Aufwand findet man eine Fahrradwerkstatt, die solche Spezialanfertigungen anbietet. Deshalb weisen diese Einzelanfertigungen auch einen gerechtfertigten, aber relativ hohen Preis auf.

Wie viele andere Kleinwüchsige, sucht auch Timeos Familie nach einem solchen Velo. Da sie bis jetzt noch keines für ihn ausfindig machen konnte, ist das Ziel der bevorstehenden Arbeit, ein geeignetes Fahrrad für meinen Cousin selber zu planen und zu konstruieren. Dies erfordert neue Ideen und Anpassungen, denn im Internet findet man kaum Inspirationen, wie ein Fahrrad für kleinwüchsige Kinder gebaut werden soll oder was im Vergleich zu herkömmlichen Fahrrädern verändert werden muss. Daraus stellt sich die folgende Leitfrage: Wie baut man ein Fahrrad für kleinwüchsige Kinder?

Nachdem ich mich in das Thema Fahrradbau eingeleesen hatte, wurde mir schnell bewusst, dass eine professionelle Hilfe von Vorteil wäre, da man zum Bau vertieftes Wissen und spezielle Werkzeuge benötigt. Nach einigen Anfragen bei verschiedenen Velowerkstätten bekam ich eine positive Rückmeldung von Wim Kolb aus Zürich, der sofort bereit war, mich bei der Umsetzung dieses Projektes zu unterstützen.

Zudem beobachtete ich Timeo auf seinem bisherigen Kleinkindervelo und stellte fest, dass er zu wenig Kraft besitzt, um eine Fahrgeschwindigkeit, die seinem Alter entspricht, zu erreichen. Jedoch ist es sein grosser Wunsch, mindestens gleichschnell wie seine Freunde fahren zu können. Um dieses Bedürfnis zu erfüllen, muss das Velo elektrisch unterstützt werden. Deshalb habe ich diesen Gedanken weiterverfolgt und in mein Projekt miteinbezogen.

In meiner gesamten Arbeit beziehe ich mich hauptsächlich auf das Fachwissen von Wim Kolb, einem Spezialisten im Bauen von Velorahmen, sowie eigene Überlegungen.

2 Kleinwuchs

2.1 Definition

Eine Person gilt als kleinwüchsig, wenn ihre Körpergrösse unterhalb der dritten Perzentile bleibt, das heisst sie ist kleiner als 97 Prozent der Altersgenossen. Hierzulande liegt die Grenze zur Kleinwüchsigkeit für ausgewachsene Männer bei 1,50 Meter und für Frauen bei 1,40 Meter. Doch letztendlich sind diese Zahlen relativ, da sich die Durchschnittsgrösse je nach Bevölkerung unterscheidet (Grosser, 2016).

2.2 Arten

Kleinwuchs tritt in unzähligen verschiedenen Erscheinungsformen auf. Diese lassen sich in unterschiedliche Kategorien einteilen. So kann Kleinwuchs beispielsweise primär oder sekundär bedingt sein. Von einem primären Kleinwuchs spricht man, wenn er vererbt wurde. Oft hängt dieser mit einer Disproportion zusammen, das bedeutet, die Extremitäten sind im Vergleich zum Oberkörper zu kurz. Beruht ein Kleinwuchs hingegen auf der direkte oder indirekte Folge von schweren Erkrankungen, handelt es sich um eine sekundäre Form. Diese geht mehrheitlich mit einem proportionierten Kleinwuchs einher (Pfeizer für Mediziner, 2021).

Achondroplasie ist die meistverbreitete Form des Kleinwuchs, mit welcher auch Timeo diagnostiziert wurde. Bei ihr zeigt sich die Disproportion vor allem durch die kurzen Extremitäten, der lange Rumpf, der relativ grosse Kopf und eine eingesunkene Nasenwurzel auf. Diese Besonderheit wird durch eine Skelettdysplasie, also eine Entwicklungsstörung des Knorpel-Knochengewebes, hervorgerufen. Knorpelzellen von Personen, die nicht von dieser Krankheit betroffen sind, stellen während dem Wachstum an den Knochenenden der Armen und Beinen Knorpelsubstanz her, die daraufhin verknöchert und somit den Knochen wachsen lassen. Bei Kleinwüchsigen mit Achondroplasie teilen sich die Knorpelzellen zu langsam und zu wenig, so dass die Knochen kurz bleiben. Davon sind vor allem die Arme und Beine betroffen (Schwarz, 2021).

3 Vorbereitung

3.1 Finanzierung

Bevor ich mich endgültig für dieses umfangreiche Projekt entscheiden konnte, musste ich abklären, wie der gesamte Bau des Velos finanziert wird. Obwohl auf die Bezahlung meiner Arbeitszeit verzichtet wird, liegen die Kosten für das gesamte Velo im vierstelligen Bereich [siehe Anhang 2]. Denn neben der Materialbeschaffung, muss auch der Rahmenbaukurs bei Wim bezahlt werden. Dank der Bereitschaft meiner Tante und meines Onkels die Kosten zu übernehmen, war es für mich überhaupt möglich, diese Arbeit anzugehen.

3.2 Invalidenversicherung

Die Invalidenversicherung ist Teil des eidgenössischen Sozialversicherungsnetzes und unterstützt Menschen mit Behinderungen (Enable Me, 2014). Sie deckt die Kosten von versicherten Personen, welche im Alltag wegen einer gesundheitlichen Beeinträchtigung auf die Hilfe Dritter oder Hilfsmittel angewiesen sind. Diese Personen werden auch als hilflos definiert. Die Höhe der Leistung hängt dabei von der Wohnsituation und dem Grad der Hilflosigkeit der versicherten Person ab (AHV/IV, 2020).

Timeo ist bei der Invalidenversicherung versichert, wohnt in der Schweiz und gilt per Definition aufgrund seines Kleinwuchses als eine hilfsbedürftige Person. Das Fahrrad dient ihm als ein Hilfsmittel für die selbständige Fortbewegung. Somit sind alle Forderungen erfüllt und mein Cousin hat Anspruch auf zumindest eine Teilzahlung an den Kosten des Fahrrades. Einen Antrag zur Kostenbeteiligung kann durch die Eltern bei der Versicherung eingereicht werden.

3.3 Zulassungsabklärung zum Führen eines Motorfahrzeugs unter 14 Jahren

Laut Art. 6 VZV beträgt das grundsätzliche Mindestalter zum Führen von Motorfahrzeugen der Kategorie M, darunter gehören auch Motorfahräder, 14 Jahre. Gemäss Strassenverkehrsamt gibt es aber Ausnahmen: *«Aus zwingenden Gründen, namentlich bei Invaliden oder wenn die Verwendung eines andern Verkehrsmittels nach den örtlichen Verhältnissen ausgeschlossen oder nicht zumutbar ist, kann die kantonale Behörde den Führerausweis für Motorfahräder vor Erreichung des 14. Altersjahres mittels einer theoretischen Prüfung erteilen»* (Strassenverkehrsamt, 2021).

Timeo gilt hinsichtlich seines Kleinwuchses als Invalide und darf deswegen diese Sonderbewilligung beantragen. Dafür muss er ein Lernfahrgesuch für die Kategorie M mit einem zusätzlichen Verlaufsbericht eines Arztes beim Strassenverkehrsamt einreichen. Sobald dies

bewilligt wird, muss Timeo nur noch die Mofa Prüfung bestehen, um mit dem E-Bike auf Strassen fahren zu dürfen.

3.4 Zulassung und Betrieb von Motorfahrrädern

Da Timeo bereit ist, die theoretische Fahrprüfung zu absolvieren, beschloss ich nun endgültig, ein Fahrrad mit Motor zu bauen.

Elektrovelos sind je nach Leistung in zwei Kategorien unterteilt: Motorfahrräder und Leicht-Motorfahrräder. Unter einem Motorfahrrad versteht man ein Velo mit einem Elektromotor von höchstens 1000 Watt und einer Tretunterstützung bis maximal 45 km/h. Dagegen haben Leicht-Motorfahrräder eine Höchstmotorleistung von 500 Watt, was eine Tretunterstützung von maximal 25km/h zulässt (Bundesamt für Strassen ASTRA, 2021). Gemäss Anhang 1 Ziff. 1.2 TGV sind Leicht-Motorfahrräder von einer Typengenehmigung ausgenommen und brauchen kein Kontrollschild. Das bedeutet die Fahrräder dieser Kategorie müssen nicht von einer Prüfstelle begutachtet werden. Ein Prüfungsexperte der Dynamic Test Center AG in Basel hat mir diese gesetzlichen Grundlagen telefonisch bestätigt.

Aufgrund der Recherchen wurde mir klar, dass ein Leicht-Motorrad nicht nur wegen der optimalen Höchstgeschwindigkeit von 25 km/h für einen Neunjährigen, sondern auch wegen der nicht erforderlichen Typengenehmigung die richtige Wahl für mein Projekt ist.

