



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorthesis

Özkan Özden

Entwicklung und Erprobung eines
Lichtleiter-Sensors für die optische
Ladezustandsbestimmung von Bleibatterien

Özkan Özden

Entwicklung und Erprobung eines
Lichtleiter-Sensors für die optische
Ladezustandsbestimmung von Bleibatterien

Bachelorthesis eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung
im Studiengang Elektrotechnik
am Department Informations- und Elektrotechnik
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer : Prof. Dr.-Ing Karl-Ragmar Riemschneider
Zweitgutachter : Prof Dr.-Ing. Wilfried Wöhlke

Abgegeben am 12. September 2016

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr.-Ing Karl-Ragmar Riemschneider, betreuender Prüfer und Projektleiter des Forschungsvorhaben BATSEN, für die Ermöglichung dieser Bachelorarbeit und den immerzu sehr engagierten Einsatz bedanken. Ein weiterer Dank geht an Herrn Prof. Dr.- Ing Wilfried Wöhlke, den Zweitgutachter dieser Arbeit.

Herrn Dipl. Phys. Valentin Roscher gebührt ebenfalls ein besonderer Dank für seine Ratschläge, für seine Organisationen wenn etwas nicht in Ordnung war, und dass er stets für meine Fragen zur Verfügung stand.

Besonders dankbar bin ich auch zu Herrn Dipl.-Ing Günter Müller, der jederzeit zur Verfügung stand, für die ausführliche Korrektur der Arbeit.

Den beiden studentischen Mitarbeitern des BATSEN-Projekts Sergej Perguda und Nico Sassano, die mir technische Hilfe leisteten, möchte ich mich sehr bedanken und meinen Vorgänger Wahid Nasimzada, der im BATSEN-Projekt eine Bachelorarbeit geschrieben hatte, unterstützte mich sehr in Programmierfragen, weswegen ihm ebenfalls ein großer Dank gebührt.

Vielen Dank gebührt auch Herrn Wolfgang Ciossek, der mich in naturwissenschaftlichen Fragen unterstützte und mir Ratschläge und Anregungen gab, bezüglich wissenschaftlichen Arbeitens, und meine Kritik zur eigenen Arbeit schärfte.

Özkan Özden

Thema der Bachelorthesis

Entwicklung und Erprobung eines Lichtleiter-Sensors für die optische Zustandsbestimmung elektrischer Ladung von Bleibatterien

Stichworte

Lichtleitersonden, Sensoren, Brechzahl, Schwefelsäurekonzentration, Transmission

Kurzzusammenfassung

Berührungsfreie Messungen von Bleiakkumulatoren mit Hilfe stark gebogener Lichtleiterkabel als optischer Sensor. Dieser Sensor ermittelt über die Brechzahl die Schwefelsäurekonzentration, aus der empirisch der elektrische Batterieladungszustand bestimmt wird.

Özkan Özden

Title of the paper

Development and testing of light-wave cable sensors for receiving the state of electric charge of lead acid batteries

Keywords

Light wave fibre probe, sensors, refraction number, concentration of sulphur acid, transmission

Abstract

Contactless measurement of lead acid batteries with strongly flexed light-wave cable as optical sensor. This sensor determine the concentration of sulphuric acid by measuring the refraction number to receive empirically the state of electric battery charge.

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung	8
1.1. Realisierte Forschungsvorhaben	8
1.2. Motivation	9
2. Der Bleiakкумуляtor	10
2.1. Die wichtigsten Komponente des Bleiakкумуляtors	10
2.2. Die elektrochemische Spannungsreihe	10
2.2.1. Die Oxidation	11
2.2.2. Die Reduktion	11
2.2.3. Redoxreaktion und Redoxpotential	11
2.2.4. Metalle	12
2.2.5. Anwendungen	13
Der chemische Ablauf in der Kupfer/Zink-Zelle	15
Galvanische Zelle - Daniell-Element	15
2.3. Bleiakкумуляtoren	16
2.3.1. Vor- und Nachteile des Bleiakкумуляtors (Starterbatterie)	17
Vorteile	17
Nachteile	18
3. Eigenschaften von Lichtleitern und Lichtleitersensoren	19
3.1. Der Lichtleiter	19
3.2. Die Brechzahl	19
3.3. Die Lichtbrechung im Lichtleiter	20
3.3.1. Spannungsoptik	21
3.3.2. Aufbau von Lichtleitern	23
3.4. Transmission im Lichtleiter	24
3.4.1. Transmission in Abhängigkeit des Krümmungsradius	25
3.4.2. Absorbtion	26
3.4.3. Streuung	27
3.5. Optische Messverfahren	27
3.6. Anwendung optischer Messverfahren bei Bleibatterien	28
3.7. Der Lichtleitersensor	29

3.8. Funktionsweise der Dioden	29
3.8.1. Leuchtdioden als Lichtsender	32
3.8.2. Photodioden als Lichtempfänger	33
3.9. Der Phototransistor	33
3.9.1. Funktionsweise eines Bipolartransistors	34
3.9.2. Digitalisierung des Lichtsignals	34
4. Analyse der Vorarbeiten	35
4.1. Bachelorthesis von Michael Meinzer	35
4.2. Bachelorthesis von Wahid Nasimzada	35
4.3. Bachelorthesis von Maher Achour	36
5. Prüfen und Optimieren des Gesamtmesssystems	37
5.1. Das Sensormesssystem	37
5.1.1. Die Zelleinheit	37
Die Messsonde	37
Der Zellsensor	38
Das Dichte-Sensor-Modul	38
5.1.2. Das Steuergerät	38
5.1.3. Der PC	38
5.2. Das Zykliersystem	38
5.2.1. Das Zykliergerät	39
5.2.2. Das Netzteil	39
5.2.3. Die Last	39
5.2.4. Der PC	39
5.3. Aufbau des Messsystems inkl. Sensoren, Sonden, Steuergerät und Zykliergerät	40
5.4. Graphische Skizze mit Erklärung	44
5.5. Prüfung der Komponenten und Fehlerbehebung	45
5.5.1. Messsondenauswahl	45
5.5.2. Überprüfung der Zellsensoren und deren Ergebnisse	46
5.5.3. Überprüfung der Dichtemodule	46
5.6. Testbetrieb um Stabilität sicherzustellen	47
5.7. Vorbereitung zum Batterietest	48
5.8. Aufbau des Messsystems	48
5.8.1. Das Zyklierprogramm	50
6. Funktionserprobung auf der Starterbatterie	51
6.1. Messungen von Zellsensoreinheiten	51
6.2. Die Zykliermessreihen	55
6.3. Elektrische und optische Messwertzusammenführung	63
6.4. Einflussgrößen - Streuungen	83

6.5. Reproduzierbarkeit	84
7. Fazit	85
7.1. Erkenntnisse und Ideen	85
7.2. Fehler- und Störeffekte bei der optischen Sensorik	85
7.3. Zusammenfassung der Ergebnisse und Beurteilungen	86
7.4. Bewertung der gewählten Konzepte	86
7.5. Lösungsvarianten	87
7.6. Ausblick	87
A. Aufgabenstellung	88
B. Quellcodes	90
Index	111
Tabellenverzeichnis	114
Abbildungsverzeichnis	115
Literaturverzeichnis	118

1. Einführung

1.1. Realisierte Forschungsvorhaben

Im Bundesministerium für Bildung und Forschung gibt es ein gefördertes Forschungsvorhaben mit den Namen BATSEN¹, das Batterieforschung betreibt. Die Gründe für eine solche Forschung sind, dass die Batterien immer noch Hauptauslöser von Pannen sind. Da die Batterien technisch sehr ausgereift sind, wo nur noch wenig Verbesserungsmöglichkeiten vorhanden sind, liegt der Schwerpunkt der Pannenreduzierung über Kommunikations- oder Managementsysteme, die den Batteriezustand erfassen und Informationen liefern, wann ein Aufladen oder ein Batteriewechsel notwendig wird. Es gibt für Fahrzeuge die altbewährten Bleiakkumulatoren und die Lithiumbatterien, die von der Entwicklung her noch nicht so lange existieren. In naher Zukunft werden elektrisch betriebene Fahrzeuge mehr an Bedeutung gewinnen, weswegen moderne Kommunikationssysteme eine mögliche Lösung für bestimmte Schwierigkeiten im Zusammenhang der Batteriekontrolle bieten. Trotz der intensiven Anwendung besitzt die Bleibatterie Defizite. Die niedrige spezifische Energiedichte von 30-40 Wh/kg und die beschränkte Lagerzeit sind nicht wirklich von großer Bedeutung im Gegensatz zu anderen entscheidenden Schwachstellen wie die beschränkte Lebensdauer und mangelnde Betriebszuverlässigkeit. Diese Eigenschaften machen sich nach vielen Auf- und Entladungen der Batterie bemerkbar. In Fahrzeugen ist die Batterie starken Anforderungen als auch hohen mechanischen Belastungen durch Erschütterungen ausgesetzt. Die zunehmende Bordelektronik muss auch im Leerlauf und bei Motorstillstand von Bleibatterien versorgt werden. Je älter die Batterie wird, umso weniger ist sie diesen Anforderungen gewachsen. Aus diesen Gründen ist laut der Pannenstatistik die Starterbatterie Hauptpannenursache. Da kommt es oft vor, dass die Batterie wegen der zunehmenden Bordelektronik zu sehr belastet wird und dabei die Entladung den unteren Spannungsbereich unterschreitet. Zu tief entladene Bleibatterien werden funktionsuntüchtig. Eine Früherkennung über den Ladezustand der Batterie kann diese gefährlichen Tiefentladung ausschließen. Deswegen ist das Interesse an Batteriemangementsystemen gestiegen.

Die BATSEN-Forschung legt den Schwerpunkt auf die Entwicklung von Sensoren, die für die Managementsysteme als Datenlieferanten von großer Wichtigkeit sind.

¹Drahlose Zellsensoren für Fahrzeugbatterien - BATSEN

Die Hochschule für Angewandte Wissenschaften (HAW) entwickelte daraufhin im Rahmen des BATSEN-Forschungsvorhabens drahtlose Zellsensoren für Blei-Säurebatterien und Lithiumbatterien, wo sich die Sensorenarten unterscheiden. Diese Sensoren wurden optimiert und werden jetzt einer umfangreichen Prüfung unterzogen.

1.2. Motivation

Bleiakkumulatoren bewähren sich in Fahrzeugen wegen ihrer langen Nutzungsdauer und sie sind sehr kostengünstig. Drahtlose Zellsensoren ermöglichen in einem Fahrzeug eine computergesteuerte Überwachung der Blei-Säure-Batterien, worüber man den Ladungszustand dieser Akkumulatoren überwachen kann. So kann rechtzeitig der Benutzer eines Fahrzeugs in Kenntnis gesetzt werden, wann die nächste Batterieaufladung fällig ist oder wann man einen Bleiakkumulator vollständig auswechseln muss. Durch umfangreiche Messvorhaben soll nachgewiesen werden, wie gut die optischen Zellsensoren mit der direkt gemessenen Batterieladung bzw. auch elektrischen Spannung übereinstimmen. Ferner soll festgestellt werden, ob Alterungserscheinungen der Batterie ebenfalls durch optische Sensoren erfasst werden können. Die Zuverlässigkeit der Zellsensoren soll auch nachgewiesen und ihre Funktionsfähigkeit verbessert werden.

2. Der Bleiakkumulator

Der Bleiakkumulator ist eine wieder aufladbare Batterie. Sie ist zusammengesetzt aus einzelnen Teilbatterien bzw. werden sie auch Zellen genannt, die in Serie geschaltet sind.

2.1. Die wichtigsten Komponente des Bleiakkumulators

In einer Bleibatterie befinden sich Komponenten, die elektrochemisch miteinander in Wechselwirkung stehen. Es handelt sich um folgende Bestandteile:

- Blei (Pb)
- Bleioxid (PbO_2)
- Schwefelsäure (H_2SO_4)
- Wasser (H_2O)
- Bleisulfat (PbSO_4)

Der Bleiakkumulator liefert eine elektrische Spannung, die aus der elektrochemischen Spannungsreihe hervorgeht.

Für das Verständnis für die Vorgänge innerhalb der Bleibatterien benötigt man Kenntnisse aus der Elektrochemie [1, 2, 3].

2.2. Die elektrochemische Spannungsreihe

Um die elektrochemische Spannungsreihe zu erklären, müssen wir zuerst den Begriff Oxidation und Reduktion erklären.

2.2.1. Die Oxidation

Früher verstand man unter einer Oxidation einen Verbrennungsvorgang an der Luft durch den Sauerstoff. Stoffe verbrannten, indem sie mit dem Sauerstoff reagierten und ein Oxyd bilden. Denn Sauerstoff hat den lateinischen Namen Oxygenium. Heute fasst man diesen Begriff allgemeiner auf. Denn es muss nicht unbedingt Sauerstoff sein, mit dem ein Stoff reagieren kann. Ein Stoff, der ein Elektron abgibt, wird oxidiert. So reagieren beispielsweise Natrium und Chlor zu Natriumchlorid. Natrium hat in der Außenschale ein Elektron und Chlor sieben Elektronen. Somit sind beide einwertig. Das Natriumatom wird ein Elektron an das Chloratom abgeben, so dass die äußere Elektronenschale von Chlor zu einer Edelgasschale aufgefüllt wird. Dabei wird Natrium oxidiert und das Chlor reduziert. Allgemein ist eine Oxidation, wo A ein Atom darstellt durch folgende Gleichung definiert:



Für ein Ion entsprechend:



2.2.2. Die Reduktion

Um Natrium aus Natriumchlorid ($\text{Na}^+ \text{Cl}^-$) bzw. NaCl zurückzugewinnen, muss man diesen Stoff reduzieren. Also muss das Chlor-Ion Cl^- oxidiert und das Natrium-Ion (Na^+) reduziert werden. Allgemein gilt die Beziehung:



bzw. für ein Ion:



2.2.3. Redoxreaktion und Redoxpotential

Die Redoxreaktion kann in zwei Halbreaktionen (Redox-Paare) aufgeteilt werden. In der einen wird oxidiert mit dem Oxidationspotential als Triebkraft, in der anderen reduziert mit dem Reduktionspotential als Triebkraft. Das Redoxpotential zweier Partner ist die Summe von Oxidationspotential und Reduktionspotential. Je „lieber“ ein Partner oxidiert wird und je „lieber“ der andere reduziert wird, desto größer ist deren gemeinsames Redoxpotential. Die **elektrochemische Spannungsreihe** ist eine Auflistung von Redox-Paaren nach ihren Standardelektrodenpotential¹. Bei Metallen wird sie auch Redoxreihe genannt.

¹Für Standardelektroden benutzt man Wasserstoffelektroden

2.2.4. Metalle

Bei Metallen bildet das Metall selbst und sein zugehöriges Ion ein Redox-Paar ($Ox + z \rightleftharpoons Red$). So ist im folgenden Beispiel



Kupfer (Cu) die reduzierte Form („Red“) und Cu^{2+} die oxidierte Form („Ox“).

Das Redoxpotential ist ein Maß für die Bereitschaft der Ionen, die Elektronen aufzunehmen. Die Ionen der Edelmetalle nehmen bereitwilliger Elektronen auf als die Ionen unedler Metalle, weshalb unter Standardbedingungen das Redoxpotential des Cu/ Cu^{2+} -Paares mit +0,35 V deutlich positiver ist, als das des Zn/ Zn^{2+} -Paares mit -0,76 V. Und das heißt wiederum, dass Zink (Zn) zu den unedleren Metallen gehört und ein stärkeres Reduktionsmittel ist, also seinen Reaktionsteilnehmer reduziert und selbst oxidiert wird und Elektronen abgibt. Redoxpotentiale selbst sind nicht messbar. Messbar ist dagegen die Differenz von zwei Elektrodenpotentialen. Eine Elektrode unter Standardbedingungen wird einfach durch das Eintauchen eines Metalls in eine Lösung realisiert, die seine Ionen in einer Konzentration von 1 mol/l enthält. Werden zwei solche Elektroden elektrisch leitend verbunden (Ionenbrücke), entsteht eine galvanische Zelle und man kann zwischen den Metallen eine Spannung messen. Diese Spannung ist gleich der Differenz der Standardelektrodenpotentiale, die zu den Redoxpaaren in den Elektrodenräumen gehören und in der elektrochemischen Spannungsreihe tabelliert sind. Für das Beispiel der Kombination der Redox-Paare Cu/ Cu^{2+} und Zn/ Zn^{2+} entsteht ein Daniell-Element mit der Spannung 1,11 V.

Element	oxidierte Form	+ ze ⁻	⇌ reduzierte Form	Standardpotential
K	K ⁺	e ⁻	K	-2.92V
Na	Na ⁺	e ⁻	Na	-2.71V
Mg	Mg ²⁺	2e ⁻	Mg	-2.36V
Al	Al ³⁺	3e ⁻	Al	-1.66V
Zn	Zn ²⁺	2e ⁻	Zn	-0.76V
Sn	Sn ²⁺	2e ⁻	Sn	-0.14V
Pb	Pb ²⁺	2e ⁻	Pb	-0.13V
H	H ⁺	e ⁻	H	0V
Cu	Cu ²⁺	2e ⁻	Cu	+0.52V
Ag	Ag ⁺	e ⁻	Ag	+0.80V
Au	Au ²⁺	2e ⁻	Au	+1.40V

Tabelle 2.1.: Spannungsreihe einiger Metalle [13]

2.2.5. Anwendungen

Die elektrochemische Spannungsreihe erlaubt die Berechnung der Spannungen, die Batterien und Akkumulatoren maximal liefern können. Im Umkehrschluss sind das die Spannungen, die mindestens für das Antreiben von Elektrolysen bzw. Laden der Akkumulatoren angelegt werden müssen.

Weiterhin sind die Berechnung von Reaktionsrichtung und -stärke möglich. Mischt man zwei Redox-Paare in einer Reaktionslösung, so wird für das Paar mit dem höheren Redoxpotential die Reduktion ablaufen, für das Paar mit dem niedrigeren Redoxpotential die Oxidation. Taucht man z. B. ein Zink-Blech in eine CuSO_4 -Lösung (Kupfersulfatlösung), so wird Zink aufgrund seines niedrigeren Redoxpotentials (-0,76 V) oxidiert und geht als Zink-Ionen in Lösung, wohingegen gleichzeitig Kupfer-Ionen (+0,35 V) reduziert werden und sich als Kupfer-Überzug auf dem Zink-Blech abscheiden. Dieses gern zitierte Beispiel missachtet die Forderung nach Standardbedingungen. So wird sich auch ein Kupfer-Blech, das in eine ZnSO_4 -Lösung eintaucht, ein wenig mit Zink überziehen, weil zunächst kein Zink vorhanden und die Cu_2^+ Konzentration null sind. Abbildung 2.1 zeigt eine solche galvanische Zelle bestehend aus einem Zinkblech, Kupferdrahtkäuel als Elektrode und einer Kupfersulfatlösung. Die geringere gemessene Spannung erklärt sich dadurch, dass sich das Zinkblech schon beim Eintauchen in die Kupfersulfatlösung mit einer Kupferschicht überzieht und somit die Bildung von Zinkionen verhindert. Die Kupfersulfatlösung enthält neugebildetes Zinksulfat. Das Verhindern der Zinkionenbildung durch die stärker werdende Kupferschicht (siehe Abbildung 2.2) zeigt sich auch dadurch, dass die Spannung schnell abnimmt. An der Kupferelektrode wird das Kupfer abgebaut. Es bildet sich zwar dort temporär eine dünne Zinkschicht, jedoch wird diese vom Kupfersulfat sofort wieder aufgelöst.

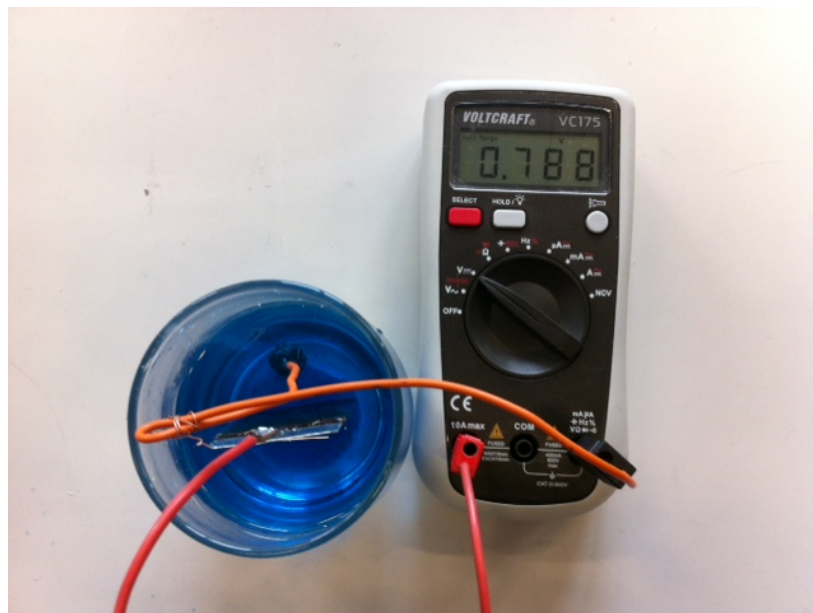


Abbildung 2.1.: Galvanische Kupfer/Zink-Zelle.

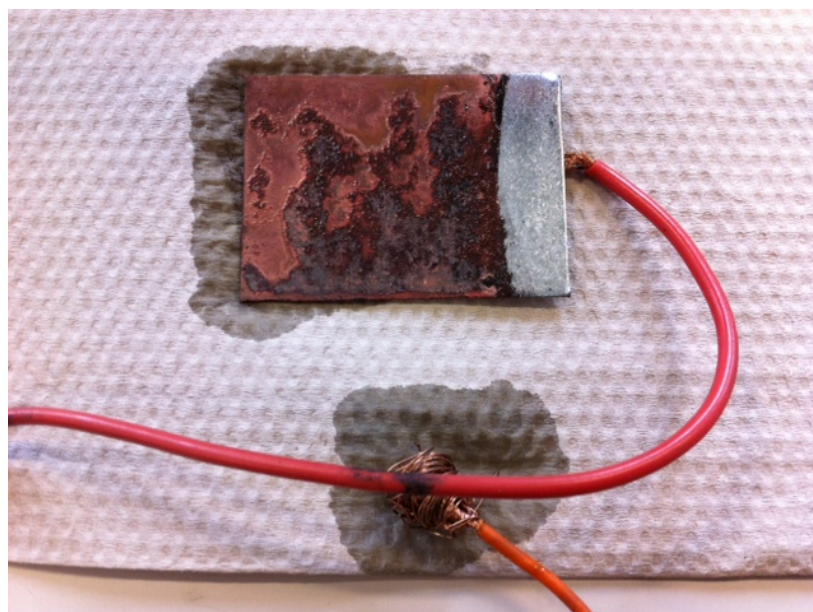


Abbildung 2.2.: Verkupfertes Zinkblech

Der chemische Ablauf in der Kupfer/Zink-Zelle

Bei unserer galvanischen Kupfer/Zink-Zelle liegt eine Last an. Es ist das Spannungsmessgerät, welches eine elektrische Verbindung herstellt, trotz eines hohen Innenwiderstands. Somit laufen Elektronen und ebenso durch die $\text{Cu}^{++}\text{SO}_4^{--}$ -Lösung als auch Kupferionen zur Zinkplatte. Dort werden die Kupferionen durch Elektronenaufnahme zu Kupfer reduziert. Das Zink muss zwei Elektronen abgeben und wird somit zu einem Zn^{++} -Ion. Die Abgabe der Elektronen des Zinks ist bedingt durch die elektrochemische Spannungsreihe (siehe Tabelle 2.1). Dadurch wird der Elektrolyt zu einem Gemisch aus CuSO_4 und ZnSO_4 (Zinksulfat). Die SO_4^{--} -Ionen wandern zur Kupferelektrode, wo das Kupfer der Elektrode zu $\text{Cu}^{++}\text{SO}_4^{--}$ oxidiert wird. In der Kupfersulfatlösung sind alle Ionen frei beweglich.

Galvanische Zelle - Daniell-Element

Das Daniell-Element (siehe Abbildung 2.3) ist im Prinzip ähnlich aufgebaut wie unsere Kupfer/Zink-Zelle in der Abbildung (2.1) und funktioniert auch nach den gleichen Prinzip. Hier wird jedoch verhindert, dass sich auf der Zink-Elektrode eine Kupferschicht bildet, weil das Zink keinen direkten Kontakt mehr mit Kupfersulfat hat. Dadurch sinkt die Spannung nicht so schnell.

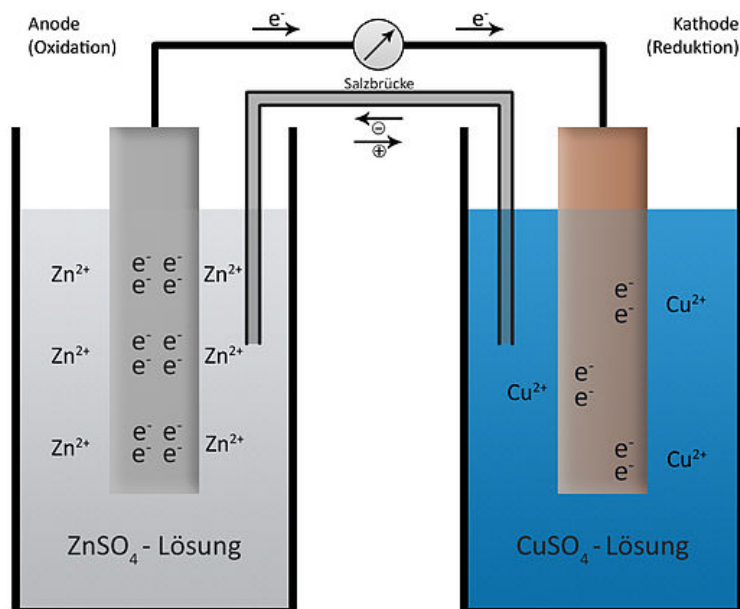
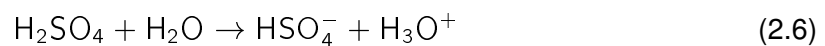


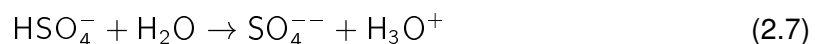
Abbildung 2.3.: Daniell-Element [11]

2.3. Bleiakкумуляtoren

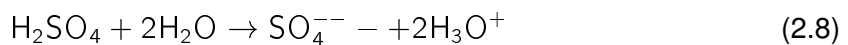
Ein Bleiakкумуляtor [10] ist ein wiederaufladbarer Speicher für elektrische Energie und ähnelt sehr einem galvanischen Element. Historisch war dieser Akкумуляtor dadurch entstanden, dass man zwei Bleiplatten berührungsfrei in mit Wasser verdünnte Schwefelsäure stellte und die eine Platte negativ und die andere Platte positiv auflud. Auf der positiv geladenen Platte bildete sich Bleioxyd (PbO_2). Werden die Platten entladen, so bildet sich auf beiden Platten eine Schicht aus festem Bleisulfat (PbSO_4). Reine konzentrierte Schwefelsäure ohne Wasseranteil besitzt keine freien Ionen als Ladungsträger, weswegen man die Schwefelsäure mit Wasser verdünnen muss, indem konzentrierte Schwefelsäure ins Wasser gegossen werden muss, weil die chemische Reaktion sehr exotherm ist. Im umgekehrten Fall der Verdünnung würde das Wasser sieden und die Schwefelsäure kann herumspritzen und könnte so großen Schaden anrichten. Folgende Gleichung zeigt auf, was entsteht, wenn Schwefelsäure mit Wasser verdünnt wird.



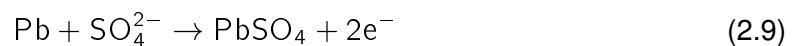
Das HSO_4^- -Ion reagiert weiter mit Wasser zu



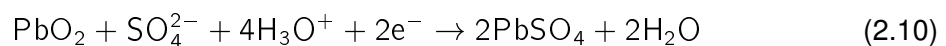
als Gesamtreaktion ergibt sich



Wenn wir uns an die Kupfer/Zink-Zelle erinnern, da hatten wir ebenfalls SO_4^{2-} -Ionen und statt H_3O^+ -Ionen hatten wir Cu^{2+} -Ionen (Kupferionen). So dient dann verdünnte Schwefelsäure wegen der frei beweglichen Ionen als Elektrolyt. Ferner benötigen wir zum Funktionieren eines Bleiakкумуляtors Ionen, die durch Hydrolyse von Schwefelsäure entstehen. Auf diese Weise können wir jetzt die chemischen Vorgänge in der Bleibatterie beschreiben: Bei der Entladung haben wir am negativen Pol folgenden Vorgang:

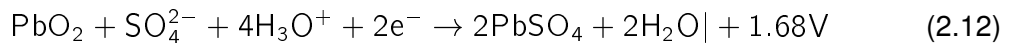
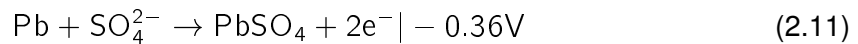


Am positiven Pol notieren bekommt man



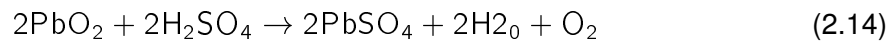
Dabei verdünnt sich die Schwefelsäure immer mehr zu Wasser, weil an den Blei-Elektroden Bleisulfatschichten entstehen. Das bedeutet dass die Säuredichte bzw. auch die optische Dichte abnimmt. Dieser Umstand wird in dieser Arbeit ausgenutzt, um den Ladungszustand der Bleibatterien über einen optischen Wert zu ermitteln. Hierzu werden Lichtleiter verwenden

det (siehe Kapitel 3.6 Seite 28). Der Brechungsindex der Säure verringert sich. Beim Aufladen sind die chemischen Reaktionen entgegengesetzt. Die Schwefelsäurekonzentration erhöht sich, der Wassergehalt sinkt und der Brechungsindex steigt. Aus der elektrochemischen Spannungsreihe kann man nun die Potentialdifferenz (ΔE), also letztlich die elektrische Spannung, die entsteht, berechnen.



$$\Delta E = 1.68\text{V} - (-0.36\text{V}) = 2.04\text{V} \quad (2.13)$$

Da Blei(IV)-Oxid in schwefelsaurer Lösung unbeständig ist, erfolgt deswegen eine Selbstentladung:



Dadurch baut sich die Bleioxidschicht am positiven Pol irgendwann vollständig ab, was zum Verschleiß des Bleiakкумуляtors führt. Auch der Bleischwamm, der sich am negativen Pol beim Aufladen sich bildet, kann bei Erschütterungen abbrechen. Weiterer Verschleiß kommt auch dadurch zustande, dass das Bleisulfat größere Kristalle bildet, die sich zusammenschließen. So verringert sich die elektrochemisch aktive Oberfläche wegen der geringen Leitfähigkeit des Bleisulfats.

Die Bleibatterie hat aufgrund der Bleiplattenelektroden außerdem auch die Eigenschaften eines Kondensators.

2.3.1. Vor- und Nachteile des Bleiakкумуляtors (Starterbatterie)

Eine Bleibatterie besitzt Vor- und Nachteile. Sie hat die Funktion eines Ladungsspeichers und durch ihre Inhalte noch weitere Eigenschaften, wie giftiges Blei, aggressive Schwefelsäure usw.. Folgende Aufzählung stellt diese Eigenschaften gegeneinander:

Vorteile

- Relativ große Ströme (bis zu 800 A)
- Günstiger Preis (etwa 50 bis 70 Euro)
- Gut Belastbar
- Fast vollständig wiederverwendbar
- Pflegeleicht

Nachteile

- Hohes Gewicht wegen dem schweren Blei
- Empfindlich gegenüber hohen Temperaturen ($> 45^{\circ}\text{C}$ und $< -20^{\circ}\text{C}$)
- Sehr lange Aufladezeit
- Der Akku darf sich nicht vollständig entladen
- Wegen dem Blei und der Schwefelssäure dürfen Akkus nur auf den Sondermüll entsorgt werden
- Nach etwa vier Jahren sind die Akkus verbraucht

3. Eigenschaften von Lichtleitern und Lichtleitersensoren

3.1. Der Lichtleiter

Der Lichtleiter, der als Messsonde in Bleibatterien eingesetzt wird, hat bestimmte optische Eigenschaften. Mit ihm erfasst man nichtelektrische Größen. Diese werden hauptsächlich durch die Biegung verursacht. Ohne diese Biegung kann man den Sensor nicht einsetzen, weil dann keine Transmissionsverluste auftreten. Ist der Lichtleiter gerade, so geht das Licht ohne Reflexionen hindurch. Mit der Biegung des Lichtleiters verändern sich die optischen Eigenschaften. Das Material wird an der Außenseite gestreckt und an der Innenseite der Krümmung gestaucht. Dadurch ändert sich die Brechzahl des Lichtleiters an diesen Stellen.

3.2. Die Brechzahl

Die Brechzahl spielt bei unserem Lichtleiter eine sehr große Rolle. In einem optischen Medium ist die Lichtgeschwindigkeit kleiner als die Lichtgeschwindigkeit in Vakuum. Folgende Zusammenhang zeigt dieses deutlich auf:

$$c_n = \frac{c}{n} \tag{3.1}$$

Es sind:

- c_n Lichtgeschwindigkeit in Medium
- c Lichtgeschwindigkeit in Vakuum (ca. $3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$)
- n Brechzahl oder Brechindex des Mediums

Aus den Maxwell'schen Gleichungen [9] stammt noch folgende Formel

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \tag{3.2}$$

mit

μ_0 magnetische Feldkonstante ($12.566370 \cdot 10^{-7} \frac{N}{A^2}$)
 ϵ_0 elektrische Feldkonstante ($8.854187817 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm}$)

Im optischen Medium gilt:

$$c_n = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} \quad (3.3)$$

wobei

μ Permeabilität
 ϵ Dielektrizitätskonstante

ist. Aus der Formel (3.1) und der Formel (3.2) unter Verwendung der Formel (3.3) kann man folgende Formel für die Brechzahl ermitteln:

$$n = \frac{c}{c_n} = \sqrt{\frac{\mu\epsilon}{\mu_0\epsilon_0}} \quad (3.4)$$

3.3. Die Lichtbrechung im Lichtleiter

Da die Brechzahl im gebogenen Leiter sich kontinuierlich in eine Richtung verändert, verläuft das Licht nicht mehr geradlinig, sondern kurvenförmig. Die Brechzahl ändert sich abhängig von Zug und Druck (siehe Abbildung 3.1).

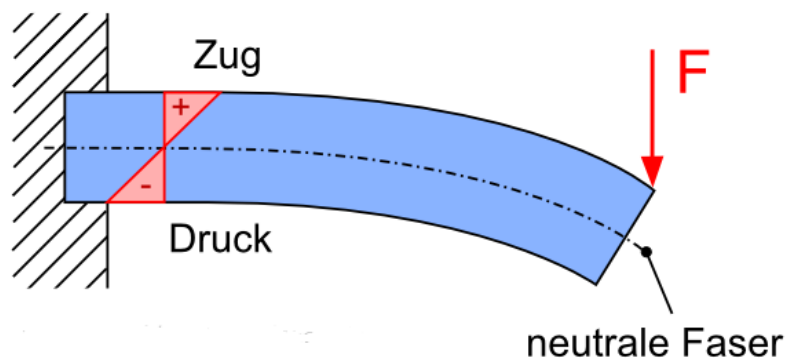


Abbildung 3.1.: Spannungsverteilung in einer Faser [12]

Wie man in der Abbildung (3.1) sehen kann, nimmt der Zug und der Druck innerhalb des gebogenen Lichtleiters mit der neutralen Faser nach außen linear zu. Man kann annehmen, dass die Brechzahl mit dem Druck ebenso zunimmt. Folgende Abbildung zeigt die Brechung von überlagerten Schichten, wo jede Schicht nach unten eine höherer Brechzahl hat. (siehe Abbildung 3.2)

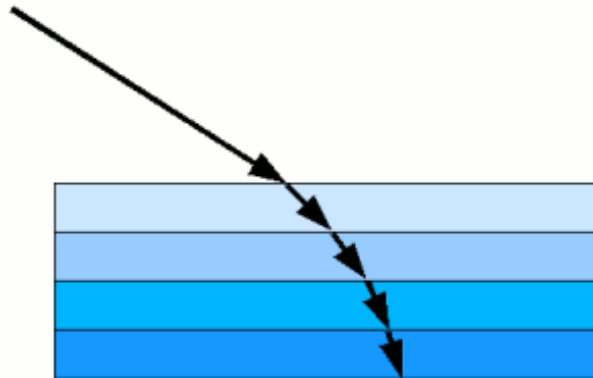


Abbildung 3.2.: Stufenförmige Lichtbrechung

Wenn man sich die Schichten sich unendlich dünn vorstellt, dann wird die gebrochene Linie zu einer stetigen Kurve. Das Licht nimmt in so einem Medium einen Weg ein, wo es am schnellsten hindurch kommt. Das bedeutet, dass von vielen Wegen nur einer optimal ist. Um diesen Weg zu finden braucht man Kenntnisse aus der Variationsrechnung. Bei einer linearen Zunahme der Brechzahl, beschreibt das Licht einen Kreisbogen([4, 5, 6]).

