

## Leistungserweiterung Carrera Control Unit und praktische Ergänzung für den Club Betrieb (nicht nur)

Wie ist diese Anleitung entstanden.

Bei unseren Rennwochenenden fahren wir gerne mit mehreren Personen.

Dabei kann es durchaus sein das wir mit 6 Carrera 124er unterwegs sind. Dazu wurde an allen Bahnen entsprechend dimensionierte Netzteile angeschafft. Leider mussten wir schnell feststellen das sich die CU relativ oft unter diesen Bedingungen verabschiedet. Dabei ist immer der Endstufen FET der Schuldige. Wir hatten dann immer eine Control Unit in Reserve um schnell zu wechseln wenn mal wieder ein FET kaputt gegangen ist. Schnell wurde eine Lösung ersonnen den FET steckbar zu gestalten so das er, fast im laufenden Betrieb, gewechselt werden kann. Natürlich wurde dann direkt ein anderer, belastbarer FET ausgewählt. Hier nun das Ergebnis.

Dieses Dokument beschreibt eine Möglichkeit die Carrera Control Unit (CU) mit einfachen Mitteln und geringen Kosten etwas in der elektrischen Leistung (Ausgangsleistung zur Schiene) zu steigern und den Umbau zugänglich zu machen so das bei etwaigen Fehlern und Kurzschlüssen die Leistungsstufe der CU in Sekunden gewechselt werden kann.

Diese Leistungsstufe ist durch einen Kühlkörper der außen liegt unterstützt.

Die hier beschriebene Lösung stellt keinen Booster dar. Auch bei dieser Lösung ist die Leistung begrenzt. Mit Absicht werden die Parameter zur Kurzschlussicherung nicht geändert. Alleine die höhere Belastbarkeit in Verbindung mit höheren Belastungsgrenzen soll es richten.

In der CU ist als Endstufe ein Feldeffekt Transistor eingesetzt. Dabei handelt es sich um einen 9024N Typ der bei einschlägigen Elektronik Versendern bestellt werden kann. Das Bauteil ist direkt, im inneren, auf die Hauptplatine der CU montiert und mit dem Leistungsteil direkt in die Zuführung vom Trafo gesetzt. Vom Hauptprozessor aus wird dieser FET angesteuert. Dabei wird, über eine Taktung, eine Rechteckspannung erzeugt die zur erforderlichen Leistung auch noch die nötigen digitalen Informationen enthält.

Die Funktionsweise ist dabei extrem einfach gehalten. Das digitale Signal wird lediglich auf die Plus Seite auf moduliert. Deswegen ist leider nur ein Einrichtungsbetrieb möglich. Andere digitale Systeme sind so ausgelegt das das Rechtecksignal über beide Pole geführt wird. Dann ist die Fahrtrichtung nicht Schienengebunden sondern Fahrzeug gebunden.

Im originalen ist der FET als IPAC Typ (ohne mittleren Kontakt) direkt auf die Platine gelötet.

Dabei ist ein relativ großes Feld als Kontakt gegeben, dass soll auch der Kühlung dienen.

dabei läuft die Positiv Spannung über den rechten Kontakt in den FET, die Leistung wird dann über den Rücken auf die Platine übertragen. Diese Fläche ist sodann direkt mit dem roten Kabel zur Schiene verbunden. Der 9024N ist für 8A Dauerlast ausgelegt allerdings nur für eine ca. 6A Impulslast.

Das dürfte auch in etwa die Leistung sein die tatsächlich in diesem dynamischen System durch den FET fließen darf. Die Dauerbelastung ist daher ein schlechter Indikator.

