



CompuLok Zentrale

Grundlagen

Digitalzentrale für DCC und Motorola Format

Inhalt

Grundlagen	3
Digitale Steuerung	3
Die analoge Modellbahn.....	3
Die digitale Steuerung	4
Das CompuLok System	8
Der Aufbau des CompuLok Systems	8
Elektronische Bauteile	10
Der Widerstand	10
Der Kondensator	10
Die Diode.....	11
Die Leuchtdiode.....	12
Der Transistor	12
Integrierte Schaltkreise	13
Der Spannungsregler	13
Der Mikrocontroller.....	13
Der Optokoppler	14
Der Quarz.....	14
Die Sicherung	14
Aufbau des Gerätes.....	15
Sicherheitshinweise	15
Das Werkzeug.....	16
Das Löten.....	17
Leiterplatte bestücken	18
Datenübertragung am Gleis	19
Spannungen am Gleis	19
Datensignale am Gleis	20
Das Motorola-Format	21
Das DCC-Format	22
Digitalsysteme im Vergleich	23

Der Inhalt dieses Handbuches wurde mit großer Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht ausgeschlossen werden. Ich weise deshalb darauf hin, dass ich weder eine Gewähr noch irgendeine Haftung für Folgen, die auf fehlerhafte Angaben zurückgehen, übernehmen kann. Für die Mitteilung etwaiger Fehler bin ich jederzeit dankbar.

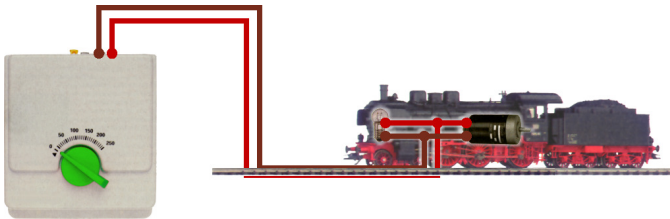
© 2011 bei Joachim Baumann, Katharinenweg 10, 72135 Dettenhausen, Deutschland
www.digibahn.de

Grundlagen

Digitale Steuerung

Die analoge Modellbahn

Bevor wir uns eine digitale Modellbahn genauer anschauen, werfen wir zuerst einen Blick auf die herkömmliche analoge Technik. Auf diese Weise werden die Unterschiede zwischen einer analogen und einer digitalen Modellbahn sofort ersichtlich.



Für den Fahrbetrieb wird ein Transformator, die Gleisanlage und die Lokomotive benötigt. Der Transformator hat zwei Aufgaben: Zum einen transformiert er die Netzspannung von 230 V in eine ungefährliche Kleinspannung. Viel wichtiger ist aber der Drehregler, mit dem wir die Geschwindigkeit der Lok regeln.

An den Trafo ist die Gleisanlage angeschlossen, auf der die Lok steht. In der Lok ist ein Motor eingebaut. Wir haben eine direkte elektrische Verbindung vom Trafo über das Gleis bis hin zum Motor in der Lok.

Drehen wir nun am Regler des Trafos, gibt der Trafo eine Spannung aus und die Lok fährt los. Je weiter wir am Regler drehen, desto höher wird die Spannung, die der Trafo ans Gleis abgibt und desto schneller dreht der Motor. Die Geschwindigkeit der Lok ist also direkt abgänglich von der Spannung, die vom Trafo bereitgestellt wird.

Mehrere Loks

Solange sich nur eine Lok auf dem Gleis befindet, ist die Sache sehr einfach. Sobald aber mehrere Loks fahren sollen, wird es etwas schwieriger. Einfach beide Loks aufs Gleis stellen wird nicht funktionieren. Wir wollen ja nicht immer mit beiden Loks gleich schnell fahren. Es ist auch sehr unwahrscheinlich, dass beide Loks genau gleich schnell fahren. Irgendwann wird die etwas schnellere Lok die andere einholen.

Durch eine geeignete Schaltungstechnik müssen wir nun dafür sorgen, dass die Loks unabhängig voneinander fahren können. Die effizienteste Möglichkeit ist die Abschaltung verschiedener Gleisstücke mit einem Signal oder einfach nur einem Schalter. Dadurch können wir ein Gleisstück auf dem eine Lok steht, die momentan nicht fahren soll, einfach abschalten.

Eine andere Möglichkeit ist die Aufteilung der Anlage mehrere Kreise, die jeweils mit einem eigenen Transformator versorgt werden. So kann in jedem Kreis eine Lok unabhängig fahren.

Beleuchtung

Den Zusammenhang zwischen Spannung am Gleis und Geschwindigkeit der Lok sehen wir auch an der Stirnbeleuchtung der Lok. Das Lämpchen ist ebenfalls in der obigen Zeichnung dargestellt. Je höher die Spannung ist, je heller leuchtet auch das Lämpchen. Bei der Lokbeleuchtung sind wir diesen Effekt wahrscheinlich schon so gewöhnt, dass er uns gar nicht so direkt auffällt.

Hängt an der Lok ein Personenzug mit Innenbeleuchtung, so fällt es sofort auf: Je schneller der Zug fährt, desto heller haben es die Passagiere. Zum Ein- und Aussteigen im Bahnhof gibt es dann aber gar kein Licht, da der Zug steht und keine Spannung am Gleis ansteht. Dies ist nicht ganz vorbildgetreu.

Zusammenfassung

Um mit der analogen Technik einen Fahrbetrieb mit mehreren Loks zu realisieren ist ein relativ hoher Aufwand nötig. Es werden mehrere Trafos und zahlreiche Haltestellen (Signale) benötigt, um die Loks einigermaßen unabhängig voneinander betreiben zu können. Dadurch entsteht sehr rasch auch ein umfangreicher Verdrahtungsaufwand unter der Anlage.

Im nächsten Abschnitt zeige ich, wie man diese Nachteile mit einer digitalen Steuerung beseitigen kann. Auf den ersten Blick scheint die Digitaltechnik recht kompliziert zu sein. Wenn man aber einige grundlegende Dinge weiß, ist es recht einfach und vor allen hat man viele zusätzliche Möglichkeiten.

Die digitale Steuerung

Die Zentrale

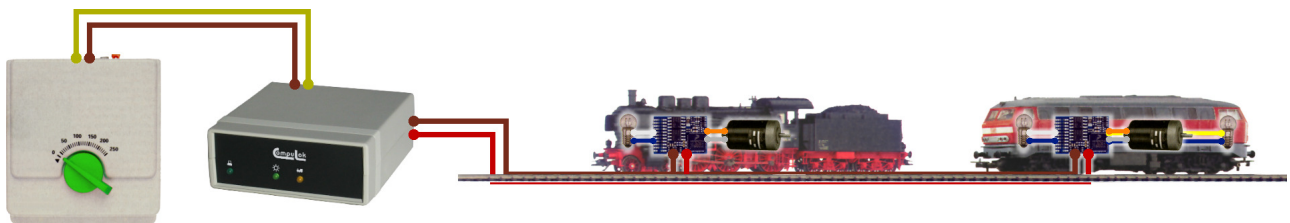
Bei einer digitalen Modellbahn möchten wir alle Loks unabhängig voneinander fahren können. Um dies zu erreichen, verwenden wir ein ausgeklügeltes Fernsteuerungssystem.

Wichtigster Bestandteil hierbei ist die Zentrale. Sie übernimmt die Aufgabe des Drehreglers, die seither der Trafo hatte. Allerdings kann man mit der Zentrale weit mehr als eine Lok fahren. Man kann die verschiedenen Loks gezielt auswählen und somit jede Lok einzeln und unabhängig von den anderen Loks fahren.

Der Trafo wird weiter benötigt. Er ist nicht mehr für die Geschwindigkeitssteuerung notwendig, sondern übernimmt nur noch die Aufgabe der Erzeugung einer ungefährlichen Kleinspannung. Mit dieser Spannung wird die Zentrale und auch die Gleisanlage versorgt.

Die Zentrale merkt sich, welche Loks bedient wurden und mit welcher Geschwindigkeit die Loks momentan fahren sollen. Diese Informationen werden in digitale Befehle übersetzt.

In der Zentrale ist ein Verstärker (engl. Booster) vorhanden. Er sorgt dafür dass am Gleis immer die volle Betriebsspannung zur Verfügung steht. Außerdem prägt er die digitalen Informationen auf die Betriebsspannung auf.



Gerade haben wir gelernt, dass am Gleis immer die volle Betriebsspannung ansteht. Wenn wir nun eine (analoge) Lok auf das Gleis stellen, müsste diese mit voller Geschwindigkeit losfahren. Tut sie auch – na ja, da es sich um Digitalspannung handelt (die Digitalinformationen sind ja aufgeprägt) und nicht um Gleich- oder Wechselspannung, ist das Verhalten stark vom Motor abgängig.

