

Energie-Multicenter

Projektlabor 2007 Sommersemester

**Fachgebiet Elektrotechnik
Fakultät IV – TU-Berlin**
Stand: 22.07.2007

- Betreuer -
Holger Gaul ▪ Kathleen Jerchel ▪ Johannes Twittmann
Prof. Manfred Krumm

Inhaltsverzeichnis

1. Allgemeines zum Projekt	4
1.1 Einführung	4
1.2 Projektbeschreibung	5
1.3 Blockschaltbild.....	6
1.4 Bedienungsanleitung.....	7
1.4.1 Bedienung der Platinen von Gruppe 1	7
1.4.2 Bedienung der Platinen von Gruppe 2	10
1.4.3 Bedienung der Platine von Gruppe 3.....	13
2. Aufteilung der Gruppen	15
2.1 Vorstellung und Beschreibung der Aufgaben	15
2.2 Vorstellung der Gruppe 1 - Dynamo und Zwischenspeicher	16
2.3 Vorstellung der Gruppe 2 - Solarzelle und Akkuladung	18
2.4 Vorstellung der Gruppe 3 - DC/DC Wandlung	20
3. Entwicklung	23
3.1 Schnittstellen	23
3.1.0 Schnittstellenübersicht	23
3.1.1 Schnittstelle 1	24
3.1.2 Schnittstelle 2	24
3.1.3 Schnittstelle 3	24
3.1.4 Schnittstelle 4 und 5.....	24
3.1.5 Schnittstelle 6	25
3.2 Busbelegung	26
3.2.1 Busübersicht.....	26
3.3 Gehäuse.....	29
4. Gruppe 1 - Dynamo und Zwischenspeicher	31
4.1 Blockschaltbild.....	32
4.2 Dynamo.....	33
4.3 Gleichrichterschaltung	36
4.4 Überladeschutz	38
4.4.1 Takter.....	40
4.4.2 Referenzspannung	40
4.4.3 Komparator	40
4.4.4 Delta U	40
4.4.5 Abschaltlogik.....	40
4.4.6 Timer.....	40
4.4.7 LED Anzeige.....	40
4.5 Akkumulator und Akkuplatine	47
4.6 Ladestandsanzeige	49
4.7 Timerschaltung	52
4.8 Tiefentladeschutz.....	54

4.9 Platinenaufteilung	60
4.10 Bestückungspläne der Platinen	65
4.11 Eagle 3D-Platinen Gruppe 1	68
4.12 Gesamtschaltbild Gruppe 1 in Eagle Schematic	69
5. Gruppe 2 - Solarzelle und Ladung	70
5.1 Blockschaltbild und Frontplatte	70
5.2 Solarzelle	71
5.3 Anzeigeschaltung	78
5.3.1 Blockschaltbild	79
5.3.2 Theoretische Beschreibung	82
5.4 Ladeschaltung	84
5.4.1 Blockschaltbild	84
6. Gruppe 3 – DC/DC Wandlung	90
6.1 Beschreibung	90
6.2 Schaltungen	91
A / Blockschaltbild	91
B / Schaltung	92
6.3 Sägezahngenerator	93
6.4 PI-Regler	96
6.4.1 Subtrahierer:	97
6.4.2 Nicht invertierender Verstärker	98
6.5 Komparator & C-D-Beschaltung	99
6.5.1 Komparator	99
6.5.2 C-D-Beschaltung	101
6.6 Treiberschaltung (4049) und Schalter (MOS-FET)	102
6.6.1 Treiberschaltung(4049) :	102
6.6.2 Das MOS-FET :	103
6.7 Sperrwandler	104
7. Abbildungsverzeichnis	111

1. Allgemeines zum Projekt

1.1 Einführung

Das Projektlabor ist eine Veranstaltung für Studierende der Elektrotechnik im Grundstudium. Über das ganze Semester wird hier ein selbst erdachtes Projekt realisiert. Im ersten Termin wurden von allen, die eine Idee hatten, Projektvorschläge geäußert und letztendlich nach KO-System abgestimmt bis nur noch ein Projekt übrig war, das Energie-Multicenter.

Ziel des Projektlabors ist die Realisierung eines Projektes, in dem das erworbene theoretische Wissen aus den Vorsemestern praktische Anwendung finden soll. Die Aufgaben werden auf verschiedene Gruppen aufgeteilt, wodurch sich die jeweiligen Gruppen auf ihre Aufgaben konzentrieren können. Aufgrund der Größe des Projektes lernen die Studierenden viel über Projektmanagement und Teamarbeit, was sie zugleich auf ihre berufliche Zukunft vorbereitet, in der sie diese Fähigkeiten besitzen müssen. Als Einzelgänger werden sie nicht weit kommen.

Die Studierenden sind in diesem Labor auf sich selbst gestellt und müssen alles selbst organisieren. In jeder Gruppe gibt es zwar Betreuer, die allerdings nur im Hintergrund agieren und für hauptsächlich technische Fragen zur Verfügung stehen.

Der Erfolg des Projektes hängt folglich vom Ehrgeiz und Engagement der Gruppenmitglieder ab.

(Autor: Roman Wangelow)

1.2 Projektbeschreibung

Sparsam mit Energie umzugehen ist eine wichtige Agenda.

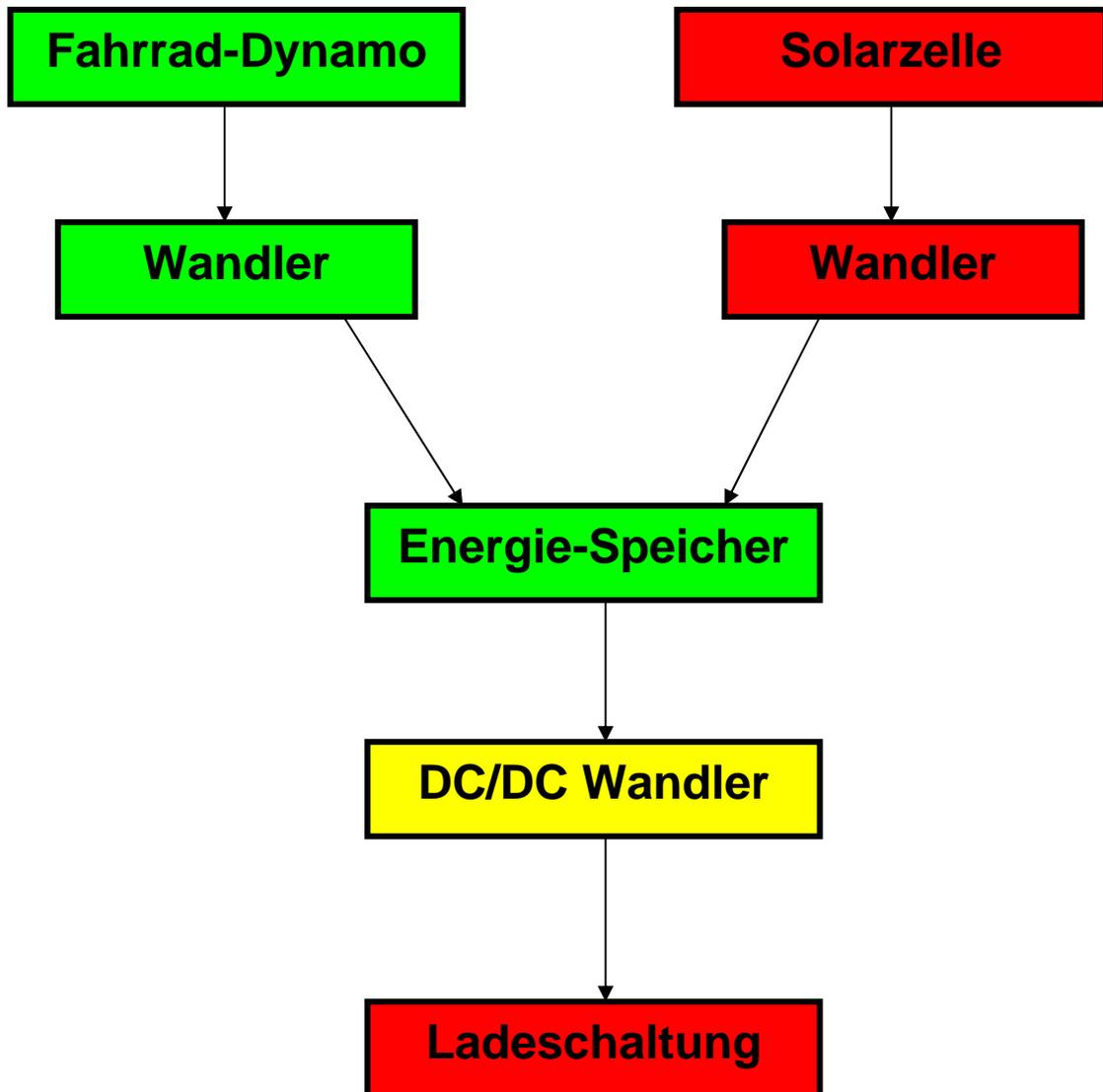
Jedes Jahr werden immer wieder Themen wie z.B. die Förderung umweltfreundlicher Energienutzung, besserer Umgang mit natürlichen Ressourcen in der Politik diskutiert.

Wie wird unsere Welt in 10 Jahren aussehen, wenn sich keiner Gedanken um die sparsame Energieversorgung macht?

Deshalb haben sich die Spezialisten des Projektlabors 2007 (Projektorientiertes Praktikum im Grundstudium) vorgenommen, die Weltneuheit Energie-Multicenter, das Projekt, das im Laufe von drei Monaten entstehen wird, zu schaffen.

Das Energie-Multicenter speichert Energie aus einem Dynamo und aus einer Solarzelle in Akkus und kann bei Bedarf verschiedene Verbraucher versorgen. Es ist praktisch, vielseitig, umweltfreundlich und benutzt alternierende Energiequellen.

1.3 Blockschaftbild



-  Dynamo und Zwischenspeicher
-  Solarzelle und Akkuladung
-  DC/DC Wandler

Abbildung 1: Blockschaftbild

Im Blockschaltbild ist schematisch dargestellt wie das ganze Projekt aufgeteilt ist. Es ist klar, dass bei einem so großen Projekt eine Aufteilung vorgenommen werden muss.

In den Blöcken sind die einzelnen Arbeitspakete enthalten und über die Pfeile sind die Schnittstellen oder Beziehungen zwischen den einzelnen Arbeitspaketen bzw. Schaltungen dargestellt.

Die grün gefärbten Blöcke wurden von Gruppe 1, die Roten von Gruppe 2 und die Gelben von Gruppe 3 bearbeitet.

Die Schnittstellen und Arbeitspakete werden in folgenden Kapiteln weiter spezifiziert.

1.4 Bedienungsanleitung

Nun zur Anleitung wie das Gerät zu bedienen ist.

1.4.1 Bedienung der Platinen von Gruppe 1

An **Platine 1** von Gruppe 1, worauf der Tiefentladeschutz und die Gleichrichterschaltung zu finden sind, ist an dem Frontpanel (Frontplatte) ein Schalter zum Ein/Aus schalten des Dynamos. D.h. man kann mit dem Schalter die Stromversorgung aus dem Dynamo kontrollieren.



Abbildung 2: Foto Platine 1 (Front+Seitenansicht)

Des Weiteren, befinden sich diverse Bedienelemente an der Frontplatte der **Platine 2** (von Gruppe 1). Auf der Platine 2 sind die Akkuladestandsanzeige und der Überladeschutz zu finden.



Im oberen Bereich ist ein Taster zu finden (der rote Knopf). In der Mitte sind vier Leuchtdioden angebracht und im unteren Bereich ist ein weiterer Taster mit integrierter roter Leuchtdiode.

Bei betätigen des roten Tasters leuchtet, für ca. 3sec, eine der vier LED's auf und symbolisiert auf diese Art den Ladestand des Akkus. (weitere Informationen im Kapitel 4.6 Ladestandsanzeige)

Der untere weiße Taster ist ein Reset-Taster. Wenn das Gerät betriebsbereit ist, und der Akku geladen werden soll, muss der Taster gedrückt werden, bis die integrierte rote LED aufleuchtet.

Wenn die LED leuchtet, wird so die Ladebereitschaft des Akkus signalisiert, d.h. der Akku kann geladen werden. Erlischt die rote LED, so bedeutet das, dass der Überladeschutz

Abbildung 3: Foto Platine 2 (Front)

gegriffen hat und der Akku voll geladen ist, und nicht weiter geladen werden kann.

Folglich, muss man den weißen Taster wieder betätigen um den Akku erneut zu laden. Solange der Überladeschutz greift, heißt das, dass der

Akku noch zu sehr geladen ist und die rote LED wird bei drücken des Tasters nicht rot aufleuchten. Man muss also warten bis der Akku wieder etwas entladen ist.

An der [Platine 3](#), auf der sich die 10 Akkuzellen befinden, befindet sich am Frontpanel ein Schalter. Mit diesem Schalter kann man den Akku entweder EIN oder AUS schalten. Wenn er ausgeschaltet ist, ist der Akku komplett von dem ganzen Gerät galvanisch getrennt. Diese Funktion bietet sich immer dann an, wenn man das Gerät für eine länger Zeit (>20min) nicht benutzt. Und wenn der Schalter auf EIN ist, dann ist das ganze Gerät betriebsbereit und alle Schaltungen werden mit Strom versorgt.



Abbildung 4: Foto Platine 3 (Front+Seitenansicht)

1.4.2 Bedienung der Platinen von Gruppe 2

Vorerst sind hier die Frontplatten zu sehen

Frontplatte Nr. 1

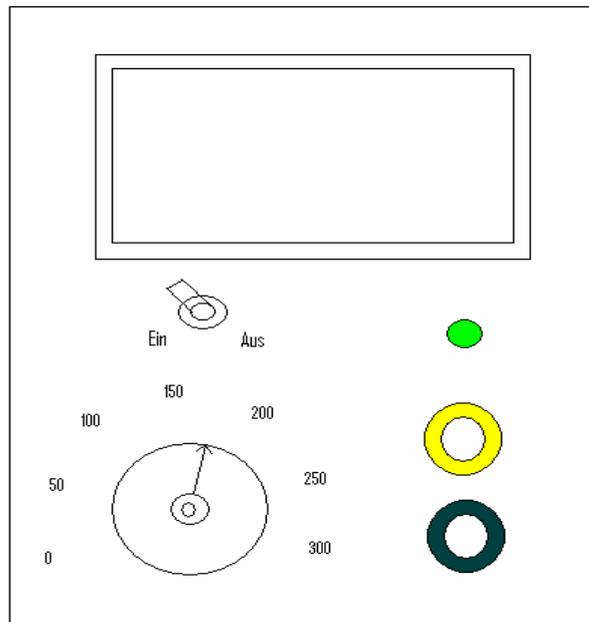


Abbildung 5: Frontplatte Nr.1 - Gruppe 2

Frontplatte Nr. 2

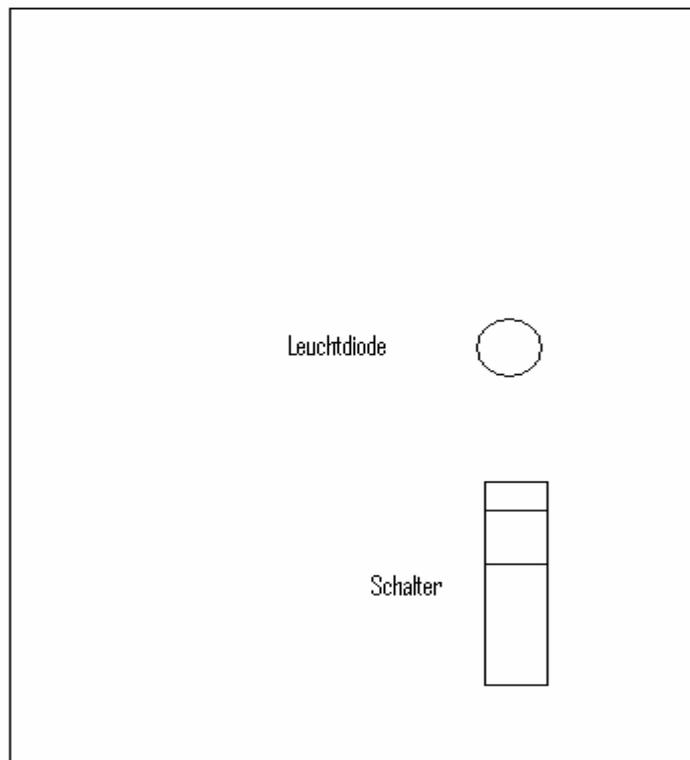


Abbildung 6: Frontplatte Nr.2 - Gruppe 2

Die Solarzelle speichert die Solarenergie und liefert der Schaltung eine Spannung von 16V Die Ladeschaltung wird von dem Zwischenspeicher

Theoretische Beschreibung der Frontplatten.

Frontplatte 1 für die Solarzelle:

Auf der Frontplatte befinden sich 2 Anschlüsse für die Solarzelle, einmal eine schwarze und einmal eine gelbe. Der schwarze Anschluss ist für den negativen potential und der gelbe ist für den positiven.

Auf der Oberen Hälfte der Frontplatte befindet sich eine Anzeige, die den Strom anzeigt der zu dem Zeitpunkt gerade von der Solarzelle fließt. Diese Anzeige kann man auch mit einem Schalter EIN / AUS.

Des Weiteren gibt es eine Leuchtdiode die dann leuchtet, wenn der Strom der über das Potentiometer eingestellt wurde auch erreicht wird.

z.B.

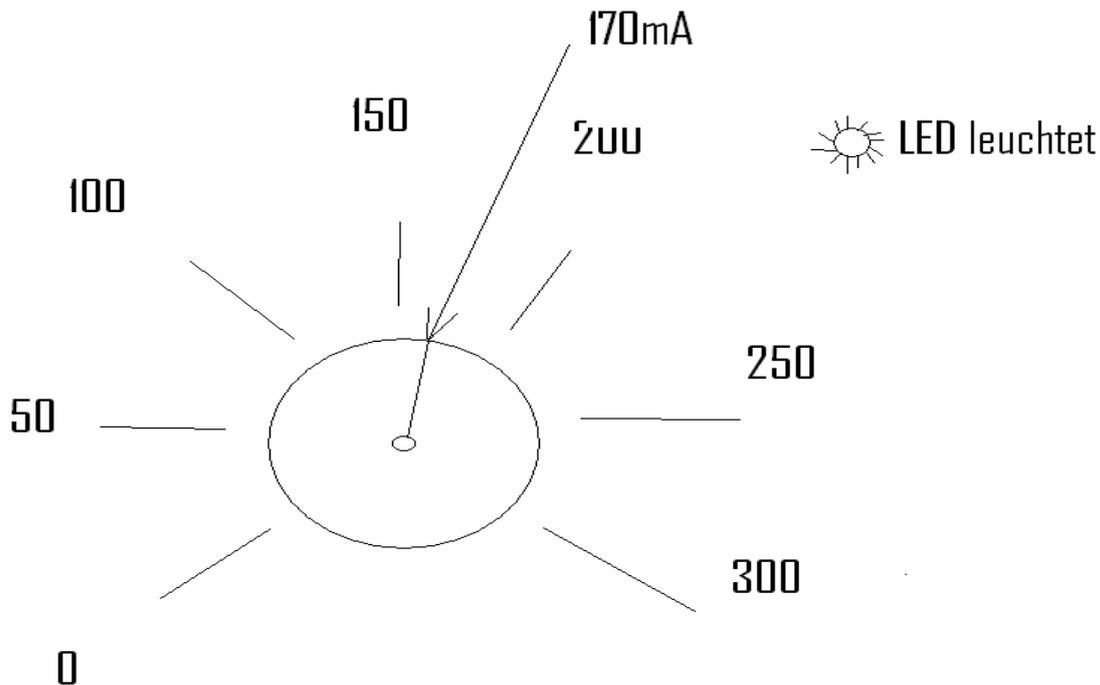


Abbildung 7: Frontplatte Nr.1 Regler - Gruppe 2

Wie im Bild zu sehen ist, ist der Potentiometer auf 170 mA eingestellt. Die Leuchtdiode leuchtet erst dann, wenn der Strom der aus der Solarzelle kommt auch 170 mA ist. Somit kann man sehen wie viel Strom gerade mindestens fließt.

Frontplatte 2 für die Ladeschaltung:

Auf der Frontplatte befinden sich zwei Elemente. Zum einen eine Doppelfarbige Leuchtdiode und zum andere ein Schalter. Die Leuchtdiode kann einmal grün leuchten und einmal rot. Wenn die Leuchtdiode grün leuchtet, sind die Akku's vollständig geladen, aber wenn sie rot leuchtet lädt der Akku noch.

Und der Schalter schaltet die ganze Schaltung einfach EIN / AUS.

1.4.3 Bedienung der Platine von Gruppe 3

1.5 Technische Daten

Eingangsspannung	Dynamo	0-20 V	AC	
Eingangsspannung	Solarpanel	0-16 V	DC	max. 300mA
Zwischenspannung	Gleichrichter	max. 18 V	DC	max. 200mA
Max. Eingangsleistung	Dynamo + Solar	6 W		
Zwischenspannung	Akku	11-15 V	DC	max. 3A
Ausgangsspannung	DC/DC	12 V	DC	max. 2A
Max. Ausgangsleistung	DC/DC	24 W		

2. Aufteilung der Gruppen

2.1 Vorstellung und Beschreibung der Aufgaben

Gruppenbild:



Abbildung 8: Gruppenfoto

Um eine geordnete Arbeit zu ermöglichen, war es wichtig eine Gruppeneinteilung nach Baugruppen vorzunehmen. Dieses Projekt wurde in 3 Gruppen eingeteilt:

1. Gruppe: Dynamo und Zwischenspeicher.
2. Gruppe: Solarzelle und Akkuladung.
3. Gruppe: DC/DC Wandler

2.2 Vorstellung der Gruppe 1 - Dynamo und Zwischenspeicher

<p>Torben Hopp</p> 	<p>Ordnerbeauftragter</p> <p><i>„Das Projektlabor hat in vielerlei Hinsicht dazu beigetragen praktisches Wissen zu erlangen. So hat man, zum einen, das praktische Vorgehen innerhalb eines Projekts sowie den Umgang mit Pspice, Eagle erlernt als auch Verständnis für analoge Schaltungen gewonnen.“</i></p>
<p>Sebastian Czech</p> 	<p>Bauelementebeauftragter und Partybeauftragter</p> <p><i>„Das Projektlabor war endlich eine Möglichkeit sich Praktisch auszutoben. Die Arbeit in einem Team das dazugehörige Brainstorming oder das finden von Lösungen für verschiedene Probleme hat ein Einblick in die spätere Arbeit als Ingenieur geschafft.“</i></p>
<p>Roman Wangelow</p> 	<p>Abschlussberichtsbeauftragter</p> <p><i>„Im Projektlabor habe ich endlich den lang ersehnten Bezug zur Praxis gefunden. Folglich machte dann auch endlich Alles Spaß, wenn man sieht wozu man die Semester davor soviel gepaukt hat. Ich habe sehr viel gelernt, die Realisierung eines eigenen Projektes ist einfach toll. Fazit: sehr zu empfehlen“</i></p>

<p>Monika Weber</p> 	<p>Schnittstellenbeauftragte</p> <p><i>„Das Beste Erlebnis im Studium Elektrotechnik.“</i></p>
<p>Serdar Gül</p> 	<p>Gehäusebeauftragter</p>
<p>Johannes Twittmann</p> 	<p>Betreuer</p> <p><i>„Yo, ich hab da mal ne Frage!?“</i></p>

2.3 Vorstellung der Gruppe 2 - Solarzelle und Akkuladung

<p>Yavuz Demir</p>  A portrait of Yavuz Demir, a young man with dark hair and a beard, wearing a yellow t-shirt. He is sitting in front of a shelf filled with small, dark-colored components, likely electronic parts.	<p>Bauelementebeauftragter</p>
<p>Patrick Schülke</p>  A portrait of Patrick Schülke, a young man with short brown hair, wearing a blue t-shirt. He is sitting in front of a window with light-colored curtains.	<p>Schnittstellenbeauftragte und Partybeauftragter</p>
<p>Thierry Omoko</p>  A portrait of Thierry Omoko, a young man with dark skin and short hair, wearing a white t-shirt. He is sitting in front of a desk with a computer monitor and some papers.	<p>Abschlussberichtsbeauftragter</p>

Alona Naydonova



Ordnerbeauftragte

Fatih Kocak



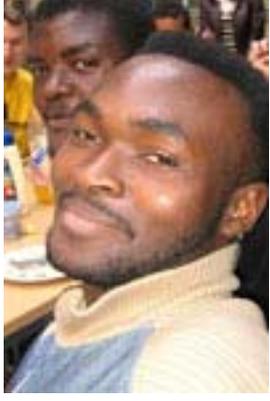
Gehäusebeauftragter

Holger Gaul (Betreuer)



Betreuer

2.4 Vorstellung der Gruppe 3 - DC/DC Wandlung

<p>Robin Jerratsch</p> 	<p>Bauelementebeauftragter</p> <p><i>„Das Projektlabor ist meiner Meinung nach sehr wichtig fürs Studium. man kann sich sehr gut mal selbst ausprobieren. Wenn alle Teilnehmer mitmachen und sich Mühe geben, ist das Team sehr erfolgreich. Das Projekt ist also unverzichtbar.“</i></p>
<p>Raoul Kana</p> 	<p>Abschlussberichtsbeauftragter</p> <p><i>„Im Projektlabor lernt man Praktisch, was man schon theoretisch hat und versteht man alles was bis jetzt unklar war. Aber sollte man auch Geduld haben, weil dafür braucht man viel Zeit und am meistens klappt es nicht einfach mit der Zeit, was man sich vorgestellt hat.“</i></p>
<p>Ngoc Phung</p> 	<p>Ordnerbeauftragte</p> <p><i>„Je mehr die Zeit rückt, desto mehr hat man doch das Gefühl, dass es trotz unendlicher Zusatztermine mit lautem Stöhnen, frustrierenden Gesichtern und tränenvollen Augen sehr schön, lustig und angenehm war. Zugegebenermaßen ist es extrem zeitaufwendig, aber aus jedem Schlechten geht Gutes hervor. Gut ist, dass schon das Leuchten der Diode uns allen ein</i></p>

	<p><i>glückliches, fröhliches Grinsen und Lachen hervorrufen kann und dass ich endlich die Gelegenheit durch das Projektlabor bekam, die Schönheit der praktischen Elektrotechnik kennen zu lernen und mich in die faszinierende Welt der Schaltungstechnik hineinzustürzen.“</i></p>
<p>Steffen Ebling</p> 	<p>Gehäusebeauftragter und Partybeauftragter</p> <p><i>„Ein Ziel des Projektlabors, eigenständig zu arbeiten war eine interessante Herausforderung. Die dazu nötige Verständigung mit den anderen Teilnehmern war nicht immer ganz einfach. Dadurch, dass jeder noch einige Aufgaben außerhalb des Projekts zu meistern hatte hat sicher jeder sein Bestes gegeben. Doch das wäre noch ausbaufähig gewesen. Es hat aber insgesamt Spaß gemacht eine Schaltung zu bauen bzw. ein Gerät. Praktisch etwas erarbeitet zu haben anstatt nur Gleichungen aufzustellen.“</i></p>
<p>Al-Mughalles Ahmed</p> 	<p>Schnittstellenbeauftragte</p> <p><i>„Für Projektlabor braucht man viel Zeit. Aber es lohnt sich daran teilzunehmen, weil man viel Praxis lernt.“</i></p>

Kathleen Jerchel



Betreuerin

Prof. Dr.-Ing. Manfred Krumm



Betreuender Professor

3. Entwicklung

3.1 Schnittstellen

Definition: (Engl. *Interface*) Eine Schnittstelle ist ein definierter Übergang zwischen Datenübertragungseinrichtungen, Hardware-Komponenten, logischen Softwareeinheiten oder zwischen Menschen und Computern. Schnittstellen werden den vielfältigsten Anforderungen und Anwendungen gerecht: den elektrischen und physikalischen, den Übertragungsmodi Parallel oder Seriell und den Übertragungsbetriebsarten Halbduplex oder Duplex. Sie eignen sich für Punkt-zu-Punkt-Verbindungen oder Mehrpunktverbindungen und sind für private oder öffentliche Netzwerke ausgelegt.

3.1.0 Schnittstellenübersicht

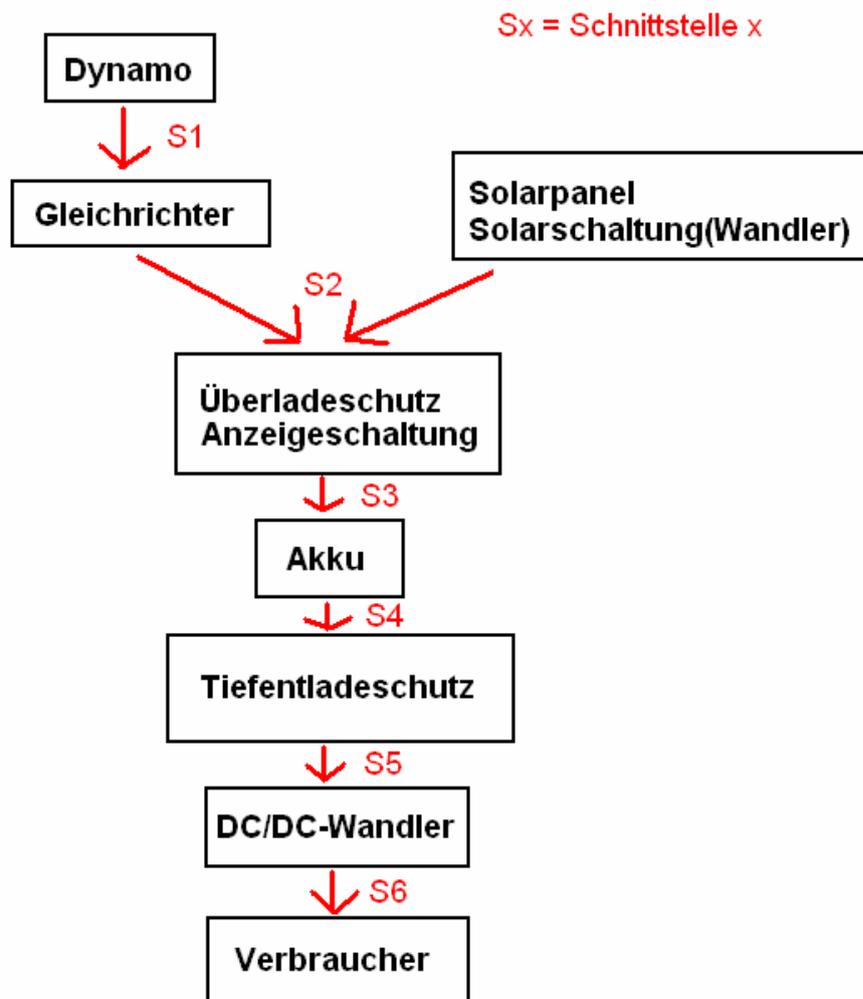


Abbildung 9: Schnittstellenübersicht

3.1.1 Schnittstelle 1

Die beiden Kabel vom Dynamo werden an der Rückseite vom Gehäuse in die beiden dafür vorgesehenen Buchsen gesteckt. Die Buchsen wiederum sind mit dem Bus (Pin 5 und Pin 6) verbunden auf dem die Wechselspannung dann vom Gleichrichter abgegriffen wird.

