

## LED Scheinwerfer

Der Scheinwerfer soll zur Untertage-Fotografie mit Langzeitbelichtung eingesetzt werden.

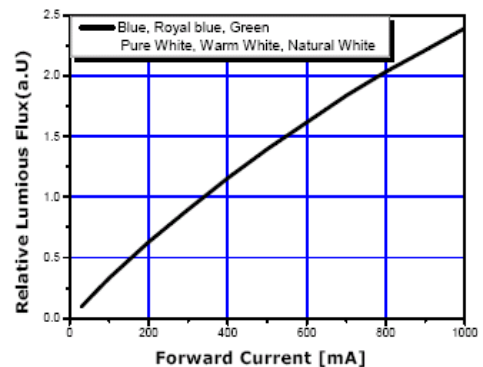
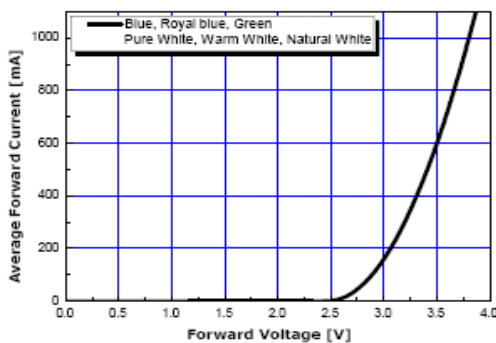
Als Lichtquelle dienen 4 superhelle 4W-P4-LEDs von Seoul, die Stromversorgung übernimmt ein 6V-Bleiakku oder ein 7.2V-NiCd-Akku.

### Anforderungen an die Schaltung

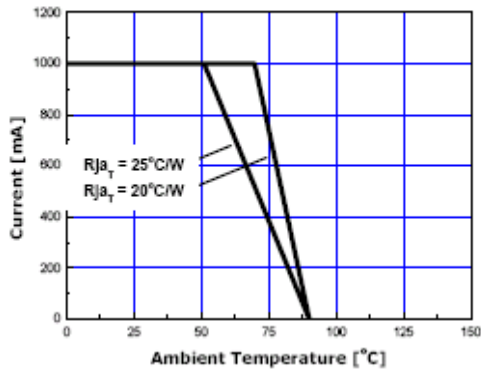
- Wegen der stark nichtlinearen Kennlinie können die LEDs nur in Reihe geschaltet werden, da sonst bei kleinen Toleranzen ein sehr unterschiedlicher Strom fließt. Dies bedingt eine Spannung von ca.  $4 \times 4\text{V} = \text{ca. } 16\text{V}$ , die aus der Batterie mit Hilfe eines Stepup-Wandlers erzeugt werden muss.
- Wegen des Temperaturkoeffizienten der LEDs muß der Strom geregelt werden.
- Die Lichtstärke soll mit den Tastern „Up“ und „Down“ in Stufen eingestellt werden können, zusätzlich soll ein „Boost“-Taster kurzzeitigen Betrieb mit maximaler Helligkeit erlauben.
- LEDs strahlen wegen der gegenüber Glühlampen viel niedrigen Temperatur ihre Wärme schlecht ab, sie brauchen unbedingt ein Kühlblech. Da hier eine Leistung von 16W umgesetzt wird, ist zusätzlich ein Lüfter erforderlich.
- Es gibt fertige LED-Treiber-ICs für diesen Zweck, allerdings praktisch nur in winzigen SMD-Gehäusen. Ausserdem schien es reizvoll, alle Steuer- und Regelaufgaben von einem Mikrocontroller ausführen zu lassen.

### LEDs

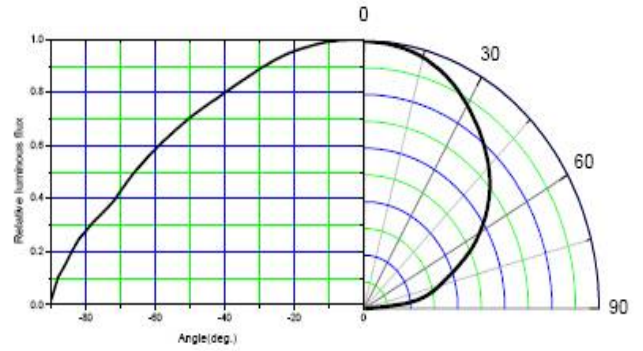
Seoul Z-LED P4 Star U-Ranking bis ca. 240lm White



