

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
2. Der Laderegler	4
2.1 Reglerarten.....	4
2.2 Prinzip des Ladereglers	4
3. Die Schaltung	5
3.1 Entwicklungskriterien	5
3.2 Entwicklung der Schaltung.....	6
3.3 Schaltplan.....	7
3.4 Funktionsweise der Schaltung	8
4. Meßreihe	9
4.1 Einstellung der Schaltpunkte	9
4.2 Ladekurve.....	10
4.3 Entladekurve	10
5. Technische Daten	11
6. Soll- Ist- Vergleich	12
7. Schlußbetrachtung	13
8. Literaturverzeichnis	14
9. Anhang	15

1. Einleitung¹

Was ist ein Laderegler?

In einer autonomen Photovoltaikanlage, d.h. einer vom öffentlichen Netz unabhängigen Stromerzeugungsanlage, ist neben dem Solargenerator und dem Speicher, der Laderegler das Herzstück. Er schützt die Akkumulatoren vor Über- bzw. Unterspannung.

Ein Laderegler mißt fortlaufend die Akkumulatorspannung. Überschreitet diese den eingestellten Maximalwert (Ladeschlussspannung), unterbricht der Regler den Ladevorgang. Erst bei Erreichen eines Minimalwertes wird dieser wieder fortgesetzt. Die Unterbrechung ist nötig, da Akkumulatoren bei zu hoher Spannung zu gasen, d.h. zu kochen beginnen. Damit verliert der Akkumulator Wasser, welches nachgefüllt werden muß.

Bei einem guten Laderegler wird nicht nur die Ladeschlussspannung, sondern auch die Entladeschlussspannung überwacht. Das heißt, der Regler schaltet bei einem bestimmten Spannungswert den Verbraucher ab, bevor der Akkumulator durch eine Tiefentladung so geschädigt wird, daß er nicht wieder aufgeladen werden kann.

¹ Vgl. Muntwyler, Praxis mit Solarzellen, München 1993, S.101 f

2. Der Laderegler

2.1 Reglerarten

Man unterscheidet grundsätzlich zwei Arten von Laderegler.

Bei der einen Art von Reglern wird die Ladung durch kontinuierliche Beeinflussung des Stromes geregelt.

Die zweite Möglichkeit der Laderegelung besteht darin, daß der Solargenerator (Solarpanel) bei Erreichen der eingestellten Ladeendspannung vom Akkumulator getrennt wird. Unterschreitet die Akkuspannung die Ladeschlußspannung um einen bestimmten Betrag, so schaltet der Regler das Solarpanel wieder zu. Bei diesem Verhalten spricht man von einem Zweipunktregler.

Aufgrund der Einfachheit und des kostengünstigen Aufbaus haben wir einen solchen Regler zum Thema unserer Projektarbeit gemacht.

2.2 Prinzip des Ladereglers

Die Funktion des Reglers läßt sich in fünf Blöcke aufteilen (vgl. Abb.2.2).

Den Kern der Schaltung bildet die Referenzspannung, die für beide Vergleiche den Sollwert bereitstellt.

Der erste Komparator vergleicht die eingestellte Ladeschlußspannung mit dem Ist-Wert. Bei Erreichen des Sollwertes wird über den ersten elektrischen Schalter das Solarpanel abgeschaltet. Durch eine Hysterese erfolgt die Wiedereinschaltung erst bei einer deutlich niedrigeren Akkumulatorspannung.

Ein zweiter Komparator sorgt dafür, daß der Verbraucher bei Erreichen der Entladeschlußspannung über den zweiten elektrischen Schalter abgeschaltet wird. Die Zuschaltung der Last geschieht erst bei einer ausreichend hohen Klemmenspannung des Akkumulators.

