
Masterarbeit

Sicheres Energieversorgungssystem mit PV – Überschusseinspeiser und örtliche Energiezwischenlagerung in Batterien

Daniela Steininger

Datum(21/05/2013)



Institut für Elektrotechnik
Institute of Electrical Engineering
Montanuniversität Leoben

A-8700 LEOBEN, Franz Josef Straße 18
Tel.Nr.: +43/(0)3842-402-2401
Fax: +43/(0)3842-402-2402
etechnik@unileoben.ac.at

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbständig, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.

Daniela Steininger

21. Mai 2013

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich sehr herzlich bei meinem Professor Herrn O. Univ. – Prof. Dipl. – Ing. Dr. techn. Helmut Weiss bedanken, der mich in die Welt der Elektrotechnik geführt hat. Die tatkräftige Unterstützung von Ihm und seinem Team, insbesondere von Herrn Wenzel Maier, Johanna Rabel und Herrn DI. Rudolf Krall, ermöglichten die Realisierung der Diplomarbeit.

Ich danke der Firma „PV Products GmbH“, die acht Batterien für den Modellaufbau zur Verfügung gestellt haben.

Weiters möchte ich mich herzlich bei meinen Eltern bedanken, ohne die das Studieren in Graz und Leoben nicht so sorglos gewesen wäre. Meiner Schwester gehört mein Dank, ohne derer ich nie in Graz zu studieren begonnen hätte.

Mein herzlichster Dank gehört auch meinem Freund, der die moralischen Höhen und Tiefen beim Verfassen einer Masterarbeit miterleben musste.

Zum Schluss möchte ich mich noch bei allen bedanke, die mich auf dem Weg vom Studienbeginn bis zur Masterarbeit begleitet haben.

Kurzfassung

Der Energiebedarf steigt ständig. Um diesen Anstieg bewältigen zu können, müssen die Energieerzeugungsunternehmen ihre Kapazitäten ausbauen. Dieser Ausbau wird überproportional viel Geld kosten und dies bedeutet für den Kunden eine Preissteigerung für jede eingekaufte Kilowattstunde Energie. Mit dieser Masterarbeit soll der erste Schritt getan werden, um der Bevölkerung die Möglichkeit zu geben, sich selbst mit elektrischer Energie versorgen zu können.

Zuerst wird auf die Einflussfaktoren auf eine Photovoltaikanlage eingegangen. Diese sind das Wetter, das Verhalten elektrischer Geräte, der Bleibatterien als Energiespeicher und die rechtlichen Rahmenbedingungen. Diese vier Faktoren charakterisieren, wie eine Photovoltaikanlage mit lokaler Energiespeicherung ausgelegt werden muss.

Im nächsten Schritt wird eine Laboranlage erstellt, mit dem man die produzierte Energie speichern kann. Dieses System wird mit einem Netzgerät anstatt einer Photovoltaikanlage, einer Leistungsmessung, einer unterbrechungsfreien Stromversorgung mit einer Last und fünf Bleiakkumulatoren samt steuerbaren Ladegeräten realisiert. Nachdem die Kapazität der Bleibatterien und deren Lade- und Entladeverhalten getestet worden sind, ist das System im Labormaßstab (1:10) aufgebaut worden. Mit dem aufgebauten System ist es dann auch real möglich, die im Überschuss produzierte Energie zu speichern und sie nach Bedarf in einem Verbraucher zu verwenden.

Als weiterer Punkt der Masterarbeit wird der wirtschaftliche Aspekt beleuchtet. Es soll aufgezeigt werden, ob es wirtschaftlich rentabel ist, Geld in die vor – Ort – Speicherung von Energie zu investieren. Heutzutage ist der Preis für Energie dafür noch zu niedrig, aber in der Zukunft wird es sehr empfehlenswert sein, der Bevölkerung die Möglichkeit zu geben, ihren Strom selbst zu produzieren.

Stichwörter: Photovoltaiksystem ; Überschusseinspeisung ; Bleibatterien ; Unterbrechungsfreie Stromversorgung ; Leistungsmessung ; Energiepreis

Abstract

The demand of power is growing continuously. To handle this increase the energy supply industry has to build up their capacities. This development will be very costly, leading to a rise in cost for a kilowatt-hour for the public.

This master thesis should offer the first step to the public for a self – supply with electrical.

In a first step, it is key to become aware of the main factors that may influence a photovoltaic system. The main influencing factors are weather, behaviour of electrical equipment, lead acid batteries as energy storing elements and also the legal environment. These factors are characterizing how a photovoltaic system with local energy storage has to work.

In a next step a laboratory plant to save the produced power is being created. This is realized with a power supply unit instead of a photovoltaic system, a power measurement, an uninterruptable power supply with a load and five lead acid batteries including controllable chargers. After testing the capacity of these batteries and their charge and discharge behaviours, the system has been realized in laboratory scale (1:10). In fact this system is able to save the produced power, to use it on demand and to use the power even if the power supply is disconnected.

Another part of the master thesis discusses economics. It should be shown if it is profitable to invest money in the storage of energy. Nowadays, the cost of energy is too low for that but in the future it will be very advisable to give people the opportunity to produce electric energy for themselves.

Keywords: photovoltaic system ; surplus power grid feeding ; lead acid battery ; uninterruptable power supply ; power measurement ; cost of energy

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung	1
Danksagung	2
Kurzfassung	3
Abstract	4
Inhaltsverzeichnis	5
1 Einleitung	9
1.1 Einleitung	9
1.2 Aufgabenstellung	10
1.3 Überblick	12
1.3.1 Einteilung in kritische und nicht kritische Verbraucher	12
1.3.2 Verhalten der Verbraucher im Stand – by Betriebszustand	13
1.3.3 SMART - Meter	14
2 Einflussfaktoren und Zusammenhänge	15
2.1 Standortgebundene Einflussfaktoren	15
2.1.1 Leistung der PV – Anlage	15
2.1.1.1 Tarifförderung für netzgekoppelte PV – Anlagen über 5 kWp	15
2.1.1.2 Investitionsförderung des KLI.EN für netzgekoppelte PV – Anlagen bis 5 kWp – Modulleistung	16
2.1.1.3 PV – Anlagen ohne Netzkoppelung	16
2.1.2 Energieverbrauch im Haushalt	16
2.1.3 Klimazonen	17
2.1.4 Rechtliche Aspekte	19
2.1.4.1 EIWOG	19
2.1.4.2 Ökostromgesetz	21
2.1.4.3 Elektrotechnikgesetz	22
2.1.4.4 Batterien Verordnung	23
3 Wirtschaftliche Betrachtung der Speicheranlage	25
3.1 Der Strompreis	25
3.2 Wirtschaftliche Abschätzung der PV – Anlage mit entwickelter Speichermöglichkeit	26
3.2.1 Investitionskosten	26
3.2.2 Amortisationsbetrachtung	27

3.2.2.1	Allgemeine Annahmen.....	27
3.2.3	Amortisationszeit (T_a) einer PV – Anlage mit Batteriespeicherung	31
3.2.4	Zusammenfassung der Wirtschaftlichkeit.....	32
4	Bleiakkumulator	33
4.1.1	Aufbau einer Zelle	34
4.1.2	Chemische Reaktion	36
4.1.3	Eigenschaften des Bleiakkumulators.....	37
4.1.3.1	Ladecharakteristika.....	39
4.1.3.2	Selbstentladung und Lagerung	40
4.1.3.3	Alterungsmechanismen	40
4.1.4	Batteriemanagement	41
5	Lokale Gesamtsysteme für die Energieversorgung	42
5.1	Am Markt erhältliche Systeme	42
5.1.1	Volleinspeisung	42
5.1.2	Einspeisemodell mit Eigenbedarfsdeckung	43
5.1.3	SMA – System.....	45
5.2	PV – Anlagen mit Speichersysteme.....	46
5.2.1	Komponenten	46
5.2.1.1	Zähler	46
5.2.1.2	Unterbrechungsfreie Stromversorgung	47
5.2.1.3	Speichermedium	48
5.2.1.4	Stromrichter	48
5.2.1.5	Sonstiges	49
5.2.2	PV - System mit USV	50
5.2.3	Eigenbedarfsdeckung mit USV.....	50
5.2.4	USV, Laderegler und Gleichrichter.....	51
5.2.5	Realisiertes System.....	52
6	Grundlagen verwendeter Elektronik – Bauteile.....	55
6.1	Optokoppler	55
6.2	Operationsverstärker	56
6.2.1	Spannungsoffset	57
6.2.2	Betriebsarten der OPV	58
6.2.2.1	OPV mit Gegenkopplung	58
6.2.2.2	OPV mit Mitkoppelung:	61
6.3	Tiefpass	63

6.4	Stromwandler.....	67
7	Laboraufbau.....	69
7.1	Vermessung der Bleibatterien.....	70
7.1.1	Aufbau der Messanlage	70
7.1.2	Ergebnisse der Batterievermessung	75
7.1.2.1	Ergebnisse der gebrauchten Batterien.....	75
7.1.2.2	Ergebnisse der neuen Batterien	78
7.1.2.3	Vermessung der Batterie nach einem Monat Selbstentladung	82
7.1.2.4	Laden der Batterie	82
7.2	Leistungsmessung.....	84
7.2.1	Aufbau der Leistungsmessung.....	85
7.2.1.1	Spannungs- und Strommessung	87
7.2.1.2	Multiplikation	89
7.2.2	Regelung des Systems	91
7.2.3	Strom-, Spannungsladegeräte für die Batterie.....	93
7.2.3.1	Aufbau des Ladegerätes.....	93
7.2.3.2	Inbetriebnahme des Ladegerätes	95
7.3	Die Inbetriebnahme des Systems	96
7.3.1	Reihenschaltung der Batterie	96
7.3.2	Der Aufbau	96
7.3.3	Inbetriebnahme	98
7.4	Ergebnisse.....	102
7.4.1	Strom- und Spannungsverlauf der USV am Ausgang	103
7.4.2	Strom- und Spannungsverlauf beim Laden der Batterie.....	104
8	Zusammenfassung	106
8.1	Zusammenfassung	106
8.2	Weiterentwicklungen.....	107
9	Literaturverzeichnis.....	108
10	Abbildungsverzeichnis	111
11	Tabellenverzeichnis	114
12	Abkürzungsverzeichnis	116
13	Anhang	I
13.1	Beschreibung der Batterien	I
13.2	Berechnung des Tiefpasses – Bessel - Filter.....	III
13.3	Platinen und Stückliste.....	V

13.3.1 Platine für die Batterie	V
13.3.2 Stückliste der Schaltung	VI
13.3.3 Platine für die Spannungsmessung	X
13.3.4 Stückliste der Schaltung	XI
13.3.5 Platine für die Strommessung	XIV
13.3.6 Stückliste der Schaltung	XV
13.3.7 Platine für die Multiplikation	XIX
13.3.8 Stückliste der Schaltung	XX
13.3.9 Platine für die Regelung	XXI
13.3.10 Stückliste der Schaltung	XXII
13.3.11 Platine für die Stromladung	XXIII
13.3.12 Stückliste der Schaltung	XXIV
13.4 Schaltplan von Schaltnetzteil CONARC 6030-6510-0000	XXVI
13.5 Abschätzung für die Kosten der Komponenten	XXIX

1 Einleitung

1.1 Einleitung

In den Jahren zwischen 1960 und 2011 gab es in Österreich eine Steigerung des Energieverbrauches pro Kopf um 250% (Weltbank, 2013). In Abbildung 1 ist der Anstieg des Energieverbrauches in den Jahren 1970 bis 2010 in PJ (10^{15} J) dargestellt. Der Hauptgrund dafür ist die vermehrte Mobilität der Bevölkerung und der Anstieg an elektrischen Verbrauchern in den Haushalten. Durch die Nutzung der Sonnenenergie ist es möglich, einen Teil der verbrauchten elektrischen Energie im Haushalt selbst zu erzeugen.



Abbildung 1: Energieverbrauch pro Kopf

Die Umwandlung von Sonnenenergie in elektrische Energie ist mittlerweile (Stand 2013) eine weit verbreitete und gut entwickelte Technik. In Abbildung 2 ist für unterschiedlich große Haushalte der Zusammenhang zwischen der Größe der Photovoltaikanlage (in weiterer Folge als PV – Anlage bezeichnet) und der Höhe der Eigenverbrauchsquote dargestellt.

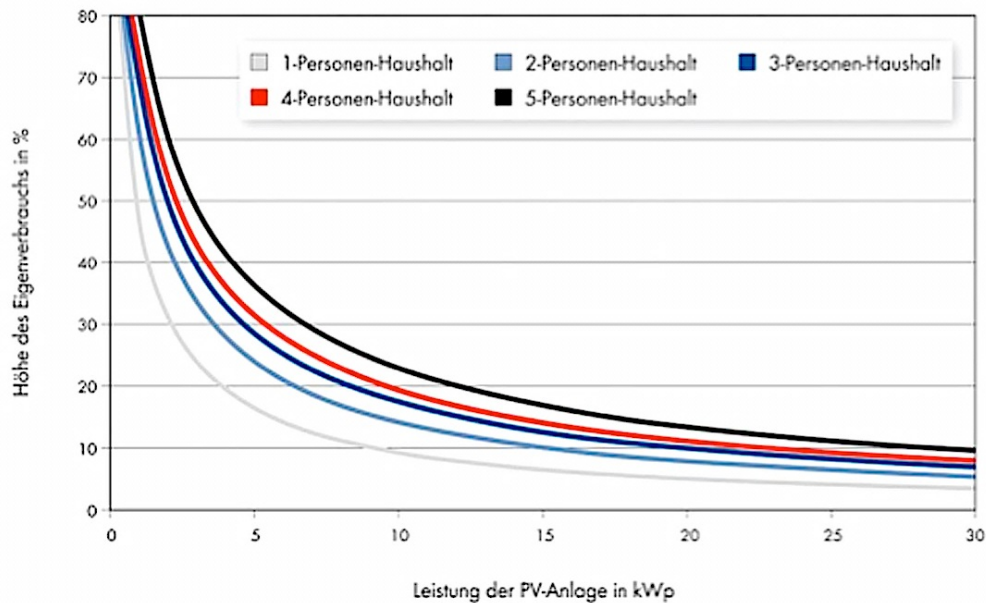


Abbildung 2: Eigenverbrauchsquote (Quelle: SMA)

Unter Eigenverbrauchsquote versteht man den prozentuellen Anteil von der im Haushalt genutzten Energie zu der gesamten produzierten Energie. Um eine Steigerung der Eigenverbrauchsquote zu ermöglichen, müssen Systeme entwickelt werden, die bei Erzeugungsüberschuss Energie speichern können. Die Systeme, die bereits auf dem Markt sind, sind teuer (ca. 20 000 € für eine 5 kWp PV - Anlage) und aus diesem Grund nicht rentabel.

Gegenstand der Masterarbeit ist die Entwicklung einer Speicheranlage für die Nutzung von Sonnenenergie aus eine PV – Anlage für einen vier – Personen – Haushalt zur Deckung des eigenen Eigenbedarfs. Dabei liegt die Eigenverbrauchsquote (die unmittelbar aus der PV – Anlage stammende und ohne Speicherung direkt genutzte elektrische Energie) bei ca. 30% für eine 5 kWp Anlage. Dabei soll die Erzeugungsanlage um eine externe Batteriespeicherung und eine unterbrechungsfreie Stromversorgung (In weiterer Folge als USV bezeichnet) erweitert werden.

1.2 Aufgabenstellung

Die Masterarbeit gliedert sich in zwei Teile. Zuerst wird ein System für einen Haushalt konzipiert, mit dem man Energie aus einer 5 kWp PV – Anlage mit Überschusseinspeiser über einen gesteuerten Gleichrichter in einen

Bleiakkumulator (in weiterer Folge als Batterie bezeichnet) speichern und über eine USV netzunabhängig den eigenen Lasten zur Verfügung stellen kann. Im zweiten Schritt wird dieses konzipierte System im Labormaßstab (1:10) aufgebaut.

Das originale System soll auf 230 V (Phase – Neutralleiter), 63 A und 3 - phasig ausgelegt werden. Das Spannungsniveau von 230 V ist durch die Netzspannung vorgegeben. Der maximale Strom ist auf den üblichen Anschlussstrom von 63 A für einen Haushalt ausgelegt.

Das Modell wird für 230 V, 6,3 A und 3 – phasig ausgelegt. Energieeinspeisung, Ladegleichrichter und USV sind wegen der vorhandenen Komponenten nur einphasig.

Abbildung 3 zeigt, wie das System grundsätzlich funktionieren soll. Eine 5 kWp PV – Anlage versorgt einen vier Personen Haushalt (ca. 5000 kWh pro Jahr) mit Energie. Die überschüssige Energie wird in eine USV geleitet, welche die Bleibatterien (Energiedichte 25 – 45 Wh/ kg) speist. Die Energie, die weder in den Verbrauchern noch in der Batterie gebraucht wird, wird in das Netz geliefert. Die Batterien ermöglichen eine Versorgung des Haushaltes auch bei Versorgungsdefizit der PV – Anlage und bei Netzausfall. Dabei ist die Koordination der Betriebszeiten von den Verbrauchern ausschlaggebend. Durch eine solche Koordination lässt sich die Effizienz der Speicheranlage erhöhen. Dies geht jedoch über diese Masterarbeit hinaus.

Mit der USV ist es möglich, innerhalb von einigen Millisekunden vom Netzbetrieb auf Batteriebetrieb umzuschalten. So ist ein störungsfreier Ablauf im Haushalt gewährleistet. Der Bleiakku wird verwendet, weil die Technologie sehr gut erforscht ist und die Anschaffung kein großes Problem darstellt. Ein weiterer Punkt, der bei den Bleiakkus in Betracht gezogen wird, ist die Wiederverwertung alter Autobatterien (in weiterer Folge als Re – Use bezeichnet), die reduzierte Werte von Spitzenstrom und Kapazität aufweisen und für den Einsatz im Fahrzeug nicht mehr geeignet sind. Darum werden im Zuge der Masterarbeit alte und neue Batterien getestet und miteinander verglichen.

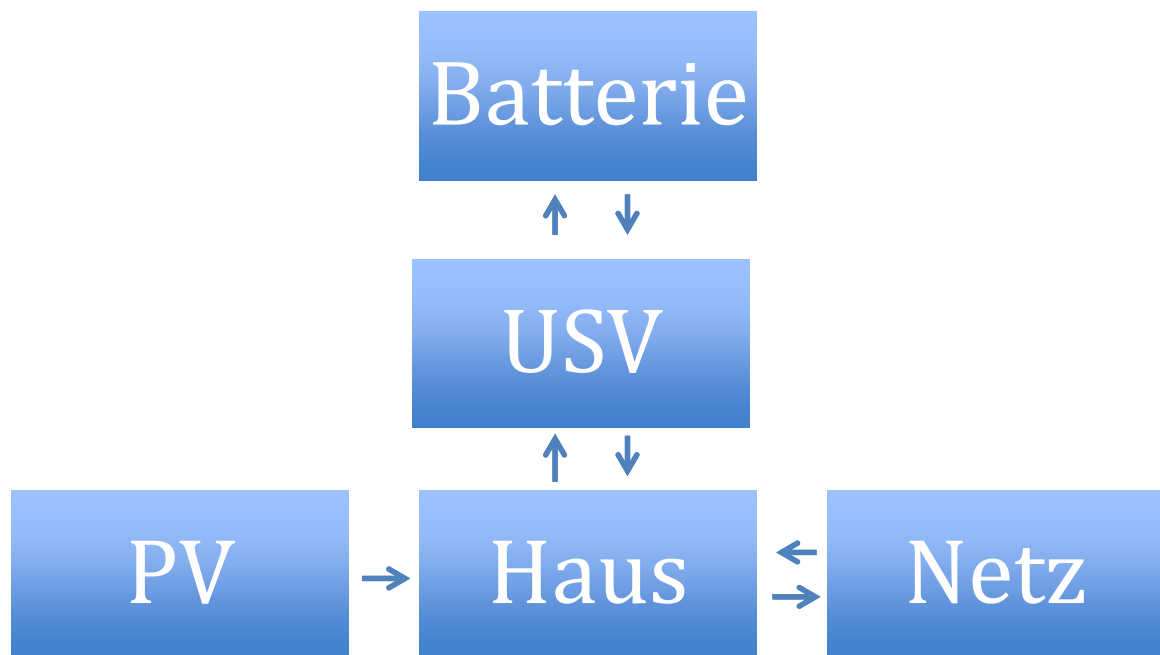


Abbildung 3: Energieversorgungssystem mit Energieflüssen

Wie bereits in der Einleitung angesprochen wurde, ist die Rentabilität einer Speicheranlage ein sehr großes Thema für einen privaten Haushalt. Aus diesem Grund wird in der Arbeit die Amortisationsdauer einer PV – Anlage mit einer Speicheranlage berechnet. Dafür werden auch Förderprogramme des Landes (KLI.EN) in die Wirtschaftlichkeitsabschätzung einbezogen. Somit kann eine praxisnahe Darstellung der Kosten für eine solche Anlage gemacht werden.

1.3 Überblick

Bei der Nutzung einer PV – Anlage mit Speichermöglichkeit ist es ausschlaggebend, Verbraucher so effizient wie möglich betreiben zu können. Um eine Effizienzsteigerung zu erzielen, werden die Verbraucher in kritische und nicht kritische Verbraucher eingeteilt, die Leistung von Verbrauchern im Stand – by – Betrieb verringert und SMART – Meter eingeführt.

1.3.1 Einteilung in kritische und nicht kritische Verbraucher

Die Einteilung in kritische und nicht kritische Verbraucher ist im Fall einer Notstromversorgung bei Netzausfall wichtig. In solch einer Situation sollen nur die Geräte betrieben werden, die notwendig sind um so eine Situation abzuwenden. Ein solcher Netzausfall könnte in Österreich durch die Beschädigung von

Versorgungsleitungen oder Versorgungseinrichtungen aufgrund von Muren, Lawinen, Stürmen, Hochwasser, usw. verursacht werden. Die Einteilung in kritische und nicht kritische Verbraucher ist wie folgt definiert:

Kritische Verbraucher: Das sind jene Verbraucher, die für die Aufrechterhaltung der grundlegenden Funktionen im Haushalt essentiell sind. Darunter fallen die Pumpen für Heizung und Wasser, Kühlschrank oder Gefrierschrank, Beleuchtung und Nachrichtenmedien.

Nicht kritische Verbraucher: Das sind jene Verbraucher, auf die bei Netzausfall verzichtet werden kann. Darunter versteht man die Waschmaschine, der Trockner, Unterhaltungsmedien, usw.

1.3.2 Verhalten der Verbraucher im Stand – by Betriebszustand

Der Verbrauch an Energie durch den Betriebszustand Stand – by hat in Österreich einen Energieverbrauch von 811 GWh (2008) verursacht. Mit dieser Energie hätten 180 000 Haushalte für eine Jahr versorgt werden können.

In der EU gibt es Pläne um den Energieverbrauch durch den Stand – by Betrieb zu verringern. Vor der Einführung der Ökodesign - Richtlinie (EuP) (2005/32/EG, 2009/125/EG) lag der Stand – by Verbrauch bei:

Max Stand – by Leistung, Off mode: 1 W

Max Stand – by Leistung (mit Anzeige, Uhr, Timer): 2 W

Seit 07. 01. 2013 gilt:

Max Stand – by Leistung, Off mode: 0,5 W

Max Stand – by Leistung (mit Anzeige, Uhr, Timer): 1 W (Lindinger, 2010)

Dies bedeutet, dass der Energieverbrauch im Stand – by Betrieb von 1 bzw. 2 W auf 0,5 bzw. 1 Watt verringert wird. In Österreich ist die EU – Richtlinie durch die Ökodesign Verordnung 2007 (Umsetzung 2005/32/EG) umgesetzt. Durch diese Reduktion kann in Österreich im Jahre 2020 65% des Energieverbrauches durch den Stand – by Betrieb eingespart werden (Basis 2008).

1.3.3 SMART - Meter

Eine weitere Entwicklung auf dem Gebiet der Energieerfassung ist die Einführung der Smart – Meter (E-Control). Bis 2020 sollen alle Haushalte mit Smart Meter ausgestattet werden. Damit ist es möglich, den Energieverbrauch von Privatkunden in kürzeren Zeitabständen an die EVU weiterzugeben. Weiters kann der Zähler als bidirektionaler Zähler verwendet werden. Dies bedeutet, dass die bezogene, getrennt von der erzeugten Energie erfasst werden kann.

Zukünftig sollen dann alle leitungsgebundene Energieformen (Strom, Gas, Fernwärme, ...) mit Hilfe von Smart – Metern erfasst werden. Weitere Einflussfaktoren ermöglichen den EVUs Tarife auf das Verhalten von Privatkunden abzustimmen (Ferienhaus, Raumtemperatur, ...). Dadurch soll es möglich sein, das Gleichgewicht zwischen Erzeugung und Verbrauch effizienter zu regeln, ergibt aber auch den gläsernen Kunden.

2 Einflussfaktoren und Zusammenhänge

Bei der Auslegung einer PV – Anlage mit Speichermöglichkeit sind drei wichtige Faktoren zu berücksichtigen. Dazu zählen Standortfaktoren, gesetzliche Richtlinien und das Speichermedium selbst.

2.1 Standortgebundene Einflussfaktoren

Zu den standortgebundenen Einflussfaktoren zählen die Kollektorfläche, die Anzahl an Verbrauchern und die verfügbaren Sonnenstunden eines Jahres.

2.1.1 Leistung der PV – Anlage

Die Leistung der PV – Anlage ist abhängig von der zur Verfügung stehenden Fläche. Üblicherweise werden die Anlagen so ausgelegt, dass ein Förderprogramm des Landes genutzt werden kann. Die Förderhöhe ist abhängig von der Leistung und wird am Beispiel Oberösterreichs dargestellt. (Oberösterreich, Leitfaden 2012 für die Förderung von Photovoltaikanlagen in Oberösterreich, 2012)

- Netzkoppelung: Es besteht eine physische Verbindung zwischen dem Haus und dem öffentlichen Netz
- Ohne Netzkoppelung (Inselanlagen): Es besteht keine physische Verbindung zwischen dem Haus und dem öffentlichen Netz z.B. Almhütte.

2.1.1.1 Tarifförderung für netzgekoppelte PV – Anlagen über 5 kWp

Im Ökostromgesetz 2012 (Oberösterreich, Ökostromgesetz 2012, 2012) ist festgelegt, dass neu errichtete Anlagen mit einer Modulspitzenleistung von mehr als 5 kWp, für die nächsten 13 Jahre einen erhöhten Einspeisetarif bekommen.

Tarife für PV – Anlagen, die ausschließlich an oder auf einem Gebäude oder einer Lärmschutzwand angebracht sind:

Von 5 bis 20 kWp → 27,60 Cent/ kWh

Von 20 kWp → 23 Cent/ kWh

Nach Ablauf dieser 13 Jahre ist der Einspeisetarif mit den abnehmenden Stromhändler neu zu verhandeln. Dieser liegt bei 7,42 Cent/ kWh (E-control; Oberösterreich, Ökostromgesetz 2012, 2012). Prognosen für die Tarifentwicklung für die Zukunft sind nicht durchführbar.

2.1.1.2 Investitionsförderung des KLI.EN für netzgekoppelte PV – Anlagen bis 5 kWp – Modulleistung

Bei diesem Förderungsmodell wird die Investition für die Errichtung der Anlage gefördert. Im Jahr 2012 belief sich die Förderhöhe auf ca. 30% des Investitionsvolumens. Bei diesem Fördermodell wird eine mögliche Überschusseinspeisung nicht gefördert (Preis pro kWh eingespeiste Energie 7,42 Cent).

Link: <http://www.esv.or.at/foerderungen/oekostrom/photovoltaik/>

2.1.1.3 PV – Anlagen ohne Netzkoppelung

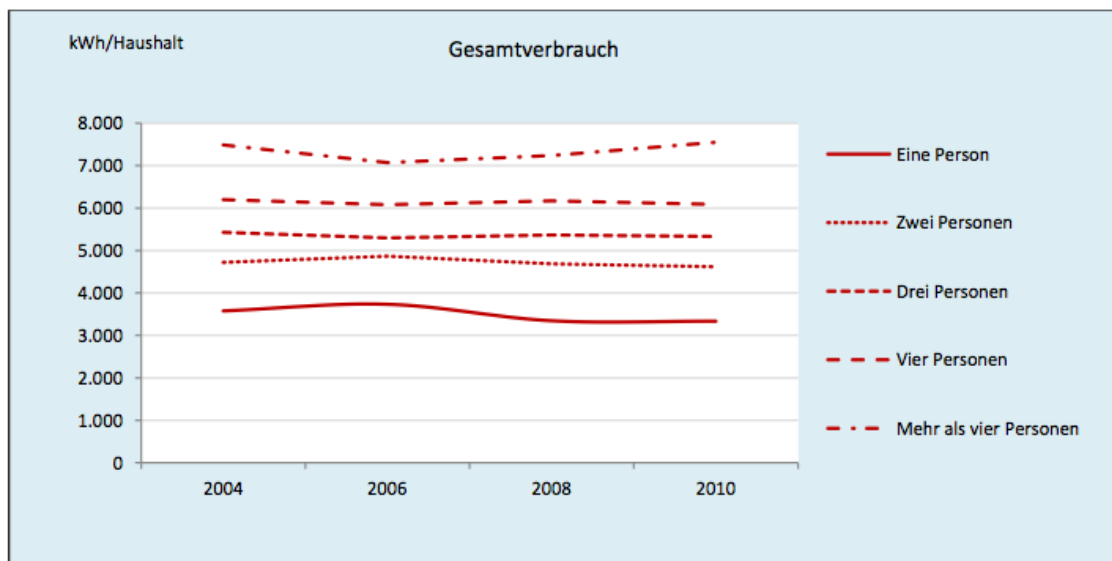
Inselanlagen werden mit einer „De – Minimis“ Beihilfe in einer Höhe bis zu 60% der Investitionskosten subventioniert. Dieses Förderungsmodell hat eine zugesicherte Laufzeit bis Ende 2013.

Zusammenfassung:

Um das Fördermodell KLI.EN in Anspruch nehmen zu können ist die Auslegung der Anlagenleistung auf 5 kWp begrenzt. Somit werden 30 % der Investitionskosten subventioniert. Diese umfassen Kosten für die Errichtung/ Montage der PV – Module, jedoch nicht die mögliche Speicheranlage.

2.1.2 Energieverbrauch im Haushalt

In Abbildung 4 ist der Energieverbrauch eines durchschnittlichen Haushalte für den Zeitraum von 2004 bis 2010 graphisch dargestellt. Im Jahr 2006 ist ein Rückgang des Energieverbrauches im Haushalt zu erkennen. Dies ist laut E - Control durch die Effizienzsteigerung von elektrischen Geräten zu erklären.



Q: STATISTIK AUSTRIA, Energiestatistik.

Abbildung 4: Energieverbrauch im Haushalt zwischen 2004 – 2010

In Tabelle 1 ist der durchschnittliche Jahresenergieverbrauch pro Haushalt in Abhängigkeit der im Haushalt lebenden Personen für Österreich im Jahr 2011 dargestellt.

Anzahl der Personen im Haushalt	Verbrauch in [kWh]
1	3333
2	4619
3	5335
4	6089

Tabelle 1: Energieverbrauch pro Person im Haushalt (E-Control)

2.1.3 Klimazonen

Die Auslegung der PV - Anlage ist in Österreich vom Standort abhängig. Österreich ist in drei Klimazonen eingeteilt, die durch die Alpen gekennzeichnet sind.

Ozeanisches Klima: Im Westen und Norden ist das Wetter durch den feuchten Westwind definiert.

Panonisches Klima: Im Osten wird das Wetter durch heiße, trockene Sommer und kalte Winter geprägt.

Mittelmeer Klima: In den Südalpen wird das Wetter durch Klima des Mittelmeerraumes geprägt. (Österreich)

In Österreich gibt es jährlich durchschnittlich 1600 Sonnenstunden. Davon 1/3 im Winter und 2/3 im Sommer. In Abbildung 5 sind die durchschnittlichen Sonnenstunden zwischen den Jahren 1971 und 2000 in Österreich dargestellt. Dabei ist ein Ost – West – Gefälle der Sonnenstunden zu erkennen. Die in der Osthälfte befindlichen Regionen, die vom panonischen Klima geprägt sind, weisen bis zu 2000 Sonnenstunden auf. Im Gegensatz dazu erreichen Alpentäler nur 800 Sonnenstunden pro Jahr.

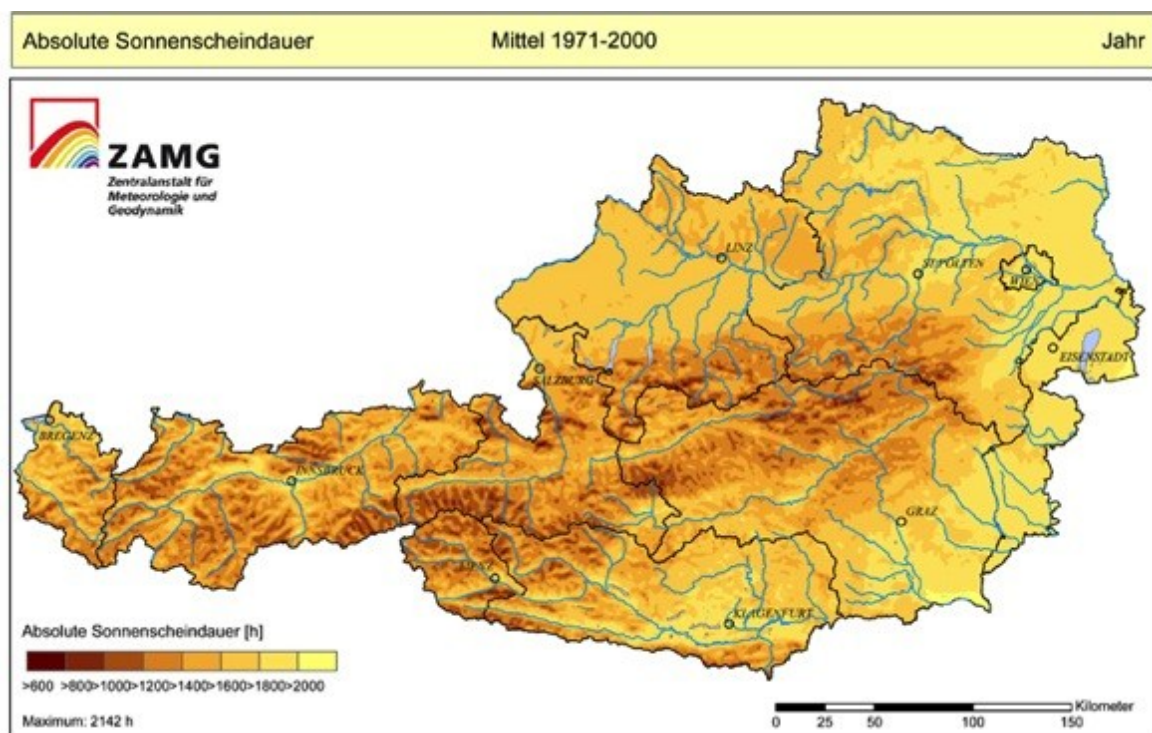


Abbildung 5: Sonnenstunden in Österreich (pvaustria)

Das Wetter beeinflusst die Größe der Kollektorfläche sowie die notwendige Kapazität der Speicheranlage. In der Tabelle 2 werden die in Österreich vorkommenden Wetterszenarien in Abhängigkeit ihrer Einstrahlungsintensität dargestellt.

Wetterszenario	Einstrahlung in W/ m ²
Wolkenloser, blauer Himmel	700 – 1000
Dunstig und wolkig, Sonne erscheint als weiße Scheibe	200 – 700
Wolkenbedeckter, trüber Tag	50 – 200

Tabelle 2: Einstrahlung nach Wetterlage (pvaustria)

Trotz unterschiedlicher Klimazonen und mit ihren verbundenen Sonnenstunden ist die Errichtung und der Betrieb von einer PV – Anlage in ganz Österreich sinnvoll.

2.1.4 Rechtliche Aspekte

In diesem Abschnitt wird auf mögliche Einschränkungen seitens der Gesetzgebung von Planung, Errichtung und Betrieb von einer PV – Anlage mit Speichermöglichkeit eingegangen.

2.1.4.1 EIWOG

Gegenstand:

1. Die Erlassung von Bestimmungen für die Erzeugung, Übertragung, Verteilung von und Versorgung mit Elektrizität sowie die Organisation der Elektrizitätswirtschaft;

2. Die Regelung des Systemnutzungsentgelts sowie Vorschriften über die Rechnungslegung, die innere Organisation, Entflechtung und Transparenz der Buchführung von Elektrizitätsunternehmen;

3. Die Festlegung von sonstigen Rechten und Pflichten für Elektrizitätsunternehmen;

Ziel ist es:

- Der österreichischen Bevölkerung und Wirtschaft kostengünstig Elektrizität in hoher Qualität zu Verfügung zu stellen;
- Eine Marktorganisation für die Elektrizitätswirtschaft gemäß dem EU – Primärrecht und den Grundgesetzen des Elektrizitätsbinnenmarktrichtlinien zu schaffen;
- Das Potenzial der Kraft – Wärme – Kopplung (KWK) und KWK – Technologien als Mittel zur Energieeinsparung und Gewährleistung der Versorgungssicherheit nachhaltig zu nutzen;
- Durch die Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen die Netz und Versorgungssicherheit zu erhöhen und nachhaltig zu gewährleisten.
- Die Weiterentwicklung der Elektrizitätserzeugung aus erneuerbaren Energiequellen zu unterstützen und den Zugang zum Elektrizitätsnetz aus erneuerbaren Quellen zu gewährleisten.
- Einen Ausgleich für gemeinwirtschaftliche Verpflichtungen im allgemeinen Interesse zu schaffen, die den Elektrizitätsunternehmen auferlegt wurde, und die sich auf

die Sicherheit, einschließlich der Versorgungssicherheit, die Regelmäßigkeit, die Qualität und den Preis der Lieferungen sowie auf den Umweltschutz bezieht.

- Das öffentliche Interesse an der Versorgung mit elektrischer Energie, insbesondere aus heimischen, erneuerbaren Ressourcen, bei der Bewertung von Infrastrukturprojekten zu berücksichtigen ((Achleitner, 2012), S. 51)

Die wesentlichen Themen, mit denen sich das EIWOG befasst, sind Netzzugangsbestimmungen und Versorgungssicherheit für den Kunden zu garantieren. Vor allem der Netzzugang ist für den Betreiber einer PV – Anlage wesentlich. Wie das EIWOG in den Bundesländern umgesetzt worden ist, wird am Beispiel von Oberösterreich skizziert. (Oberösterreich, Oö. Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetz 2006, 2006). Aufgrund der Präzision von Gesetzestexten sind die folgenden Paragraphen teilweise zitiert.

§ 20: „*Einstweilige Sicherheitsmaßnahmen*“: In diesem Paragraph wird auf die Sicherheitsmaßnahmen einer Stromerzeugungsanlage eingegangen. Mit einer Stromerzeugungsanlage darf keine Person in Gefahr gebracht werden. Jedoch beinhaltet dieser Paragraph keine Regulierung für eine mögliche Speicherung der produzierten elektrischen Energie.

§ 24 „*Gewährung des Netzzuganges*“: Es muss ein Netzzugang für jeden gewährt werden. Netzzugangsberechtigt sind all jene, die die Grundlagen der genehmigten allgemeinen Bedingungen für den Netzzugang erfüllen und das von der Regulierungsbehörde definiertes Systemnutzungsentgelt bezahlen.

§ 38 „*Anschlusspflicht*“: Jeder Endverbraucher und Erzeuger muss am Verteilernetz angeschlossen werden. Diese Pflicht gilt für den Verteilernetzbetreiber und den Endverbraucher / Erzeuger gleichermaßen. Für den Betreiber einer PV – Anlage, die Strom für den Eigenverbrauch produziert, ist so eine Versorgung außerhalb der Sonnenzeiten gewährt.

§ 56 „*Öko – Programm*“: Es wird für Oberösterreich die Vorgehensweise für den Erhalt eine Förderung für die Errichtung einer Energieerzeugungsanlage aus erneuerbaren Energieträgern definiert. Dabei spielt die Art (Sonne, Wind, Wasser) der Erzeugungseinheit keine Rolle (vgl. Fördermodelle für das Land Oberösterreich 2012).

2.1.4.2 Ökostromgesetz

In Österreich kommt mittlerweile mehr als 66% des elektrischen Stromes aus erneuerbaren Energien. Dadurch war es für die österreichische Regierung notwendig, ein Ökostromgesetz zu erlassen. Das erste Ökostromgesetz wurde 2002 verabschiedet.

Eine starke Veränderung erfolgte 2006 in der ersten Novelle des Ökostromgesetzes, durch die Einführung der Zählerpunktpauschale. Dadurch war es möglich, die Kosten für den Energietransport auf die Kunden zu übertragen. Ein Zählerpunkt ist eine *„eindeutige alphanumerische Bezeichnung identifizierter Messstellen für elektrische Größen“* (Achleitner, 2012). Dies bedeutet zum Beispiel für den Endverbraucher, der an die Netzebene 7 angeschlossen ist, eine jährliche Belastung von 15 €. Je höher die Netzebene wird, desto mehr muss vom Verbraucher bezahlt werden. Dies kann bis zu einer jährlichen Pauschale von 15 000 € gehen.

Der zweite Hauptpunkt war die Begrenzung der Fördermittel. Jährlich wird nun ein bestimmtes Volumen an Fördergeldern ausbezahlt. Aufgrund dieser Änderung entstand ein „first come – first serve“ – Prinzip.

In den folgenden Jahren 2007, 2008, 2009 und 2012 sind neue Novellierungen im Ökostromgesetz durchgeführt worden.

„Die Eckpunkte sind:

1. *Abbau der Warteschlangen bei Windkraft, Photovoltaik und Wasserkraft*

Es werden nun Mittel von 14 Millionen Euro und eine Einmalbetrag in der Höhe von 20 Millionen Euro ausbezahlt. Aufgrund der hohen Zahlen bei Anträgen für die Photovoltaikförderung ist eine Kürzung der Einspeisetarife um 30% vorgesehen. Bei der Windkraft wird ein Volumen von einer Milliarde Euro zur Verfügung gestellt, wenn die Betreiber der Windparks einer Senkung der Einspeisetarife von 9,7 auf 9,3 Cent/kWh zustimmen.

2. *Änderung bei der Berechnung der Kontingente für Einspeisetarif – Förderung*

Das jährliche Zuwachskontingent für neue Ökostromanlagen wird mit 40 Millionen Euro festgelegt. In gleichem Zug wird für boomende Technologien ein Unterkontingent festgelegt um kein Ungleichgewicht zwischen den Technologien und deren Weiterentwicklung aufkommen zu lassen.

3. *Degression der Einspeisetarife*

Um keinen Einbruch bei der Errichtung von Ökostromanlagen zu riskieren wird es bei bestehenden Tarifen eine Kürzung um 10% geben.

4. *Administrative Verbesserung für Ökostromanlagen*

Hier werden eine Reihe von Maßnahmen gesetzt um den administrativen Aufwand bei der Errichtung und bei der Nutzung einer Ökostromanlage zu vereinfachen.