Die Schaltung die einen Kurzschluss detektiert

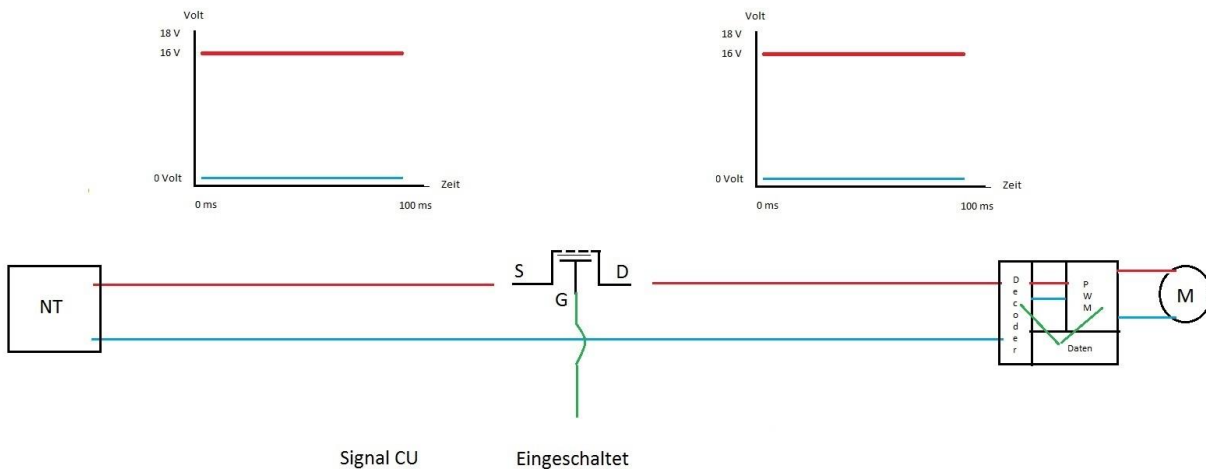
überwacht den Drain-Source Bereich. Diese soll, laut inoffizieller Aussage bei ca. 8A abschalten.

Die Kurzschlusschaltung aktiviert sich bei der nominalen Leistung. Tatsächlich wird aber mit einem Vergleich gearbeitet. Wenn bestimmte Parameter in einem anderen Verhältnis zueinander stehen wird auf einen Kurzschluss vermutet. Das werden wir später ausnutzen.

Ich versuche einmal etwas Licht in das mystische Dunkel zu bringen. Die Schaltung die Carrera anwendet ist „genial“ einfach. Im ersten Bild sehen wir die beteiligten Komponenten.

Links das Netzteil, in der Mitte „die“ Leistungsendstufe, repräsentiert durch exakt 1 FET, danach Schiene bis zum Fahrzeug Decoder. Nichts weiter in der Leitung.

Da es sich um einen P-MOSFET handelt muss dieser über G (Gate) eingeschaltet werden, damit Spannung zwischen S (Source) und D (Drain=Ablauf) fließt. In den oberen Skalen wird das dann laufende Signal angezeigt. Es wird „alles“ was das Netzteil an Gleichspannung liefert, 1 zu 1 bis zum Decoder geliefert.



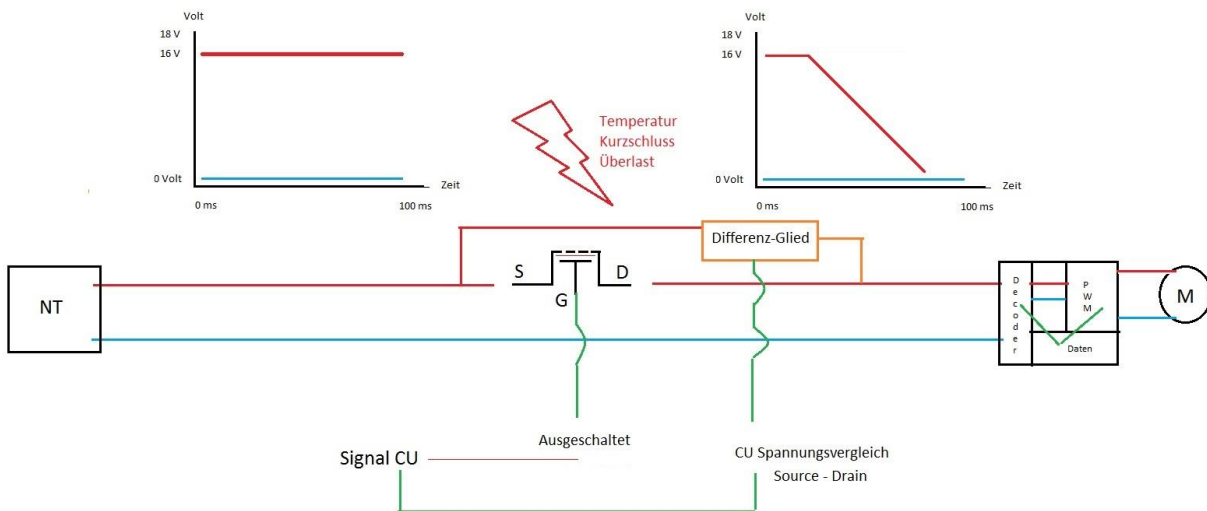
Und richtig, hier ist „nie“ von der Stromstärke, Ampere, die Rede weil diese „nichts“ damit zu tun hat. Alles was der Decoder an A benötigt wird völlig transparent über den FET geliefert, soviel wie das Netzteil abgeben kann. Es findet „keine“ Verstärkung statt und hier keinerlei Veränderung des Eingangssignals statt. Aber, mit dieser Schaltung könnten wir den Motor auf der rechten Seite aber lediglich an- oder ausschalten. Mehr nicht.