3.1.2 Schnittstelle 2

Die beiden Gleichspannungen vom Gleichrichter und Solarpanel werden einfach parallel auf dem Bus über die Pins 1, 2, 8, 9 verbunden. Die Masse greift dann der Überladeschutz über Pin 8 und die positive Gleichspannung über Pin 9 ab. Damit sind diese Komponenten verbunden und die Schnittstelle klar.

3.1.3 Schnittstelle 3

Die Verbindung zwischen Überladeschutz und Akku wird über Pin 11, der positiven Akkuspannung, und Pin 16, der Akkumasse, hergestellt.

3.1.4 Schnittstelle 4 und 5

Die Verbindung von Akku Tiefentladeschutz und DC/DC-Wandler wird nun schematisch genauer dargestellt, da so die Zusammenhänge klarer werden.

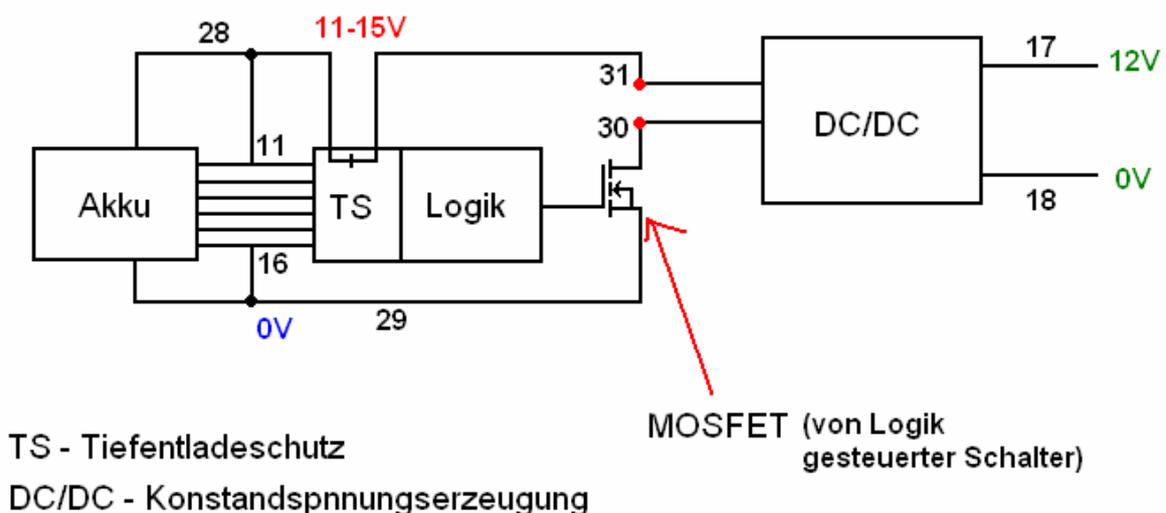


Abbildung 10: Schnittstelle 4 und 5

Der Tiefentladeschutz hat über die Pins 11-16 Verbindung zu den Akkuzellpaaren und überwacht deren Spannung. Sobald die Spannung einer Zelle unter 2,2V fällt schaltet die Logik und der MOSFET sperrt. So wird die Stromzufuhr vom Akku zum DC/DC-Wandler unterbrochen bis alle Zellpaare wieder über 2,2V gestiegen sind.

3.1.5 Schnittstelle 6

Wie in der vorherigen Abbildung ersichtlich war, liegt auf Pin 17 und 18 des Busses die Festspannung 12 Volt. Eine Buchse an der Vorderseite des Gehäuses ist mit diesen Buspins verbunden und stellt die Schnittstelle zum Verbraucher her, der sich dort nun anschließen kann.

3.2 Busbelegung

Beim EDV Begriff Bus handelt es sich um ein Leitungssystem, das zum Datenaustausch zwischen Prozessor, Arbeitsspeicher, und den über die Steckplätze parallel angeschlossenen Geräte dient. Als Bus wird auch das Leitungssystem von Netzwerken bezeichnet, das zum Signaltransport und als Verbundglied zwischen Server und Clients bzw. Arbeitsstationen dient. Dabei gilt: Je mehr Leitungen der Bus besitzt (Busbreite), desto mehr Daten können parallel übertragen werden und desto höher ist der sogenannte Datendurchsatz.

In unserem Projekt ist der Bus 32 Bit groß. Anders als in Computern benutzen wir den Bus allerdings auch zur Verteilung von Versorgungs- und Referenzspannungen, also nicht ausschließlich zur Datenübertragung.

3.2.1 Busübersicht

Brücken auf dem Bus:

Pin1 – Pin9	verbunden
Pin2 – Pin8	verbunden
Pin11 – Pin28	verbunden
Pin16 – Pin29	verbunden

Pin28 und Pin31 (positive Akkuspannung) werden über die Platine 1 vom Tiefentladeschutz verbunden.

Gruppe 1 = I = Dynamogruppe
Gruppe 2 = II = Solargruppe
Gruppe 3 = III = DC/DC-Gruppe

Nummer	Spannung [V]	Beschreibung	Gruppe		
			I	II	III
1	+16	Versorgung Solarzelle (DC)	I	II	
2	0	GND	I	II	
3	-----	-----	---	---	---
4	-----	-----	---	---	---
5	~6	Versorgung Dynamo (AC)	I – 1		
6	~6	Versorgung Dynamo (AC)	I – 1		
7	-----	-----	---	---	---
8	0 (-6)	Gleichrichter	I – 1,2		
9	12 (+6)	Gleichrichter	I – 1,2		
10	-----	-----	---	---	---
11	+14	Akku – Zellen 9-10	I – 1,2,3		
12	11.2	Akku – Zellen 7-8	I – 1,3		
13	8.4	Akku – Zellen 5-6	I – 1,3		
14	5.6	Akku – Zellen 3-4	I – 1,3		
15	2.8	Akku – Zellen 1-2	I – 1,3		
16	0	GND	I – 1,2,3		
17	+12	DC/DC Ausgang		(II)	III
18	0	DC/DC Ausgang		(II)	III
19	-----	-----	---	---	---
20	-----	-----	---	---	---
21	~6V	Dynamo am BUS (Einspeisung)	I – Ext		
22	~6V	Dynamo am BUS (Einspeisung)	I – Ext		
23	-----	-----	---	---	---
24	14	Sicherung Akku	I – 3		
25	0	Sicherung Akku	I – 3		
26	-----	-----	---	---	---
27	-----	-----	---	---	---
28	14	Akku zum Tiefentladeschutz	I – 1		
29	0	Akku zum Tiefentladeschutz	I – 1		
30	0	Akku Ausgang zu DC/DC	I – 1		III

31	12	Akku Ausgang zu DC/DC	I - 1		III
32	-----	-----	---	---	---

3.3 Gehäuse

Das ist das Gehäuse mit den Schienen, die später die Platinen an die richtige Stelle zum Bus führen.

Hier ist das Gehäuse noch leer, man sieht aber schon wie später das ganze Gerät ungefähr aussehen wird.

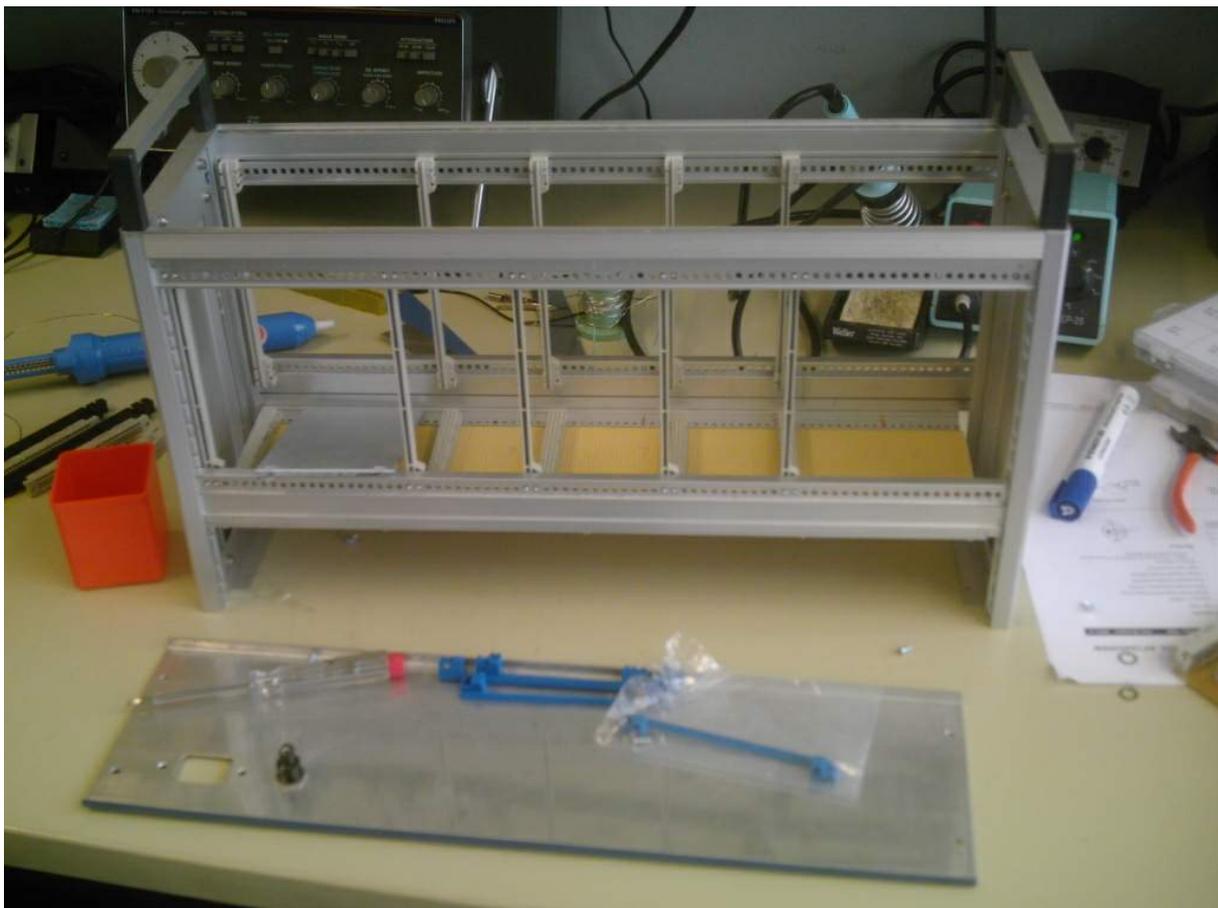


Abbildung 11: Foto Gehäuse Rohling

Hier nun noch ein Bild von dem fertigen Gerät mit eingebauten Platinen. Die Platinen der jeweiligen Gruppen sind beschriftet damit man bei der Zuordnung, keine Problem bekommt, da sich einige Platinen vom Frontpanel her sehr ähneln.

Das fertige Gerät

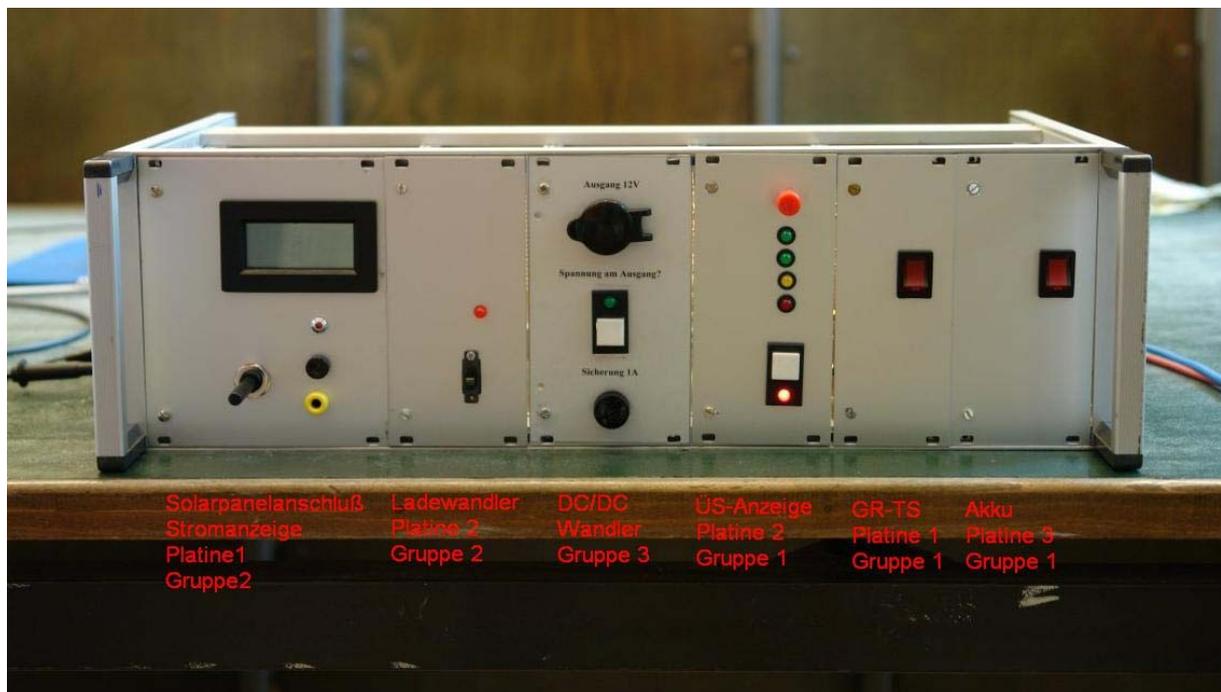


Abbildung 12: Foto Gehäuse (fertig)

4. Gruppe 1 - Dynamo und Zwischenspeicher

Allgemeine Aufgabenbeschreibung:

Die Aufgaben der Gruppe 1 sind umfangreich. Sie muss, eine Schaltung zur Gleichrichtung der Wechselspannung des Dynamos entwerfen. Wobei natürlich auch eine Schnittstelle zum anschließen des Dynamos von Nöten ist.

Des weiteren, muss eine Schaltung bzw. Platine entworfen werden auf der 10 Mignon Akkus in Reihe geschaltet werden können. Die Platine muss natürlich an den Bus anschließbar sein.

Dann muss eine Tiefentladeschutz-Schaltung entwickelt werden, die den Akkuladestand von jeweils 2 Akkus, also insgesamt 5 Zellen, überwacht und bei Unterschreiten einer gewissen Spannung, den Akku vom Verbraucher trennt.

Nun gibt es nicht nur die Möglichkeit der Tiefentladung sondern auch der Überladung. Dagegen müssen die Akkus auch geschützt werden, also muss dafür ebenfalls eine Schaltung entworfen werden.

Nun ist es natürlich auch für den Benutzer des Gerätes interessant wie voll seine Akkus geladen sind. Folglich kann man das nicht ohne weiteres messen, also muss dafür auch eine Schaltung herhalten, die von der Gehäusefront, über einen Taster, bedienbar sein soll.

Nach Abschluss dieser Aufgaben ist die Arbeit allerdings noch nicht beendet. Die Schaltungen müssen natürlich mit denen der anderen Gruppen harmonieren, was ebenfalls eine Herausforderung darstellt.

4.1 Blockschaltbild

Die Gruppe hat fünf Schaltungen vorbereitet, die sich auf drei Platinen befinden. Zusätzlich wird ein Dynamo als Energiequelle benutzt.

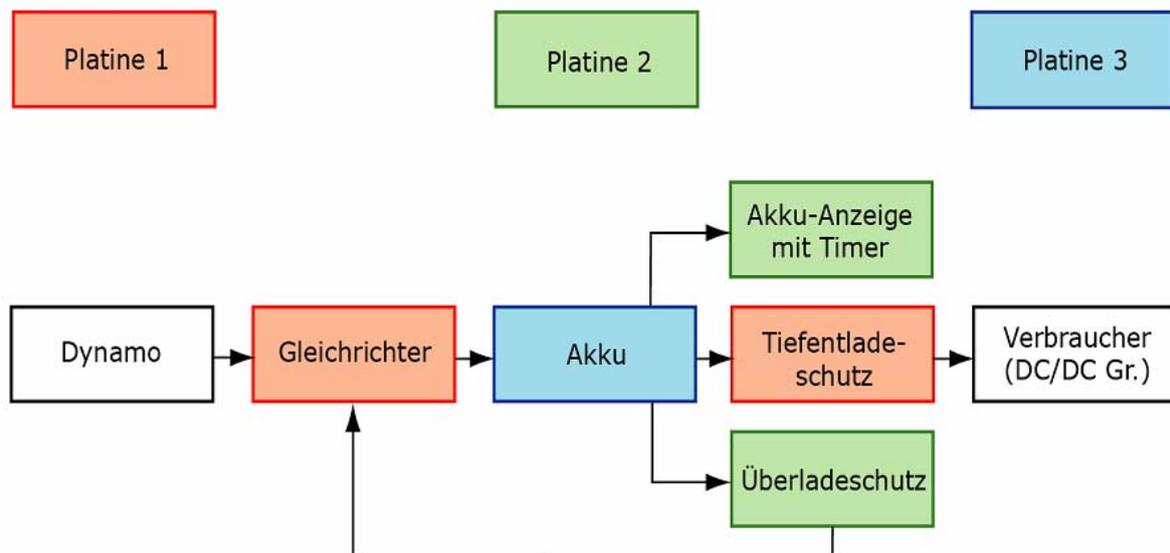


Abbildung 13: Blockschaltbild Gruppe 1

Die Wechsellspannung aus dem Dynamo (PINs 21: ~6V 22: ~6V) wird durch die Gleichrichterschaltung in Gleichspannung umgewandelt und geglättet. Am Ausgang gibt es eine Spannung +6V (PIN 5) und -6V (PIN 6), die an den Überladeschutz weiter geleitet wird. An die Eingänge des Überladeschutzes (PINs 8: -6V 9: +22V) wird die Stromversorgung aus der Solarzelle (PINs 1: +16V 2: 0V) und aus dem Dynamo (PINs 8: -6V 9: +6V) angeschlossen.

Der Überladeschutz sorgt dafür, dass die 10 Akkuzellen geladen aber nicht überladen werden. Die Ladesteuerung erfolgt durch die minus Delta U Abschaltung.

Der Tiefentladeschutz misst die Spannung an den Akkuzellen und schaltet den Verbraucher ab, wenn die Spannung unter 11V sinkt. Die Akku-Anzeige zeigt den Ladezustand des Akkus.

4.2 Dynamo

Eine unserer Energiequellen ist der Dynamo. Das Modell was wir benutzen ist ein einfacher Seitenläuferdynamo, wie er sehr häufig bei Fahrrädern verwendet wird.



Abbildung 14: Dynamo

Bevor wir uns für den Dynamo entschieden haben, mussten wir natürlich zuerst seine technischen Daten untersuchen, ob er für unser Projekt geeignet ist.

Bei einer Drehzahl von ca. 6000 U/min haben wir folgende Messergebnisse erzielt.

Messung 1: Leerlauf – Amplitude $\approx 21V$

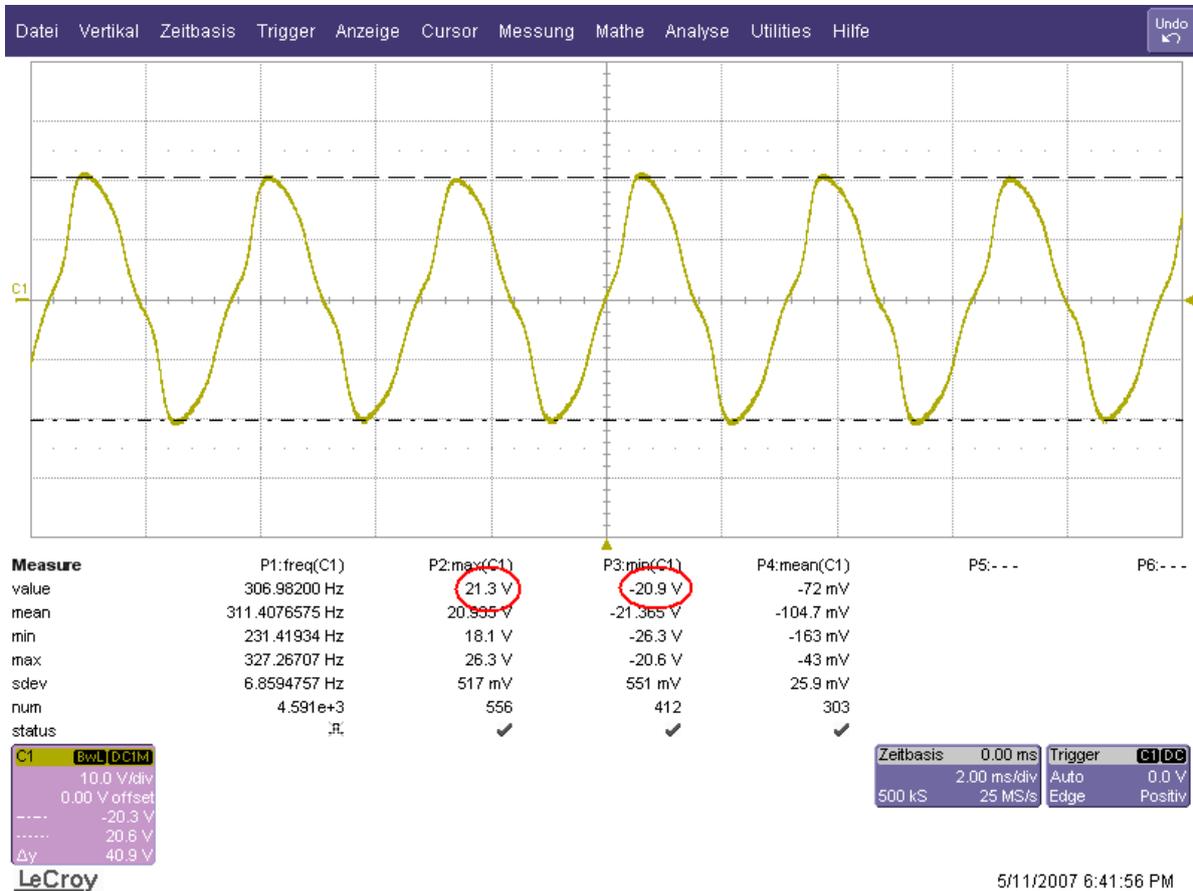


Abbildung 15: Dynamo Oszilloskop-Messung 1

Die Rechnung hat ergeben, dass der Dynamo ($\varnothing=1,8\text{cm}$) circa eine Drehzahl von 6000U/min hat, wenn man 20 km/h fahren würde.

Hier ein Rechenbeispiel für die halbe Geschwindigkeit, also 10 km/h.

Durchmesser vom Dynamorädchen : $\varnothing = 1.8\text{cm} = 0.018\text{m} = d$

Umfang vom Dynamorädchen : $u = \pi \cdot d = 0.05655\text{m}$

Geschwindigkeit : $v = 10 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 2.77 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Drehzahl : $n = \frac{v}{u} = \frac{\text{Geschwindigkeit}}{\text{Umfang}}$

$$n = 49.12 \frac{1}{\text{s}} = 2947 \frac{1}{\text{min}}$$

$$= 2947 \text{ Umdrehungen pro Minute}$$

Messung 2: belasteter Fall mit $7,5\Omega$ Widerstand – Amplitude $\approx 6,3V$

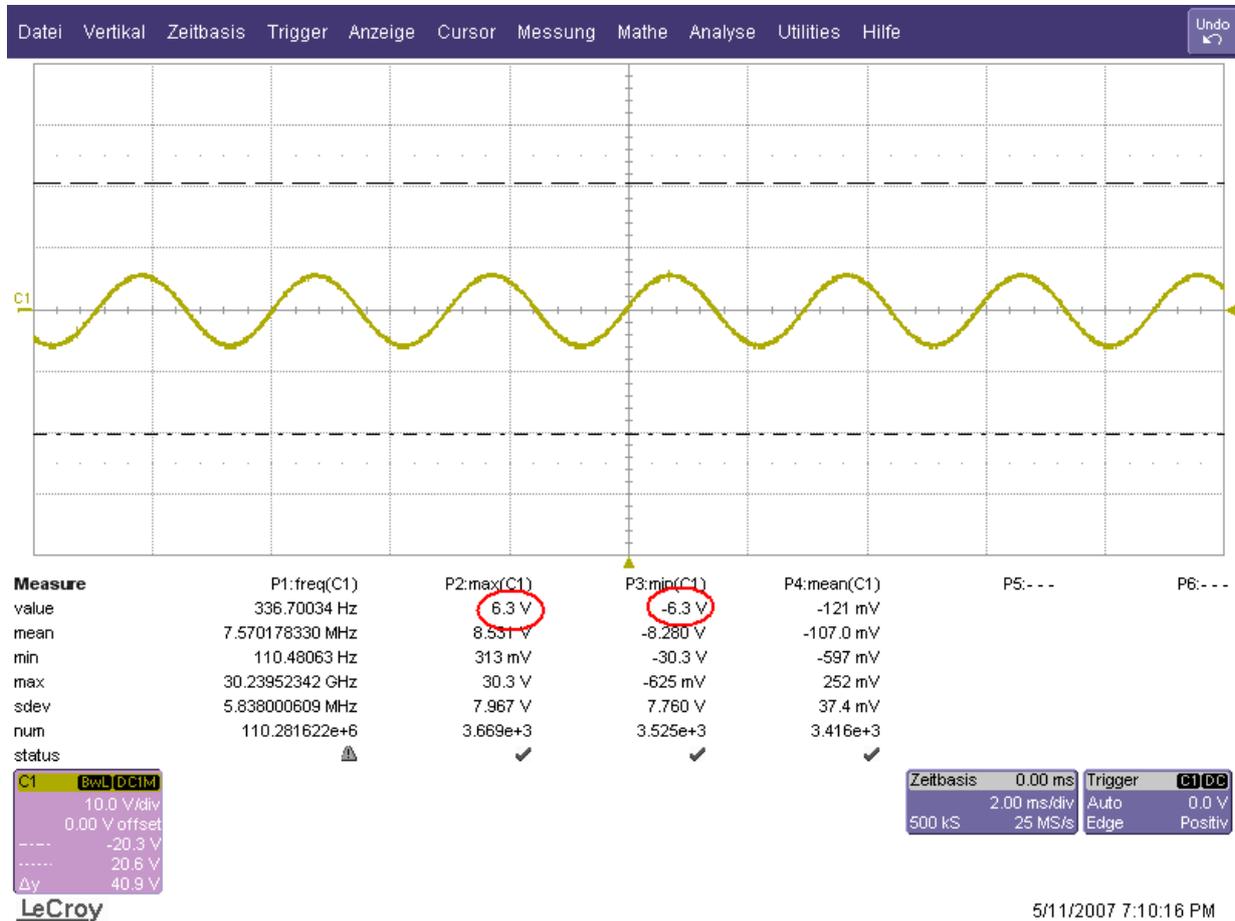


Abbildung 16: Dynamo Oszilloskop-Messung 2

Abschließend ist zu sagen, dass der Dynamo eine maximale Leistung von 3 Watt liefern kann.

Man könnte vermuten, dass die Leistung mit höherer Drehzahl weiter steigt, das ist jedoch nicht so weil der Dynamo ab 3 Watt an seiner Magnetisierungsgrenze liegt.

4.3 Gleichrichterschaltung

Gleichrichter-Schaltung

Eine Energiequelle des Energie-Multicenters ist ein Dynamo. Das Problem ist allerdings, dass der Dynamo im Betrieb eine Wechselfspannung erzeugt die man zum Laden von Akkus jedoch nicht verwenden kann.

Damit kommen wir zur Gleichrichterschaltung.

Bauteile:

Teil	Typ	Bauteilart	Spezifikation
D6	1N5817	Schottky-Diode	$U_f=0,3\text{ V}$
D7	1N5817	Schottky-Diode	$U_f=0,3\text{ V}$
	1N6275	Zenerdiode	$U_d=18\text{ V}$
R23		Widerstand	1 k Ω
	NPN-2N4240	Leistungstransistor mit Kühlkörper	
C1	Rund	Elektrolytkondensator	2200 μF 25V
C2	Rund	Elektrolytkondensator	2200 μF 25V

Eagle-Schematic Schaltplan

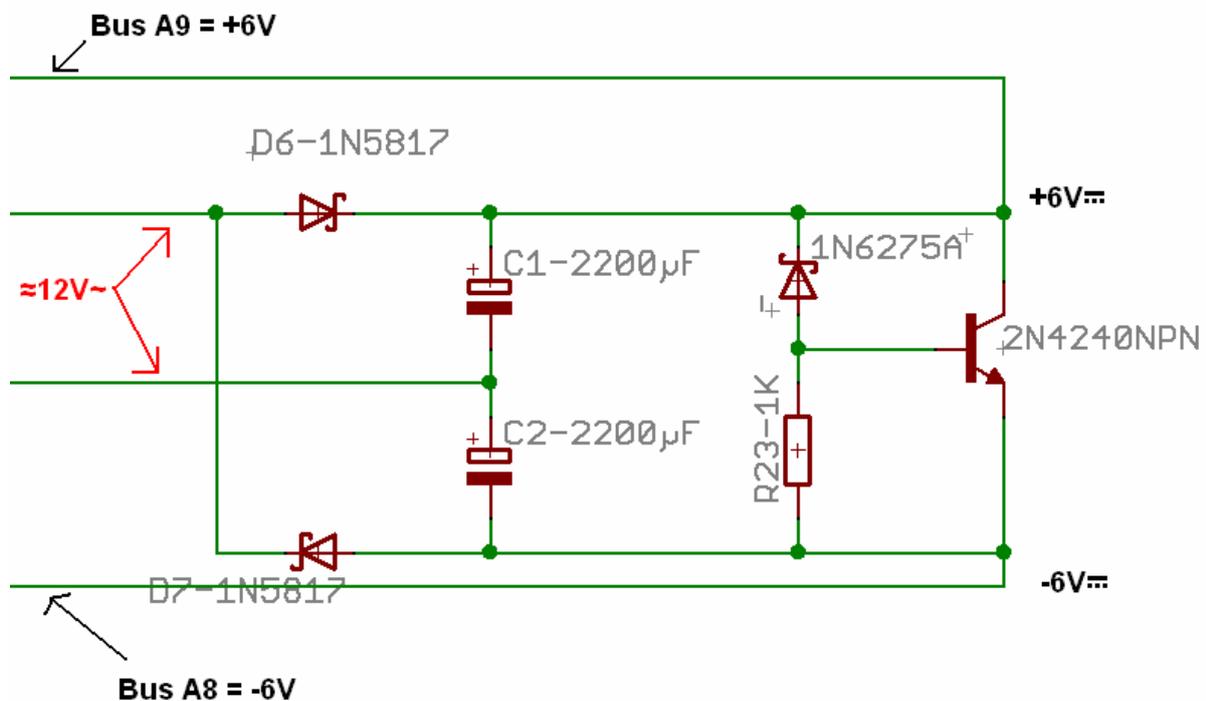


Abbildung 17: Eagle Schaltplan Gleichrichter

Die obere Schottky-Diode D6 lässt die positive Halbwelle durch und blockiert die Negative. Folglich wird der Kondensator C1 aufgeladen. Die untere Schottky-Diode D7 lässt die negative Halbwelle durch und blockiert die Positive. So wird nun auch der Kondensator C2 aufgeladen. Die Kondensatoren liegen in Reihe zum rechten Verbraucherkreis, wodurch sich eine Potenzialdifferenz von 12 Volt Gleichspannung einstellt. Allerdings entstehen die 12 Volt über die Differenz von -6 bis 6V also nicht wie üblich 0 bis 12 Volt.

