

Widerstandssteuerung praktisch: ein einfacher Fahrschalter zum Selbstbau Teil 1

Peter Bickel, Frankreich

Der klassische Fahrschalter

Tram- und Bergbahnen werden meist mit Gleichstrom betrieben, eine verblüffend einfache Schaltung ermöglicht das Anfahren: Zwei gleiche Motoren sind nötig, das ergibt zwei Fahrstufen: Halbe Geschwindigkeit, wenn sie in Serie, und volle Geschwindigkeit, wenn sie parallel geschaltet sind. Widerstände im Stromkreis begrenzen den Motorstrom beim Anfahren. Zuerst sind grosse Widerstände nötig, die dann nach und nach abgeschaltet werden, bis die Motoren an der vollen Spannung des Fahrdrachts liegen. Beim Bremsen arbeiten die Motoren als Generatoren und die Anfahrwiderstände bilden die Last, indem sie die erzeugte Energie in Wärme umsetzen. Die Konstruktion ist einfach, betriebssicher und langlebig - im täglichen Fahrbetrieb sind das hohe Werte.



Basler Drämmli

Man unterscheidet drei Generationen von Fahrschaltern oder Kontrollern:

- Die ersten Modelle von 1890 sind **Schleifring-Fahrschalter**. Auf einer senkrecht stehenden Walze führen Schleifringe den Strom über Schleifkontakte zu den Widerständen und Motoren. Durch Drehen der Walze öffnen und schliessen sich Kontakte und ändert sich so die Geschwindigkeit des Fahrzeugs. Der gesamte Motorenstrom fliesst über die Schleifringe und -Kontakte, die mechanisch und elektrisch hoch belastet sind.
- Zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts steigen die Motorleistungen, womit der Abbrand an den Kontakten zunimmt. Ab 1920 kommen darum **Nocken-Fahrschalter** in Gebrauch: Die Schaltwalze ist als Nockenwelle gebaut, die Nocken betätigen Schalter. Immer noch fliesst der gesamte Motorenstrom über den Fahrschalter, die Schalter mit Funkenlöschung sind aber wesentlich robuster als die Schleifkontakte. Weil bei diesen beiden Modellen der Fahrstrom durch den Controller fliesst, heissen sie auch **Direkt-Kontroller**.
- Mit weiter steigenden Motorleistungen kommt die **Hüpfer- oder Schützensteuerung** in Gebrauch. Das Bedienpult ist ähnlich aufgebaut wie beim Nockenfahrschalter, die Nocken betätigen aber nur kleine Schalter, welche ihrerseits Leistungsschalter (Relais, Schützen) ansteuern. Die Wege des Motorenstroms im Fahrzeug werden dadurch kürzer und erstmals ist es jetzt möglich, diese Loks über ein Vielfachkabel fernzu-steuern.



PilatusBahn

Die Fahrschalter sind heute weitgehend verschwunden, die *Choppersteuerung* hat sie verdrängt: Der Fahrstrom wird nicht mehr durch Widerstände reduziert, sondern zerhackt - die modernen Leistungshalbleiter machen es möglich. Den Fahrschaltern der ersten und zweiten Generation können Sie allerdings immer noch begegnen, im Trammuseum etwa und bei Bahnen ausserhalb der grossen Städte. Weil zur Zeit überall TramMuseen entstehen, ist das Internet voll von Informationen. Schauen Sie vielleicht einmal bei Wikipedia [1] oder im Strassenbahnmuseum Chemnitz [2] - eine Fundgrube!

Der Selbstbau

Was Sie an Schaltern und Widerständen für einen Direktkontroller brauchen, können Sie im Fachhandel beziehen, zum Beispiel bei Dampfbahn Zimmermann [3]. Die Industriebauteile sind zwar von bester Qualität aber eben auch teuer, weshalb ich meine, der Selbstbau lohne sich. Mein Vorschlag ist eine Art Kochrezept, dem Sie genau folgen können, aber nicht müssen.

