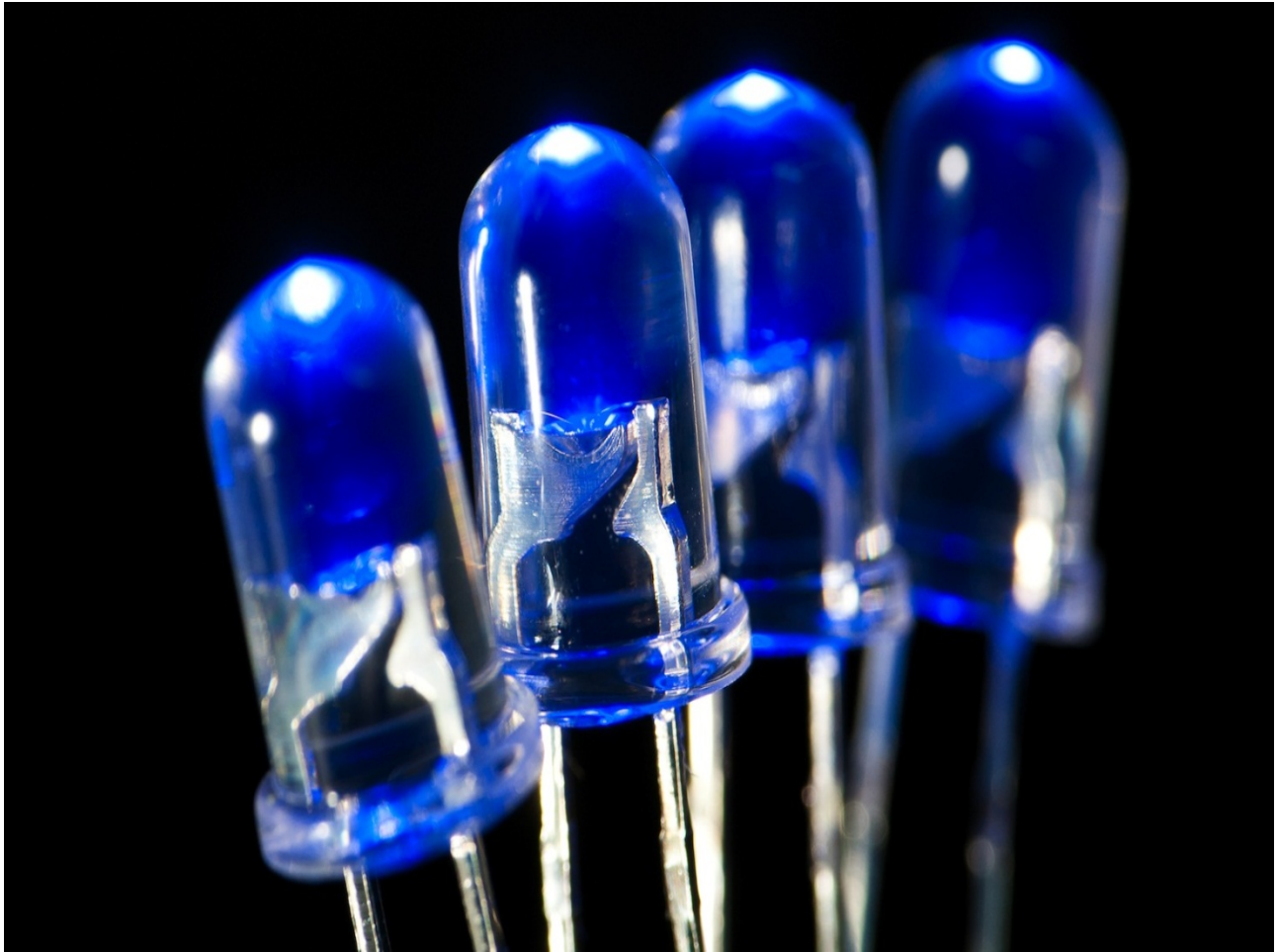


# Die Leuchtdiode



Der Aufbau und die Funktion einer Leuchtdiode einfach erklärt durch die hochkomplexe und umfangreiche Quantenphysik und den lichtelektrischen Photoeffekt.

Autoren:

Ian Lee Rechsteiner  
Alte Ruppenstrasse 14  
9450 Altstätten

Marcel Brunner  
Hans-Saxerstrasse 34  
9453 Eichberg

Schule:

Berufs- und Weiterbildungszentrum Buchs

Ort, Abgabetermin: Buchs, 13.03.2014

## Abstract

Die Fortschritte der Beleuchtungstechnik nahmen in den letzten Jahren erstaunlich zu. Am Anfang mit der gewöhnlichen Glühbirne, welche jedoch 95% Wärme und nur 5% Licht erzeugte, bis zu den heutigen hoch effizienten Leuchtdioden, deren Wirkungsgrad schon über 50% liegt. Unsere interdisziplinäre Projektarbeit befasst sich mit der modernen Beleuchtungstechnik, also alles über die LED. Wir haben unsere Arbeit in einen theoretischen Teil und in einen praktischen Teil gegliedert. Der theoretische Teil befasst sich mit dem Aufbau und der Funktion der LED sowie der Interpretation von Licht und dem Photoeffekt, dabei versuchten wir sehr komplexe Vorgänge mittels vielen Informationen möglichst einfach zu erklären. Bei der Interpretation von Licht und auch dem lichtelektrischen Photoeffekt mussten wir uns mit der Quantenphysik auseinandersetzen. Der praktische Teil beinhaltet einerseits Messungen, welche verschiedene Beleuchtungsmittel in verschiedenen Distanzen mit ihrer Beleuchtungsstärke vergleicht. Andererseits eine Vergleichsberechnung von Anschaffungs- und Betriebskosten zwischen den zwei Konkurrenten, der LED- und der FL-Röhre. Mit diesen Messungen und Berechnungen zeigen wir die Wirtschaftlichkeit beider Optionen auf, bezüglich der Beleuchtungswirkung und den Kosten.

The progress of the lighting technology has increased during the last view years astonishingly. At the beginning with the normally electric bulb, which produced 95 per cent heat and only 5 per cent light, till to the high efficiently light emitting diodes, which have a effectiveness over 50 per cent. Our interdisciplinary project work is concerned with the modern lighting technology, so everything about the LED. We have organized our work in a theoretical part and in a practical part. The theoretical part is concerned with the structure and the function of the light emitting diode and plus the interpretation of light and the photo effect, thereby we tried to explain very complexes processes with a lot of information really simple. By the interpretation of light and also the photo effect we have to expose with the quantum physics. On one hand the practical part included measures, which compared a lot of different options of electric lighting in different distances with their luminance. On the other hand a comparative calculation of the prime costs and the working costs between the two rivals, the light emitting diode and the neon lamp. We show the economics of both options with the measurements and the calculations, regarding to the lighting effect and the costs.

## Inhaltsverzeichnis

Abstract.....	2
Inhaltsverzeichnis.....	3
Abbildungsverzeichnis.....	4
1 Einleitung.....	5
2 Theoretischer Teil	
2.1 Geschichte der LED.....	6
2.2 Aufbau und Funktion einer Diode.....	7
2.3 Aufbau der LED.....	8
2.4 die Quantenphysik.....	9
2.5 der Photoeffekt.....	12
2.6 Funktion der LED.....	13
2.7 Vergleich LED – Glühbirne.....	15
3 Praktischer Teil	
3.1 Marktauglichkeit.....	16
3.2 Messungen und Berechnungen.....	17
3.2.1 Versuch 1.....	18
3.2.2 Versuch 2.....	19
3.2.3 Versuch 3.....	20
3.3 Anschaffungs- und Betriebskosten.....	22
3.3.1 Anschaffungskosten einer FL-Röhre.....	22
3.3.2 Betriebskosten einer FL-Röhre.....	22
3.3.3 Anschaffungskosten einer LED-Röhre.....	22
3.3.4 Betriebskosten einer LED-Röhre.....	22
3.3.5 Vergleichsrechnung.....	23
4 Fazit.....	24
Literaturverzeichnis.....	25
Eidesstattliche Erklärung.....	26
5 Anhang	
5.1 Danksagung.....	27
5.2 Projektjournal Marcel Brunner.....	28
5.3 Projektjournal Ian Lee Rechsteiner.....	38
5.4 Projektplanung.....	41

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ferdinand Braun.....	6
Abbildung 2: Henry Joseph Round.....	6
Abbildung 3: Firmenlogo Cree Lighting.....	6
Abbildung 4: Diode in Sperrrichtung.....	7
Abbildung 5: Diode in Durchlassrichtung.....	7
Abbildung 6: Aufbau der LED.....	8
Abbildung 7: Schichten der LED.....	8
Abbildung 8: Spektrum des sichtbaren Licht.....	9
Abbildung 9: Beispiel Lichtquanten .....	9
Abbildung 10: Beispiel Wasserquanten.....	9
Abbildung 11: Lichtstrahlung als Welle.....	10
Abbildung 12: Lichtstrahlung als Teilchenstrom.....	10
Abbildung 13: UV-Licht Photon.....	10
Abbildung 14: abgestrahltes Elektron.....	10
Abbildung 15: Atomkern mit Quantenbahnen.....	11
Abbildung 16: der Quantensprung.....	12
Abbildung 17: die Leuchtdiode.....	13
Abbildung 18: die herkömmliche Diode.....	13
Abbildung 19: Aufbau einer Leuchtdiode.....	13
Abbildung 20: Lichtausbeute einer LED.....	13
Abbildung 21: verschiedene Beleuchtungsarten.....	14
Abbildung 22: Glühwendel mit erhitztem Draht.....	15
Abbildung 23: LED mit leuchtendem Kristall.....	15
Abbildung 24: Diagramm Effizienz verschiedener LED.....	16
Abbildung 25: Beispiel Gartenbeleuchtung LED.....	16
Abbildung 26: das EMU 1.29.....	17
Abbildung 27: das Multimeter.....	17
Abbildung 28: das Luxmeter.....	17
Abbildung 29: Aufbau und Strommessung vom Versuch 1.....	18
Abbildung 30: Aufbau und Messung vom Versuch 2 LED – FL-Röhre.....	20
Abbildung 31: Aufbau Versuch 3 Glühbirne – LED.....	21

## Einleitung

Vor rund 100 Jahren, um genau zu sein im Jahr 1907, arbeitete ein Forscher namens Henry Joseph Round mit Silizium-Kristallen. Beim zufälligen Anlegen einer Spannung, leuchtete der Kristall auf. Die Menschheit lernt den faszinierenden Ursprung der Leuchtdiode kennen. Aber da noch viele Informationen in der Halbleiterphysik unklar werden, schaffte die LED ihren Durchbruch erst 55 Jahre nach Rounds Entdeckung ([http://www.lichtmacherei.de/entstehung\\_der\\_led.htm](http://www.lichtmacherei.de/entstehung_der_led.htm), 2013).

Heutzutage zählt die LED zu den effizientesten Beleuchtungsmittel überhaupt. Durch ihren geringen Stromverbrauch und der grossen Effizienz gegenüber anderer Beleuchtungstypen wie die Glüh- oder Halogenlampen, verschaffte sich die Licht emittierende Diode einen ehrenhaften Namen in der heutigen Zeit.

Unser Ziel war es herauszufinden wie eine LED funktioniert und wie sie aufgebaut ist. Ein weiteres Ziel war, die LED mit konventioneller Beleuchtung zu vergleichen, um zu überprüfen ob die Leuchtdiode wirklich einen so grossen Vorteil gegenüber den anderen Lampentypen hat. Mit unseren Messergebnissen wollten wir den Vorteil und die erstaunlichen Verbrauchswerte der Leuchtdiode aufzeigen. Die Gründe für unsere Themawahl sind einerseits unser grosses Interesse an der Halbleiterphysik und andererseits die Aktualität dieses Themas. Da immer wieder die Rede von der LED ist und sie auch immer vermehrt aufkommt und eingesetzt wird, wollten wir uns top über dieses aktuelle Thema informieren.

Der Zweck unserer interdisziplinären Projektarbeit ist den Aufbau und die Funktion einer LED einfach zu erklären, damit auch ein Laie versteht aus was eine Leuchtdiode besteht und wie sie schlussendlich Licht erzeugen kann. Des Weiteren wollten wir den Unterschied zwischen der Leuchtdiode und konventioneller Beleuchtung so aufzeigen, dass er ersichtlich ist, dass man auch von den Ergebnissen der LED-Leuchte überzeugt wird. Unsere Vorgehensweise dabei, war ganz klar abgemacht und bestimmt. Jeder von uns bekam gewisse Teilthemengebiete, welche wir zu erarbeiten hatten. Dabei waren wir beide sehr selbstständig am Arbeiten. Den praktischen Versuch machten beide, da unser Interesse an den Ergebnissen zu gross war, um diese Arbeit nur einem einzelnen zu geben. Gewisse Teilthemen überschneiden sich, aber wir hatten in der Schule genug Zeit, um die dabei entstandenen Fragen zu klären. Die Informationsauswertung war manchmal sehr kritisch, bei komplexen Themen wie dem Photoeffekt oder der Quantenphysik mussten wir uns zuerst mal selbst mit diesem Themen sehr intensiv auseinander setzen, denn um etwas sehr komplexes einfach zu formulieren, muss man selbst sehr viel darüber wissen. Auch bei Zahlen wie zum Beispiel dem Wirkungsgrad der Leuchtdiode, mussten wir kritisch sein, da viele Informationsquellen nicht alle das Gleiche schrieben. Aber bei solchen Angelegenheiten hatten wir Unterstützung von unseren Berufsschullehrern.

Unsere Arbeit ist eine vielseitige Arbeit. Wir haben theoretische Themen intensiv bearbeitet und haben die Fakten und Zahlenwerte welche wir dabei verwendeten, mit praktischen Messungen bestätigt. Unsere IDPA geht tief in das spannende Thema ein, nicht nur die Funktion und der Aufbau einer LED wird erklärt, sondern auch was Licht ist und wie man dies interpretieren kann. Wir haben uns dabei einen Überblick in der Quanten- und in der Halbleiterphysik verschafft um dies einfach erklären zu können.

## Die Geschichte der LED

Am Anfang der Entwicklung der Halbleiter stand eine wissenschaftliche Entdeckung, welche lange ignoriert wurde. Im Jahr 1876 referierte Ferdinand Braun über die Stromleitung durch Kristalle. Er fand heraus das Sufidkristalle mit einer aufgedrückten Metallspitze Strom in eine Richtung gut leitet und zwar umso besser wenn der Strom umso höher war, in die andere Richtung hingegen floss nur wenig Strom. Da zu jener Zeit nur ohmsche Leiter und Isolatoren bekannt waren, passte der Gleichrichtereffekt nicht in die damals bekannten Eigenschaften. Es dauerte fast 60 Jahre bis eine Erklärung dieser besonderen Merkmale gefunden wurde.

**Abbildung 1:**  
**Ferdinand Braun**  
([www.nobelprize.org](http://www.nobelprize.org))



**Abbildung 2: Henry Joseph Round**  
([en.wikipedia.org](http://en.wikipedia.org))



1907 beobachtete der englische Forscher Henry Joseph Round, dass anorganische Stoffe unter einer angelegten Spannung zu einer Lichtemission fähig sind. Der russische Physiker Oleg Lossew entdeckte den Round-Effekt 1921 erneut und untersuchte diesen von 1927 bis 1942 genauer, da er vermutete, dass das Phänomen als Umkehrung des Einsteinschen-photoelektrischen Effekts zu deuten ist. 1935 wurde durch Georges Destriau ein ähnliches Leuchtphänomen an Zinksulfid entdeckt. Destriau benannte das Phänomen nach dem russischen Forscher Lossew. Ab 1951 konnte durch die Entwicklung des Transistors ein wissenschaftlicher Fortschritt in der Halbleiterphysik erreicht werden.