Des Weiteren ist ein Überladungsschutz in der Schaltung enthalten. Im Fall, dass die Last temporär verschwindet, würden die Kondensatoren jeweils auf 20V aufgeladen, was effektiv einer Spannung von 40 Volt am Ausgang entsprechen würde. Dies muss verhindert werden, da wenn die Last wieder besteht könnten durch die hohe Spannung die CMOS Bauelemente in den Folgeschaltungen zerstört werden.

Dieses Problem wird durch den Überspannungsschutz gelöst. Im Lastfall fällt die ganze Spannung über der Last ab und die Zener-Diode sperrt, folglich ist die Basis-Emitterspannung 0 und der Leistungstransistor sperrt. Im Falle, dass die Last verschwindet liegt die gesamte erzeugte Spannung an der Z-Diode an, die ab 18V durchbrochen wird und leitet. So entsteht zwischen Z-Diode und Widerstand eine Spannung die als Basis-Emitterspannung genutzt wird. Folglich leitet der Leistungstransistor, über dem so, fast die gesamte nicht genutzte Energie umgesetzt wird.

So wird schließlich das gewünschte Resultat erzielt, dass an den Kondensatoren insgesamt maximal 18 Volt gehalten werden.

4.4 Überladeschutz

Motivation:

Bei dem im Multienergiecenter verwendeten Akku handelt es sich um Ni-MH Zellen. Dieser Akkutyp bedarf einer speziellen Schutzschaltung die ihm vor übermäßiger Stromzufuhr schützt. Ohne einen Überladeschutz würde dieser Akku zerstört werden.

Das Prinzip:

Der Zeitpunkt, bei dem das Ladeverfahren abgeschaltet werden soll, muss also präzise erfasst werden, um den Akku Voll, allerdings nicht zu überladen. Um diesen Moment genau zu erkennen machen wir uns einen Effekt der Ladecharakteristik des Ni-MH Akkus zu nutzen. Bei Betrachtung dieser stellt man fest, dass die Spannung, beim Laden, kontinuierlich steigt, bis zu dem Punkt an dem der Akku 100% seiner Kapazität erreicht hat, danach fällt die Spannung um einige mV ab (Delta U).

Allerdings kann dies nicht die einzige Bedingung für ein Abschalten des Ladeverfahrens sein, da selbiger Effekt auftritt wenn die Versorgungsspannung ausbleibt. Die Zweite Bedingung für das Abschalten ist das die Spannung am Akku über einen Grenzwert (14,50 V) steigen muss. So wird Garantiert, dass der Akku immer fast Voll geladen werden kann.

Bauteile:

Teil	Typ	Bauteilart	Spezifikation
R1		Widerstand	10k
R2		Widerstand	2k
R3		Widerstand	1k
R4		Widerstand	800k
R5		Widerstand	200
R6		Widerstand	1k
R7		Widerstand	150k
R8		Widerstand	819k
R9		Widerstand	10k
R10		Widerstand	100k

R11		Widerstand	1k
R16		Widerstand	1k
R27		Widerstand	
R28		Widerstand	10k Ω
IC1(A-D)	TLC274P	Operationsverstärker	Komparator-Funktion
VR1	TL431CLP	Referenzspannung	U=2,5V
D1	1N4148	Schottky-Diode	U _d =0,3V
D2	1N4148	Schottky-Diode	U _d =0,3V
D3	1N4148	Schottky-Diode	U _d =0,3V
D4	1N4148	Schottky-Diode	U _d =0,3V
D5	1N4148	Schottky-Diode	U _d =0,3V
IC7	NE555	Timer IC	DIP Ausführung
C1	Rund	Elektrolytkondensator	100 μ F 35V
C2	Rund	Elektrolytkondensator	250 μ F 35V
C3	Rund	Elektrolytkondensator	100 μ F 35V
C6		Kondensator	10nF 35V
C7		Kondensator	10nF 35V
C8	Rund	Elektrolytkondensator	
C9		Kondensator	10nF 35V
Q1	BUZ171	MOSFET(p-Kanal)	selbstsperrend
Q2	BUZ11	MOSFET(n-Kanal)	selbstsperrend
S5		Messspitze	Komparator-Spannung
IC6(A-B)	4081N	AND-Gatter	2-input
IC4(B-D)	4069N	Hex Inverter	DIP Ausführung
LSP3		Messspitze	Komparator-Spannung
REF		Messspitze	Referenzspannung
LSP7		Messspitze	Spannung C3
LSP8		Messspitze	Delta-U An/Aus
A		Messspitze	Output IC1-C
B		Messspitze	Output IC1-D
C		Messspitze	Output IC6-A
X		Messspitze	Ladestatus-Signal
T2	2N3904	Transistor	Steuerung Timer
LED5		Leuchtdiode rot	low current 2mA

Die Schaltung:

Um den Überladeschutz wie gewünscht zu realisieren wurde die Schaltung in 7 Schaltungsabschnitte unterteilt.

Gliederung

- 4.4.1 Takter
- 4.4.2 Referenzspannung
- 4.4.3 Komparator
- 4.4.4 Delta U
- 4.4.5 Abschaltlogik
- 4.4.6 Timer
- 4.4.7 LED Anzeige

Auf folgender Seite vorerst der Eagle-Schematic Schaltplan ->

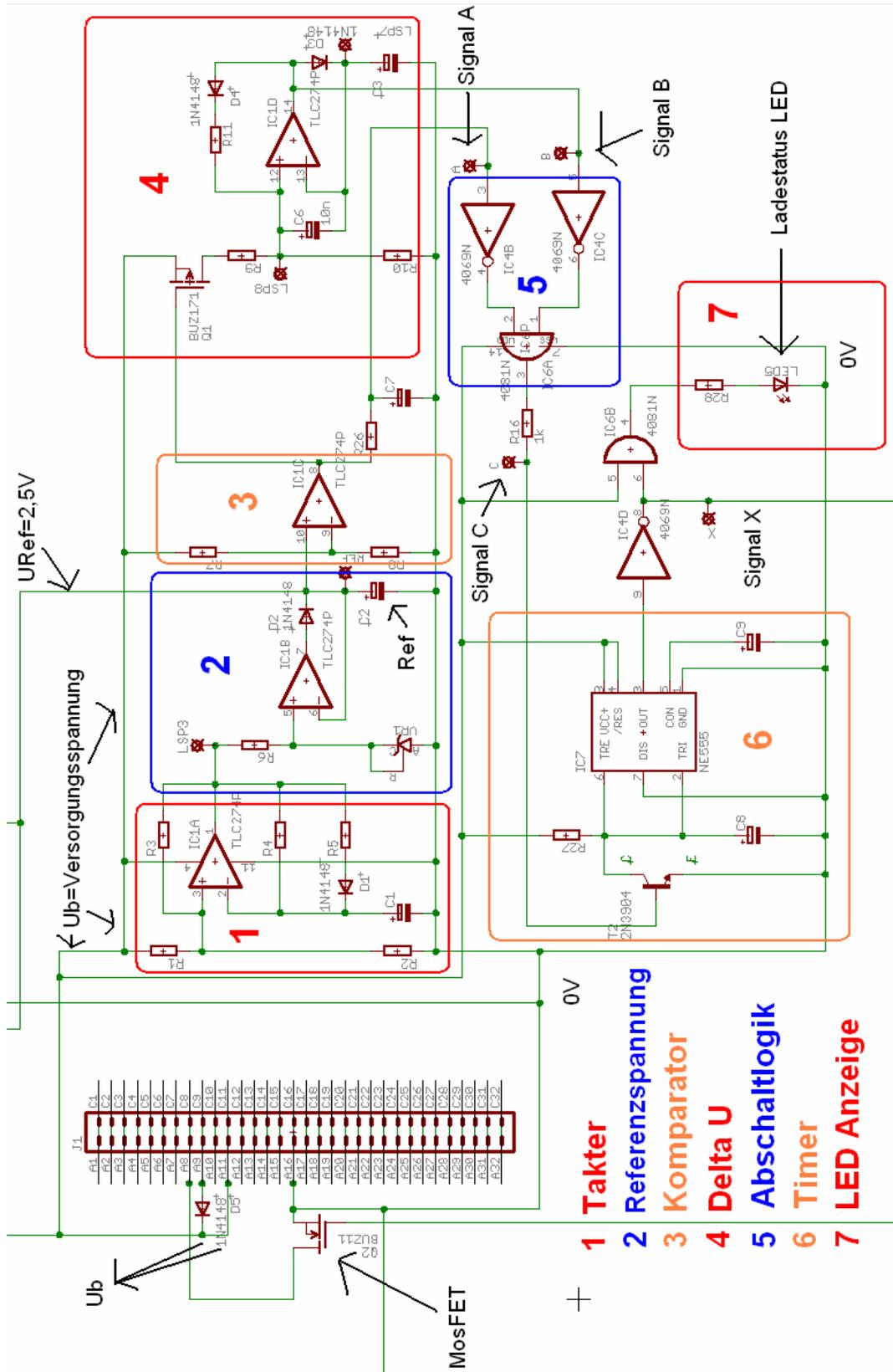


Abbildung 18: Eagle Schaltplan Überladeschutz mit Gruppierung

4.4.1 - 4.4.3. :

Um den obigen genannten Grenzwert zu erkennen benutzen wir einen Komparator (4.4.3). Dieser vergleicht die Spannung der Referenzspannung (4.4.2) 2.5V mit einer über einen Spannungsteiler runter geteilten, sich linear zu der Akkuspannung verhaltenden, Spannung (U_{R10}), welche auf dem negativen Eingang des OPV's geschaltet ist. Steigt die Spannung nun über einen Grenzwert wird dies von dem Komparator (4.4.3) registriert und der OPV schaltet am Ausgang auf die negative Versorgungsspannung (Ausgang 8).

Um den Stromverbrauch dieser Referenzspannung möglichst gering zu halten, ist dieser ein Takter (4.4.1) vorgeschaltet. Dieser ist im Prinzip ein Rechteckgenerator mit einer sehr niedrigen Frequenz (0.01Hz). Die Idee ist das durch den Takt, eine Z-Diode (jetzt ein TL431 aufgrund des noch geringen Verbrauchs) vor einen OPV, welcher gegen gekoppelt, für den Bruchteil einer Sekunde eine Referenzspannung erzeugt wird. Diese wird dann in dem Kondensator (C2) gespeichert.

4.4.4 - 4.4.5.:

Fällt der Ausgang 8 auf negative Versorgungsspannung wird mit Hilfe eines MOSFET's die Delta U (4.4.4) Erkennung „scharf“ gemacht. Die Delta U Abschaltung funktioniert wie Folgt: Am Ausgang des OPVs befindet sich ein gegen gekoppelter Kondensator. Die Spannung am positiven Eingang des OPVs ist zunächst größer, die Ausgangsspannung ist positiv. So kann sich der Kondensator bis auf die Spannung des Widerstandes R12 aufladen. Sinkt nun jedoch die Akkuspannung wird auch U_{R12} sinken. U_c jedoch sinkt nicht, und somit schaltet der OPV am Ausgang auf negative Versorgungsspannung (Signal B in der Graphik **rot** dargestellt).

Für die Signalverarbeitung ergibt sich ein Problem. Fällt das Signal am Ausgang 8 auf negativ, so wird die Ausgangsspannung am OPV der Delta U Abschaltung physikalisch bedingt, erst später positiv. Um dies zu verhindern haben wir Signal am Ausgang 8 durch ein RC-Glied verzögert (Signal A in der Graphik **blau**)



Abbildung 19: Oszilloskop-Messung Überladeschutz

Nun haben wir zwei negative Signale A und B die wir mit Hilfe von zwei invertieren und einem AND Gatter zur Abschaltlogik (4.4.5) verbinden können. Am Ausgang kommt das Signal C (grün) welches angibt, dass der Ladevorgang beendet werden soll.

Wahrheitstabelle:

A	B	C
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

4.4.6 – 4.4.7.:

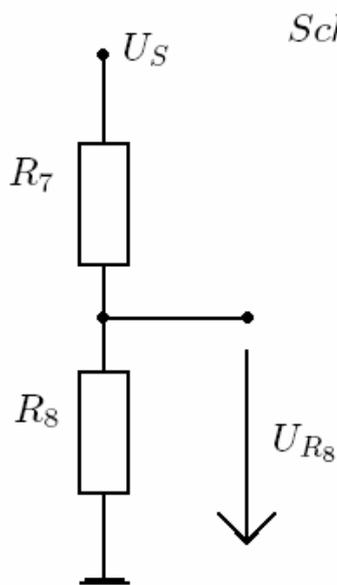
Es wurde nun geschafft ein geeignetes Signal zu erzeugen, dass das Ladeverfahren beenden soll. Der Akku würde nun nicht mehr versorgt werden und die Spannung am Akku würde abfallen. Nach kurzer Zeit auch unter 14,5V. Das hätte zu Folge, dass der Akku wieder geladen werden könnte wenn wir das Signal C zum Abschalten benutzen.

Stattdessen, haben wir noch einen Timer (4.4.6) in die Schaltung integriert, welcher mit dem Signal C angesteuert wird. Wird nun C High, schaltet der Timer positiv am Ausgang 3 (des 555 Timers) durch. Dieses Signal wird nun negiert (Signal X) und an das Gate eines N-Kanal-MOSFET's angelegt. Dieser ist vor dem Akku eingebaut und stoppt die Stromzufuhr. Der Akku kann nun nicht mehr geladen werden. Eine LED wird ebenfalls mit dem Signal X gesteuert. Die LED-Anzeige (4.4.7) leuchtet wenn der Akku geladen werden kann und erlischt wenn der Akku voll geladen ist. Der Timer ist so ausgelegt, dass der Akku für 18min nicht geladen werden kann. Wir empfehlen die Stromzufuhr durch den Dynamo und die Solarzelle zu trennen sobald der Akku geladen ist.

Die Reset-Funktion: Wird das Gerät eingeschaltet löst der Timer aus. Möchte man den Akku sofort laden, muss man die Reset-Taste für 3sec gedrückt halten.

Hier die Berechnung der Widerstände R7 und R8 zur Festlegung der Schwellspannung.

Spannungsteiler



Schwellspannung $U_S = 14,5V$

$$U_{R_8} = 2,5V$$

$$R_{ges} = (R_7 + R_8)$$

$$\frac{U_S}{R_{ges}} = \frac{U_{R_8}}{R_8}$$

$$- > R_8 = \frac{U_{R_8} * R_{ges}}{U_S}$$

$$R_8 = \frac{U_{R_8} * R_{ges}}{U_S}$$

$$R_8 = \frac{2,5V}{14,5V} * (R_7 + R_8)$$

$$R_8 = 0,172 * (R_7 + R_8)$$

$$R_7 = \frac{R_8}{0,172} - R_8 \quad \text{mit} \quad R_8 = 150k\Omega$$

$$- > R_7 = 722k\Omega$$

$$\text{aber wir nehmen} \quad R_7 = 719k\Omega = 680k\Omega + 39k\Omega$$

$$- > U_S = 14,48V \quad \text{Schwellspannung}$$

Abbildung 20: Berechnung zur Schwellspannung

Auf der folgenden Seite ist nochmals der Schaltplan des Überladeschutzes in Eagle-Schematic zu sehen, jedoch diesmal ohne Gruppierung und Anmerkungen da möglicherweise Leiterbahnen und Bauteilkennungen überzeichnet wurden.

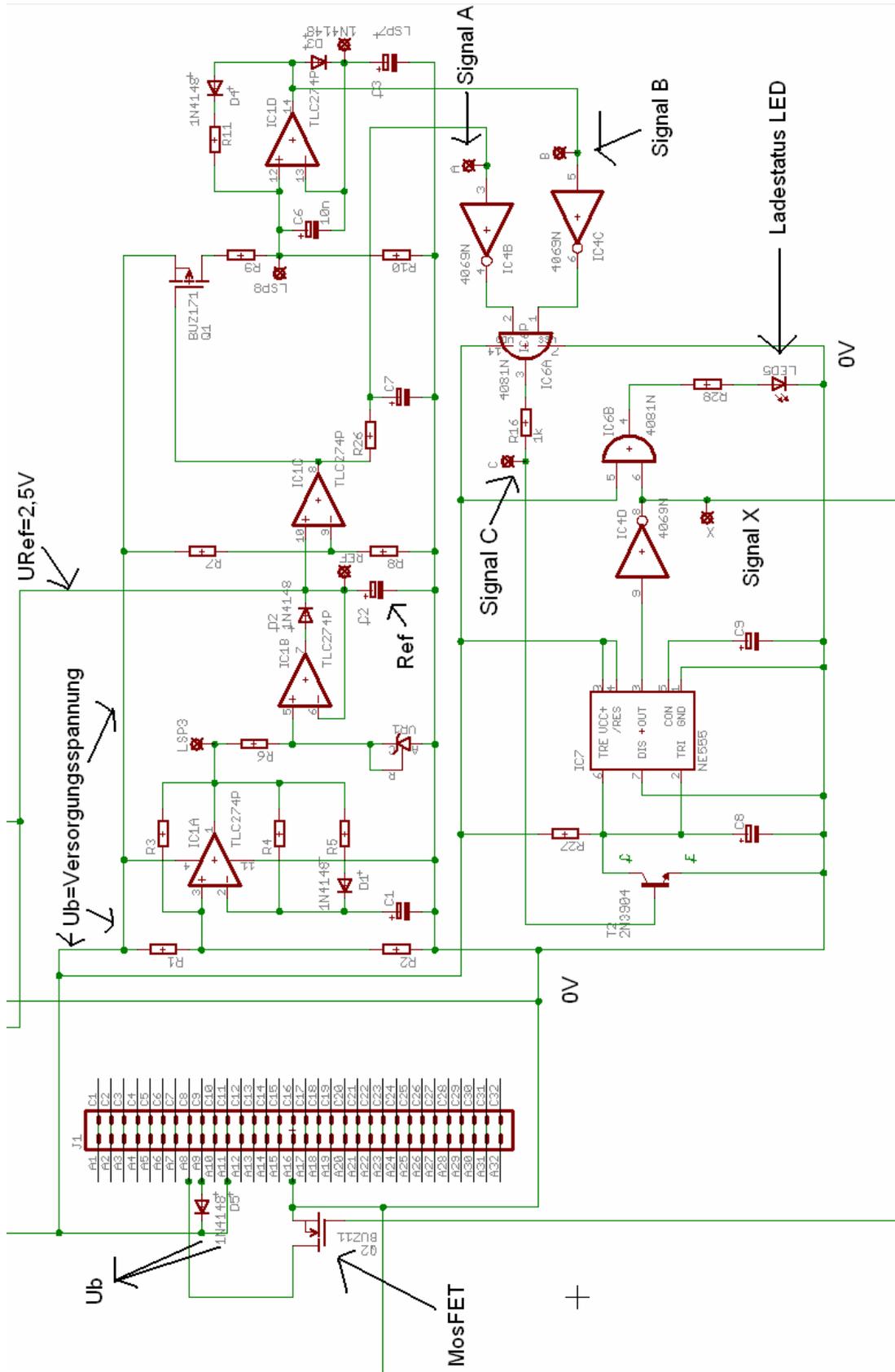


Abbildung 21: Eagle Schaltplan Überladeschutz (rein)

4.5 Akkumulator und Akkuplatine

Der Akku besteht aus 10 Energizer Mignon Zellen die jeweils eine Ladung von 2500mAh haben. Auf Platine 3 werden die Zehn Zellen in Reihe geschaltet und bilden so als ganzes den Akku.

Die Nennspannung pro Zelle beträgt 1,2V also insgesamt 12V.

Wenn der Akku geladen ist beträgt die Spannung ca. 14,5V und wenn er entladen ist ca. 11,5V.

Darstellung des verwendeten Akkus:



Abbildung 22: Energizer Mignon Batterie

Schaltplan Platine 3 (Akkuplatine)

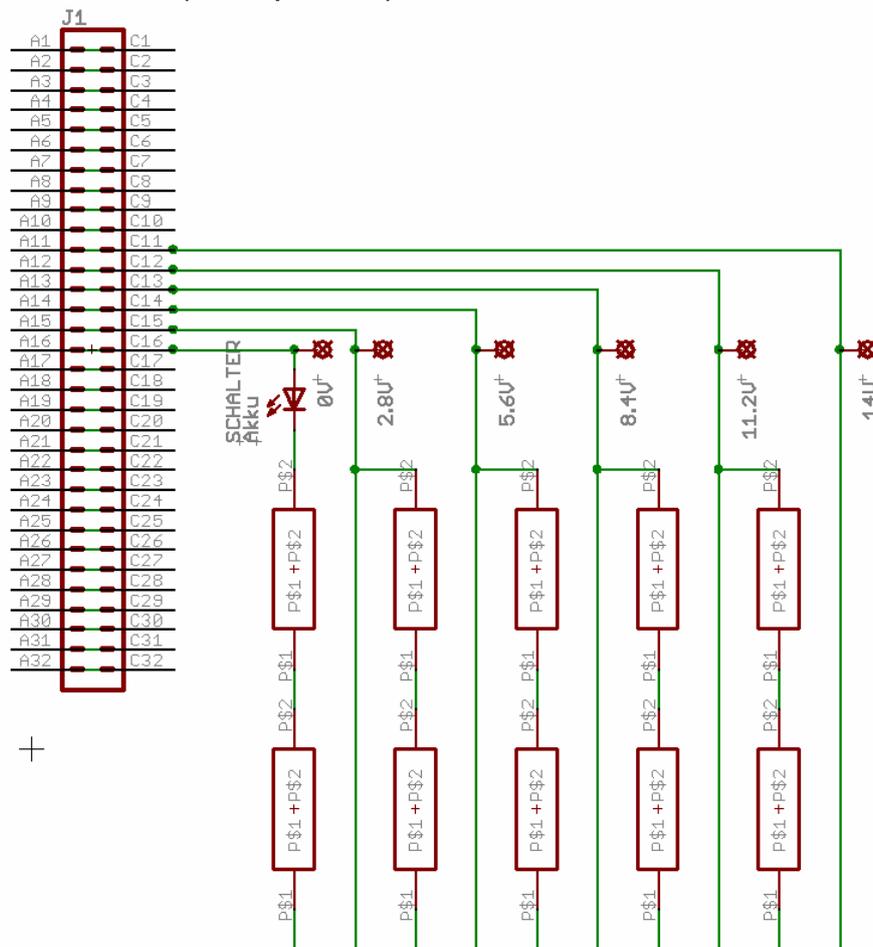


Abbildung 23: Platine 3 (Akkuplatine)

Näheres zu den Ausgängen der Akkuplatine findet man in der Busbelegungs-Tabelle.

Hier sieht man die Entladecharakteristik einer einzelnen Zelle bei 21°C° Grad Umgebungstemperatur:

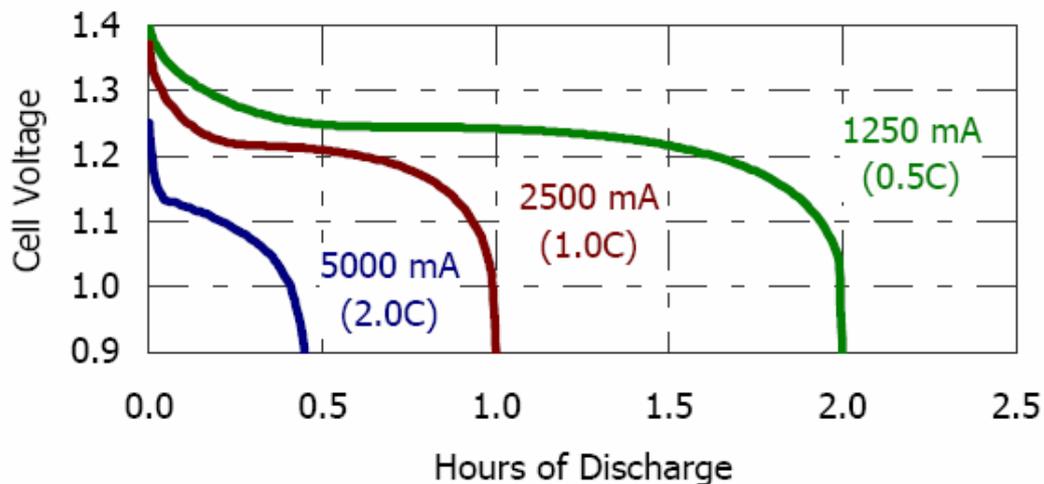
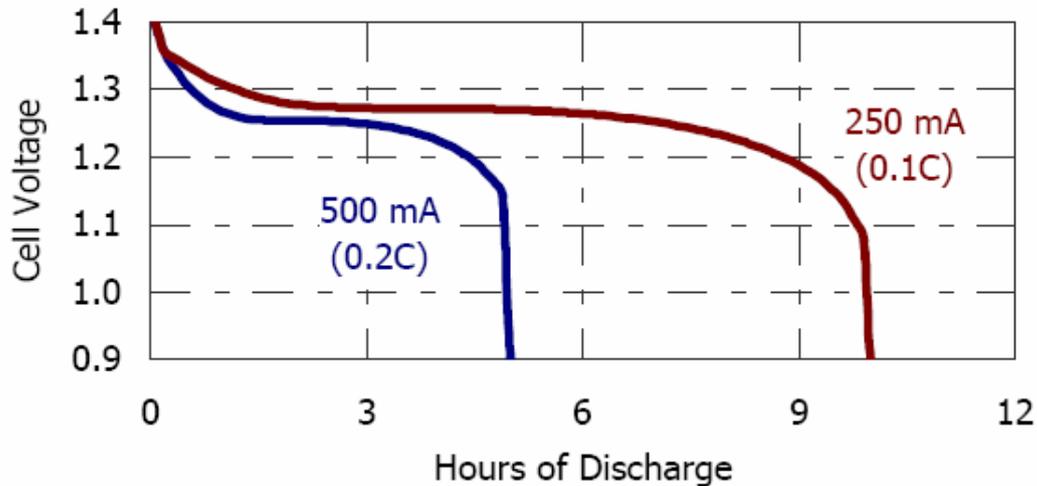


Abbildung 24: Entladekurve Akku

Für die 10 Akkus in Reihe gelten folglich die gleichen Graphen, nur dass alle Angaben mit dem Faktor 10 multipliziert werden müssen.

4.6 Ladestandsanzeige

Anzeige-Schaltung

Zweck: Akku-Ladestandsanzeige

Bauteile:

Teil	Typ	Bauteilart	Spezifikation
IC2(A-D)	TLC274P	OPV	DIP Ausführung
IC4A	4069N	Hex Inverter	DIP Ausführung
R12		Widerstand	100 k Ω
R13		Widerstand	100 k Ω
R14		Widerstand	100 k Ω
R15	RFT 20%	Potentiometer	25 k Ω (\approx 21.5 k Ω)
R23	RFT 20%	Potentiometer	25 k Ω (\approx 20 k Ω)
R25	RFT 20%	Potentiometer	25 k Ω (\approx 19.2 k Ω)
IC3(A-B)	4070N	Exclusive-OR	Quadruple, DIP
R19		Widerstand	15 k Ω
R20		Widerstand	12 k Ω
R21		Widerstand	10 k Ω
R22		Widerstand	10 k Ω
R29		Widerstand	2.2 k Ω
Q3	2N2222A	Transistor (nnp)	Schaltfunktion
LED1		Leuchtdiode rot	low current 2mA
LED2		Leuchtdiode gelb	low current 2mA
LED3		Leuchtdiode grün	low current 2mA
LED4		Leuchtdiode grün	low current 2mA

Funktionsweise: Die Anzeigeschaltung wird an den Akkumulator angeschlossen und wird von der Timerschaltung gesteuert. Sie dient dazu Anzuzeigen wie geladen bzw. entladen der Akkumulator ist.

Die Timerschaltung steuert die Ladestandsschaltung, dies wird im folgenden Abschnitt 4.7 näher erläutert. Der Ladestand wird über die Akkumulatorspannung bestimmt. An den Operationsverstärkern wird die Spannung mit der 2.5V Referenzspannung aus dem Überladeschutz verglichen. Auf diesem Wege wird das

analoge Signal in ein Digitales umgewandelt, damit die Logik angesteuert werden kann.
In der Logik werden diese Signale verarbeitet und an Leuchtdioden weitergegeben, die den Ladestand anzeigen.