Ich habe mir lange den Kopf darüber zerbrochen, wie ein funktionstüchtiger und zuverlässiger Schleifring-Kontroller für eine Gartenbahnlok konstruiert sein könnte. Die Sache ist wegen der hohen Ströme nicht einfach, denn bei bis zu 40 Ampère entstehen Lichtbögen beim Schalten, welche die Kontakte in kürzester Zeit abbrennen. Was ich Ihnen hier vorstelle, ist darum kein Direkt-Kontroller, sondern eine **Hüpfensteuerung**. Die Schaltaufgabe ist an Relais delegiert, wie sie im Autobedarf günstig zu haben sind. Diese Lösung hat ausserdem den Vorteil, dass die Leitungen zwischen dem Fahrzeug und dem Steuerpult keine grossen Ströme führen, das Verbindungskabel also leicht und flexibel sein kann. Ausserdem können Sie Ihren Zug auch vom hintersten Wagen aus steuern, wenn Sie das lustig finden...

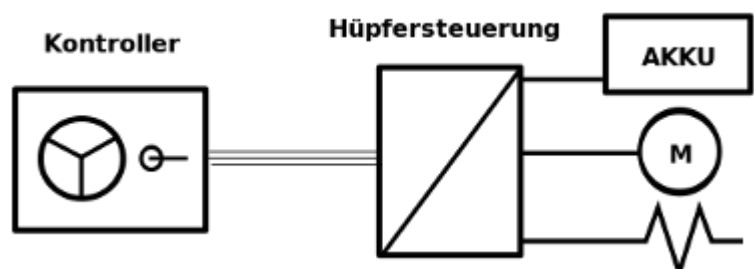
Was Sie brauchen, ist etwas elektrisches (nicht elektronisches) Verständnis für die Schaltung und etwas handwerkliches Geschick für den Aufbau des ganzen. Niemand soll Sie davon abhalten, das Rezept zu ändern oder zu ergänzen: Es zeigt nur das Prinzip, alles andere bleibt Ihnen überlassen! Sie finden alle Teile im Versandhandel, zum Beispiel bei Conrad [4] oder Reichelt[5]. Die Kosten liegen um EUR 50.- und sind natürlich abhängig vom Inhalt Ihrer Bastelkiste.

Das Konzept

Die Steuerung besteht aus zwei Teilen, dem **Kontroller** mit dem Fahrschalter und dem Wendeschalter und der **Hüpfensteuerung** mit den Leistungsrelais, eben den Hüpfen. Der Kontroller gibt

die Befehle zum Schalten, die Hüpfensteuerung führt sie aus. Die beiden Teile sind durch ein leichtes und flexibles Kabel miteinander verbunden. Die Hüpfensteuerung liegt im Fahrzeug so nahe wie möglich beim Akku und bei den Motoren, damit die Leitungen kurz bleiben.

Den **Fahrschalter** können Sie auf den beiden Bildern oben gut erkennen, er ist als Hebel oder als Handrad ausgeführt. Drehen Sie den Fahrschalter im Uhrzeigersinn, arbeiten die Motoren und das Fahrzeug beschleunigt. Drehen im Gegenuhrzeigersinn bremst das Fahrzeug. Der kleine Hebel rechts ist der



Wendeschalter, er hat drei Stellungen: in der Mitte Halt, rechts und links davon vorwärts und rückwärts.

Fragen Sie mich nicht, warum die Relais hier **Hüpfer** heissen und nicht Relais, Schützen oder Leistungsschalter - ich weiss es nicht. Im Lokomotivbau sind das einfach Hüpfer, vermutlich weil irgendein unbekannter Ingenieur ihnen diesen Namen gab. Bei der Geburt dieser Hüpfersteuerungen in den zwanziger Jahren des letzten Jahrhunderts lagen die Leistungsschalter aneinandergereiht auf einer Linie und wurden einer nach dem anderen aktiviert. Das muss wohl die Assoziation zum Hüpfen oder Springen gegeben haben. Insbesondere auch weil das Weiterschalten mit erheblichem Lärm verbunden war. Ich werde diese Schaltelemente hier konsequent Hüpfer nennen, schliesslich bauen wir Lokomotiven. Real sind es hier gekapselte Leistungsrelais, wie sie im Autobau Verwendung finden. Es gibt sie mit einem Arbeits- oder einem Umschaltkontakt.

Die Hüpfersteuerung

Ich stelle Ihnen zuerst die Hüpfersteuerung vor, also den Teil der Schaltung, wo die hohen Motorströme fliessen. Stellen Sie sich die Schalter im Schema als Hüpfer, also als magnetbetriebene Schalter vor. Die Gesamtschaltung der Hüpfersteuerung können Sie als PNG herunterladen [6].