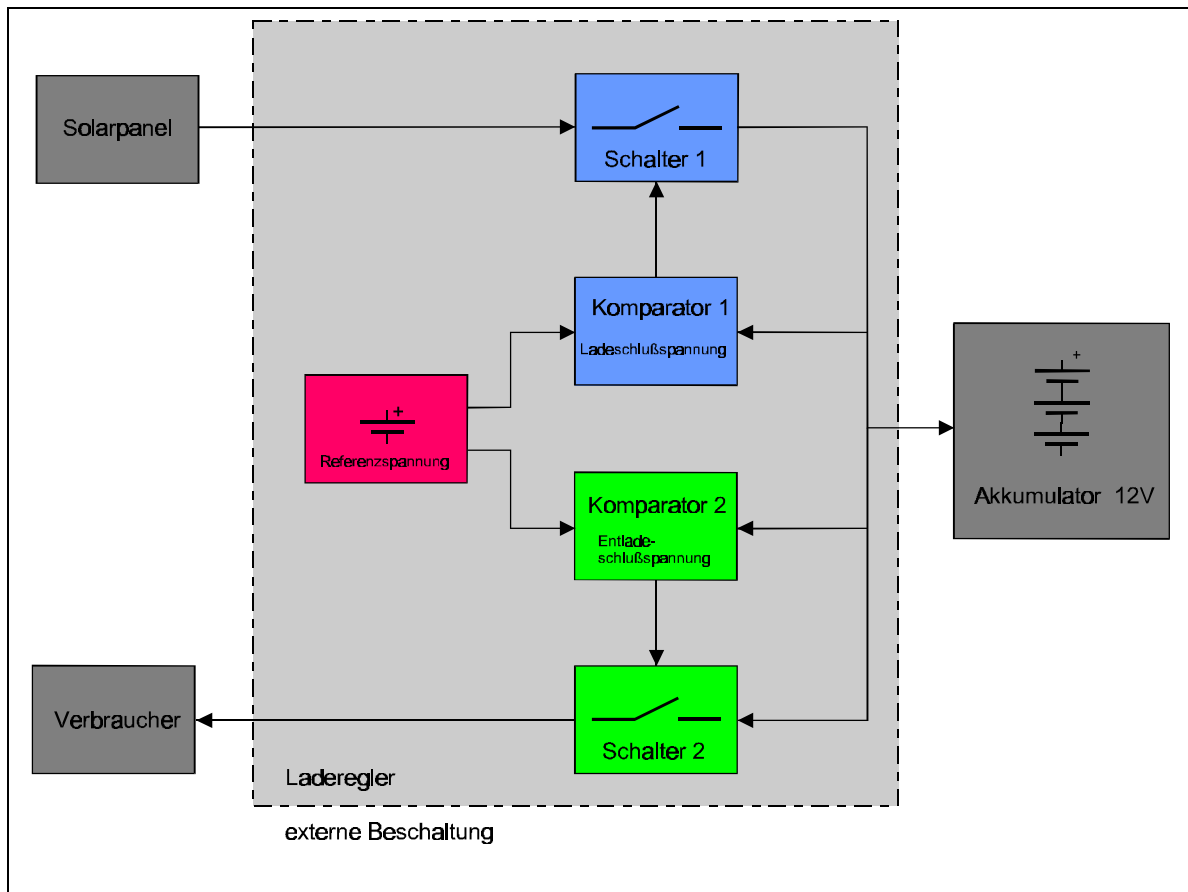


Abb. 2.2 Blockschaltbild des Ladereglers

3. Die Schaltung

3.1 Entwicklungskriterien

Da der Laderegler für autonome Photovoltaikanlagen kleinerer Leistungen gedacht ist, sollte der Eigenverbrauch so gering wie möglich sein. Deshalb wird ein Maximalwert von 5mA zugrunde gelegt.

Um die Schaltung flexibel einsetzen zu können (Akkutyp, Umgebungstemperatur), ist die Ladeschlußspannung einstellbar zu machen. Eine Schutzvorrichtung soll bei nicht ausreichender Sonneneinstrahlung eine Entladung über das Solarpanel verhindern.

Da die in der Solartechnik üblicherweise eingesetzten Bleiakkumulatoren sehr empfindlich gegen Tiefentladung sind, soll der Verbraucher bei Erreichen der Entladeschlußspannung abgeschaltet werden.

Für das Beispiel eines Blei- Gel- Akkus gilt:

²Ladeschlußspannung $U_L = 2,3V$ pro Zelle,
Entladeschlußspannung $U_E = 1,85V$ pro Zelle.