5. Ökostrompauschale

Der gelieferte Ökostrom wird nicht mehr zu erhöhten, gesetzlichen vorgegeben Preisen verkauft, sondern es gibt eine Anpassung an den aktuellen Strompreis. Dabei wird die oben beschriebene Zählerpunktpauschale in eine Ökostrompauschale umbenannt. Des Weiteren entfällt noch die Rückvergütung von Ökostromaufwendungen. Damit aber dennoch die Gesamtaufwendungen für den Ökostrom abgedeckt werden, wird es einen prozentuellen Aufschlag auf das Systemnutzungsentgelt geben.

6. Neue Technologie: Photovoltaik - Forschungszentrum

Für die Bereiche Sonnenenergie und Geothermie sollen in Zukunft Forschungszentren erreicht werden.“ ((Achleitner, 2012) Seite 89)

Es ist anzumerken, dass das Ökostromgesetz von der EU noch nicht vollständig erlassen worden ist und es noch immer verändert werden kann.

Wie auch schon zuvor im EIWOG weist auch das Ökostromgesetz keine gesetzlichen Regelungen für die Speicherung von Strom aus erneuerbaren Energien auf. Es ist anzunehmen, dass es keine Einwände von Seiten der Gesetzgebung und von Seiten der EVUs gegen die Speicherung des Stromes geben wird.

2.1.4.3 Elektrotechnikgesetz

Um die Sicherheit, Typisierung und Normierung auf dem Gebiet der Elektrotechnik zu gewährleisten, wurde 1992 das Elektrotechnikergesetz ins Leben gerufen. In diesem Gesetz sind die Anwendung von „ortsveränderlichen elektrischen Betriebsmittel“ und „ortsfesten elektrischen Anlagen“ definiert.

Des Weiteren müssen in Österreich noch Normen und Bestimmungen des „Österreichischen Verbands für Elektrotechnik“ (§2 des Elektrotechnikergesetz) eingehalten werden, die das Errichten, Betreiben und Nutzen eines elektrischen Gerätes bzw. einer Anlage reglementieren. Bei Weiterentwicklungen bei elektrotechnischen Anlagen und Geräten hat der Staat Österreich die Möglichkeit dies mit entsprechenden Verordnungen zu ändern. Bei bereits bestehenden Anlagen müssen diese Änderungen in Form einer Verordnung binnen der nächsten fünf Jahre durchgeführt werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sich das Elektrotechnikgesetz mit der Sicherheit der elektrischen Anlagen bzw. der Geräte auseinandersetzt. Im §3

„Sicherheitsmaßnahmen auf dem Gebiet der Elektrotechnik“ wird gefordert, dass keine Gefahr für Personen und Sachen aufgrund einer elektrotechnischen Anlage besteht. Diese Gefahr muss auch in Folge durch ausreichende Überwachung der Anlage garantiert werden (§9). Falls diese Gesetze nicht eingehalten werden und man der Aufsichtspflicht nicht ausreichend nachkommt, sind Geldstrafen bis zu 25 435€ (§17) zu erwarten.

Dieses Gesetz bedeutet für den Betrieb einer Speicheranlage, dass die Anlage zuerst eine Reihe von Prüfungen, Genehmigungsverfahren und Sicherheitsüberprüfungen durchlaufen muss, bevor man von einer Marktreife sprechen kann. ÖVE/ ÖNORM E 8002 – 1 befasst sich im Detail mit der Verwendung einer Zentralbatterie zur Speicherungszwecken.

2.1.4.4 Batterien Verordnung

Als nächste Rechtsgrundlage ist die Batterienverordnung zu beachten. Der Geltungsbereich der Verordnung ist unabhängig von Größe, Gewicht und Volumen der Batterie. Hier wird auf die Verbesserung der Umweltverträglichkeit während und nach der Nutzungsdauer, die stoffliche Verwertung (Entsorgung) der Batterien und Chemikalien und auf die Vermeidung von gefährlichen Stoffen in einer Batterie eingegangen (§1 der Batterienverordnung). Die Batterienverordnung ist stark mit dem Abfallwirtschaftsgesetz und der Abfallbehandlungsverordnung verbunden.

Für den Bau einer Batteriespeicheranlage jeder Größe sind bauliche Normen einzuhalten, die gewährleisten, dass es auch bei Brand oder anderen äußeren Einwirkungen zu keiner Belastung der Umwelt bzw. Gefährdung von Personen kommt. (z.B.: Der Lagerraum/ -schrank muss ausreichend undurchlässig für Flüssigkeiten sein, eine nahezu konstante Temperaturniveau halten und die Batterie vor äußeren Einflüssen schützen.) Da es sich bei Batterien um teilweise giftige Chemikalien handelt, ist ein sehr großes Augenmerk auf dessen fachgerechte Gebrauch zu legen (Österreich, 2008).

Im Kapitel wurde gezeigt, dass zur Zeit eine Batterie, die für Speicherzwecken von Strom aus erneuerbaren Energien dient, aus rechtlicher Sicht noch als Verbraucher gesehen wird. Die Batterie braucht Energie um einen vollgeladenen

Zustand zu erreichen. Die Abgabe der Energie zu einem späteren Zeitpunkt ist der gegenwärtigen Gesetzeslage gleichgültig. Alles, was sich hinter dem Hausanschluss und dem nachgeschalteten Zähler befindet, ist für den privaten Nutzen bestimmt und somit von der derzeitigen Gesetzeslage nicht reglementiert. Bei der Errichtung einer Speicheranlage für erneuerbare Energien müssen sehr wohl die Gesetze der Abfallwirtschaft, Abfallbehandlungspflichtverordnung, der Elektrotechnik und der Chemikalien betrachtet werden. Wie und in welchem Ausmaß diese Gesetze und Verordnungen im Speziellen zutreffen, muss von der Judikatur beurteilt werden. Ob weitere Gesetze und Verordnungen einschlägig sind, die bei dem Thema Stromspeicherung in Frage kommen, muss wiederum von einer Behörde geprüft werden.

3 Wirtschaftliche Betrachtung der Speicheranlage

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, hat es in den letzten Jahrzehnten einen Anstieg des Energiebedarfs pro Kopf um 250% gegeben.



Abbildung 6: Energiesteigerung

Um den jährlichen Pro – Kopf - Verbrauch decken zu können, müssen die EVUs sehr viel in den Ausbau von Kraftwerken und Infrastruktur investieren. Diese Kosten muss der Kunde mittragen. Aus diesem Grund hat es in den letzten Jahren eine Steigerung der Stromtarife gegeben.

3.1 Der Strompreis

Der Strompreis in Österreich setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen. Der Tarif umfasst Produktionskosten, Steuern, Netznutzungsentgelt und viele weitere Nebenkosten. In der folgenden Abbildung ist der gesamte zu bezahlende Betrag für einen Verbrauch von 3500 kWh pro Jahr dargestellt, dabei belaufen sich die Kosten rein für die bezogene Energie auf 43,99%.

Strompreiszusammensetzung (Haushaltskunden) (3.500 kWh/a, Netzbereich Wien, lokaler Anbieter)

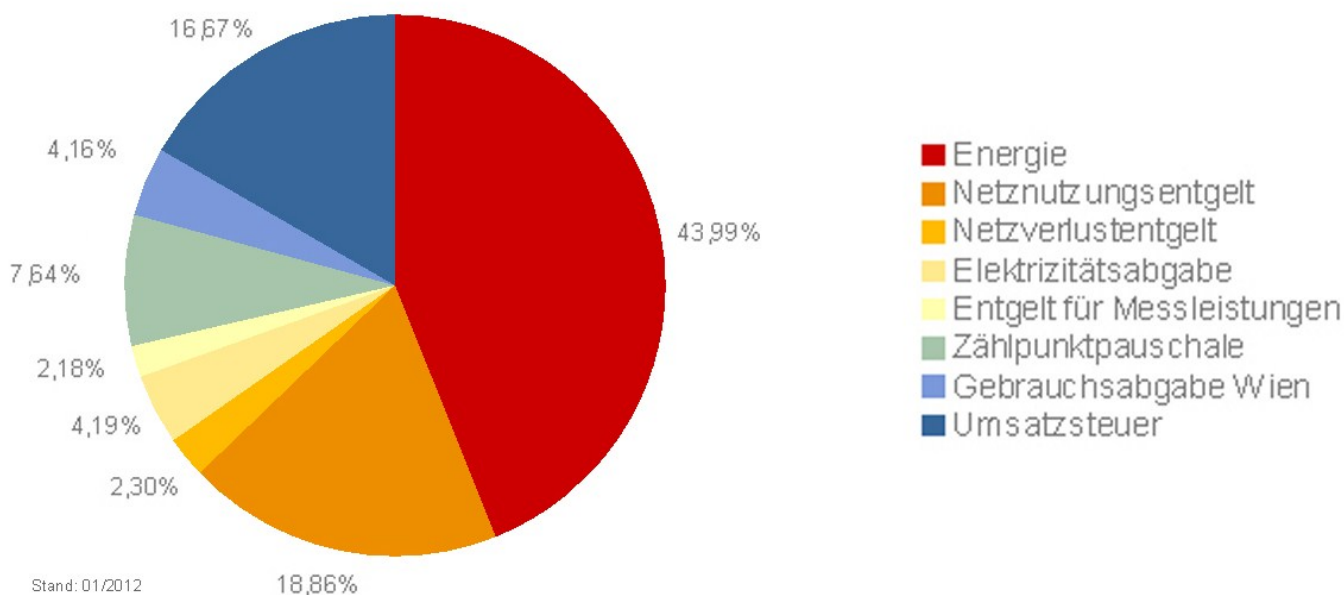


Abbildung 7: Zusammensetzung des Strompreises

Laut E – Control Österreich beläuft sich der Preis für eine kWh bezogene Energie auf durchschnittlich 13,8 Cent. Für den Betreiber eine PV – Anlage ist neben dem Bezugstarif auch der Einspeisetarif interessant. Prognosen sagen, dass sich der Tarif für die Einspeisung kaum verändern wird, da das meiste Geld in den Infrastrukturausbau fließt.

3.2 Wirtschaftliche Abschätzung der PV – Anlage mit entwickelter Speichermöglichkeit

3.2.1 Investitionskosten

Die Investitionskosten für eine PV – Anlage ohne Speicherung belaufen sich auf ein Investitionsvolumen von ca. 2000€/ kWp. Dieser Wert beinhaltet sowohl Anschaffungskosten als auch Montagekosten. Für die Anschaffung einer PV - Anlage mit Überschusseinspeiser gibt es vom Staat eine Investitionsförderung bis 30%. (vgl. 2.1.1.1, Aufstellung der Preise im Anhang 13.5). Für die Erweiterung um eine Batteriespeicherung entfallen weitere Kosten. Für die Dimensionierung des Speichers, für eine volle Bedarfsdeckung des Haushaltes sind 12 Batterien zu je 120 Ah und 12 V nötig. Damit ist eine Speichervolumen 17,28 kWh möglich. In

Tabelle 3 wird als Beispiel für die Investitionskosten ein vier Personenhaushalte mit einem durchschnittlichen Verbrauch von 5 000 kWh pro Jahr dargestellt. Die PV – Anlage ist eine Aufdach – Anlage mit einer Leistung von 5 kWp.

	Preis	Investitionskosten für eine 5 kWp - Anlage
PV - Module	2 000€/ kWp	10 000€
Zusätzliche Komponenten für die Speicherung	---	8 250€
Batterien (120 Ah / 12V)	96€	1 152€
EVU – Abgaben	---	65,16€
Förderung für Aufdach	800€/ kWp	4 000€
Investitionsvolumen		15 467,16€

Tabelle 3: Investitionskosten

Das Investitionsvolumen beläuft sich auf 15 467,16 € für die PV – Anlage und die Speicheranlage. Im Vergleich dazu kostet eine auf dem Markt erhältliche Speicheranlage 20 000 €. Rein für die Speicheranlage gäbe es eine Preisreduktion von fast 50%.

3.2.2 Amortisationsbetrachtung

3.2.2.1 Allgemeine Annahmen

Strompreis: 13,8 Cent/ kWh (durchschnittlicher Preis, Österreichische Energie)

Einspeisetarif: 9,45 Cent/ kWh (Ökostromverordnung 2012)

Energieverbrauch (Statistik Austria): Winter: 58%

Sommer: 42%

Stromkosten pro Jahr ohne PV – Anlage

Die ganze elektrische Energie muss vom EVU gekauft werden. Bei einem Stromtarif von 13,8 Cent/ kWh ergibt dies einen Energiepreis von 690€ pro Jahr.

$$5000 \text{ kWh} * 0,138 \text{ €/kWh} = 690\text{€}$$

Sonnenstunden in Österreich (Zmag): Jährlich: 1000h

Winter: 32% (320h)

Sommer: 68% (680h)

Dezember + Jänner: 7% (70h)

Verbrauche für einen vier Personenhaushalt mit einer PV – Anlage für 5 kWp:

	PV – Produktion [kW]	Verbrauch [kW]
Winter	1600	2900
Sommer	3400	2100
Summe	5000	5000

Tabelle 4: Gegenüberstellung von Produktion und Verbrauch

Über das Jahr ist die Erzeugung gleich dem Verbrauch. Wie später gezeigt wird, kann durch eine Speicheranlage die Eigenverbrauchsquote verbessert werden.

Stromkosten pro Jahr mit PV – Anlage ohne Energiespeicherung

Eigenverbrauchsquote bei einer 5 kWp PV - Anlage liegt bei 30%.

Winter: 2900 kWh werden verbraucht

1250 kWh werden produziert

Eigenverbrauchsquote: $1250 \text{ kWh} * 0,3 = 375 \text{ kWh}$

Verkaufte kWh: $875 \text{ kWh} * 0,0945 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 82,69 \text{ €}$

Gekaufte kWh: $2900 \text{ kWh} - 375 \text{ kWh} = 2525 \text{ kWh}$

Preis: $2525 \text{ kWh} * 0,138 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 348,45 \text{ €}$

Stromrechnung Winter: $348,45 \text{ €} - 82,68 \text{ €} = 256,77\text{€}$

Sommer: 2100 kWh werden verbraucht

3750 kWh werden produziert

Eigenverbrauchsquote: $3750 \text{ kWh} * 0,3 = 1125 \text{ kWh}$

Verkaufte kWh: $2625 \text{ kWh} * 0,0945 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 248,06 \text{ €}$

Gekaufte kWh: $2100 \text{ kWh} - 1125 \text{ kWh} = 975 \text{ kWh}$

Preis: $975 \text{ kWh} * 0,138 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 134,55 \text{ €}$

Stromrechnung Sommer: $134,55 \text{ €} - 248,06 \text{ €} = -113,51 \text{ €}$

Jahresstromrechnung: $256,77 \text{ €} - 113,51 \text{ €} = 143,26 \text{ €}$

Stromkosten pro Jahr mit PV – Anlage und Speicheranlage

Annahme: Eigenverbrauchsquote wird durch die Speicheranlage auf 50% erhöht.

Die Berechnung des Jahresstrompreises erfolgt, wie oben gezeigt.

Winter: 2900 kWh werden verbraucht

1250 kWh werden produziert

Eigenverbrauchsquote: $1250 * 0,5 = 625 \text{ kWh}$

Verkaufte kWh: 59,06 €

Gekaufte kWh: 2275 kWh

Preis: 313,95 €

Stromrechnung Winter: 254,89 €

Sommer: 2100 kWh werden verbraucht

3750 kWh werden produziert

Eigenverbrauchsquote: 1875 kWh

Verkaufte kWh: 177,19 €

Gekaufte kWh: 225 kWh

Preis: 31,05 €

Stromrechnung Sommer: –146.14€

Jahresstromrechnung: 108,75 €

Stromkosten pro Jahr mit PV – Anlage und Speicheranlage

Annahmen: Eigenverbrauchsquote wird mit einer Speicheranlage auf 100% erhöht.

Dieser Fall ist nur als Beispiel angeführt, da die Speicherung einer so großen Menge wirtschaftlich nicht rentabel ist. Die Batteriespeicherung muss sehr groß dimensioniert werden um die ganze Energie speichern zu können.

Winter: 2900 kWh werden verbraucht

1250 werden produziert

Eigenverbrauchsquote: 1250 kWh

Verkaufte kWh: 0 €

Gekaufte kWh: 1650 kWh

Preis: 227,70 €

Stromrechnung Winter: 227,70 €

Sommer: 2100 kWh werden Verbrauch

3750 werden produziert

Eigenverbrauchsquote: 2100 kWh

Verkaufte kWh: 155,93 €

Gekaufte kWh: 0 kWh

Stromrechnung Sommer: –155,93 €

Jahresstromrechnung: 71,77 €

	Gekaufte kWh in €	Verkaufte kWh in €	Eigenverbrauchs- quote	Stromkosten für ein Jahr in €
Ohne PV	690			690
Mit PV	256,77	113,51	0,3	143,26
PV mit kleiner Batterie	254,89	177,19	0,5	108,75
PV mit großer Batterie	227,70	155,93	1	71,77

Tabelle 5: Preisvergleich

Wie in Tabelle 5 gezeigt ist, gibt es eine Preisreduktion der Jahresstromkosten mit einer PV – Anlage um 80%. Die Verbesserung mit einer Speicheranlage liegt dabei nur mehr bei 25% gegenüber einer PV – Anlage ohne Speichermöglichkeit. Den Speicher so zu dimensionieren, dass eine Speicherung der gesamten produzierten Energie möglich wäre, verringert die Stromkosten um 50% gegenüber dem System ohne PV – Anlage. Die Frage dabei ist, ob sich der Investitionsaufwand für eine Preisreduktion von 70 € lohnt.

3.2.3 Amortisationszeit (Ta) einer PV – Anlage mit Batteriespeicherung

$$T_a = \frac{\text{Investitionskosten}}{\text{jährl. Abschreibungen} + \text{durchschnittl. Gewinn} + \text{kalkulatorische Kosten}}$$

Formel 3.2.3-1

Nutzungszeitraum: 20 Jahre

Investitionsvolumen: 15 467,16 €

Kalkulatorische Kosten (Wartung ¼ der Anschaffungskosten): 5 000 €

Verkaufte kWh für 50%: 215,75 € pro Jahr

Zinsen (vgl. RAIKA Sparbuch 30 Monate Bindung): 2,5%

Anschaffungskosten		20 467,16€
Jährliche Abschreibungen	Anschaffungskosten / Nutzungszeitraum	1 023,358
Durchschnittlicher Gewinn		215,75€
Kalkulatorische Zinsen	Anschaffungskosten * 0,025	511,679€
Amortisationszeit		11,69 Jahre

Tabelle 6: Amortisationszeit

Die PV – Anlage ist ab dem 12. Jahr amortisiert und kann bei einer Nutzungsdauer von 20 Jahren noch acht Jahre genutzt werden.

3.2.4 Zusammenfassung der Wirtschaftlichkeit

Dieses Kapitel hat gezeigt, dass sich die Anschaffung eine PV – Anlage auf jeden Fall lohnt. Laut Prognosen wird sich der Preis für Energie in den nächsten Jahren, aufgrund von Netzausbau, Erneuerung der alten Kraftwerke und Errichtung neuer Kraftwerke, erhöhen (vgl. Preisentwicklung des Energiepreises in Deutschland). Mit einer PV – Anlage mit oder ohne Speichermöglichkeit kann auf jeden Fall ein Teil der gebrauchten Energie selbst produziert und eine gewisse Unabhängigkeit gegenüber den EVUs erreicht werden.

4 Bleiakкумулятор

Die Technologie des Bleiakкумуляtors (in weiterer Folge als Batterie bezeichnet) ist bereits im 19. Jahrhundert entwickelt worden. Das Grundprinzip der Batterie besteht aus chemischen Reaktionen (Elektrolyse) und wurde von Gaston Planté entwickelt. Dabei besteht der Pluspol aus Bleidioxid (PbO_2) und der Minuspol aus Blei (Pb), als Elektrolyt dient eine 20% Schwefelsäure. (Retzbach, 2000)

Vorteile:

- *Relativ hohe Zellspannung von etwa 2 V*
- *Hohe Sicherheit, auch im Falle von „Missbrauch“ – Bedingungen (zu hohe Temperatur, mechanische Einwirkungen, Kurzschluss)*
- *Hohe Zyklenzahl (insbesondere im Erhaltungsladebetrieb, keine vollständige Entladung)*
- *Sehr gutes Recycling, da alle metallischen Komponenten fast ausschließlich aus Blei bestehen ((A. Jossen, 2006), S33)*

Nachteile:

- *Geringe spezifische Energie von etwa 35 Wh/ kg*
- *Starke Reduktion der Kapazität bei starker zyklischer Belastung*
- *Eine Belüftung des Batteriestandorts ist notwendig, da Wasserstoff und Sauerstoff entstehen können*
- *Begrenzte Lagerzeit durch Selbstentladung ((A. Jossen, 2006), S33)*

Die typischen Anwendungsbereiche sind:

- *Geringe Batterie für USV, wie z.B. in Telekommunikationseinrichtungen und Rechenzentren*
- *Batterien für Traktion, wie z.B. Gabelstapler*
- *Starterbatterien in KFZ: in diesem Anwendungsbereich sind der geringe Preis, die hohe Sicherheit sowie gute Kaltstarteigenschaften ausschlaggebend ((A. Jossen, 2006), S34)*

In Tabelle 7 wird die Bleibatterie mit drei weiteren Batterietypen verglichen.

NiCd → Nickel Cadmium

NiMH → Nickel Metall Hydrid

NaS → Natrium Schwefel

	Blei	NiCd	NiMH	NaS
Zellspannung (V)	2	1,2	1,2	2,1
Lade- und Entladezyklen	500 - 1500	1500 - 3000	1000	1500
Betriebstemperatur (°C)	0 - 55	-20 - 55	-20 - 45	290 - 350
Selbstentladungsrate (%/ Monat)	5 - 15	20 - 30	20 - 50	0*
Wh - Wirkungsgrad	70% - 85%	60% - 70%	60% - 85%	80% - 95%

Tabelle 7: Batterien im Vergleich (Quaschnig, 2006)

* Problematisch ist die Aufrechterhaltung der Temperatur; wird hierfür die gespeicherte elektrische Energie genutzt, entspricht dies eine Selbstentladerate von 400%/ Monat.

Die Bleibatterie weist eine geringe Selbstentladungsrate gegenüber den anderen Batterien auf. Der Wirkungsgrad und die Zyklenzahl befinden sich im vertretbaren Bereich.

Bei der Bleibatterie gibt es zwei verschiedenen Bauweisen, dabei unterscheidet man die geschlossene und die verschlossenen Bauweise.

Geschlossene Zelle: Das Öffnen der Zelle ist möglich um im Prozess verbrauchtes Wasser nachzufüllen oder die Schwefelkonzentration des Elektrolyt zu kontrollieren.

Verschlossene Zelle: Das Eingreifen in das Innere der Zelle ist nicht möglich. Es besitzt ein Überdruckventil, damit der Überdruck entweichen kann. Bei dieser Bauform ist keine Wartung möglich. Die verschlossene Zelle weist gegenüber der geschlossenen Bauform eine größere Sicherheit auf (Retzbach, 2000).

4.1.1 Aufbau einer Zelle

In Abbildung 8 ist der Aufbau einer Zelle dargestellt. Im Gehäuse der Zelle befinden sich ein Stromableiter, ein Aktivmaterial, ein Gitter, ein Elektrolyt und ein Separator.

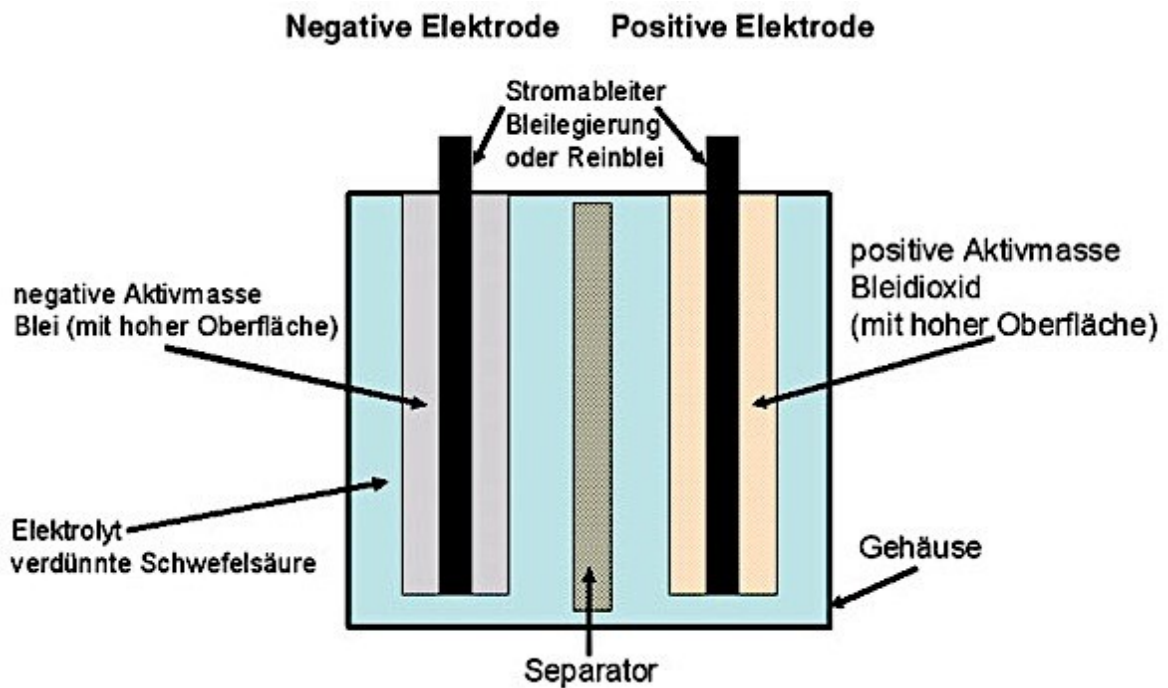


Abbildung 8: Aufbau einer Zelle (Quelle: <http://www.aktuelle-wochenschau.de>)

Aktivmaterial: Das Aktivmaterial der negativen Elektrode ist Blei, das der positiven Elektrode Bleidioxid. Um die Oberfläche zu vergrößern muss das Aktivmaterial eine poröse Struktur aufweisen. Bei den Lade- und Entladevorgängen soll sich die Struktur des Aktivmaterials nicht verändern.

Stromableiter/ Gitter: Um das Aktivmaterial besser fixieren zu können ist es von einem Gitter umgeben. Dabei spielt die Legierung des Gitters eine große Rolle. Dabei unterscheidet man zwischen Blei – Antimon -, Reinblei -, Blei – Zinn -, Blei – Calcium – Zinn – Legierung.

Der Stromableiter leitet den Strom aus der Zelle. Er soll folgende Eigenschaften aufweisen: Kleiner ohmscher Widerstand, gute mechanische Stabilität, guter Kontakt zum Aktivmaterial, chemische Stabilität und keine Wechselwirkung mit den Aktivmaterialien.

Elektrolyt: Als Elektrolyt dient eine verdünnte Schwefelsäure. Die Säurekonzentration ändert sich mit dem Ladezustand.

Separator: Um Kurzschlüsse innerhalb der Zelle zu vermeiden, ist ein Separator zwischen der positiven und negativen Elektrode eingebaut. Weiters sorgt er für einen definierten Abstand der beiden Elektroden.

Gehäuse: Es werden meist Kunststoffgehäuse verwendet. Eine geschlossene Zelle besteht aus einem durchsichtigen Gehäuse, damit man den Elektrolytstand kontrollieren kann. Die verschlossenen Zellen besitzen hingegen eine nicht durchsichtige Hülle.

4.1.2 Chemische Reaktion

Die chemische Reaktion einer Batterie ist im Prinzip eine umgekehrte Elektrolyse. Bei einer Elektrolyse wird mit der chemischen Reaktion elektrische Energie zugeführt, um den Reduktionsvorgang zu starten. Dies geschieht z.B. bei der Herstellung von Wasserstoff. Die Batterie hingegen dient als Spannungsquelle und gibt beim Ablauf der chemischen Reaktion elektrische Energie ab (Riedel, 2004).

ENTLADUNGSVORGANG

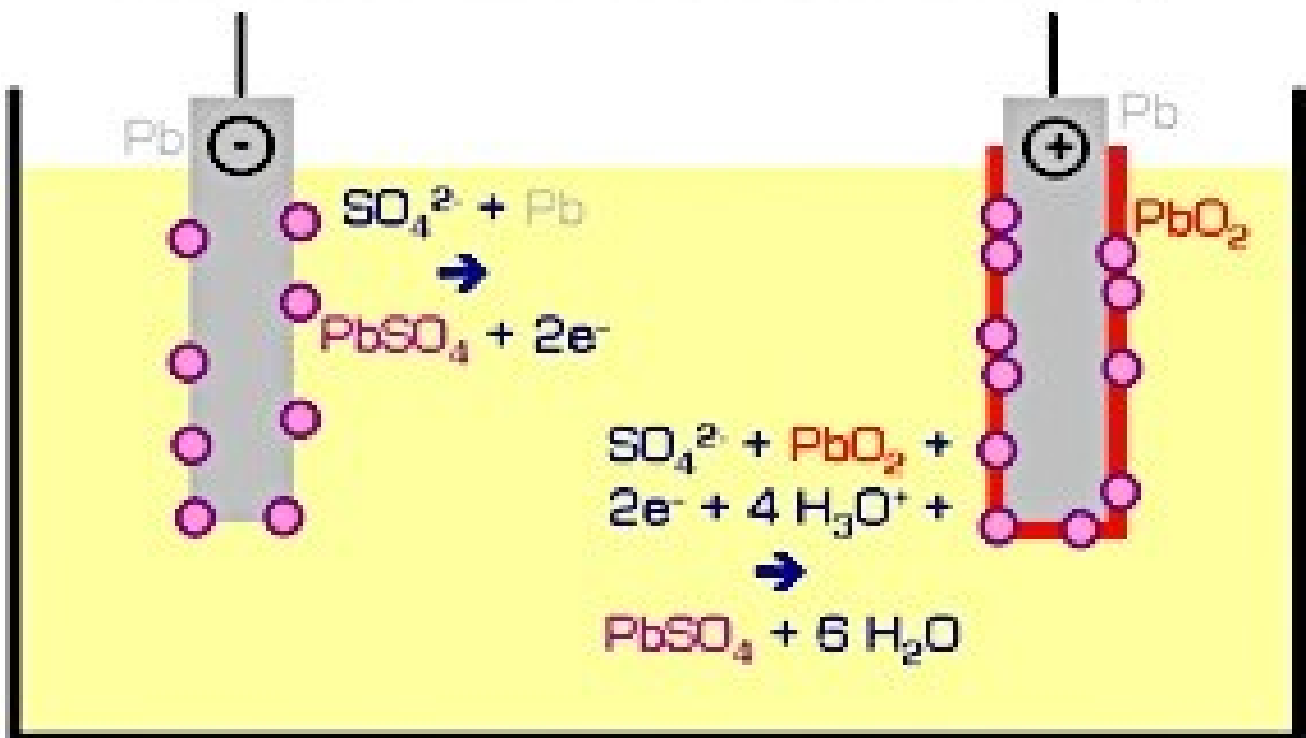
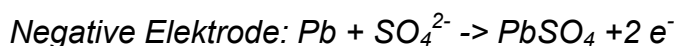
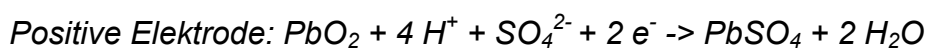


Abbildung 9: Chemische Reaktion beim Entladen (Quelle: <http://www.martin-thoma.de>)

Beim Entladen laufen folgenden Hauptreaktionen ab:



Gesamtreaktion: $PbO_2 + Pb + 4 H^+ + 2 SO_4^{2-} \rightarrow 2 PbSO_4 + 2 H_2O$ (A. Jossen, 2006)

Beim Laden kehren sich die Gleichungen um. Die Gleichgewichtsspannung liegt dabei bei 1,93 V₀.

Ab einer Zellspannung von 2,229 V beginnen aufgrund der Potentialdifferenz zwischen positivem und negativem Pol Nebenreaktionen abzulaufen. Diese Nebenreaktionen verursachen eine Wasserzersetzung im Elektrolyt:

Positive Elektrode: $H_2O \rightarrow \frac{1}{2} O_2 + 2 H^+ + 2 e^-$

Negative Elektrode: $2 H^+ + 2 e^- \rightarrow H_2$

Gesamtreaktion: $H_2O \rightarrow H_2 + \frac{1}{2} O_2$ (A. Jossen, 2006)

Weitere Nebenreaktionen sind die Gitterkorrosion (vgl. 4.1.3.3) und die Sauerstoffreduktion.

Gitterkorrosion an der positiven Elektrode: $Pb + 2 H_2O \rightarrow PbO_2 + 4 H^+ + 4 e^-$

Sauerstoffreduktion an der negativen Elektrode: $\frac{1}{2} O_2 + 2 H^+ + 2 e^- \rightarrow H_2O$ (A. Jossen, 2006)

4.1.3 Eigenschaften des Bleiakкумуляtors

- Energie- und Leistungswerte

Reale spezifische Energie: 25 – 45 Wh/ kg

Zum Vergleich sind die Energiedichten von Benzin und Diesel angeführt. Die Energiedichte von Benzin beträgt 12 800 Wh/ kg und von Diesel 11 800 Wh/ kg (Quelle: <http://www.umweltbewusst-heizen.de>).

Die Abweichung von der theoretischen und realen spezifischen Energie ist durch folgende Effekte gekennzeichnet: begrenzte Aktivmasseumsetzung (35%), notwendige Säureverdünnung (14%), notwendiger Säureüberschuss (13%), Stromableiter (14%), Gehäuse, Separator (5%).

Energiedichte: 100 Wh/ l

- Kapazität [C]

Unter dem Begriff Kapazität versteht man jene Ladungsmenge in Amperestunden [Ah], die eine Batterie speichern kann. Die Messung der Kapazität erfolgt über

eine fünf – stündige Entladung bis zur Entladeschlussspannung von 1,7 V. Weiters gibt es Kapazitätsmessungen, die eine Entladedauer von 10 oder 20 Stunden aufweisen. Die nutzbare Kapazität einer Batterie ist von der Höhe des Entladestroms und von der Umgebungstemperatur abhängig. Dabei gilt, dass je Grad Celsius ein Spannungsrückgang von 0,6 – 0,8% stattfindet. Die Umgebungstemperatur darf maximal bei 40 °C liegen. Im Laufe der Zeit sinkt die nutzbare Kapazität der Batterie. Dieses Sinken ist auf Alterungsvorgänge in der Zelle zurückzuführen (vgl. 4.1.3.3). (Retzbach, 2000).

- Entladeeigenschaften

Ruhespannung je Zelle: 2,3 V

Entladeschlussspannung je Zelle: 1,7 V

Die Entladung einer Batterie kann in drei Bereiche aufgeteilt werden:

- 1. Beginn der Entladung mit plötzlichem Spannungsrückgang und dem sogenannten Spannungssack; der Spannungssack ist auf die Bildung von Kristallisationskeimen zurückzuführen und tritt nur bei voll geladenen Batterien auf (2,3 V je Zelle).*
- 2. „Normale“ Entladung mit quasi linearem Spannungsrückgang, bedingt durch die Abnahme der Ruhespannung und langsame Zunahme des Innenwiderstandes*
- 3. Phase des Spannungszusammenbruchs, bedingt durch die Verarmung an Reaktanden und weitere Zunahme des Innenwiderstand (A. Jossen, 2006), S47)*

In Abbildung 10 sind die drei Bereiche des Spannungsverlaufes beim Entladen dargestellt. ΔT ist dabei von der Kapazität und vom Entladestrom abhängig. Je höher der Entladestrom ist, desto kürzer dauert der Entladevorgang.

Entladeverhalten

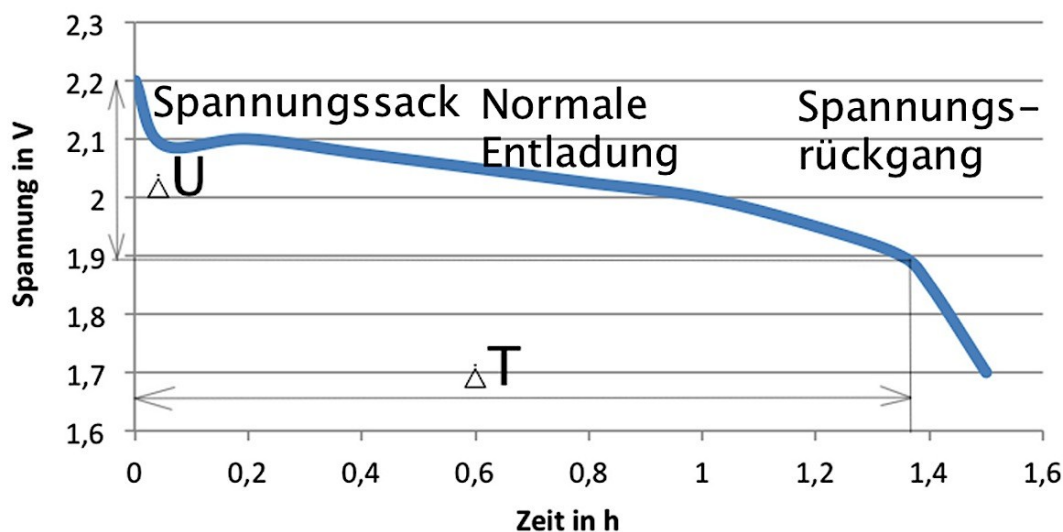


Abbildung 10: Entladeverhalten

4.1.3.1 Ladecharakteristika

Die Ladung von Batterien erfolgt aufgrund des verwendeten Ladegerätes einer charakteristischen Ladekennlinie. Dabei kann die Ladung mit konstantem Strom oder konstanter Spannung durchgeführt werden. Man unterscheidet die Schnellladung und Normalladung. Bei der Schnellladung wird die Batterie mit einem Strom von mehr als 1 C - Rate geladen. Bei einem normalen Ladevorgang wird die Batterie nur mit 0,1 C – Rate geladen. Dieser Vorgang dauert bei einer Bleibatterie zwischen 12 bis 16 Stunden. Dabei ist der Ladevorgang in drei Abschnitte aufgeteilt.

Vorladung: Durch Anlegen einer Minimalspannung und des davon folgenden Ladestromes ermittelt das Ladegerät den Zustand der Batterie. Ist der resultierende Ladestrom zu gering, erfasst die Sicherheitseinrichtung des Ladegerätes einen Defekt in der Batterie und bricht den Ladevorgang ab. Würde die Ladung trotzdem fortgeführt werden, könnte es zu Kurzschlüssen in der Batterie kommen.

Hauptladung: Der Hauptladevorgang kann durch unterschiedliche Kennlinien, vorgegeben durch das Ladegerät, erfolgen. Typisch für eine Bleibatterie ist eine I/ U – Kennlinie, wo zuerst mit konstantem Strom und ab einem bestimmten

Ladeniveaus mit konstanter Spannung geladen wird. Die Ladung endet beim Erreichen von 13,5 V für eine 12 V Batterie.

Erhaltungsladung: Um der Selbstentladung entgegenzuwirken wird mit einer bestimmten Ladespannung die Batterie auf ein Ladeniveau gehalten.

4.1.3.2 Selbstentladung und Lagerung

Die Selbstentladung von Batterien ist unter anderem von der Umgebungstemperatur abhängig. Sie beträgt bei 20 °C etwa 3% pro Monat. Bei einer Erhöhung der Temperatur um 10 Grad kann es zu einer Verdoppelung der Selbstentladerate kommen. Die Selbstentladung ist auf die Nebenreaktionen wie Gasung, Korrosion, Sauerstoffkreislauf zurückzuführen. Daher sollt die Lagerung einer Batterie bei niedrigen Temperaturen erfolgen. (A. Jossen, 2006)

4.1.3.3 Alterungsmechanismen

Unter der Alterung einer Batterie versteht man eine Zunahme des Innenwiderstandes. Durch die Zunahme verschlechtert sich der nutzbare Energieinhalt der Batterie. In Abbildung 11 ist gezeigt, wie sich die Ausgangskennlinie der Batterie mit dem Innenwiderstand verändert.

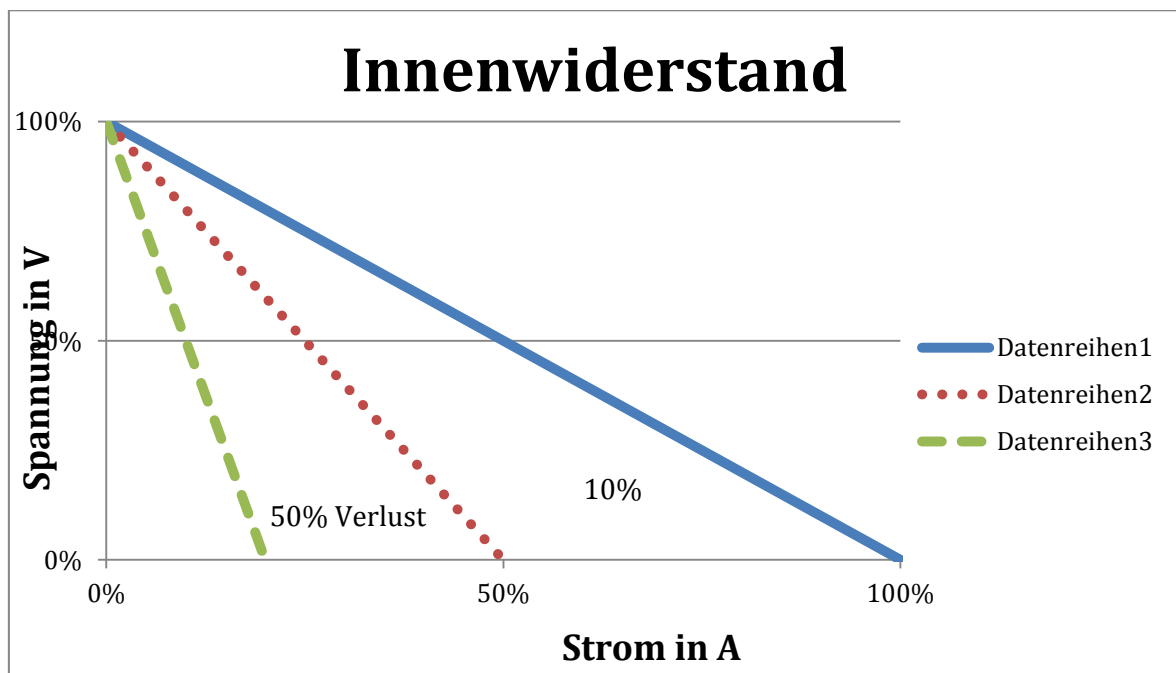


Abbildung 11: Innenwiderstand

Sulfatierung: Beim Entladen von Batterien entstehen Kristalle aus Bleisulfat. Bei der nächsten Vollladung, lösen sich diese Kristalle wieder auf. Bei unzureichender Ladung bleiben Kristalle zurück. Bei Alterung der Batterie kommt es zum Wachstum dieser Kristalle, die Durchmesser über 10 µm besitzen können. Ein Auflösen ist bei dieser Größe nicht mehr möglich. Die Kristalle bewirken eine weitere Erhöhung des Innenwiderstand und somit einen Rückgang der Kapazität.

Gitterkorrosion: Es kommt zur Korrosion der Elektrode (Bleilegierung oder Reinblei). Die Korrosion entsteht aufgrund des gebildeten Bleisulfates. Das Bleisulfat ist elektrisch nicht leitfähig und es kommt daher zur Erhöhung des Übergangswiderstandes zwischen Gitter und Aktivmaterial.