Bei der Beleuchtung trifft dies aber voll zu. Sie leuchtet mit voller Helligkeit. Ein Problem haben wir also schon einmal gelöst. Die Passagiere müssen nicht mehr im Dunkeln aussteigen.

Der Lokdecoder

Bei den Loks müssen wir noch was tun. Schließlich sollen diese ordentlich fahren und vor allem unabgänglich voneinander. Für diesen Zweck benötigen wir einen Empfänger (Decoder) in der Lok. In jeder Lok muss also ein Decoder eingebaut sein.

Der Decoder wird über das Gleis mit Spannung versorgt. Zudem empfängt er die digitalen Informationen, die die Zentrale aufgebracht hat und wertet diese aus. Diese Digitalinformationen enthalten unter anderen Angaben zur Geschwindigkeit der Lok. Empfängt der Decoder einen Fahrbefehl für diese Lok, so wird an den Motor die Spannung ausgegeben, die der gewünschten Geschwindigkeit entspricht. Die Lok fährt los.

Die Adresse

Damit die Loks unabhängig voneinander betrieben werden können, müssen sich die Loks irgendwie unterscheiden. Nur so ist es möglich, dass die Zentrale die Lokomotiven gezielt ansprechen kann. Hierzu erhält jeder Lokomotive, genauer gesagt jeder Decoder, eine Adresse. Dies ist eine Nummer, die für jeden Decoder anders ist. Über diese Nummer ist jeder Decoder eindeutig ansprechbar.

Man hat hier wohl kräftig bei der Post abgeschaut: Die Zentrale ist der Absender. Sie schickt einen Brief an den Empfänger, die Lok. Der Postbote wirft den Brief bei der richtigen Adresse ein. Und wie im richtigen Leben sind die meisten Briefe Rechnungen. Natürlich hat jeder in der Straße eine Rechnung erhalten. Genauso wie die Rechnungsbeträge unterschiedlich sind, hat jede Lok ihre gezielten Geschwindigkeitsinformationen erhalten.

Die Lokfunktionen.

Neben der Steuerung der Geschwindigkeit kann der Lokdecoder noch weit mehr Aufgaben übernehmen. Die meisten Decoder verfügen über mehr oder weniger viele Funktionsausgänge. An diese wird z. B., wie in der Zeichnung, die Stirnbeleuchtung angeschlossen. Die Beleuchtung leuchtet also nicht immer, sondern kann gezielt ein- und ausgeschaltet werden.

Neben der Beleuchtung können noch weit mehr Funktionen geschaltet werden. Zu den bekanntesten zählen Rauchgenerator oder Telex-Kupplung. Bei modernen Sound-Decodern können auch Geräusche wie Hupe, Pfeife bis hin zu realistischen Fahrgeräuschen geschaltet werden.

Weichen und Signale

Auf die gleiche Weise wie die Lokfunktionen von der Zentrale aus geschaltet werden, kann man auch Weichen, Signale und sonstige Schaltfunktionen wie Beleuchtungen von Häusern schalten. Hierzu werden spezielle Weichen- oder Schaltdecoder verwendet. In CompuLok werden diese Decoder Als Zubehör bezeichnet.

In der Regel können mit diesen Decodern vier verschiedene Zubehöre geschaltet werden. Es können an einen Decoder also z.B. bis zu vier Weichen angeschlossen werden. Da die Decoder fest verdrahtet werden, kann man einfach vier nahe beieinander liegende Weichen anschließen.

Hinweis:

Signale werden nicht zur Unterbrechung der Spannung benötigt. Es handelt sich hierbei um die Ansteuerung der Licht- und Flügelmasten.

Die Verdrahtung

Von der Zentrale zur Anlage werden lediglich zwei Drähte benötigt um die komplette Anlage zu betreiben. Dadurch reduziert sich der Verdrahtungsaufwand enorm.

Bei kleinen Spielanlagen ist der Aufbau ganz einfach: Gleise zusammenstecken - Zentrale anschließen - Loks draufstellen - losfahren. Für Weichen gibt es Decoder, die direkt in den Gleiskörper der Weiche eingebaut werden. Eine solche Anlage ist schell aufgebaut und genauso schnell wieder abgebaut, also ideal zum Spielen auf dem Boden.

Bei fest aufgebauten Anlagen reduziert sich der Verdrahtungsaufwand auch enorm. Es werden keine Signale benötigt, um die Loks im Bahnhof abzustellen. Die komplette Verdrahtung hierfür entfällt. Auch bei den Weichen wird wesentlich weniger Draht benötigt. Da die Decoder unter der Anlage platziert werden ist die Kabellänge geringer. Das Kabel führt von der Weiche lediglich bis zum Decoder und nicht bis vor zum gemeinsamen Stellpult.

Hinweis:

Es entsteht gerne der Eindruck, dass man die komplette Anlage an einer Stelle mit zwei Drähtchen einspeisen kann. Dies ist nur theoretisch richtig. In der Praxis haben die Gleise an den Verbindungsstellen recht hohe Übergangswiderstände. Dies führt dazu, dass die Loks etwas langsamer fahren, wenn sie weit von der Einspeisestelle entfernt sind. Bei einem entgleisten Zug kann dies dazu führen, dass der Booster einen Kurzschluss nicht erkennen kann und die Anlage dann nicht abschaltet. Um diese Probleme zu verhindern, macht es Sinn unter der Anlage zwei dickere Drähte zu verlegen und von diesen aus an verschiedenen Stellen ins Gleis einzuspeisen.

Große Anlagen

Bei größeren Anlagen sind viele Züge gleichzeitig unterwegs. Dadurch ist der Stromverbrauch entsprechend hoch. Der Booster im Steuergerät kommt dann an seine Leistungsgrenze und schaltet wegen Überstrom ab.

Um auch dann noch genügend Leistung zur Verfügung stellen zu können, gibt es die Möglichkeit an die Zentrale weitere Booster anzuschließen. Jeder Booster erhält seinen eigenen Trafo zur Stromversorgung. Die Gleisstrecke wird elektrisch in mehrere Bereiche aufgetrennt, so dass jeder Booster seinen eigenen Bereich versorgt.

Digitalformate

Die Art und Weise, wie die Zentrale die Digitalinformationen aufprägt nennt man Format oder Protokoll. Die Technik, wie dies geschieht ist immer die gleiche. Allerdings unterscheiden sich die Protokolle in der Art wie die Informationen zusammengesetzt sind. Man kann quasi von verschiedenen Digitalsprachen reden. Es ist schwierig, wenn sich ein Franzose mit einem Engländer unterhält, der Franzose aber kein Englisch kann. Da ist es schon von Vorteil, wenn man mehrere Sprachen versteht.

Die Hersteller haben verschiedene Systeme entwickelt, die mit unterschiedlichen Protokollen arbeiten. Weit verbreitet sind das Märklin Digitalsystem, dessen Protokoll oft als Motorola bezeichnet wird. Bei Gleichstromsystemen ist DCC am verbreitetsten. Weniger verbreitet sind Selectrix und FMZ. Erwähnt werden soll auch das neue System von Märklin mfx, dessen Decoder auch das Motorola-Protokoll verstehen.

CompuLok ist für die Systeme Motorola und DCC geeignet und kann daher mit sehr vielen Decodern zusammen eingesetzt werden.

Computeranschluss

Die Informationen werden in der Zentrale digital verarbeitet. Dies ist auch bei Computern der Fall. Das legt nahe, dass man die Zentrale mit dem Computer (engl. für Rechner) verbindet. Dann hat man die Möglichkeit die Anlage über den Bildschirm zu steuern. Der Computer kann die Anlage auch automatisch steuern. Den Anschluss an der Zentrale, an den man den Computer anschließt, nennt man Interface.

Bei CompuLok ist dies etwas anders realisiert. Um das Steuergerät (Geräteteil der Zentrale) selbst bauen zu können, soll dieses so einfach wie möglich gehalten werden. Aus diesem Grund wurde die gesamte Bedienung auf den Computer gelegt. Ein Computer ist also in jedem Fall erforderlich. Die Steuerungsaufgaben von CompuLok werden von der Software auf dem PC erledigt.

Da man bei CompuLok sowieso einen Computer benötigt, ist es auch kein Problem mehr, auf diesem noch ein zusätzliches Steuerungsprogramm wie z. B. Digibahn laufen zu lassen.

