

# Solar-Cruiser

Solar-Cruiser

## **Entwicklungen, Konstruktionen und Bau eines alternativ betriebenen einspurigen Kraftfahrzeuges**

Development, construction and manufacture from a  
alternative prosecuted single lane motorcycles

Diplomarbeit zur Erlangung des akademischen Grades

*Magister<sup>artium</sup>*

im *Lehramtsstudium Werkerziehung und Chemie*

Angefertigt am Institut für *Raum und Design*

*Eingereicht am 01. März 2010 von:*

*Gerd Granner*

*Angenommen von:*

*O. Univ. Prof. MMag. Wolfgang Stifter*

## Eidesstattliche Erklärung:

Ich erkläre hiermit Eides statt, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe abgehandelt und verfasst habe. Ich habe andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt bzw. die wörtlichen oder sinngemäßen Stellen als solche gekennzeichnet.

Jänner 2010

Gerd Granner

## Dank

An dieser Stelle möchte ich Herrn *Prof. MMag. Wolfgang Stifter* für die Annahme meines selbstgewählten Themas, die ausgezeichneten Arbeitsbedingungen und die gute Unterstützung während des gesamten Studiums danken. Weiters möchte ich mich bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Instituts für Raum und Design bedanken für deren Unterstützung bei der Erarbeitung meines Werkstücks zu dieser Diplomarbeit, und für das entgegenkommende und angenehme Arbeitsklima. Dank gilt ebenfalls der Fa. Energie AG für die Ermöglichung eines 4-wöchigen Praktikums, im besonderen Hr. Johann Wengler, Hr. Ing. Günter Ferchhumer und Hr. Heinz Sattleder, für die konziliante und persönliche Betreuung während meines Praktikums im DKW-Riedersbach. Desweiteren gilt mein Dank der Fa. Kunststoffwerk Zitta für äußerst zuvorkommende Materialspende und dem technischen Support bei der Anfertigung von Spezialwerkstücken zu meiner Diplomarbeit, im Speziellen gilt hier mein Dank Hr. Felix Lindinger dem Leiter der Werkstatt für Werkzeugbau. Für die Unterstützung in Design-Fragen möchte ich mich bei Fr. Marion Maria Greisinger bedanken die hervorragende Ideen einbrachte, auch wenn ich diese nicht immer als solche umsetzen konnte. Ebenfalls möchte ich mich bei meinen Eltern, Adele und Peter Granner, bedanken welche mich in allen außerstudentischen Belangen immer vollstens unterstützt haben.

## **Vorwort**

Diese schriftliche Abhandlung soll meine praktische Arbeit ergänzen und gliedert sich in vier Hauptbereiche. Ein jeder Hauptteil ist in sich geschlossen und soll in seinen Unterpunkte: Einleitung, bisheriger Kenntnisstand, Experimentelles und Anwendungen in der schulischen Praxis, eine Einsicht zu meinem Thema geben. Dieser Text und das zugehörige Bildmaterial wurde angefertigt als Grundlage für die zweite Diplomprüfung und um die erfassten Messdaten in eine allgemein zugängliche Form zu bringen.

Pasching, 07.01.2010, Gerd Granner

## Abkürzungen:

AKKU	Akkumulator
Alu	Aluminium
Bökw	Berufsverband österreichischer Kunst- und Werkerzieher
$\eta$	[eta] Wirkungsgrad
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
CO	Kohlenmonoxid
DKW	Dampfkraftwerk
e <sup>-</sup>	Elektron
GEV	Glasfaser-Epoxidharz-Verbund (-Werkstoff)
Hz	Herz
Kat	Katalysator
KW	Kohlenwasserstoff
Li	Lithium
MOSFET	<b>M</b> etal <b>O</b> xide <b>S</b> emiconductor <b>F</b> ield- <b>E</b> ffect <b>T</b> ransistor
Pädak	Pädagogische Akademie
Pb	Plumbum, Blei
PDCA	Plan – Do – Check – Act
PE	Polyethylen
PKW	Personenkraftwagen
Pt	Platin
PTFE	Polytetrafluorethylen
PVC	Polyvinylchlorid
PWM	Pulsweitenmodulation
TWe	Technisches Werken
WE	Werkerziehung
Zn	Zink

## Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung .....	8
1.1	Geschichtliche Betrachtung des Mannkraftrades .....	8
1.1.1	Motivation zur Fertigung alternativer Mannkrafträder .....	9
1.1.2	Motivation zur Weiterentwicklung der Grundidee .....	10
1.1.3	Motivation zur Entwicklung neuer Technologien.....	12
1.1.4	Persönliche Erfahrungen .....	13
2.	Bisheriger Kenntnisstand.....	14
2.1	Geschichtliche Entwicklung des E-Bikes.....	14
2.1.1	Die Elektrizität .....	14
2.1.2	Die Dynamomaschine und der Elektromotor.....	15
2.2	Das Elektrofahrrad.....	17
2.2.1	Chronologische Übersicht der derzeitig am Markt eingeführten E-Roller .....	17
2.2.1.1	SOLO elektra 720.....	18
2.2.1.2	Helio egovehicles.....	19
2.2.1.3	InnoScooter EM-250-Lithium .....	20
3.	Experimentelles .....	21
3.1	Designmodell & Konstruktionsskizzen.....	21
3.2	Rahmenkonstruktion.....	23
3.2.1	Das Grundgerüst.....	23
3.2.2	Adaptionen am Grundgerüst .....	27
3.2.3	Aufbau der Applikationen.....	29
3.3	Antriebstechnik.....	31
3.3.1	Grundlegende Ideen zum Antrieb .....	31
3.3.2	Antriebstechnologie des Solar-Cruiser.....	32
3.3.3	Grundlegende Ideen und Weiterentwicklungen der Kraftübertragung .....	36
3.4	Steuerung.....	38
3.4.1	MOSFET-Steuerung: 1. Generation.....	39

3.4.2	MOSFET-Steuerung: 2. Generation.....	41
3.4.3	MOSFET-Steuerung: 3. Generation.....	42
3.5	Derzeitiges Gesamterscheinungsbild.....	42
3.6	Die Solar-Module .....	43
3.7	Messdatenerfassung.....	44
4.	Anwendungen in der schulischen Praxis.....	46
4.1	Theorien zu Einsichten in die KFZ-Technologien .....	46
4.2	Die didaktische Analyse .....	47
4.3	Unterrichtskonzepte.....	48
4.3.1	Arbeiten mit Verbundwerkstoffen (Gebaute Umwelt).....	48
4.3.2	Die Kraftübertragung (Technik – Mechanik).....	50
4.3.3	Designmodelle zu Zweirädern (Design) .....	52
4.3.4	Das Solar-Auto (Technik & Design).....	54
4.3.5	Darstellen von elektronischen Schaltungen (Technik – Elektronik).....	56
5.	Literaturverzeichnis.....	59
6.	Abbildungsverzeichnis .....	61
7.	Internet-Bezugsquellen.....	62

# 1. Einleitung

## 1.1 Geschichtliche Betrachtung des Mannkraftrades

Betrachtet man die Geschichte des Rades als Fortbewegungsmittel, so wird diese Erfindung neben der sumerischen Kultur zeitgleich mit mehreren Kulturvölkern am eurasischen Kontinent um ca. 4000 v. Chr. zugeschrieben. Als einfachste Ausführung des Rades wird eine kreisrunde Scheibe mit einer zentrierten Bohrung betrachtet (Scheibenrad). Jedoch erst das Aufstecken dieses Scheibenrades auf eine Achse lässt daraus ein bewegliches Element werden und gilt als erstes erfundenes Maschinenelement der Menschheit. Ein dauerhaftes Betreiben eines solchen Maschinenelements bedarf jedoch ausführlicher Kenntnisse bezüglich Reibung, Schmierung und Passgenauigkeit. Aufgrund des sukzessiven Kenntnisgewinns dieser Technologie dauerte es nicht lange, dass die Entwicklung vom Scheibenrad zum Speichenrad erfolgte<sup>[1]</sup>. Heute weiß man, dass Aufgrund des günstigen Trägheitsmoments des Speichenrades weniger Kraft aufgewendet werden muss, um das Rad auf derselben Geschwindigkeit zu halten als wenn man dies mit einem Scheibenrad bewerkstelligen würde und somit weniger Arbeit verrichten muss, denn  $W = F \cdot s$  (Arbeit = Kraft \* Weg)<sup>[2]</sup>. Wobei hier zu erwähnen ist, dass diese Erkenntnis vor 6.000 Jahren möglicherweise so noch nicht existierte, aber dass man mit Speichenrädern von einem Pferd mehr Last bewegen lassen konnte war bekannt. Von da an bis zu Beginn des 19. Jhdts. wurden Fortbewegungsmittel, mit drehbar befestigten Rädern, fast ausschließlich als Transportmittel zur Beförderung von Lasten hauptsächlich mit tierischer Muskelkraft betrieben. Erst durch Karl Drais wurde 1817 das erste mechanische Individualverkehrsmittel, die Draisine, als einspuriges Zweirad vom Menschen angetrieben und als Laufmaschine eingesetzt<sup>[1]</sup>.

Die Entwicklung des Laufrades zu dem uns bekannten Fahrrad führte über einen Tretkurbel-Antrieb am Vorderrad (vgl. Hochrad) zum einseitig geführten Kettenantrieb des Hinterrades, welcher die Konstruktion des Fahrrades einfacher und stabiler gestaltete da die Entkoppelung von Lenk- und Antriebsrad gelungen ist. Im Zuge dieser Antriebstechnik wurde auch das Prinzip der Übersetzung durch unterschiedlich große Zahnräder an der Kurbel und am Antriebsrad in die Mechanik eingeführt. Die Einführung dieser Technologie wird auf 1878 datiert und konnte bis heute keiner spezifischen Person zugeordnet werden<sup>[1]</sup>.

### 1.1.1 Motivation zur Fertigung alternativer Mannkraftträder

Grundlegend stand der Gedanke im Vordergrund eine Designstudie, einen Fahrrad-Chopper, von meinem Studienkollegen, Daniel Rendón Guerrero, mit einem elektrischen Hilfsmotor zu versehen. Diese Idee resultierte daraus, da nach längerem betreiben des Gefährtes die Kraftreserven rasch verbraucht war und



Abb. 1: Modell-Idee Cruiser

bergauf fahren zu einem Ding der Unmöglichkeit wurde. Auf der Suche nach praktisch funktionierenden Techniken, wurde schon im theoretischen Vorfeld rasch ersichtlich, dass sich die Recherchen hauptsächlich auf zwei Felder verlagern werden. Zum Ersten auf die Leistungsdimensionierung des Antriebsaggregats und zum Zweiten auf die ausreichende Kapazität des Akkumulators (AKKU's). Zur theoretischen Leistungsdimensionierung des Motors kann vereinfacht das physikalische Grundgesetz  $F = m \cdot a$  (force = mass \* acceleration) herangezogen werden, solange die Höchstgeschwindigkeiten unter 20 km/h liegen. In diesem Bereich können Luftwiderstandswert des Chassis und Reibungskoeffizient der Räder vernachlässigt werden und man erhält in der Theorie doch sehr gute Näherungen für den praktischen Gebrauch. Die theoretischen Grundlagen zur Auswahl des AKKU's ist jedoch schon umfangreicher aber prinzipiell gilt  $P = U \cdot I$  (Power = Spannung \* Stromstärke). Bei dieser Annahme wurde jedoch nur darauf geachtet, dass der Elektromotor mit mindestens so viel Leistung versorgt wird damit dieser eine maximale Energieabgabe erzielen kann. Vernachlässigt wurden bei dieser Annahme Faktoren wie Reichweite des Vehikels oder Wirkungsgrad ( $\eta$ ) des Motors.

Der Prototyp als Resultat dieser Idee sollte auf jeden Fall in meiner Praxis des technischen Werkens (TWe) die SchülerInnen motivieren sich mit Technologien und Werkstoffe auseinander zu setzen und sie von der Machbarkeit zu überzeugen, dass sie aktiv an einer zukunftsorientierten Raum- und Umweltgestaltung teilhaben können. Sie sollen erkennen, dass die Schule die Technik soweit vermitteln kann, dass diese einen gebrauchsfähigen und emanzipatorischen Beitrag für die Gesellschaft zu leisten fähig ist. In diesem besonderen Fall sozusagen einen konstruktiven und zukunftsweisenden Aspekt für unsere Verkehrspolitik darstellen kann.

## 1.1.2 Motivation zur Weiterentwicklung der Grundidee

Bei der primären Überlegung zur Weiterentwicklung meines Konzepts bin ich von folgendem ausgegangen:

- Nutzung von "Renewable-Sources"
- Emissionsarme Fortbewegung (Schadstoff- wie Lärmemission)
- Wirtschaftlichkeit im Betrieb

Ich habe mein Konzept darauf ausgelegt, dass ich mit einer Technologie in den Wettbewerb treten kann, welche von unserer Jugend mittlerweile sehr umfassend genutzt wird: Das Motorfahrrad, bzw. auch Mofa oder Moped genannt. Da meine jüngere Schwester ein solches Vehikel betreibt, bin ich in den Genuss gekommen mich mit dieser Technologie auseinander zu setzen. Ich konnte somit die Vorteile, aber auch die Nachteile dieser Technologie doch eingehend studieren und bin zu folgenden Erkenntnissen gekommen:

Vorteile:

- Die Mobilität  
Allgemein betrachtet ist Mobilität ein wesentlicher Fortschritt unserer Gesellschaft; Mobilität bedeutet nicht nur Unabhängigkeit sondern auch Flexibilität!
- Die Unabhängigkeit:  
Diese bietet sehr viel größere Möglichkeiten z.B. in der Wahl eines Ausbildungsplatzes. Wo man früher noch dazu gezwungen war im Wohnort bzw. in der nahen Umgebung Ausbildungsmöglichkeiten zu suchen ist nun der Aktionsradius doch erheblich erweitert ohne unverhältnismäßige Zeitaufwendungen einrechnen zu müssen. Gleiches gilt natürlich auch für gesellschaftliche Bedürfnisse.
- Die Flexibilität:  
Durch die bereits erwähnte Aktionsradiusenerweiterung wird nicht nur die Anzahl der zur Verfügung stehenden Möglichkeiten erhöht sondern natürlich auch die Auswahlmöglichkeiten der verschiedenen Bereiche.

## Nachteile:

### - Die Betriebskosten:

Ein Motorfahrrad ist im herkömmlichen Sinn mit einer Verbrennungskraftmaschine nach dem 2-Takt-Prinzip ausgestattet. Dies bedeutet, dass es für den laufenden Betrieb nicht nur einen fossilen Energieträger als Treibstoff benötigt, sondern auch einen Schmierstoff, ebenfalls aus fossilen Energieträgern synthetisiert, mit verbrennt, da der 2-Takt-Motor auf der Technologie der Frischölschmierung<sup>[3]</sup> basiert.