Die von uns gewählten Messspannungen sind:

Spannung (in V):	LED (die jeweils leuchtet):
$13 < V$	Obere Grüne
$12.5 < V < 13$	Untere Grüne
$12 < V < 12.5$	Gelbe
$V < 12$	Rote

Auf folgender Seite, der Eagle-Schematic Schaltplan:

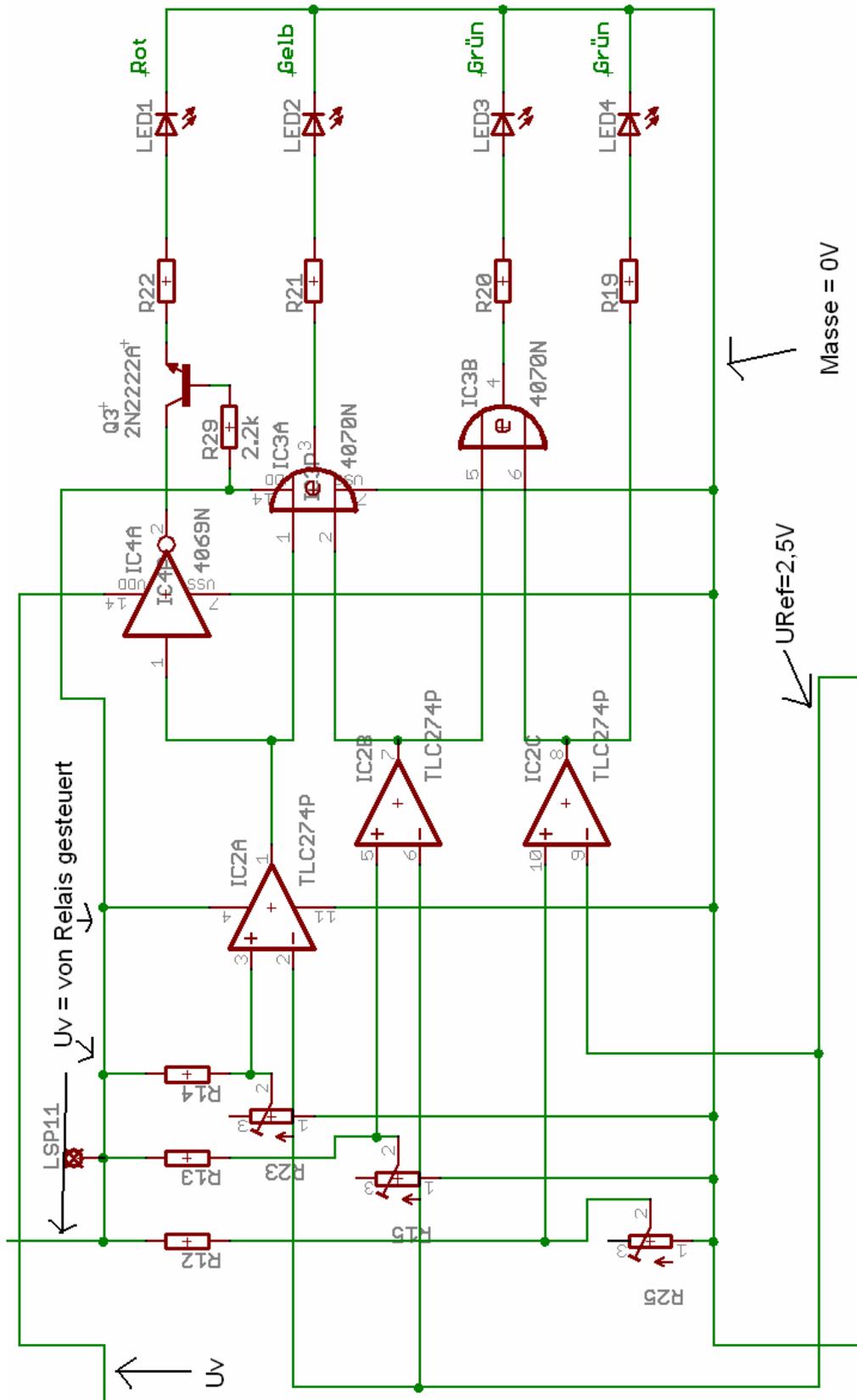


Abbildung 25: Eagle Schaltplan Ladestandsanzeige

4.7 Timerschaltung

Timerschaltung (zur Steuerung der Akku-Ladestandsanzeige)

Bauteile:

Teil	Typ	Bauteilart	Spezifikation
IC5	NE555	Timer IC	DIP Ausführung
C4		Kondensator	10nF 35V
C5	Rund	Elektrolytkondensator	100µF 35V
R17		Widerstand	2.2 kΩ
R18		Widerstand	68 kΩ
R24		Widerstand	2.2 kΩ
T1	BC337	Transistor (npn)	Schalterfunktion
S1		Taster	am Gehäuse
Relais	RH-5	Monostabiles Relais	Schaltet ab 5V
LSP9		Messspitze	Triggerspannung
LSP10		Messspitze	Output Timer
LSP11		Messspitze	Output Relais

Schaltplan:

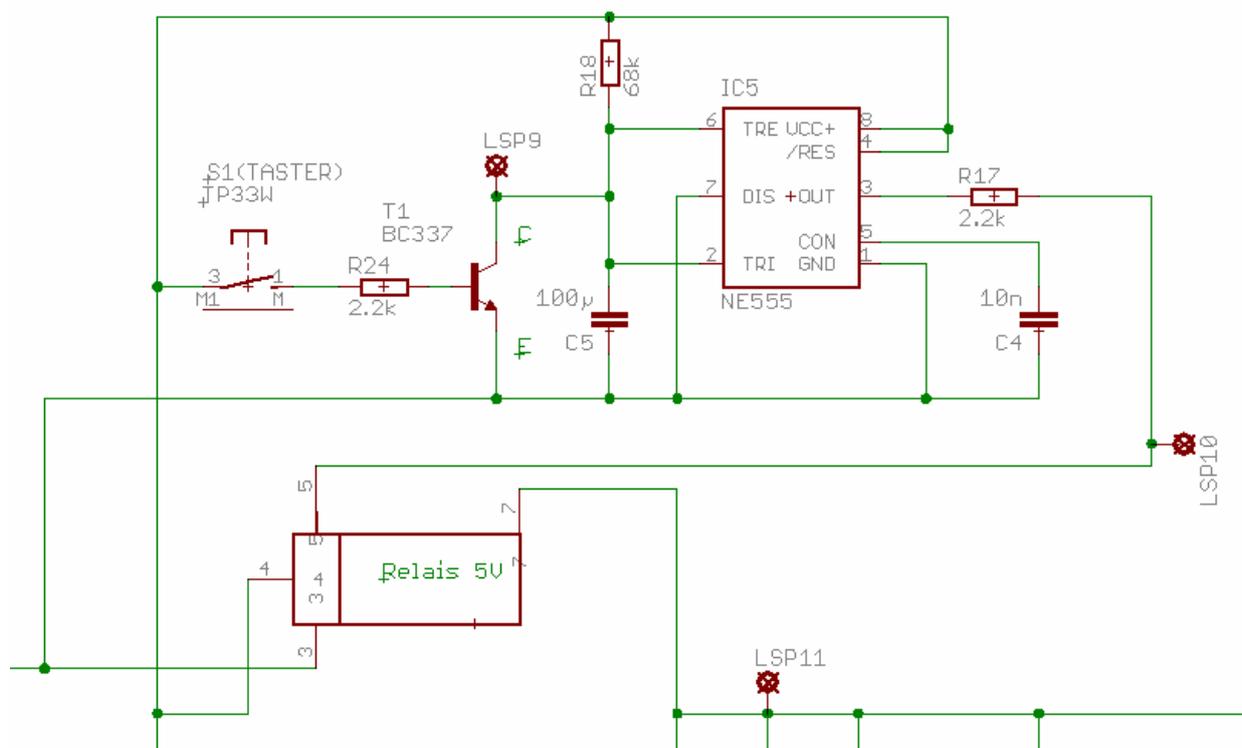


Abbildung 26: Eagle Schaltplan Timerschaltung

Beschreibung:

Diese Timerschaltung soll die Akkuladestandsanzeige steuern. Über den Taster S1 der sich an der Front des Gehäuses befindet wird bei betätigen der Transistor T1 durch gesteuert und schließt damit den Kondensator C5 kurz, welcher folglich komplett entladen wird.

Nun ist das Outputsignal des Timer-ICs auf HIGH und steuert das Relais an, welches durchschaltet und den Anzeigekreis mit Versorgungsspannung versorgt.

Die Anzeige wird solange mit Strom versorgt bis der Kondensator C5 wieder zu 66% geladen ist. Wenn die Spannung am Kondensator 2/3 der Versorgungsspannung überschreitet schaltet der Timer wieder auf LOW und das Relais schaltet ab.

Die Zeitkonstante setzt sich aus C5 und R18 zusammen. Wir haben sie mit 3 Sekunden bemessen. Das heißt bis der Kondensator wieder zu 2/3 Geladen ist vergehen 3 Sekunden, folglich wird auch solange der Akkuladestand angezeigt.

Eine Rechnung zur Bestimmung der Anzeigedauer:

$$U_c = U_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$$
$$t = -R \cdot C \cdot \ln\left(1 - \frac{U_c}{U_0}\right)$$
$$U_0 \approx 12V$$
$$R = 68k\Omega$$
$$C = 33\mu F = 0.000033F$$
$$t = -R \cdot C \cdot \ln(1 - 0.66)$$
$$t = -R \cdot C \cdot \ln(0.33)$$
$$t = 2.4878s \approx 3s$$

Die Timerschaltung ist so konzipiert, dass bei jedem Mal wenn der Taster gedrückt wird der Kondensator erneut entladen wird und folglich neu hoch gezählt wird. Diese Funktion nennt man Nachtriggerung, wie man auf der folgender Oszilloskop-Grafik sehen kann.

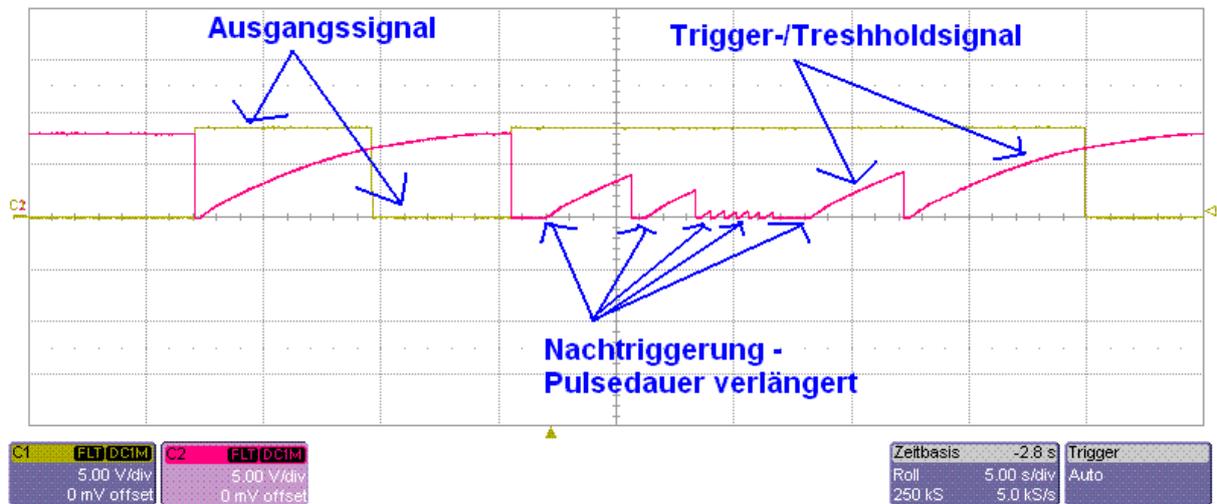


Abbildung 27: Timerschaltung Oszilloskop-Messung

4.8 Tiefentladeschutz

Der Tiefentladeschutz (TS) überwacht das Entladen von Akkuzellen. Laut der Akkuspezifikation darf eine einzelne Zelle bis zu $U = 1.0\text{ V}$ entladen werden. Um zu sichern, dass die Akkuzellen nicht zu tief entladen werden, d.h. dass die Spannung nicht unter die kritische Spannung U fällt, schaltet der TS den Verbraucher ab, wenn die Spannung an einer Gruppe von zwei Zellen unter 2.2V fällt.

Beschreibung der Schaltung:

Die 10 Akkuzellen sind in der Reihe verbunden. Der TS bekommt 6 Signale von dem BUS

Auf PINs A_i , die die Spannung U_n auf $2n$ Zellen übergeben, wobei $n = 1, 2, \dots, 5$:

PIN	Bezeichnung (U_n)	Akkuzellen 1 – 2n	Maximale Spannung [V]
A11	U5	1 - 10	14.0
A12	U4	1 - 8	11.2
A13	U3	1 - 6	8.4
A14	U2	1 - 4	5.6
A15	U1	1 - 2	2.8
A16	0V	0	0V

Bauteile:

Teil	Typ	Bauteilart	Spezifikation
14VZelle10		Messspitze	14V - Akkuspannung
11,2VZelle8		Messspitze	11,2V
8,4VZelle6		Messspitze	8,4V
5,6VZelle4		Messspitze	5,6V
2,8VZelle2		Messspitze	2,8V
0V		Messspitze	0V - Masse
R1		Widerstand	1M Ω
R2		Widerstand	1M Ω
R3		Widerstand	1M Ω
R4		Widerstand	1M Ω
R5		Widerstand	1M Ω
R6		Widerstand	1M Ω
R7		Widerstand	1M Ω
R8		Widerstand	1M Ω
R9		Widerstand	1M Ω
R10		Widerstand	1M Ω
R11		Widerstand	1M Ω
R12		Widerstand	1M Ω
R13		Widerstand	1k Ω
R14		Widerstand	47 Ω
R15		Widerstand	120 Ω
R16		Widerstand	15 Ω
R17		Widerstand	1k Ω
R18		Widerstand	1M Ω
R19		Widerstand	1M Ω
R20		Widerstand	1M Ω
R21		Widerstand	1M Ω
S2		Messspitze	Komparator-Spannung
S3		Messspitze	Komparator-Spannung
S4		Messspitze	Komparator-Spannung
S5		Messspitze	Komparator-Spannung
Ref		Messspitze	Referenzspannung
IC1(A-D)	TLC274P	Operationsverstärker	Komparator-Funktion
IC2(A-D)	TLC274P	Operationsverstärker	Komparator-Funktion
IC5A	TLC274P	Operationsverstärker	Komparator-Funktion

VR1	TL431LP	Referenzspannung	U=2,5V
IC4(A-D)	4081N	AND-Gatter	2-input
MP_LOGIK		Messspitze	Ausgangssignal
Q2	BUZ11	MOSFET(n-Kanal)	selbstsperrend
0VDCDC		Messspitze	PIN30
0VGROS...		Messspitze	PIN29
+14VGRO...		Messspitze	PIN28
+12VDCDC		Messspitze	PIN31

Subtrahierer

Ein Subtrahierer – OPV TLC274, der am plus Eingang die Spannung U_n und am minus Eingang die Spannung U_{n-1} hat, gibt am Ausgang genau die Spannung $U_{\text{diff-n}} = U_n - U_{n-1}$, d.h. die Summe der Spannungen an zwei Akkuzellen $2n$ und $2n-1$.

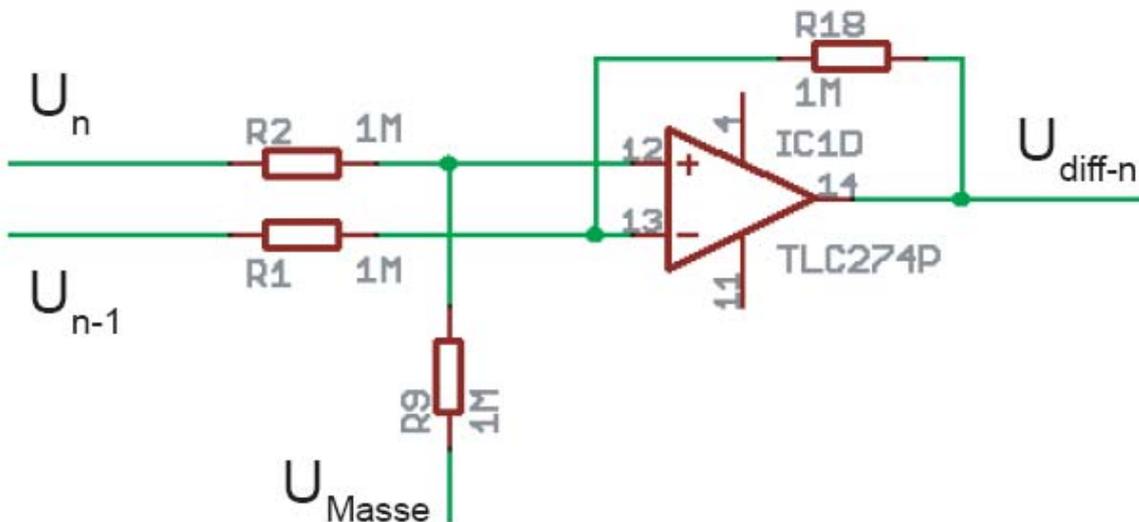


Abbildung 28: Eagle Schaltplan Subtrahierer

Komparator

Im nächsten Schritt wird die Spannung $U_{\text{diff-n}}$ (plus Eingang) mit der Referenzspannung $U_{\text{ref}} = 2.2 \text{ V}$ (minus Eingang) von einem OPV TLC274 verglichen. Am Ausgang legt der Komparator ein großes Signal $U_{\text{ausgang-n}}$ ($U_{\text{groß}} \approx 14 \text{ V}$), wenn $U_{\text{diff-n}} > U_{\text{ref}}$, d.h. der Akku darf weiter entladen

werden, oder legt der Komparator ein kleines Signal ($U_{\text{klein}} \approx 0.2 \text{ V}$), wenn die Spannung an zwei Zellen unter 2.2V sinkt.

Logik

Die CMOS Logik (4 AND Gatter CD4081B) nimmt am Eingang die Signale $U_{\text{ausgang-n}}$ mit 0 für U_{klein} und 1 für $U_{\text{groß}}$. Die Logikschaltung gibt am Ausgang $1U_{\text{logik}} = U_{\text{groß}}$ nur dann, wenn an allen Eingängen 1 angelegt wurde, d.h. alle Eingangssignale groß waren, d.h. die Spannungen an allen Akkuzellen oberhalb der kritischen Grenze liegen. Wenn mindestens an einem Eingang U_{klein} war, dann ist $U_{\text{logik}} = 0$.

Schalter

Auf PINs 29 und 28 ist die Großstromversorgung von dem Akku zum Verbraucher, der maximale erlaubte Strom ist 2A. Die PINs 30 und 31 sind die Ausgänge zu der DC/DC Schaltung. Der TS wird durch den Schalter hinter dem Verbraucher erfolgt, d.h. zwischen PINs 29 (Eingang) und 30 (Ausgang).

Zum Abschalten der Stromabnahme von dem Verbraucher (DC/DC Schaltung) wurde ein N-Kanal MOSFET benutzt (BUZ11). Der MOSFET ist leitend für $U_{\text{logik}} > 10\text{V}$ und sperrend für $U_{\text{logik}} < 10\text{V}$. Wenn die Spannung an zwei Akkuzellen unter 2.2V fällt, dann wird die Stromabnahme gesperrt.

Referenzspannungsquelle

Die Referenzspannung wird von TL431 gegeben. Zwischen Eingängen A und R liegen 2.5 V. Ein Spannungsteiler teilt die Referenzspannung auf $U_{\text{ref}} = 2.2\text{V}$.

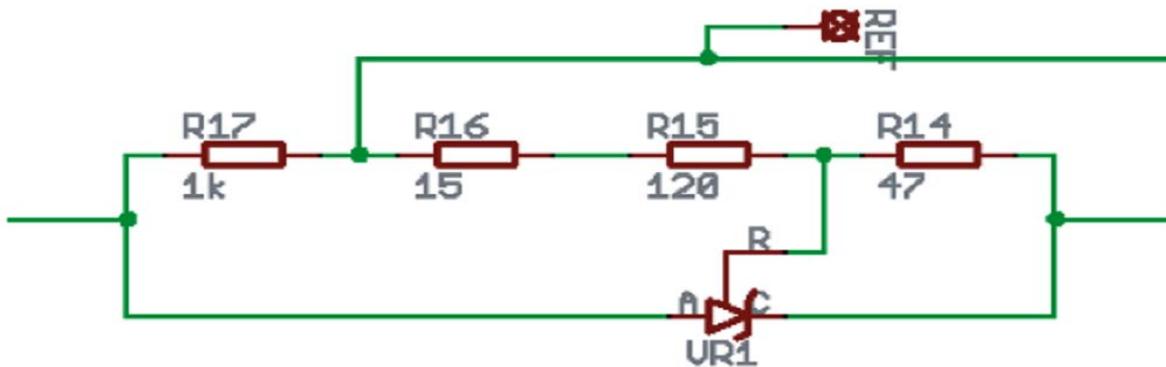


Abbildung 29: Eagle Schaltplan Referenzspannungsquelle

Gesamtschaltung Tiefentladeschutz:

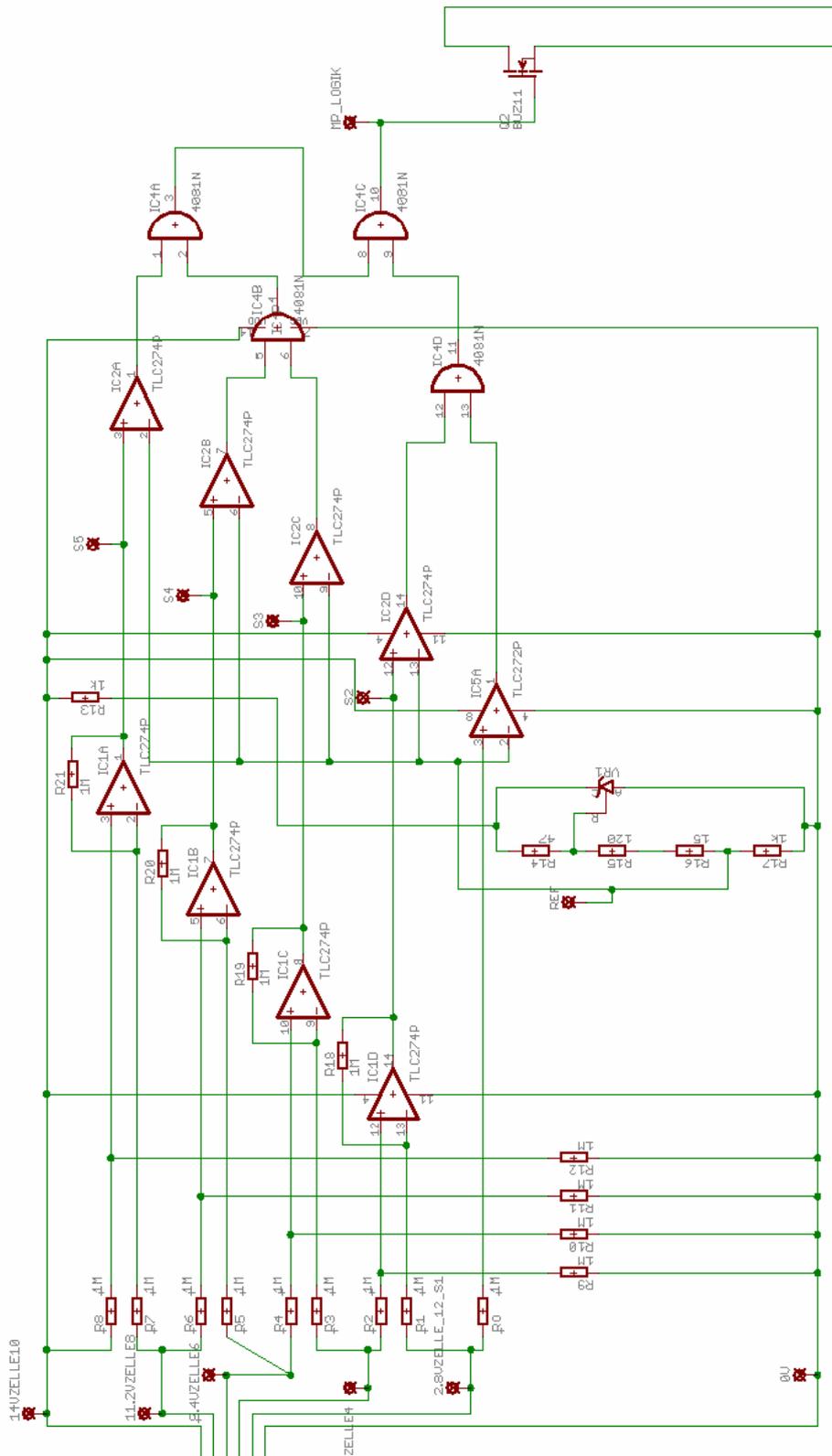


Abbildung 30: Eagle Schaltplan Tiefentladeschutz

4.9 Platinenaufteilung

In den vorangegangenen Kapiteln wurden die einzelnen Schaltungen und ihre Funktionen beschrieben. Nun kommen wir zur technischen Realisierung und Zusammenführung der einzelnen Schaltungen auf den Platinen. Wie im Blockschaltbild ersichtlich ist, hat Gruppe 1 die Teilschaltungen auf 3 Platinen angeordnet und zusammengefasst.

Auf Platine 1 befindet sich der Tiefentladeschutz und die Gleichrichterschaltung.

Auf Platine 2 sind der Überladeschutz und die Anzeigeschaltung realisiert und

auf Platine 3 der Akku mit seinen 10 Zellen.

Man könnte natürlich auch jede Schaltung auf einer Platine realisieren und ätzen jedoch ist das nicht sehr klug, da dies aus Platzgründen nicht möglich ist und man so Ressourcen spart. Man sollte den Platz, den ein Rohling(ungeätzte Platine) bietet so gut wie möglich ausnutzen.

Folglich spart man so nicht nur bei der Anzahl der Platinen sondern auch Bauelemente.

Ein sehr gutes Beispiel lässt sich da auf Platine 2 finden, da dort von der Anzeigeschaltung ein Inverter und von dem Tiefentladeschutz drei Inverter benötigt werden. Ein DIP(Dual Inline Package) Inverter-IC birgt 4 Inverterkreise in sich, so kann der Chip komplett benutzt werden. Im ungünstigeren Fall hätte man jeweils einen Chip für eine Schaltung verbaut. Dann hätte man jedoch ungenutzte Kreise was schlecht ist.

Auf den folgenden Seiten sind die Board-Layouts der einzelnen Platinen zu sehen.

Sie sind in Originalgröße und können direkt gedruckt, und zur Belichtung von Platinenrohlingen genutzt werden.

PLATINE 1

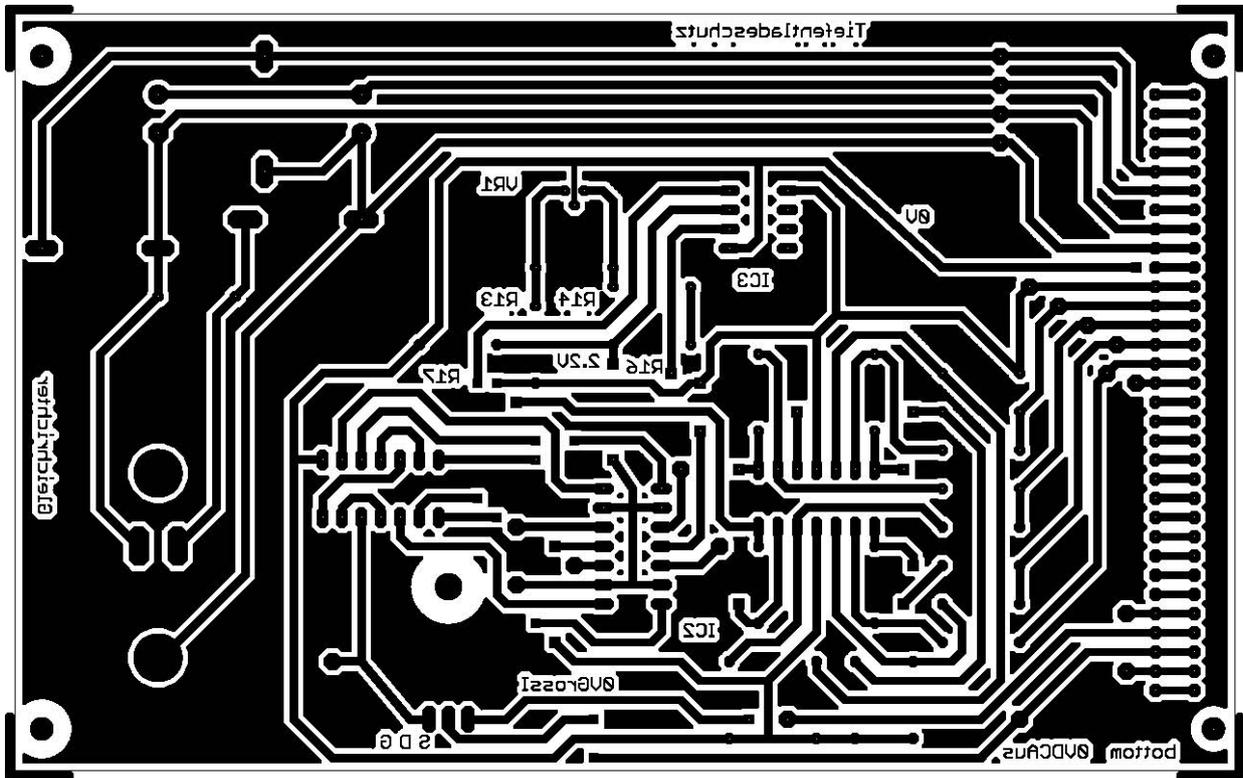


Abbildung 31: Eagle Board Platine 1 (Ätzvorlage)