Rückmeldungen

Möchte man mit Hilfe des Computers einen Automatikbetrieb realisieren, so benötigt der Computer Zustandsinformationen von der Anlage, z. B. wo sich eine Lok gerade befindet. Für solche Rückmeldungen ist an der Zentrale ein spezieller Anschluss vorhanden, an dem sich die Rückmeldemodule anschließen lassen.

Rückmeldemodule sammeln Informationen von der Anlage z. B. von Gleisbelegtmeldern. Diese Informationen werden dann über die Zentrale an den Computer übermittelt.

Zusammenfassung

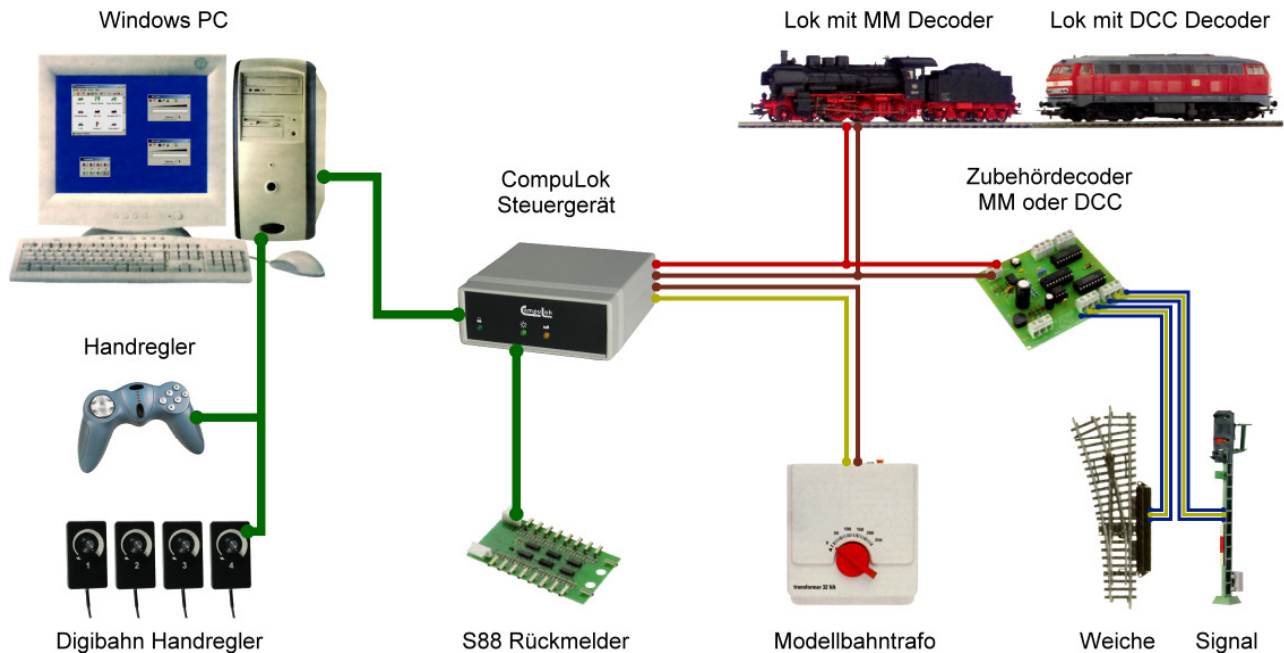
Im Vergleich zur analogen Modellbahn hat man mit einer digitalen Modellbahn wesentlich mehr Möglichkeiten. Die Technik ist etwas komplexer. Da heutzutage viele neue Loks bereits von Werk aus mit Decodern ausgerüstet sind, wird der zusätzliche Aufwand durch die neuen Möglichkeiten mehr als ausgeglichen.

Die Digitaltechnik bietet viele Möglichkeiten:

- Es können beliebig viele Loks unabhängig voneinander auf demselben Gleis gefahren werden.
- In den Loks können zahlreiche zusätzliche Funktionen geschaltet werden.
- Der Lokdecoder kann die Fahreigenschaften der Lok wesentlich verbessern (z. B. mit einer Lastregelung).
- Zug und Wagenbeleuchtungen leuchten konstant.
- Der Verdrahtungsaufwand wird geringer.
- Durch eine zusätzliche Steuerungsmöglichkeit über den Computer ist eine einfachere Bedienung und ein Automatikbetrieb möglich, dies bereichert den Betrieb.

Das CompuLok System

Der Aufbau des CompuLok Systems



Das Bild zeigt einen Überblick von einer typischen Anlage, die mit CompuLok gesteuert wird. Die Steuerung kann grob in drei Bereiche unterteilt werden:

Die Bedienung

Die Bedienung findet in erster Linie über den PC statt. Mit der CompuLok Software lassen sich alle Loks und das Zubehör auf dem Bildschirm anzeigen und von dort aus mit Maus und Tastatur bedienen.

Um die Bedienung flexibler zu machen, kann zusätzlich ein Handregler angeschlossen werden. Mit diesem können alle Lokomotiven und jedes Zubehör ausgewählt und bedient werden.

Mit dem zusätzlichen Steuerprogramm Digibahn kann ebenfalls die Anlage bedient werden. Digibahn bietet hier weit mehr Möglichkeiten als CompuLok. So steht z. B. ein Stellpult zur Verfügung, mit dem das Schalten von Weichen und Signalen einfacher ist. Mit einem automatischen Betrieb lässt sich der Fahrbetrieb ebenfalls bereichern, da man sich nicht selbst um alle Loks kümmern muss.

Über Digibahn können bis zu 16 weitere Handregler betrieben werden.

Die Steuerung

Die CompuLok Software, die auf dem PC läuft, bildet zusammen mit dem Steuergerät die eigentliche Zentrale.

Die Software übernimmt neben der Bedienung noch einige andere Aufgaben. Sie verwaltet die Decoder und ist für den Austausch der Informationen mit dem Steuergerät zuständig.

Über das Steuergerät wird die Anlage angeschlossen. Es ist für die Erzeugung und Verstärkung des Digitalsignals und das Einlesen der Rückmeldungen zuständig. Zusätzlich werden diverse Überwachungsaufgaben wahrgenommen.

Die Stromversorgung wird von einem normalen Modellbahntrafo bereitgestellt.

Die Anlage

In jeder Lok, die auf der Anlage fährt, ist ein Decoder eingebaut. Es können sowohl Märklin Motorola (MM) als auch DCC Decoder eingesetzt werden.

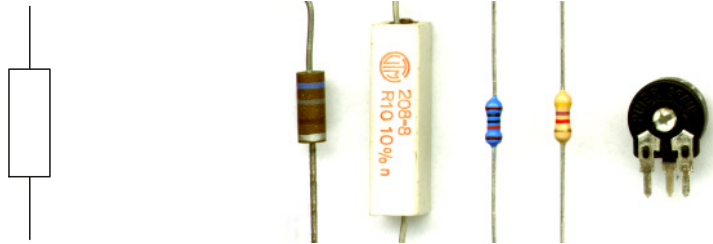
Weichen, Signale und sonstiges Zubehör wird ebenfalls über einen Decoder angesteuert. Auch hier können Märklin Motorola und DCC Decoder gemischt betrieben werden.

Um Informationen von der Anlage zu erhalten (z. B. für Belegtmeldungen), steht ein S88 Rückmeldebus zur Verfügung.

Elektronische Bauteile

Der Widerstand

Welcher Strom in einem Stromkreis fließt, hängt einerseits von der elektrischen Spannung ab, andererseits aber auch vom eingesetzten Verbraucher, genauer gesagt von seinem elektrischen Widerstand. Der Widerstand ist eine Eigenschaft des Verbrauchers, die man als seine Fähigkeit umschreiben kann, die schnelle Bewegung der elektrischen Ladung zu behindern. Die Einheit des elektrischen Widerstands (R) ist Ohm (Ω).



In der Elektronik verwendet man oft Bauteile mit zwei Anschlussdrähten, die als Widerstände bezeichnet werden. Diese Widerstände besitzen einen sehr konstanten elektrischen Widerstand, der als Zahl oder in Form von Farbringen aufgedruckt ist. Je nach Widerstand sind vier oder fünf Farbringe aufgedruckt. Den letzten Ring (Toleranzring) erkennt man daran, dass er etwas von den anderen abgesetzt ist.