3.3.1. Spannungsoptik

Wie sich die Brechzahl in einem Medium durch Spannung oder Druck sich verändert, kann man besonders eindrucksvoll erkennen, wenn man durchsichtige Materialien zwischen zwei Polarisationsfilter betrachtet. Mangel Polarisationsfilter wurde einfach von einer 3D Brille vom Kino die Kunststoffgläser benutzt. [19] Folgende Abbildung (3.3) zeigt unter polarisiertem Licht die Spannungsverteilung in einem Geodreieck, besonders an den spitzen Teilen und in der Umgebung von Bohrungen.

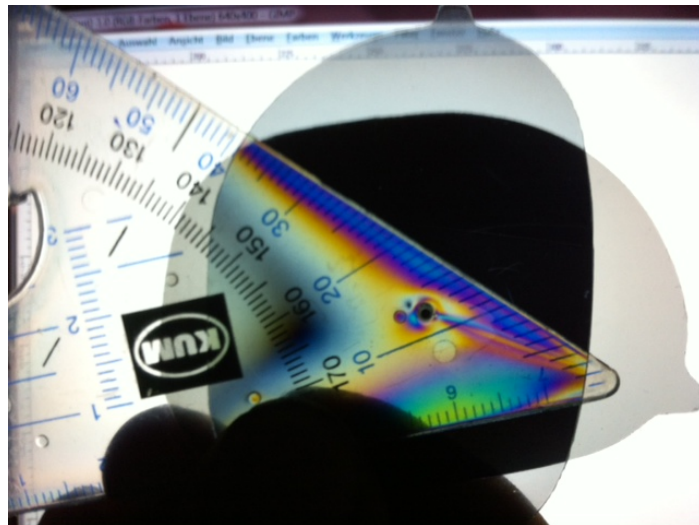


Abbildung 3.3.: Spannungen im Geodreieck

Das nächste Bild zeigt die Spannungsverteilung in einen kräftemäßig nicht belasteten Lichtleiter (Abbildung 3.4)

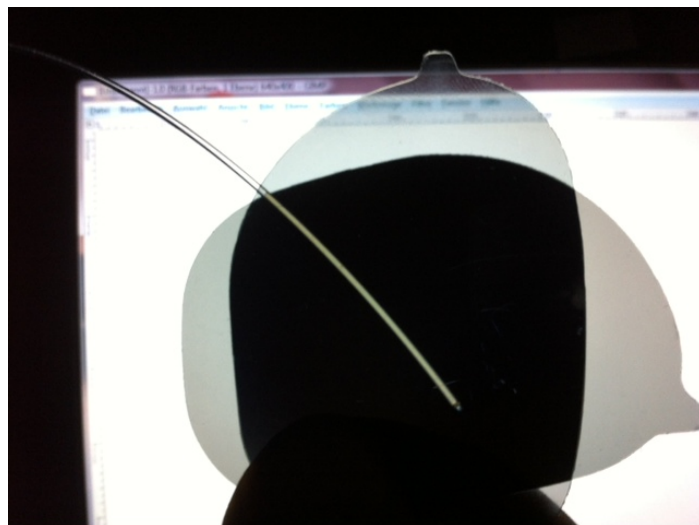


Abbildung 3.4.: Spannungsverteilung im unbelasteten Lichtleiter

Das weitere Bild zeigt eine Lichtleiterschleife, wo Kräfte auf den Lichtleiter einwirken. Dadurch wird er gebogen und kleine Spannungen sind schon zu erkennen. (siehe Abbildung 3.5)

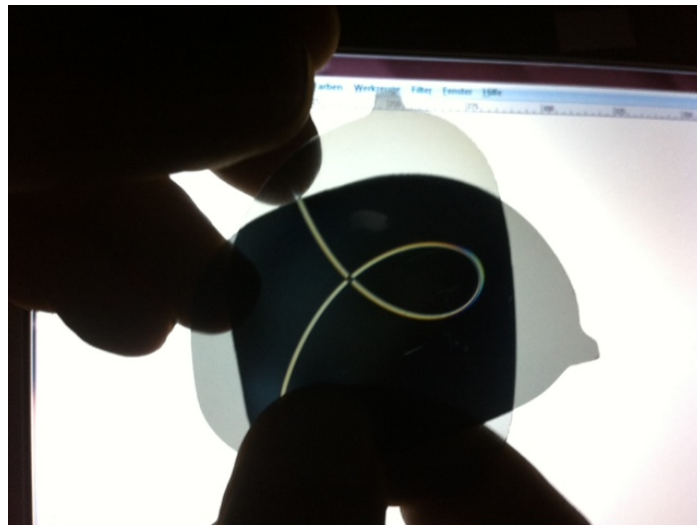


Abbildung 3.5.: Lichtleiter zu Schlaufe gebogen

Zum Schluss haben wir unsere stark gebogene Lichtleitersensor, wo starke Spannungsverteilungen zu sehen sind. (siehe Abbildung 3.6)



Abbildung 3.6.: Spannungsverteilung in unseren Lichtleitersensoren

3.3.2. Aufbau von Lichtleitern

Der Aufbau von Lichtleitern besteht in der Regel immer aus ein Kern und einem Mantel. Beide sind lichtdurchlässig, wobei die Brechzahl von dem Mantel etwas kleiner ist als von dem

Kern. Um das Kabel zu schützen, wird eine Schutzbeschichtung und manchmal auch eine äußere Hülle vorhanden sein. (Siehe Abbildung 3.7)

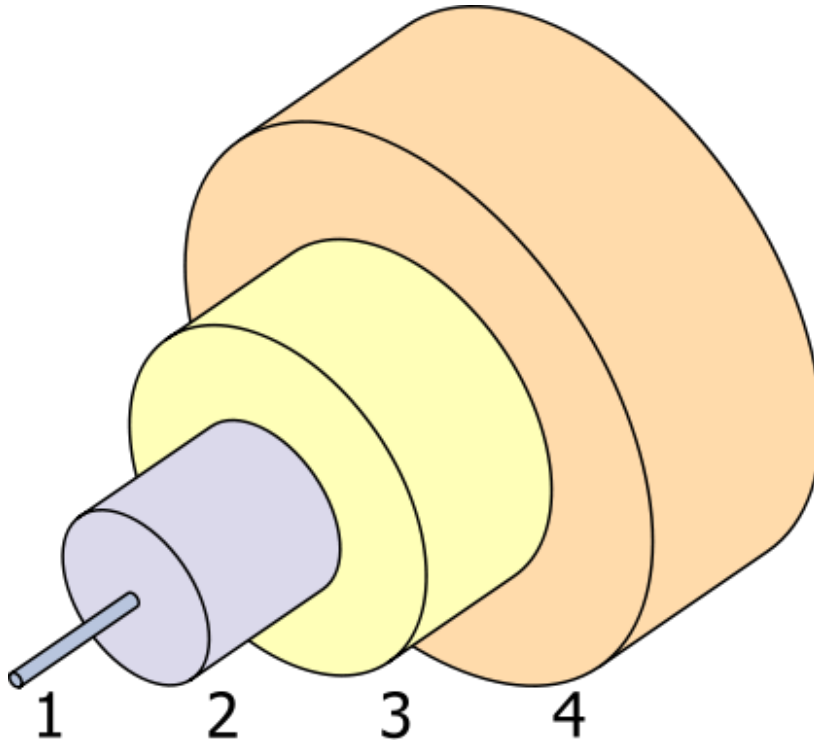


Abbildung 3.7.: Typischer Aufbau eines Lichtwellenleiters [14]

1. Kern
2. Mantel mit $n_K > n_M$, wobei n_K die Brechzahl des Kerns und n_M die Brechzahl des Mantels ist
3. Schutzbeschichtung
4. Äußere Hülle

Für das BATSEN-Projekt benötigten Lichtleiter, fällt die äußere Hülle weg. Die dritte Schutzbeschichtung wird nur teilweise entfernt, um Transmissionen zu ermöglichen.

3.4. Transmission im Lichtleiter

Transmission bei Lichtleitern bedeutet, dass das Licht den Leiter verlässt, weil keine Totalreflexion stattfindet. Eine Totalreflexion findet nur dann statt, wenn der Lichtstrahl mit dem

Winkel θ_1 (Vom Lot zu Lichtstrahl) auf die Oberfläche trifft, wo außerhalb das Medium eine geringere Brechzahl hat, so tritt das Licht unter einem Winkel θ_2 wieder aus (bezüglich zum Lot) so ist θ_2 dann immer größer als θ_1 . Vergrößert man θ_1 , dann wird θ_2 irgendwann 90° überschritten sein. Bei $\theta_2 > 90^\circ$ tritt Totalreflexion auf und der Strahl hat dann einen gleichen Ausfallswinkel wie der Einfallswinkel θ_1 . (Siehe Abbildung 3.8)

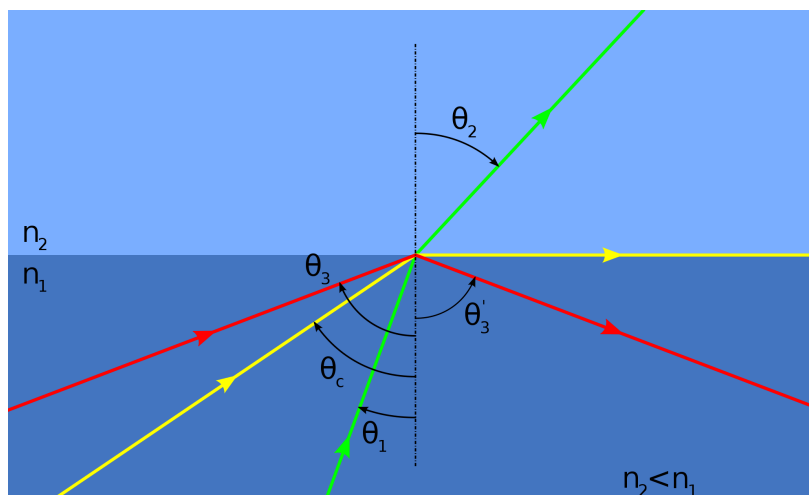


Abbildung 3.8.: Totalreflexion [15]

Grundlagen der Optik findet man im Buch von Bergmann Schaefer [7].

Bei den Lichtleitern erhalten wir diese Situation, wenn der Lichtleiter an einigen Stellen leicht gebogen ist, wo dann das Licht im Lichtstrahlverlauf mehrmals total reflektiert wird, so daß das Licht nicht mehr parallel zur Symetrieachse in der Fasermittte verläuft. Trifft dieser Strahl auf eine stark gekrümmte Stelle, dann kann es passieren, dass der Winkel θ_1 sehr klein wird, da das Lot senkrecht zur Krümmungstangente steht. Dann gibt es keine Totalreflexion mehr, sondern eine teilweise Reflexion; der Rest geht als gebrochene Strahl bzw. als Transmissionsstrahl verloren.

3.4.1. Transmission in Abhängigkeit des Krümmungsradius

Unser Lichtleiter wird zu einer Schlaufe gebogen. Um dessen Biegung zu ermitteln, benötigt man Kenntnisse der Biegetheorie der Technischen Mechanik. Man benötigt Wissen aus der Festigkeitslehre, der Elastizitätslehre und der Statik. Die Transmission ist abhängig von der Krümmung des Lichtleiters und kann hier theoretisch nicht abgehandelt werden, sondern nur experimentell, indem man den Lichtdurchgang bei verschiedenen Krümmungen durch Messungen empirisch ermittelt. Bei den Lichtleitersensoren ist darauf zu achten, dass sie alle auf die gleiche Weise gebogen sind. Die folgende Abbildung (3.9) zeigt den

Lichtstrahlverlauf unter Berücksichtigung einer Lichtleiterkrümmung. Da sich der Strahl an jeder Reflektionsstelle aufteilt in einen reflektierten und gebrochenen Strahl, sind nicht alle gebrochenen und reflektierten Strahlen gezeichnet worden, weil es davon zu viele werden.

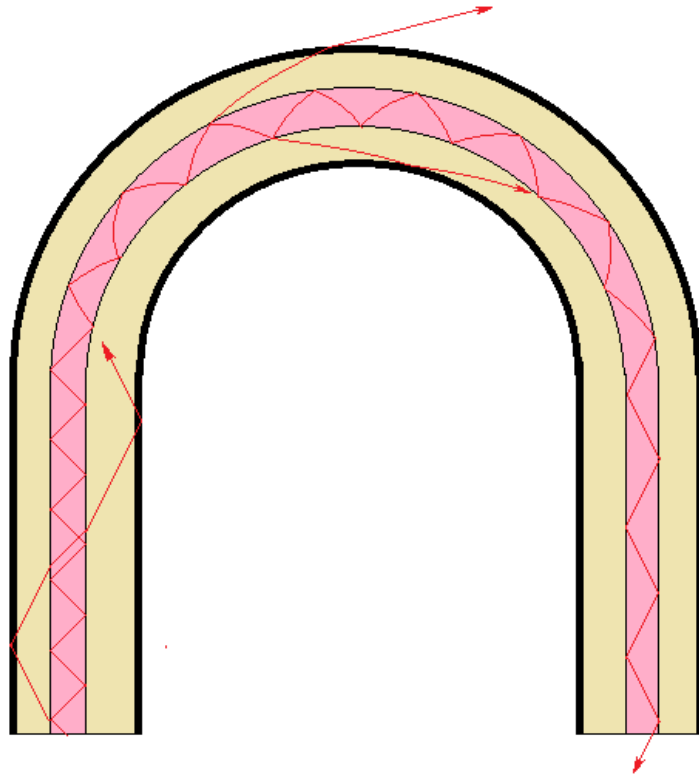


Abbildung 3.9.: Lichtstrahlverlauf in einen gekrümmten Lichtleiter

3.4.2. Absorption

Die Eigenschaften eines guten Lichtleiters zeichnen sich dadurch aus, dass sie sehr wenig Licht verschlucken. Zum Beispiel ist Fensterglas ein sehr schlechter Lichtleiter. Wenn man versucht von der Kante der Glasscheibe durch die gesamte Scheibendicke hindurch zu schauen (ca 1 m), dann sieht man nur eine dunkelgrüne Fläche. Es geht kaum Licht hindurch. Für gute Lichtleiter braucht man sehr reine Stoffe.

3.4.3. Streuung

Weitere Verluste treten durch Streuung [17] auf. Das macht sich besonders bei sehr langen Kabeln bemerkbar. Das heißt, wenn man weißes Licht durch das Kabel schickt, dann kommt rötliches Licht am Ende heraus. Das blaue Licht wird weggestreut. Die Luft ist durchsichtig, aber bei dicken Schichten kann man die Streuung gut beobachten. Das blaue Licht wird stärker weggestreut, weswegen der Himmel blau ist, und das rote Licht wird weniger weggestreut, weswegen der Himmel in Sonnennähe rot erscheint, obwohl das Licht weiß ist. Bei durchsichtigen Festkörpern ist die Streuung größer als in der Luft, weil das Licht an den größeren Molekülen gestreut wird, wie es bei Kunststoffen häufig der Fall ist. Diese Streuung ist als Rayleigh-Streuung bekannt.

Da wir in unserer Arbeit rotes und gelbes Licht verwenden und nicht blaues Licht, macht sich dieser Effekt nicht so stark bemerkbar. Somit ist rotes Licht die bessere Wahl.

3.5. Optische Messverfahren

Früher benutzte man Photozellen (siehe Abbildung 3.10), um Lichtsignale zu messen. Heute werden sie durch Photodioden oder noch besser durch Phototransistoren ersetzt. Phototransistoren haben eine höhere Empfindlichkeit gegenüber Photodioden. Für sehr schwache Lichtsignale werden noch heute Photomultiplier eingesetzt, die ähnlich wie die Photozellen arbeiten, jedoch wird das Licht durch eine Elektronenkaskade verstärkt.

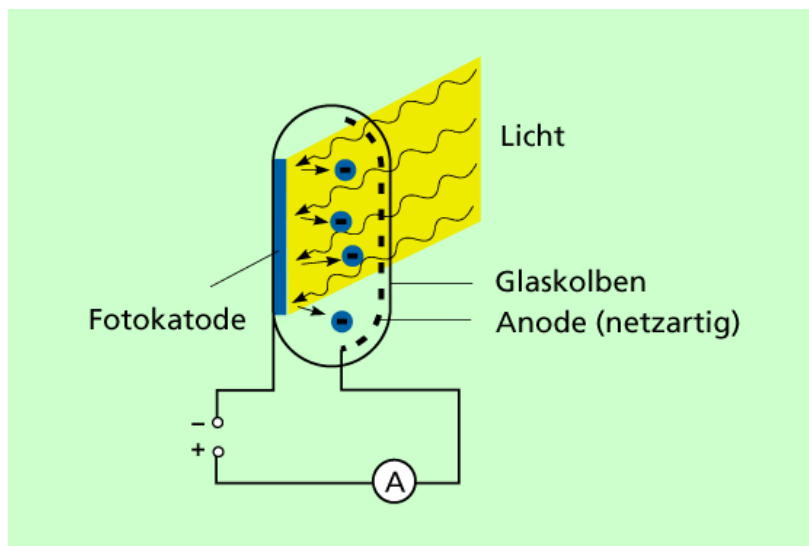


Abbildung 3.10.: Photozelle [18]

3.6. Anwendung optischer Messverfahren bei Bleibatterien

Lichtleiterfasern werden genutzt, um die Brechzahl der Schwefelsäure über einen optischen Wert zu ermitteln. Da beim Aufladen die Schwefelsäurekonzentration steigt, (siehe Kapitel 2.3 Seite 16), so geht bei einem stark gebogenen Lichtleiterfaserkabel durch Transmission Licht verloren. Die Lichtintensität sinkt am Faserende bei steigender Batteriespannung. Umgekehrt gilt natürlich auch, dass wenn die Batteriespannung fällt, so fällt auch die Schwefelsäurekonzentration als auch deren Brechzahl und die Transmission verringert sich und die Lichtintensität am Faserende nimmt zu.

Folgende Abbildung (3.11) zeigt die Brechzahl n in Abhängigkeit der Schwefelsäurekonzentration

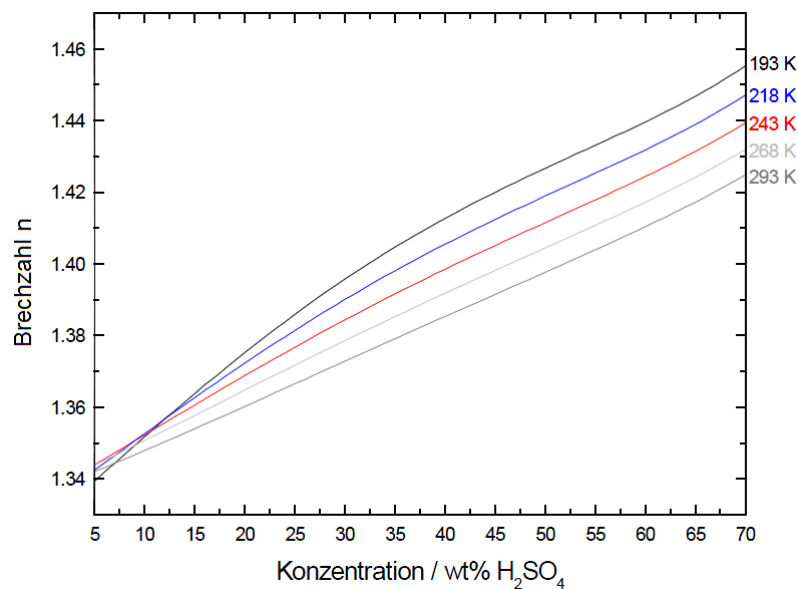


Abbildung 3.11.: Brechungsindex der Schwefelsäure in Abhängigkeit von der Temperatur und Konzentration (bei einer Wellenlänge $\lambda = 514.5 \text{ nm}$ [16])

Die optische Dichte, welche mit der Brechzahl n einhergeht, korreliert auch mit der Säuredichte. Folgende Abbildung 3.12 zeigt die Dichte der Schwefelsäure abhängig von ihrer Konzentration.

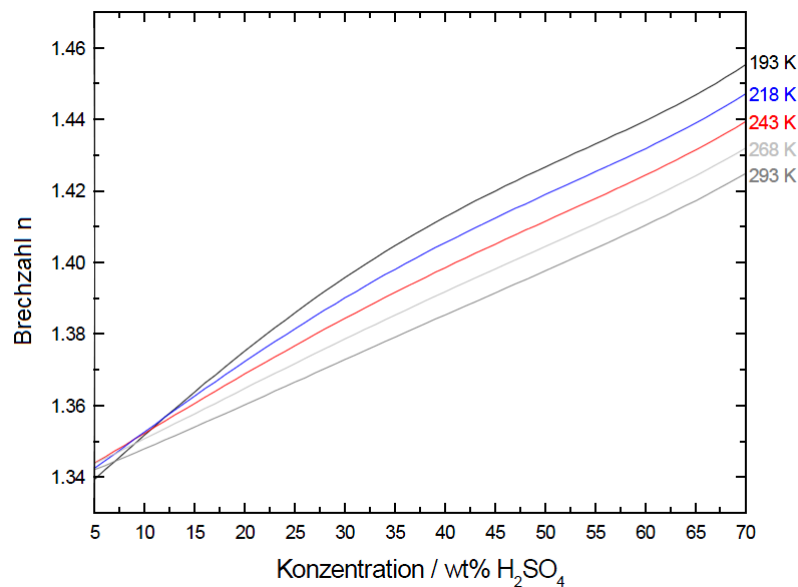


Abbildung 3.12.: Abhängigkeit der Schwefelsäuredichte von ihrer Konzentration bei verschiedenen Temperaturen bei einer Wellenlänge $\lambda = 514.5 \text{ nm}$ [16]

3.7. Der Lichtleitersensor

Der Lichtleitersensor ist zuständig für die Erfassung nichtelektrischer Messdaten und hat die Aufgabe, dieses in elektrische Messdaten umzuwandeln. Er ist ein elektronisches Bauelement, der Licht in einen Lichtleiter schickt, und das am Lichtleiterende austretende Licht über Phototransistoren aufnimmt und in ein elektrisches Signal umwandelt.

3.8. Funktionsweise der Dioden

Dioden bestehen aus Halbleitern. Ein Halbleiter ist ein Metall, welches keine freien Valenzelektronen wie beispielsweise Kupfer besitzen. In Kupfer bilden die freien Valenzelektronen ein Elektronengas, wobei die Elektronen an zu fließen beginnen, wenn man eine elektrische Spannung anlegt. Bei den Halbleitern sind die Elektronen jedoch im Kristallgitter gebunden. Durch thermische Einflüsse kann ein Elektron aus den Gitter herausbrechen und hinterlässt ein Loch (Defektelektron) im Gitter, welches positiv geladen ist. Legt man eine Spannung an, so wandern die Elektronen zum Plus-Pol und die Löcher zum Minuspol. Die Bewegung der Löcher erfolgt dadurch, dass vom Nachbargitter sich ein Elektron herauslöst und zu einen

Nachbarloch wandert und somit dieses auffüllt, was man Rekombination nennt. Silizium [8] ist ein Halbleiter, welches 4 Elektronen in der Außenschale besitzt. Diese 4 Elektronen bilden das Kristallgitter. Man kann in das Kristallgitter eine Störstelle einbauen, indem man ein Atom einbaut, welches 5 Elektronen in der Außenschale besitzt. In dem Fall werden vier Elektronen für das Kristallgitter benötigt und freies Elektron befindet sich neben der Störstelle. Phosphor ist ein solches Atom, welches 5 Elektronen in der Außenschale besitzt. Wenn man Silizium mit Phosphor verunreinigt (dotiert), so sind im Kristallgitter freie Elektronen und man nennt es n-leitend, (n steht für negative Ladung). Baut man in das Kristallgitter Bor-Atome ein, welches 3 Elektronen in der Außenhülle hat, so besitzt dann das Kristallgitter ein Loch bzw. ein Defektelektron. Solches Material ist p-leitend, weil die Löcher positiv geladen sind. Eine Diode besteht nun aus zwei Schichten, wo eine p- und n-Schicht nebeneinander liegen. (siehe Abbildung 3.13)

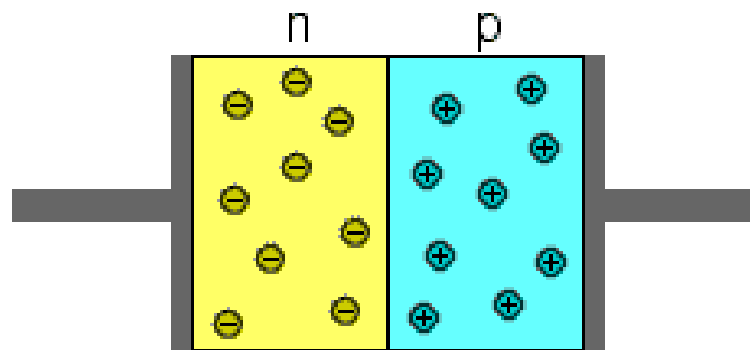


Abbildung 3.13.: P- und N-Schicht einer Diode [24]

Legt man an die n-Schicht eine positive Spannung an, so wandern die Elektronen zum positiven Anschluss. Legt man an die p-Schicht eine negative Spannung an, so wandern die Löcher an den negativen Anschluß. An der pn-Grenzschicht entsteht eine ladungsfreie Zone. Somit sperrt die Diode und es fließt kein Strom (siehe Abbildung 3.14)

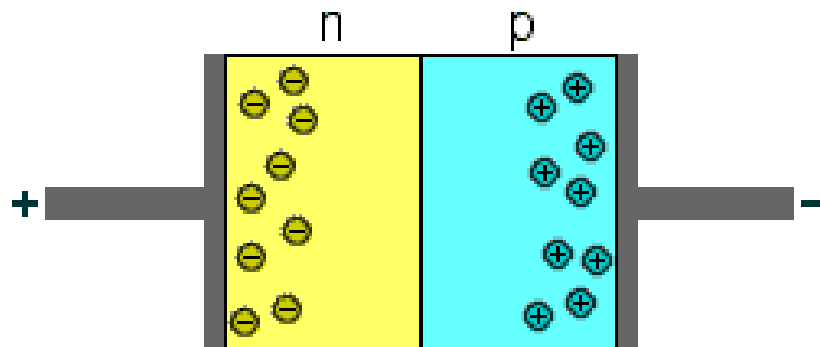


Abbildung 3.14.: Diode in Sperrrichtung [24]

Polt man die Diode um, so stoßen die Elektronen am Minuspol bei der n-Schicht die Elektronen wegen gleichnamiger Ladung durch Abstoßung die Elektronen in Richtung pn-Grenzschicht. Am positiven Pol bei der p-Schicht werden die Löcher ebenfalls in Richtung pn-Grenzschicht weggestoßen. An der pn-Grenzschicht rekombinieren die Elektronen mit den Löchern, so dass dort die positiven und die negativen Ladungen verschwinden. Dadurch kann nun ein Strom durch die Diode fließen, (siehe Abbildung 3.15)

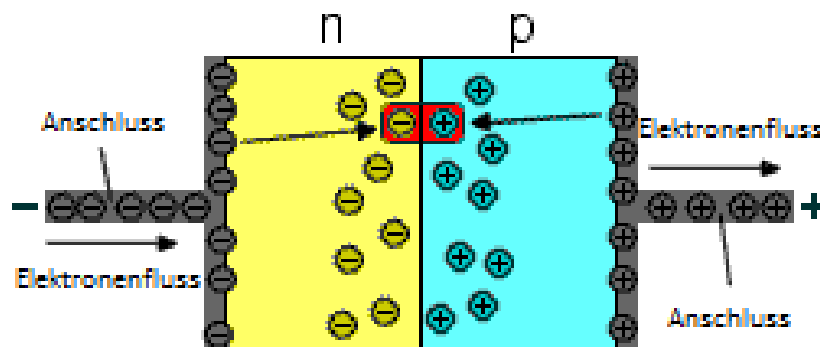


Abbildung 3.15.: Diode in Flußrichtung [24]

weil am negativen Anschluss genügend Elektronen als Nachschub in die n-dotierte Schicht einfließen und am positiven Pol werden Löcher durch „Absaugen“ der Elektronen in der p-dotierten Schicht gebildet. Die Pluszeichen innerhalb des positiven Pols sind natürlich keine Löcher, weil es sich hier nicht um ein Halbleitermaterial handelt, sondern verdeutlicht einen Elektronenmangel im Leiter.

3.8.1. Leuchtdioden als Lichtsender

Bei der Rekombination der Elektronen und Defektelektronen an der pn-Grenzschicht wird Energie freigesetzt. Je nach Dotierung und Halbleitermaterial kann es in Form von Licht abgestrahlt werden. Als Halbleitermaterialien verwendet man Legierungen oder Verbindungen wie

- Galliumarsenid (GaAs)
- Galliumarsenidphosphid (GaAsP)
- Galliumphosphid (GaP)

Folgende Abbildung zeigt, wie durch an der pn-Grenzschicht durch Rekombination der Elektronen mit den Löchern oder Defektelektronen Energie in Form von Lichtphotonen abgestrahlt werden, weil die Elektronen beim Übergang vom Leitungsband zum Valenzband Energie abgeben müssen. Das Valenzband ist der Bereich, welches innerhalb der Metallbindung liegt, was die Kristallstruktur verursacht.

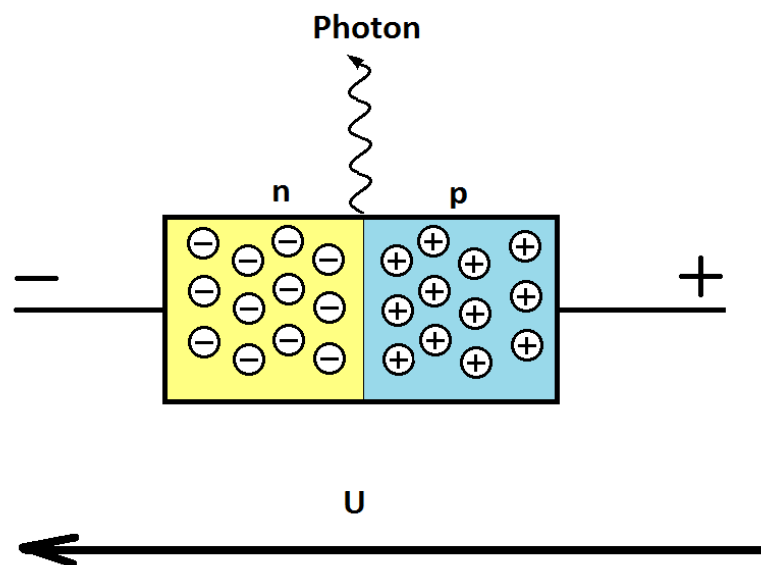


Abbildung 3.16.: Diode in Flußrichtung, wo bei der Rekombination die Energie als Licht freigesetzt wird

3.8.2. Photodioden als Lichtempfänger

Bei der Photodiode passiert der umgekehrte Vorgang wie bei der Leuchtdiode. Da trifft Licht auf die pn-Grenzschicht und erzeugt in der p-Schicht als auch in der n-Schicht Löcher. Die Elektronen der p-Schicht wandern in die n-Schicht und rekombinieren mit den dort gerade entstandenen Löchern, wodurch die n-Schicht sich immer mehr negativ auflädt und die p-Schicht lädt sich immer mehr positiv auf, weil deren Elektronen in der n-Schicht durch Rekombination verschwinden. Dadurch entsteht eine Spannung an der Diode und es kann ein Strom fließen, wenn man die beiden Elektroden kurzschließen würde, andernfalls baut sich eine Spannung auf. Die Erzeugung der Löcher und Elektronen rührt daher, dass Photonen die Metallbindung, welches zum Kristallgitter gehören, aufbrechen. Die Elektronen gewinnen potentielle Energie und gelangen vom Valenzband in das Leitungsband.

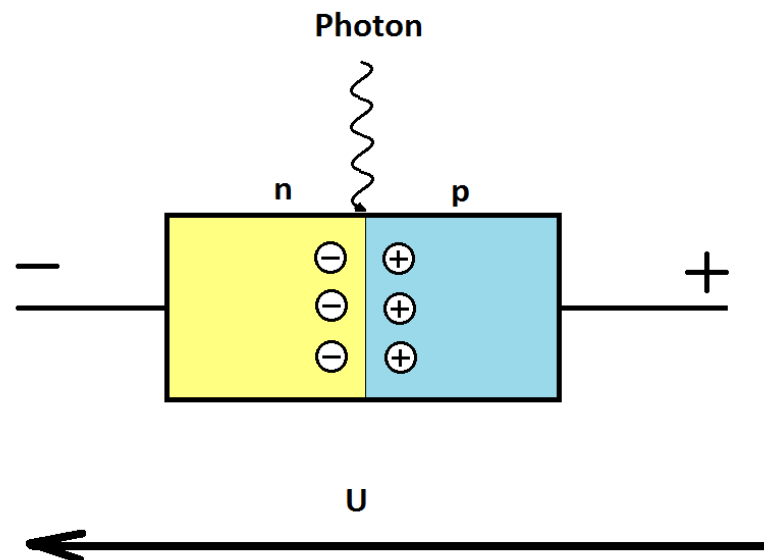


Abbildung 3.17.: Diode in Flußrichtung, wo Lichtphotonen Elektronen und Löcher erzeugen

3.9. Der Phototransistor

Der Phototransistor ist ein Bipolartransistor mit einer pnp- oder npn- Schichtfolge, dessen pn-Übergang der Basis-Kollektor-Sperrschicht einer externen Lichtquelle zugänglich ist. Er ähnelt somit einer Photodiode mit angeschlossenem Verstärkertransistor. Die Ansteuerung des Transistors wird mittels des über den Lichteinfall erzeugten Sperrstroms durch diese

Sperrschicht realisiert. Phototransistoren sind wesentlich empfindlicher als Photodioden, da sie gleichzeitig als Verstärker wirken.

3.9.1. Funktionsweise eines Bipolartransistors

Ein Bipolartransistor besteht aus zwei pn-Übergängen, weshalb es vier mögliche Arten der Beschaltung gibt. Die üblichste Art der Beschaltung ist der Verstärkungsbereich, dabei ist der Emitter-Basis Übergang in Flussrichtung und der Basis-Kollektor Übergang in Sperrrichtung gepolt. Folgende Abbildung zeigt einen Phototransistor, der ja auch ein Bipolartransistor ist, unter den Einfluss von Lichtphotonen, wobei diese an den pn-Schichten Löcher und Elektronen bilden, womit dann bei einer Durchlassspannung zwischen Emitter und Kollektor ein Strom fließen kann. (siehe Abbildung 3.17)

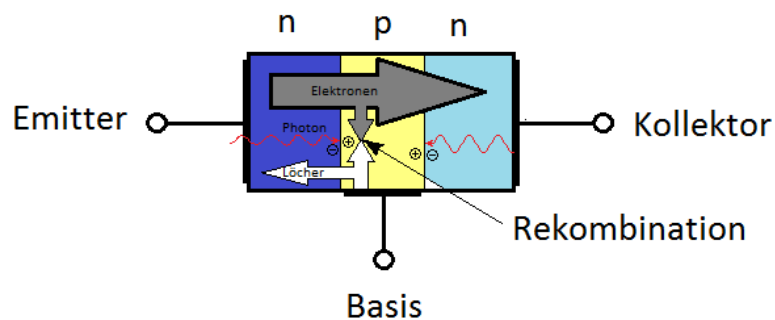


Abbildung 3.18.: Diode in Flußrichtung, wo Lichtphotonen Elektronen und Löcher an den pn-Übergängen erzeugen

3.9.2. Digitalisierung des Lichtsignals

Der Phototransistor erzeugt eine Spannung und diese kann mit einem Analog/Digital-Wandler in ein binäres Signal umgewandelt werden. Dieses Signal kann dann über einer serielle Schnittstelle zu einem Rechner geschickt werden. In unserem Fall werden diese Daten von MATLAB zum Plotten weiterverarbeitet.