Es ist bekannt, dass ein 2-Takt-Motor einen eher geringen Wirkungsgrad von 25 % (siehe Abb. 2) besitzt.

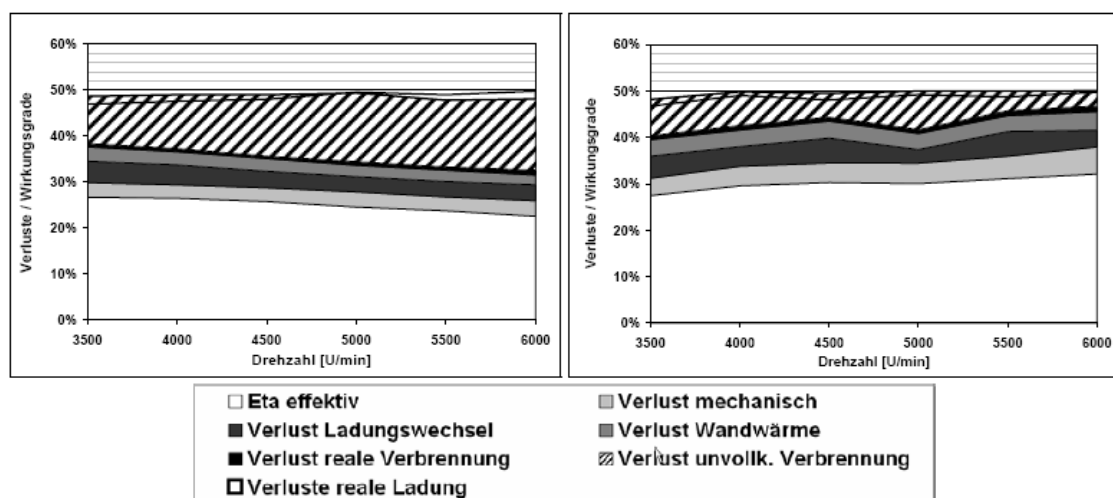


Abb. 2: Wirkungsgrade und Wirkungsgradverluste von 2-Takt-Motoren, bei früher Einspritzung (links) und später Einspritzung (rechts)<sup>[A2]</sup>

Der Treibstoffverbrauch eines solchen Kleinkraftrades wird im Durchschnitt mit 2,5 L pro 100 km von verschiedenen Produzenten angegeben; wird ein solches Vehikel leistungsgesteigert so steigt dieser ohne weiteres auf bis zu 5 L pro 100 km.

FzKat	l/100km
leichte Nutzfahrzeuge	10,245
PKW	8,418
Linienbusse	35,810
Reisebusse	29,695
LKW	19,397
Lastzüge	34,117
Sattelzüge	39,571
Motorräder	4,838
Kleinkrafträder	3,339

Abb. 3: mittlerer Kraftstoffverbrauch nach Fahrzeugklassen<sup>[A3]</sup>

Dazu kommt noch, dass zum Treibstoff ein Schmierstoff im Verhältnis 1:50 (1 L Schmierstoff zu 49 L Treibstoff) zugesetzt werden muss; deswegen auch Frischölschmierung<sup>[3]</sup>! Für diese laufenden Kosten möchte ich nun folgende Überschlagsrechnung postulieren:

Ein Liter Treibstoff kostet zur Zeit etwa 1 €. Das sind bei 2000 km Betriebsleistung, und 2,5 L pro 100 km Kraftstoffverbrauch, 50 € Treibstoffkosten und für einen Liter Schmierstoff, da im Verhältnis 1:50 das Treibstoff-Schmierstoff-Gemisch zusammengesetzt ist, 20 €;

Also 70€ Treibstoffkosten bei Normalbetrieb, im Fall eines leistungsgesteigerten Betriebs durchaus 140 €!

- Die Umweltemissionen:

Beim Betrieb einer Verbrennungskraftmaschine wird nicht nur Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) in großem Umfang emittiert sondern durch die unvollständige Verbrennung auch noch Kohlenmonoxid (CO) und Kohlenwasserstoffe (KW's). Es gibt für neuere Modelle mittlerweile schon Katalysatoren (Kat's), aber die Langlebigkeit bzw. Funktionalität dieser ist durchaus erörterungswürdig. Desweiteren fallen, wie bereits erwähnt, auch noch Lärmemissionen an, welche bei adaptierten Modellen durchaus ins Unerträgliche ansteigen können. Es ist allgemein Bekannt: "An Lärm kann sich der menschliche Organismus nicht gewöhnen!"

- Der Verschleiß:

Auch dieser Aspekt ist nicht ganz unbeträchtlich, da es bei Jugendlichen durchaus geläufig ist ein Mofa im gebrauchten Zustand zu erwerben. Und zu den Verschleißkosten ist formal betrachtet zu sagen, dass sich bei Maschinen dieser Kostenfaktor mit steigenden Betriebsstunden erhöht.

### **1.1.3 Motivation zur Entwicklung neuer Technologien**

Auf Grund dieser Erkenntnisse habe ich nach Ansätzen gesucht um ein Modell zu entwickeln welches einen guten Kompromiss zu den derzeit marktreifen Angeboten in dieser KFZ-Klasse bietet. So bin ich zu der Überzeugung gekommen, dass es doch möglich sein muss eine alternative, umweltschonendere und preiswertere Technologie funktionstüchtig zu entwickeln! Schon auf Grund der Einfachheit, der Verfügbarkeit und der Leistungsfähigkeit hat sich in diesem Fall ein Elektroantrieb als Alternative zur Verbrennungskraftmaschine

förmlich angeboten. Ich habe mir schließlich und endlich zu meinem persönlichen Ziel gesetzt, nicht nur konzeptionell sondern auch konstruktiv ein voll funktionstüchtiges Werkstück zu gestalten.

Das zu entwickelnde Gefährt sollte aus handelsüblichen, preiswerten und in ausreichendem Maße zur Verfügung stehenden Komponenten zusammen gestellt werden können um eine Serienproduktion nicht schon im Voraus durch absehbare Problematiken, wie Produktengpässe auf Grund von Ressourcenknappheit zu verhindern.

#### **1.1.4 Persönliche Erfahrungen**

Für die Entwicklung neuer Technologien bedarf es nicht nur ein erhebliches Ausmaß an Zeit, sondern ebenfalls an umfangreichem "Know-How" und vor allem benötigt man ein ausreichend großes Budget. Mein primär gesetzter budgetärer Rahmen, von 1500 €, wurde bereits bei der Entwicklung der Motorstrom-Regelung auf Basis einer "Metall Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor" Steuerung (MOSFET-Steuerung<sup>[4]</sup>) erheblich in Mitleidenschaft gezogen. Grundlegend sind die Einzelpreise der elektronischen Bauteile nicht sehr hoch, aber durch das häufige Zerstören der Schaltungen summierten sich die Kosten erheblich. Desweiteren stand ich mit meiner Entwicklungsarbeit erst zu Beginn, denn nach dem Anfertigen einiger Konstruktionsskizzen wollte ich umgehend mit dem Teil der Arbeit beginnen welcher meiner Ansicht nach der aufwendigste war, nämlich die Konstruktion der Motorstrom-Regelung. Zudem war ich mir über dies im Klaren, dass die Entwicklung der Steuerung mehrere Evolutionsstufen durchlaufen muss, um am Ende eine leistungsfähige Schaltung für meine Zwecke zu erhalten.

Nach den ersten Niederlagen eine funktionierende Steuerung zu bauen, habe ich begonnen mich nach Personen umzusehen, welche mit solchen Regelungen bereits Erfahrungen gesammelt haben. Nach langatmigen Recherchen habe ich bei der Firma Energie AG, in Riedersbach, Hr. Johann Wengler (Leiter der Elektrowerkstatt) kennen gelernt, welcher mir Anregungen und Literatur<sup>[4]</sup> für die Konstruktion einer Basis-Schaltung der MOSFET-Steuerung zukommen ließ. Im Folgenden erhielt ich die Möglichkeit bei der Fa. Energie AG ein 4-wöchiges Praktikum, im August 2007, zu absolvieren, wobei ich die erste dauerhaft funktionierende Basis-Regelung konstruieren konnte. Mit diesen grundlegenden Erfahrungen konnte ich meine Arbeiten auf diesem Sektor zielstrebig vorantreiben.

Bei den Recherchen einen leistungsfähigen und geeigneten Elektromotor für mein Vorhaben zu finden musste ich mit Verwunderung feststellen, dass es in so einem hoch technologischen und industrialisiertem Milieu wie Oberösterreich wenig bis keine Firmen gibt, welche Gleichstrommotoren für meine Zwecke herstellen bzw. vertreiben. Nach langem Suchen wurde ich bei einem Oldtimer-KFZ-Verwertungsplatz fündig. Dort konnte ich einen gebrauchten Dynastart-Motor<sup>[8]</sup> erwerben, welchen ich als Antriebsmotor zweckentfremdete um meine ersten Fahrversuche zu absolvieren. Nur einer glücklichen Fügung ist es zu verdanken, dass ich bei einer kleinen Elektrofirma in Linz den Antriebsmotor finden konnte, der in dieser finalen Ausführung mein Vehikel betreibt. Nach dem Ankauf dieser beiden Motoren musste ich letztendlich meine budgetäre Planung komplett verwerfen und meine neue Kostenrechnung auf fast das Dreifache erweitern, also 4500 €.

Nach diesen Erkenntnissen war es mitunter doch sehr frustrierend eine solche Kostenexplosion mitzuerleben, insbesondere deswegen da ich wusste, dass meine leistungsfähigen Pb-AKKU`s nur eine Behelfslösung waren und durch eine Technologie, welche dem Stand der Technik entspricht, nämlich Li-Ionen-AKKU`s, ersetzt werden sollten.

## **2. Bisheriger Kenntnisstand**

### **2.1 Geschichtliche Entwicklung des E-Bikes**

#### **2.1.1 Die Elektrizität**

Die Reibungselektrizität, ein Spezialfall der Berührungselektrizität, ist bereits von Thales von Milet um 550 v.Chr. beobachtet worden<sup>[14]</sup>. Er kam zu der Erkenntnis, wenn Bernstein (altgr.: *elektron*) an einem organischen Material (z.B. Wolle, Tierfell) gerieben wird, so erfolgt eine Ladungstrennung. Da Bernstein an sich zum Großteil aus einem fossiles Harz (vgl. Kunststoff) besteht, verteilen sich an seiner Oberfläche die negativen elektrischen Ladungsteilchen und reichern sich dort an. Kunststoffe (z.B. PTFE, PE), werden diese an Wolle gerieben, nehmen die negativen Ladungsteilchen auf und verteilen diese homogen an der Reibungsoberfläche, wobei die Elektronen ( $e^-$ ) von der Wolle abgegeben werden und diese sich positiv auflädt. Wird nun ein solcher aufgeladener Kunststoffstab in die Nähe eines dünn fließenden Wasserstrahls gehalten so wird der Wasserstrahl in Richtung Kunststoffstab abgelenkt. Dieser Effekt resultiert daraus, da stark polare Lösungsmittel (z.B. Wasser, Alkohol)  $e^-$  von ihren Atomen loslösen (solvatisierte Elektronen<sup>[13]</sup>) können und da die somit

positiv geladenen Elektronenrümpfe diese fehlende Ladung ausgleichen wollen, zieht es diese zum negativ aufgeladenen Kunststoffstab, um diese von dort abziehen zu können. Dieser Vorgang der Reibungselektrizität beruht auf dem energetisch günstigen Übergang von Elektronen zwischen zwei sich berührenden Stoffen in Folge der Verschiedenheit der Dielektrizitätskonstante. Es gehen solange Elektronen über, bis die sich dadurch aufbauende Potentialdifferenz den Energiegewinn relativiert, wobei für den eigentlichen Effekt der Ladungstrennung zwischen den unterschiedlichen Materialien der Vorgang der Reibung keine Bedeutung hat<sup>[2]</sup>.

### **2.1.2 Die Dynamomaschine und der Elektromotor**

Die Entwicklung der Dynamomaschine ist eng mit der des Elektromotors (E-Motor) verbunden. 1821 stellte der englische Physiker Michael Faraday folgende Experimentanordnung zusammen: Er ließ eine mit einem Schleifkontakt versehene Kupferscheibe zwischen zwei Magneten laufen, ohne dass diese berührt wurden. Die Rotation der Scheibe erzeugte einen elektrischen Strom. Faraday erkannte, dass die Bewegung des Leiters im Magnetfeld eine elektrische Spannung erzeugte. Damit war das Grundprinzip des Dynamos gefunden. Kräftigere Wirkungen als Faraday erzielte 1832 der französische Mechaniker Hippolyte Pixii, der zwei Stabmagneten unter zwei feststehenden Kupferspulen rotieren ließ. Der erste funktionsfähige Generator war gebaut. 1852 machte der Däne Soren Hjort beim Experimentieren mit einem Generator eine wichtige Entdeckung: Er stellte fest, dass die Maschine in der Lage war, sich durch induktives Aufschaukeln von allein zu magnetisieren. Diese Erkenntnis nützte Werner Siemens 1866 bei der Entdeckung des dynamoelektrischen Prinzips: Auch wenn die Erregerbatterie abgeschaltet ist, so liefert ein fremderregter Generator immer noch einen schwachen Strom, der durch den Restmagnetismus im Erregermagneten hervorgerufen wird. Leitet man diesen Strom durch Magnetspulen, so verstärkt sich das Magnetfeld. Es ruft einen noch kräftigeren Strom hervor, der Magnetfeld und induzierten Strom anwachsen lässt. In der Folgezeit durchlief die Dynamomaschine verschiedene Verbesserungen, die sie praxistauglich machten: die wichtigste war die Entwicklung des Trommelankers durch Friedrich von Hefner-Alteneck 1872. Anfang der 1880er Jahre verband Thomas Alva Edison die Dampfmaschine mit einem Dynamo; 1882 errichtete er auf dieser Basis in New York das erste öffentliche Kraftwerk. Andere Anwendungsmöglichkeiten folgten: 1886 kam in England der erste kleine Fahrraddynamo auf den Markt<sup>[15]</sup>.