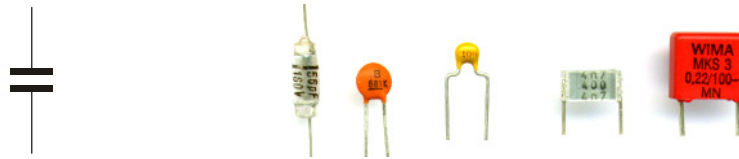
Farbe	1. 2. (3.) Ring Wert der Stellen 1, 2 (und 3)	3. (4.) Ring Multiplikator (Anzahl Nullen)	4. (5.) Ring Toleranz
silber		10^{-2}	10 %
gold		10^{-1}	5 %
schwarz	0	1 (0)	
braun	1	10 (1)	1 %
rot	2	10^2 (2)	2 %
orange	3	10^3 (3)	
gelb	4	10^4 (4)	
grün	5	10^5 (5)	0,5 %
blau	6	10^6 (6)	0,25 %
violett	7	10^7 (7)	0,1 %
grau	8	10^8 (8)	
weiß	9	10^9 (9)	

Ein Widerstand mit den Farbringen gelb, violett, rot und gold hat einen Wert von 4, 7, 10^2 , 5% = 4700 Ω , dies entspricht 4,7 k Ω . Der Aufdruck „R10“ bedeutet 0,1 Ω (das R steht anstelle des Kommas).

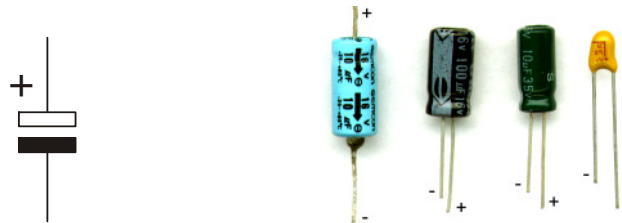
Der Kondensator

Kondensatoren sind Bauelemente, welche elektrische Ladungen bzw. elektrische Energie speichern können.

Die einfachste Form eines Kondensators besteht aus zwei gegenüberliegenden Metallplatten. Dazwischen befindet sich ein Dielektrikum, welches keine elektrische Verbindung zwischen den Metallplatten zulässt (Isolator).



Legt man an einen Kondensator eine Spannung an, so entsteht zwischen den beiden metallischen Platten ein elektrisches Feld.



Größere Kondensatoren sind meist gepolt. Man muss deshalb auf die richtige Einbaulage achten. Bei Elektrolytkondensatoren ist meist ein Aufdruck vorhanden, der auf den Minuspol weist. Tantalkondensatoren besitzen an der positiven Seite eine Plusmarkierung.

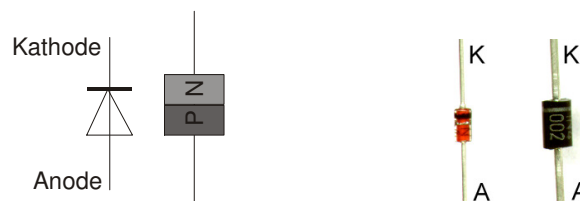
Man ordnet dem Kondensator (C) als messbare Größe die Kapazität in Farad (F) zu. Meist kommen Werte im Bereich Mikروفarad (μF , millionstel Farad), Nanofarad ($\text{nF} = 1/1000 \mu\text{F}$) und Pikofarad ($\text{pF} = 1/1000 \text{nF}$) vor.

Der Kondensatorwert ist bei Elektrolyt- und Tantalkondensatoren im Klartext aufgedruckt. Neben dem Kapazitätswert ist die Spannungsfestigkeit angegeben. Sie sagt aus bis zu welcher Spannung der Kondensator betrieben werden darf. Bei Folien- und Keramikkondensatoren ist der Aufdruck oft verwirrend, deshalb hier ein paar Beispiele:

0,22/100-	0,22 $\mu\text{F} = 220 \text{ nF}$, max.100 V
4n7 400	4,7 nF, max. 400 V
104	100000 pF = 100 nF (Hier entspricht die letzte Stelle der Anzahl der Nullen wie beim Widerstands-Farbcode, der Wert ist in pF.)

Die Diode

Das grundlegende Bauteil in der Halbleitertechnik ist die Diode. Sie wirkt wie ein Ventil, das den Strom nur in eine Richtung durchlässt.



Das Schaltbild der Diode (D) symbolisiert einen Pfeil, der die Durchlassrichtung anzeigt. Es kann ein Strom von der Anode zur Kathode fließen. Dies ist der Fall, wenn die Spannung an der Anode größer ist als an der Kathode. Ist die Spannung an der Kathode jedoch höher als die an der Anode so sperrt die Diode und es fließt kein Strom.

Die Diode besteht aus zwei Halbleiterschichten. Diese bestehen aus P-dotiertem und N-dotiertem Material.

Es muss auf die richtige Polarität beim Einbau geachtet werden. Auf den Dioden ist die Kathode mit einem Ring gekennzeichnet.

Die Leuchtdiode

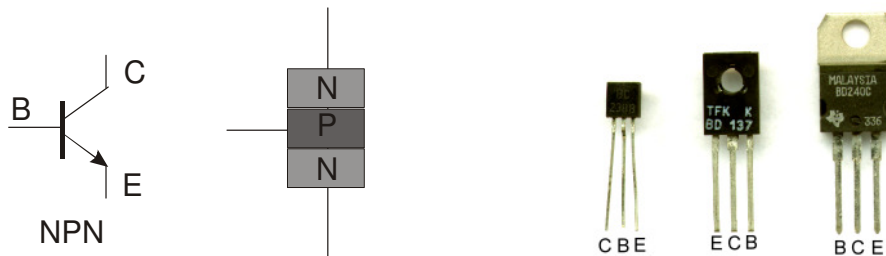
Leuchtdioden sind Dioden, die aufgrund ihrer Materialeigenschaften Licht abstrahlen, wenn ein Strom durch sie fließt. Im Vergleich zu einem Glühlämpchen benötigt eine Leuchtdiode (LED) viel weniger Strom und hat eine viel größere Lebensdauer. Sie sind hauptsächlich in den Farben rot grün und gelb erhältlich.



Der Anschluss der Kathode ist meist kürzer als der der Anode. Außerdem ist das Gehäuse an der Kathodenseite meist etwas abgeflacht und die Metallfläche der Kathode im Gehäuse ist größer als die der Anode.

Der Transistor

Der Transistor ist ein Halbleiter-Bauelement mit drei Anschlüssen, das überwiegend als Stromverstärker eingesetzt wird. Wie eine Diode besteht der Transistor aus N- und P-dotiertem Halbleitermaterial. Die Schichtenfolge kann NPN oder PNP sein. Die einzelnen Schichten des Transistors bezeichnet man als Kollektor (C), Basis (B) und Emitter (E).

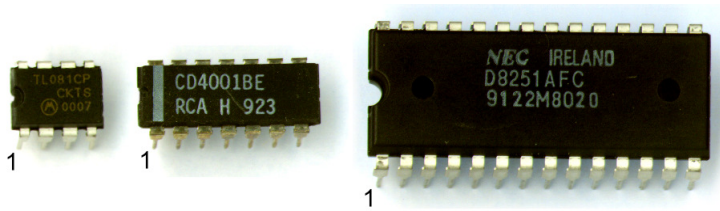


Wird der Transistor mit freiem Basisanschluss an eine Stromquelle gelegt, wobei der Emitter mit dem Minuspol verbunden ist, so fließt kein Strom, weil die Basis-Kollektor-Diode in Sperrrichtung liegt. Wird nun eine zweite Stromquelle zwischen Basis und Emitter angeschlossen so dass nur ein kleiner Strom durch die Basis-Emitter-Strecke fließt, dann fließt eine wesentlich größeren Strom vom Kollektor zum Emitter.

In der Praxis verwendet man einen Verbraucher im Kollektorstromkreis. Es kann sich z. B. um eine kleine Glühlampe handeln. Der Basisstrom kann von derselben Batterie wie der Kollektorstrom kommen. Man verwendet dann einfach einen Basiswiderstand.

Der Einbau in die Schaltung bereitet keine Probleme, da die Ausrichtung des Gehäuses am Bestückungsplan deutlich zu erkennen ist.

Integrierte Schaltkreise



Zu Beginn des Elektronikzeitalters wurden noch alle Schaltungen aus den oben beschriebenen Bauteilen aufgebaut. Die Schaltungen haben dadurch sehr schnell viel Platz beansprucht, was komplexere Schaltungen erschwerte. Daher ist man dazu übergegangen, Grundschaltungen aus mehreren Bauteilen, die immer wieder vorkommen, in ein Bauteil zu integrieren.

Es gibt eine Vielzahl solcher Integrierter Schaltungen (IC) für alle möglichen Einsatzzwecke. Einfache Schaltkreise enthalten nur ein paar Transistoren, komplexe Schaltungen wie Prozessoren können mehrere Millionen Transistoren enthalten.