4. Analyse der Vorarbeiten

4.1. Bachelorthesis von Michael Meinzer

Die Aufgabe von Herrn Meinzer war, Zellsensoren aufzubauen und verschiedene Schaltungen zu erstellen. Von verschiedenen Schaltungen war ein wesentlicher Punkt die Sicherheitschaltung. Er musste die Messgenauigkeiten ermitteln und die Spannungs- und Temperaturmessungen mussten kalibriert werden. Die Sensoren sollten die Messwerte speichern und die Messzeitpunkte sollten über ein Zeitstempelverfahren zu rekonstruieren sein. Die Hardware besteht aus einem programmierbaren Mikrocontroller, welche auch die Zellspannung und die Temperatur messen kann. Dieses ist möglich, weil er mehrere ADC-Eingänge hat.

An diesen Mikrocontroller ist ein Transmitter geschaltet, der Mikrocontrollerdaten versendet. Es musste eine Software in den Microcontroller implementiert werden, welche die Zellspannung misst, die Temperatur misst, die Daten aufbereitet und diese sendet, und zwar in einer kontinuierlichen Schleife. Für die Daten wurde ein Übertragungsprotokoll angefertigt, wo Zellspannung und Temperaturwert auf bestimmte Bitfelder verteilt wurden. Um die Zellspannung zeitlich richtig zu erfassen, wurde innerhalb der Mess- und Sendeschleife ein Warteschlangenverfahren implementiert. Da der ADC-Digitalisierungsfehler (Offsetfehler, Quantisierungsfehler, Verstärkungsfehler etc.) beinhaltet, wurde eine Kalibrierung implementiert.

4.2. Bachelorthesis von Wahid Nasimzada

Herr Nasimzada befasste sich mit der Entwicklung eines Sensormoduls, der den Ladezustand einer Bleibatterie mit einem Lichtleiter ermittelt. Er musste den Zusammenhang der Brechzahl als Funktion der Säurekonzentration und der Temperatur ermitteln. Dies war wichtig, weil hierdurch die Transmission des Lichtleiters beeinflusst wird. Die vom Vorgänger entworfenen Messprotokolle sollten optimiert werden. Die optischen Messgrößen mussten ebenfalls an die vorhandenen Software angepasst werden. Außerdem befasste sich Herr

Nasimzada mit der Auswirkung der Schwefelsäure auf den Batterieinhalt; besonders bezüglich der Alterungserscheinungen bei den Elektroden durch Sulfatisierungen. Für die Messsonde musste ein geeigneter Biegeradius der Lichtleiterfaser empirisch ermittelt werden, um eine möglichst große Messempfindlichkeit zu erreichen. Die optischen Eigenschaften der Schwefelsäure für verschiedene Konzentrationen wurden für verschiedene Wellenlängen des Lichtes bei verschiedenen Temperaturen gründlich untersucht. Am Schluss wurde dann der Zusammenhang der Transmission abhängig von der Zellspannung ermittelt. Nach diesen eingehenden Untersuchungen konnte dann die geeignete Leuchtdiode mit einem bestimmten Wellenlängenspektrum festgelegt werden. Die Messsonden konnten dann in Bleisäure-Batterien erprobt werden. Der Vorhandene Zellsensor musste erweitert werden, was zur Entwicklung des Dichte-Sensor-Moduls führte. Jenes Modul wurde dann auf dem Zellsensor aufgesteckt. Das neue Messprotokoll nimmt die Transmission (optischer Wert) als neue Größe auf. Die Spannungs- und Temperaturmessung und das Versenden dieser beiden Daten innerhalb einer Schleife, so wie es der Vorgänger beschrieben hatte, wurde um die Transmissionsmessung erweitert.

4.3. Bachelorthesis von Maher Achour

Herr Achour entwickelte einen Lichtwellenleitersensor (Messsonde) auf POF-Basis. Er musste wie sein Vorgänger erneut den optimalen Biegeradius empirisch bestimmen. Die Besonderheit dieser Sonde war, dass die Lichtleiterfaser entlang einer Schraubenlinie um einen Stab gewickelt war, um die Transmission in den Säureschichten des Elektrolyten integrativ zu erfassen. Dabei experimentierte er mit unterschiedlichen Windungszahlen. Diese Sonden wurden nicht mehr manuell hergestellt, sondern mit Hilfe eines 3D-Druckers in Serie gedruckt, womit jeder Sonde eine gleichförmige Bauweise garantiert werden konnte und unerwünschte Schlaufenbildung ausgeschlossen waren. Die Sensoren wurden an anderen Positionen gegenüber seines Vorgängers in die Batterie eingebracht und zwar nicht mehr zwischen den Zellplatten, sondern daneben. Störeinflüsse wie Fremdlicht wurden minimiert oder unterdrückt. Er nutzte ein Kalibrierverfahren nach der linearen Regression. Herr Achour untersuchte die Wellenlängenabhängigkeit bei unterschiedlicher Säuredichte, indem er zwei verschiedene LED's unterschiedlicher Wellenlängenspektren alternierend und automatisch umschalten ließ, was zuvor nur manuell möglich war. So musste das Dichte-Sensor-Modul mit Hilfe eines LED-Treibers leicht abgewandelt werden. Er benutzte sogar eine zweifarbiges LED. Beim Abwandeln des Dichte-Sensor-Moduls wurden somit noch vorhandene Fehler korrigiert. Die Anzahl der Pin-Anschlüsse wurden um zwei erhöht.

Die Softwareerweiterungen bei der Kalibrierung wurden nicht mehr in der Software des Zellsensors umgesetzt, sondern in der Auswertesoftware im MATLAB-Programm am PC.

5. Prüfen und Optimieren des Gesamtmesssystems

Unser Messsystem besteht aus zwei unabhängigen Messeinrichtungen, dem Sensormesssystem und dem Zyklersystem

5.1. Das Sensormesssystem

Das Sensormesssystem besteht aus den Komponenten der Zelleinheit, einem Steuergerät und einem PC.

5.1.1. Die Zelleinheit

Die Zelleinheit (ZE) besitzt eine Messsonde, um die Schwefelsäurekonzentration als optischen Wert zu ermitteln. Dieser Wert wird vom Dichte-Sensor-Modul (DSM) gemessen und an den Zellsensor (ZS) weitergeleitet. Die Messsonde ist auf das DSM aufgesteckt, das DSM ist auf den ZS aufgesteckt und alles zusammen bildet die ZE.

Die Messsonde

In einer handelsüblichen Starterbatterie für Fahrzeuge wird über Bohrungen für jede einzelne galvanische Zelle eine Messsonde eingeführt, welche in die Elektrolytflüssigkeit (verdünnte Schwefelsäure) eintaucht. Die Sonde besteht aus einem gebogenen Lichtleiter. Das Licht, welches durch den Lichtleiter geht, wird je nach Säurekonzentration unterschiedlich aus dem Lichtleiter austreten, was als Transmissionsverlust gemessen wird.

Der Zellsensor

Der ZS misst die Temperatur und die elektrische Spannung. Er besitzt einen internen Messfühler für die Temperatur. Er hat zusätzlich in einer neueren Version einen weiteren Eingang bekommen, wo er den optischen Wert des DSM aufnehmen kann. Als Ausgang liefert er digitale Werte von der Temperatur, der elektrischen Spannung, des optischen Wertes vom DSM, einen Zeitstempel, und eine Zellsensornummer, die er als Funksignal an ein Steuergerät sendet. Der Zellsensor wird an Bleizungen an eine Batteriezelle angeschlossen, wo die Zellspannung und die Temperatur der Batteriezelle aufgenommen wird.

Das Dichte-Sensor-Modul

Auf den DSM wird die Messsonde aufgesteckt. Über eine Leuchtdiode wird ein Lichtsignal durch den Lichtleiter geschickt. Am Ende des Lichtleiters kommt eine geringere Lichtintensität an, die durch Transmissionsverluste abhängig von der Säurekonzentration entsteht. Dieses Licht wird von einem Phototransistor (siehe Kapitel 3.9 Seite 33) empfangen und in ein elektrisches Signal umgewandelt. Das elektrische Signal wird über ein ADC digitalisiert und an das ZS weitergeleitet.

5.1.2. Das Steuergerät

Das Steuergerät empfängt von mehreren Zellsensoren die Funksignale. Seine Aufgabe ist, diese parallel empfangenen Signale zu serialisieren, damit sie an eine serielle USB-Schnittstelle weitergeleitet werden können. Da die Datenpakete der einzelnen Zellsensoren eine Zellsensornummer haben, können diese Datenpakete voneinander unterschieden werden.

5.1.3. Der PC

Der PC erhält nun die serialisierten Datenpakete über die serielle USB-Schnittstelle. Dort können diese Daten über ein MATLAB-Programm ausgewertet und visualisiert werden.

5.2. Das Zykliersystem

Das Zykliersystem besteht aus einem Zykliergerät, einem Netzteil, einer Last und einem PC.

5.2.1. Das Zykliergerät

Die Starterbatterie wird mithilfe des Zykliergeräts¹ periodisch aufgeladen und wieder entladen, wobei die Spannung und der Strom als auch die Temperatur und Zeitstempel aufgezeichnet werden. Über ein Messprogramm wird das Zykliergerät gesteuert.

5.2.2. Das Netzteil

Das Zykliergerät muss mit einem Netzteil versorgt werden, damit es Bleibatterien aufladen kann. Das Zykliergerät misst dann den Aufladestrom. Es besitzt eine einstellbare Konstantstromquelle als auch eine einstellbare Konstantspannungsquelle, wobei nur die Stromquelle benutzt wurde.

5.2.3. Die Last

Die Last ist notwendig, um die Bleibatterien wieder entladen zu können. Dabei wird der Entladestrom vom Zykliergerät über die gleiche Leitung gemessen wie der Aufladestrom. Die Stromquelle, das Zykliergerät, die Last und die Batterie bilden einen geschlossenen Stromkreis.

5.2.4. Der PC

Die Daten vom Zykliergerät werden in Tabellenform auf eine SD-Karte zwischengespeichert. Diese Karte wird manuell in den PC gesteckt, wo dann die Daten zur Auswertung bereitgestellt werden.

Das MATLAB-Programm fügt die Daten des Sensormesssystems und des Zykliersystems über die Zeitstempel zusammen, so dass die Daten beider Messsysteme gemeinsam ausgewertet und visualisiert werden.

¹Das Zykliergerät wurde im Projekt BATSEN entwickelt

5.3. Aufbau des Messsystems inkl. Sensoren, Sonden, Steuergerät und Zykliegerät

Damit man eine reale Vorstellung vom Aufbau der Messsysteme bekommt, folgen hierzu einige Bilder:

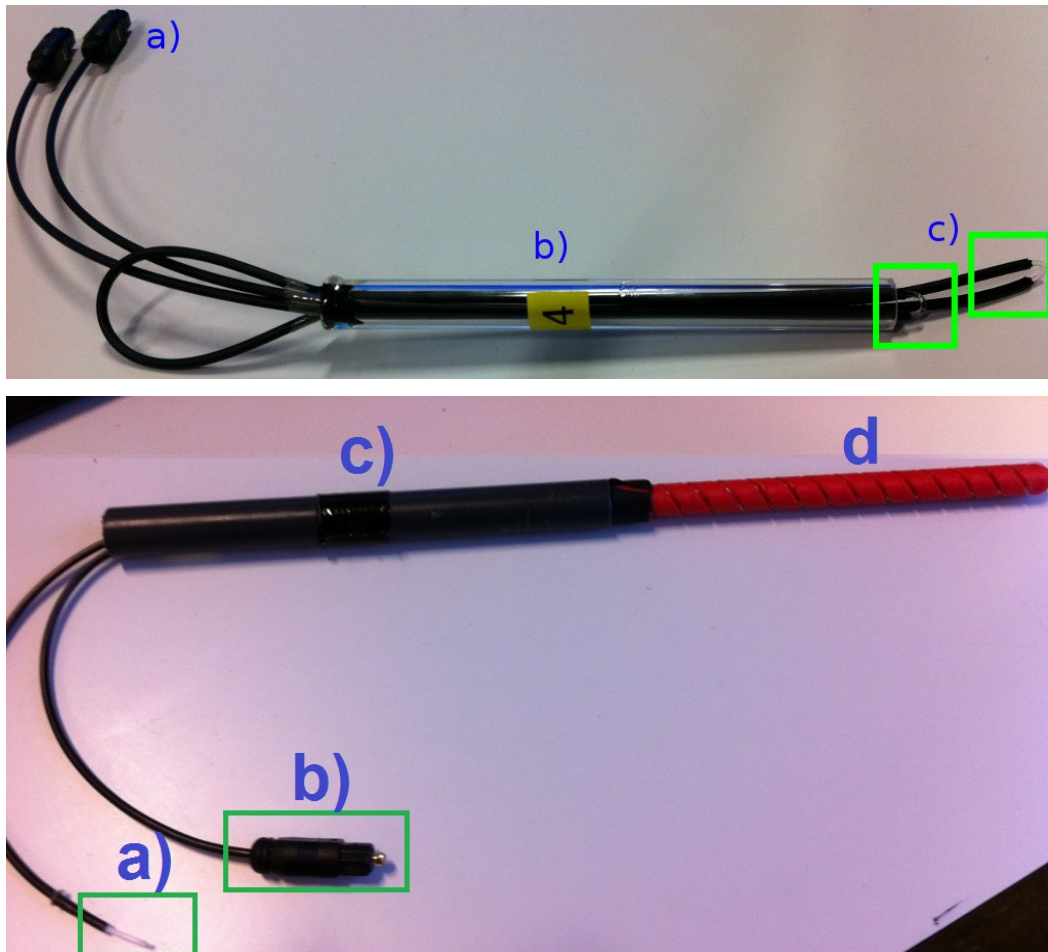


Abbildung 5.1.: **Oben:** Messsonde Typ 1, a) TOSLINK-Stecker, b) Plexiglas-Rohr zur Stabilisierung, c) Zwei offene Faserbiegungen für die optische Interaktion mit der Schwefelsäure (grüne Kästchen). **Unten:** Messsonde Typ 2, a) offene Lichtleiterfaser, b) TOSLINK-Stecker, c) Plexiglas-Rohr zur Stabilisierung, d) Stabförmige Unterlage mit eingefrästeter schraubenlinienförmiger Nut, in welches der Lichtleiter eingebettet ist.

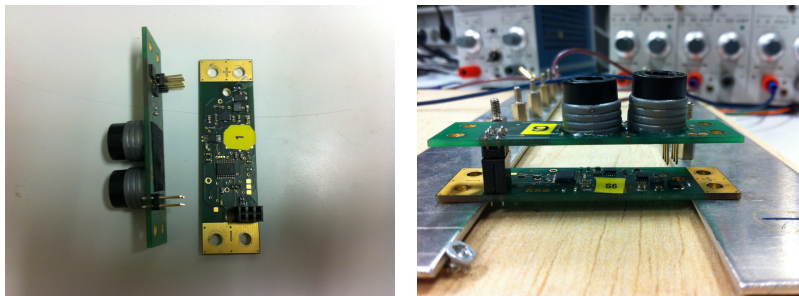


Abbildung 5.2.: **Links:** Das linke Teil ist das Dichte-Sensor-Modul, rechts davon ist der Zellsensor. **Rechts:** Sensoreinheit, zusammengesteckt aus Dichte-Sensor-Modul und Zellsensor.

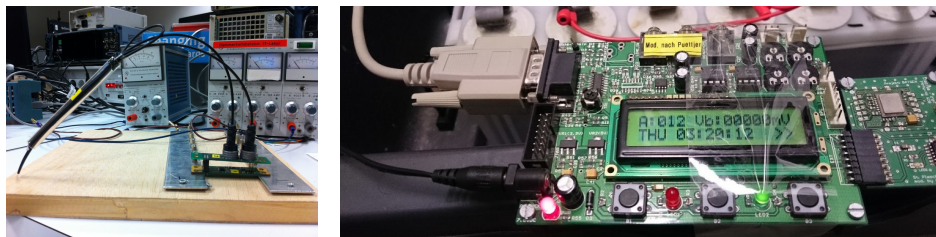


Abbildung 5.3.: **Links:** Messsonde, aufgesteckt auf der Sensoreinheit. **Rechts:** Steuergerät, welches über Funk die Daten von den Sensoreinheiten empfängt und sie dann für die serielle USB-Schnittstelle eines PCs serialisiert



Abbildung 5.4.: **Oben:** Batterie mit eingesteckten Messsonden und an den Batterieelektroden aufmontierte Sensoreinheiten. **Unten:** Zykliergerät

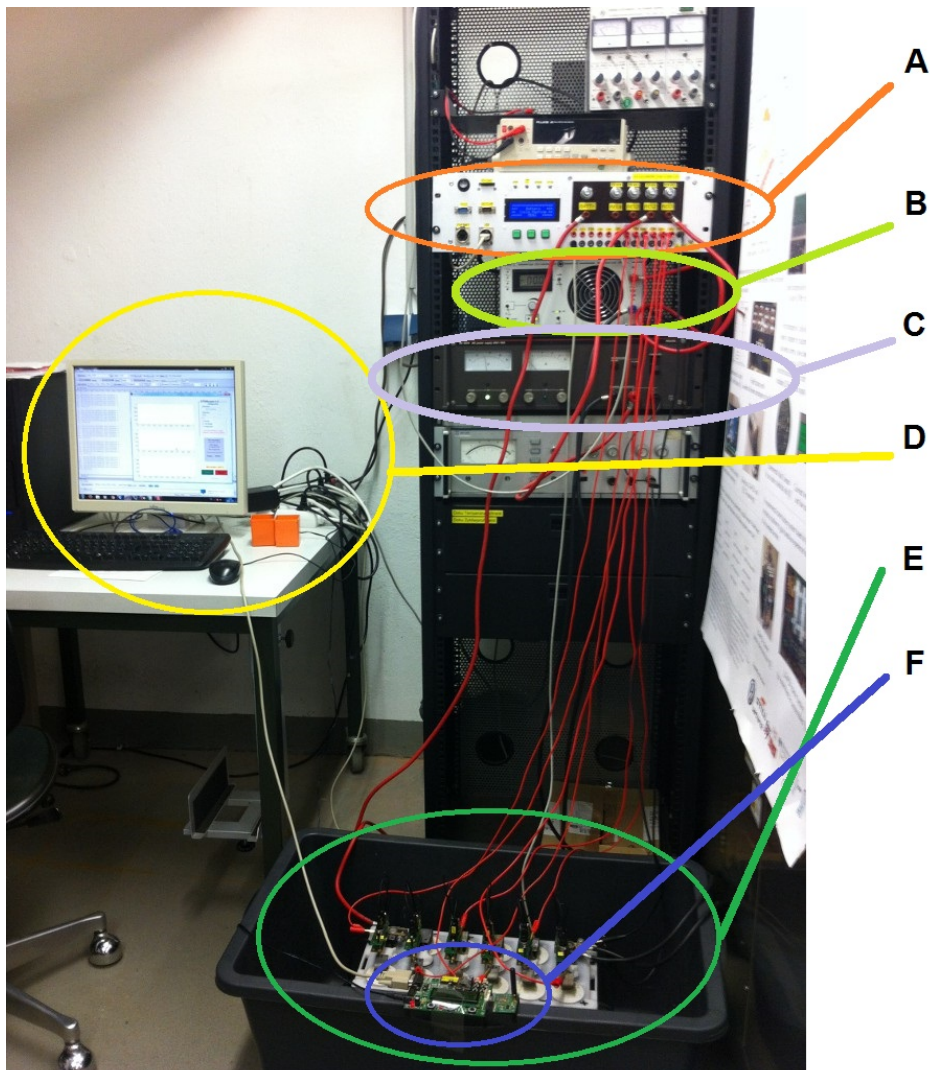


Abbildung 5.5.: Vollständige Messeinrichtung mit A) Zykliegerät, B) Last, c) Netzteil D) PC, E) Bleiakkumulator mit aufgesetzten Zelleinheiten (ZS, DSM, Messsonden) und F) Steuergerät.

5.4. Graphische Skizze mit Erklärung

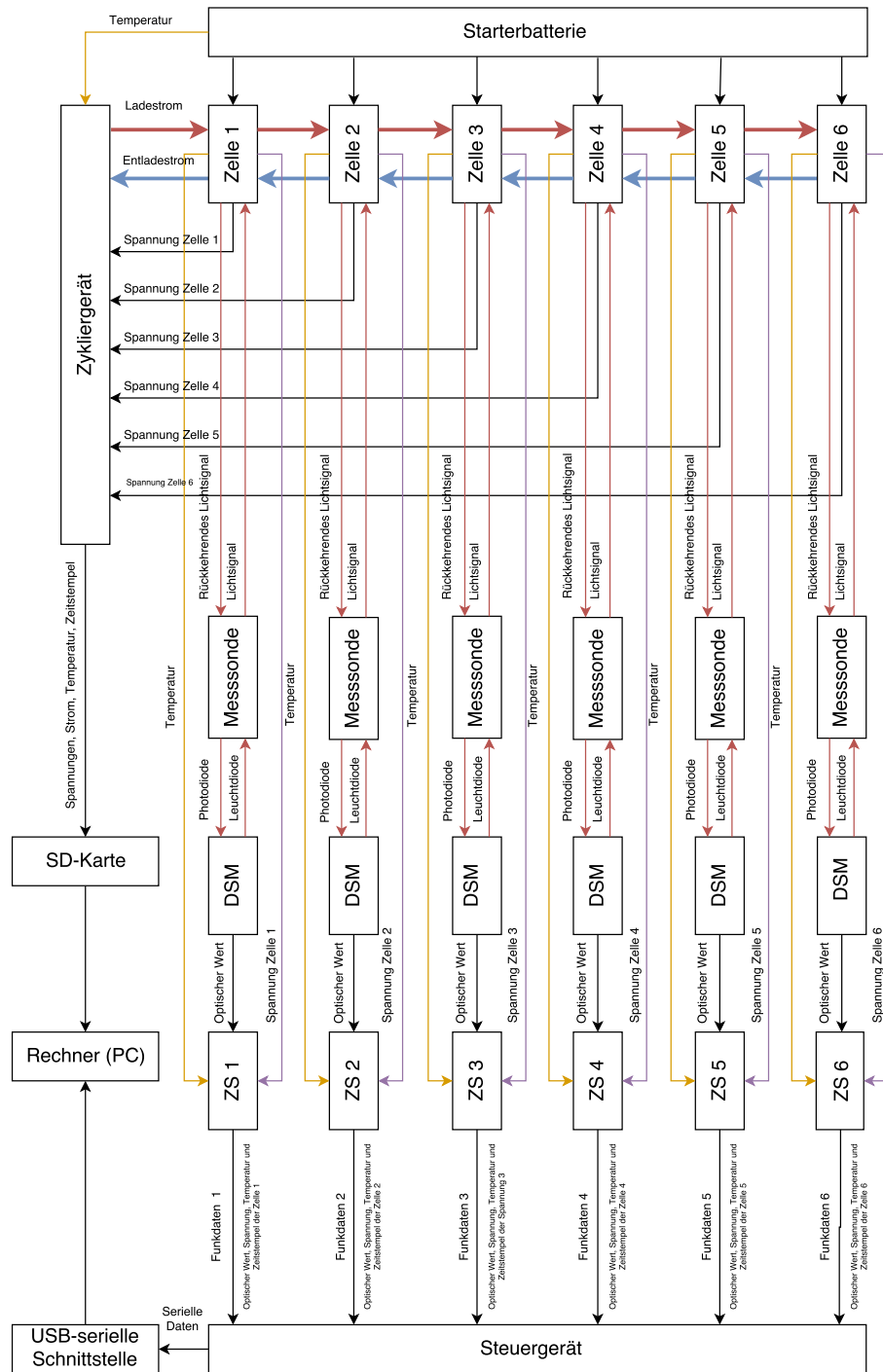


Abbildung 5.6.: Blockschaltbild der gesamten Messanordnung

Das Zykliergerät steuert den gesamten Ablauf aller Messungen, indem es einen Ladestrom an die Zelle 1 schickt. Die Zellen sind in Serie geschaltet. Das bedeutet, dass jede einzelne Zelle aufgeladen wird. Über die Zelle 6 können alle Zellen entladen werden. Das Zykliergerät misst den Ladestrom und den Entladestrom über einen Stromanschluss. Es hat auch stromfreie Zeiten, wo die Spannungen weiterhin im Leerlauf aufgezeichnet werden. Das Zykliergerät ist in seinen Ablauf programmierbar, z.B. die Anzahl der Zyklen, Zyklusdauer, Spannungs- und Zeitsteuerung und wird vom Zykliergerät über Relaischalter realisiert. Ein Temperaturfühler kann an die Startbatterie angebracht werden. Die Spannungsdaten der einzelnen Zellen, die Lade- und Entladeströme, als auch der Wert des Temperaturfühlers werden zusammen mit einem Zeitstempel aufgezeichnet und in Tabellenform in die SD-Karte abgespeichert, welche von einem Rechner (PC) zwecks Auswertung gelesen werden kann. Über Messsonden wird bei der zweiten Messeinheit jede galvanische Zelle der optische Wert gemessen und auf dem DSM zu einem optischen Wert digitalisiert. Dieser Wert wird vom Zellsensor aufgenommen. Der Zellsensor misst bei jeder Zelle zusätzlich die Temperatur und Zellenspannung. In jedem Zellsensor ist eine Zellsensornummer integriert, so dass der Zellsensor ein Datenpaket über Funk zum Steuergerät sendet. Das Datenpaket enthält dann den optischen Wert, die Spannung der Zelle, die Temperatur der Zelle, die Zellsensornummer und einen internen Zeitstempel des Zellsensors. Beim Steuergerät treffen diese Datenpakete jeder einzelnen Zelle zeitlich parallel ein und werden serialisiert zur USB-Schnittstelle weitergeleitet, so dass sie von einem Rechner zwecks Datenauswertung empfangen werden.

5.5. Prüfung der Komponenten und Fehlerbehebung

5.5.1. Messsondenauswahl

Es wurden zwei unterschiedlichen Messsonden an der HAW im Rahmen des BATSEN-Projekts entwickelt. Die Sonde von Typ-1 besitzt zwei einfache Lichtleiterschlaufen und die zweite Sonde vom Typ-2 hat ein spiralförmig gewundenes Lichtleiterkabel. Bei der Messung des optischen Lichtdurchgangs ging bei der Sonde vom Typ-2 durch Transmission viel Licht verloren (Messung mit Brechzahl der Luft). Man kann annehmen, dass in der Säure und im Wasser ebenso hohe Transmissionsverluste sind. Es wurden für die Messungen Typ-1 Messsonden benutzt, weil sie stärkere Lichtintensitätswerte nach Durchgang des Lichtes ergeben.

5.5.2. Überprüfung der Zellsensoren und deren Ergebnisse

Alle Zellsensoren wurden überprüft. Dabei wurde eine Spannung von zwei Volt angelegt. Wenn sie nicht blinkten, dann waren die Sicherungen durchgebrannt. Es wurde festgestellt, dass eine Sicherung hinter der Supressordiode überflüssig war (siehe ??) und sie wurde mit einem 0Ω -Widerstand ausgetauscht. Nach dem Sicherungstausch wurden die Zellsensoren unter dreitägiger Betriebsdauer geprüft, nachdem sie die Prüfung bestanden haben, wurden die Dichte-Sensor-Module angeschlossen. Während der LED-Umschaltung wurden große Stromimpulse festgestellt, die die Sicherung Fuse1 durchbrennen ließ, welche sich im stromführenden Kreis am positiven Eingang des Zellsensors befinden. Sie wurde vom Typ F (flick) durch den Typ T (träge) ausgetauscht mit dem gleichen Stromdurchlasswert von (1A). Nach der Optimierung der Zellsensoren wurden zwei neue Zellsensoren bestückt und in Betrieb genommen.

5.5.3. Überprüfung der Dichtemodule

Alle bestehende Module wurden überprüft und die meisten waren nicht mehr funktionsfähig. Die Verbindungsbuchsen, waren abgebrochen oder schlecht aufgeklebt, so das die Photodioden oder Leuchtdioden nicht zentral innerhalb des Anschluss gelegen haben. Dadurch treten Sende- und Empfangsverluste bei den Dioden auf. Die unteren Verbindungsstecker wurden alle mit einer zusätzlichen Plastikhülle ummantelt, um mehr mechanische Stabilität zu gewährleisten, um sie besser zentrieren zu können und um an den Klebestellen Umgebungslicht zu minimieren. Auf der Rückseite der Platine tritt ebenfalls Umgebungslicht ein, was mit einer Klebefolie abgedeckt wurde, um es zu minimieren. Es mussten weitere DSM hergestellt werden.

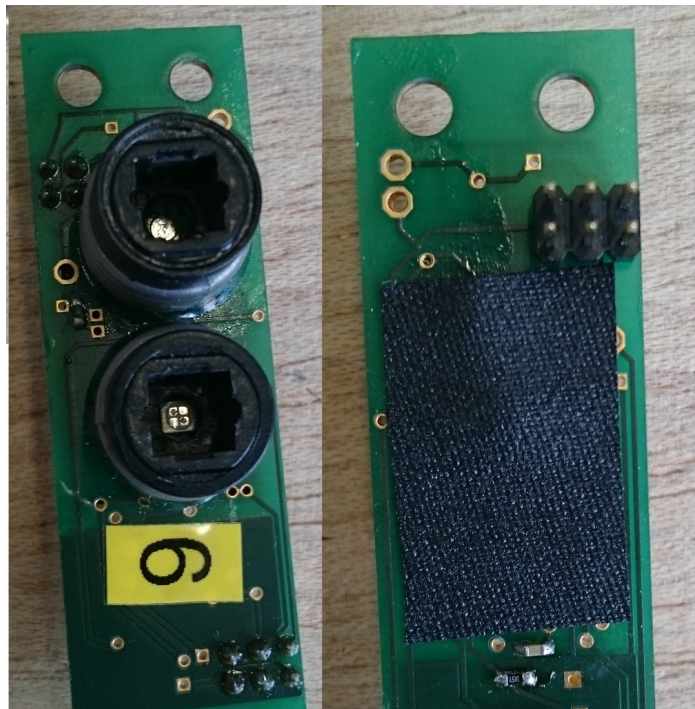


Abbildung 5.7.: Verbesserte DSM

5.6. Testbetrieb um Stabilität sicherzustellen

Die korrigierten und neuen Bauteile wurden über mehrere Tage getestet, bevor sie für den Batterietest einsatzbereit waren. Es wurde mit unterschiedlichen Spannungen getestet, Abweichungen wurden notiert und eine Kalibration durchgeführt.

	U_T [mV]	U_T [mV]	U_T [mV]	U_T [mV]	U_T [mV]		
	1501.00	1802.00	2102.00	2401.00	2701.00		
Sensornr.	U_S [mV]	U_S [mV]	U_S [mV]	U_S [mV]	U_S [mV]	Steigung	Achsenabschnitt
1	1523.50	1830.22	2133.40	2425.62	2729.54	1.0028	21.1029
2	1502.80	1808.17	2107.39	2397.94	2696.44	0.9926	16.6391
3	1487.77	1791.43	2089.96	2376.39	2672.81	0.9854	13.0477
5	1526.15	1834.62	2138.28	2430.05	2731.82	1.0026	25.3198
6	1530.20	1840.60	2145.89	2462.00	2766.33	1.0316	-18.7144
7	1475.04	1773.41	2067.45	2350.34	2642.92	0.9712	20.8999
8	1528.36	1839.04	2143.49	2435.59	2741.33	1.0078	19.6807
9	1481.44	1779.66	2072.29	2356.50	2649.25	0.9712	27.0456

Tabelle 5.1.: Kalibration der Zellsensoren. U_T ist die vorgegebene Tektronix-Spannung und U_S ist die gemessene elektrische Spannung des Zellsensors. Steigung und Achsenabschnitt wurden mit Hilfe einer Formel, die in Excel programmiert wurde, berechnet.

5.7. Vorbereitung zum Batterietest

Handelsübliche Starterbatterien bekamen für jede Zelle eine Bohrung, wo man die optischen Messsonden einführte. Im Forschungsbetrieb wurden an den Bohrlöchern keine Dichtungen angebracht, die das versehentliche Auslaufen von Schwefelsäure verhindern. Somit waren die Batterien stets offen, was bedeutet, dass wenn bei der Aufladung eine Elektrolyse stattfindet, wo eventuell Wasserstoff dabei entsteht, dieser entweichen kann. Die Batterie wurde mit 37.5% iger Schwefelsäure gefüllt. Ein wissenschaftliche Mitarbeiter hatte an den Elektroden Bleizungen montiert. An der Zelle eins und der Zelle sechs, wo sich die Stromelektoden befinden, wurden spezielle Stromklemmen angebracht. An den Bleizungen wurden die Zellsensoreinheiten montiert. Die Messsonden wurde mit den DSMs verbunden.

5.8. Aufbau des Messsystems

Vom Netzteil führt ein Stromkabel (a) zum Zykliergerät an das Relais Nr. 2. Ein weiteres Stromkabel (b) führt vom Zykliergerät zur Bleibatterie an die Zelle 6. Ein drittes Stromkabel (c) führt vom Zykliergerät an der Stelle des Relais Nr. 1 zur Last. Die Bleibatterie ist an der ersten Zelle über die Leitung (b) mit der Erde des Netzteils (c) verbunden. Die Last sowie das Zykliergerät besitzt eine Erde, die mit der Erde des Netzteils über die Leitung (c) verbunden wird. Folgende Abbildung (5.8) zeigt die Schaltung des Messsystems für die Zyklierung.

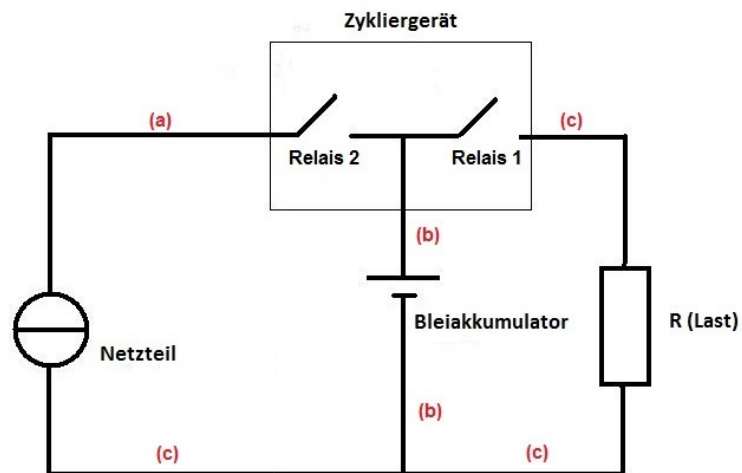


Abbildung 5.8.: Der Stromkreis des Messsystems

Man kann aus dieser Schaltung entnehmen, welche Auswirkungen die Schalterstellungen (Relais) haben. In der folgenden Tabelle ist ein offenes Relais oder Schalter mit einer 0 gekennzeichnet und im geschlossenen Zustand mit 1.

Relais 1	Relais 2	Auswirkung
0	0	Pause
0	1	Aufladung
1	0	Entladung
1	1	Nicht erlaubt

Tabelle 5.2.: Relaiszustände

5.8.1. Das Zyklrierprogramm

Das Messsystem wird über ein Zyklrierprogramm gesteuert: Ein Ausschnitt zur Ansteuerung sieht wie folgend aus:

```
//Grenzwerte zur Sicherheit
vlimits 1800 2400 // Untere und Obere Grenze von Zellspannung
maxcurr 20000 // Maximale Stromgrenze in mA
maxtemp 60 // Höchsttemperatur in °c
maxcharge 99999 // Höchstspannung in mV

//Zyklrierablauf // Die Zahl am Zeilenende ist Relaisnummer
relsel 1 wait 15 0 // Einschaltwartezeit ca 5 s
relsel 2 charge_batV 14200 2 // Afladen bis Batterispannung 14,2 V erreicht hat
relsel 3 wait 1080 0 // Halbe Stunde Wartezeit
relsel 4 loop_start 20 0 // Schleifenanfang (für 20 Durchleufe)
relsel 5 discharge_cellV 1800 1 // Entladen bis auf die Zellspannung 1,8 V
relsel 6 wait 12960 0 // Sechs Stunden Wartezeit
relsel 7 charge_cellV 2400 2 // Aufladen bis auf die Zellspannung 2,4 V
relsel 8 wait 12960 0 // Sechs Stunden Wartezeit
relsel 9 loop_end 0 0 // Schleifenende
relsel 10 wait 15 0 // Ausschaltwartezeit ca 5 s
```

6. Funktionserprobung auf der Starterbatterie

Um die Messergebnisse erklären zu können, muss man die Funktionsweise der Bleibatterie bis ins kleinste Detail verstehen. Es fällt auf, dass eine Bleibatterie auch wie ein Kondensator funktioniert, weil die Batterie wie ein Kondensator aus zwei Elektroden besteht, wo dazwischen ein Dielektrikum ist, was in unserem Fall die Schwefelsäure ist. Es ist möglich, dass diese Eigenschaft bei den Messungen eine Rolle spielt.