Im Laufe der Zeit seit den ersten LEDs 1962 wurde die Lichtausbeute um mehr als drei Größenordnungen von unter 0.1 Lumen pro Watt auf über 100 Lumen pro Watt gesteigert. Diese grossen Sprünge waren auf Grund von immer besserer Qualität der Halbleiterschichten möglich. Es wurde insbesondere nach Halbleitern, welche Licht im kurzwelligen Bereich effizient erzeugen geforscht. Das Hauptproblem war das Dotieren eines p-leitenden Bereichs. 1988 gelang es der Gruppe Akasakis in Japan das Dotieren eines p-leitenden Bereichs. Eine LED von Nichia erreichte 2006 bei Labortests eine Lichtausbeute von 150 Lumen pro Watt, was circa einem Wirkungsgrad von 22% entspricht.

**Abbildung 3: Firmenlogo Cree Lighting**  
([www.illustralighting.com](http://www.illustralighting.com))



Im Jahr 2007 gelang es der Firma Cree im Labor eine kaltweisse LED mit über 1000 Lumen bei einer Effizienz von 72 Lumen/Watt zu betreiben und eine warmweisse mit 760Lumen/Watt erreichte immer noch eine Effizienz von 52 Lumen/Watt. Im September 2009 ist es ebenfalls Cree gelungen eine weisse LED mit einer Lichtausbeute (eigene Angabe) von 132 Lumen/Watt, welche bei der maximalen Leistungsaufnahme von fast 10 Watt auf 105 Lumen/Watt abfiel. Ende 2012 stellte Cree eine LED mit 200 Lumen/Watt vor. Die Ziele weiterer Entwicklungen der LEDs bestehen insbesondere darin, dass man die Effizienz steigern will und dass die Herstellung der Halbleiter Preiswerter wird. Zurzeit forscht man daran die Träger und Halbleitermaterialien transparent herzustellen damit die Leuchtenden Flächen nicht mehr durch Bonddrähte abgedeckt werden.

## Aufbau und Funktion einer Diode

Das Wort LED bedeutet: Licht emittierende Diode. Um den Aufbau und die Funktion verstehen zu können, muss man zuerst wissen, wie eine Diode aufgebaut ist und wie sie funktioniert. Dioden bestehen aus Halbleiterbauelementen, meist Silizium. Halbleiteratome bilden ein Kristallgitter. Die einzelnen Siliziumatome in diesem Gitter, besitzen vier Valenzelektronen, dies sind die Leitungselektronen. Man nennt sie so, weil sie sich von ihrem Atomkern lösen, und innerhalb vom Kristallgitter frei beweglich sind. Doch Dioden bestehen nicht nur aus reinen Siliziumkristallen, denn das Silizium wird dotiert (=ausgestattet, gemischt) mit drei-, und mit fünfwertigen Fremdatomen (Beispiel Aluminium und Phosphor). Um Phosphor hinzuzufügen können, werden nur vier Valenzelektronen benötigt, da Phosphor aber fünf hat, wird dieses Valenzelektron frei und lässt sich verschieben. Es hinterlässt ein positiv geladenes Phosphor-Ion, diesen Teil der Diode nennt man einen Negativ-Leiter.

Bei der Dotierung mit Aluminium, fehlt ein Elektron zum Einbinden des Aluminiumatoms, dieses Elektron kommt von einem Siliziumatom und bei diesem Siliziumatom entsteht dabei ein Loch, auch Defektelektron genannt. Ausserdem entsteht ein negativ geladenes Aluminium-Ion. Diesen Teil der Diode nennt man Positiv-Leiter.

Bei der Diode wird ein Negativ-Leiter mit einem Positiv-Leiter zusammengesetzt, dabei entsteht ein PN-Übergang. Wird keine Spannung an der Diode angelegt, dringen nur wenige freie Elektronen von dem Negativ-Leiter zum Positiv-Leiter, somit bleiben die Löcher unbesetzt. Es entsteht eine sogenannte Grenzschicht an der Berührungsstelle vom Negativ-Leiter zum Positiv-Leiter, welche wie ein Isolator wirkt. Wird die Diode in Sperrrichtung betrieben (Abbildung 4), so werden die freien Elektronen, welche ja negativ geladen sind, vom Plus angezogen, sie wandern alle nach links. Die positiv geladenen Aluminium-Ionen, wo auch die Löcher sind werden vom Minuspol angezogen und wandern nach rechts. Die Sperrschicht vergrössert sich somit, es fließt kein Strom! Wird jedoch Spannung in Durchlassrichtung angelegt (Abbildung 5), so werden die freien Elektronen vom Pluspol angezogen und wandern in die Mitte, ebenfalls werden die Aluminium-Ionen vom Minus angezogen und wandern auch zur Mitte. Die freien Elektronen treffen da auf die Löcher, die Sperrschicht wird somit abgebaut und es fließt Strom.

Abbildung 4: Diode in Sperrrichtung

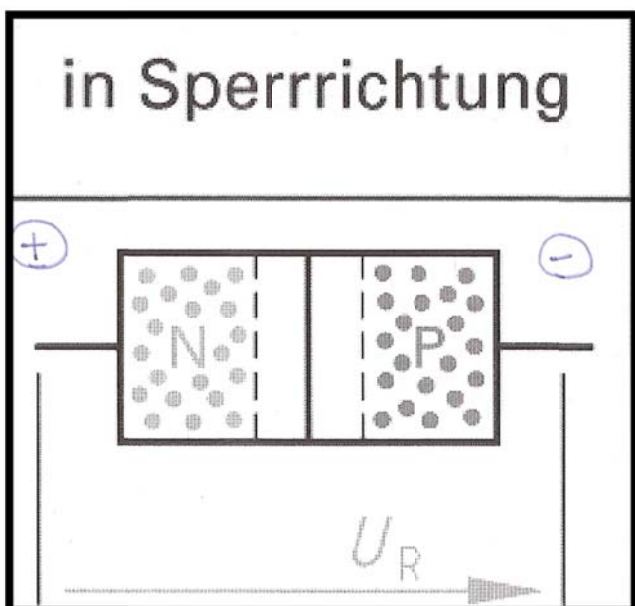
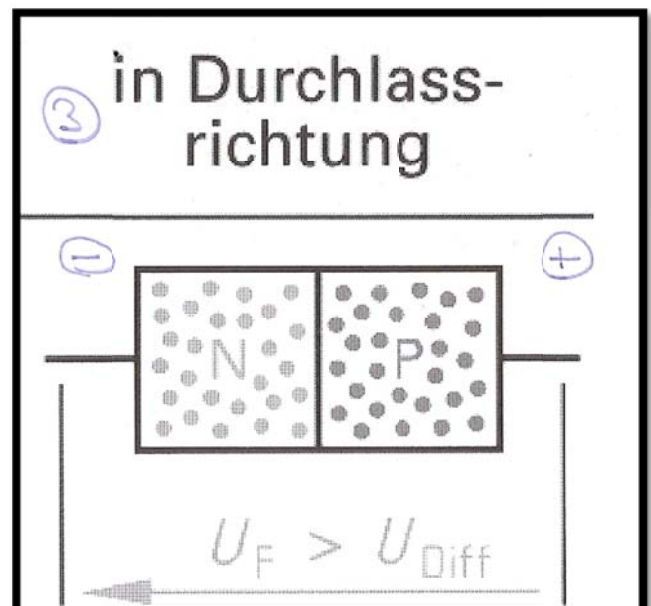


Abbildung 5: Diode in Durchlassrichtung



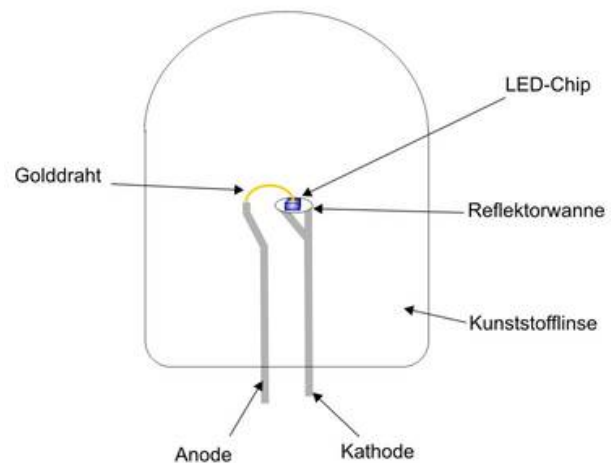
## Aufbau der LED

Die meisten LEDs besitzen eine kegelförmige Vertiefung, in welche ein Halbleiterkristall gelötet ist. Die Innenseite des Kegels wirkt dabei wie ein Reflektor für den strahlenden Kristall. Der Kristall beziehungsweise dessen Lötstelle übernimmt dabei auch die Aufgabe eines elektrischen Anschlusses. Er nimmt ebenfalls die Abwärme auf, welche entsteht da nur ein Teil der elektrischen Leistung in Licht ausgestrahlt wird. Die elektrische Leistung wird durch einen Draht mit rechteckigem Querschnitt in den Halbleiterkristall geleitet. Der Draht besteht bei den LEDs nicht wie üblich aus verzinnem Kupfer, sondern aus verzinnem Stahl. Der Stahl hat eine vergleichsweise geringe Wärmeleitfähigkeit, wodurch der Halbleiterkristall beim Einlöten des Bauteils nicht durch Überhitzung zerstört wird. Der Halbleiterkristall ist an der Oberseite mit einem sehr dünnen Bonddraht elektrisch verbunden. Der Bonddraht ist mit einem zweiten Stahldraht verbunden, der Bonddraht wird gewählt damit sehr wenig der lichtausstrahlenden Oberfläche verdeckt wird. Der Halbkristall liegt dabei auf der Seite der Kathode und der Bonddraht auf der Seite der Anode. Der Halbleiter besteht aus zwei Schichten. Die untere Schicht, die n-Schicht weist dabei einen Überschuss an Elektronen auf. Die obere Schicht, die p-Schicht weist einen Mangel an Elektronen auf. Diese gezielte Zugabe von anderen Atomen wie zum Beispiel Bor oder Silizium zu dem ansonsten reinen Halbleitermaterialien sorgt dafür, dass diese unterschiedliche Ladung erreicht wird. Durch das Zusammenbringen der beiden Schichten, gleichen sich die Ladungsunterschiede in der Grenzschicht aus und der Körper ist neutral wenn kein elektrischer Strom fließt. Wenn man jetzt jedoch eine elektrische Spannung in Fließrichtung anlegt, genügt es um den Stromfluss von der n-Schicht zur p-Schicht zu starten. Die Elektronen fließen nun von der n-Schicht, welche an Überschuss leidet zu jener welche an Mangel leidet, der p-Schicht. Dort werden die Elektronen von „Elektronenlöchern“ eingefangen, das bedeutet sie kombinieren sich mit den positiv geladenen Atomen. Bei diesem Vorgang geben die Elektronen Energie in Form von Lichtblitzen frei.

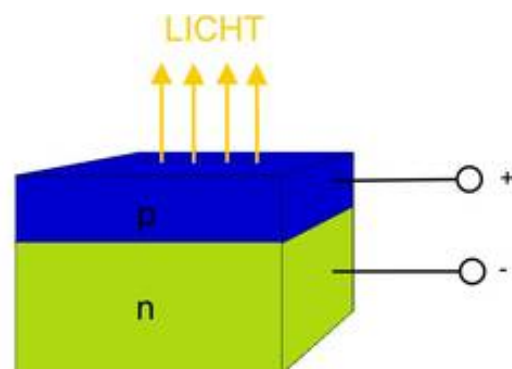
(<http://de.wikipedia.org/wiki/Leuchtdiode#Geschichte>, 03.03.2014)

(<http://www.dieenergiesparlampe.de/led-lampen/aufbau/>)

**Abbildung 6: Aufbau der LED**  
(<http://www.dieenergiesparlampe.de>)



**Abbildung 7: Schichten der LED**  
(<http://www.dieenergiesparlampe.de>)

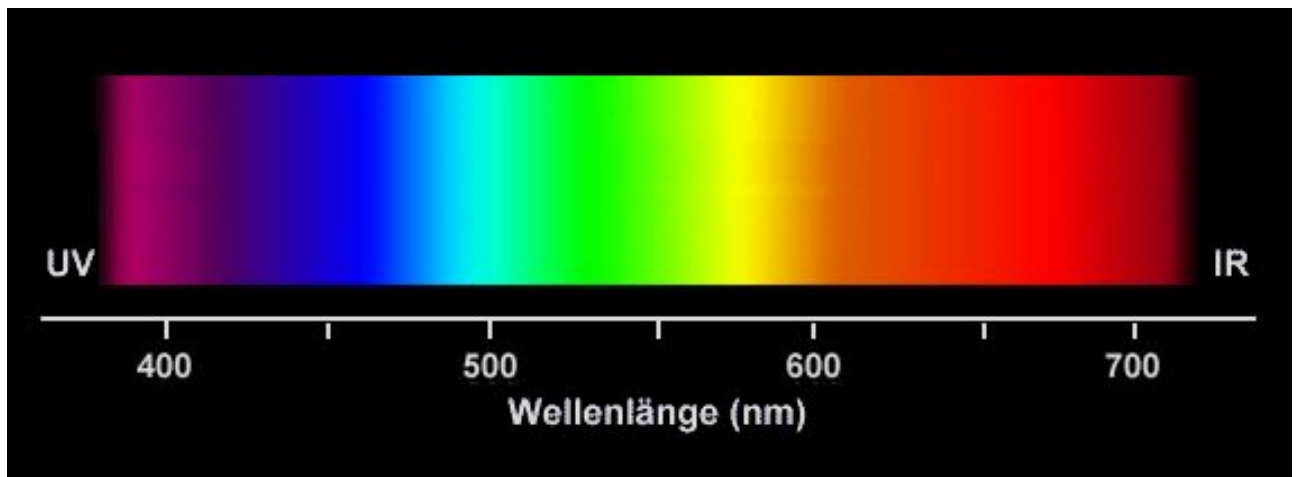




## Die Quantenphysik

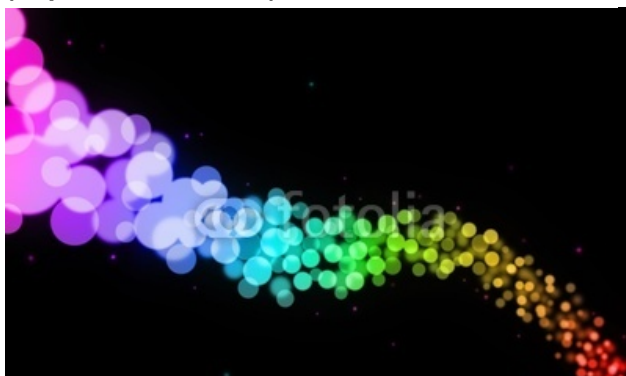
Um verstehen zu können wie die LED durch Stromfluss Licht abgeben kann, muss man zuerst wissen was Licht ist. Einerseits lässt sich Licht als elektromagnetische Welle definieren. Unsere Augen empfinden Helligkeit und Farben, dies sind elektromagnetische Wellen, welche in einem für uns Menschen sichtbaren Bereich liegt. Elektromagnetische Wellen besitzen einen Frequenzbereich. Zum Beispiel ist die Wellenlänge vom Licht, welches für den Menschen sichtbar ist, zwischen 370nm (Ultraviolett) und 750nm (Infrarot) lang und dies ist der Frequenzbereich für das sichtbare Licht (Abbildung 8). Natürlich gibt es auch noch Wellen, dessen Frequenzbereich ausserhalb von diesem Bereich liegen. Lange Wellen sind eher energiearme Wellen, wie zum Beispiel Radio- oder Antennenwellen, kurze Wellen sind energiereiche Wellen wie zum Beispiel Röntgenstrahlen oder die Gammastrahlung von gewissen Atomkernen, diese Wellen sind für das menschliche Auge nicht sichtbar, aber sie gehören auch zum elektromagnetischen Spektrum.

