

---

Skript für den Workshop

# SMD Reflow Lötén

---

Autor: Michael Heidinger, M.Sc.  
Erstellt: 8. Februar 2017

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Theoretische Grundlagen</b>	<b>3</b>
1.1	Vorbereitungen für das Praktikum . . . . .	3
1.2	Einführung . . . . .	3
1.3	Übersicht . . . . .	4
1.4	Lötpaste . . . . .	4
1.5	Stencil . . . . .	5
1.6	Komponenten Einsortieren . . . . .	5
1.7	Bestückung . . . . .	5
1.8	Reflow Prozess . . . . .	6
1.9	Reflow Ofen . . . . .	7
<b>2</b>	<b>Praxisteil</b>	<b>9</b>
2.1	Aufzubauende Schaltung . . . . .	9
2.2	Arbeitsvorbereitung . . . . .	9
2.3	Lötpaste auftragen . . . . .	10
2.4	Bestücken . . . . .	10
2.5	Erste Sichtkontrolle . . . . .	10
2.6	Reflow-Prozess . . . . .	11
2.7	Zweite Sichtkontrolle & Korrektur . . . . .	11
	2.7.1 Reinigung . . . . .	11
	2.7.2 Sichtkontrolle . . . . .	11
2.8	Funktionstest . . . . .	11
<b>3</b>	<b>Motivation &amp; Danksagung</b>	<b>13</b>
3.1	Motivation . . . . .	13
3.2	Danksagung . . . . .	13
<b>4</b>	<b>Anhang</b>	<b>15</b>
4.1	Schaltplan . . . . .	15
4.2	Bestückungsdruck . . . . .	16

## 1 Theoretische Grundlagen

### 1.1 Vorbereitungen für das Praktikum

Es wird Dir bei dem Praktikum sehr helfen wenn Du ein paar kleine Vorbereitung Zuhause durchführst.

1. Lies Dir die gesamte Versuchsanleitung durch und verstehe sie. (Ja, ich weiß, Du machst das gerade, sehr gut.)
2. Mach Dich mit dem Schaltplan vertraut, und verstehe wie die Schaltung funktioniert.

### 1.2 Einführung

Dieses Tutorial behandelt das SMD-Reflow-Löten mit einem umgebauten Pizza-Ofen. SMD englisch „Surface Mounted Device“, deutsch oberflächenbefestigtes Bauteil bedeutet, dass das Bauteil nur auf der Platinenoberfläche befestigt wird und nicht durch die Platine durchgesteckt verlötet wird. Dies hat den Vorteil, dass die Bauteile wesentlich schneller zu montieren sind, sowohl für den Mensch als auch für die Maschine. Dies erlaubt es kleinere Bauteile zu verwenden und dadurch die Baugruppen kompakter zu gestalten.

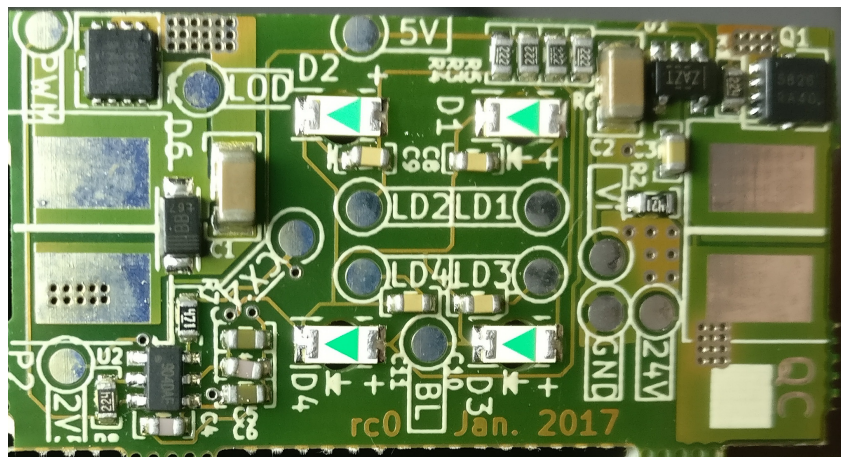


Abbildung 1: Qualitativ hochwertiges Lötresultat mit dem Reflow-Löten

Um Bauteile auf der Platine zu befestigen, werden diese verlötet. Der klassische Weg ist es, das Bauteil mit dem LötKolben zu verlöten. Dabei muss jede Lötstelle einzeln verlötet werden. Bei wenige Verbindungen ist der zeitliche Aufwand des Handlötens mit dem des Reflow-Lötens vergleichbar. Hat man allerdings viele Kontakte kann es Zeit sparen, alle Bauteile gemeinsam zu verlöten. Und genau hier kommt die Reflow-Technik zum Einsatz, die dieses Tutorial behandelt.