Wie bereits erwähnt geht die Entwicklung des E-Motor einher mit der der Dynamomaschine, denn der E-Motor konnte seinen technologischen Durchbruch erst mit der Entwicklung von leistungsfähigen Generatoren (vgl. Dynamomaschine), durch Werner von Siemens, patentiert 1866, starten. Bis zu diesem Zeitpunkt war es nur möglich einen E-Motor mit teuren Batterien zu betreiben. Hermann Jakobi etwa betrieb ein Schiff auf der Neva in St. Petersburg mit einem 220W starken, von ihm entwickelten, Jakobi-Motor und legte dabei eine Strecke von 7,5 km bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 2,5 km/h zurück. Als Stromquelle verwendete er eine Zn-Pt-Batterie, wobei beim

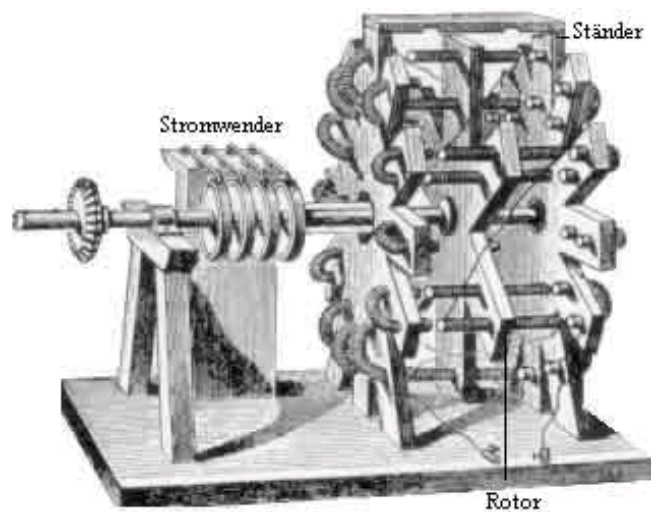


Abb. 4: Darstellung des Jakobi-Motor

Entlade-Vorgang der Batterie das Platin unwiederbringlich, zumindest in dieser Zeit, verloren ging, was somit eine der teuersten Antriebsquellen darstellte<sup>[1]</sup>.

Das elektrodynamische Prinzip ermöglichte Werner von Siemens ebenso die Konstruktion leistungsfähiger Elektromotoren. Schon früh hatte Siemens die Bedeutung des Elektromotors erkannt und seine Entwicklung kontinuierlich fortgesetzt.

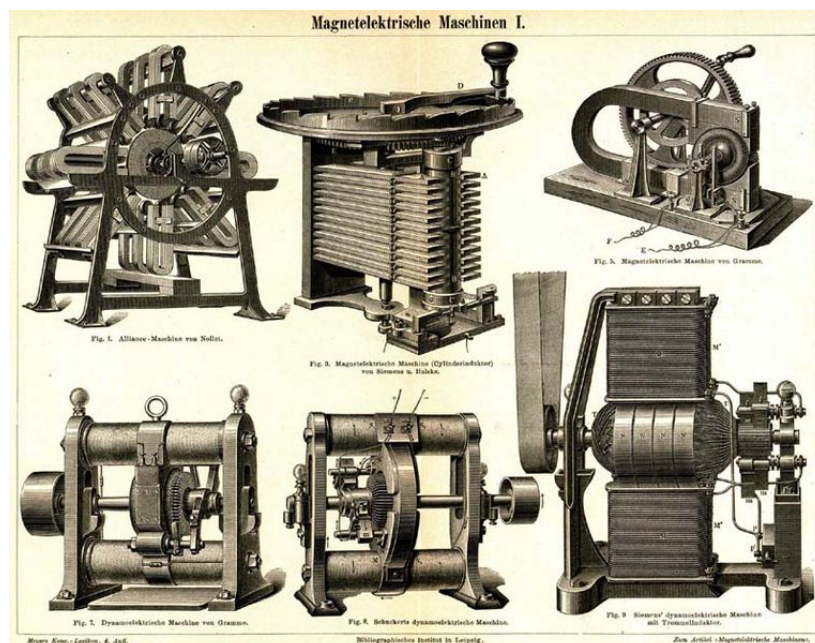


Abb. 5: Magnetoelektrische Maschinen I

So erfand er beispielsweise 1856 den Doppel-T-Anker; 1879 entwickelte die Firma Siemens und Halske die erste elektrische Lokomotive. Als Stromleitungen dienten damals noch die Schienen; Oberleitungen waren noch unbekannt. Ein weiteres Problem war, dass anfangs nur die relativ kompliziert zu bauenden Gleichstrommotoren konstruiert wurden. Zudem treten bei Gleichstrom erhebliche Leistungsverluste beim Transport der elektrischen Energie vom Erzeuger zum Verbraucher auf. 1885 entdeckten aber Tesla (Kroatien) und Ferraris (Italien) unabhängig voneinander das magnetische Drehfeld zeitlich verschobener Wechselströme. Dieses Drehfeld ist in der Lage, einen in seinem Einflussbereich befindlichen, beweglichen Anker in eine Drehbewegung zu versetzen. Damit konstruierte 1889 Dolivo-Dobrowolski (russischer Chefingenieur bei AEG) den ersten gebrauchsfähigen Drehstrommotor<sup>[16]</sup>.

## **2.2 Das Elektrofahrrad**

Die ersten Modelle von Elektrofahrrädern waren bereits ab 1930 auf den Straßen zu sehen. Marktreife Fahrzeuge in größerer Stückzahlfertigung hatten sich in Europa zu Beginn der 70er Jahren des vergangenen Jahrhunderts etabliert. Einhergehend mit der Ölkrise im Jahr 1973 wollten einige Firmen innovative Ansätze hervorbringen um dieser Krise entgegen zu wirken. So z.B. die Fa. SOLO Kleinmotoren Werke in Deutschland welche in Europa als Pionier der Elektromofa-Herstellung zu bezeichnen ist. Mit dem *SOLO electra 720* wurde ein Elektromofa in den Markt eingeführt was mittlerweile durchaus den Status eines Klassikers besitzt. Nicht nur weil dieser als einer der ersten Elektroroller am europäischen Markt eingeführt wurde, sondern auch deswegen, weil durch die solide Stahlrohr-Rahmenkonstruktion dieses Gefährt mehrere Jahrzehnte überdauert hat und auch heute noch viele SOLO-Mofas gebraucht erhältlich sind<sup>[6]</sup>.

### **2.2.1 Chronologische Übersicht der derzeitig am Markt eingeführten E-Roller**

In den folgenden Punkten möchte ich einen Versuch unternehmen eine kleine Auswahl von am Markt befindlichen E-Roller zu präsentieren, ohne den Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben. Dieser Markt für E-Roller und E-Bikes ist ständig im Umbruch, und somit wird dieses Kapitel in meiner Arbeit ewig überarbeitungswürdig bleiben. Dies tut dieser Auflistung jedoch keinen Abbruch, da ich der Meinung bin, dass es sicherlich einige

Modelle gibt die sämtliche Irrungen und Wirrungen auf diesem Gebiet überdauern werden und somit den Status von Klassikern erreichen werden.

### 2.2.1.1 SOLO electra 720

Wie oben bereits erwähnt zählt das SOLO zu einem der ersten am europäischen Markt eingeführten Elektrovehikel. Es wurde Ende 1972 als serienreifes E-Mofa vorgestellt und 1973 in Serie produziert, wobei es auf Anhieb die Bewährungsprobe bestand und die Produktion von zweirädrigen Fahrzeugen der Fa. SOLO sprunghaft ansteigt<sup>[6]</sup>.

Name / Hersteller	SOLO electra 720 / SOLO Kleinmotoren Werke
Anzahl d. Plätze	1
Bremsen	vorne u. hinten Trommelbremse
Leergewicht	68 kg
Zuladung	112 kg
Zul. Gesamtgewicht	180 kg
E-Motor	4-poliger DC-Motor, 24V / 750 W, Bosch typ GPA
Batterie	2 x 12V, 45 Ah, Flüssigelektrolyt-Bleibatterie
Controller	einstufiger Schalter in Verbindung mit Fliehkraftkupplung
Ladegerät	separater 8A Trafolader
Ladezeit	5 - 8h
v-max.	25 km/h
Reichweite	20 - 30 km
Preis	-
Bezugsquelle	nur noch gebraucht

Tab. 1: Technische Daten des SOLO electra 720<sup>[6]</sup>



Abb. 6: Aus Originalprospekt<sup>[A6]</sup>

### 2.2.1.2 HELIO egovehicles

Der HELIO ist einer der energiesparendsten E-Roller. Die amerikanische Firma *egovehicles* konstruierte diesen Roller unter Verwendung extremer Leichtbauweise und greift geschickt auf Fahrrad- und Mofakomponenten zurück. Lieferbar sind drei verschiedene Versionen mit unterschiedlicher Geschwindigkeit<sup>[6]</sup>.

Name / Hersteller	HELIO / egovehicles
Anzahl d. Plätze	1
Bremsen	vorne Scheiben / hinten Backen
Leergewicht	59 kg
Zuladung	114 kg
Zul. Gesamtgewicht	173 kg
E-Motor	DC-Motor, 24V / 1,7 kW,
Batterie	2 x 12V, 34 Ah, wartungsfreier Bleiakku
Controller	-
Ladegerät	integriert, 5 A
Ladezeit	2 - 5 h, Schnellladezubehör 1,5 h
v-max.	20 / 25 / 37 km/h
Reichweite	40 km
Preis	€ 1990.-
Bezugsquelle	<a href="http://www.solar-mobil.de">www.solar-mobil.de</a>

Tab. 2: Technische Daten des HELIO<sup>[6]</sup>



Abb. 7: HELIO ElektrolollerA<sup>[A7]</sup>

### 2.2.1.3 InnoScooter EM-2500-Lithium

Bei diesem Roller kommen statt den klassischen Pb-Akku's, Li-Polymer-Akku's zum Einsatz. Der daraus gewonnene Gewichtsvorteil macht sich natürlich in den Leistungsdaten und der Reichweite bemerkbar, leider aber auch im Preis. Li-Ionen-Akku's besitzen eine Energiedichte von 95 – 190 Wh/kg, im Gegensatz zu Pb-Akku's mit einer Energiedichte von 30 Wh/kg<sup>[21]</sup>.

Name / Hersteller	InnoScooter EM-2500 / Haug und Luithe
Anzahl d. Plätze	2
Bremsen	vorne Scheiben / hinten Trommel
Leergewicht	90 kg
Zuladung	170 kg
Zul. Gesamtgewicht	260 kg
E-Motor	kommutierter Radnabenmotor, 48 V / 2,5 kW
Batterie	48 V, 52,5 Ah, Li-Polymer-Akku
Controller	-
Ladegerät	48 V, 5 A
Ladezeit	6,5 h
v-max.	45 km/h
Reichweite	bis 160 km
Preis	€ 3.190.-
Bezugsquelle	<a href="http://www.inoscooter.de">www.inoscooter.de</a>

Tab. 3: Technische Daten InnoScooter EM-2500<sup>[6]</sup>



Abb. 8: InnoScooter EM-2500<sup>[A8]</sup>

### 3. Experimentelles

Für die Genese dieser Arbeit wurde der chronologische Konstruktionsverlauf in sieben Teilbereiche gegliedert, welche jeweils mit ausreichendem Illustrationsmaterial versehen wurden. In hunderten Photographien und einigen Videoaufzeichnungen habe ich den Entwicklungsprozess festgehalten, welche diesen nicht nur dokumentieren, sondern auch als Grundlage für einen Weiterentwicklungsprozess, dienen sollen. Die Auswahl einiger Photos soll zeigen, wie die Herangehensweise an mein Werkstück von statten ging und einige Entwicklungen zu Gunsten von Verbesserungsideen wieder verworfen wurden. Somit resultierte aus meiner Vorgehensweise ein klassischer PDCA-Kreislauf<sup>[17]</sup> (Plan-Do-Check-Act), welcher einen iterativen vierphasigen Problemlösungsprozess beschreibt der seine Ursprünge in der Qualitätssicherung hat.

Zum Konstruktionstyp meiner Arbeit ist zu erwähnen, dass ich nichtsdestotrotz ein Fahrrad entwickeln wollte, welches durch einem Elektromotor angetrieben ist. Auch wenn dies im finalen Erscheinungsbild nur noch marginal als ein klassisches Fahrrad zu erkennen ist. Es steht jedoch im derzeit gültigen Gesetzestext der StVO keine eindeutige Definition, dass Fahrzeuge mit Elektromotor auch gleichzeitig mit einer Tretkurbel, für den Vortrieb, ausgestattet sein müssen um als Fahrrad zu gelten. Dazu folgender Gesetzestext welcher die Gültigkeit seit 01.09.2009 besitzt<sup>[15]</sup>:

*"Nicht als Kraftfahrzeuge, sondern als Fahrräder im Sinne der StVO 1960 gelten künftig auch elektrisch angetriebene Fahrräder mit einer höchsten zulässigen Leistung von nicht mehr als 600 Watt und einer Bauartgeschwindigkeit von nicht mehr als 25 km/h."*

#### 3.1 Designmodell & Konstruktionsskizzen

Wie bereits in Pkt. 1.1.1 erwähnt, habe ich als Grundlage für meine Arbeit eine entworfene und gefertigte Studie meines Studienkollegen Daniel Rendón Guerrero herangezogen um meiner Arbeit einen Ausgangspunkt zu geben.



Abb. 9: Modellentwurf Daniel Rendón Guerrero

Aufgrund der laufenden technischen Neuerungen stellte sich heraus, dass komplett neue Designansätze nötig sind, und so entwickelte ich ein Cruiser-Modell, basierend auf einem Harley-Davidson-Motorrad. Dieser Ansatz sollte ein Rahmenkonstrukt beinhalten, welches ausreichend Platz für die nötigen Applikationen bietet, wie Motor, Akku, Kraftübertragung, Steuerung und Messinstrumente-Tafel, welche nicht nur untergebracht werden konnten sondern auch mit wenig Zeitaufwand die nötigen Umbauarbeiten ermöglichte.