Bevor ich die komplette Funktionsweise zeige, hier nun erst der Fehlerfall. Selbes Bild, allerdings ist hier die berühmte Kurzschluss-Schaltung eingebaut. Die besteht daraus, dass dort die Spannung in Differenz zwischen S + D gemessen wird. Wie im ersten Bild ersichtlich entspricht das Eingangssignal, und damit die Spannung (hier +16V) immer dem Ausgangssignal, und damit der Ausgangsspannung (+16V).

Gibt es eine Differenz zwischen S + D kann irgendwas nicht stimmen. Anders, wenn es nicht mehr gleich ist, muss ein Fehler aufgetreten sein. Dazu wird die Spannung im Abgriff von S + D reduziert und auf Analog Eingänge des Atmel gelegt. Der kann dann direkt messen (im mv Bereich) und bei „bestimmten“ Werten den FET einfach ausschalten indem er G auf 0 setzt. Der Atmel wartet dann 10 Sek. und schaltet G wieder ein. Ist der Kurzschluss immer noch da geht er wieder auf 0, usw. usf.

Dabei benutzt diese Schaltung einige physikalischen Besonderheiten.

Der MOSFET hat bei Temperatur Überschreitung, bei Leistungsüberschreitung und bei Kurzschluss einen ähnlichen Output. In allen Bereichen geht der Widerstand am Drain Richtung 0, die Spannung fällt in allen Fällen ab und der Atmel kann einschreiten.

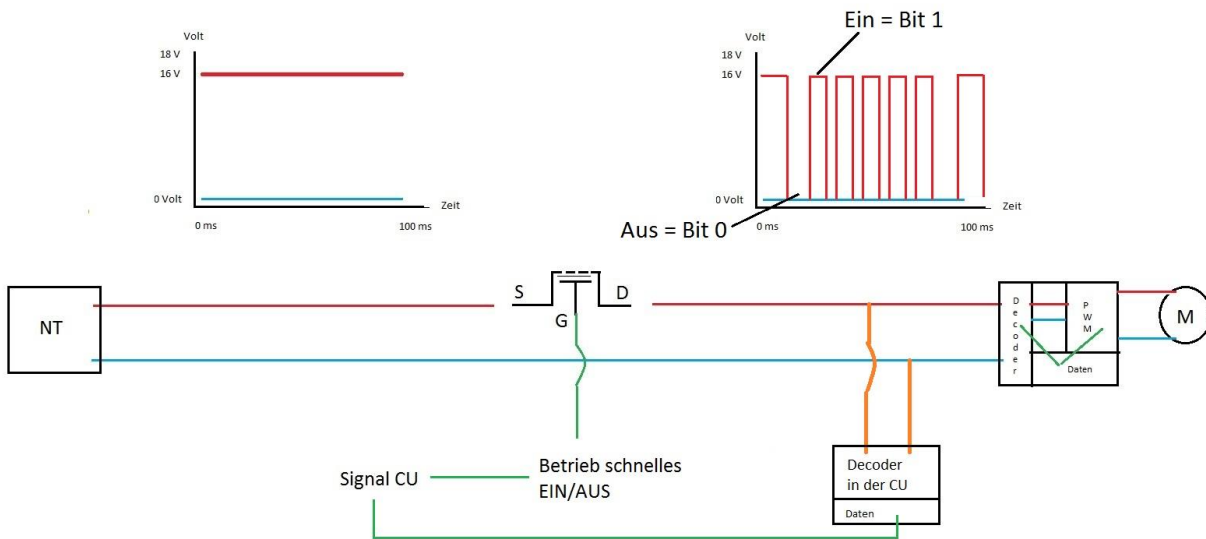


das rechte Diagramm zeigt den Zustand im Fehlerfall. Die Schaltung springt ein wenn die Differenz-Messung einen Fehler detektiert.

Das ist nicht immer schnell genug, dann kommt es auch schon mal zu einem Verlust des FET, aber so werden ein paar Eigenschaften mit einer einfachen Schaltung geprüft. Kostengünstig und effektiv. Dabei werden die Parameter Temperatur und Überlast direkt vom Bauteil des FET bestimmt. Bei einem stärkeren FET geht der Widerstand auch weniger schnell und weniger steil gegen Null. Das Bauteil bekommt einen weiteren Puffer durch die Energie-Aufnahmefähigkeit und durch Kühlung. Natürlich immer nur bis zum maximal Wert des FET. Deswegen macht es auch keinen Sinn die Kühlung immer weiter zu verbessern. Es kommt immer auf alle 3 Parameter im Verbund an. Der FET muss gerade mal im optimalen Bereich bleiben und es zählt der Wert der überschritten wird.

