

Widerstandssteuerung praktisch: ein einfacher Fahrschalter zum Selbstbau - Teil 2

Peter Bickel, Frankreich

Der Kontroller: Mechanik und Verdrahtung

Für die weitere Arbeit laden Sie sich jetzt die Blätter *VerdrahtungHuepfer* (150kB), *Verdrahtung Kontroller* (138kB) und *Schaltwalze* (137kB) [1] herunter und drucken sie aus. Die Zeichnungen passen auf je eine A4-Seite.

Was Sie brauchen

Im Bild 1 sehen Sie die wichtigsten Zutaten:

- links vorn das *Kettenzahnrad* mit 20 Zähnen, mit dem ich die Rastung der Schaltstufen realisiere (Conrad 73 71 40),
- rechts vorn zwei verschieden grosse *Mikroschalter* mit Umschaltkontakt, Sie brauchen davon neun; die Schalter mit Rolle sind besonders praktisch (Conrad 70 44 90)
- in der Mitte drei *Autorelais*, eines davon ist geöffnet, es hat einen Umschaltkontakt; die Relais sind feuchtedicht gekapselt und haben haben 6.3mm Flachstecker, Sie brauchen drei mit Umschalt- und acht mit Arbeitskontakt. Oder einfach alle mit Umschaltkontakt, sie sind gleich teuer wie die mit Arbeitskontakt (Conrad 50 42 09 oder 50 43 52)



Bild 1

Ausserdem brauchen Sie:

- ein *Gehäuse* aus der Bastelkiste: mein Gehäuse stammt von einem ausgeschlachteten Computernetzteil,
- ein zehnpoliges *Verbindungskabel* zum Hüpferteil: Gut eignen sich Kabel für die alte PC-Peripherie, wie sie wohl überall herumliegen: Joystick-Kabel und Druckerkabel haben genügend Adern, serielle Kabel leider nicht,
- den *Wendeswitcher* können Sie selber machen, oder Sie besorgen sich statt dessen einen Kipp- oder Drehschalter mit drei Stellungen und zwei Schaltebenen (Conrad 70 30 95), für die Verriegelung sind zwei kleine 12V-Relais mit je einem Umschaltkontakt nötig;
- wenn Sie einen *Not-/Hauptschalter* HS haben wollen, besorgen Sie sich dafür einen Kippschalter, das kann auch ein Schlüsselschalter sein. (Conrad 701169)

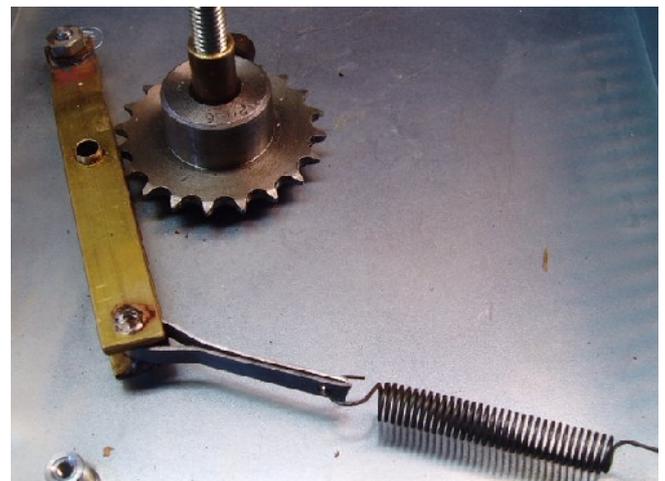


Bild 2

Verlassen Sie sich auf Ihre Bastelkiste, das spart Kosten! Der Rest ist Bastelei!

Die Schaltwalze des Kontrollers

Das Kettenzahnrad kommt mit einer Bohrung von 8mm, ich wähle als Achse eine 6mm-Gewindestange, das Kettenzahnrad kommt auf ein Stück Messingrohr 6x8mm. Durch eine Feder wird eine Messingrondelle auf die Zähne gedrückt, die Härte der Rastung ist vom Durchmesser der Rondelle und von der Federhärte abhängig. Meine Rolle hat 10mm Durchmesser, das funktioniert gut. Bild 2

Durch das Kettenzahnrad mit 20 Zähnen ergibt sich ein Schaltwinkel von 18° pro Stufe. Von den 20 Rastmöglichkeiten benutzen wir nur 14, zwei Anschläge sorgen dafür, dass die Walze nicht über die Stellungen P4 beziehungsweise B4 hinausgedreht werden kann. Ich habe im Zahnrad zwei und im Gehäuse eine dritte Schraube eingesetzt - es funktioniert bestens.