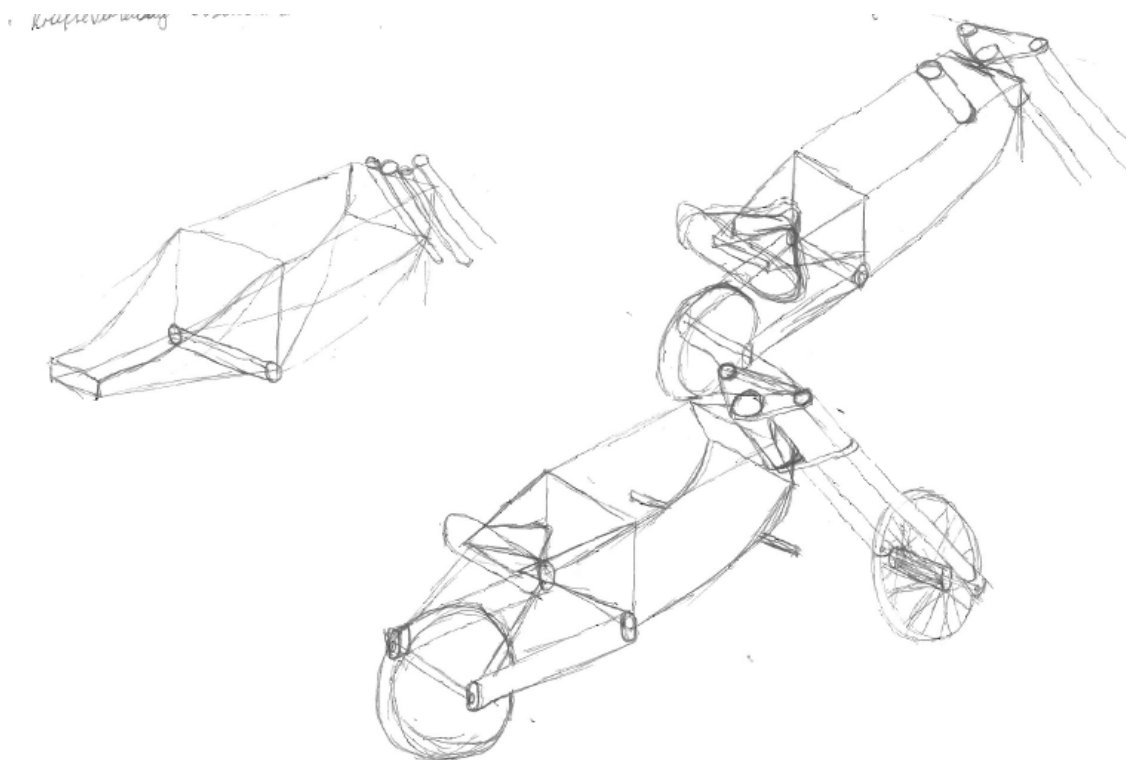


Abb. 10: Entwurfsskizzen Solar-Cruiser

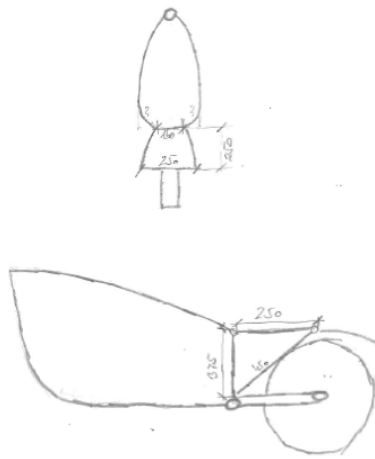


Abb. 11: Planskizze 1

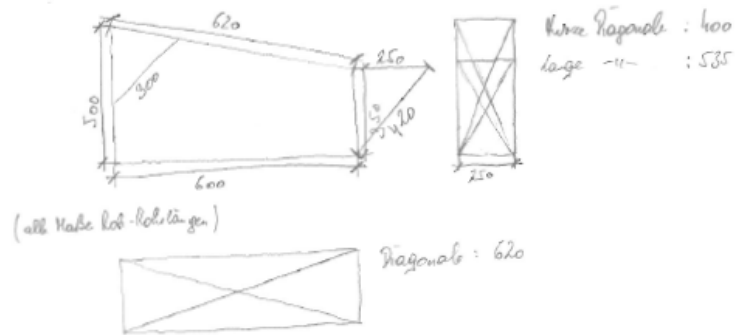


Abb. 12: Planskizze 2

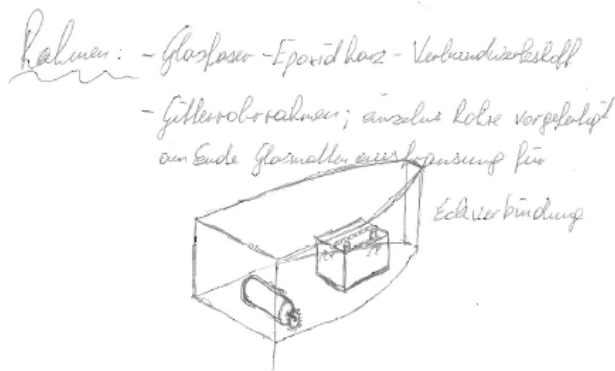


Abb. 13: Planskizze 3

denklopp:



## 3.2 Rahmenkonstruktion

### 3.2.1 Das Grundgerüst

Für die Rahmenkonstruktion habe ich mir als oberstes Ziel zwei Anforderungen gesetzt: leicht und stabil. Aus diesen beiden Eckpfeilern und ökonomischen Überlegungen ergaben sich für mich die Werkstoffe Kunststoff und GEV<sup>[19]</sup>-Werkstoff (Glasfaser-Epoxidharz-Verbund-Werkstoff) als grundlegende Materialien. Hierbei sollte aus PVC<sup>[18]</sup>-Rohren (Polyvinylchlorid-Rohren) das tragende Konstrukt für den GEV-Werkstoff gestaltet werden. Es wurde aus den PVC-Rohren das finale Rahmenkonstrukt gefertigt, indem die Rohre maß genau zugeschnitten und mit PCV-Kleber verbunden wurden, worauf die Glasfasermatten aufgebracht und mit Epoxidharz versiegelt wurden. Alle systemrelevanten Anbauelemente, wie Lenkgestänge oder Radachsen-Aufnahme, wurden in den Rahmen implementiert und mit dem GEV-Werkstoff daran befestigt. Auf diesem Weg sollte eine maximale Festigkeit bei minimalstem Gewicht gewährleistet werden.

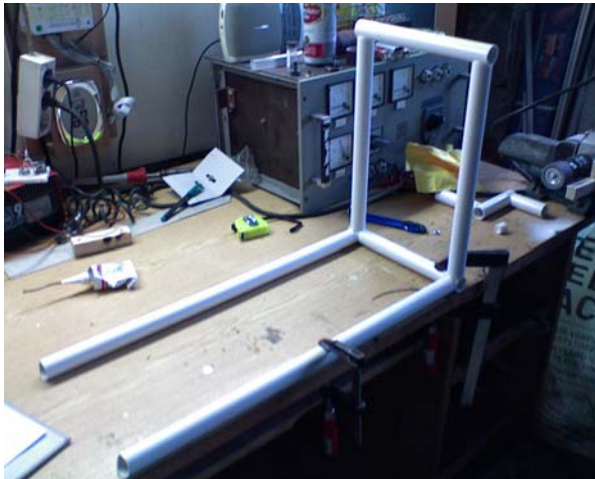


Abb. 14: PVC-Rahmen 1



Abb. 15: PVC-Rahmen 2



Abb. 16: PVC-Rahmen 3

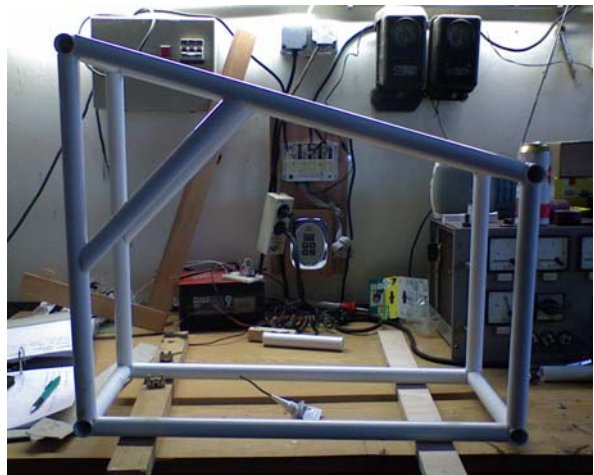


Abb. 17: PVC-Rahmen 4



Abb. 18: PVC-Rahmen 5



Abb. 19: PVC-Rahmen 6



Abb. 20: PVC-Rahmen 7, Radnaben-Aufnahme



Abb. 21: PVC-Rahmen 8

Das Lenkgestänge sowie die Radnaben-Aufnahme wurde aus einem Fahrrad herausgeschnitten und so adaptiert, dass ein passgenaues Verbinden mit der Rahmenkonstruktion möglich wurde. Auch die Gabellänge musste so gestaltet werden, dass durch den vorgegebenen Neigungswinkel des Lenkkopfes eine parallele Position zur Fahrbahnebene gegeben ist.

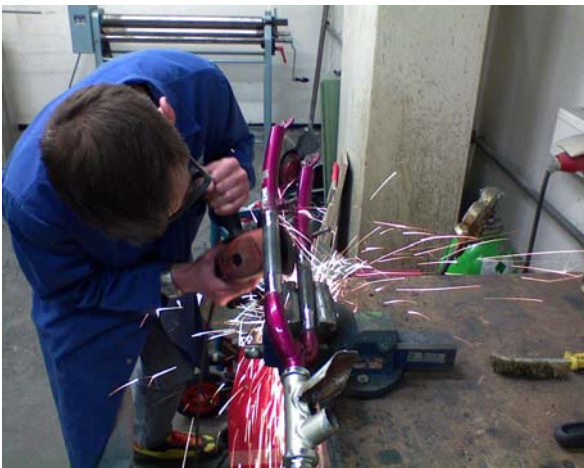


Abb. 22: Lenkgestänge 1



Abb. 23: Lenkgestänge 2

Das Polyestern des Rahmens, zum Erreichen einer höheren Festigkeit und das Verbinden der Anbauelemente hatte in einem Arbeitsschritt stattgefunden.



Abb. 24: Polyestern 1



Abb. 25: Polyestern 2



Abb. 26: Polyestern 3



Abb. 27: Polyestern 4



Abb. 28: Polyestern 5



Abb. 29: Polyestern 6



Abb. 30: fertiges Grundkonstrukt

### 3.2.2 Adaptionen am Grundgerüst

Aufgrund zahlreicher gefahrener Kilometer mit dem Konstrukt der ersten Entwicklungsstufe konnte ich zu den Einsichten gelangen, dass ein alleiniger Gitterrohr-Rahmen aus GEV<sup>[19]</sup>-Werkstoff zwar eine enorm geringe Masse besitzt, jedoch die ausreichende Festigkeit und Duktilität für einen Dauerbetrieb nicht aufweist. Durch andauernde Vibrationen und Fahrbahnunebenheiten wurde der Rahmen nach 350 gefahrenen

Kilometern dermaßen in Mitleidenschaft gezogen, dass die daraus resultierende strukturelle Integrität auf ein so geringes Niveau sank sodass ein L-förmiger Stahlrohr-Rahmen unter das Kunststoffgerüst implementiert werden musste. Dieser Stahlrohr-Rahmen wurde vertikal zwischen Lenkgestänge und Kunststoff-Rahmen und horizontal an der Unterseite bis zur Hinterachse geführt. Am Lenkkopf wurde der Stahl-Rahmen mit dem Lenkgestänge verschweißt und an der Unterseite mittels Schraubverbindungen befestigt. Somit wurde eine ausreichende Festigkeit gewährleistet um das Eigengewicht des Vehikels von 86 kg im Dauerbetrieb fahren zu können. In weiterer Folge ist die verlängerte Fahrrad-Gabel durch das hohe Gewicht ebenfalls gebrochen und wurde durch eine klassische Doppelholm-Gabel ersetzt. Diese Gabelformation bietet eine sehr gute Kräfteverteilung und somit eine sehr hohe Stabilität.



Abb. 31: Stahlrohr-Rahmen



Abb. 32: Gabelbruch

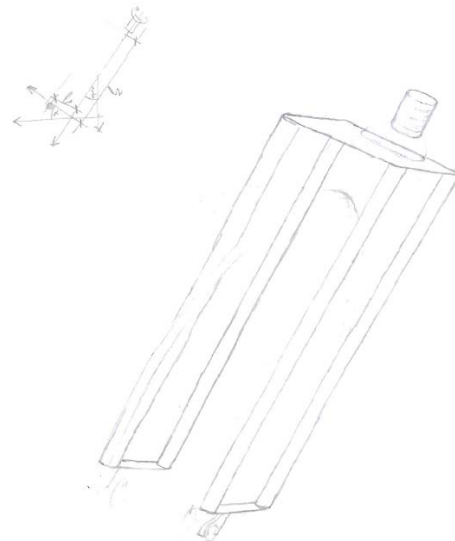


Abb. 33: Planskizze Doppelholm-Gabel



Abb. 34: Gabelumbau



Abb. 35: Doppelholm-Gabel mit Beleuchtungskörper

### 3.2.3 Aufbau der Applikationen

Auf den gefertigten Gitterrohrrahmen (s. Abb. 30) wurde eine Bodenplatte aus trittfestem Alu (Aluminium) eingearbeitet um die einzelnen Komponenten so stabil wie möglich darauf befestigen zu können. Dieses System bot nicht nur eine hohe Stabilität der darauf befestigten Elemente, sondern bei Umbauarbeiten konnte man ohne weiteres so flexibel wie möglich die Module umsetzen und wiederum an der Bodenplatte befestigen. Auch konnte man diese Platte ganz einfach wechseln wenn sich im Zuge der Umbauarbeiten herausstellen sollte, dass das Material einen zu hohen Zerstörungsgrad aufweist indem z.B. schon zu viele Bohrlöcher gesetzt wurden. Diese hohe Flexibilität musste deswegen gewährleistet sein, da mir schon im Vorfeld bewusst war, dass die Adaptionprozesse im weiteren Entwicklungsverlauf ein hohes Maß erreichen.



Abb. 36: Alu-Motorhalterung

In diesem Entwicklungsstadium wurde darauf geachtet, dass die Befestigung der einzelnen Elemente so einfach und funktional wie möglich war. Um den Gitterrohrrahmen so wenig wie möglich zu beeinträchtigen kamen zu diesem Zweck u.a. sehr viele Kabelbinder in den verschiedensten Variationen zum Einsatz. So z.B. wurden Messinstrumente, sofern dies möglich war, einfach in den Freiraum des Rahmens eingelegt ohne eine weitere Befestigungsmaßnahme vorzunehmen. Der Akku wurde einfach auf die Bodenplatte gestellt und mit mehreren ausreichend starken Kabelbinder festgezurrut um ein verrutschen bei Kurvenfahrten zu vermeiden.



Abb. 37: Messinstrumente mit Kurzschlusschaltung

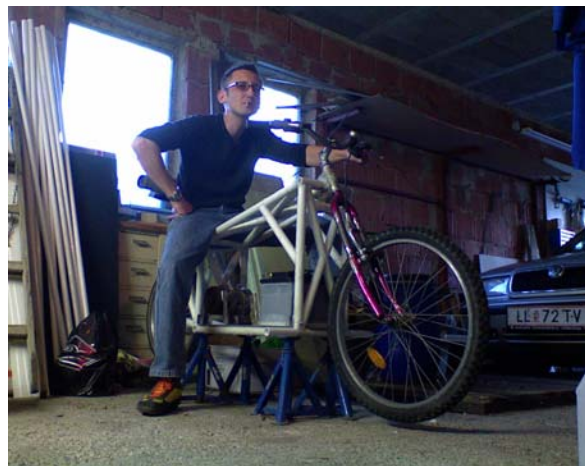


Abb. 38: Akku-Positionierung

Mit diesen Methoden war die erste fahrtüchtige Grundversion sehr einfach gestaltet aber es reichte um mit der Messdatenerfassung im Fahrbetrieb zu beginnen.