Das Gehäuse besitzt auf einer Seite eine Einkerbung. Die Anschlüsse werden ab der Kerbe mit 1 beginnend durchnummeriert. Es wird gegen den Uhrzeigersinn gezählt.

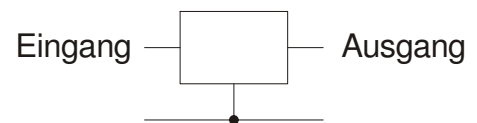
Man kann ICs grob in zwei Gruppen unterteilen:

- Analoge Schaltungen wie z.B. Verstärker.
- Digitale Schaltungen wie Logik-Gatter und Computerbauteile.

Der Spannungsregler

In den meisten Schaltungen wird eine stabile Spannungsversorgung mit einer festen Spannung benötigt. Dies wird mit einem Spannungsregler erreicht.

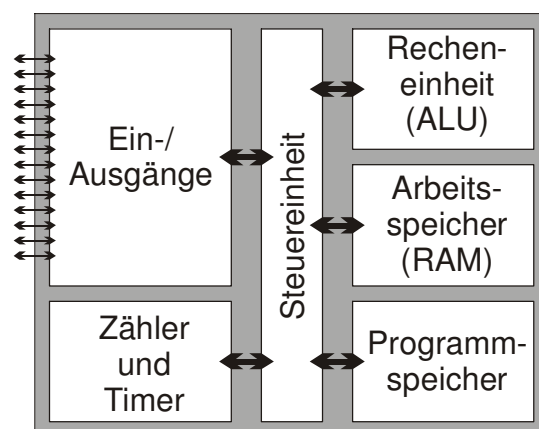
Spannungsregler haben in der Regel 3 Anschlüsse und sind deshalb im gleichen Gehäuse untergebracht wie Transistoren. Da die Eingangsspannung größer sein muss als die Ausgangsspannung, entsteht am Spannungsregler eine Verlustleistung durch die Wärme entsteht. Um diese Wärme abzuführen, wird der Spannungsregler meist auf einem Kühlkörper montiert.



Der Mikrocontroller

Will man eine komplexere Schaltung aus Logikgattern aufbauen, so wird diese schnell recht umfangreich. Hier ist dann ein Mikrocontroller das geeignete Bauteil. Ein Mikrocontroller ist ein kleiner Computer, der speziell für die Bearbeitung von Prozessdaten ausgelegt ist. Dazu hat er eine Reihe von Ein- und Ausgängen. Die Funktion der Schaltung wird nicht mehr durch die Verdrahtung vieler Bauteile sondern durch ein Programm festgelegt. Es muss also ein Programm geschrieben werden, das die Funktion des Mikrocontrollers festlegt.

Die Grafik zeigt das vereinfacht dargestellte Innenleben des Mikrocontrollers.



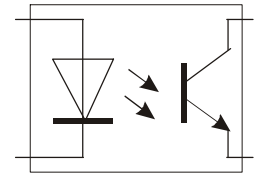
Der Optokoppler

In einer Schaltung möchte man oft eine elektrische Isolierung von zwei Stromkreisen erreichen. Eine solche galvanische Trennung erreicht man mit einem Optokoppler. Wie der Name schon sagt, erfolgt dabei die Signalübertrag optisch.

Im Optokoppler ist eine Leuchtdiode und ein Fototransistor eingebaut.

Anstelle der Basis wird dieser Transistor mit Licht angesteuert. Der Basisanschluss ist daher meist nicht herausgeführt. Leuchtdiode und Transistor haben keine elektrische Verbindung.

Fließt ein Strom durch die Leuchtdiode, beginnt diese zu leuchten. Das Licht der Leuchtdiode trifft auf den Fototransistor und schaltet diesen durch. Dadurch kann auf der Transistorseite ebenfalls ein Strom fließen.



Der Quarz

Ein Quarz (Q) ist ein Bauteil, das Schwingungen mit einer hohen Frequenz erzeugt. Diese Schwingungen können für eine genaue Zeitmessung z. B. in Uhren eingesetzt werden.

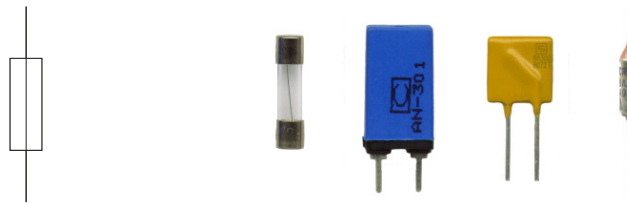
Bei Mikrocontrollerschaltungen werden Quarze zur Takterzeugung eingesetzt. Der Mikrocontroller führt bei jeder Schwingung des Quarzes einen Befehl aus.



Die Sicherung

Eine Sicherung (F) schützt die Elektronik vor zu hohen Strömen, wie sie z. B. bei einem Kurzschluss auftreten.

Häufig werden Schmelzsicherungen eingesetzt. Bei diesen Sicherungen schmilzt im Fehlerfall ein Draht, wodurch der Stromkreis unterbrochen wird. Dieser Sicherungen sind dann unbrauchbar und müssen ausgetauscht werden um die Schaltung wieder in Betrieb zu nehmen.



Solche Sicherungen sind für viele Zwecke ungeeignet. Oft benötigt man eine Sicherung die sich nach Beseitigung des Kurzschlusses selbst wieder einschaltet.

Bei einer solchen selbst rückstellenden Sicherungen erwärmt sich ein Bimetall oder ein Halbleitermaterial, wenn der Strom über einen bestimmten Wert ansteigt. Dadurch wird der Stromfluss unterbrochen. Sobald die Sicherung wieder abkühlt, schaltet sie sich selbstständig wieder ein.

Neben Sicherungen, die auf Überstrom reagieren, gibt es auch Temperatursicherungen, die bei überschreiten einer bestimmten Temperatur auslösen.

Aufbau des Gerätes

Sicherheitshinweise

Mechanische Gefährdung

Abgeknipste Litzen und Drähte können scharfe Spitzen haben. Dies kann bei unachtsamem Zugreifen zu Hautverletzungen führen. Achten Sie daher beim Zugreifen auf scharfe Spitzen. Sichtbare Beschädigungen an Bauteilen können zu unkalkulierbaren Gefährdungen führen. Bauen Sie beschädigte Bauteile nicht ein, sondern entsorgen Sie sie fachgerecht und ersetzen Sie sie durch neue.

Elektrische Gefährdung

- Berühren unter Spannung stehender Teile
 - Berühren leitfähiger Teile, die im Fehlerfall unter Spannung stehen
 - Kurzschlüsse
 - Anschluss an nicht zulässige Spannung
 - unzulässig hohe Luftfeuchtigkeit
 - Bildung von Kondenswasser
- können zu gefährlichen Körperströmen und damit zu Verletzungen führen.

Beugen Sie dieser Gefahr vor, indem Sie die folgenden Maßnahmen durchführen:

- Führen Sie Verdrahtungsarbeiten nur in spannungslosem Zustand durch.
- Versorgen Sie den Baustein nur mit Kleinspannung gemäß Angabe in den technischen Daten. Verwenden Sie dafür ausschließlich geprüfte und zugelassene Transformatoren.
- Stecken Sie die Netzstecker von Transformatoren und Lötkolben/Lötstationen nur in fachgerecht installierte und abgesicherte Schukosteckdosen.
- Achten Sie beim Herstellen elektrischer Verbindungen auf ausreichenden Leitungsquerschnitt.
- Nach Bildung von Kondenswasser warten Sie vor den Arbeiten bis zu zwei Stunden Akklimatisierungszeit ab.
- Führen Sie die Zusammenbau- und Einbauarbeiten nur in geschlossenen, sauberen und trockenen Räumen durch. Vermeiden Sie in Ihrer Arbeitsumgebung Feuchtigkeit, Nässe und Spritzwasser.
- Verwenden Sie bei Reparaturarbeiten ausschließlich Originalersatzteile.

Brandgefährdung

Wenn die heiße Lötkolbenspitze mit brennbarem Material in Kontakt kommt, entsteht ein Brandherd. Dieser kann zu einem Feuer führen und damit zu Verletzungs- und Lebensgefahr durch Verbrennung und Rauchvergiftung. Stecken Sie den Netzstecker des Lötkolbens oder der Lötstation nur während der Zeit in die Steckdose, während der Sie tatsächlich löten. Halten Sie die Lötkolbenspitze immer sicher von brennbarem Material entfernt. Benutzen Sie einen geeigneten Ablageständer. Lassen Sie den heißen Lötkolben nie unbeaufsichtigt liegen.