Für die Schaltwalze zentriere ich ein Stück PVC-Rohr vom Baumarkt mit einer hölzernen Rondelle auf der 6mm-Gewindestange. Das Rohr hat 80mm Durchmesser und 50mm Länge. Die Mikroschalter haben einen Schaltweg von knapp 2mm, die Walze sollte darum wirklich rund laufen, sonst schalten sie nicht wie sie sollten.

Als nächstes reisse ich die Hilfslinien für das Aufkleben der Nocken an - orientieren Sie sich dafür an der Abwicklung der Walze unten auf dem Blatt 'Schaltwalze' und an Bild 3. Zuerst reisse ich die sechs Kreise an: Ich spanne die Walze in die Bohrmaschine oder die Drehbank und ziehe Linien im Abstand der Dicke der Mikroschalter. Die senkrechten Linien im Abstand von 12.5mm können Sie mit einem Schneidmeter oder einem Papierstreifen auf die Walze übertragen oder Sie montieren die Walze mit dem Rastwerk im Gehäuse und drehen sie, dies liefert Ihnen die Einteilung sehr genau.

Die Nocken schneide ich aus einer Polystyrol-Platte von 2 oder 3mm Dicke (Conrad 29 75 34), sie sind etwa 5mm breit. Mit dem Heissluftgebläse erwärme ich sie vorsichtig und biege sie um die Schaltwalze. Die Streifen klebe ich mit Spezialkleber für PVC-Rohre fest und schneide dann die Rampen für die Federn