Abb. 39: Ausführung der ersten Entwicklungsstufe

### 3.3 Antriebstechnik

Da ich ohne jeglichen Background an technisch umsetzbaren Konzepten an die Arbeit herangegangen bin, habe ich als erstes das Fahrrad-Chopper-Modell von Daniel adaptiert um die aller ersten Messdaten zu erhalten, bezüglich Leistungs- und Konstruktionsanforderungen.



Abb. 40: Umgebaute Design-Studie von Daniel Rendón Guerrero

#### 3.3.1 Grundlegende Ideen zum Antrieb

Der erste Motorisierungsversuch basierte darauf, dass ein Antriebsmotor aus einem elektrischen Rollstuhl auf die Nabe der Tretkurbel angedockt wird. Dieser langsam laufende Motor besitzt eine Drehzahl von 150 U/min bei 24 V Betriebsspannung was einer flotten Tretfrequenz eines Hobby-Radfahrers entspricht. Schon beim ersten Testversuch zeigte sich, dass durch das

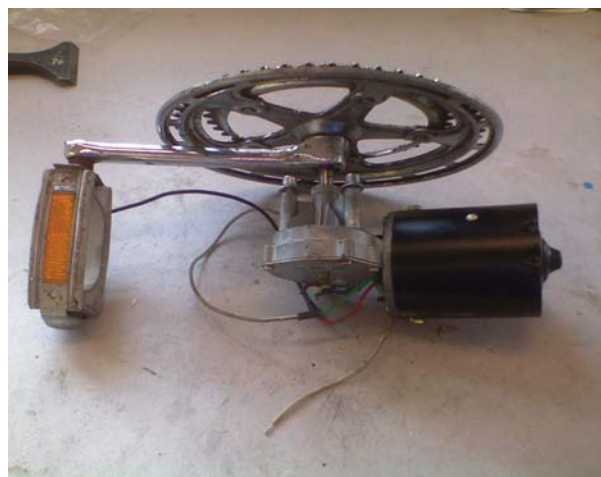


Abb. 41: Montagesystem

zunehmende höhere Eigengewicht des Vehikels der hierbei gewonnene Leistungszuwachs egalisiert wurde da zur Energieversorgung des Motors ein Pb-Akku verwendet wurde.

Aus der hier gewonnenen Erkenntnis bin ich zum mir logischen nächsten Schritt übergegangen, nämlich einen leistungsstärkeren Motor zu verwenden. Ich wollte einen Starter-Motor von einem PKW verwenden und die Cruiser-Konstruktion so adaptieren, dass dieser

funktional montiert werden konnte. Da die Drehzahl eines solchen Motors jedoch bei 1500 U/min. liegt, musste ich ein Untersetzungsverhältnis von 1 : 10 zwischen treibenden und getriebenen Zahnrad einfügen. Bei dieser Antriebsvariante war noch dazu darauf zu achten, dass im Rollbetrieb der Motor nicht als sogenannte "Motorbremse" fungiert, und so musste ich am Motorzahnkranz einen Freilauf anbringen. Dieses Freilauf-System wurde aus einem handelsüblichen Fahrrad entnommen und so ummodelliert dass es an der Ankernabe des Motors befestigt werden konnte.

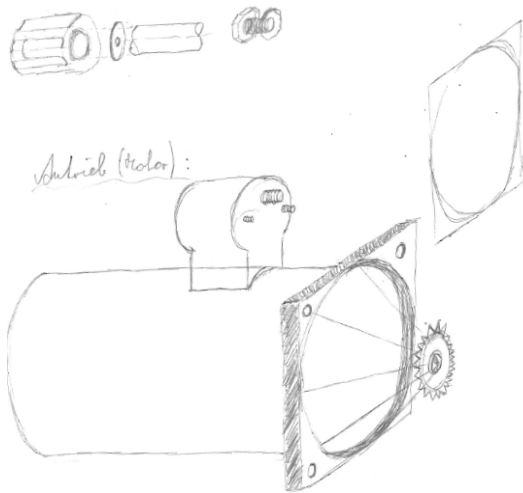


Abb. 42: Freilauf & Anlassermotor

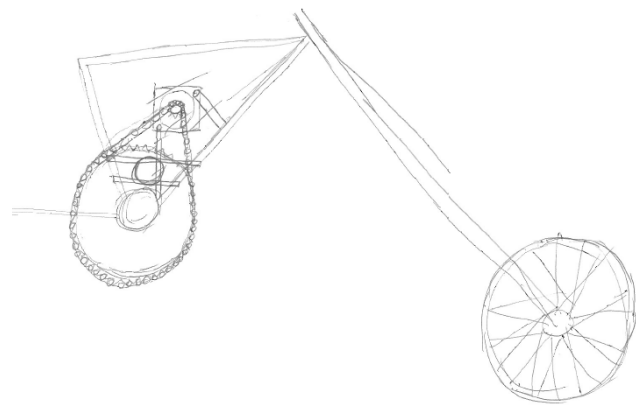


Abb. 43: Konstruktionskizze Anlassermotor

### 3.3.2 Antriebstechnologie des Solar-Cruiser

Nach den ersten Versuchsreihen mit Reihenschluss- und Nebenschlussmaschinen<sup>[20]</sup> konnte ich ausreichend Daten erfassen um zu erkennen, dass Nebenschlussmaschinen für die weitere Antriebsentwicklung die größere Wertschöpfung ergeben. Als klassischer Reihenschlussmotor, auch Universalmotor oder Allstrommotor genannt, ist der Anlasser eines PKW zu betrachten, jedoch sind auch in sehr vielen Haushaltsmaschinen wie Staubsaugermotoren, Küchenmaschinen oder Bohrmaschinen, diese Motoren in Verwendung. Für meine Betriebszwecke schied diese Antriebstechnologie, Reihenschlussmaschine, insofern aus, weil wenn man einen Reihenschlussmotor als Generator (z. B. beim elektrischen Bremsen beim Bergabfahren) betreiben möchte, muss seine Erregerwicklung umgepolt werden. Ansonsten hebt der generierte, durch die Feldwicklung fließende Strom das Erregerfeld auf. Eine solche Zusatzschaltung für meine Zwecke zu entwickeln, überstieg meine elektrotechnischen Kenntnisse bei weitem und somit entschied ich mich mit Nebenschlussmaschinen weiter zu beschäftigen, da es in meiner Konstruktionsidee ein Anliegen war die kinetische Energie beim Bremsen oder Bergabfahren rückzugewinnen.

Als geeignete Nebenschlussmaschinen erschienen mir Dynastart-Motoren<sup>[8]</sup>, welche in den 60-er Jahren des vorigen Jahrhunderts in einigen PKW's als Anlasser und gleichzeitig als Lichtmaschine (vgl. Generator) zum Einsatz kamen. Bei einem Oldtimer-KFZ-Verwertungsplatz wurde ich diesbezüglich fündig und ging sofort an die Arbeit den erworbenen Motor so an mein Vehikel zu adaptieren, dass dieser als Antriebsaggregat verwendet werden konnte. Hierzu musste der Motor in einer Konsole gefasst werden und eine Aufnahme für den Zahnkranz gefertigt werden, der die Kraftübertragung gewährleistete.

Zu Beginn wurde die Befestigungskonsole aus gewinkelttem Alu-Blech gefertigt mit dem Grundgedanken der Gewichtseinsparung. Schon nach dem ersten Probetrieb musste jedoch dieser Ansatz verworfen werden, da die auftretenden Kräfte ein so großes Ausmaß hatten, dass sich die Befestigungskonsole um den Motor wickelte. Im weiteren Verlauf der Arbeiten wurde für solche Applikationsaufbauten ausschließlich Stahl verwendet.



Abb. 44: 12V-Dynastart-Motor-Alu-Konsole



Abb. 45: 12V-Dynastart-Motor-Stahl-Konsole

In der derzeit letztendlichen Ausbauphase befindet sich ein leistungsstärkerer Dynastart-Motor, welcher in einem französischen Panzer als Anlasser bzw. Lichtmaschine (vgl. Generator) im Betrieb war, als Antriebsaggregat in meinem Cruiser. Die höhere Dimensionierung beruhte darauf, weil der Vorgänger-Motor (wie in Abb. 45 zu sehen) eine 12V-Technologie besaß und ich als Mindestansteuerspannung für meine Leistungsregelung 24V benötigte. Kurzzeitig konnte ich jedoch diesen Motor zu 100% überlasten und wertvolle Messdaten erfassen, die für meine weitere Entwicklungsarbeit von großem Wert waren. Es war jedoch vorhersehbar, dass bei einer solch dermaßen großen Überlastung der Motor, im

wahrsten Sinn des Wortes, verheizt wurde und ich einen E-Motor mit entsprechender Lastauslegung zum Einsatz bringen musste.

Der nunmehr verwendete Motor kann mit 24V Spannung betrieben werden und besitzt als vorteilhaftes Feature ein implementiertes Gehäuse für eine Luftstrom-Kühlung. Diese Besonderheit erhöht nicht nur die Lebensdauer des Motors sondern senkt auch den Energieverbrauch im Betrieb, da bei geringerer Temperatur der Innenwiderstand der Ankerwicklung geringer ist und somit weniger elektrischer Strom in Wärme umgewandelt wird. Um diesen Vorteil der Luftkühlung auch zu nutzen habe ich am Lüftungsstutzen einen Ventilator angebracht, welcher grundlegend als Lüftungskühler von PC-Prozessoren diente. Dieser konnte mit einer Betriebsspannung von 12V betrieben werden und passte somit ökonomisch wie funktional hervorragend in mein Konzept.



*Abb. 46: 24V-Dynastart-Motor auf Stahl-Konsole*



*Abb. 47: 24V-Dynastart-Motor am Cruiser*



Abb. 48: 24V-Dynastarter Lüftungsaufbau 1



Abb. 49: 24V-Dynastarter Lüftungsaufbau 2



Abb. 50: 24V-Dynastarter Lüftungsaufbau 3



Abb. 51: 24V-Dynastarter Lüftungsaufbau 4

### 3.3.3 Grundlegende Ideen und Weiterentwicklungen der Kraftübertragung

In der Grundversion wollte ich zur Kraftübertragung einen Kettenantrieb eines Fahrrades verwenden. Hierbei sollte das treibende Zahnrad am Motor mit dem getriebenen Zahnrad am Antriebsrad mit einer Fahrradkette verbunden werden. Diese Lösung ist an sich sehr preiswert und auch logisch funktional. Jedoch stellte sich heraus, dass die frei werdenden Kräfte beim Inbetriebsetzen des Dynarstart-Motors so groß sind, dass dieses System als restlos unterdimensioniert zu betrachten war. Deswegen bin ich sofort zur nächstgrößeren Dimensionierung übergegangen und hatte einen Antriebssatz eines Motorfahrrads (Mofa), Marke Puch Typ Maxi<sup>[13]</sup>, so adaptiert um es an meinem Vehikel einsetzen zu können.

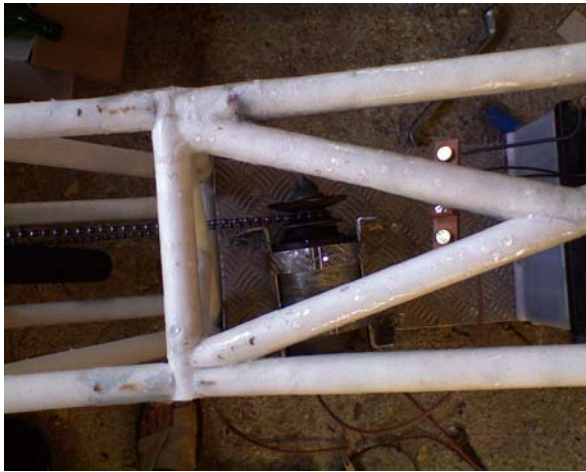


Abb. 52: Fahrradketten-Antrieb 1



Abb. 53: Fahrradketten-Antrieb 2

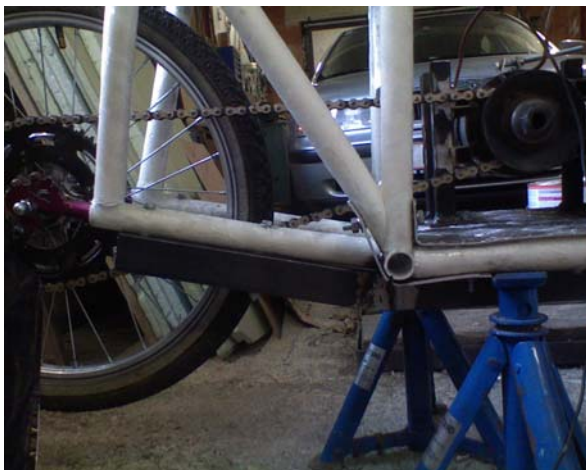


Abb. 54: Mofa-Ketten-Antrieb 1



Abb. 55: Mofa-Ketten-Antrieb 2

Da in der finalen Ausführung wiederum ein leistungsstärkerer Motor zum Einsatz kam, musste auch hierfür wieder eine neue Kraftübertragung, bestehend aus Antriebszahnrad, getriebener Zahnkranz und Antriebskette, entworfen werden. Dieser Elektromotor war in der

Leistung doppelt so stark dimensioniert wie das vorangegangene Antriebsaggregat, der Dynastart-Motor des Puch 500<sup>[14]</sup>. Um bei diesem letztlichen Umbauschritt nicht nochmals einen Rückschlag zu erleiden, habe ich sicherheitshalb auch die Kraftübertragung um eine Stufe größer gewählt und als am besten passendes Produkt erschien mir ein Kraftübertragungs-Satz eines Geländemotorrades der Marke KTM 350<sup>[16+17]</sup>. Dies zeigte sich bei mir deswegen am zweckmäßigsten, da für diesen Umbau nur geringfügige Fräsarbeiten am treibenden Zahnrad nötig waren und ich so relativ rasch meine Adaptionen fortsetzen konnte.