### 1-3. Pure White, Green, Royal Blue, Blue ( $T_{JMAX} = 90^{\circ}\text{C}$ , at 1000mA)

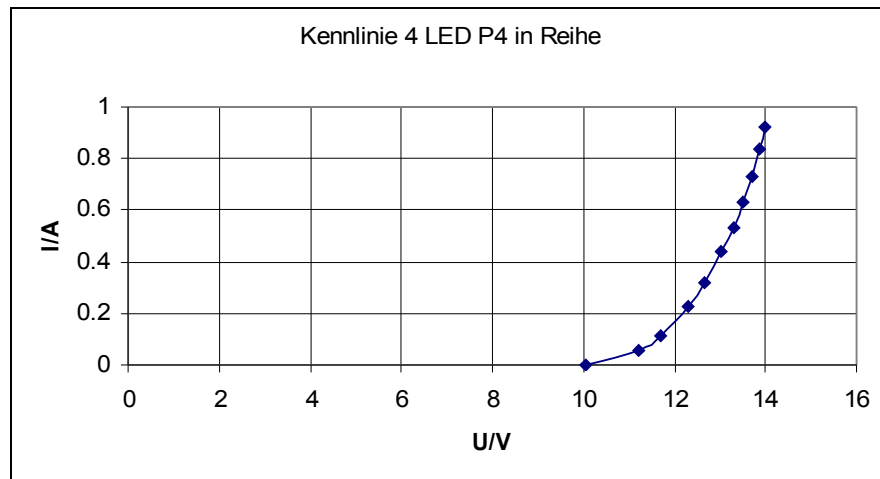


### 1. Pure White



Lichtstärke: 100 Lumen bei 0.35A  
 Grenzdaten:  $I_{max} = 1\text{A}$  bei  $T_j = 90^{\circ}\text{C}$   
 $P_{max} = 4\text{W}$

Messung der Durchlasskennlinie:



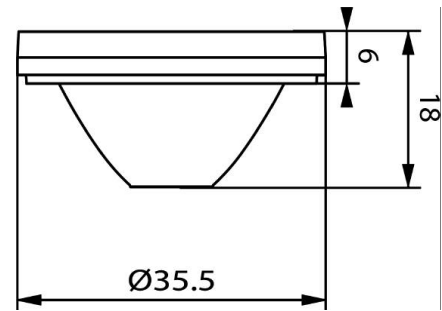
### Linsen, Kühlkörper, Lüfter

Anfangs sollte das Gerät mit kleineren Linsen der ungefähren Größe 20mm x 20mm aufgebaut werden. Erste Versuche zeigten aber ein schlechtes Ergebnis, so daß auf größere Linsen „umgeschaltet“ wurde, und zwar 8°-Kollimatorlinsen der Firma Gaggione von 35.5mm Durchmesser.

Diese wurden in Linsenhalter aus Plexiglas „eingebettet“.