Säureschichtung: In Batterien kann es zu unterschiedlichen Konzentrationsschichten kommen. Diese Schichtung entsteht infolge der Schwerkraft wegen der unterschiedlichen spezifischen Gewichte von Schwefelsäure und Wasser.

4.1.4 Batteriemangement

Für das Erreichen einer hohen Lade- und Entladezyklen ist es wichtig, die Batterie unter Berücksichtigung folgender Punkte zu betreiben:

- Die Entladung soll nur so tief wie nötig erfolgen (auf ca. 90% der Nennspannung)
- Sofortiges Wiederaufladen bis zu 13,5 V der Batterie nach dem Entladevorgang
- Richtiges Ladeverfahren für den Batterietyp wählen
- Bei zyklischer Belastung soll die Batterie mindestens einmal im Monat vollständig aufgeladen werden
- Lagerung bei voll geladenen Zustand bei niedriger Temperatur ca. 20 °C. Bei Temperaturen unter -5 °C besteht Einfrierungsgefahr.

5 Lokale Gesamtsysteme für die Energieversorgung

In diesem Kapitel werden auf dem Markt erhältliche PV - Systeme und Systeme, die im Zuge der Masterarbeit neu konzipierte worden sind, vorgestellt. Bei den neuen Systemen wird auf die Möglichkeit zur Energiespeicherung mit der Hilfe von Bleibatterien eingegangen.

5.1 Am Markt erhältliche Systeme

In diesem Kapitel werden die relevanten PV – Systeme vorgestellt. Dabei handelt es sich um ein System der Volleinspeisung, ein System für die reine Eigenverbrauchsdeckung und einem System der Firma SMA (<http://www.sma.de>).

5.1.1 Volleinspeisung

Bei dieser Variante wird der ganze erzeugte Strom verrechnungsmäßig in das öffentliche Netz eingespeist. Es besteht ein fixer Abnahmetarif für den erzeugten Strom. Eine Eigenbedarfsdeckung ist bei dieser Ausführung nicht vorgesehen.

Mit einer Tarifförderung des Landes Oberösterreich würde das einen Preis von 27,70 Cent/ kWh (vgl. 2.1.1.2) ergeben. Der Betreiber der PV - Anlage muss dann für jede gebrauchte Kilowattstunde einen durchschnittlichen Preis von 13,8 Cent (E-Wirtschaft, 2012) einkalkulieren. In Abbildung 12 ist eine PV – Anlage für die Volleinspeisung dargestellt.

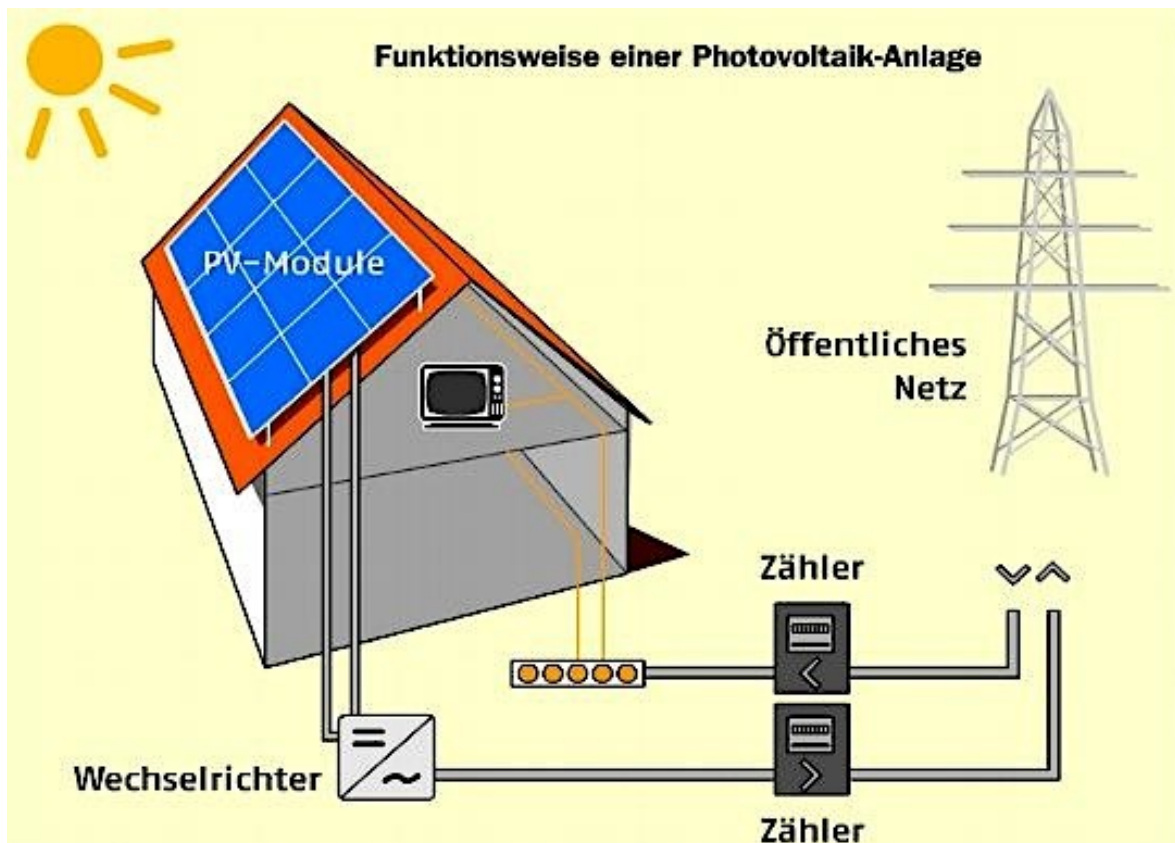


Abbildung 12: Volleinspeisung (Pudlo-Solar-Technik)

Durch das System der Volleinspeisung bekommt man einen höheren Preis für die Einspeisung in das öffentliche Versorgungsnetz als man für eine Kilowattstunde Bezug zahlen muss. Man ist aber von den Tarifschwankungen der Energiekonzerne abhängig. Schutzvorrichtungen verhindern, dass bei Netzausfall die PV – Anlage in Betrieb bleibt.

5.1.2 Einspeisemodell mit Eigenbedarfsdeckung

Bei diesem System wird die erzeugte Energie bei Bedarf sofort von den Verbrauchern verbraucht. Überschüssig erzeugte Energie wird in das öffentliche Netz geliefert. Der Tarif für den eingespeisten Strom beträgt laut Ökostrom - Einspeisetarifverordnung 2012 9,45 Cent/ kWh. Des Weiteren kann z.B. in Oberösterreich eine Investitionsförderung in der Höhe von 30% der Investitionen beantragt werden.

Mit einer PV – Anlage für Eigenbedarfsdeckung können ca. 30% des jährlichen Energieverbrauches selbst produziert werden. In Abbildung 13 ist das System einer PV – Anlage für den Eigenverbrauch schematisch dargestellt.

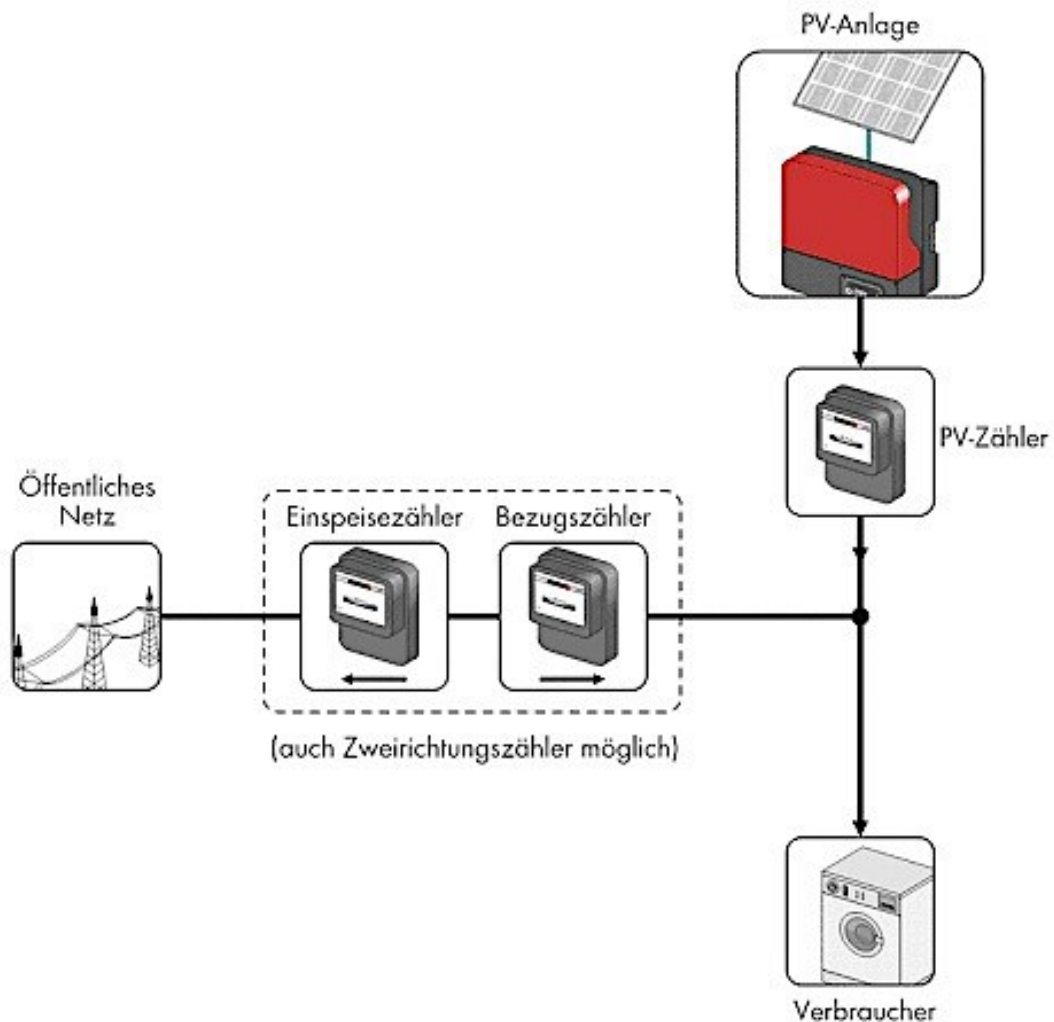


Abbildung 13: Eigenbedarfsdeckung (mbi Solarenergy GmbH)

Bei einem Netzausfall gibt es keine Möglichkeit, die PV – Anlage zu nutzen. Die Schutzeinrichtung, die mit dem PV - Wechselrichter der Anlage kombiniert ist, funktioniert nur dann, wenn Netzspannung anliegt. Die Schutzeinrichtung soll verhindern, dass Strom von der Verbraucherseite in das Netz eingespeist wird, wenn Reparaturen Richtung Netz vorgenommen werden.

5.1.3 SMA – System

Die Firma SMA hat bereits ein System auf den Markt, mit dem überschüssige Energie in einer Batterie gespeichert werden kann. Da dieses System der Lösungsvariante in dieser Masterarbeit am nächsten kommt, wird das System kurz erläutert.

Prinzipieller Aufbau:

In Abbildung 14 ist die Lösung von SMA für den Normalbetrieb dargestellt. Über den PV – Einspeisezähler 2 fließt die erzeugte Energie zu den Verbrauchern, die bereits in kritische und nicht kritische Verbraucher aufgeteilt sind bzw. zum Sunny Backup 2200, der Speichereinrichtung des Systems. Die überschüssige Energie wird dann über den PV – Einspeisezähler 1 in das öffentliche Netz gespeist. Die vom öffentlichen Versorgungsnetz bezogene elektrische Energie wird vom Bezugszähler erfasst.

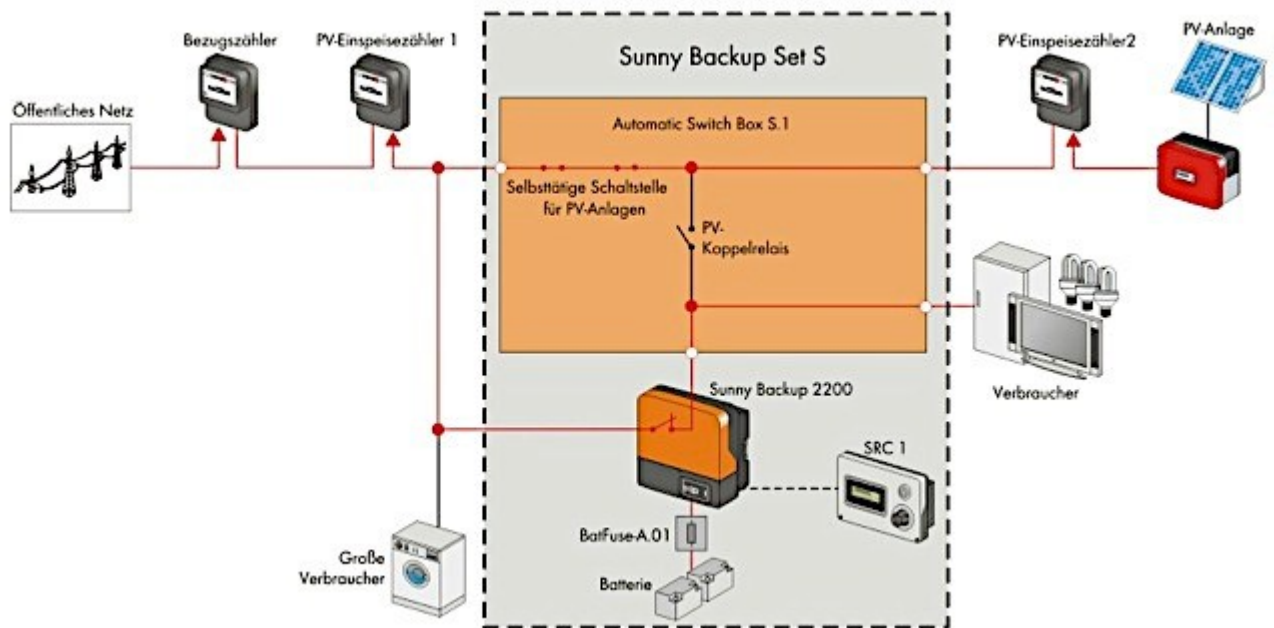


Abbildung 14: System bei Netzbetrieb (SMA)

In Abbildung 15 ist das System bei Netzausfall dargestellt. Dabei trennt sich die Anlage mit der Switch Box aktiv vom Netz. Diese schaltet sich innerhalb von 50 Millisekunden ein und die Verbraucher können über die PV – Anlage oder über eine Batterie versorgt werden.

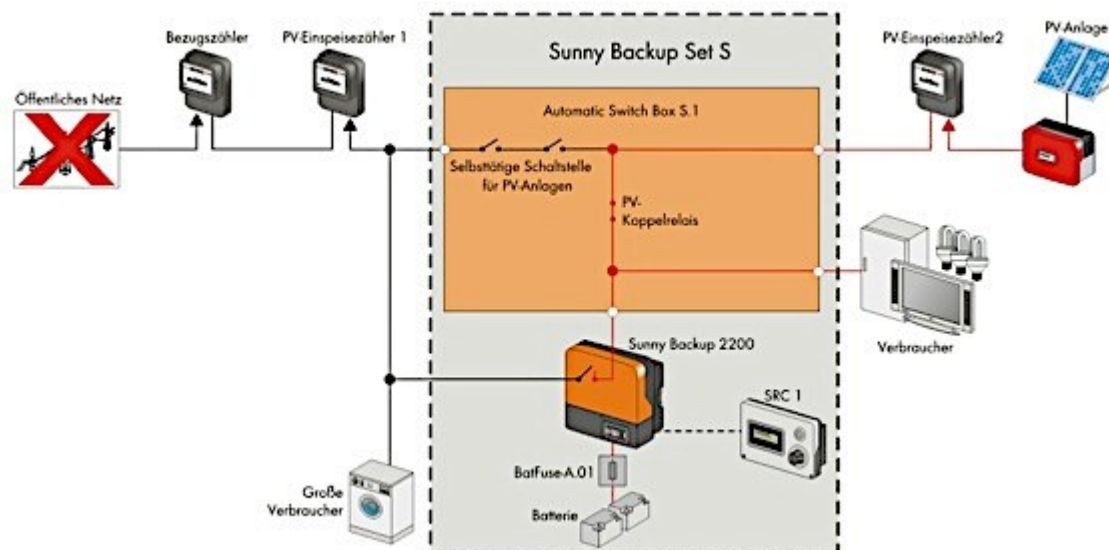


Abbildung 15: System ohne Netz (SMA)

Mit dieser Anlage ist es möglich, die Eigenverbrauchsquote bis zu 55% zu steigern. (SMA, 2011).

5.2 PV – Anlagen mit Speichersysteme

5.2.1 Komponenten

Bevor auf die Systeme eingegangen wird, werden die verwendeten Komponenten kurz charakterisiert.

5.2.1.1 Zähler

- Einspeisezähler

Der Einspeisezähler erfasst, wie viel Energie von der PV – Anlage in das Netz geliefert wird. Die abgeben Leistung über die Zeit integriert wird in Kilowattstunden (in weiterer Folge als kWh bezeichnet) angegeben. Die von den EVUs zur Verfügung gestellten Einspeisezähler können jedoch den Leistungsfluss nur in eine Richtung ermitteln.

- Verbraucherzähler

Der Verbraucherzähler erfasst die Leistung, die vom Netz bezogen wird. Bei Umkehrung des Leistungsflusses (vom Kunden in das Netz) bleibt der Zählerstand unverändert. Die EVUs stellen den Verbraucherzähler zur Verfügung.

Die vom EVU zur Verfügung gestellten Einspeise-/ Verbraucherzähler haben keine Schnittstellen, welche ein Auslesen des aktuellen Energiebedarfes durch den Stromkunden zulassen. Somit ist eine Implementierung dieser Zähler in eine Betriebsführung der PV – Anlage nicht möglich.

- Bidirektionaler Zähler

Bei diesem Zähler werden die Funktionen von Einspeisezähler und Verbraucherzähler kombiniert. Leistungsflüsse können in beiden Richtungen erfasst werden. Diese Geräte sind im Handel ab ca. 150 € erhältlich und von den EVUs anerkannt. Weiters besitzen sie noch eine Schnittstelle zum Auslesen der aktuellen Energieflüsse, welche jedoch für den Verrechnungszähler des Stromkunden wieder nicht zur Verfügung steht.

5.2.1.2 Unterbrechungsfreie Stromversorgung

Eine unterbrechungsfreie Stromversorgung (in weiterer Folge als USV bezeichnet) kann bei einem Netzausfall die elektrischen Verbraucher weiter versorgen. Die Umschaltung von Netz- auf Batteriebetrieb erfolgt in ms - Bereich. Prinzipiell besteht eine USV aus zwei Stromrichtern, einer elektrischen Regelung und einem Batteriespeicher. Der Leistungsbereich der USV befindet sich zwischen 300 VA bis 100 k VA und ist abhängig von der Belastbarkeit der Stromrichter. Die Zeit, die mit einer USV überbrückt werden kann, ist abhängig von der Kapazität des Speichers und erstreckt sich von Minuten bis Stunden.

Es können drei Arten von USV – Systeme unterschieden werden.

VFD (Voltage and Frequency Dependent): Auch als offline – USV bezeichnet. Im Normalbetrieb sind die Spannung und die Frequenz am Ausgang von den Eingangswerten abhängig, der Eingang ist direkt auf den Ausgang durchgeschaltet. Im Störfall wird die Verbindung zum Netz aufgetrennt und der batteriegespeiste Wechselrichter gestartet. Der Umschaltvorgang von Netz- auf Batteriebetrieb dauert maximal 10 ms.

VI (Voltage Independent): Auch als line – interactive USV bezeichnet. Der Aufbau der USV erfolgt mit einem bidirektionalen Wechselrichter. Der Umrichter begrenzt die Ausgangsspannung und so besteht kein Zusammenhang zwischen der Eingangsspannung und der Ausgangsspannung. Es besteht aber ein

Zusammenhang zwischen der Frequenz am Eingang und der Frequenz am Ausgang. Mit dieser USV können neben dem Netzausfall auch Schwankungen der Spannungen im Netz kompensiert werden. Die Umschaltung von Netzbetrieb auf Batterie – Betrieb dauert 2 – 4 ms.

VFI (Voltage and Frequency Independent): Auch als online USV bezeichnet. Der Strom fließt immer über einen Gleichrichter und dann über einen Wechselrichter zum Ausgang, bei Bedarf kann eine Batterie aufgeladen oder entladen werden. Dabei unterscheidet der Wechselrichter nicht, ob der Gleichstrom aus dem Netz oder aus der Batterie kommt. Als Schutz Einrichtung dient ein Bypass, mit dem bei Fehler der USV die Verbraucher weiter über das Netz versorgt werden können. Die online USV ist im Vergleich zu den anderen USVs die teuerste, da die Stromrichter dauerbelastet werden. Mit der online USV können Netzausfälle, Schwankungen der Spannungen und der Frequenz und Oberschwingungen verhindert werden. Der Nachteil der online USV sind die größeren Verluste durch die im Dauerbetrieb laufenden Stromrichter und der dadurch resultierende schlechtere Wirkungsgrad der USV. (Rasmussen, 2010).

5.2.1.3 Speichermedium

Beim Aufbau im Zuge der Masterarbeit werden Bleibatterien (vgl. Bleiakkumulator) als Speichermedium verwendet. Der Grund dafür sind kalkulierbare Kosten und Verfügbarkeit. Des Weiteren sind sie sehr robust und das Verhalten des Lade- und Entladevorgang ist gut bekannt. Die durchschnittliche Zellspannung beträgt ca. 2 V pro Zelle.

5.2.1.4 Stromrichter

- Gleichrichter

Der Gleichrichter wandelt Wechselspannung in Gleichspannung um. Mit einer Diode wird im einfachsten Aufbau eines Gleichrichters (Einweggleichrichter) nur positiven Anteil der Sinusschwingung durchgelassen. Weitere gängige Bauformen des Gleichrichters sind der Brückengleichrichter und der Mittelpunktgleichrichter. Der Gleichrichter ist für das System nötig, da in Batterien nur Gleichspannung gespeichert werden kann.

- Wechselrichter

Der Wechselrichter wandelt Gleichspannung in Wechselspannung um. Man unterscheidet zwei Bauarten, den selbstgeführten und den netzgeführten Wechselrichter. Der selbstgeführte Wechselrichter hat den Vorteil, dass er selbst schaltbarer Ventile (IGBTs, Transistoren) hat. Weiters ist es möglich den selbstgeführten Wechselrichter auch als bidirektionalen Wechselrichter auszuführen. Der netzgeführte Wechselrichter braucht aufgrund seiner nicht selbstgeführten Ventile (Tyristoren, Dioden, Triacs) eine feste Netzspannung. Der Wechselrichter soll im System die Gleichspannung der Batterie in die notwendige Wechselspannung umformen.

5.2.1.5 Sonstiges

- Laderegler mit Maximum Power Point Tracking (MPPT)

Der Laderegler hat die Aufgabe, die Batterie zu laden bis sie ihre Grenzspannung erreicht hat. Der Regler erkennt, wenn die Batterie voll ist und verhindert so das Überladen der Batterie.

Die meisten Laderegler, die in der Solartechnik verwendet werden, sind mit einem MPPT ausgestattet. Der Maximum Power Point, an dem die Leistung des Moduls am größten ist, beschreibt den optimalen Arbeitspunkt der Solarzelle. Somit kann die Energieausbeute des PV - Moduls maximiert werden.

- ENS

Die Abkürzung ENS bedeutet „Einrichtung zur Netzüberwachung mit zugeordneten Schaltorganen“. Diese Einrichtung trennt kleine Energieerzeugungsanlagen (<30 kW) vom öffentlichen Stromnetz. Dabei soll vermieden werden, dass bei einer Reparatur Strom vom der Energieerzeugungsanlage in das öffentliche Netz fließt. Das ENS überwacht dabei Frequenz, Spannung und Impedanz des Netzes. Weicht ein Wert von der Norm ab, trennt sich die Energieerzeugungsanlage vom öffentlichen Netz.

5.2.2 PV - System mit USV

Dabei handelt es sich um ein System der Volleinspeisung. Zusätzlich ist eine USV eingebaut worden, die bei einem Netzausfall die kritischen Verbraucher versorgen kann. Die Auslegung der USV erfolgt unter Berücksichtigung der zu erwartenden Dauer des Stromausfalles und vom Gesamtenergieverbrauch der Verbraucher, die an die USV angeschlossen sind. In Abbildung 16 ist das System dargestellt.

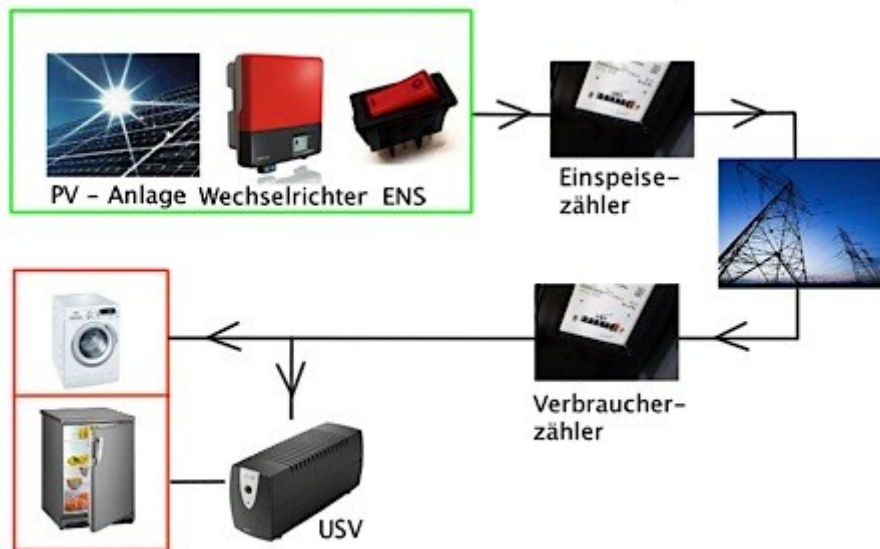


Abbildung 16: PV - System mit USV

Bei Netzausfall ist der Betrieb von kritischen Verbrauchern möglich. Es ist eine gewisse Unabhängigkeit von den EVUs möglich. Der Nachteil des Systems ist, dass die Batterien der USV mit dem Strom aus dem Netz geladen werden.

5.2.3 Eigenbedarfsdeckung mit USV

Bei diesem System ist das in 5.1.2 beschriebene System mit einer USV mit externer Batterie erweitert worden. Mit der externen Batterie kann die Kapazität der Speicheranlage beliebig erweitert werden. Zum Unterschied zum System der Eigenbedarfsdeckung wird bei diesem System statt zwei Zählern ein bidirektionaler Zähler verwendet. Dieser hat den Vorteil, dass der Energiefluss in beide Richtungen gezählt werden kann.

Die produzierte Energie wird zuerst zu den Verbrauchern geleitet. Bei Energieüberschuss fließt die Energie auch in die Batterie der USV. Wenn die Batterie voll ist und keine Verbraucher Energie benötigen, wird der Strom an das öffentliche Versorgungsnetz geleitet. Die Batterie soll so dimensioniert sein, dass man kritische Verbraucher bei Netzausfall noch ein bis zwei Tage versorgen kann. Das System ist in Abbildung 17 dargestellt.

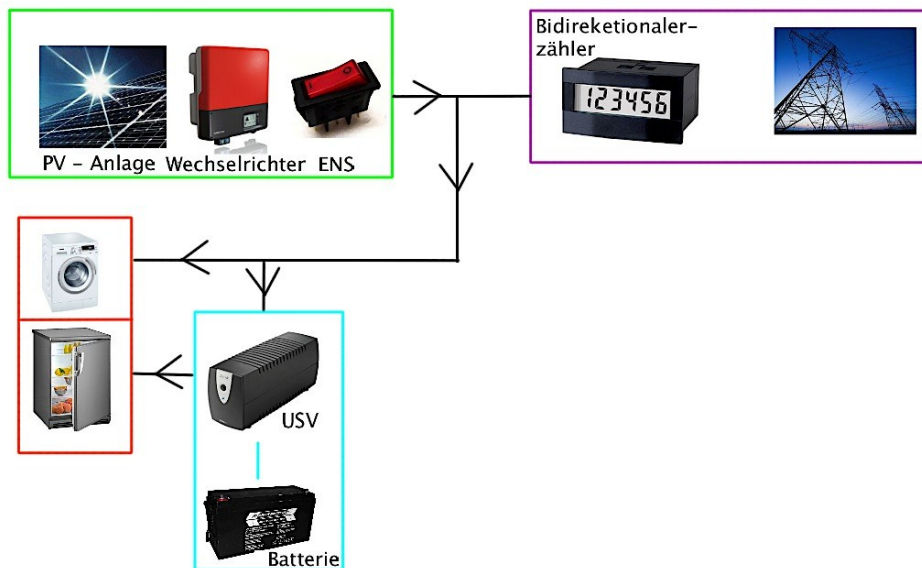


Abbildung 17: USV mit externer Batterie

5.2.4 USV, Laderegler und Gleichrichter

Ein System, das zusätzlich zu einer USV noch mit einem Laderegler und einem Gleichrichter erweitert wird. Der zusätzliche Gleichrichter ist notwendig, da man keinen Einfluss auf den Gleichrichter der USV hat. Ein direkter Zugriff auf den Gleichrichter der USV ist aufgrund baulicher Gegebenheiten nicht zulässig. Der Laderegler überwacht den Zustand der Batterie. Um dieses System betreiben zu können, muss eine Steuerung integriert werden. In Abbildung 18 ist dieses System dargestellt.

Funktionsweise:

PV – Anlage aktiv:

Der produzierte Strom wird über die USV zu den Verbrauchern geleitet. Dabei ist der Schalter offen und so fließt kein Strom in die Batterie.

Bei Erzeugungsüberschuss wird der Schalter geschlossen und so fließt der überschüssig produzierte Strom über den Gleichrichter in die Batterie, bis sie einen Spannungszustand von 13,5 V erreicht hat (Ladeschlussspannung ohne Gasen).

Wenn ein Spannungszustand von 13,5 V erreicht ist, öffnet sich der Schalter wieder und der Strom fließt in das öffentliche Netz.

PV – Anlage inaktiv:

Bei Netzausfall oder wenn kein Sonnenlicht vorhanden ist können die Verbraucher über die Batterie versorgt werden. Wenn die Spannung der Batterie unter die Entladeschlussspannung von 10,7 V fällt, wird auf Netzbetrieb umgeschaltet.



Abbildung 18: USV, Laderegler und Gleichrichter

Mit diesem System kann die Eigenverbrauchsquote gesteigert werden. Der Nachteil dieses Systems ist die aufwendige Realisierung mit einem zusätzlichen Gleichrichter.

5.2.5 Realisiertes System

In weiterer Folge ist das System in Abbildung 19 konzipiert worden und konnte dann als Modell realisiert werden.

Funktionsweise:

PV – Anlage aktiv:

Die produzierte Energie aus der PV – Anlage läuft über die USV zu den Verbrauchern. Die USV ist mit einer externen Batterie über eine Diode verbunden. Die Diode soll verhindern, dass die Batterie von der USV bzw. vom Strom aus dem Netz geladen wird.

Der zweite mögliche Weg für die Energie ist der Weg über das Ladegerät zu der Batterie. Dabei wird mit Hilfe des Ladegerätes die Spannung der Batterie zwischen 10,5 V und 13,5 V gehalten. Die Ladung der Batterie ist auch noch über den direkten Weg vor dem Wechselrichter der PV – Anlage zur Batterie möglich. Der Vorteil des direkten Ladeweges ist, dass es zu keinen Verlusten im Wechselrichter und im Ladegerät kommt.

PV – Anlage inaktiv:

Alle Verbraucher werden zuerst über die USV mit der Energie aus der Batterie versorgt. Dies ist so lange möglich bis die Batterie die untere Spannung von 10,7 V erreicht hat. Erst dann werden die Verbraucher über das öffentliche Netz versorgt. Diese Versorgung läuft wiederum über die USV. Der Nachteil ist, dass durch die erneute Umwandlung über den Gleichrichter und dann über den Wechselrichter erneut Verluste entstehen.

Gesteuert wird das ganze System über eine zusätzliche Leistungsmessung, die vor dem bidirektionalen Zähler der EVUs eingebaut wird. Die Leistungsmessung unterscheidet drei Möglichkeiten:

$P = 0$: der Idealzustand, es wird die ganze erzeugte PV – Energie im eigenen Bereich verbraucht

$P < 0$: es wird Leistung aus dem Netz bezogen

$P > 0$: es wird Leistung in das Netz gespeist

Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf der Versorgung der Verbraucher und der Ladung der Batterie.

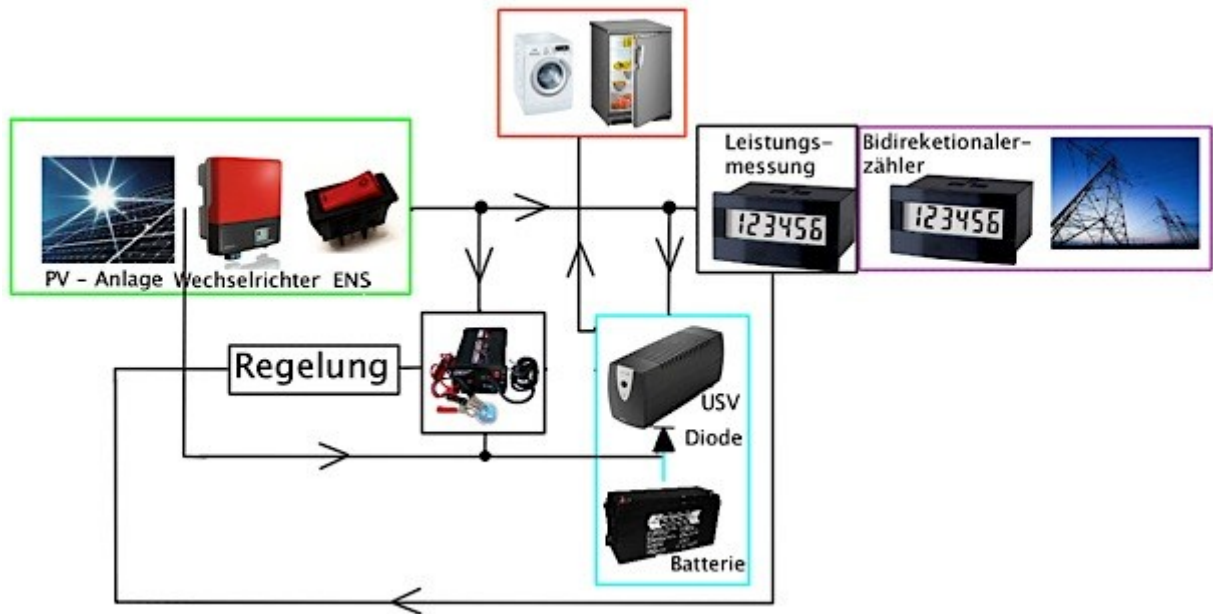


Abbildung 19: Realisiertes System

Je nach der Kapazität der Batterie kann die Eigenverbrauchsrate gesteigert werden. Die direkte Ladung der Batterie hilft Verluste zu vermeiden. Die Batterie wird durch die Diode nicht von der USV geladen, so dass kein Netzstrom für die Ladung verwendet werden kann. Der Nachteil des Systems ist, dass der Strom, der vom Netz bezogen wird, über die USV zu den Verbrauchern fließt und somit zusätzliche Verluste durch den Wirkungsgrad der USV verursacht werden.

6 Grundlagen verwendeter Elektronik – Bauteile

Bevor der detaillierte Aufbau erläutert wird, werden Bauteile vorgestellt, die später bei der Realisierung verwendet werden.

6.1 Optokoppler

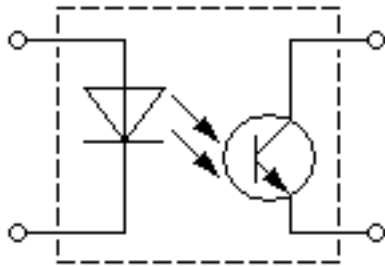


Abbildung 20: Schaltsymbol Optokoppler

Funktionsweise: In einem Gehäuse befinden sich ein Lichtsender (z.B. Leuchtdiode) und ein Lichtempfänger (z.B. Fototransistor), zwischen denen ein Signal (Impuls) übertragen wird. Der Vorteil eines Optokopplers ist die galvanische Trennung zweier Stromkreise. Somit besteht keine elektrisch leitfähige Verbindung zwischen den Stromkreisen.

Anwendungsbereich: Der Optokoppler wird oft als Sicherheitsbauteil (z.B. bei Schnittstellenkarten bei Computer; bei medizinischen Geräten um Patienten zu schützen; um zwei Stromkreise zu trennen) verwendet. Bei der Realisierung des Laboraufbaues wird ein Optokoppler zur Übertragung des Steuerstromes zum Ladegerät genutzt. Diese Übertragung muss potentialfrei sein.

Kenngroße: Eine wichtige Kenngroße ist der Stromübertragungsfaktor CTR (current transfer ratio). Er liegt zwischen 0,1 und 1 und dient als Maß für die Empfindlichkeit. Kleine CTR – Faktoren bedeuten kleine Empfindlichkeit. Weiters ist der CTR auch abhängig von der Temperatur.

$$CTR = \frac{I_C}{I_F}$$

Formel 6.1-1

I_C = Kollektorstrom des Fototransistors

I_F = Durchlassstrom der Sendediode

6.2 Operationsverstärker

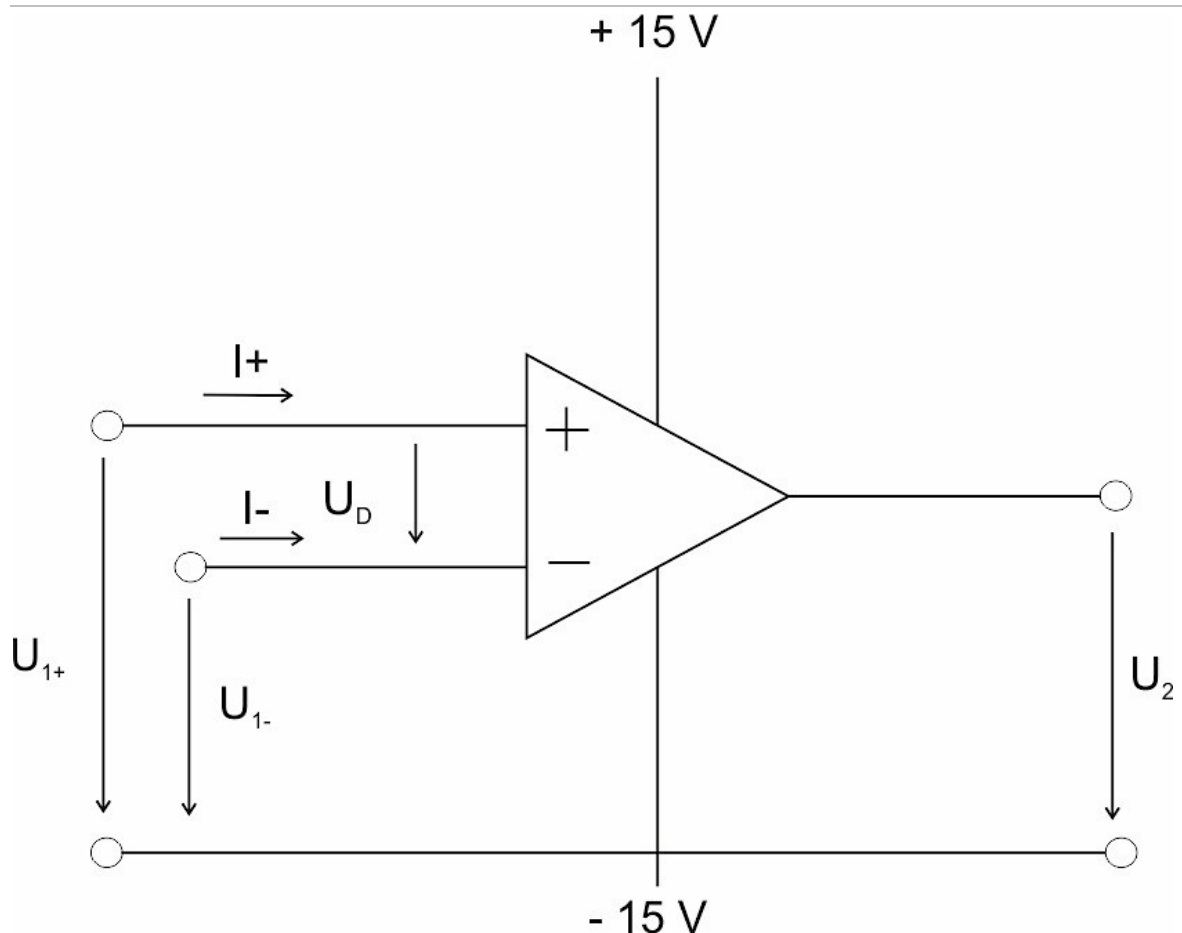


Abbildung 21: Operationsverstärker

Der Operationsverstärker (in weiterer Folge als OPV bezeichnet) besteht aus mehreren Schaltungsteilen. Am Eingang befindet sich ein Differenzverstärker und am Ausgang ein Gegentaktendstufe. Wie in Abbildung 21 dargestellt braucht der OPV eine positive und negative Betriebsspannung. Der mit Plus gekennzeichnete Eingang wird nicht invertierender Eingang und der mit Minus gekennzeichnete Eingang wird invertierender Eingang genannt.

Differenzsignal: $U_D = U_{1+} - U_{1-}$

Formel 6.2.-1

Ausgangsspannung: $U_2 = v * (U_D - U_0) + v_{cm} * \frac{U_{1+} - U_{1-}}{2}$

Formel 6.2.-2

V Differenzverstärkung

U_0 Offsetspannung

CM ... Common Mode

V_{cm} ... Gleichtaktverstärkung

Die Kenngrößen eines idealen OPV sind:

- Differenzverstärkung am Eingang: $V = \frac{U_a}{U_{PN}} = \infty$
- $U_0 = 0 \rightarrow$ keine Offsetspannung
- $V_{cm} = 0 \rightarrow$ keine Gleichtaktverstärkung
- $I_{1+} = I_{1-} = 0 \rightarrow$ Innenwiderstand $R_i = \infty$
- Ausgangsimpedanz = 0 (Weiss, 2011),(Klaus Beuth, 1994)

Der reale OPV:

- v für DC z.B 10^6 , temperatur- und belastungsabhängig
- $U_0 \neq 0$, mit Temperatur- und Langzeitdrift
- $V_{cm} \neq 0$
- $I_{1+} \neq 0, I_{1-} \neq 0$
- Ausgangsimpedanz $\neq 0$

6.2.1 Spannungsoffset

Zwischen den beiden Eingängen beim realen OPV besteht eine Fehlerdifferenzspannung, die aufgrund der unsymmetrischen Eingangstransistoren des OPVs entsteht. Je nach Typ liegt der Offset im mV - oder μ V - Bereich. Damit die Ausgangsspannung Null ist, muss eine kleine gleichgroße Gegenspannung im Eingangskreis angelegt werden. Im Weiteren ist die Offsetspannung temperaturabhängig. In den Datenblättern werden daher die Spannungsänderungen je Kelvin Temperaturänderung angegeben.