## 1 Theoretische Grundlagen

Zusätzlich zur Zeiteinsparung kann mit dem Einsatz der Reflow-Technik auch noch die Lötqualität gesteigert und standardisiert werden. Die Lötqualität kann in Abb. 1 begutachtet werden.

### 1.3 Übersicht

Zunächst wird auf die leere Platine eine Lötpaste mit Hilfe einer Schablone auf die Positionen der zukünftigen Lötstellen aufgetragen. Danach werden die SMD-Bauelemente auf der Platine platziert und die Platine wird in einem Ofen erwärmt. Das Lot in der Lötpaste schmilzt und bildet die Lötverbindungen. Im Folgenden werden die Arbeitsschritte, sowie die verwendeten Materialien genauer behandelt. Der vorliegende Text beschreibt das SMD-Reflow-Löten für Prototypenaufbauten, mit gelegentlichen Hinweisen auf den Prozess in der industriellen Fertigung.

### 1.4 Lötpaste

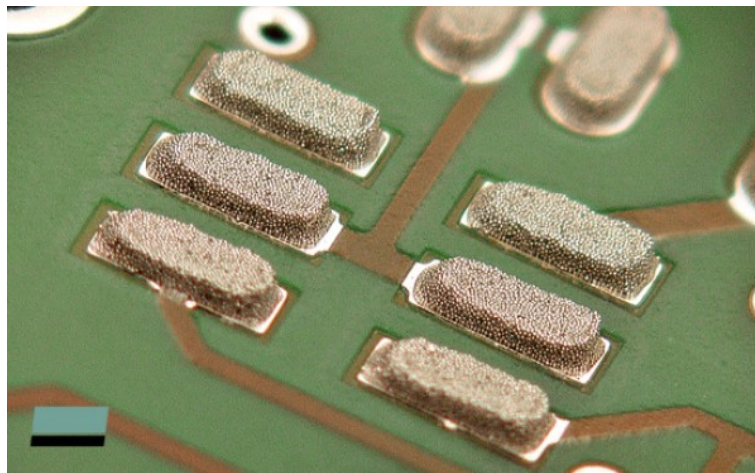


Abbildung 2: Platine mit aufgetragener Lötpaste. (Bild Taube Elektronik)

Lötpaste ist ein Gemisch aus vielen, kleinen Kugeln Lot und Flussmittel. Abb. 2 zeigt Lötpaste, die bereits auf die Löt pads auf die Platine aufgetragen wurde. Es gibt verschiedene Typen mit verschiedenen Kugelgrößen. Lötpasten mit kleinen Kugeln lassen sich leichter verarbeiten, sind aber meist auch teurer. Das Flußmittel dient dazu, Oxidation an der Oberfläche der Löt pads zu entfernen und die Schmelztemperatur des Lots abzusenken. Je niedriger die Schmelztemperatur des Reflow-Lots desto besser. Je heißer die Löttemperatur der Bauteile ist, desto höher ist die Chance, diese zu beschädigen.

Verbleites Lot hat eine geringere Schmelztemperatur als bleifreies Lot. Daher wird zu Prototypenzwecken meist noch verbleites Lot genutzt. In der industriellen Fertigung ist

## 1 Theoretische Grundlagen

verbleites Lot durch RoHS bis auf wenige Ausnahmen verboten. Neben der Schmelztemperatur hat Blei noch einen andere Vorteil: In der Nähe liegendes, verbeleites Lot wird angezogen und dabei werden Lötbrücken verhindert.

### 1.5 Stencil

Das Stencil, deutsch Schablone, wird verwendet um die Lötpaste zielgenau an den Lötunkten auf die Platine aufzutragen. Es besteht aus rostfreiem Stahl, in welches mit einem Laser Aussparungen geschnitten wurden. Abb. 3 zeigt einen Ausschnitt eines Stencils.