PLATINE 2

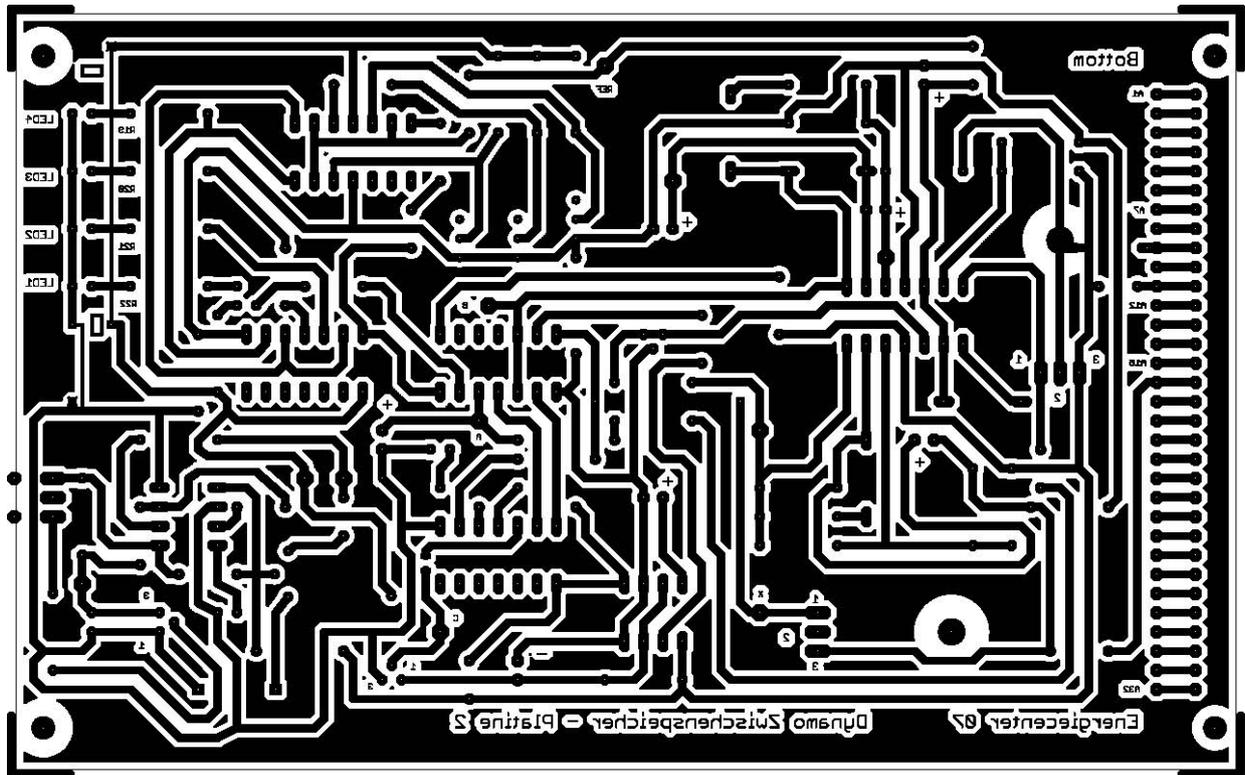


Abbildung 32: Eagle Board Platine 2 (Ätzvorlage)

PLATINE 3 (Revision 1 – „ein erster Versuch“)

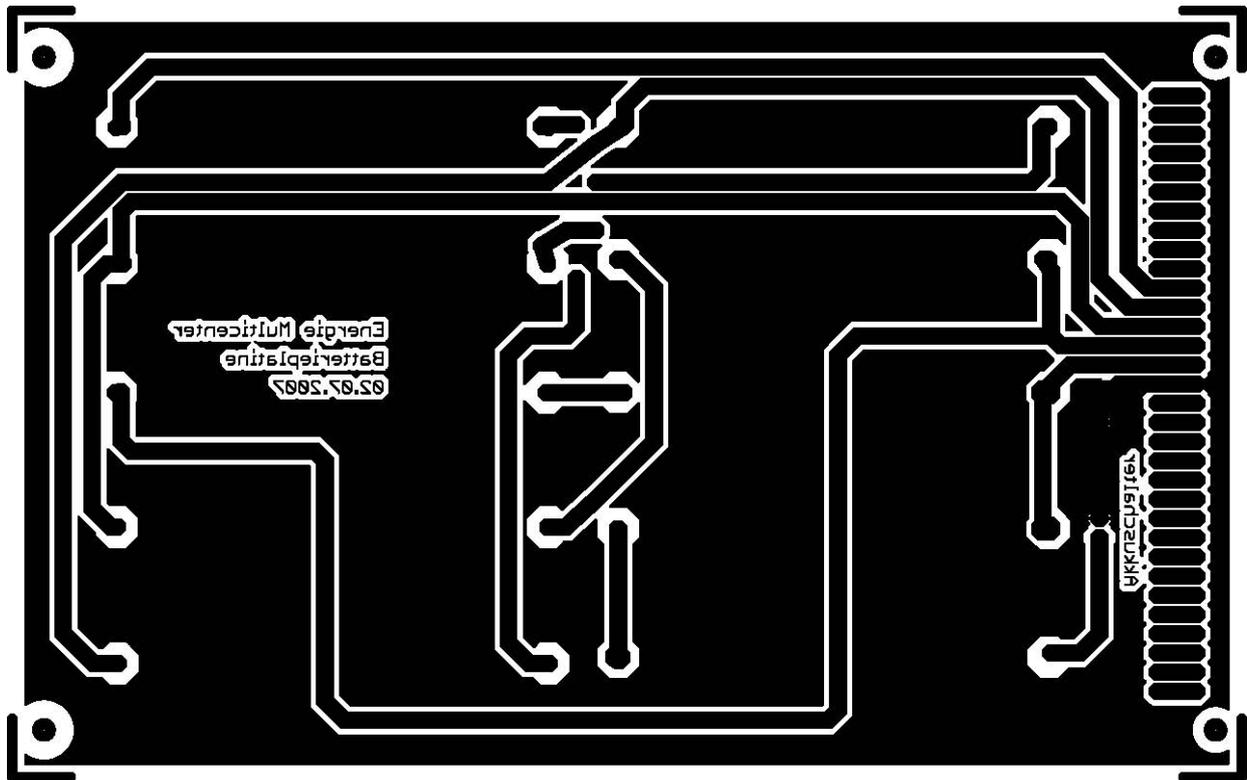


Abbildung 33: Eagle Board Platine 3 (Revision 1) (Ätzvorlage)

PLATINE 3 (Revision 2 - final)

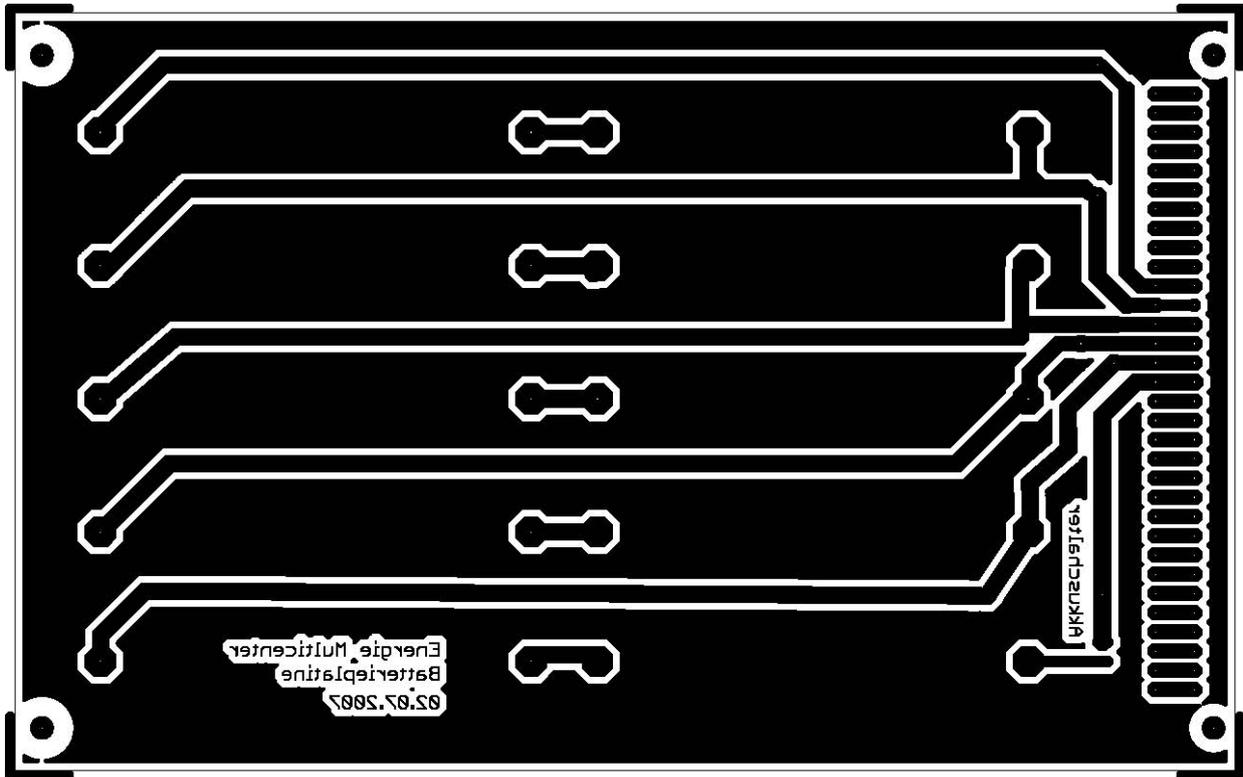


Abbildung 34: Eagle Board Platine 3 (Revision 2) (Ätzvorlage)

PLATINE 2

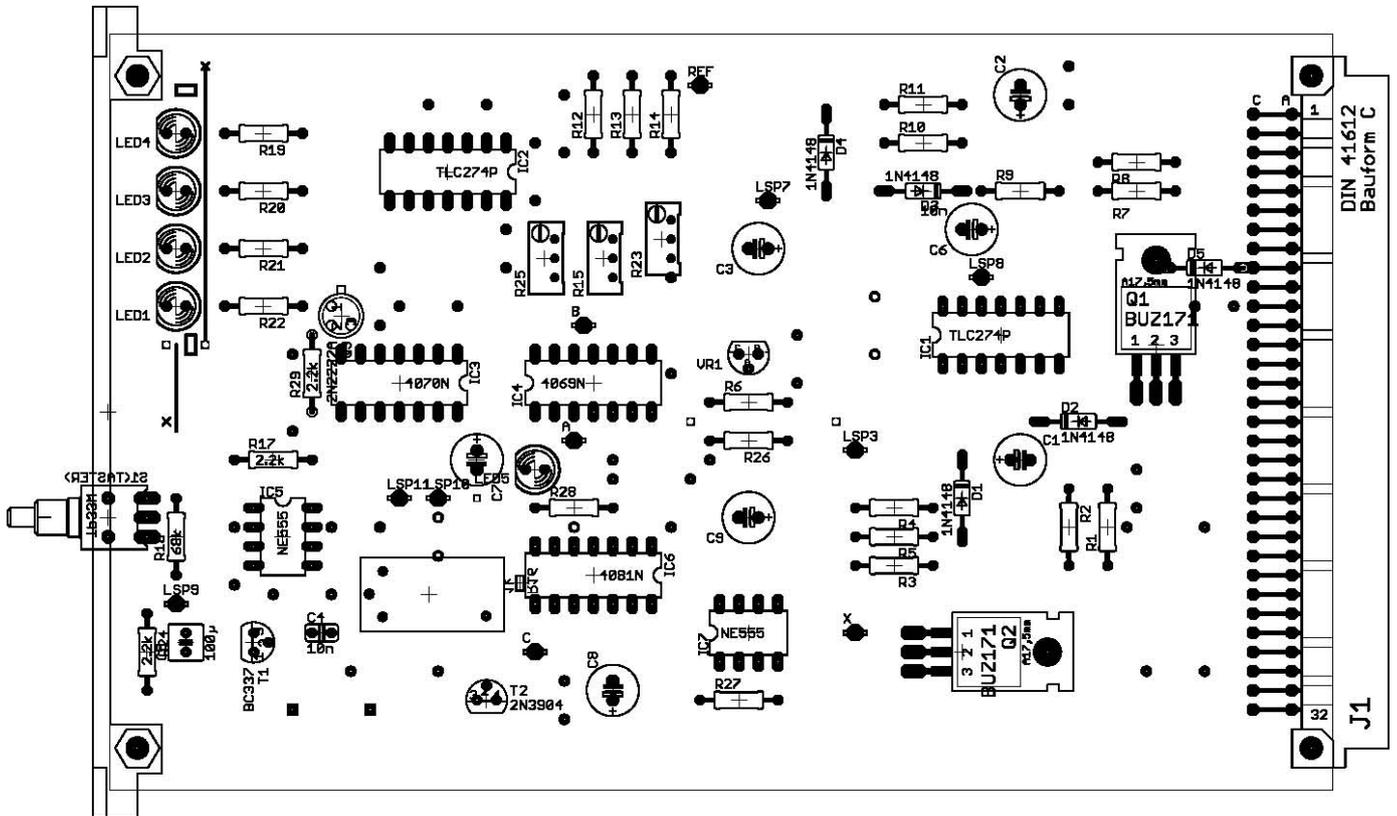


Abbildung 36: Eagle Board Platine 2 (Bestückungsplan)

PLATINE 3 (Revision 2 - final)

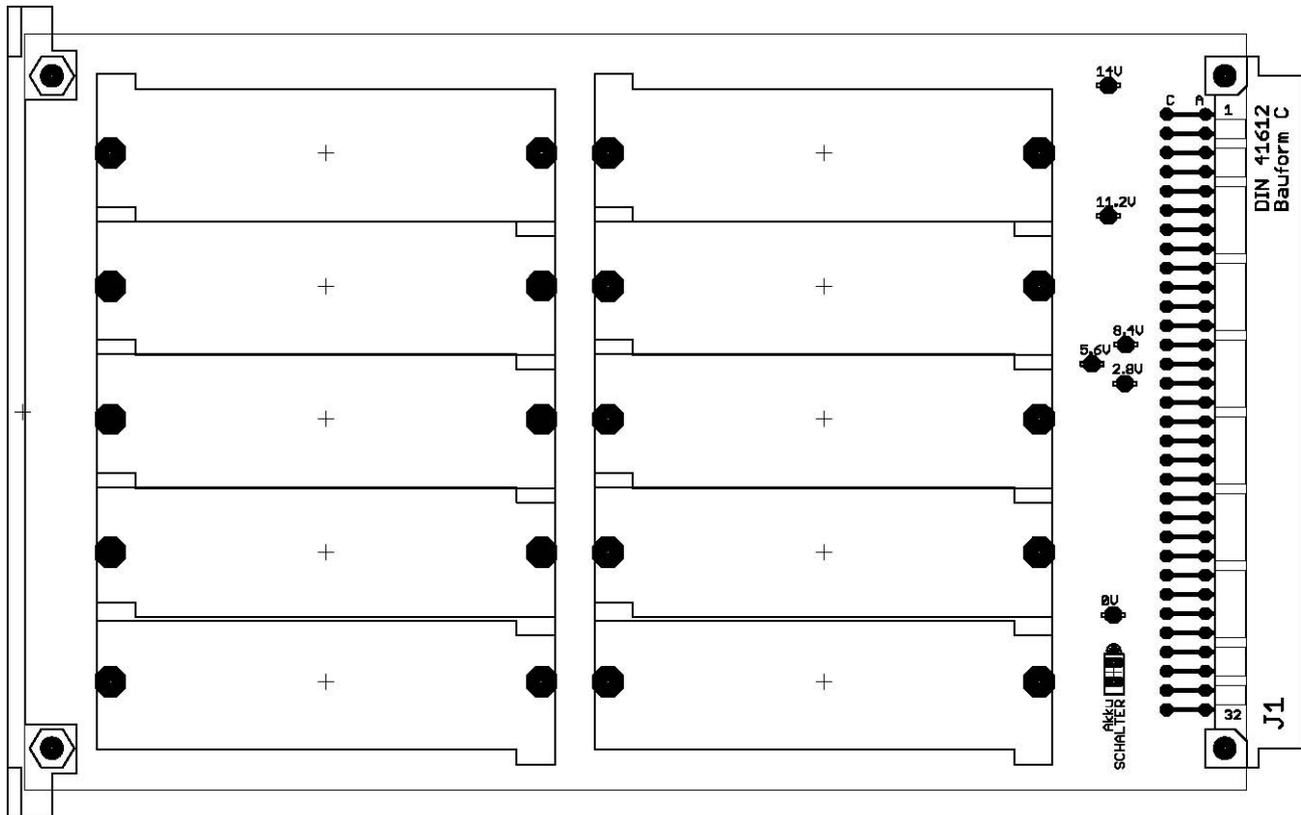


Abbildung 37: Eagle Board Platine 3 (Revision 2) (Bestückungsplan)

4.11 Eagle 3D-Platinen Gruppe 1

Gegen Ende dieses Kapitels noch zwei gerenderte Platinenansichten, die mit dem Zusatz-Modul Eagle 3D erstellt wurden.

Platine 1



Abbildung 38: Eagle 3D Platine 1

Platine 2

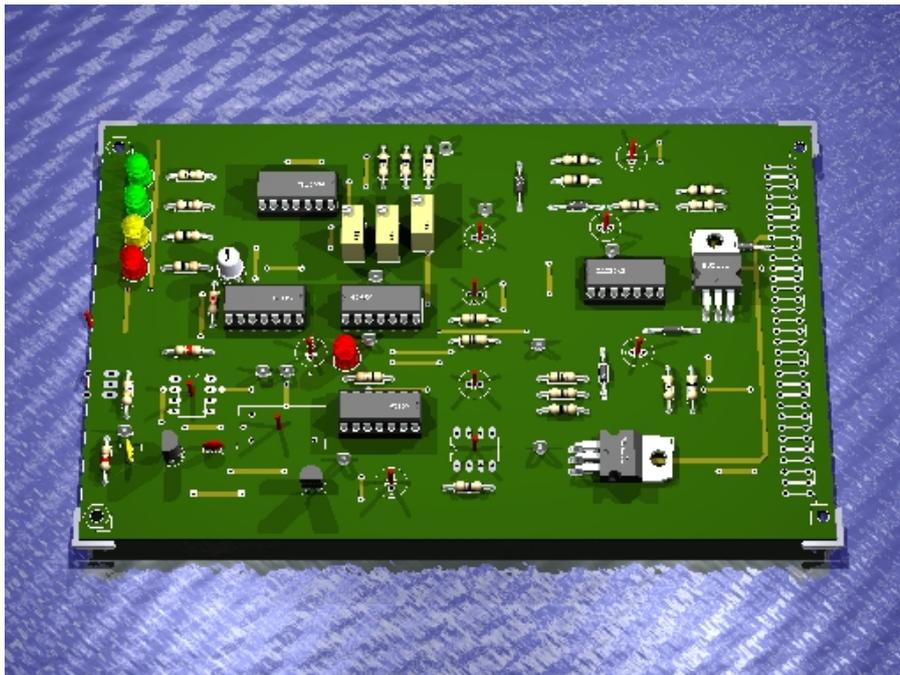


Abbildung 39: Eagle 3D Platine 2

4.12 Gesamtschaltbild Gruppe 1 in Eagle Schematic

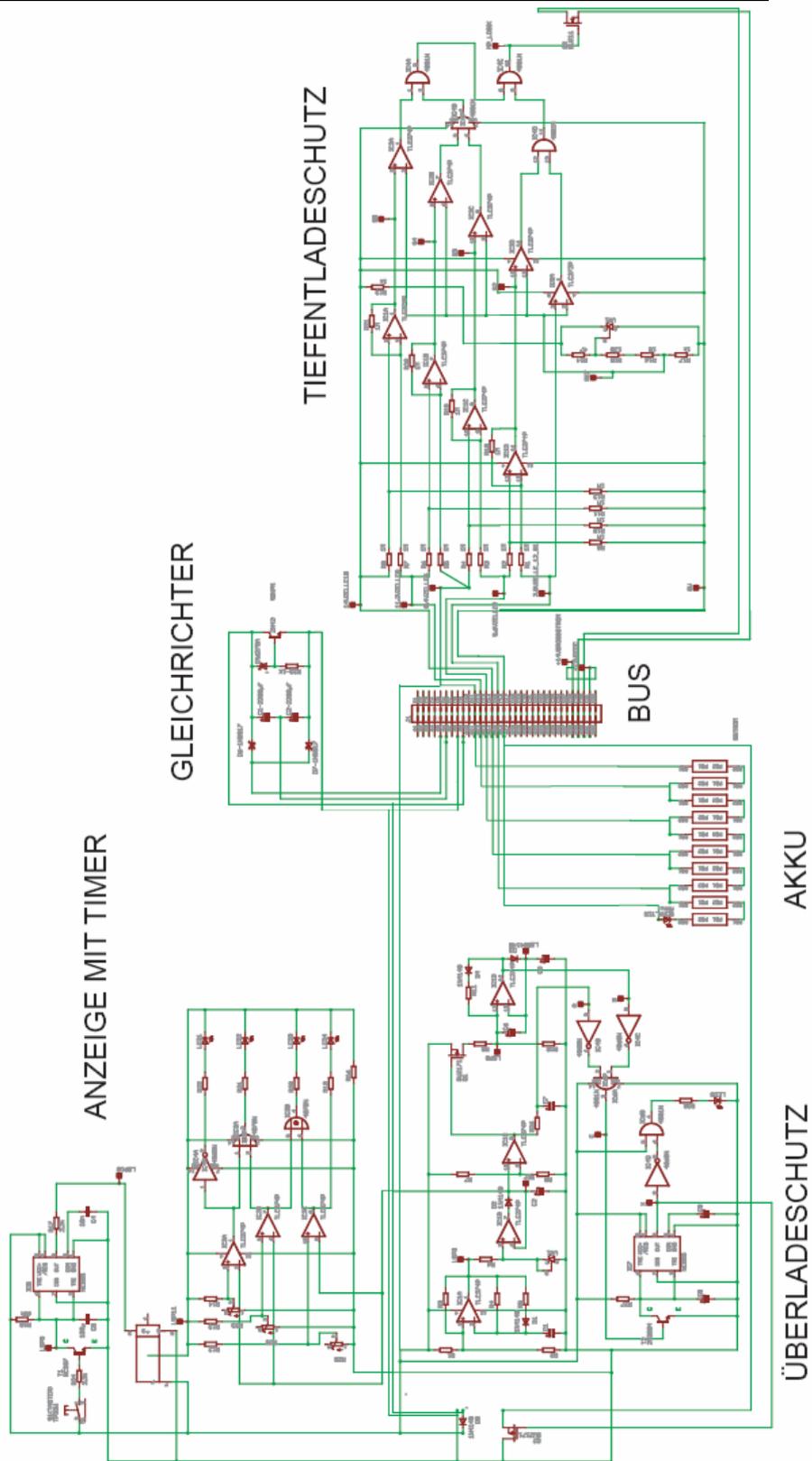


Abbildung 40: Eagle Schematic Gesamtschaltung Gruppe 1

5. Gruppe 2 - Solarzelle und Ladung

5.1 Blockschaltbild und Frontplatte

-- Blockschaltbild

Dieser Teil des Projekts, ist der, der einerseits als Energiequelle arbeitet (durch die Solarzelle) und der andererseits fürs Aufladen unseres Verbrauchers (durch den Sperrwandler). Die Gruppe hat 2 Schaltungen vorbereitet, die sich auf 2 Platinen befinden.

Die Solarzelle wird tagsüber Energie, die von der Sonne kommt in elektrischer Energie umwandeln und in den Zwischenspeicher bringen. Die Anzeige wird anzeigen, welcher Strom von der Solarzelle fließt.

Die Ladeschaltung soll 2 Akkuzellen gleichzeitig aufladen. Der Ladevorgang wird mit einem konstanten Strom aufgebaut und die Spannung wird beobachtet.

Eine zweifarbige LED soll den Zustand der Akkus zeigen. Das heißt die LED leuchtet rot wenn die Akkus aufgeladen werden, und sie leuchtet grün wenn die Akkus voll sind. Ein Ausgangskondensator wird dafür sorgen, dass die gespeicherte Energie auf 2.5v gehalten wird.

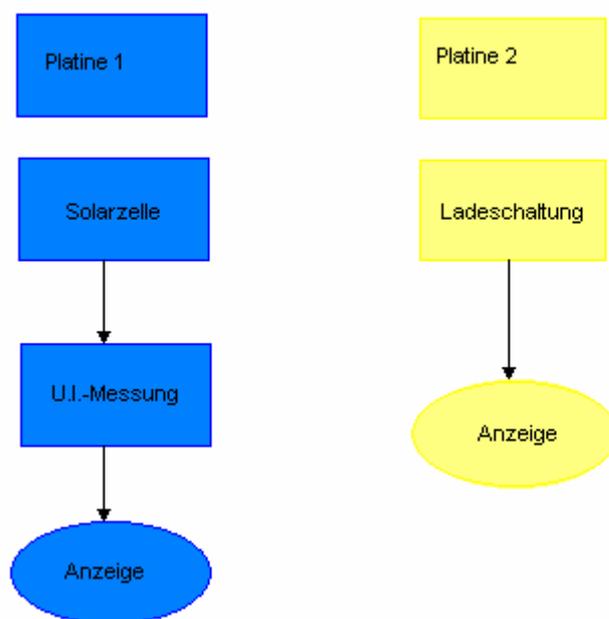


Abbildung 41: Blochschtbild Gruppe 2

mit einer Spannung von 12 v gespeist und hat für Aufgabe Akkus aufzuladen. In diesem Teil werden wir für den Überlade- und den Tiefentladeschutz Komparatoren benutzen.

5.2 Solarzelle

Solarzellen sind elektrische Bauelemente. Sie wandeln Sonnenlicht in elektrische Energie um.

Funktionsweise einer Solarzelle

Bei Halbleitern ist das Valenzband voll mit Elektronen besetzt und das Leitungsband ist leer. Aber bei Halbleitern ist der Bandabstand klein genug, damit die Elektronen aus dem Valenzband ins Leitungsband springen können. Deswegen ist die Leitfähigkeit vom Licht, welches die Energie liefert, abhängig. Die zu liefernde Energie kommt von absorbierten Photonen. Ist die Energie groß genug, werden viele Elektronen aus dem Valenzband ins Leitungsband angehoben (im Valenzband bleiben also Defektelektronen oder Löcher). Das Elektron im Leitungsband ist frei beweglich und erhöht so die Leitfähigkeit. In diesem Fall handelt es sich um Eigenleitung der Halbleiter.

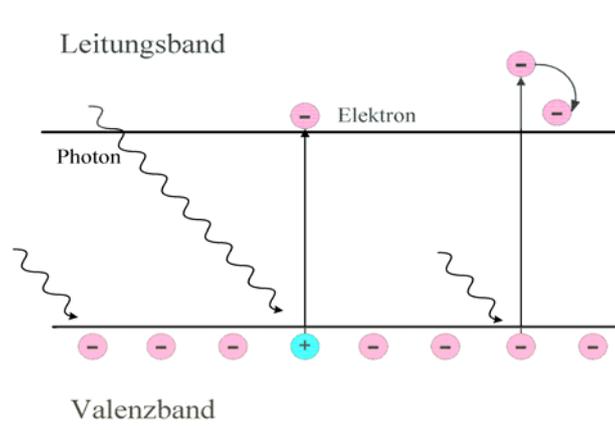


Abbildung 42: Anhebung von Elektronen ins Leitungsband

Aber die Eigenleitung allein reicht nicht aus. Zusätzlich zur Eigenleitung lässt sich eine um viele Größenordnungen höhere Leitfähigkeit erreichen

durch den gezielten Einbau von Fremdatomen in das Kristallgitter. Man spricht von Dotierung. Als Ergebnis wird die Leitfähigkeit gezielt eingestellt. Ob das Material n- oder p- leitend wird, hängt von der Menge der Außenelektronen, die mit Fremdatomen eingebaut wurden, ab. Das Besondere ist, dass ein n - Leiter nur für Elektronen und ein p-Leiter nur für Löcher leitfähig ist.

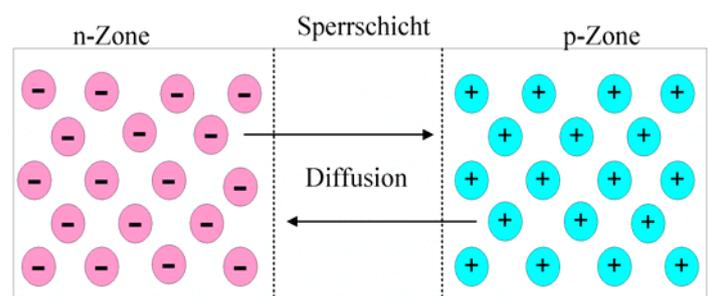


Abbildung 43: pn-Übergang, Sperrschicht

Eine Solarzelle ist aus einer n- und einer p -Schicht aufgebaut. Dadurch entsteht ein pn - Übergang. P- Ladungsträger (Löcher) wandern in den n-Bereich und die Elektronen in den p-Bereich und neutralisieren sich gegenseitig. Es entsteht ein isolierender Bereich zwischen n- und p-Zone (Sperrschicht). In diesem Bereich baut sich ein elektrisches Feld auf. Durch dieses Feld wird die Wanderung von Löcher und Elektronen gestoppt, wenn eine bestimmte Diffusionsspannung erreicht wird. Wird die Sperrschicht nun belichtet, werden Elektronen und Löcher frei, die dann durch das elektrische Feld in die n-Zone bzw. p-Zone wandern. Es findet eine Ladungstrennung statt. Ist die Sperrschicht überquert, können Löcher und Elektronen nicht mehr rekombinieren. Wenn man die so entstehende elektrische Aufladung der beiden Bereiche mit Metallkontakten abgreift, so fließt der Photostrom.

Materialien

Solarzellen kann man aus verschiedenen Materialien herstellen. Am häufigsten wird Silizium benutzt (95%). Es gibt aber auch neue Ansätze zum Material, wie organische Solarzellen oder Farbstoffzellen. Je nach Kristallaufbau unterscheidet man bei Silizium folgende Typen: Monokristalline, Polykristalline, Multikristalline, Amorphe Solarzellen.

Kennlinie

Die Abbildung zeigt die Strom-Spannungs-Kennlinie einer Solarzelle mit und ohne Beleuchtung.

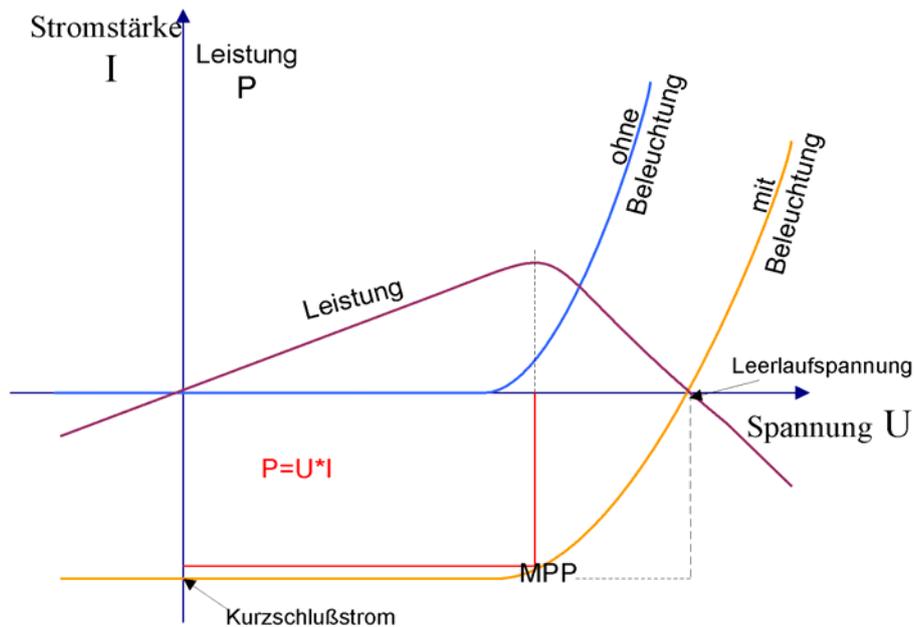


Abbildung 44: Strom-Spannungs-Kennlinie einer Solarzelle (beleuchtet und unbeleuchtet)

MPP ist der Punkt der maximalen Leistung in einer Solarzelle. Die maximale Leistung, die einer Solarzelle entnommen werden kann, ist mit $P = UI$ durch das rote Rechteck gegeben.