Die Teilschaltungen für Fahren und Bremsen

Die beiden Schaltungen unterscheiden sich nur darin, dass beim Fahren der Akku als Energielieferant und beim Bremsen der Widerstand R4 als Last im Motorenkreis liegen. R1...R3 sind die Fahrwiderstände, R1...R4 die Bremswiderstände. R1...R3 werden für beide Funktionen genutzt. S1...S4 sind die Hüpfer und M steht für die Fahrmotoren.

Fahren: In der gezeichneten Hüpferstellung fliesst kein Strom, das Fahrzeug steht still.

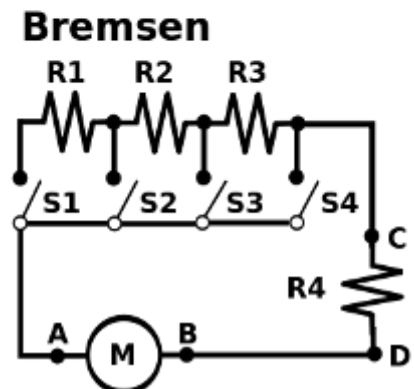
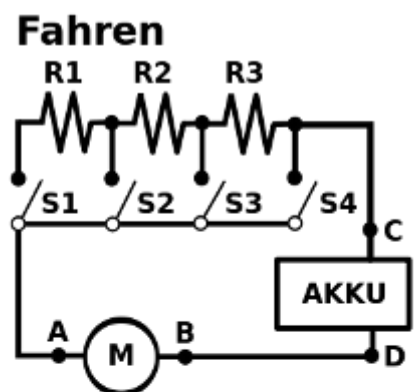
Stellen Sie sich jetzt vor, dass Sie den Hüpfer S1 schliessen: Es fliesst Strom durch die Widerstände R1+R2+R3, der Motor beginnt sich zu drehen. Wenn Sie S2 schliessen, wird R1 überbrückt und es liegen noch R2+R3 im Stromkreis. So werden die Widerstände nach und nach ausgeschaltet, bis nach dem Schliessen von S4 der Motor an der vollen Akkuspannung liegt.

Bremsen: Die Funktion ist sehr ähnlich, nur dass jetzt der Motor keine Energie aus dem Akku bezieht, sondern Energie erzeugt. Die Widerstände belasten den Motor, sie wandeln die Energie in Wärme um. Je kleiner der Widerstand im Motorkreis, desto grösser ist die Bremswirkung. R4 ist ein Schutzwiderstand, er verhindert, dass die Fahrmotoren kurzgeschlossen werden, wenn S4 schliesst.

Unser Fahrzeug kann jetzt fahren und bremsen, es hat aber streng genommen nur eine Fahrstufe bei geschlossenem S4 und es kann nicht rückwärts fahren.

Die Teilschaltung für die Serie-Parallel-Umschaltung

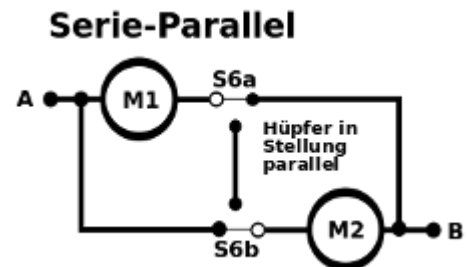
Die erste Ergänzung ist eine zusätzliche Fahrstufe, indem wir die Motoren



zuerst in Serie und dann parallel betreiben. Zwei Umschalter sind dafür nötig, die gleichzeitig umschalten. In der gezeichneten Stellung liegen die beiden Motoren parallel, jeder erhält die volle Akkuspannung. Gehen die Kontakte auf Stellung S, liegen sie in Serie und erhalten nur noch die halbe Akkuspannung.

Denken Sie sich die Umschaltung an den Punkten A und B in den Schemata Fahren/Bremsen eingefügt. Das Anfahren erfolgt in Serie mit den Anfahrwiderständen R1...R3, dann öffnen die Hüpfer S1...S4 und es wird auf Parallel umgeschaltet. Nochmals schliessen die Schalter S1...S4 sukzessive, bis beide Motoren die volle Akkuspannung erhalten.

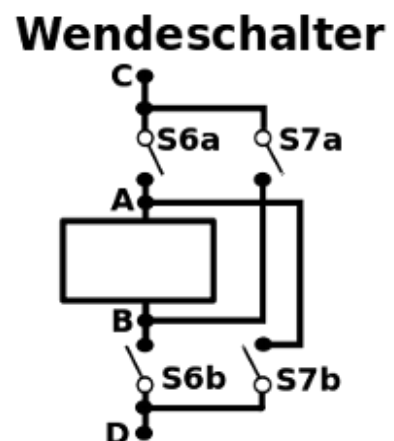
Auf dem Kontroller haben wir zwei Fahrstufen Serie und Parallel mit je drei Anfahrstufen, im Hintergrund werden aber die drei Anfahrstufen zweimal durchlaufen und dazwischen die Motoren umgeschaltet. Eine genial einfache Lösung!