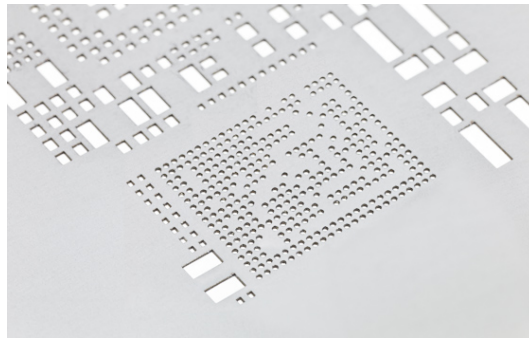


Abbildung 3: Stencil, welches zum Auftragen von Lötpaste genutzt wird. In diesem Fall sieht man ein Stencil für ein BGA-Array, daneben einige SMD-Pads.

Das Stencil wird manuell über der Platine zentriert und mit Klebeband fixiert. Dabei muss sehr genau gearbeitet werden, um die Lötpaste präzise auf die Lötunkte aufzutragen.

Die Lötpaste wird auf die Schablone gegeben und mit einer Rakel in die Aussparungen gedrückt.

### 1.6 Komponenten Einsortieren

Um die Bestückung schnell durchführen zu können, hilft es sehr die Komponenten in einen Sortierkasten einzusortieren. Empfehlenswert sind hier SMD-Sortimentskästen mit individuell verschließbarem Deckel. Diese gibt es ESD-gerechet und ermöglichen eine schnelle und effektive Bestückung. Jedes Kästchen wird zuerst mit einem wasserfesten Marker beschriftet und dann befüllt. Die fertig einsortierten Komponenten werden der Reihenfolge der Bestückung angeordnet. Das hilft einer schnellen Bestückung.

### 1.7 Bestückung

Die Bestückung erfolgt der Baugröße nach. Je geringer die Bauhöhe desto früher, je günstiger vom Preis, desto früher sollte man das Bauteil bestücken. Es bietet sich folgende Reihenfolge an:

1. SMD-Widerstände
2. SMD-Kondensatoren
3. SMD-LEDs
4. ICs
5. THT-Bauelemente: Through-Hole-Technologie, Bauelemente welche durch die Platine gesteckt und dann auf der anderen Seite verlötet werden.
6. Kabelanbindungen

## 1.8 Reflow Prozess

Nach der Bestückung der Komponenten erhitzt der Reflow-Ofen die Platine und folgt dabei einer vorgegebenen Temperaturkurve, dem sog. Reflow-Profil. Das Reflow-Profil wird vom Lötpastenhersteller vorgegeben, Abb. 4 zeigt ein Beispiel.

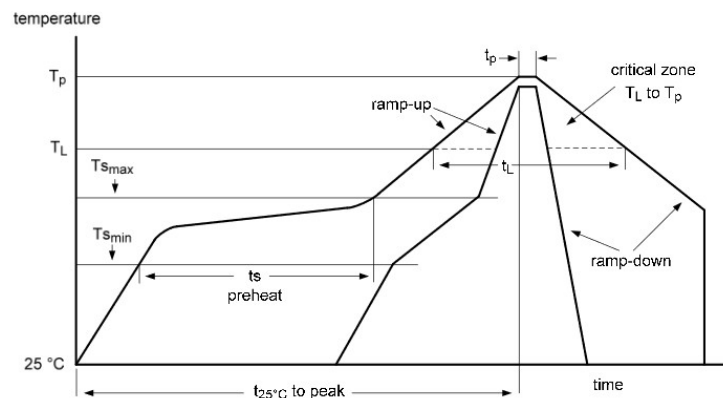


Abbildung 4: Das Reflow Soldering Profile gibt an, welche Temperatur minimal und maximal zu einer gewissen Zeit zulässig ist. Quelle NXP.

Das Profil gliedert sich in verschiedene Zonen:

1. Vorheizen (preheat): Vorwärmen der Platine auf die Aktivierungstemperatur des Flussmittels
2. Aufwärmen (ramp-up): In diesem Arbeitsschritt arbeitet das Flussmittel und entfernt Oxidation auf der Platine und hilft, dass das eigentliche Lot fließen kann.
3. Lötvorgang (soldering): In diesem Arbeitsschritt verflüssigt sich das Lot und benetzt sowohl das Bauteil als das Lötpad auf der Platine
4. Abkühlen (ramp-down): Das Lot verfestigt sich wieder und bildet eine leitfähige Verbindung zwischen Bauteil und Platine.