6.2.2 Betriebsarten der OPV

Der OPV kann mit einer äußeren Beschaltung versehen werden. Damit kann auf die Ausgangsspannung Einfluss genommen werden.

6.2.2.1 OPV mit Gegenkopplung

Das Prinzip der Gegenkopplung basiert auf einer negativen Rückkopplung. Dabei wird das Ausgangssignal auf den invertierenden Eingang zurückgeführt. Der OPV stellt seine Ausgangsspannung so ein, dass zwischen U_{1+} und U_{1-} die Differenz 0 V ist. Beim realen OPV kommt es zu einer sehr kleinen Spannungsdifferenz, die meist vernachlässigt wird. Typische OPV Schaltung mit Gegenkopplung, die auch in der Masterarbeit verwendet werden, sind: Differenzverstärker, invertierender und nicht invertierender Verstärker, Summierer.

Invertierender Verstärker

Die Ausgangsspannung wird über das Verhältnis der Widerstände verstärkt und das Vorzeichen der Eingangsspannung wird umgekehrt.

$$U_2 = -\frac{R_2}{R_1} * U_1.$$

Formel 6.2.2.1-1

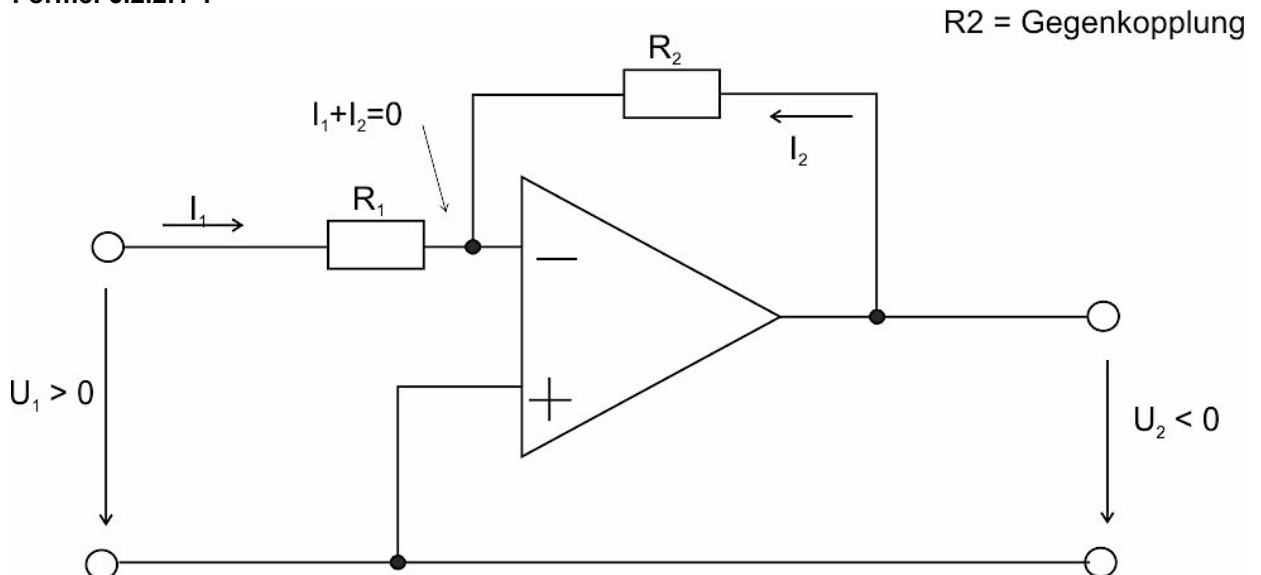


Abbildung 22: Invertierender Verstärker

Nicht invertierender Verstärker

Die Ausgangsspannung ist um das Verstärkungsverhältnis, das über die Widerstände definiert wird, größer als die Eingangsspannung. Das Vorzeichen der Eingangsspannung wird nicht verändert.

$$U_2 = U_{1+} * \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

Formel 6.2.2.1-2

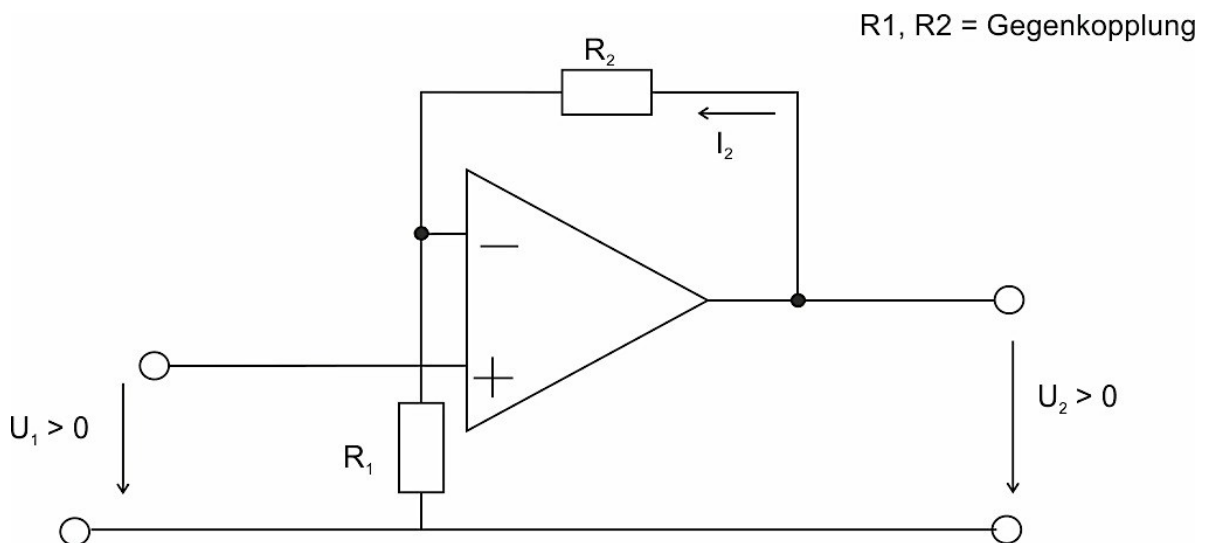


Abbildung 23: Nicht invertierender Verstärker

Differenzverstärker

Beim Differenzverstärker wird U_D über das Verhältnis der Widerstände verstärkt.

$$U_2 = (U_{1+} - U_{1-}) * \frac{R_2}{R_1}$$

Formel 6.2.2.1-3

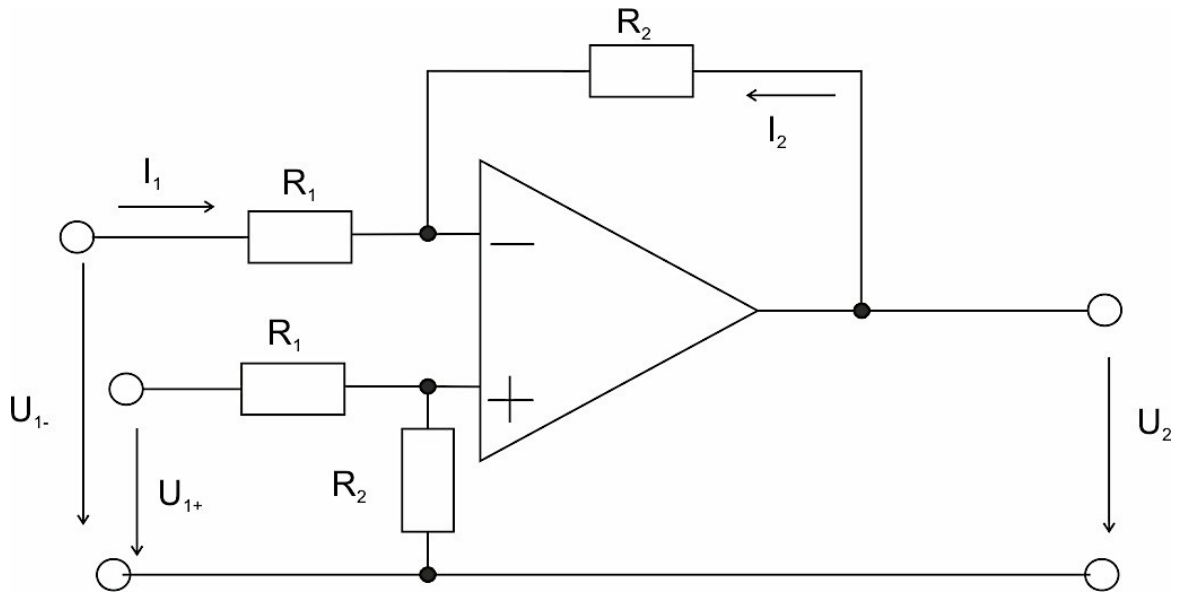


Abbildung 24: Differenzverstärker

Summierer

Der Summierer ist eine Weiterentwicklung des invertierenden Verstärkers. Dabei werden mehrere Spannungen zusammengeführt. Mit Widerständen können die Spannungen unterschiedlich gewichtet werden.

$$U_2 = -\frac{R_2}{R_1} * (U_{11} + U_{12} + U_{13})$$

Formel 6.2.2.1-4

wenn $R_{11} = R_{12} = R_{13} = R_1$

Bei $R_{11} \neq R_{12} \neq R_{13}$ gilt:

$$U_2 = -R_2 * \left(\frac{U_{11}}{R_{11}} + \frac{U_{12}}{R_{12}} + \frac{U_{13}}{R_{13}} \right)$$

Formel 6.2.2.1-5

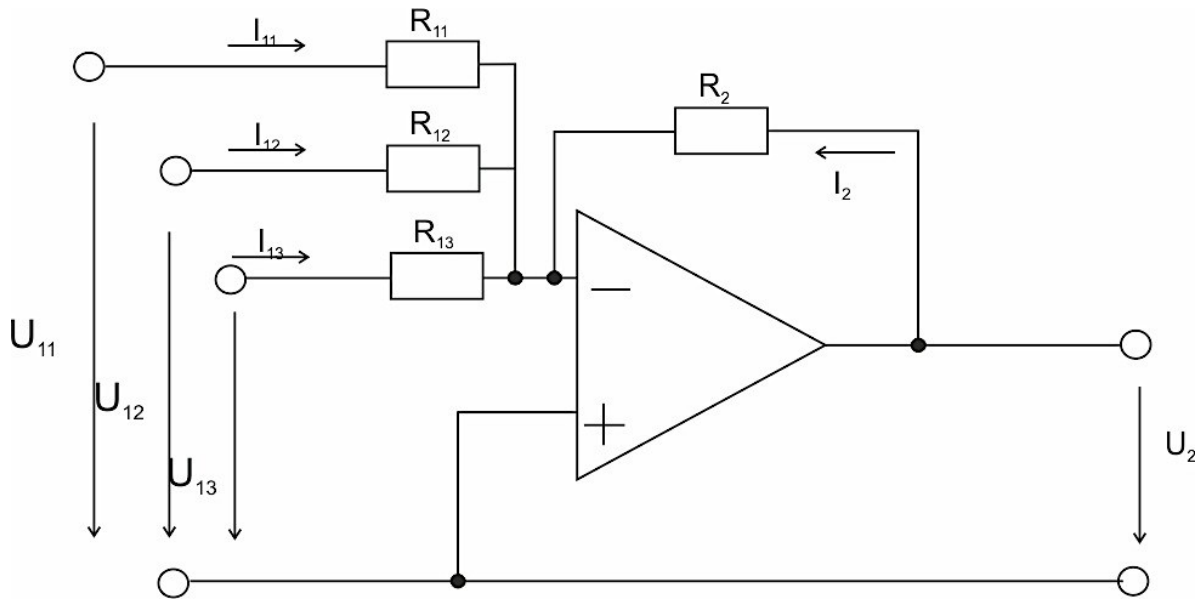


Abbildung 25: Summierer

6.2.2.2 OPV mit Mitkopplung:

Unter der Mitkopplung versteht man, wenn das Ausgangssignal auf den nicht invertierenden Eingang zurückgeführt wird. Bei einem idealen OPV ist die Ausgangsspannung durch die Versorgungsspannung begrenzt. Belastete OPV mit Mitkopplung werden bei einem Schmitt - Trigger verwendet (Abbildung 26).

Schmitt - Trigger

Der Schmitt – Trigger wird als Schwellwertschalter verwendet. An den definierten Schwellwerten der Eingangsspannung U_1 schaltet er zwischen dem positiven und negativen Maximalwert der Ausgangsspannung.

Schwellwert 1: $U_a = U_{a_{\min}}$. (negativer Wert)

Solange U_{1-} positiver ist als die rückgeführte Spannung U_{1+} bleibt die Ausgangsspannung am negativen Grenzwert $U_{a_{\min}}$. Die Schaltschwelle (Grenzwert) ist U_{e_1}

$$U_{e_1} = U_{a_{\min}} * \left(\frac{R_2}{(R_1 + R_2)} - \frac{1}{V} \right)$$

Formel 6.2.2.2-1

Schwellwert 2: $U_a = U_{a_{\max}}$ (positiver Wert)

Bei einer Spannung $U_{1-} = U_{e1}$ unterhalb des rückgeführten U_{1+} bleibt die Ausgangsspannung U_a auf dem positiven Maximalwert $U_{a_{max}}$. Die Schaltschwelle (Grenzwert) hierfür ist U_{e2} .

$$U_{e2} = U_{a_{max}} * \left(\frac{R_2}{(R_1 + R_2)} - \frac{1}{V} \right)$$

Formel 6.2.2.2-2

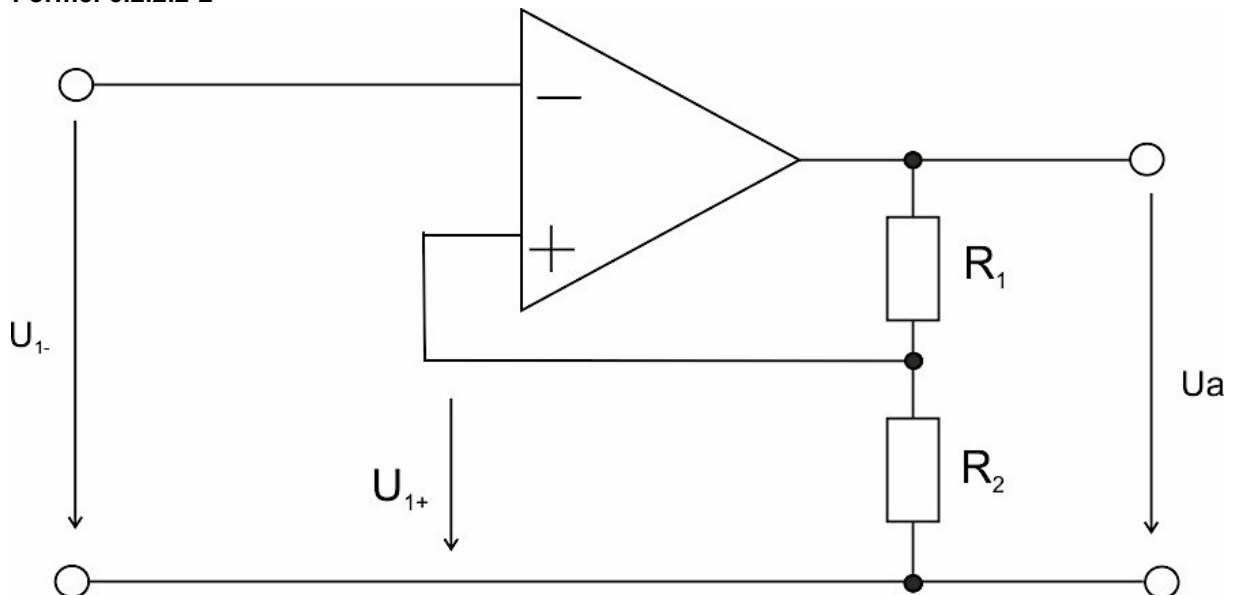


Abbildung 26: Schmitt - Trigger

Hystereseverhalten

Der Schmitt – Trigger beschreibt eine charakteristische Hystereseschleife (Abbildung 27) zwischen den Schaltschwellen.

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

Formel 6.2.2.2-3

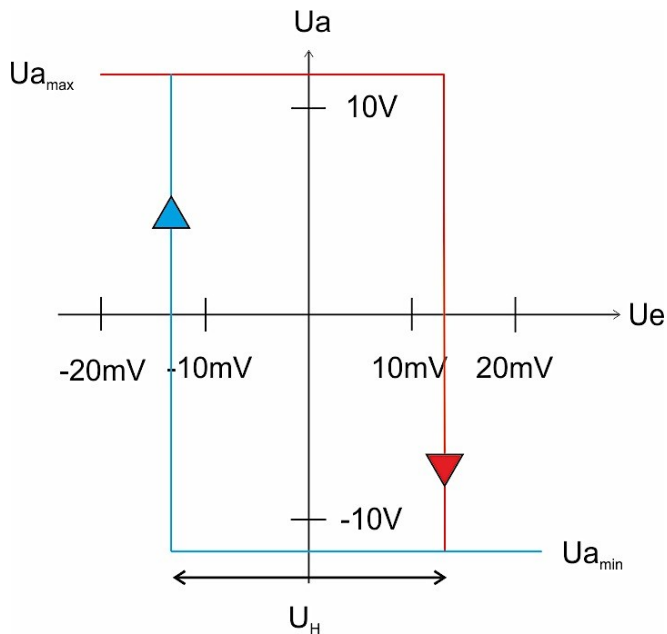


Abbildung 27: Hystereseschleife

6.3 Tiefpass

Ein Tiefpass überträgt tiefe Frequenzen und schwächt hohe Frequenzen ab bzw. bewirkt eine Phasennacheilung. In einfachster Form kann ein Tiefpass durch ein RC – Glied aufgebaut werden (Abbildung 28).

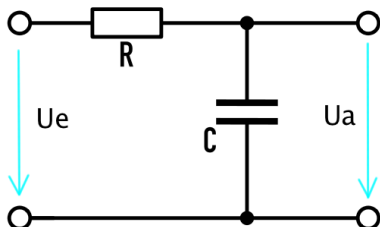


Abbildung 28: Tiefpass

$$\text{Frequenzgang: } F(\omega) = \frac{Ua}{Ue} = \frac{1}{1+j\omega C \cdot R}$$

Formel 6.2.2.2 -1

$$\text{Amplitudengang: } |F(\omega)| = \frac{Ua}{Ue} = \frac{1}{\sqrt{1+(\omega RC)^2}}$$

Formel 6.2.2.2-2

$$\text{Phasengang: } \varphi(\omega) = -\arctan(\omega RC)$$

Formel 6.2.2.2-3

Mit dem Verhältnis $\frac{U_a(\omega)}{U_e(\omega)}$ erhält man den Amplituden- und den Phasengang. Um einen breiten Frequenzbereich beschreiben zu können, bietet sich eine logarithmische Skalierung mit der Einheit Dezibel an. Die folgende Formel stellt den Amplitudengang in Dezibel dar.

$$|F(\omega)|_{dB} = 20 * \lg \frac{U_a}{U_e}$$

Formel 6.2.2.2-4

$ F(\omega) $	1/1000	1/100	1/10	1/2	1/√2	1/1	√2/1	2/1	10/1	100/1	1000/1
$ F(\omega) _{dB}$	-60	-40	-20	-6	-3	0	3	6	20	40	60

Tabelle 8: Betragsverhältnis im logarithmischen Maß

Der Durchlass- und der Sperrbereich werden beim Tiefpass durch eine Trennlinie bei $0,707 * U_e \equiv -3 \text{ dB}$ getrennt. Somit kann die Grenzfrequenz für den Tiefpass wie folgt ermittelt werden.

$$|F(\omega)| = \frac{U_a}{U_e} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$$

Mit der Formel 6.2.2.2-2 wird die Grenzfrequenz ermittelt:

$$\sqrt{1 + (\omega RC)^2} = \sqrt{2}$$

mit $\omega = 2\pi fg$

ergibt sich die Grenzfrequenz von

$$fg = \frac{1}{2\pi RC}$$

Formel 6.2.2.2-5

Im nachfolgenden Bode - Diagramm werden diese Verläufe dargestellt.

Bode - Diagramm

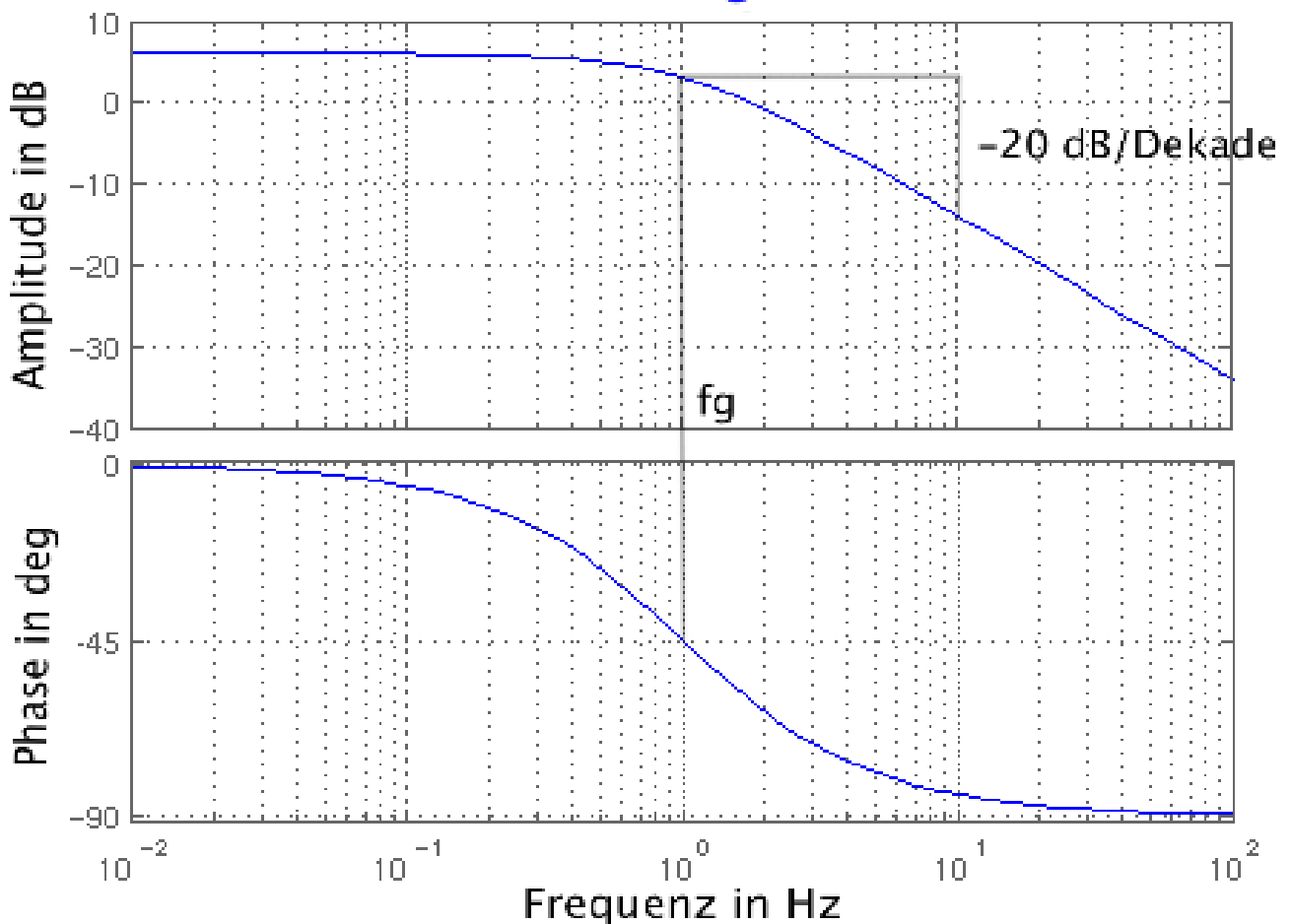


Abbildung 29: Bode - Diagramm

In weiterer Folge werden drei typische Filter beschreiben, welche ein hohes Dämpfungsverhalten nach der Grenzfrequenz besitzen. Beim Erreichen der Grenzfrequenz besitzen dann alle drei je nach Höhe der Ordnung einen charakteristischen Amplituden - Frequenz - Verlauf (Abbildung 30). Es gibt Tiefpässe auch höherer Ordnung mit besserem Dämpfungsverhalten nach der Grenzfrequenz. Der Nachteil höherer Ordnung ist der immense Bauteil Aufwand bei der Realisierung.

Es werden drei charakteristische Tiefpässe unterschieden, die aufgrund ihrer speziellen Eigenschaften im Bereich um die Grenzfrequenz in Frage kommen.

Butterworth – Tiefpass: Charakteristisch für den Butterworth Tiefpass sind das lineare Verhalten bis zur Grenzfrequenz und die starken Dämpfungseigenschaften danach.

Bessel – Tiefpass: Dieser Tiefpass besitzt ein optimales Rechteckübertragungsverhältnis. Das Frequenzverhalten im Durchlassbereich ist sehr glatt. Das Abknicken bei der Grenzfrequenz ist nicht so scharf wie beim Butterworth- und Tschebyscheff – Tiefpass.

Tschebyscheff – Tiefpass: Die Dämpfungseigenschaften nach Erreichen der Grenzfrequenz sind noch ausgeprägter als beim Butterworth – Tiefpass. Der Durchlassbereich ist durch eine charakteristische Welligkeit gekennzeichnet. Bei steigender Ordnung nimmt auch die Welligkeit zu (U. Tietze).

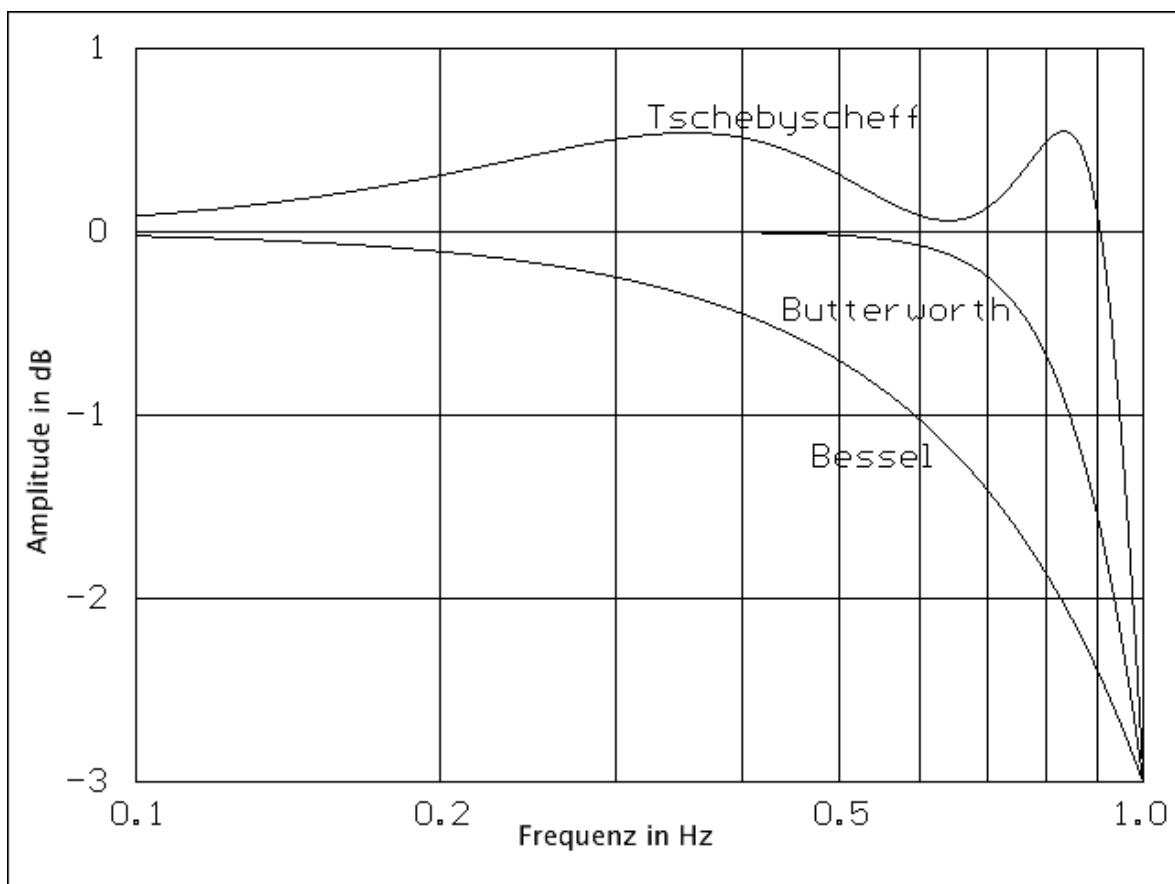


Abbildung 30: Verläufe der unterschiedlichen Tiefpässe

6.4 Stromwandler

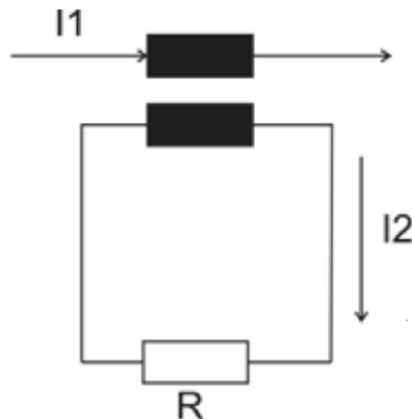


Abbildung 31: Stromwandler

In Abbildung 31 ist ein Stromwandler dargestellt. Das Prinzip des Stromwandlers basiert auf einem Trafo im Kurzschluss. Der Primärstrom kann gemessen werden, indem die Primärwicklung in die Leitung integriert werden. Der Strom der Sekundärseite steht im Verhältnis der Wicklungszahlen zum Primärstrom.

Idealer Stromwandler:

- Induzierte Spannung der Sekundärseite = 0
- Sekundärseite ist über den Bürdenwiderstand R praktisch kurzgeschlossen
- Luftspaltdurchflutung = 0

Das Übersetzungsverhältnis ist wie folgt für den idealen Stromwandler definiert.

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{w_2}{w_1} = \frac{1}{\ddot{u}}$$

Formel 6.2.2.2-1

ü..... Übersetzungsverhältnis

Nenndaten von Stromwandlern:

- Primäre Nennströme: 5, 10, 15, 20, 30, 50, 75, 100 A, weiters 100, 150, 200, 300, 400, 600, 800, 1000 A usw.
- Sekundär Nennstrom: 5 A oder 1 A
- Dauerbelastung: $1,2 \cdot I_{\text{Nenn}}$

- Die Nennbürde beschreibt die maximale Belastung auf der Sekundärseite, wobei die Fehlergrenzen noch nicht überschritten sind.
- Genauigkeitsklassen: 0,1, 0,2, 0,5, 1, 3.
- Kurzzeitige Überströme müssen ausgehalten werden

I_{th} thermischer Grenzstrom für 1s

I_{dyn} Scheitelwert der 1. Kurzschlussstromamplitude ($2,5 * I_{th}$)

7 Laboraufbau

Der Laboraufbau der Speichereinrichtung für das in Kapitel 5.2.5 vorgestellte System im Labormaßstab 1 : 10 ist in Abbildung 32 schematisch dargestellt. Die Auslegung erfolgt für 230 V, 6,3 A und einphasig.

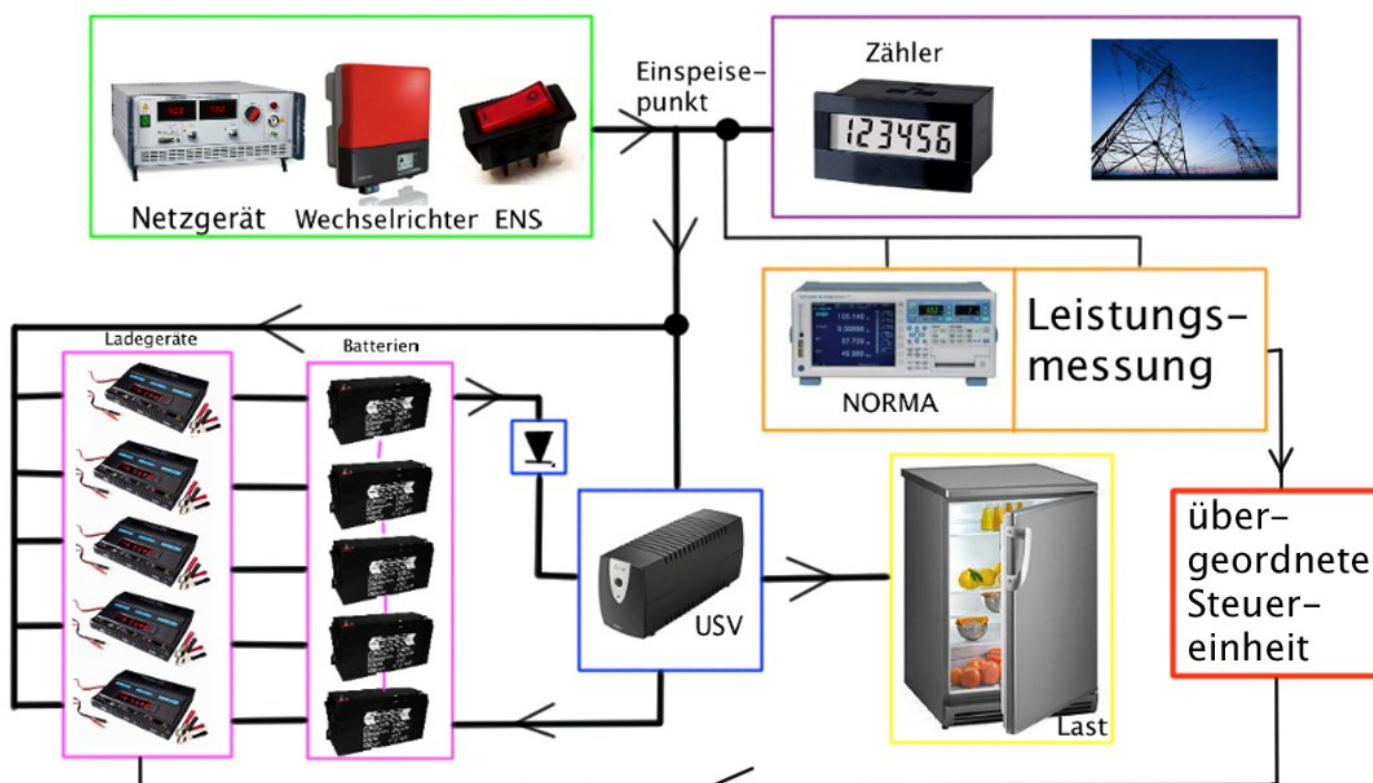


Abbildung 32: Einliniendiagramm des Laboraufbaus

Funktionsbeschreibung der Laboranlage:

Die Energiebereitstellungsfunktion der PV – Panels wird im Laboraufbau durch ein Netzgerät nachgebildet. Die vom Netzgerät erzeugte Gleichspannung wird mit einem Wechselrichter mit MPP – Funktion in eine 230 V/ 50 Hz umgewandelt. Die Lasten im Haus werden über die USV versorgt und bei Bedarf werden die Batterien geladen. Die Anforderungen an die Batterien für die Speicherung von Energie aus der PV – Anlage sind, dass sie ähnliche Kapazitäten aufweisen, um eine ausgeglichene Belastung der Batterien zu gewährleisten. Bei Überschuss wird die Energie ins öffentliche Netz abgegeben. Bei Erzeugungsdefizit wird der

Energiebedarf vom Netz gedeckt. Die eingezeichnete Diode verhindert das Laden der Batterie über die USV. Für den Laboraufbau ist die Funktion des MPPT und der ENS nicht von Bedeutung. Die Leistungsbilanz im Einspeisepunkt wird über die Leistungsmessung erfasst. Eine übergeordnete Steuerungseinheit ermittelt aus der Leistungsbilanz, ob und dann in welcher Höhe ein Laden der Batterie zulässig ist (bei Überschuss Ladestromvorgabe). Für den Laboraufbau werden fünf Batterien in Reihe geschaltet. Bei einer maximalen Spannung von 13,5 V je Batterie bedeutet dies eine Gesamtspannung von 67,5 V.

7.1 Vermessung der Bleibatterien

Um die Verwendbarkeit der Batterien vergleichen zu können, sind die Kapazität jeder einzelnen vermessen worden. Zu diesem Zweck sind sieben alte und acht neue Batterien getestet worden. Mit den Ergebnissen kann eine Aussage über die Verwendbarkeit der Batterien getroffen werden. Bei den alten Batterien kann im Zuge dieser Vermessungen die Re – Use Möglichkeit abgeschätzt werden.

7.1.1 Aufbau der Messanlage

In Abbildung 33 ist der Aufbau einer Lade- und einer Entladevorrichtung schematisch dargestellt. Der Lade- und Entladestrom ist dabei proportional zum Spannungsabfall, der über den Shunt gemessen wird. Somit kann der Energiezustand der Batterie nachvollzogen werden.

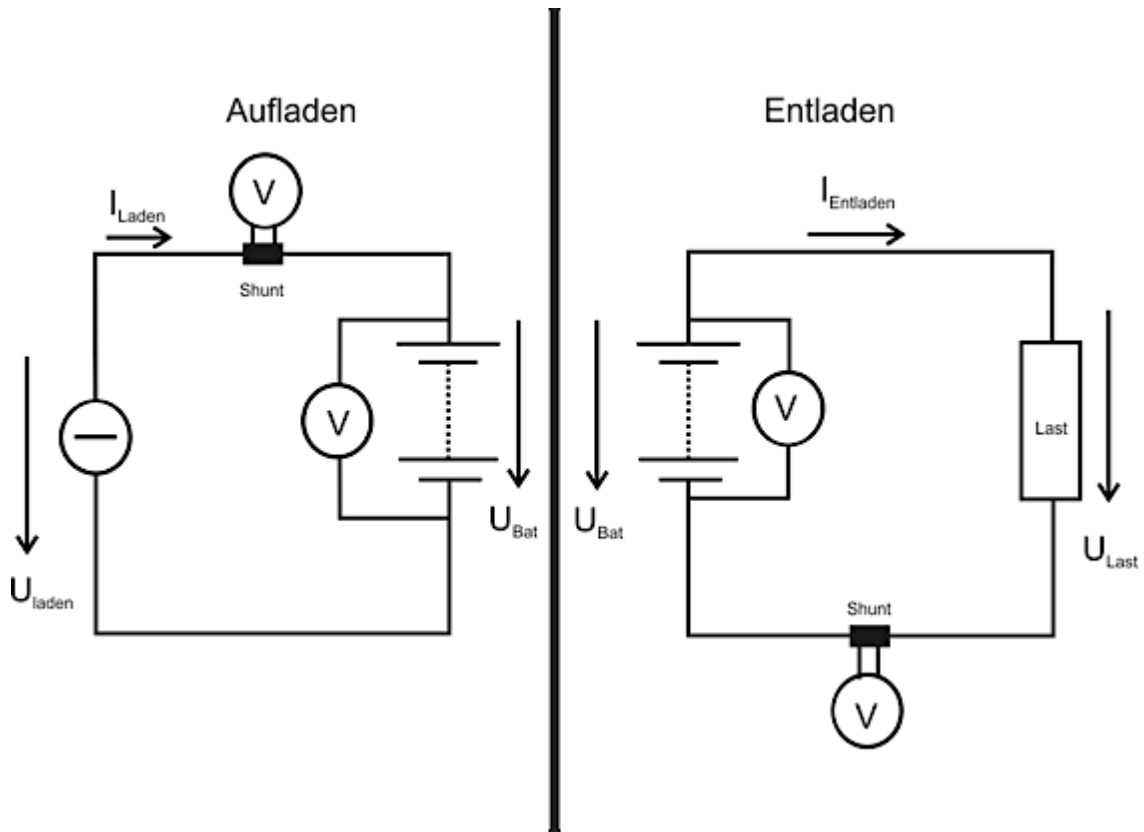


Abbildung 33: Lade- und Entladevorrichtung

Entladen:

In Abbildung 34 ist die detaillierte Entladevorrichtung dargestellt. Der Versuchsaufbau ist für die Entladung und daraus resultierende Kapazitätsmessung von zwei Batterien konzipiert. Die Kapazität der Batterie wird über den Entladestrom und die Entladezeit bestimmt. Dabei verändert sich der Entladestrom proportional mit der sinkenden Spannung der Batterie. Die Widerstände, welche über die Anfangswerte bestimmt werden, werden dabei konstant gehalten. Die Entladezeiten betragen 5, 10 und 20 Stunden. Es wird eine Entladeschlussspannung von ca. 10,2 V für eine 12 V Batterie angesetzt, welches 85% der gesamten Kapazität entspricht. Um ein weiteres Entladen zu verhindern, ist die Entladevorrichtung noch mit einer Steuerung erweitert worden.

Als Sicherheitseinrichtung für den Versuchsaufbau sind ein mechanischer Schalter und eine Sicherung ($I_{\text{Nenn}} = 350 \text{ A}$) eingebaut.

Als Beispiel wird eine C_5 – Entladung einer 12 V und 88 Ah Batterie berechnet. Die weiteren Daten für die Entladewerte der 15 Batterien sind im Anhang aufgelistet.

$$I = \frac{88 \text{ Ah}}{5 \text{ h}} = 17,6 \text{ A}$$

$$R = \frac{12 \text{ V}}{17,6 \text{ A}} = 0,682 \Omega$$

Mit einem Widerstandswert von $0,3 \Omega$ werden für die C_5 – Entladung 3 Widerstände in Reihe geschaltet. Daraus folgt ein realer Entladestrom von 13,3 A.

$$I = \frac{12 \text{ V}}{0,9 \Omega} = 13,3 \text{ A}$$

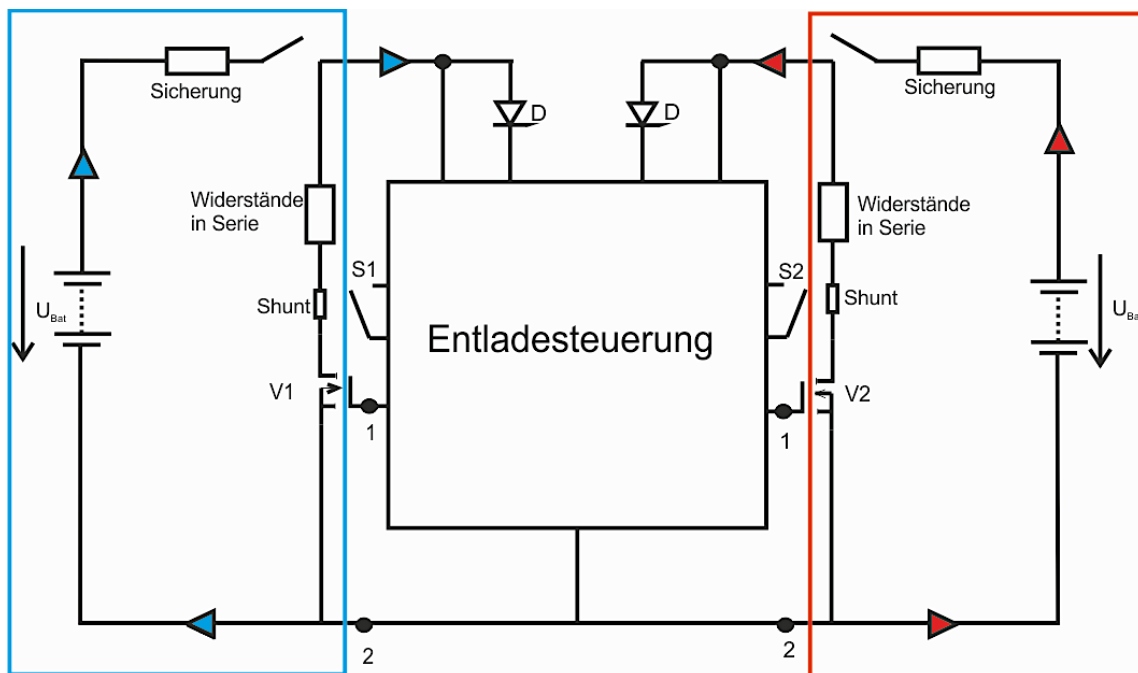


Abbildung 34: Messaufbau

In Abbildung 35 ist die Entladesteuerung detailliert dargestellt. Die Spannungsreferenz für die Steuerung erfolgt mit einem Spannungsregler, der das Signal über einen Schmitt – Trigger an den externen MOSFET leitet. Mit Öffnen des Schalters S1 wird die Entladung gestartet. Leuchtdioden zeigen den Status des Entladevorganges an.