Technische Charakteristik des Solarpanels:

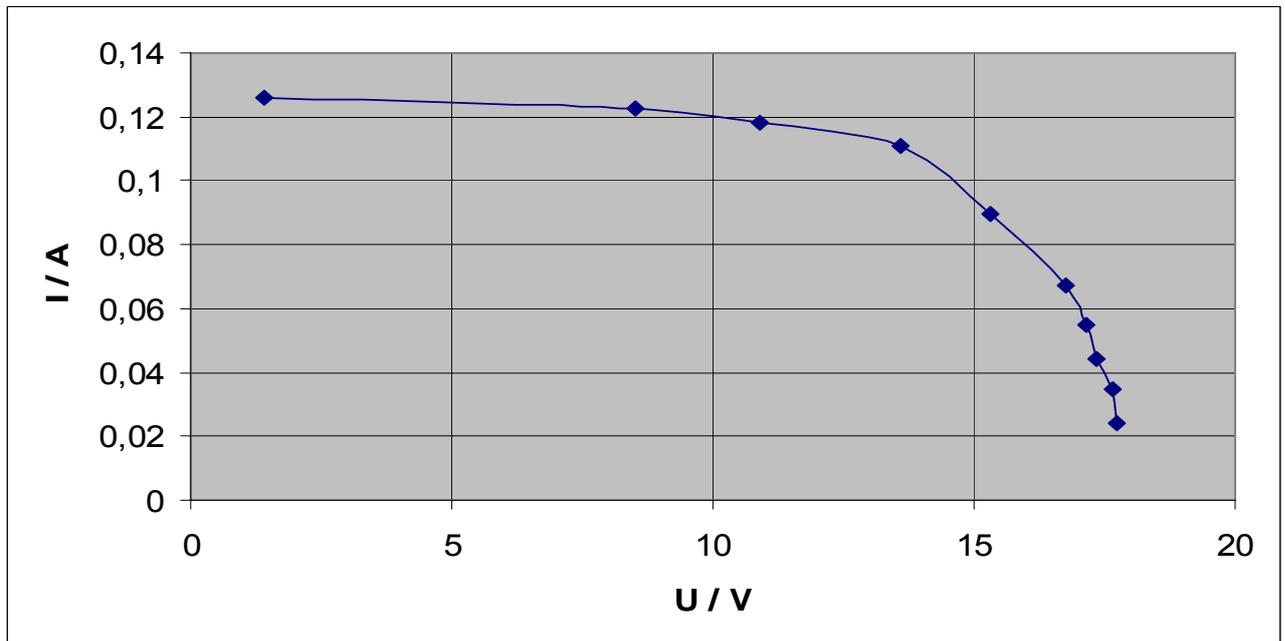
Die Schaltung wurde nach folgendem Schaltbild aufgebaut:

1.0 Aufbau zur Ermittlung der Kennlinien

1. Strom- Spannung- Messung an einem sonnigen Tag:

U / V	I / A	P / W P=U*I
17,73	0,024	0,42552
17,66	0,035	0,6181
17,34	0,0442	0,766428
17,14	0,0548	0,939272
16,75	0,0671	1,123925
15,3	0,0897	1,37241
13,6	0,1108	1,50688
10,89	0,1181	1,286109
8,5	0,1225	1,04125
1,4	0,1261	0,17654

1.1 Messung von Spannung und Strom. (durchgeführt am 30.05.2007, 17.10 Uhr, mit der Solarpanel A4W)

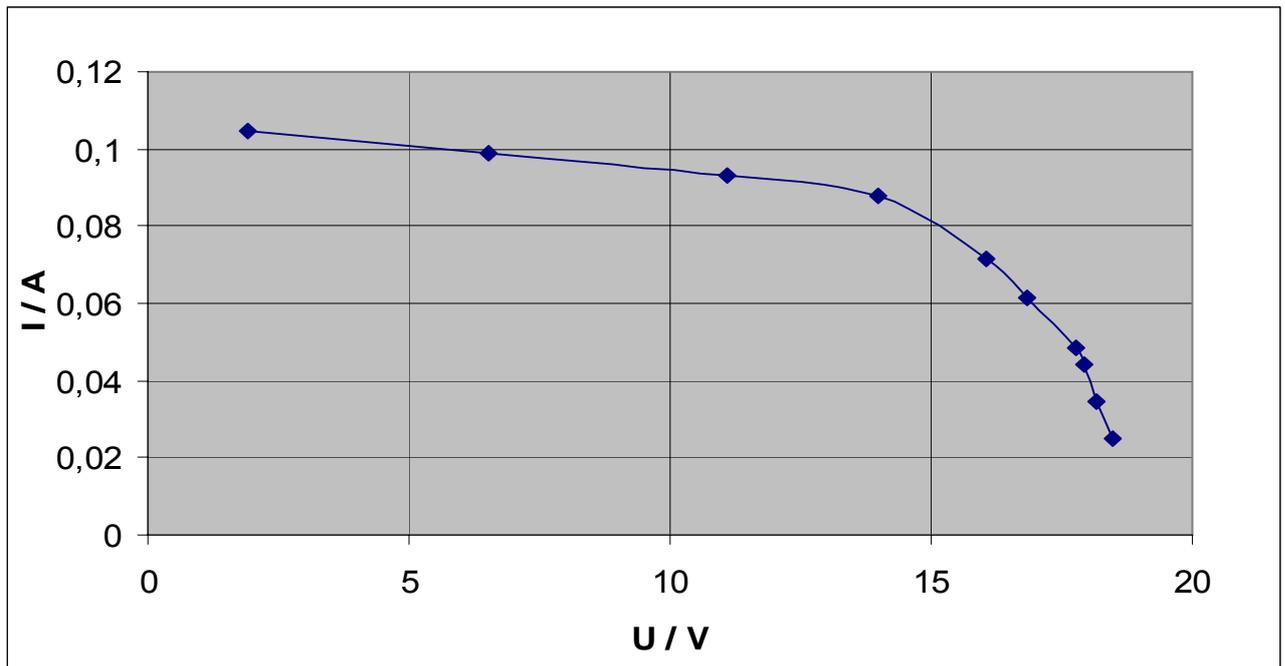


1.2 Strom-Spannungs-Kennlinie des Solarpanels .

2. Strom- Spannung- Messung an einem bewölkten Tag:

U / V	I / A	P / W	P=U*I
18,48	0,024775	0,457842	
18,18	0,0344	0,625392	
17,92	0,0444	0,795648	
17,79	0,0485	0,862815	
16,82	0,0613	1,031066	
16,04	0,0713	1,143652	
14	0,088	1,232	
11,1	0,0931	1,03341	
6,51	0,0988	0,643188	
1,9	0,1045	0,19855	

2.1 Messungen von Spannung und Strom(durchgeführt am 06.06.2007, 17.20 Uhr, mit der Solarpanel A4W)



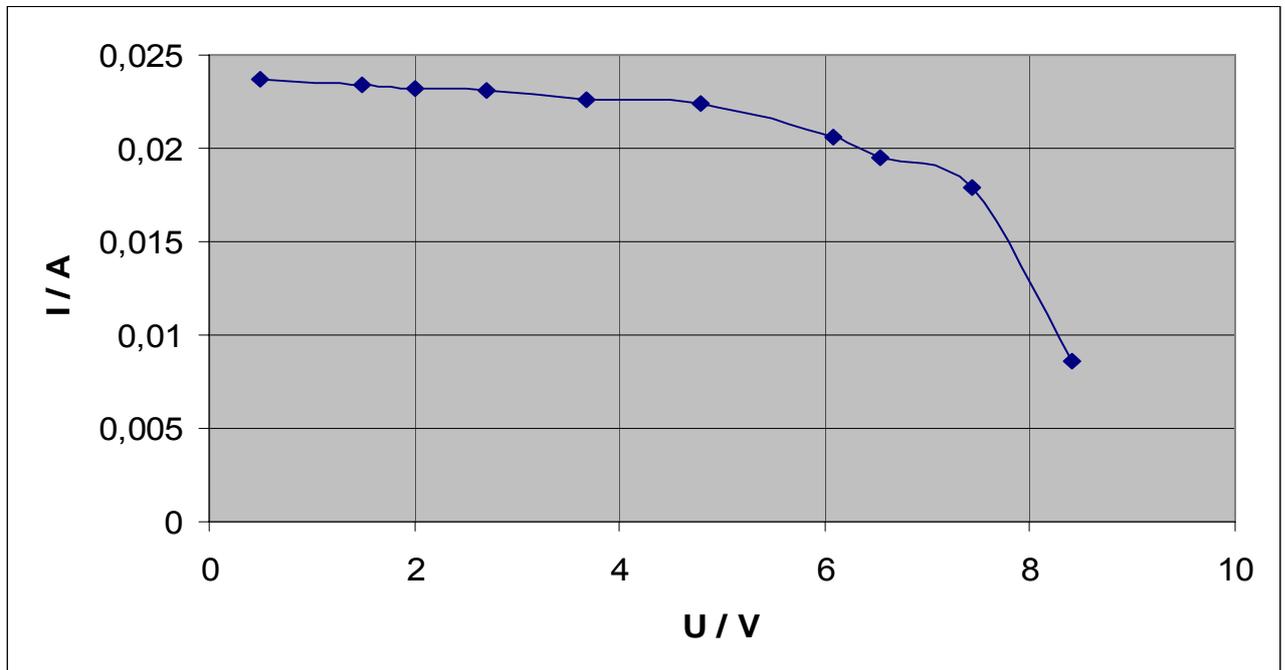
2.2 Strom- Spannungs- Kenlinie des Solarpanels.

Wie man sieht, sinkt die Stromstärke bei größerer Spannung. Dies ergibt sich aus der Formel $U = R \cdot I$.

3. Strom- Spannung- Messung am Abend:

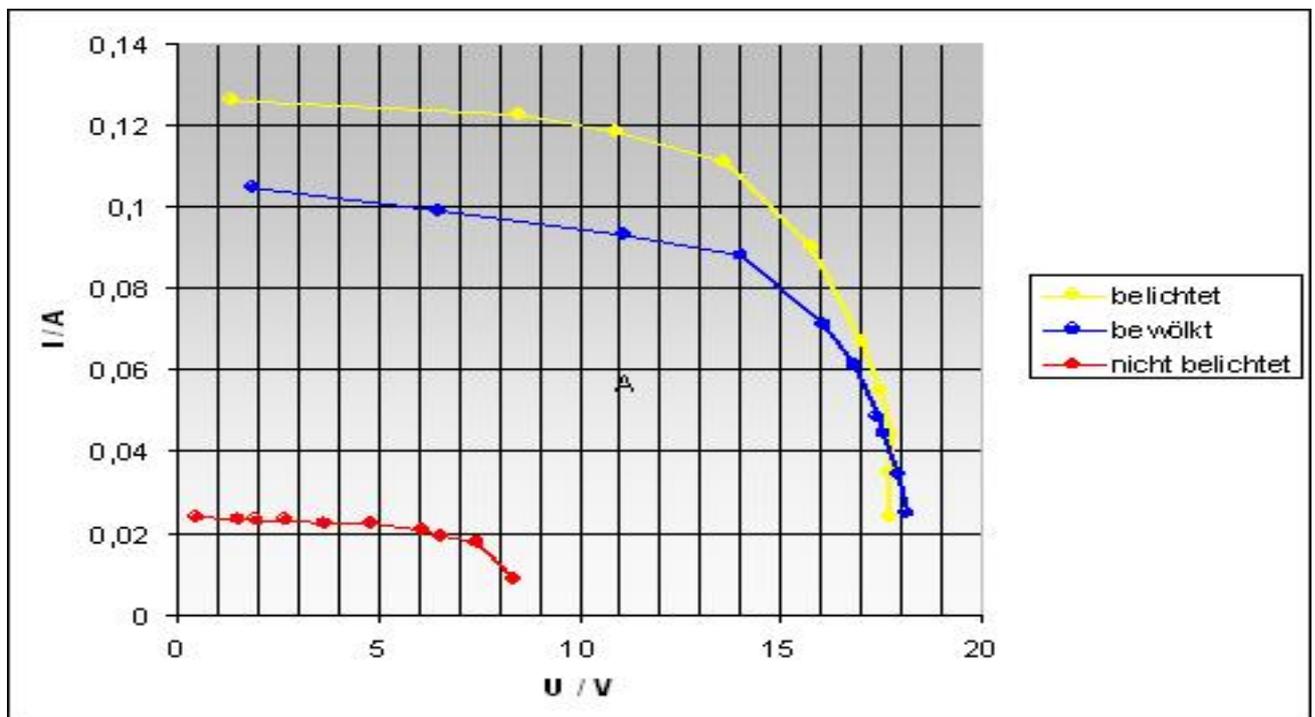
U / V	I / A	P / W $P=U \cdot I$
8,4	0,0132	0,11088
7,44	0,01789	0,1331016
6,55	0,01947	0,1275285
6,08	0,02064	0,1254912
4,79	0,0224	0,107296
3,67	0,02256	0,0827952
2,7	0,02306	0,062262
2	0,02316	0,04632
1,5	0,0234	0,0351
0,5	0,0237	0,01185

3.1 Messungen von Spannung und Strom. (durchgeführt am 06.06.2007, 19.15 Uhr, mit der Solarpanel A4W)



3.2 Strom- Spannungs- Kenlinie des Solarpanels.

4. Alle 3 Kennlinien zusammen:



4.0 Strom- Spannungs- Kennlinien des Solarpanels.

5.3 Anzeigeschaltung

Die Anzeigeschaltung der Solarzelle hat die Aufgabe, anzuzeigen wie viel Strom die Solarzelle gerade erzeugt. Mit Hilfe der U. I. Messung wird man Werte von durch die Solarzelle fließenden Ströme und Spannungen zu bestimmten Zeitpunkten bestimmen

Bestandteile:

- 1x 500kΩ Widerstand
- 2 x 4.7kΩ Widerstand
- 1 x 2.4kΩ Widerstand
- 3 x 1kΩ Widerstand
- 1 x 0.1Ω Widerstand
- 2 Operation verstärker UM324/5_1/T1
- 1 Messgerät

Anpassung des LCD

Das von uns verwendete LCD zum Anzeigen des Laststromes hat ein eingebautes Messgerät, daher muss es nur parallel zum Messwiderstand geschaltet werden und zeigt dann die Spannung an diesem Widerstand an.

Da die Spannung proportional zum Strom ist, können wir uns den Strom anzeigen lassen, indem wir einen 0,1 Ohm Messwiderstand benutzen. Da wir aber einen 0,22 Ohm Widerstand gefunden haben, zeigt das LCD den Strom um den Faktor 0,22 falsch an.

Von daher müssen wir einen Spannungsteiler dazuschalten. Dazu schalten wir parallel zum Messwiderstand zwei Widerstände R1 und R2.

$$R2/(R1+R2) * U_{mess} = U_{mess}/0.22$$

Also wählen für R2 1k Ohm und für R1 1,2k Ohm.

5.3.1 Blockschaltbild

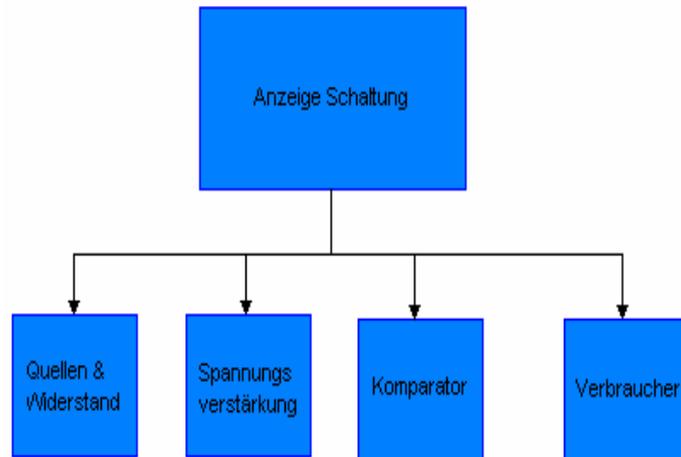
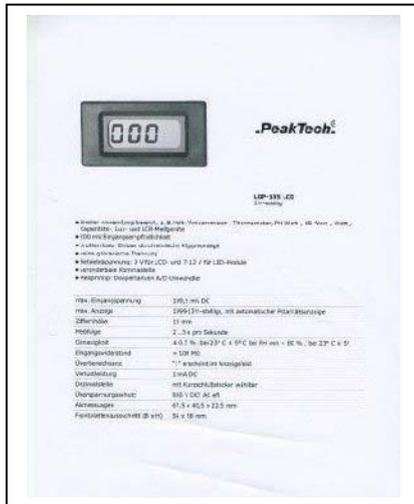
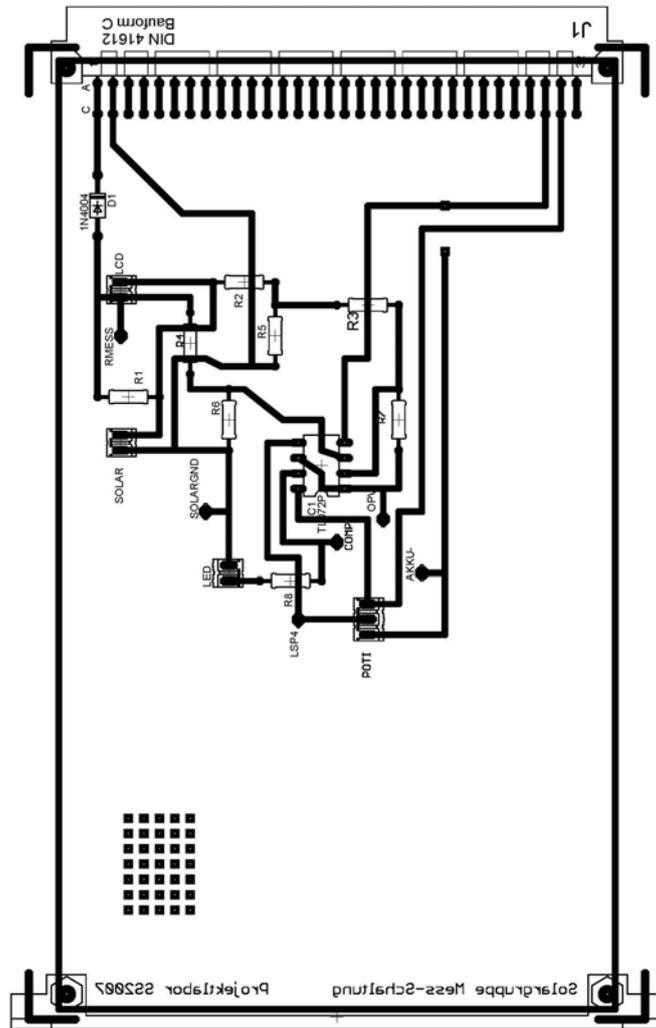
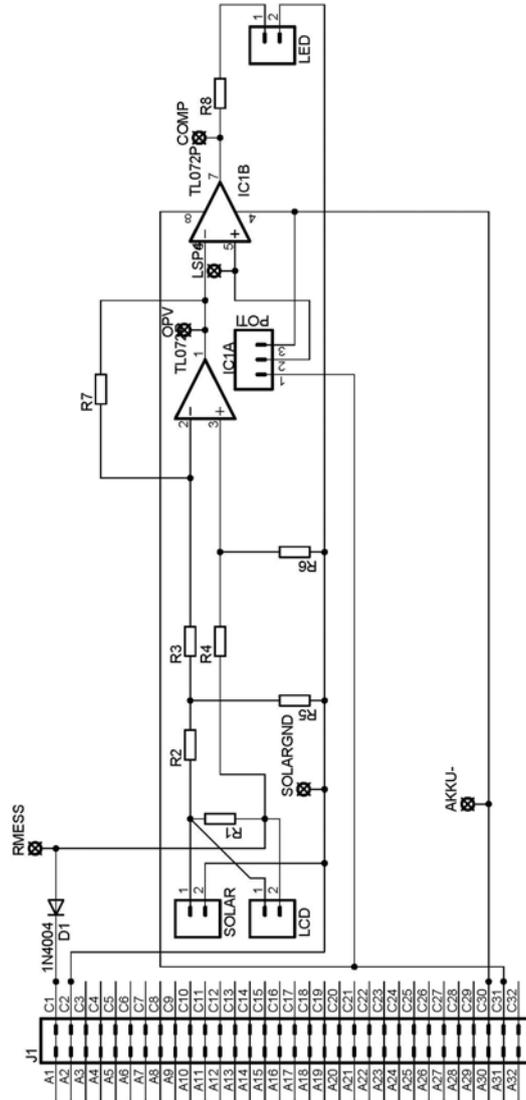


Abbildung 45: Blockschaltbild Anzeigeschaltung Gruppe 2



04.07.2007 18:36:54 f=1.46 \\plpc03\EAGLE\projects\Energie Multicenter\Solargruppe\Mess-schaltung\Messschaltung\ausdruc

Abbildung 46: Eagle Board Gruppe 2



04.07.2007 18:37:24 f=1.44 \\plpc03\EAGLE\projects\Energie Multicenter\Solargruppe\Mess-schaltung\Messschaltung\solar-fin

Abbildung 47: Eagle Board Gruppe 2

5.3.2 Theoretische Beschreibung

Die Schaltung kann man in 4 Blöcke aufteilen:

- Quellen und Messwiderstand
- Spannungsverstärkung
- Komparator
- Verbraucher

Block 1 besteht aus einer Spannungsquelle V4 (simuliert die Solarzelle) und einer Stromquelle I 1 (simuliert den Ladestrom durch den Akku).

Die Widerstände R6-R8 sind durch zwei Spannungsleiter, die dafür sorgen, dass die Eingangsspannung nicht zu hoch für den OPV wird (sie muss kleiner als die Versorgungsspannung minus 1,5 V sein, also kleiner als 10,5 V).

Da die Spannung über dem Messwiderstand sehr klein ist, muss diese verstärkt werden, da sonst die Schwankungen zu klein für einen Komparator wären und dieser ständig am Schalten wäre. Dazu wird in Block 2 eine Umkehrverstärkung verwendet.

$U_a / U_e = 1 + R_2 / R_1$, also ist in unserem Fall die Verstärkung ca. 25.

Da die Spannung proportional zum Strom ist, der uns eigentlich interessiert, kann einfach am Ausgang ausgemessen werden, bei welcher Spannung der Laststrom den von uns gesuchten Wert ergibt. Diese Spannung wird dann in Block 3 beim Komparator als Referenzspannung angelegt. Der Komparator schaltet dann durch, wenn die Spannung erreicht wird und versorgt den Verbraucher mit Spannung. In unserem Fall ist der Verbraucher eine Leuchtdiode mit Vorwiderstand.

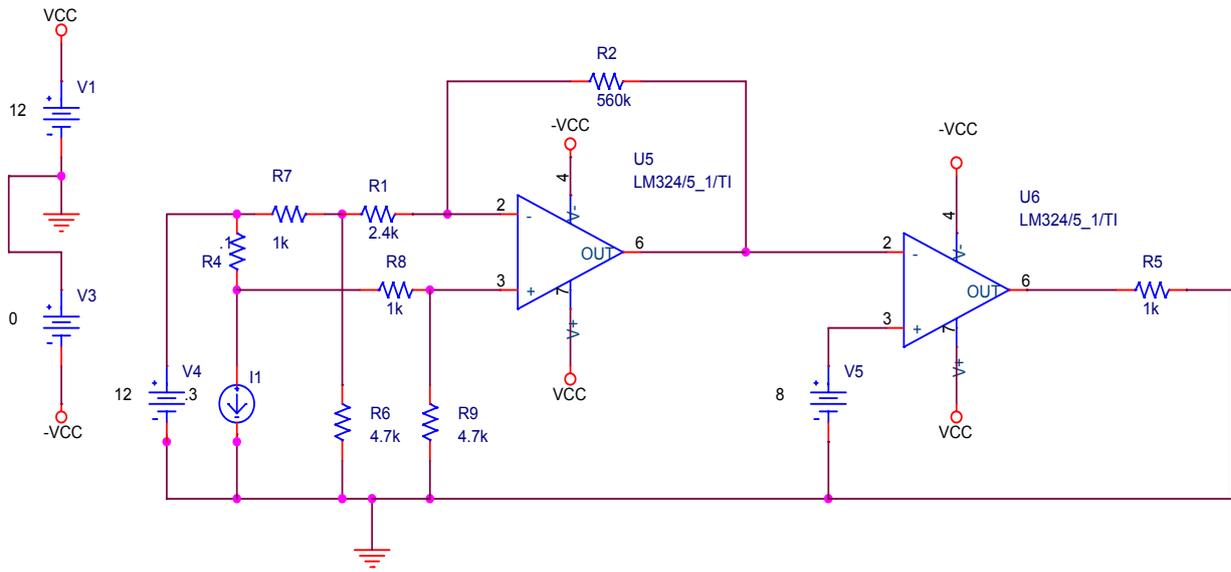


Abbildung 48: Anzeigeschaltung Gruppe 2

5.4 Ladeschaltung

5.4.1 Blockschaltbild

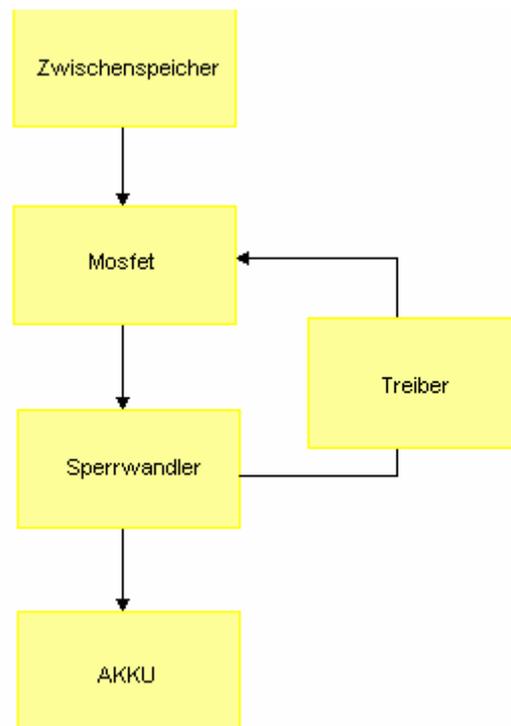


Abbildung 49: Ladeschaltung Gruppe 2

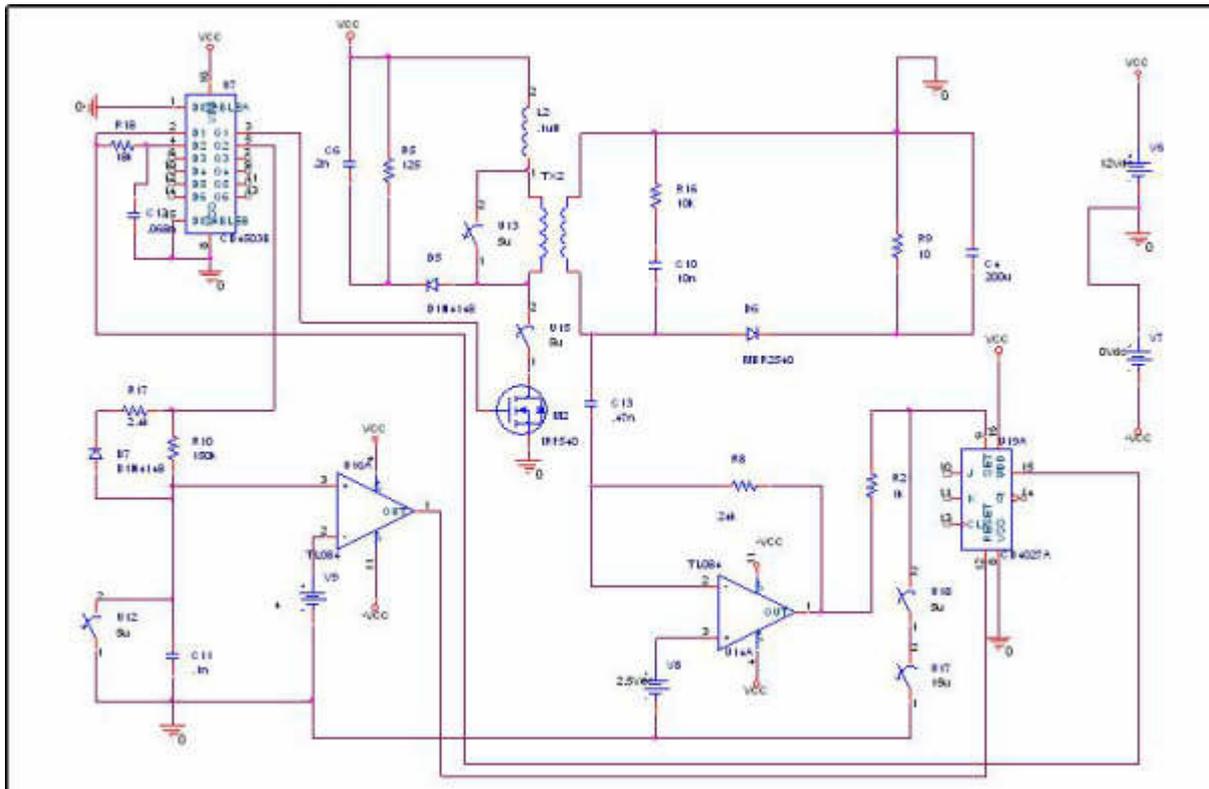


Abbildung 50: PSpice Schaltplan Sperrwandler

Funktionsweise des Sperrwandlers

Unser Akku wird mit Hilfe des Sperrwandlers aufgeladen. Am Anfang wird die Eingangsspannung des Transformators durch eine Eingangsspannung von 12Vdc aufgeladen. Die Schaltung wird durch den MOSFET periodisch ein- und ausgeschaltet. Wenn der Mosfet leitet, fließt der Strom (I1) in der primären Seite des Transformators. Nach einer halben Periode öffnet sich der Schalter und der Strom (I2) fließt in der sekundären Seite und der Akku wird dadurch gespeist und aufgeladen. Der Mosfet wird mit Hilfe von 2 Komparatoren, die durch einen Flip Flop und einen Treiber verknüpft sind. Das Ganze soll wie ein Timer NE555 funktionieren. Der Mosfet schließt während der Zeit, die durch ein R-C Glied bestimmt wird.