## 1 Theoretische Grundlagen

Das Profil lässt einen relativ großen Spielraum und zeigt, dass der Reflow-Prozess ein gütiger ist. Die einzelnen Temperaturen, die zum Löten benötigt werden, werden vom Lötpastenhersteller vorgegeben. In manchen Fällen wird man die Temperatur sogar etwas höher oder niedriger wählen als der Lötpastenhersteller vorgibt um Ansprüchen gerecht zu werden. Es kann zum Beispiel sein, dass ein Bauteil extrem temperatursensibel ist (z.B. Verbindungsstecker) oder dass eine Lötfläche eine höhere thermische Masse hat und mehr oder länger Wärme benötigt. In den allermeisten Fällen ist es allerdings ausreichend, auf das bereits Standard-Profil des Reflow-Ofens zurück zu greifen.

### 1.9 Reflow Ofen



Abbildung 5: Zonen-Reflow-Ofen: Die Platine wird auf einem Transportband durch die einzelnen Temperaturzonen transportiert.

Professionelle Reflow Öfen sind meist als Zonenöfen realisiert. Jede Zone hat eine feste Temperatur und die Platine durchfährt diese Zonen. Dieses Verfahren erzielt sehr gute Ergebnisse und erreicht einen hohen Durchsatz, hat aber einen hohen Material- und Platzbedarf. Im Hobbybereich werden deshalb eher Batch-Öfen verwendet. Dort verbleibt die Platine an einem festen Ort, und der Ofen folgt über der Zeit der Temperaturkurve. Dieses Verfahren bietet nicht ganz so gute Ergebnisse, kommt allerdings mit sehr einfacherer Hardware aus.

In diesem Tutorial wurde einem einfacher Pizza-Ofen verwendet. Der Umbau wird mit ein Reflow-Soldering-Kit gemacht, das im Internet erhältlich ist. Dieses Kit beinhaltet einen Temperatursensor und die Bedieneinheit. Über ein Solid-State-Relais wird der Heizstab gesteuert. Der Temperatursensor ist auf einer Referenzplatine befestigt, um möglichst genaue Messwerte zu erhalten ohne den Tempertursensor jedesmal auf der eigentlichen Platine befestigen zu müssen. Abb. 6 ist ein Foto einer solchen Referenzplatine mit Temperatursensor gezeigt. Die Steuerung des Geräts erfolgt über ein Touchpanel.

## 1 Theoretische Grundlagen

Die konkrete Umbauanleitungen sind bei den Anbietern der einzelnen Kits erhältlich und leicht umzusetzen.

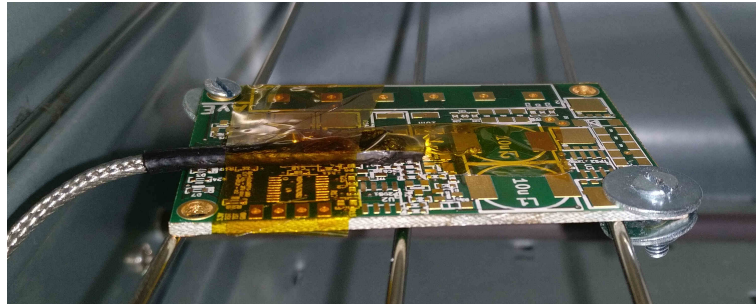


Abbildung 6: Der Temperatursensor wurde auf Platine mit Kapton befestigt. Die Platine selbst wurde mit Schrauben am Rost befestigt.

Es sei noch darauf hingewiesen, dass Bauteile mit hoher thermischer Masse sich langsamer erwärmen als kleine Bauteile. Generell wird daher in den Reflow-Controller immer die maximale Löttemperatur des SMD-Reflow-Lötprofil einprogrammiert. Die untere Kurve ist die Minimaltemperatur, welche die Komponenten mit hoher thermischer Masse erreichen müssen. Um dies zu verifizieren kann ein zusätzlicher Temperatursensor an diesen im Ofen angebracht werden.