4 Design versus Komponenten

Wie in der Einleitung erwähnt, ist mein Cousin bisher beim Fahrradfahren von gängigen Kindervedelos mit diversen Herausforderungen konfrontiert worden und hatte dabei keine Freude. Denn zum einen sehen die meisten Kinderfahrräder, welche der Grösse von kleinwüchsigen Kindern am ehesten entsprechen, nicht altersgerecht aus. Sie sind grösstenteils nur in knalligen Farben oder mit auffallenden, kindlichen Stickern zu finden. Zum anderen ist der Körperbau von Kleinwüchsigen anders als der von durchschnittlich grossgewachsenen Kindern, was das Fahrradfahren mit herkömmlichen Velos erschwert oder sogar verunmöglicht.

Aus diesen Gründen muss ein Fahrrad für eine Person mit einem disproportionalen Kleinwuchs den körperlichen Gegebenheiten angepasst werden. Damit ich mir ein Bild machen konnte, wie Timeos Proportionen sind, habe ich seinen Körper ausgemessen. Mit Hilfe der Erfassung von Timeos relevanten Körpermassen stellte ich fest, dass der Einstieg niedrig und das Verhältnis zwischen Sattel, Lenker und Pedalen angepasst werden sollten. Zudem muss der Handbremshebel näher beim Griff sein, sodass eine schnellere Bremsreaktion möglich ist. Die Räder können aufgrund der Geometrie des Fahrrades nicht merklich vergrössert werden, aber ein Motor könnte das Problem der verminderten Krafterzeugung und der einhergehender langsamen Geschwindigkeit abschwächen.

Nach diesen Überlegungen zu den Abänderungen und dem Entscheid, dass ich ein Velo mit elektrischer Unterstützung bauen werde, suchte ich nach einem Leicht-Motorfahrrad, welches ich umbauen kann. Denn von einem vorhandenen Elektrovelo kann ich alle elektronisch verbundenen Teile als Ganzes sowie andere Bestandteile des Rahmen übernehmen. Dies erspart mir mühsames Zusammensuchen einzelner Bauteile und garantiert mir die Übereinstimmung der Elemente. Es stellte sich heraus, dass sich der «Easy Scooter» vom TCS für mein geplantes Fahrrad am besten eignen würde. Er verfügt nicht nur über kleine Räder und gute Bremsen, sondern besitzt auch einen qualitativ hochwertigen Controller, der die elektrische sowie elektronische Steuerung für das gesamte Fahrrad übernimmt. Sein Lithium-Ionen-Akku hat zudem eine Reichweite von bis zu 60 Kilometer und die Maximalgeschwindigkeit beträgt wie erwünscht 25 km/h. Auch sein Radnabenmotor erschien mir für meine Arbeit am idealsten, da er im Hinterrad verbaut ist und so einen niedrigen Einstieg ermöglicht. Darüber hinaus ist er auf allen Strassen in der Schweiz zugelassen und war sofort erhältlich [siehe Anhang 3].

Nach dessen Beschaffung und Analyse wurde klar, dass viele Komponenten übernommen werden können, wie die Räder, die Bremsen, die Gabel, der Lenker und die elektrischen Teile. Da diese für die Designgestaltung vorgegeben waren, habe ich sie nach der Demontage für die weitere Planung vermessen.

Durch Literaturrecherchen und Erkundigungen bei Wim erarbeitete ich mir daraufhin Wissen, wie ein Fahrrad für durchschnittlich grossgewachsene Menschen gebaut wird. Im folgenden Abschnitt werden diese wesentlichen Informationen sowie die Veränderungen, welche ich für das Design meines Velos vorgenommen habe, beschrieben und erklärt. Für ein besseres Verständnis können alle genannten Fahrradteile zusätzlich im Anhang 1 nachgeschaut werden.

4.1 Fahrradrahmen

Die Form und Qualität des Fahrradrahmens bestimmen die Eigenschaften eines Velos sowie die Sicherheit des Fahrers. Es ist eine hohe Festigkeit und ein geringes Baugewicht erwünscht. Klassische Rohrrahmen sind in einer Fünfeckkonzeption, auch Diamantenrahmen genannt, zu finden [siehe Abb. 2]. Diese nehmen die beim Velofahren auftretenden Belastungen am besten auf. Dabei unterscheidet man zwischen statischer und dynamischer Belastung. Die statische Belastung entsteht durch das Eigengewicht des Fahrrades sowie des Fahrers im Stillstand. Die dynamische Belastung tritt hingegen bei Bewegung, das heisst im Fahrbetrieb, auf und ist meist grösser als die statische Belastung. Die durch die Belastungen im Rahmen entstehenden Kräfte können als Zug- und Druckkräfte wirken. Diese können anhand eines Dreiecks dargestellt werden, aus dem auch der klassische Fahrradrahmen besteht [siehe Abb. 3].

Angenommen die Punkte B und C sind unterstützt und auf die Spitze A wirkt die Kraft F . Aus der ursprünglichen Kraft haben sich zwei Teilkräfte F_1 und F_2 gebildet. Nun lastet die Druckkraft nicht mehr auf der Senkrechten M , sondern teilt sich in ihrer Richtung und Grösse auf und wird auf die Basis $B-C$ gerichtet. Gleichzeitig entsteht in der Basis eine Zugkraft, die verhindert, dass sich die Punkte B und C verschieben. (Winkler, F., & Rauch, S., 1991, S. 48 ff).

Wegen dieser Stabilität ist ein Dreieck die idealste Konstruktion eines Fahrradrahmens. Des Weiteren spielen auch die Dichte und Länge der Rohre eine grosse Rolle.

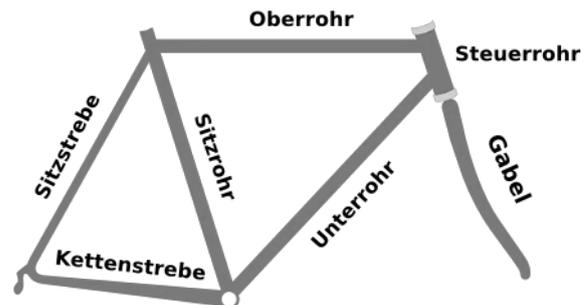


Abb. 2: Rahmenbezeichnung eines Diamantenrahmens (Fahrradmonteur-Bearbeiter, 2015)

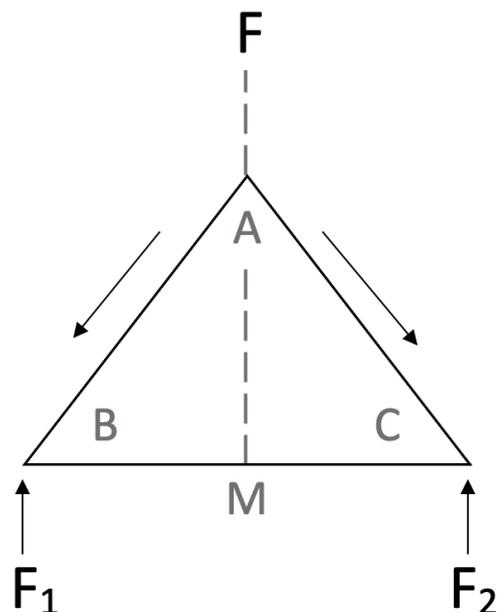


Abb. 3: Druck- und Zugkräfte in einem Dreieck (Winkler F, & Rauch S, 1991, S. 48)

Kleinwüchsige haben besonders Mühe mit dem Einstieg eines Fahrrades, weil sie nicht die Möglichkeit haben, ihre Beine über das hohe Oberrohr zu schwingen. Deshalb habe ich beschlossen, beim Rahmenbau auf das obere Rohr zu verzichten und nur mit einem Unterrohr zu arbeiten, welches zudem einen Knick hat. Obwohl diese Ausführung die Widerstandsfähigkeit von statischen und dynamischen Belastungen verringert und der Rahmen gemäss den gewonnenen Erkenntnissen nicht mehr ganz ideal ist, soll das Fahrrad aus folgenden Gründen trotzdem stabil bleiben. Zum einen sind die Rohre kürzer als bei normalen Velos, was die Hebelwirkung und Brechgefahr reduziert. Zum anderen übt Timeo mit seinen 21 Kilogramm nicht viel Kraft auf den Velorahmen aus. Darüber hinaus ist es möglich, bei diesem Velo mit kräftigeren und grösseren Rohren zu arbeiten, die zwar den Nachteil des höheren Gewichts mit sich bringen, aber wegen der Benützung des Motors kein grösseres Problem darstellen.

4.2 Tretlagergehäuse, Tretkurbeln und Sattel

Unter dem Tretlagergehäuse versteht man das Rohr, in welchem das Tretlager befestigt ist. Seitlich davon befinden sich die Tretkurbeln mit den Pedalen, welche die mechanische Arbeit des Fahrers auf das Velo übertragen. Mit einem Kniewinkel von 110° bei einer waagrechten Pedalstellung ist der mechanische Wirkungsgrad am höchsten und somit die Kraftübertragung am effektivsten. Dabei sollte das Kniegelenk über der Pedalachse liegen [siehe Abb. 4]. Auch die Höhe des Sattels ist von grosser Bedeutung, denn für eine optimale Sitzposition müssen die Beine vom Sattel bis zum tiefstem Punkt der Pedale gestreckt sein (Armin, 2021).