6.1. Messungen von Zellsensoreinheiten

Diese Messungen wurden von Zykliegerät indirekt gesteuert, dadurch dass die einzelnen Zellen der Bleibatterie zyklisch aufgeladen und entladen wurden.

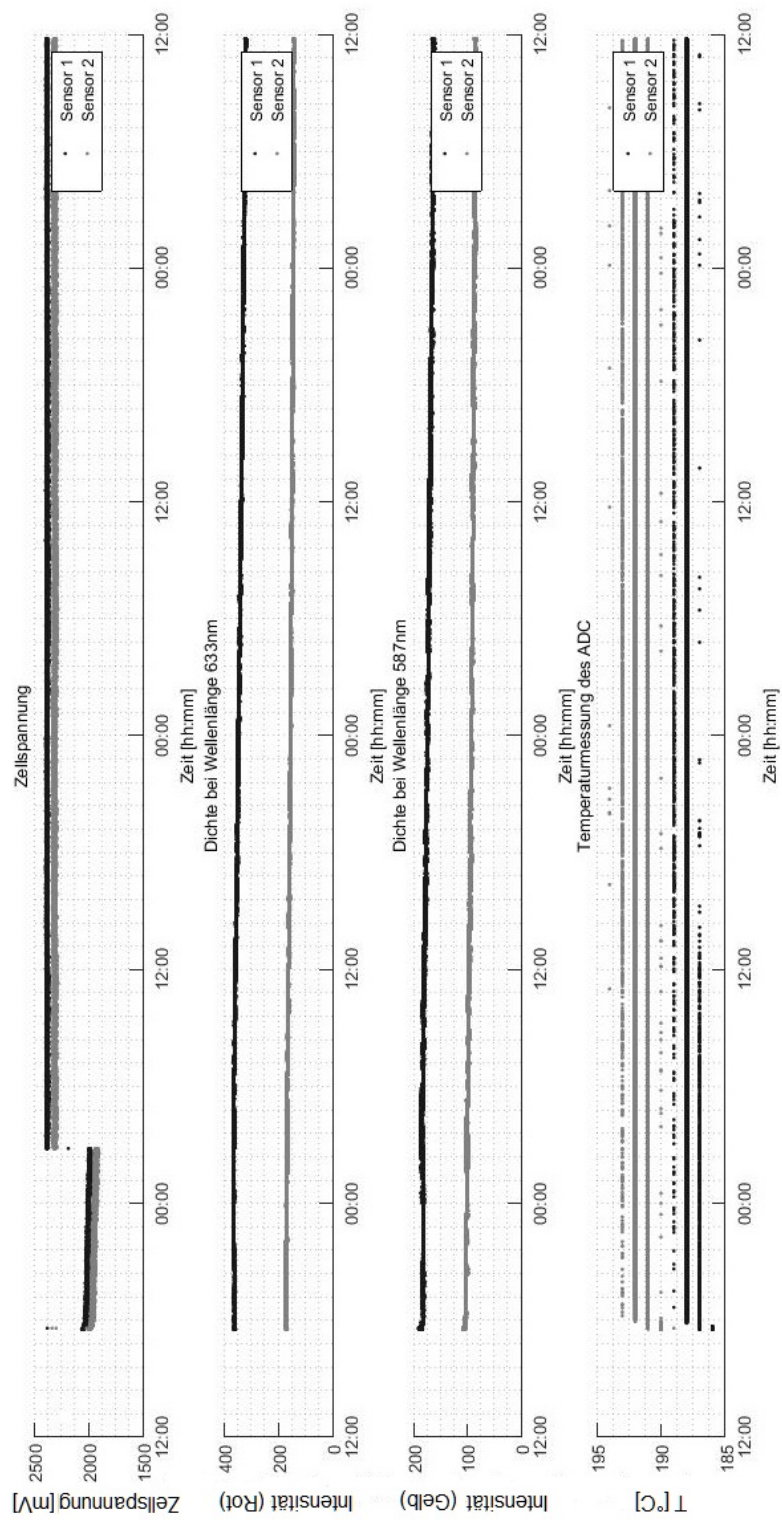


Abbildung 6.1.: Erste Messung auf der Schiene ohne den Bleiakkumulator

Die erste Messung war nicht zufriedenstellend, weil die meisten Sensoren nicht empfangen wurden, weil der Empfänger (im Steuergerät) bezüglich zu den Sendern (Zellsensoreinheit) nicht richtig positioniert war und ein Teil der Sendesignale im toten Winkel lagen. Die Temperaturen wurden noch nicht kalibriert. Es handelt sich hier um die ADC-Werte. Der sehr unterschiedliche Abstand der beiden Lichtwerte erklärt sich dadurch, dass die Werte noch nicht normiert wurden. Jeder Sonde war auch von der Form her etwas unterschiedlich, so dass die Transmission der einzelnen Sensoren nicht gleich waren. Ein weiterer systematischer Fehler kommt auch bei den Toslink-Steckern vor, wenn die Leuchtdioden und die Phototransistoren innerhalb dieser Stecker nicht genau im Zentrum lagen. Es wurden die Messsonden vom Typ1 meines Vorgängers verwendet. Ihre Messwerte waren nicht sehr gut.

Es folgten nun Maßnahmen der Verbesserung. Die MATLAB Programme mussten verbessert und erweitert werden. Neben anderen Änderungen wurde auch eine Normierung eingeführt, damit sich die Werte der einzelnen Sensoren nicht zu stark unterscheiden. Die Ausreißer wurden gemittelt.

Für die nachfolgenden Messungen liefen die Zyklisierung der Batterie nicht richtig ab, weil das Zyklisierungsprogramm logisch noch fehlerhaft war. Die Zyklisierungsgerätedaten wurden eingelesen und ebenfalls geplottet. Die Zeitstempel des Zyklisierungsgeräts und der Zellsensoren wurden aufeinander abgestimmt. Es kamen zusätzliche Plots hinzu, zum Beispiel Strommessungen, Ladung der Zellen, Verhältnis von Ladung und Licht, Rot- und Gelblichtwerte wurden in einem Plot zusammengefasst.

6.2. Die Zykliermessreihen

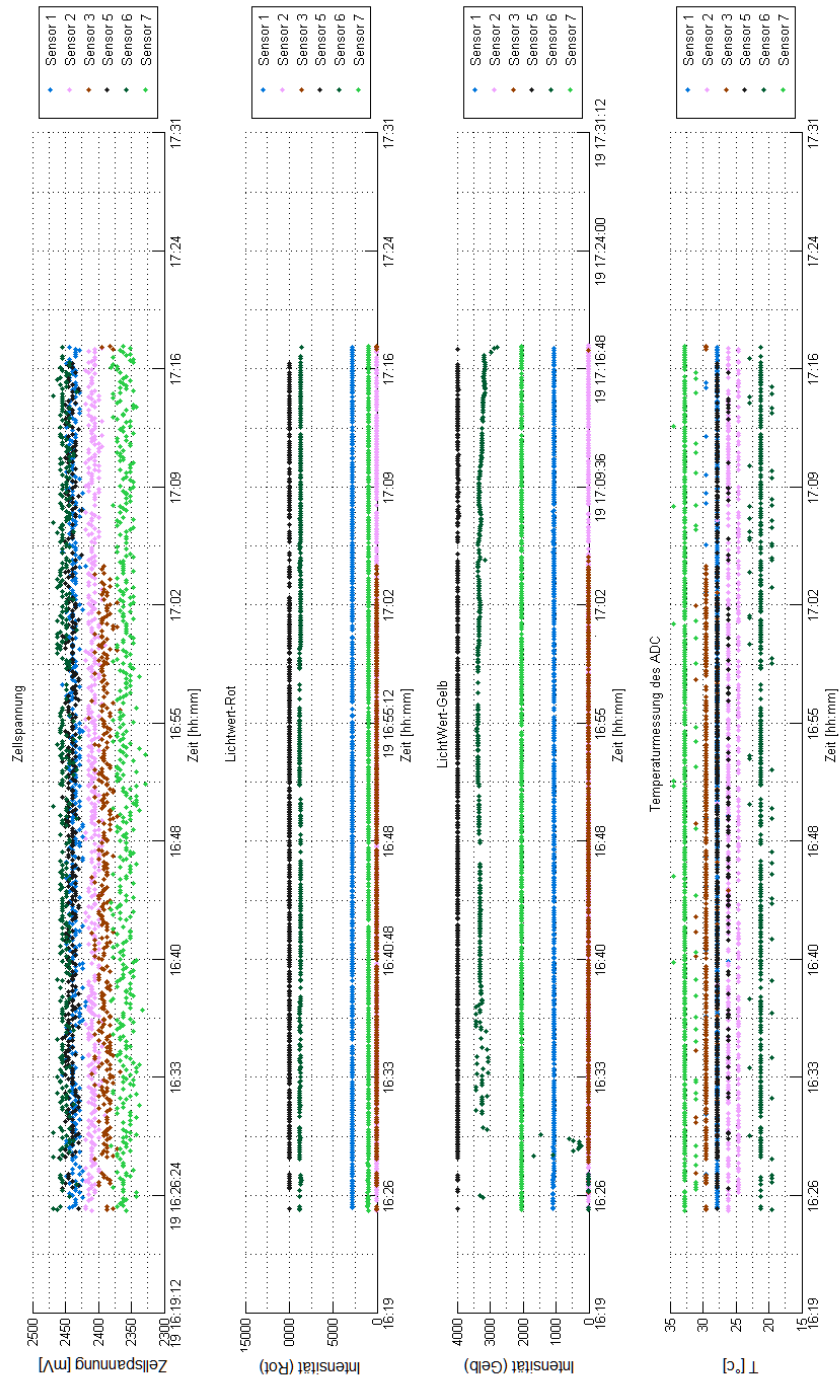


Abbildung 6.2.: Luftmessung ohne Batterie und Zykliergerät, mit angelegter regelbarer Spannung

Die obige Messung (siehe Abbildung 6.2) wurde in der Luft gemacht. Es wurde noch nicht zyklisiert, jedoch wurde mittels Netzteils eine regelbare Spannung angelegt. Die Sonden sollten miteinander verglichen werden. Die Messwerte streuten sehr stark und einzelne Messsonden haben unterschiedliche Werte geliefert, was zu erwarten war wegen unterschiedlichen Bauweisen, weil die Sonden mit der Hand zusammengefügt wurden und daher nicht maßgetreu waren und die Steckverbindungen mangels einer präzisen Ausrichtungshilfe nicht genau auf die DMS-Platine geklebt wurden.

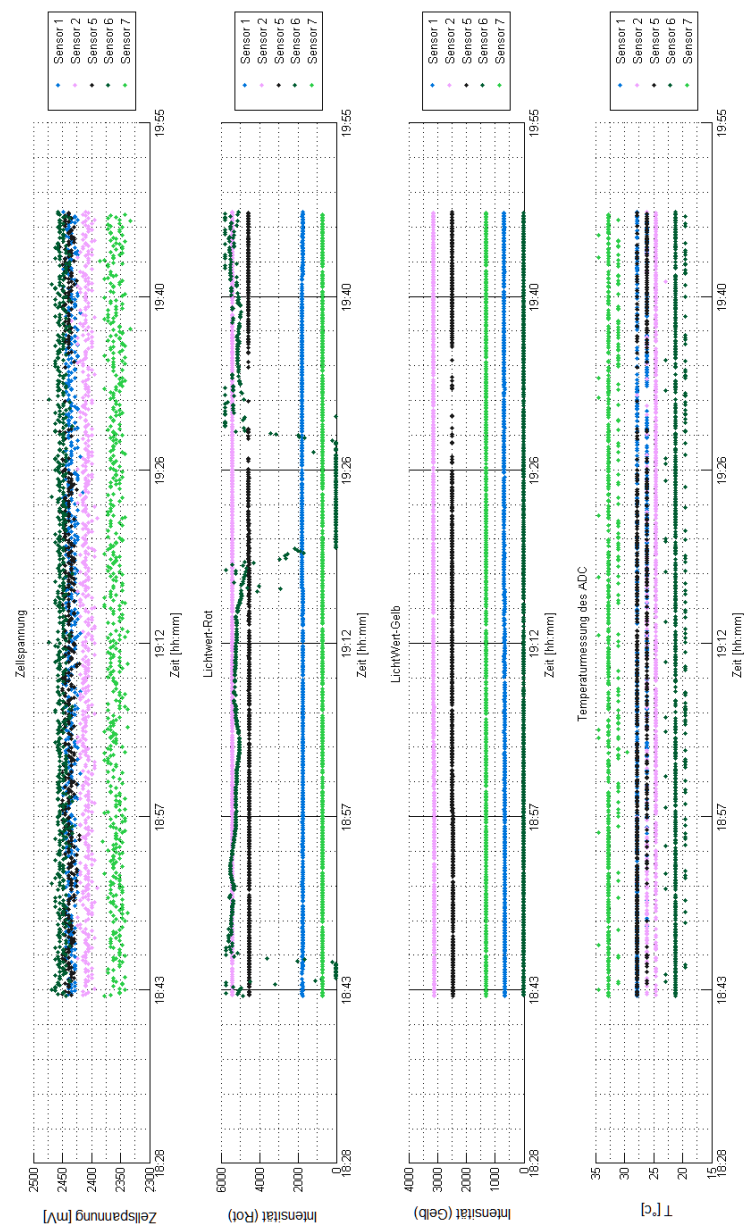


Abbildung 6.3.: Messung im Wasser analog der Luftmessung

Die Messung in Wasser sind in sofern interessant, weil Wasser eine völlig entladende Bleibatterie (0 V) simuliert. Damit erhält man dann Referenzdaten, wenn die Bleibatterie komplett entladen ist. Außerdem sieht man wegen der höheren Brechzahl des Wassers eine erhöhte Transmission gegenüber Luft, dadurch sinkt die Lichtintensität.

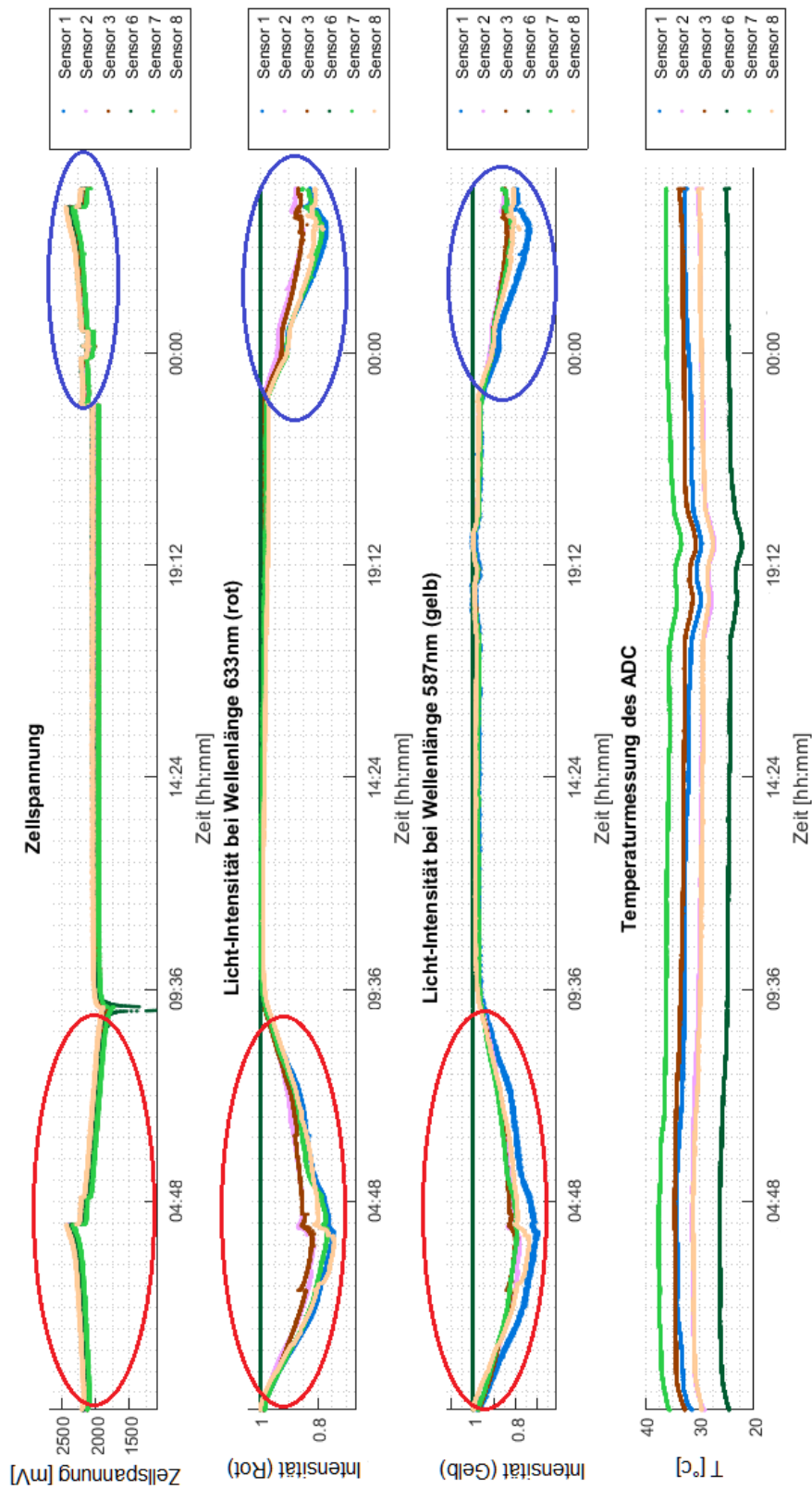


Abbildung 6.4.: Erste Messung mit deutlichen Effekten. Die eingekreisten Intervalle zeigen diese Effekte, dass wenn die Spannung steigt oder fällt, die Lichtintensität quasi spiegelverkehrt fällt oder steigt.

Nach etwa 20 Messungen konnten vollständige Messungen erzielt werden, wo alle Übertragungsschwierigkeiten behoben waren. Die erwarteten Effekte waren deutlich zu sehen (siehe Kapitel 2.3 Seite 16 und Kapitel 3.6 Seite 28).

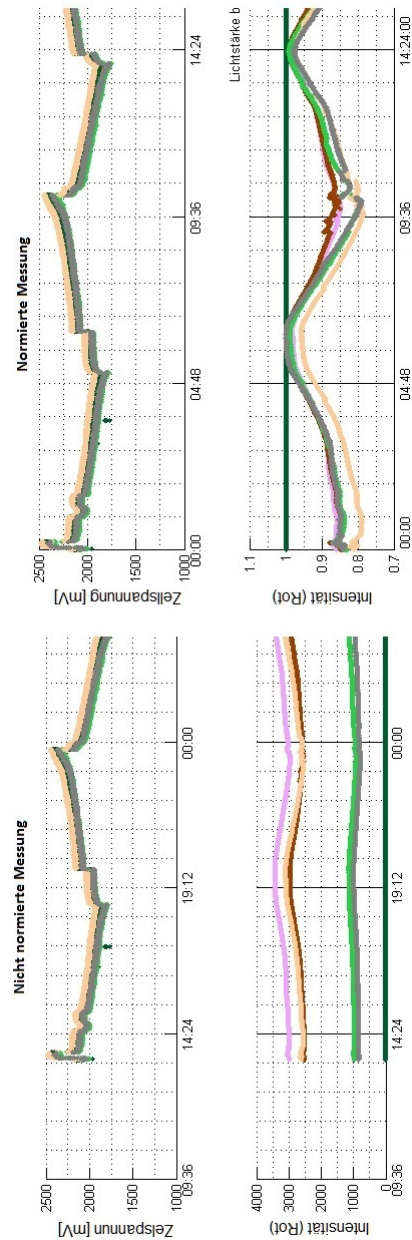


Abbildung 6.5.: Vergleich einer nicht normierten und normierten Messung, wobei bei der normierten Messung die Lichtintensitäten dicht aneinander rücken.

In der Abbildung (6.5) ist die Zuordnung der Farben zu den Sensoren genauso wie in der Abbildung (6.4). Die linke Seite enthält keine normierten Werte, sondern plottet direkt die Rohdaten. Dadurch unterscheiden sich die Messwerte der einzelnen Sensoren erheblich. Ausreißer werden mit aufgezeichnet. Die rechte Seite zeigt normierte Daten.

Die Normierung geschieht dadurch, dass nach zehn Messwerten ein arithmetisches Mittel gebildet wird. Beim zweiten Messwert wird mit den nachfolgenden 10 Messwerten ein nächstes arithmetisches Mittel gebildet. Von n -Messwerten können dann $n-10+1$ arithmetische Mittel gebildet werden. Daraus wird der maximale Mittelwert bestimmt und jeder Messwert wird durch diesen maximalen Mittelwert geteilt. Durch diese Normierung werden Ausreißer abgeschwächt. Durch die Normierung werden die Darstellungen der einzelnen Zellen einheitlicher und sind nicht mehr zueinander verschoben. In der Abbildung (6.5) ist erkennbar, dass der Sensor 6 (bei Zelle 5), gekennzeichnet mit dunkelgrüner Farbe, keine unterscheidbaren Lichtwerte gesendet hat. In den darauffolgenden Messungen wurden mit anderen Sensoren diese Messungen wiederholt und hatten immer die gleichen Ergebnisse. Man kann davon ausgehen, dass diese Zelle aufgrund einer Tiefentladung nicht mehr voll funktionsfähig war. Da die einzelnen Zellen in Serie geschaltet sind, hat es keine Auswirkung auf die Spannungsmessung dieser Zelle der Gesamtbatterie.

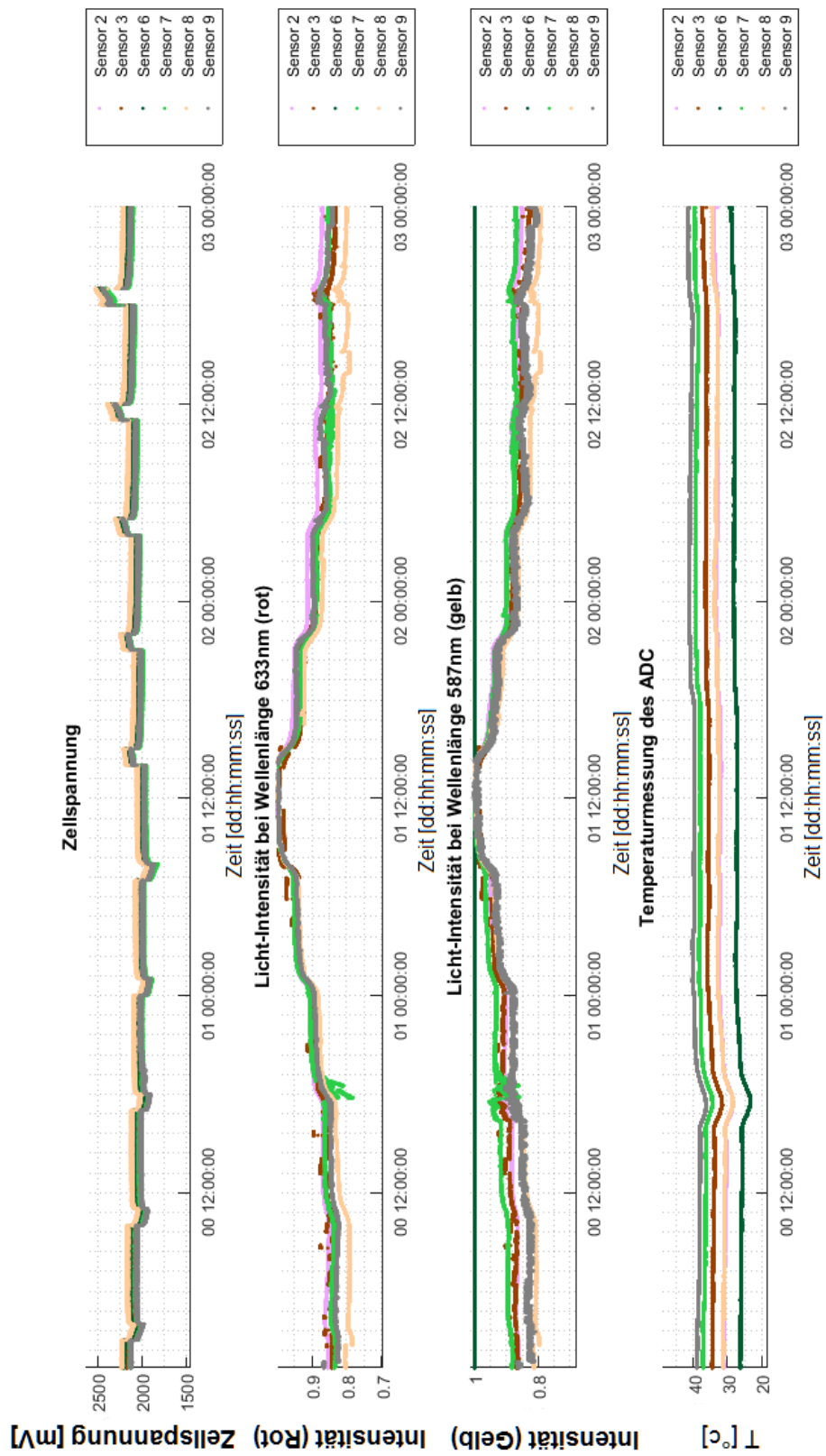


Abbildung 6.6.: Stufenweise Auf- und Entladung

In der obigen Abbildung (6.6) wurde ein anderes Zyklierprogramm verwendet. Es wurde fünfmal eine Stunde entladen mit anschließender sechsständiger Ruhezeit. Danach folgte wieder fünfmal eine einstündige Aufladung mit ebenfalls nachfolgender sechsständigen Ruhezeit. Nach einer Entladung erkennt man in der Ruhezeit am Anfang eine kurzfristige Aufladung, die dann in eine konstante Phase übergeht. Bei den optischen Werten sind an diesen Stellen keine Änderungen zu erkennen. Bei der Entladung geht wie erwartet der Säurewert herunter und der optische Wert nimmt zu. In den Umschaltmomenten, wo die Spannung zunimmt, bleibt der optische Wert im Gegensatz zur Spannung konstant. Ein Vorgänger [20] hat es damit erklärt, dass dieses Phänomen durch einen Dichteausgleichprozess zustande kommt. Das kann aber nicht sein, da ein Dichteausgleich die Brechzahl verändert und somit auch den optischen Wert. Da der optische Wert unverändert bleibt, gibt es eine andere Ursache. Diese liegt an den chemischen Reaktionen an den Elektroden. Chemische Reaktionen haben eine Reaktionszeit abhängig von der Konzentration, von der Temperatur, und vom Druck, bis ein chemisches Gleichgewicht [21, 22] eintritt. Diese Nachreaktionen sind verantwortlich für den Spannungsanstieg.

6.3. Elektrische und optische Messwertzusammenführung

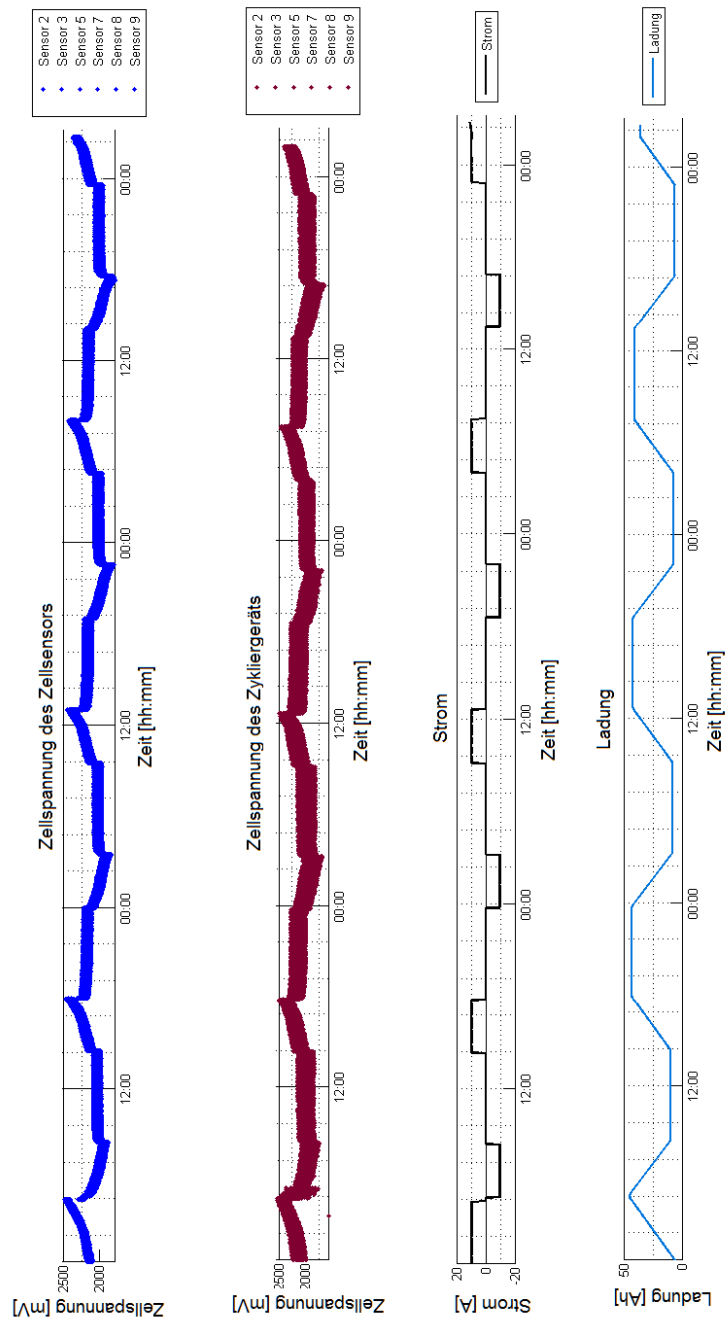


Abbildung 6.7.: Zeitgesteuerte Messung: UIQL-Diagramm

Durch die elektrische und optische Messwertzusammenführung erhält man durch die Zeitstempel der Zellsensoren und des Zykliegerätes synchronisierte Darstellung der Spannungswerte U, der Stromwerte I, die Ladungswerte Q ($Q = I \cdot t$) und optische Lichtintensitätswerte L. In der Abbildung (6.7) sind diese Buchstabenkürzel in der Bildunterschrift als Buchstabenfolge UUIQL beschrieben. Die Spannungswerte von Zykliegerät und von den Zellsensoren stimmen nahezu überein. Auffallend ist die Ähnlichkeit der Ladungskurve und der optischen Lichtwertkurve. Sie unterscheiden sich nur, wo die Ladungskurve linear ist, so ist die Lichtintensitätswertkurve durch eine nichtlineare Übergangskurve charakterisiert.

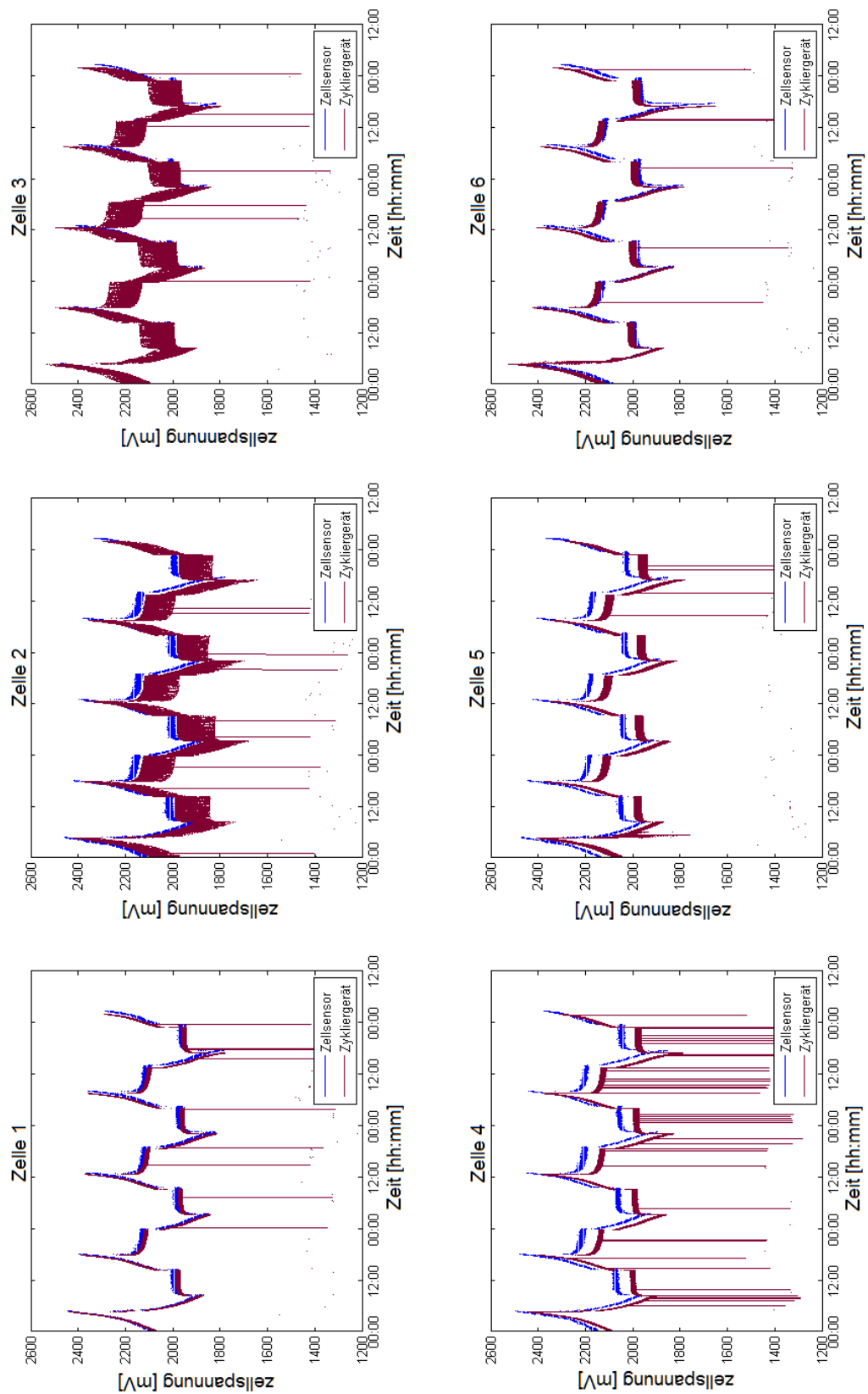


Abbildung 6.8.: Zeitgesteuerte Messung: Zellspannungswerte vom ZG und ZS

Im obigen Bild sind für jede Zelle ein Spannungs-Zeit Diagramm von den Zellspannungen der Zellsensoren und des Zykliergeräts dargestellt. Da beim Zykliergerät die Messwerte durch Mittelwertbildung nicht geglättet werden, werden auch die Ausreißer sehr gut sichtbar. So sind die Messwerte betragsmäßig von der Abbildung (6.7) im Vergleich zur Abbildung (6.8) nicht wesentlich verschieden. Von der Darstellung schon, da die Koordinaten unterschiedlich skaliert sind.