**Abbildung 8: Spektrum des sichtbaren Licht** (<http://www.foto-net.de>, 1999)



Aber um das Entstehen von Licht zu erklären, benötigen wir weder die Teilchen-, noch die Wellentheorie, sondern die anfangs des 20. Jahrhunderts entstandene Quantentheorie. Die Quantentheorie beinhaltet beides, also es bezieht sich darauf das Licht Eigenschaften besitzt, welche das Licht als Teilchen definieren liessen, aber es besitzt ebenfalls Eigenschaft, welche das Licht als Welle erklären. Als die Industrie mit der Massenproduktion von Beleuchtungsmitteln anfang, versuchten die Physiker sich mit dieser Eigenschaft des Lichts zu befassen. Anfangs ging man davon aus, je mehr man eine Glühbirne oder einen Stoff erhitzt, desto heller wird dieser. Am Beispiel von Stahl lässt sich dies wiederlegen, denn wenn man Stahl erhitzt, fängt er irgendwann

**Abbildung 9: Beispiel Lichtquanten**  
(<http://de.fotolia.com>)

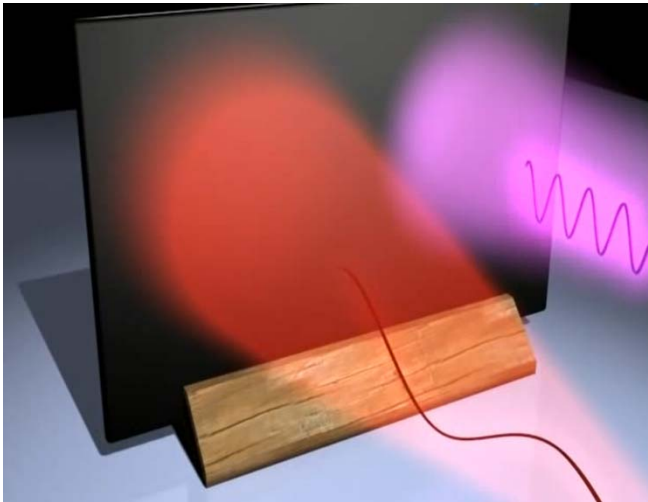


**Abbildung 10: Beispiel Wasserquanten**  
(<http://www.detail.de>)

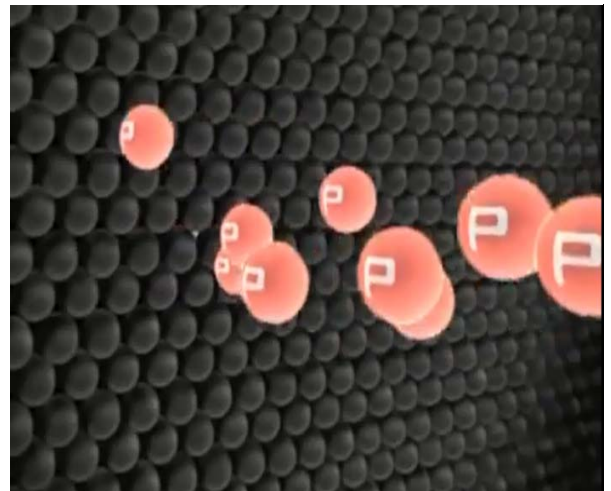


an zu glühen, dabei wird die Wärmeenergie in Licht umgewandelt, doch laut den physikalischen Kenntnissen müsste er je mehr er erhitzt wird, mehr Lichtenergie abgeben. Laut dieser Theorie müsste der Stahl aber irgendwann ultraviolette Strahlen emittieren, was aber für den Mensch nicht sichtbar wäre, und dass Stahl irgendwann durch Erhitzen unsichtbar werden müsste, aber dies konnte bei keinem Versuch erreicht werden, denn Stahl ist und bleibt sichtbar. Dieses Verhalten irritierte die damaligen physikalischen Kenntnisse. Der Physiker Max Planck ging dann davon aus, das Licht keine kontinuierliche Strahlung emittiert, sondern in sogenannten Energiepaketen, oder später auch Quanten genannt (Abbildung 9). Dieser Vorgang ist vergleichbar mit Wasser, statt das Wasser kontinuierlich fließt, fließt es tröpfchenweise (Abbildung 10). Da sich Licht mit einer sehr grossen Geschwindigkeit ausbreitet, sehen wir die einzelnen Lichtquanten nicht, dies ist wie wenn die Wassertropfen so schnell fließen, dass wir nur den Wasserstrahl sehen. Die Gesamtenergie ist dann nur ein Vielfaches eines einzelnen Quantums, was Planck als Wirkungsquantum „ $h$ “ bezeichnet. Dabei kam er auf die Formel, dass die Energie das Produkt des Wirkungsquantum und der Frequenz der Strahlung sei. Seine Formel wurde durch praktische Messungen andere

**Abbildung 11: Lichtstrahlung als Welle**  
([www.youtube.com](http://www.youtube.com))

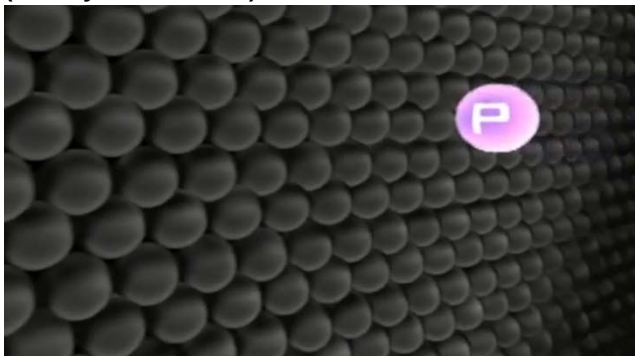


**Abbildung 12: Lichtstrahlung als Teilchenstrom**  
([www.youtube.com](http://www.youtube.com))

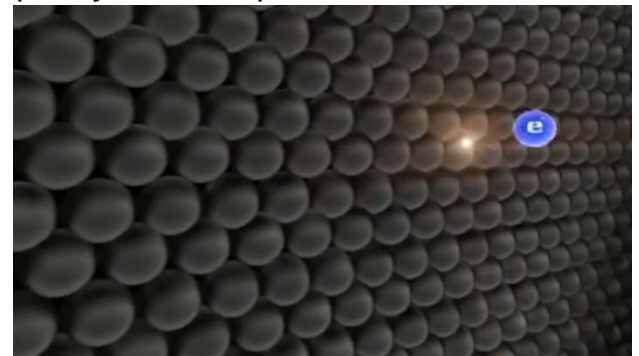


Physiker bestätigt. Später hatte auch der bekannte Physiker Albert Einstein, anhand der Formel von Max Planck den Photoeffekt erklären können. Wenn man eine Metallplatte mit Licht bestrahlt, so kann es sein, dass die Metallplatte ein Elektron abgibt (Abbildung 12-14). Mit Infrarot funktioniert dies nicht, aber mit ultraviolettem Licht funktioniert es. Mit der Wellentheorie (Abbildung 11) konnte man dies nicht erklären, deshalb ist man bei diesem Experiment davon ausgegangen, dass das Licht ein Strom von Teilchen ist, sogenannten Photonen. Um die jeweils nötige Energiemenge

**Abbildung 13: UV-Licht Photon**  
([www.youtube.com](http://www.youtube.com))



**Abbildung 14: abgestrahltes Elektron**  
([www.youtube.com](http://www.youtube.com))

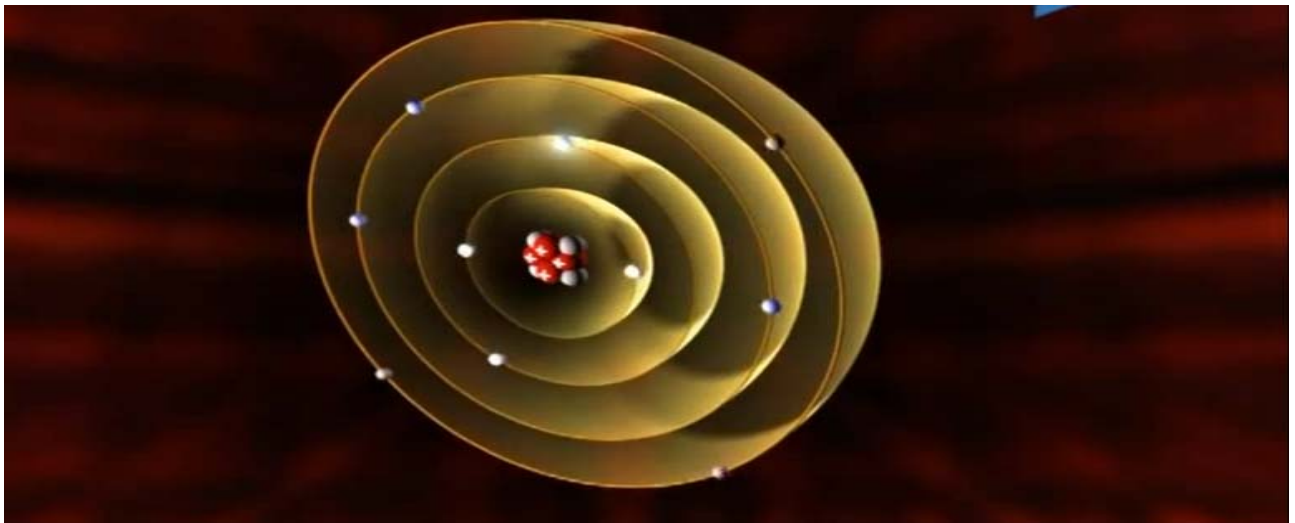


ermitteln zu können, ging man davon aus das dies ebenfalls das Produkt der Frequenz der

Photonen sei und die vom planckschen Wirkungsquantum. Dies wurde auch durch experimentelle Versuche nachgewiesen und bewiesen. Ebenfalls wurde mit der planckschen Formel die Stabilität der Atome nachgewiesen. Das anfangsbekannte Modell von Rutherford, beschrieb dass der Kern positiv geladen sei, und negative Elektronen um den Kern kreisen. Die Stabilität bleibt darin enthalten, dass die Anziehungskräfte der Atome und die Fliehkräfte der Elektronen sich ausgleichen würden. Aber aufgrund der Bewegung der Elektronen, müssten diese permanent Energie abgeben und durch das würden sie irgendwann in den Kern stürzen und das Atom zerfallen. Da die Atome aber stabil sind, konnte diese Theorie nicht ganz stimmen. Anhand der planckschen Formel fand der

Physiker Nils Bohr heraus, dass die Elektronen nicht wahr los um den Kern kreisen, sondern in

**Abbildung 15: Atomkern mit Quantenbahnen (www.youtube.com)**



fixen Bahnen, sogenannten Quantenbahnen. In den inneren Bahnen ist das Energieniveau kleiner als in den Äusseren. Falls das Elektron die Bahn wechselt, zum Beispiel von aussen nach innen, gibt es ein Photon ab, falls es von innen nach aussen geht, nimmt es ein Photon auf. Die hier jeweils aufgenommene oder abgegebene Energie besteht ebenfalls aus dem Produkt der Frequenz des Photons und dem Wirkungsquantum. Später wurden auf diese Grundlagen viele technische Fortschritte wie zum Beispiel der Computer aufgebaut. Doch zum Verständnis von Licht ist vor allem der Photoeffekt wichtig.

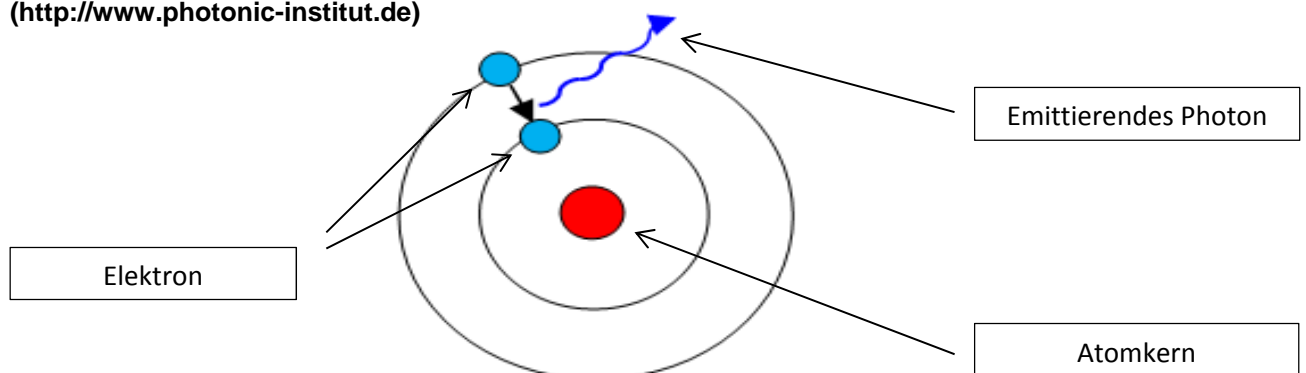
(<http://www.youtube.com/watch?v=FLEaCN7rOC8>, 08.12.2013)

(<http://de.wikipedia.org/wiki/Quantenphysik>, 08.12.2013)

## Der Photoeffekt

Elektronen sind in jeder Materie vorhanden, und sie sind meist beweglich auch in manchen Metallen. Aber es ist für ein Elektron sehr schwierig sich vom dazugehörigen Atomkern weg zu bewegen. Der Grund dafür ist, sobald sich das negativgeladene Elektron weg vom Atomkern bewegt, wird das am Anfang ungeladene Atom positivgeladen und somit wird das negativgeladene Elektron wieder angezogen. Deshalb braucht ein Elektron eine externe Energiezufuhr. Den Strom. Strom ist die Bewegung von Elektronen. Legt man bei einer LED Gleichspannung richtig an, das heisst der Pluspol wird an die Anode angelegt und der Minuspol an die Kathode. Die Elektronen im Elektronenfluss (Strom) treffen auf die Aluminium-Ionen und auf die Phosphor-Ionen und bewirken bei den Valenzelektronen einen Quantensprung. Den Quantensprung können wir uns nur im bohrschem Atommodell vorstellen, denn dies ist wenn das Elektron von einer Schale zur anderen

**Abbildung 16: der Quantensprung**  
(<http://www.photonic-institut.de>)



Schale springt. Beim Übergang auf eine niedrigere Energiestufe, wird die Energiedifferenz in Form eines Photons (Lichtteilchen) abgegeben. Durch diesen Vorgang empfindet der Mensch Licht, welches von einer LED abgestrahlt wird, diese Strahlung wird auch als Lumineszenz bezeichnet. Dies wird als innerer Photoeffekt beschrieben. Es gibt auch einen äusseren Photoeffekt, dies ist der Vorgang in die andere Richtung. Wird die LED von Licht angestrahlt, so kann man eine Spannungsdifferenz zwischen Anode und Kathode erkennen, bzw. wird Spannung induziert. Das Photon, welches vom Licht kommt, bewirkt ebenfalls ein Quantensprung, einfach in die andere Richtung, in diesem Fall wird das Elektron auf eine höhere Energiestufe gesetzt, das heisst das Elektron wandert von einer inneren Schale zu einer äusseren Schale, die Bewegung des Elektrons macht sich als Spannungsdifferenz an den beiden Anschlüssen bemerkbar.

(Auto & Wissen, 2008, S. 8 -11)

(<http://www.sengpielaudio.com/Rechner-wellenlaenge.htm>, 31.10.2013)

(<http://www.iqo.uni-hannover.de/fileadmin/institut/pdf/AP/Versuche/D07b.pdf>, 21.11.2013)

### Das Photon

Im obigen Text wird beschrieben, dass durch den Quantensprung ein Photon abgegeben wird, und dass wir dies als Licht interpretieren. Doch was ist ein Photon? Ein Photon ist ein masseloses Teilchen, welches die elektromagnetische Wechselwirkung vermittelt, aber selbst keine elektrische Ladung besitzt. Elektromagnetische Wechselwirkung ist eine Grundkraft der Physik, und beschreibt die Kraft, welche zwischen elektrisch geladenen Teilchen herrscht. Das Photon ist also ein Produkt, dass entsteht durch die elektromagnetische Kraft bzw. einen Vorgang (z. B. der Quantensprung) zwischen anderen Teilchen.