Auch ist der FET nicht beliebig, denn irgendwann wird er zu träge zum Schalten sein denn er muss ja noch eine weitere wichtige Aufgabe wahrnehmen. In der „normalen“ Betriebsart, gezeigt im nächsten Schaubild, wird das Daten-Signal mit in die Leistung eingespeist.

Statt also bloß den MOSFET ein oder aus zuschalten, wird er sehr schnell ein/aus geschaltet. Im Oszilloskop zeigt sich dann der Zustand wie im rechten Diagramm. Hier wird, über eine Manchester-Programmierung ein Datensignal mit auf den Weg gegeben. Dabei bedeutet +16V Bitinformation = 1, und bei 0V Bitinformation = 0. Es kommt nun auf das Timing an wie das Signal ausgewertet werden kann. Z.B. bedeutet eine Abfolge von 11101110 innerhalb 5 ms eine bestimmte Information, eingeleitet durch eine 00110011 und beendet durch 001....



Damit kann eine beliebige Information im Binär-Format übertragen werden. Im Decoder, und auch im Decoder der CU als Rückkanal, wird diese Binär-Information „interpretiert“ und in Datenworte gewandelt. Letztlich kann es wie ein Morsen verstanden werden. Auf physikalischer Ebene laufen sehr viele Protokolle so ab (DSL, Ethernet usw.). Es kann ausgerechnet werden wie viele Informationen in einer bestimmte Zeit übermittelt werden (müssen). Fahrstufen, Adressen, DD Informationen, alles muss im Binär Format über die Schienen überall hin. Hier kommt eben das Problem der Störungen sehr stark zum Tragen. Deswegen ist in solchen Systemen, "Daten und Leistung auf derselben Leitung", die Übertragungsraten stark eingeschränkt. Vieles muss ständig wiederholt werden. Gerade mit den Schleifern und Funkenstörungen kann sich jeder vorstellen wie schwierig es ist auf der anderen Seite ein sauberes Signal im Decoder zu extrahieren. Und ja, wenn der MOSFET zu groß gewählt wird reicht irgendwann die ein/aus Schaltgeschwindigkeit nicht mehr aus um genug Binär Informationen zu übertragen. Dann wird schnell aus dem „Rechtecksignal“ ein Sägezahn wegen der steigenden Abfall-Anstiegszeiten. Die Leistung ist also nicht unendlich zu steigern.

Und auch bis hierhin ist „nichts“ von der Leistung selbst zu lesen, weil diese in diesem Zusammenhang eine völlig untergeordnete Einheit darstellt. Die Schaltungen funktionieren auch völlig transparent bei unterschiedlichen Spannungen. Alles was vorn angelegt wird, wird so durchgereicht. Irgendwann können aber die nötigen Versorgungsspannungen nicht mehr generiert werden was zum „einschlafen“ der gesamten Elektronik führt. Aber, es findet auch an keiner Stelle irgendeine Verstärkung statt.

Übrigens, die Begrenzung des originalen FET ist in der Spielzeugverordnung zu suchen. Diese lässt nicht mehr Leistung zu als die Carrera Netzteile liefern. Nur zu logisch das dieses Bauelement passend gewählt wurde. Eigentlich müsste die Schutzschaltung bei jedem Takt ansprechen den schließlich geht es ja Richtung 0. Aber so schnell funktioniert das Ganze auf der Seite nicht. Genauso wie der Motor am PWM Ausgang des Decoders wird durch die Abtastgeschwindigkeit eine Art Summensignal gebildet, und das wird verglichen.

Hier der Link zum Datenblatt des originalen FET

[http://www.reichelt.de/index.html?ACTION=7;LA=3;OPEN=0;INDEX=0;FILENAME=A100%252FIRFR9024N\\_IRFU9024N\\_IR.pdf;SID=10T4W6AH8AAAIAAA8@dgE60a0e4dc067d1df73e7f95446c9efe17](http://www.reichelt.de/index.html?ACTION=7;LA=3;OPEN=0;INDEX=0;FILENAME=A100%252FIRFR9024N_IRFU9024N_IR.pdf;SID=10T4W6AH8AAAIAAA8@dgE60a0e4dc067d1df73e7f95446c9efe17)

Je nach Kurzschluss wird der Impuls-Wert sehr schnell überschritten. Auch das dauerhafte fahren an der Grenze führt zu einem frühzeitigen Tod. Extrem wird es auch bei einer Spannungserhöhung. Schon bei 20 V und ca. 5A werden die meisten Parameter des verwendeten FET überlastet. Oft ist die Kurzschlussüberwachung überfordert oder einfach nicht schnell genug und damit geht der FET kaputt.