Abb. 4: Optimale Sitzposition bei einem Fahrrad (Canyon Fahrräder Radfahrer, 2021)

Während ich Timeo beim Fahren auf seinem bisherigen Kleinkinderfahrrad beobachtete, bemerkte ich, dass er einen engen Kniewinkel hatte. Das sah man an den stark angewinkelten Knien, was zu erhöhtem Druck, möglichen Knieschmerzen und vor allem verringerter Kraftübertragung führt. Folglich muss die Beinmuskulatur mehr arbeiten und ermüdet dadurch schneller. Um den optimalen Winkel von 110° zu bekommen, muss der Abstand zwischen den Tretkurbeln und dem Sattel vergrössert werden. Allerdings darf der Sattel nicht zu hoch sein, da Timeo sonst gar nicht auf das Fahrrad steigen und bei einem Halt sich nicht sicher abstützen kann. Um das Problem zu lösen, können auch keine längeren Tretkurbeln ausgewählt werden, da bei Schräglage des Fahrrades ein ausreichender Abstand zwischen Pedale und Boden bestehen muss. Zudem soll das Tretlagergehäuse, wegen dem Einstieg möglichst weit unten platziert sein. So bleibt nur die optimale Balance zwischen einem tiefen Tretlagergehäuse, kurzen Tretkurbeln und einem etwas höher eingestellten Sattel.

4.3 Vorbau und Lenker

Der Vorbau eines Fahrrades verbindet den Lenker mit der Gabel des Vorderrades und ist bei Velos für durchschnittlich grosse Erwachsene ungefähr zehn Zentimeter lang. Während ein längerer Vorbau den Fahrer mehr nach vorne greifen lässt, verursacht ein verkürzter Vorbau ein aufrechtes Sitzen. Bei letzterem wandert der Gesamtschwerpunkt des Fahrers weiter nach hinten, was wiederum ein schnelleres Lenkverhalten erlaubt (Staudt, 2019).

Für kleinwüchsige Kinder wird ein kurzer Vorbau bevorzugt. Im aufrechten Sitzen kann Timeo die Gefahren schneller erkennen und mit dem zentrierten Schwerpunkt sofort darauf reagieren.

4.4 Bremsen

Für ein sicheres Bremsen ist nebst einem guten Bremssystem auch der geeignete Handbremshebel bedeutsam. Dessen Abstand zum Lenker sollte so gross sein, dass der Bremshebel mit dem ersten Fingerglied umfasst werden kann. Nur so können die Bremsen mit minimalem Aufwand schnell betätigt werden und die gewünschte Sicherheit bieten (Armin, 2018).

Der Vorgang des Bremsens ist für die Sicherheit von Timeos aufgrund des motorisierten Fahrrades besonders wichtig. Weil seine Finger kurz sind, muss der Abstand zwischen dem Bremshebel und dem Lenker gegenüber den gängigen Modellen verringert werden. Obwohl es Bremsen für kurze Finger gibt, entschied ich mich, die Bremsen des E-Scooters zu übernehmen. Denn sie sind elektrisch mit dem Motor verbunden und erfüllen somit die Sicherheitsvorschriften, welche besagen, dass der Motor sofort ausschalten muss, sobald die Bremsen betätigt werden.

4.5 Akkumulator

Obwohl es viele verschiedene Akkumulatoren gibt, haben alle die gleiche grundlegende Funktion. Durch das Aufladen wird elektrische Energie in chemische Energie umgewandelt und gespeichert. Beim Entladen wandelt sich Letzteres dagegen wieder in elektrische Energie zurück (Burger, 2020).

Der vom E-Scooter übernommene Akku kann man wegen seiner länglichen Form und Dimension nicht in den Rahmen einbauen. Aus diesem Grund werde ich den Akku samt dem Controller in einem Gehäuse im hinteren Teil des Fahrrades anbringen. So ist der Akku und Controller sicher, trocken und gut zugänglich platziert.

4.6 Design

Bei der Planung wurde berücksichtigt, dass Timeo das Fahrrad auch später als ausgewachsener Mann weiterbenutzen kann. So ist die Sattelhöhe, welche Timeo aktuell braucht, die niedrigste Position. Wie der Sattel kann auch der Vorbau zukünftig um einige Zentimeter in die Höhe und somit dem Alter angepasst werden.

In Einbezug von diesen Überlegungen habe ich einen zeichnerischen Aufriss mit einem CAD Programm konstruiert. Mit diesem entstand schliesslich das finale Design meines E-Bikes [siehe Abb. 5], welches für die praktische Umsetzung im nächsten Kapitel entscheidend ist.

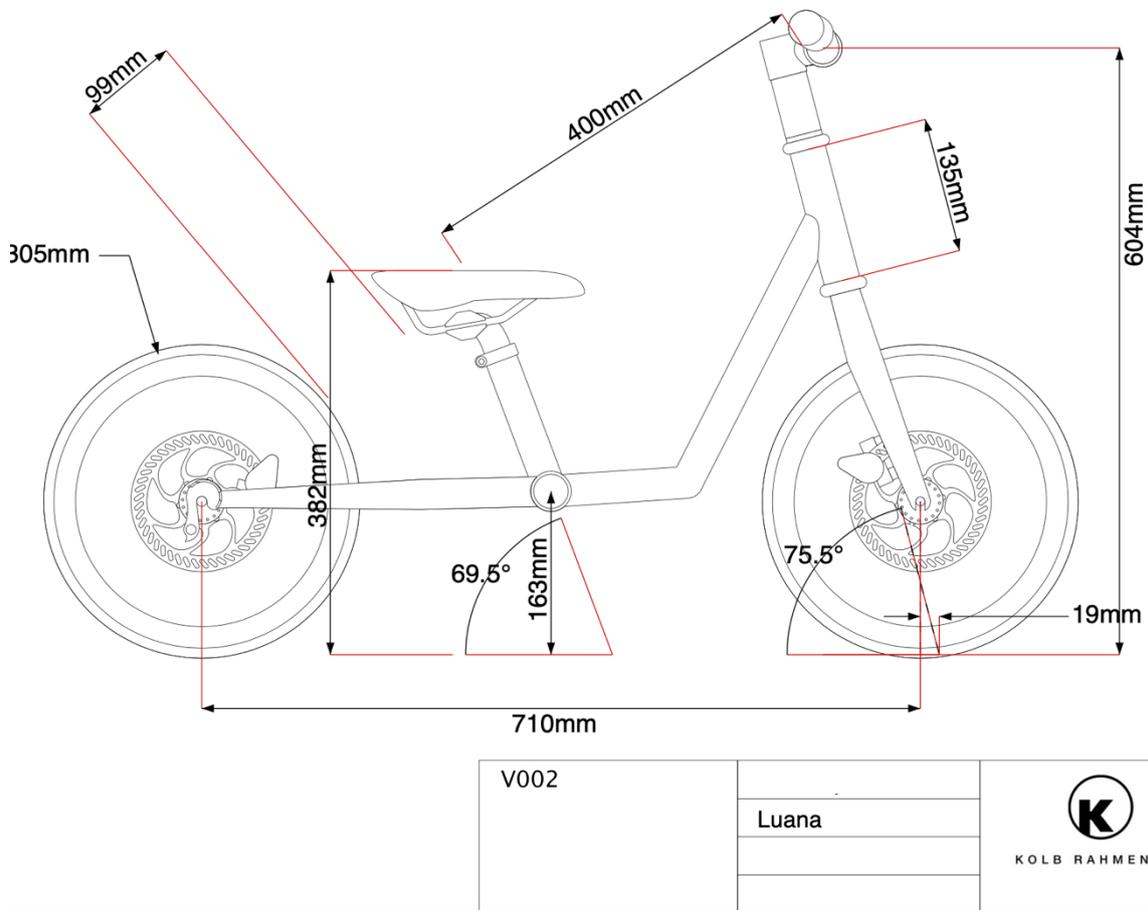


Abb. 5: Design des eigenen Fahrrades (Eigene Abbildung)

5 Praktische Umsetzung

Mit dem fertigen Plan konnte ich nun mit der Umsetzung des Fahrradbaus starten. Obwohl der Plan die Masse angibt, ist er nur zweidimensional und berücksichtigt deshalb nicht alle Details, wie zum Beispiel die Breite des Fahrrades. Das macht den Bau anspruchsvoll, da während der Umsetzung immer wieder Überlegungen zu den neu auftretenden Problemen gemacht werden müssen.