Wenn ein Bauelement mehr als gerufener Strom erhält, geht das Bauelement kaputt. Der RCD sorgt dafür, dass nur der gewünschte Strom in unsere Bauelementen fließt, indem der Kondensator (C3) sich mit dem restlichen Strom auflädt und sich durch den Widerstand (R4) entlädt.

Den Wert für L1 und L2 haben wir durch die Gleichung:

$$\sqrt{\frac{L1}{L2}} = \frac{N1}{N2} = \dot{U}^2$$

Im Sekundär haben wir ein Widerstand (R5) und ein Kondensator (C4) in Reihe geschaltet damit wir die Schwankungen des Stromes reduzieren können. Außerdem haben wir eine Schottky-Diode benutzt, damit es von der primären Seite zur sekundären Seite schnellstmöglich umgeschaltet wird.

Der Kondensator (C2) ist der Speicher. Den haben wir angeschlossen damit unsere Spannung bei 2,4 V konstant bleibt.

Folgende Formeln haben wir bei der Schaltung benutzt:

$$\frac{1}{\dot{U}} = \frac{i1}{i2} = \frac{N2}{N1} = \frac{U2}{U1} \quad U_L = \frac{L di_L}{dt} \quad i_C = \frac{C dU_C}{dt}$$

Die Regelschaltung soll bestimmen, wenn der MOSFET schalten und wenn er sperren soll. Er besteht aus vier Hauptteilen:

- Der Set Komparator
- Der Reset Komparator
- Der Flip Flop 4027A
- Der Treiber CD4503BE

Der Reset Komparator

Der Reset Komparator ist der Teil der Regelschaltung, der zu der Reset Klemme des Flip-Flops verbunden ist (daher der Name). Der Komparator hat an seine negative Klemme eine feste Spannung von 4V und an seine positive eine durch den RC Glied einstellbare Spannung. Wenn die Spannung an der positiven Klemme größer als die an der negativen Klemme ist, dann haben wir eine "1" am Ausgang des Komparators. Das heißt der Flip-Flop macht reset und bringt den Set Komparator zu laufen.

Der Set Komparator

Der Set Komparator ist der Teil der Regelschaltung, der zu der Set Klemme des Flip-Flops verbunden ist. Der Komparator hat an seine positive Klemme eine feste Spannung von 2.5V. Mit Hilfe des RC Glieds erhalten wir eine "1" am Ausgang des Set Komparators.

Der Flip-Flop

Wenn der Flip-Flop an seiner Set Klemme ein Impuls erhält, liefert er eine "1". Wenn an seiner Reset Klemme ein Impuls erhält, liefert er eine "0". Die Ausgangs Klemme wird mit dem Treiber verbunden und den Treiber ansteuern.

Der Treiber

Der Treiber ist der Teil der Regelschaltung, der direkt mit dem MOSFET verbunden ist. Er wird periodisch das Gate des MOSFET auf "High" und "Low" setzen.

$$U_c(t) = \frac{1}{C} \int i_c(t) dt = \frac{1}{C} [I_c \cdot t]_0^t + K$$

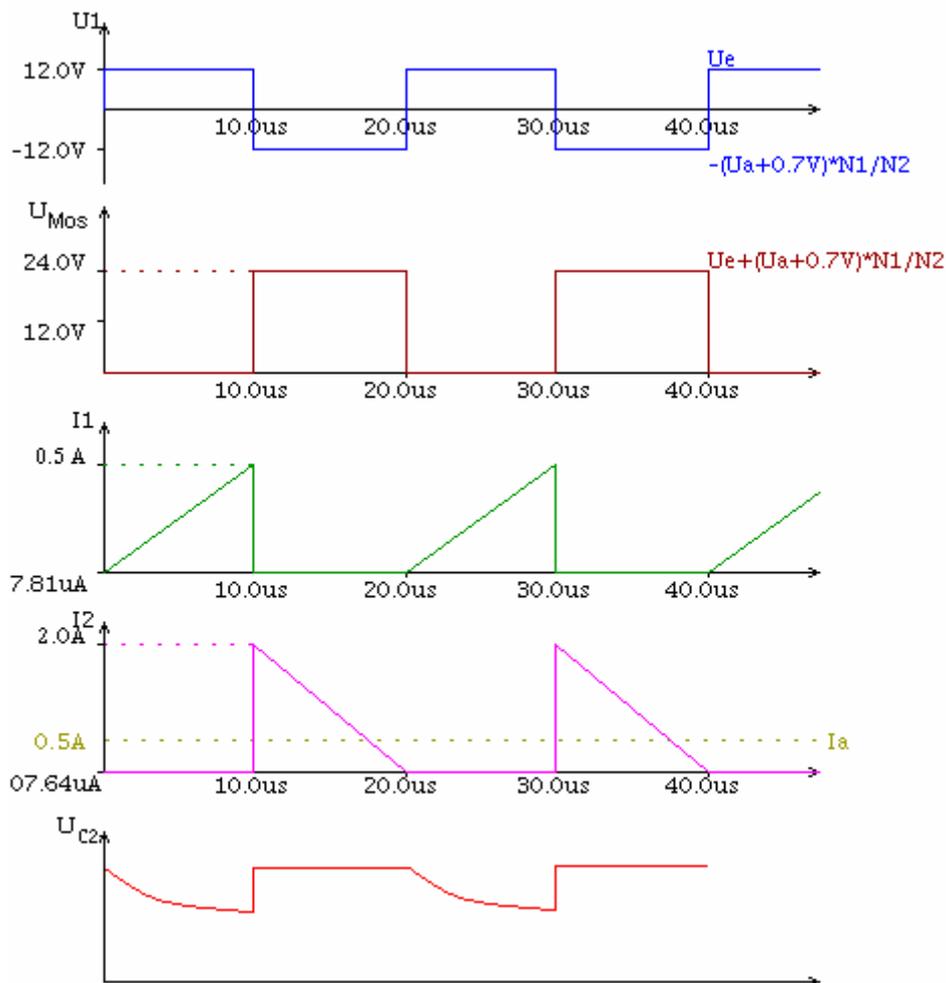


Abbildung 51: Funktionsgraphen Speerwandler

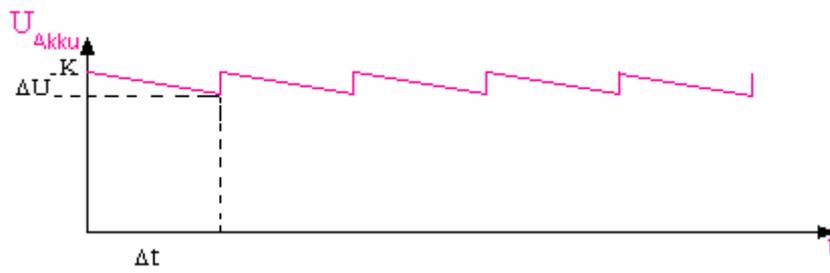


Abbildung 52: Funktionsgraph Kapazität

Aus dem Graph finden wir heraus, dass

$$C = \frac{I_c \cdot \Delta t}{\Delta U} = \frac{2 \cdot 10^{-5}}{10^{-1}} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ F}$$

C = 200 μF ist.

Die eingefügten Grafen stellen den entsprechenden Verläufen von der Spannung an der primären Spule U1, der Spannung an dem MOSFET UMos, dem durch die primäre Spule fließenden Strom I1, dem durch die sekundäre Spule fließendem Strom I2, der Spannung am Ausgangskondensator Uc2 und der Spannung am Akku UAkku. Die Eingangsspannung ist eine konstante Spannung von + Vcc=12v, die uns vom Zwischenspeicher geliefert wird. Der MOSFET wird periodisch 10us anschalten und 10us sperren.

In der ersten Halbperiode schaltet der Transistor, seine Spannung UMos ist dann null. Durch die Masche der primären Seite (+Vcc-U1-UMos=0) ergibt sich, dass die Spannung U1=12v ist. Der Eingangstrom wird linear steigen bis 0,5A. Die Eingang Spule dann voll.

In der zweiten Halbperiode sperrt der Transistor, es fließt dann kein Strom I1 mehr. Die Eingangspule entlädt sich und ihre Energie wird in der Sekundärspule weitergeleitet. Die Spannung U1 wird dann negativ. Wegen der Übertragungsverhältnis ($\ddot{u}=4$) ist unsere sekundärer Strom am Anfang der neuen Periode I2=2A. Er fließt dann durch den Akku und lädt ihn auf und deswegen sinkt er linear bis 0v. Der MOSFET schaltet dann wieder an.

Der Ausgangskondensator sorgt dafür, dass die im Akku gespeicherte Energie auf den gewünschten Wert gehalten wird. Seine Spannung entlädt sich in der ersten Halbperiode da er keine Energie bekommt so lange. Er steigt dann schnell auf einen gewünschten Wert (hier 2,5v) so bald er Energie bekommt und bleibt die ganze Periode konstant.

Die Spannung am Akku soll im idealen Fall konstant sein. Im reellen Fall beschreibt Sie aber kleine Sägezähne.

6. Gruppe 3 – DC/DC Wandlung

6.1 Beschreibung

Unser Wandler ist ein Zusammenspiel von verschiedenen Komponenten, welche hier näher erläutert werden sollen.

Fangen wir hinten am Ausgang an:

Am **Ausgang** sollen stabilisierte 12V anliegen. Ob das der Fall ist wird durch eine Diode angezeigt, welche durch betätigen eines Tasters entweder leuchtet oder nicht.

Von diesem 12V Signal wird eine Rückkopplung zu unserem **Invertierender** gegeben. Dieser bekommt zwei Eingangsspannungen, zum einen unsere herunter geteilte 12V Ausgangsspannung und zum anderen eine Referenzspannung, die mittels einer Zehner-Diode gestellt wird, von ca. 6.8V. Wir sollten sorgen dafür, dass wir am Ausgang des Invertierender eine Spannung von 4-8V haben. Das ist wichtig für unseren **Komparator**, da sich unser Sägezahnsignal in diesem Bereich befindet. Der NE555 kommt für dieses Signal zum Einsatz.

Über ihn wird ein Kondensator ge- und entladen und erzeugt somit ein solches Signal, dabei haben wir die äußere Beschaltung so dimensioniert, dass möglichst steile Lade- und Entladeflanken erzielt werden und sich eine Frequenz von ca. 33kHz ergibt um nicht in den hörbaren Bereich zu gelangen. Wichtig hierbei ist, dass am Ausgang des NE555 eine Rechteckspannung anliegt, d.h. der Sägezahn wird am Pin 2 und 6 abgegriffen, also direkt am Kondensator, was ja nicht weiter verwunderlich ist da der Sägezahn die Lade und Entladespannung des Kondensators ist.

Diese gesamte Beschaltung unseres NE555 stellt unseren **Sägezahngenerator** dar. Nun wird unser Sägezahnsignal im **Komparator** mit der Ausgangsspannung des Invertierender verglichen. Dabei wird ein Rechtecksignal erzeugt, welches nun je nachdem wie die Ausgangsspannung war eine andere Pulsweite aufweist.

Das Signal „läuft“ weiter zum **Treiber**, welcher den für den MOSFET benötigten Strom bereit stellt. Der MOSFET dient dann als **Schalter**, der in unser vorher eingestellten Frequenz ein- und ausschaltet.

Diese Schaltvorgänge sind wichtig für unsere Primärinduktivität, welche dadurch eine Spannung in die Sekundärinduktivität induziert.

Der Kondensator auf der Sekundärseite wird dadurch stetig aufgeladen. Nun können wir über die am Anfang beschriebene Rückkopplung durch unserer **Invertierender** die benötigte Referenzspannung einstellen, die

der **Komparator** braucht um die Pulsweite so zu modulieren, dass sich die Spannung am Ausgang ziemlich genau auf 12V einstellt.

Da wir vom Energiespeicher eine Eingangsspannung von 12-16V bekommen ist auch sichergestellt, dass unsere IC's und OPV's eine genügende Versorgungsspannung haben.

6.2 Schaltungen

A / Blockschaltbild

Diese Gruppe sollte dafür sorgen, dass von einer variierenden Spannung von 16-18 V eine konstante und stabilisierte Spannung von 12v liefern. Dafür haben wir überlegen unserer Aufgabe in 5 Teilaufgaben zu bearbeiten:

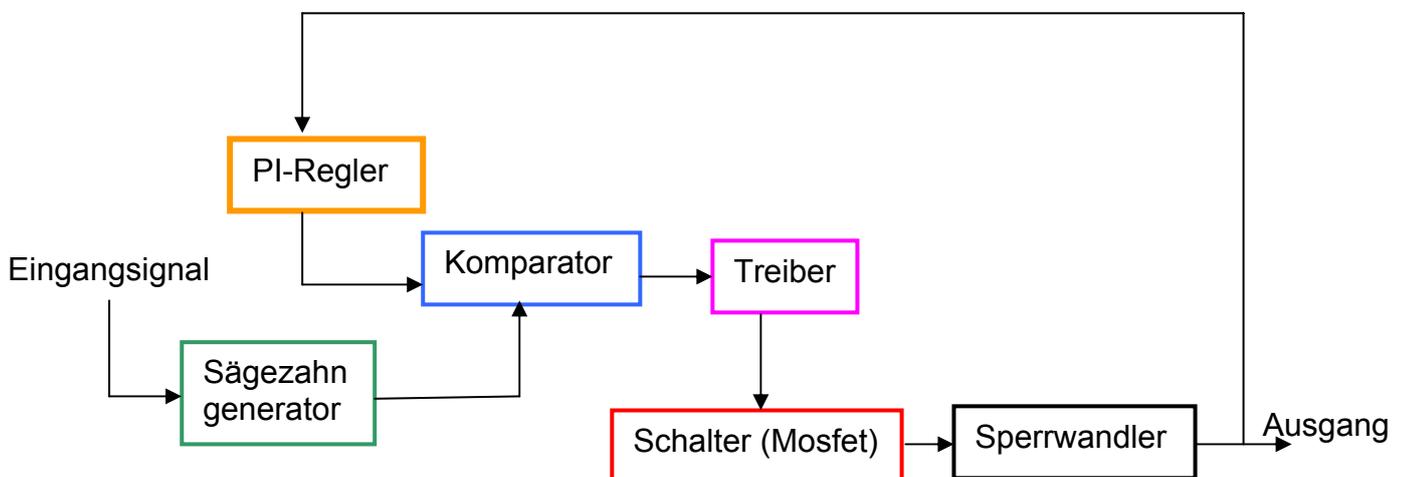
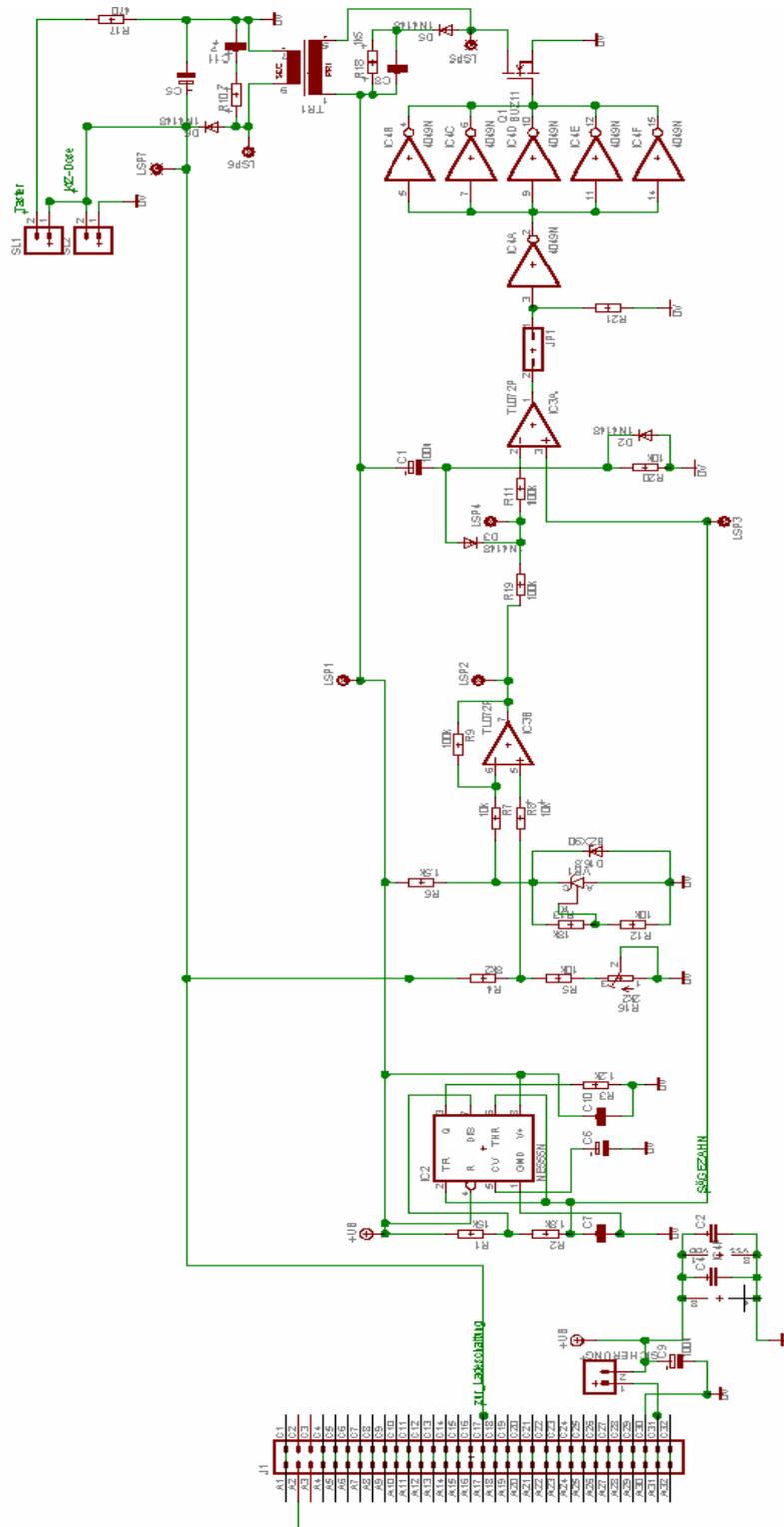


Abbildung 53: Blockschaltbild Gruppe 3

B / Schaltung



Abbildungung 54: DC/DC Schaltung

6.3 Sägezahngenerator

Der Sägezahngenerator ist ein Impulsgenerator, der eine sägezahnförmige Spannung erzeugt. Das bedeutet, dass die Spannung zuerst einen linearen Anstieg hat und in sehr kurzer Zeit wieder auf den Anfangswert zurückkehrt.

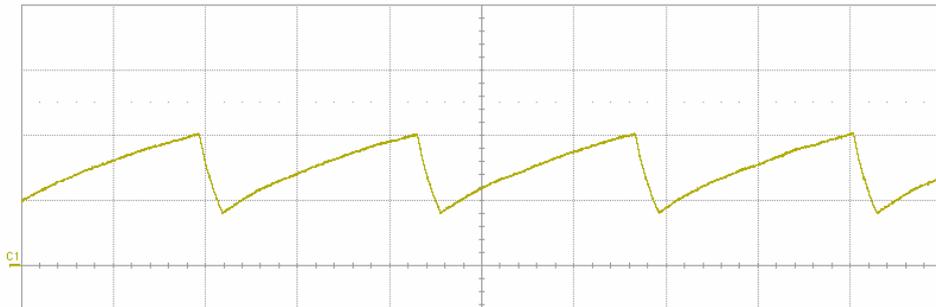


Abbildung 55: Verlauf einer Sägezahnspannung

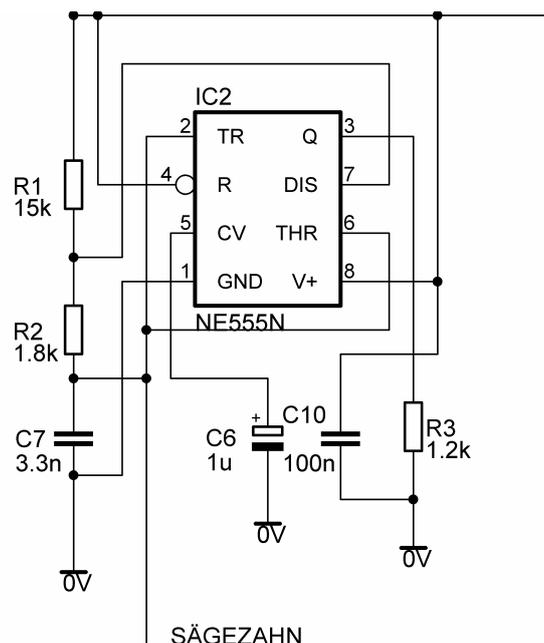


Abbildung 56: NE 555 Timerschaltung

Die **Abbildung 55** zeigt den typischen Verlauf einer Sägezahnspannung. Wir werden diese Spannung durch die Beschaltung des NE 555 mit drei Widerständen und zwei Kondensatoren erzeugen. Der NE 555 ist eine weit verbreitete integrierte Schaltung, die als Zeitgeberschaltung Signale zeitlich bemessen, beeinflussen, verzögern kann.

Die **Abbildung 56** stellt unsere Schaltung des Sägezahngenerators dar, die den Vorteil hat, dass sie wenige Bauelemente benötigt. Um diese Schaltung verstehen zu können betrachten wir erstmal die Schaltung mit der inneren Beschaltung des NE 555.

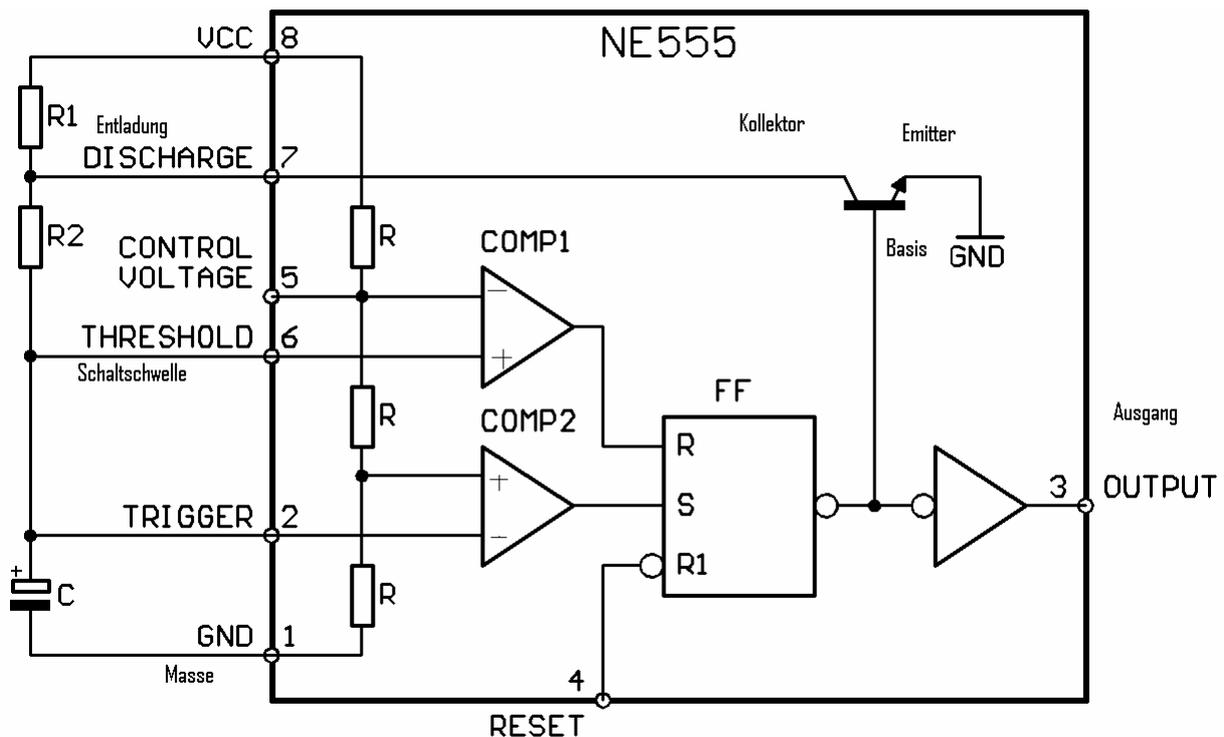


Abbildung 57: Timerschaltung

Aus der **Abbildung 57** erkennt man, dass die Pins 2 und 6 verbunden sind und die externe Beschaltung der Widerstände mit dem Kondensator die Schaltung eines Tiefpass entspricht.

Die allgemeine Gleichung eines Tiefpasses lautet: $U_c = U \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$

In unserem Fall wird der Kondensator über die Widerstände R1 und R2 aufgeladen.

Zu dem Zeitpunkt ist der Transistor noch gesperrt und der Kollektor liegt am Anschluss 7.

Erreicht die Spannung des Kondensators $\frac{2}{3}$ des Wertes der

Betriebsspannung, wird der Komparator auf high gesetzt, das Flipflop auf Reset und der Transistor dadurch geschaltet.

Durch das Einschalten des Transistors liegt der Anschluss 7, der mit Anschluss 6 verbunden ist, direkt an Masse. Der Widerstand R2 ist zwischen dem Anschluss 6 und 7 beschaltet, damit der Kondensator C1 sich über den Widerstand R2 entlädt. Sinkt die Spannung des Kondensators wieder auf den Anfangswert (1/3 des Wertes der Betriebsspannung), dann wird der Transistor wieder ausgeschaltet und der Kondensator wird sich wieder aufladen. Das kontinuierliche Aufladen und Entladen des Kondensators erzeugt auch unsere erwünschte Sägezahnspannung.

Die allgemeine Formel für die Sägezahnspannung und für die Frequenz ist:

$$U_c = U \left(1 - \frac{2}{3} \frac{-t}{\tau} \right) \quad f = \frac{1}{T} = \frac{1}{\ln(2) * (R_1 + 2 * R_2) * C_1}$$

Für die Herleitung der Formeln wenden sie bitte an Gia Ngoc Phung, falls sie Fragen haben.

$$R_1 = 15k\Omega$$

$$R_2 = 1,8k\Omega$$

$$C_1 = 3,3nF$$

Daraus berechnet sich die Frequenz:

$$f = 23,6kHz$$

Messung:



Abbildung 58: Oszilloskop-Messung Sägezahnspannung

6.4 PI-Regler

Die Teilschaltung „Subtrahierer“ besteht aus zwei hintereinander geschalteten Subtrahierern, welche als Regelschaltung fungieren. Sie ist damit das Bindeglied zwischen Rückkopplung und Komparator, und soll die Vergleichsspannung des Komparators so regeln, dass wir am Ausgang des Gesamtgeräts eine stabile Spannung von 12 V herausbekommen.

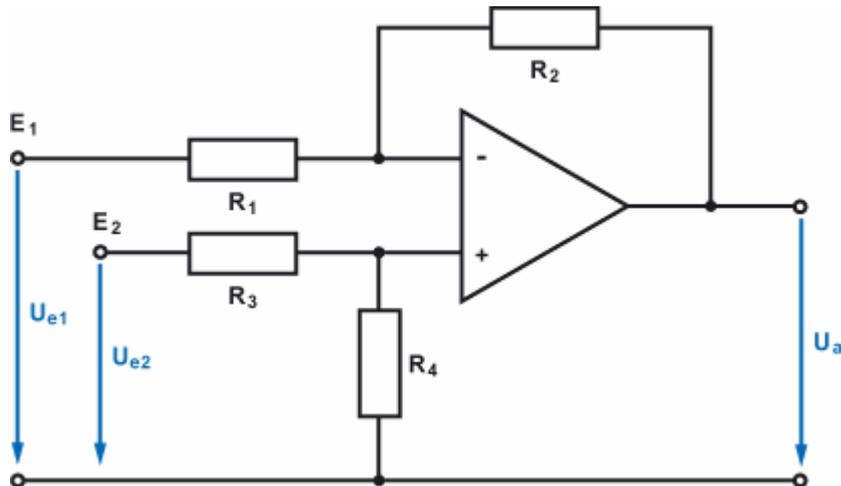


Abbildung 59: Differenzverstärker/Subtrahierer

(www.elektronik-kompodium.de/sites/slt/0210153.htm)

$$U_a = U_{e2} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} - U_{e1} \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

Ohne Verstärkung:

$$U_a = U_{e2} - U_{e1}$$

6.4.1 Subtrahierer:

Der erste Subtrahierer hat folgende Beschaltung:

$R_{11}=R_{12}=R_{13}=R_{14}=100k\Omega$

In Abb1 werden die im Folgenden erwähnten Spannungen gezeigt.

U_{e1} wird durch eine Z-Diode auf 3,9V geregelt. Das durch die Rückkopplung heruntergeteilte Ausgangssignal bildet U_{e2} . und ist im Idealfall 6,8V. Somit gibt der erste Subtrahierer dann 0V aus. Einerseits werden bei geringer Ausgangsspannung 0V ausgegeben, andererseits werden bei z.B. 13V am Ausgang ca. 0,55V ausgegeben. Somit haben wir nun einen Vergleichswert für den Komparator, d.h. dieser Subtrahierer würde als Regler schon völlig ausreichen.

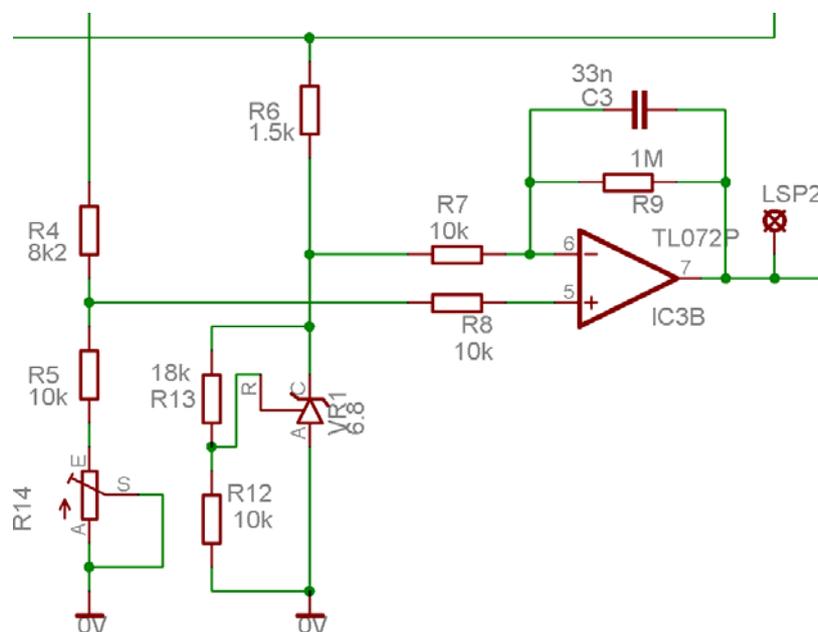
Da aber unser Sägezahnsignal im Spannungsbereich von 4-8V arbeitet, müssen wir unser Vergleichssignal in diesen Bereich anheben. Diese Anhebung wird von unserem zweiten Subtrahierer bewirkt. Ursprünglich sollte dies ein Addierer tun, da dieser aber ein invertiertes Signal ausgibt, ist er für unsere Zwecke ungeeignet. Also nehmen wir einen zweiten Subtrahierer und setzen somit unsere obere Grenze statt der unteren fest. Diese Grenze wird durch eine weitere Z-Diode mit 5,6V festgelegt.