Zusätzlich ist die Anordnung im Gehäuse und die fehlende passive Kühlung geeignet den FET durch Überhitzung zu verlieren. Auch hier mischt eine erhöhte Spannung kräftig mit.

5A bei 20V treiben die Temperatur des FET schnell auf ungesunde 80 Grad und mehr.

Ist die CU kaputt gegangen kann die Zerstörung durch einlöten eines neuen FET meist rückgängig gemacht werden. Allerdings muss das Gerät komplett zerlegt werden und die Löt pads halten diese Prozedur meist nur 2-3 mal aus. Anschließend löst sich die Platine, vor allem am Gate Anschluss auf. Das bedeutet für viele Hobby Elektroniker das komplette aus.

Der hier beschriebene Ansatz ersetzt den FET durch einen nominal stärkeren Typ.

Die Leistung wird damit theoretisch von 8A in der Spitze auf 16A in der Spitze erhöht.

Wichtig erscheint mir die 11 A Impulslast die damit deutlich höher liegt als beim originalen FET.

Zudem kann das Bauteil im Fehlerfall mehr als 3mal soviel Energie absorbieren als der originale.

Um die Leistung noch kontrollierter abzugeben wird dieser neue FET zum einen an exponierter Stelle außerhalb des Gehäuses auf einen Kühlkörper montiert und obendrein auch noch steckbar montiert so dass ein Wechsel des FET, selbst wenn er in einem Rennen durchbrennen sollte, innerhalb weniger Sekunden durch einen gesteckten, bereits vormontierten neuen FET ersetzt werden kann.

Bei diesem FET handelt es sich um einen 9540N Typ im TO-220 Gehäuse.

<http://www.reichelt.de/index.html?ACTION=7;LA=3;OPEN=0;INDEX=0;FILENAME=C180%252FIRF9540N.pdf;SID=10T4W6AH8AAAIAAA8@dgE60a0e4dc067d1df73e7f95446c9efe17>

Der Umbau ist so ausgelegt das er ebenso für Teppichbahner wie auch für Festeinbau Fahrer dienlich ist. Erneut der Hinweis das es sich nicht um einen Booster oder gar eine komplett andere Leistungsstufe

handelt. Es werden lediglich die sehr begrenzten Werte der originalen CU durch Praxis orientierte Werte ersetzt. Für einen Rennbetrieb in einem Renncenter mag die Ausführung zu seicht sein (aber trotzdem praktisch). Schlechter wird eine CU durch den Umbau auf jeden Fall nicht. Demzufolge ist der Umbau für jeden Ambitionierten Fahrer empfehlenswert. Bei einem defekt kann dann schnell reagiert werden.

Wir benötigen weiterhin einen Steckkontakt und den Kühlkörper.

Bestellliste:

FET:

<http://www.conrad.de/ce/de/product/162537/?TRANSISTOR-HEXFET-IRF9540N-TO-220-IR>

Kühlkörper:

<http://www.conrad.de/ce/de/product/188158/KUeHLKOeRPER-SK-95>

Buchse:

<http://www.conrad.de/ce/de/product/732331/PRAeZISIONS-BUCHSENLEISTE-1X5-POL-RM-254>

Hier wurde bereits der Einwand eingeworfen diese Leiste sei nur mit 3A belastbar.

Tatsächlich kann die Leiste aber 3A bei 150V, demzufolge 450W, verkraften, wir dagegen benötigen nur maximal 288W, daher steht der Verwendung nichts entgegen.

Leider finde ich keine „einzelne“ passenden Schrauben bei Conrad zum verschrauben des FET.

Die hier sind die günstigsten, nicht optimal das Senkkopf, aber die günstigsten:

Schraube:

[http://www.conrad.de/ce/de/product/522016/100ER-SENKSCHR-SCHLITZ-DIN963-48-M3X6/SHOP\\_AREA\\_19749&promotionareaSearchDetail=005](http://www.conrad.de/ce/de/product/522016/100ER-SENKSCHR-SCHLITZ-DIN963-48-M3X6/SHOP_AREA_19749&promotionareaSearchDetail=005)

Benötigt werden Linsenkopfschrauben M3x6. Wahrscheinlich finden die sich eher im Baumarkt. Conrad hat die schon, allerdings nur im 100er Pack.