5.1 Material

Zu Beginn musste festgelegt werden, aus welchem Material der Fahrradrahmen bestehen soll. Oft sind Fahrräder aus Aluminium oder Stahl gebaut. Die Vorteile von Aluminium sind das geringe Gewicht, die absolute Rostfreiheit und die Langlebigkeit. Das Schweißverfahren von Aluminium ist aber sehr anspruchsvoll, weil es eine hohe Wärmeleitfähigkeit besitzt. Aufgrund dessen verformt sich das Metall während dem Schweißen schneller (Jochmann, 2019). Stahl hingegen hat eine sehr gute Verarbeitungsfähigkeit bei gleichzeitig geringen Materialkosten. Zudem verfügt Stahl über eine hohe Dichte und Festigkeit (SIBAC, 2021).

Für meine Rahmenbau habe ich mich aufgrund der höheren Stabilität für Stahl entschieden. Dessen Gewichtsnachteil gegenüber Aluminium ist bei meinem Projekt von zweitrangiger Bedeutung, weil das Fahrrad einen elektrischen Motor besitzt.

5.2 Schweissarten

Während des gesamten Bauprozesses habe ich vier verschiedene Schweissarten für Metall kennengelernt und angewendet. Darunter gehören das WIG-Schweißen von Stahl und Aluminium sowie das Hartlöten mit Messing und Silber.

Unmittelbar vor allen Schweiß- und Lötverfahren werden die Rohre durch Schleifen von sämtlichen Oberflächenverschmutzungen befreit, um eine Porenbildung in der Naht zu vermeiden. Damit auch beim späteren Erhitzen die Wärme aus den Rohren entweichen kann, habe ich mich geachtet, dass ein genügend grosser Luftzugang besteht. Falls dies nicht möglich war, habe ich an einer versteckten Stelle kleine Löcher in die Rohre gebohrt.

Für das WIG-Schweißen, auch Wolfram-Inertgas-Schweißen genannt, benötigt man eine nichtabschmelzende Elektrode aus Wolfram. Von dieser Elektrode geht ein Lichtbogen aus, der die zu schweisende Metalle erwärmt und verflüssigt. Daraus resultiert, dass die Schweißtemperatur mindestens so hoch sein muss, wie der Schmelzpunkt des verwendeten Metalls.

Bei Stahl bedeutet das eine Temperatur von bis zu 1500°C und bei Aluminium 660°C. Durch das Schmelzen der zwei zu verbindenden Teile aus gleichem Metall entsteht eine neue Einheit. Oft wird ein Zusatzdraht hinzugeführt, der ebenfalls durch die Wärme aufgeschmolzen wird und wenig zusätzliches Material liefert. Das Schutzgas, Argon, verhindert den Zutritt von Sauerstoff zur Schweiße und somit ungewollte chemische Reaktionen. Die wichtigsten Vorteile des WIG-Schweissen sind die optischen und qualitativ hochwertigen Schweissnähte. Zudem bilden sich in diesem Verfahren keine Schweissgespritzer und es kann für viele verschiedene Metalle angewendet werden, so wie Stahl und Aluminium (Fronius, 2020).

Das Hartlöten hingegen benötigt keinen Strom und ist das älteste Schweissverfahren. Dabei arbeitet man mit einer Feuerflamme, die einen Zusatzstab aus Messing oder Silber bei 1000°C beziehungsweise 700°C schmelzen lässt. Dieser aufgeschmolzenen Zusatzstab bildet die Brücke zwischen den zu verbindenden Metallstücken, welche nur erwärmt werden. Damit keine Oxidation stattfindet, bestreicht man die Lötstelle vorgängig mit Flussmittel. Aufgrund des genügenden Zusatzmaterials des Messing- oder Silberstabs, kann man auch nicht korrekt aufliegende Schnittstellen miteinander verlöten. Ein weiterer Vorteil ist die kaum sichtbare Schweissnaht beim Silberlöten, da Silber gleichmässig verfließt. Jedoch kann wegen des Feuers und den einzuhaltenden Sicherheitsvorschriften nicht überall gelötet werden (Kolb, 2021).

Bei allen vier Schweissarten müssen anfänglich die zwei Metallrohre mit regelmässig verteilten Schweisspunkten angeheftet und damit stabilisiert werden. Dadurch wird verhindert, dass sich beim Verschweissen die Metalle durch die enorme Wärme ungewollt verbiegen. Unregelmässige Schweissnähte können nachträglich durch Feilen oder Schleifen korrigiert und verschönert werden.

5.3 Steuerrohr und Unterrohr

Als erstes nahm ich den Bau des Steuer- und Unterrohrs als Teil des Velorahmens in Angriff. Das Steuerrohr konnte am einfachsten bearbeitet werden, da es nur auf das Mass des Planes beschnitten und an den Enden durch Feilen leicht dünner gemacht werden musste. Dies war notwendig, damit die Steuersätze, das heisst die Lagerungen an den beiden Enden des Steuerrohrs, passen. Das Steuerrohr ist ein fixer Teil des Rahmens, während die Gabel des Vorderrads durch das Steuerrohr mit dem Lenker verbunden ist und sich folglich mit dem Lenker dreht. Damit die Übergänge zwischen dem starren und beweglichen Veloteil geschmeidig funktionieren, sind die Steuersätze massgebend.

Das Unterrohr hingegen war komplizierter. Bestimmt durch den tiefen Einstieg musste ein Knick eingebaut werden, was bedeutet, dass zwei Rohre in einer Winkelhalbierenden zusammengeschnitten wurden. Den Winkel übernahm ich vom Plan. Die anderen beiden Enden mussten auf ein Rohr, namentlich das Steuerrohr und Tretlagergehäuse, angepasst werden. Um die dafür richtige Grösse der Aussparung und die perfekte Schnittkante zu berechnen, half mir ein Computerprogramm, welches auch eine Vorlage bereitstellte. Diese habe ich ausgeschnitten und auf beiden Unterrohren richtig positioniert [siehe Abb. 6]. Dabei musste die Distanz vom höchsten Punkt des einen Rohrendes zum höchsten Punkt des gegenüberliegenden Endpunktes mit der Länge des Planes übereinstimmen [siehe Abb. 7]. Anschliessend entfernte ich die Aussparungen mit einer Trennscheibe und feilte die scharfen Schnittkanten. Diese aufwändige Bearbeitung diente dazu, dass beim Zusammensetzen der Rohre keine grossen Lücken entstanden und gleichmässige sowie stabile Nähte geschweisst werden konnten.



Abb. 6: Unterrohr mit Vorlage für eine Aussparung (Eigene Abbildung)

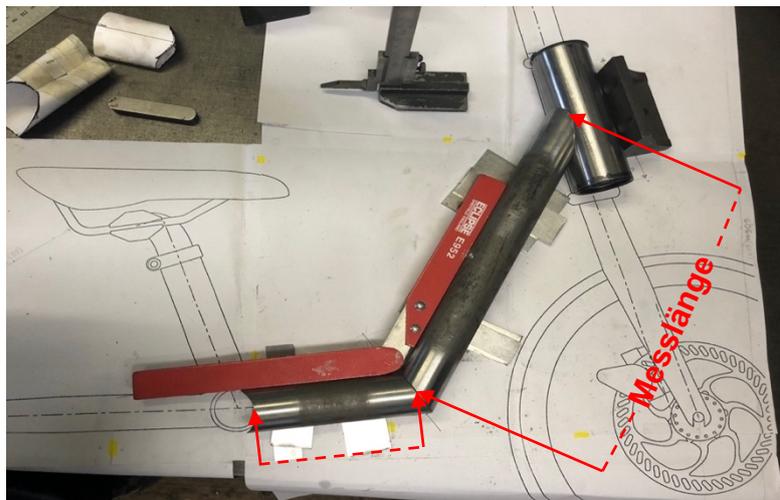


Abb. 7: Unterrohre und Steuerrohr auf dem Plan ausmessen (Eigene Abbildung)

Hierbei war die Auswahl des geeigneten Schweissverfahrens von enormer Bedeutung. Aufgrund der klaren Schnittstelle habe ich die beiden Unterrohre aus Stahl mit der WIG-Schweisstechnik vereint. Hingegen waren die Verbindungen zum Tretlagergehäuse und Steuerrohr nicht hundertprozentig aufliegend, was durch das Löten mit einem zusätzlichen Messingstab einfacher korrigiert werden konnte.

5.4 Kettenstreben

Im nächsten Schritt bearbeitete ich die Verbindung zwischen dem bereits vorhandenen Fahrradrahmen und dem Hinterrad. Sie besteht aus den beiden Kettenstreben und den Ausfallenden, welche die Kettenstreben mit der Hinterradachse verbinden.

Ich entschied mich für ein horizontales Ausfallende, da mit dem länglichen Spalt das Hinterrad verschoben und so die Kette gespannt werden kann. Zu beachten ist jedoch, dass die Bremsklötze der Scheibenbremse, die am Ausfallende befestigt sind, bei einer allfälligen Verschiebung ebenfalls neu gerichtet werden müssen [siehe Abb.8].

