

# Schalten im Motorola-Format

Anlässlich seiner 125 Jahr Feier stellte Märklin® am 19. September 1984 ein Mehrzugsystem mit dem Namen Märklin-Digital-H0® vor, dessen Prototyp bereits 1979 auf der Nürnberger Spielzeugmesse gezeigt worden war. Märklin-Digital-H0® deckt folgende Aufgabenbereiche ab:

- Unabhängiges Fahren mit bis zu 80 Loks.
- Schalten von 256 „normalen“ Weichen (= 512 Einzelmagnetspulen) oder zweibegriffigen Signalen sowie von Blinklichtanlagen, Gleisabschnitten, Geräuschen usw.
- Melden von Fahrzeugstandorten, d. h. von Gleisbelegzuständen, Signal- sowie Weichenstellungen usw. Es sind maximal 31 Rückmeldedekoder s88 mit je 16 Kontakten – also 496 Kontakte/Auswertungen – möglich.
- Steuerung der gesamten Modellbahnanlage per PC mit entsprechender Software über ein Interface.

Märklin-Digital-H0® arbeitet(e) dabei mit ICs von Motorola® im Sender sowie im Empfänger. Daher heißt dieses Übertragungsformat auch Motorola-Format. Teilweise kommen auch Spezial-ICs zum Einsatz, die von Motorola® und Philips/Valvo extra nur für Märklin® produziert werden. Märklin-Digital-H0® kann 80 Lokomotiven sowie bis zu 512 einbegriffige Schaltartikel unabhängig voneinander steuern. Ein Märklin-IC (von Motorola®) trug z. B. die Bezeichnung Märklin 50250, ZymOS 40126A und verrichtete seinen Dienst im Lokdekoder von Märklin. Es basierte auf dem MC 145029 von Motorola und enthielt weitere elektronische Baugruppen auf seinem Substrat (englisch für Grundlage; Chip). Es ist leider nicht einzeln im Handel erhältlich. Heute finden Sie im Lokdekoder und anderen Geräten meist PICs (Peripheral Interface Control-ler oder Programmierbarer Interface Chip) vor. Ein PIC ist die integrierte Schaltung eines kompletten Mikrocontrollers, also ein komplexes IC (Integrated Circuit). Der PIC muss allerdings programmiert sein. Durch den PIC lässt sich ein eigenes Spezial-IC schaffen und verwenden.

Märklin® hat mit Märklin-Digital-H0® als Vorreiter der digitalen Mehrzugsteuerung quasi einen Standard geschaffen, der später auch von anderen Herstellern, wie z. B. Arnold, Lenz, Uhlenbrock usw. übernommen und teilweise noch verbessert wurde. Leider hat Märklin® sein Format nie richtig offengelegt, so dass der Selbstbau relativ schwierig ist. Dieser Artikel soll etwas Licht ins Dunkel bringen und erläutert Einiges zum Thema „Schalten im Motorola-Format“.

Mit den hier vorgestellten Geräten, die voll kompatibel (französisch für vereinbar, zusammenpassend oder ergänzend) zu Märklin-Digital-H0® sind, können Sie die Schaltaufgaben gänzlich ohne Märklin-Geräte erledigen und durch den Selbstbau sicher einige Euro sparen. Andererseits lassen sich auch die Komponenten von Märklin-Digital-H0®, Arnold, Lenz, Uhlenbrock, Viessmann usw. einsetzen und mit den Selbstbau-Artikeln kombinieren. Außerdem bieten die nachfolgend beschriebenen Geräte einen größeren Funktionsumfang als die von Märklin®.

Motorola® benutzt bei der Adressierung die trinäre Logik, die, der Name lässt es vermuten, mit drei Zuständen arbeitet. Trinär oder ternär ist lateinisch und bedeutet dreiwertig oder Dreiwertigkeit. Neben den Zuständen logisch „1“ (ca. +  $U_B$ ) und logisch „0“ (Masse), die auch die binäre (zweiwertige) Logik kennt, gibt es hier noch den Zustand „offen“ oder undefiniert. Dadurch können bei der trinären Logik Adressleitungen und Adresseingänge eingespart werden, was zu kleineren IC mit weniger Beinchen (Anschlussstiften) führt. Allerdings ist diese Logik schwerer zu handhaben und zu verstehen. Aber gerade der Lokdekoder kann durch die trinäre Logik relativ klein bleiben, so dass er fast in jede Lok passt. Zum Vergleich: In der trinären Logik können mit

mit vier Adressleitungen 81 Adressen adressiert werden ( $3^4 = 81$ ); im Binärsystem ergeben sich bei vier Adressleitungen nur 16 Adressen ( $2^4 = 16$ ). Märklin® nutzt allerdings die Adresse 00 (alle Schalter „offen“ = OFF) nicht als Lokadresse, sodass bei Märklin® nur 80 Lokadressen (01 bis 80) zur Verfügung stehen.

In diesem Artikel wird die o. a. Informationseinheit mit ihren drei Zuständen meist ebenfalls als Bit bezeichnet, obwohl ein Bit im eigentlichen Sinne nur zwei Zustände kennt, nämlich „1“ = wahr oder ja sowie „0“ = unwahr oder nein. Da das Steuersignal jedoch sowohl trinäre als auch binäre Daten enthält, mögen Sie diese kleine Unschärfe verzeihen. In anderen Publikationen finden Sie für die o. a. Informationseinheit auch den Begriff Trit, der jedoch nur bei der trinären Logik gelten darf. Jedes Trit besteht aus zwei Bit, die im Motorola-I-Format wie folgt aussehen:

- Logisch Null           = zwei kurze High-Impulse (00)           = ein Trit
- Logisch Eins           = zwei lange High-Impulse (11)           = ein Trit
- Offener Eingang   = ein langer und ein kurzer High-Impuls (10)   = ein Trit

Die vierte mögliche Kombination, nämlich 01 (ein kurzer und ein langer High-Impuls), ist im alten Motorola-Format nicht vorgesehen oder definiert, da die ICs MC 145026 ff diese Kombination nicht kennen und sie somit auch nicht verstehen würden. Das Trit mit der Bit-Kombination 01 ist daher im „alten“ Motorola-Format nicht erlaubt.

## Motorola-ICs für Sender und Empfänger sowie Datenformat



Zuerst sehen Sie hier die verwendeten 16poligen Motorola-ICs im DIL-Gehäuse, die auch in SMD-Ausführung (Case 751B oder 751G) erhältlich sind. Im Sender finden Sie das Encoder-IC MC 145026 und im Empfänger das Decoder-IC MC 145027. Encoder = Verschlüsseler oder Kodierer; Decoder = Entschlüsseler oder Dekodierer. Diese ICs hat Motorola zur seriellen Datenübertragung zwischen Computern konzipiert. Sämtliche Ein- und Ausgänge der ICs sind CMOS-kompatibel. Bei den hier beschriebenen Geräten erfolgt die serielle Datenübertragung zwischen Sender und Empfänger über zwei Drähte (rot und braun), den sogenannten Bus. Bei der konventionellen (konventionell = französisch für herkömmlich oder üblich), nicht digitalen, Steuerung der Weichen, Signale, Entkuppler usw. findet die Datenübertragung parallel statt, da zu jedem Magnetartikel eine separate mehrdrahtige Verbindung (in der Regel mit drei Drähten) vom Stellpult aus besteht. Bei den Dekodern oder Empfängern des Digitalsystems gibt es zwei Varianten: Mobile Dekoder für die Lokomotiven und Funktionsmodelle sowie stationäre für die Magnetartikel (Weichen, Entkuppler, Signale mit Spulenantrieb) und Lichtsignale o. ä. Verbraucher ohne eigenen Spulenantrieb. Magnetartikel gilt dabei als Synonym für alle Schaltartikel.

Damit sich Sender und Empfänger verstehen, müssen sie mit der gleichen Frequenz arbeiten. Märklin® verwendet hier eine Frequenz von ca. 38,48 kHz für stationäre und ca. 19,24 kHz für mobile Dekoder. Die Baugruppen in diesem Artikel nutzen die gleichen Frequenzen. Sender und Empfänger tolerieren dabei eine Frequenzabweichung von  $\pm 10\%$ . Es reicht eine Bauteiletoleranz von 5 % aus. Stationäre Dekoder für Weichen, Signale usw. nutzen die gleichen Adressen wie die mobilen Dekoder in den Lokomotiven und Funktionsmodellen. Wie schon erwähnt, wer-

den Lok- und Schaltkommandos mit unterschiedlichen Frequenzen gesendet, worauf der mobile oder der stationäre Dekoder entsprechend auszurichten ist. Lok- und Schaltartikel können somit auf die gleiche Adresse eingestellt sein und beeinflussen sich trotzdem nicht. Da die Lokdekoder aufgrund der ständig wechselnden Qualität der elektrischen Verbindung zu den Schienen (permanenter Wackelkontakt) besonders anfällig für Störungen sind, werden sie mit einer niedrigeren Übertragungsgeschwindigkeit von  $1.000.000 \text{ bit} / 415,80 \text{ s} \approx 2.405 \text{ bit/s}$  angesprochen. Die Übertragungsrate wird bei bitweiser Übertragung auch in Baud, benannt nach dem französischen Ingenieur und Erfinder Jean-Maurice-Emilie Baudot (1845...1903) angegeben; 1 Baud = 1 Schritt pro Sekunde oder (nur!) bei bitweiser Übertragung 1 Baud = 1 Bit/s. Die Schaltkommandos werden dagegen mit der doppelten Baudrate von  $1.000.000 \text{ bit} / 207,90 \text{ s} \approx 4.810 \text{ bit/s}$  übertragen. Der jeweilige Dekoder reagiert dabei nur auf Daten mit der für ihn gültigen Baudrate. Somit sind die identischen Adressen für mobile und stationäre Dekoder gleichermaßen nutzbar. Die Datenübertragung der Adress- und Datenbit erfolgt seriell und beginnt mit Bit 1, d. h. mit dem ersten Adressbit. Mit Bit 9, also mit dem letzten Datenbit, endet die Übertragung. Bei den vier Datenbits (Bit 6 bis 9) ist Bit 6 das LSB (least significant Bit = Bit mit dem niedrigsten Stellenwert) und Bit 9 das MSB (most significant Bit = Bit mit dem höchsten Stellenwert).