Abb. 56: Fräsarbeit am treibenden Zahnrad



Abb. 57: Aufbausystem für die Ankernabe 1



Abb. 58: Aufbausystem für die Ankernabe 2



Abb. 59: Aufbausystem für die Ankernabe 3



Abb. 60: Aufbausystem für das getriebene Rad 1



Abb. 61: Aufbausystem für das getriebene Rad 2



Abb. 62: Aufbausystem für das getriebene Rad 3



Abb. 63: Endmontage der Kraftübertragung

### 3.4 Steuerung

Die Steuerung war das technologisch komplexeste Teilelement meiner Arbeit. Ich hatte sehr hohe Ziele und wollte diese auch alle umsetzen. Meine Anforderungen waren:

- eine stufenlose Regelung des Motorstrom
- eine größtmögliche Verlustfreiheit des zu regelnden Stromes
- einen so einfach wie möglichen Vorgang beim Regeln ("gasgeben")
- die Regelung eines größtmöglichen Stromflusses
- das Rückgewinnen von kinetischer Energie in elektrische Energie
- und eine höchstmögliche Kompaktheit der Bauform

Um alle diese Eckdaten in meiner Leistungsregelung zu vereinen war mir schon zu Beginn bewusst, dass es mehrere Entwicklungsstufen beim Anfertigen dieser Steuerung geben

musste. Die Grundsteinlegung für diesen Entwicklungsprozess konnte ich ermöglichen, indem ich bei der Fa. Energie AG ein 4-wöchiges Praktikum absolvierte und meine erste PWM-Steuerung<sup>[4]</sup> (Pulsweitenmodulations-Steuerung) anfertigen konnte. Im Prinzip basiert diese Art der Regelung darauf, dass sehr große Ströme über einen extrem niedrigohmigen Transistor mit sehr hoher Frequenz, also in sehr kurzen Abständen, ein und aus geschaltet werden. Aufgrund dieser hohen Taktfrequenz von 20.000 Hz (Herz), also 20.000 Ein- u. Ausschaltprozesse in einer Sekunde, ist es möglich, verschieden große Ströme über den Transistor zu leiten ohne dass der Motor in Mitleidenschaft gezogen wird, also zu "stottern" beginnt. Dieser "ultimative Trick" wird dadurch ermöglicht, weil ein Elektromotor ein zu träges System ist um in so kurzer Zeit die Lastwechsel zu erkennen. Diese Art von Steuerung wird auch "Metall Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor" Steuerung (MOSFET-Steuerung) genannt. Der Vorteil dieser Steuerung liegt in ihrem extrem hohen Wirkungsgrad von 99% und in der kompakten Bauteil-Konzeption.

Bei den ersten beiden Entwicklungsstufen der Steuerung hatte ich mich mit diesem Thema eingehendst beschäftigt. Ich konnte dadurch nicht nur die theoretischen Grundlagen einer solchen Steuerung studieren, sondern bekam auch vertiefende Einblicke in die Funktionsweise und die zusammenhängenden Problematiken meiner Anforderungen und den damit verbundenen technischen Umsetzungen. Schlussendlich musste ich auf fertige Konzepte von einschlägigen Spezialisten auf diesem Sachgebiet zurückgreifen, da meine elektrotechnischen Kenntnisse hierfür bei weitem nicht ausreichten.

### **3.4.1 MOSFET-Steuerung: 1. Generation**

Nach ausführlichen Recherchen und Interviews mit Studienkollegen und Professoren des Instituts für Mechatronik und Halbleiterphysik, sowie einschlägigen Elektronikern in der Industrie, bin ich zu der Erkenntnis gekommen, dass in einem so hoch technologischen Land wie Oberösterreich wenig Personen zu finden sind, welche sich mit dieser Materie auseinandersetzen. Durch Zufall konnte ich mittels einen Freund Hr. Johann Wengler, Leiter der Elektrowerkstatt des DKW-Riedersbach (Dampfkraftwert) in der Fa. Energie AG, kennen lernen wo ich, wie bereits erwähnt, in einem Praktikum mit seiner und der Unterstützung der Fa. Energie AG die ersten Erfahrungen im Bau einer solchen Steuerung sammeln konnte.

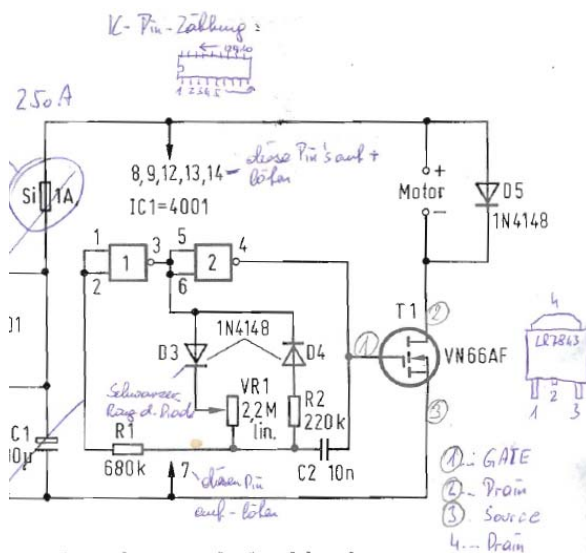


Abb. 64: Schaltbild der PWM 1. Generation

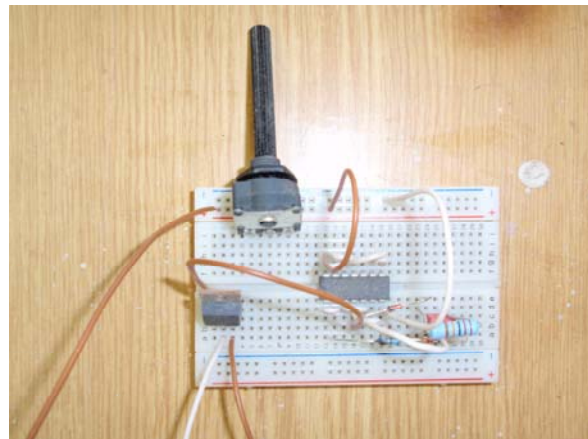


Abb. 65: PWM am Steckbrett gefertigt

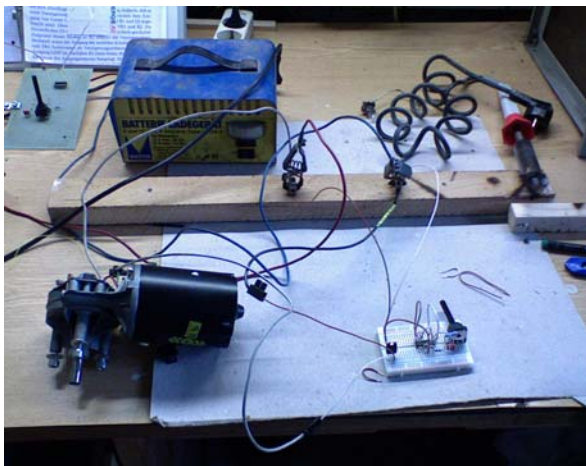


Abb. 66: Testbetrieb



Abb. 67: Verlöten der PWM auf eine Platine

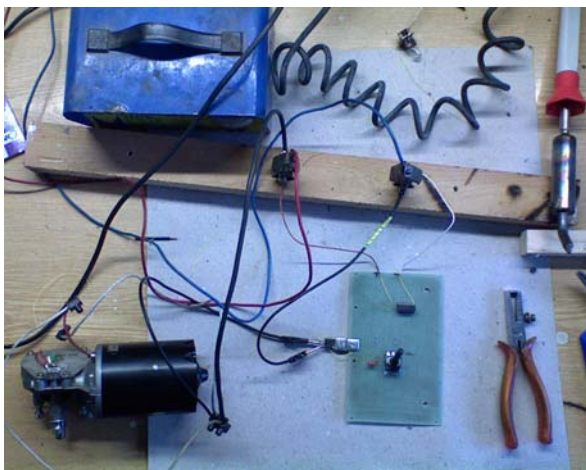


Abb. 68: Testbetrieb der verlöteten PWM

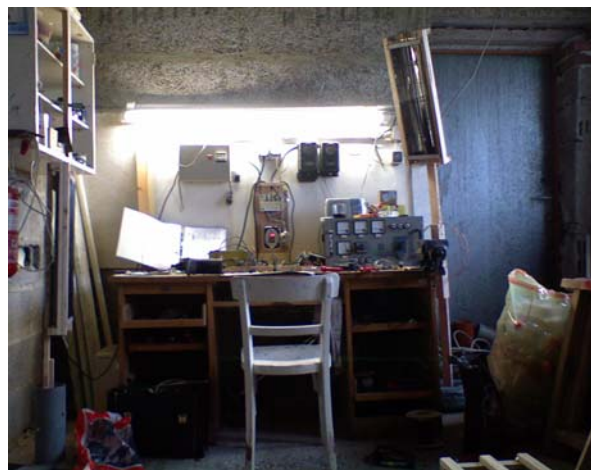


Abb. 69: Arbeitsplatz in Garage meines Elternhauses

### 3.4.2 MOSFET-Steuerung: 2. Generation

Basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen in der Fa. Energie AG, habe ich mich bemüht die nächste Entwicklungsstufe der Steuerung zu konstruieren und zu fertigen. Die ersten beiden Entwicklungsstufen sind relativ detailliert dargestellt, da ich durch meine persönliche Fertigung umfassendes Datenmaterial zusammen tragen konnte. Bei der Weiterentwicklung der Steuerung in diesem Stadium ist es hauptsächlich darum gegangen, dass mehr Leistung, also höhere Ströme, geregelt werden konnten. Kriterien wie Energie-Rückgewinnung und größtmögliche Verlustfreiheit bei der Stromregelung wurden hier noch außeracht gelassen. Zum Vergleich der Steuerung der 1. Generation ist schon am Schaltbild zu erkennen, dass bei größerer Leistungsfähigkeit die elektronische Komponentenzusammensetzung sehr viel komplexer wird, die Baugröße jedoch ziemlich ähnlich bleibt. Um die größeren Leistungen auch ohne Zerstörung der Steuerung übertragen zu können, wurde eine sogenannte Endstufe (Parallelschaltung mehrerer MOSFET's<sup>[4]</sup>) benötigt.

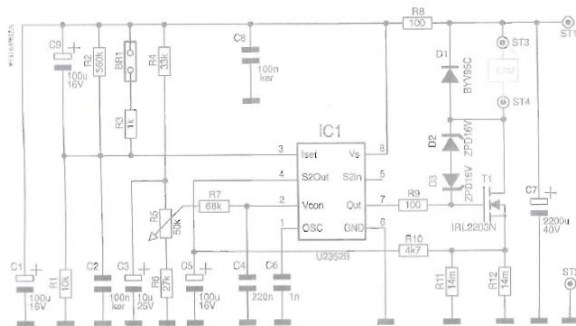


Abb. 70: Schaltbild der PWM 2. Generation

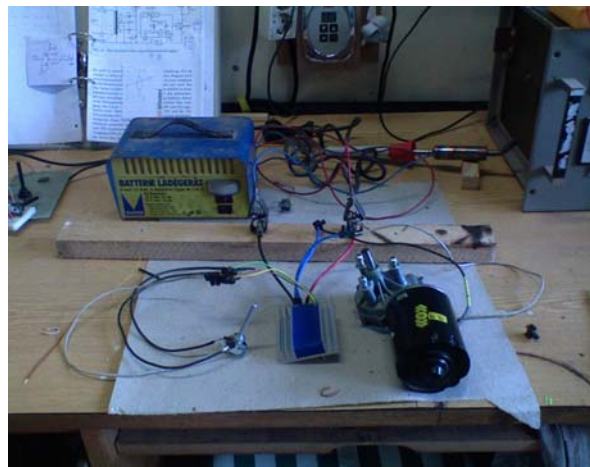


Abb. 71: PWM der 2. Generation im Testbetrieb

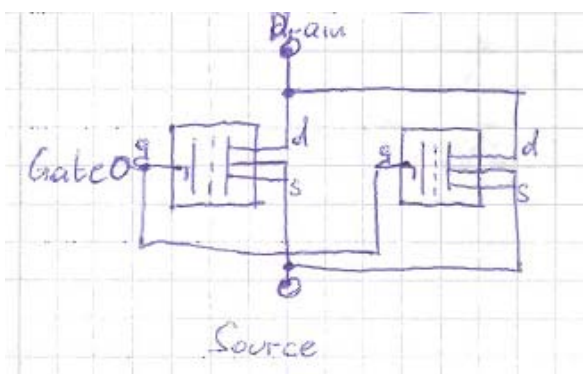


Abb. 72: Schaltbild MOSFET-Parallelschaltung

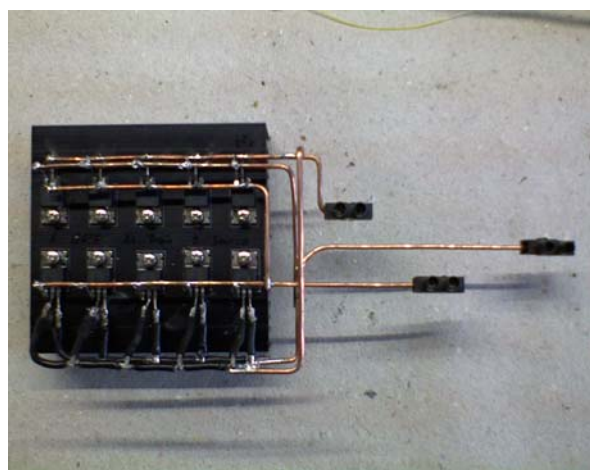


Abb. 73: gefertigte Endstufe auf Kühlkörper

### 3.4.3 MOSFET-Steuerung: 3. Generation

Die letzte und derzeit im Einsatz befindliche Ausbaustufe der Steuerung kann nur sehr allgemein dargestellt werden, da es sich hierbei um einen Zukauf der Fa. Kruspan Engineering handelte. Diese Leistungsregelung basiert grundlegend ebenfalls auf der MOSFET-Technologie und ist im Stande alle meine bereits erwähnten Anforderungen unter Pkt. 3.4 zu erfüllen.



Abb. 74: PWM der 3. Generation 1



Abb. 75: PWM der 3. Generation 2

### 3.5 Derzeitiges Gesamterscheinungsbild

Die derzeitige Fertigungsstufe ist als Prototyp-Modell zu betrachten. Bei einer weiteren Entwicklung der Bau- bzw. Karosserieform kann eine solche Bauform, unter Einbeziehung der erworbenen Problemkenntnisse, gestaltet und gefertigt werden. Die einzelnen Bauteil-Module können, je nach Anforderung, "drag & drop" übernommen werden. Auf diese Weise wird ein Prototyp geschaffen, welcher als Basis für eine Serienfertigung dienen kann.