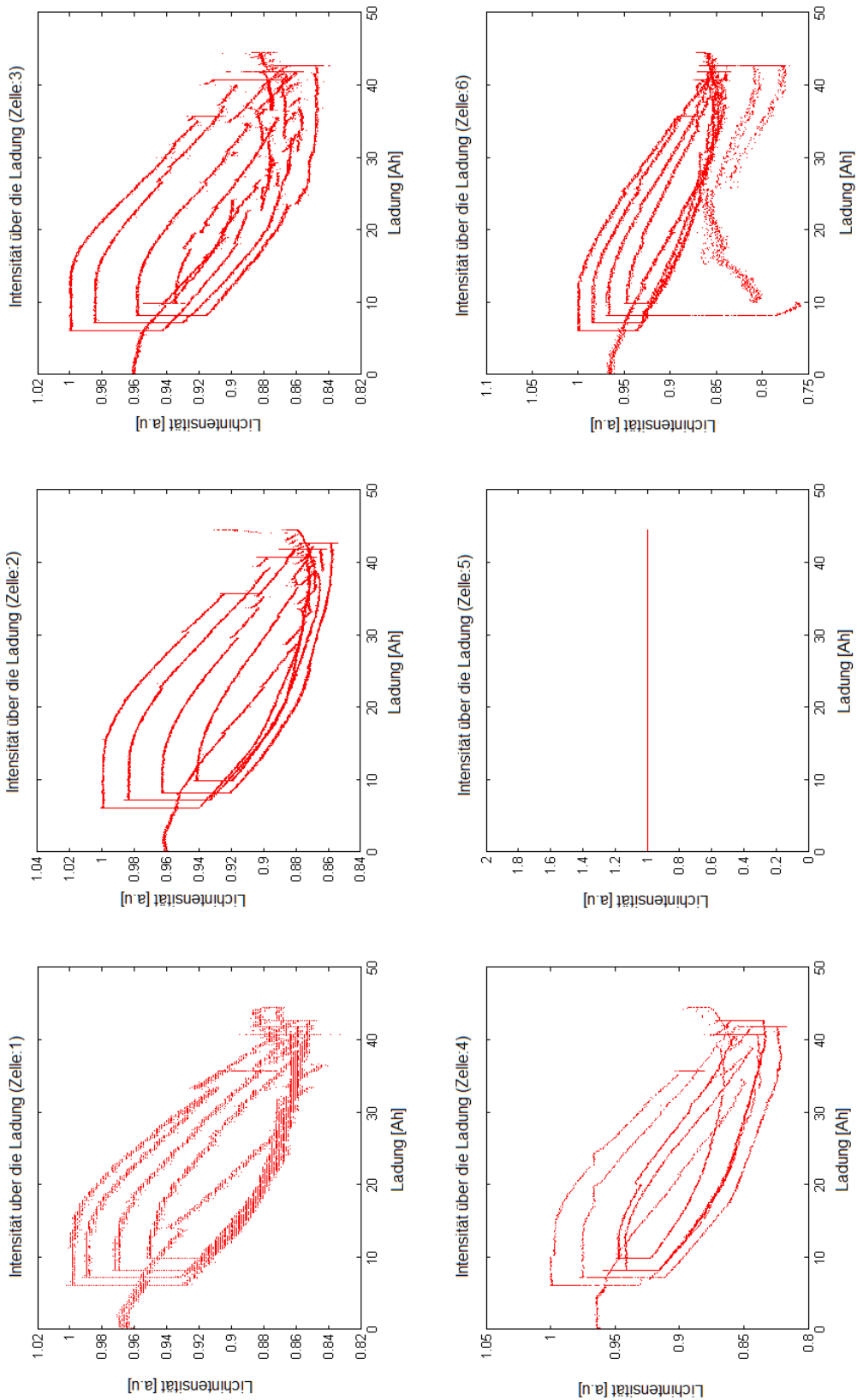


Abbildung 6.9.: Zeitgesteuerte Messung: Licht-Ladung Diagramme

Im obigen Bild (Abbildung 6.9) werden Lichtintensität und elektrische Ladungswerte jeweils als Funktion der Zeit in Parameterdarstellung angezeigt. Die Kurven divergieren nach jedem Zyklus, das heißt: Die Umläufe werden immer größer. Das lässt sich dadurch erklären, dass während der Zyklierung die Batterien sich erwärmen dadurch laufen die chemischen Reaktionen in der Batterie schneller ab. Beim Aufladen wird auf diese Weise durch die schnellere chemische Reaktion, die Konzentration der Schwefelsäure stärker und die Transmissionsverluste größer. Beim Entladen geschieht dieser Prozess umgekehrt. Dadurch divergieren die Kurven.

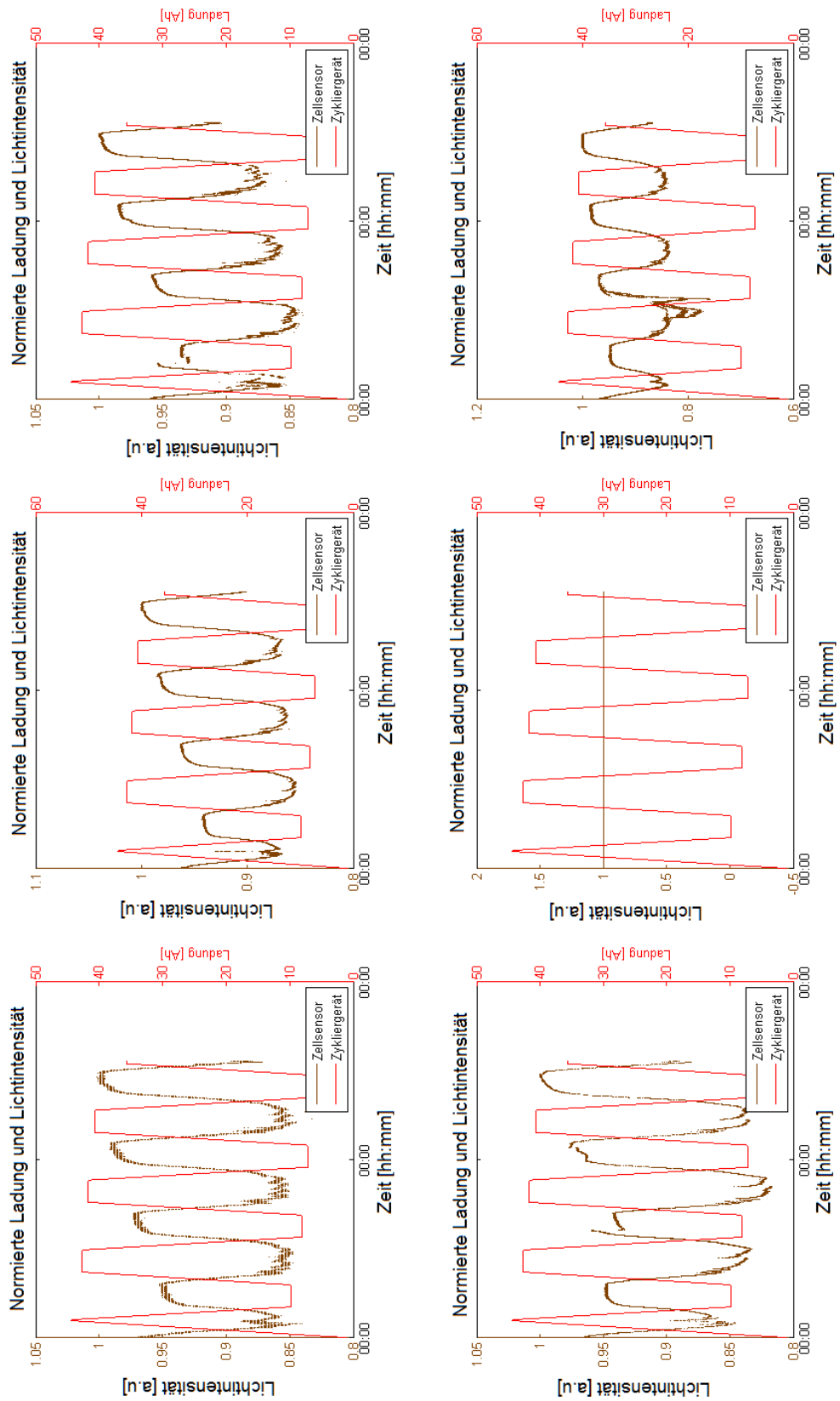


Abbildung 6.10.: Zeitgesteuerte Messung: Licht/Ladung-Zeit Diagramme

Im obigen Bild (Abbildung 6.10) ist nochmal für jede einzelne Zelle ein Licht-Zeit-Diagramm und Ladung-Zeit-Diagramm übereinander dargestellt. Sehr deutlich ist die Divergenz der Lichtwerte infolge der Temperaturerhöhung zu erkennen.

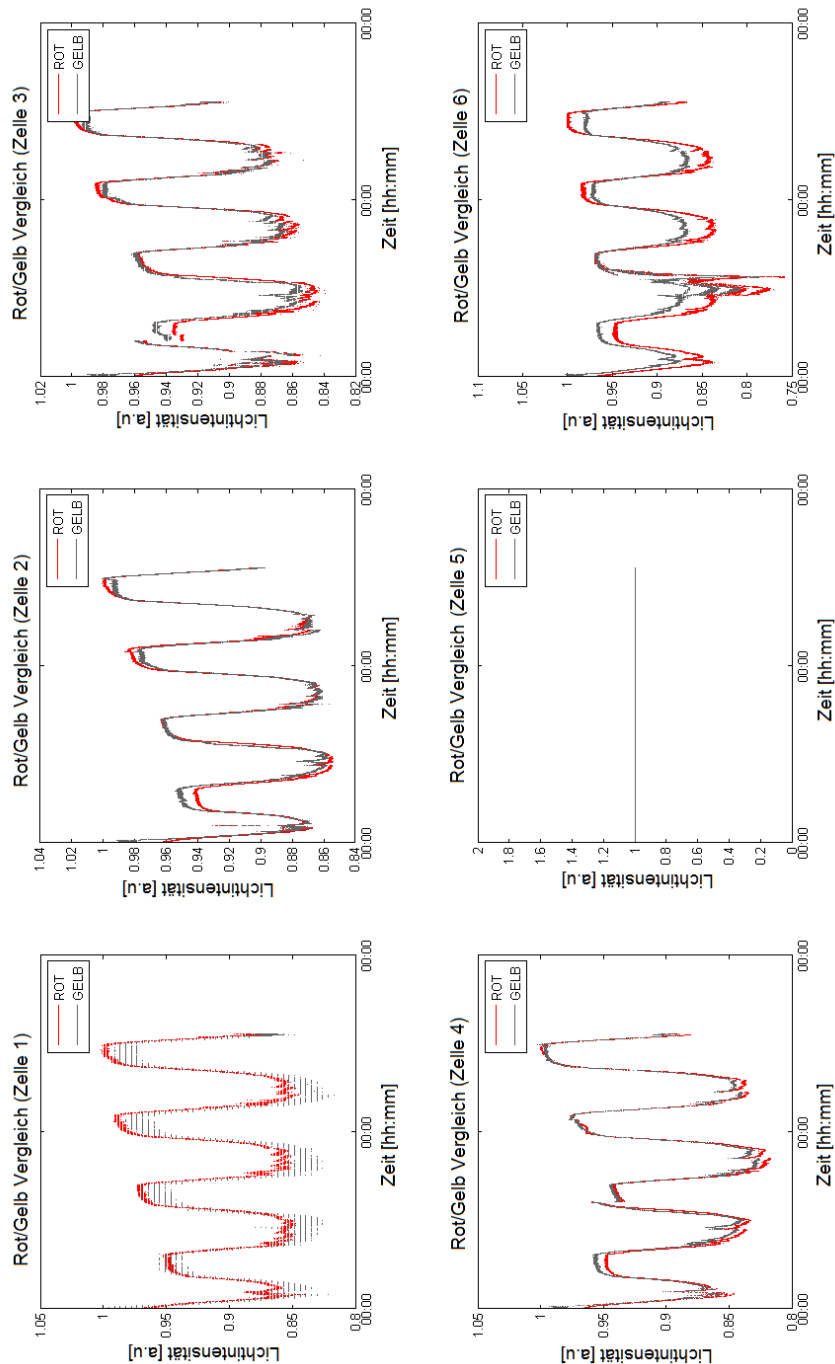


Abbildung 6.11.: Zeitgesteuerte Messung: Rot- Gelb-Lichtwerte

In der zeitgesteuerten Messung der Rotlichtwerte und der Gelblichtwerte (siehe Abbildung 6.11) zeigen die Gelblichtwerte eine stärkere Streuung. Sie sind aber nahezu identisch mit den Rotwerten. Man kann auf die Gelblichtwerte wegen der stärkeren Streuung verzichten.

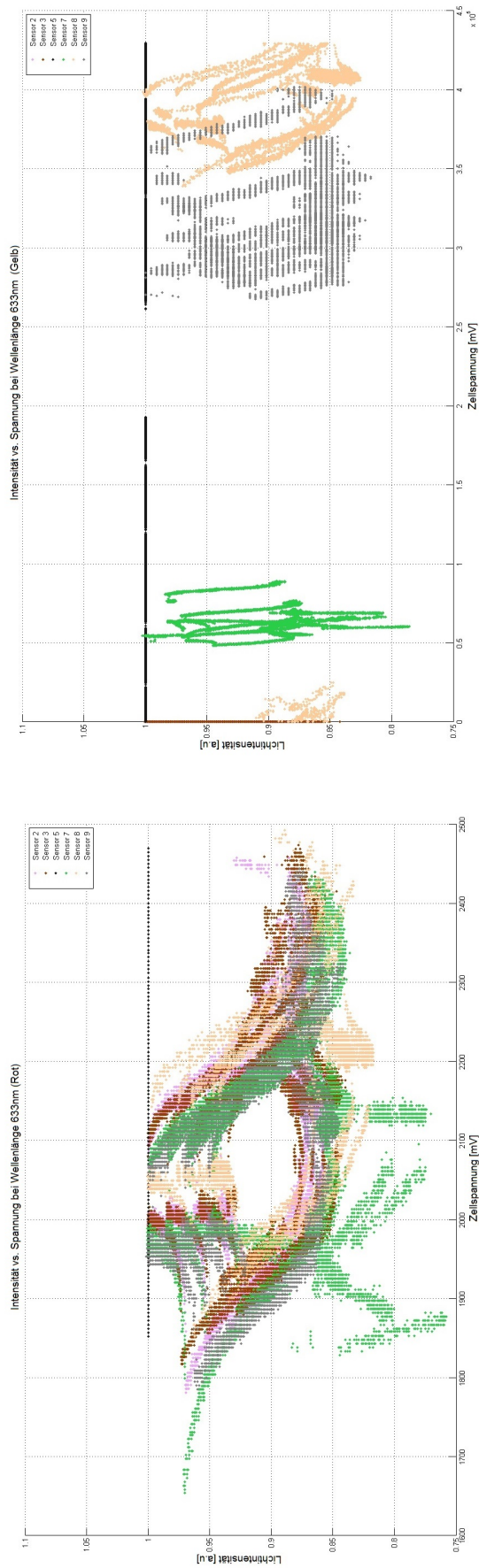


Abbildung 6.12.: Zeitgesteuerte Messung: Lichtwerte-Spannung Diagramm

Die letzte Abbildung (6.12) ist wieder eine Parameterdarstellung der Lichtwerte im Abhängigkeit von der Zeit und der Spannungswerte in Abhängigkeit von der Zeit für alle Sensoren. Dabei geben die Gelbwerte keine sinnvollen Ergebnisse. Das ist ein weiterer Grund, auf die Gelbwerte zu verzichten.

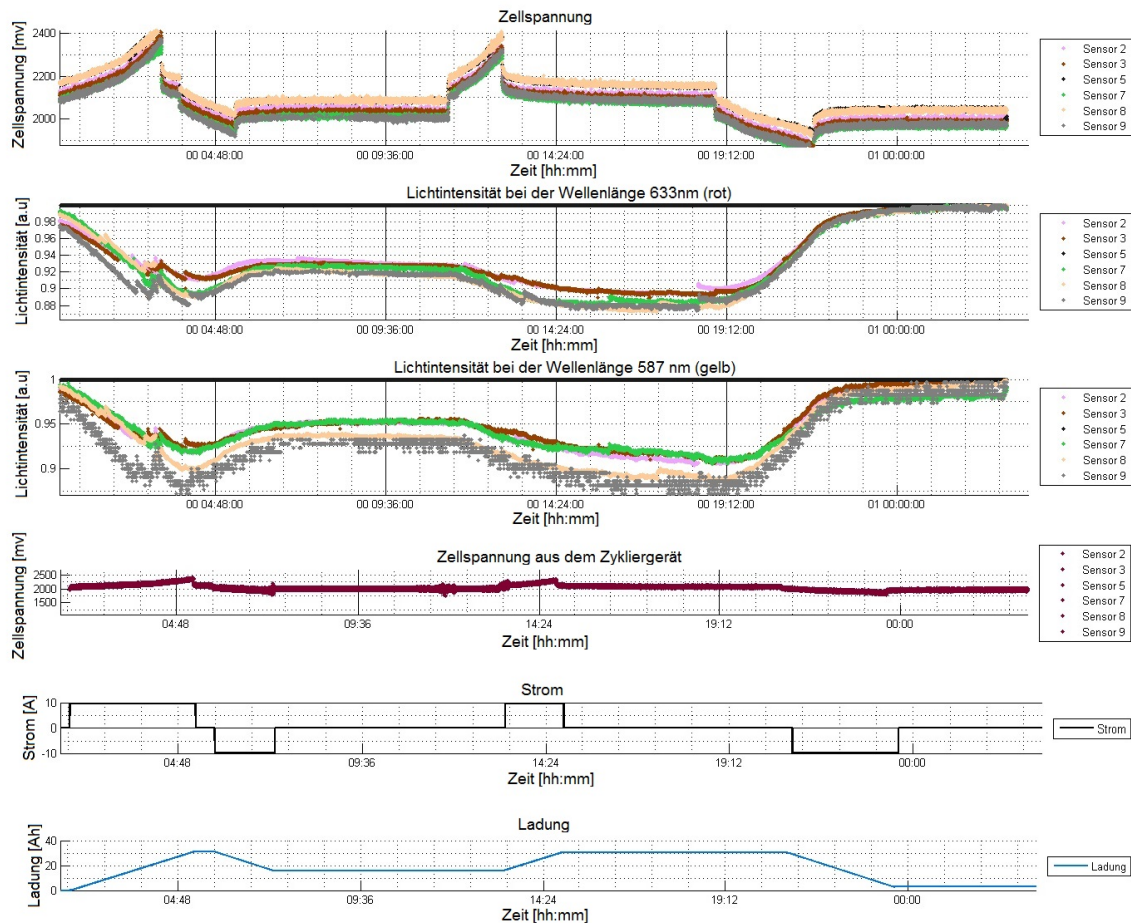


Abbildung 6.13.: Spannung gesteuerte Messung. Die oberen drei Plots sind Sensordaten und die restlichen drei Plots sind Daten vom Zykliergerät. Alle Daten wurden über den Zeitstempel mit Hilfe des MATLAB-Programms zusammengeführt.

Bei diesen Zyklervorgang wurde zuerst die Batterie voll aufgeladen (14,2 V) nach einer halben Stunde Wartezeit fing die Spannungszyklisierung an. Beim Zyklervorgang wird die Batterie auf eine vorgegebene Zellspannung von 1,8 V entladen, danach folgt eine sechsstündige Pause und danach wird die Batterie auf 2,4 V Zellspannung aufgeladen, wo danach wieder eine sechsstündige Pause folgt. Dieser Vorgang wird mehrmals nach einer vorgegebenen Anzahl wiederholt.

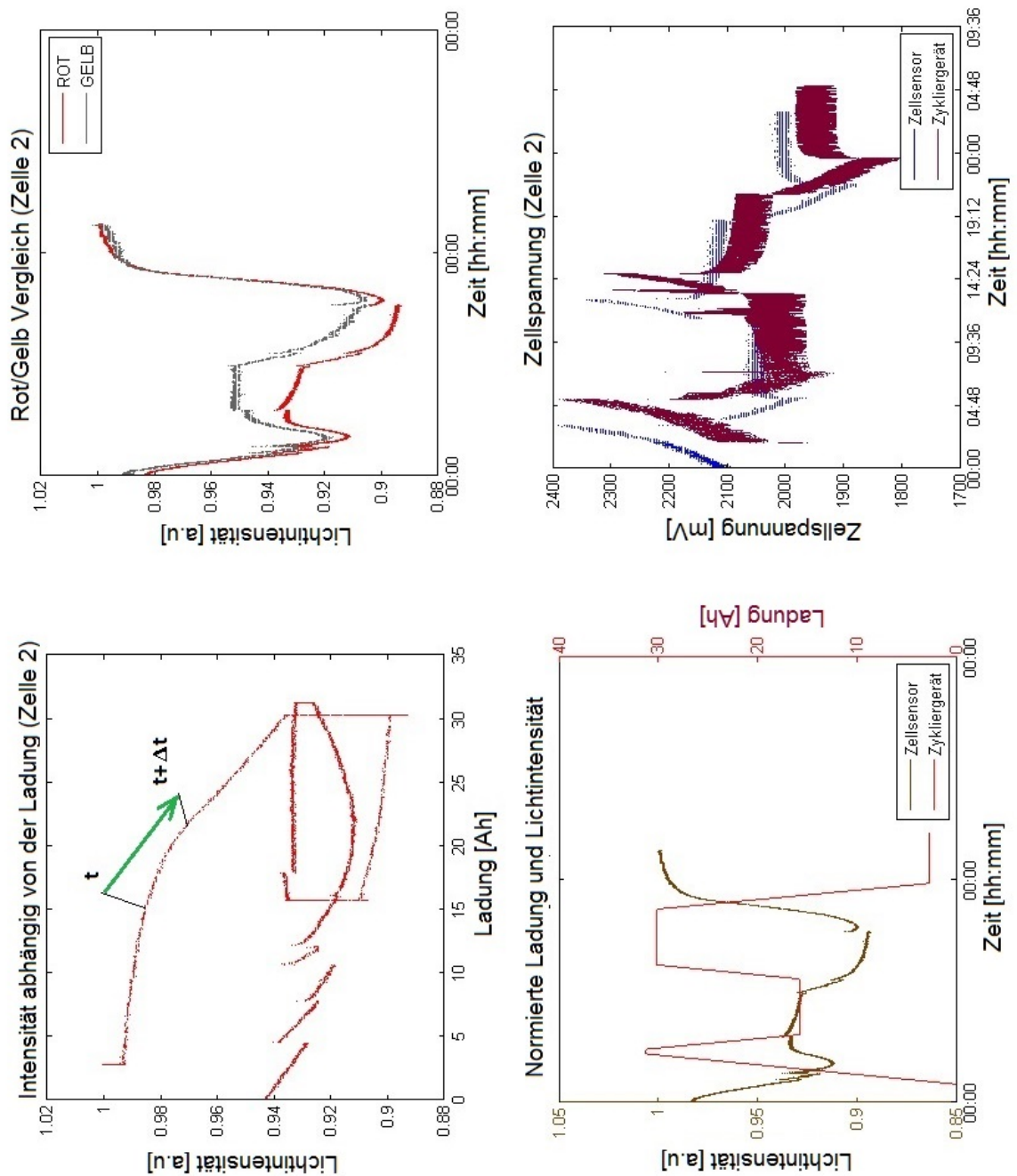


Abbildung 6.14.: Spannung gesteuerte Messung von der Zelle 2.

Die graphische Parameterdarstellung der Lichtintensität und Ladung über die Zeit zeigt der grüne Pfeil die Richtung an, wie der Graph mit der Zeit t verläuft. Δt stellt eine Zeitdifferenz dar.

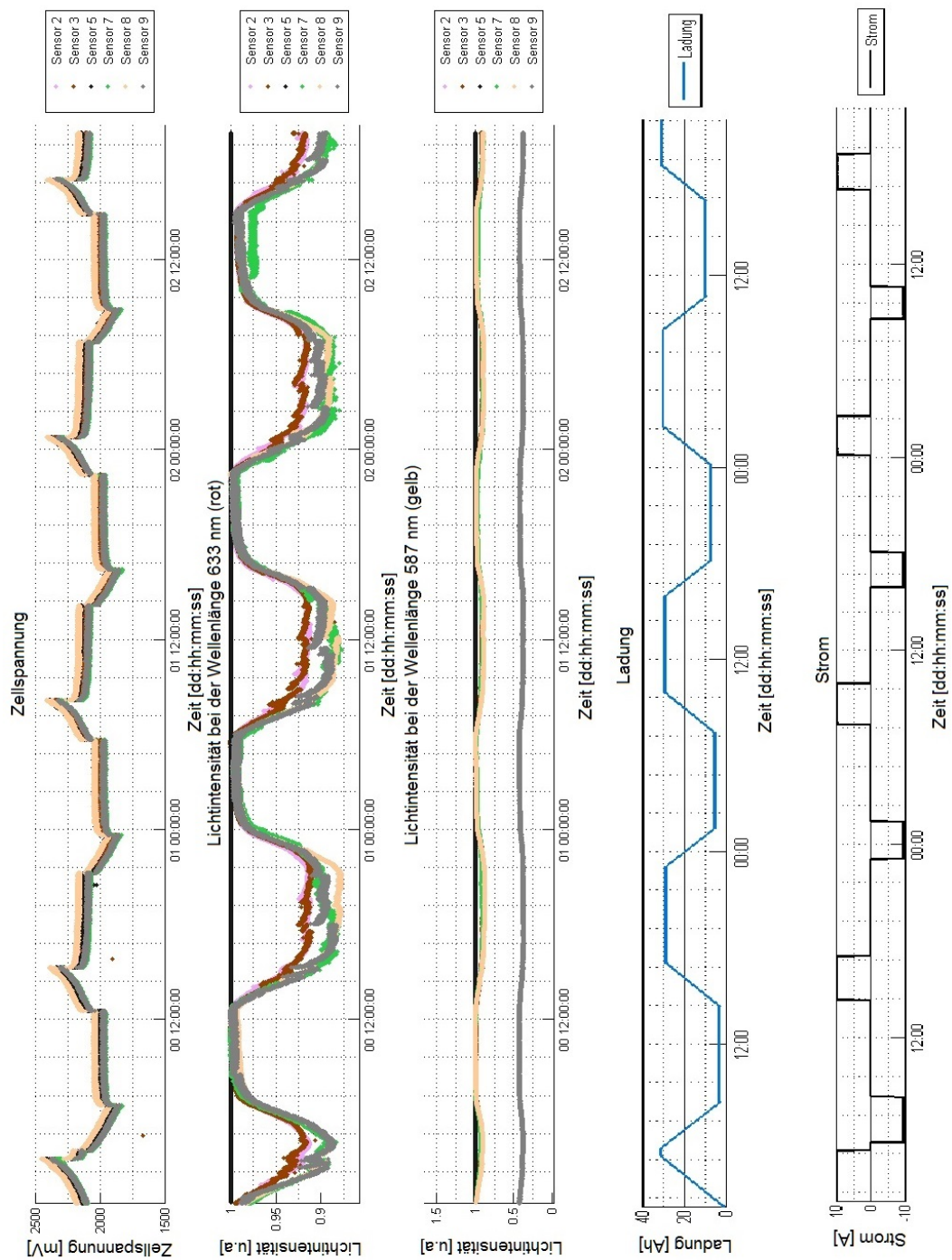


Abbildung 6.15.: Messung unter Lichteinfluss der Umgebung.

Bei dieser Messung (Abbildung 6.15) wurde der Lichteinfluss der Umgebung überprüft. Dabei zeigt sich, dass die Messwerte beim gelben LED-Licht stark abgeschwächt wurden.

Beim roten Licht sind keine Wirkungen feststellbar.

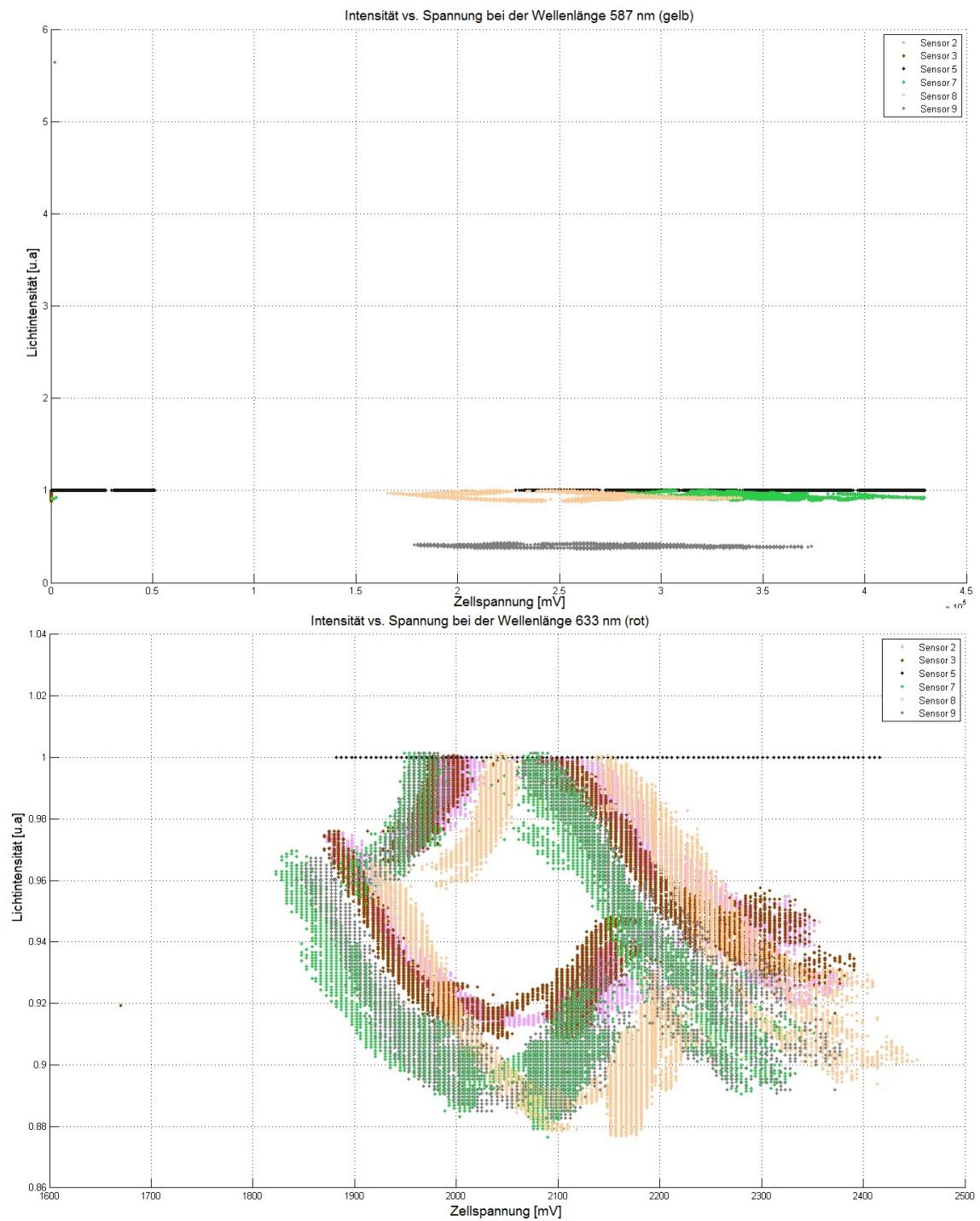


Abbildung 6.16.: Messung unter Lichteinfluss mit parametrisierter Darstellung über die Zeit.
Oben: Gelbwerte, **Unten:** Rotwerte.

Die parametrisierte Darstellung der Lichtintensität und der Zellspannung über die Zeit zeigt einen Gesamtplot aller Sensoren.

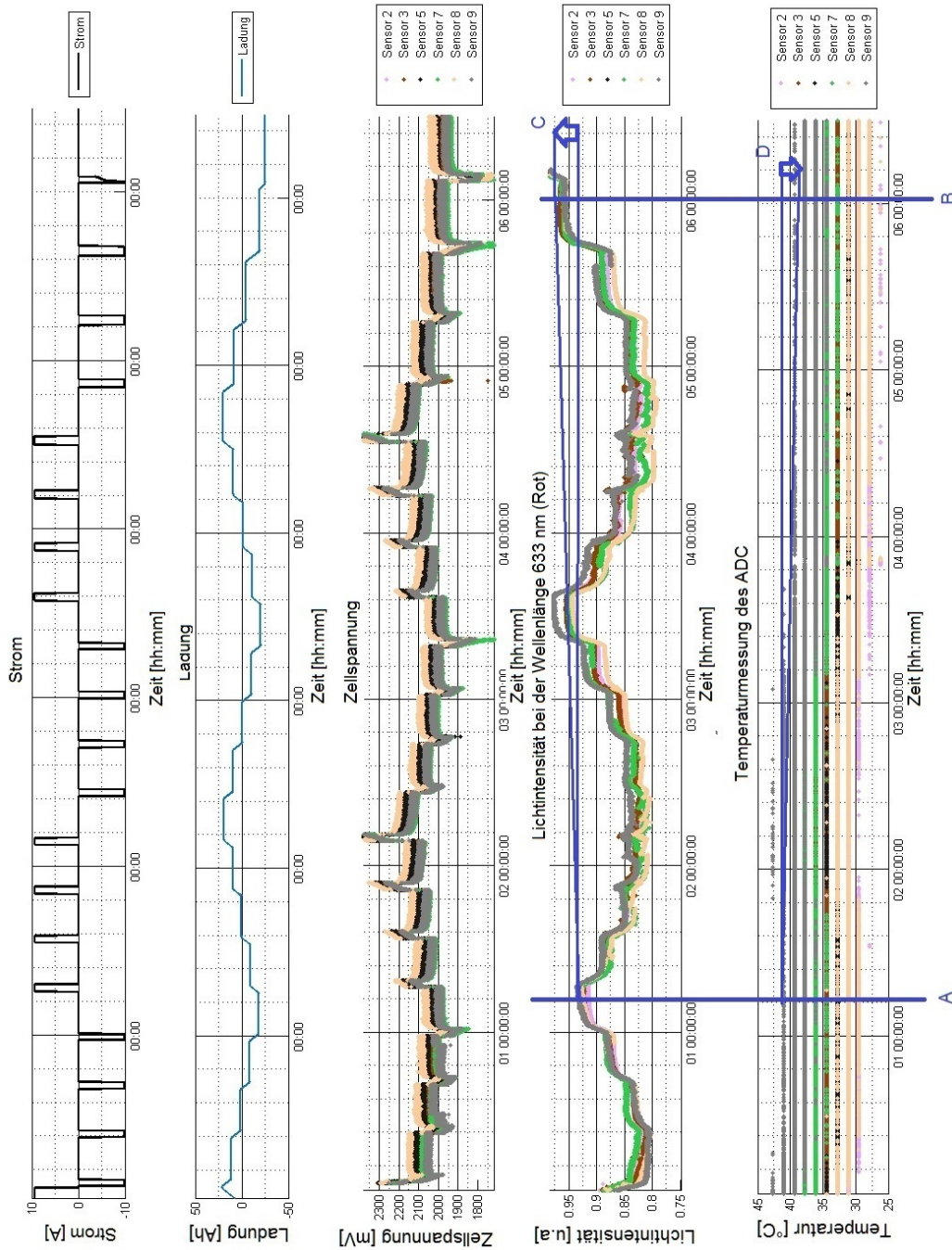


Abbildung 6.17.: Stufenweise Langzeitmessung.

Wie man an der Stromkurve erkennen kann, sieht man sehr gut zu welchen Zeitintervallen Pausen da sind, und wann auf- und entladen wird. Bei der Strom- und Ladungskurve fehlt für die Zeitachse die Tagesangabe, so dass man diese bei den Zeitangaben hinzudenken muss. In den restlichen Plots sind sie aber angegeben. Der Temperaturverlauf ist interessant, wie er sich auf die optischen Werte auswirkt. Es könnte sein, dass die Raumtemperatur gesunken ist. Zum Zeitpunkt A erkennt man bezüglich zum Zeitpunkt B, welche durch blaue Linien in der obigen Grafik angedeutet sind, dass die Temperatur bei B um den Differenzbetrag D gesunken und die Lichtintensitätswerte an der gleichen Stelle B um den Differenzbetrag C angestiegen ist, die durch Pfeile gut sichtbar sind.

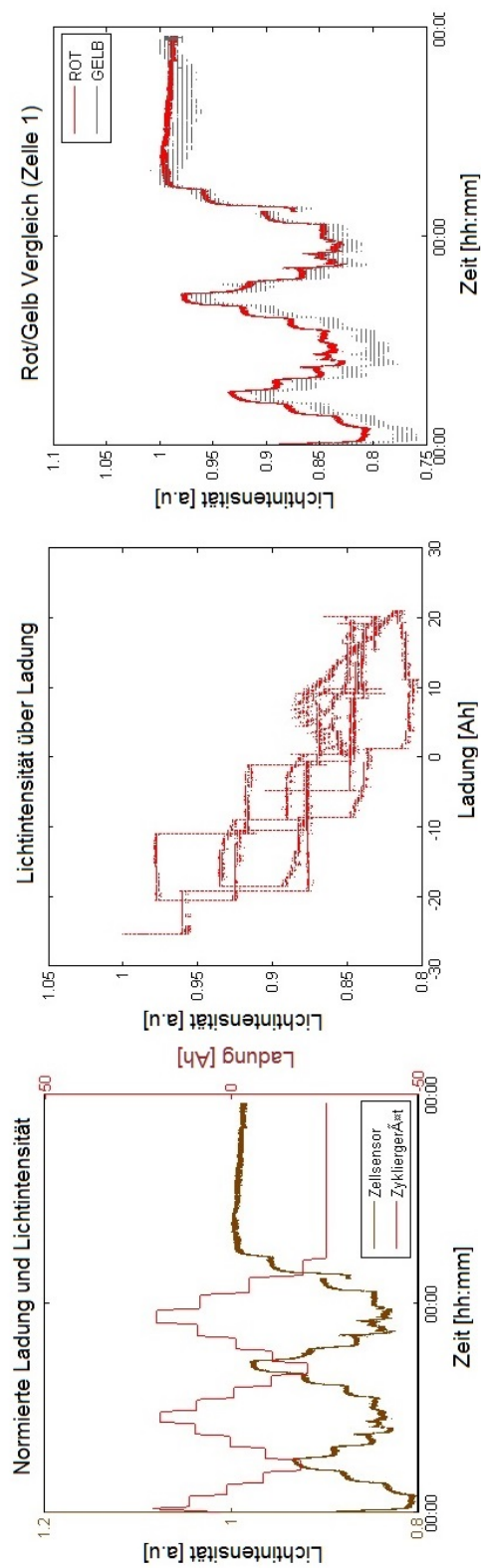


Abbildung 6.18.: Stufenweise Langzeitmessung mit parametrisierter Darstellung über die Zeit.