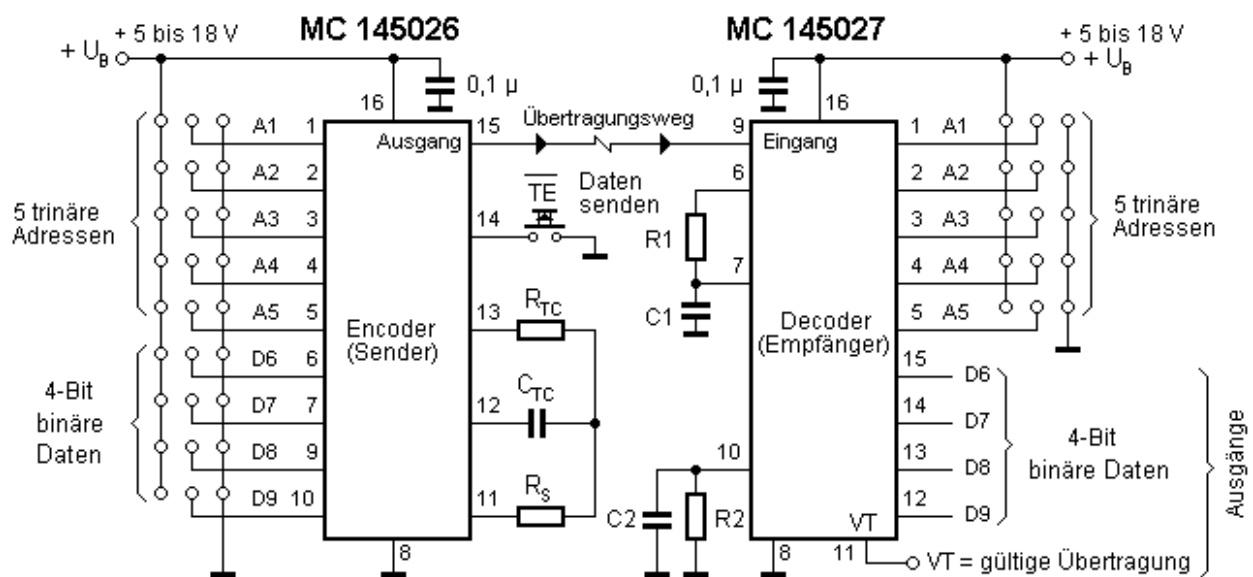


Bild 1 Applikation mit Sender (MC 145026) und Empfänger (145027) von MOTOROLA

Die Oszillatorfrequenz  $f_{OSC}$  der Schaltkommandos erreicht wie bei Märklin® mit ca. 38,48 kHz den doppelten Wert der Loksteuerkommandos, der ca. 19,24 kHz beträgt. Die einzelnen frequenzbestimmenden Bauteile errechnen sich bei den neuen Motorola-ICs wie folgt:

$$C_{TC} = C_{TC} + C_{Layout} + 12 \text{ pF} \quad [F] \quad T = 2,3 \cdot R_{TC} \cdot C_{TC} \quad [s]$$

$$f_{osc} = \frac{1}{2,3 \cdot R_{TC} \cdot C_{TC}} = \frac{1}{T} \quad [Hz] \quad R1 \cdot C1 = 3,95 \cdot R_{TC} \cdot C_{TC}$$

$$R2 \cdot C2 = 77 \cdot R_{TC} \cdot C_{TC} \quad R_S \approx 2 \cdot R_{TC} \quad [\Omega] \quad C_{TC} = \frac{1}{f_{osc} \cdot 2,3 \cdot R_{TC}} \quad [F]$$

Für die Magnetartikelsteuerung ist beim Sender die doppelte Frequenz der Loksteuerung anzusetzen, dies sind dann ca. 38,48 kHz.  $C_{TC}$  der Magnetartikelsteuerung muss also halb so groß sein wie  $C_{TC}$  der Loksteuerung, was  $C_{TCLok} / 2$  bedeutet. Magnetartikel-Sender:  $R_{TC} =$  Reihenschaltung aus  $10 \text{ k}\Omega$  und  $270 \Omega = 10,27 \text{ k}\Omega$ ,  $R_S = 22 \text{ k}\Omega$ ,  $C_{TC} = 1,1 \text{ nF} =$  Reihenschaltung aus zwei Kondensatoren von je  $2,2 \text{ nF} =$  halber Wert der mobilen Dekoder  $\Rightarrow f_{OSC} = 38,48 \text{ kHz}$ .

Beim Magnetartikel-Empfänger wurde der Wert von C1 und C2 jeweils auf 3,3 nF festgelegt. Mit  $R_{TC} = 10,27 \text{ k}\Omega$  und  $C_{TC} = 1,1 \text{ nF}$  errechnen sich R1 und R2 dann zu:

$$R1 = \frac{3,95 \cdot R_{TC} \cdot C_{TC}}{C1} = \frac{3,95 \cdot 10,27 \cdot 10^3 \Omega \cdot 1,1 \cdot 10^{-9} F}{3,3 \cdot 10^{-9} F} = 13,52 \text{ k}\Omega \Rightarrow \text{Normwert : } 12 \text{ k}\Omega$$

$$R2 = \frac{77 \cdot R_{TC} \cdot C_{TC}}{C2} = \frac{77 \cdot 10,27 \cdot 10^3 \Omega \cdot 1,1 \cdot 10^{-9} F}{3,3 \cdot 10^{-9} F} = 263,60 \text{ k}\Omega \Rightarrow \text{Wahlwert : } 390 \text{ k}\Omega$$

Der Encoder MC 145026 weist neun Adress-/Dateneingänge (A1/D1 bis A9/D9) auf. Ein Kommando, auch als Byte bezeichnet, besteht beim Motorola-Format aus neun Bits. Zur Information, in der Computertechnik entspricht ein Byte nur acht Bits. Die Periodendauer T der Oszillatorfrequenz  $f_{OSC}$  von 38,48 kHz für die Schaltkommandos errechnet sich wie folgt:

$$T = \frac{1}{f_{OSC}} = \frac{1}{38,48 \cdot 10^3 \text{ Hz}} = 25,987 \mu\text{s}$$

Die Periodendauer T eines einzelnen Oszillatortaktes setzt sich dabei aus der Dauer eines Impulses  $t_i$  und einer Impulspause  $t_p$  zusammen:  $T = t_i + t_p$ . Da es sich um eine symmetrische Oszillatorschwingung handelt, sind  $t_i$  und  $t_p$  gleich lang, es gilt daher:  $t_i = t_p = t \Rightarrow T = 2 \cdot t$ . Der Tastgrad  $\eta$  ist hierbei  $\eta = t_i / T = t / 2 \cdot t = 1/2$  und das Tastverhältnis  $\upsilon$  lautet:  $\upsilon = t_i / t_p = t / t = 1$ .