## 2 Praxisteil

### 2.1 Aufzubauende Schaltung

Die zu bestückende Schaltung ist ein LED-Strip Dimmer. Der LED-Strip Dimmer kann man 12V und 24V LED-Strips ein- und ausschalten, sowie dimmen. Der Schaltplan befindet sich im Anhang der Versuchsanleitung. Die Schaltung ist in folgende Bereiche unterteilt.

- Power Input: Stromeingang mit Verpolungsschutz
- Power Supply: Ein LDO regelt die Spannung auf 5V für den Touch Controller.
- Touch-Controller: Führt die Berührungserkennung (Finger) aus und generiert das PWM Signal.
- PWM: Der eigentliche Dimmerfunktionalität wird über den MosFET Q2 ausgeführt. Diode D6 dient als Freilaufdiode.

### 2.2 Arbeitsvorbereitung

Bevor wir mit der Bestückung anfangen, benötigen wir ausreichend Platz und eine saubere Oberfläche. Tisch, Werkzeug und Finger sollten sauber und fettfrei sein. Insbesondere sollten keine Metallspäne präsent sein. Die Platine sollte zudem nicht oxidiert sein. Ist sie das nicht nutze Platinenreiniger.

Stelle den Tisch und den Stuhl auf eine für Dich angenehme Arbeitshöhe. Achte auf ausreichende Beleuchtung. Wir werden gleich mit dem Auge im Mikrometerbereich arbeiten.

Folgendes Material werden wir gleich benötigen:

- Platinen
- Stencil mit Rakel
- Bauteile
- Lötpaste
- Pinzette (SMD & ESD-gerecht)
- Später benötigt: Multimeter

### 2.3 Lötpaste auftragen

Die Lötpaste wird mit durch das Stencil mit einer Rakel aufgetragen.

Zuallerst wird die Platine auf der Tischplatte befestigt. Zum Befestigen eignet sich starkes Klebeband, z.B. Isolierband. Als nächstes wird ausreichend Lötpaste (lieber etwas zuviel als zuwenig) am Rand des Stencils aufgebracht. Das Stencil wird nun genau auf die Löt pads positioniert. Hier hilft es sich an den äußeren Pads zu orientieren. Ist das Stencil sehr gut positioniert, wird es ebenfalls mit dem Klebeband befestigt oder von einem Kollegen gehalten. Verstreiche nun mit der Rakel die Löt paste. Halte die Rakel im Winkel von 45 bis 60° zur Platinenoberfläche. Versuche Man sollte versuchen, möglichst alle Pads im ersten Zug zu erwischen. Je mehr Züge benötigt wurden, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Schablone verrutscht. Nun wird das Stencil direkt nach oben entfernt, ohne dabei die aufgetragene Löt paste zu verschieben.

Sollte der Prozess nicht geglückt sein, kann die Löt paste mit Papiertuch und Platinenreiniger entfernt werden, bevor der nächste Versuch gestartet wird.

### 2.4 Bestücken

Die Bestückungsreihenfolge für diesen Workshop ist Tabelle 1 zu entnehmen.

Bezeichnung	Wert	Notiz
R1,R8	220k	
R2, R7	470k	
R3,R4,R5,R6	2k2	
C8,C9,C10,C11	10n	
C6,C7	1u	
C4, C5	100p	
D6	PMEG6010	
D1,D2,D3,D4	LED GRN	
C1,C2	10u 50V	
U1	TPS7B6950	
U2	IQS904	Polarität beachten
Q1, Q2	MosFET	Polarität beachten

Tabelle 1: Bestückungsreihenfolge

Die Bauteile sollten entsprechend dieser Reihenfolge im Sortierkasten angeordnet sein.

### 2.5 Erste Sichtkontrolle

Die erste Sichtkontrolle dient dazu eventuell verrutschte oder unsauber platzierte Bauteile zu identifizieren. Zu diesem Zeitpunkt kann die Korrektur noch schnell erfolgen. Daher ist es empfehlenswert hier sehr gewissenhaft zu arbeiten.

Die Kontrolle sollte in der gleichen Reihenfolge erfolgen, wie die Bestückung. Hast Du die Kontrolle Deiner Platine abgeschlossen, reiche Sie an Deinen Nachbarn zur Zweitkontrolle weiter. Kontrolliere die Platine Deines Nachbarn und gib ihm konstruktives Feedback.