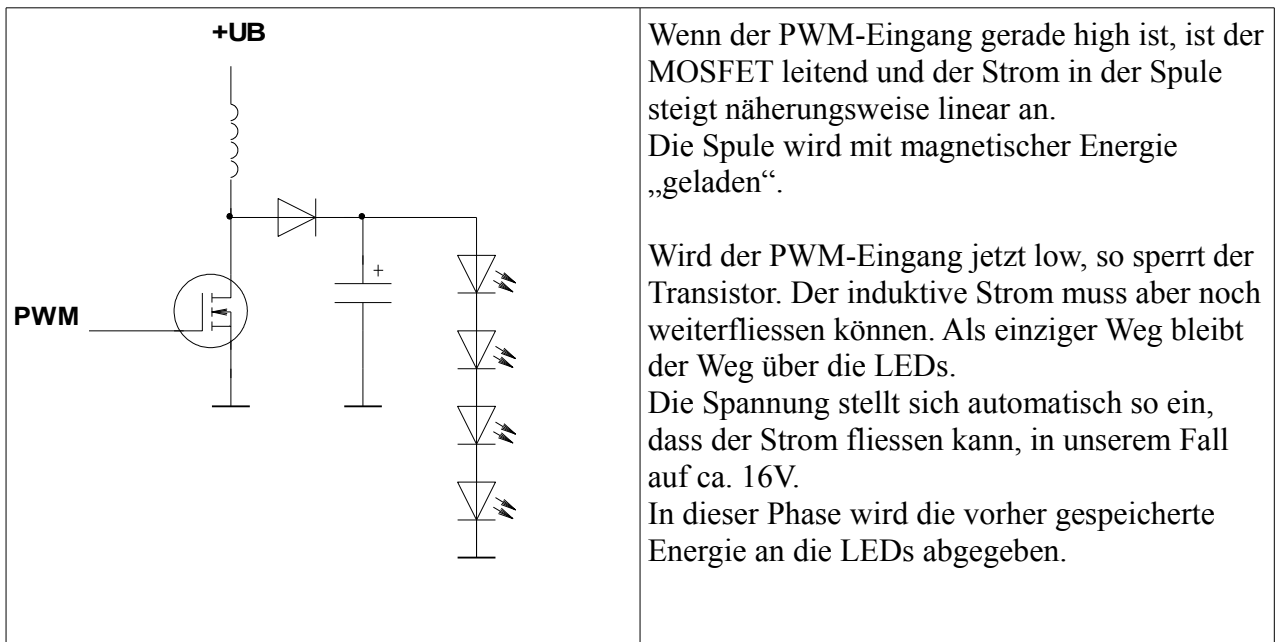
Das Ganze wurde auf ein 90mm x 90mm grosses Alublech geschraubt, welches auch als Kühlblech dient.

Da das Blech sehr heiß wird, was dem Wirkungsgrad und der Lebensdauer der LEDs abträglich ist, wurde ein kleiner Lüfter KD0504PFS2 (5V / 0.16A / 0.8W) hinter dem Kühlblech angebracht.



## Step-Up-Wandler

### Prinzip:



Hier sind einige Détails zu beachten:

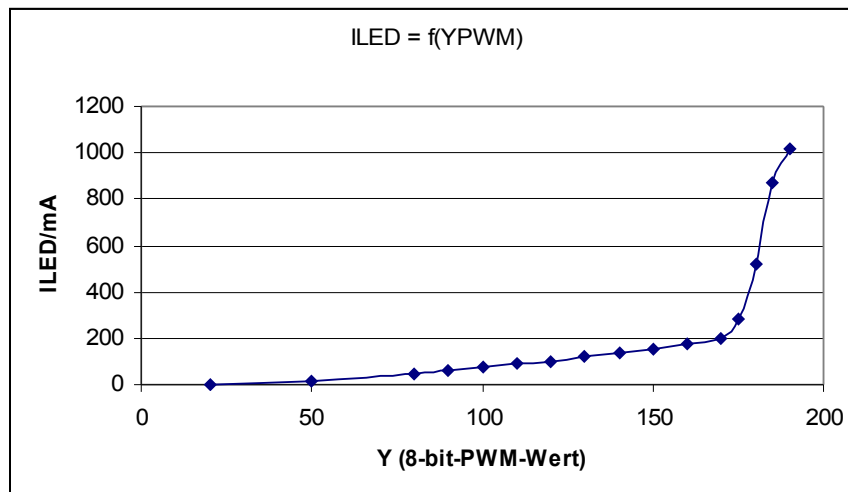
- Das PWM-Tastverhältnis wird vom Mikrocontroller so geregelt, dass der Strom seinen Sollwert erreicht. Um den Strom-Istwert zu erfassen enthält die praktische Schaltung einen Shuntwiderstand.
- Es fließen bei einer maximalen LED-Leistung von 16W bei einer Akku-Spannung von 6V schon ordentliche maximale Ströme von über 3A durch den Transistor. Dieser sollte einen möglichst kleine Durchlass-Widerstand (im Milli-Ohm-Bereich) haben, damit er nicht zu heiß wird und der Wirkungsgrad akzeptabel ist. Aus dem gleichen Grund muß die Diode eine schnelle Schottky-Diode sein.

- Schnelligkeit ist auch bei der Ansteuerung des Transistors ein Thema, da sonst bei Frequenzen im kHz-Bereich die Schaltverluste zu groß werden.