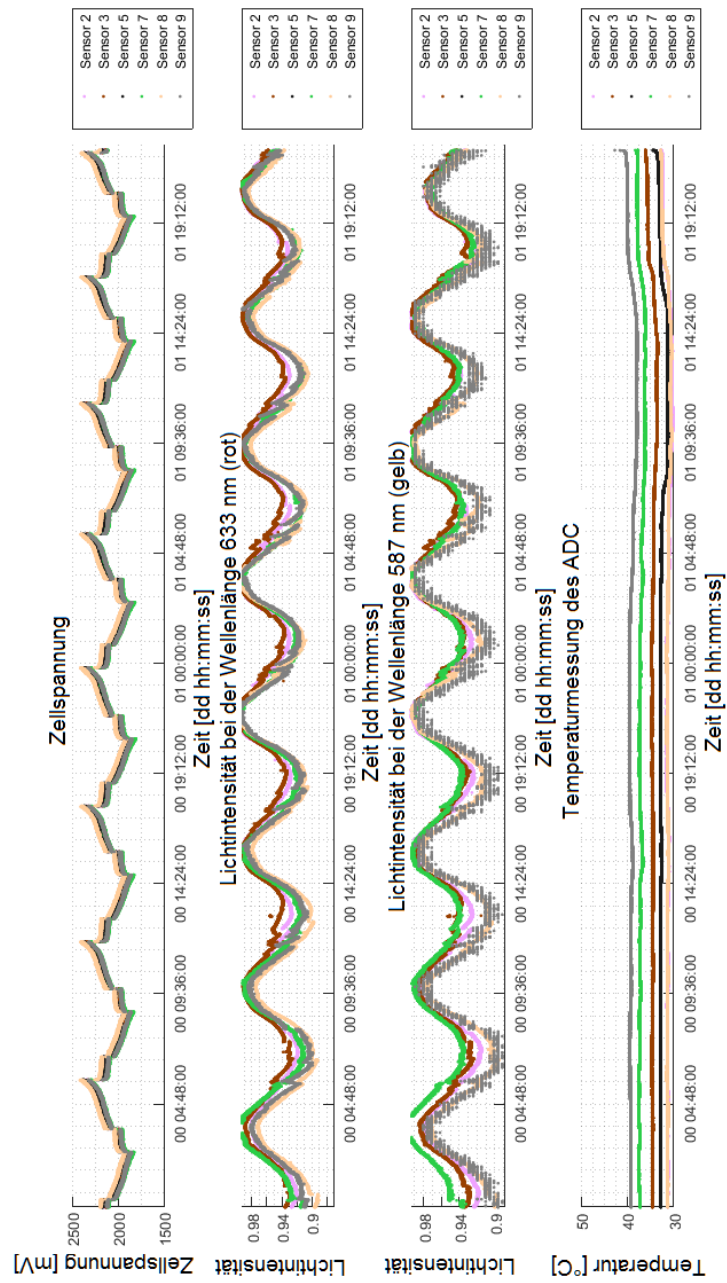


Abbildung 6.19.: Messung mit einer Stunde Ruhezeit.

Bei dieser Messung (siehe Abbildung 6.19) sind die Pausen auf eine Stunde verkürzt worden.

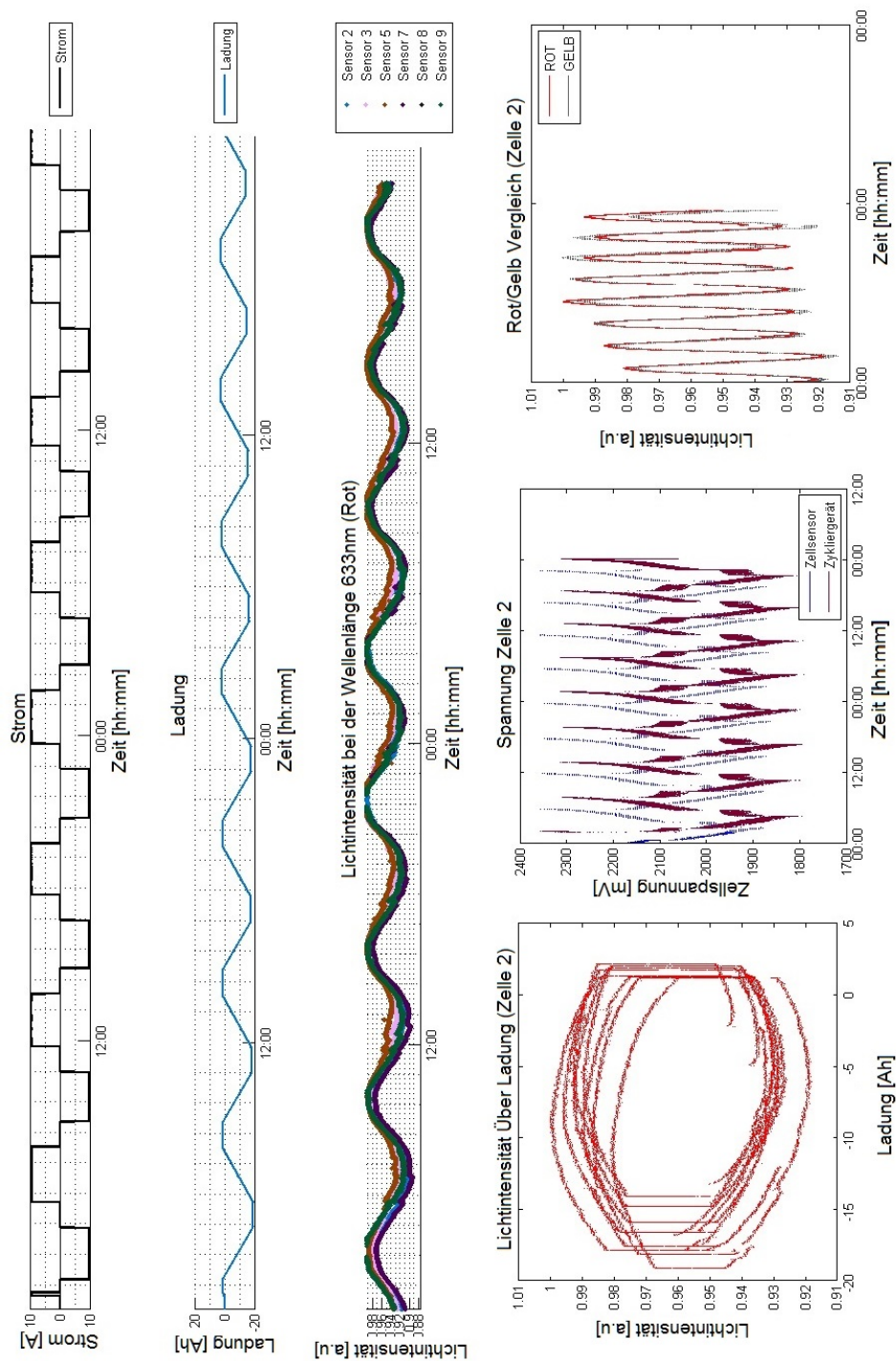


Abbildung 6.20.: Messung mit einer Stunde Ruhezeit. Alle Darstellungsarten wurden hier zu einem Bild zusammengefaßt.

Da jetzt die Pausen sehr kurz sind, erscheinen die Plots stetiger.

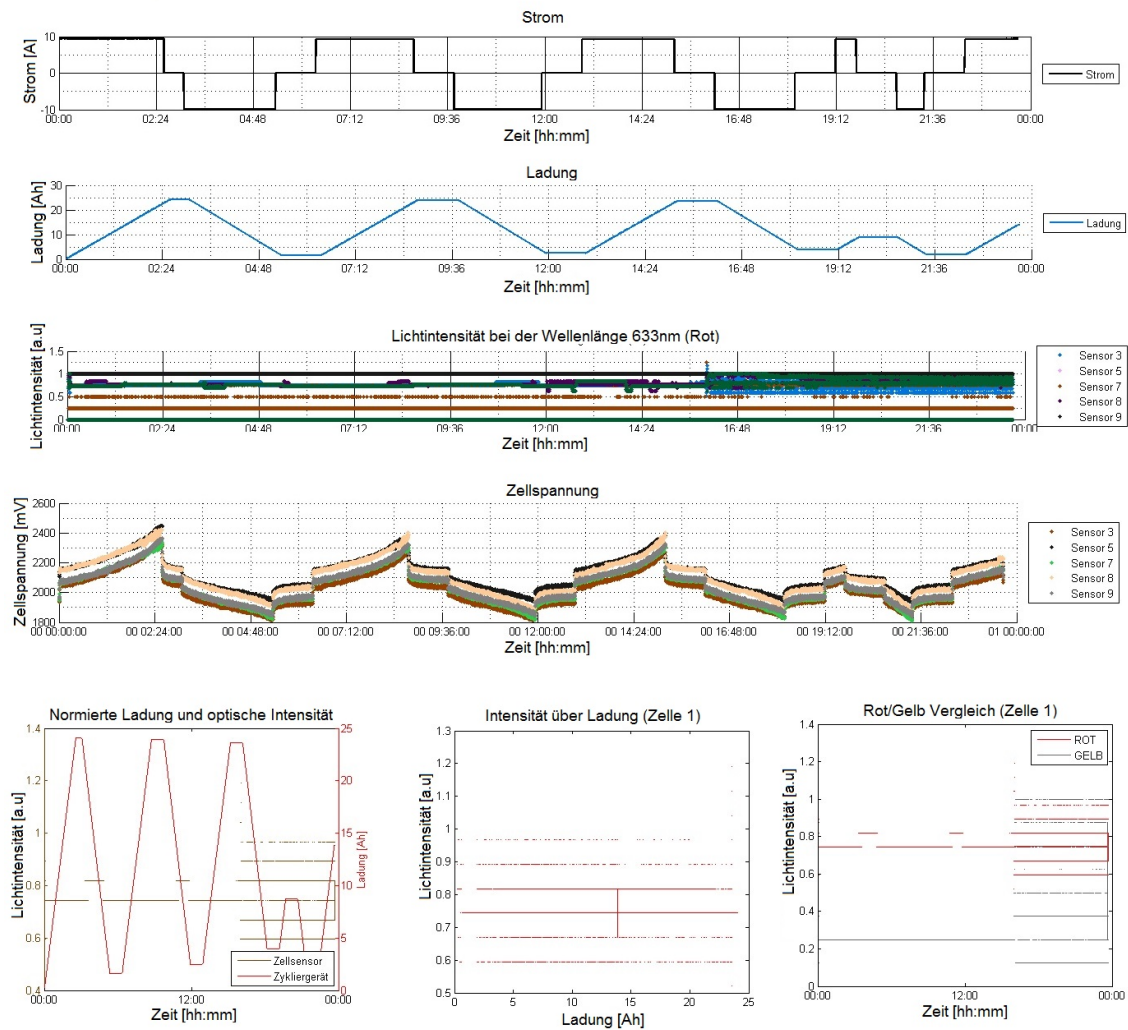


Abbildung 6.21.: Messung mit Spiralsonden (Typ 2)

Das letzte Bild wurde mit den Spiralmesssonden (Typ 2) aufgenommen. Die Lichtwerte zeigten keine aussagenkräftige Werte, da sie sehr flach waren. Durch die hohen Transmissionsverluste waren keine großen Lichtintensitäten messbar.

6.4. Einflussgrößen - Streuungen

Die Messungen werden vom Umgebungslicht beeinflusst. Es wurde versucht, dieses Umgebungslicht bereits an den Dichte-Sensor-Modulen abzuschirmen. Wenn man die gesamte

Messeinrichtung in eine lichtundurchlässige Box verstaut, dann kann man das Umgebungslicht nahezu ausschalten. Das gelbe Licht reagiert besonders stark auf das Umgebungslicht. Zur Bewegung können wir keine Aussagen machen, weil wir die Messung nicht in einem bewegten Fahrzeug gemacht haben. Ein Rütteltisch hatten wir nicht zu Verfügung, jedoch wurde die Messung von der Position des Steuergeräts (Empfangsgerät) bezüglich zu den Funksignalen der Sensoren beeinflusst, da die Signale am Empfangsgerät nicht mehr eintreffen. Die Temperatur der Zellen beeinflusst die chemischen Reaktionen. Bei Erhöhung der Temperatur laufen sie schneller ab.

Die Ausreißer treten zufällig auf. Sie sind schwer zu erklären. Möglicherweise hängen sie mit den Kontaktstellen zusammen, eventuell auch mit der Ausgasung von Wasserstoff bei den Batterien, da sie an den Bohrungen undicht waren. Eine weitere Möglichkeit können auch die Sulfatschichten an den Elektroden die Ursache sein.

Die Störeinflüsse können kompensiert werden durch einen Faraday-Käfig [23], welcher störende elektrische Funksignale abschirmt. Was die Lichtabschirmung betrifft, haben wir schon erwähnt. Die Bleibatterien erwärmen sich durch chemische Reaktionen. Diese Erwärmung kann über ein Regelsystem (Thermostat) abgekühlt werden, so dass die Temperatur konstant bleibt. Die Ausgasung der Batterien kann unterbunden werden, wenn die Bohrungen für die Messsonden gut abgedichtet werden. Schon aus Sicherheitsgründen ist dieses notwendig, damit die Schwefelsäure nicht ausläuft.

6.5. Reproduzierbarkeit

Die Messungen haben bei vielen Zyklivorgängen unter gleichen Bedingungen immer die gleichen Werte geliefert. Es gab keine besonders starke Abweichungen. Um die Reproduzierbarkeit zu erhöhen, sollten die Messsonden geometrisch die gleiche Form und Abmessungen haben. Anstatt einer losen Schlaufe sollte der Lichtleiter auf einer Unterlage geführt werden, genauso wie die Messsonden von Typ 1, die schraubenlinienförmig auf einen normierten Stab gewickelt waren. Die Schraubenlinie wurde mit Hilfe eines 3D-Druckers erzeugt. Die Messsonde von Typ 1 hätte bei ganz wenigen Windungen besser funktioniert.

7. Fazit

7.1. Erkenntnisse und Ideen

Die Messungen zeigten, dass man diese Verfahren vereinfachen und noch verbessern kann. Auf die Gelblichtwerte kann man verzichten. Die Rotlichtwerte waren sehr zufriedenstellend. Eine weitere Vereinfachung wäre, wenn der Rechner einen USB-Stick bekommt, der direkt Funksignale aufnehmen kann und sie als Datenpakete serialisiert ähnlich wie eine USB-Stick, mit dem man Zugang zum Internet aufbauen kann, wo ein Datenaustausch über Funksignale fernübertragen werden. Die Sensoren schicken die Daten direkt an diesen Stick. Der Stick übernimmt die Aufgaben des Steuergeräts. Die Bedienungskonsole des Steuergeräts kann vom PC-Programm übernommen werden. Die Funksignale sollten so verbessert werden, dass immer ein Empfang möglich ist, egal wo die Messanordnung sich befindet. Zur Zeit hängt der Empfang sehr stark von der Position der Sender zum Empfänger ab. Das Konzept mit den Lichtleitern und den Zellsensoren ist realisierbar aber verbesserungswürdig. Das Konzept kann so weit entwickelt werden, dass ein Computerprogramm in der Lage ist, den Batteriestatus anzuzeigen und einige Empfehlungen wie Batteriewechsel, Batterieaufladung oder auch Warnungen für kritische Zustände durch Schäden anzeigen kann. Der Grund für dieses Vorhaben liegt darin, dass man mit den optischen Werten Rückschlüsse auf die Ladung ziehen kann, und auch auf den Elektrolytzustand der einzelnen Zellen, z.B. Ausfall einer einzelnen Zelle. Bei unseren Messungen kam dieser Fall auch vor. In unserem kurzen Zeitraum der Zyklierungsversuche war ein Alterungsvorgang nicht feststellbar, beim Alterungsvorgang müsste die Batteriekapazität sinken. Dies wäre auch mit Hilfe der optischen Messsonden sichtbar, weil die maximale Schwefelsäurekonzentration sinken würde.

7.2. Fehler- und Störeffekte bei der optischen Sensorik

Funkstörungen wurden nicht getestet, aber auch nicht beobachtet, wenn zum Beispiel ein oder mehrere Handies aktiv waren. Funkstörungen werden heute gewöhnlicherweise mit Übertragungsprotokollen vermieden, sonst würde das Internet gar nicht funktionieren. Bei den selbstgemachten TOSLINK-Steckern-Buchsen sind Verbesserungen möglich, manuell

war es nicht einfach, eine Einheitlichkeit zu erreichen. Hilfreich wären hierzu eine Justiereinrichtung oder eine Ausrichtungshilfe. Die damit verbundenen Systemfehlern waren schwer zu eliminieren. Das Zykliegerät, wovon die Messungen abhängig waren, hatte am Anfang nicht richtig funktioniert. Die Fehler wurden von BATSEN-Gruppe beseitigt. Das Steuergerät konnte nur dann alle Sensoren empfangen, wenn das Steuergerät eine bestimmte Position hatte. Die Empfangsqualität der Steuergerät könnte verbessert werden. Störeffekte durch Bewegungen wurden nicht gemessen, weil diese Messungen nicht in einen bewegten Fahrzeug stattgefunden haben..

7.3. Zusammenfassung der Ergebnisse und Beurteilungen

Die Fragestellung war, eine Sensorik auf der Basis von Plastik-Lichtleitern praktisch zu erproben und zu verbessern. Die Ergebnisse zeigten Störeffekte, die durch die TOSLINK-Steckverbindung verursacht wurden. Die Messabweichungen der Messsonden, die durch unterschiedliche Geometrien verursacht wird, wurde durch eine Normierung ausgeglichen. Die Kombinationen mit den elektrischen Messungen zeigten bei den optischen Messwerten eine spiegelbildliche Korrelation, d. h. optischen Werte fallen, wenn die Zellspannungen bzw. die Zellladungen steigen. Die Temperatur wirkte sich auf die chemische Reaktionsgeschwindigkeit an den Elektroden aus. Dabei wurden je nach Temperatur die Messwerte stärker oder schwächer. Mit Hilfe eines mit Thermostaten geregelten Kühlsystems, z.B. mit Hilfe von Lüftern und Kühlblechen, kann die Reaktionswärme der Zellen gekühlt werden. Bei einer konstanten Temperatur sind die optischen Werte exakt reproduzierbar.

7.4. Bewertung der gewählten Konzepte

Es wurden verschiedenartige Messsonden erprobt und diejenigen ausgewählt, welche aussagekräftige Ergebnisse liefern. So zeigte sich, dass die Messsonden mit geringen Transmissionsverlusten eine größere Messempfindlichkeit hatten. Da durch Vorarbeiten bereits fast fertige Messeinrichtungen geschaffen wurden, so wurden auch nur diese Messeinrichtungen benutzt und teilweise verbessert.

7.5. Lösungsvarianten

Da wir in eine Bleibatterie hineinschauen wollen, ohne diese zu öffnen, können wir einen Ausflug in die Medizintechnik machen, die zu diesen Zwecke schon seit einiger Zeit Verfahren entwickelt hat, in Objekte wie den menschlichen Körper hineinzuschauen, ohne ihn zu verletzen - also zu öffnen. Den Anfang machten die Röntgengeräte. Mit Hilfe der Kernspin- oder der Magnetresonanztomographie konnten sehr genaue räumliche Abbildungen aus den menschlichen Körper gewonnen werden. Da wurden auf einmal Einzelheiten wie Blutgefäße, einzelne Muskeln, Organe usw. sichtbar. Jeder Stoff kann dabei einzeln sichtbar gemacht werden, da jeder Stoff seine spezifische Kernspinresonanz besitzt. Beim menschlichen Körper werden die Organe dadurch sichtbar, weil sie einen unterschiedlichen Wassergehalt besitzen.

Übertragen auf die Batterieproblematik kann man die Sulfatisierung der Bleiplatten deutlich sichtbar machen, ohne dass man in die Batterie hineinschauen muss. Sogar die Schwefelsäurekonzentration als auch die Konzentrationsverteilung kann dabei sichtbar gemacht werden und Auskunft liefern, wie der Ladungszustand der Batterien ist. Leider ist jedoch dieses Verfahren zur Zeit noch sehr kostenaufwendig. Ausserdem sind diese Art Messeinrichtungen für einen Kleinwagen noch viel zu groß.

Ultraschallgeräte zur Diagnostik der Bleibatterien sind sicher ungeeignet, da sie ein geringes Auflösungsvermögen haben und der Ultraschall die schwammige Bleibesichtung an den Elektroden zerstören kann. [25, 26, 27]

7.6. Ausblick

Es konnten erfolgreich die Messsonden und Sensoren anhand der Messungen erprobt und verbessert werden. Die Grundlage einer Weiterentwicklung dieser Technik ist fundamentiert und geschaffen. Daraus kann sich eine Technik entwickeln, welche in Zukunft die Überwachung der Bleibatterien über einen Rechner ermöglicht.

A. Aufgabenstellung



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Department Informations- und Elektrotechnik
Prof. Dr.-Ing. Karl-Ragmar Riemschneider

7. Juni 2016

Bachelorthesis Özkan Özden

Entwicklung und Erprobung eines Lichtleiter-Sensors für die optische Ladezustandsbestimmung von Bleibatterien

Motivation

Im Rahmen von Forschungsprojekten an der HAW Hamburg und der Graduiertenschule 'Key Technologies for Sustainable Energy Systems in Smart Grids' werden verschiedene Batteriesensoren entwickelt. Für die wirtschaftliche Ausnutzung der Batterie und die Prognose der Verfügbarkeit der gespeicherten Energie ist die Zustandsüberwachung der Batteriezellen angestrebt. Die Beobachtung des Zustandes von Batterien erfolgt meist durch elektrische Größen, die durch ein zusätzliches Messverfahren ergänzt werden sollen.

Aufgabe

Herr Özkan Özden erhält die Aufgabe, eine Sensorik auf der Basis von Plastik-Lichtleitern praktisch zu erproben und schrittweise zu verbessern. Die Sensoren sollen zeitgleich mit anderen Messgrößen die Beobachtung der Dichte des Elektrolyten (Batteriesäure) ermöglichen. Die Säurekonzentration ist etwa proportional zum Ladezustand der Zelle. In Vorarbeiten ist ein Verfahren realisiert worden, das die Säurekonzentration über die Änderung des Brechungsindex bestimmt. Bei gekrümmten Lichtleitfasern erfolgt eine deutliche Änderung der Transmission bei der Änderung des Brechungsindex des umgebenden Mediums durch unterschiedliche Transmissionsverluste.

Eine mechanische Führung soll ausreichende mechanische Stabilität für einen helikal gekrümmten Lichtleiter geben. Diese Führung ist als Sonde in einer Starterbatterie anzuwenden. Hierbei soll eine räumlich integrative Messung in verschiedenen Höhenschichten erfolgen. Die entwickelten Sonden sind in den Batterieinnenraum einzubringen und experimentell zu erproben. Die optischen Messungen sind mit elektrischen Messungen zu kombinieren und auszuwerten. Durch Kalibrierung, Referenzmessungen und Fehlerkompensation sollen Streuungen und Störeinflüsse minimiert werden. Insbesondere sollen Stabilität und Reproduzierbarkeit untersucht werden.

Für die Abschlussarbeit sind die folgenden Arbeitspakete geplant:

1. Einarbeitung und Vorarbeiten

- Einarbeitung in Grundlagen und Effekte bei der Bleibatterie
- Einarbeitung in die Funktionsweise der Lichtwellenleiter, Schwerpunktanwendung optische Messverfahren
- Darstellung der Vorarbeiten sowie der eigenen Untersuchungsziele
- Vorabmessungen mit vorhandenen Versuchsaufbauten und bestehender Software

B. Quellcodes

Listing B.1: Steuergerät einlesen

```
% AUTHORS: Wahid Nasimzada, Maher Achour, Oezkan Oezden
% Version 1.0
%
function varargout = StgReaderX(varargin)
% STGREADERX MATLAB code for StgReaderX.fig
% STGREADERX, by itself, creates a new STGREADERX or raises the existing
% singleton*.
%
% H = STGREADERX returns the handle to a new STGREADERX or the handle to
% the existing singleton*.
%
% STGREADERX('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
% function named CALLBACK in STGREADERX.M with the given input arguments.
%
% STGREADERX('Property','Value',...) creates a new STGREADERX or raises the
% existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
% applied to the GUI before StgReaderX_OpeningFcn gets called. An
% unrecognized property name or invalid value makes property application
% stop. All inputs are passed to StgReaderX_OpeningFcn via varargin.
%
% *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
% instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help StgReaderX

% Last Modified by GUIDE v2.5 25-Oct-2013 15:57:23

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name', mfilename, ...
'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
'gui_OpeningFcn', @StgReaderX_OpeningFcn, ...
'gui_OutputFcn', @StgReaderX_OutputFcn, ...
'gui_LayoutFcn', [] , ...
'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargin
[varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% — Executes just before StgReaderX is made visible.
function StgReaderX_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject handle to figure
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin command line arguments to StgReaderX (see VARARGIN)

% Choose default command line output for StgReaderX
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes StgReaderX wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);
```

```

set(handles.figure1, 'UserData', []);
startstop = false;
userData.stop = false;
dateiname='data';
set(handles.figure1, 'UserData', userData);
% set(handles.starttaste, 'Enable', 'off')
serialInfo = instrhwinfo('serial');
ports = serialInfo.AvailableSerialPorts;

set(handles.portSel, 'String', ports)

set(handles.portSel, 'Value', 1)
set(handles.text1, 'Visible', 'off')
set(handles.auswertungTaste, 'Enable', 'off');

%Ch1
% set(handles.portSel, 'Enable', 'off')
% set(handles.popupmenu3, 'Enable', 'off')
% set(handles.text2, 'Enable', 'off')
% set(handles.ch1, 'Value', 1)

% — Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = StgReaderX_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject handle to figure
% eventdata reserved — to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

function dateiText_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to dateiText (see GCBO)
% eventdata reserved — to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject, 'String') returns contents of dateiText as text
% str2double(get(hObject, 'String'))
% returns contents of dateiText as a double

% — Executes during object creation, after setting all properties.
function dateiText_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to dateiText (see GCBO)
% eventdata reserved — to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty — handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'), get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

% — Executes on selection change in portSel.
function portSel_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to portSel (see GCBO)
% eventdata reserved — to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: contents = cellstr(get(hObject, 'String')) returns portSel contents as cell array
% contents{get(hObject, 'Value')} returns selected item from portSel

% — Executes during object creation, after setting all properties.
function portSel_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to portSel (see GCBO)
% eventdata reserved — to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty — handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: popupmenu controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'), get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

% — Executes on button press in starttaste.
function starttaste_Callback(hObject, eventdata, handles)
global dats dateiname timename xtitle1 ylabel1 tempcheck1 xtitle2 ylabel2 \\\
tempcheck2 xtitle3 ylabel3 tempcheck3 pfa2 foldername blockfolder
% hObject handle to starttaste (see GCBO)

```

```

% eventdata reserved – to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of starttaste
set(handles.starttaste,'Enable','off')
set(handles.auswertungTaste,'Enable','off')
% set(handles.stoptaste,'Enable','on')
set(handles.stoptoggle,'Enable','on')
set(handles.stoptoggle,'Value',0)
set(handles.dateiText,'Enable','off')
% set(handles.text9,'Enable','off')
% set(handles.text10,'Enable','off')
% set(handles.text9,'String','XXXXXXXXXXXXXXXXXX');
% set(handles.text2,'Enable','off')
% set(handles.text3,'Enable','off')
% set(handles.edit2,'Enable','off')
set(handles.portSel,'Enable','off')
% set(handles.popupmenu2,'Enable','off')
% set(handles.popupmenu3,'Enable','off')
% set(handles.popupmenu4,'Enable','off')
% set(handles.popupmenu5,'Enable','off')
% set(handles.popupmenu6,'Enable','off')
% set(handles.ch1,'Enable','off')
% set(handles.ch2,'Enable','off')
% set(handles.ch3,'Enable','off')

xtitel1='Licht->Frequenz';
xtitel2='Zellspannung';
xtitel3='Zelltemperatur';
ylabel1='Frequenz_/_Hz';
ylabel2='Spannung_/_mV';
ylabel3='Temperatur_/_°C';
% tempcheck1=get(handles.popupmenu3,'value');
% tempcheck2=get(handles.popupmenu4,'value');
% tempcheck3=get(handles.popupmenu5,'value');
% aktuname1=get(handles.text2,'String');
% aktuname2=get(handles.text3,'String');
% aktuname3=get(handles.edit2,'String');
% set(handles.text15,'String',aktuname1);
% set(handles.text16,'String',aktuname2);
% set(handles.text22,'String',aktuname3);

% data=zeros(500,30);
% data=[];
% data2=zeros(500,30);
% data2=[];
% data3=zeros(500,30);
% data3=[];
block1=10;
data=zeros(1,13);
data3=zeros(block1,11);

ii=0;
ik=0;
counter2=1;
datacounter=1;
beginn=now;
dateiname=get(handles.dateiText,'String');
timename=strcat(datestr(beginn,'YYYY'),datestr(beginn,'mm'),datestr(beginn,'dd'),'-' , \
datestr(beginn,'HH'),datestr(beginn,'MM'),'_',dateiname);

werte=strcat(timename,'.txt');
workspc=strcat(timename,'.mat');
tmpspc=strcat(timename,'_DATstemp.mat');

set(handles.text3,'String',datestr(beginn));

userData = get(handles.figure1,'UserData');
userData.stop = false; %reset for next time
set(handles.figure1,'UserData',userData);
bedingung = true;
splitting=false;

foldername=timename;
blockfolder='blocks';
pfad=fullfile(pwd, foldername);
mkdir(pfad);
pfad2=fullfile(pfad, blockfolder);
mkdir(pfad2);

% files = dir(fullfile(pwd, foldername));
% filecount = length(files);
%% Ports konfigurieren
% if get(handles.ch1,'Value')==true;
value = get(handles.portSel,'value');

```



```

strings = get(handles.portSel, 'string');
string = strings(value);
port2 = serial(string, 'Baudrate', 115200, 'Terminator', 'CR');
fopen(port2);
set(port2, 'Timeout', 50);

% port2.ReadAsyncMode = 'continuous';
% port2.ReadAsyncMode = 'manual';
% end;

%% if get(handles.ch2, 'Value')==true;
% value2 = get(handles.popupmenu2, 'value');
% strings = get(handles.popupmenu2, 'string');
% string = strings(value2);
% port1 = serial(string, 'BaudRate', 9600, 'BytesAvailableFcnMode', 'terminator', 'Terminator', 'CR/LF');
% fopen(port1);
% port1.ReadAsyncMode = 'manual';
% % end;
%
%% if get(handles.ch3, 'Value')==true;
% value3 = get(handles.popupmenu6, 'value');
% strings = get(handles.popupmenu6, 'string');
% string = strings(value3);
% port3 = serial(string, 'BaudRate', 9600, 'BytesAvailableFcnMode', 'terminator', 'Terminator', 'CR/LF');
% fopen(port3);
% port3.ReadAsyncMode = 'manual';
% % end;
set(handles.text1, 'Visible', 'on')
% pause(4);
tic;
x=0;
%% Programmablauf bis Stoptaste gedrückt wird
while (get(handles.stoptoggle, 'Value')==0)

ii=ii+1; %Zähler ahler für Matrixzeilen
ik=ik+1;
dauer=datestr(toc/86400, 'dd_Tage_HH:MM:SS');
% pause(4);
set(handles.text5, 'String', dauer);

[data, count, msg] = binblockread(port2, 'uint8');
data2(ii, :) = uint8(data);
data3(ii, :) = [uint32(data2(ii, 1)), uint32(data2(ii, 2)), uint32(swapbytes(typecast(data2(ii, 3:6), 'uint32'))), \
uint32(data2(ii, 7)), uint32(swapbytes(typecast(data2(ii, 8:11), 'uint32'))), uint32(data2(ii, 12)), \
uint32(data2(ii, 13)), uint32(data2(ii, 14)), uint32(data2(ii, 15)), uint32(swapbytes(typecast(data2(ii, 16:17), \
'uint16'))), uint32(swapbytes(typecast(data2(ii, 18:21), 'uint32'))));
dats(ii, :) = [double(data3(ii, :)), now, ik];
% tempMul4(ii, 1)=dats(ii, 4)*4;
% dats(ii, 4)=tempMul4(ii, 1);
set(handles.text13, 'String', ik)
%% LivePlot
% if mod(ik, 55)==0
if get(handles.plotTasteFRQ, 'Value')==true;
subplot(handles.axes1)
plot(dats(:, 12), dats(:, 5), 'b', 'linewidth', 2);
legend(xtitle1, 'Location', 'NorthEast')
grid minor
datetick('x', 'DD_HH:MM:SS', 'keepticks')
title(xtitle1);
ylabel(ylabel1(tempcheck1));
xlabel('Zeit');
end
%
if get(handles.plotTasteCV, 'Value')==true;
subplot(handles.axes2)
plot(dats(:, 12), dats(:, 3), 'r', 'linewidth', 2);
legend(xtitle2, 'Location', 'NorthEast')
grid minor
datetick('x', 'DD_HH:MM:SS', 'keepticks')
title(xtitle2);
ylabel(ylabel2(tempcheck2));
xlabel('Zeit');
end
%
if get(handles.plotTasteT, 'Value')==true;
subplot(handles.axes3)
plot(dats(:, 12), dats(:, 4), 'k', 'linewidth', 2);
legend(xtitle3, 'Location', 'NorthEast')
grid minor
datetick('x', 'DD_HH:MM:SS', 'keepticks')
title(xtitle3);
ylabel(ylabel3(tempcheck3));
xlabel('Zeit');
end
%