Grüne Leuchtdiode → M1 leitend → Entladevorgang läuft

Rote Leuchtdiode → M1 nicht leitend → keine Entladung

Der Nachteil dieses Systems ist, dass beim Erreichen der Grenzspannung die Batterie nicht mehr belastet wird, wodurch die Spannung erneut auf über 10,2 V stieg und ganz kurz wieder mit dem Entladen begonnen wurde, sodass wieder die untere Grenzspannung unterschritten wurde. Hierdurch fanden zu Entladeschluss viele Schaltvorgänge statt.

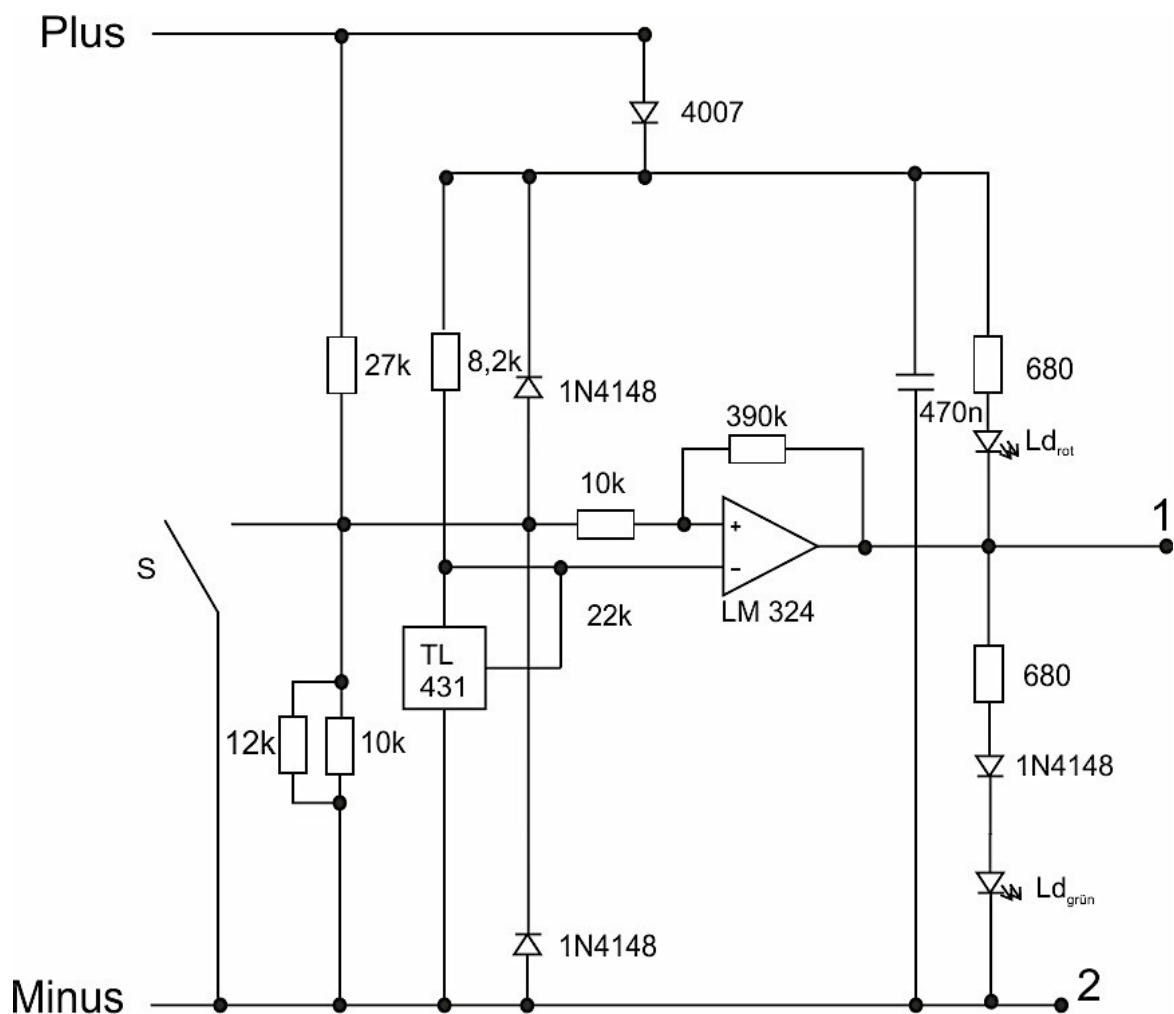


Abbildung 35: Schaltung Entladesteuerung

Um dieses Problem zu beheben, ist die Schaltung um eine Speicherfunktion erweitert worden. In Abbildung 36 ist diese erweiterte Schaltung im Detail dargestellt. Die beiden NAND – Glieder bilden ein Flip – Flop. Bei Anlegen der

Versorgungsspannung wird durch den 100 nF Kondensator am oberen Eingang des Flip – Flops der Ausgang 1' auf Minus gesetzt.

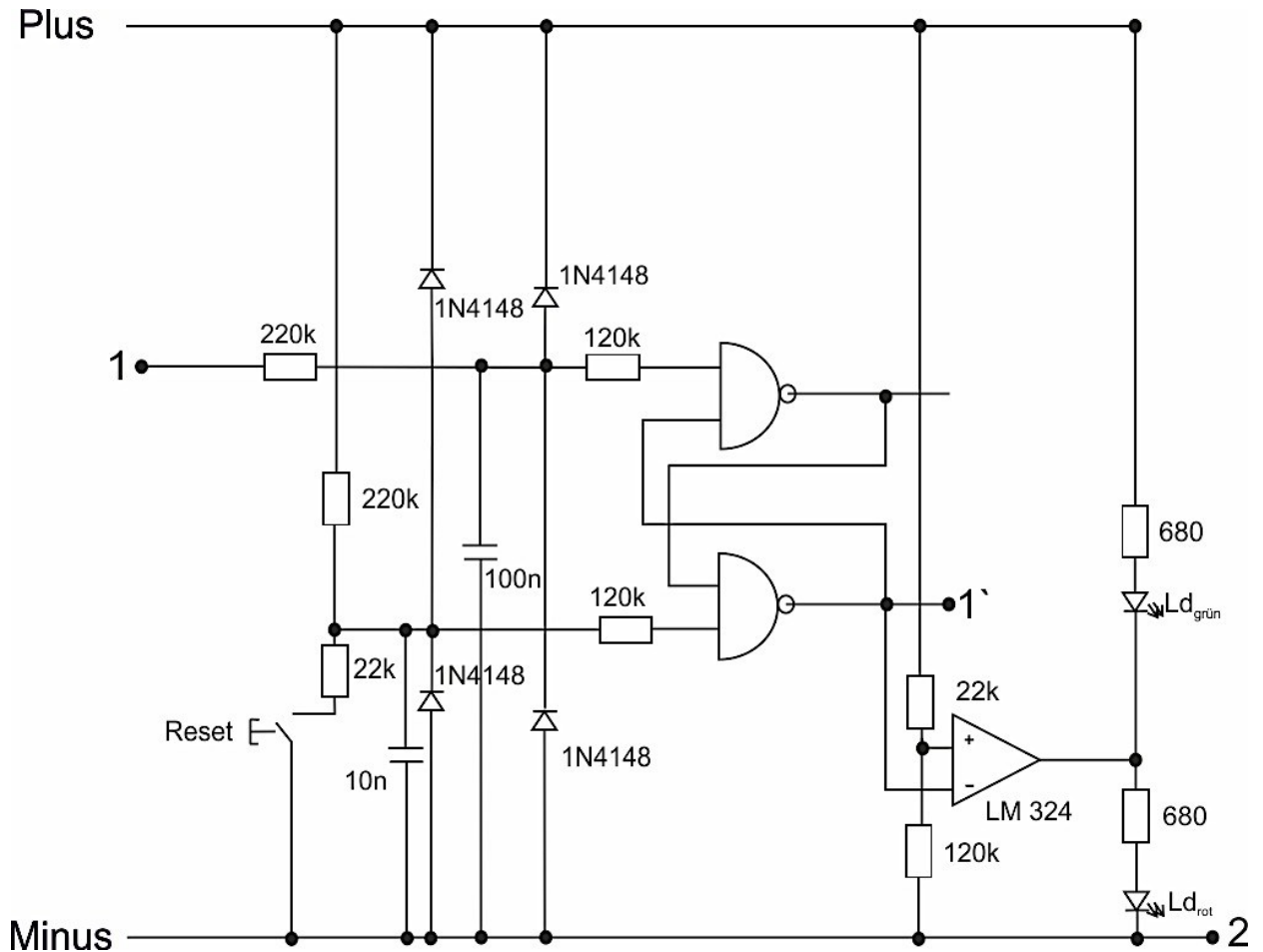


Abbildung 36: Erweiterte Schaltung

Mit Hilfe eines Reset – Knopfes kann diese Speicherfunktion scharf geschaltet werden. Sofern die Batteriespannung über der Spannungsgrenze von 10,2 V liegt, wird der Ausgang 1' auf Plus geschaltet, der MOFET wird leitend, die Entladung beginnt. Auch an dieser Stelle sind zwei Leuchtdioden eingebaut worden, um den Zustand des Systems zu signalisieren.

Grüne Leuchtdiode: Entladevorgang läuft

Rote Leuchtdiode: Entladevorgang unterbrochen

Der Aufbau beider Platinen und die Stücklisten sind im Anhang zu finden.

Aufladen

Die Ladung der Batterie erfolgt mit einem Ladegerät, das mit einem maximalen Ladestrom von 20 A und einer Ladeschlussspannung von 13,6 V die Batterie ladet. Die Aufzeichnung des Ladevorganges erfolgt durch zwei Digitalmultimeter. Wiederum wird der Strom über einen Shunt gemessen und die Batteriespannung direkt abgenommen.

7.1.2 Ergebnisse der Batterievermessung

Die folgenden Diagramme zeigen die Spannungsverläufe der Batterien über die Zeit beim Entladen bei einer C5, C10 und einer C20 Entladung (vgl. 4.1.3). Die Entladeschlussspannung befindet sich bei 85% der Nennspannung. Bei unterschiedlichem Entladestrom ändert sich auch die Entladeschlussspannung. Da nur eine Platine für die Entladeschaltung gebaut worden ist, sind diese unterschiedlichen Entladeschlussspannungen nicht berücksichtigt worden. In der folgenden Tabelle sind die Kennwerte der einzelnen Batterie und deren Zustand aufgelistet.

Batterien	Zustand	Spannung	Entladeschlussspannung	
			Nennkapazität	C20
1	gebraucht	12 V	88 Ah	10,2 V
2 – 4	gebraucht	12 V	100 Ah	10,2 V
5 – 7	gebraucht	12 V	125 Ah	10,2 V
8 - 15	neu	12 V	95 Ah	10,2 V

Tabelle 9: Batterien

7.1.2.1 Ergebnisse der gebrauchten Batterien

Bei den gebrauchten Batterien Nummer 1 bis 7 sind bei allen Batterien eine C5, C10 und C20 – Entladung vorgenommen worden.

Die erste Abbildung zeigt die C5 – Entladung. Da der Verlauf bei den Batterien 2, 3 und 5 schlecht zu erkennen ist, sind diese drei Verläufe noch einmal in einem separaten Diagramm dargestellt worden.

C5 - Entladung

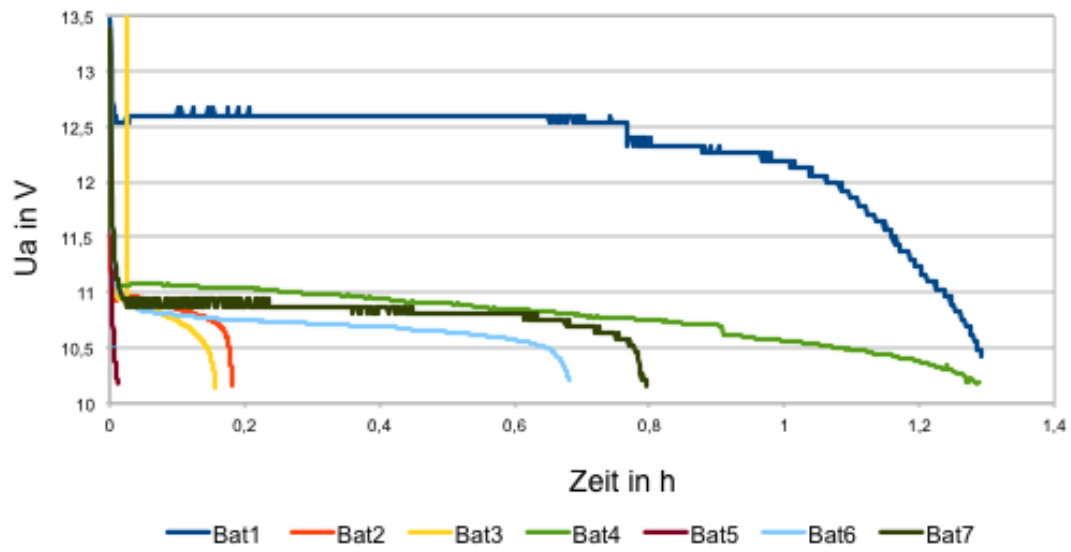


Abbildung 37: C5 – Entladung

C5 - Entladung

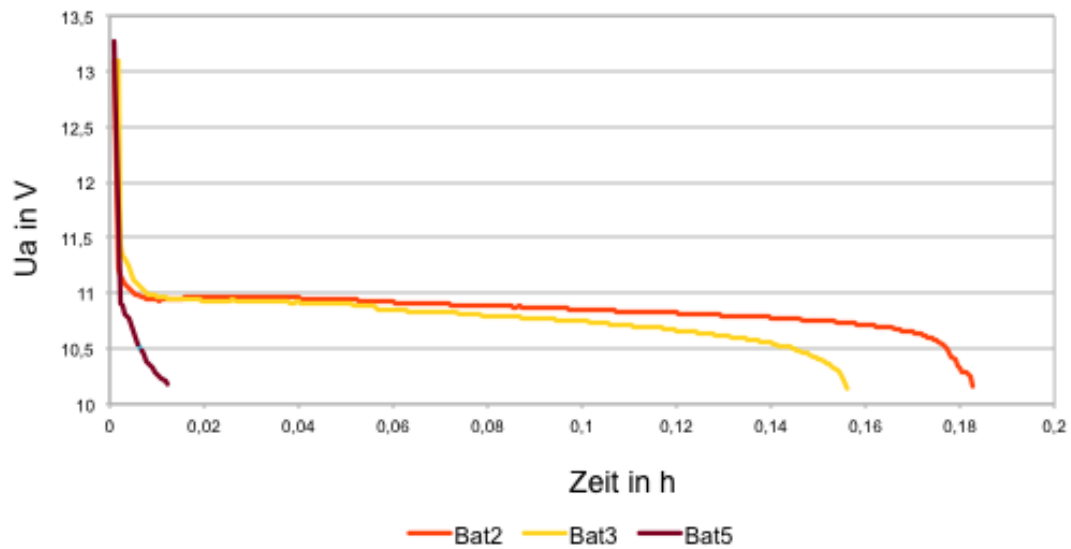


Abbildung 38: C5 - Entladung

C10 - Entladung

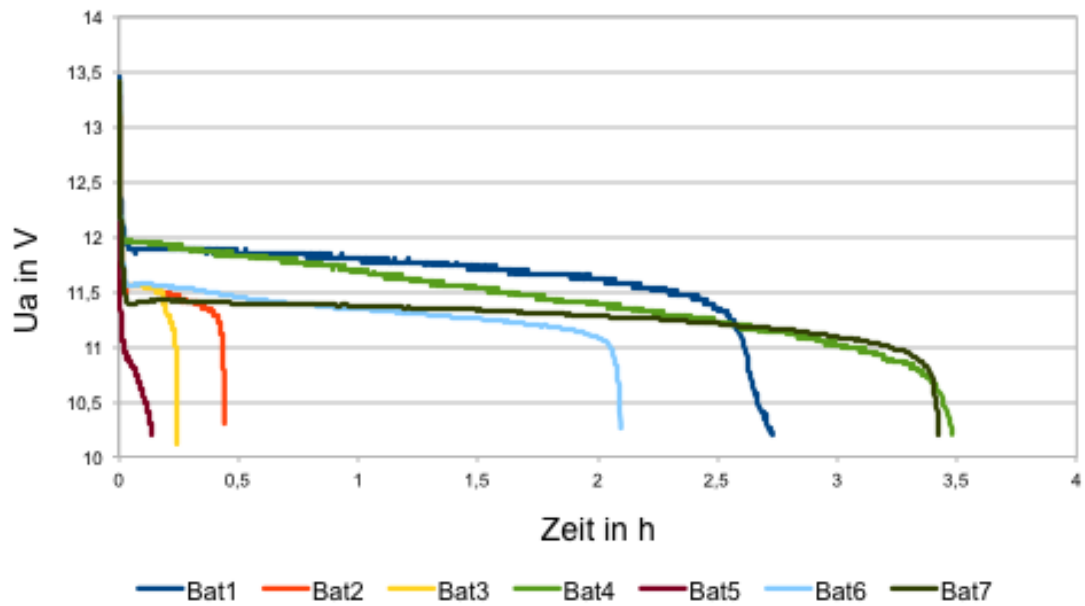


Abbildung 39: C10 - Entladung

C20 - Entladung

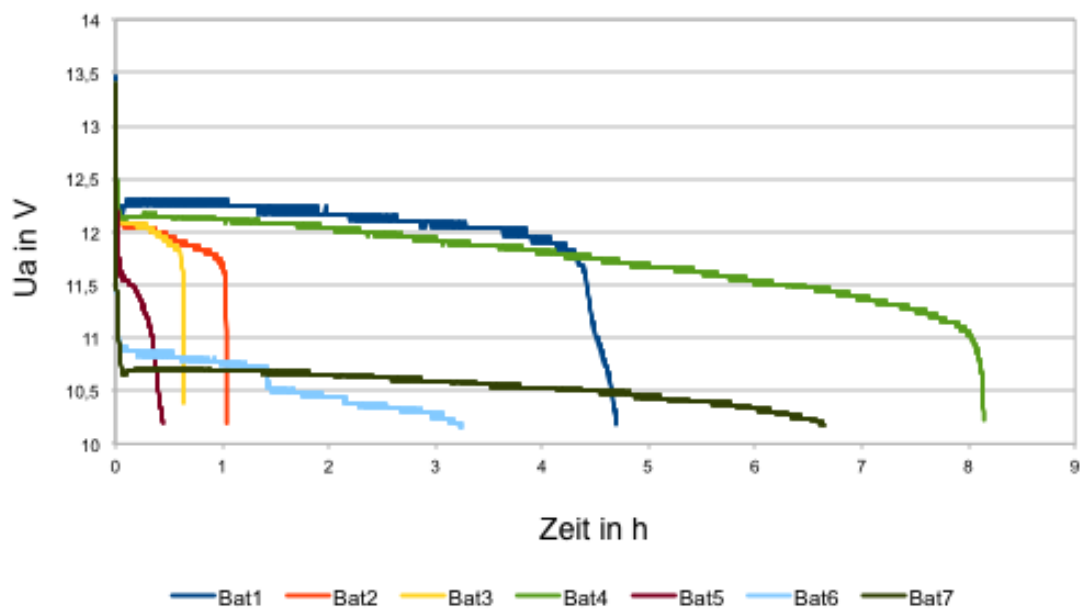


Abbildung 40: C20 - Entladung

Im Allgemeinen kann gesagt werden, dass die Entladezeiten der Batterien weit weg von der erwarteten Entladezeit liegen. In Tabelle 10 sind die Entladezeiten der gebrauchten Batterien dargestellt. Keine der Batterien kommt über mehr als 40% der erwarteten Entladezeiten. Dies ist aufgrund fortgeschrittener Alterungsprozesse in der Zelle zurückzuführen (vgl. 4.1.3.3).

Batterie	Entladezeit in Stunden für C5	Entladezeit in Stunden für C10	Entladezeit in Stunden für C20
Sollwert	4 (-20% von 5)	9 (-10% von 10)	20
1	1,29	2,73	4,7
2	0,18	0,44	1,04
3	0,16	0,24	0,68
4	1,28	3,48	8,15
5	0,01	0,14	0,49
6	0,68	2,09	3,25
7	0,79	3,4	6,63

Tabelle 10: Entladezeiten der gebrauchten Batterien

Aus diesem Grund wird an dieser Stelle der Re – Use Gedanken von gebrauchten Blei – Schwefelsäure – Batterien verworfen. Die nutzbare Kapazität ist für die Anwendung in einer Stromspeicheranlage zu gering und zu unterschiedlich. Eine gewisse Gleichmäßigkeit ist für das Lade und Entladeverhalten vorteilhaft. Bei zu großer Abweichung der Kapazität ist die Koordination der Ladegeräte sehr aufwendig.

7.1.2.2 Ergebnisse der neuen Batterien

Die nächsten Diagramme zeigen den Verlauf der Spannung über die Zeit der acht neuen Batterien. Bei den C10 und C20 Versuchen sind jeweils nur mehr zwei Batterien getestet worden.

C5 - Entladung

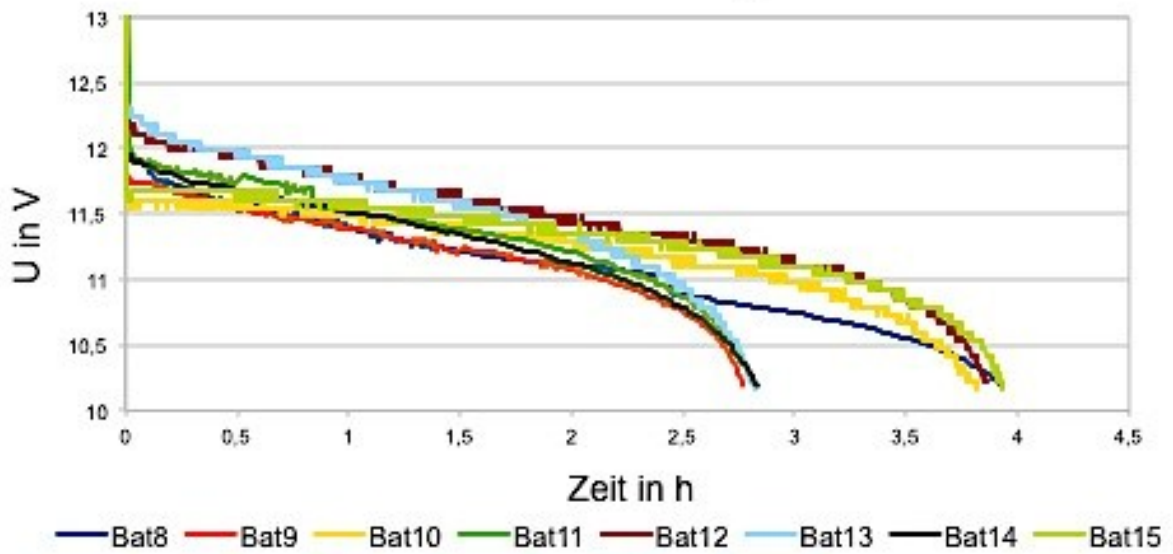


Abbildung 41: C5 – Entladung

C5 - Entladung

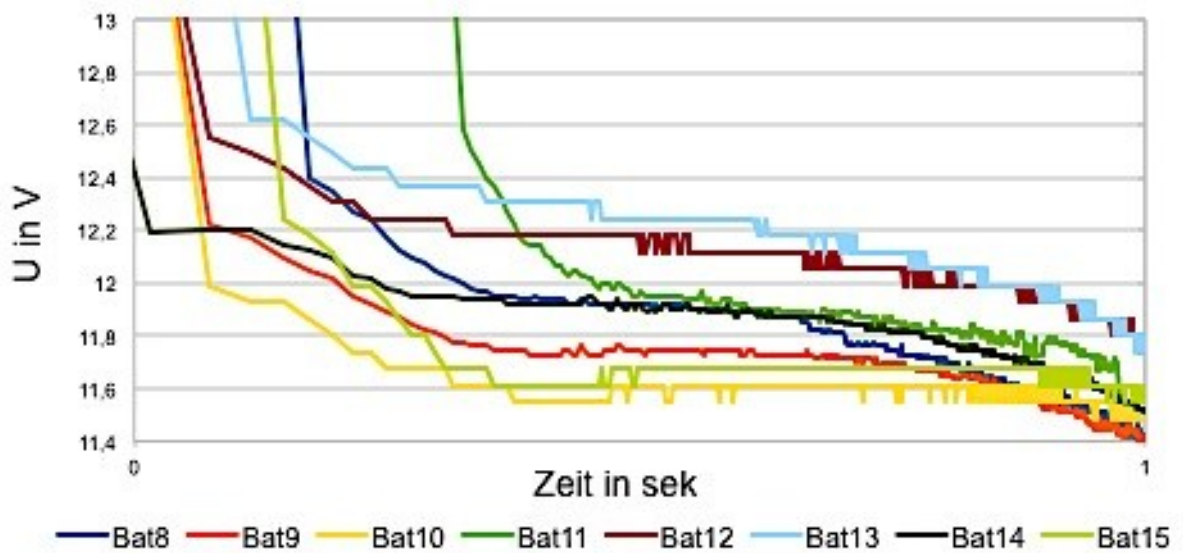


Abbildung 42: Einschaltverhalten in log - Skalierung

C10 - Entladung

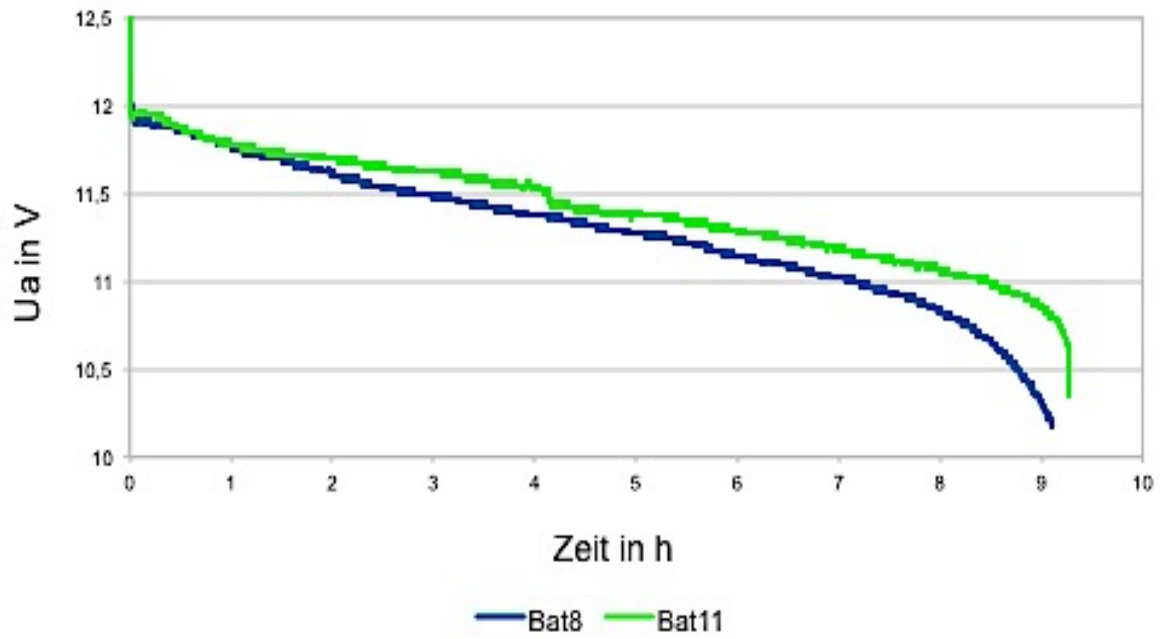


Abbildung 43: C10 - Entladung

C20 - Entladung

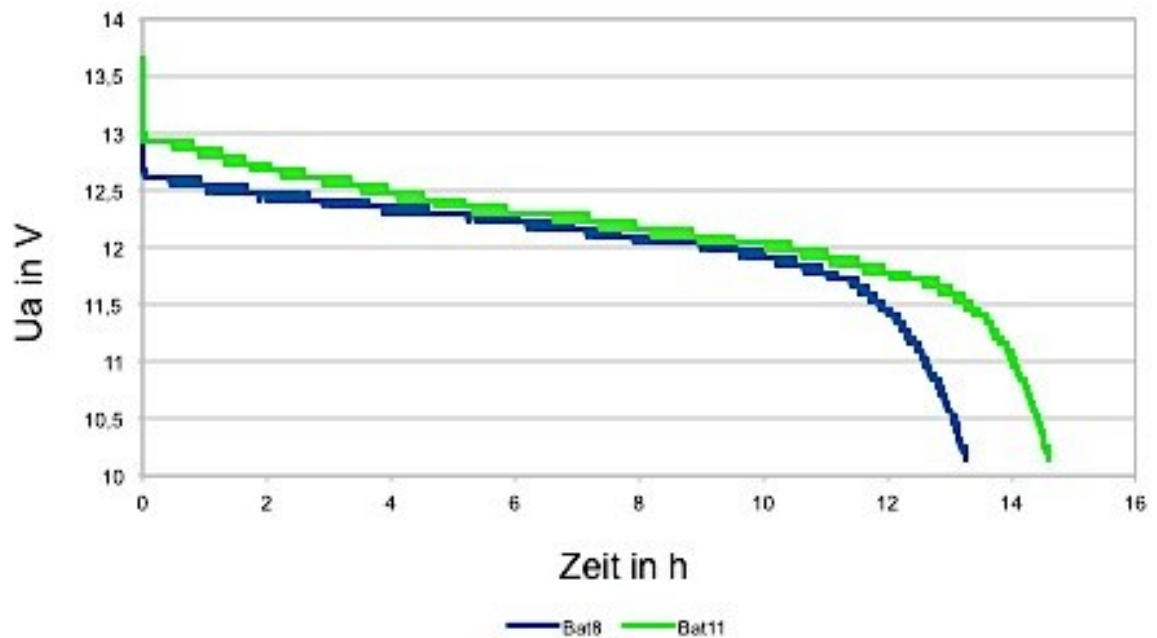


Abbildung 44: C20 - Entladung

In Tabelle 11 sind die Entladezeiten der Batterien Nummer 8 – 15 dargestellt. Bei der C5 – Entladung ist auffällig, dass sich zwei Gruppen gebildet haben. Batterie Nummer 8, 10, 12, und 15 haben Entladezeiten von fast vier Stunden. Die anderen vier Batterien besitzen Entladezeiten von ca. drei Stunden. Diese Regelmäßigkeit ist sehr auffallend und sollte auch bei der C10 und C20 Entladung auftreten. Für die C10 und die C20 – Entladung ist jeweils eine Batterie aus der einen (Batterie 8) und eine Batterie (Batterie11) aus der anderen Gruppe verwendet worden. Bei den weiteren Messungen tritt aber das umgekehrte Phänomen auf. Die Batterie 8 hat jeweils eine kürzere Entladezeit als die Batterie 11. Diese Abweichungen müssen auf Produktionsunregelmäßigkeiten zurückzuführen sein. Ansonsten wäre diese Regelmäßigkeit nicht möglich. Eine Restunsicherheit verbleibt durch nicht absolut gleiche Ladevorgänge.

In Abbildung 42 ist das Verhalten der Batterien im Einschaltmoment dargestellt. Dabei treten Spannungen von 11,5 bis 12,3 V auf. Obwohl alle Batterien auf dasselbe Niveau geladen worden sind, gibt es diese Unregelmäßigkeiten.

Batterie	Entladezeit in Stunden für C5	Entladezeit in Stunden für C10	Entladezeit in Stunden für C20
Sollwert	4 (-20% von 5)	9 (-10% von 10)	20
8	3,93	9,11	13,25
9	2,78	--	--
10	3,81	--	--
11	2,83	9,27	14,61
12	3,85	--	--
13	2,82	--	--
14	2,83	--	---
15	3,93	--	--

Tabelle 11: Entladezeiten der neuen Batterien

Im Allgemeinen kann aber eine wesentlich bessere Kapazität als bei den gebrauchten Batterien festgestellt werden. Die durchschnittlichen Abweichungen

von den Entladezeiten (5, 9 und 20 Stunden) liegen bei C5 bei -18,34%, bei C10 bei +2,1% und bei C20 bei -30,35%.

7.1.2.3 Vermessung der Batterie nach einem Monat Selbstentladung

Als nächstes ist das Selbstentladungsverhalten der neuen Batterien getestet worden. Bei den gebrauchten Batterien ist auf einen Selbstentladeversuch verzichtet worden, da die Kapazitätswerte bereits im vollgeladenen Zustand teilweise unbrauchbar waren. Um die Selbstentladung bestimmen zu können, sind zwei Batterien voll geladen und dann für einen Monat stehen gelassen worden. Nach Ablauf des Monats ist ein Entladeversuch durchgeführt worden. In Abbildung 45 ist die Abweichung der Entladezeit ΔT der selbstentladenen mit der voll geladenen Batterie 12 dargestellt. Die Abweichung der Kapazität liegt bei 7% und somit innerhalb der in der Literatur genannte Wert von 5 – 15% pro Monat.

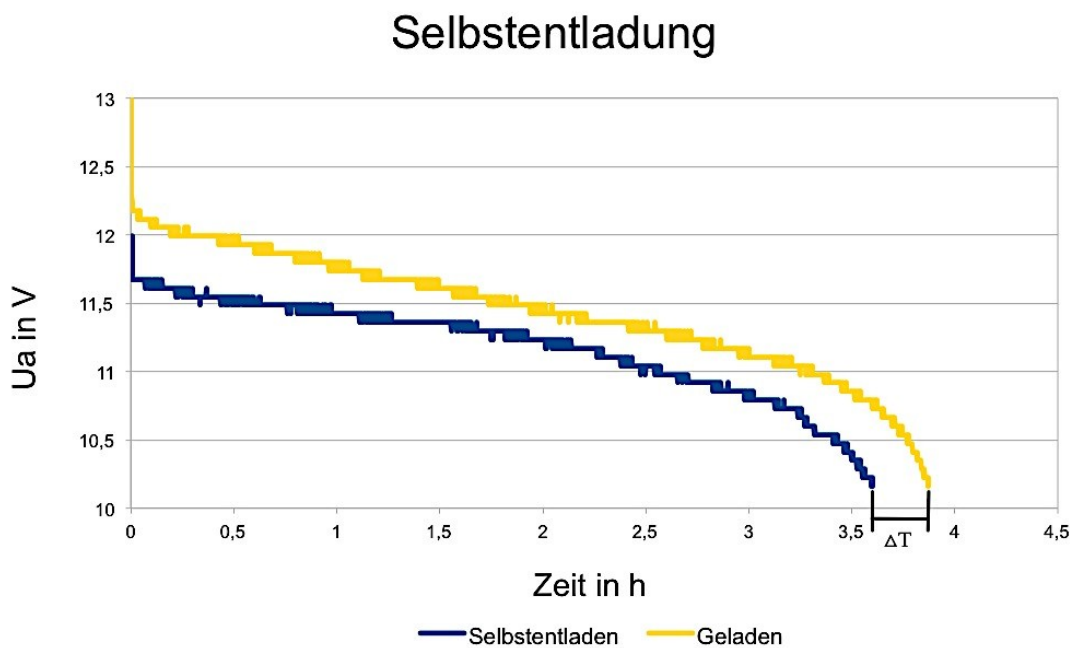


Abbildung 45: Selbstentladung

7.1.2.4 Laden der Batterie

In Abbildung 46 ist das Verhalten von Strom und Spannung beim Laden dargestellt. Das Ladegerät folgt einer UI – Ladekennlinie. Die Ladung der Batterie erfolgt im ersten Abschnitt durch die Stromladung und dann, wenn die Spannung

ein ausreichendes hohes Niveau erreicht hat, beginnt die Spannungsladung. Der maximale Ladestrom des verwendeten Ladegerätes beträgt 20 A. Die Spannung steigt bis zu 13,5 V.

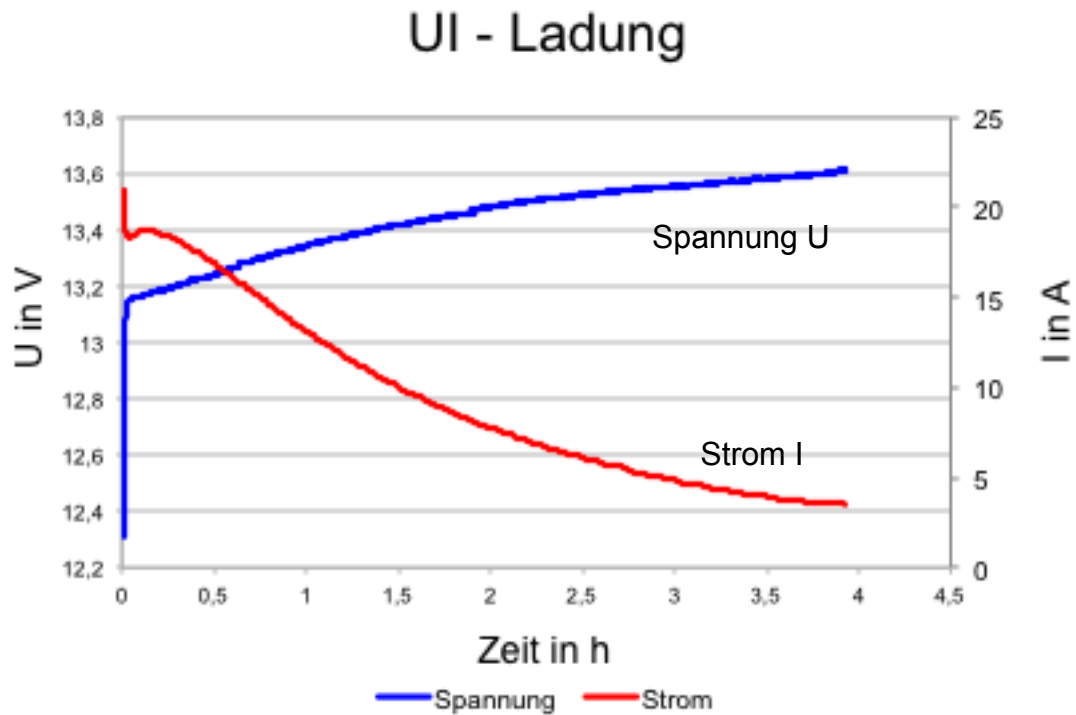


Abbildung 46: UI – Ladung

UI - Ladung

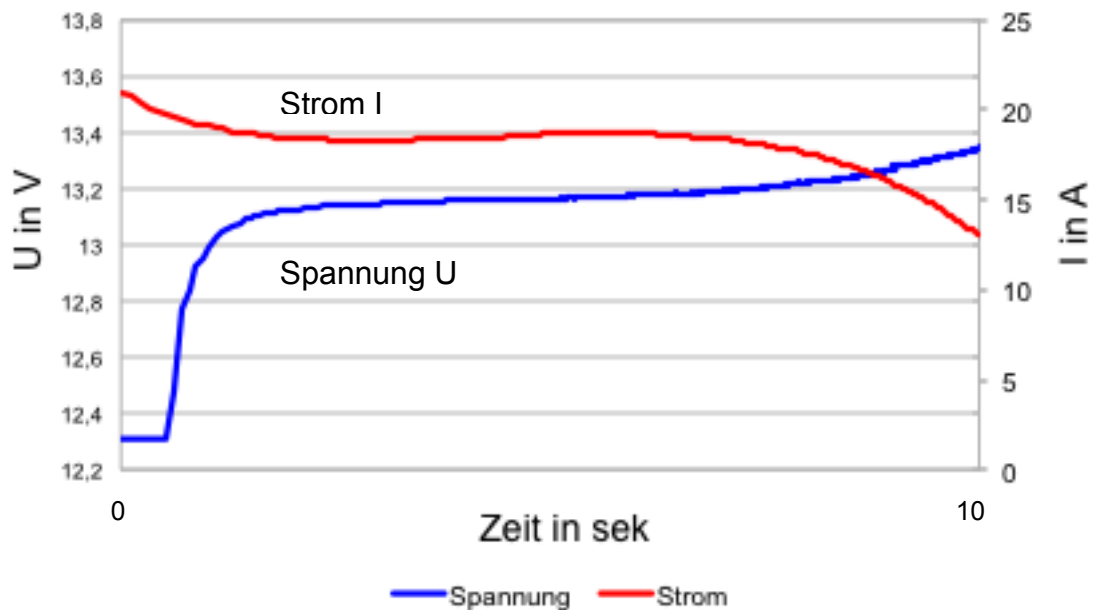


Abbildung 47: UI – Ladung in log - Skalierung

7.2 Leistungsmessung

In Abbildung 28 ist gezeigt, wie die Leistungsmessung in das Netzsystem des Hauses integriert wird. Diese wird aus Sicht von der Verbraucherseite weg vor dem Zähler des EVU und dem FI – Schalter (Schutzschalter) für die Steuerung der Speicheranlage eingebaut. Die Strommessung erfolgt über Stromwandler, der in die Leitung integriert wird. Bei der Spannungsmessung wird jede der drei Spannungen gegen den Neutralleiter gemessen.