² Vgl. Nüßmann, Das große Werkbuch Elektronik, Band 1, München 1994, S. 1049

Vgl. Hanus, Solaranlagen richtig planen, installieren und nutzen, Feldkirchen 1996, S. 132 ff

Für einen Akku mit 6 Zellen (12V Nennspannung) folgt daraus eine Ladeendspannung $U_{LG} = 13,8V$ und eine Entladeschlusspannung $U_{EG} = 11,1V$.

3.2 Entwicklung der Schaltung

Ausgehend von den unter 3.1 aufgeführten Entwicklungskriterien erfolgte die Auswahl der Bauteile. Besonders großer Wert wurde hierbei auf die möglichst geringe Stromaufnahme der Bauteile gelegt.

Bei der Referenzspannungsquelle fiel die Wahl auf den integrierten Baustein MAX 875 von MAXIM. Er liefert eine sehr konstante Ausgangsspannung von $U_{ref} = 5V$ bei einer typischen Stromaufnahme von ca. $280\mu A$.

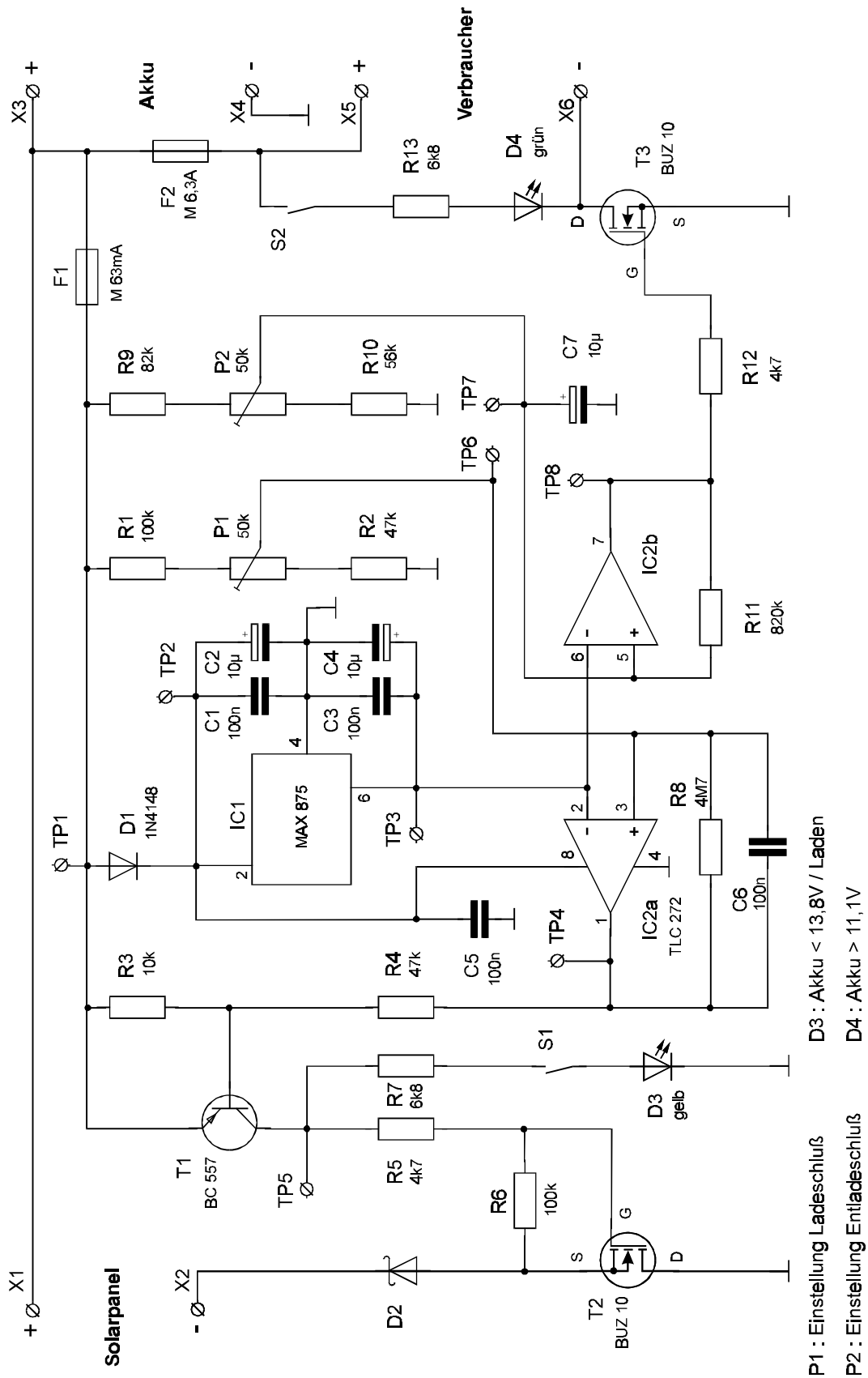
Zur Überwachung der beiden Schaltschwellen sollen zwei Operationsverstärker eingesetzt werden. Hier wurde der TLC 272 von TEXAS INSTRUMENTS ausgewählt. Er vereint zwei OP's in einem Gehäuse. Es handelt sich dabei um ein sehr preisgünstiges Bauteil mit einer typischen Stromaufnahme von weit unter $1mA$. Außerdem erlaubt der TLC 272 auch bei asymmetrischer Betriebsspannung Ausgangsspannungen bis herunter auf $0V$, was in unserer Schaltung besonders wichtig ist.