```

```

% drawnow;
% end
drawnow;
% x=x+1*1/1;
userData = get(handles.figure1, 'UserData');
% if userData.stop == true
% bedingung = false;
% end
%% Tempor\ares Abspeichern

if mod(ik,blockl)==0
dlmwrite(fullfile(pfad,'temp.txt'),dats,'delimiter','\t','newline','pc','precision','%6f')
tempspdats=strcat('tmpspc',num2str(counter2));
save(fullfile(pfad2,tempspdats),'dats')
counter2=counter2+1;
ii=0;
splitting=true;
dats=[];
end

end

%% Ports schließen
fclose(port2);
delete(port2);
clear port2;

set(handles.text1,'Visible','off')
endzeit=now;
set(handles.text7,'String',datestr(endzeit));

if splitting==true
tempspdats=strcat('tmpspc',num2str(counter2));
save(fullfile(pfad2,tempspdats),'dats')
%% Gesamtdaten sichern
dlmwrite(fullfile(pfad,werte),dats,'delimiter','\t','newline','pc','precision','%6f')
block=strcat(timename,'BLOCK.mat');
save(fullfile(pfad,workspc));
%% Dateien zusammensetzen
dats=[];
files = dir(fullfile(pfad2,'*.mat'));
filecount = length(files);
for co3=1:filecount
tempdatsload=load(fullfile(pfad2,files(co3).name),'dats');
[z s]=size(tempdatsload.dats);
if s ==13
tempdatsload.dats(:,14)=0;
end
dats=[dats;tempdatsload.dats];
end
a=sortrows(dats,13);
dats=a;
end
block2=strcat(timename,'BLOCKSORT.mat');
save(fullfile(pfad,block2),'dats');
set(handles.auswertungTaste,'Enable','on');

%— Executes on button press in stoptaste.
function stoptaste_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to stoptaste (see GCBO)
% eventdata reserved — to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of stoptaste

userData = get(handles.figure1, 'UserData');
userData.stop = true;
startstop=true;
set(handles.figure1,'UserData',userData);
% set(handles.stoptaste,'Enable','off')
set(handles.stoptoggle,'Enable','off')
set(handles.starttaste,'Enable','on')
set(handles.dateiText,'Enable','on')
set(handles.portSel,'Enable','on')

% set(handles.ch1,'Enable','on')

%— Executes on button press in stoptaste.
% function stoptaste_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to stoptaste (see GCBO)
% eventdata reserved — to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
%
% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of stoptaste
%
```

```

% userData = get(handles.figure1, 'UserData');
% userData.stop = true;
% startstop=true;
% set(handles.figure1,'UserData',userData);
%% set(handles.stoptaste, 'Enable', 'off')
% set(handles.stoptoggle, 'Enable', 'off')
% set(handles.starttaste, 'Enable', 'on')
% set(handles.dateiText, 'Enable', 'on')
% set(handles.portSel, 'Enable', 'on')
%
%% set(handles.ch1, 'Enable', 'on')

%— Executes on button press in stoptoggle.
function stoptoggle_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to stoptoggle (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of stoptoggle
userData = get(handles.figure1, 'UserData');
userData.stop = true;
startstop=true;
set(handles.figure1, 'UserData', userData);
% set(handles.stoptaste, 'Enable', 'off')
set(handles.stoptoggle, 'Enable', 'off')
set(handles.starttaste, 'Enable', 'on')
set(handles.dateiText, 'Enable', 'on')
set(handles.portSel, 'Enable', 'on')

%— Executes on button press in auswertungTaste.
function auswertungTaste_Callback(hObject, eventdata, handles)
global dats dateiname timename xtitel1 ylabel1 tempcheck1 xtitel2 ylabel2 \
tempcheck2 xtitel3 ylabel3 tempcheck3 pfad pfad2 foldername blockfolder
% hObject handle to auswertungTaste (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
% clear all;
% file='20131012- AlleSensoren-300mV.dat';
% file='20131012- AlleSensoren-300mV-Reihenfolge213756.dat';
% file='20131012-2800mV-Reihenfolge213756.dat';
% file='20131012-2904mV-Reihenfolge213756.dat';
% file='20131012-BLOCK1-5Sensoren.dat';
% file='20131012- AlleSensoren-3000mV-Reihenfolge213756.dat';
% file='20131012-31013mV-Reihenfolge213756.dat';
% file='20131012-3201mV-Reihenfolge213756.dat';
% file='20131012-3303mV-Reihenfolge213756.dat';
% file='20131012-3402mV-Reihenfolge213756.dat';
% file='20131014- BatterieBLOCK1_CALI-5+1Sensoren.dat';
% file='20131015- BatterieBLOCK1_CALI-5+1Sensoren.dat';
% file='20131015- BatterieBLOCK1_CALI-5+1SensorenMitFasern.dat';
% file='20131015- BatterieBLOCK1_CALI-5+1SensorenMitFasern1000.dat';
% file='s8-4h-221V40.dat';
% file='s8-1800V10.dat';
% file='s8-1909V20.dat';
% file='s8-221V20.dat';
% file='S8-TKurve105010-2002V.dat';
% file='S8-TKurve105010Rampe2002V.dat';
% file='Sall.dat';
% file='SALL-20000Daten-2002mV-RAMPE105010.dat';
% file='SALL-10000Daten-3006mV-RAMPE5010.dat';

load(fullfile(pfad, strcat(timename, 'BLOCKSORT.mat')), 'dats');
i=1;
file=dateiname;
file2=timename;
%% file='20131012-BLOCK1-5Sensoren.dat';
% sourcetemp=[];
% file2=strrep(file, '.dat', '');
% source=dlmread(file);
source=dats;
sourcetemp(:,1)=(((source(:,4))*4*0.001466)-0.986)/0.00355;%Temperatur Umrechnung
sourcetemp(:,2)=source(:,2);
source(:,4)=sourcetemp(:,1);
heute=datevec(fix(now));

sensor_count=10; %Je nach gesamt Anzahl von Sensoren anpassen
s=cell(1, sensor_count);
s_red=cell(1, sensor_count);
s_ylw=cell(1, sensor_count);

s_plot_color = cellstr(['m'; 'c'; 'k'; 'b'; 'y'; 'g'; '-m'; '-c'; '-k'; '-b'; '-y'; '-g'; '+m'; '+c'; '+k'; '+b'; '+y'; '+g' ])

sensor_red = cell(1, sensor_count);

```

```

sensor_ylw = cell(1, sensor_count);
sensor = cell(1, sensor_count);

for count=1:sensor_count
s{count}=strcat('Sensor_', num2str(count));
s_red{count}=strcat('Sensor_', num2str(count), '_red');
s_ylw{count}=strcat('Sensor_', num2str(count), '_ylw');

%Split data to seperate sensor values
corr=find(source(:,2)==count);%Sensor red abfrage
sensor_red{count}=(source(corr,:));
corr=find(source(:,2)==count+sensor_count);%Sensor ylw abfrage
sensor_ylw{count}=(source(corr,:));
corr=find(source(:,2)==count | source(:,2)==count+sensor_count);%Sensor alle abfrage
sensor{count}=(source(corr,:));
end

%
% zeitachse1=[];
% zeitachse2=[];
% zeitachse3=[];
% zeitachse4=[];
% zeitachse5=[];
% zeitachse6=[];
% zeitachse7=[];
% zeitachse8=[];
%
% zeitNum1=[];
% zeitNum2=[];
% zeitNum3=[];
% zeitNum4=[];
% zeitNum5=[];
% zeitNum6=[];
% zeitNum7=[];
% zeitNum8=[];

%sensoranz=0;

%% Temperaturumrechnung

% ta(:,1)=(((sensor1(:,4)*4*0.001466)-0.986)/0.00355);

% zeitNum7=datum(zeitVec7);
% Mittelwert
% mittel=[mean(sensor1(:,3)) mean(sensor2(:,3)) mean(sensor3(:,3)) mean(sensor5(:,3)) mean(sensor6(:,3)) mean(sensor7(:,3))]
% fuerKali=[mittel
%% PLOT AllInOne
%
% figureALLE=figure('Name','Alle Sensoren')
%
% if (length(sensor1))
% plot(zeitNum1,sensor1(:,3),'-+m','LineWidth',2);hold on;legend(s1);
% plot(zeitNum1,sensor1(:,4),'-+m','LineWidth',2);hold on;legend(s1);
% plot(zeitNum1,sensor1(:,5),'-+m','LineWidth',2);hold on;legend(s1);
% end
% if (length(sensor2))
% plot(zeitNum2,sensor2(:,3),'-+c','LineWidth',2);hold on;legend(s2);
% plot(zeitNum2,sensor2(:,4),'-+c','LineWidth',2);hold on;legend(s2);
% plot(zeitNum2,sensor2(:,5),'-+c','LineWidth',2);hold on;legend(s2);
% end
% if (length(sensor3))
% plot(zeitNum3,sensor3(:,3),'-+r','LineWidth',2);hold on;legend(s3);
% plot(zeitNum3,sensor3(:,4),'-+r','LineWidth',2);hold on;legend(s3);
% plot(zeitNum3,sensor3(:,5),'-+r','LineWidth',2);hold on;legend(s3);
% end
% if (length(sensor4))
%% plot(zeitNum1,sensor4(:,3),'-r');hold on;
% plot(zeitNum1,sensor4(:,5),'-b');hold on;
% end
% if (length(sensor5))
% plot(zeitNum5,sensor5(:,3),'-+g','LineWidth',2);hold on;legend(s5);
% plot(zeitNum5,sensor5(:,4),'-+g','LineWidth',2);hold on;legend(s5);
% plot(zeitNum5,sensor5(:,5),'-+g','LineWidth',2);hold on;legend(s5);
% end
% if (length(sensor6))
% plot(zeitNum6,sensor6(:,3),'-+b','LineWidth',2);hold on; legend(s6);
% plot(zeitNum6,sensor6(:,4),'-+b','LineWidth',2);hold on; legend(s6);
% plot(zeitNum6,sensor6(:,5),'-+b','LineWidth',2);hold on;legend(s6);
% end
% if (length(sensor7))
% plot(zeitNum7,sensor7(:,3),'-+k','LineWidth',2);hold on;legend(s7);
% plot(zeitNum7,sensor7(:,4),'-+k','LineWidth',2);hold on;legend(s7);
% plot(zeitNum7,sensor7(:,5),'-+k','LineWidth',2);hold on;legend(s7);

```

```

% end
% if (length(sensor8))
% plot(zeitNum8, sensor8(:,3), '-+y', 'LineWidth', 2); hold on; legend(s8);
% plot(zeitNum8, sensor8(:,4), '-.y', 'LineWidth', 2); hold on; legend(s8);
% plot(zeitNum8, sensor8(:,5), '- -+y', 'LineWidth', 2); hold on; legend(s8);
% end
% grid minor;
%
%% plot(zeitNum8, smooth(sensor8(:,3), 5), '-b', 'LineWidth', 2); hold on;
%% plot(zeitNum8, smooth(sensor8(:,4), 5), '- -b', 'LineWidth', 2); hold on;
%% plot(zeitNum8, smooth(sensor8(:,5), 5), '- -b', 'LineWidth', 2); hold on;
%
% title(file2);
%
%% legend(s1, s1, s1, s2, s2, s3, s3, s5, s5, s6, s6, s7, s7)
% legend(s1, s1, s1, s2, s2, s2, s3, s3, s3, s5, s5, s5, s6, s6, s6, s7, s7, s8, s8, s8)
%% '20131012- AlleSensoren-3000mV.dat'
% datetick('x', 'keepticks');
% set(gcf, 'Position', get(0, 'Screensize')); % Maximize figure.
% dcm_obj = datacursormode(figure(figureALLE));
% set(dcm_obj, 'UpdateFcn', @myupdatefcn)
% beginn=now;
% dateiname=file2;
% timename=strcat(datestr(beginn, 'YYYY'), datestr(beginn, 'mm'), datestr(beginn, 'dd'), '- ', datestr(beginn, 'HH'), datestr(beginn, 'MM'), '_', dateiname);
%
% saveas(figureALLE, strcat(timename, '1'), 'fig')
% saveas(figureALLE, strcat(timename, '1'), 'bmp')

%% SUBPLOT
figureALLEP = figure('Name', file);
lg=cell(1, sensor_count);
i=0;

% SPANNUNG
ax(1)=subplot(4,1,1);
for count=1:sensor_count
if (length(sensor{count}))
active_sensor=sensor{count};
plot(active_sensor(:,12), active_sensor(:,3), s_plot_color{count}, 'LineWidth', 1); hold on; %TODO: Change colors
% liste(1)=[ 'Sensor' int2str(1)];
i=i+1;
lg{i}=s{count};
end
end
grid minor
datetick('x', 'keepticks');
xlabel('Time/_s');
ylabel('Cell-Voltage/_mV');
legend(s);
title('Zellspannung');

% TEMPERATUR
ax(2)=subplot(4,1,4);
lg=cell(1, sensor_count);
i=0;
for count=1:sensor_count
if (length(sensor{count}))
active_sensor=sensor{count};
plot(active_sensor(:,12), active_sensor(:,4), s_plot_color{count}, 'LineWidth', 1); hold on; %TODO: Change colors
% liste(1)=[ 'Sensor' int2str(1)];
i=i+1;
lg{i}=s{count};
end
end
grid minor
datetick('x', 'keepticks');
xlabel('Time/_s');
ylabel('Temperaturm/_ADC');
legend(s);
title('Temperaturmessung_des_ADC');

% DICHT E BZW FREQUENZ BEI WELLENLAENGE 1
ax(3)=subplot(4,1,2);
%lg=cell(length(unique(source(:,2))),1);
i=0;

for count=1:sensor_count
if (length(sensor_red{count}))
active_sensor=sensor_red{count};
plot(active_sensor(:,12), active_sensor(:,5), s_plot_color{count}, 'LineWidth', 1); hold on; %TODO: Change colors
% liste(1)=[ 'Sensor' int2str(1)];
i=i+1;
lg{i}=s_red{count};
end
end
end

```

```

grid minor
datetick('x','keepticks');
xlabel('Time/_s');
ylabel('Light-Frequency_Sensor/_Hz');
legend(s);
title('Dichte_mit_Wellenl\ange_633nm');

% DICHTe BZW FREQUENZ BEI WELLENLAENGE 2
ax(3)=subplot(4,1,3);
%lg=ceil(length(unique(source(:,2))),1);
i=0;

for count=1:sensor_count
if (length(sensor_ylw{count}))
active_sensor=sensor_ylw{count};
plot(active_sensor(:,12),active_sensor(:,5),s_plot_color{count},'LineWidth',1);hold on; %TODO: Change colors
% liste(1)=[ 'Sensor' int2str(1)];
i=i+1;
lg{i}=s_ylw{count};
end
end
grid minor
datetick('x','keepticks');
xlabel('Time/_s');
ylabel('Light-Frequency_Sensor/_Hz');
legend(s);
title('Dichte_mit_Wellenl\ange_587nm');

set(gcf, 'Position', get(0,'Screensize')); % Maximize figure.
dcm_obj = datacursormode(figure(figureALLEP));
set(dcm_obj, 'UpdateFcn', @myupdatefcn)
beginn=now;
% dateiname= file2;
% timename=strcat(datestr(beginn, 'YYYY'), datestr(beginn, 'mm'), datestr(beginn, 'dd'), '- ', datestr(beginn, 'HH'), datestr(beginn, 'MM'), '_', dateiname);
linkaxes([ax(1) ax(2) ax(3)], 'x')
saveas(figureALLEP, fullfile(pfad, strcat(timename, '2')), 'fig');
saveas(figureALLEP, fullfile(pfad, strcat(timename, '2')), 'bmp');
save(fullfile(pfad, strcat(timename, '_workspace')));
%%
% grenze=size(sensor1);
% for i=1:grenze(1,1)
% s1k(i,1)=sensor1(i,3)-reg(2,1);
% s1k(i,1)=sensor1(i,3)/reg(1,1);
% end
%
% grenze=size(sensor2);
% for i=1:grenze(1,1)
% s2k(i,1)=sensor2(i,3)-reg(2,2);
% s2k(i,1)=sensor2(i,3)/reg(1,2);
% end
%
% grenze=size(sensor3);
% for i=1:grenze(1,1)
% s3k(i,1)=sensor3(i,3)-reg(2,3);
% s3k(i,1)=sensor3(i,3)/reg(1,3);
% end
%
% grenze=size(sensor5);
% for i=1:grenze(1,1)
% s5k(i,1)=sensor5(i,3)-reg(2,4);
% s5k(i,1)=sensor5(i,3)/reg(1,4);
% end
%
% grenze=size(sensor7);
% for i=1:grenze(1,1)
% s7k(i,1)=sensor7(i,3)-reg(2,6);
% s7k(i,1)=sensor7(i,3)/reg(1,6);
% end
%
%
%
% figureALLE1=figure('Name','Alle Sensoren')
% if (length(sensor1))
% plot(zeitNum1,s1k(:,1),'*m');hold on;
% plot(zeitNum1,sensor1(:,5),'*m');hold on;
% end
% if (length(sensor2))
% plot(zeitNum2,s2k(:,1),'*c');hold on;
% plot(zeitNum2,sensor2(:,5),'*c');hold on;
% end
% if (length(sensor3))
% plot(zeitNum3,s3k(:,1),'*r');hold on;
% plot(zeitNum3,sensor3(:,5),'*r');hold on;
% end
% if (length(sensor4))

```

```

% plot(zeitNum1,sensor4(:,3),'-r'); hold on;
% plot(zeitNum1,sensor4(:,5),'-b'); hold on;
% end
% if (length(sensor5))
% plot(zeitNum5,s5k(:,1),'*g'); hold on;
% plot(zeitNum5,sensor5(:,5),'*g'); hold on;
% end
% if (length(sensor6))
% plot(zeitNum6,sensor6(:,3),'*b'); hold on;
% plot(zeitNum6,sensor6(:,5),'*b'); hold on;
% end
% if (length(sensor7))
% plot(zeitNum7,s7k(:,1),'*k'); hold on;
% plot(zeitNum7,sensor7(:,5),'*k'); hold on;
% end
% if (length(sensor8))
% plot(zeitNum8,s8k(:,1),'*k'); hold on;
% plot(zeitNum8,sensor8(:,5),'*k'); hold on;
% end
%
% title('kalibriert');
%% legend(s1,s1,s2,s2,s3,s3,s5,s5,s6,s6,s7,s7)
% legend(s1,s1,s2,s2,s3,s3,s5,s5,s7,s7)
%% '20131012- AlleSensoren-300mV.dat'
% datetick('x','keepticks');
% set(gcf,'Position',get(0,'Screensize')); % Maximize figure.
% dcm_obj = datacursormode(figure(figureALLE1));
% set(dcm_obj,'UpdateFcn',@myupdatefcn)
% beginn=now;
% dateiname=file;
% timename=strcat(datestr(beginn,'YYYY'),datestr(beginn,'mm'),datestr(beginn,'dd'),'-',datestr(beginn,'HH'),datestr(beginn,'MM'),'_',dateiname);
%
% saveas(figureALLE1, strcat(timename, 'Kalibriert'), 'fig')
% saveas(figureALLE1, strcat(timename, 'Kalibriert'), 'bmp')
%
%%
% figureALLE3=figure('Name','Alle Sensoren')
% plot(zeitNum1,sensor1(:,3),'-m','LineWidth',2); hold on;
% plot(zeitNum1,s1k(:,1),'--m','LineWidth',2); hold on;
%
% plot(zeitNum2,sensor2(:,3),'-c','LineWidth',2); hold on;
% plot(zeitNum2,s2k(:,1),'--c','LineWidth',2); hold on;
%
% plot(zeitNum3,sensor3(:,3),'-r','LineWidth',2); hold on;
% plot(zeitNum3,s3k(:,1),'--r','LineWidth',2); hold on;
%
%% plot(zeitNum1,sensor4(:,3),'-r'); hold on;
%% plot(zeitNum1,sensor4(:,5),'-b'); hold on;
%
% plot(zeitNum5,sensor5(:,3),'-g','LineWidth',2); hold on;
% plot(zeitNum5,s5k(:,1),'--g','LineWidth',2); hold on;
% plot(zeitNum6,sensor6(:,3),'*b'); hold on;
% plot(zeitNum6,sensor6(:,5),'*b'); hold on;
%
% plot(zeitNum7,sensor7(:,3),'-k','LineWidth',2); hold on;
% plot(zeitNum7,s7k(:,1),'--k','LineWidth',2); hold on;
%
% title(file2);
%% legend(s1,s1,s2,s2,s3,s3,s5,s5,s6,s6,s7,s7)
% legend(s1,s1,s2,s2,s3,s3,s5,s5,s7,s7)
%% '20131012- AlleSensoren-300mV.dat'
% datetick('x','keepticks');
% set(gcf,'Position',get(0,'Screensize')); % Maximize figure.
% dcm_obj = datacursormode(figure(figureALLE3));
% set(dcm_obj,'UpdateFcn',@myupdatefcn)
% beginn=now;
% dateiname=file;
% timename=strcat(datestr(beginn,'YYYY'),datestr(beginn,'mm'),datestr(beginn,'dd'),'-',datestr(beginn,'HH'),datestr(beginn,'MM'),'_',dateiname);
%
% saveas(figureALLE3, strcat(timename, 'Unterschied'), 'fig')
% saveas(figureALLE3, strcat(timename, 'Unterschied'), 'bmp')
%
%%
% stunden = sensor1(:,7);
% minuten = sensor1(:,8);
% sekunden = sensor1(:,9);
% [stunden minuten sekunden] = Dateiname(:,(7:9))
% zeitachse=horzcat(sensor1(:,7), sensor1(:,8), sensor1(:,9));

% for i=1:length(zeitachse)
% neu(i,:) = horzcat(heute(1,1), heute(1,2), heute(1,3), zeitachse(i,:));
% end
%

```



```

timename= foldername;
mkdir(pfad);
pfad2=fullfile(pfad,blockfolder);
mkdir(pfad2);

% Dateien zusammensetzen
dats=[];
files = dir(fullfile(pfad2, '*.mat'));
filecount = length(files);
for co3=1:filecount
tempdatsload=load(fullfile(pfad2, files(co3).name), 'dats');
[z s]=size(tempdatsload.dats);
if s ==13
tempdatsload.dats(:,14)=0;
end
dats=[dats;tempdatsload.dats];
end
%a=sortrows(dats,13);
%dats=a;

block2=strcat(timename, 'BLOCKSORT.mat');
save(fullfile(pfad,block2), 'dats');
% set(handles.auswertungTaste, 'Enable', 'on');
sprintf('fertig')

% timename='20140606-1643_Dateiname';
% dats=[];
% files = fullfile('C:\Users\MS_2\Documents\MATLAB\Matlab\STGReader\20140521-1545_Dateiname\blocks', '*.mat');
% filecount = length(files);
% for co3=1:filecount
% tempdatsload=load(fullfile('C:\Users\MS_2\Documents\MATLAB\Matlab\STGReader\20140521-1545_Dateiname\blocks', files(co3).name), 'dats');
% [z s]=size(tempdatsload.dats);
% if s ==13
%     tempdatsload.dats(:,14)=0;
% end
% dats=[dats;tempdatsload.dats];
% end
% a=sortrows(dats,13);
% dats=a;
%
% block2=strcat(timename, 'BLOCKSORT.mat');
% save(fullfile(pfad,block2), 'dats');
% set(handles.auswertungTaste, 'Enable', 'on');

```

Listing B.3: Auswertung

```

% Matlab Cache und Speicher leeren
clc
clear all;
close all;

%% Mittelwerte bilden
% Variablen  $f_{\frac{1}{4}}r$  die Bildung eines gleitenden Mittelwerts beim Plot
% Spannung
glaettung_v = str2num(char(inputdlg({'GI\''attung_f\frac{1}{4}r_Spannung'}, 'Smoothingfactor', 1, {'1'})));
% Temperatur
glaettung_t = str2num(char(inputdlg({'GI\''attung_f\frac{1}{4}r_Temperatur'}, 'Smoothingfactor', 1, {'1'})));
% Licht
glaettung_licht = str2num(char(inputdlg({'GI\''attung_f\frac{1}{4}r_Transmission'}, 'Smoothingfactor', 1, {'1'})));
glaettung_zg = str2num(char(inputdlg({'GI\''attung_f\''ur_Zyklieger\''atspannung'}, 'Smoothingfactor', 1, {'1'})));

%% Zyklieger\''at Daten einlesen
%grafische Auswahl der Messdaten vom ZG
[data_fzg data_pzg] = uigetfile(fullfile(pwd, '\Messungen', '*.txt'), 'Zyklierdaten');
zg = csvread(fullfile(data_pzg, data_fzg),131,0);

%Aufteilung der einzelnen Werte in Matlabvektoren
zg_cell = zg(:,1);
zg_zeitnum = datenum(zg(:,2),zg(:,3),zg(:,4),zg(:,5),zg(:,6),zg(:,7));
zg_zeitstr = datestr(zg_zeitnum);
% Spannungswert von  $\$lrm\mu\$V$  auf mV umgewandelt
zg_volt = zg(:,8)/1000;
zg_temp = zg(:,9);
zg_curr = zg(:,10);
zg_rel = zg(:,11);

%Zyklierdaten Struktur
zykdaten = struct('cell',zg_cell, 'time', zg_zeitstr, 'voltage',zg_volt, 'current',zg_curr, 'temp',zg_temp, 'relais',zg_rel);

```

```

cells = struct ('zeit',zg_zeitnum,'volt',zg_volt,'curr',zg_curr,'temp',zg_temp);

%Filtern nach Zellen -> Daten fA1/4r Zelle 1 in cells(1) usw...
for i=1:(max(zg_cell))
cc = (find(zykdaten.cell(:)==i));
cells(i).zeit= zg_zeitnum(cc);
cells(i).volt= zg_volt(cc);
cells(i).curr= zg_curr(cc);
cells(i).temp= zg_temp(cc);
end

%% Parameter und Daten einlesen
% Messdaten einlesen und in den Workspace laden.
[data_f data_p] = uigetfile(fullfile(pwd,'\Messungen'),'Messdaten');
load([data_p data_f],'dats');

% Kalibrierparameter einlesen und in den Workspace laden.
% Wahlweise Automatisiert fA1/4r Dummydaten oder sonst grafisch.
% Dummy Kalibrierdaten werden standardm\ "a\lss ig geladen, ansonsten die folgende
% Zeile wieder Kommentarszeichen entfernen und die Zeile danach auskommentieren.
[cal_f cal_p] = uigetfile('Kalibrierdaten/', 'Kalibrationsdaten'); load([cal_p cal_f]);

% Calibration Values
%load(fullfile(pwd, 'Kalibrierdaten', 'oo_calibration_data-2356789-Dummy.mat'));
%load(fullfile(pwd, 'Kalibrierdaten', 'oo_calibration_data-trash-20160608-Dummy.mat'));

% Offset fA1/4r die Adressen von selben Sensor (Rot/Gelb Unterscheidung)
% ausw\ "ahlen, Default 10, kommentar entfernen fA1/4r grafische Auswahl.
%offset = str2num(char(inputdlg({'Offset'}, 'Parameter', 1, {'10'})));
offset = 10;

% Temporal\ "argespeicherte pfade fA1/4r Parameter entfernen ? Unn\ "otig, da durch
% Skriptausf\ "uhrung der Workspace und Cache zwangsl\ "aufig gel\ "oscht werden.
clear data_p cal_f cal_p;

noSensors = 9;

%%
% Kontrastreiche Farben fuer Plots definieren
% Quelle:
% http://eleanormaclure.files.wordpress.com/2011/03/colour-coding.pdf
colors = [ 0,117,220; 240,163,255; 153, 63, 0; 76, 0, 92;...
25, 25, 25; 0, 92, 49; 43,206, 72; 255,204,153;...
128,128,128; 148,255,181; 143,124, 0; 157,204, 0;...
194, 0,136; 0, 51,128; 255,164, 5; 255,168,187;...
66,102, 0; 255, 0, 16; 94,241,242; 0,153,143;...
224,255,102; 116, 10,255; 153, 0, 0; 255,255,128;...
255,255, 0; 255, 80, 5] ./255;

% BLAU , GRAU, ROT BRAUN Schwarz Dunkel-GrA1/4n Bordauxrot
newcolors = [0,0,255; 100,100,100; 255,0,0; 128,64,0; 0,0,0; 0,100,0; 128, 0, 50] ./255;
sensor = struct('volt', 0,...
'volt_y', 0,...
'temp', 0,...
'temp_y', 0,...
'red', 0,...
'ylw', 0,...
'time', 0,...
'time_y', 0,...
'temp_idx', 0);

%% Separieren von Messdaten
% id_r : Filtern der Messdaten fA1/4r einen Sensor bei ROTER LED
% id_y: Filtern der Messdaten fA1/4r einen Sensor bei GELBER LED
% sensor(n).temp: Temperatur des Sensor N bei ROTER LED
% sensor(n).temp_y: Temperatur des Sensor N bei GELBER LED
% sensor(n).volt: Zellspannung des Sensor N bei ROTER LED
% sensor(n).volt_y: Zellspannung des Sensor N bei GELBER LED
% sensor(n).red: Transmission des Sensor N bei ROTER LED
% sensor(n).ylw: Transmission des Sensor N bei GELBER LED
% sensor(n).time: Zeitstempel des Sensor N bei ROTER LED
% sensor(n).time_y: Zeitstempel des Sensor N bei GELBER LED
dats(:,1) = dats(:,12) - dats(1,12);
for n=1:1:noSensors
id_r = find(dats(:,2)==n);
id_y = find(dats(:,2)==n+offset);
% NORMIERUNG
dats(id_r,5) = dats(id_r,5)/max(smooth(dats(id_r,5),9));
dats(id_y,5) = dats(id_y,5)/max(smooth(dats(id_y,5),9));
sensor(n).temp = ((dats(id_r,4)*4*0.001466)-0.986)/0.00355;

```

```

sensor(n).temp_y = ((dats(id_y,4)*4*0.001466)-0.986)/0.00355;
sensor(n).volt = dats(id_r,3);
sensor(n).volt_y = dats(id_y,3);
sensor(n).red = dats(id_r,5);
sensor(n).ylw = dats(id_y,5);
sensor(n).time = dats(id_r,1);
sensor(n).time_y = dats(id_y,1);
% clear id_r id_y;
end
% clear dats n;

%%NORMIERUNG VON LICHTWERTEN AUF MAXIMUM
%% ROT
% for n=1:1:noSensors
%   sensor(n).red = sensor(n).red / max(sensor(n).red);
% end
%% GELB
% for n=1:1:noSensors
%   sensor(n).ylw = sensor(n).ylw / max(sensor(n).ylw);
% end
%% Korrektur mit Kalibrationsdaten
% for n=1:1:noSensors
%   if isempty(find(defectSensors==n))
%     % Temperatur kompensieren
%     sensor(n).temp = sensor(n).temp * coeffs(n).aT + coeffs(n).bT;
%     %% !!! GELBER TEMPERATUR WERT WURDE NICHT KALIBRIERT, JETZT Korrigiert !
%     sensor(n).temp_y = sensor(n).temp_y * coeffs(n).aT + coeffs(n).bT;
%   end
%   % Indices des dichtesten Temperaturwertes
%   [~, idx] = min(abs(bsxfun(@minus, (sensor(n).temp * ones(size(tempReal))), tempReal)), [], 2);
%   [~, idx2] = min(abs(bsxfun(@minus, (sensor(n).temp_y * ones(size(tempReal))), tempReal)), [], 2);
%   % Spannung kompensieren
%   sensor(n).volt = sensor(n).volt .* (sensor(n).temp * coeffs(n).aKS + coeffs(n).bKS) + coeffs(n).bV(idx)');
%   sensor(n).volt_y = sensor(n).volt_y .* (sensor(n).temp_y * coeffs(n).aKS + coeffs(n).bKS) + coeffs(n).bV(idx2)');
% end
% clear n idx idx2;

defectSensors = [4];

i = 1;
for yy=1:1:noSensors
if (isempty(sensor(yy).volt)==0)
sensorlegend{i} = [(sprintf('Sensor_%d', yy))];
i = i+1;
end
end
%% Darstellung – Messdaten gegen Zeit
set(0, 'DefaultAxesColorOrder', colors);
figureNr=figure('units', 'normalized', 'outerposition', [0 0 1 1], 'Name', data_f);

% Spannung
hnd_plot(1) = subplot(4,1,1);
hold on;
for n=1:1:noSensors
if isempty(find(defectSensors==n))
plot(sensor(n).time, smooth(sensor(n).volt, glaettung_v), '.', 'Color', colors(n,:), 'LineWidth', 2);
end
end
hold off;
ylabel('Zellspannung_[mV]');
title('Zellspannung');

% Dichte (rot)
hnd_plot(2)=subplot(4,1,2);
hold on;
for n=1:1:noSensors
if isempty(find(defectSensors==n))
plot(sensor(n).time, smooth(sensor(n).red, glaettung_licht), '.', 'Color', colors(n,:), 'LineWidth', 2);
end
end
hold off;
ylabel('Light-Intensit\' at_[a.u]');
title('Licht-Intensit\' at_bei_Wellenlaenge_633nm_(rot)');

% Dichte (gelb)
hnd_plot(3)=subplot(4,1,3);
hold on;
for n=1:1:noSensors
if isempty(find(defectSensors==n))
plot(sensor(n).time_y, smooth(sensor(n).ylw, glaettung_licht), '.', 'Color', colors(n,:), 'LineWidth', 2);
end
end
hold off;

```

```

ylabel('Light-Intensit\'\'at_Sensor_[Hz]');
title('Licht-Intensit\'\'at_bei_Wellenl\'\'ange_587nm_(gelb)');

% Temperatur
hnd_plot(4)=subplot(4,1,4);
hold on;
for n=1:1:noSensors
if isempty(find(defectSensors==n))
plot(sensor(n).time, smooth(sensor(n).temp,glaettung_t), '.', 'Color',colors(n,:), 'LineWidth',2);
end
end
hold off;
ylabel('Temperatur_[°C]');
title('Temperaturmessung_des_ADC');

% gemeinsame Eigenschaften setzen
linkaxes(hnd_plot,'x');
for n=1:1:size(hnd_plot,2)
grid(hnd_plot(n), 'minor');
datetick(hnd_plot(n), 'x','dd_HH:MM:SS', 'keepticks');
xlabel(hnd_plot(n), 'Zeit_[hh:mm]');
% zum darstellen der richtigen legenden der jeweiligen sensoren!

legend(hnd_plot(n),sensorlegend,'Location','eastoutside');

%legend(hnd_plot(n), strread(sprintf('Sensor %d\n', setdiff([1:1:noSensors], defectSensors)),'%s',noSensors,'delimiter','\n'));
end

% Cursor Text formatiert in Zeitangabe
dcm_obj = datacursormode(figure(figureNr));
set(dcm_obj,'UpdateFcn',@myupdatefcn)

clear hnd_plot n;

%% Darstellung - Intensit\'\'at gegen Zellspannung (rot)
set(0,'DefaultAxesColorOrder',colors);
figureNr=figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1],'Name',data_f);
hold on;
for n=1:1:noSensors
if isempty(find(defectSensors==n))
plot(sensor(n).volt, sensor(n).red, '.', 'Color',colors(n,:), 'LineWidth',2);
end
end
hold off;
ylabel('Light-Intensit\'\'at_Sensor_[a.u]');
title('Intensit\'\'at_vs._Spannung_bei_Wellenl\'\'ange_633nm_(rot)');
grid on;
xlabel('Zellspannung_[mV]');

% i = 1;
% for n=1:1:noSensors
% if isempty(sensor(n).volt)==0
% sensorlegend[i] = [sprintf('Sensor %d', n)];
% i = i+1;
% end
%
% end

%legend(strread(sprintf('Sensor %d\n', setdiff([1:1:noSensors], defectSensors)),'%s',noSensors,'delimiter','\n'));
legend(sensorlegend);

% Cursor Text formatiert in Licht zu Spannung
dcm_obj = datacursormode(figure(figureNr));
set(dcm_obj,'UpdateFcn',@myupdatefcnLicht)

clear n;

%% Darstellung - Intensit\'\'at gegen Zellspannung (gelb)
set(0,'DefaultAxesColorOrder',colors);
figureNr = figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1],'Name',data_f);
hold on;
for n=1:1:noSensors
if isempty(find(defectSensors==n))
plot(sensor(n).volt_y, sensor(n).ylw, '.', 'Color',colors(n,:), 'LineWidth',2);
end
end
hold off;
ylabel('Light-Intensit\'\'at_Sensor_[a.u]');
title('Intensit\'\'at_vs._Spannung_bei_Wellenl\'\'ange_587nm_(gelb)');
grid on;
xlabel('Zellspannung_[mV]');

% zum darstellen der richtigen legenden der jeweiligen sensoren!
% i = 1;

```

```

% for n=1:1:noSensors
%   if (isempty(sensor(n).volt)==0)
%       sensorlegend{i} = [sprintf('Sensor %d', n)];
%       i = i+1;
%   end
% end
legend(sensorlegend);

% Cursor Text formatiert in Licht zu Spannung
dcm_obj = datacursormode(figure(figureNr));
set(dcm_obj, 'UpdateFcn', @myupdatefcnLicht)
%%legend(strread(sprintf('Sensor %d\n', setdiff([1:1:noSensors], defectSensors)), '%s', noSensors, 'delimiter', '\n'));

%%clear n;

%% Darstellung der Zellspannungen aus den Zyklengerl"atdaten
%
% figfig=figure('units', 'normalized', 'outerposition', [0 0 1 1], 'Name', 'Zyklerspannung')
% for i=1:(max(zg_cell))
%   hh(i) = subplot(2,3,i)
%
%   cc = (find(zykdaten.cell(:)==i));
%   cells(i).zeit= zg_zeitnum(cc);
%   cells(i).volt= zg_volt(cc);
%   cells(i).curr= zg_curr(cc);
%   cells(i).temp= zg_temp(cc);
%
%   plot(cells(i).zeit, smooth(cells(i).volt, glaettung_zg))
%   grid(hh(i), 'minor');
%   datetick(hh(i), 'x', 'dd HH:MM:SS', 'keepticks');
%   xlabel(hh(i), 'Zeit [hh:mm]');
%
% end

%% oo05:
% Sensordatenfusion

%
% AUFBAU
% 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10
% Zeitstempel | Zs Nr | Zg Nr | Zs Spg | Zg Spg | Strom | Zs Temp | Zg Temp | ROT | GELB
% ACHTUNG ! NACH SORTIERUNG Wird die jeweilige ZG nummer auf die
% Sensornummer geschrieben !!!

% Synchronisieren der Zellnummer zur Sensornummer
% Die jeweiligen Zellnummer wird anstelle der Sensornummer verwendet !
% RECHTS Sensornummer eintragen !
zellen_nummer1= 9;
zellen_nummer2= 2;
zellen_nummer3= 3;
zellen_nummer4= 8;
zellen_nummer5= 6;
zellen_nummer6= 7;

% L"ange der einzelvektoren bestimmen:
zs_l = length(dats(:,12));
zg_l = length(zg_zeitnum);
% Gesamtl"ange bestimmen
gesamt_laenge = zs_l + zg_l;

% Tabelle vorbereiten:
zeilen = gesamt_laenge;
spalten= 7;
dats_fusion=zeros(zeilen, spalten);

dats_fusion(:,6)=NaN;

% Daten aufbereiten:
% Filtern der Sensoradressen bei rot und bei geld
% BEI ROT: Spannungswerte werden ber"cksichtigt
% BEI GELB: Spannungswerte werden aufgrund falscher Werte NICHT
% Ber"cksichtigt, (ADC Fehler? zuschnell ausgelesen?). Andere Werte wie
% Transmission ist hiervon nicht betroffen und werden ber"cksichtigt.
zeilen_r=find(dats(:,2)<10);
zeilen_y=find(dats(:,2)>10);

% ZEIT SPALTE 1
dats_fusion(1:zs_l,1)=dats(:,12);
dats_fusion(zs_l+1:gesamt_laenge,1)=zg_zeitnum;