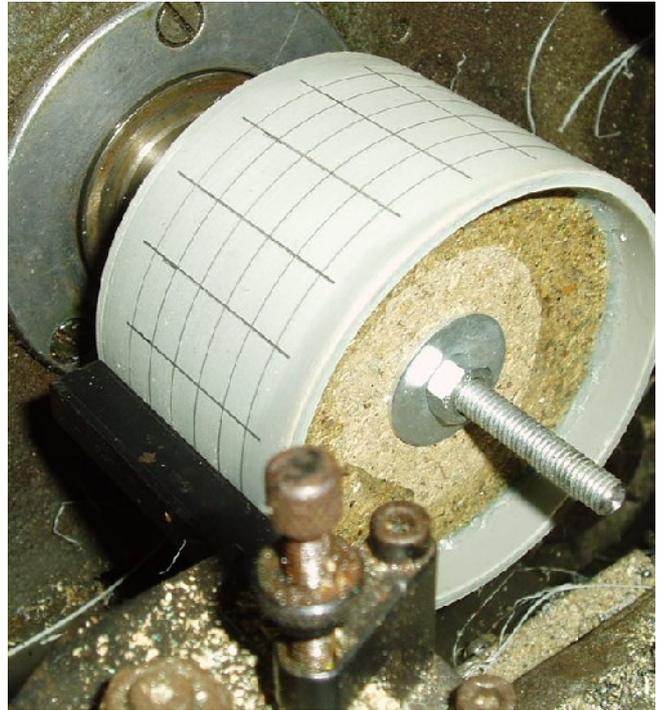


Bild 3

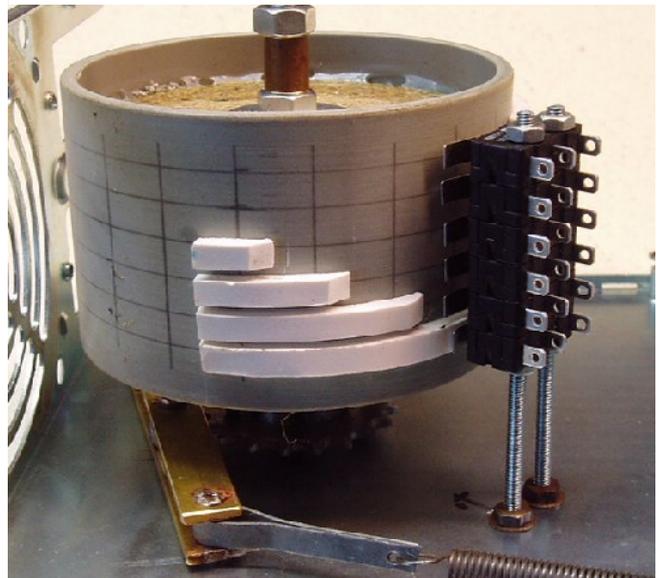


Bild 4

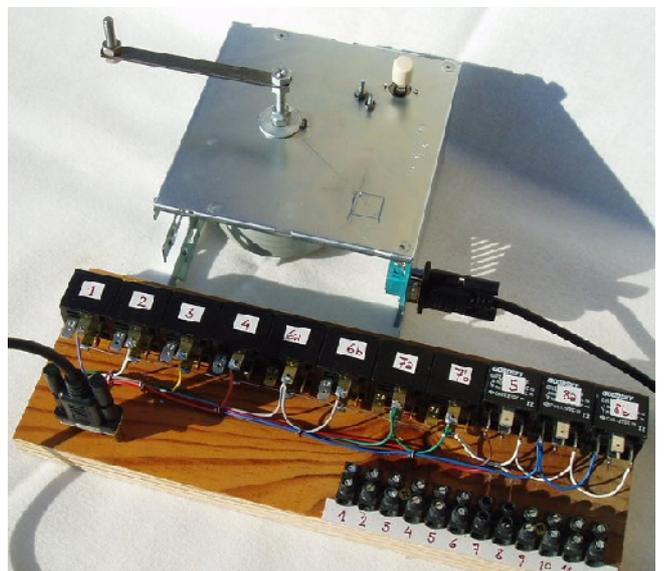


Bild 5

der Mikroschalter. Auf Bild 4 sehen Sie die fertige Schaltwalze mit den Mikroschaltern. Achtung: Gegenüber der Zeichnung steht die Walze kopfüber, die Fahrstufe 1 ist unten!

Die Mikroschalter und ihre Verdrahtung

Die Mikroschalter sind auf zwei M3-Gewindestangen montiert. Feilen Sie für die Befestigung im Gehäuse zwei Langlöcher, damit Sie die Schalter problemlos justieren können.

Für die Verdrahtung brauchen Sie einen LötKolben von 20...30 Watt Leistung. Es braucht keine Lötstation mit elektronisch geregelter Temperatur zu sein, ein gewöhnlicher kleiner LötKolben tuts bei weitem! Kaufen Sie sich ein ordentliches Lötzinn mit Flussmittel, ein säurefreies Lötfett erleichtert die Arbeit. Litze für diese Arbeit gibts auch in kleinen Mengen in verschiedenen Farben. Am besten gehen Sie so vor, dass Sie ausreichend lange Litzen an die Pins der Buchse löten, dann die Buchse verschrauben und die Leitungen zum Hauptschalter und zu den Mikroschaltern führen. Es lohnt sich, verschiedenfarbige Litzen zu verwenden, spätestens bei der Fehlersuche werden Sie froh sein darüber.

Die Hüpfsteuerung - Verdrahtung der Relais

Die Autorelais montiere ich auf ein Brettchen von etwa 15x35cm, es lohnt sich, sie mit den Nummern der Schalter zu versehen. links habe ich die Buchse montiert, rechts eine zwölfpolige Lüsterklemme für die Verbindungen zu Akku, Motoren und Widerständen. Die Nummern der Klemmen entsprechen den roten Nummern auf dem Blatt 'Verdrahtung'.

Wenn es bei Ihnen aussieht wie auf Bild 5, können Sie diesen ersten Schritt ausprobieren: Verbinden Sie Controller und Hüpfsteuerung mit dem Kabel und legen Sie an die Klemmen (7+) und (8-) ein 12V-Netzteil oder einen Akku. Wenn Sie am Controller drehen, sollten die Relais klackern. Machen Sie sich keine Sorgen, wenn die Relais Lärm machen, das gehört dazu! Die Relais brauchen 150 bzw 300mA, das Netzteil sollte also wenigstens ein Ampère liefern. Überprüfen Sie jetzt mit einem Voltmeter oder einer Prüfschaltung mit einer 12V-Lampe, ob die Verbindungen richtig sind.

Es ist eine gute Gewohnheit, auf dem Blatt 'Verdrahtung' die gezogenen Verbindungen sofort mit einem Markierstift nachzuziehen. Notieren Sie vielleicht auch die Farbe der Verbindungen: sw=schwarz, ws=weiss, rt=rot, gb=gelb, bl=blau, gn=grün, gr=grau, vi=violett, bn=braun, or=orange. In diesen zehn Farben bekommen Sie die Schalllitze bei Conrad (06 85 11 oder 60 85 48 usw).