Die Teilschaltung zur Umschaltung der Fahrtrichtung

Unserem Fahrzeug fehlt jetzt noch die letzte Funktion, die Umschaltung der Fahrtrichtung. Der Fahrtrichtungs- oder Wendeschalter, wie er bei den Lokomotivbauern heisst, ist ein Umpolschalter. aufgebaut aus vier Hüpfern: S7a und S7b sind elektrisch gekoppelt und schalten gleichzeitig, ebenso S8a und S8b. Wenn alle vier Kontakte offen sind, ist die Anlage stromlos, der Wendeschalter arbeitet also gleichzeitig als Hauptschalter.

Denken Sie sich jetzt den Serie-Parallel-Umschalter an den Punkten A und B angeschlossen, er sitzt dann im kleinen Rechteck und wird vom Wendeschalter umschlossen. Mit den Anschlüssen C und D kommt das ganze schliesslich an die Punkte A und B der Fahren/Bremsen-Schaltung. Ihre Hüpfersteuerung ist betriebsbereit!



Sie haben recht: Man könnte die vier Hüpfer S7 und S8 durch zwei Umschalter ersetzen. Dann ist aber in der Ruhestellung der Umschalter aber ein Kontakt geschlossen, unser Wendeschalter hätte also keine AUS-Stellung. Ich habe darum die gezeichnete Lösung gewählt, obwohl sie etwas aufwendiger ist. **Fehler in der Zeichnung: statt S6 und S7 sollte es S7 und S8 heissen!**

Die Gesamtschaltung der Hüpfersteuerung können Sie als PNG von [6] herunterladen: Sie sehen, dass Sie mit nur drei Widerständen vier Serie- und vier Parallel-Fahrstufen, sowie vier Bremsstufen einrichten können. Zusätzliche Widerstände und Relais lassen sich ohne weiteres hinzufügen, wobei die Zahl der Stufen beim Fahren und Bremsen nicht gleich sein muss. Bei der Strassenbahn Wien sind es bis zu zwölf Stufen beim Fahren und bis zu 16 beim Bremsen. Grundsätzlich gilt: Je stärker die Motoren und je schwerer der Zug, desto mehr Stufen sind wünschenswert.

Der Kontroller

Er gibt der Hüpfersteuerung die Befehle und hat somit drei Aufgaben:

- Steuerung der Fahr-/Bremsstufen - Schalter S1...S6
- Wendeschalter - Schalter S7 und S8
- Verriegelung - Schalter S9

Wenn Sie einmal ein mechanisches Schaltwerk einer Waschmaschine oder eines Geschirrspülers gesehen haben, können Sie sich den Kontroller leicht vorstellen: Er besteht aus einer Walze mit aufgesetzten Nocken. Beim Drehen der Walze betätigen die Nocken kleine Schalter und in der Hüpfsteuerung schaltet ein Hüpf. Elektrisch ist das nicht sehr aufregend, denn genau wie in der alten Waschmaschine geht alles ohne Elektronik! Etwas anspruchsvoller ist die elektrische Verriegelung von Fahr- und Wendeschalter.

Sie haben drei Möglichkeiten, zu Ihrem Wendeschalter zu kommen:

1. Sie entscheiden sich für eine mechanische Verriegelung; dafür bauen Sie sich einen Drehschalter mit drei Stellungen ähnlich wie die Schaltwalze mit Nocken und zwei Mikroschaltern und konstruieren eine Verriegelung
2. Sie entscheiden sich für eine elektrische Verriegelung
 - Sie suchen einen Drehschalter 4x3 (vier Kontakte, drei Stellungen) im Fachhandel, zB Conrad 709735; ich habe so einen Schalter in der Bastelkiste gefunden
 - Sie begnügen sich mit einem zweipoligen Kippschalter 1-0-1, zB Conrad 064462 oder kleiner 703095

Die Teilschaltung der elektrischer Verriegelung

Wenn der Kontroller auf 'Fahren' oder 'Bremsen' steht und Motoren und Getriebe unter Last sind, dürfen Sie auf keinen Fall die Fahrtrichtung umschalten! Die Motoren werden es vielleicht überleben, die Relais und die Getriebe aber nicht... Vor den Folgen dieser Fehlmanipulation will Sie die Verriegelung zwischen Schaltwalze und Wendeschalter bewahren. Es ist kein guter Entscheid, die Verriegelung einzusparen. Ich gehe im Folgenden davon aus, dass Sie eine elektrische Verriegelung realisieren.