Wärmeleitpaste:

[http://www.conrad.de/ce/de/product/145068/STANDARD-WAeRMELEITPASTE-P12-WACKER-1g/SHOP\\_AREA\\_27808&promotionareaSearchDetail=005](http://www.conrad.de/ce/de/product/145068/STANDARD-WAeRMELEITPASTE-P12-WACKER-1g/SHOP_AREA_27808&promotionareaSearchDetail=005)

Ein paar Stück Kabel, Querschnitt 0,75.

Das ergibt, (Stand Mai 2012)

FET	1,05 €
KKörper	1,15 €
Buchse	0,42 €
Schraube	3,17 €
Kühlpaste	1,49 €

---

Gesamt	7,28 €
--------	--------

Unschwer ist zu erkennen das die Schrauben am meisten kosten.

Ich empfehle von allem mindestens 2 Stück (nicht von den Schrauben, das sind 100) zu beschaffen.

Dann ist die Wechsel Option einfach durchzuführen.

Die Schrauben und die Kühlpaste dienen der Montage und sind erforderlich, später wird beschrieben wie das eingesetzt wird.

Der Umbau ist relativ einfach, nichts desto trotz sollte Erfahrung im löten vorhanden sein und auch Handwerkliches Geschick vorhanden sein. Wir benötigen außerdem einen speziellen Torx Schlüssel (zum öffnen des CU Gehäuse) und eine Heißklebe Pistole. Schrumpfschlauch zur Isolierung sollte ebenfalls vorhanden sein. Durch das öffnen der CU und durch den Umbau geht jegliche Garantie verloren.

Die größte Hürde ist das auslöten des vorhandenen FET und die Bohrungen für den neuen Typ. Gerade das auslöten ist relativ schwierig und es muss sehr sorgsam vorgegangen werden. Ein Vakuum Entlöter hilft bei dieser Aufgabe ungemein.

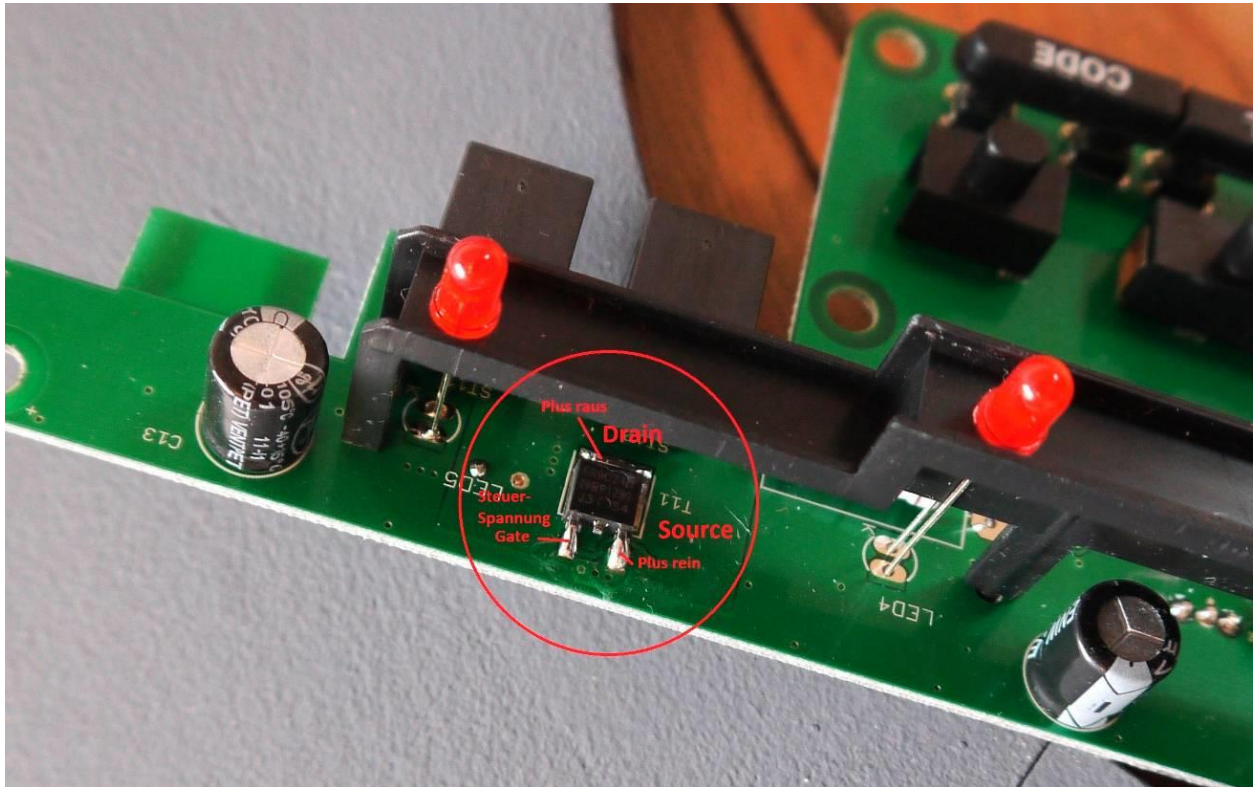
Wir öffnen das Gehäuse

Hier muss noch einiges dazu geschrieben werden.