Der Leistungsteil: Verdrahtung und Inbetriebnahme

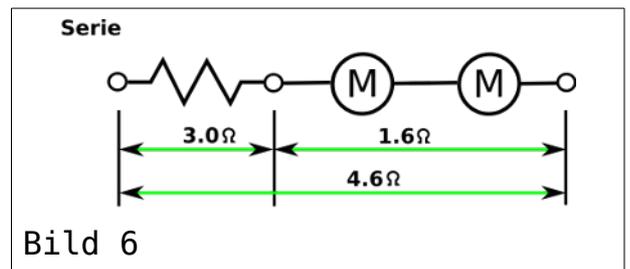
Folgen Sie jetzt dem Schema *VerdrahtungHuepfer.pdf* [1], und verdrahten den Leistungsteil mit einem Draht oder einer Litze von 1.5mm² oder besser 2.5mm² Querschnitt, beides sollten Sie im Baumarkt bekommen. Conrad bietet Lausprecherlitze von 2.5mm² an (607878 schwarz, 607827 weiss, 609005 grau) oder schneiden Sie ein Netzkabel auf...

Bemessen der Vorwiderstände

Eine kleine Knacknuss sind die Widerstände R1...R4. Deren Bemessung ist nicht ganz einfach, ihre Werte hängen natürlich von der Stärke der Motoren ab. Ich folge hier einem Papier von *SMEX-Net* [2]. Diese Seite der australischen Modellbahner ist voll

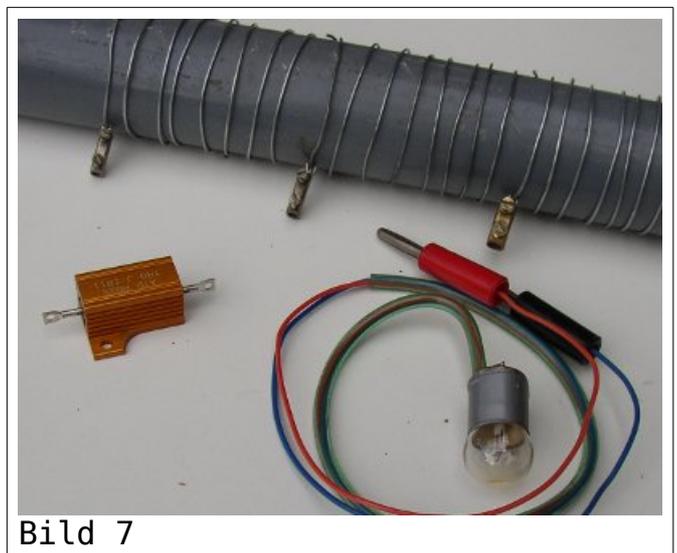
guter Tips und darum sehr empfohlen! Ich kann Ihnen im Folgenden etwas Turnen am Ohmschen Gesetz und etwas Ausprobiererei nicht ersparen, das ausführlich dargestellte Beispiel sollte die Sache aber verständlich machen.

Sie müssen als erstes den inneren Widerstand eines Ihrer Motoren bei Stillstand messen, dieser Widerstand bestimmt die Stromaufnahme beim Anfahren. Dieser *Stall Current* ist wesentlich höher als der Motorenstrom unter normaler Belastung, den Sie vielleicht aus dem Datenblatt kennen, er kann bis zum zwanzigfachen der Stromaufnahme im normalen Betrieb ausmachen.



Bei guten Motoren finden Sie den Wert des inneren Widerstands bei stehendem Motor im Datenblatt. Andernfalls haben Sie zwei Möglichkeiten:

- Sie verbinden ein Ohmmeter mit den Motorklemmen und lesen den Widerstandswert ab. Dies ist keine sehr exakte Methode, weil zum Messen so kleiner Widerstände ein Spezialinstrument nötig ist, sie genügt aber fürs unsere Zwecke. Den Anlaufstrom berechnen Sie dann nach der Formel $I = U / R$ (Anlaufstrom = Akkuspannung geteilt durch den Innenwiderstand).
- Sie blockieren den Motor, sodass sich die Achse nicht drehen kann, und verbinden ihn dann für zwei, drei Sekunden mit dem Akku. Ein Ampèremeter zeigt Ihnen den Strom an, den der stillstehende Motor im Moment des Anlaufens aufnimmt (engl *Stall Current*). Den inneren Widerstand berechnen Sie dann nach der Formel $R = U / I$ (Innenwiderstand = Akkuspannung geteilt durch den gemessenen Strom). ACHTUNG: Das ist ein gefährliches Manöver! Der Motor liefert bei diesem Versuch sein maximales Drehmoment, seien Sie also vorsichtig!