Anfangs sollte der Strom mit Hilfe eines Allegro-Stromwandlers ACS712ELCTR-05B-T erfasst werden. Dieser hat einen extrem kleinen Widerstand da er nicht als Shunt funktioniert, sondern das durch den Strom verursachte Magnetfeld erfasst. Erste Versuche zeigten aber schnell, dass der Sensor für dieses Projekt unbrauchbar ist, da er erstens zu stark auf Fremdfelder reagiert und zweitens eine analoge, mit Offset versehene wenig variierende Ausgangsspannung abgibt, die erst aufbereitet werden muss.

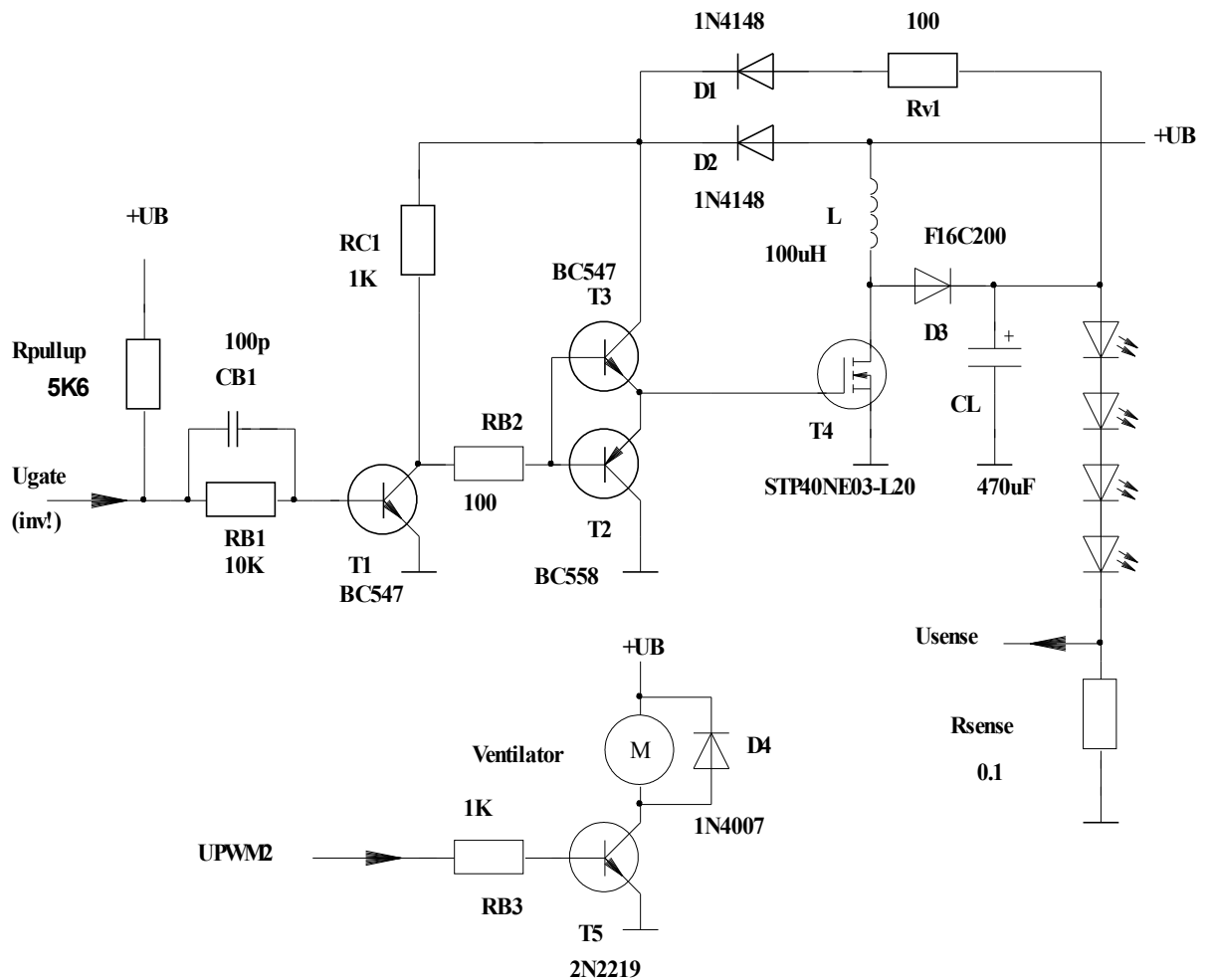
Zum Gatedriver wurden einige Untersuchungen mit SPICE gemacht, um mit herkömmlichen Bauteilen eine einfache und schnelle Schaltung zu bekommen.