(<http://www.wortbedeutung.info/Photon>, 28.11.2013)

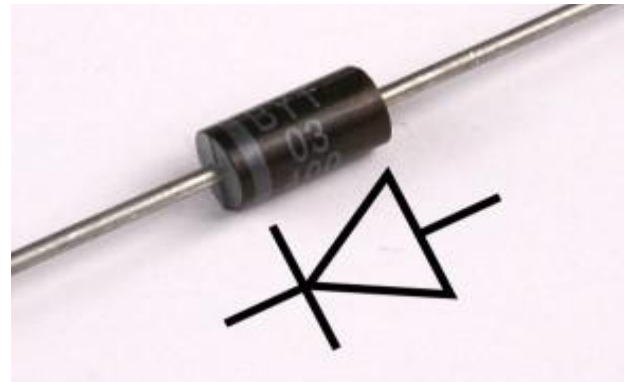
## Funktion einer LED

Eine LED besteht aus einer Fensterschicht, einer p-dotierten Schicht, einer aktiven Schicht, der n-dotierten Schicht und dem darunterliegenden Kristallsubstrat (Bild 19). Der Aufbau einer

**Abbildung 17: die Leuchtdiode**  
(<http://reefbuilders.com>)

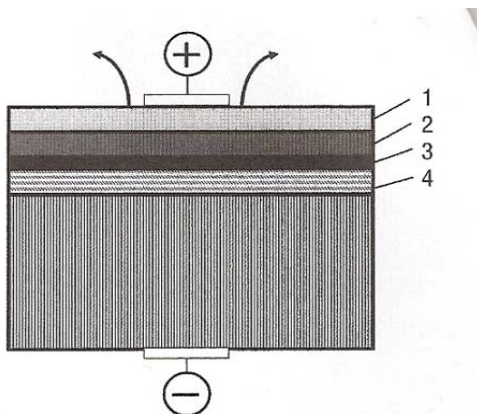


**Abbildung 18: die herkömmliche Diode**  
(<http://blog.openptv.org>)



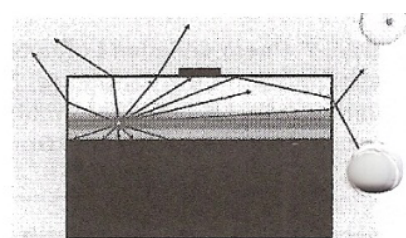
Leuchtdiode ist sehr ähnlich wie einer gewöhnlichen Diode, ein wesentlicher Unterschied besteht darin, dass die gewöhnlichen Dioden meistens aus Silizium oder auch Germanium bestehen. Die Leuchtdioden bestehen jedoch meistens aus Galliumverbindung, da sich dieses Material gut eignet um Licht abzustrahlen. Je nach dem welches andere Material beigemischt wird, ändert sich die Farbe vom ausgestrahlten Licht. Wird Gleichspannung in Durchlassrichtung an einer Leuchtdiode angelegt, so gehen die Elektronen die sich ja in der n-Schicht befinden, zum pn-Übergang, da sie ja vom angelegten Plus angezogen werden. Wenn sie in die p-Schicht gelangen, verlassen die Elektronen die n-Schicht und somit auch ihr Atom, sie gelangen dann zum Valenzband vom Atom, welches in der p-Schicht ist. Energetisch gesehen ist dies das günstigere Energieband, dieser Vorgang wird Rekombination genannt, und die dabei entstehende Energie gibt ein Photon ab, welches wir als Licht interpretieren (genauere Beschreibung siehe Kapitel: der Photoeffekt). Damit aber dieses Licht auch wirklich sichtbar ist, muss die Rekombination in geeigneten Materialien stattfinden, zum Beispiel in einer Galliumverbindung. Dieses Licht wird in der aktiven Schicht erzeugt, welche sich zwischen der p-dotierten Schicht und der n-dotierten Schicht befindet(siehe auch Bild 19). In dieser aktiven Schicht werden fast 100% der Energie in Licht umgewandelt, aber nur ein Teil dieser freigesetzten Energie können wir als Licht

**Abbildung 19: Aufbau einer Leuchtdiode**



**Bild 3** Prinzipieller Aufbau einer LED.  
1 Fensterschicht, 2 p-dotierte Schicht, 3 aktive Schicht (Lichterzeugung), 4 n-dotierte Schicht, darunter das tragende Substrat.

**Abbildung 20: Lichtausbeute einer LED**



**Bild 4** In LED gelingt es nur wenigen Photonen, nach oben zu entkommen. Viele werden reflektiert oder im Substrat absorbiert. Ausweg: Ein spiegelnder Metallfilm unter der aktiven Schicht verdoppelt die Lichtausbeute auf 100 lm/W.

interpretieren. Der andere Teil wird in der Epoxidharz-Linse reflektiert oder vom Kristall absorbiert. Die Lösung für dieses Problem ist ein spiegelnder Metallfilm unter der aktiven Schicht, dies verdoppelt die Lichtausbeute einer LED (siehe Abbildung 20).

Der Wirkungsgrad von LED-Beleuchtungsmittel betrug lange 30 – 40%, welche noch heute auf **Abbildung 21: verschiedene Beleuchtungsarten (www.connected-home.de)**



dem Markt sind, aber mit der heutigen Technik kommt man auf eine Wirkungsgrad von 55%, viel höher als die der Glühwendellampe, höher als die der Halogenlampe und vergleichbar bis ein wenig höher als die Leuchtstoffröhren (siehe Abbildung 21). Aus diesem Grund ist die LED ein Beleuchtungsmittel mit grossen und wahrscheinlich erfolgreichen Zukunftsaussichten.

(Auto&Wissen, 2008, S. 8-11)

(<http://de.wikipedia.org/wiki/Leuchtdiode>, 05.02.2014)

(<http://de.wikipedia.org/wiki/Leuchtstofflampe>, 31.1.2014)

( <http://www.dieenergiesparlampe.de/led-lampen/aufbau/>)

## Vergleich LED und normale Glühbirne

Die LED ist ein Kleinelektrogerät, genauer gesagt ein Elektrolumineszenzstrahler. Die Glühbirne hingegen ist ähnlich wie die Sonne ein glühender Körper (Temperaturstrahler).

In der Funktionsweise unterscheiden sich die beiden Lampen folgend:

Die Glühlampe glüht da sich der elektrische Leiter (meistens Wolfram) in Form einer Glühwendel (Glühfaden) so stark durch den Stromfluss erhitzt (siehe Abbildung 22).

Bei der LED fließt Strom in Durchlassrichtung durch die Diode. Durch diesen Vorgang strahlt die Leuchtdiode unter Abhängigkeit des Halbleitermaterials und der von der Dotierung abhängigen Wellenlänge Licht ab (siehe Abbildung 23). Die Lichtquellen der beiden Beleuchtungssysteme sind wie bereits erwähnt einerseits ein glühender Körper (Wolframdraht bei der Glühbirne) und andererseits der Halbleiter (LED).

Bei den Bestandteilen sieht man den grossen Unterschied der beiden Lampen. Die Hülle der Glühbirne besteht aus Glas und im inneren hat sie Blech, Kupfer, etwas Lötzinn und einem dünnen Wolframdraht. Die Glasbirne ist mit Argon (ca. 85%) und Stickstoff (ca. 15%) gefüllt. LEDs enthalten reizendes Gallium-Nitrid oder Gallium-Phosphid, welche beide als krebserregend gelten, Glühlampen hingegen besitzen keine Gefahrenstoffe.

Die Lichttemperatur bei Glühlampen beträgt ca. 2700 Kelvin, jene von LEDs ist variabel.

Glühbirnen strahlen 94.9% Infrarotlicht (Wärme), 0.1% UV-Licht und 5% sichtbares Licht aus. Led strahlen kaum Infrarot aus dafür mehr UV- und sichtbares Licht. Beim Anschaffungspreis gibt es riesige Unterschiede, Glühbirnen kosten sehr wenig im Geschäft allerdings sind sie im Gebrauch teuer. LED hingegen Kosten bei

der Anschaffung viel, sind aber im Gebrauch sehr günstig. Glühbirnen kann man mit einem Dimmschalter dimmen, bei LEDs kann es bei üblichen Dimmschaltern zu Kompatibilitätsproblemen kommen, deshalb sollte man bei LEDs spezielle Dimmschalter kaufen. In der Herstellung macht die Glühbirne den Punkt, da sie eine einfache Produktion aufgrund der wenigen Rohstoffe, welche erforderlich sind besitzt, für die Herstellung einer LED muss man dagegen eine Fachperson sein. Bei der Entsorgung geht der Punkt ebenfalls an die Glühbirne da man sie in den normalen Hausmüll werfen kann. Die Led muss man dem Elektroschrott mitgeben.

Für das menschliche Auge ist die Glühbirne besser, da die Diode mit hohem Blauanteil zu Wach-Schlaf-Rhythmus-Störungen führen kann und zur Unschärfe in der Wahrnehmung.

<http://www.gluehbirne.ist.org/vergleich.php>

**Abbildung 22: Glühwendel mit erhitztem Draht (www.hobby-bastelecke.de)**



**Abbildung 23: LED mit leuchtendem Kristall**



## Markttauglichkeit

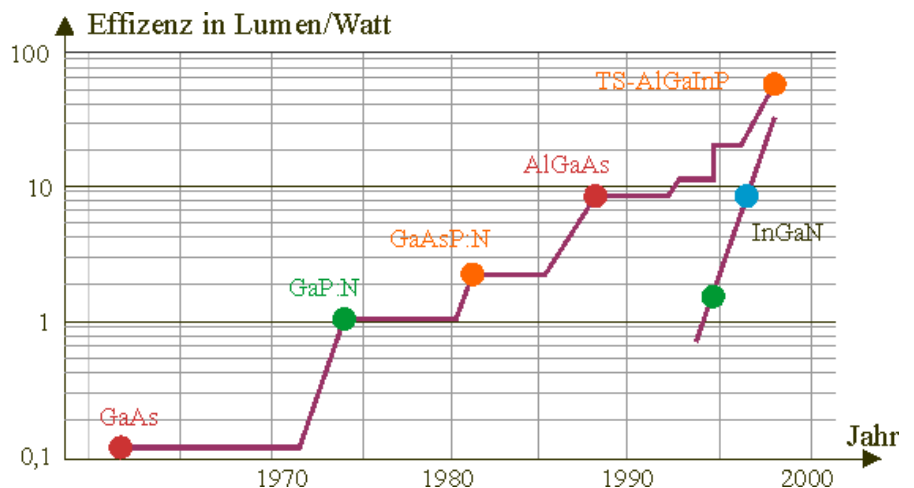
LEDs werden auf dem Markt voraussichtlich vor allem in Computer-, Fernseh- sowie Mobiltelefonbildschirmen bestehen. Um ganze Häuser damit zu beleuchten ist meiner Meinung nach der Kostenaufwand für die Anschaffung einer kompletten LED-Beleuchtung zurzeit noch zu teuer. Wenn man den momentanen und den prognostizierten Umsatz auf dem Markt ansieht, dann sieht es für die Diode nicht schlecht aus weiterhin ein Konkurrent der normalen Beleuchtungsmethoden zu bleiben.

Für die Umwelt und das Ziel der Welt den CO<sub>2</sub> Ausstoss zu vermindern setzen Leuchtdioden die optimalen Bedingungen, sie brauchen weniger elektrischen Strom um dieselbe Leistung in Form von Licht zu bringen. Ebenfalls Ausschlaggebend könnte der Wirkungsgrad von LEDs sein, welchen die Forscher versuchen immer weiter zu steigern. Die LEDs finden überall in unserem Leben immer mehr Einzug zum Beispiel in der Automobilbranche (1. Auto welches nur LEDs hatte war der Audi R8) werden immer mehr Bildschirme und Scheinwerfer aus Dioden eingesetzt ebenso in elektrischen Haushaltsgeräten. Auch mobile aussen Beleuchtungen, welche man in die Erde steckt um den Weg durch den Garten zu leiten sind praktisch immer aus LED und besitzen einen

kleinen Sonnenlichtkollektor mit welchen sie über den Tag Sonnenenergie speichern um sie am Abend über die Diode wieder durch Licht frei zu geben (Abbildung 25).

Was am Schluss zu hoffen bleibt, ist das LED-Hausbeleuchtungen günstiger werden damit man sie in jedem Haushalt einsetzen kann um Ressourcen zu sparen und unserer Umwelt weniger CO<sub>2</sub>-Belastungen infolge von elektrischer Beleuchtung zu geben.

**Abbildung 24: Diagramm Effizienz verschiedener LED**



**Abbildung 25: Beispiel Gartenbeleuchtung LED**





## Messungen und Berechnungen

Bei unseren Messungen und Berechnung haben wir die heutigen LED-Beleuchtungsmittel einerseits mit der veralteten Glühlampe verglichen, andererseits mit der starken modernen Konkurrenz, der FL-Röhre. Wir haben vier Versuche gemacht, wobei wir beim Vergleichen auf mehrere Kriterien geachtet haben. Denn wir wollten aus unseren Vergleichen, ein möglichst aussagekräftiges Resultat. Bei den Messungen selbst haben wir die Beleuchtungsstärke mit einem Lux-Meter in verschiedenen Abständen gemessen. Dann haben wir wichtige Verbrauchsmessgrößen wie Strom und Spannung gemessen. Somit konnte ich mittels den ermittelten Werte viel über die Effizienz und den Verbrauch der jeweiligen Beleuchtungsmittel aussagen.

Um die Messungen überhaupt machen zu können benötigte ich einige Messgeräte:

- das EMU 1.29K, zur Erfassung von Spannung, Strom, Leistung und Verbrauch bei Betrieb von Netzspannung = 230V AC (Abbildung 26)
- das Multimeter, zur Erfassung von Spannung und Strom (Abbildung 27)
- das Luxmeter, zur Erfassung der Beleuchtungsstärke (Abbildung 28)

Abbildung 26: das EMU 1.29K

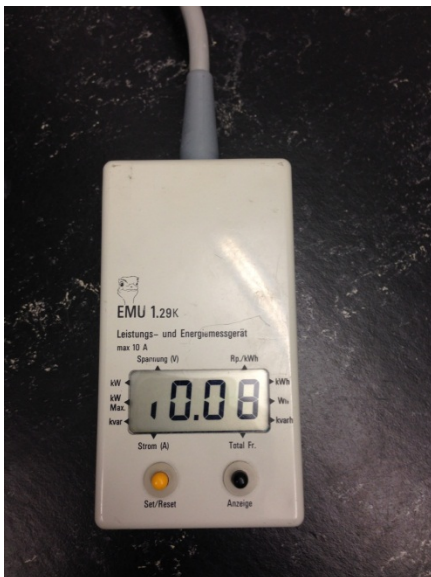
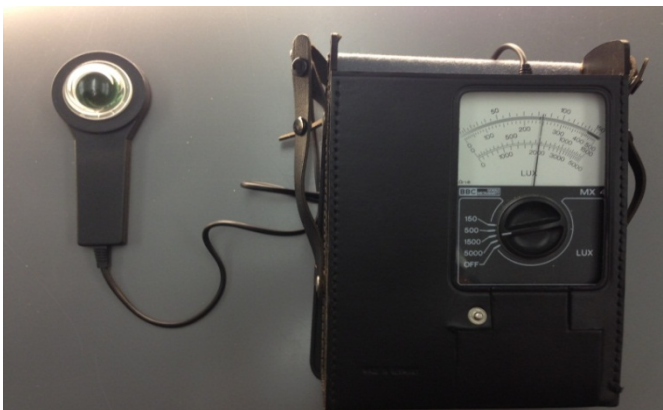


Abbildung 27: das Multimeter



Abbildung 28: das Luxmeter



### Versuch 1: Velolampe Glühwendel – Velolampe LED

Mit diesem Versuch, wollten wir einen Produktvergleich zwischen der alten Glühwendellampe und der modernen LED machen. Dieser Vergleich zwischen den Produkten, soll aufzeigen wie sich die LED-Beleuchtung bewährt gegenüber der veralteten Glühwendellampe.