Als Schaltelemente (elektronischer Schalter) wurden zwei MOS- FET- Leistungstransistoren vom Typ BUZ 10 gewählt. Sie gestatten einen maximal möglichen Schaltstrom von $20A$ bei einem sehr geringen Einschaltwiderstand $R_{ds(on)}$ von typisch $60m\Omega$. Somit bleibt der Spannungsabfall und damit die auftretende Verlustleistung an diesem Bauteil äußerst gering. Der BUZ 10 hat ein TO 220 Gehäuse und kann damit an einem Kühlkörper befestigt werden.

Die Funktion des Entladeschutzes soll eine Schottky- Diode MBR von MOTOROLA erfüllen. Sie erlaubt einen maximalen Strom von $7,5A$ bei einer sehr kleinen Vorwärtsspannung. Zur besseren Wärmeabfuhr besitzt die MBR 745 ebenfalls ein TO 220 Gehäuse.

Zusätzlich sollen die Betriebszustände durch zwei Low- current- LED's angezeigt werden, die bei Bedarf (zur Einstellung der Schaltpunkte) über DIP- Schalter zugeschaltet werden können.

3.3 Schaltplan



3.4 Funktionsweise der Schaltung

Die Grundschialtung unseres Ladereglers beruht auf zwei nicht invertierenden Schmitt- Triggern. Damit diese ein präzises Schaltsignal liefern, ist ein möglichst genaues Vergleichssignal – eine Referenzspannung – erforderlich.

Die Referenzspannung wird von IC1, einem MAX 875, erzeugt. Die Kondensatoren C1- C4 dienen zum ein- und ausgangsseitigen Puffern und Abblocken der Spannungen. Die Diode D1 soll ein Entladen des Kondensators C2 über den Lastkreis verhindern.

Zur Überwachung der Ladeschlusspannung ist der Operationsverstärker IC2a (TLC272) als nichtinvertierender Schmitt- Trigger geschaltet. Um die Akkuspannung in die Größenordnung der Referenzspannung zu bringen, ist der Spannungsteiler R1- P1- R2 erforderlich. Hierbei wird der Feinabgleich mit P1 so vorgenommen, daß bei Erreichen der Ladeschlusspannung von 13,8V die Kippschwelle des Schmitt- Triggers erreicht wird. Solange die Akkuspannung unter der Ladeschlusspannung liegt, befindet sich der Ausgang von IC2a auf Null Volt- Potential. Damit wird über R3 und R4 der PNP- Transistor T1 durchgesteuert, was zur Folge hat, daß der POWER- MOS- FET T2 leitend wird. Nun ist der Ladestromkreis geschlossen und Ladestrom kann fließen. Bei 13,8V Akkuspannung wechselt der Ausgang von IC2a von null Volt auf Betriebsspannung. Dadurch sperren T1 und T2 und der Stromkreis wird unterbrochen. Der Widerstand R8 sorgt für eine Hysterese von ca. 400mV, d.h. der Ladevorgang wird bei 13,4V fortgesetzt. Dieser Zustand wird bei gesetztem DIP- Schalter S1 durch die LED D3 angezeigt. Die Schottky- Diode D2 verhindert ein Entladen des Akkus über das Panel für den Fall, daß die Panelspannung kleiner ist als die Akkuspannung.