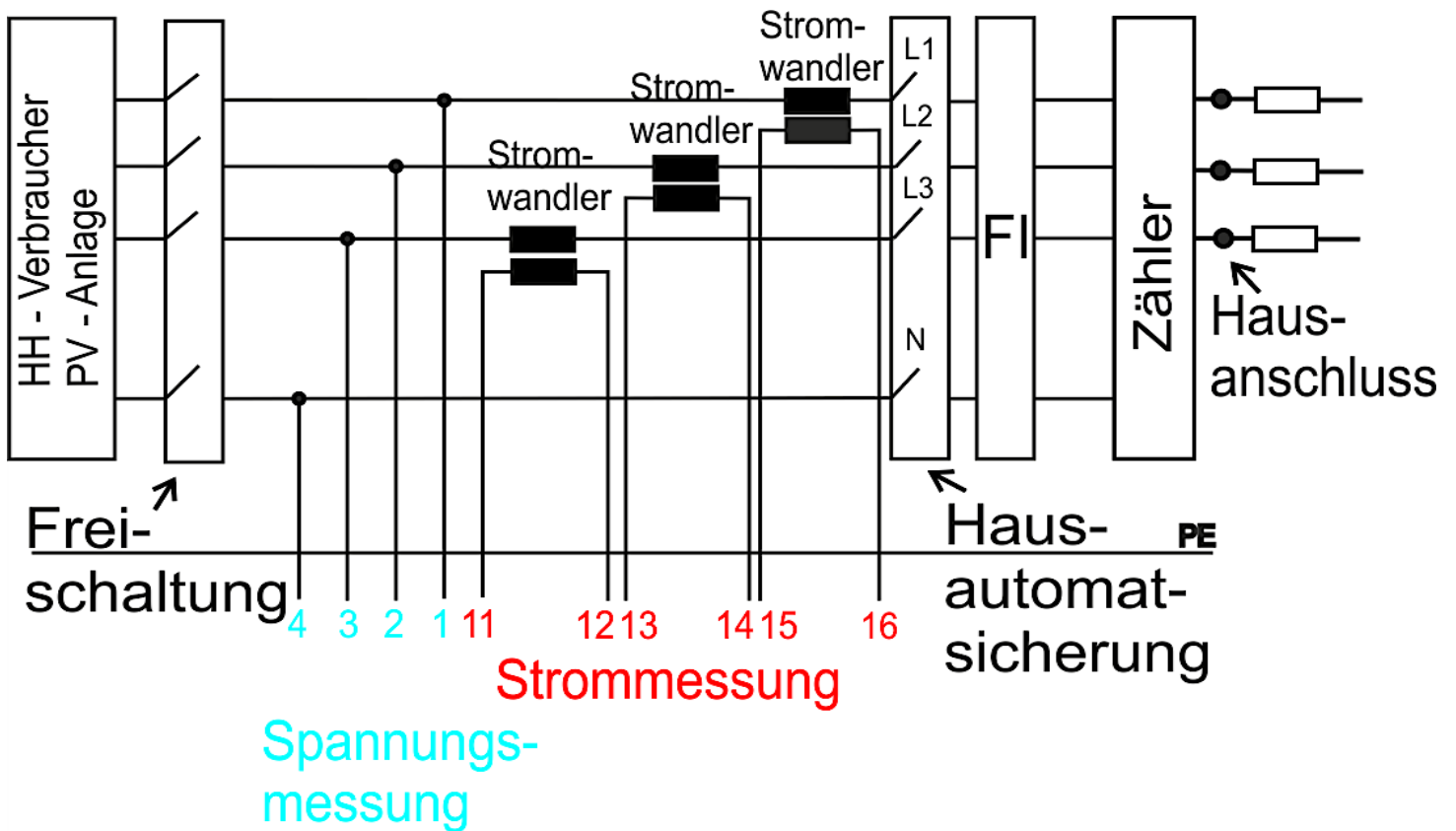


Abbildung 48: Leistungsmessung

Die Leistungsmessung für den Modellaufbau soll für 230 V AC und 6,3 A ausgelegt sein. Die Dimensionierung erfolgt für drei Phasen, der Versuch wird jedoch nur einphasig durchgeführt.

7.2.1 Aufbau der Leistungsmessung

Der Aufbau der Leistungsmessung basiert auf der Diplomarbeit von Xiaonan Li „Umrichter geeignete Leistungsmessung und Sensoren für Spannung und Strom im weitem Frequenzbereich“ (Li, 2009). In Abbildung 49 ist die Gesamtfunktion mit Regelung des Systems schematisch dargestellt.

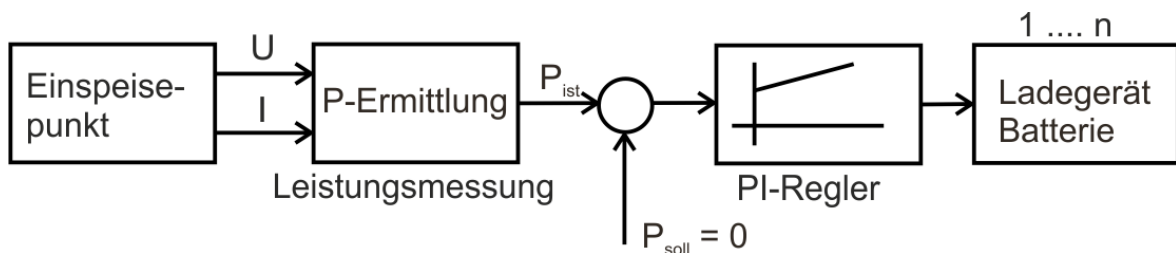


Abbildung 49: Regelstruktur des Systems

Die Leistungsmessung ist als bidirektionaler Zähler ausgelegt und kann somit den Energiefluss in und aus dem Netz erfassen. P_{ist} (momentan Leistung) wird mit den Spannungen, die aus der Strom- und Spannungsmessung geliefert werden, in einem elektronischen Multiplizierer ermittelt. Der Regelmechanismus für die Leistung ist so ausgelegt, dass die gesamte erzeugte Energie im System verbraucht wird, indem den Batterien ein entsprechender Ladestrom vorgegeben wird.

P_{ist} = momentan Leistung

P_{soll} = Leistungssollwert

$P_{\text{ist}} = P_{\text{soll}} = 0$ Idealzustand, es wird die ganze erzeugte Energie verbraucht

$P_{\text{ist}} < P_{\text{soll}}$ Leistung wird vom öffentlichen Netz bezogen

$P_{\text{ist}} > P_{\text{soll}}$ Leistung wird in das öffentliche Netz geliefert

Primär wird die Energie über die USV zu den Verbrauchern geleitet. Wenn keine Energie von den Verbrauchern benötigt wird, wird die gesamte PV – Energie zum Laden der Batterie verwendet ($P_{\text{ist}} = P_{\text{soll}}$). Erst bei Überschuss wird Energie in das öffentliche Versorgungsnetz geleitet ($P_{\text{ist}} > P_{\text{soll}}$) und die Batterien sind voll. Bei Erzeugungsdefizit wird zuerst die Energie aus den Batterien verwendet. Bei unzureichender Energie in den Batterien (Spannung an unterer Entladeschwelle) wird aus dem Versorgungsnetz Energie bezogen ($P_{\text{ist}} < P_{\text{soll}}$).

In den folgenden Kapiteln werden die einzelnen Komponenten der Leistungsmessung im Detail beschrieben.

7.2.1.1 Spannungs- und Strommessung

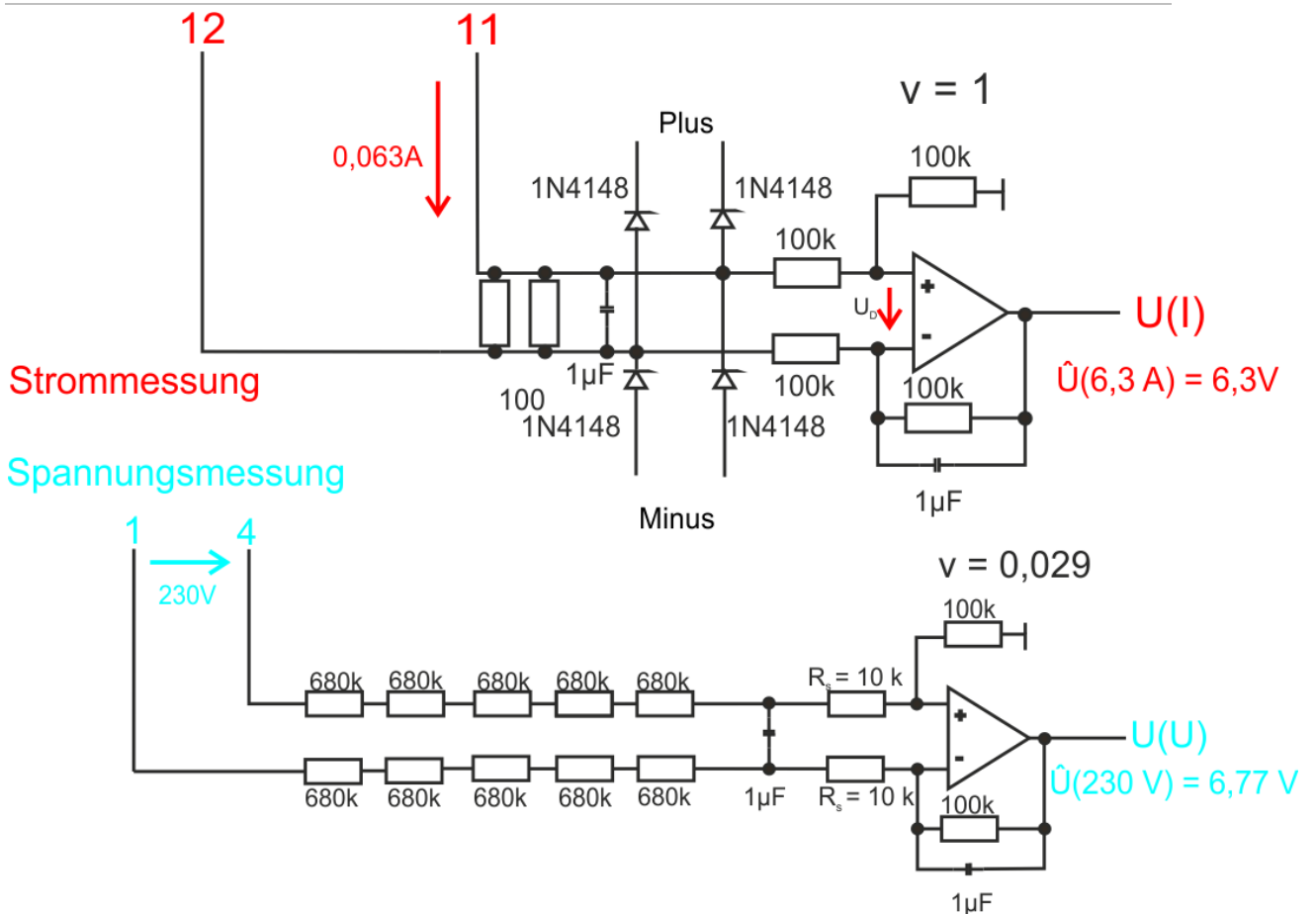


Abbildung 50: Strom- und Spannungsmessung

Strommessung

Der Strom wird über einen Stromwandler mit dem Übersetzungsverhältnis $\hat{u} = 1/100$ geleitet. Da kein Stromwandler vorhanden war, ist ein einphasiger Ringkerntrafo dafür umgebaut worden. Durch in – Serie – Schalten der vorhandenen Primär- und Sekundärseite und Aufbringung zusätzlicher Windungen ist das Übersetzungsverhältnis $1/100$ erreicht worden.

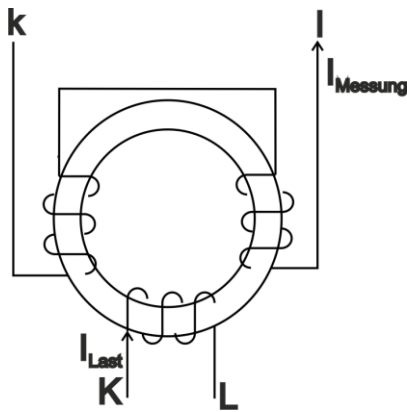


Abbildung 51: Sperrwandler

Der maximale Strom beträgt im Modell 6,3 A. Mit Hilfe von 22 Stück 2,2 kΩ Widerständen in Parallelschaltung sollte ein Widerstandswert von exakt 100 Ω erreicht werden. Der Spannungsabfall an den Widerständen wird über einen Differenzverstärker mit der geforderten Verstärkung von 1 in eine stromproportionale Spannung umgewandelt. Somit ergibt sich bei einem Strom von 6,3 A eine OPV – Ausgangsspannung von 6,3 V.

$$U_D = R * I$$

$$U(I) = U_D * \frac{R_2}{R_1}$$

Inbetriebnahme der Strommessung

Stromwandler	I_{ist} [A]	U_{soll} [V]	U_{ist} [V]	Abweichung [%]
1 für die Phase 1	4,71	4,71	4,82	+2,34
2 für die Phase 2	4,71	4,71	4,81	+2,12
3 für die Phase 3	4,71	4,71	4,81	+2,12

Tabelle 12: Abweichung der Strommessung

Der maximale Fehler zwischen dem errechneten Wert und der Spannung des Stromwandlers 1 liegt bei +2,34%. Die Abweichung wird auf die Schwankungen der Widerstandswerte und auf den Laboraufbau zurückgeführt.

Spannungsmessung

Die Spannungen der einzelnen Phasen (1, 2, 3) werden gegen den Neutralleiter (4) gemessen. Hierbei wird die Phasenspannung von 230 V AC über einen OPV, der als Differenzverstärker ausgeführt ist, abgegriffen. Durch $5 \times 680 \text{ k}\Omega$ ($= 3,4 \text{ M}\Omega = R_1$) in Serie am invertierenden und nicht invertierenden Eingang ergibt sich eine Verstärkung von 0,0294. Somit ergibt sich für 230 V_{eff} einen OPV – Ausgangsspannung von 6,765 V_{eff} AC.

$$U(U) = U_{14} * \frac{R_2}{R_1}$$

Inbetriebnahme von Spannungsmessung

Mit einer Eingangsspannung von 10,4 V DC erhält man den rechnerischen Wert für die Ausgangsspannung von 304,4 mV. In der folgenden Tabelle sind die Abweichungen der Ausgangsspannung zur Eingangsspannung für alle drei Phasen dargestellt.

Phase	U _{soll} [mV]	U _{ist} [mV]	Abweichung [%]
1	304,4	303,54	+0,05
2	304,4	305,52	+0,37
3	304,4	301,35	-1,01

Tabelle 13: Abweichungen der Spannungsmessung

Der maximale Fehler zwischen dem errechneten Wert und der Spannung der Phase 3 liegt bei -1,01%. Diese Abweichung liegt innerhalb der Toleranz von $\pm 1,5\%$ und ist für den Laboraufbau akzeptabel.

7.2.1.2 Multiplikation

Die Ausgangsspannungen der Strom- und Spannungsmessung werden in einen Multiplizierer IC (AD633) in eine Spannung multipliziert, wobei jeweils 10 V an den Eingängen auch 10 V am Ausgang ergeben, jeweils 5 V an den Eingängen 2,5 am Ausgang. Die Spannungen aller drei Phasen werden dann in einem Summierer und über ein Besselfilter zu einer Gesamtspannung addiert. Der Besselfilter

begrenzt dabei den Frequenzgang und ist als Tiefpass 2. Ordnung realisiert (Berechnung des Besselfilters im Anhang). Der nachgeschaltete Invertierer korrigiert das Vorzeichen der Spannung.

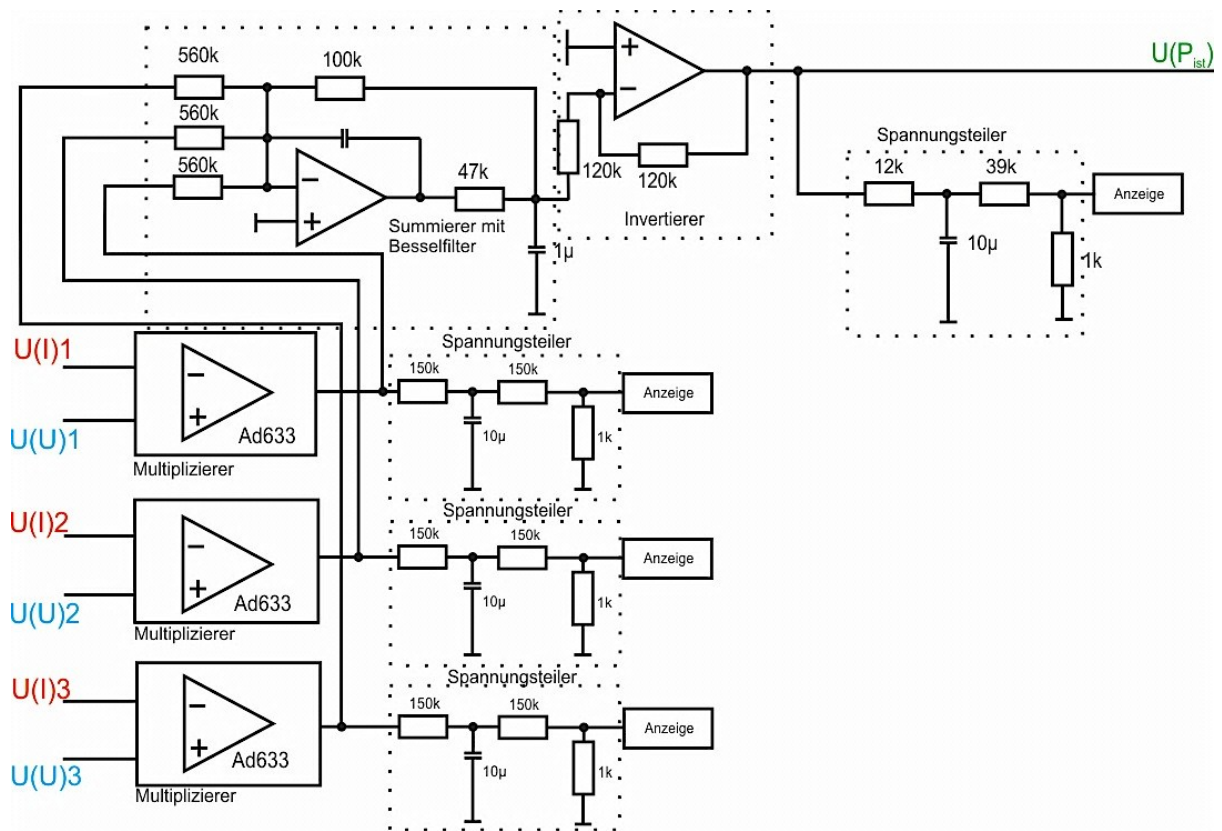


Abbildung 52: Multiplikation

Um die momentane Leistung darstellen zu können, sind nach den OPVs (AD633) und dem Invertierer jeweils eine digitale Anzeige eingebaut worden. Dabei wird die Spannung über einen Spannungsteiler geleitet, damit eine ziffernmäßig korrekte Anzeige auf dem Display möglich ist (Verhältnis 1/10 gemäß Labormaßstab).

Inbetriebnahme der Multiplikation

Bei Eingangsspannungen für $U(I)$ und $U(U)$ von 8 V ergibt sich am Ausgang ein rechnerischer Wert von 6,4 V (vgl. Datenblatt AD633). Der OPV hat eine Abweichung von ca. 0,5%. Laut Datenblatt liegt der maximale Fehler bei 2%. Weiters ist in Tabelle 14 die Abweichung der digitalen Anzeige nach dem Spannungsteiler mit einem Multimeter verglichen worden. Dabei liegt der Fehler bei 1%. Auch dieser Wert ist für die Realisierung des Systems vertretbar.

IC AD633	U_{soll} [V]	U_{ist} [V]	$U_{\text{ist}}/ U_{\text{soll}}$ [%]	U_{Anzeige} [mV]	U_{soll} [mV]	$U_{\text{Anzeige}}/ U_{\text{soll}}$ [%]
1	6,4	6,43	+0,57	67,6	67,10	+0,75
2	6,4	6,43	+0,47	67,0	67,42	-0,62
3	6,4	6,44	+0,63	67,7	67,39	+0,46

Tabelle 14: Multiplizierer

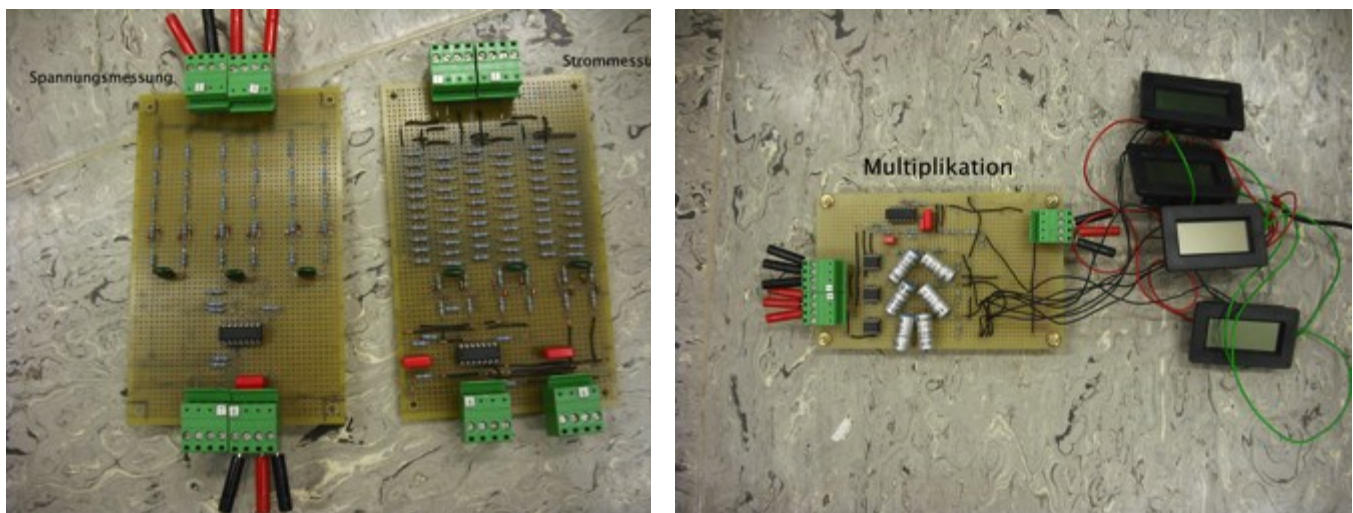


Abbildung 53: Platine mit Spannungs- und Strommessung, Multiplikator

7.2.2 Regelung des Systems

Die Realisierung der Regelung erfolgt über einen PI – Regler. Dieser ist durch einen invertierenden Verstärker (P – Regler), einem Integrierer (I – Regler) und einem Summierer aufgebaut. Nachdem der Leistungssollwert 0 ist, wird der Istwert bei Energiedefizit direkt mit einem negativen Vorzeichen versehen. Die Stellgröße (Regler Ausgangssignal) geht direkt in den Optokopplereingang der Ladeeinrichtung.

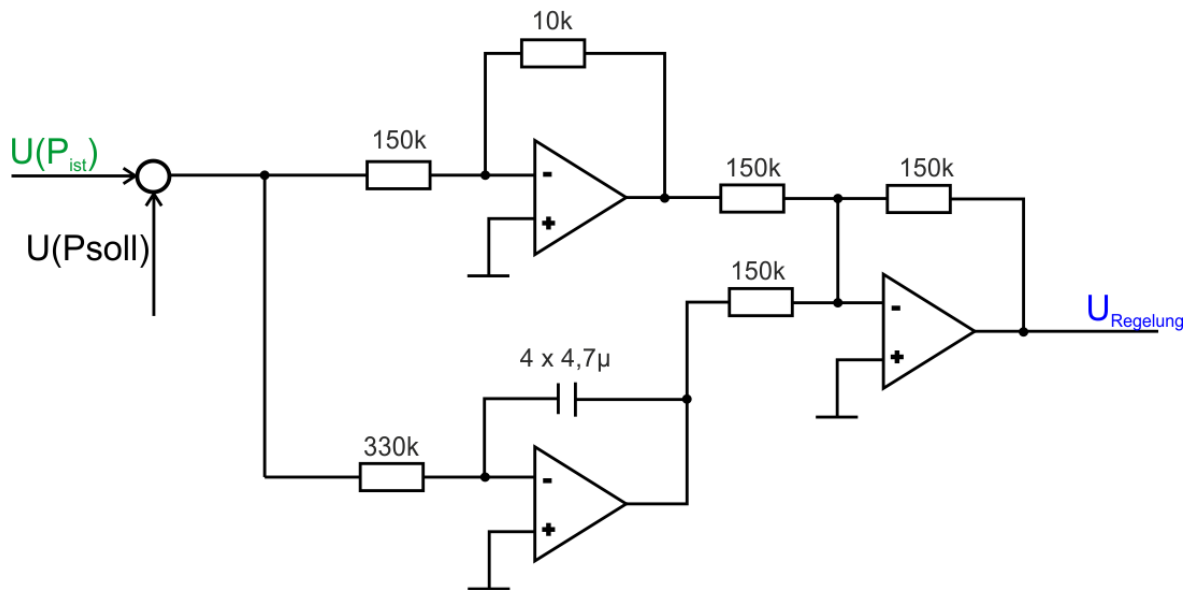


Abbildung 54: PI - Regler

Der Regelmechanismus setzt sich wie folgt zusammen:

P_{soll} soll am Einspeisepunkt 0 sein. Es wird angestrebt, dass zwischen den öffentlichen Versorgungsnetz und der Hausanlage kein Energieaustausch stattfindet, dabei jedoch alle Haushaltsverbraucher versorgt werden.

Es sind folgende Zustände möglich:

$P_{ist} = P_{soll}$: Der Idealzustand des Systems. Es wird keine Energie vom Netz bezogen bzw. in das Netz geschickt

$P_{ist} > 0$:

Batterien sind leer: Es kommt zur Ladung der Batterien.

Batterien sind voll: Es wird die überschüssige Energie in das Netz gespeist. Der Netzbetreiber kauft dem PV – Betreiber Strom ab.

$P_{ist} < 0$:

Batterien sind leer: Es muss Strom aus den Netz bezogen werden. Der PV – Betreiber muss vom Netzbetreiber Strom zukaufen.

Batterien sind voll: Die gebrauchte Energie muss aus den Batterien genommen werden, somit wird sich auch $P_{ist} = P_{soll} = 0$ einstellen, sofern die USV dazu in der Lage ist.

7.2.3 Strom-, Spannungsladegeräte für die Batterie

Um die Batterie gezielt laden zu können, ist ein Schaltnetzteil CONARC 6030-6510-0000 gekauft und erweitert worden. Der Schaltplan befindet sich im Anhang. Die technischen Daten sind:

Eingang: 200 -264 V AC

Ausgang 5V Standby/ 0,02A

5V/ 2A

12V/ 0,7A

24V/ 1A

12V/ 8,5A

7.2.3.1 Aufbau des Ladegerätes

Das Schaltnetzteil funktioniert nach dem Prinzip eines Sperrwandlers und stellt 12 V bei 8,5 A zur Verfügung. Da dies für die Ladung von Bleiakkus zu wenig Spannung ist, muss die Ausgangsspannung erhöht werden. Dies kann mit einem zusätzlichen Parallelwiderstand mit 10 k Ω beim Referenzspannungs – IC ermöglicht werden, da die Referenzspannung U_{Ref} und damit auch die Einsetzspannung mit Verringerung von R_2 erhöht wird (vgl. Schaltplan im Anhang)

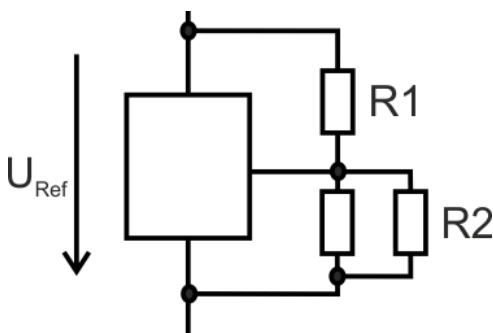


Abbildung 55: Parallelwiderstand für IC auf Baugruppe

Die Leerlaufspannung steigt somit auf 13,62 V und ist somit ausreichend hoch für die Ladung der Batterie, gleichzeitig auch die Ladeschlussspannung.

Um für die ersten Versuche ein geregeltes Einschalten zu gewährleisten ist ein zusätzlicher Kippschalter auf die Baugruppe gelötet worden. Weiters ist noch eine

Leuchtdiode eingebaut worden, um den Zustand des Ladegerätes überwachen zu können. Die Höhe der Versorgungsspannung beträgt 5 V.

Da bei leeren Batterien die Spannungsladung zu Überströmen führt und somit nicht ausreicht, ist eine stromgesteuerte Ladevorrichtung konstruiert und mit dem Schaltnetzteil verbunden worden. Die Versorgung der Stromladung (Abbildung 57) erfolgt über das Schaltnetzteil. Die Verbindung der Stromladung zur Baugruppe erfolgt über einen zusätzlichen Optokoppler (Op2).

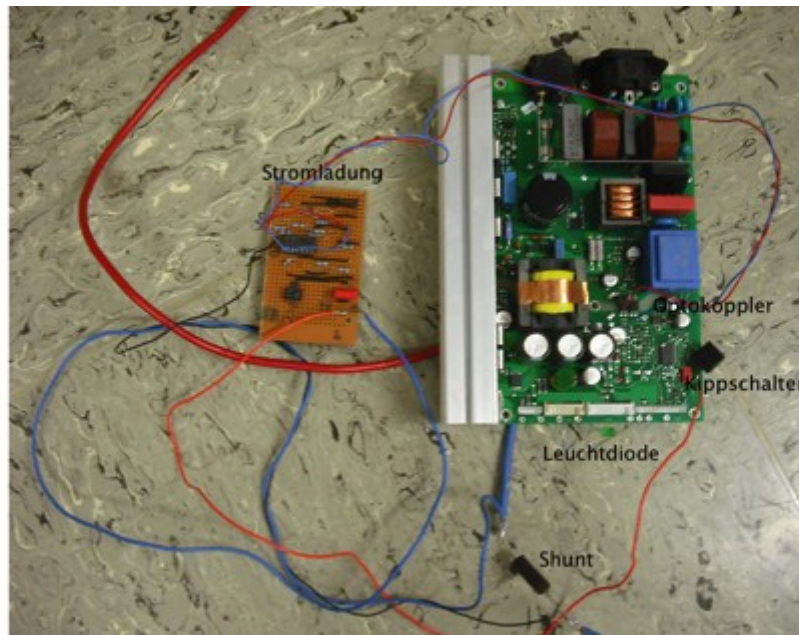


Abbildung 56: Ladegerät

Funktionsweise:

Die Regelausgangsgröße gibt dem Ladegerät über eine Optokoppler (Op1) den Befehl, den Ladevorgang zu starten. Ist zu wenig Spannung in der Batterie, beginnt das Ladegerät mit der Stromladung. Erst wenn die Ladeschlussspannung in der Batterie vorhanden ist, geht der Strom zurück, es beginnt die Spannungsladung. Die Information über den Strom zur Batterie bekommt das Ladegerät über den Shunt ($10\text{ m}\Omega$), der sich zwischen dem Minuspol der Batterie und der Baugruppe befindet.

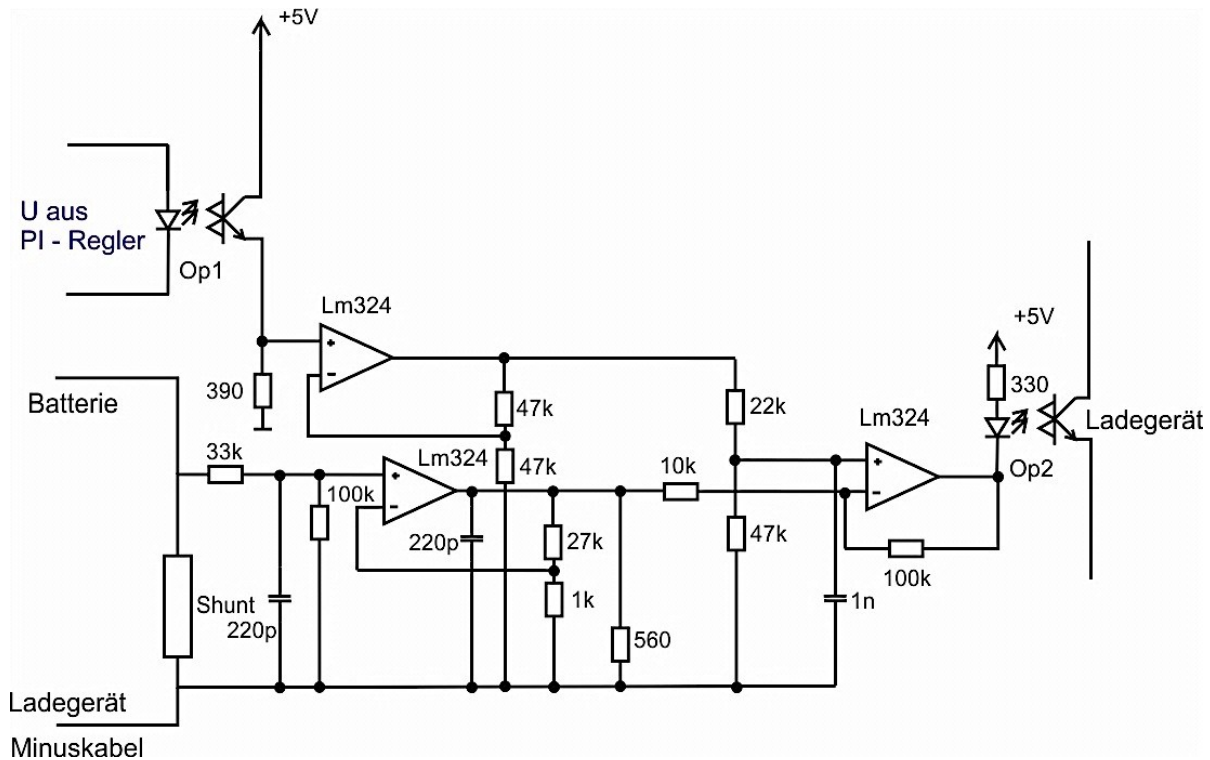


Abbildung 57: Stromladung

Die Platine und die Stückliste der Stromladung befinden sich im Anhang.

7.2.3.2 Inbetriebnahme des Ladegerätes

Für die Inbetriebnahme der Ladegeräte sind die Batterien zusammen mit den Baugruppen einzeln getestet worden.

Batterie + Baugruppe	U am Netzgerät [V]	Steuerstrom [mA]	I am Netzgerät [mA]	Maximalstrom [A]
14 + 1	4,95	4,98	2,62	10
9 + 2	4,93	4,34	2,6	10,6
15 + 3	5,05	4,8	2,74	10,1
12 + 4	5,05	4,83	2,79	10,6
10 + 5	5,04	4,93	2,72	9,93

Tabelle 15: Inbetriebnahme der Ladegeräte

Die Tabelle zeigt gute Übereinstimmungen zwischen Spannungsvorgabe (= Reglereingangssignal), Steuerstrom und Batteriestrom.

7.3 Die Inbetriebnahme des Systems

Nun werden jetzt alle Komponenten zusammengeschaltet. Das Labormodell ist fertig aufgebaut und wird in Betrieb genommen.

7.3.1 Reihenschaltung der Batterie

Das Zusammenschalten der Batterien erfolgt über Sicherheitswiderstände, um mögliche mit der Schalthandlung verbundene hohe Ausgleichsströme z.B. bei fehlerhafter Polarität zu verhindern. Wenn kein Strom zwischen den Batterien fließt, gibt es keinen Spannungsabfall und somit kann der Widerstand wieder entfernt werden.

7.3.2 Der Aufbau

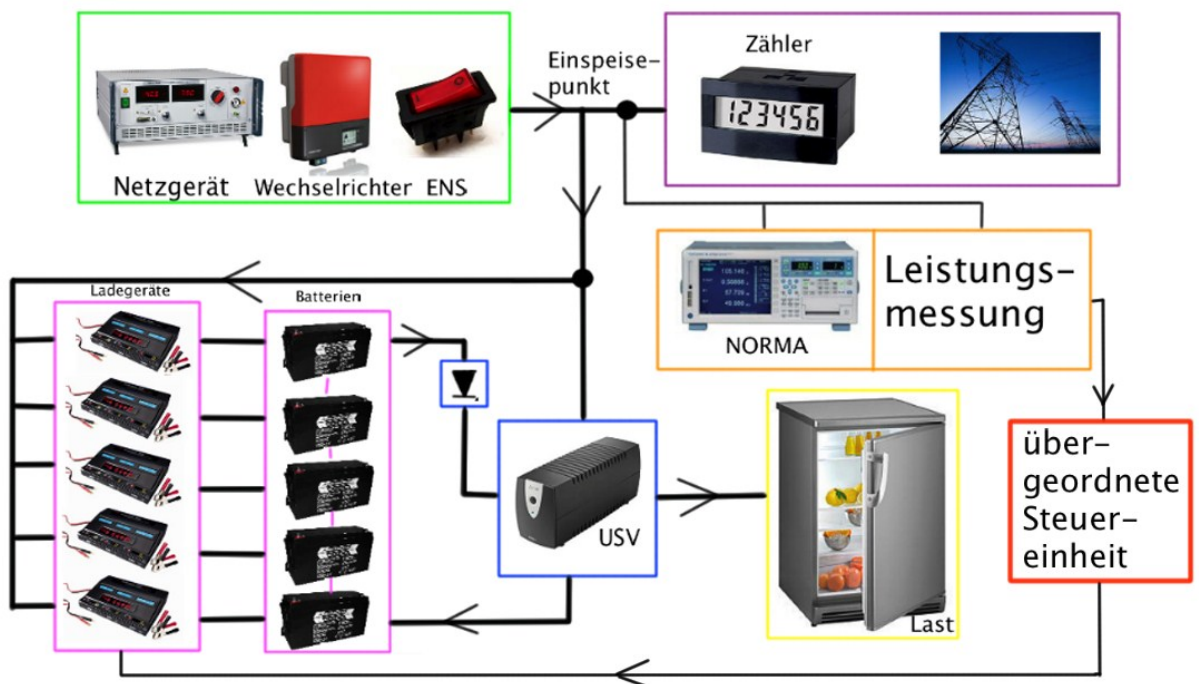


Abbildung 58: Laboraufbau

Netzgerät: Anstelle einer PV – Anlage sind im Labormodell zwei Netzgeräte parallel geschaltet worden. Die Maximalwerte dieser Netzgeräte sind 36 V und 25 A. Somit kann eine PV – Anlage mit $900 \text{ W}_{\text{peak}}$ nachgebildet werden.

MPPT/ WR/ ENS: Als Wechselrichter mit Maximum Power Point Tracking und ENS ist ein Wechselrichter für PV – Anwendung der Firma WÜRTH verwendet worden.



Abbildung 59: Wechselrichter

Leistungsmessung: Als zweite Leistungsmessung für Anzeigezwecke dient eine digitale Leistungsmessung NORMA 3000.

USV: Als USV ist ein Gerät der Firma Siemens verwendet worden. Der in der USV vorhandenen Batteriespeicher wurde durch den vorher zusammengesetzten Batteriesatz (67,5 V) ersetzt. Als Last wurde ein verstellbarer Widerstand verwendet. Mit einer Spannung von 230 V konnte eine Leistung bis 900 W eingestellt werden.

Betriebsarten der USV:

Online – Betrieb: Die USV bekommt entweder vom Netz oder der PV – Anlage Energie. Prinzipiell fließt die Energie vom Gleichrichter in die Batterie (wenn nötig) und über den Wechselrichter zu den Verbrauchern.

Bypass – Betrieb: Die Umrichter der USV werden nicht verwendet. Die Verbraucher werden direkt versorgt. Somit fallen die Verluste der Umrichter weg.

Batteriebetrieb: Die Versorgung der Verbraucher läuft über die Batterie und den Wechselrichter der USV.



Abbildung 60: USV mit eingebauter aber nicht verwendeten Batterien (5 Stück 12 V je 7 Ah)

Last: Verstellbar Widerstände von 0 – 900 W.

7.3.3 Inbetriebnahme

1.) Testen der Ladeeinrichtung mit allen fünf Batterien

Nachdem die Batterien und die Ladegeräte verbunden worden sind, ist die Funktionsfähigkeit überprüft worden. Aufgrund des Entladungszustandes sind die Batterien mit einem sehr kleinen Strom geladen worden. Die vom Netzgerät vorgegebene Spannung ist über den Optokoppler (Op1) an die Ladeeinrichtung übergeben worden. Der Ladestrom aller fünf Batterien beträgt durchschnittlich 1,23 A.

2.) Vermessung des Wechselrichters

Das Netzgerät speist 0 – 900 W in den Wechselrichter. Für die Messung der abgegebenen Leistung wird ein NORMA angeschlossen. Somit kann die Eingangsspannung und die Ausgangsspannung am Wechselrichter verglichen werden.

Wirkungsgrad des Wechselrichters:

$$\eta = \text{Ausgangsleistung} / \text{Eingangsleistung}$$

Eingangsleistung [W]	Ausgangsleistung [W]	η
105,3	94,5	0,9
125,65	112,1	0,89
453,75	376,32	0,83
616,1	524,6	0,85
838,95	689,51	0,82
900 (Maximalwert)	713,3	0,79

Tabelle 16: Wirkungsgrad Wechselrichter

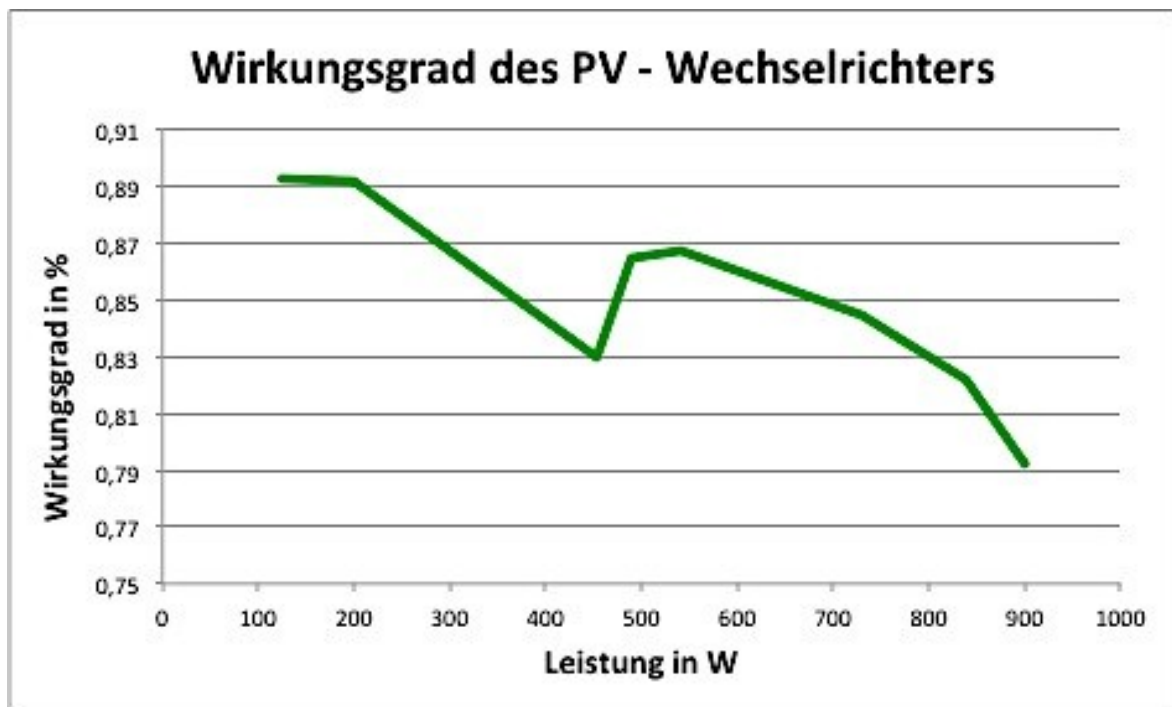


Abbildung 61: Wirkungsgrad des Wechselrichters

Die Abbildung zeigt, dass sich bei steigender Leistung der Wirkungsgrad des Wechselrichters verringert.

3.) Vermessung der USV

Bei der Vermessung der USV sind Netz- bzw. Batteriebetrieb miteinander verglichen worden.