Abbildung 29: Aufbau und Strommessung vom Versuch 1

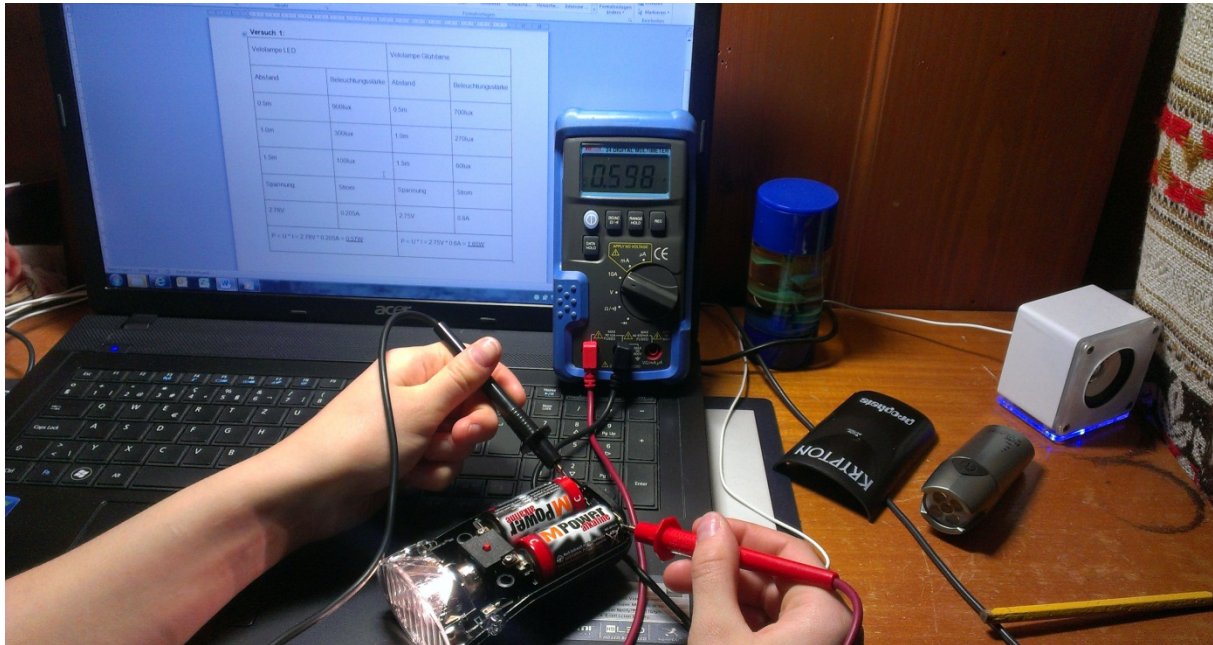


Tabelle 1: Vergleich Velolampe LED – Velolampe Glühbirne

Velolampe LED		Velolampe Glühbirne	
Abstand	Beleuchtungsstärke	Abstand	Beleuchtungsstärke
0.5m	900lux	0.5m	700lux
1.0m	300lux	1.0m	270lux
1.5m	100lux	1.5m	60lux
Spannung	Strom	Spannung	Strom
2.78V	0.205A	2.75V	0.6A
$P = U * I = 2.78V * 0.205A = \underline{0.57W}$		$P = U * I = 2.75V * 0.6A = \underline{1.65W}$	

**Fazit aus dem Versuch 1**

Aus dem Versuch 1 lässt sich heraus lesen, dass die LED-Velolampe in allen Abständen, eine höhere Beleuchtungsstärke aufweist. Zudem braucht sie fast nur ein Drittel vom Strom, welche die Velolampe mit der Glühbirne braucht. Die Spannung ist bei beiden gleich gross. Der Leistungsbedarf der Glühwendel ist fast dreifach so hoch wie der, der LED. Aus diesen Messergebnissen erkennen wir, dass die LED-Velolampe heller leuchtet, egal ob bei kleinem Abstand oder bei grösseren und der Strombedarf ist fast dreimal so klein wie der, der Glühwendel, was sich denn auf die Lebensdauer der Batterie auswirkt. Die LED ist eindeutiger Sieger in diesem Duell.

**Versuch 2: FL-Röhre – LED-Röhre**

Dies ist ebenfalls ein Produktvergleich, aber nun zwischen der FL-Röhre und der LED-Röhre. Die FL-Röhre ist auch viel moderne und verbrauchsarmer wie die Glühwendel, deshalb ist dies ein ausgeglichenes Duell.

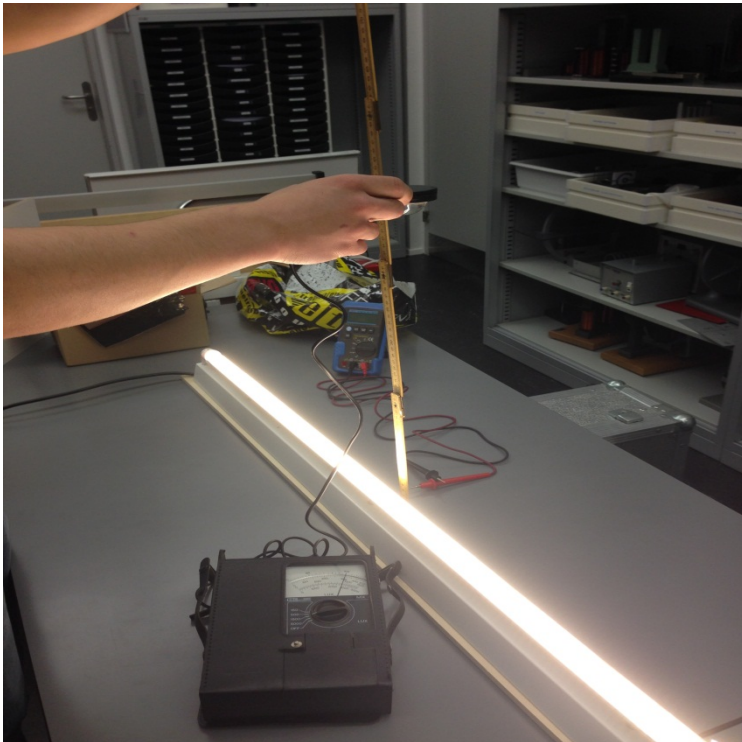
**Tabelle 2: Vergleich FL-Röhre – LED-Röhre**

FL-Röhre		LED-Röhre	
Abstand	Lux	Abstand	Lux
0.5m	800	0.5m	800
1.0m	390	1.0m	350
1.5m	230	1.5m	170
Spannung	Strom	Spannung	Strom
230V AC	0.16A	220V AC	0.08A
Leistung	Verbrauch in einer Stunde	Leistung	Verbrauch in einer Stunde
35W	0.035kWh	16W	0.016kWh

**Fazit aus dem Versuch 2:**

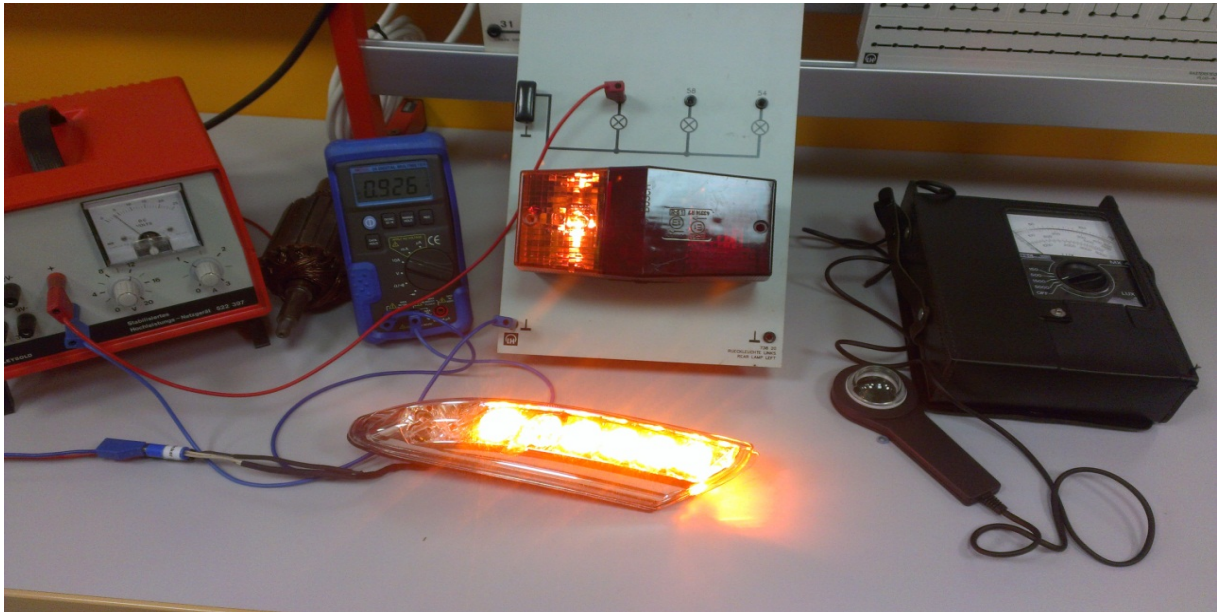
Die Beleuchtungsstärke aus kleineren Distanzen ist genau gleich, aber bei grösser werdendem Abstand, besitzt die FL-Röhre eine höhere Beleuchtungsstärke als die LED-Röhre. Der Grund dafür ist, dass die LED eher eine punktuelle Ausleuchtung hat und die FL-Röhre eine strahlende. Jedoch benötigt die FL-Röhre zweimal so viel Strom wie die LED-Röhre, dies ist auch in der Leistung bemerkbar. Der schlussendliche Verbrauch ist von der Leistung abhängig. Der Verbrauch ist nämlich das Produkt der Leistung und der Betriebszeit. Die LED-Röhre besitzt somit eindeutig einen niedrigen Verbrauch, aber die FL-Röhre leuchtet bei Entfernung heller.

Jedoch sollte man aber dabei hinzufügen, dass die LED auch noch in einer starken Entwicklungsphase ist. Als die LED aufgekommen ist, konnte man es sich kaum vorstellen, dass sich dies einmal so bewährt. In der Automobiltechnik, in elektronischen Geräten wie Laptop, Handys etc. und eben ist es auch aufkommend in Gebäuderäumen. Da sich der Wirkungsgrad der LED in der Vergangenheit alle vier Jahre verdoppelt hat, ist noch viel zu erwarten.

**Abbildung 30: Aufbau und Messung vom Versuch 2 LED – FL-Röhre****Versuch 3: Glühbirne – LED**

Bei diesem Vergleich geht es nicht um das Produkt, sondern um den Wirkungsgrad. Ich habe im Experimentzimmer der Automobil-Leute im BZB einen Versuch aufgestellt. Ich habe zwei Anlagen so aufgebaut, dass beide Anlage eine Spannung von 12V haben und einen Strom von 0.93A, also knapp einem Ampère. Somit haben beide Anlagen, die gleiche Spannung und den gleichen Strom zur Verfügung.

**Abbildung 31: Aufbau Versuch 3 Glühbirne – LED**



**Tabelle 3: Vergleich Anlage Glühbirne – Anlage LED**

Glühbirne		LED	
Abstand	Lux	Abstand	Lux
0.1m	25	0.1m	2'800
0.2m	15	0.2m	2'200
0.3m	5	0.3m	1'500
Spannung	Strom	Spannung	Strom
12 V DC	0.93A	12V DC	0.93A

**Fazit aus dem Versuch 3**

Dieser Versuch zeigte den grössten Unterschied. Die LED-Beleuchtungsanlage besitzt eine unglaubliche Beleuchtungsstärke, und die Glühlampen-Beleuchtungsanlage eher eine schlechte. Dies ist der beste Beweis um zu zeigen, dass man heutzutage mit viel weniger Strom, eine viel höhere Beleuchtungsstärke erzeugen kann. Die LED brilliert, indem sie eine so hohe Beleuchtungsstärke erzeugen kann, aber so wenig Strom braucht.

## Anschaffungs- und Betriebskosten

Da nun der Aufbau und die Funktion einer LED bekannt sind, schauen wir uns nun die Marktauglichkeit und die Konkurrenz einer LED an. Dabei gehen wir von einem Beispiel aus von einem Haushalt in Buchs, indem 20 Beleuchtungsmittel verbaut sind. Da der Kunde einen etwas höheren Energieverbrauch hat, ist er Premiumkunde (siehe Preisliste EW Buchs). Die tägliche Betriebszeit dauert zehn Stunden. Dies ist nun ein Vergleich von den Anschaffungs- und Betriebskosten einer FL-Röhre gegenüber einer LED-Röhre und welches schlussendlich dominiert. Die Preise wurden von Gemeinde Buchs fürs Jahr 2014 entnommen. ([http://www.ewbuchs.ch/Portals/0/Content/Wasser%20&%20Strom/Strom/Strompreise/2014/2014\\_KompaktPremium.pdf](http://www.ewbuchs.ch/Portals/0/Content/Wasser%20&%20Strom/Strom/Strompreise/2014/2014_KompaktPremium.pdf), 04.02.2014)

### Anschaffungskosten für eine Haushaltsbeleuchtung mit FL-Röhren

Eine FL-Röhre (36W, 1200mm, 20'000h) kostet laut unseren Internetrecherchen 7.95Fr. Da wir in unserem Beispiel Haushalt 20 Röhren benötigen, kommen wir auf Anschaffungskosten von 159.00Fr.

(<http://www.conrad.ch/ce/de/product/572854/Leuchtstoffroehre-1200-mm-Osram-230-V50-Hz-G13-36-W-Kalt-Weiss-Leuchtstoffroehre?ref=list>)

### Betriebskosten für eine Haushaltsbeleuchtung mit FL-Röhren

Wie wir gemessen haben, beträgt der Verbrauch einer FL-Röhre 35W (siehe Tabelle 2, Seite 19). Da wir von einem Haushaltsmodell mit 20 Beleuchtungsmittel angehen, beträgt die Gesamtleistung  $20 \cdot 35W$ , somit 700W. Dies bedeutet einen Verbrauch von 0.7kWh in einer Stunde. In einem Monat (30 Tage) wird somit 210kWh benötigt, in einem Jahr 2520kWh. Die zusammen gerechneten Kosten sind 23.8Rp/kWh. Die Kosten für den Energieverbrauch der Beleuchtung ist nun 599.76Fr. plus 7.56Fr. Grundgebühr, dies macht gerundet ein Total von jährlich 607.30Fr.

### Anschaffungskosten für eine Haushaltsbeleuchtung mit LED-Röhren

Eine LED-Röhre (18W, 1200mm, 50'000h) kostet im Onlinemarkt ca. 69.50 Fr.

Bei den 20 erforderlichen Röhren des Beispiel Haushalts entstehen somit Anschaffungskosten von 1390Fr.

(<http://www.ledfox.ch/webshop/led-rohren/t8-led-roehre-150cm-25w-neutralweiss-mit-mattierter-linse.html>)

### Betriebskosten für eine Haushaltsbeleuchtung mit LED-Röhren

Die Leistung einer LED-Röhre beträgt 16W (siehe Tabelle 2, Seite 19). Auch hier rechnen wir mit unserem Beispiel von 20 Röhren im Haushalt, somit haben wir hier eine Gesamtleistung von 320W. In diesem Beispiel liegt der stündliche Verbrauch bei 0.32kWh. In einem Monat wäre man bei 96kWh, der jährlich Verbrauch liegt bei 1152kWh. Auch hier betragen die Kosten 23.8Rp/kWh. Bei diesem Beispiel haben wir also eine Rechnung von 274.17Fr. plus die 7.56Fr. Grundgebühr, also der Gesamtpreis beträgt gerundet 281.75Fr.

## Vergleichsberechnung

Die Anschaffungskosten für die FL-Röhren betragen wie oben erwähnt 159Fr. Die der LED hingegen sind mit einem Gesamtbetrag von 1390Fr. wesentlich teurer. Wenn man nun die Betriebskosten miteinander vergleicht, so spart man jährlich bei der Leuchtdioden-Ausrüstung eine Geldsumme von 325.55Fr.

Wenn man nun den Unterschied betrachtet der Anschaffungskosten von 1231Fr. muss man dies durch die 325.55Fr. dividieren, dabei erhält man die Dauer, die es benötigt, bis wir die beiden Varianten ausgeglichen haben, hier sind es gerundete drei Jahre und neun Monate. Aber was dringend zu beachten gilt, ist noch die unterschiedliche Lebensdauer der verschiedenen Beleuchtungsvariante. Umgerechnet halten die FL-Röhren nur fünfeinhalb Jahre, da sie laut Herstellerangaben nur 20'000 Betriebsstunden aufweisen. Die LED-Beleuchtung hingegen hält mit 50'000 Betriebsstunden fast 14 Jahre, somit mehr als zweieinhalb mal länger.