In einer Vorspanneinrichtung konnte ich die Teile fixieren und dadurch die genauen Masse bestimmen [siehe Abb. 9]. Dies war praktisch, weil man problemlos kontrollieren konnte, ob dabei die Fahrradkette, die Scheibenbremse sowie das Rad genügend Platz haben. Dieser komplexe Teil des Fahrradrahmens beanspruchte viel Zeit für die Planung und forderte bei der Umsetzung exaktes Arbeiten.



Abb. 8: Ausfallende an Hinterradachse (Eigene Abbildung)



Abb. 9: Kettenstreben und Ausfallenden in der Vorspanneinrichtung (Eigene Abbildung)

Für das darauffolgende Schweißen dieser Komponenten wendete ich das Lötverfahren mit Messing an, weil dadurch die relativ grossen Lücken zwischen den Kettenstreben und den Ausfallenden problemlos verschweisst werden konnten.

5.5 Sitzrohr

Für den extra gekauften Kindersattel habe ich ein passendes Sitzrohr ausgewählt. Damit es später mit dem Tretlagergehäuse stabil verlötet werden konnte, habe ich es in der unteren Hälfte mit einem zweiten Rohr verstärkt. Am oberen Ende des Sitzrohrs musste zusätzlich eine Klemmschelle befestigt werden. Sie fixiert und bestimmt somit die Höhe des Sattels. Das Verstärkungsrohr und die Klemmschelle lötete ich mit Silber, was mir die Möglichkeit bot, hier eine kleine Verzierung zu machen. Das gesamte Sitzrohr wurde hingegen mit Messing an das Tretlagergehäuse gelötet [siehe Abb. 10].



Abb. 10: Messinglöten des Sitzrohrs
(Eigene Abbildung)

Zwischen den verschiedenen Schritten der Umsetzung baute ich das Velo immer wieder mit den Rädern und anderen Komponenten zusammen, um zu sehen, ob alles nach Plan läuft. Dadurch stellte sich auch heraus, dass der Veloständer am besten an das linke Ausfallende montiert werden sollte und entsprechende Bohrlöcher dafür vorgesehen werden müssen.

5.6 Vorbau

Der Vorbau verbindet die Gabel mit dem Lenker. Da er nicht an den Rahmen geschweisst wird, konnte ich einen Vorbau aus Aluminium wählen und Gewicht sparen. Wie in der Designplanung erwähnt, sollte dieser so kurz wie möglich sein. Weil die Velowerkstatt nicht für das Aluminiumschweißen ausgerüstet ist, aber mein Vater zuhause eine WIG-Schweiss-Anlage für Aluminium besitzt, habe ich den Vorbau mit ihm gekürzt und anschliessend wieder zusammengeschweisst.

5.7 Gehäuse für den Akkumulator und Controller

Das Gehäuse für den Akkumulator und Controller stellte ich mit der Firma Frei Metall Bau her. Das 1.5 Millimeter dicke Blech wurde nach meinem Plan beschnitten und abgekantet [siehe Anhang 4]. Die daraus entstandenen drei Teile habe ich anschliessend mit Wim weiterverarbeitet. Beide U-Profile für den Akku und Controller habe ich richtig beschnitten, gebogen und daraufhin zusammengeschweisst. Die längliche Box ist für den Akku gedacht, während im oberen Teil des Gehäuses der Controller positioniert wird [siehe Abb. 11]. Damit dessen Deckel ausgiebigen Schutz vor Wassereintritt bietet und man ihn gut mit Schrauben am Gehäuse befestigen kann, besitzt er kurze, gebogene Kanten. Für den Fall, dass doch Wasser eintritt,

bohrte ich zur Sicherheit kleine Löcher in die Unterseite des Gehäuses. Zwei zusätzliche Ausgänge dienen zur Verkabelung von allen elektrischen Komponenten des Fahrrades.

Leider war das gebogene Blech am Boden des Gehäuses zu breit, als dass es direkt mit dem Rahmen verbunden werden konnte, ohne dabei die Ketten zu berühren. Als Lösung fertigte ich zwei Metallstücke an, die als Distanzhalter zwischen dem Gehäuse und Rahmen dienen. Um dabei Gewicht zu sparen, haben diese Metallteile ein Loch.

Als Stabilisierung für das nach hinten herausstehende Gehäuse, wurden zwei Verstärkungsstäbe an das Ausfallende und Gehäuse mit Messing gelötet.

Nun war der Rahmen bis auf die Befestigungen für Kabelbinder komplett. Gemäss der Planung verlaufen die Kabel der Bremsen, des Vorderlichtes und der Motorschaltung vom Lenker über das Unterrohr und Gehäuse zum Controller. Das Kabel des Motors zieht sich über die Kettenstreben und entlang des Gehäuses zum Controller. Die für diese Kabel benötigten Befestigungen lötete ich mit Silber an die geeigneten Stellen des Rahmens.



Abb. 11: Fertiger Fahrradrahmen (Eigene Abbildung)

Somit war der Velorahmen in der Rohfassung fertig [siehe Abb. 11] und konnte mit den restlichen Komponenten zusammengebaut werden. Die nachfolgende Testfahrt durch Timeo bestätigte, dass meine Berechnungen aufgegangen sind und das Fahrrad genau seinen körperlichen Bedürfnissen entspricht. Nach Timeos Wunsch wird der Velorahmen das gleiche Rot aufweisen, wie es auf den Felgen vorzufinden ist. Für die Pulverbeschichtung, die im nächsten Kapitel beschrieben wird, wurde deshalb die RAL Farbe Signalrot angewendet.

5.8 Pulverbeschichtung

Bei einer Pulverbeschichtung wird der Fahrradrahmen zuerst durch Sandstrahlen gründlich gereinigt. Danach wird das elektrisch aufgeladene Pulver auf den zu beschichtenden Rahmen gespritzt und anschliessend bei ungefähr 180°C eingebrannt. Ein grosser Vorteil dieses Verfahrens ist die dicke Pulverschicht, welche einen guten Schutz gegen Schläge und Korrosion gewährt. Zudem ist die Pulverbeschichtung umweltfreundlich, da überschüssiges Pulver aufgefangen und wieder verwendet werden kann (Holzapfelgut, 2020). Dieses spezielle Verfahren, wurde durch eine externe Drittfirma ausgeführt. Nun ist der behandelte Velorahmen bereit für das finale Zusammensetzen [siehe Abb. 12].



Abb. 12: Fahrradrahmen nach der Pulverbeschichtung (Eigene Abbildung)

5.9 Endgültige Zusammensetzung

Nach den vielen Arbeitsstunden konnte das Fahrrad definitiv mit allen Komponenten zusammengebaut werden. Darunter fallen auch der vorgängig mit dem dreidimensionalen Drucker konstruierte Kettenschutz und Gashebel. Der Kettenschutz dient zum Schutz der Kleider und wurde seitlich an das Kettenblatt angeschraubt. Mit dem speziell angefertigten Gashebel kann die maximale Geschwindigkeit individuell eingestellt und dadurch begrenzt werden. Aktuell wurde die Geschwindigkeit auf 12 km/h begrenzt.

Zusätzlich wurde der Abstand zwischen dem Bremshebel und Lenker mit einer Schraube im Bremshebel gekürzt, damit Timeo mit seinem kurzen Fingern sicher bremsen kann. Dabei stiess ich auf ein nächstes Problem. Durch den vorgespannten Bremshebel, wird ein Sensorschalter in der Bremse frei, was das Abschalten der Motorleistung aktiviert. Dadurch läuft der Motor nicht. Als Lösung dafür, verwendete ich eine kleine Schraube im Bremshebel, die in Richtung Drücktaste zeigt [siehe Abb. 13]. Durch Justieren habe ich die perfekte Länge der Schraube gefunden und sie danach mit einem speziellen Leim im Bremshebel fixiert.



Schraube Ort der Drücktaste

Abb. 13: Bearbeiteter Bremshebel (Eigene Abbildung)

5.10 Verkabelung

Aufgrund des veränderten Designs stimmten die Längen der Kabel mit der Distanz zum Controller nicht mehr überein. Zusammen mit meinem Vater habe ich auf Grund dessen alle Kabel verlängert. Jedes Kabel bestand aus zwei bis sieben Drähten, wobei alle Drähte in der Länge angepasst werden mussten. Nachdem ich sicherstellte, dass kein Strom durch die Kabel floss, habe ich sie an einer nicht exponierten Stelle aufgeschnitten. An diesen Schnittstellen habe ich ungefähr zwei Zentimeter des vorhandenen Kabelmantels entfernt und einen Schrumpfschlauch eingeführt. Anschliessend wurde jeder abisolierte Draht einzeln mit dem gleichfarbigen Draht des Verlängerungskabels verzwirbelt und zusammengelötet. Dieses Verfahren geschieht durch Weichlöten, wobei die Löttemperatur höchstens 450°C erreicht. Dies eignet sich bestens für elektrische Verbindungen sowie elektronische Komponenten. Der vorgängig übergestülpte Schrumpfschlauch wurde nach der Verlängerung über der Lötstelle platziert und mit Hitze zusammengeschrumpft.