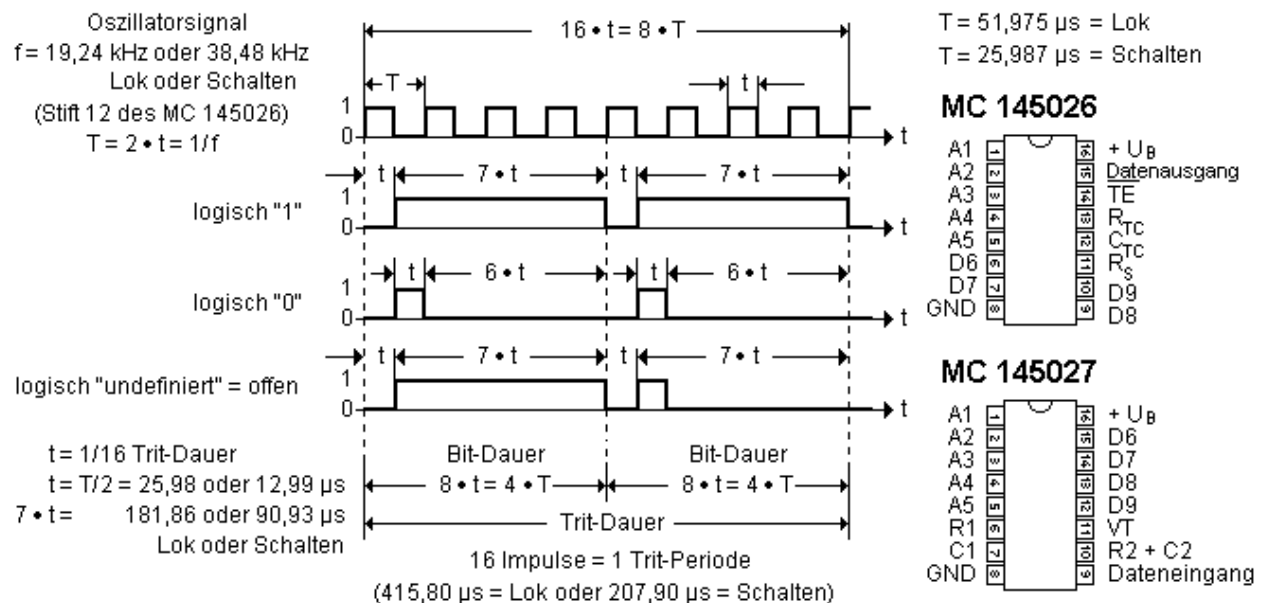


Bild 2 Aufbau eines Trits im Motorola-I-Format

Eine Trit-Periode ist acht Oszillatortaktperioden T lang. Dies entspricht acht Oszillatorimpulsen  $t_i$  plus acht Oszillatorimpulspausen  $t_p$  und ergibt eine Trit-Dauer von  $16 \cdot t$ . Das Impulsdiagramm in Bild 1 zeigt die Zusammenhänge beim Motorola-I-Format. Zwei Datenimpulse mit einer Bit-Dauer von jeweils  $8 \cdot t = 4 \cdot T$  bilden dabei ein Trit mit  $16 \cdot t = 8 \cdot T$ , d. h.  $8 \cdot 25,987 \mu\text{s} = 207,90 \mu\text{s}$  für die Schaltkommandos. Das Trit kann die trinären Zustände 0, 1 oder offen (undefiniert) annehmen, wie die nachfolgende Tabelle zeigt:

Logischer Zustand des Trits	1. Datenimpuls	2. Datenimpuls
Eins = 1	Langer High-Impuls	Langer High-Impuls
Null = 0	Kurzer High-Impuls	Kurzer High-Impuls
Undefiniert = offen	Langer High-Impuls	Kurzer High-Impuls

Ein Kommando, auch als Datenwort oder Byte bezeichnet, besteht beim Motorola-Format aus neun der o. a. zweimpulsigen Trits. Das Kommando ( $4 \cdot T \cdot 18$ ) kommt also auf 18 Datenimpulse mit einer jeweiligen Datenimpulsdauer von  $4 \cdot T$ . Für das Schaltkommando gilt somit:

$$8 \cdot t = 4 \cdot T = 4 \cdot 25,987 \mu s = 103,948 \mu s \Rightarrow 4 \cdot T \cdot 18 = 103,948 \mu s \cdot 18 = 1,87 \text{ ms}$$

Dies entspricht bei den Schaltkommandos einer Datenimpulsfrequenz  $f$  von:

$$f = \frac{1}{4 \cdot T} = \frac{1}{103,948 \mu s} = 9,62 \text{ kHz}$$

Märklin<sup>®</sup> verwendet (soweit bekannt) ebenfalls ca. 9,6 kHz für die Schaltkommandos. Da die Impulsspannung nie zu Null wird, heißt diese Kodierung auch NRZ (Non Return to Zero = englisch für keine Rückkehr zu Null). Das Senden eines Schaltkommandobytes dauert mit den o.a. Werten ca. 1,87 ms ( $8 \cdot T \cdot 9 = 8 \cdot 25,987 \mu s \cdot 9 \approx 1,87 \text{ ms}$ ). Beim Lokkommando beträgt die Datenfrequenz  $f$  ca. 4,81 kHz ( $f = 1 / 4 \cdot T = 1 / 4 \cdot 51,975 \mu s = 4,81 \text{ kHz}$ ).

Auf das Kommandobyte folgt eine Pause mit einer Länge von drei Datenbits, in der Low, übertragen wird, bevor das nächste Byte zum Empfänger gelangt. Der Booster liefert in der Pause „Minus- $U_0$ “. Die Pause zwischen den einzelnen Kommandos dient zur Synchronisation. Der Dekoder „weiß“ damit genau, wann ein neues Kommando beginnt. Da ein Kommando zur Sicherheit immer zweimal hintereinander gesendet wird, besteht die gesamte Befehlsfolge jeweils aus einem Kommandobyte, einer Pause mit der Länge von drei Trits sowie der Wiederholung des vorherigen Kommandobytes. Die gesamte Befehlsfolge dauert bei Schaltkommandos somit ca. 4,36 ms ( $1,87 \text{ ms} + 0,62 \text{ ms} + 1,87 \text{ ms} = 4,36 \text{ ms}$ ). Die Werte der Selbstbau-Geräte entsprechen den Märklin-Werten. Aufgrund der zulässigen Toleranz von bis zu 10 % zwischen Send- und Empfangsfrequenz, funktioniert die Datenübertragung auch bei geringfügigen Abweichungen einwandfrei. Auf das Doppel-Kommando mit Zwischenpause folgt wiederum eine Pause, die so kurz wie möglich bemessen sein sollte. Diese weitere Pause, in der Low übertragen wird (der Booster liefert dann wieder „Minus- $U_0$ “), muss jedoch mehr als die Dauer von vier Datenbitlängen betragen, damit das Motorola-IC das Ende der Datenübertragung erkennt. Ein guter Kompromiss sind hier Zeiten von 1 ms bei den Schaltkommandos sowie 2 ms bei den Lokkommandos. Die Tabelle hierunter zeigt die o. a. Werte noch einmal in einer Zusammenstellung:

Oszillatorfrequenz $f$ MC 145026/Märklin	$T = 1/f$	$8 \cdot T = 1 \text{ Trit}$	9 Trit = 1 Byte	2 Byte + Pause	Baudrate
38,48 kHz (Schalten)	25,987 $\mu s$	207,90 $\mu s$	1,87 ms	4,36 ms	4.810 bit/s
19,24 kHz (Lok)	51,975 $\mu s$	415,80 $\mu s$	3,74 ms	8,72 ms	2.405 bit/s

Das Dekoder-IC MC 145027 empfängt das über den Bus übertragene serielle Signal des Encoders an Stift 1, dem Dateneingang (englisch Data In = DI). Die ersten fünf Trits interpretiert das Decoder-IC MC 145027 dabei als Adress-Information (Adress-Code). Die weiteren vier Trits deutet es jedoch nur als binäre Daten. Es wird also nur die Adress-Information (Trit 1 bis 5) trinär dekodiert. Die Daten (Trit 6 bis 9) müssen binär als logische Null oder Eins übertragen werden, da das IC 145027 keine trinären Trits akzeptiert. Ein trinäres Open wird vom MC 145027 als eine logische Eins dekodiert. An Stift 15 (Ausgang D6) des MC 145027 liegt dabei das LSB und an Stift 12 (Ausgang D9) das MSB.

Bei der Steuerung von stationären Dekodern enthalten die ersten fünf Trits der insgesamt neun Trits die Adress-Information. Es sind somit  $3^5 = 243$  Adressen möglich, von denen allerdings Märklin<sup>®</sup> nur 64 als Dekoderadressen (A1 bis A4) nutzt. Es sind dies die Adressen 01 bis 64. Das fünfte Adressbit liegt grundsätzlich auf Nullpotenzial. Die Adresse bezieht sich dabei nicht auf den einzelnen Dekoder-Ausgang, d. h. auf die fortlaufende Adresse des Magnetartikels, son-

dern stellt die Adresse des gesamten Dekoders dar. 64 Adressen reichen damit zur Steuerung von 256 Doppelspulen- oder 512 Einzelspulen-Funktionen aus. Jedes Stellpult (Keyboard) weist bei Märklin® 16 Tastennummern (1 bis 16) mit je einer roten und einer grünen Taste, also 32 Tasten auf. Jedem Keyboard sind immer vier aufeinanderfolgende Dekoder-Adressen zugeordnet, wobei die 64 möglichen trinären Dekoder-Adressen den ersten 64 trinären Lokdekode-Adressen (01 bis 64) entsprechen. Durch die Ausnutzung von 80 Dekoder-Adressen (01 bis 80) lässt sich der Funktionsumfang leicht auf 320 Doppelspulen- oder 640 Einzelspulen-Antriebe ausweiten. Allerdings müssen die Keyboards von Märklin® hier passen, sie können die erweiterten Adressen nicht schalten. Jeder Dekoder besitzt wiederum acht Subadressen, nämlich die Bits 6, 7 und 8.

Vier Dekoderadressen pro Keyboard, das sind dann 16 fortlaufende Adressen oder Tastenpaarnummern, ergeben bei 16 möglichen Keyboards:  $16 \cdot 16 = 256$  Antriebsnummern (0 bis 255).

Je Antriebsnummer gibt es wiederum zwei Tasten, macht 512 Subadressen bei Märklin®:

Rote Taste  $\Rightarrow$  Trit 6 = 0 und grüne Taste  $\Rightarrow$  Trit 6 = 1.

Die restlichen vier Trits (Trits 6 bis 9) haben wieder nur die Funktion von Bits und werden ausschließlich binär genutzt (logisch „0“ oder „1“). Die Trits 6 bis 8 selektieren dabei einen der acht Dekoder-Ausgänge des jeweiligen Dekoders und stellen die Subadresse dar. Das neunte Trit gibt dann den Schaltzustand (Ein/Aus) des selektierten Ausganges an: „1“ = Ein oder „0“ = Aus.