Der OP IC2b, ebenfalls als nichtinvertierender Schmitt- Trigger geschaltet, überwacht die Entladeschlusspannung. Auch hier wird die mit R9- P2- R10 geteilte Spannung mit der Referenzspannung verglichen. Ist die Akkuspannung größer als die mit P2 eingestellte Entladeschlusspannung von 11,1V, so hat der Ausgang von IC2b Betriebsspannungspotential. Der MOS- FET T3 ist leitend, d.h. der Verbraucher ist jetzt zugeschaltet. Dieses wird bei eingeschaltetem S2 durch die LED D4 angezeigt. Fällt die Spannung unter 11,1V, so wird T3 über IC2b gesperrt. Die mit R11 eingestellte Hysterese sorgt dafür, daß der Verbraucher solange abgeschaltet bleibt, bis der Akku wieder ausreichend geladen ist. Die Zuschaltung geschieht bei 12,6V.

4. Meßreihe

4.1 Einstellung der Schaltpunkte

Die Einstellung der Schaltpunkte wird mit Hilfe eines Labornetzteils anstelle des Akkumulators vorgenommen. Die Klemmen für Solarpanel und Verbraucher bleiben offen. Das Labornetzteil wurde ausgewählt, weil es mit dem vorliegenden Versuchsaufbau (Solarpanel, Laderegler, Akku und Last) nicht möglich ist, die gewünschten Schaltpunkte zu halten.

Die Ladeschlußspannung von 13,8V (siehe 3.1) wird mit Hilfe von LED D3 (gelb) eingestellt. Die Hysterese von 400mV wird mit R10 festgesetzt, so daß die Akku-Spannung ständig zwischen 13,8V und 13,4V schwankt.

Beim Einsetzen des Tiefentladeschutzes, dessen Schaltpunkt bei 11,1V liegt, erlischt D4 (grün). Hier sorgt eine durch R11 fest eingestellte Hysterese von 1,5V dafür, daß der Verbraucher erst dann wieder zugeschaltet wird, wenn der Ladezustand des Akkus wieder ausreichend (12,6V) ist.