Daraufhin band ich die Kabel mit Kabelbinder an die vorbereiteten Kabelbinderbefestigungen und schloss sie mit dem Controller zusammen. Zum Schluss wurden der Akku und Controller im Gehäuse angebracht und mit Schaumstoff gegen Erschütterungen geschützt.

Der Bau des Fahrrades ist somit abgeschlossen und bereit für die Übergabe [siehe Abb. 14].



Abb. 14: Das fertige E-Bike (Eigene Abbildung)

6 Fazit

Das Ziel meiner Arbeit war es, ein geeignetes Fahrrad für meinen kleinwüchsigen Cousin zu bauen. Damit dieses umfangreiche Projekt überhaupt umgesetzt werden konnte, musste ich einige Abklärungen im Voraus tätigen und unterschiedliche Hindernisse während der Arbeit überwinden. Für die Planung des Fahrrades war die Beobachtung von Timeo auf seinem bisherigen Velo sehr wichtig. So konnte ich die bestehenden Schwierigkeiten erkennen, Lösungen finden und diese mit Hilfe von Fachwissen aus der Literatur und des Velomechanikers in mein Design einfließen lassen. Die darauffolgende praktische Umsetzung hat mir grosse Freude bereitet und ich habe viel dazugelernt. So kenne ich jetzt einige Techniken bei der Metallbearbeitung und habe Erfahrungen in den verschiedenen Schweissarten gesammelt.

Meine Arbeit ist mir gut gelungen. Denn bei der Übergabe wurde das Fahrrad von meinem Cousin und seiner Familie mit Begeisterung entgegengenommen und die Testfahrt zeigte, dass das Velo perfekt auf Timeos körperlichen Bedürfnisse angepasst ist. Von verschiedenen Aussenstehenden habe ich ausserdem Anerkennung erhalten und es wurde Interesse an dieser Sonderanfertigung bekundet. Doch besonders die Freude meines Cousins bestätigt mir, wie wertvoll und sinnvoll diese Arbeit war.

Bereits nach einigen Übungssequenzen kann Timeo die Balance auf dem Velo halten und schon längere Distanzen ohne Hilfe zurücklegen. Dabei bleibt das Fahrrad stabil und ruhig. Der tiefe Einstieg zahlt sich aus, da er Timeo die notwendige Sicherheit des Abstehens gewährt. Auch die Bremsen funktionieren dank der entsprechenden Einstellung reibungslos und die E-Unterstützung war trotz des grossen Aufwandes eine gute Entscheidung. Denn Timeo findet die motorisierte Unterstützung grossartig, was ihn motiviert, das Velofahren zu üben. Sobald er sich auf dem Fahrrad sicher fühlt, wird dieses ihn in seiner Selbständigkeit und Freizeit unterstützen.

Timeos grösste Herausforderung besteht noch im Anfahren. Um gleichzeitig die Pedalen zu benutzen, das Gleichgewicht zu halten und den Motor zu betätigen, braucht es viel Übung. Dabei ist das Gewicht des Fahrrades sicher auch eine Schwierigkeit. Darum sollte bei einer weiteren Konstruktion eines typgleichen Fahrrades eine mögliche Gewichtsverringering angestrebt werden. Das könnte durch die Verwendung von mehr Aluminiumteilen geschehen.

Dieses Projekt zeigte mir, dass ein Laie sein eigenes E-Bike bauen kann. Jedoch ist die Hilfe eines Profis für die Umsetzung von grossem Vorteil. Ein Velobau benötigt nicht nur viele spezielle Werkzeuge, sondern auch ein breites Fachwissen.

Timeos Familie ist mit anderen Kleinwüchsigen in der Schweiz vernetzt. Viele von ihnen haben auch Schwierigkeiten, ein auf den eigenen Körper angepasstes Fahrrad zu finden. Deshalb denke ich, dass es in Zukunft noch weitere Nachfragen für mein spezielles Fahrrad geben wird. Wie gross die Nachfrage tatsächlich sein wird und ob noch weitere Velos gemäss dieser Spezialanfertigung gebaut werden, wird sich nach einer Bewährungszeit von Timeos Velo zeigen.

Literaturverzeichnis

- AHV/IV. (2020). *Hilflosenentschädigungen der IV*. Abgerufen am 10.01.2021 von <https://www.ahv-iv.ch/p/4.13.d>
- Armin. (15. November 2018). *Schalt- und Bremshebel richtig einstellen*. Abgerufen am 14.08.2021 von <https://www.fahrrad-gesundheit.de/schalt-und-bremshebel-einstellen>
- Armin. (19. Juni 2021). *Knie und Fussratgeber*. Abgerufen am 12.08.2021 von <https://www.fahrrad-gesundheit.de/knie-fuss-ratgeber>
- Bundesamt für Strassen ASTRA . (01. März 2021). *Zusammenstellung der wichtigsten Vorschriften über Zulassung und Betrieb von Motorfahrrädern und Elektro-Rikschas (Stand 1. Feb. 2019)*. Abgerufen am 10.11.2021 von https://www.vsz.ch/fileadmin/files/02_Formulare/02.5_Fahrzeugpruefung/Zusammenstellung_der_wichtigsten_Vorschriften_fuer_Elektro-Motorfahrraeder.pdf
- Burger, M. (23. Januar 2020). *Der Akku: Das Kraftwerk am E-Bike*. Abgerufen am 13.08.2021 von <https://www.radfahren.de/service/e-bike-akku>
- Enable Me. (15. 04 2014). *Die Invalidenversicherung (IV)*. Abgerufen am 20.07.2021 von <https://www.enableme.ch/de/topics/die-invalidenversicherung-iv-264>
- Fronius. (14. April 2020). *Was ist WIG-Schweissen?* Abgerufen am 09.10.2021 von <https://www.fronius.com/de-ch/switzerland/schweisstechnik/schweisswelten/wig-schweissen>
- Grosser, M. (31. März 2016). *Kleinwüchsigkeit*. Abgerufen am 04.07.2021 von <https://www.netdokter.ch/krankheiten/kleinwuechsigkeit>
- Holzapfelgut. (13. Februar 2020). *Wie funktioniert Pulverbeschichtung und wofür ist sie gut?* Abgerufen am 12.11.2021 von <https://blog.holzapfel-group.com/2020/02/13/wie-funktioniert-pulverbeschichtung-und-wofuer-ist-sie-gut>
- Jochmann, T. (21. Oktober 2019). *Aluminium schweissen: Erklärung, Anleitung und Tipps*. Abgerufen am 06.08.2021 von <https://www.haus.de/bauen/aluminium-schweissen-erklaerung-anleitung-tipps-28339>
- Kolb, W. (17. November 2021). Interview über die Schweißverfahren. (L. Abplanalp, Interviewer)
- Pfeizer für Mediziner. (2021). *Wachstumsstörungen*. Abgerufen am 04.07.2021 von <https://www.pfizermed.at/condition/endokrinologie/wachstumsstoerungen/wachstumsstoerungen>
- Schwarz, R. (5. Oktober 2021). *Achondroplasie*. Abgerufen am 04.07.2021 von <https://www.netdokter.ch/krankheiten/achondroplasie>
- SIBAC. (31. Oktober 2021). *Stahlhallenbau mit System*. Abgerufen am 06.08.2021 von <https://www.sybac.de/stahlhalle>
- Staudt, J. (22. Oktober 2019). *Wie wirkt sich die Vorbaulänge aus?* . Abgerufen am 04.08.2021 von <https://www.mtb-news.de/news/forschungsprojekt-mountainbike-vorbaulaenge>

Strassenverkehrsamt. (09. August 2021). *Mofa und E-Bike vor 14*. Abgerufen am 17.04.2021 von https://strassenverkehrsamt.tg.ch/fuehrerzulassung/fuehrerausweis/mofa-und-e-bike/mofa-fuehren.html/4940#js-accordion_control--24

Redaktion TCS. (2021). *Touring Shop Ausgabe 06/2021*. *touringshop*, S. 12.