Thermische Gefährdung

Wenn Sie versehentlich die heiße Lötkolbenspitze mit Ihrer Haut in Berührung bringen, oder wenn Ihnen flüssiges Lötzinn auf die Haut spritzt, besteht die Gefahr von Hautverbrennungen. Beugen Sie dieser Gefahr vor, indem Sie

- für Ihre Arbeit eine hitzebeständige Unterlage benutzen,
- den Lötkolben nur auf einem geeigneten Ablageständer ablegen,
- beim Löten auf sichere Führung der Lötspitze achten und flüssiges Lötzinn mit einem dicken feuchten Lappen oder Schwamm von der Lötspitze abstreifen.

Umgebungs-Gefährdungen

Eine zu kleine, ungeeignete Arbeitsfläche und beengte Raumverhältnisse können zu versehentlichem Auslösen von Hautverbrennungen oder Feuer führen. Beugen Sie dieser Gefahr vor, indem Sie eine ausreichend große, aufgeräumte Arbeitsfläche mit der nötigen Bewegungsfreiheit einrichten.

Sonstige Gefährdungen

Kinder können aus Unachtsamkeit oder mangelndem Verantwortungsbewusstsein alle zuvor beschriebenen Gefährdungen verursachen. Um Gefahr für Leib und Leben zu vermeiden, dürfen Kinder unter 14 Jahren Bausätze nicht zusammenbauen und Bausteine nicht einbauen. Kleinkinder können die zum Teil sehr kleinen Bauteile mit spitzen Drahtenden verschlucken. Lebensgefahr! Lassen Sie die Bauteile deshalb nicht in die Hände von Kleinkindern gelangen.

EMV-Hinweis

Um die elektromagnetische Störfestigkeit und Verträglichkeit beim Betrieb aufrecht zu erhalten, beachten Sie die folgenden Vorsichtsmaßnahmen:

- Schließen Sie den Versorgungstransformator nur an eine fachgerecht installierte und abgesicherte Schukosteckdose an.
- Nehmen Sie keine Veränderungen an den Original-Bauteilen vor und befolgen Sie die Hinweise, Schalt- und Bestückungspläne dieser Anleitung genau. Verwenden Sie bei Reparaturarbeiten nur Original-Ersatzteile.

Das Werkzeug

Für die Lötarbeiten benötigen wir ein paar Werkzeuge auf die ich hier kurz eingehen möchte:

Der LötKolben

Es kann sowohl ein einfacher LötKolben als auch eine Lötstation für unseren Zweck eingesetzt werden. Wer viel lötet ist mit einer Lotstation besser bedient, da sich mit ihr komfortabler arbeiten lässt. Es kann aber genauso gut ein einfacher LotKolben verwendet werden. Bei einem LötKolben sollte die Leistung nicht mehr als 40 Watt betragen, da sonst Bauteile beschädigt werden können. Es gibt verschiedene Arten und Formen von Lötspitzen. Zum Löten von Leiterplatten ist eine bleistiftspitze Lötspitze am besten geeignet.

Der Seitenschneider

Zum Abwickeln der überstehenden Drahtenden wir ein Seitenschneider benötigt. Mit einen kleinen Seitenschneider kann besser gearbeitet werden, da dieser feiner ist. Es gibt spezielle Elektronik-Seitenschneider, bei diesen muss man aber sehr aufpassen – wenn man einen zu dicken Draht damit abwickelt ist der Seitenschneider schnell beschädigt.

Die Spitzzange

Zum Abbiegen von Drähten wir eine Spitzzange benötigt. Auch hier ist eine kleine Ausführung von Vorteil.

Das Lötzinn

Für elektronische Lötarbeiten ist es wichtig, das Elektronik-Lot verwendet wird. Dieses enthält normalerweise Kolophonium als Flussmittel. Es darf kein zusätzliches Flussmittel wie Lötwasser eingesetzt werden.

Das Lötzinn sollte eine Stärke von höchstens 1 mm haben. Bei dickerem Lot kann man die Menge nur schlecht dosieren, da schnell zu viel Lot schmilzt.

Elektroniklot bestand früher üblicherweise aus ca. 60 % Zinn und 40 % Blei und schmolz bei einer Temperatur von ca. 183° C.

Die Richtlinie zur Beschränkung der Verwendung gefährlicher Stoffe (RoHS) verbietet jedoch Stoffe wie Blei, Quecksilber und Cadmium. Aus diesem Grund wird jetzt überwiegend bleifreies Lötzinn angeboten. Dieses besteht zu ca. 96 % aus Zinn, der Rest setzt sich aus Silber und geringen Mengen anderer Metalle wie Kupfer zusammen.

Bleifreies Lot ist schwerer zu verarbeiten als bleihaltiges Lot. Es werden höhere Löttemperaturen benötigt da der Schmelzpunkt bei ca. 217° C liegt. Dadurch sind die Bauteile höheren Belastungen ausgesetzt. Die Benetzungseigenschaften sind schlechter. Die Oberfläche der Lötstellen ist matt.

Das Löten

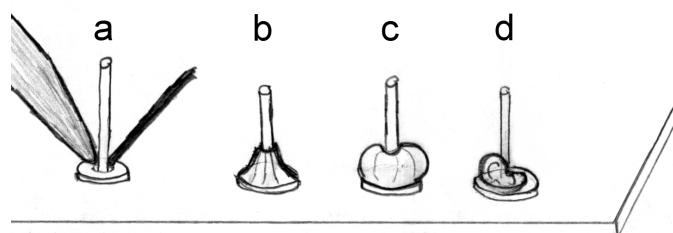
Es ist wichtig, dass der LötKolben immer sauber verzinkt ist. Dazu lässt man auf die Spitze einen Tropfen Lot aufschmelzen und putzt sie mit einem feuchten Schwamm wieder ab.

Die Bauteile werden durch die entsprechenden Löcher in der Leiterplatte gesteckt. Anschließend werden die Drahtenden etwas zur Seite gebogen, damit das Bauteil nicht herausfällt.

Nun wird der LötKolben an die zu verlötende Stelle geführt. Die Spitze des LötKolbens berührt sowohl die Kupferfläche der Leiterplatte als auch den Anschlussdraht des Bauteils.

Am besten führt man das Lötzinn von der gegenüberliegenden Seite zu, so dass es ebenfalls die Kupferbahn und den Draht berührt. Sobald das Lot zu schmelzen beginnt führt man den Lötdraht etwas nach, bis das Lot um die gesamte Lötstelle herumgelaufen ist. Dann wird der Lötdraht wieder entfernt.

Der LötKolben wird nun ebenfalls von der Lötstelle entfernt. Nach ein paar Sekunden erstarrt das Lötzinn. Hat der Anschlussdraht während des Erstarrens gewackelt, sollte die Lötstelle nochmals erhitzt werden.



Das Bild zeigt in (a) wie LötKolben und Lötzinn an die Lötstelle gehalten werden. Eine gute Lötstelle sieht wie bei (b) aus. Bei (c) wurde zu viel Lot auf die Lötstelle aufgetragen. Wenn das Lot auf benachbarte Kupferflächen fließt, muss es wieder entfernt werden. Falls die Lötstelle nicht genug erhitzt wurde (d), fließt das Lot nicht richtig und es bilden sich Klumpen. Diese Lötstelle muss auf jeden Fall noch mal erhitzt werden, da es sonst zu Kontaktproblemen kommen kann.

Nachdem alle Anschlüsse eines Bauteils verlötet wurden, werden die überstehenden Drahtenden abgewickelt.

Leiterplatte bestücken

Beim Bestücken der Leiterplatte (Platine) gehen wir folgendermaßen vor:
Zuerst werden die robusten Bauteile eingelötet und erst zum Schluss die empfindlichen Halbleiter. Da bei unserer Leiterplatte alle ICs gesockelt sind, sind diesbezüglich keine Probleme zu erwarten. Das Einlöten der Bauteile ist wesentlich einfacher, wenn man mit den niedrigen Bauteilen beginnt und sich zu den großen sperrigen Bauteilen vorarbeitet.

Aus diesem Grund beginnen wir mit den Widerständen und Dioden. Sofern Drahtbrücken benötigt werden, können diese aus den Drahtresten der Widerstände hergestellt und eingelötet werden. Es folgen die IC-Fassungen und die Kondensatoren. Danach werden die Steckverbindungen und die restlichen Bauteile eingelötet. Zum Schluss werden die Transistoren bzw. Spannungsregler mit dem Kühlkörper montiert und verlötet.

Achten Sie immer darauf, dass Sie die Bauteile nicht verwechseln und an der richtigen Position einlöten. Des Weiteren ist bei vielen Bauteilen die korrekte Einbaulage zu beachten. Durch die Bauteilsymbole im Bestückungsplan ist die korrekte Lage ersichtlich.