Die Antriebsnummer lässt sich folgendermaßen ermitteln:

$$\text{Antriebsnummer} = \text{Tastenummer} + [16 \cdot (\text{Keyboardnummer} - 1)]$$

Beispiel zur Adressierung der Tastennummer 8 (rot, grün) des vierten Keyboards (Stellpults):

$$\text{Antriebsnummer} = 8 + [16 \cdot (4 - 1)] = 8 + (16 \cdot 3) = 8 + 48 = 56.$$

$$\text{Für die 256. Antriebsnummer gilt: } 16 + [16 \cdot (16 - 1)] = 256.$$

Nach den Märklin-Konventionen entspricht die Adresse 256 jedoch der dezimalen Null. Bei Märklin® beginnt die erste Antriebsnummer nämlich nicht mit Null, sondern mit Eins. Da sich die 256. Adresse mit der vorhandenen Bit-Anzahl bei Märklin® nicht realisieren ließ, musste die noch freie Null für die 256. Antriebsnummer erhalten. In der nachfolgenden Tabelle sehen Sie das Datenformat von Märklin® zum Schalten der Artikel an den stationären Dekodern:

Trit 1	Trit 2	Trit 3	Trit 4	Trit 5	Bit 6	Bit 7	Bit 8	Bit 9
A	A	A	A	A	D	D	D	E/A
A1	A2	A3	A4	A5	D1	D2	D3	E/A
$3^0$	$3^1$	$3^2$	$3^3$	$3^4$	$2^0$	$2^1$	$2^2$	$2^0$
← trinär →					← binär →			

A = Dekoder-Adresse; D = Daten des Dekoder-Ausgangs; E/A = Ein/Aus

Beim stationären Dekoder gilt: Trit 1 bis Trit 5 = Trinäradresse, wobei Trit 5 generell „0“ ist. Bit 6 bis Bit 8 = Subadresse und Bit 9 = Freigabe (E/A mit „1“ = ein oder „0“ = aus).

Die Tabelle hierunter zeigt die acht Subadressen je stationärem Dekoder, die sich aus den drei Datenbits D6 bis D8 ergeben:



Zusammenhang zwischen den Magnetartikeln und den drei Datenbits D6 bis D8 (1. Dekoder)							
Dezimal	Tasten-paar	D6 = 2 <sup>0</sup>	D7 = 2 <sup>1</sup>	D8 = 2 <sup>2</sup>	Spule	Magnetartikel	Funktion
0	1 (rot)	0	0	0	1	1. Weiche/Signal	rund/rot
1	1 (grün)	1	0	0	2	1. Weiche/Signal	gerade/grün
2	2 (rot)	0	1	0	3	2. Weiche/Signal	rund/rot
3	2 (grün)	1	1	0	4	2. Weiche/Signal	gerade/grün
4	3 (rot)	0	0	1	5	3. Weiche/Signal	rund/rot
5	3 (grün)	1	0	1	6	3. Weiche/Signal	gerade/grün
6	4 (rot)	0	1	1	7	4. Weiche/Signal	rund/rot
7	4 (grün)	1	1	1	8	4. Weiche/Signal	gerade/grün

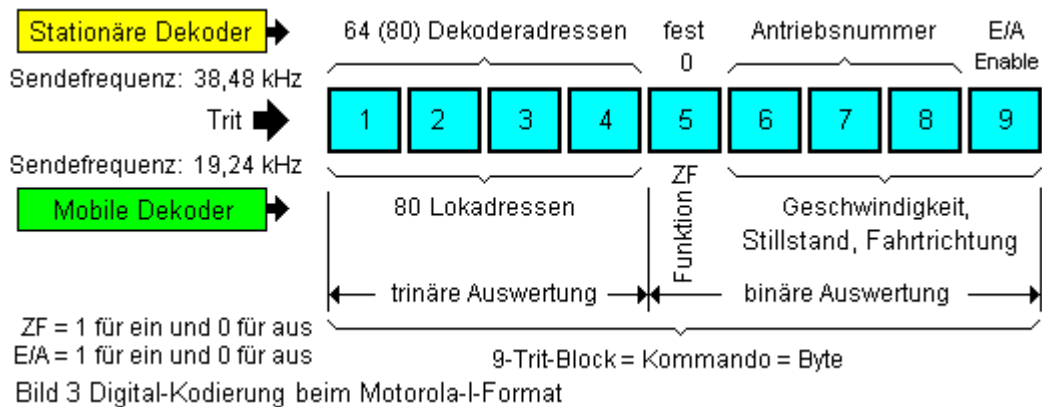
Im Gegensatz zu den Lokdaten, welche die Control Unit 6021 von Märklin® kontinuierlich in regelmäßigen Abständen (für alle in Betrieb befindlichen Loks) wiederholt, werden die Schaltdekoderdaten nur zweimal kurz hintereinander (nach der Spezifikation des MC 145026) gesendet. Dies macht insofern Sinn, da die stationären Dekoder über zwei Drähte (rot und braun) fest an die Zentraleinheit angeschlossen sind, was die Übertragungssicherheit im Hinblick auf die mobilen Dekoder stark verbessert. Außerdem schaltet der Ausschaltimpuls (Bit 9, Enable = englisch für Freigabe oder Aktivierung), der nach dem Loslassen der entsprechenden Taste erfolgt, den Ausgang des Dekoders wieder aus. Viele Magnetartikel (z. B. ohne Endabschaltung) übertragen nämlich keinen Dauerstrom. Die Wiederholung der Daten für den stationären Dekoder wäre damit sinnlos. **Achtung:** Da der erweiterte ASCII-Code mit acht Bit nur bis zum Dezimalwert 255 geht, hat die letzte Antriebsnummer am 16. Keyboard von Märklin® bei der Programmierung nicht den Wert 256, sondern den Dezimalwert 0.

Mit dem etwas später beschriebenen Selbstbau-Steuerggerät lassen sich dann sogar 80 stationäre Dekoderadressen mit jeweils acht Subadressen steuern. Sie können damit 320 (80 · 4) Zweispulen-Antriebe oder 640 (80 · 8) Einspulen-Antriebe schalten. Die 80 Adressen der stationären Dekoder entsprechen dabei wieder den Lok-Adressen 01 bis 80. Auch die stationären Dekoder k83 und k84 von Märklin sowie die dazu kompatiblen Dekoder anderer Hersteller lassen sich auf 80 stationäre Dekoderadressen einstellen. Noch wesentlich mehr Dekoderadressen – nämlich 3<sup>5</sup> = 243 Stück (243 · 8 = 1.944 Einspulen-antriebe) – wären möglich, wenn Bit 5 ebenfalls trinär genutzt würde. Allerdings liegt Bit 5 bei den meisten stationären Dekodern fest auf Massepotential. Für die meisten Heimanlagen sollten 640 Subadressen wohl auch ausreichen. Bei größeren Anlagen lassen sich ja auch mehrere Steuerkreise mit je einem eigenen Steuerggerät aufbauen.

Die Zeitkonstante des RC-Gliedes aus R1 und C1 (an den Stiften 6 und 7 des MC 145027) bestimmt den zeitlichen Grenzwert, der darüber entscheidet, ob ein Null- oder Einsimpuls (schmaler oder breiter Impuls) vom Sender übertragen wurde. Von R2 und C2 (am Stift 10 des MC 145027) hängt die Zeit ab, innerhalb der das zweite identische Kommandobyte eintreffen muss. Der MC 145027 „ermittelt“ dabei die Pausen zwischen den Datenbytes und stellt dann fest, ob nur das verschlüsselte Datenwort (EOW = End of Word = englisch für Ende des Wortes) oder die gesamte Datenübertragung (EOT = End of Transmission = englisch für Ende der Übertragung) beendet ist. Wenn für den Zeitraum von vier Taktperioden (Datenbitperioden) immer nur Low, übertragen wurde, ist die Datenübertragung abgeschlossen. Zwischen zwei Datenworten wird für den Zeitraum von drei Taktperioden (Datenbitperioden) Low gesendet, um den Dekoder zu synchronisieren und das Ende eines Datenwortes anzuzeigen. Die Dimensionierung der einzelnen Bauteile (R1, R2, C1 und C2) zeigen die eingangs vorgestellten Formeln. Der Booster gibt für die Zeit, in welcher der Sender Low-Potenzial liefert „Minus-U<sub>0</sub>“ ab.