Die Widerstände sind hier auch wieder gleich, um somit die beiden Eingangsspannungen direkt voneinander abzuziehen.

6.4.2 Nicht invertierender Verstärker

Da wir bei unseren Testaufbauten immer wieder Probleme mit dieser Teilschaltung hatten, haben wir uns entschlossen die Schaltung nochmal zu überdenken. Das Ergebnis war eine wesentlich einfachere Schaltung, welche aber im Grunde das Gleiche ausführt:

Dieser nicht invertierende Verstärker bekommt an den positiven Eingang des Operationsverstärkers (OPV) die heruntergeteilte Ausgangsspannung, also unser Kontrollsignal. Am negativen Eingang legen wir mit Hilfe des TL431 (Z-Diode) eine Spannung von 6,8V an. Nun wird durch die Außenbeschaltung des OPV's eine Subtrahierung dieser Spannungen vorgenommen. Da aber bei uns die Gegenkopplung mit R9 und einem parallel dazu verlaufenden Kondensator (C3) beschaltet wurde, welcher das 10fache von R7 darstellt, haben wir ungefähr eine 10fache Verstärkung am Ausgang. Der Kondensator (C3) stellt eine Stabilisierung der Spannung ein, da diese ohne dessen Mitwirkung zu große Abweichung aufwies.



**Abbildung 60: PI-Regler
(nicht invertierender Verstärker mit Kondensator parallel zum
Gegenkopplungswiderstand)**

Knotengleichung für den Knoten am negativen Eingang des OPV's (siehe Abb.6.7):

$$\frac{U_a - kU_A}{R9} = \frac{kU_A - U_R}{R7}$$

wobei U_a die Ausgangsspannung, welche mit dem Komparator verknüpft ist, k den Teilungsfaktor, U_A die Ausgangsspannung, welche am Gesamtausgang des Wandlers anliegt, und U_R die Referenzspannung durch den TL431 darstellt.

Nach einigen Umformungen ergibt das:

$$U_a = \left(1 + \frac{R9}{R7}\right) \cdot kU_A - \frac{R9}{R7} \cdot U_R$$

Aus dieser Gleichung geht deutlich die Verstärkung hervor.

Am Ende bleibt jetzt also eine Vergleichsspannung, welche sich im Spannungsbereich des Sägezahnsignals bewegt aber in Abhängigkeit des Ausgangssignals steht. Der Clou dabei ist, dass wir jetzt einen IC gespart haben.

6.5 Komparator & C-D-Beschaltung

6.5.1 Komparator

Der Komparator ist dafür zuständig, die Pulsweitenmodulation zu realisieren. Er vergleicht die Sägezahnspannung mit der eingestellten Referenzspannung, die der Invertierer liefert und gibt am Ausgang ein Rechtecksignal aus.

Der Sägezahn hat eine Amplitude von 4V, die zwischen 4V und 8V variiert. Damit wir eine gewünschte Pulsweitenmodulation bekommen, sollte die Referenzspannung vom Invertierer zwischen 4V und 8V liegen. Die Pulsbreite hängt von der Amplitude der Ausgangsspannung des Invertierers ab und je höher die Amplitude ist, desto breiter werden die Pulse des Rechtecksignals.

$$U_k = +V_{cc} \text{ wenn } U_s - U_a > 0$$

$$U_k = -V_{cc} \text{ wenn } U_s - U_a < 0$$

wobei U_k = Spannung am Ausgang des Komparators
 U_s = Sägezahnspannung
 U_a = Spannung am Ausgang des Invertierers

In unserem Fall ist V_{cc} die Versorgungsspannung die zwischen 0V und 12V liegt.



Abbildung 61: Eingänge des Komparators

Die **Abbildung 61** zeigt die zwei Eingänge des Komparators, die sind die Sägezahnspannung und der Referenzspannung.

Die **Abbildung 62** gibt die Ausgangsspannung (Rot) am Komparator, wenn der Ausgang unbelastet ist.



Abbildung 62: Ausgang des Komparators

6.5.2 C-D-Beschaltung

Beim Einschalten ist die rückgekoppelte Spannung $U_r=0V$.

Das bedeutet, dass am Ausgang des 1. OPVs $U_a=10U_d$ anliegt wobei $U_d=6,8V$ ist.

Am Komparator sollen jedoch die Sägezahnspannung und U_d verglichen werden.

Die Impulsdauer beim Einschalten soll gering sein ($U_a \sim 4V$), aber ist allerdings zu groß, da es keinen Punkt gibt, an welchem sich die beiden Spannungen überlappen.

Das Problem lösen wir mit der Schaltung aus **Abbildung 63**.

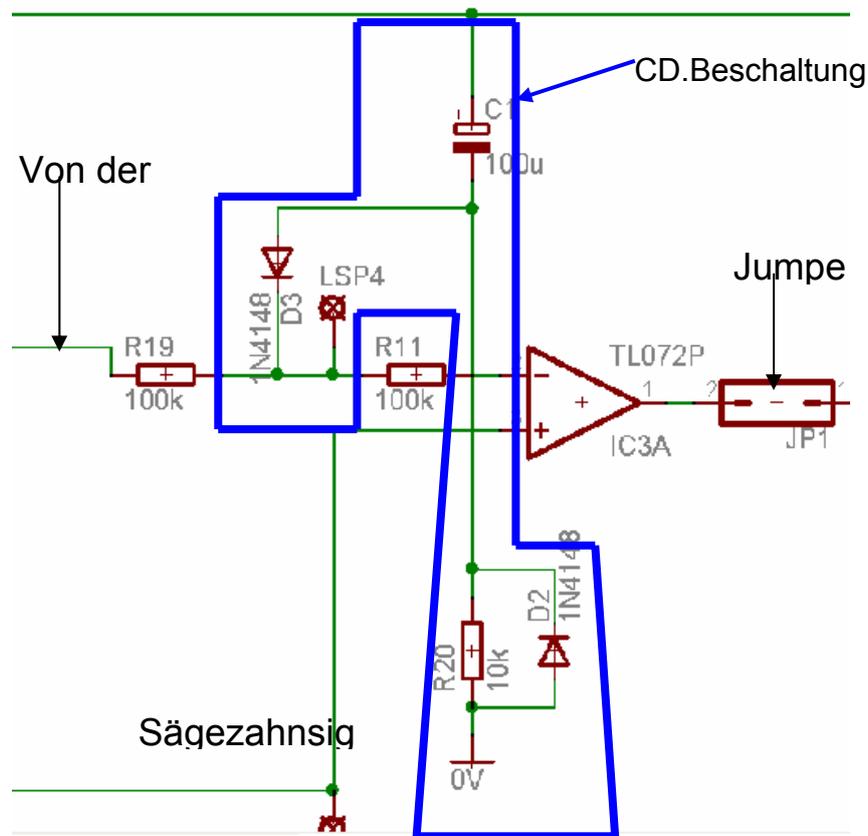


Abbildung 63: Komparator und C.D-Beschaltung

6.6 Treiberschaltung (4049) und Schalter (MOS-FET)

6.6.1 Treiberschaltung(4049) :

Der Treiberstufe besteht aus einer IC. Es entspricht dem CD 4049, der uns empfohlen war. Sie gehört die CMOS-Familie und ist von Invertern aufgebaut.

Der Treiber vergrößert den Steuerstrom für den MOSFET. Durch den vergrößerten Steuerstrom wird der MOSFET schneller geschaltet, was die Schaltverluste verringert.

Wir sollten 1 Inverter in reihe mit 6 anderen parallel verbinden.

Als Treiberschaltung für unseren MOSFET haben wir den CD4049 ausgewählt.

In Abb.1 ist die Treiberschaltung für unseren MOSFET zu sehen.

6.6.2 Das MOS-FET :

1. Aufgabe :

Der MOSFET übernimmt die Aufgabe eines Schalters.

Wenn der Schalter gesperrt ist, wird die Energie auf der Primärseite des Sperrwandlers gespeichert. Sobald der Schalter geöffnet wird, wird die Energie auf die Sekundärseite übertragen.

2. Funktionsweise bezogen auf unsere Schaltung :

Die Spannung am Ausgang unserer Schaltung soll 12V betragen. Wenn die Spannung am Ausgang sinkt, wird der Transistor über das Signal des Komparators länger eingeschaltet, so dass die Spannung am Ausgang wieder auf 12V steigt. Über das Pulsverhältnis wird die An- und Ausschaltzeit des MOSFET geregelt.

Für unsere Schaltung haben wir den MOSFET „BUZ11“ ausgewählt.

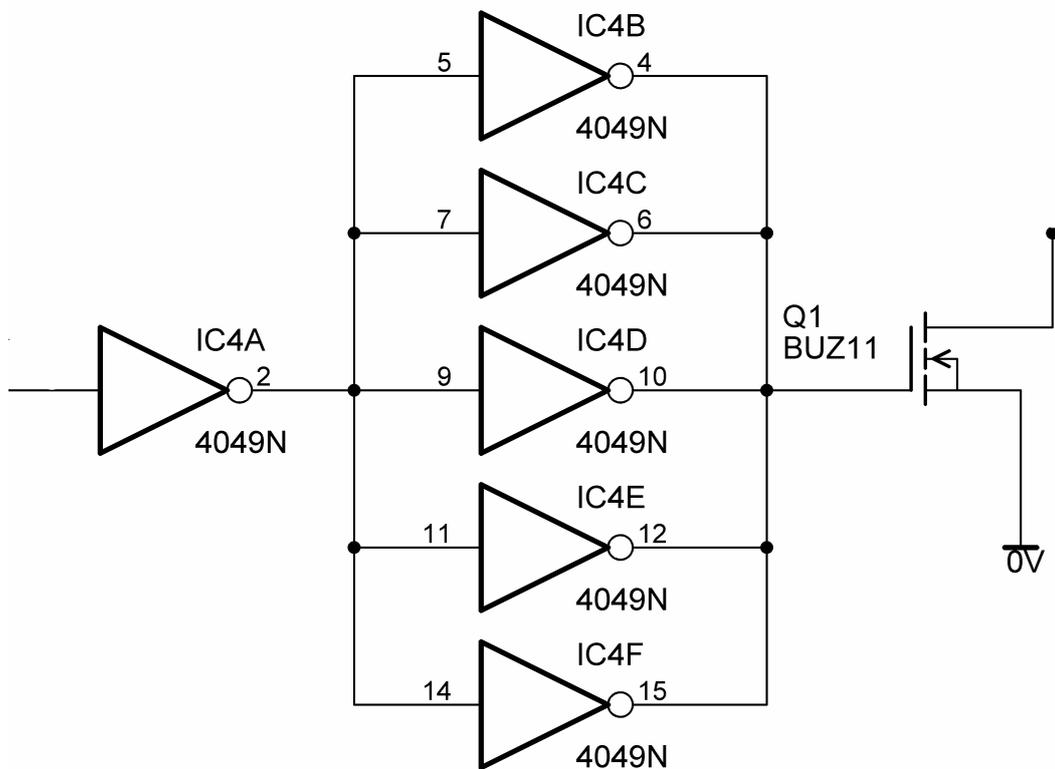


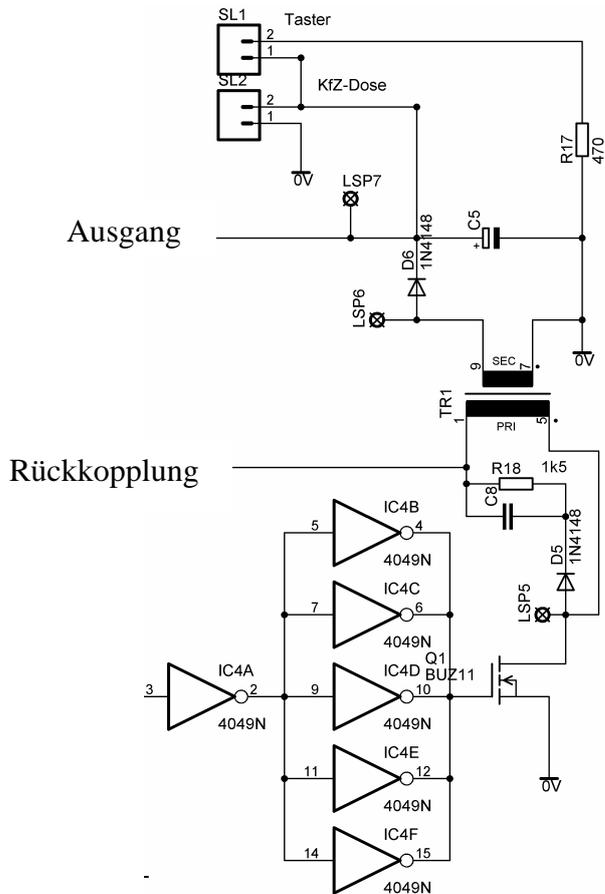
Abb. 1 MOSFET & sein Treiber

Das Datenblatt ist im Internet zu runterladen.
Die Beschaltung ist in Abbildung1 zu sehen.

6.7 Sperrwandler

Aufgabe:

Zum Zwecke der Gleichspannungswandlung (DC/DC), welche unsere Gruppe zur Aufgabe hatte, wird häufig ein Sperrwandler verwendet. Das Ziel war es bei wechselnder Eingangsspannung zwischen 12V und 16V eine konstante Ausgangsspannung von 12V zu erreichen. Anhand des hier gezeigten Schaltungsausschnitts soll die Funktion des Sperrwandlers nachvollzogen werden:



Der Wandler besteht aus einer Spule mit Eisenkern, die eine Primärseite und eine Sekundärseite besitzt. Diese sind gegensätzlich gewickelt. Berechnungen mit Hilfe des Spannungsmittelwertes von 14V und den Werten für die Induktivitäten der beiden Spulen von $L1 = 185 \text{ mH}$ und $L2 = 136 \text{ mH}$ haben ergeben, dass die Primärseite 51 Wicklungen und die Sekundärseite 43 Wicklungen haben müssen bei einer Frequenz von 40 kHz.

Der bei durchschaltendem Mosfet fließende Strom erzeugt ein Magnetfeld in der Spule. Das sich ständig ändernde Magnetfeld induziert wiederum eine Spannung auf der Sekundärseite. Dadurch wird der Kondensator C5 geladen. Die Ausgangsspannung wird also von C5 gespeichert.

Die R-C-D Beschaltung, die sich zwischen Mosfet und dem Wandler befindet wurde hinzugefügt um

der Streuinduktivität, einem auftretenden Fehler, entgegenzuwirken.

Fließt also Strom wird der Kondensator C8 aufgeladen. Dieser kann sich über R18 entladen, wenn der Mosfet gerade nicht leitend ist. Die Diode ist zum Schutz des Mosfets eingebaut.

Sie sperrt in dieser Richtung, es kann also kein Strom zum Mosfet gelangen.

Abb.: Überträger mit R-C-D-Beschaltung

In Formeln ausgedrückt:

$$P = 0,5 * U_1 * i_1 * t_e * f$$

$$L_1 = \frac{U_1^2 * t^2 * f}{2P}$$

$$T = \frac{1}{f}$$

$$u_L = L * \frac{di}{dt}$$

$$i_1^{\wedge} = \frac{U_1 * t_e}{L_1}$$

$$N_1 = \sqrt{\frac{L_1}{A_L}}$$

Dadurch, dass wir eine Spule mit zwei Wicklungen verwenden sind verschiedene Ausgangsspannungen für die Kfz-Dose und die Ladeschaltung möglich.

Der Metallpulverkern hat die Bezeichnung 55120-125 der Firma Magnetics.

Zum Durchmesser des Wickeldrahtes wäre noch zu sagen, dass er nicht über $d = 0,8\text{mm}$ liegen sollte, da hier schon der ohmsche Widerstand um 20% erhöht ist.

Teil	Werte	Bemerkungen
C1	100 μ F	Kondensator
C2	100n	Kondensator
C3		Kondensator
C4	100n	Kondensator
C5	100 μ	Kondensator
C6	1 μ	Kondensator
C7	3,3n	Kondensator
C8	100n	Kondensator
C9	100 μ	Kondensator
C10	100n	Kondensator
D1	BZX90	Z-Diode
D2	1N4148	Diode
D3	1N4148	Diode
D5	1N4148	Diode
D6	1N4148	Diode

IC4	CD4049	IC
Q1	BUZ11	MosFET
R1	15K	Widerstand
R2	1,8K	Widerstand
R3	1,2K	Widerstand
R4	8,2K	Widerstand
R5	10K	Widerstand
R6	1,5K	Widerstand
R7	10K	Widerstand
R8	10K	Widerstand
R9	1M	Widerstand
R10	?	Widerstand
R11	100K	Widerstand
R12	10K	Widerstand
R13	18K	Widerstand
R17	470-	Widerstand
R18	1,5k	Widerstand
R19	100K	Widerstand
R20	10k	Widerstand
R21	?	Widerstand
SL1		Taster + LED
SL2		Kfz-Dose
TR1		Trafo

Eagle-Board

So sieht unserer Board von unteren und oberen Seite.

Unterseite:

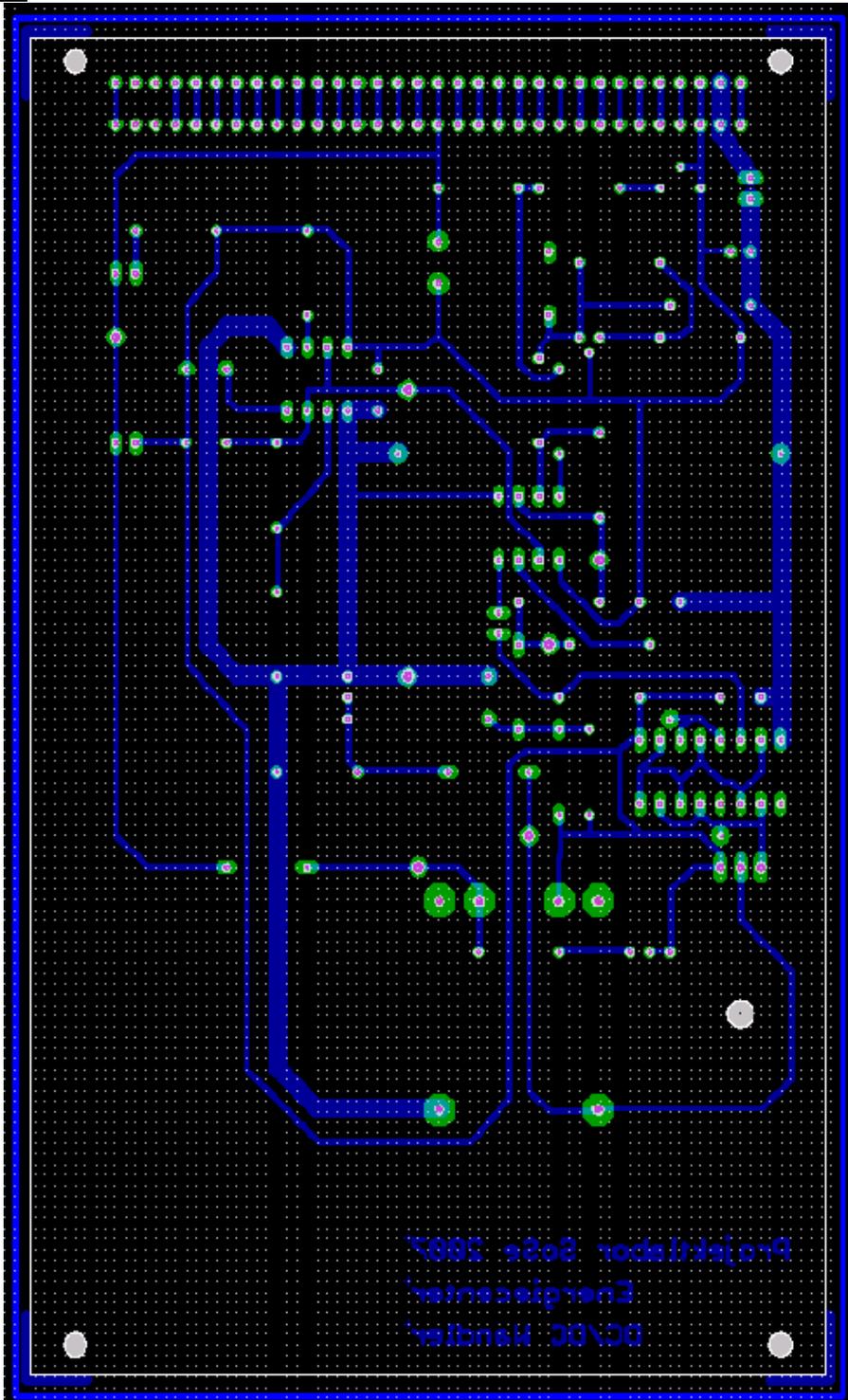


Abbildung 64: Eagle Board Unterseite DC/DC-Schaltung

Oberseite:

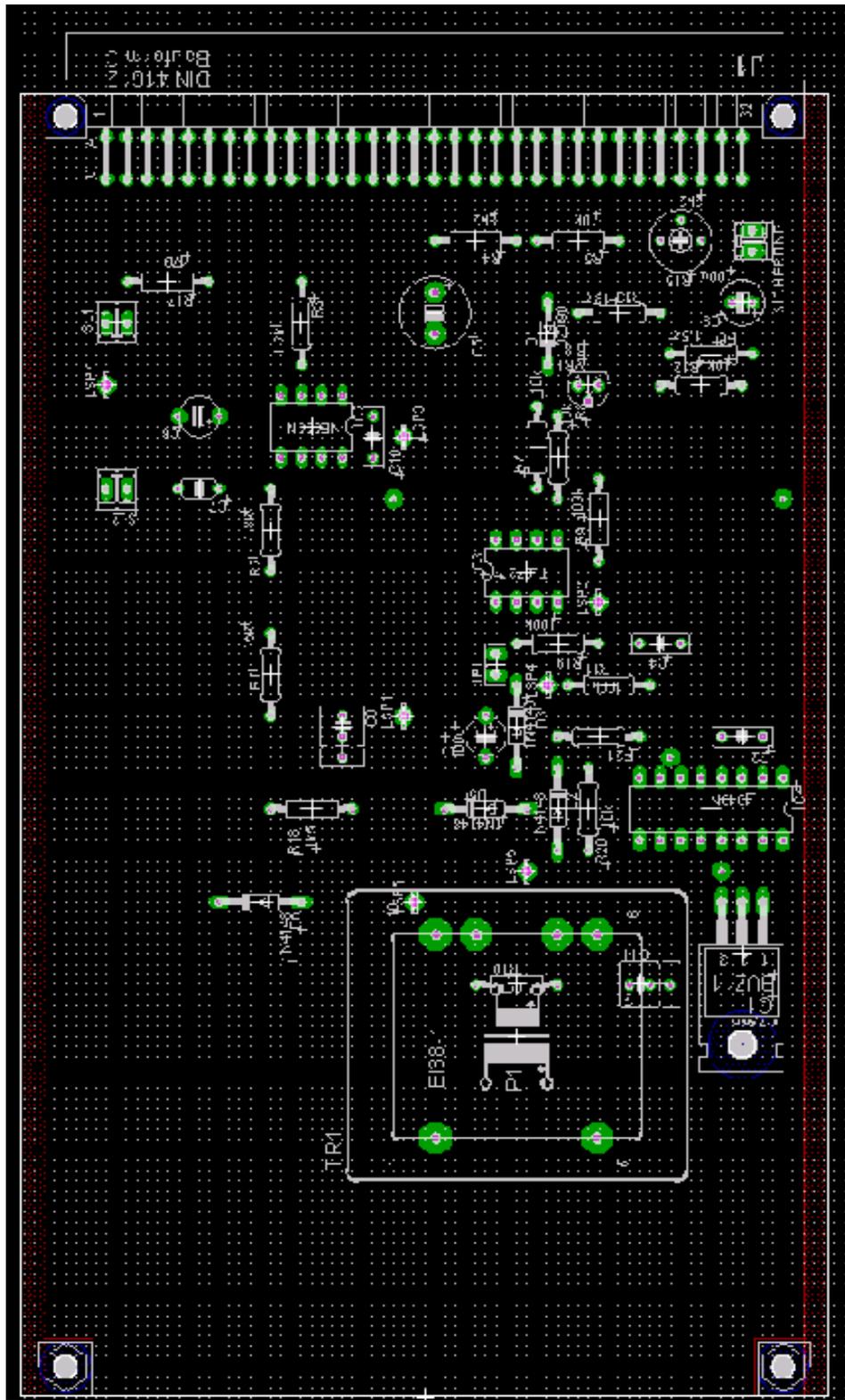


Abbildung 65: Eagle Board Oberseite DC/DC-Schaltung

Quellen:

http://wiki.delphigl.com/images/2/23/Tutorial_SoftSynth_saegezahn.png

Abrufdatum 08.07.2007 , Uhrzeit 10:32

<http://www.elektronik-kompodium.de/sites/slt/0210153.htm>

Abrufdatum 08.07.2007 , Uhrzeit 10:32

Information über den NE 555 : Steffens Referat

Datenblätter : NE 555

<http://www.ortodoxism.ro/datasheets/fairchild/NE555.pdf>

Abrufdatum 08.07.2007 , Uhrzeit 10:32

Bücher: Halbleiter-Schaltungstechnik von U.Tietze – Ch.Schenk

Vogel-Fachbuch Elektronik 3 Beuth/Schmusch

7. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Blockschaltbild.....	6
Abbildung 2: Foto Platine 1 (Front+Seitenansicht).....	7
Abbildung 3: Foto Platine 2 (Front).....	8
Abbildung 4: Foto Platine 3 (Front+Seitenansicht).....	9
Abbildung 5: Frontplatte Nr.1 - Gruppe 2.....	10
Abbildung 6: Frontplatte Nr.2 - Gruppe 2.....	11
Abbildung 7: Frontplatte Nr.1 Regler - Gruppe 2.....	12
Abbildung 8: Gruppenfoto.....	15
Abbildung 9: Schnittstellenübersicht.....	23
Abbildung 10: Schnittstelle 4 und 5.....	24
Abbildung 11: Foto Gehäuse Rohling.....	29
Abbildung 12: Foto Gehäuse (fertig).....	30
Abbildung 13: Blockschaltbild Gruppe 1.....	32
Abbildung 14: Dynamo.....	33
Abbildung 15: Dynamo Oszilloskop-Messung 1.....	34
Abbildung 16: Dynamo Oszilloskop-Messung 2.....	35
Abbildung 17: Eagle Schaltplan Gleichrichter.....	36
Abbildung 18: Eagle Schaltplan Überladeschutz mit Gruppierung.....	41
Abbildung 19: Oszilloskop-Messung Überladeschutz.....	43
Abbildung 20: Berechnung zur Schwellspannung.....	45
Abbildung 21: Eagle Schaltplan Überladeschutz (rein).....	46
Abbildung 22: Energizer Mignon Batterie.....	47
Abbildung 23: Platine 3 (Akkuplatine).....	47
Abbildung 24: Entladekurve Akku.....	48
Abbildung 25: Eagle Schaltplan Ladestandsanzeige.....	51
Abbildung 26: Eagle Schaltplan Timerschaltung.....	52
Abbildung 27: Timerschaltung Oszilloskop-Messung.....	54
Abbildung 28: Eagle Schaltplan Subtrahierer.....	56
Abbildung 29: Eagle Schaltplan Referenzspannungsquelle.....	58
Abbildung 30: Eagle Schaltplan Tiefentladeschutz.....	59
Abbildung 31: Eagle Board Platine 1 (Ätzvorlage).....	61
Abbildung 32: Eagle Board Platine 2 (Ätzvorlage).....	62
Abbildung 33: Eagle Board Platine 3 (Revision 1) (Ätzvorlage).....	63
Abbildung 34: Eagle Board Platine 3 (Revision 2) (Ätzvorlage).....	64
Abbildung 35: Eagle Board Platine 1 (Bestückungsplan).....	65
Abbildung 36: Eagle Board Platine 2 (Bestückungsplan).....	66
Abbildung 37: Eagle Board Platine 3 (Revision 2) (Bestückungsplan).....	67
Abbildung 38: Eagle 3D Platine 1.....	68
Abbildung 39: Eagle 3D Platine 2.....	68
Abbildung 40: Eagle Schematic Gesamtschaltung Gruppe 1.....	69
Abbildung 41: Blochschtbild Gruppe 2.....	70
Abbildung 42: Anhebung von Elektronen ins Leitungsband.....	71
Abbildung 43: pn-Übergang, Sperrschicht.....	72
Abbildung 44: Strom-Spannungs-Kennlinie einer Solarzelle.....	73

Abbildung 45: Blockschaltbild Anzeigeschaltung Gruppe 2.....	79
Abbildung 46: Eagle Board Gruppe 2.....	80
Abbildung 47: Eagle Board Gruppe 2.....	81
Abbildung 48: Anzeigeschaltung Gruppe 2.....	83
Abbildung 49: Ladeschaltung Gruppe 2.....	84
Abbildung 50: PSpice Schaltplan Sperrwandler.....	85
Abbildung 51: Funktionsgraphen Speerwandler.....	87
Abbildung 52: Funktionsgraph Kapazität.....	88
Abbildung 53: Blockschaltbild Gruppe 3.....	91
Abbildung 54: DC/DC Schaltung.....	92
Abbildung 55: Verlauf einer Sägezahnspannung.....	93
Abbildung 56: NE 555 Timerschaltung.....	93
Abbildung 57: Timerschaltung.....	94
Abbildung 58: Oszilloskop-Messung Sägezahnspannung.....	96
Abbildung 59: Differenzverstärker/Subtrahierer.....	97
Abbildung 60: PI-Regler.....	98
Abbildung 61: Eingänge des Komparators.....	100
Abbildung 62: Ausgang des Komparators.....	101
Abbildung 63: Komparator und C.D-Beschaltung.....	102
Abbildung 64: Eagle Board Unterseite DC/DC-Schaltung.....	108
Abbildung 65: Eagle Board Oberseite DC/DC-Schaltung.....	109