Der Mikrocontroller wurde zunächst als unregelter PWM-Generator zusammen mit dem Schaltnetzteil aufgebaut. Hiermit konnte die stark nichtlineare Steuerkennlinie der Dioden aufgenommen werden ( $U_B = 6V$ ):



Anschliessend wurde im Controller der digitale PI-Algorithmus implementiert, der von der LED-Lampe übernommen wurde. Die einzigen Totzeiten im System sind die Zykluszeit des Regelalgorithmus (2ms) und die Taktzeit des PWM. Da diese beide klein sind im Vergleich zur Ausgleichszeit die durch den Glättungselko festgelegt ist, gibt es keine Probleme mit Instabilitäten und die Parameter lassen sich praktisch frei wählen. So wurde auf eine bewährte Kombination ( $K_{pr} = 0.36$ ,  $T_n = 30ms$ ) zurückgegriffen.

## Leistungsteil:



Der Gatedriver ist invertierend aufgebaut. Für den Fall dass dieser Teil gesondert in Betrieb genommen wird, sorgt  $R_{pullup}$  dafür, dass der MOSFET im Ruhezustand gesperrt ist.

Die Betriebsspannung des Gatedrivers wird zunächst über D2 aus der allgemeinen Betriebsspannung (6 oder 7.2V) gewonnen. Wenn das Schaltnetzteil einmal angelaufen ist, steht über D1 die wesentlich höhere LED-Spannung zur Verfügung, der MOSFET wird besser und schneller durchgeschaltet.

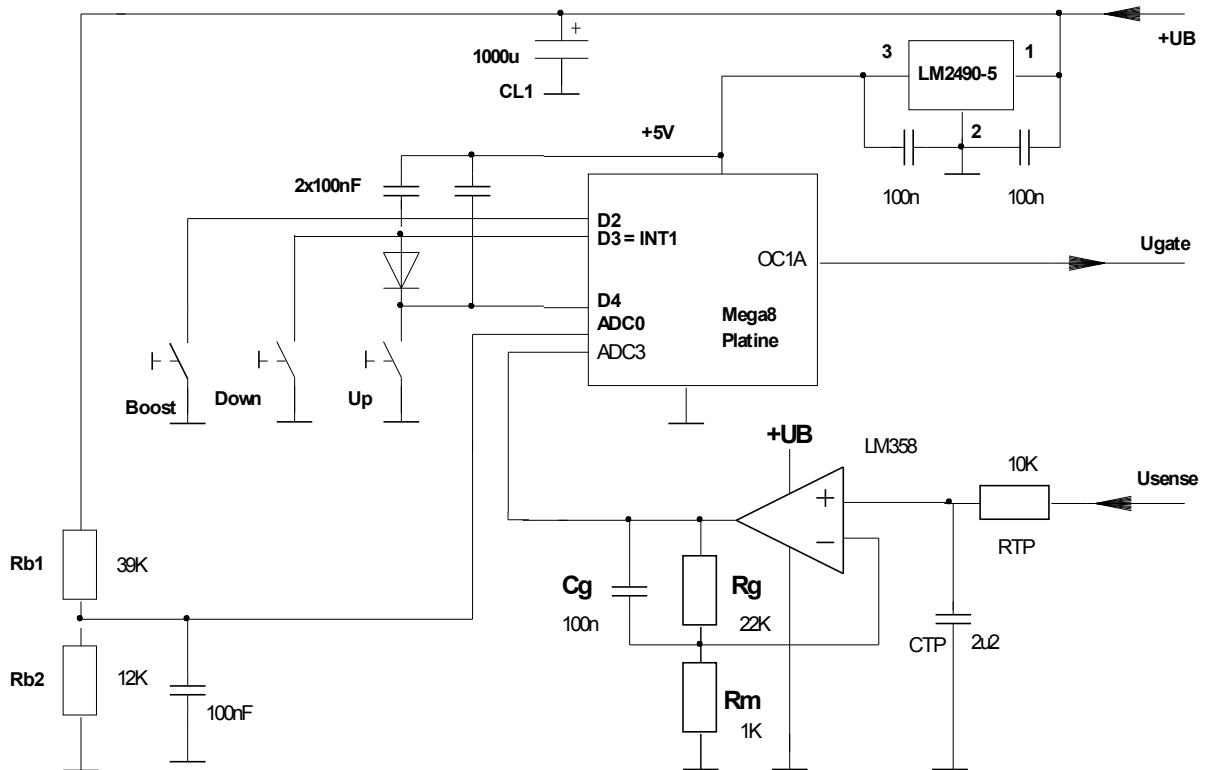
Für den MOSFET wurde nach ersten Versuchen mit einem IRF530N ein Typ mit extrem kleinem ON-Widerstand eingesetzt, was eine deutliche Verbesserung des Wirkungsgrades brachte. Der Transistor wurde auch spürbar weinger warm.