### 2.6 Reflow-Prozess

Bei dem Reflow-Prozess ist es wichtig, das passende Lötprofil für das entsprechende Lot zu verwenden.

Um den Reflow-Prozess durchzuführen, wird die Platine in den Ofen gelegt und der Prozess gestartet. Der Vorgang dauert ca. 5 Minuten. Danach müssen die Platinen abkühlen.

### 2.7 Zweite Sichtkontrolle & Korrektur

#### 2.7.1 Reinigung

Bevor mit der eigentlichen Inspektion angefangen werden kann, ist die Platine zu reinigen. Dazu wird der Platinenreiniger auf die Platine aufgetragen und mit einem Papiertuch abgewischt.

#### 2.7.2 Sichtkontrolle

Die zweite Sichtkontrolle dient dazu, Fehler die während des Reflow-Prozesses auftreten zu korrigieren. Die Fehler können unter anderem sein:

1. Bauteil verschoben
2. Bauteil hat sich aufgerichtet
3. Lötbrücke
4. Pin nicht verzinnt

Wurden alle Bauteile kontrolliert und korrigiert wird die Platine erneut gereinigt. Dann sollte auch nochmal der Nachbar kontrollieren und konstruktives Feedback geben. Die Sichtkontrolle und Korrektur soll sehr sorgfältig sein, dass der anschließende Funktionstest ohne weitere Korrektur bestanden wird.

### 2.8 Funktionstest

Der ideale Funktionstest zeigt eine funktionierende Schaltung ohne Korrektur von übersehenen Fehlern aus vorangegangenen Arbeitsschritten. Eventuell können beim Anlegen der Versorgungsspannung weitere Bauteile durch vorausgegangene, übersehene Fehler beschädigt werden.

## 2 Praxisteil

Bitte beginne im Workshop erst dann mit dem Funktionstest, wenn auch der Betreuer eine Sichkontrolle durchgeführt hat und die Platine frei gegeben hat.

Überprüfe der Diodenpolarität: Stelle das Multimeter auf Diodentest und führe folgende Tests durch.

Multimeter Plus	Multimeter Minus	Messmethode	Messwert
LD1	BL-	Diodentest	LED leuchtet
LD2	BL-	Diodentest	LED leuchtet
LD3	BL-	Diodentest	LED leuchtet
LD4	BL-	Diodentest	LED leuchtet
LOD	24V	Diodentest	<0.5V
GND	LOD-	Diodentest	<1V
GND	P1.2	Diodentest	<1V
5V	LD1	Widerstand	2k2
5V	LD2	Widerstand	2k2
5V	LD3	Widerstand	2k2
5V	LD4	Widerstand	2k2
U2.6	CX2	Widerstand	470

Tabelle 2: Test, bevor die Versorgungsspannung angelegt wird.

Lege nun die Versorgungsspannung an: 12V

Multimeter Plus	Multimeter Minus	Messmethode	Messwert
24V	GND	Spannung	12V
Vi	GND	Spannung	11V-12V
5V	GND	Spannung	5V
2V5	GND-	Spannung	2V5

Tabelle 3: Test mit angelegter Versorgungsspannung.

Sind die folgenden Test bestanden, kann die Schaltung ausprobiert werden.

## **3 Motivation & Danksagung**

### **3.1 Motivation**

In diesem Praktikum hast Du gelernt wie Du SMD-Bauteile verlötest und eine Schaltung in Betrieb nimmst. Dieses Tutorial in Kombination mit dem Vortrag soll dich ermuntern in Zukunft selbst Platinen zu entwerfen, zu bestücken und in Betrieb zu nehmen. Platinen sind ein sehr mächtiges Werkzeug. Es erfordert etwas Aufwand, Disziplin und Exaktheit eine Platine zum Laufen zu bringen: Das passende Handwerkszeug wurde Dir hierfür in die Hand gegeben. Belohnt wird man mit einer zuverlässigen Schaltung.

Wie bei allem gilt: Praxis macht den Meister. Daher solltest Du nicht zuviel Zeit verstreichen lassen, sonst ist das Wissen wieder weg. Ich hoffe etwas meiner Begeisterung für Platinen an Dich übertragen zu haben und möchte dich zu ermutigen dieses mächtige Werkzeug auch in Zukunft für Deine Projekte einzusetzen.