Abb. 76: Endausbauphase Stand Mai 2010

### 3.6 Die Solar-Module

Sogenannte Minipanele können in den verschiedensten Bauformen und Leistungsklassen für die Reichweiten-Verlängerung verarbeitet werden. Dazu wird rund um den Rohrrahmen eine Verkleidung aus GEV<sup>[19]</sup>-Werkstoff gefertigt und die Panele werden darauf angebracht. Die Panele werden in einer Gegenreihenschaltung mit den Akku's verbunden und können so bei Lichteinstrahlung die Akku's aufladen.

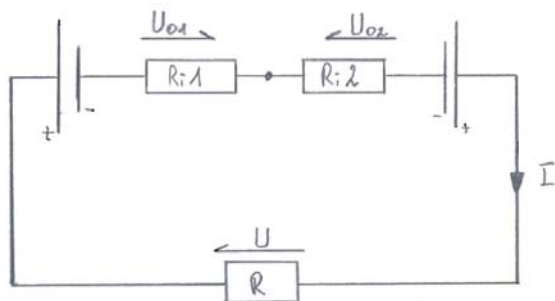


Abb. 77: Schaltbild Gegenreihenschaltung



Abb. 78: Solarmodul für 12 V Akku's<sup>[A78]</sup>

Bei Parallel- und Serienschaltung von Solarzellen ist zu beachten, dass die Wirkspannung ausreichend hoch zu dimensionieren ist. Diese muss auf jeden Fall höher sein als die Nominalspannung der zu ladenden Akkumulatoren. Die dabei nötige

Mindestspannungsdifferenz ist für jeden Akku individuell zu errechnen. In den Datenböthern der jeweiligen Module ist meistens eine Leerlaufspannung (Spannung unter lastfreier Messung) angegeben, welche von der Wirkspannung (Spannung unter belasteter Messung) divergiert. Die Wirkspannung ist somit geringer, wobei diese Leistungsunterschiede durchaus 20% betragen können. Diese Differenz ist auf die unterschiedlichen Qualitäten der verschiedenen Solarmodule zurückzuführen.

Berechnungsgrundlage für die Mindestspannungsdifferenz:

$$I \cdot R + U_{01} + I \cdot R_{i1} + I \cdot R_{i2} - U_{02} = 0$$

$$U_{02} - U_{01} = I \cdot (R_{i1} + R_{i2}) + I \cdot R$$

$$U_{02} - U_{01} \dots U_{ges.}$$

$$R_{i1} + R_{i2} \dots R_{ges.}$$

### **3.7 Messdatenerfassung**

Zur Erfassung der Messdaten wurden ein Voltmeter, zwei Amperemeter und ein Tachometer in eine Anzeigenkonsole eingearbeitet, mit dem Ziel die Leistungsdaten im Lastbetrieb zu erhalten. Das Voltmeter wurde parallel zur Stromquelle angeschlossen und diente dazu um den Ladezustand der Akku's zu überwachen. Die Amperemeter dienten zur Beobachtung des fließenden Stromes, der zum einen aus den Akku's abfließt und zum anderen vom Motor aufgenommen wird. Dieser Stromfluss divergiert insofern, da sich die MOSFET-Steuerung zwischen den beiden Messstellen befindet und wie unter Pkt. 3.4 bereits erwähnt eine PWM den Stromfluss immer an- und abstellt. An den Amperemeter-Anzeigen wurde diese Eigenschaft der Steuerung insofern ersichtlich, dass bei konstantem Stromfluss, also bei gleichbleibender Geschwindigkeit, der abfließende Strom aus den Akku's mit dem aufnehmenden Strom des Motors genau um den Faktor 2 korrelierte. Wurde der Stromfluss erhöht, also beim Beschleunigungsprozess, begannen die beiden unterschiedlichen Stromflüsse sich zueinander zu konvergieren.

Name / Hersteller	Umbau Designstudie Daniel Rendón Guerrero / Gerd Granner
Anzahl d. Plätze	1
Bremsen	vorne Trommel / hinten V-Break-Backen
Leergewicht	48 kg
Zuladung	-
Zul. Gesamtgewicht	-
E-Motor	Anlasser-Motor, 12 V / 1,4 kW
Batterie	12 V, 74 Ah, Pb-Akku
Controller	Kurzschluss-Steuerung
Ladegerät	12 V, 9 A
Ladezeit	8 h
v-max.	45 km/h
a-max.	2,2 m/s <sup>2</sup>
Reichweite	bis 37 km

*Tab. 4: Technische Daten Fahrrad-Cruiser-Umbau*

Name / Hersteller	1. Gitterrohr-Rahmen-Modell / Gerd Granner
Anzahl d. Plätze	1
Bremsen	vorne V-Break-Backen / hinten -
Leergewicht	56 kg
Zuladung	-
Zul. Gesamtgewicht	-
E-Motor	Dynastart-Motor, 12 V / 2,2 kW
Batterie	12 V, 74 Ah, Pb-Akku
Controller	Kurzschluss-Steuerung
Ladegerät	12 V, 9 A
Ladezeit	8 h
v-max.	45 km/h
a-max.	1,5 m/s <sup>2</sup>
Reichweite	bis 40 km

*Tab. 5: Technische Daten erstes Rahmen-Modell*

Name / Hersteller	Solar-Cruiser, Endausbaustufe / Gerd Granner
Anzahl d. Plätze	1
Bremsen	vorne V-Break-Backen / hinten Scheiben
Leergewicht	86 kg
Zuladung	140 kg
Zul. Gesamtgewicht	226 kg
E-Motor	Dynastart-Motor, 24 V / 3,9 kW
Batterie	24 V, 74 Ah, Pb-Akku
Controller	MD95-206, MOSFET-Steuerung
Ladegerät	2 x 12 V, 9 A
Ladezeit	8 h
v-max.	65 km/h
a-max.	0,75 m/s <sup>2</sup>
Reichweite	bis 70 km

*Tab. 6: Technische Daten finale Ausführung*

## **4. Anwendungen in der schulischen Praxis**

### **4.1 Theorien zu Einsichten in die KFZ-Technologien**

Für die Umsetzung einzelner Arbeitsschritte meines Projekts in den schulpraktischen Unterricht, werden hier einige Methoden vorgestellt wie diese den Schülern abschnittsweise vorgetragen werden können um Einsichten zu erlangen, dass sie in einem Gesamtkonzept fähig sind, ein Vehikel, ähnlich meiner Diplomarbeit, erstellen zu können. Für ein schlüssiges Gesamtkonzept welches im Unterricht, sowohl in der Unterstufe wie in der Oberstufe, erarbeitet werden kann, würde sich der werkpädagogische Klassiker "Go-Kart" anbieten. Hierbei können SchülerInnen Einsichten über Techniken, Werkstoffe und Motivationen in der Entwicklung von Kraftfahrzeugen erlangen, insbesondere im Designen von personalisierten Fahrzeugtypen sowie die Problematiken auf die zu achten ist wenn funktionstüchtige Prototypen erstellt werden. Da bekanntlicherweise ein Modellversuch ein abstrahierter Prozess zur Entwicklung eines Prototypen ist, kann hierbei auf notwendige weiterführende mechanische und physikalische Notwendigkeiten verzichtet werden, welche erst bei Belastungstests, im lebensgroßen Maßstab, benötigt würden. Denn erst dann, wenn man eigenständig mit der Problematik von Detaillösungen konfrontiert wurde, kommt man zur Erkenntnis, dass diese Detaillösungen unumgänglich sind für das Funktionieren eines

Systems in der realen Welt. Und diese Lösungen mindestens ebenso viel Aufmerksamkeit und "Know-How" abverlangen wie die Ideenfindung und der Entwurf.

## 4.2 Die didaktische Analyse

Zu der didaktischen Analyse sei vorausgeschickt, dass kaum neuere Ideen oder wissenschaftliche Forschung aus unserem Fachbereich vorzufinden sind. Hat sich doch seit dem Werkpädagogischen Kongress 1966 in Heidelberg, der Grundsteinlegung für unser heutiges "Technisches Werken"<sup>[9]</sup>, einiges verändert! Aber wie sooft reagieren wir eher gemütlichen Österreicher nicht darauf, dass im Nachbarland – wie übrigens in den meisten europäischen Ländern – die WE im Sekundarbereich der höheren Schulen eliminiert wurde<sup>[10]</sup>, der große Markt weg brach und somit auch keine deutschen fachdidaktischen Schriften mehr erscheinen und die fachlich anregende und austauschende Diskussion verstummte.

Wer bestimmt nun die Themen des TWE an unseren Schulen? Der vorgeschriebene Lehrplan und die Auswahl der LehrerIn, die aus Erfahrung annimmt zu wissen, was SchülerInnen interessiert, seine mal mehr, mal weniger besuchten Fortbildungsveranstaltungen an Pädagogischen Instituten und hin und wieder einfließende Wünsche der SchülerInnen – oft aber nur der Schulbedarf-Versandkatalog.

Sollen wir nur Lehrpläne erfüllen oder bei den SchülerInnen dort anknüpfen, wo ihre wirklichen Interessen und Fähigkeiten liegen – ohne unsere Ziele aus den Augen zu verlieren? Wollen wir mittels dieser intrinsischen Motivation mit begeisterten WerkerInnen arbeiten, sie unterstützen und ihre eigene Kreativität begreifbar zu realisieren? Ich schon!

Was aber interessiert SchülerInnen der 5. und 6. Schulstufe wirklich, das wir mit Werken abzudecken imstande wären? Frei an unsere drei Fachbereiche (Gebaute Umwelt, Produktgestaltung – Design, Technik) anknüpfend, wurde in Zusammenarbeit mit StudentInnen der Pädak Salzburg (HS, Techn. WE, Fachdidaktik) und der Universität Mozarteum, Abt. XI für Kunst- und Werkpädagogik (Seminar: Grundlagen der WE 2, im WS 00/01) ein Fragebogen erstellt, ausgegeben und ausgewertet<sup>[11]</sup>. Ein Ziel war der Vergleich der SchülerInneninteressen mit der Lehrplanrealität. Hierzu wurden 500 SchülerInnen der 5. und 6. Schulstufe befragt.

Zur Auswertung kann qualitativ gesagt werden, dass im Teilbereich Gebaute Umwelt Themen wie *"warum ein Torbogen nicht einstürzt, ein Kran nicht knickt oder ein Dach so hohe Schneelasten tragen kann"*, im Teilbereich Produktgestaltung – Design Themen, wie

*"Gegenstände selbst entwerfen, gestalten und herstellen"* und im Teilbereich Technik Themen, wie *"in eigener Erfinderwerkstätte Dinge erforschen und erfinden oder einfache Geräte und Maschinen selbst zu entwickeln und zu bauen"* in der "Hit-Liste" ganz weit oben bzw. ganz oben rangieren<sup>[12]</sup>.

Somit bin ich der Überzeugung, dass ich mit den Themenbereichen welche meine Diplomarbeit umfassen, einen Großteil der SchülerInnen ansprechen kann und es für mich ein Leichtes sein wird, sie für diese Themen zu begeistern und zu motivieren.

Die folgenden Unterrichtskonzepte sind nicht zwingend aufeinander aufbauend, sie sind eher als Einzelmodule zu betrachten die nicht in chronologischer Reihenfolge abgehandelt werden müssen. Sie sollen eher als Einführung in den Teilbereich "Technik" des technischen Werkunterrichts dienen und einen Überblick darüber verschaffen was unter dem Begriff "Technik" alles betrachtet werden kann. Ebenso sollen die unterschiedlichen Konzepte zeigen, dass die Abgrenzungen von Techniken und Technologien eher fließend verlaufen und im Kontext zueinander stehen. Prinzipiell soll der Teilbereich Mechanik von Konstruktionssystemen der Getriebetechnik handeln, sowie Energieumwandlungsmethoden und –systeme beschreiben. In einem weiteren Teilbereich der Mechanik, der Kinematik, wird allgemein der Bewegungsablauf von Körpern beschrieben, sowie der Einfluss auf das Milieu, in dem diese sich befinden und bewegen. In einem weiteren Teilbereich der Technik, der Elektronik bzw. Elektrotechnik, sollen Grundlagen vermittelt werden wie "was eine elektrische Anlage ist, wofür diese verwendet werden kann und zu welchen Leistungen sie fähig ist".

## **4.3 Unterrichtskonzepte**

### **4.3.1 Arbeiten mit Verbundwerkstoffen (Gebaute Umwelt)**

Motivation:

➤ Ziele:

Schüler soll Einsichten erlangen, was Verbundwerkstoffe sind, sie soll verstehen wo die Vorteile und Nachteile liegen, sie können selbstständig beschreiben, was ein Verbundwerkstoff ist

➤ Inhalte:

Produktdesign, Materialkunde, Gestalten von tragfähigen Körpern, Funktion des entworfenen Produkts, Sicherheitsaspekte, Beispiele für Verbundwerkstoffe (Stahlbeton, Glasfaser-Verbundwerkstoff, etc.)