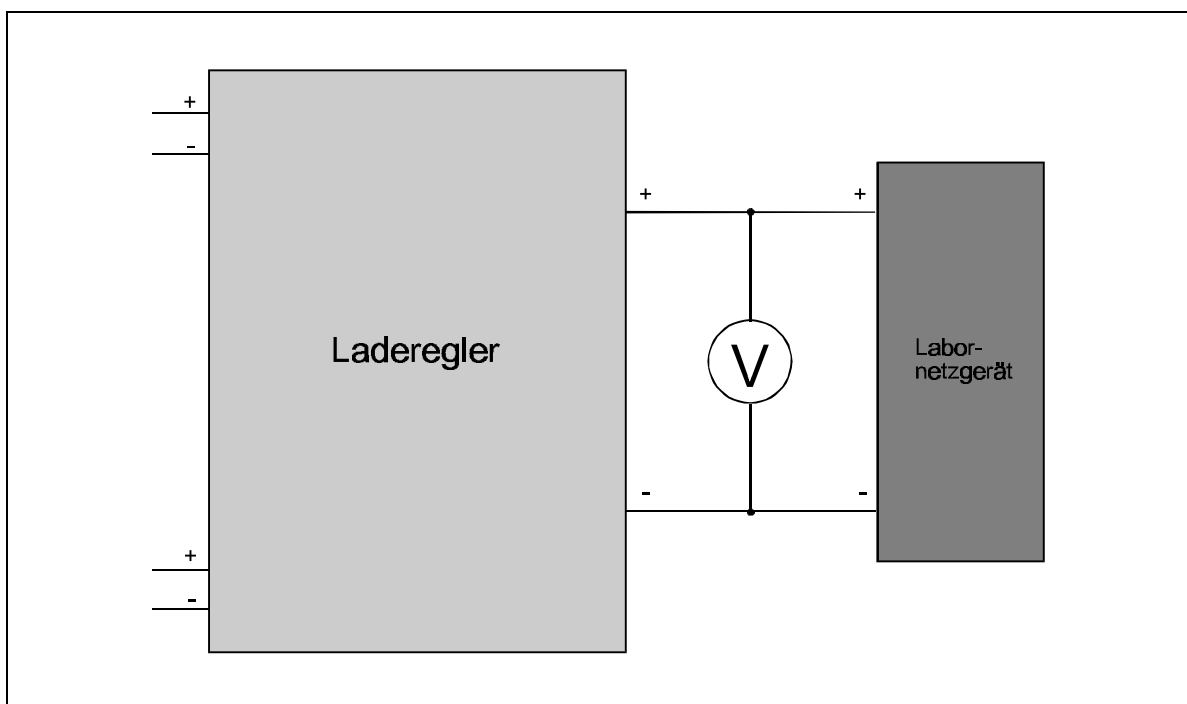


Abb. 4.1 Blockschaubild Schaltpunkteinstellung

4.2 Ladekurve

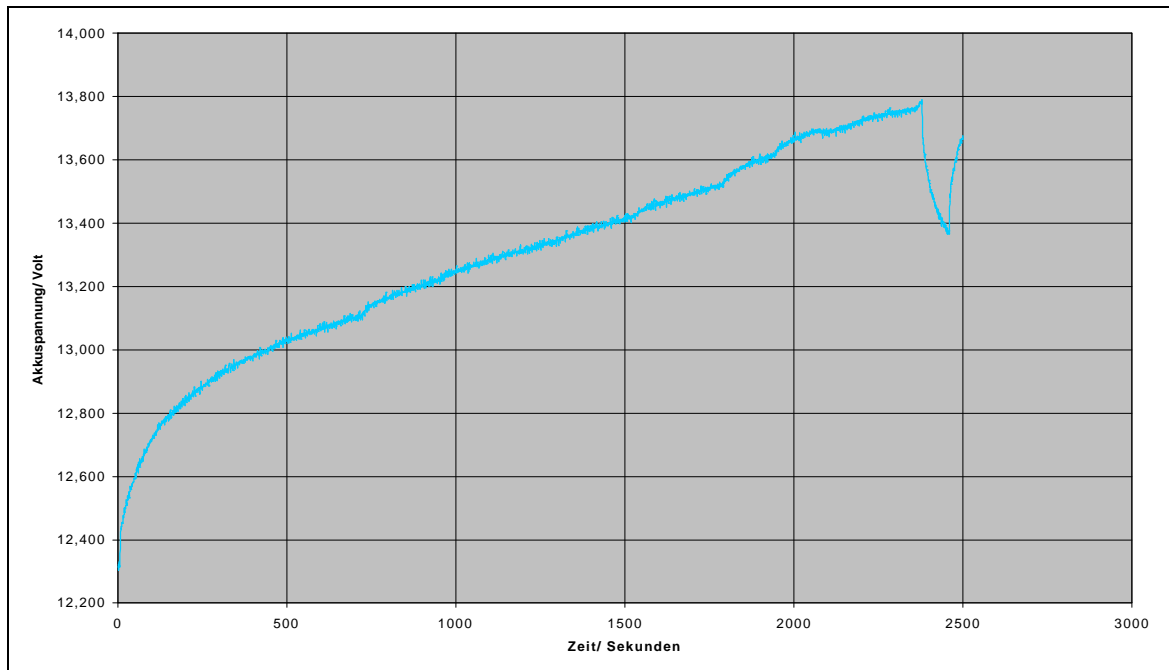


Abb. 4.2 Verlauf der Ladekurve (ohne Verbraucher)

Um diesen idealisierten Kennlinienverlauf darstellen zu können, ist ein Akku ohne Verbraucher geladen worden. In dieser Kennlinie ist das Regelverhalten deutlich erkennbar.