Vermessung der USV über den Leistungswirkungsgrad bei Netzbetrieb:

$$\eta = \text{Ausgangsleistung} / \text{Eingangsleistung}$$

Eingangsleistung [W]	Ausgangsleistung [W]	η
1,8	0	0
405,42	306,86	0,76
874,78	689,86	0,79
681	521,2	0,77
699	532,67	0,76
960,38	767,53	0,8
1038	836,47	0,8

Tabelle 17: Wirkungsgrad USV Netzbetrieb

Der Wirkungsgrad der USV im Batteriebetrieb:

Eingangsleistung [W]	Ausgangsleistung [W]	η
691,13	0	0
366,14	277,3	0,76
718,88	583,91	0,81
645,18	519,22	0,81
941,76	818,39	0,87
1016,39	832,65	0,82

Tabelle 18: Wirkungsgrad USV Batteriebetrieb

Aus Tabelle 17 und Tabelle 18 ist ersichtlich, dass die Verluste zum größten Teil im Wechselrichter anfallen.

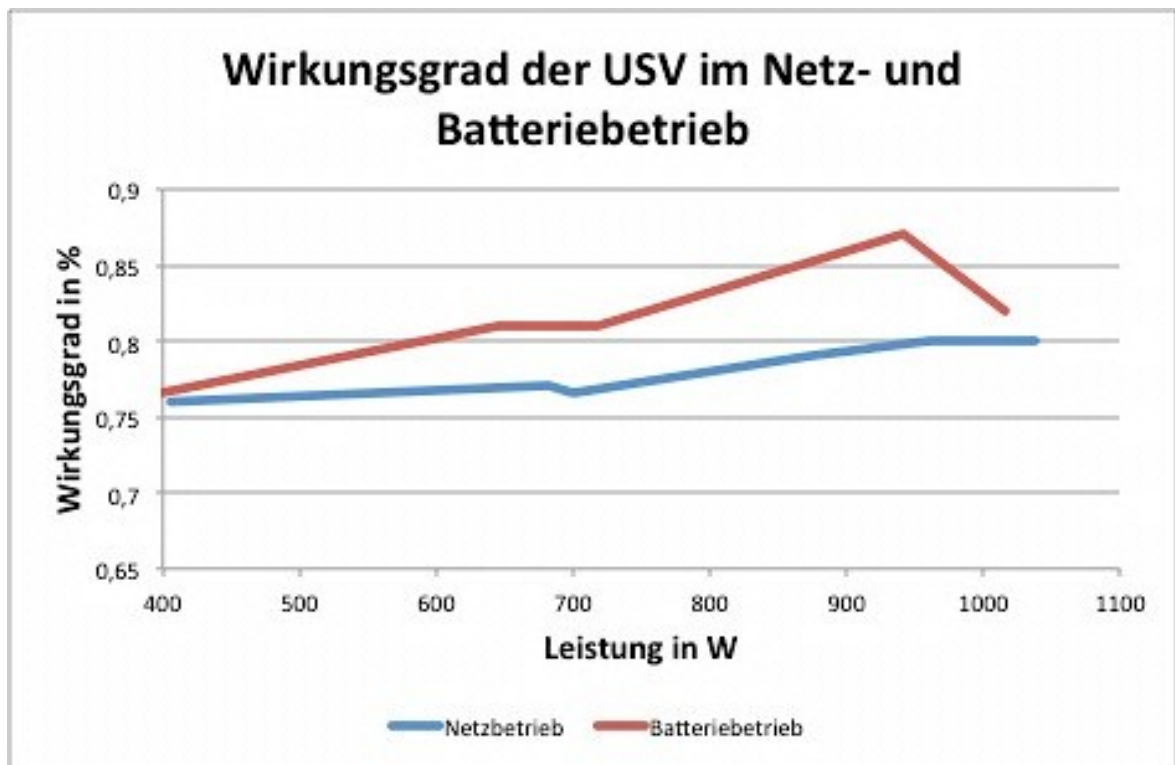


Abbildung 62: Wirkungsgrad der USV

Die Abbildung 61 zeigt, dass der Wirkungsgrad für den Batteriebetrieb besser ist als der des Netzbetriebes. Dies lässt sich damit erklären, dass die Leistung bei Netzbetrieb zweimal umgerichtet wird und so mehr Verluste aufweist.

4.) Inbetriebnahme der Regelung

Beim Testen wurde nur der I – Anteil der Regelung verwendet. Weiters ist der Integriererkondensator von $4 \times 10 \mu\text{s}$ auf $1 \times 10 \mu\text{s}$ verkleinert worden.

Aufgetreten Probleme während der Inbetriebnahme des Systems:

- Oberschwingungsbelasteter Sinusverlauf

Das Testen der einzelnen Komponenten erfolgte mit dem Netzgerät. Beim Anschluss an die Wechselspannung sind unerwartete Probleme aufgetreten. Das Ausgangssignal der Leistungsmessung war so stark überschwingungsbelastet, dass der PI – Regler nicht korrekt regeln konnte. Nach der Überprüfung mit dem Oszilloskop konnte festgestellt werden, dass der Mittelwert der Regelung den geforderten Sollwert von 0 hatte, der Augenblickswert bewegte sich heftig um 0. Mit diesem Signal konnte die Regelung nicht korrekt regeln.

- Ladegeräte beginnen bei zu hoher Spannung sich ein- und auszuschalten

Da bereits die Regelung ein überschwingungsbelastetes Signal bekommt, wird dieses auch an die Ladegeräte weitergegeben. Beim Erreichen einer Grenzspannung von 10,5 V beginnen sich die Ladegeräte in schnellem Wechsel ein- und auszuschalten. Um dieses Problem in den Griff zu bekommen, sind weitere Kondensatoren zur Glättung in die Stromladung eingebaut worden.

Eine weitere Möglichkeit, woher dieses Ein- und Ausschalten kommen kann, sind elektromagnetische Beeinflussungen (EMV). Unter den Begriff versteht man Störsignale, die den einwandfreien Betrieb anderer elektrischer Bauteile stören können. Mögliche Störquelle können Widerstands-, kapazitive-, induktive- und Strahlungskoppelungen sein. (Schlien, 2009).

7.4 Ergebnisse

Um die Funktionsfähigkeit des Systems darzustellen, sind an drei Messpunkten Diagramme mit einem Oszilloskop aufgenommen worden. Der Erste befindet sich nach dem Wechselrichter, der Zweite nach der USV und der Dritte zwischen Ladegerät und Batterie.

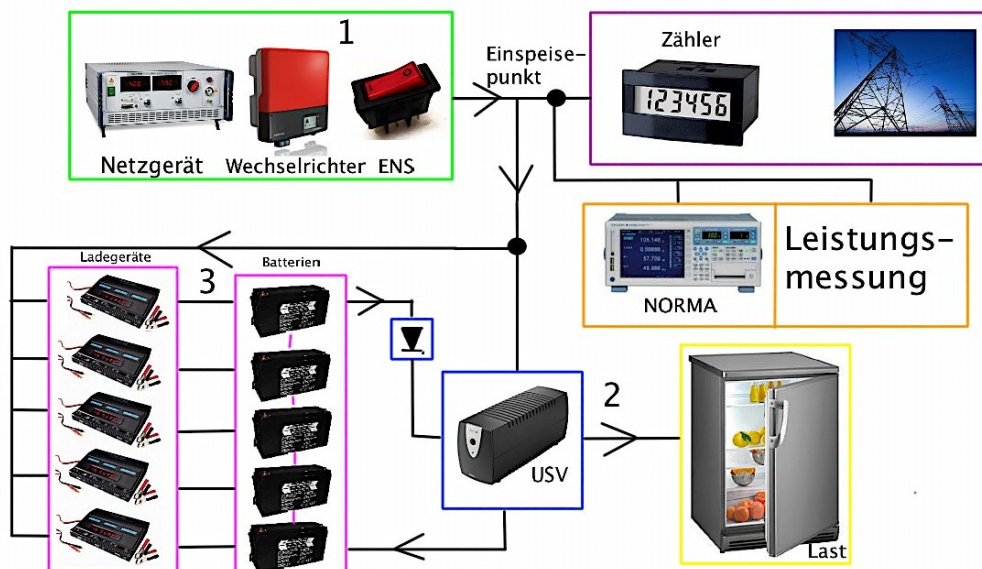


Abbildung 63: Messpunkte

7.4.1 Strom- und Spannungsverlauf der USV am Ausgang

Zuerst werden die Strom- und Spannungsverläufe beiden Betriebsarten der USV am Ausgang gegenübergestellt.

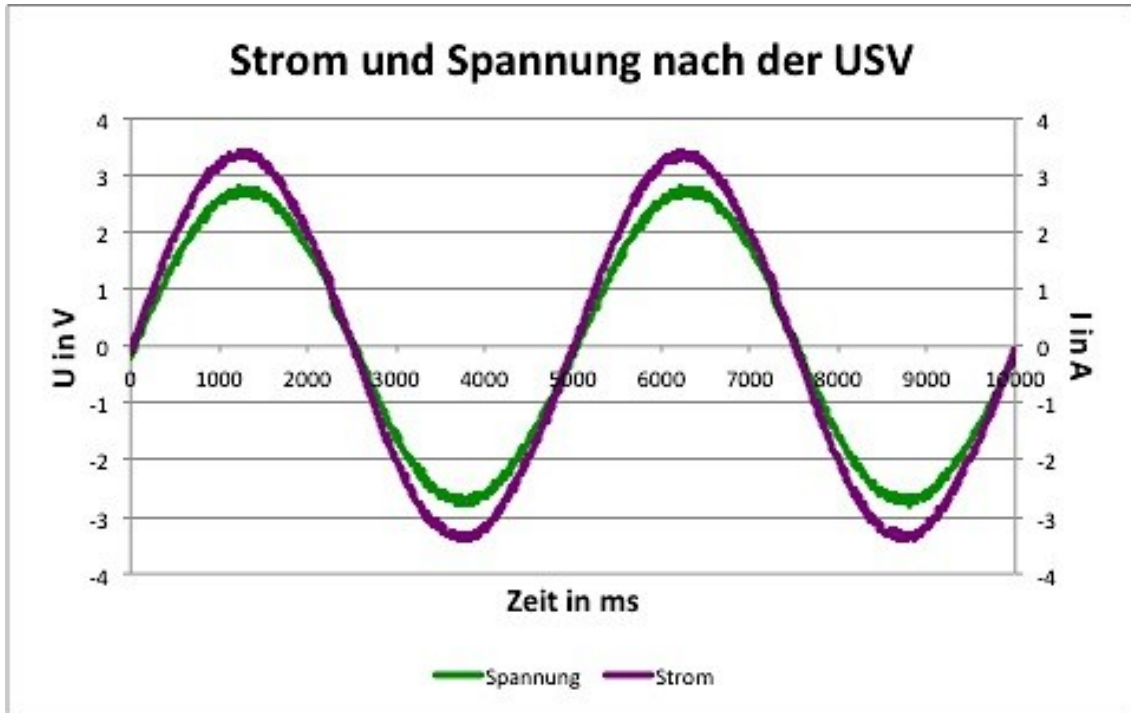


Abbildung 64: Strom und Spannung nach der USV

Beim Vergleich von Netzbetrieb und Batteriebetrieb ist kein Unterschied an den Verläufen zu erkennen.

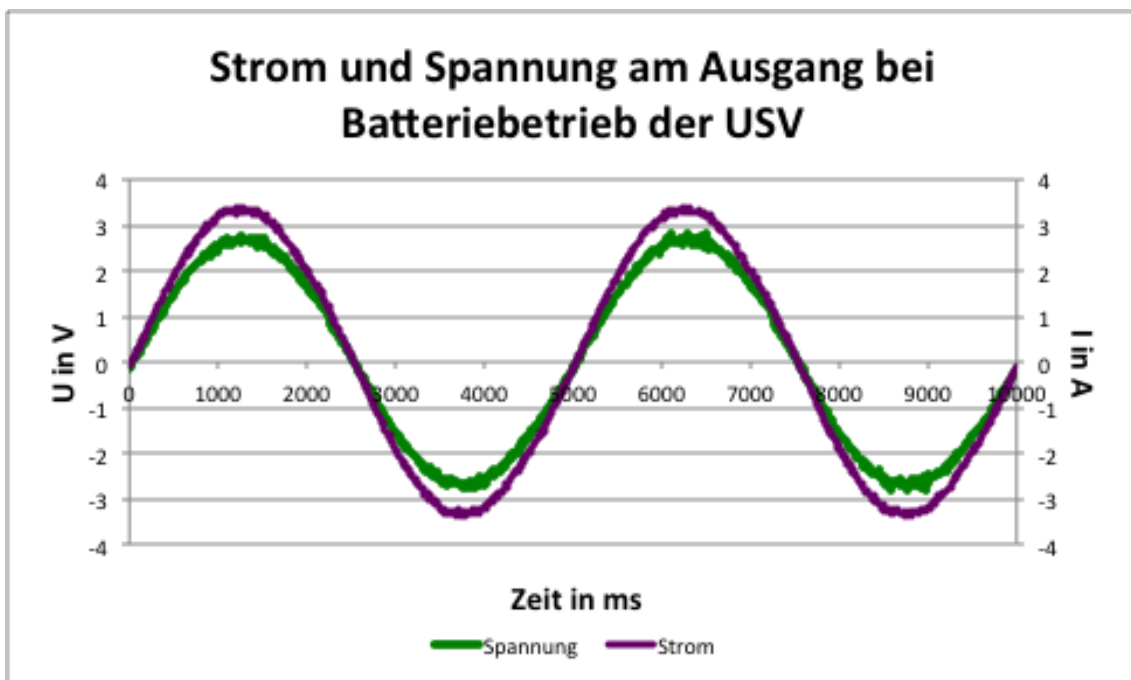


Abbildung 65: Strom und Spannung am Ausgang der USV im Batteriebetrieb

Als Vergleich ist in Abbildung 66 der Strom- und Spannungsverlauf am Eingang der USV dargestellt. Man kann erkennen, dass beide Verläufe einen stark verzerrten Sinusverlauf darstellen.

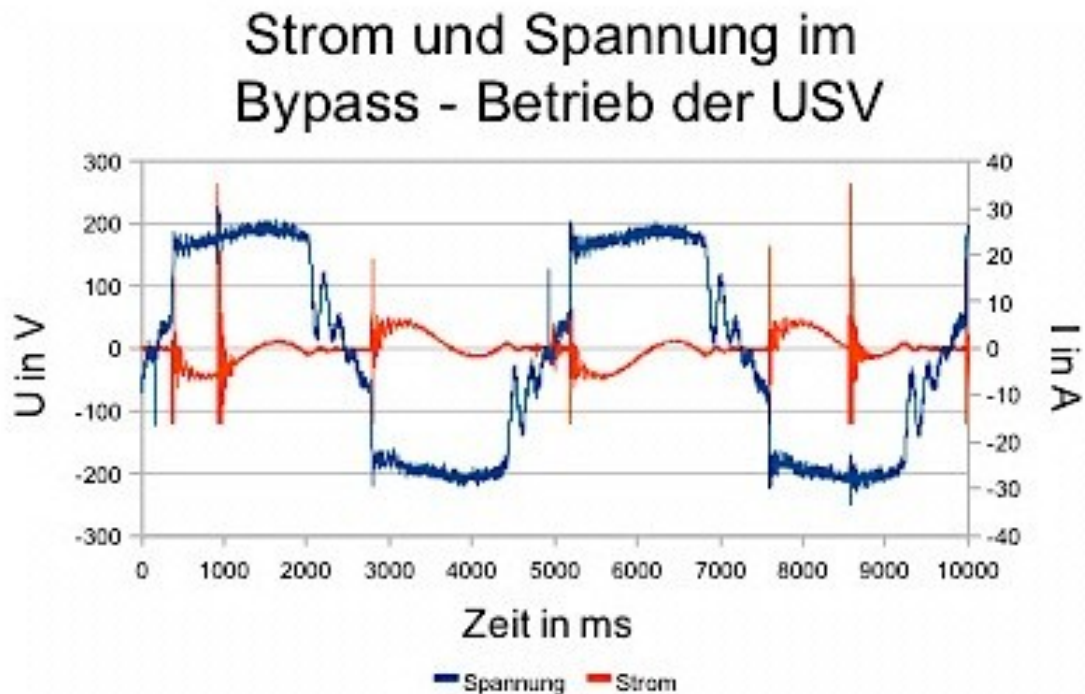


Abbildung 66: Strom und Spannung am Eingang im Bypass – Betrieb der USV

Somit kann durch Verwendung der USV der Sinusverlauf über den eingebauten Gleichrichter und Wechselrichter geglättet werden.

7.4.2 Strom- und Spannungsverlauf beim Laden der Batterie

Abbildung 67 zeigt das Verhalten von Strom und Spannung während des Ladevorganges der Batterie. Die Ladung erfolgt mit ungefähr 3 A.

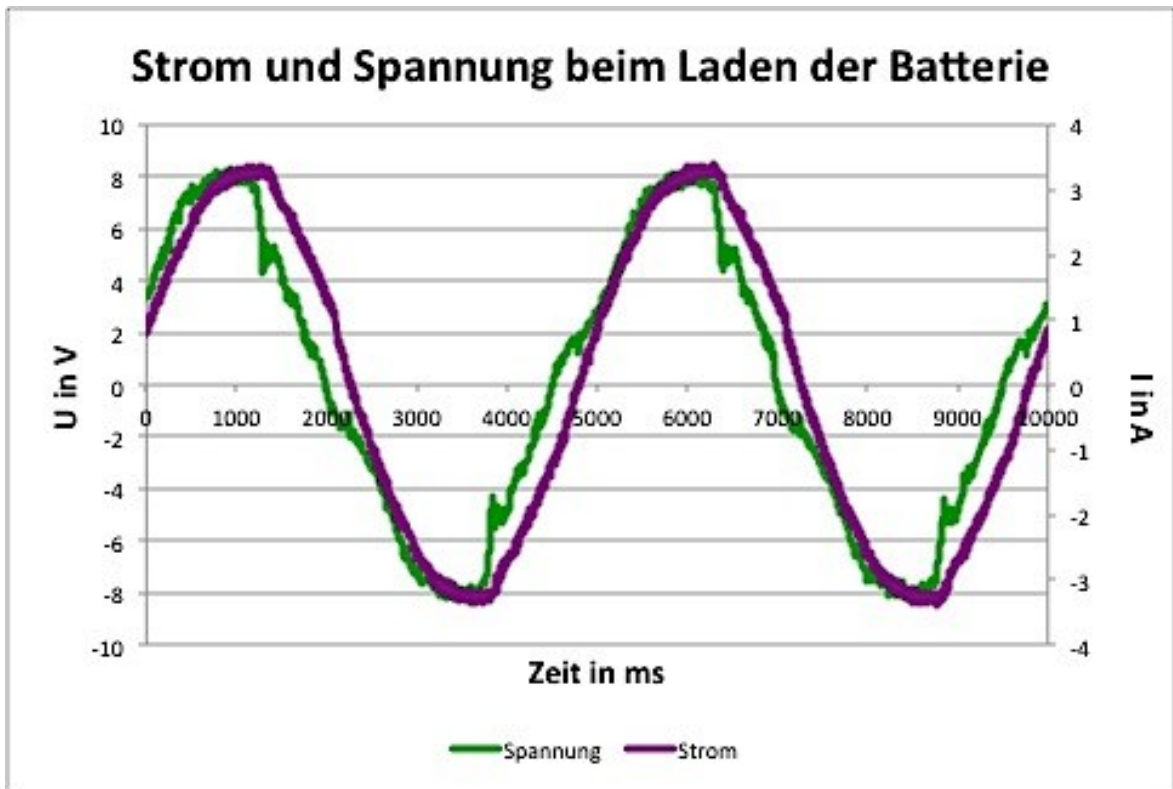


Abbildung 67: Strom und Spannung bei Laden der Batterie

Das Ladegerät wies eine im üblichen Rahmen funktionierende, aktive „Power – Factor – Correction“ (PFC) auf. In weiteren Versuchen mit geänderter PV – Einspeisung und variablen Lasten ist gezeigt worden, dass das System für die Speicherung von Energie funktioniert und der Regelvorgang korrekt erfolgt. Im Rahmen dieser Arbeit erfolgte keine zeitliche Optimierung des Systems.

8 Zusammenfassung

8.1 Zusammenfassung

Das Ziel dieser Masterarbeit ist es, ein Modell für die örtliche Speicherung elektrischer Energie im Zusammenhang mit einer PV – Überschussanlage zu entwerfen.

Zu Beginn der Arbeit sind die Einflussfaktoren rund um eine PV – Anlage diskutiert worden. Dies betrifft vor allem die Größe der Anlage, das Wetter bzw. die Klimazonen in Österreich, das Speichermedium und die rechtliche Sichtweise zum Thema „Speicherung von Energie“. Die Auslegung der PV – Anlage ist meist von den Förderungen und von den baulichen Möglichkeiten des Betreibers abhängig. Die Ausnutzung ist wiederum vom vorherrschenden Klima bzw. Wetter abhängig. Es ist Fakt, dass der Süden und Osten mit der Anzahl der Sonnenstunden bevorzugt sind. Rechtlich gibt es keine Gesetze gegen die Speicherung von Energie. Als Speichermedium könnten natürlich auch andere Batterietypen oder Medien, wie Wasser oder Wasserstoff verwendet werden, aber das Preis – Leistungs – Verhältnis und die Handhabung von Bleibatterien sind vorteilhaft.

Danach ist gezeigt worden, nach wie vielen Jahren sich eine PV – Anlage mit Speichermöglichkeit amortisiert. Dabei konnte eine Amortisationszeit von 12 Jahren berechnet werden, die Nutzungsdauer ist aber auf 20 Jahre festgelegt. Dies bedeutet, dass sich die Investition in eine PV – Anlage sich auf jeden Fall rentiert.

Zuletzt erfolgte die Vorstellung bestehender und neu konzipierter Systeme. Das im Labor realisierte System besteht aus einer USV und Bleiakkus als Speichermedium. Nachdem alle Batterien getestet worden sind, ist das erste Ergebnis, dass man den Re – Use – Gedanken von alten Bleibatterien verwerfen kann. Für die Energiespeicherung ist es sinnvoll, Batterien mit einer annähernd gleichen Kapazität zu betreiben. Nach dem Testen der einzelnen Komponenten des Labormodelles ist das System im Maßstab 1 : 10 realisiert worden. Im Labor gelang es, Energie zu speichern und bei Bedarf die Energie an eine Last abzugeben, sowie im Rahmen der Systemgrenzen die Leistung am Netzanschlusspunkt auf 0 zu regeln.

8.2 Weiterentwicklungen

Einige Weiterentwicklungen sollten aber dennoch in Betracht gezogen werden.

Weiterentwicklung bei den Verbrauchern:

Zuerst sollten mit Hilfe einer intelligenten Steuerung kritische und nicht kritische Verbraucher entsprechend ihrer Priorität und zeitlichen gestaffelt geschaltet werden. Dabei wäre eine Möglichkeit, die Verbraucher ganz individuell mit Schaltungsprioritäten auszustatten. Die Auswahl könnte mit Hilfe variabler gesteuerter Frequenz realisiert werden.

Weiterentwicklung bei dem Aufbau:

Im Zuge des Laboraufbaues könnten noch einige Komponenten weiterentwickelt oder ausgetauscht werden. In erster Linie muss am Ladegerät gearbeitet werden. Die Ladegeräte sollten mit weiterer Intelligenz (z.B. kurzzeitiger Laden über der Garungsgrenze, um die Säureschichtung zu minimieren; Berücksichtigen der Batterietemperatur) ausgestattet werden. Eine andere Möglichkeit wäre ein Summenladegerät, das alle Batterien versorgt. Dieses Ladegerät müsste erkennen, in welchem Zustand sich jede einzelne Batterie befindet und so wissen, welche Batterie geladen werden muss und welche nicht.

Das EMV – Verhalten bei den Ladegeräten muss behoben werden. Dafür ist eine genaue Analyse der Geräte notwendig.

Weiterentwicklung: Realisierung

Der allerletzte Schritt wäre die Realisierung einer Musteranlage in einem Pilotprojekt. Da das Modell im Labor ohne weitere Probleme läuft, würde sich die Realisierung anbieten. So können dann reale praktische Erfahrungen gewonnen werden.

9 Literaturverzeichnis

- OBJ F. Braun, L. S. (25. 01 2009). *Elektronik 1 - Formelsammlung* . Abgerufen am 16. 04 2013 von <http://www.duensten.org/zf/Elo1.pdf>
- Österreich. (kein Datum). Abgerufen am 24. 04 2013 von <http://www.austria.info/at/wissenswertes-zu-oesterreich/klima-1090413.html>
- Österreich. (2008). BGBl 2 Nr. 159/2008. *Bundesgesetzblatt 2* .
- Österreich, L. (2011). *MODELLIERUNG DES STROMVERBRAUCHS IN DEN PRIVATEN HAUSHALTEN ÖSTERREICHS NACH UNTERSCHIEDLICHEN VERWENDUNGSZWECKEN*. Abgerufen am 21. 02 2013 von modellierung_des_stromverbrauchs_in_den_privaten_haushalten_oesterreichs.pdf
- A. Jossen, W. W. (2006). *Moderne Akkumulatoren richtig einsetzen* (1. Auflage Ausg.). Leipzig/ München: Inge Reichardt Verlag.
- Achleitner, N. (2012). *Österreichisches und Europäisches Energierecht - Energierecht für Nichtjuristen* (2. Auflage Ausg.). Graz: Verlag der Technischen Universität Graz.
- Böhmer, E. (2001). *Elemente der angewandten Elektronik* (13. Auflage Ausg.). Braunschweig: Vieweg & Sohn.
- E-Control. (kein Datum). *E - Control - Austria*. Abgerufen am 11. 03 2013 von <http://www.e-control.at/de/industrie/strom/smart-meter>
- E-control. (kein Datum). *Preisentwicklung*. Abgerufen am 19. 02 2013 von <http://www.e-control.at/de/statistik/strom/marktstatistik/preisentwicklung>
- E-Wirtschaft, Ö. (2012). *Österreichs E-Wirtschaft*. Abgerufen am 13. 03 2013 von http://oesterreichsenergie.at/EU-Vergleich_zeigt_günstige__Strompreise_in_Oesterreich.html
- Klaus Beuth, W. S. (1994). *Grundsaltungen* (12. Auflage Ausg.). Würzburg: Vogel.
- Li, X. (2009). *Umrichter geeignete Leistungsmessung und Sensoren für Spannung und Strom im weitem Frequenzbereich*. Leoben: Montan Universität.

Lindinger, M. (09. 29 2010). *ifea TU Graz*. Abgerufen am 21. 02 2013 von <http://www.ifea.tugraz.at/wp-content/uploads/2010/10/2-standby-heute-und-morgen-lindinger.pdf>

Oberösterreich, L. (2012). *Ökostromgesetz 2012*.

Oberösterreich, L. (2012). *Leitfaden 2012 für die Förderung von Photovoltaikanlagen in Oberösterreich*. Österreich: Land Oberösterreich.

Oberösterreich, L. (2006). *Oö. Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetz 2006*.

pvaustria. (kein Datum). *www.pvaustria.at*. Abgerufen am 22. 02 2013 von <http://www.pvaustria.at/content/page.asp?id=368>

Quaschnig, V. (2006). *Regenerative Energiesysteme, Technologie - Berechnung - Simulation* (4. Auflage Ausg.). Hanser.

Rasmussen, N. (2010). Die verschiedenen Arten von USV - Systemen. *APC by Schneider Electric* , S. 10.

Retzbach, L. (2000). *Akkus und Ladegeräte* (12. Auflage Ausg.). Villingen - Schwenningen: Nechar Verlag.

Riedel, D. E. (2004). *Anorganische Chemie* (6. Auflage Ausg.). Berlin: Walter de Gruyter.

Schlienz, U. (2009). *Schaltnetzteile und ihre Peripherie* (4. Auflage Ausg.). Reutlingen, Deutschland: Vieweg & Teubner.

Schmidt, W. (kein Datum). *Schmidt Walter*. Abgerufen am 21. 03 2013 von http://schmidt-walter.eit.h-da.de/snt/snt_deu/sntdeu3b.pdf

SMA. (07 2011). *SMA*. Abgerufen am 20. 07 2012 von <http://www.sma.de/loesungen/medium-power-solutions/expertenwissen/intelligentes-konzept-mit-zusatznutzen.html>

U. Tietze, C. S. *Halbleiter - Schaltungstechnik* (12. Auflage Ausg.). Erlangen: Springer.

Weiss, H. (2011). *Elektrotechnik 1*. Leoben: Institut für Elektrotechnik.

Weltbank. (17. 02 2013). *Energieverbrauch pro Kopf (Erdölequivalent)*. Abgerufen am 19. 02 2013 von

file:///Users/danielasteininger/Documents/Weltentwicklungsindikatoren%20-%20Google%20Diagramme-Explorer.webarchive

Wikipedia. (02. 10 2012). *Wikipedia*. Abgerufen am 22. 02 2013 von http://de.wikipedia.org/wiki/Klima_in_Österreich

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Energieverbrauch pro Kopf.....	9
Abbildung 2: Eigenverbrauchsquote (Quelle: SMA)	10
Abbildung 3: Energieversorgungssystem mit Energieflüssen.....	12
Abbildung 4: Energieverbrauch im Haushalt zwischen 2004 – 2010.....	17
Abbildung 5: Sonnenstunden in Österreich (pvaustria).....	18
Abbildung 6: Energiesteigerung	25
Abbildung 8: Aufbau einer Zelle (Quelle: http://www.aktuelle-wochenschau.de)..	35
Abbildung 9: Chemische Reaktion beim Entladen (Quelle: http://www.martin-thoma.de).....	36
Abbildung 10: Entladeverhalten.....	39
Abbildung 11: Innenwiderstand	40
Abbildung 12: Volleinspeisung (Pudlo-Solar-Technik).....	43
Abbildung 13: Eigenbedarfsdeckung (mbi Solarenergy GmbH).....	44
Abbildung 14: System bei Netzbetrieb (SMA)	45
Abbildung 15: System ohne Netz (SMA)	46
Abbildung 16: PV - System mit USV	50
Abbildung 17: USV mit externer Batterie	51
Abbildung 18: USV, Laderegler und Gleichrichter	52
Abbildung 19: Realisiertes System.....	54
Abbildung 20: Schaltsymbol Optokoppler.....	55
Abbildung 21: Operationsverstärker	56
Abbildung 22: Invertierender Verstärker	58
Abbildung 23: Nicht invertierender Verstärker	59
Abbildung 24: Differenzverstärker	60

Abbildung 25: Summierer	61
Abbildung 26: Schmitt - Trigger	62
Abbildung 27: Hystereseschleife	63
Abbildung 28: Tiefpass	63
Abbildung 30: Verläufe der unterschiedlichen Tiefpässe	66
Abbildung 31: Stromwandler	67
Abbildung 33: Lade- und Entladevorrichtung	71
Abbildung 34: Messaufbau	72
Abbildung 35: Schaltung Entladesteuerung	73
Abbildung 36: Erweiterte Schaltung	74
Abbildung 37: C5 – Entladung	76
Abbildung 38: C5 - Entladung	76
Abbildung 39: C10 - Entladung	77
Abbildung 40: C20 - Entladung	77
Abbildung 41: C5 – Entladung	79
Abbildung 42: Einschaltverhalten in log - Skalierung	79
Abbildung 43: C10 - Entladung	80
Abbildung 44: C20 – Entladung	80
Abbildung 45: Selbstentladung	82
Abbildung 46: UI – Ladung	83
Abbildung 47: UI – Ladung in log - Skalierung	84
Abbildung 49: Regelstruktur des Systems	85
Abbildung 50: Strom- und Spannungsmessung	87
Abbildung 51: Sperrwandler	88
Abbildung 52: Multiplikation	90
Abbildung 53: Platine mit Spannungs- und Strommessung, Multiplikator	91

Abbildung 54: PI - Regler	92
Abbildung 55: Parallelwiderstand für IC auf Baugruppe	93
Abbildung 56: Ladegerät	94
Abbildung 57: Stromladung	95
Abbildung 58: Laboraufbau	96
Abbildung 59: Wechselrichter.....	97
Abbildung 60: USV mit eingebauter aber nicht verwendeten Batterien (5 Stück 12 V je 7 Ah).....	98
Abbildung 61: Wirkungsgrad des Wechselrichters	99
Abbildung 62: Wirkungsgrad der USV.....	101
Abbildung 63: Messpunkte	102
Abbildung 64: Strom und Spannung nach der USV	103
Abbildung 65: Strom und Spannung am Ausgang der USV im Batteriebetrieb ..	103
Abbildung 66: Strom und Spannung am Eingang im Bypass – Betrieb der USV	104
Abbildung 67: Strom und Spannung bei Laden der Batterie	105
Abbildung 68: Bessel - Filter.....	III
Abbildung 69: Batterie Schaltung	V
Abbildung 70: Spannungsmessung.....	X
Abbildung 71: Strommessung	XIV
Abbildung 72: Multiplikator	XIX
Abbildung 73: Regelung	XXI
Abbildung 74: Ladestrom	XXIII
Abbildung 75: Zusätzlicher Widerstand	XXIX
Abbildung 76: Schnittstelle Ladegerät - Stromladung.....	XXIX

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Energieverbrauch pro Person im Haushalt (E-Control).....	17
Tabelle 2: Einstrahlung nach Wetterlage (pvaustria).....	19
Tabelle 3: Investitionskosten	27
Tabelle 4: Gegenüberstellung von Produktion und Verbrauch	28
Tabelle 5: Preisvergleich	31
Tabelle 6: Amortisationszeit	32
Tabelle 7: Batterien im Vergleich (Quaschnig, 2006)	34
Tabelle 8: Betragsverhältnis im logarithmischen Maß	64
Tabelle 9: Batterien	75
Tabelle 10: Entladezeiten der gebrauchten Batterien.....	78
Tabelle 11: Entladezeiten der neuen Batterien.....	81
Tabelle 12: Abweichung der Strommessung.....	88
Tabelle 13: Abweichungen der Spannungsmessung	89
Tabelle 14: Multiplizierer	91
Tabelle 15: Inbetriebnahme der Ladegeräte	95
Tabelle 16: Wirkungsgrad Wechselrichter	99
Tabelle 17: Wirkungsgrad USV Netzbetrieb.....	100
Tabelle 18: Wirkungsgrad USV Batteriebetrieb.....	100
Tabelle 19: Batterievermessung.....	II
Tabelle 20: Batterieschaltung.....	IX
Tabelle 21: Spannungsmessung	XIII
Tabelle 22: Strommessung.....	XIX
Tabelle 23: Multiplikator	XXI
Tabelle 24: Regelung	XXII

Tabelle 25: Ladestrom.....	XXVI
Tabelle 26: Komponentenmatrix.....	XXXII

12 Abkürzungsverzeichnis

A	Ampere
V	Volt
W	Leistung
l	Liter
kg	Kilogramm
h	Stunde
Wh	Wattstunde
P	Leistung ($P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$) in Watt
U	Spannung in Volt
I	Strom in Ampere
Ah	Amperestunden
kWp	Kilowatt Peak
VA	Volt Ampere
kWh	Kilowattstunden

13 Anhang

13.1 Beschreibung der Batterien

Batterie	Ah	t20	I [A]	P [W]	R [Ω]	R = 0,3 in Serie	Anzahl an R	Erreichte Ah	t10	I [A]	P [W]
1	88		4,4	52,8	2,727	9,09	9	20,68		8,8	105,6
2	100		5	60	2,4	8	8	5,2		10	120
3	100		5	60	2,4	8	8	3,4		10	120
4	100		5	60	2,4	8	8	40,75		10	120
5	125		6,25	75	1,92	6,4	7	2,793		12,5	150
6	125		6,25	75	1,92	6,4	7	18,525		12,5	150
7	125		6,25	75	1,92	6,4	7	37,791		12,5	150
8	95		4,75	57	2,526	8,421	9	58,3		9,5	114
9	95		4,75	57	2,526	8,421	9	--		9,5	114
10	95		4,75	57	2,526	8,421	9	--		9,5	114
11	95		4,75	57	2,526	8,421	9	64,284		9,5	114
12	95		4,75	57	2,526	8,421	9	--		9,5	114
13	95		4,75	57	2,526	8,421	9	--		9,5	114
14	95		4,75	57	2,526	8,421	9	--		9,5	114
15	95		4,75	57	2,526	8,421	9	--		9,5	114

R [Ω]	R = 0,3 in Serie	Anzahl der R	Erreichte Ah	t5	I [A]	P [W]	R [Ω]	R = 0,3 in Serie	Anzahl der R	Erreichte Ah
1,364	4,545	5	21,84		17,6	211,2	0,682	2,27	3	17,157
1,2	4	4	4,4		20	240	0,6	2	2	3,6
1,2	4	4	2,4		20	240	0,6	2	2	3,2
1,2	4	4	1,12		20	240	0,6	2	2	25,6
0,96	3,2	4	16,72		25	300	0,48	1,6	2	0,1
0,96	3,2	4	27,2		25	300	0,48	1,6	2	13,6
0,96	3,2	4	34		25	300	0,48	1,6	2	15,8
1,263	4,21	5	72,88		19	228	0,632	2,11	2	78,6
1,263	4,21	5	--		19	228	0,632	2,11	2	55,6
1,263	4,21	5	--		19	228	0,632	2,11	2	76,2
1,263	4,21	5	74,16		19	228	0,632	2,11	2	56,6
1,263	4,21	5	--		19	228	0,632	2,11	2	77
1,263	4,21	5	--		19	228	0,632	2,11	2	56,4
1,263	4,21	5	--		19	228	0,632	2,11	2	56,6
1,263	4,21	5	--		19	228	0,632	2,11	2	78,6

Tabelle 19: Batterieermessung

13.2 Berechnung des Tiefpasses – Bessel - Filter

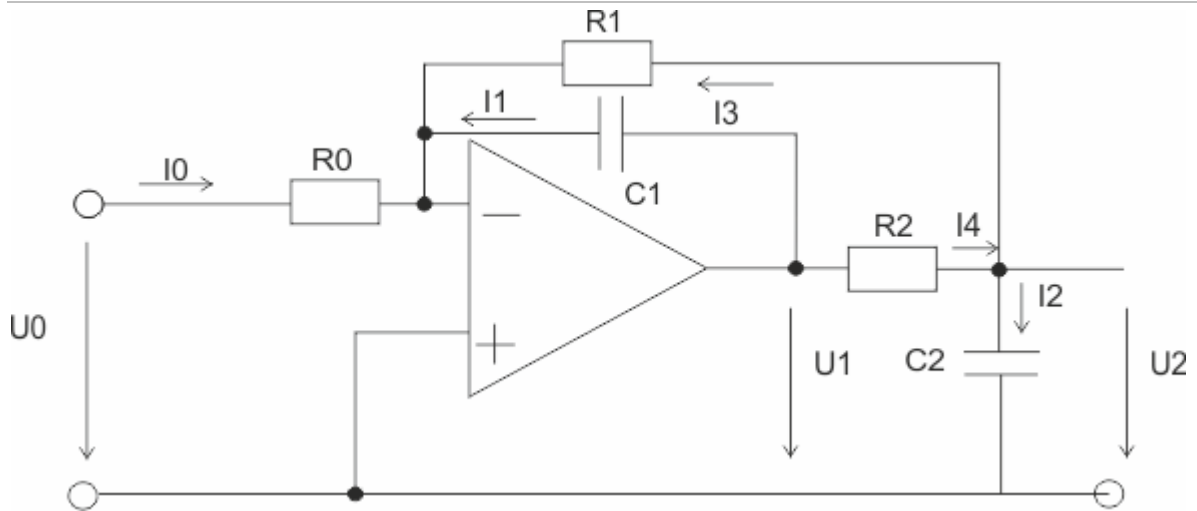


Abbildung 68: Bessel - Filter

$$U_0 = I_0 \cdot R_0$$

Formel 7.2.3.2-1

$$I_1 = sC_1 \cdot U_1$$

Formel 7.2.3.2-2

$$I_2 = sC_2 \cdot U_2$$

Formel 7.2.3.2-3

$$U_2 = R_1 \cdot I_3$$

Formel 7.2.3.2-4

$$I_0 = I_1 + I_3$$

Formel 7.2.3.2-5

$$I_4 = I_2 + I_3$$

Formel 7.2.3.2-6

$$U_1 - U_2 = R_2 \cdot I_4$$

Formel 7.2.3.2-7

Formel 1, Formel 2, Formel 4 in Formel 5

Formel 3, Formel 4, Formel 7 in Formel 6

Aus Formel 5 U_1 berechnen:

$$U_1 = \frac{U_0 - U_2}{\frac{R_0}{R_1} - sC_1}$$

Formel 7.2.3.2-8

Formel 6 :

$$\frac{U_1 - U_2}{R_2} = \frac{U_2}{R_1} + sC_2 * U_2$$

Formel 7.2.3.2-9

Formel 8 in Formel 9 einsetzen U_2/U_0 berechnen

$$\frac{U_2}{U_0} = \frac{\frac{R_1}{R_0}}{1 + sC_1 * (R_1 + R_2) + sC_1 * sC_2 * R_1 * R_2}$$

Formel 7.2.3.2-10

Mit dem Bessel – Polynom 2. Ordnung:

$$1 + sn + \frac{1}{3} snx^2$$

Formel 7.2.3.2-11

Somit ergibt sich

$$C_1 * (R_1 + R_2) = \frac{1}{\omega g}$$

Formel 7.2.3.2-12

$$C_1 * C_2 * R_1 * R_2 = \frac{1}{3} * \frac{1}{\omega g^2}$$

Formel 7.2.3.2-13

Vorgehensweise:

- 1.) f_{gr} und R_2 werden festgelegt, R_1 ist ein festgelegter Widerstand
 $f_{gr} = 1,505 \text{ Hz}$
 $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$
 $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$
- 2.) mit f_{gr} und der Formel 7.2.3.2-12 kann C_1 berechnet werden: $C_1 = 5,305 * 10^{-7} \text{ nF}$
- 3.) C_1 wird gewählt mit 680 nF , Bauteil wird noch einmal vermessen.
- 4.) Mit gemessenen Wert für C_1 wird R_2 noch einmal abgeglichen: $R_2 = 47 \text{ k}\Omega$
- 5.) Mit R_1 , R_2 und C_1 wird C_2 mit der Formel 7.2.3.2-13 berechnet, für C_2 ergibt diese einen Wert $1,12 * 10^{-6} \text{ F}$, gewählt wird für $C_2 = 1 \mu\text{F}$