Unser Fazit lautet nun, die LED-Beleuchtung hat sich mit dem Stand der heutigen Technik definitiv durchgesetzt. Die Anschaffungskosten sind zwar erstaunlich höher, aber diese werden durch die überzeugenden kleinen Betriebskosten und der langen Lebensdauer eindeutig weg gemacht. Wenn man die zwei Beleuchtungen einmal über mehrere Jahre vielleicht sogar Jahrzehnte vergleicht, spart man mit den Leuchtdioden eine erstaunliche Summe. Beispielsweise hat man nach zehn Jahre schon eine Summe von über 2000Fr. gespart. Die einzigen Nachteile einer LED sind die punktuelle Beleuchtung, welches die FL-Röhre in grösseren Distanzen heller macht, welches wir auch gemessen haben (siehe Seite 19). Doch trotz diesem Nachteil, überwiegen die Vorteile. Die LED ist bestens geeignet als eine zukünftige Beleuchtungsvariante.

## Fazit

Unsere grösste Erfahrung und auch Erkenntnis, welche wir während unserer Projektarbeit gemacht haben, ist die Tatsache, dass es einfacher ist etwas sehr Kompliziertes zu verstehen, als das Komplizierte einfach zu erklären. Mit diesem Konflikt hatten wir es beide oft zu tun, während dem wir unsere IDPA schreiben. Dies hat auch eine weitere Erkenntnis zur Folge, wir hatten zum Teil den zeitlichen Aufwand unserer Arbeit völlig unterschätzt. Als wir zu Beginn der Arbeit, eine Planung erstellten, dachten wir, dass einige Arbeitsschritte wesentlich weniger Zeit brauchen, als sie schlussendlich gebraucht hatten. Deshalb konnten wir unsere Planung einige Male nicht einhalten, dies konnten wir aber mit ein paar Extraschichten wieder kompensieren. Dabei muss man aber auch erwähnen, dass wir in diverse Teilthemen unserer IDPA so vertieft und daran interessiert waren, dass wir uns viel zu tief in das Thema hineinarbeiteten. Denn diese Informationen, welche wir daraus bekamen, gingen viel zu tief in das Thema und dies hätte dann den Umfang unsere Projektarbeit weit ausgedehnt. Aber wir konnten mittels Diskussionen ein gutes Mittelmass finden. Jedoch muss beachtet werden, dass wir bei der Einhaltung unsere Planung, noch ein grosses Verbesserungspotenzial aufweisen, wir haben aus dieser Erfahrung einiges gelernt.

Die wichtigsten Ereignisse sind eigentlich währen dem Experiment entstanden, beziehungsweise bei der Datenauswertung des Versuchs. Beim Versuch mit den Messungen der Beleuchtungsstärke und dem „Stromverbrauch“ von der Leuchtdiode gegenüber der FL-Röhre oder der gewöhnlichen Glühlampe, hatten wir den grössten Erfolg. Als wir uns Anfangs über das Thema erkundigt haben, war überall die Rede davon, dass die LED die neue aufkommende Art der modernen Beleuchtung sei. Der Wirkungsgrad sei besser, die Effizienz, der Strombedarf, etc. Als wir die Daten, welche wir mittels unseres Versuchs gewonnen haben auswerteten, wurden diese Informationen uns bestätigt. Wir konnten mittels unseren Messungen und unserer Vergleichsberechnung schwarz auf weiss deklarieren, dass die LED wirklich grosses Potenzial hat, als zukünftige Beleuchtung eingesetzt zu werden. Dies war ein tolles Gefühl.

Die Arbeit ist im grossen und ganzen Gut gelungen. Die wichtigen Ziele unsere Arbeit wurden alle erreicht. Wir wissen wie eine LED funktioniert, wir wissen wie die Leuchtdiode aufgebaut ist und wir wissen wie sich die Licht emittierende Diode von der konventionellen Beleuchtung im Bereich Energiebedarf unterscheidet. Während den praktischen Teil traten nur kleinere Schwierigkeiten auf, welche wir aber sehr schnell in den Griff bekamen, was uns aber eher zu schaffen gemacht hat, war wie oben schon erwähnt, die aufgenommen Informationen, verständlich und logisch zu formulieren. Dieses Problem konnten wir nur lösen, indem wir uns tief mit dem Thema beschäftigten, wir mussten unsere Informationen von mehreren Quellen beziehen. Diese Inhalte der Quellen, konnten wir zum Teil auch nur mit der Hilfe von Lehrkräften interpretieren, aber somit konnten wir dieses Problem lösen.



## Literaturverzeichnis

- Anschaffungskosten LED-Röhre, 2014, <http://www.ledfox.ch/webshop/led-rohren/t8-led-rohre-150cm-25w-neutralweiss-mit-mattierter-linse.html>, 08.03.2014
- Anschaffungskosten FL-Röhre, 2014, <http://www.conrad.ch/ce/de/product/572854/Leuchtstoffroehre-1200-mm-Osram-230-V50-Hz-G13-36-W-Kalt-Weiss-Leuchtstoffroehre?ref=list>, 08.03.2014
- Aufbau von Leuchtdioden, <http://www.dieenergiesparlampe.de/led-lampen/aufbau/>, 05.02.2014
- Die Entstehung der LED, 2013, [http://www.lichtmacherei.de/entstehung\\_der\\_led.htm](http://www.lichtmacherei.de/entstehung_der_led.htm), 02.03.2014
- EWB – Strompreise 2014 Kompakt und Premium, 2013, [http://www.ewbuchs.ch/Portals/0/Content/Wasser%20&%20Strom/Strom/Strompreise/2014/2014\\_KompaktPremium.pdf](http://www.ewbuchs.ch/Portals/0/Content/Wasser%20&%20Strom/Strom/Strompreise/2014/2014_KompaktPremium.pdf), 04.02.2014
- Fotoeffekt, 21.11.2013, <http://www.igo.uni-hannover.de/fileadmin/institut/pdf/AP/Versuche/D07b.pdf>, 21.11.2013
- Frequenzen der Wellen, 31.10.2013, <http://www.sengpielaudio.com/Rechner-wellenlaenge.htm>, 31.10.2013
- Leuchtdiode, 05.02.2014, <http://de.wikipedia.org/wiki/Leuchtdiode>, 05.02.2014
- Leuchtdiode, 09.01.2014, <http://de.wikipedia.org/wiki/Leuchtdiode>, 09.01.2014
- Leuchtstoffröhre, 31.01.2014, <http://de.wikipedia.org/wiki/Leuchtstofflampe>, 05.02.2014
- Max Planck und die Quantenphysik, 2011, <http://www.youtube.com/watch?v=FLEaCN7rOC8>, 08.12.2013
- Photon, <http://www.wortbedeutung.info/Photon/>, 28.11.2013
- Quantenphysik, 06.12.2013, <http://de.wikipedia.org/wiki/Quantenphysik>, 08.12.2013
- Was ist elektromagnetische Wechselwirkung?, 2013, [http://www.physicsmasterclasses.org/exercises/bonn1/de/ww\\_elektromag.htm](http://www.physicsmasterclasses.org/exercises/bonn1/de/ww_elektromag.htm), 04.12.2013
- Wiesinger, J. (2008). LED – die leuchtende Revolution. Auto & Wissen, S. 8-11.

## Eidesstattliche Erklärung

„Ich versichere, dass ich die Arbeit selbstständig angefertigt, nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt, alle benutzten Quellen und Hilfsmittel angegeben sowie wörtliche und sinngemässe Zitate gekennzeichnet habe.“

---

Ort, Datum

---

Unterschrift

---

Ort, Datum

---

Unterschrift

## **Danksagung**

Wir möchten uns bei Herrn Lenherr bedanken, für die Bereitstellung der LED-Röhre, welche wir benötigt haben, um unsere Messungen durchzuführen und für das Messgerät EMU 1.29k, mit dem wir die Spannung und den Strom für die LED-Röhre messen konnten. Besten Dank.

Wir möchten uns bei Herrn Bärtsch bedanken, für die Bereitstellung des Demoraums und den Baukasten im BZB. Mittels diesen Hilfsmittel konnten wir den Versuch 3 sauber aufbauen und auch die notwendigen Messungen durchführen. Herzlichen Dank.

## Projektjournal Marcel Brunner

<b>Thema: Informationsbeschaffung</b>	<b>Datum, Dauer: 17.10.13, 2h</b>
<b>Tätigkeiten</b> Welche Arbeiten wurden ausgeführt? Bearbeitete Themen? Arbeitsschritte? Wie bin ich vorgegangen? Eingesetzte Techniken und Hilfsmittel? Wichtigste Ergebnisse? Wer hat was gemacht? Wo wurde gearbeitet?	
<b>Bei einer gemütlichen Mittagspause in meiner Firma, entdeckte ich einen sehr interessanten Artikel über LED Beleuchtung. Am Abend darauf, habe ich einige sehr wichtige und interessante Information schriftlich zusammengefasst.</b>	
<b>Reflexion</b> Wie ist es mir bei der Arbeit persönlich ergangen? Probleme, positive oder negative Erfahrungen, Ursachen und Begründungen dazu? Was habe ich gelernt? Was muss ich ändern? Wie weiter? <b>(Zwischenziel setzen!)</b>	
<b>Bei einer gemütlichen Mittagspause in meiner Firma, entdeckte ich einen sehr interessanten Artikel über LED Beleuchtung. Am Abend darauf, habe ich einige sehr wichtige und interessante Information schriftlich zusammengefasst.</b>	

<b>Thema: Besprechung mit Herr Lenherr</b>	<b>Datum, Dauer: 24.10.13, 15min</b>
<b>Tätigkeiten</b> Welche Arbeiten wurden ausgeführt? Bearbeitete Themen? Arbeitsschritte? Wie bin ich vorgegangen? Eingesetzte Techniken und Hilfsmittel? Wichtigste Ergebnisse? Wer hat was gemacht? Wo wurde gearbeitet?	
<b>Wir hatten vor den Herbstferien unsere Projektanmeldung und den Zeitplan abgegeben, Herr Lenherr hat diese Dokumente über die Herbstferien dokumentiert und mit Ian und mir das Gespräch gesucht. Ein paar wenige kleine Fehler waren noch vorhanden, aber die Arbeit scheint dem Lehrer sowie natürlich auch uns sehr sinnvoll und interessant. Somit durften Ian und ich mit unsere Arbeit endlich beginnen</b>	
<b>Reflexion</b> Wie ist es mir bei der Arbeit persönlich ergangen? Probleme, positive oder negative Erfahrungen, Ursachen und Begründungen dazu? Was habe ich gelernt? Was muss ich ändern? Wie weiter? <b>(Zwischenziel setzen!)</b>	
<b>Da der Lehrer einverstanden war mit unserer Zielsetzung und der Arbeit, freute mich das sehr, weil ich mich schon auf die interessante Arbeit mit der LED-Beleuchtung eingestellt habe. Nun beginnt der erste Schritt der Arbeit, die Informationsbeschaffung.</b>	

<b>Thema: Informationsbeschaffung</b>	<b>Datum, Dauer: 31.10.13, 45min</b>
<b>Tätigkeiten</b>	
Welche Arbeiten wurden ausgeführt? Bearbeitete Themen? Arbeitsschritte? Wie bin ich vorgegangen? Eingesetzte Techniken und Hilfsmittel? Wichtigste Ergebnisse? Wer hat was gemacht? Wo wurde gearbeitet?	
<p><b>Ich habe im Internet nach Informationen über die Funktion und den Aufbau der LED gesucht, und habe da einen interessanten Artikel gefunden. Ich habe angefangen diesen Artikel und den vom letzten Mal noch fertig zusammenzufassen. Nun habe ich schon einige genauen Informationen über die Funktion einer LED und den Fotoeffekt.</b></p>	

<b>Reflexion</b>	
Wie ist es mir bei der Arbeit persönlich ergangen? Probleme, positive oder negative Erfahrungen, Ursachen und Begründungen dazu? Was habe ich gelernt? Was muss ich ändern? Wie weiter? ( <b>Zwischenziel setzen!</b> )	
<p><b>Auch bei dieser Arbeit, hatte ich gutes Gelingen. Ich war sehr motiviert und neugierig, denn die Informationen, welche ich gefunden habe, waren sehr interessant. Nun habe ich schon meine ersten Informationen gesammelt und zusammengefasst, aber ich muss noch mehr zu diesem Thema finden, weil ich immer noch ein paar offene Fragen habe.</b></p>	

<b>Thema: Fotoeffekt Teil I</b>	<b>Datum, Dauer: 7.11.13, 45min</b>
<b>Tätigkeiten</b>	
Welche Arbeiten wurden ausgeführt? Bearbeitete Themen? Arbeitsschritte? Wie bin ich vorgegangen? Eingesetzte Techniken und Hilfsmittel? Wichtigste Ergebnisse? Wer hat was gemacht? Wo wurde gearbeitet?	
<p><b>Ich musste den Teil vom Artikel, welcher das Licht bzw. den Fotoeffekt erklärt noch zusammenfassen. Dabei handelte es sich um eine komplexe Theorie, welche ich zum Teil nicht nachvollziehen konnte. Ich recherchierte im Internet nach verständlicheren Informationen, stiess dabei auf viele Internetseiten. Dabei konnte aber keine wirklich meinem Verständnis eine befriedigende Erklärung liefern. Nun musste ich tiefer in das Thema, ich musste mich mit der Quantenmechanik befassen, dabei habe ich einen interessanten Artikel gefunden und ein Video in Youtube, welches den Teil der Quantentheorie, welcher für mich wichtig ist, gut erklärt. Da das Thema sehr interessant ist und auch verständlich erklärt, habe ich beschlossen ein kleinen Teil, in meine Projektarbeit hineinzufließen zu lassen, und habe mir die wichtigsten Informationen notiert. Aber bevor ich mir Gedanken mache, über das genau Geschehen der Quantenphysik, musste ich noch den Teil des Photoeffekts fertig machen.</b></p>	

<b>Reflexion</b>	
Wie ist es mir bei der Arbeit persönlich ergangen? Probleme, positive oder negative Erfahrungen, Ursachen und Begründungen dazu? Was habe ich gelernt? Was muss ich ändern? Wie weiter? ( <b>Zwischenziel setzen!</b> )	
<p><b>Als ich den Artikel las und das Video sah, wurde ein extremes Interesse in mir geweckt. Die Quantentheorie und das Verständnis was Licht ist, begeistert mich sehr. Es war eine sehr positive Erfahrung und brachte mir ein Motivationsschub. Ich habe nun ein besseres Verständnis, wie man Licht interpretieren soll, ich muss aber dies noch so einfach erklären können, dass dies andere auch können.</b></p>	

<b>Thema: Fotoeffekt Teil II</b>	<b>Datum, Dauer: 14.11.13, 45min</b>
<b>Tätigkeiten</b>	
Welche Arbeiten wurden ausgeführt? Bearbeitete Themen? Arbeitsschritte? Wie bin ich vorgegangen? Eingesetzte Techniken und Hilfsmittel? Wichtigste Ergebnisse? Wer hat was gemacht? Wo wurde gearbeitet?	
<p><b>Ich war immer noch damit beschäftigt meine hochkomplizierten Informationen über den Photoeffekt und der Quantenphysik über das Licht vereinfacht zusammenzufassen. Ich musste auch darauf achten, dass ich nicht zu vertieft in die Quantenphysik eindringe, denn ich brauche nur so viele Informationen, die man benötigt, um die Wahrnehmung von Licht interpretieren zu können. Ich versuchte diesen Teil der Informationen so einfach wie es geht, zusammenzufassen, war aber immer noch nicht ganz damit fertig.</b></p>	
<b>Reflexion</b>	
Wie ist es mir bei der Arbeit persönlich ergangen? Probleme, positive oder negative Erfahrungen, Ursachen und Begründungen dazu? Was habe ich gelernt? Was muss ich ändern? Wie weiter? <b>(Zwischenziel setzen!)</b>	
<p><b>Wie auch schon beim ersten Teil, fand ich die Arbeit sehr interessant. Ich versuche nun den Teil der Quantenphysik, beim dritten Teil abzuschliessen, damit ich diesen Teil hinter mich bringe.</b></p>	