4.3 Entladekurve

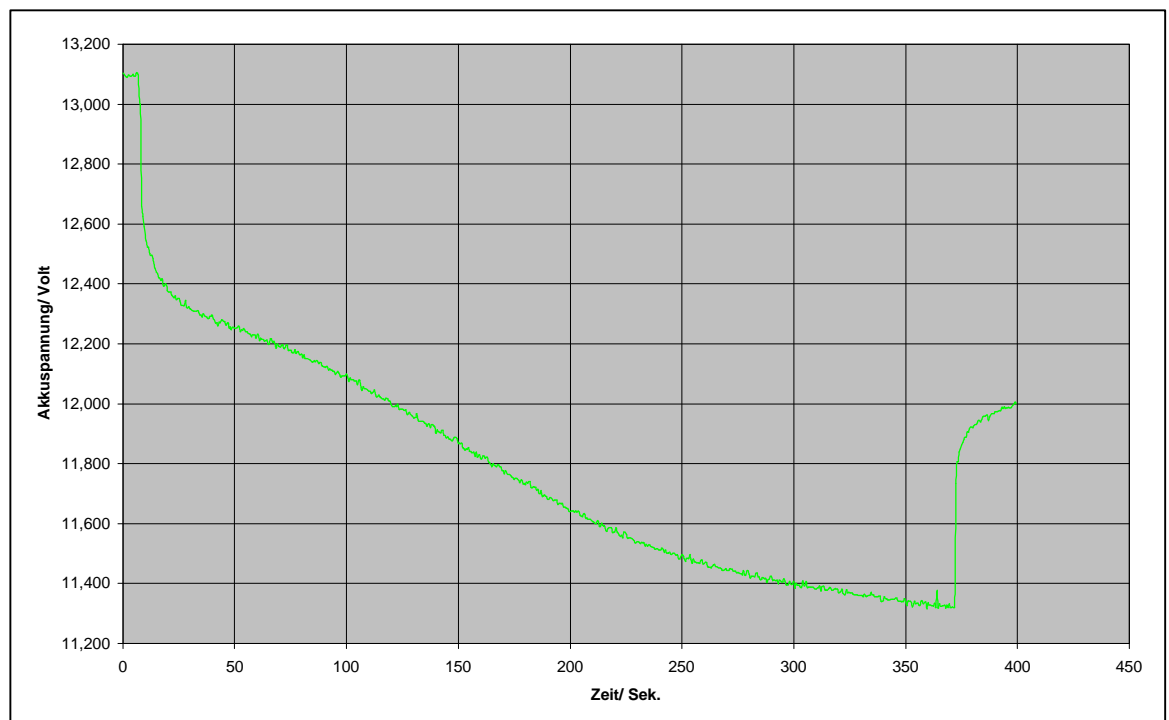


Abb. 4.3 Verlauf der Entladekurve (ohne Ladestrom, 1A Laststrom)

Damit ein kompletter Entladezyklus, ausgehend von einem voll geladenen Akku, bis zum Erreichen der Entladeschlussspannung in einer angemessenen Zeit dargestellt werden konnte, wurde ohne Nachladung mit einem Laststrom von 1A entladen.

Meßbedingungen: - Solarpanel 53W (maximal Leistung bei Sonnenlicht)
- Beleuchtung mit Halogenstrahler 2000W
- Akkumulator 12V/1,8 Ah

Die Meßwerte der Kennlinien 4.2 und 4.3 wurden mit Hilfe des Digitalmultimeters METEX 4650 CR über dessen serielle Schnittstelle aufgenommen. Die graphische Auswertung erfolgte mit der Tabellenkalkulation EXCEL.

5. Technische Daten

Ladeschlussspannung typ.:	13,8V
Entladeschlussspannung typ.:	11,1V
Max. Ladestrom:	6,0A
Max. Laststrom:	6,0A
Eigenstromaufnahme typ.:	1,0mA

Zur Anzeige der Betriebszustände und zu Vereinfachung des Abgleichs sind optional zwei LED's zuschaltbar.

Wichtig!

Die Eigenstromaufnahme steigt bei zugeschalteten LED's auf ca. 6mA.