➤ Medien:

Infoblatt-Werkstoffe, Bildmaterial, Internet, Beamer

➤ Methoden:

Projektvorstellung, Tafelbild, Infoblatt-Besprechung

Planung & Durchführung:

➤ Ziele:

Erkennen was eine Designstudie ist, welche Inhalte eine Planskizze benötigen, Kontext zum Alltag erstellen; Planlesen können

➤ Inhalte:

Arbeitsmaterial vorbereiten, erstellte Arbeitsliste abarbeiten, nach Plan fertigen, Umgang mit Gefahrenstoffen und Entsorgung

➤ Medien:

Planskizze, Infoblatt, Mitschrift, Werkstoffe, Werkzeug

➤ Methoden:

Erarbeitete Kriterienliste besprechen, Arbeitsschritte besprechen, Verarbeitungshinweise erläutern

Fertigstellung & Kontrolle:

➤ Ziele:

Zusammensetzen der Einzelteile, verarbeiten der einzelnen Komponenten zu einem Verbundwerkstoff, erläutern wie das gestaltete Produkt zum Einsatz kommt

➤ Inhalte:

Argumentation, Fehlerquellen verifizieren, Belastungstest, Anwendungsmöglichkeiten

➤ Medien:

Planvorlage, Werkstoffe, Verwendungskonsole, Testwerkzeuge

➤ Methoden:

Überwachte Einzel- und Teamarbeit, Argumentations-Brainstorming, interaktiver Unterricht

Testen & Bewerten:

➤ Ziele:

Kurzpräsentation des erstellten Designobjekts, Üben des freien Sprechens, Testen und Auswertung der Kriterienvorlage

➤ Inhalte:

Erarbeitete Fakten vortragen, Erläuterung persönlicher Aspekte und Beweggründe

➤ Medien:

Produktmodell, Kriterienkatalog, Planskizze, vorbereitete und tatsächliche Arbeitsschritteliste

➤ Methoden:

Produktmodell mittels Schülerpräsentation erläutern, Schülerbesprechung

### **4.3.2 Die Kraftübertragung (Technik – Mechanik)**

Motivation:

➤ Ziele:

Einführung in die Mechanik, erkennen wie Kraft übertragen werden kann, Einsichten zu Über- bzw. Untersetzungsverhältnisse erlangen

➤ Inhalte:

Darstellen von Über- bzw. Untersetzungsverhältnisse, Darstellung von Übertragungsmöglichkeiten, beschreiben von Antriebsmethoden

➤ Medien:

Infoblatt, Zahnrad-Baukasten, Overhead-Projektor, Fahrrad

➤ Methoden:

Vortrag, Gruppenarbeit

Planung & Durchführung:

➤ Ziele:

Erstellen von Ideenskizzen einer Maschine mit mindestens zwei Maschinenelementen, verstehen was die Hauptbestandteile einer Maschine sind, erkennen wie mechanische Arbeitsvorgänge ablaufen, Problematik eines reibungslosen Ablaufs erkennen

➤ Inhalte:

Mittels Ideenskizze ein 2-D Modell aus Pappe erstellen, testen und verbessern der Modellvorlage, planen eines funktionstüchtigen 3-D Modells, fertigen des Werkstücks, erstellen einer Arbeitsschritte-Liste

➤ Medien:

Infoblatt-Kraftübertragung, Mitschrift, Tafelbild, Modellplan

➤ Methoden:

Schülerarbeit, Einzelbesprechungen, wiederholtes Erläutern von Arbeitsprozessen

Fertigstellung & Kontrolle:

➤ Ziele:

Fügen der einzelnen Komponenten zu einem Ganzen, erkennen vor Endfertigung auf reibungslosen Lauf des Systems zu achten, Einsicht erlangen wie eine Verbesserung Wirkung zeigt

➤ Inhalte:

Fehlererkenntnis, Argumentation, handwerkliche Kompetenz, testen und verbessern

➤ Medien:

Modell, Einzelarbeit, Werkstück, Planskizze

- Methoden:

Einzelbesprechung

Testen & Bewerten:

- Ziele:

Verständnis für leichten und flüssigen Bewegungsablauf, Unterschiede erkennen zwischen bewussten und weiteren nötigen Arbeitsschritten, erkennen wo exaktes Arbeiten erforderlich ist

- Inhalte:

Mittels Prüfkriterienliste die Funktionalität ermitteln, was bestimmt eine reibungslose Funktionalität, Rückblick über gewollten und ungewollten Arbeitsaufwand

- Medien:

Bewertungsblatt, Planskizzen, 2-D Modell

- Methoden:

Gegenseitiges bewerten in 2-er Gruppen, Bewertungskriterien erläutern

### **4.3.3 Designmodelle zu Zweirädern (Design)**

Motivation:

- Ziele:

Verstehen wie ein Designprozess abläuft, Einsichten erlangen wie Zweiräder hergestellt werden

- Inhalte:

Erläutern wie ein neues Design für ein Zweirad entsteht, was sind die Eckpunkte einer Designarbeit

- Medien:

Notebook, Beamer, Bildmaterial

➤ Methoden:

Vortrag, Bildmaterialbesprechung

Planung & Durchführung:

➤ Ziele:

Es sollen ein fiktives und ein reales Modell designt werden, kombinieren beider Studien zu einem Entwurfsplan

➤ Inhalte:

Am eigenen Körper Maß nehmen für eine günstige Ergonomie, vermessen eines mitgebrachten Fahrrades, Maße auf persönlich günstigste Ergonomie bringen, vertraut machen mit Eigenschaften eines Fahrrades, Maßstabsgetreue Planskizze erstellen auf Basis des Designentwurfs

➤ Medien:

Fahrrad, Entwurfsskizze

➤ Methoden:

Einzelarbeit

Fertigstellung & Kontrolle:

➤ Ziele:

Erstellen eines maßstabgetreuen Modell mittels Entwurfsskizze, Einsichten erlangen in die Detailarbeit einer Formgebung

➤ Inhalte:

Konstruktion eines Modell mittels Ton oder Plastilin, Abbilden des fertigen Modells aus verschiedenen Blickwinkeln

➤ Medien:

Planskizze, Ton oder Plastilin, Zeichenutensilien

➤ Methoden:

Einzelarbeit, Einzelbesprechungen

## Testen & Bewerten:

- Ziele:

Erwerben von Kritikfähigkeit, Verstehen von Beurteilungskriterien, Wichtung von Urteilkriterien eines Designs

- Inhalte:

Das gestaltete Modell wird den Mitschülern präsentiert, Kritiken werden besprochen und argumentiert

- Medien:

Designmodell, Entwurfs- und Planskizzen

- Methoden:

Schülerpräsentation

### **4.3.4 Das Solar-Auto (Technik & Design)**

#### Motivation:

- Ziele:

Es soll ein zweispuriges Vehikel designt und als Modell konstruiert werden, die Antriebskraft soll aus einer Solarzelle generiert werden welche einen E-Motor antreibt; erstellen eines frei gewählten Design- und Konstruktionsentwurfes; einsichten erlangen in einfachste elektrische Schaltanordnungen

- Inhalte:

Wesentliche Komponenten eines Kraftfahrzeuges bestimmen, Teileliste erstellen, Designüberlegungen erarbeiten

- Medien:

Tafelbild, KFZ-Modell, Beamer, Infoblatt-Elektronik

- Methoden:

Vortrag, Modellstudie

## Planung & Durchführung:

### ➤ Ziele:

Verstehen wie Design- und Konstruktionsentwurf in einer Planskizze vereinigt wird, erstellen einer Arbeitsschritt- und Teilelist, verstehen wie wesentliche Komponenten eines Kraftfahrzeuges angeordnet gehören und was diese bewirken, Einsichten erlangen in die Grundlagen der Elektrotechnik

### ➤ Inhalte:

Fertigen von Konstruktionselementen mittels Planskizze, funktionales Verbinden der Einzelteile, einfache elektrische Schaltung konstruieren und fertigen

### ➤ Medien:

Skizzen und Entwürfe, KFZ-Modell, Infoblatt, Arbeitsblatt

### ➤ Methoden:

Vortrag, Einzelbesprechung, Tafelbild

## Fertigstellung & Kontrolle:

### ➤ Ziele:

Unterschied zwischen Design- und Fertigungsarbeit erkennen, Kriterien eines funktionalen Modell erarbeiten und beschreiben, Wissen über die Notwendigkeit des Verbesserungsprozesses erhalten, den Umgang mit elektrischen Bauteilen erlernen

### ➤ Inhalte:

Passgenaues Arbeiten, testen und verbessern, Bauteilmodifikation

### ➤ Medien:

Konstruiertes Modell, Infoblatt, Planskizze

### ➤ Methoden:

Einzel- und Teamarbeit, Individualbesprechung

Testen & Bewerten:

➤ Ziele:

Einsichten erlangen wie ein erstellter Arbeitsplan zeitgerecht ausgeführt wird, dokumentieren einer Entwicklungsarbeit, Leistungsfähigkeit des eigenen Produkts erstellen, Wertschöpfung der Umbauarbeiten beschreiben

➤ Inhalte:

Testphasen dokumentieren, Testergebnis mit MitschülerInnen vergleichen, Endprodukt präsentieren und Idee erläutern

➤ Medien:

Modell, Mitschriften, Skizzen, Bewertungsblatt

➤ Methoden:

SchülerInnen-Präsentation, Teamarbeit

### **4.3.5 Darstellen von elektronischen Schaltungen (Technik – Elektronik)**

Motivation:

➤ Ziele:

Erkennen wie elektronische Schaltungen eingesetzt werden können, Verstehen wofür elektronische Schaltungen benötigt werden, Einsichten erlangen was alles geregelt werden kann und wie

➤ Inhalte:

Überblick wie Schaltungen aufgebaut sind, was ist Gleichstrom (DC) und Wechselstrom (AC), Möglichkeiten der Regelung von AC/DC

➤ Medien:

Infoblatt-Elektronik, Beamer, Tafelbild, Modell einer Schaltung, Schaltbild der zu fertigenden Anordnung

➤ Methoden:

Vortrag

Planung & Durchführung:

➤ Ziele:

Verstehen wie ein Steckbrett bedient wird, Grundlagen erwerben für das Verlöten von Bauteilen, Einsichten im Lesen von Schaltplänen erlangen, Erkennen wie Löten funktioniert

➤ Inhalte:

Vorgegebene Schaltung am Steckbrett erstellen, Testbetrieb am Steckbrett, Anordnung auf Printplatte verlöten,

➤ Medien:

Schaltplan, Infoblatt, Bauteile, Tafelbild

➤ Methoden:

Einzelarbeit, Individualbesprechungen, Teamarbeit

Fertigstellung & Kontrolle:

➤ Ziele:

Schaltung funktionstüchtig zusammenstellen, beim Verlöten die Bauteile nicht beschädigen, Fehlersuche erlernen

➤ Inhalte:

fertige Schaltung in Betrieb setzen und auf Funktionalität prüfen, Fehlersuche

➤ Medien:

Verarbeitete Printplatte, Infoblatt, Schaltplan

➤ Methoden:

Einzel- und Teamarbeit

## Testen & Bewerten:

### ➤ Ziele:

Einsichten erlangen in Testkriterien um eine Funktionalität einer elektronischen Schaltung beschreiben und bewerten zu können, erkennen was die erfassten Messdaten aussagen

### ➤ Inhalte:

Testergebnisse dokumentieren und auswerten, gefertigte Schaltung mit Schulkollegen vergleichen und Synergien erarbeiten

### ➤ Medien:

Schaltungsplatine, Mitschriften, Schaltplan, Bewertungsblatt, Messdatenaufzeichnung

### ➤ Methoden:

SchülerInnen-Präsentation, Teamarbeit

## 5. Literaturverzeichnis

- [1] Pryor **Dodge**, Faszination Fahrrad, Delius Klasing, Bielefeld, 2007
- [2] Paul A. **Tipler**, Physik, Spektrum Akad. Verl., Heidelberg, 1994
- [3] Helmut Eichlseder et al, Grundlagen und Technologien des Ottomotors, Springer Verl., Wien New York, 2007
- [4] Robert A. Penfold, VMOS-Schaltungen, Franzis-Verlag GmbH, München, 1983
- [5] Gunnar Fehlau et al, Das E-Bike, Delius Klasing, Bielefeld, 2009
- [6] Niels A. Fries, Das Praxisbuch für Elektromotorroller, Books on Demand GmbH, Norderstedt, 2008
- [7] Jürgen Stoffregen, Motorradtechnik, GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2006 (e-book)
- [8] Karl-Heinz Dietsche et al, Kraftfahrtechnisches Taschenbuch, Friedr. Vieweg & Sohn Verlag, Wiesbaden, 2003
- [9] Fritz Kaufman et al, Werkerziehung in der technischen Welt, Klett Verlag, Stuttgart, 1967
- [10] Hubert Fenzl, Stundenentwicklung unserer Fächer im europäischen Raum, Tagungsbericht Bökwe Fachtagung, Wien, 1996
- [11] Fragebogen mit Auswertungstabellen auf der Homepage für TWE, Salzburg abrufbar: <http://www.land.salzburg.at/schule/faecher/tew/mundwerk.html>
- [12] Rudi Hörschinger, Die schülerorientierte technische Werkerziehung, BÖKWE 4/2002
- [13] David M. Manuta et al, *Inorg.Chem.* **1983**, 22, 3825.
- [14] Henning Boëtius, Geschichte der Elektrizität, Belz & Gelberg, Weinheim, 2006
- [15] Hans J. Braun, Die 101 wichtigsten Erfindungen der Weltgeschichte, Verlag C. H. Beck OHG, München, 2005
- [16] Achim Brunnermeier, Über die Geschichte des Elektromotors, persönliche Homepage, Lehrer am Gymnasium Donauwörth, Pyrkstockstrasse 1 D-86609 Donauwörth

- [17] Edwards W. Demring, Out of the Crisis, Massachusetts Institute of Technology, Center of Advanced Educational Services, Cambridge, 1986
- [18] Wilhelm Keim, Kunststoffe, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co KGaG, Weinheim, 2006
- [19] Engelbert Westkämper et al, Einführung in die Fertigungstechnik, B.G. Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2006
- [20] Hans O. Seinsch, Grundlagen elektrische Maschinen und Antriebe, B.G. Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH, Stuttgart 1999
- [21] L. F. Treub, P. Rüetschi, Batterien und Akkumulatoren, Springer Verlag, 1998

## 6. Abbildungsverzeichnis

Hier nicht gelistete Abbildungen stammen aus meinem persönlichen Aufzeichnungsarchiv welche direkt bei der gesetzten Bildposition nummeriert und beschrieben sind.

- [A2] 10. Tagung "Der Arbeitsprozess des Verbrennungsmotor", TU Graz, Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik, 22./23.09.2005, Graz
- [A3] Abschlussbericht – Umweltauswirkungen der demografisch begründeten Verkehrsentwicklung in Sachsen, Eigenforschungsvorhaben des LfUG, 01.2003 – 12.2004, Landesamt für Umwelt und Geologie, Freistaat Sachsen
- [A4] Physik-Web, Rupprecht-Gymnasium, Albrechtstrasse 7, 80636 München
- [A5] Meyers Konversationslexikon, Buch 11, 4. Auflage, Bibliographisches Institut, Leipzig, 1885-90
- [A6] <http://www.solo-germany.com/>
- [A7] <http://www.solar-mobil.de/helio/index.shtml?navanchor=1010028>
- [A8] <http://www.innoscooter.de/de/Modelle.html>
- [A78] [http://www.conrad.at/ce/de/product/112232/SOLARMODUL-FUeR-12-V-AKKUS/SHOP\\_AREA\\_17618&promotionareaSearchDetail=005](http://www.conrad.at/ce/de/product/112232/SOLARMODUL-FUeR-12-V-AKKUS/SHOP_AREA_17618&promotionareaSearchDetail=005)

## 7. Internet-Bezugsquellen

- [11] [http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web\\_ph10/geschichte/09emotor/emotor.htm](http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph10/geschichte/09emotor/emotor.htm)
- [12] <http://www.brunnermeiers.de/kasim/seite6.htm>; Gymnasium Donauwörth
- [13] <http://www.puchklub.at/forum/read.php?2,43622>
- [14] <http://www.mueller-kfz.at/index.php?site=30>
- [15] <http://www.arboe.at/7758.html>
- [16] <http://www.motorrad-kettensatz.de/afam-kettenrad/kettenrad-motorrad-KTM-350-ccm.htm>
- [17] <http://www.btspowerbike.com/motorrader/600ccm/ktm-gs-350.html>