Winkler, F., & Rauch, S. 48 ff (1991). *Fahrradtechnik*. Bielefeld: Bielefelder Verlagsanstalt.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Die Übergabe des Fahrrades an Timeo (Eigene Abbildung).....	1
Abb. 2: Rahmenbezeichnung eines Diamantenrahmens (Fahrradmonteur-Bearbeiter, 2015)6	
Abb. 3: Druck- und Zugkräfte in einem Dreieck (Winkler F, & Rauch S, 1991, S. 48).....	6
Abb. 4: Optimale Sitzposition bei einem Fahrrad (Canyon Fahrräder Radfahrer, 2021).....	7
Abb. 5: Design des eigenen Fahrrades (Eigene Abbildung).....	9
Abb. 6: Unterrohr mit Vorlage für eine Aussparung (Eigene Abbildung)	12
Abb. 7: Unterrohre und Steuerrohr auf dem Plan ausmessen (Eigene Abbildung)	12
Abb. 8: Ausfallende an Hinterradachse (Eigene Abbildung).....	13
Abb. 9: Kettenstreben und Ausfallenden in der Vorspanneinrichtung (Eigene Abbildung).....	13
Abb. 10: Messinglötten des Sitzrohrs (Eigene Abbildung).....	14
Abb. 11: Fertiger Fahrradrahmen (Eigene Abbildung).....	15
Abb. 12: Fahrradrahmen nach der Pulverbeschichtung (Eigene Abbildung).....	16
Abb. 13: Bearbeiteter Bremshebel (Eigene Abbildung)	16
Abb. 14: Das fertige E-Bike (Eigene Abbildung)	17
Abb. 15: Aufbau eines Fahrrades mit benannten Komponenten (Eigene Abbildung)	IV
Abb. 16: Plan für das U-Profil des Akkus und des Deckels (Eigene Abbildung).....	VII
Abb. 17: Plan für das U-Profil des Controllers (Eigene Abbildung).....	VIII

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AHV	Alters- und Hinterlassenenversicherung
Akku	Akkumulator
Art.	Artikel
ASTRA	Bundesamt für Strassen
°C	Grad Celsius
CAD	Computer Aided Design
ff	folgende
IV	Invalidenversicherung
Km/h	Kilometer pro Stunde
RAL	Reichs-Ausschluss für Lieferbedingungen
S.	Seite
SR	Systematische Rechtssammlung
TCS	Touring Club Schweiz
TGV	Verordnung über die Typengenehmigung von Strassenfahrzeugen (SR 741.511)
VMAX	Höchstgeschwindigkeit
VZV	Verordnung über die Zulassung von Personen und Fahrzeugen zum Strassenverkehr (SR 741.51)
Ziff.	Ziffer

Anhang

Anhang 1: Fachbegriffe rund ums Fahrrad



Abb. 15: Aufbau eines Fahrrades mit benannten Komponenten (Eigene Abbildung)

- | | | |
|--|--------------------|----------------------|
| 1. Ausfallende | 10. Kette | 20. Sitzrohr |
| 2. Bremshebel | 11. Kettenschutz | 21. Steuersätze |
| 3. Distanzhalter zwischen Gehäuse und Rahmen | 12. Kettenstreben | 22. Steuerrohr |
| 4. Felgen | 13. Klemmschelle | 23. Tretkurbel |
| 5. Gabel | 14. Lenker | 24. Tretlagergehäuse |
| 6. Gashebel | 15. Radnabenmotor | 25. Unterrohr |
| 7. Gehäuse für Akku und Controller | 16. Pedale | 26. Verstärkungsstab |
| 8. Hinterrad | 17. Rücklicht | 27. Vorbau |
| 9. Kabelbinderbefestigungen | 18. Scheibenbremse | 28. Vorderlicht |
| | 19. Sattel | 29. Vorderrad |

Anhang 2: Kosten

Kosten für die Konstruktion des E-Bikes

Kosten:

Pos.	Bezeichnung	Menge	Einzelpreis	Gesamtpreis
1.	VMAX E-Scooter T30	1	823.90 CHF	823.90 CHF
2.	Rahmenkurs bei Wim Kolb	1	2951.00 CHF	2951.00 CHF
3.	Blechbeugen für das Gehäuse	1	80.00 CHF	80.00 CHF
3.	Verlängerungskabel und Schrumpfschläuche	10	12.00 CHF	120.00 CHF
Rechnungsbetrag				3974.90 CHF

Anhang 3: Zeitschriftartikel des Easy Scooters T30

12

EASY SCOOTER T30

Mitgliederpreis: CHF 799.-/Stück

Nichtmitgliederpreis: CHF 1199.-/Stück

Art.-Nr. 222 787 06

(Versandkosten CHF 24.90)

PREIS:
CHF 799.-
ERSPARNIS:
CHF 400.-

Der Easy Scooter T30 ist ein **Scooter von VMAX mit Tretunterstützung**. Das heisst, der Scooter kann entweder nur mit den Pedalen oder mit Elektroantrieb gefahren werden; dank Tretunterstützung darf er **bis zu 25 km/h** erreichen. Der Scooter ist zusammenklappbar, verfügt über **ein LED-Frontlicht, ein Rücklicht und Scheibenbremsen vorne und hinten**.

Allgemein

- CH-Strassenzulassung
- Garantie: 24 Monate

Akku

- **Akkutyp: 36 V/6600 mAh Li-Ion**
- Ladezeit: ca. 180 min.
- **Max. Reichweite: 40–60 km**
- Max. Geschwindigkeit: 25 km/h
- Max. Steigungsgrad: bis zu 15°

Motor/Antrieb

- Motor: 250 W

Fahrwerk

- **Max. Belastung: 120 kg**
- Gewicht: 13 kg
- Masse (LxBxH): 107x45x100 cm



Klappbar für platzsparenden Transport

Bestellen unter: www.touringshop.ch oder Tel. 032 675 00 80

Bitte TCS-Mitgliederkarte bereithalten. Die Artikel sind nicht in TCS-Kontaktstellen erhältlich.

(Redaktion TCS, 2021)

Anhang 4: Plan für das Gehäuse des Akkus, Controllers und Deckel

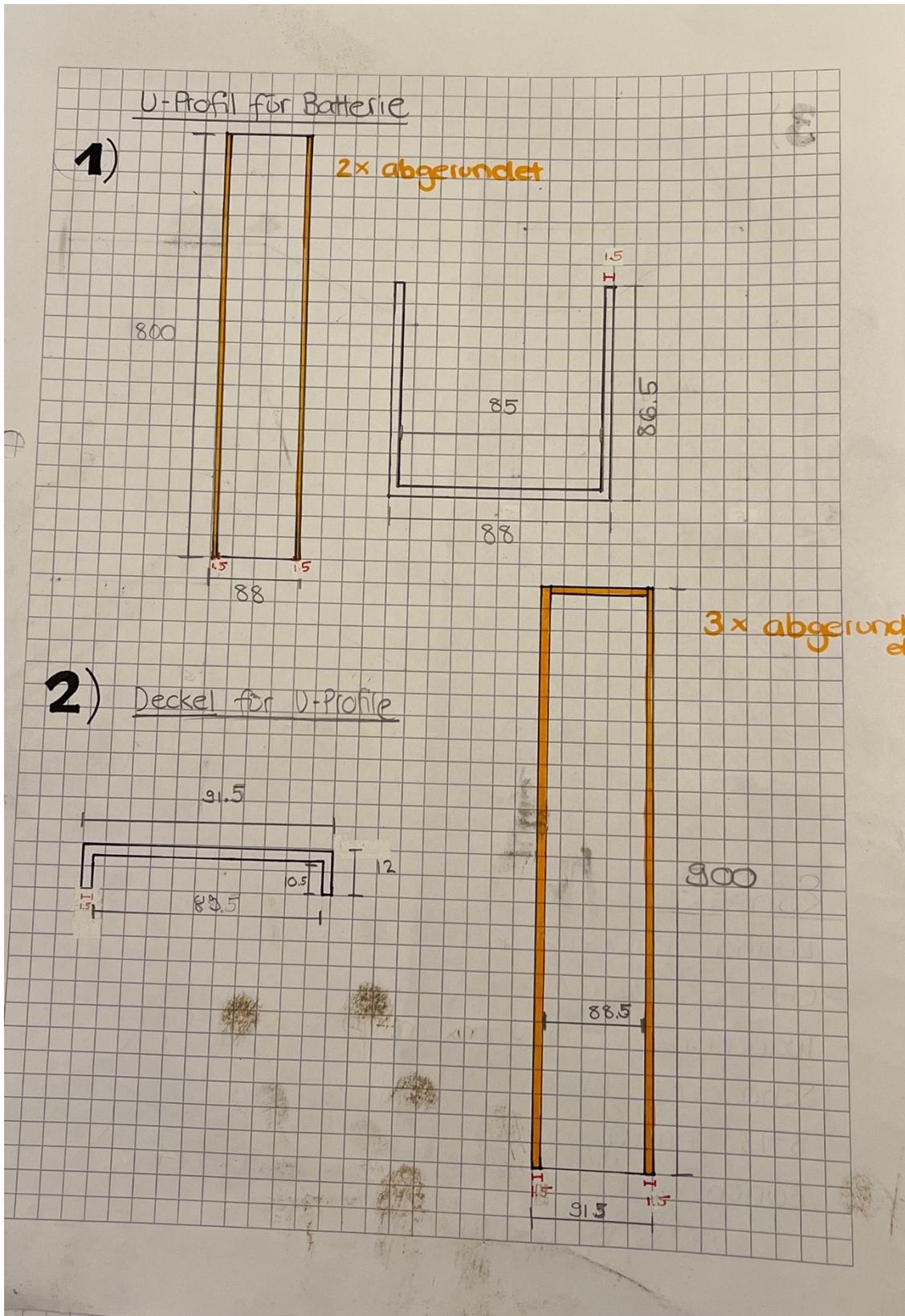


Abb. 16: Plan für das U-Profil des Akkus und des Deckels (Eigene Abbildung)