Die seriellen Daten liegen am Dateneingang (Stift 9) des MC 145027 (Data in) an und stehen nach der Dekodierung an den Ausgängen D6 bis D9 zur Verfügung. Die vom Sender ausgesand-

te Adresse (der Lok, Weiche usw.) vergleicht der Empfänger (Dekoder) mit seiner an A1 bis A4 per DIP-Schalter eingestellten Adresse. Nur wenn beide übereinstimmen, übernimmt der Dekoder die ihm angebotenen vier Datenbits D6 bis D9 und speichert sie intern ab. Wie schon erwähnt, erfolgt die Datenaussendung immer zweimal, um Fehler zu vermeiden. Der Dekoder prüft daher, wenn er die Adresse im ersten Kommando (Byte) akzeptiert hat, ob das zweite Kommando (Byte) mit dem ersten übereinstimmt. Erst wenn das erste und das zweite Datenwort (Kommando oder Byte) die gleiche Information enthält, gibt der Dekoder diese Daten an den Ausgängen D6 bis D9 aus und das Valid-Transmission-Signal (VT = gültige oder zulässige Übertragung) am Stift 11 des Dekoder-IC MC 145027 geht für die Dauer von  $t = 1,1 \cdot R_2 \cdot C_2$  auf logisch „1“. Der VT-Ausgang bleibt also solange logisch „1“, bis eine ungültige Adresse ankommt oder während vier Taktperioden kein Sendesignal empfangen wurde. Dies kann bei kritischen Abläufen genutzt werden, um Daten- und/oder Übertragungsfehlern vorzubeugen. Stimmen die beiden Datenworte (Bytes) nicht überein, ignoriert der Dekoder diesen Befehl und es bleibt bei der weiteren Ausführung des letzten Befehls. Auch beim MC 145027 erfolgt die Adresseinstellung (logischerweise) trinär. Die Versorgungsspannung darf wie beim Encoder-IC auch beim Dekoder-IC zwischen 4,5 bis 18 Volt liegen. Zwischen den Frequenzen von Sender und Empfänger ist beim MC 145027 eine Abweichung von bis zu 10 % zulässig.



Beim Sender verstärkt der Booster anschließend das aufbereitete Datensignal und liefert zu den daran angeschlossenen stationären Dekodern eine Digital-Spannung  $\pm U_0$ , die je nach Booster zwischen  $\pm 18$  bis  $\pm 22$  V betragen kann:  $+U_0$  = logisch „1“ = High und  $-U_0$  = logisch „0“ = Low. Wenn keine Daten gesendet werden, liegt die negative Spannung  $-U_0$  (z. B.  $-22$  V), also logisch Null oder Low (Ruhepegel), an. Die Schaltkommandos werden der Boosterspannung aufgeprägt. Der Booster liefert dann entsprechende Rechtecksignale am Ausgang. Nun genug der Theorie, sehen wir uns jetzt einige konkrete Schaltungen zum Schalten an.

## Komponenten zum Schalten

Beim nachfolgend vorgestellten Konzept erfolgt, abweichend von Märklin-Digital-H0<sup>®</sup>, eine Trennung zwischen Lok- und Schaltartikelsteuerung. Dies hat den Vorteil, dass beide Steuerkreise unabhängig von einander funktionieren und, dass Sie nur das nachzubauen brauchen, was Sie auch wirklich benötigen. Außerdem werden die stationären Dekoder für die Schaltkommandos direkt an ein eigenes zentrales Steuergerät mit Booster angeschlossen, d. h. als Medium [lateinisch für Mittler(in)] wird nicht die Schiene mit Ihrem hohen Übergangswiderstand und dem damit verbundenen Spannungsabfall genutzt, sondern ein zweipoliges Verbindungskabel. Der Drahtquerschnitt des verwendeten Litzen-Kabels zu den stationären Dekodern sollte bei 1,5 mm<sup>2</sup> liegen. Hier bietet sich z. B. zweiadriges Lautsprecherkabel mit 1,5 mm<sup>2</sup> Querschnitt an. Zudem belasten die stationären Dekoder nicht den Booster der Loksteuerung, da sie ja einen eigenen Stromkreis mit eigener Zentraleinheit und eigenem Booster nutzen. Die unabhängige Magnetartikelsteuerung für Weichen, Signale usw. kann dadurch auch bei den Spurweiten N und Z zum Einsatz kommen, ohne auch die Lokdekoder nach dem Motorola-Format nutzen zu müssen.



- Ein zentrales Steuergerät mit eigenem Booster (ca. 2,5 A).
- Einen Transformator 230 V ~ zu 16 V ~ nach VDE (z. B. Märklin® 6002).
- Diverse Weichen- und Schaltdekoder (zusammen maximal 80 Stück).

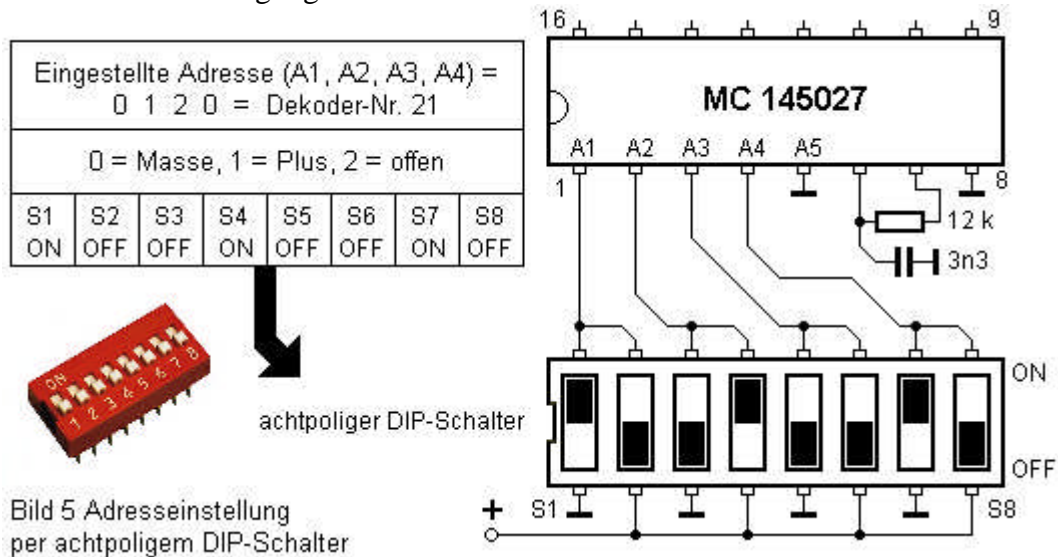
Zum Schalten von Magnetartikeln wie Weichen, Signalen mit eigenem Spulenantrieb, Entkuppeln usw., die nur einen kurzen Schaltimpuls zum Umschalten benötigen, wird der stationäre Weichen- oder Magnetartikel-Dekoder eingesetzt. Bei Märklin® heißt dieser stationäre Dekoder k83 und kommt in einem schmalen kleinen Kunststoffgehäuse daher. Allerdings hat er auch seinen Preis. Hier kann der Selbstbauer sparen, da die Schaltung mit wenigen Standard-Bauteilen auskommt und nicht den platzmäßigen Einschränkungen des Lokdekoders unterworfen ist. Außerdem gibt es von diversen Firmen entsprechende Bausätze. Hier seien stellvertretend die Firmen tams-elektronik, Conrad und Viessmann genannt. Die einfache Schaltung des Weichendekoders, die aus einem achtfach-DIP-Schalter, einem 16poligen Remote-Control-Decoder-IC MC 145027, einem 16poligen 1-aus-8-Schalter-IC CD 4051 (MC 14051), neun NPN-Transistoren BD645 oder BD 679, 10 Dioden und einigen passiven Bauteilen besteht, zeigt Bild 4 hierunter:



## Schalten im Motorola-Format

Der MC 145027 des in Bild 4 gezeigte Weichendekoders für das Motorola-Format empfängt über R7 (270 k $\Omega$ ) die der Booster-Spannung überlagerten Informationen an seinem Dateneingang (Stift 9) und wertet sie aus. Entspricht die vom Steuergerät gesendete Adresse seiner mit dem 8fach-DIP-Schalter vorgegebenen, so stellt er an seinen Ausgängen D6 bis D9 (Stifte 15 bis 12) die empfangenen Daten zur Weiterverarbeitung zur Verfügung. Die Bits D6 bis D8 (Subadresse) bestimmen dabei über den 1-aus-8-Schalter 4051 die zu schaltende Magnetspule. Wenn Bit D9 „high“ ist, schaltet der NPN-Transistor T1 (BC 547 B) durch und legt Massepotenzial an den Datenfreigabeeingang E (Stift 6) des 4051. Daraufhin leitet der 4051 über Stift 3 und R6 (5,6 k $\Omega$ ) positives Steuerpotenzial an den entsprechend ausgewählten Ausgang. Die Ausgangsauswahl erfolgt über die drei Select-Eingänge A, B und C des 4051 (Stifte 11, 10 und 9) anhand der vom MC 145027 gelieferten Daten (D6 bis D8). Der am ausgewählten Ausgang liegende NPN-Darlingtontransistor (BD 645 oder BD 679) schaltet dann durch und lässt einen Strom durch die in seinen Kollektorzweig geschaltete Magnetspule fließen. Der Schaltvorgang ist damit vollzogen. Der durchgeschaltete Leistungstransistor legt dabei Massepotenzial an die Magnetspule und kann einen Strom von ca. 1,5 A liefern. Er benötigt keinen Kühlkörper!

Geht Bit 9 danach wieder auf „low“, so sperrt T1 und an Stift 6 des 4051 liegt Pluspotenzial. Der 4051 sperrt und unterbricht den Basisstrom zum ausgewählten NPN-Treiber, der nun seinerseits sperrt und keinen Strom mehr durch die Magnetspule fließen lässt. Die acht Dioden D3 bis D10 (je 1 N 4002) sind die obligatorischen Freilaufdioden gegen die Gegeninduktionsspannung beim Abschalten der Magnetspulen. Wenn der jeweilige Ausgangstransistor (T2 bis T9) schlagartig vom leitenden in den gesperrten Zustand wechselt, induziert das zusammenbrechende Magnetfeld der Magnetspule nämlich in der eigenen Wicklung eine Spannung, die der Betriebsspannung entgegengerichtet ist, d. h., die die umgekehrte Polarität wie diese hat und den Ausgangstransistor beschädigen könnte. Da D3 bis D10 für diese Gegenspannung jedoch in Durchlassrichtung liegen, schließen sie die Gegeninduktionsspannung kurz und schützen so die Ausgangstransistoren T2 bis T9 vor Beschädigung.