Momentan ist das wärmste Bauteil in der Schaltung die Schottky-Diode F16C200. Hier wäre also anzusetzen wenn man den Wirkungsgrad weiter verbessern wollte. Eventuell denkbar wäre eine aktive Gleichrichtung mit einem MOSFET. Aber der Aufwand hierzu ist schon einigermaßen hoch, sodass die Idee erst mal auf Eis gelegt wurde.

Der Lüfter wird von einem zweiten PWM-Signal gesteuert, damit er im Mittel seine 5V Nennspannung erhält.

In einer späteren Erweiterung soll der Lüfter temperaturmäßig geregelt werden.

## Steuerteil:



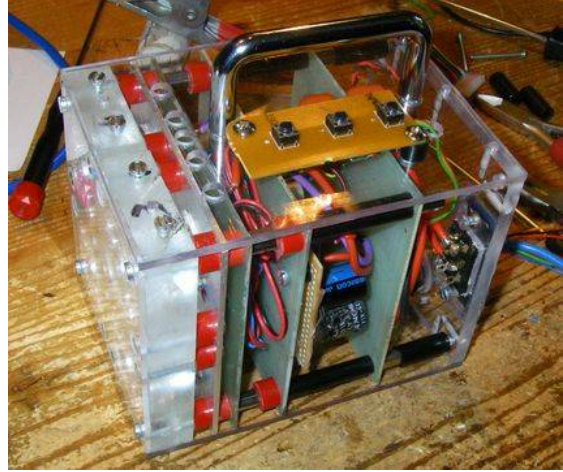
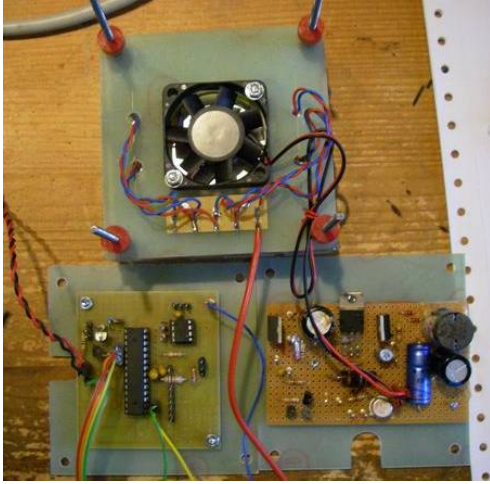
Der Controller läuft mit internem 8MHz-Oszillator (Achtung: Fusebits!), nicht eingezeichnet ist der Pullup-Widerstand am Reset-Eingang.

Die Taster für „Up“ und „Down“ sind über die Diode so verschaltet, dass bei Betätigung immer ein Interrupt ausgelöst wird. Anschliessend prüft die Interruptroutine welche Taste gedrückt wurde. Diese Methode lässt den zweiten Interrupteingang frei für anderweitige Verwendung (was hier nicht unbedingt nötig wäre).

Der Boost-Taster wird per Polling im Hauptprogramm abgefragt, ist er gedrückt wird einfach der Sollwert vorübergehend auf 100% ( $I = 1A$ ) gesetzt.