6. Soll- Ist- Vergleich

Datum	Tätigkeit	Soll	Ist
26.02.1998	Erstellen des Blockschaltbildes Studium der Datenblätter Schaltungsentwicklung Erstellen der Stückliste	4,5 Std.	4,5 Std.
03.03.1998	Probeaufbau der Schaltung auf Steckbrett Erste Messungen mit Netzgerät und Akku Optimierung der Schaltung	4,5 Std.	4,5 Std.
05.03.1998	Fester Aufbau der Schaltung auf Lochrasterplatine Schaltplanerstellung auf PC Probeaufbau mit Solarpanel und Akkumulator	4,5 Std.	4,5 Std.
10.03.1998	Durchführung und Dokumentation einer Meßreihe Beginn der Dokumentation: - Inhaltsverzeichnis - Einleitung	4,5 Std.	6,5 Std.
12.03.1998	Dokumentation : - Grundlagen - Entwicklungskriterien - Beschreibung der Schaltungsentwicklung - Funktionsweise	4,5 Std.	8 Std.
17.03.1998	Dokumentation : - Beschreibung der Meßreihe - Schlußbetrachtung - Literaturverzeichnis	4,5 Std.	6 Std.
19.03.1998	Dokumentation : - Zusammenstellung des Anhangs - Soll- Ist- Vergleich Erstellung des Präsentationsmaterials (Folien etc.)	4,5 Std.	8 Std.
24.03.1998	Abgabe der Dokumentation Vorbereitung und Probe der Präsentation	4,5 Std.	6 Std.
26.03.1998	Präsentation	45 min	

Abb. 6 Soll- Ist- Vergleich

Bewertung:

Wie aus der Tabelle Abb. 6 ersichtlich konnten wir unsere Zeitplanung ab den 4.Tag der projektorientierten Arbeit nicht mehr einhalten.

Dies läßt sich u.a. auf folgende Ursachen zurückführen:

- Probleme mit der für uns neuen Meßwerterfassungssoftware
- Durch die vorgegebene Seitenzahl der Dokumentation kam es zu erheblichen Problemen, den Inhalt präzise und knapp zu formulieren. Unsere hohen Ansprüche an die Gestaltung der Dokumentation konnten nur schwer verwirklicht werden.
- Darüber hinaus empfanden wir es als sehr negativ, daß der gesamten Klasse für die Durchführung der Projektarbeit nur ein einziger Klassenraum zur Verfügung stand. Wegen des dadurch unvermeidlich hohen Geräuschpegels war ein konzentriertes Arbeiten nur schwer oder überhaupt nicht möglich.
- Eine zusätzliche Verzögerung der Durchführung stellte ein Stromausfall dar, der erst nach ca. 1,5 Stunden behoben werden konnte.

Durch die oben genannten Gründe mußte ein erheblicher Teil der Arbeiten in den Privatbereich verlegt werden.

7. Schlußbetrachtung

Ausschlaggebend für die Wahl des Themas der projektorientierten Arbeit war für uns die Vorgabe eine praxistaugliche und dennoch in der kurzen Zeit zu realisierende Schaltung zu entwickeln.

Der Laderegler erfüllt diese Bedingungen. Aufgrund seiner technischen Daten ist er mit fertigen, im Handel erhältlichen Geräten durchaus vergleichbar.

Kompromisse mußten nur in Bezug auf zusätzliche Ausstattungsmerkmale eingegangen werden. So können sich z.B. im Betrieb mit autonomem Solaranlagen zusätzliche Anzeigen für Spannung und Strom als sehr zweckmäßig erweisen.

Diese Erweiterungen hätten jedoch den Rahmen der Projektarbeit gesprengt.

8. Literaturverzeichnis

Beuth, Klaus:

Bauelemente, Vogel- Verlag, Würzburg, 1989

Böhmer, Erwin:

Elemente der angewandten Elektronik, Vieweg- Verlag, Braunschweig 1990

Hanus, Bo:

Solaranlagen richtig planen, installieren und Nutzen, Franzis- Verlag, Feldkirchen 1996

Härtl, Alfred:

Halbleiteranschlußstabelle, Härtl- Verlag, Hirschau 1992

Muntwyler, Urs:

Praxis mit Solarzellen, Franzis- Verlag, München 1993

Nührmann, Dieter:

Das große Werkbuch Elektronik, Franzis- Verlag 1994

Tietze, Ulrich/ Schenk, Christoph:

Halbleiter Schaltungstechnik, Springer- Verlag, Berlin 1993

9. Anhang