Jeder stationäre Dekoder ist mittels eines achtpoligen DIP-Schalters auf die entsprechende trinäre Dekoder-Adresse einzustellen. Adresse A5 (Stift 5) des MC 145027 liegt, wie von Märklin® vorgegeben, fest auf Masse. Bild 5 hierüber zeigt die Adresseinstellung per achtpoligem DIP-Schalter. Die beiden Schalter, die zu einer Adresse gehören, dürfen nie gleichzeitig eingeschaltet sein, da es sonst einen Kurzschluss zwischen Pluspotenzial und Masse gibt! Also z. B. nur S1 oder S2; **nie** S1 und S2 bei Adresse A1 zusammen in Stellung „ON“ bringen. S1, S3, S5 und S7 schalten 0 V = logisch „0“. S2, S4, S6, S8 schalten Pluspotenzial = logisch „1“. Sind beide zu einer Adresse gehörenden Schalter in der Stellung „OFF“, ist der dritte Logikzustand der trinären Logik, „offen“, eingestellt. Die beiden Tabellen hierunter enthalten die Schalterstellungen der Schalter S1 bis S8 beim DIP-Schalter für die Adresseinstellung der stationären Dekoder:

# Codetabelle für Weichen- und Schaltdekoder

Stell- pult- Nr.	Tastennr. am Stellpult	Deko- der- Nr.	Fortlaufende Funktionsadresse (Magnetartikelnr.)				DIP-Schalter								Trinär-Code IC-Adresse			
							1	2	3	4	5	6	7	8	A1	A2	A3	A4
							-	+	-	+	-	+	-	+				
1	1, 2, 3, 4	1	1	2	3	4		X	X		X		X		1	0	0	0
1	5, 6, 7, 8	2	5	6	7	8			X		X		X		2	0	0	0
1	9, 10, 11, 12	3	9	10	11	12	X			X	X		X		0	1	0	0
1	13, 14, 15, 16	4	13	14	15	16		X		X	X		X		1	1	0	0
2	1, 2, 3, 4	5	17	18	19	20				X	X		X		2	1	0	0
2	5, 6, 7, 8	6	21	22	23	24	X				X		X		0	2	0	0
2	9, 10, 11, 12	7	25	26	27	28		X			X		X		1	2	0	0
2	13, 14, 15, 16	8	29	30	31	32					X		X		2	2	0	0
3	1, 2, 3, 4	9	33	34	35	36	X		X			X	X		0	0	1	0
3	5, 6, 7, 8	10	37	38	39	40		X	X			X	X		1	0	1	0
3	9, 10, 11, 12	11	41	42	43	44			X			X	X		2	0	1	0
3	13, 14, 15, 16	12	45	46	47	48	X			X		X	X		0	1	1	0
4	1, 2, 3, 4	13	49	50	51	52		X		X		X	X		1	1	1	0
4	5, 6, 7, 8	14	53	54	55	56				X		X	X		2	1	1	0
4	9, 10, 11, 12	15	57	58	59	60	X					X	X		0	2	1	0
4	13, 14, 15, 16	16	61	62	63	64		X				X	X		1	2	1	0
5	1, 2, 3, 4	17	65	66	67	68						X	X		2	2	1	0
5	5, 6, 7, 8	18	69	70	71	72	X		X				X		0	0	2	0
5	9, 10, 11, 12	19	73	74	75	76		X	X				X		1	0	2	0
5	13, 14, 15, 16	20	77	78	79	80			X				X		2	0	2	0
6	1, 2, 3, 4	21	81	82	83	84	X			X			X		0	1	2	0
6	5, 6, 7, 8	22	85	86	87	88		X		X			X		1	1	2	0
6	9, 10, 11, 12	23	89	90	91	92				X			X		2	1	2	0
6	13, 14, 15, 16	24	93	94	95	96	X						X		0	2	2	0
7	1, 2, 3, 4	25	97	98	99	100		X					X		1	2	2	0
7	5, 6, 7, 8	26	101	102	103	104							X		2	2	2	0
7	9, 10, 11, 12	27	105	106	107	108	X		X		X			X	0	0	0	1
7	13, 14, 15, 16	28	109	110	111	112		X	X		X			X	1	0	0	1
8	1, 2, 3, 4	29	113	114	115	116			X		X			X	2	0	0	1
8	5, 6, 7, 8	30	117	118	119	120	X			X	X			X	0	1	0	1
8	9, 10, 11, 12	31	121	122	123	124		X		X	X			X	1	1	0	1
8	13, 14, 15, 16	32	125	126	127	128				X	X			X	2	1	0	1

Stell- pult- Nr.	Tastennr. am Stellpult	Deko- der- Nr.	Fortlaufende Funktionsadresse (Magnetartikelnr.)				DIP-Schalter								Trinär-Code IC-Adresse			
							1	2	3	4	5	6	7	8	A1	A2	A3	A4
							-	+	-	+	-	+	-	+				
9	1, 2, 3, 4	33	129	130	131	132	X				X			X	0	2	0	1
9	5, 6, 7, 8	34	133	134	135	136		X			X			X	1	2	0	1
9	9, 10, 11, 12	35	137	138	139	140					X			X	2	2	0	1
9	13, 14, 15, 16	36	141	142	143	144	X		X			X		X	0	0	1	1
10	1, 2, 3, 4	37	145	146	147	148		X	X			X		X	1	0	1	1
10	5, 6, 7, 8	38	149	150	151	152			X			X		X	2	0	1	1
10	9, 10, 11, 12	39	153	154	155	156	X			X		X		X	0	1	1	1
10	13, 14, 15, 16	40	157	158	159	160		X		X		X		X	1	1	1	1
11	1, 2, 3, 4	41	161	162	163	164				X		X		X	2	1	1	1
11	5, 6, 7, 8	42	165	166	167	168	X					X		X	0	2	1	1
11	9, 10, 11, 12	43	169	170	171	172		X				X		X	1	2	1	1
11	13, 14, 15, 16	44	173	174	175	176						X		X	2	2	1	1
12	1, 2, 3, 4	45	177	178	179	180	X		X					X	0	0	2	1
12	5, 6, 7, 8	46	181	182	183	184		X	X					X	1	0	2	1
12	9, 10, 11, 12	47	185	186	187	188			X					X	2	0	2	1
12	13, 14, 15, 16	48	189	190	191	192	X			X				X	0	1	2	1
13	1, 2, 3, 4	49	193	194	195	196		X		X				X	1	1	2	1
13	5, 6, 7, 8	50	197	198	199	200				X				X	2	1	2	1
13	9, 10, 11, 12	51	201	202	203	204	X							X	0	2	2	1
13	13, 14, 15, 16	52	205	206	207	208		X						X	1	2	2	1
14	1, 2, 3, 4	53	209	210	211	212								X	2	2	2	1
14	5, 6, 7, 8	54	213	214	215	216	X		X		X				0	0	0	2
14	9, 10, 11, 12	55	217	218	219	220		X	X		X				1	0	0	2
14	13, 14, 15, 16	56	221	222	223	224			X		X				2	0	0	2
15	1, 2, 3, 4	57	225	226	227	228	X			X	X				0	1	0	2
15	5, 6, 7, 8	58	229	230	231	232		X		X	X				1	1	0	2
15	9, 10, 11, 12	59	233	234	235	236				X	X				2	1	0	2
15	13, 14, 15, 16	60	237	238	239	240	X				X				0	2	0	2
16	1, 2, 3, 4	61	241	242	243	244		X			X				1	2	0	2
16	5, 6, 7, 8	62	245	246	247	248					X				2	2	0	2
16	9, 10, 11, 12	63	249	250	251	252	X		X			X			0	0	1	2
16	13, 14, 15, 16	64	253	254	255	0		X	X			X			1	0	1	2