Beispiel:

Meine Ventilatormotoren aus einem Lieferwagen zeigen folgende Werte:
Innenwiderstand gemessen mit einem Vielfachmessinstrument: 0.8Ω
der Anlaufstrom ist dann $12V / 0.8\Omega = 15A$

In unserem Kontroller sind die beiden Motoren beim Anfahren aus dem Stillstand in Serie geschaltet (siehe Bild):
der innere Widerstand ist also $2 * 0.8\Omega = 1.6\Omega$
der Anlaufstrom ist dann $12V / 1.6\Omega = 7.5A$
mit einem Vorwiderstand von 3Ω ist der Gesamtwiderstand gleich $1.6\Omega + 3\Omega = 4.6\Omega$
der Anlaufstrom ist jetzt noch $12V / 4.6\Omega = 2.6A$

Ich habe die drei Widerstände gleich gross gemacht, was aber keine Notwendigkeit ist. Probieren Sie andere Kombinationen aus, wenn Sie mögen!

Beschaffen der Vorwiderstände

Hochbelastbare Drahtwiderstände liegen in der Regel nicht in der Bastelkiste herum

und Konstantan-Draht zum Selbermachen ist ziemlich teuer. Ich habe also meine Widerstände aus Blumendraht von 0.9mm Durchmesser auf ein PVC-Rohr gewickelt, ein Meter ergibt ziemlich genau ein Ohm. Das sieht zwar nicht elegant aus, versieht aber den Dienst und ist zum Ausprobieren des Widerstandswerts ideal.

Die Widerstände gibt es auch zu kaufen (Conrad 421235 1Ω/25W oder 421545 1Ω/50W): Sie sind in einen Kühlkörper aus Aluminium montiert, müssen aber natürlich auf ein ausreichend grosses Kühlblech montiert werden. Sie sind viel kompakter als die selber gemachten und bereiten weniger Sorgen wegen des Berührungsschutzes.

Ich gehe davon aus, dass Sie nur in den Stufen 4/Serie und 4/Parallel fahren und die Stufen 1...3 rasch durchschalten. Die Widerstände werden dabei kurzzeitig überlastet, was sie aber einige Sekunden lang aushalten. Im Zweifel nehmen Sie solche mit 50 Watt Belastbarkeit.

Zusammenschalten und Ausprobieren

Wir sind jetzt in dem Teil der Schaltung, wo ein Akku die Energie liefert und wo Spitzenströme von bis zu 40A fließen. Ich will Ihnen darum einige Hinweise geben, damit Sie gefahrlos und ohne Enttäuschungen durchkommen.

- *das Gesetz von Murphy:* Wo man einen Fehler machen kann, macht man ihn früher oder später auch. Kontrollieren Sie Ihre Schaltung und den Versuchsaufbau lieber einmal zu viel, er wird auch dann noch Fehler enthalten.
- *ein Akku ist ein Pulverfass:* Bei einem Kurzschluss fliesst ein Strom in der Größenordnung von mehreren hundert Ampère, der Ihre Schaltung zerstört und Ihnen Verbrennungen beschern kann. **Schalten Sie beim ersten Einschalten eine Auto-Scheinwerferlampe zwischen den Pluspol des Akkus und den Pluspol der Hüpfsteuerung, sie begrenzt den Strom.**
- *vermeiden Sie Verluste:* Drähte, Klemmen, Stecker, Relais und Schalter haben Widerstände und beschern Ihnen Verluste. Das heisst also: Drähte so kurz wie möglich halten, was Sie durch geschickte Anordnung der Bauelemente erreichen. Auf Klemmen und Stecker verzichten und stattdessen löten. Relais und Schalter mit ausreichender Belastbarkeit verbauen.

Der Versuchsaufbau auf dem Tisch dient der Prüfung des Schaltungsaufbaus, Sie dürfen also ruhig mit Laborkabeln und Krokodilklemmen hantieren, wenn Sie vorsichtig sind und an die Übergangswiderstände denken. Legen Sie dann das Ganze über die Autolampe an den Akku und probieren Sie den Controller aus. Die Lampe leuchtet auf, die Relais werden klappern und die Motoren werden brummen



Bild 8

Versuchsaufbau: [1] Akku, [2] Lampe als Sicherung, [3] Ampèremeter, [4] Widerstände, [5] Controller [6] Hüpf [7] Motoren

oder langsam drehen. Behalten Sie beim Schalten das Ampèremeter im Auge und schalten Sie sofort ab, wenn der Strom zu gross wird.