Datenübertragung am Gleis

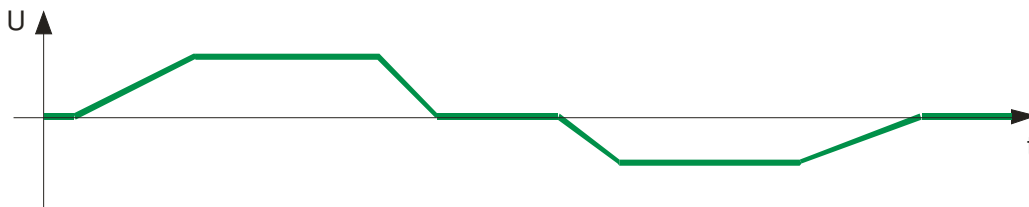
Dieser Abschnitt ist für technisch Interessierte gedacht. Er erläutert die Funktionsweise der digitalen Modellbahnsteuerung und einige technische Hintergründe der Datenübermittlung über das Gleis.

Spannungen am Gleis

Mit der Spannungsversorgung über das Gleis unterscheiden sich die verschiedenen Techniken. Deshalb schauen wir uns diese Spannungen etwas genauer an. Dazu eignet sich am besten ein Diagramm, wie es auch auf einem Oszilloskop dargestellt wird. Auf diesem Diagramm wird der Spannungsverlauf über einen gewissen Zeitraum angezeigt.

Analoge Gleichstromanlage

Am einfachsten funktioniert eine analoge Anlage, die mit Gleichstrom betrieben wird. Daher fangen wir damit an.

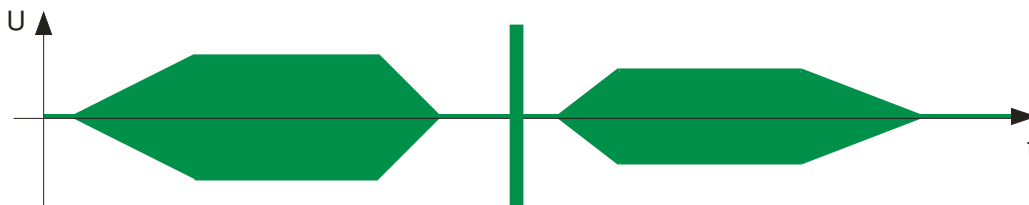


Das Diagramm zeigt die Spannungen, die gemessen werden können, wenn eine analoge Lok über das Gleis fährt. Der Zeitbereich (t) wird horizontal dargestellt und ist viele Sekunden lang. Auf der Vertikalen sehen wir die Spannung (U).

Zu Beginn (ganz links) steht die Lok, da keine Spannung am Gleis ansteht. Jetzt wird der Regler am Trafo nach rechts gedreht. Wir sehen, dass die Spannung immer höher wird. Die Lok wird immer schneller und fährt irgendwann mit konstanter Geschwindigkeit. Nach etwas Zeit wird der Regler wieder zurückgedreht. Die Spannung nimmt wieder ab, bis die Lok stehen bleibt (Bild Mitte). Im zweiten Teil des Diagramms (rechts) wird der Regler in die andere Richtung gedreht. Dadurch wird die Spannung an Gleis negativ, der Strom fließt in die andere Richtung und die Lok fährt dadurch rückwärts.

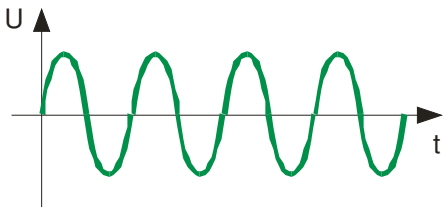
Analoge Wechselstromanlage

Bei Wechselstrom fließt der Strom nicht immer in die gleiche Richtung, wir erhalten daher keine so schöne Kurve wie beim Gleichstrom.



Im Diagramm erhalten wir jetzt eine ausgefüllte Kurve, an der man nicht mehr erkennen kann, in welche Richtung der Strom fließt. Die Höhe der Spannung und damit die Geschwindigkeit der Lok lässt sich gut erkennen.

Da die Fahrrichtung nicht über die Stromrichtung bestimmt werden kann, wird hierfür ein Impuls mit erhöhter Spannung benötigt. Der Impuls schaltet die Fahrrichtung um. Den Fahrrichtungsimpuls sehen wir in der Bildmitte.



Um die Spannung besser beobachten zu können, schauen wir uns einen kleinen Ausschnitt genauer an. Dazu verändern wir den Zeitbereich extrem. Im Diagramm ist nun nur noch ein Bruchteil einer Sekunde dargestellt. Jetzt können wir deutlich erkennen, dass die Spannung in einer Sinuskurve ständig wechselt.

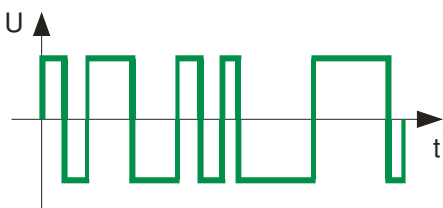
Digitale Anlage

Nun schauen wir uns das Diagramm bei einer digitalen Anlage an.



Auf dem Diagramm ist nicht mehr viel zu erkennen. Die Spannung ist immer gleich, es steht also immer die volle Betriebsspannung zur Verfügung.

Um etwas erkennen zu können, müssen wir wieder den Zeitbereich verkleinern, dieses mal allerdings noch viel stärker als bei der Wechselspannung.



Auf den ersten Blick sieht das aus wie Wechselspannung, ist es aber nicht. Es gibt zwar einen Wechsel zwischen positiver und negativer Spannung, die Form der Kurve ist aber nicht sinusförmig, sondern rechteckig. Wichtig ist, dass die Spannungsimpulse (Rechtecke) unterschiedliche Längen haben. Die Länge und Abfolge der Impulse sind für den Decoder wie Buchstaben, die er lesen kann.

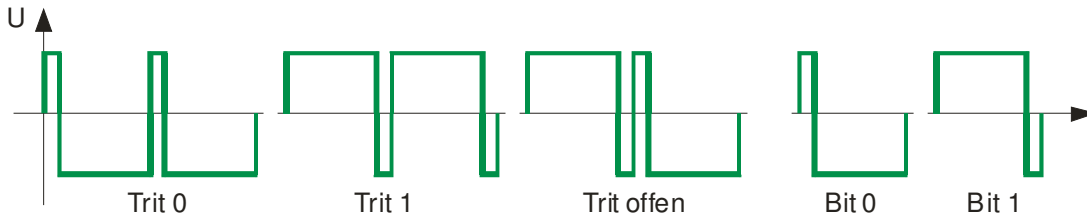
Datensignale am Gleis

Das Steuergerät erzeugt diese Impulse, indem es die Betriebsspannung in fest definierten Takten umpolt. Der Mikrocontroller stellt diese Informationen zur Verfügung und vom Booster werden sie verstärkt.

CompuLok unterstützt dabei zwei unterschiedliche Protokolle. Diese unterscheiden sich in der Zusammensetzung der Impulse.

Das Motorola-Format

Diese Format wird beim Digitalsystem der Firma Märklin verwendet. Da das System auf die Bausteine MC14502x der Firma Motorola aufbaut, wird es oft Motorola-Format genannt. Das Motorola-Format verwendet nicht die zwei Zustände „0“ und „1“, wie es beim Binärsystem üblich ist. Stattdessen wird noch ein dritter Zustand „offen“ verwendet, und die Daten sind daher trinär.



Diese trinären Trits werden vom Steuergerät in zwei einzelne Bits getrennt. Dadurch kann ein Trit auch noch einen vierten Zustand annehmen. Dieser vierte Zustand findet im neuen Motorola Format und in der Adresserweiterung Verwendung.

Ein Befehl besteht aus neun Trits. Nach der Ausgabe eines Befehls kommt eine Pause, danach wird der Befehl zur Fehlersicherheit ein zweites mal ausgegeben. Die Befehle für Loks und Weichendecoder sind gleich aufgebaut, die Trits haben natürlich unterschiedliche Bedeutungen. Zur Unterscheidung werden Lokbefehle mit einer Grundfrequenz von 19,2kHz ausgegeben, Weichenbefehle haben die doppelte Frequenz.

Der Lok Befehl

Lok Adresse				Funktion	Geschwindigkeit			
A1	A2	A3	A4	L	S1	S2	S3	S4

A1 ... A4 Durch 4 Adresstrits können 81 (3^4) Lokomotiven angesprochen werden. Bei Aufteilung in 8 Bits sind max. 256 Adressen möglich

L Die Lokfunktion kann nur die Zustände 0 und 1 annehmen.