13.3 Platinen und Stückliste

13.3.1 Platine für die Batterie

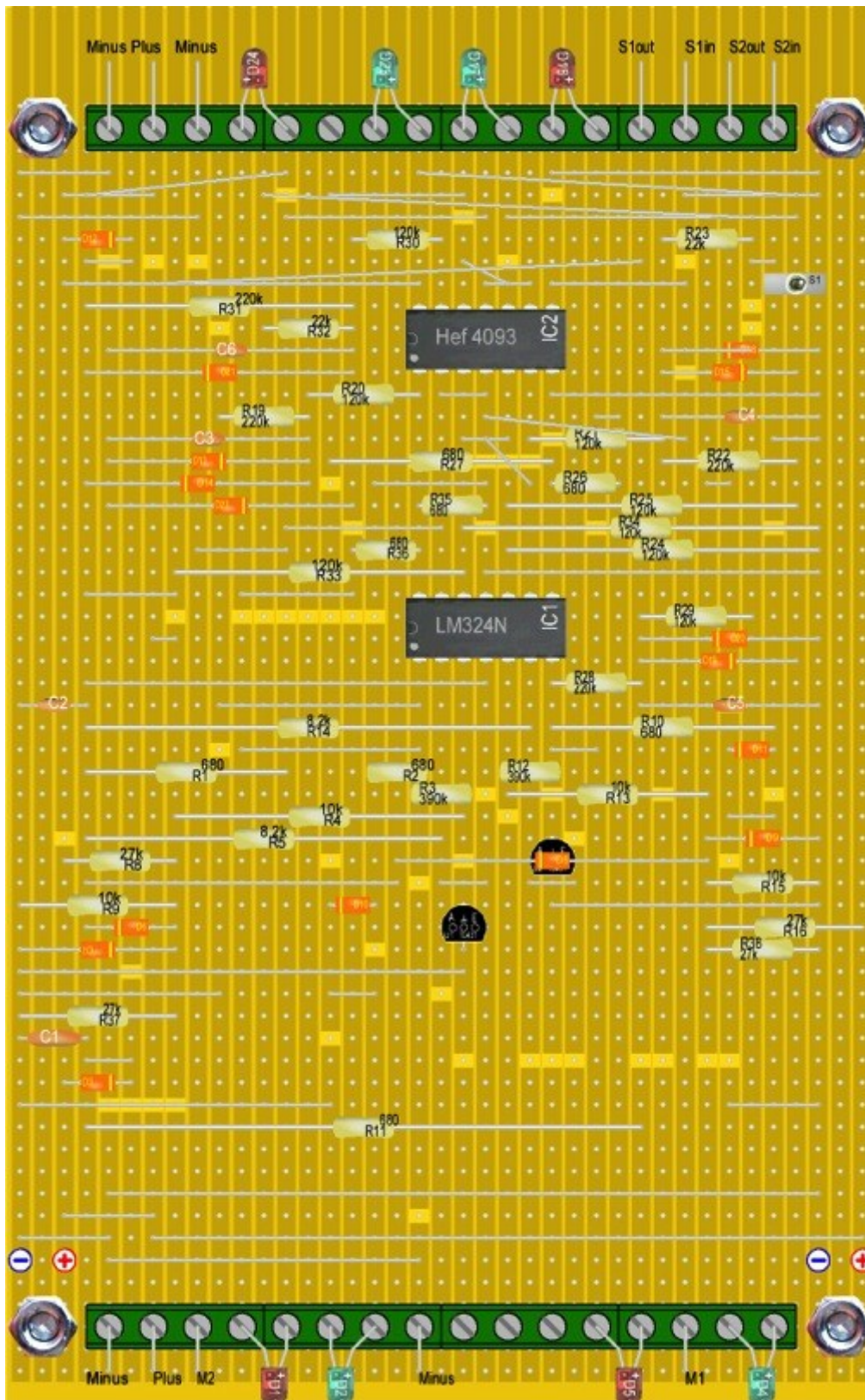


Abbildung 69: Batterie Schaltung

13.3.2 Stückliste der Schaltung

Kennung	Name	Wert/Typ	Beschreibung
PCB	Platine	100,00 x 160,00 mm	Neue Platine [1]
	Mutter M4		Mutter M4
	Mutter M4		Mutter M4
	Mutter M4		Mutter M4
	Mutter M4		Mutter M4
KI1	Schraubklemme	4-polig	Schraubklemme
KI2	Schraubklemme	4-polig	Schraubklemme
KI3	Schraubklemme	4-polig	Schraubklemme
KI4	Schraubklemme	4-polig	Schraubklemme
D1	LDr1	rot	LED 3mm
R1	680	680	Widerstand 0207
D2	LDg1	grün	LED 3mm
R2	680	680	Widerstand 0207
R3	390k	390k	Widerstand 0207
U1	TL431	TL431	Regler positiv 100mA
R4	10k	10k	Widerstand 0207
R5	8,2k	8,2k	Widerstand 0207
R8	27k	27k	Widerstand 0207
R9	10k	10k	Widerstand 0207
C1	470n	470	Keramik RM5
D3	1mA	4007	Diode
R10	680	680	Widerstand 0207
D4	LDg2	grün	LED 3mm
D5	LDr2	rot	LED 3mm

R11	680	680	Widerstand 0207
R12	390k	390k	Widerstand 0207
R13	10k	10k	Widerstand 0207
R14	8,2k	8,2k	Widerstand 0207
U2	TL431	TL431	Regler positiv 100mA
R15	10k	10k	Widerstand 0207
R16	27k	27k	Widerstand 0207
D6	SI-Universal-Diode	1N4148	SI-Universal-Diode
D7	SI-Universal-Diode	1N4148	SI-Universal-Diode
D8	SI-Universal-Diode	1N4148	SI-Universal-Diode
D9	SI-Universal-Diode	1N4148	SI-Universal-Diode
C2	Keramik RM2,5	?	Keramik RM2,5
IC1	LM324N	LM324N	DIL14
KI5	Schraubklemme	4-polig	Schraubklemme
D10	SI-Universal-Diode	1N4148	SI-Universal-Diode
D11	SI-Universal-Diode	1N4148	SI-Universal-Diode
KI6	Schraubklemme	4-polig	Schraubklemme
D12	1mA	4007	Diode
IC2	Hef 4093	Hef 4093	DIL14
R19	220k	220k	Widerstand 0207
R20	120k	120k	Widerstand 0207
C3	100n	100n	Keramik RM2,5
D13	SI-Universal-Diode	1N4148	SI-Universal-Diode
D14	SI-Universal-Diode	1N4148	SI-Universal-Diode
R21	120k	120k	Widerstand 0207
R22	220k	220k	Widerstand 0207

R23	22k	22k	Widerstand 0207
D15	SI-Universal-Diode	1N4148	SI-Universal-Diode
D16	SI-Universal-Diode	1N4148	SI-Universal-Diode
C4	10n	10n	Keramik RM2,5
R24	120k	120k	Widerstand 0207
R25	120k	120k	Widerstand 0207
K17	Schraubklemme	4-polig	Schraubklemme
K18	Schraubklemme	4-polig	Schraubklemme
R26	680	680	Widerstand 0207
D17	LED 3mm	grün	LED 3mm
D18	LED 3mm	rot	LED 3mm
R27	680	680	Widerstand 0207
R28	220k	220k	Widerstand 0207
C5	100n	100n	Keramik RM2,5
D19	SI-Universal-Diode	1N4148	SI-Universal-Diode
D20	SI-Universal-Diode	1N4148	SI-Universal-Diode
R29	120k	120k	Widerstand 0207
R30	120k	120k	Widerstand 0207
R31	220k	220k	Widerstand 0207
R32	22k	22k	Widerstand 0207
C6	10n		Keramik RM2,5
D21	SI-Universal-Diode	1N4148	SI-Universal-Diode
D22	SI-Universal-Diode	1N4148	SI-Universal-Diode
R33	120k	120k	Widerstand 0207
R34	120k	120k	Widerstand 0207
R35	680	680	Widerstand 0207

D23	LED 3mm	grün	LED 3mm
R36	680	680	Widerstand 0207
D24	LED 3mm	rot	LED 3mm
S1	Kippschalter 1x Um		Kippschalter 1x Um
R37	27k	27k	Widerstand 0207
R38	27k	27k	Widerstand 0207

Tabelle 20: Batterieschaltung

13.3.3 Platine für die Spannungsmessung

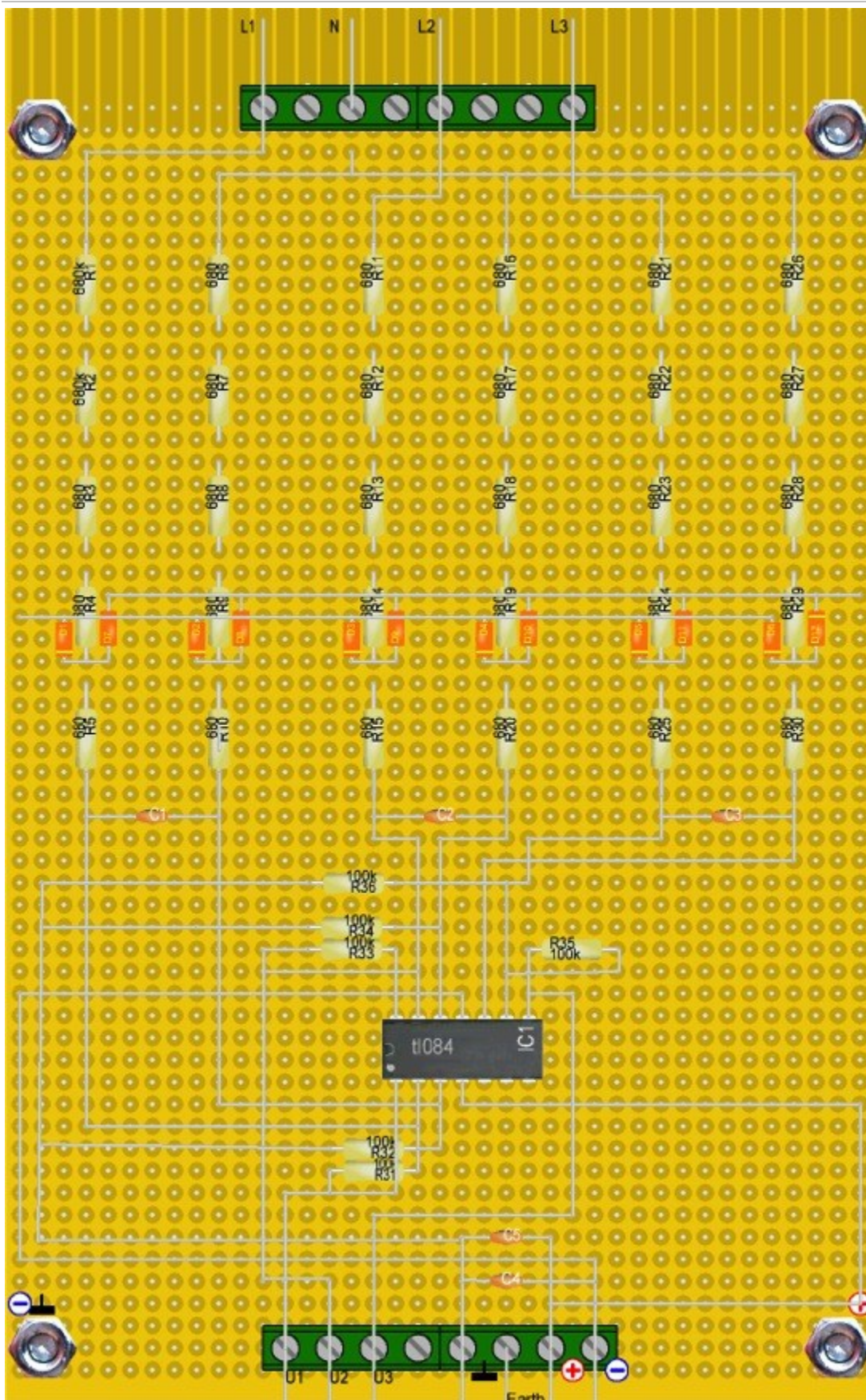


Abbildung 70: Spannungsmessung

Titel der Diplomarbeit

13.3.4 Stückliste der Schaltung

Kennung	Name	Wert/Typ	Beschreibung	Teil von
PCB	Platine	3,94 x 6,30 inch	Neue Platine [1]	Neue Platine [1]
KI1	Schraubklemme	4-polig	Schraubklemme	Neue Platine [1]
KI2	Schraubklemme	4-polig	Schraubklemme	Neue Platine [1]
	Mutter M4		Mutter M4	Neue Platine [1]
	Mutter M4		Mutter M4	Neue Platine [1]
	Mutter M4		Mutter M4	Neue Platine [1]
	Mutter M4		Mutter M4	Neue Platine [1]
R1	680k	680k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R2	680k	680k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R3	680k	680	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R4	680k	680	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R5	680k	680	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R6	680k	680	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R7	680k	680	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R8	680k	680	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R9	680k	680	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R10	680k	680	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R11	680k	680	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R12	680k	680	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R13	680k	680	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R14	680k	680	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R15	680k	680	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R16	680k	680	Widerstand 0207	Neue Platine [1]

R17	680k	680	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R18	680k	680	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R19	680k	680	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R20	680k	680	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R21	680k	680	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R22	680k	680	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R23	680k	680	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R24	680k	680	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R25	680k	680	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R26	680k	680	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R27	680k	680	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R28	680k	680	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R29	680k	680	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R30	680k	680	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
IC1	tl084	tl084	DIL14	Neue Platine [1]
C1	Keramik RM2,5	1 μ F	Keramik RM2,5	Neue Platine [1]
C2	Keramik RM2,5	1 μ F	Keramik RM2,5	Neue Platine [1]
C3	Keramik RM2,5	1 μ F	Keramik RM2,5	Neue Platine [1]
KI3	Schraubklemme	4-polig	Schraubklemme	Neue Platine [1]
KI4	Schraubklemme	4-polig	Schraubklemme	Neue Platine [1]
R31	100k	100k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R32	100k	100k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R33	100k	100k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R34	100k	100k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R35	100k	100k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R36	100k	100k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]

C4		1 μ	1 μ F	Keramik RM2,5	Neue Platine [1]
C5		1 μ	1 μ F	Keramik RM2,5	Neue Platine [1]
D1	SI-Universal-Diode		1N4148	SI-Universal-Diode	Neue Platine [1]
D2	SI-Universal-Diode		1N4148	SI-Universal-Diode	Neue Platine [1]
D3	SI-Universal-Diode		1N4148	SI-Universal-Diode	Neue Platine [1]
D4	SI-Universal-Diode		1N4148	SI-Universal-Diode	Neue Platine [1]
D5	SI-Universal-Diode		1N4148	SI-Universal-Diode	Neue Platine [1]
D6	SI-Universal-Diode		1N4148	SI-Universal-Diode	Neue Platine [1]
D7	SI-Universal-Diode		1N4148	SI-Universal-Diode	Neue Platine [1]
D8	SI-Universal-Diode		1N4148	SI-Universal-Diode	Neue Platine [1]
D9	SI-Universal-Diode		1N4148	SI-Universal-Diode	Neue Platine [1]
D10	SI-Universal-Diode		1N4148	SI-Universal-Diode	Neue Platine [1]
D11	SI-Universal-Diode		1N4148	SI-Universal-Diode	Neue Platine [1]
D12	SI-Universal-Diode		1N4148	SI-Universal-Diode	Neue Platine [1]

Tabelle 21: Spannungsmessung

13.3.5 Platine für die Strommessung

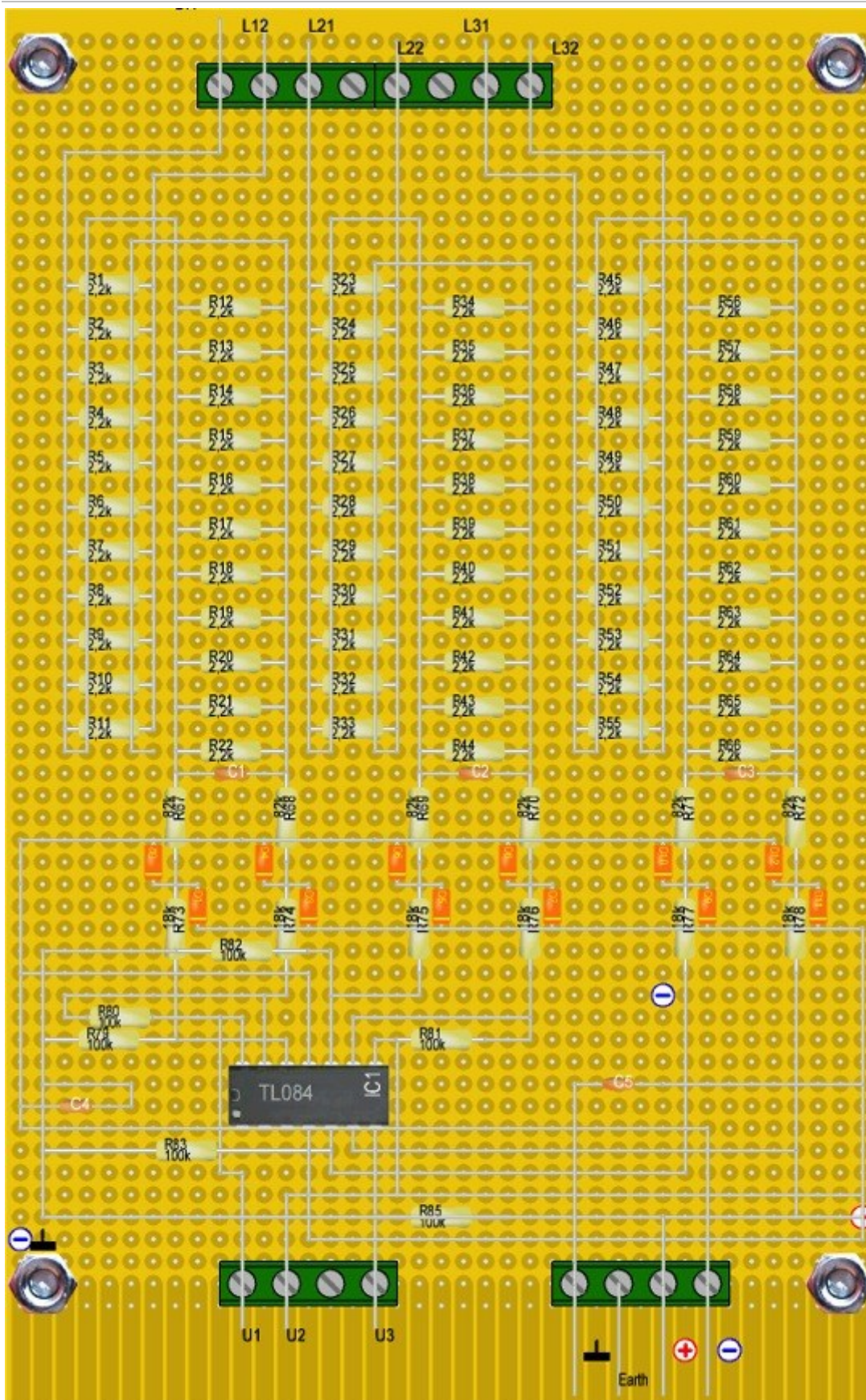


Abbildung 71: Strommessung

13.3.6 Stückliste der Schaltung

Kennung	Name	Wert/Typ	Beschreibung	Teil von
PCB	Platine	100,00 x 160,00 mm	Neue Platine [1]	Neue Platine [1]
KI1	Schraubklemme	4-polig	Schraubklemme	Neue Platine [1]
KI2	Schraubklemme	4-polig	Schraubklemme	Neue Platine [1]
KI3	Schraubklemme	4-polig	Schraubklemme	Neue Platine [1]
KI4	Schraubklemme	4-polig	Schraubklemme	Neue Platine [1]
	Mutter M4		Mutter M4	Neue Platine [1]
	Mutter M4		Mutter M4	Neue Platine [1]
	Mutter M4		Mutter M4	Neue Platine [1]
	Mutter M4		Mutter M4	Neue Platine [1]
IC1	TL084	TL084	DIL14	Neue Platine [1]
R1	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R2	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R3	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R4	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R5	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R6	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R7	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R8	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R9	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R10	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R11	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R12	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R13	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]

R14	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R15	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R16	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R17	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R18	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R19	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R20	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R21	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R22	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R23	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R24	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R25	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R26	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R27	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R28	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R29	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R30	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R31	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R32	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R33	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R34	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R35	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R36	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R37	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R38	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R39	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]

R40	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R41	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R42	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R43	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R44	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R45	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R46	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R47	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R48	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R49	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R50	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R51	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R52	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R53	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R54	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R55	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R56	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R57	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R58	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R59	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R60	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R61	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R62	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R63	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R64	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R65	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]

R66	2,2k	2,2k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
C1	Keramik RM2,5	1 μ F	Keramik RM2,5	Neue Platine [1]
C2	Keramik RM2,5	1 μ F	Keramik RM2,5	Neue Platine [1]
C3	Keramik RM2,5	1 μ F	Keramik RM2,5	Neue Platine [1]
R67	82k	82k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R68	82k	82k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R69	82k	82k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R70	82k	82k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R71	82k	82k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R72	82k	82k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R73	18k	18k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
D1	SI-Universal-Diode	1N4148	SI-Universal-Diode	Neue Platine [1]
D2	SI-Universal-Diode	1N4148	SI-Universal-Diode	Neue Platine [1]
D3	SI-Universal-Diode	1N4148?	SI-Universal-Diode	Neue Platine [1]
D4	SI-Universal-Diode	1N4148	SI-Universal-Diode	Neue Platine [1]
D5	SI-Universal-Diode	1N4148	SI-Universal-Diode	Neue Platine [1]
D6	SI-Universal-Diode	1N4148	SI-Universal-Diode	Neue Platine [1]
D7	SI-Universal-Diode	1N4148	SI-Universal-Diode	Neue Platine [1]
D8	SI-Universal-Diode	1N4148	SI-Universal-Diode	Neue Platine [1]
D9	SI-Universal-Diode	1N4148	SI-Universal-Diode	Neue Platine [1]
D10	SI-Universal-Diode	1N4148	SI-Universal-Diode	Neue Platine [1]
D11	SI-Universal-Diode	1N4148	SI-Universal-Diode	Neue Platine [1]
D12	SI-Universal-Diode	1N4148	SI-Universal-Diode	Neue Platine [1]
R74	18k	18k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R75	18k	18k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R76	18k	18k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]

R77	18k	18k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R78	18k	18k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R79	100k	100k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R80	100k	100k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R81	100k	100k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R82	100k	100k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R83	100k	100k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R85	100k	100k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
C4	1 μ F	1 μ F	Keramik RM2,5	Neue Platine [1]
C5	1 μ F	1 μ F	Keramik RM2,5	Neue Platine [1]

Tabelle 22: Strommessung

13.3.7 Platine für die Multiplikation

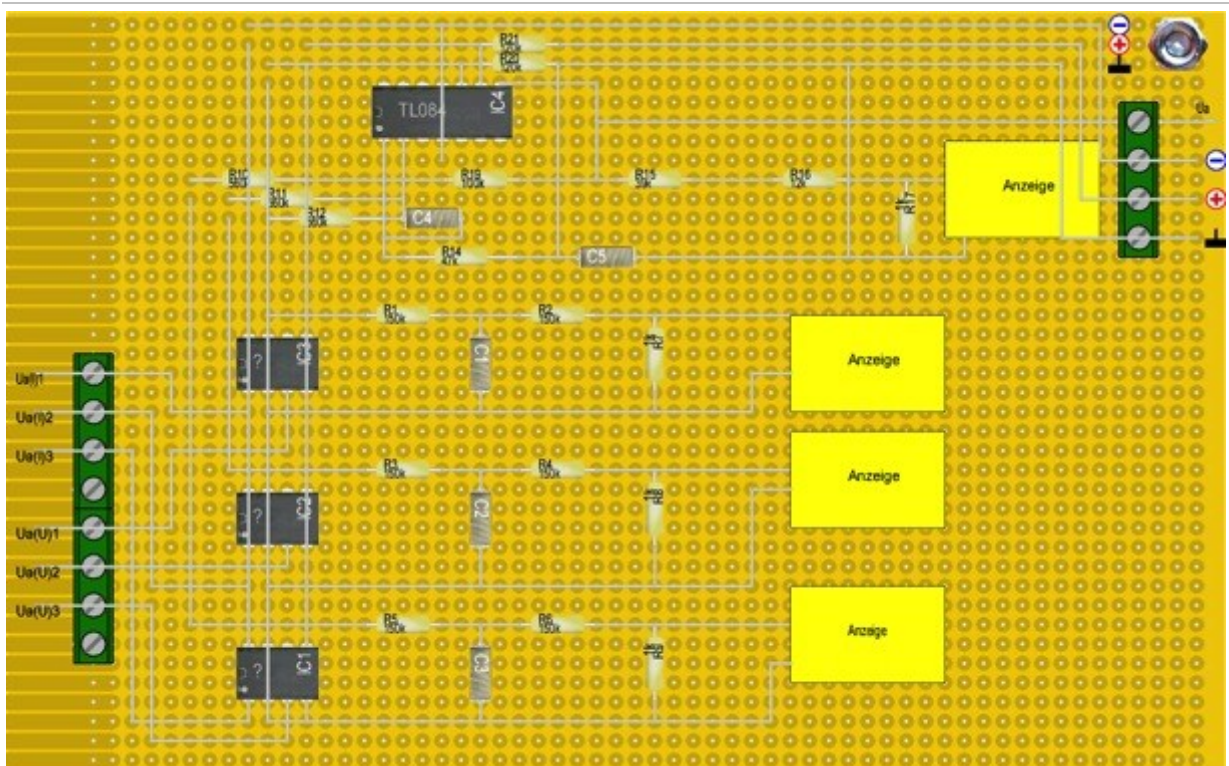


Abbildung 72: Multiplikator

13.3.8 Stückliste der Schaltung

Kennung	Name	Wert/Typ	Beschreibung	Teil von
PCB	Platine	160,00 x 100,00 mm	Neue Platine [1]	Neue Platine [1]
IC1	AD633	?	DIL8	Neue Platine [1]
IC2	AD633	?	DIL8	Neue Platine [1]
IC3	AD633	?	DIL8	Neue Platine [1]
KI1	Schraubklemme	4-polig	Schraubklemme	Neue Platine [1]
KI2	Schraubklemme	4-polig	Schraubklemme	Neue Platine [1]
R1	150k	150k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R2	150k	150k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R3	150k	150k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R4	150k	150k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R5	150k	150k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R6	150k	150k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R7	1k	1k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R8	1k	1k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R9	1k	1k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
C1	10 μ	?	Kondensator MKH-	Neue Platine [1]
C2	10 μ	?	Kondensator MKH-	Neue Platine [1]
C3	10 μ	?	Kondensator MKH-	Neue Platine [1]
IC4	TL084	TL084	DIL14	Neue Platine [1]
R10	560k	560k		Neue Platine [1]
R11	560k	560k		Neue Platine [1]
R12	560k	560k		Neue Platine [1]
C4	680n	680n	Kondensator MKH-	Neue Platine [1]

R14	47k	47k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
C5	1,1 μ	1,1 μ	Kondensator MKH-	Neue Platine [1]
R15	39k	39k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R16	12k	12k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R17	1k	1k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
KI3	Schraubklemme	4-polig	Schraubklemme	Neue Platine [1]
	Mutter M4		Mutter M4	Neue Platine [1]
R19	100k	100k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R20	120k	120k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R21	120k	120k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]

Tabelle 23: Multiplikator

13.3.9 Platine für die Regelung

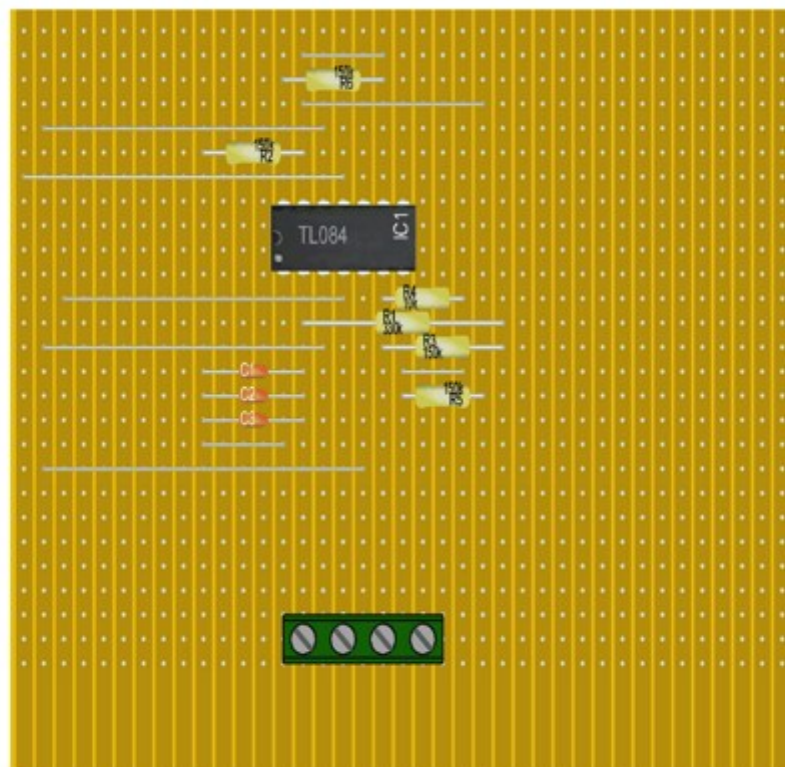


Abbildung 73: Regelung

13.3.10 Stückliste der Schaltung

Kennung	Name	Wert/Typ	Beschreibung	Teil von
PCB	Platine	100,00 x 160,00 mm	Neue Platine [1]	Neue Platine [1]
KI1	Schraubklemme	4-polig	Schraubklemme	Neue Platine [1]
IC1	TL084	TL084	DIL14	Neue Platine [1]
R1	330k	330k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
C1	6,8 μ	6,8 μ	Keramik RM2,5	Neue Platine [1]
C2	6,8 μ	6,8 μ	Keramik RM2,5	Neue Platine [1]
C3	6,8 μ	6,8 μ	Keramik RM2,5	Neue Platine [1]
R2	150k	150k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R3	150k	150k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R4	10k	10k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R5	150k	150k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R6	150k	150k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]

Tabelle 24: Regelung

13.3.12 Stückliste der Schaltung

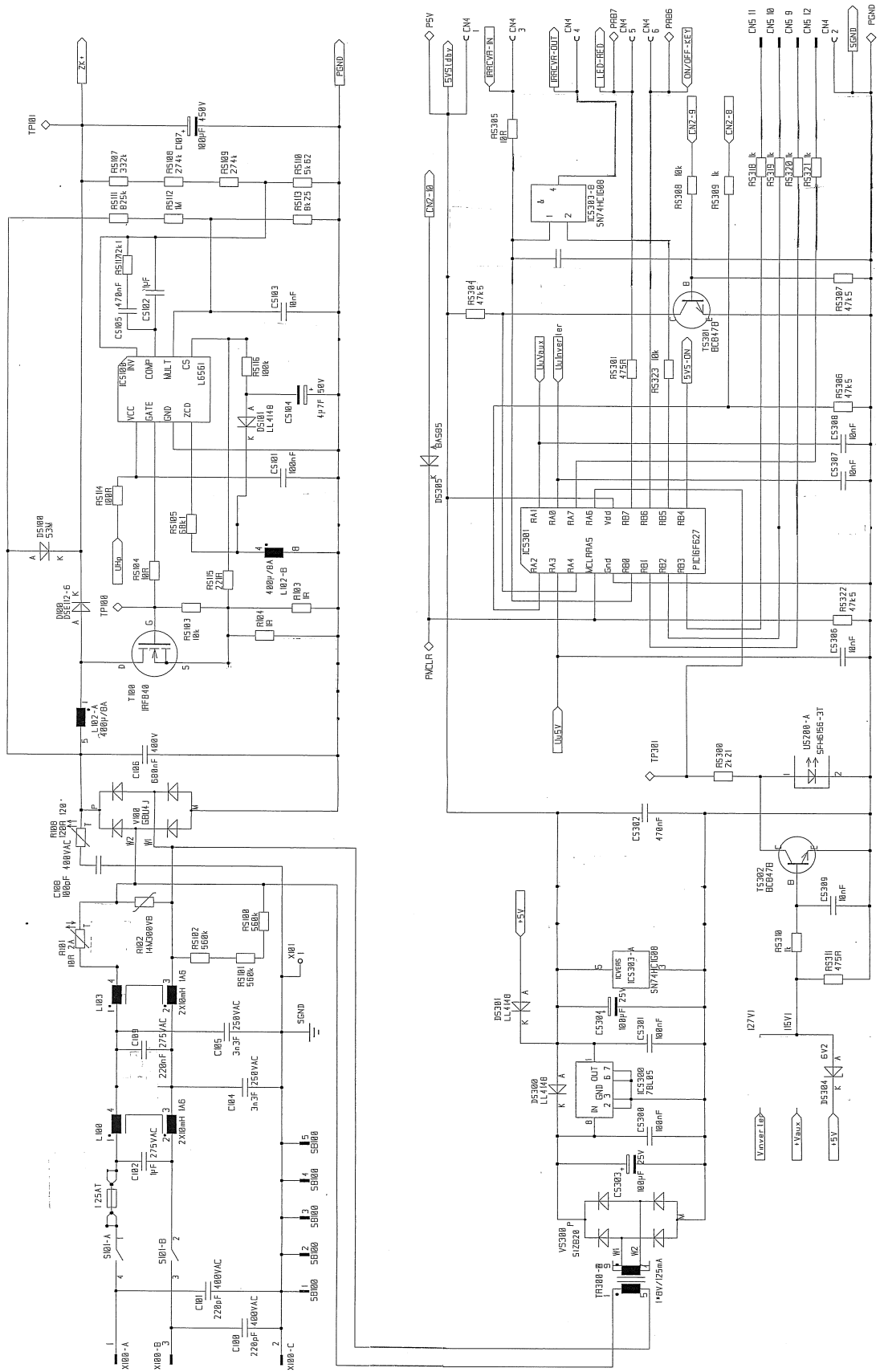
Kennung	Name	Wert/Ty p	Beschreibung	Teil von
PCB	Platine	100,00 x 160,00 mm	Neue Platine [1]	Neue Platine [1]
KI1	Schraubklemme	4-polig	Schraubklemme	Neue Platine [1]
IC1	LM324	LM324	DIL14	Neue Platine [1]
IC2	CNY17	CNY17	DIL6	Neue Platine [1]
R1	390	390	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R2	47k	47k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R3	47k	47k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R4	22k	22k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R5	330	330	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R6	47k	47k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R7	10k	10k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R8	100k	100k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R9	33k	33k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R10	100k	100k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R11	27k	27k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R12	1k	1k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
IC3	CNY17	CNY17	DIL6	Neue Platine [1]
IC4	LM324	LM324	DIL14	Neue Platine [1]
IC5	CNY17	CNY17	DIL6	Neue Platine [1]
R13	390	390	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R14	47k	47k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]

R15		47k	47k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R16		22k	22k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R17		330	330	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R18		27k	27k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R19		10k	10k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R20		100k	100k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R21		33k	33k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R22		100k	100k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R23		100k	100k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R24		27k	27k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
IC6		CNY17	CNY17	DIL6	Neue Platine [1]
K12	Schraubklemme		4-polig	Schraubklemme	Neue Platine [1]
IC7		LM324	LM324	DIL14	Neue Platine [1]
IC8		CNY17	CNY17	DIL6	Neue Platine [1]
R25		390	390	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R26		47k	47k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R27		47k	47k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R28		22k	22k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R29		330	330	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R30		27k	27k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R31		10k	10k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R32		100k	100k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R33		33k	33k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R34		100k	100k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R35		100k	100k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]
R36		27k	27k	Widerstand 0207	Neue Platine [1]

IC9	CNY17	CNY17		DIL6	Neue Platine [1]
IC10	LM324	LM324		DIL14	Neue Platine [1]
IC11	CNY17	CNY17		DIL6	Neue Platine [1]
R37	390	390	Widerstand	0207	Neue Platine [1]
R38	47k	47k	Widerstand	0207	Neue Platine [1]
R39	47k	47k	Widerstand	0207	Neue Platine [1]
R40	22k	22k	Widerstand	0207	Neue Platine [1]
R41	330	330	Widerstand	0207	Neue Platine [1]
R42	27k	27k	Widerstand	0207	Neue Platine [1]
R43	10k	10k	Widerstand	0207	Neue Platine [1]
R44	100k	100k	Widerstand	0207	Neue Platine [1]
R45	33k	33k	Widerstand	0207	Neue Platine [1]
R46	100k	100k	Widerstand	0207	Neue Platine [1]
R47	100k	100k	Widerstand	0207	Neue Platine [1]
R48	27k	27k	Widerstand	0207	Neue Platine [1]
IC12	CNY17	CNY17		DIL6	Neue Platine [1]
D1	SI-Universal-Diode	1N4148		SI-Universal-Diode	Neue Platine [1]
		?			

Tabelle 25: Ladestrom

13.4 Schaltplan von Schaltnetzteil CONARC 6030-6510-0000



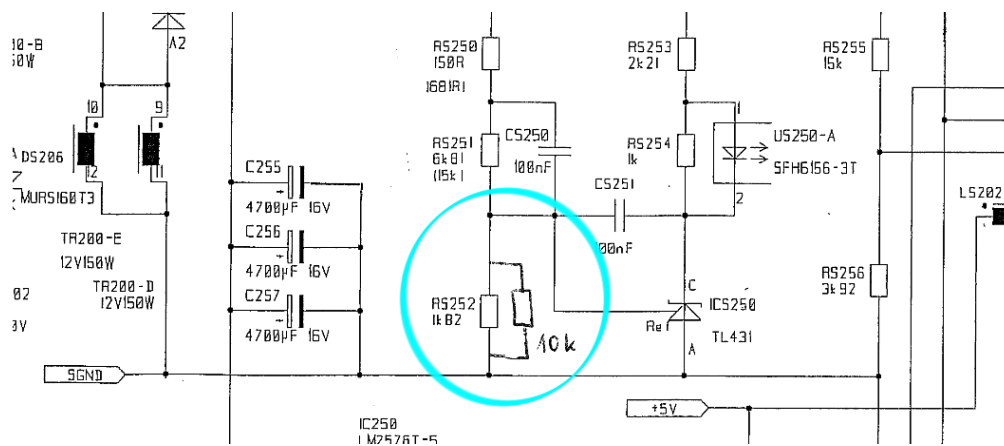


Abbildung 75: Zusätzlicher Widerstand

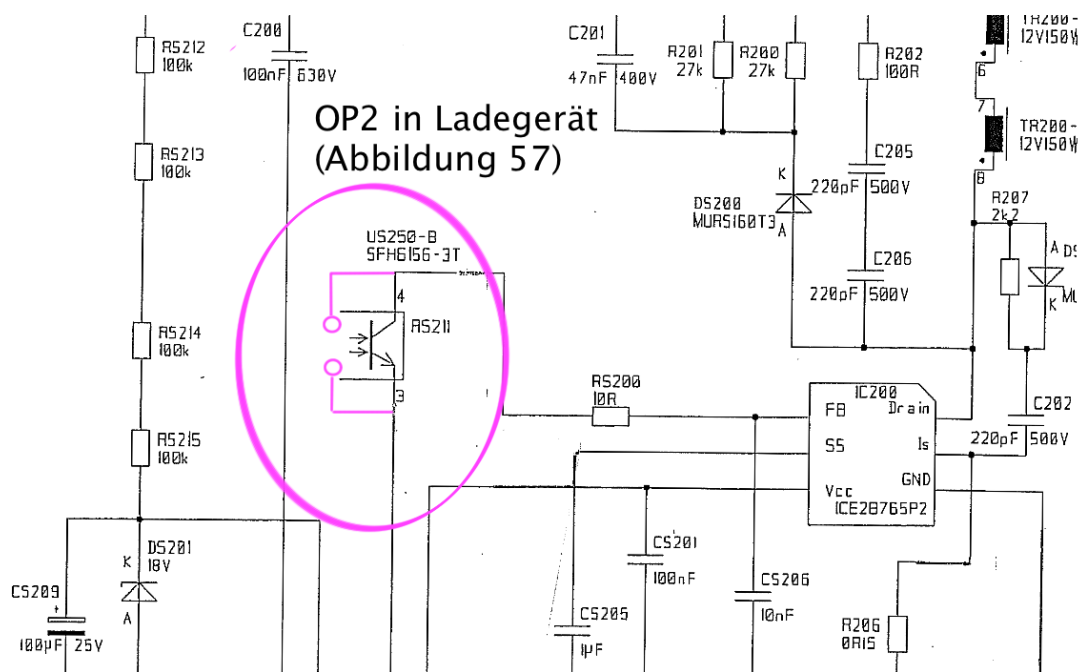


Abbildung 76: Schnittstelle Ladegerät - Stromladung

13.5 Abschätzung für die Kosten der Komponenten

		Vorteile	Nachteile	Eigenschaften	Preis
Einspeise zähler	Zählt den Strom, der an das Netz geliefert wird		Kann den Strom nur in eine Richtung messen	Haben für uns keine nutzbaren Ausgänge	Wird vom Energieversorger zur Verfügung gestellt
Verbrauch zähler	Zählt den Strom, der vom Netz gebraucht		Kann den Strom nur in eine Richtung	Haben für uns keine nutzbaren Ausgänge	Wird vom Energieversorger zur Verfügung

	wird		messen		gestellt
Bidirektionaler Zähler	Vereint einen Einspeisezähler und einen Verbrauchszähler in einem Gerät	In einem Gerät werden beide Funktionen vereint		Gerät (im Handel erhältlich)	€ 150,00
				IC – energy	1,756 – 3,09 €
USV mit Batterie	USV f. Bereitschaftsbetrieb (Standby)	Kostengünstig, hoher WG, geringe Abmessungen	Bei Akkubetrieb: bis 2 kVA Ausgangsleistung zweckmäßig	Nutzbarer Leistungsbereich: 0 – 0,5 kVA	109 €/ kWh f. 10 kWh 1090 €
	USV f. Bereitschaftsbetrieb (Line - interaktiv)	Hohe Zuverlässigkeit, hoher WG, gute Aufbereitung der Netzwechselspannung	Nur bis zu Ausgangsleistung von 5 kVA zweckmäßig	Nutzbarer Leistungsbereich: 0,5 – 5 kVA	500 €/ kWh f. 10 kWh 5000 €
Online USV	USV mit Doppelwandlung	Hervorragende Aufbereitung der Netzwechselspannung, Möglichkeit zur einfachen Parallelschaltung	Niedriger WG, zu hohe Kosten bei Ausgangsleistung unter 5 kVA	Nutzbarer Leistungsbereich: 5 – 5000 kVA	750 €/kWh f. 10 kWh 7500€
Verbraucher	Unkrit. V	Keine kontinuierliche Versorgung notwendig			
	Krit. V		Kontinuierliche Versorgung notwendig		
SMA – Notversorgung mit Batterie	Batteriewechselrichter	Überwacht Batterie, wandelt Batteriestrom in			Als System erhältlich

		Wechselstrom um			
	Automatic Switch Box	AC – Leitungen laufen zusammen, Freischnittstelle für Hausnetz			
	Batteriesatz	Energiequelle			
	PV – Wechselrichter	Tolerant gegenüber Abweichungen von Netzparametern			
Externe Batterie	PbSO4	Gutes Preisleistungs-verhältnis, gut recycelbar,	Begrenzte Zyklusfestigkeit, bescheidene Energiedichte, Toxizität	Sehr robust, hohe Zellspannung von 2V, einfache Ladetechnik	60 – 120 €/kWh für neue Akkus
				Wird bei uns günstiger ausfallen, da die Akkus bereits vorhanden und gebraucht sind	f. 10 kWh 600 – 1200 €
	NiCd	Gutes Preisleistungs-verhältnis	Geringe Energiedichte, Memoryeffekt, problematische Entsorgung	Hohe Belastbarkeit, sehr robust	280 €/kWh für neue Akkus
				Wird bei uns günstiger ausfallen, da die Akkus bereits vorhanden und gebraucht sind	f. 10 kWh 2800 €
GR				Wandeln Wechselspannung in Gleichspannung um	80 €/kWh
WR				Wandelt Gleichspannung in Wechselspannung um	260 – 980 €/ kWh
Laderegler		Überladungs-sicherheit, Verhindert das Über-		Ladet den Akkumulator wieder auf	40 €/ kWh

		schreiten des Ladestromes und der Temperatur			
Ladegerät/ MPPT		Batterie- pflege, integrierten Schutz- funktionen		Passt Modulspannung auf Batteriespannung an	80 €/ kWh

Tabelle 26: Komponentenmatrix