Vorab Bilder-Strecke ☺

Lokalisieren des FET

## Ausbau



Es ist auch möglich den FET einfach auf der Platine zu lassen.

Einfach mit einem scharfen Seitenschneider Gate und Source trennen.

Die Reste der Beine auf der Platine ablöten. Darauf achten das keine Verbindung mehr zwischen der Platine und dem FET besteht. Dann können an diese Lötunkte, siehe oben, direkt die Kabel zur Steckfassung angelötet werden. Das totgeschaltete FET Gehäuse stört nicht.

Analog kann so auch der FET einer BB bearbeitet werden



Prüfen der Lötunkte

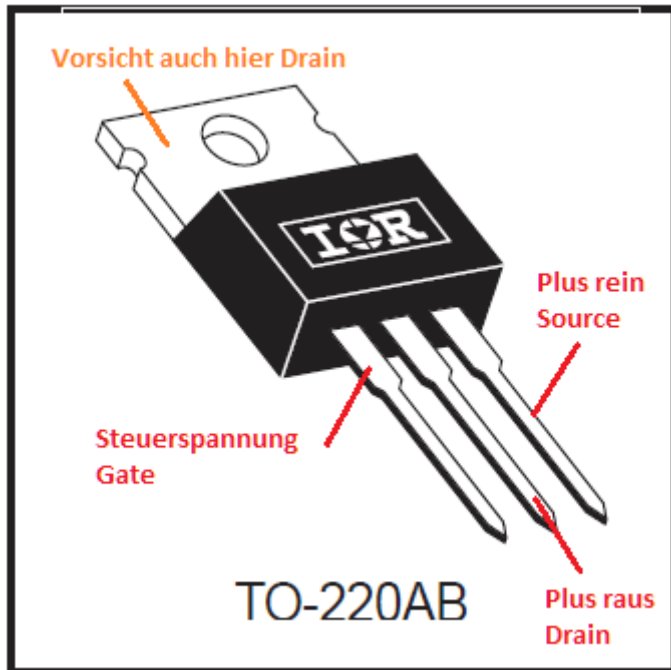


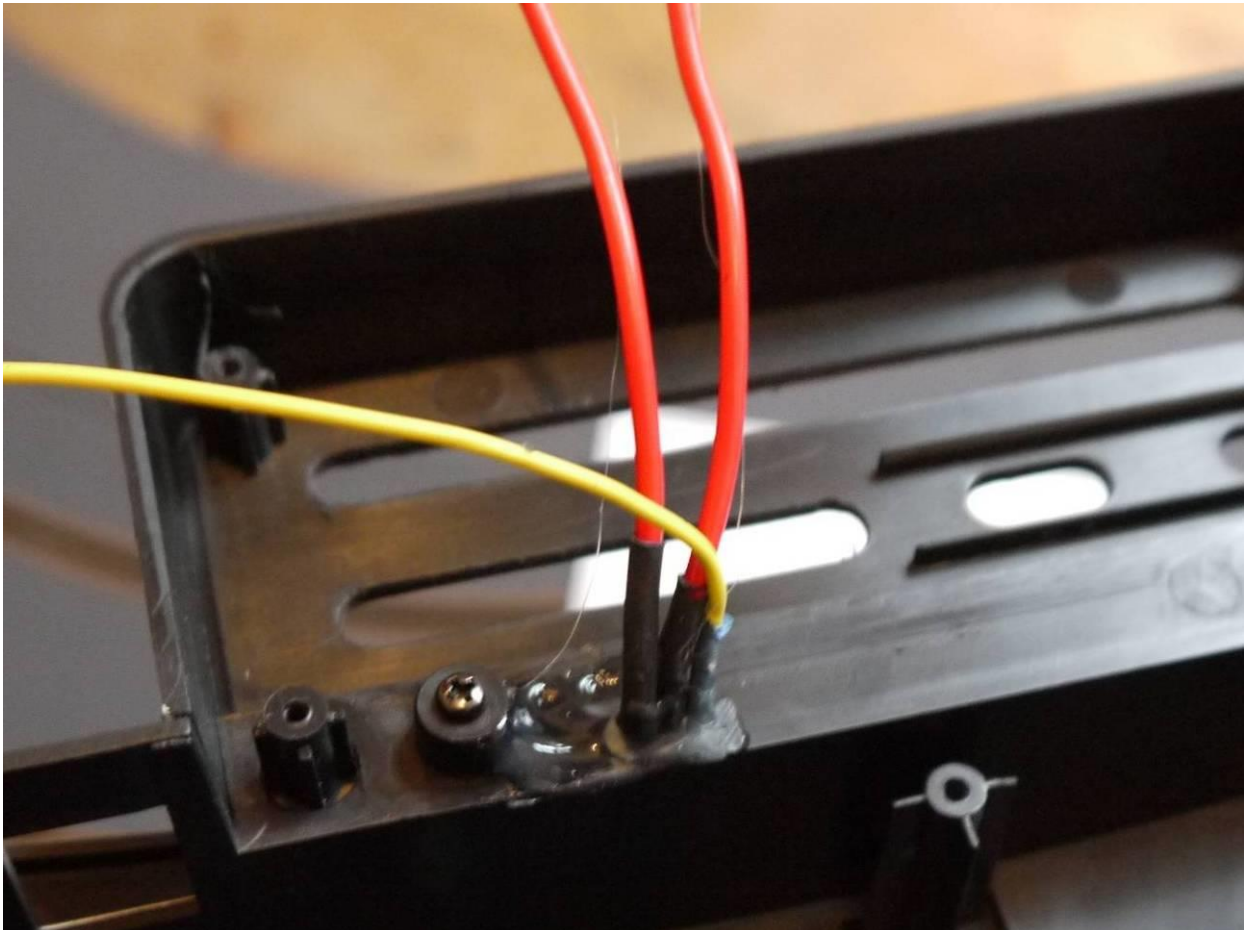
Schaubild neuer Einbau  
Löcher im Gehäuse





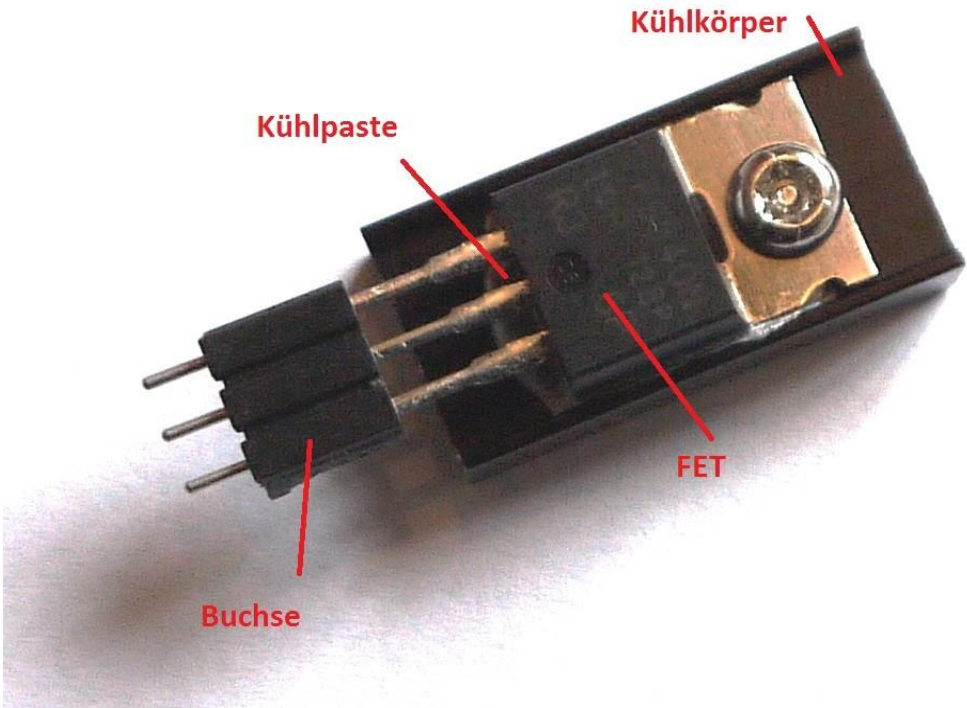
Buchse und Verkabelung

Buchse verbauen





FET vorbereiten



Kühlkörper Verschraubung  
Einbau des FET

Wir werden den FET mit der Vorderseite zum Gehäuse platzieren damit der Kühlkörper möglichst frei steht. Deswegen sind die Anschlüsse Spiegelverkehrt.