Und dann beginnt die Fehlersuche, bei der Ihnen eine kleine Prüflampe wie im Bild oben nützliche Dienste leistet. Ich habe an dieser Stelle einen Vormittag lang nach einem Fehler gesucht, der eindeutig unter die Kategorie *Murphy* gehört: Ich hatte die Relais mit ihren Nummern bezeichnet - leider falsch. Die meiste Zeit geht dahin fürs Finden des Fehlers, behoben ist er dann schnell.

Dann habe ich die Glühlampe kurzgeschlossen und die Schaltung durchgemessen. Wenn Sie die Tabelle anschauen, bedenken Sie, dass die Motoren unbelastet laufen. Unter Belastung werden die Ströme höher sein. An den Motoren liegen die 12V Akkuspannung an, der Grund liegt in den Laborkabeln und Krokodilklemmen. In Serieschaltung sollten sich die beiden Motoren natürlich brüderlich in die Gesamtspannung teilen, was sie bei mir nicht taten. Offenbar laufen nicht beide gleich gut, unter Belastung wird sich das aber ausgleichen.

Ein sich drehender Motor ist ein komplexes dynamisches Gebilde, das durch Messungen mit dem Multimeter und Berechnungen nach dem Ohmschen Gesetz kaum erfasst werden kann. Bitte bedenken Sie das beim Lesen der folgenden Tabelle. Den meisten von uns ist die höhere Mathematik unzugänglich, es bleibt also nur Ausprobieren. Was wir ja von anderen Gelegenheiten gewohnt sind!

Messwerte zum Versuchsaufbau im Bild (Leerlauf, Spannung und Strom über beide Motoren)

SERIE Widerstand der beiden Motoren = 1.6Ω

Stufe	Vorwiderstand	Widerstand total	Spannung	Strom	Leistungsaufn.
1	3.0Ω	4.6Ω	8.9V	3.3A	29W
2	2.0Ω	3.6Ω	9.7V	3.5A	34W
3	1.0Ω	2.6Ω	10.6V	3.7A	39W
4	0.0Ω	1.6Ω	11.2V	4.0A	45W

PARALLEL Widerstand der beiden Motoren = 0.4Ω

Stufe	Vorwiderstand	Widerstand total	Spannung	Strom	Leistungsaufn.
1	3.0Ω	3.4Ω	5.2V	6.0A	31W
2	2.0Ω	2.4Ω	6.2V	6.5A	40W
3	4.4Ω	1.4Ω	8.0V	7.0A	56W
4	0.0Ω	0.4Ω	9.8V	8.0 A	78W

Fazit

Ich habe im Moment (SEP-2011) kein Fahrzeug, in dem ich die Steuerung einbauen und unter Last erproben kann. Aus diesem Grund fehlt auch Widerstand R4 für die elektrische Bremse. Das wird sich aber bald ändern.

Beim Aufbau der Versuchsschaltung habe ich einige Einsichten gewonnen - hier sind sie:

- verwenden Sie ordentliche Mikroschalter, ich würde die billigen Miniaturschalter nicht mehr kaufen
- ein digitales Multimeter gehört heute selbstverständlich zur Ausrüstung, überfordern Sie es aber nicht: es ist ungenau und für Ströme über 5A absolut ungeeignet
- verwenden Sie nur Autorelais mit Umschalter, es vereinfacht die Verdrahtungsarbeit und sie sparen nichts mit den einfacheren
- im Schema sind keine Sicherungen eingezeichnet, es ist aber *good engineering*

practice solche vorzusehen; verwenden Sie Autosicherungen, zu denen es auch Halterungen gibt, es gibt sie bis 200A

- auf einen der Pole des Akkus gehört obligatorisch ein Hauptschalter mit einer Leistung von 100A (Conrad 85 48 88)

Eine aufwendige und zeitraubende Angelegenheit, der Bau dieses Fahrschalters. Keine Frage, eine PWM-Steuerung ist schneller zusammengelötet und erst noch billiger, aber halt ohne jedes Abenteuer... Berichten Sie mir von Ihren Erfahrungen!

Referenzen

- [1] <http://GB.Puydorat.fr/pdf/VerdrahtungHuepfer.pdf>
<http://GB.Puydorat.fr/pdf/VerdrahtungKontroller.pdf>
<http://GB.Puydorat.fr/pdf/Schaltwalze.pdf>
- [2] <http://www.smex.net.au/Reference/Controller01.htm>:
Control of Model Electric Locomotives (en)