**X = Schalter geschlossen (ON) und Stellpult-Nr. = Keyboardnummer**

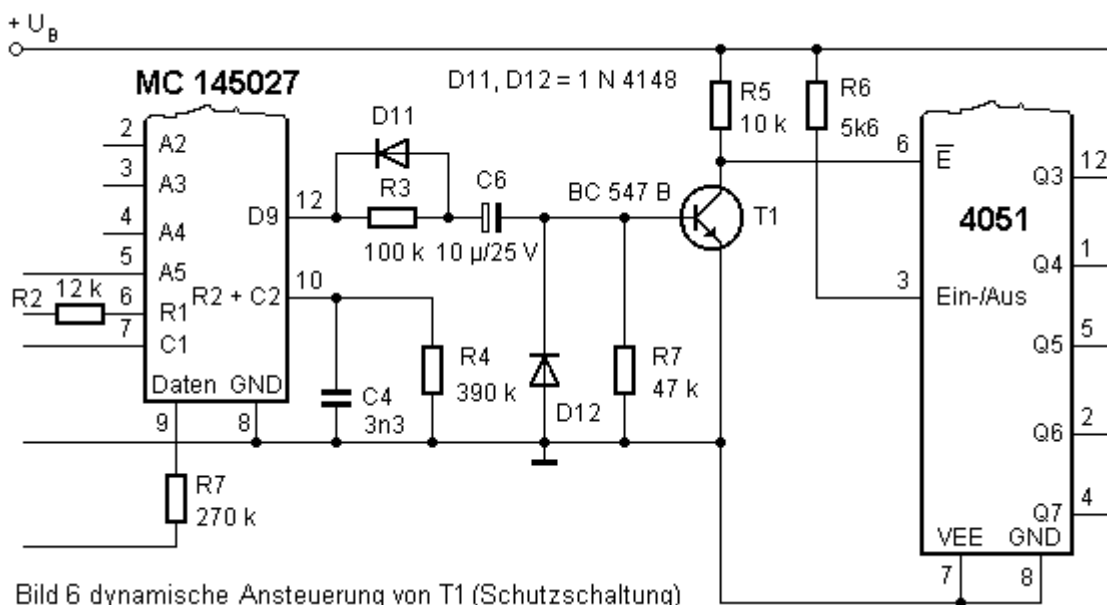
**Trinäer Code: 0 = Masse; 1 = Plus; 2 = offen**

## Adressen, die über den Adressbereich von Märklin hinausgehen

Stellpult-Nr.	Tastenpaare am Stellpult	Dekoder-Nr.	Fortlaufende Funktionsadressen (Magnetartikelnr.)				DIP-Schalter								Trinär-Code IC-Adresse			
							1	2	3	4	5	6	7	8	A1	A2	A3	A4
							-	+	-	+	-	+	-	+				
17	1, 2, 3, 4	65	257	258	259	260			X			X			2	0	1	2
17	5, 6, 7, 8	66	261	262	263	264	X			X		X			0	1	1	2
17	9, 10, 11, 12	67	265	266	267	268		X		X		X			1	1	1	2
17	13, 14, 15, 16	68	269	270	271	272				X		X			2	1	1	2
18	1, 2, 3, 4	69	273	274	275	276	X					X			0	2	1	2
18	5, 6, 7, 8	70	277	278	279	280		X				X			1	2	1	2
18	9, 10, 11, 12	71	281	282	283	284						X			2	2	1	2
18	13, 14, 15, 16	72	285	286	287	288	X		X						0	0	2	2
19	1, 2, 3, 4	73	289	290	291	292		X	X						1	0	2	2
19	5, 6, 7, 8	74	293	294	295	296			X						2	0	2	2
19	9, 10, 11, 12	75	297	298	299	300	X			X					0	1	2	2
19	13, 14, 15, 16	76	301	302	303	304		X		X					1	1	2	2
20	1, 2, 3, 4	77	305	306	307	308				X					2	1	2	2
20	5, 6, 7, 8	78	309	310	311	312	X								0	2	2	2
20	9, 10, 11, 12	79	313	314	315	316		X							1	2	2	2
20	13, 14, 15, 16	80	317	318	319	320	X		X		X		X		0	0	0	0

X = Schalter geschlossen (ON)

Trinärer Code: 0 = Masse; 1 = Plus; 2 = offen



**Achtung:** Sowohl beim beschriebenen Weichendekoder als auch beim Märklin-Dekoder k83 sind die Ausgänge nicht kurzschlussfest. Bitte vermeiden Sie daher ausgangsseitige Kurzschlüsse, um die Ausgangstransistoren oder das IC nicht zu zerstören!! Alle Magnetartikel, die über einen der o. a. Weichendekoder oder den Dekoder k83 geschaltet werden, müssen mit dem gelben Anschlusskabel (gemeinsamer Rückleiter) unbedingt am Dekoder (gelbe Buchse) angeschlossen sein. Ansonsten kann es zu Fehlfunktionen und Schäden im Digitalsystem kommen.

**Anmerkung:** Der 8fach-DIP-Schalter wird auch spaßhaft als „Mäuseklavier“ bezeichnet.

Das Rücksetzen von D9 geschieht auf Befehl des Steuergerätes nach Loslassen der entsprechenden Taste. Wenn dieser Befehl (durch einen Defekt oder Programmfehler) ausbleibt, kann es leicht zu einem „Durchschmoren“ der ausgewählten Magnetspule durch Dauerstrom kommen. Um dies zu verhindern, können Sie T1 dynamisch über ein RC-Glied ansteuern lassen, das den Basisstrom von T1 nur ca. eine Sekunde fließen lässt:  $\tau = R3 \cdot C6 = 100 \text{ k}\Omega \cdot 10 \text{ }\mu\text{F} = 1 \text{ s}$ . T1 kann somit nur für diese kurze Zeit leiten und Stift 6 des 4051 an Masse legen. Die Spule erhält folglich auch nur für diese kurze Zeitspanne Strom und kann dadurch keinen Schaden nehmen. Bild 6 zeigt auszugsweise die geänderte Schaltung. Durch andere Werte für den Kondensator C6 (10  $\mu\text{F}$ ) lässt sich die (Ein-)Schaltzeit nach der o. a. Formel variieren.

Zum Schalten von Artikeln ohne eigenen Spulenantrieb wie Lichtsignalen, Blink- oder Lichtschaltungen usw., die einen Dauerstrom benötigen, wird der stationäre Schaltdekoder eingesetzt. Bei Märklin® heißt dieser stationäre Dekoder k84 und kommt ebenfalls in einem schmackhaften kleinen Kunststoffgehäuse daher. Allerdings hat auch er seinen Preis. Der Selbstbauer kann hier wieder sparen und auf Bausätze diverser Firmen zurückgreifen. Hier seien stellvertretend wieder die Firmen tams-elektronik, Conrad und Viessmann genannt. Die einfache Schaltung des Schaltdekoders besteht im Prinzip aus den gleichen Teilen wie der Weichendekoder. Es kommen nur noch vier bistabile Relais hinzu. Bistabile Relais haben im Gegensatz zu den „normalen“ unipolaren Relais zwei Ruhestellungen und vergessen auch nach einem Stromausfall nicht ihre Schaltstellung. Sie werden durch entsprechende Impuls umgeschaltet. Bild 7 hierunter zeigt die Ergänzung des Weichendekoders (auch k83) um vier bistabile Relais mit 24-V-Nennspannung:

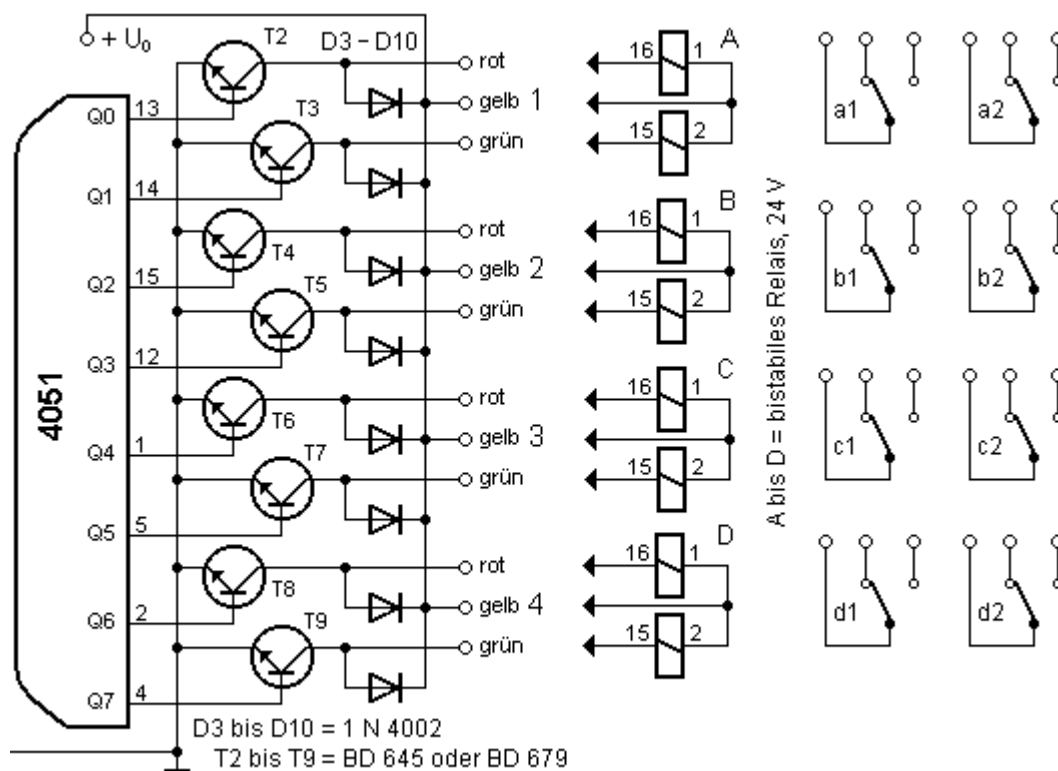
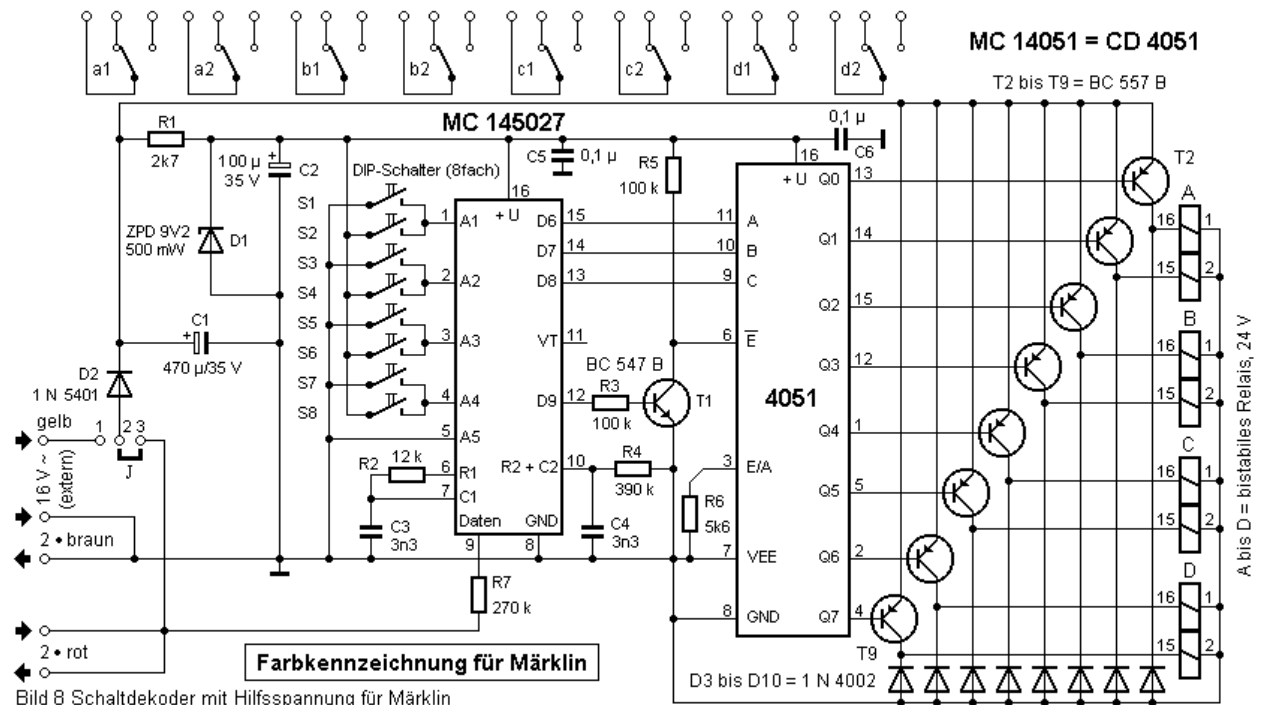