S1 ... S4 Die Geschwindigkeit wird wie die Lokfunktion nur binär ausgewertet. Dadurch sind 16 Zustände möglich. Da 0 als „steht“ und 1 als „Fahrriichtungswechsel“ interpretiert wird, stehen noch 14 Geschwindigkeitsstufen zur Verfügung.

Im neuen Format wird der Befehl um vier weitere Lokfunktionen und eine richtungsabhängige Geschwindigkeitsangabe erweitert. Dazu wird die Geschwindigkeit nicht als Trits sondern als Bits verwenden. Auf eine Beschreibung dieser Erweiterung wird hier verzichtet, da sie zu komplex ist.

Der Weichenbefehl

Decoder Adresse					Weichenauswahl			
A1	A2	A3	A4	A5	E	S1	S2	S3

A1 ... A5 Durch die Adresse wird der Decoder ausgewählt.

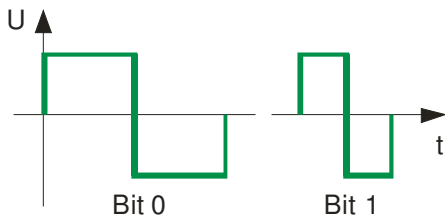
E Bestimmt, ob die Spule ein- oder ausgeschaltet wird.

S1 ... S3 Mit diesen Bits wird die Weichenspule ausgewählt.

Das DCC-Format

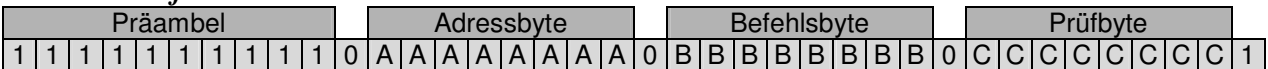
Das Digital Command Control (DCC) Format wurde durch die National Model Railroad Association (NMRA) standardisiert.

Im DCC-Format werden die Zustände „0“ und „1“ verwendet. Eine 1 entspricht einem Signal von 58 ms Länge, eine 0 entspricht einem Impuls von 116 ms.



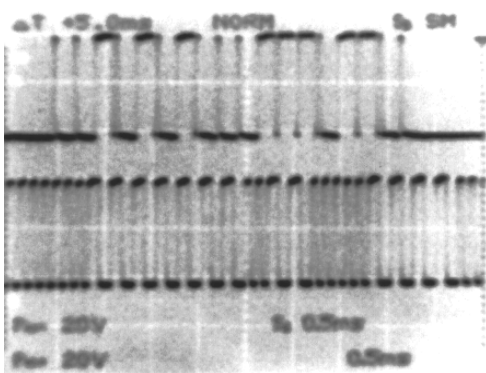
Das Signal ist symmetrisch, dadurch ist es nicht von der Polarität am Gleis abhängig. Dies ist beim Zweileitersystem wichtig. Beim Motorolaformat konnte auf die Symmetrie verzichtet werden, da die Polarität durch den Mittelleiter des Märklin Gleises nicht getauscht werden kann.

Der DCC Befehl



Das Bild zeigt die Bitfolge eines DCC-Befehls. Ein Befehl beginnt immer mit einer Präambel aus zehn Einsen. Danach folgen die Datenbytes, diese werden jeweils durch eine 0 getrennt. Am Ende wird ein Prüfbyte übertragen, dies wird durch ein exklusiv ODER aller vorigen Bytes gebildet. Durch eine 1 wird die Befehlssequenz abgeschlossen und es kann sofort die Präambel des nächsten Befehls folgen.

Die Anzahl der Datenbytes ist vom Befehl abhängig und variiert in der Bedeutung.



Die Abbildung zeigt das Datensignal am Gleis gemessen. Oben ist die Hälfte eines Motorola-Lokbefehls zu sehen. Darunter ein Lokbefehl im DCC-Format.

Auf halber Höhe des jeweiligen Signals ist die Nulllinie (0 V Spannung). Der Signalpegel wechselt zwischen +20 V und -20 V. Es ist deutlich zu erkennen dass beim Motorola Befehl die negative Spannung deutlich länger ansteht als die Positive.

Digitalsysteme im Vergleich

Hier möchte ich die beiden wichtigsten Digitalsysteme gegenüberstellen, damit Sie sich einen Überblick über die Vor- und Nachteile der beiden Systeme machen können. Der Vergleich geht hauptsächlich auf das Gleisformat und die daraus resultierenden Eigenschaften der Decoder ein.

Motorola	DCC
Das Gleisformat des Märklin Digital System wird meist als Motorola Protokoll bezeichnet, da ursprünglich Bausteine der Firma Motorola verwendet wurden. Das Märklin Digital System ist in Deutschland weit verbreitet, da die Firma Märklin Marktführer ist. Die neuen mfx-Decoder sind kompatibel.	Das DCC System ist durch die National Model Railroad Association (NMRA) standardisiert. Durch diesen einheitlichen Standard haben viele Hersteller die Möglichkeit entsprechende Decoder und Geräte zu entwickeln. DCC = Digital Command Control.
Maximale Anzahl der verwendbaren Decoder	
80 Loks, 256 mit Intellibox oder Digibahn Controller 320 Magnetartikel, 256 bei Märklin Control Unit	128 oder bis zu 10239 Loks je nach Decoder und Zentrale bis zu 2048 Magnetartikel.
Funktionalität der Lokdecoder	
14 Fahrstufen, bei vielen Decodern 27 bzw. 28 FS möglich Fahrrichtungsabhängige Stirnbeleuchtung und bis zu 4 weitere Funktionen wie Rauchgenerator, Hupe, Beleuchtung... Bei 14 Fahrstufen ist eine deutliche Abstufung der Geschwindigkeit zu erkennen. Dieses Problem kann mit einer Anfahr- Bremsverzögerung kompensiert werden.	14, 28 oder 128 Fahrstufen, je nach Decoder Fahrrichtungsabhängige Stirnbeleuchtung und zahlreiche weitere Funktionen wie Rauchgenerator, Beleuchtung, unterschiedlichste Geräusche (Sound)... Bei 28 Fahrstufen ist die Abstufung der Geschwindigkeit schon deutlich besser als bei 14 Fahrstufen. Bei 128 Fahrstufen ist keine Abstufung mehr erkennbar.
Decoder Einstellungen	
Die Einstellungen älterer Märklin Decodern können nur am Decoder durch kleine Schalter vorgenommen werden. Dazu muss die Lok geöffnet werden. Es kann die Adresse und bei Hochleistungsdecodern auch die Anfahr- und Bremsverzögerung eingestellt werden. Bei heutigen Decodern ist meist die Programmierung mehrerer Eigenschaften möglich. Dies geschieht von der Zentrale aus, ohne die Lok öffnen zu müssen. Diese Programmierung ist jedoch je nach Hersteller unterschiedlich.	Es können zahlreiche Eigenschaften von der Zentrale aus programmiert werden. Die Lok muss nicht geöffnet werden. Durch die Standardisierung wird die Programmierung bei allen wichtigen Parametern vereinfacht. Die Möglichkeiten sind sehr vielseitig
Auswirkungen des Gleisformates	
Das Gleisformat ist nicht symmetrisch. Dadurch muss der rote Draht immer am Mittelleiter angeschlossen werden, sonst funktionieren nicht alle Decoder zuverlässig. Bei Loks, bei denen die Beleuchtung mit dem Lokchassis verbunden ist, kommt es zu einem störenden Flackern der Beleuchtung.	Das Gleisformat ist symmetrisch. Es ist daher egal, wenn die Drähte am Gleis vertauscht angeschlossen werden. Dies ist bei Zweileitersystemen sehr wichtig. Die Beleuchtung leuchtet konstant ohne zu flackern.
Zukunftssicherheit	
Das Format ist ausgereizt, es bestehen kaum Möglichkeiten für zukünftige Erweiterungen der Funktionalität.	Im Format bestehen noch genügend Möglichkeiten, um es an zukünftige Anforderungen anzupassen.

Fazit:

Das Motorola System ist sehr weit verbreitet. Wer seine Loks auf unterschiedlichen Anlagen betreibt ist damit wahrscheinlich gut bedient. Das DCC System hat jedoch aus technischer Sicht klar die Nase vorn. In der Zwischenzeit bieten immer mehr Hersteller Decoder an, die beide Systeme unterstützen. Mit diesen Decodern hat man den Vorteil, dass man nicht mehr vom System abhängig ist. Da auf einer Anlage auch beide Systeme gleichzeitig betrieben werden können, werden sich Mehrprotokollzentralen wie CompuLok durchsetzen.