```

```

% NUMMERN ZS SPALTE 2
% Sensornummer und Zellnummer laden
%  $\dot{I}_{\frac{1}{4}} r$  ROT:
dats_fusion(zeilen_r,2)=dats(zeilen_r,2);
%  $\dot{I}_{\frac{1}{4}} r$  Gelb: Der offset wird entfernt um die korrekte Sensornummer zu haben
dats_fusion(zeilen_y,2)=dats(zeilen_y,2)-10;

dats_fusion(zs_l+1:gesamt_laenge,2)=zg_cell;

% NUMMERN ZG SPALTE 3
% ZG Zellnummer
dats_fusion(zs_l+1:gesamt_laenge,3)=zg_cell;

% SPANNUNG ZS SPALTE 4
% Zellsensor und Zellspannung laden
%  $\dot{F}_{\frac{1}{4}} r$  ROT:
dats_fusion(zeilen_r,4)=dats(zeilen_r,3);
%  $\dot{F}_{\frac{1}{4}} r$  GELB: FALSCHER WERT !
% dats_fusion(zeilen_y,3)=dats(zeilen_y,3);

% SPANNUNG ZG SPALTE 5
%  $\dot{F}_{\frac{1}{4}} r$  ZG Zellspannung:
dats_fusion(zs_l+1:gesamt_laenge,5)=zg_volt;

% STROM ZG SPALTE 6
% NUR  $\dot{F}_{\frac{1}{4}} r$  ZG
dats_fusion(1:zs_l,6)= NaN;
dats_fusion(zs_l+1:gesamt_laenge,6)=zg_curr;
% Strom Matrix  $\dot{I}_{\frac{1}{4}} r$  gesamten strom:
strom_NAN_filter=find(~isnan(dats_fusion(:,6)));
STROM_VEC(:,1)=dats_fusion(strom_NAN_filter,1);
STROM_VEC(:,2)=dats_fusion(strom_NAN_filter,6);

% TEMPERATUR ZS SPALTE 7
% Zellsensor
dats_fusion(1:zs_l,7)=((dats(:,4)*4*0.001466)-0.986)/0.00355;
% TEMPERATUR ZG SPALTE 8
% ZG Temperatur
dats_fusion(zs_l+1:gesamt_laenge,8)=(zykdaten.temp);

% LICHT ROT SPALTE 9
% Zellsensor
dats_fusion(zeilen_r,9)=dats(zeilen_r,5);

% LICHT GELB SPALTE 10
% Zellsensor
dats_fusion(zeilen_y,10)=dats(zeilen_y,5);

% Sync der Nummern
zeilen1=(find(dats_fusion(1:zs_l,2)==zellen_nummer1));
zeilen2=(find(dats_fusion(1:zs_l,2)==zellen_nummer2));
zeilen3=(find(dats_fusion(1:zs_l,2)==zellen_nummer3));
zeilen4=(find(dats_fusion(1:zs_l,2)==zellen_nummer4));
zeilen5=(find(dats_fusion(1:zs_l,2)==zellen_nummer5));
zeilen6=(find(dats_fusion(1:zs_l,2)==zellen_nummer6));

dats_fusion(zeilen1,2)=1;
dats_fusion(zeilen2,2)=2;
dats_fusion(zeilen3,2)=3;
dats_fusion(zeilen4,2)=4;
dats_fusion(zeilen5,2)=5;
dats_fusion(zeilen6,2)=6;

% Aufteilen und Sortieren
% Datensatz  $\dot{I}_{\frac{1}{4}} r$  Zellsensor:
dats_zs = dats_fusion(1:zs_l,:);
% Datensatz  $\dot{I}_{\frac{1}{4}} r$  Zyklischer! "at":
dats_zg = dats_fusion(zs_l+1:gesamt_laenge,:);

% NACH ZEIT SORTIEREN:
dats_fusion_sort = sortrows(dats_fusion);
STROM_VEC = sortrows(STROM_VEC);
% ZEIT VON 0 STARTEN !
dats_fusion_sort(:,1) = dats_fusion_sort(:,1) - dats_fusion_sort(1,1);

```

```

% Ablegen nach Zelle
einzeldata = struct( 'time',      0, ...,
'volt_zs',    0, ...,
'volt_zg',    0, ...,
'curr', 0, ...,
'temp_zs',    0, ...,
'temp_zg',    0, ...,
'red',        0, ...,
'ylw',        0);

for n=1:1:6
idd = find(dats_fusion_sort(:,2)==n);

einzeldata(n).time = dats_fusion_sort(idd,1);

einzeldata(n).volt_zs = dats_fusion_sort(idd,4);
einzeldata(n).volt_zg = dats_fusion_sort(idd,5);

einzeldata(n).curr = dats_fusion_sort(idd,6);

einzeldata(n).temp_zs = dats_fusion_sort(idd,7);
einzeldata(n).temp_zg = dats_fusion_sort(idd,8);

einzeldata(n).red = dats_fusion_sort(idd,9);
einzeldata(n).ylw = dats_fusion_sort(idd,10);

clear idd;
end

%% PLOTS

set(0, 'DefaultAxesColorOrder', colors);
figureNr=figure('units', 'normalized', 'outerposition', [0 0 1 1], 'Name', data_f);

% Spannung Zellsensor
hnd_plot(1) = subplot(5,1,1);
hold on;
for n=1:6
plot(einzeldata(n).time, smooth(einzeldata(n).volt_zs, glaettung_v), '.', 'Color', newcolors(1,:), 'LineWidth', 2);
end
hold off;
ylabel('Zellspannung_[mV]');
title('Zellspannung_aus_Zellsensor');

% Spannung Zykliegerler\at
hnd_plot(2) = subplot(5,1,2);
hold on;
for n=1:6
plot(einzeldata(n).time, smooth(einzeldata(n).volt_zg, glaettung_v), '.', 'Color', newcolors(7,:), 'LineWidth', 2);
end
hold off;
ylabel('Zellspannung_[mV]');
title('Zellspannung_aus_Zykliegerler\at');

% Strom
% GANZER STROM \UBER ZEIT:

%strom_NAN_filter=find(~isnan(dats_fusion_sort(:,6)));
hnd_plot(3) = subplot(5,1,3);
hold on;
%plot(STROM_VEC(:,1), STROM_VEC(:,2)/10000, 'LineStyle', '-', 'Color', newcolors(5,:), 'LineWidth', 2);
plot(einzeldata(1).time, smooth(einzeldata(1).curr/1000,3), '-', 'Color', newcolors(5,:), 'LineWidth', 2);

hold off;
ylabel('Strom_[A]');
title('Strom');
legend('Strom', 'Location', 'eastoutside');

% Ladung
hnd_plot(4) = subplot(5,1,4);
hold on;
% for n=1:length(STROM_VEC(:,2))
% LADUNG(n,1)=sum(STROM_VEC(1:n,2))/1000/3600*5; % ← SEMIKOLON
% end
% plot(STROM_VEC(:,1), smooth(LADUNG, glaettung_v), 'LineStyle', '-', 'LineWidth', 2, 'Color', newcolors(3,:));

for n=1:length(einzeldata(1).curr)

```

```

str_val(n) = einzeldats(1).curr(n);
if (isnan(str_val(n)))
str_val(n) = 0;
end;
G(n)=sum(str_val(1:n))/1000/3600*5; % ← SEMIKOLON
end
clear str_val;
plot(einzeldats(1).time, smooth(G, glaettung_v), '-', 'LineWidth', 2);
hold off;
ylabel('Ladung_[Ah]');
title('Ladung');
legend('Ladung', 'Location', 'eastoutside');

% Lichtintensit\ "at
hnd_plot(5)=subplot(5,1,5);
hold on;
for n=1:6
plot(einzeldats(n).time, smooth(einzeldats(n).red, glaettung_t), '-', 'Color', colors(n,:), 'LineWidth', 2);
end
hold off;
ylabel('Light_Intensit\ "at_[a.u.]');
title('Lichtintensit\ "at_bei_Wellen\ "ange_633nm_(rot)');

% gemeinsame Eigenschaften setzen
linkaxes(hnd_plot, 'x');
for n=1:size(hnd_plot, 2)
grid(hnd_plot(n), 'minor');
datetick(hnd_plot(n), 'x', 'HH:MM', 'keepticks');
xlabel(hnd_plot(n), 'Zeit_[hh:mm]');
% zum darstellen der richtigen legenden der jeweiligen sensoren!

if n==3

elseif n==4

else
legend(hnd_plot(n), sensorlegend, 'Location', 'eastoutside');
end

%legend(hnd_plot(n), strread(sprintf('Sensor %d\n', setdiff([1:1:noSensors], defectSensors))),'s', noSensors, 'delimiter', '\n');
end

% Cursor Text formatiert in Zeitangabe
dcm_obj = datacursormode(figure(figureNr));
set(dcm_obj, 'UpdateFcn', @myupdatefcn)

%%

% figure(11111);
% A=einzeldats(1).time;
% B=einzeldats(1).volt_zs;
% C=einzeldats(1).volt_zg;
% A(A==0)=NaN;
% B(B==0)=NaN;
% C(C==0)=NaN;
% plot(A, smooth(B, 11), 'r'); hold on;
% plot(A, C, 'g'); hold on;

fig(555)=figure('units', 'normalized', 'outerposition', [0 0 1 1], 'Name', 'Zyklierspannung');
for i=1:6

hh(i) = subplot(2,3,i);

cc = (find(zykdaten.cell(:)==i));
cells(i).zeit= zg_zeitnum(cc);
cells(i).volt= zg_volt(cc);
cells(i).curr= zg_curr(cc);
cells(i).temp= zg_temp(cc);

A=einzeldats(i).time;
B=einzeldats(i).volt_zs;
C=einzeldats(i).volt_zg;

```



```

A(A==0)=NaN;
B(B==0)=NaN;
C(C==0)=NaN;
plot(A,B,'Color',newcolors(1,:)); hold on;
plot(A,C,'Color',newcolors(7,:)); hold on;
legend('Zellsensor','Zyklieger\''at','Location','southeast');
%grid(hh(i),'minor');
datetick(hh(i),'x','HH:MM','keepticks');
xlabel(hh(i),'Zeit [hh:mm]');
ylabel('Zellspannung [mV]');
title(strcat('Zellnummer: ',num2str(i)));

clear A B C

end

% Plot - Test
%i=4;
for i=1:6
%
% fig(100)=figure('units','normalized','Name','Zyklersapannung');
% hh(i) = subplot(2,3,i);
%
cc = (find(zykdaten.cell(:)==i));
cells(i).zeit= zg_zeitnum(cc);
cells(i).volt= zg_volt(cc);
cells(i).curr= zg_curr(cc);
cells(i).temp= zg_temp(cc);

A=einzeldats(i).time;
B=einzeldats(i).volt_zs;
C=einzeldats(i).volt_zg;
D=einzeldats(i).curr;
E=einzeldats(i).red;
F=einzeldats(i).ylw;
G=0;
% for n=1:length(D)
% G(n)=sum(D(1:n))/1000/3600*5; % ← SEMIKOLON
% end

for n=1:length(D)
str_val(n) = D(n);
if (isnan(str_val(n)))
str_val(n) = 0;
end;
G(n)=sum(str_val(1:n))/1000/3600*5; % ← SEMIKOLON
end
clear str_val;

A(A==0)=NaN;
B(B==0)=NaN;
C(C==0)=NaN;
%D(D==0)=NaN;
E(E==0)=NaN;
F(F==0)=NaN;
G(G==0)=NaN;

% plot(A,E,'r'); hold on;
% plot(A,G,'g'); hold on;
% legend('Zellsensor','Zyklieger\''at','Location','eastoutside');
%
% %grid(hh(i),'minor');
% datetick(hh(i),'x','dd HH:MM:SS','keepticks');
% xlabel(hh(i),'Zeit [hh:mm]');
% title(strcat('Zellnummer: ',num2str(i)));

einzeldats(i).red(einzeldats(i).red==0)=NaN;

%PLOT ROT UND LADUNG
% figure(101); % new figure
% [hAx,hLine1,hLine2] = plotyy(time,red,time,G); % FALSCH
% hh(i) = subplot(2,3,i);
% [hAx,hLine1,hLine2] = plotyy(einzeldats(i).time,einzeldats(i).red,einzeldats(i).time,G);
% title('Normierte Ladung und optische Intensit\''at')
% %xlabel('Time [hh:mm]')
% datetick(hAx(1),'x','HH:MM','keepticks');
% datetick(hAx(2),'x','HH:MM','keepticks');
% xlabel(hh(i),'Zeit [hh:mm]');
% ylabel(hAx(1),'Licht Intensit\''at [a.u]') % left y-axis
% ylabel(hAx(2),'Ladung [Ah]') % right y-axis
% set(hLine1,'Color',newcolors(4,:));
% set(hLine2,'Color',newcolors(3,:));
% set(hAx(1),'YColor',newcolors(4,:));
% set(hAx(2),'YColor',newcolors(3,:));

```

```

% legend('Zellsensor', 'Zykliegerger\''at', 'Location', 'southeast');

%PLOT LADUNG GEGEN ROT
% figure(102); % new figure
% subplot(2,3,i);
% plot(G,E,'Color',newcolors(3,:));
% xlabel('Ladung [Ah]');
% ylabel('Licht-Intensit\''at-Sensor [a.u]');
% title(strcat('Intensit\''at \''Uber Ladung (Zelle: ',num2str(i),' ')'))

%PLOT ROT GEGEN GELB
% figure(103); % new figure
% hh(i)=subplot(2,3,i);
% plot(A,E,'Color',newcolors(3,:)); hold on;
% plot(A,F,'Color',newcolors(2,:)); hold on;
% legend('ROT', 'GELB', 'Location', 'northeast');
% datetick(hh(i), 'x', 'HH:MM', 'keepticks');
% xlabel(hh(i), 'Zeit [hh:mm]');
% ylabel('Licht-Intensit\''at-Sensor [a.u] GELB');
% title(strcat('Rot/Gelb Vergleich (Zelle: ',num2str(i),' ')'))
end;
%
disp('FERTIG_!_')

```

Listing B.4: Spannungsgesteuertes Zyklrierprogramm

```

//Zyklrierplan Spannungsgesteuert
// quantity = Anzahl der Zellen
quantity 06
// Messgeschwindigkeit = 1000 = 1 sek
cyclestep 5000

meastime 99998
maxcycletime 99998

coefficient A 01 1EB6FD
coefficient B 01 4A8A7F4
coefficient C 01 169BD56

coefficient A 02 1A9ACF
coefficient B 02 4A85ECB
coefficient C 02 1828969

coefficient A 03 383EC1
coefficient B 03 4A6AD7E
coefficient C 03 18DCF16

coefficient A 04 1B6BC5
coefficient B 04 4A8F5F1
coefficient C 04 163E348

coefficient A 05 26637A
coefficient B 05 4A789F5
coefficient C 05 18D1BFB

coefficient A 06 2210D0
coefficient B 06 4A87059
coefficient C 06 16B039F

ip 192.168.000.128

//Grenzwerte zur Sicherheit
vlimits 1700 2450
maxcurr 20000
maxtemp 60
maxcharge 99999

//Zyklrierablauf
rinsel 1 wait 15 0
rinsel 2 charge_batV 14700 2
rinsel 3 wait 1080 0
rinsel 4 loop_start 10 0
rinsel 5 discharge_cellV 1800 1
rinsel 6 wait 12960 0
rinsel 7 charge_cellV 2400
rinsel 8 wait 12960 0
rinsel 9 loop_end 0 0
rinsel 10 wait 15 0

```

Listing B.5: Zeitgesteuertes Zyklrierprogramm

```

//Zyklrierplan

```

```
// quantity = Anzahl der Zellen
quantity 06
// Messgeschwindigkeit = 1000 = 1 sek
cyclestep 5000

meastime 99998
maxcycletime 99998

coefficient A 01 1EB6FD
coefficient B 01 4A8A7F4
coefficient C 01 169BD56

coefficient A 02 1A9ACF
coefficient B 02 4A85ECB
coefficient C 02 18289

coefficient A 03 383EC1
coefficient B 03 4A6AD7E
coefficient C 03 18DCF16

coefficient A 04 1B6BC5
coefficient B 04 4A8F5F1
coefficient C 04 163E348

coefficient A 05 26637A
coefficient B 05 4A789F5
coefficient C 05 18D1BFB

coefficient A 06 2210D0
coefficient B 06 4A87059
coefficient C 06 16B039F

ip 192.168.000.128

//Grenzwerte zur Sicherheit
vlimits 1000 2600
maxcurr 15000
maxtemp 60
maxcharge 99999

//Zyklierablauf
rinsel 1 wait 15 0
rinsel 2 loop_start 5 0
rinsel 3 charge_batV 14200 2
rinsel 4 wait 6480 0
rinsel 5 loop_start 2 0
rinsel 6 wait 5425 1
rinsel 7 wait 12960 0
rinsel 8 loop_end 0 0
rinsel 9 loop_start 2 0
rinsel 10 wait 5425 2
rinsel 11 wait 12960 0
rinsel 12 loop_end 0 0
rinsel 13 wait 10 0
rinsel 14 loop_end 0 0
rinsel 15 wait 15 0
```

Listing B.6: Spannungsgesteuertes Zyklierprogramm mit einer einstündigen Ruhezeit

```
//Zyklierplan
// quantity = Anzahl der Zellen
quantity 06
// Messgeschwindigkeit = 1000 = 1 sek
cyclestep 5000

meastime 99998
maxcycletime 99998

coefficient A 01 1EB6FD
coefficient B 01 4A8A7F4
coefficient C 01 169BD56

coefficient A 02 1A9ACF
coefficient B 02 4A85ECB
coefficient C 02 1828969

coefficient A 03 383EC1
coefficient B 03 4A6AD7E
coefficient C 03 18DCF16

coefficient A 04 1B6BC5
coefficient B 04 4A8F5F1
coefficient C 04 163E348
```

```
coefficient A 05 26637A  
coefficient B 05 4A789F5  
coefficient C 05 18D1BFB
```

```
coefficient A 06 2210D0  
coefficient B 06 4A87059  
coefficient C 06 16B039F
```

```
ip 192.168.000.128
```

```
//Grenzwerte zur Sicherheit  
vlimits 1700 2450  
maxcurr 20000  
maxtemp 60  
maxcharge 99999
```

```
//Zyklierablauf  
relsel 1 wait 15 0  
relsel 2 charge_batV 14200 2  
relsel 3 wait 1080 0  
relsel 4 loop_start 20 0  
relsel 5 discharge_cellV 1800 1  
relsel 6 wait 2160 0  
relsel 7 charge_cellV 2350 2  
relsel 8 wait 2160 0  
relsel 9 loop_end 0 0  
relsel 10 wait 15 0
```

Index

- Übertragungsprotokoll, [35](#)
- Analog/Digital-Wandler, [34](#)
- arithmetisches Mittel, [59](#)
- Außenschale, [30](#)
- BATSEN, [8](#), [9](#), [39](#), [45](#)
- Batterie, [10](#), [39](#)
- Batteriemanagementsystem, [8](#)
- Batteriewechsel, [8](#)
- Batteriezelle, [38](#)
- Batteriezustand, [8](#)
- Biegeradius, [36](#)
- Biegetheorie, [25](#)
- Biegung, [19](#), [25](#)
- Bipolartransistor, [33](#), [34](#)
- Bitfeld, [35](#)
- Blei-Säure-Batterie, [36](#)
- Bleiakkumulator, [10](#)
- Bleibatterie, [35](#), [39](#)
- Bleizunge, [38](#)
- Brechzahl, [19](#), [21](#), [23](#), [28](#), [35](#), [45](#), [61](#)
- chemisches Gleichgewicht, [61](#)
- Datenpaket, [38](#), [45](#)
- Defektelektron, [29](#), [30](#), [32](#)
- Dichte-Sensor-Modul, [36](#), [37](#)
- Dielektrikum, [51](#)
- Dielektrizitätskonstante, [20](#)
- Digitalisierung, [34](#)
- Diode, [29–31](#), [46](#)
- Druck, [21](#)
- Elastizitätslehre, [25](#)
- elektrische Feldkonstante, [20](#)
- Elektrolyse, [13](#)
- Elektrolyt, [36](#), [37](#)
- Elektronengas, [29](#)
- Elektronenkaskade, [27](#)
- Faraday-Käfig, [82](#)
- Festigkeitslehre, [25](#)
- Funksignal, [38](#)
- galvanische Zelle, [37](#), [45](#)
- Geodreieck, [21](#)
- Halbleiter, [29](#)
- Kalibration, [47](#)
- Kalibrierung, [35](#), [36](#)
- Kalibrierverfahren, [36](#)
- Kondensator, [51](#)
- Krümmung, [19](#)
- Krümmungstangente, [25](#)
- Krümmung, [25](#)
- Krümmungsradius, [25](#)
- Kristallgitter, [29](#), [30](#), [33](#)
- Ladezustand, [35](#)
- Last, [38](#), [39](#)
- Leerlauf, [45](#)
- Legierung, [32](#)
- Leitungsband, [33](#)
- Leuchtdiode, [33](#), [36](#), [38](#), [46](#), [53](#)
- Licht, [19](#)
- Lichtbrechung

- stufenförmig, 21
- Lichtgeschwindigkeit, 19
- Lichtintensität, 28, 38, 45
- Lichtleiter, 19, 22, 23, 25, 35, 37, 38
- Lichtleiterfaserkabel, 28
- Lichtleiterschleife, 22
- Lichtsignal, 38
- Lichtsignale, 27
- Lichtstrahlverlauf, 25
- lineare Regression, 36
- Lithium, 9
- Lithiumbatterie, 8

- magnetische Feldkonstante, 20
- Managementsystem, 8
- Maxwellschen Gleichungen, 19
- Messfühler, 38
- Messsonde, 48
- Messprogramm, 39
- Messprotokoll, 36
- Messsonde, 19, 36–38, 45
- Messsystem, 37
- Metallbindung, 32, 33
- Microcontroller, 35
- Mikrocontroller, 35
- Mikrocontroller
 - Daten, 35
- Mittelwert, 59

- Netzteil, 38, 39
- neutrale Faser, 21
- Normierung, 53, 59

- Optik, 25
- Oxidation, 10, 11
- Oxidationspotential, 11
- Oxygenium, 11

- Parameterdarstellung, 72
- Permeabilität, 20
- Photodiode, 27, 33, 46
- Photomultiplier, 27

- Phototransistor, 27, 33, 34, 38, 53
- Photozelle, 27
- Polarisationsfilter, 21

- Redox-Paare, 11
- Redoxpotential, 11, 12
- Redoxreaktion, 11
- Redoxreihe, 11
- Reduktion, 10
- Reduktionsmittel, 12
- Reduktionspotenzial, 11
- Reflektion, 19
- Reflexion, 25
- Rekombination, 30, 32
- Relais, 49
- Relaisschalter, 45

- Schraubenlinie, 82
- Schutzbeschichtung, 24
- Schwefelsäure, 28, 36, 37, 51, 67, 82
- Schwefelssäure
 - Konzentration, 28, 37
- SD-Karte, 39, 45
- Sensormesssystem, 37, 39
- Sensormodul, 35
- serielle Schnittstelle, 34
- serielle USB-Schnittstelle, 38
- Sicherheitschaltung, 35
- Sicherung, 46
- Spannung, 21
- Spannungsoptik, 21
- Spannungsreihe
 - elektrochemisch, 13
 - elektrochemisch, 10
- Spannungssteuerung, 45
- Spannungsverteilung, 20, 22
- Sperrichtung, 31
- Sperrschicht, 34
- Sperrstrom, 33
- Spiralmesssonden, 81
- Störeinflüsse, 82

- Standardbedingung, 12
- Starterbatterie, 37, 39, 48
- Statik, 25
- Steuergerät, 37, 38, 45
- Streuung, 27
- Sulfatisierung, 36
- Supressordiode, 46

- Technische Mechanik, 25
- Temperatur, 35, 36, 38, 39, 45
- Temperaturfühler, 45
- Tiefentladung, 59
- Toslink-Stecker, 53
- Totalreflektion, 24
- Totalreflexion, 25
- Transmission, 24, 25, 28, 35, 36, 45, 53
- Transmission
 - Verlust, 37, 45
 - Verluste, 19, 67
- Transmitter, 35
- Transsistor, 33

- Vakuum, 19
- Valenzband, 32
- Valenzelektron, 29
- Variationsrechnung, 21

- Warteschlangenverfahren, 35
- Wasserstoff, 82
- Wellenlängenspektrum, 36

- Zeitstempel, 38, 39, 45, 53, 63
- Zeitstempelverfahren, 35
- Zeitsteuerung, 45
- Zelleinheit, 37
- Zellplatte, 36
- Zellsensor, 35–38, 45, 46, 53
- Zellsensornummer, 38, 45
- Zellspannung, 35, 36, 38, 45
- Zykliegerät, 38, 39, 45, 51, 53, 63
- Zyklrierprogramm, 50
- Zyklriersystem, 37–39

- Zyklus, 45
- Zyklusdauer, 45

Tabellenverzeichnis

2.1. Spannungsreihe einiger Metalle [13]	12
5.1. Kalibration der Zellsensoren. U_T ist die vorgegebene Tektronix-Spannung und U_S ist die gemessene elektrische Spannung des Zellsensors. Steigung und Achsenabschnitt wurden mit Hilfe einer Formel, die in Excel programmiert wurde, berechnet.	48
5.2. Relaiszustände	49

Abbildungsverzeichnis

2.1. Galvanische Kupfer/Zink-Zelle	14
2.2. Verkupfertes Zinkblech	14
2.3. Daniell-Element [11]	15
3.1. Spannungsverteilung in einer Faser [12]	20
3.2. Stufenförmige Lichtbrechung	21
3.3. Spannungen im Geodreieck	22
3.4. Spannungsverteilung im unbelasteten Lichtleiter	22
3.5. Lichtleiter zu Schlaufe gebogen	23
3.6. Spannungsverteilung in unseren Lichtleitersensoren	23
3.7. Typischer Aufbau eines Lichtwellenleiters [14]	24
3.8. Totalreflexion [15]	25
3.9. Lichtstrahlverlauf in einen gekrümmten Lichtleiter	26
3.10. Photozelle [18]	27
3.11. Brechungsindex der Schwefelsäure in Abhängigkeit von der Temperatur und Konzentration (bei einer Wellenlänge $\lambda = 514.5 \text{ nm}$ [16]	28
3.12. Abhängigkeit der Schwefelsäuredichte von ihrer Konzentration bei verschiede- nen Temperaturen bei einer Wellenlänge $\lambda = 514.5 \text{ nm}$ [16]	29
3.13. P- und N-Schicht einer Diode [24]	30
3.14. Diode in Sperrrichtung [24]	31
3.15. Diode in Flußrichtung [24]	31
3.16. Diode in Flußrichtung, wo bei der Rekombination die Energie als Licht freige- setzt wird	32
3.17. Diode in Flußrichtung, wo Lichtphotonen Elektronen und Löcher erzeugen	33
3.18. Diode in Flußrichtung, wo Lichtphotonen Elektronen und Löcher an den pn- Übergängen erzeugen	34
5.1. Oben: Messsonde Typ 1, a) TOSLINK-Stecker, b) Plexiglas-Rohr zur Stabi- lisierung, c) Zwei offene Faserbiegungen für die optische Interaktion mit der Schwefelsäure (grüne Kästchen). Unten: Messsonde Typ 2, a) offene Lichtlei- terfaser, b) TOSLINK-Stecker, c) Plexiglas-Rohr zur Stabilisierung, d) Stabför- mige Unterlage mit eingefräster schraubenlinienförmiger Nut, in welches der Lichtleiter eingebettet ist.	40

5.2. Links: Das linke Teil ist das Dichte-Sensor-Modul, rechts davon ist der Zellsensor. Rechts: Sensoreinheit, zusammengesteckt aus Dichte-Sensor-Modul und Zellsensor.	41
5.3. Links: Messsonde, aufgesteckt auf der Sensoreinheit. Rechts: Steuergerät, welches über Funk die Daten von den Sensoreinheiten empfängt und sie dann für die serielle USB-Schnittstelle eines PCs serialisiert	41
5.4. Oben: Batterie mit eingesteckten Messsonden und an den Batterieelektroden aufmontierte Sensoreinheiten. Unten: Zykliegerät	42
5.5. Vollständige Messeinrichtung mit A) Zykliegerät, B) Last, c) Netzteil D) PC, E) Bleiakкумуляtor mit aufgesetzten Zelleinheiten (ZS, DSM, Messsonden) und F) Steuergerät.	43
5.6. Blockschaltbild der gesamten Messanordnung	44
5.7. Verbesserte DSM	47
5.8. Der Stromkreis des Messsystems	49
6.1. Erste Messung auf der Schiene ohne den Bleiakкумуляtor	52
6.2. Luftmessung ohne Batterie und Zykliegerät, mit angelegter regelbarer Spannung	55
6.3. Messung im Wasser analog der Luftmessung	57
6.4. Erste Messung mit deutlichen Effekten. Die eingekreisten Intervalle zeigen diese Effekte, dass wenn die Spannung steigt oder fällt, die Lichtintensität quasi spiegelverkehrt fällt oder steigt.	58
6.5. Vergleich einer nicht normierten und normierten Messung, wobei bei der normierten Messung die Lichtintensitäten dicht aneinander rücken.	59
6.6. Stufenweise Auf- und Entladung	61
6.7. Zeitgesteuerte Messung: UIQL-Diagramm	63
6.8. Zeitgesteuerte Messung: Zellspannungswerte vom ZG und ZS	65
6.9. Zeitgesteuerte Messung: Licht-Ladung Diagramme	67
6.10. Zeitgesteuerte Messung: Licht/Ladung-Zeit Diagramme	69
6.11. Zeitgesteuerte Messung: Rot- Gelb-Lichtwerte	70
6.12. Zeitgesteuerte Messung: Lichtwerte-Spannung Diagramm	72
6.13. Spannung gesteuerte Messung. Die oberen drei Plots sind Sensordaten und die restlichen drei Plots sind Daten vom Zykliegerät. Alle Daten wurden über den Zeitstempel mit Hilfe des MATLAB-Programms zusammengeführt.	73
6.14. Spannung gesteuerte Messung von der Zelle 2.	74
6.15. Messung unter Lichteinfluss der Umgebung.	75
6.16. Messung unter Lichteinfluss mit parametrisierter Darstellung über die Zeit. Oben: Gelbwerte, Unten: Rotwerte.	77
6.17. Stufenweise Langzeitmessung.	78
6.18. Stufenweise Langzeitmessung mit parametrisierter Darstellung über die Zeit.	80

6.19. Messung mit einer Stunde Ruhezeit.	81
6.20. Messung mit einer Stunde Ruhezeit. Alle Darstellungsarten wurden hier zu einem Bild zusammengefaßt.	82
6.21. Messung mit Spiralsonden (Typ 2)	83

Literaturverzeichnis

- [1] Peter W. Atkins
Physikalische Chemie
Wiley-VCH, ISBN 3-527-30236-0.

- [2] C.H. Hamann, W. Vielstich
Elektrochemie
4. Auflage, Wiley-VCH, Weinheim 2005, ISBN 879-3-527-31068-5.

- [3] W. Schmickler
Grundlagen der Elektrochemie
Springer, 1996.

- [4] Wolfgang Ciossek
Variationsrechnung
2015, PDF (Anhang).

- [5] Bronstein, Semendjajew, Musiol, und Mühlig
Taschenbuch der Mathematik
ISBN 3-8171-2014-1, p. 550 - 560 ff, Harri Deutsch Verlag, 1999.

- [6] Prof. Heiko von der Mosel
Variationsrechnung I
<http://www.instmath.rwth-aachen.de/heiko/lehre/variWS09-10/VarI.pdf>
Juli 2016, 2010.

- [7] Bergmann, Schaefer
Lehrbuch der Experimentalphysik
Optik
de Gruyter - Verlag, 1993.

- [8] Prof. Dipl. -Ing Joachim Goerth
Fachhochschule Hamburg
Bauelemente und Grundschaltungen
B. G. Teubner, Stuttgart.Leipzig, ISBN 3-519-06258-5, p. 21-60 ff, 1999.

- [9] O. Benson und A. Peters
Maxwellsche Gleichungen
<https://www.physik.hu-berlin.de/de/nano/lehre/WS10-11/experimental2/skript8>
Juli 2016, Humboldt Universität Berlin, WS 2010/2011.
- [10] <http://www.chemie.de/lexikon/Bleiakkumulator.html>
- [11] <http://images.google.de/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fupload.wikimedia.org%2Fwikipedia%2Fcommon%2F500px-Daniell-Element.jpg&imgrefurl=https%3A%2F%2Fde.wikibooks.org%2Fwiki%2FDaniell-Element&docid=wxeUvH5lvXCVvM&ei=dly8V8j5KdqogAatnbyQDg&tbm=isch&iact=rc&uact=3&dur=1QMwgkKAMwAw&bih=667&biw=1366>, Juli 2016.
- [12] <http://www.maschinenbau-wissen.de>
- [13] Rudolf Holze
Leitfaden der Elektrochemie
Teubner Studienbücher, Chemie
ISBN: 3519035472/9783519035473
Stuttgart, Teubner 1998.
- [14] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/84/Singlemode_fibre_structure.svg/2000px-Singlemode_fibre_structure.svg.png, Juli 2016.
- [15] [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e5/Interne_Reflexion_\(Schema\).svg/2000px-Interne_Reflexion_\(Schema\).svg.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e5/Interne_Reflexion_(Schema).svg/2000px-Interne_Reflexion_(Schema).svg.png)
- [16] H. Votisch
Beobachtungen von Phasenübergängen in einzelnen levitierten Schwefelsäuretröpfchen mittels Raman-Spektroskopie und elastischer Lichtstreuung
Ph.D. Dissertation, Freie Universität Berlin, Dez. 2002.
- [17] <https://www.tu-chemnitz.de/physik/PHFK/LEHRE/.SCRIPT/script1/39.pdf>, August 2016.
- [18] https://www.lernhelfer.de/sites/default/files/styles/square_thumbnail/public/lexicon/image/BWS-PHY-0152-01.gif?itok=sXkDd9wN, August 2016.
- [19] https://www.uni-ulm.de/fileadmin/website_uni_ulm/uzwr/mmsm/mmsm1-ws1213/Spannungsoptik-fuer-MMSM1-und-SiSo-WS2012-13.pdf, Juli 2016.
- [20] Maher Achour
Entwicklung eines Lichtleiter-Sensors für die optische Ladezustandsbestimmung von Bleibatterien pp. 122, 2015.
- [21] <http://www.chemieunterricht.de/dc2/katalyse/wovon-v.htm>, Juni 2016.
- [22] http://www.chemie.de/lexikon/Chemisches_Gleichgewicht.html, Juni 2016.

- [23] https://de.wikipedia.org/wiki/Faradayscher_KC3A4fig, August 2016
- [24] <http://www.elektronikinfo.de/strom/dioden.htm>, September 2016
- [25] Wolfhard Semmler
Magnetresonanztomographie
Springer, Berlin 1997, ISBN 3-540-61934-8
- [26] Lothar Dilcher
Handbuch der Kernspintomographie
3. überarbeitete Auflage, Fergel Verlag, Bergisch Gladbach 2004, ISBN 3-931219-21-6.
- [27] Olaf Dössel
Bildgebende Verfahren in der Medizin. Von der Technik zur medizinischen Anwendung
1. Auflage, Springer, Berlin u.a. 2000, ISBN 3-540-66014-3.

Versicherung über die Selbstständigkeit

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit im Sinne der Prüfungsordnung nach §16(5) APSO-TI-BM ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen habe ich unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Hamburg, 12. September 2016

Ort, Datum

Unterschrift