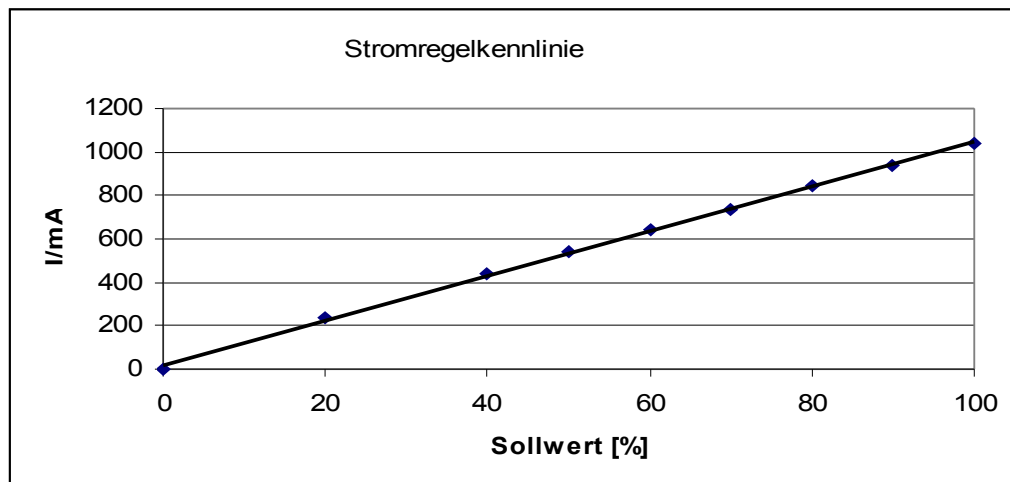
## Aufbau

Zunächst wurde die Schaltung modular aufgebaut um eventuelle Erweiterungen oder Änderungen zuzulassen. Das Gehäuse wurde aus Plexiglas gefertigt, sicher kein optimal stoßfester Aufbau für die Höhlenforschung, aber leicht machbar.

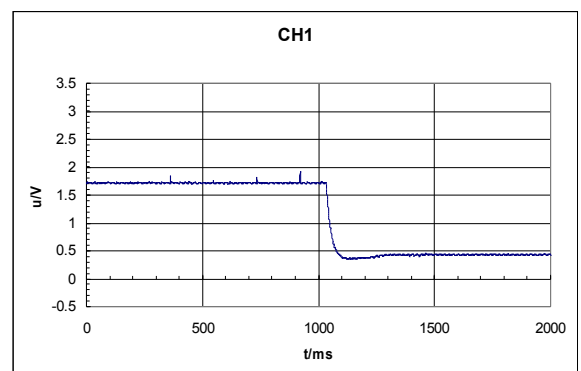
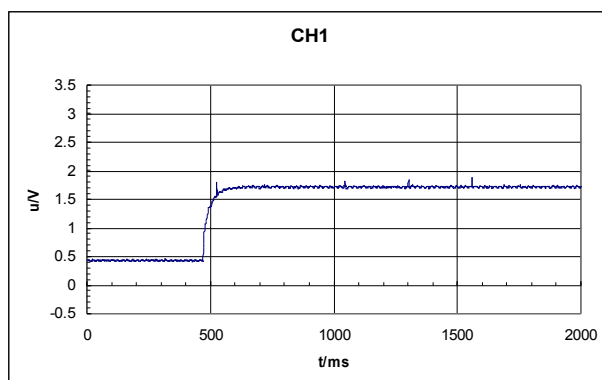


## Messungen

Statische Regelkennlinie:



Führungsverhalten bei Sollwertsprung 80% -> 20% und 20% -> 80%  
(gemessen am ADC-Eingang):





**Wirkungsgrad** (nur Schaltnetzteil, ohne Lüfter, gemessen mit Dummy-Load aus Dioden):

U1/V	I1/A	U2/V	I2/A	P1/W	P2/W	$\eta$
5.93	2.29	17.7	0.63	13.6	11.2	0.82
5.79	5.23	18	1.3	30.3	23.4	0.77
5.9	2.83	17.2	0.79	16.7	13.6	0.81

### **Praxistest**

Beim Vergleich mit den anderen LED-Lampen mit nur einer LED bringt der Scheinwerfer richtig **viel** Licht. Erste Untertage-Aufnahmen zeigten gute Ergebnisse.



### **Ausblick**

Eine Temperaturregelung für den Lüfter würde den Wirkungsgrad noch verbessern. Allerdings konnten jetzt schon mit einer Akkuladung (7.2V / 5Ah) weit über 100 Bilder belichtet werden, da die Einschaltdauer bei voller Leistung kurz ist.