<b>Thema: Fotoeffekt Teil III</b>	<b>Datum, Dauer: 21.11.13, 45min</b>
<b>Tätigkeiten</b>	
Welche Arbeiten wurden ausgeführt? Bearbeitete Themen? Arbeitsschritte? Wie bin ich vorgegangen? Eingesetzte Techniken und Hilfsmittel? Wichtigste Ergebnisse? Wer hat was gemacht? Wo wurde gearbeitet?	
<p><b>Ich hatte meinen Teil mit der Interpretation vom Fotoeffekt beinahe abgeschlossen. Mittels Informationen und ein paar wenigen Erkenntnisse der Quantenphysik konnte ich die Interpretation von Licht einigermaßen verständlich und gut erklären. Aber dabei erklärte ich noch viele komplexe Sachen, welche zwar das Vorgehen der Teilchen verständlich machten, aber das Verhalten nicht begründeten. Ich musste deshalb noch einen kleinen Teil der Quantenphysik miteinbeziehen. Und ich musste einige Vorgänge erklären, und dabei kam noch eine Frage auf, was ein Photon ist. Nach der Erklärung dieser Sache, war mein Teil, über den Fotoeffekt abgeschlossen, und der Teil der Quantenphysik begann.</b></p>	
<b>Reflexion</b>	
Wie ist es mir bei der Arbeit persönlich ergangen? Probleme, positive oder negative Erfahrungen, Ursachen und Begründungen dazu? Was habe ich gelernt? Was muss ich ändern? Wie weiter? <b>(Zwischenziel setzen!)</b>	
<p><b>Diesen Teil der Arbeit, hat mich sehr interessiert, deshalb bin ich auch sehr gut vorangekommen. Nun ist mein Teil vom Fotoeffekt abgeschlossen. Ich muss mir jetzt noch Gedanken drüber machen, ob ich noch ein wenig tiefer in das Gebiet in der Quantenphysik eingehen will. Und laut Zeitplan, sollte ich mit der Materialbeschaffung vom Projekt beginnen.</b></p>	

<b>Thema: Materialbeschaffung</b>	<b>Datum, Dauer: 28.11.13, 45min</b>
<b>Tätigkeiten</b>	
Welche Arbeiten wurden ausgeführt? Bearbeitete Themen? Arbeitsschritte? Wie bin ich vorgegangen? Eingesetzte Techniken und Hilfsmittel? Wichtigste Ergebnisse? Wer hat was gemacht? Wo wurde gearbeitet?	
<p><b>Der erste Teil der praktischen Arbeit fing an, ich machte mir in der Schule Gedanken, was ich genau vergleichen will, und welches Material ich noch benötige. Ich wollte nicht nur ein Vergleich von LED und konventioneller Beleuchtungsmitteln machen, sondern mehrere. LED im Vergleich zur Glühfadenlampe, LED im Vergleich zur Leuchtstoffröhre und LED im Vergleich zu Halogenlampen. Ich möchte die LED-Beleuchtung mit mehreren anderen Beleuchtungsmitteln vergleichen, damit man sieht, dass die LED klare Vorteile gegenüber vielen anderen Beleuchtungen hat.</b></p> <p><b>Am Abend, als ich zuhause war, überlegte ich mir welche Beleuchtungsmittel ich wie Vergleichen konnte.</b></p>	
<b>Reflexion</b>	
Wie ist es mir bei der Arbeit persönlich ergangen? Probleme, positive oder negative Erfahrungen, Ursachen und Begründungen dazu? Was habe ich gelernt? Was muss ich ändern? Wie weiter? <b>(Zwischenziel setzen!)</b>	
<p><b>Wieder einmal ist es mit gut bei der Arbeit ergangen, weil ich endlich mit dem praktisch bezogenem Teil anfangen konnte. Ich musste noch einige Materialien zusammen sammeln und gewisse Messinstrumente organisieren, um mit dem praktischen Versuch beginnen zu können, aber ich hatte ja auch noch Zeit für das.</b></p>	

<b>Thema: Quantenphysik</b>	<b>Datum, Dauer: 4.12.2013 + 08.12.2013, 3.5h</b>
<b>Tätigkeiten</b>	
Welche Arbeiten wurden ausgeführt? Bearbeitete Themen? Arbeitsschritte? Wie bin ich vorgegangen? Eingesetzte Techniken und Hilfsmittel? Wichtigste Ergebnisse? Wer hat was gemacht? Wo wurde gearbeitet?	
<p><b>Als ich den Teil über den Photoeffekt abgeschlossen habe, tauchten noch Fragen und Unklarheiten auf. Ich musste tiefer ins Thema, also habe ich ein Teil meiner Arbeit der Quantenphysik gewidmet. Ich habe ein sehr gutes Video auf youtube.com gefunden, und habe diesem Video die wichtigsten Informationen entnommen. Mit zusätzlicher Recherche auf Wikipedia konnte ich meinen Teil der Quantenphysik zusammenfassen. Aber immer wieder tauchten Fragen auf, weil es ein anspruchsvolles Thema war, ich musste intensiv arbeiten und auch dementsprechend viel Zeit investieren.</b></p>	
<b>Reflexion</b>	
Wie ist es mir bei der Arbeit persönlich ergangen? Probleme, positive oder negative Erfahrungen, Ursachen und Begründungen dazu? Was habe ich gelernt? Was muss ich ändern? Wie weiter? <b>(Zwischenziel setzen!)</b>	
<p><b>Die Arbeit war sehr kopflastig, ich hatte zum Teil Mühe um die komplexen Zusammenhänge zu erkennen und zu Verstehen. Es war nicht ganz einfach, aber sehr interessant. Da aber dieser Teil der Arbeit abgeschlossen war, konnte ich mich endlich auf die LED und die praktische Arbeit fokussieren.</b></p>	

<b>Thema: Texte anpassen</b>	<b>Datum, Dauer: 12.12.2013, 45min</b>
<b>Tätigkeiten</b>	
Welche Arbeiten wurden ausgeführt? Bearbeitete Themen? Arbeitsschritte? Wie bin ich vorgegangen? Eingesetzte Techniken und Hilfsmittel? Wichtigste Ergebnisse? Wer hat was gemacht? Wo wurde gearbeitet?	
<p><b>Als ich heute mal meinen Teil der Dokumentation durchgelesen hatte, sah ich, dass nur Text vorhanden war. Die Formatierung stimmte nicht, und auch die Einstellung bezüglich vom Layout war nicht gemacht. Deshalb kümmerte ich mich um diese Einstellung, zudem habe ich auch noch einige Bilder eingefügt, welche den Text um einiges verständlicher machten, da die Bilder Funktionen und Aufbau von diversen Aktionen und Materialien aufzeigen.</b></p>	
<b>Reflexion</b>	
Wie ist es mir bei der Arbeit persönlich ergangen? Probleme, positive oder negative Erfahrungen, Ursachen und Begründungen dazu? Was habe ich gelernt? Was muss ich ändern? Wie weiter? <b>(Zwischenziel setzen!)</b>	
<p><b>Diesen Teil der Arbeit habe ich weniger gern gemacht. Solche Designarbeiten liegen mir nicht gut, ich sammle lieber Informationstexte und beschäftige mich mit den Funktionen und Zusammenhängen physikalischer und chemischer Phänomenen. Aber auch solche Arbeiten müssen erledigt werden. Nun konnte ich wieder weiter machen mit der Dokumentation.</b></p>	

<b>Thema: Funktion der LED I</b>	<b>Datum, Dauer: 19.12.13, 45min</b>
<b>Tätigkeiten</b>	
Welche Arbeiten wurden ausgeführt? Bearbeitete Themen? Arbeitsschritte? Wie bin ich vorgegangen? Eingesetzte Techniken und Hilfsmittel? Wichtigste Ergebnisse? Wer hat was gemacht? Wo wurde gearbeitet?	
<p><b>Nun ist der Teil des Photoeffekts und der Quantenphysik vorbei, alle Hintergründe sind erklärt, nun kommt das eigentliche Thema. Die Funktion der Leuchtdiode. Ich habe angefangen weitere Informationen zu sammeln, erstmals kurz zum Aufbau einer LED, hauptsächlich aber über die Wirkungsweise und die Funktion. Ich habe schon sehr schnell gemerkt, dass zum Teil Streitigkeiten anfallen über den Wirkungsgrad einer LED. Da gibt es je nach Informationsquelle, Zahlen von 20 – 90%, was ja sehr unterschiedlich ist. Ich habe dadurch beschlossen, mit meinem Berufsschullehrer und meinem Physikerlehrer darüber zu reden, damit ich eine möglichst sichere Information angeben kann.</b></p>	
<b>Reflexion</b>	
Wie ist es mir bei der Arbeit persönlich ergangen? Probleme, positive oder negative Erfahrungen, Ursachen und Begründungen dazu? Was habe ich gelernt? Was muss ich ändern? Wie weiter? <b>(Zwischenziel setzen!)</b>	
<p><b>Ich war froh, dass ich die Hintergründe über das Licht und den Photoeffekt hauptsächlich abgeschlossen habe, nun konnte ich mich mit dem wesentlichen Thema auseinandersetzen, der LED. Durch diese Kenntnis sah ich auch endlich, unsere erste Fortschritte, ein grosses komplizierter Teil unserer Arbeit war schon abgeschlossen was mich ziemlich erfreute.</b></p>	



<b>Thema: Praxis, Berechnungen</b>	<b>Datum, Dauer: 09.01.2014</b>
<b>Tätigkeiten</b> Welche Arbeiten wurden ausgeführt? Bearbeitete Themen? Arbeitsschritte? Wie bin ich vorgegangen? Eingesetzte Techniken und Hilfsmittel? Wichtigste Ergebnisse? Wer hat was gemacht? Wo wurde gearbeitet?	
<p><b>Ich war hauptsächlich nur mit dem Theorieteil meiner Arbeit beschäftigt, in den Winterferien habe ich das Material besorgt. Ich bestellte einen Baukasten und ein Lux-Meter zur Messung der Beleuchtungsstärke von den jeweiligen Beleuchtungseinrichtungen. Nun musste ich mir klar machen, was ich genau miteinander vergleichen könnte. Das Ziel der Vergleiche ist es, möglichst viel zu zeigen wie sich die LED zu anderen Beleuchtungsmitteln unterscheidet. Damit kamen mir mal drei Vergleiche in den Sinn. Der erste Vergleich ist ein Produktvergleich zwischen einer Velolampe, welche einerseits mit einer Glühbirne leuchtet, andererseits mit einer LED. Der zweite Vergleich war ebenfalls ein Produktvergleich, zwischen einer LED-Röhre und einer FL-Röhre. Der dritte Vergleich bezieht sich auf einen energetischen Vergleich, zwischen zwei Anlagen, welche beide mit der gleichen Bordspannung betrieben werden, und den gleichen Widerstand besitzen.</b></p>	
<b>Reflexion</b> Wie ist es mir bei der Arbeit persönlich ergangen? Probleme, positive oder negative Erfahrungen, Ursachen und Begründungen dazu? Was habe ich gelernt? Was muss ich ändern? Wie weiter? ( <b>Zwischenziel setzen!</b> )	
<p><b>Dieser Teil der Arbeit gefiel mir besonders, da es endlich auf die Praxis bezogen wird. Allein schon die Gedanken, wie ich die Anlage zu Hause aufbaue und den Vergleich mache, motivierten mich, da dies auch wirklich das Schaumaterial für den Unterschied ist, und nicht nur theoretische Fakten. Ich freue mich darauf.</b></p>	

<b>Thema: Funktion der LED II</b>	<b>Datum, Dauer: 16.1.2014</b>
<b>Tätigkeiten</b> Welche Arbeiten wurden ausgeführt? Bearbeitete Themen? Arbeitsschritte? Wie bin ich vorgegangen? Eingesetzte Techniken und Hilfsmittel? Wichtigste Ergebnisse? Wer hat was gemacht? Wo wurde gearbeitet?	
<p><b>Ich habe schon ein Teil an Informationen gesammelt, und wollte diesen auch zusammenfassen. Das Grundprinzip wie eine LED funktioniert und wie sie auch aufgebaut ist, aus welchen Materialien sie besteht und was genau passiert wenn man Spannung anlegt. Die Beschreibung über die Funktion der LED, ist eigentlich das letzte grosse theoretische Kapitel, aber auch eins von den wichtigsten. Doch bevor ich dieses Teilthema abschliesse, werde ich noch meine praktischen Messungen und Berechnungen durchführen.</b></p>	
<b>Reflexion</b> Wie ist es mir bei der Arbeit persönlich ergangen? Probleme, positive oder negative Erfahrungen, Ursachen und Begründungen dazu? Was habe ich gelernt? Was muss ich ändern? Wie weiter? ( <b>Zwischenziel setzen!</b> )	
<p><b>Ich finde die Arbeit immer noch sehr interessant, aber immer wieder Theorie. Deshalb beschloss ich nun, meinen praktischen Teil der Arbeit durchzuführen. Denn ich habe nun alle Messgeräte und die weiteren benötigten Geräte aufgetrieben. Das motivierte mich, da ich nun endlich einen Praxisbezug zur vielen Theoriearbeit habe.</b></p>	

<b>Thema: Messungen und Berechnungen I</b>	<b>Datum, Dauer: 19.1.14, 3h</b>
<b>Tätigkeiten</b>	
Welche Arbeiten wurden ausgeführt? Bearbeitete Themen? Arbeitsschritte? Wie bin ich vorgegangen? Eingesetzte Techniken und Hilfsmittel? Wichtigste Ergebnisse? Wer hat was gemacht? Wo wurde gearbeitet?	
<p><b>Ich habe heute angefangen mit meinen ersten Messungen und Berechnungen. Zuerst habe ich zwei Velolampen, welche die gleichen Batterien verbaut hatten, miteinander verglichen. Ich habe ein eigenes Testverfahren dafür ausgesucht. Ich habe die Beleuchtungsstärken beider Velolampen mit verschiedenen Abständen zur Messlinse gemessen. Danach habe ich noch mit den gemessenen Werten, die Leistung und den Strombedarf ausgerechnet. Der zweite und dritte Versuch werde ich in der Schule machen, da mir einige Utensilien zu Hause fehlen.</b></p>	
<b>Reflexion</b>	
Wie ist es mir bei der Arbeit persönlich ergangen? Probleme, positive oder negative Erfahrungen, Ursachen und Begründungen dazu? Was habe ich gelernt? Was muss ich ändern? Wie weiter? <b>(Zwischenziel setzen!)</b>	
<p><b>Ich bin sehr zufrieden mit diesem Nachmittag, er hat mich zwar viel Zeit gekostet, doch die Resultate der Messungen und der Berechnungen waren gut. Ich war sehr zufrieden, dass man schon anhand meines ersten Versuch, deutliche Unterschiede zwischen der LED-Velolampe und der einfachen Glühbirnen-Velolampe sah. Es machte mich auch sehr gespannt auf das Vergleichsduell zwischen der LED-Röhre und der FL-Röhre. Mein Ziel war es nun diese Messungen und Berechnungen durchzuführen und diese auch schriftlich ablegen.</b></p>	

<b>Thema: Berechnungen und Messungen II</b>	<b>Datum, Dauer: 22.1, 23.1, 29.1 – 3h</b>
<b>Tätigkeiten</b>	
Welche Arbeiten wurden ausgeführt? Bearbeitete Themen? Arbeitsschritte? Wie bin ich vorgegangen? Eingesetzte Techniken und Hilfsmittel? Wichtigste Ergebnisse? Wer hat was gemacht? Wo wurde gearbeitet?	
<p><b>Da ich nun alle Messgeräte habe und auch meine Vergleichsprodukte, startete ich mit den Messungen und den Berechnungen.</b></p> <p><b>Ich hatte jeweils den Raum völlig abgedunkelt, und habe das jeweilige Beleuchtungsmittel eingeschaltet, und die Beleuchtungsstärke mit einem Lux-Meter in jeweils verschiedenen Abständen gemessen. Dazu habe ich auch noch den Strom und die Betriebsspannung gemessen, denn diese Faktoren wirken sich ja auf die Leistung und den Verbrauch aus, was sich schlussendlich auf die Kosten bemerkbar macht. Somit habe ich alle interessanten und relevanten Daten, welche wichtig sind.</b></p>	
<b>Reflexion</b>	
Wie ist es mir bei der Arbeit persönlich ergangen? Probleme, positive oder negative Erfahrungen, Ursachen und Begründungen dazu? Was habe ich gelernt? Was muss ich ändern? Wie weiter? <b>(Zwischenziel setzen!)</b>	
<p><b>Die Arbeit hat mir sehr Spass gemacht, weil ich nun endlich die Vorteile der LED mit eigenen Augen sah. Meine Theorie wurde durch meinen Praxisbezug vollständig bestätigt. Auch wenn ich zum Teil lange hatte für die Messungen, machte es mir sehr Spass.</b></p>	