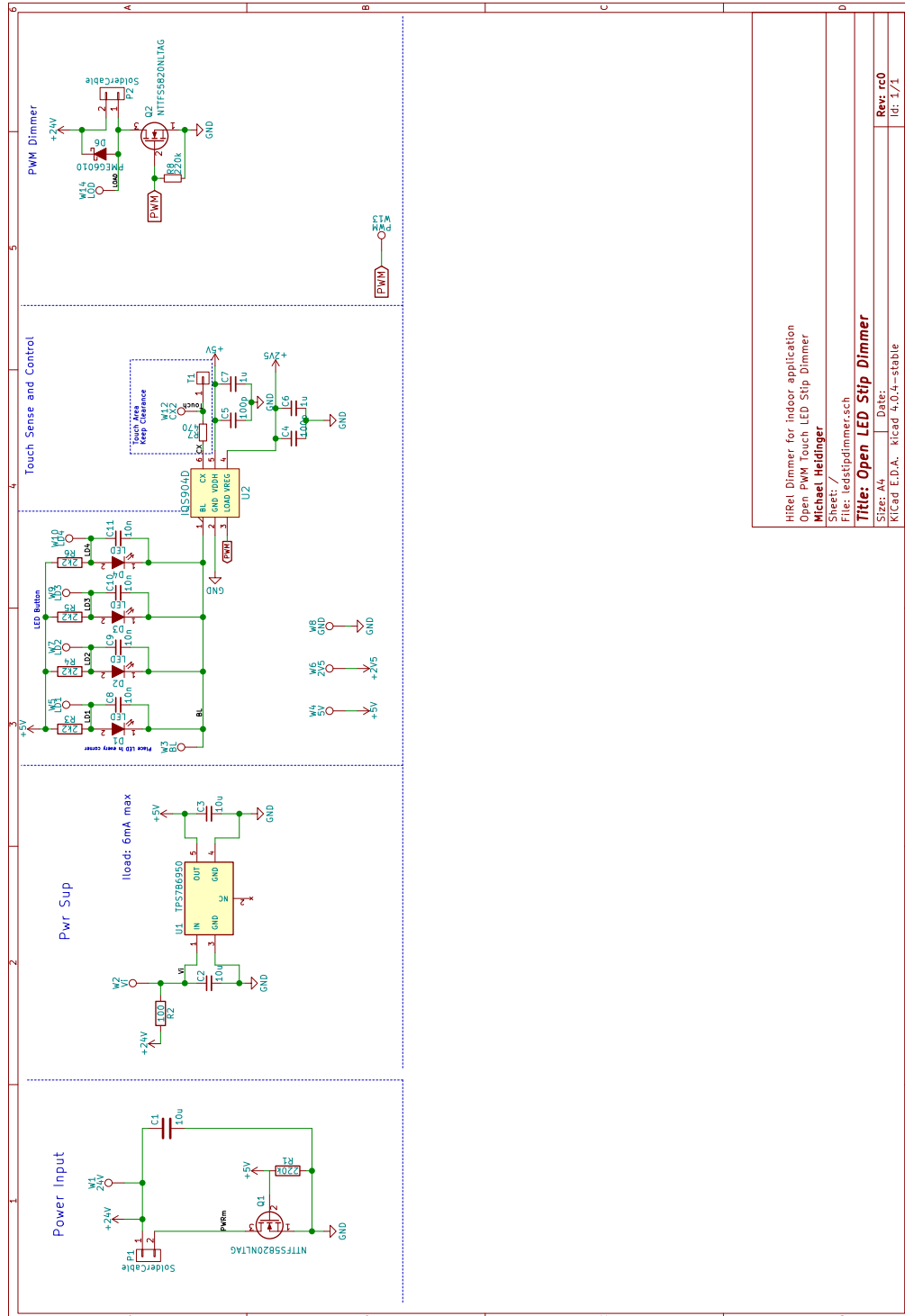
### **3.2 Danksagung**

Herzlichen Dank an das Lichttechnische Institut, LTI. Insbesondere an Christoph Simon für das Korrekturlesen dieses Skriptes.

### *3 Motivation & Danksagung*

## 4 Anhang

### 4.1 Schaltplan



## 4.2 Bestückungsdruck