Wenn Sie sich für eine elektrische Verriegelung entscheiden, brauchen Sie einen zusätzlichen Kontakt auf der Schaltwalze, der die Nullstellung signalisiert (Schalter S9 im Schema), denn nur in dieser Stellung darf die Fahrtrichtung geändert werden. Ausserdem sind zwei kleine 12V-Relais mit je einem Arbeitskontakt nötig. Die Relais können natürlich auch die bekannten Autorelais sein, sofern der Platz in der Kontrollerbox reicht; es genügt aber jedes Relais mit 12V-Spule (Spulenwiderstand um 300Ohm), es fließen ja nur wenige mA über die Kontakte. So funktioniert der Wendeschalter mit Verriegelung:

- Schalter S10 ist der eigentliche Wendeschalter, er kann jederzeit betätigt werden wie jeder normale Schalter
- Schalter S10-links erhält über Schalter S9 nur in der Nullstellung des Kontrollers Spannung, im Schema ist das so gezeichnet
- wird jetzt der Wendeschalter zum Beispiel nach links in die Stellung V umgelegt, so erhält Relais Rel 1 Spannung und zieht an, der Arbeitskontakt schliesst sich und das Relais hält sich über den Schalter S10-rechts selber
- das bleibt auch so, wenn der Kontroller auf FAHREN oder BREMSEN

gedreht wird: das Relais wirkt als Speicher für die Fahrtrichtung

- legt man in diesem Zustand den Wendeschalter um, so fallen in der Mittelstellung von S10 die Relais Rel 1 bzw Rel 2 und die Hüpfer ab, das Fahrzeug wird stromlos; weitere Bewegungen des Wendeschalters bleiben folgenlos
- nur wenn der Controller auf NULL zurückgedreht ist, kann wieder eine Fahrtrichtung gewählt und gespeichert werden

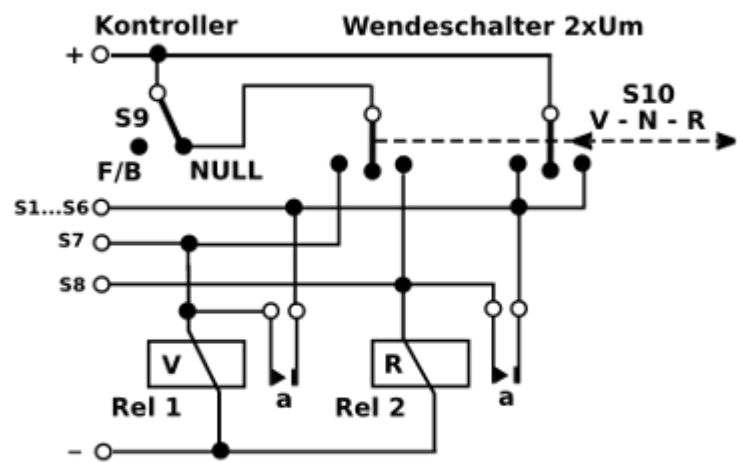
Die Gesamtschaltung des Controllers finden Sie unter [7] und Vorschläge zur praktischen Umsetzung unter [8].

Referenzen

[1]	http://de.wikipedia.org/wiki/Fahrschalter
[2]	http://www.strassenbahn-chemnitz.de/technik02.html
[3]	http://www.dampfbahn-zimmermann.de/gartenbahn/
[4]	http://www.Conrad.de
[5]	http://www.Reichelt.de
[6]	http://GB.Puydorat.fr/img/WiderstSteuerung/Schaltschema.png
[7]	http://GB.Puydorat.fr/img/WiderstSteuerung/VerdrahtungKontroller.png
[8]	http://GB.Puydorat.fr/Elan/Widerstand2

Wendeschalter

mit elektrischer Verriegelung



V = Vorwärts
R = Rückwärts
N = Neutral - Halt
F/B = Fahren/Bremsen
NULL = Nullstellung Schaltwalze
Rel = Relais 12V
a = Arbeitskontakt