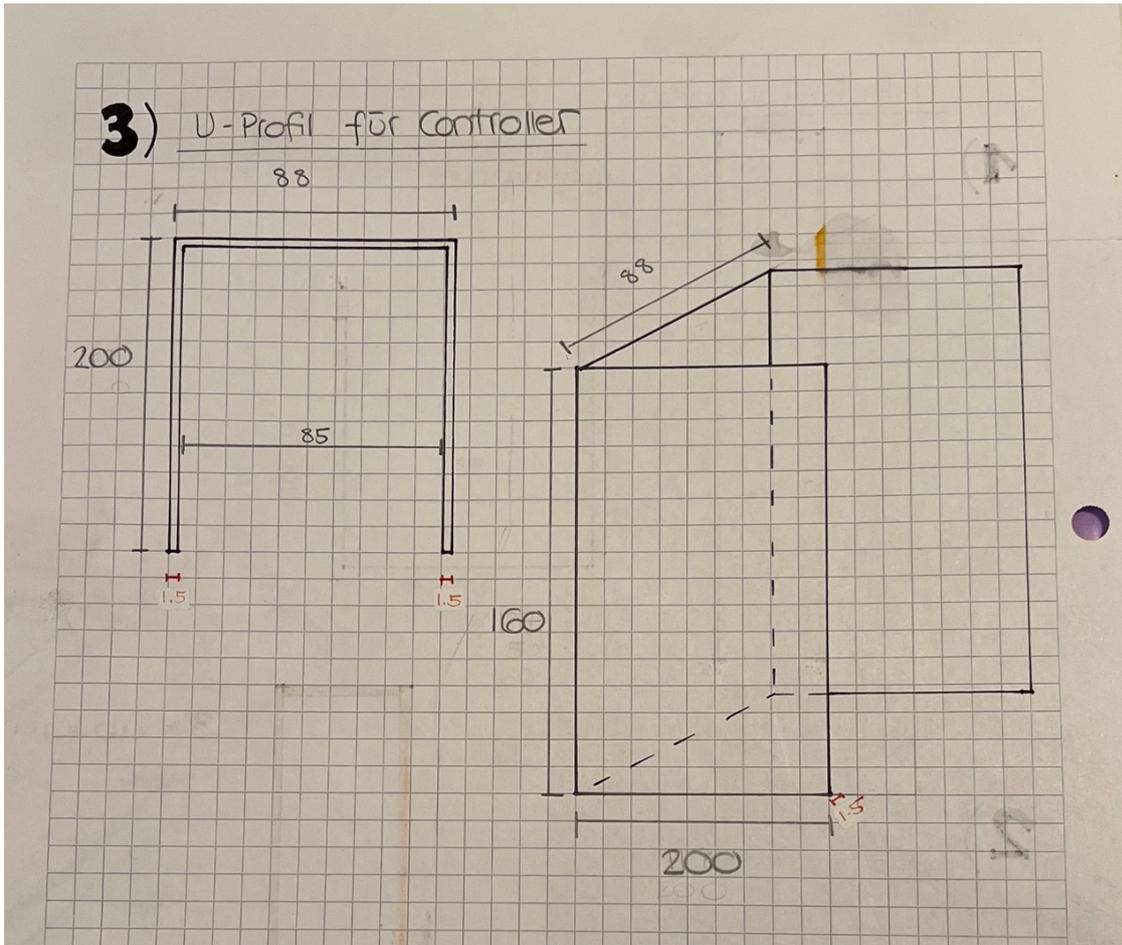


Abb. 17: Plan für das U-Profil des Controllers (Eigene Abbildung)

Arbeitsjournal

Datum	Was ich gemacht habe
09.01.2021	Abklärung der Finanzierung für mein Projekt
12.01.2021	Vorstellung meiner Idee bei Frau Stierli
21.01.2021	Erste Projektskizze erstellt
29.01.2021	Anpassung der Projektskizze und das Thema auf ausschliesslich den Fahrradbau für meinen kleinwüchsigen Cousin reduziert
11.04.2021	Einlesen in Literatur über den Fahrradbau
17.04.2021	Abklärung des Führen eines Motorfahrzeugs unter 14 Jahren
29.04.2021	Treffen mit meinem Cousin (Festhalten seiner Bedürfnissen und Wünsche, Ausmessen seines Körpers, Beobachten und Analyse seiner Fahrtweise auf dem Kleinkinderfahrrad)
04.05.2021	Velomechaniker angeschrieben → Bestätigung von Wim Kolb
10.05.2021	Recherche nach E-Bikes
01.06.2021	Genauere Projektvorstellung mit Wim und Kauf des E-Scooters
30.06.2021	Maturitätsarbeitsvertrag unterschrieben und eingereicht
04.07.2021	Niederschreiben des zweiten Kapitels (Kleinwuchs)
14.07.2021	Treffen in der Werkstatt mit Timeo und Wim → Details des Fahrradrahmenbaus angeschaut
20.07.2021	Abklärung der Invalidenversicherung und Niederschreiben des dritten Kapitels (Vorbereitung)
23.07.2021	Überarbeiten des zweiten Kapitels (Kleinwuchs)
02.08.2021	Demontage des E-Scooters
03.08.2021- 05.08.2021	Recherche über den Fahrradbau, das Schreiben des vierten Kapitels (Design versus Komponenten) und Entwicklung des eigenen Designs
06.08.2021	Designbesprechung mit Wim und Organisieren von weiterem Material
10.08.2021	Das vierte Kapitel ergänzt (Design versus Komponenten)
17.08.2021	Abkanten von Blech für das Gehäuse
10.09.2021	Start der Umsetzung: Unterrohr, Steuerrohr und Tretlagergehäuse beschnitten
13.09.2021	Erste Besprechung mit Frau Stierli Zielsetzung für die nächste Besprechung: Grobfertigstellung des Fahrrades
17.09.2021	Unterrohr, Steuerrohr und Tretlagergehäuse zusammenschweisst und geschliffen
20.09.2021	Mit dem Niederschreiben des fünften Kapitels begonnen (Umsetzung)

24.09.2021	Kettenstreben und Ausfallende bearbeitet und zusammengeschweisst
01.10.2021	Kettenstreben und Sitzrohr für das Schweißen vorbereitet
02.10.2021	Überarbeitung des vierten Kapitels (Design versus Komponenten)
09.10.2021	Weiterschreiben des fünften Kapitels (Umsetzung)
13.10.2021	Kettenstreben und Sitzrohr an das Tretlagergehäuse geschweisst
14.10.2021	Der Vorbau des Rahmens bearbeitet und Bauteile für das Gehäuse vorbereitet
15.10.2021	Das Gehäuse zusammengeschweisst
16.10.2021	Das fünfte Kapitel ergänzt (Umsetzung)
18.10.2021	Gehäuse an den Rahmen geschweisst und Probefahrt mit Timeo
19.10.2021	Fahrradrahmen fertiggestellt
21.10.2021	Niederschreiben der Danksagung, des Abstracts, der Einleitung und Weiterschreiben am fünften Kapitel (Umsetzung)
22.10.2021	Velorahmen in die Pulverbeschichtung geschickt
29.10.2021	Zusammensetzung des Fahrrades
05.11.2021	Überarbeiten der Danksagung, des Abstracts und der Einleitung
06.11.2021	Elektrische Verkabelung des Fahrrades
08.11.2021	Zweite Besprechung mit Frau Stierli Zielsetzung für die nächste Besprechung: Grobfassung der Arbeit
10.11.2021	Abklärung der Zulassung und Betrieb von Motorfahrrädern
15.11.2021- 20.11.2021	Schriftliche Ergänzungen des dritten (Vorbereitung) und fünften Kapitels (Umsetzung) und deren Überarbeitung
22.11.2021	Übergabe des Fahrrades an Timeo und Gestaltung der Titelseite
23.11.2021- 27.11.2021	Überarbeitung der Arbeit, die Formatierung der Verzeichnisse und Erstellung des Anhangs
29.11.2021	Dritte Besprechung mit Frau Stierli
01.12.2021	Niederschreiben des sechsten Kapitels (Fazit)
02.12.2021- 09.12.2021	Überarbeiten der gesamten Arbeit
10.12.2021	Drucken und Binden der Arbeit
13.12.2021	Einreichen der Arbeit

Erklärung

«Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe.

Alle wörtlichen und sinngemässen Übernahmen aus anderen Werken habe ich als solche kenntlich gemacht.

Ich nehme ausserdem zur Kenntnis, dass meine Arbeit zur Überprüfung der korrekten und vollständigen Angabe der Quellen mit Hilfe einer Software (Plagiatserkennungstool) geprüft wird.»

Datum

Unterschrift