<b>Thema: Berechnungen und Messungen III</b>	<b>Datum, Dauer: 30.01.2014, 04.02.2014, 3h</b>
<b>Tätigkeiten</b>	
Welche Arbeiten wurden ausgeführt? Bearbeitete Themen? Arbeitsschritte? Wie bin ich vorgegangen? Eingesetzte Techniken und Hilfsmittel? Wichtigste Ergebnisse? Wer hat was gemacht? Wo wurde gearbeitet?	
<p><b>Ich habe heute alle gemessen und berechneten Resultate schön in Tabellen aufgegliedert. Da die Messungen nun beendet waren, musste ich sie nur noch in meine Dokumentation einfügen. Der praktische Teil meinerseits war fertig, ich habe die Resultate verglichen, und für jeden Versuch ein Fazit gezogen. Danach habe ich noch von jedem Versuch ein Bild eingefügt vom Versuchsaufbau. Da ich nun mit der schriftlichen Festlegung fertig war, hatte ich den praktischen Teil meiner Arbeit fast beendet. Es fehlten nur noch einige wenige Informationen von meinem Mitarbeiter, damit ich noch die Vergleichsberechnung beenden konnte. Aber der grösste Teil der praktischen Arbeit war geschafft.</b></p>	
<b>Reflexion</b>	
Wie ist es mir bei der Arbeit persönlich ergangen? Probleme, positive oder negative Erfahrungen, Ursachen und Begründungen dazu? Was habe ich gelernt? Was muss ich ändern? Wie weiter? <b>(Zwischenziel setzen!)</b>	
<p><b>Den Teil der Arbeit fand ich auch gut, da ich beim schriftlichen Festhalten meiner Versuche, immer wieder die Werte und Unterschiede, zwischen den Vergleichen sah. Zudem machte es mir Spass, meine gelungenen Messungen zu notieren. Auch beim Fazit ziehen, kam mir noch vieles auf. Nun bin ich in der Lage, die Zukunft der Beleuchtungsmittel einzuschätzen und mit wahrhaften Fakten zu widerlegen.</b></p>	
<b>Thema: Funktion der LED III</b>	<b>Datum, Dauer: 04.02.2014, 05.02.2014, 5h</b>
<b>Tätigkeiten</b>	
Welche Arbeiten wurden ausgeführt? Bearbeitete Themen? Arbeitsschritte? Wie bin ich vorgegangen? Eingesetzte Techniken und Hilfsmittel? Wichtigste Ergebnisse? Wer hat was gemacht? Wo wurde gearbeitet?	
<p><b>Ich musste noch alle Fragen klären, durch Besprechung mit meinem Berufsschullehrer und intensives Recherchieren konnte ich diese noch beantworten. Ich machte meinen Abschnitt über die Erklärung der Funktion einer LED fertig. Der Theorieteil war abgeschlossen. Das wesentliche meiner Arbeit war damit abgeschlossen, natürlich musste ich noch den ganzen Hauptteil überprüfen, aber er war endlich geschrieben. Ich hatte mit beiden Teilen elf Seiten, und hatte damit auch genug, auch als ich es kurz überflog, fand ich, dass ich das wesentliche erklärt habe. Aber ich musste sicher noch einige grafische Verbesserungen machen. Der Feinschliff fehlte noch.</b></p>	
<b>Reflexion</b>	
Wie ist es mir bei der Arbeit persönlich ergangen? Probleme, positive oder negative Erfahrungen, Ursachen und Begründungen dazu? Was habe ich gelernt? Was muss ich ändern? Wie weiter? <b>(Zwischenziel setzen!)</b>	
<p><b>Ich hatte eine Woche Semesterferien, und ich nahm mir vor jeden Abend an der IDPA zu arbeiten, ich habe dies geschafft und bin recht gut vorwärts gekommen. Ich bin froh, denn zum Teil hatte ich wirklich einen guten Lauf, ich nahm Informationen schnell auf, und grosses Interesse war immer vorhanden. Ich war auch sehr froh darüber, dass ich den Hauptteil grob fertig hatte.</b></p>	

<b>Thema: offene Fragen</b>	<b>Datum, Dauer: 13.02.2014, 45min</b>
<b>Tätigkeiten</b> Welche Arbeiten wurden ausgeführt? Bearbeitete Themen? Arbeitsschritte? Wie bin ich vorgegangen? Eingesetzte Techniken und Hilfsmittel? Wichtigste Ergebnisse? Wer hat was gemacht? Wo wurde gearbeitet?	
<p><b>Bei der Fertigstellung der theoretischen und praktischen Dokumentation sind noch einige Fragen aufgetaucht, wie ich was beschriften muss. Aber diese Fragen muss ich mit der Deutschlehrerin Frau Tempelmann klären. Aber auch bei der Übersicht ist mir aufgefallen, dass ich noch einige Verbesserungen vornehmen werde.</b></p>	
<b>Reflexion</b> Wie ist es mir bei der Arbeit persönlich ergangen? Probleme, positive oder negative Erfahrungen, Ursachen und Begründungen dazu? Was habe ich gelernt? Was muss ich ändern? Wie weiter? <b>(Zwischenziel setzen!)</b>	
<p><b>Diese Arbeit ist für mich eher mühsam, muss aber auch gemacht werden. Denn jeder Inhalt muss auch optisch gut wiederlegt werden. Deshalb werde ich hier noch einige Zeit investieren müssen.</b></p>	

<b>Thema: Formatierungen</b>	<b>Datum, Dauer: 20.2, 27.2, 06.03., 135min</b>
<b>Tätigkeiten</b> Welche Arbeiten wurden ausgeführt? Bearbeitete Themen? Arbeitsschritte? Wie bin ich vorgegangen? Eingesetzte Techniken und Hilfsmittel? Wichtigste Ergebnisse? Wer hat was gemacht? Wo wurde gearbeitet?	
<p><b>Ein sehr wichtiger Teil der Arbeit, welchen man noch gerne unterschätzt. Die Formatierungen. Wir hatten nun den ganzen Text, aber ich musste noch die theoretischen und praktischen Teile beider Personen zu einer Arbeit zusammenfassen. Dabei musste ich das Abbildungsverzeichnis und das Inhaltsverzeichnis erstellen, so wie noch gewisse Textstellen anpassen. Nach langer intensiver Arbeitszeit habe ich den Hauptteil richtig formatiert.</b></p>	
<b>Reflexion</b> Wie ist es mir bei der Arbeit persönlich ergangen? Probleme, positive oder negative Erfahrungen, Ursachen und Begründungen dazu? Was habe ich gelernt? Was muss ich ändern? Wie weiter? <b>(Zwischenziel setzen!)</b>	
<p><b>Zur Fertigstellung des Hauptteils, musste ich nur noch administrative Arbeiten erledigen. Diese Arbeit war für mich eher zeitintensiv, da ich manchmal Mühe habe mit solchen Arbeiten. Deshalb ist dies auch wieder ein eher schwieriger Teil für mich, aber ich habe ihn auch mit gutem Gelingen abgeschlossen.</b></p>	

<b>Thema: Titelblatt und Einleitung</b>	<b>Datum, Dauer: 07.03.2014, 2h</b>
<b>Tätigkeiten</b> Welche Arbeiten wurden ausgeführt? Bearbeitete Themen? Arbeitsschritte? Wie bin ich vorgegangen? Eingesetzte Techniken und Hilfsmittel? Wichtigste Ergebnisse? Wer hat was gemacht? Wo wurde gearbeitet?	
<p><b>Ich war für das Titelblatt und die Einleitung zuständig, Ian für das Fazit und das Abstract. Das Kreieren vom Titelblatt war eine Arbeit, welche mir Spass gemacht hat, weil da zum Glück keine Formatierungen vorgegeben waren. Ich machte das Titelblatt einfach und aussagekräftig. Die Einleitung wollte ich machen, da ich finde, ich weiss was ich formulieren muss, dass es den Leser anregt, unsere IDPA zu lesen.</b></p>	

<b>Reflexion</b> Wie ist es mir bei der Arbeit persönlich ergangen? Probleme, positive oder negative Erfahrungen, Ursachen und Begründungen dazu? Was habe ich gelernt? Was muss ich ändern? Wie weiter? ( <b>Zwischenziel setzen!</b> )	
<p><b>Die Arbeit hat mir auch gut gefallen, neben den ganzen kopflastenden Hauptteilarbeiten und den mühsamem Formatierungsarbeiten, hat mir das Erstellen von Titelblatt und Einleitung Spass gemacht.</b></p>	

<b>Thema: Abschluss</b>	<b>Datum, Dauer: 08.03.2014, 5h</b>
<b>Tätigkeiten</b> Welche Arbeiten wurden ausgeführt? Bearbeitete Themen? Arbeitsschritte? Wie bin ich vorgegangen? Eingesetzte Techniken und Hilfsmittel? Wichtigste Ergebnisse? Wer hat was gemacht? Wo wurde gearbeitet?	
<p><b>Der letzte Teil der Arbeit war das Inhaltsverzeichnis, die eidesstattliche Erklärung und eine Danksagung, sowie die Fertigstellung dieses Arbeitsjournals. Um all diese Dokumente fertig zu stellen und noch einen letzten Blick über meine Arbeit zu werfen, brauchte ich doch noch einige Zeit. Denn ich wollte meine Arbeit mit Sorgfalt beenden.</b></p>	

<b>Reflexion</b> Wie ist es mir bei der Arbeit persönlich ergangen? Probleme, positive oder negative Erfahrungen, Ursachen und Begründungen dazu? Was habe ich gelernt? Was muss ich ändern? Wie weiter? ( <b>Zwischenziel setzen!</b> )	
<p><b>Ich war sehr motiviert diese letzten Arbeiten in Angriff zu nehmen, da nun endlich ein Ende zu sehen war. Damit will ich nicht sagen, dass ich froh bin nicht mehr an der mühsamen IDPA schreiben zu müssen, sondern ich war froh, dass ich meine Arbeit, worin ich viel Energie und Herzblut investiert habe, langsam zu Ende ging. Da ich auch nach Abschluss dieser Arbeit, ein tolles Produkt haben werde. Als ich noch die letzten paar Kontrollen durchführte, war die Arbeit endlich geschafft! Es war eine strenge Zeit aber in Verknüpfung mit einer tollen und lehrreichen Erfahrung.</b></p>	

## Projektjournal Ian Lee Rechsteiner

<b>Thema: LED</b>	<b>Woche 43, ca. 2h:</b>
<b>Tätigkeiten</b>	
Diese Woche habe ich mit der Informationsbeschaffung über die Geschichte der LED begonnen.	

<b>Thema: LED</b>	<b>Woche 44, ca. 2h:</b>
<b>Tätigkeiten</b>	
Diese Woche war die Informationsbeschaffung über den Aufbau der LED an der Reihe.	

<b>Thema: LED</b>	<b>Woche 45, ca. 2.5h:</b>
<b>Tätigkeiten</b>	
In dieser Woche habe ich nach Informationen über den Vergleich von LEDs und konventioneller Beleuchtung gesucht.	

<b>Thema: LED</b>	<b>Woche 46, ca. 2h:</b>
<b>Tätigkeiten</b>	
Diese Woche habe ich mit der Informationsbeschaffung über die Geschichte der LED begonnen.	

<b>Thema: LED</b>	<b>Woche 47, ca. 2.5h:</b>
<b>Tätigkeiten</b>	
In dieser Woche habe ich Infos über die Marktauglichkeit der LED im Internet gesucht.	

<b>Thema: LED</b>	<b>Woche 48, ca. 2h:</b>
<b>Tätigkeiten</b>	
Diese Woche habe ich mit der Informationsbeschaffung über die Geschichte der LED begonnen.	

<b>Thema: LED</b>	<b>Woche 49, ca. 1.5h:</b>
<b>Tätigkeiten</b>	
Vorlage für Dokumentation damit nachher alles seine Form hat und gleich aussieht Anmeldung auf myclimate.	

<b>Thema: LED</b>	<b>Woche 50, ca. 2h:</b>
<b>Tätigkeiten</b>	
Diese Woche habe ich mit der Informationsbeschaffung über die Geschichte der LED begonnen.	

<b>Thema: LED</b>	<b>Woche 51, ca. 2h:</b>
-------------------	--------------------------

<b>Tätigkeiten</b>	
Arbeit an der Dokumentation, Informationen aufs Blatt bringen.	

<b>Thema: LED</b>	<b>Woche 02, ca. 3h:</b>
<b>Tätigkeiten</b>	
Erste Arbeit nach den Ferien war das arbeiten an der Dokumentation.	

<b>Thema: LED</b>	<b>Woche 03, ca. 2h:</b>
<b>Tätigkeiten</b>	
Diese Woche habe ich mit der Informationsbeschaffung über die Geschichte der LED begonnen.	

<b>Thema: LED</b>	<b>Woche 04, ca. 2h:</b>
<b>Tätigkeiten</b>	
Versuch mit Luxmeter im Nebenraum mit Marcel. Schreiben an der Dokumentation.	

<b>Thema: LED</b>	<b>Woche 05, ca. 2.5h:</b>
<b>Tätigkeiten</b>	
Überlegungen für ideale Materialwahl für Modell. Inkl. Kostenschätzung für Anschaffungskosten.	

<b>Thema: LED</b>	<b>Woche 07, ca. 2h:</b>
<b>Tätigkeiten</b>	
Schreiben an Dokumentation..	

<b>Thema: LED</b>	<b>Woche 08, ca. 1.5h:</b>
<b>Tätigkeiten</b>	
Beginn mit Bau von Modell.	

<b>Thema: LED</b>	<b>Woche 09, ca. 2h:</b>
<b>Tätigkeiten</b>	
Fertigschreiben der Dokumentation.	

<b>Thema: LED</b>	<b>Woche 10, ca. 3.5h:</b>
<b>Tätigkeiten</b>	
Bau des Modells. Inkl. Anmalen.	

<b>Thema: LED</b>	<b>Woche 11, ca. 2h:</b>
<b>Tätigkeiten</b>	
Abgabe Dokumentation	

<b>Rechsteiner, Ian Lee:</b>
<b>Reflexion</b>
Für mich war die Arbeit eine sehr grosse Herausforderung da ich weder Vorwissen von LEDs noch von elektrischen Strom hatte. Ich bin allerdings froh das ich auch diese Arbeit gemeistert habe und dadurch einen Schritt weiter an meiner Matura bin.



## Projektplanung

<b>Planung der Projektarbeit</b>	
<b>durchzuführende Arbeiten</b>	<b>Dauer der Arbeiten</b>
Informationsbeschaffung	4 Wochen
	17.10.13 - 14.11.13
Erstellen und Bearbeiten der Dokumentation	5 Wochen
theoretischer Teil	14.11.13 - 19.12.13
Materialbeschaffung vom Modell / Versuch	3 Wochen
	14.11.13 - 05.12.13
<b>Herstellung und Fertigung Modell / Versuch</b>	<b>5 Wochen</b>
	<b>05.12.13 - 23.01.14</b>
Bearbeiten und Fertigung der Dokumentation praktischer Teil	5 Wochen
	19.12.13 - 13.02.14
Beschaffung vom Vortragsmaterial	3 Wochen
	13.02.14 - 06.03.14
<b>Abgabe Dokumentation</b>	<b>13.03.2014</b>