Bild 7 Weichendekoder mit bistabilen Relais = Schaltdekoder (Auszug)



## Der stationäre Schaltdekoder (für Dauerstromverbraucher)

Das bistabile Kleinrelais mit einem Schaltstrom von 2 A und zwei Umschaltkontakten (2 x UM) der Serie RAL für eine Nennspannung von 24 V gibt es z. B. bei Conrad, Bestellnr. 50 28 98. Der damit ausgestattete Schaltdekoder hat gegenüber dem Schaltdekoder k84 von Märklin®, dessen Relais nur einen Umschaltkontakt aufweisen, den Vorteil, dass sich durch die zwei Umschaltkontakte komplexere Schaltungen – wie z. B. Motor- oder Signalschaltungen – einfacher realisieren lassen. Dieser Schaltdekoder ist also immer dann vorteilhafter, wenn Sie zwei Umschaltkontakte benötigen. Bild 8 zeigt einen kompletten Schaltdekoder, bei dem statt der Leistungstransistoren „normale“ PNP-Transistoren BC 557 B Verwendung finden. Außerdem ist der 1-aus-8-Schalter 4051 anders beschaltet und legt Massepotenzial über Stift 3 und R6 (5,6 kΩ) an den ausgewählten Ausgang, solange Bit D9 „high“ ist und T1 (BC 547 B) durchschaltet. Der am ausgewählten Ausgang liegende PNP-Transistor (BC 557 B) schaltet dann ebenfalls durch und lässt einen Strom durch die in seinem Kollektorzweig befindliche Relaispule fließen. Das bistabile Relais kippt dadurch in seine andere Ruhelage und die beiden Umschaltkontakte schalten entsprechend um. Auch in der Schaltung nach Bild 8 kommt das bistabile Kleinrelais, 2 A, 2 x UM der Serie RAL von TAKAMISAWA für eine Nennspannung von 24 V zum Einsatz.



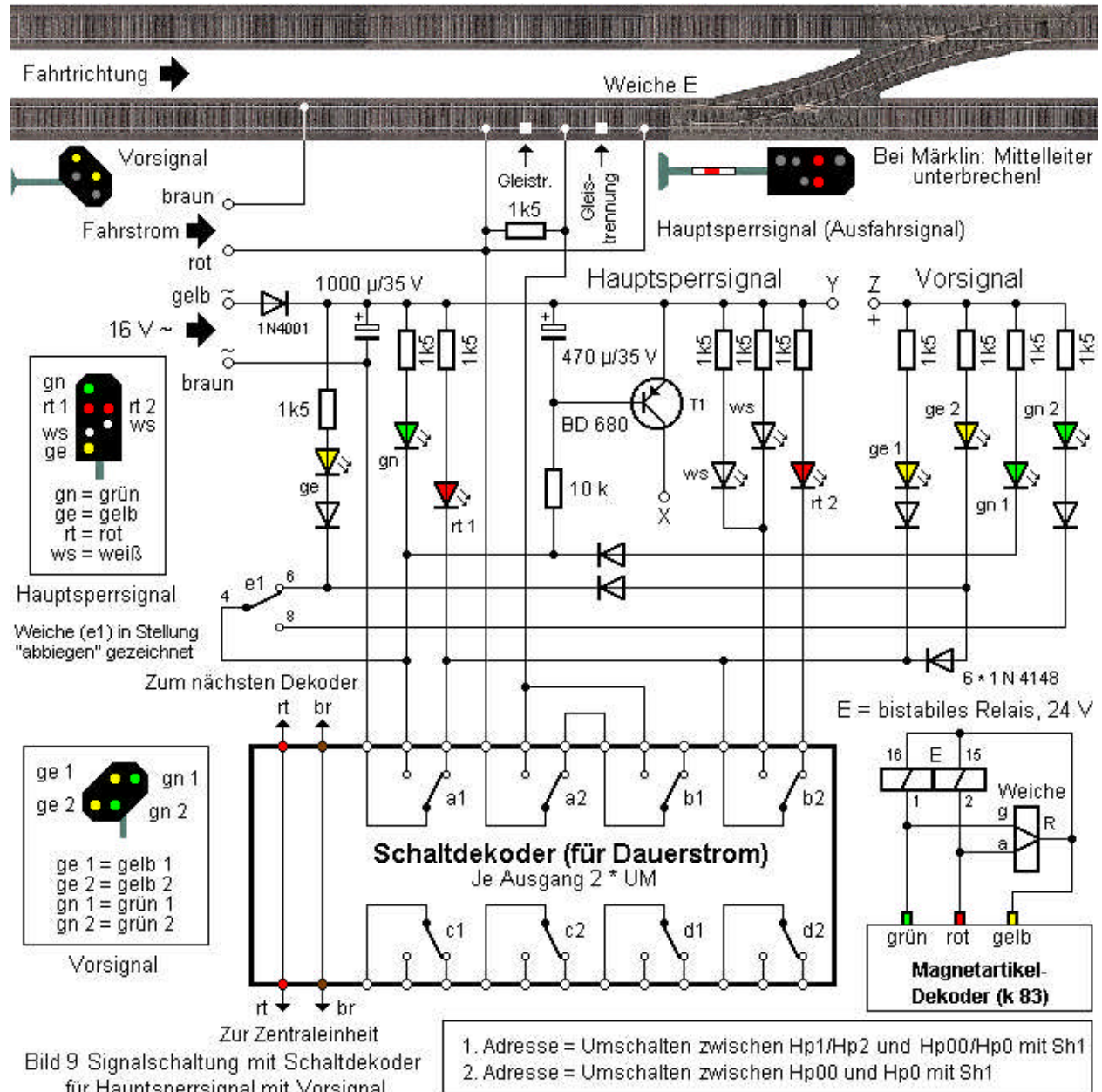
Adressierung und Funktion des stationären Schaltdekoders entsprechen weitgehend dem Weichendekoder, bitte lesen Sie dort darüber nach. Auch in der Schaltung nach Bild 8 lässt sich T1, so wie in Bild 6 gezeigt, dynamisch ansteuern.

Magnetartikel, die über zwei Doppelspulenantriebe verfügen, wie z. B. Dreiwegweichen, Signale mit drei schaltbaren Begriffen usw., benötigen natürlich auch zwei Dekoder-Ausgänge, d. h. zwei Adressen. Bei Märklin® finden Sie in der Regel drei oder manchmal auch vier Drähte mit folgenden Bedeutungen an den Magnetartikeln:

- Blauer Draht mit rotem Stecker = Signal Hp0 (rot), Weiche in Stellung „abbiegen“.
- Blauer Draht mit grünem Stecker = Signal Hp1 (grün), Weiche in Stellung „gradeaus“.

- Blauer Draht mit orangem Stecker = dritte Signalstellung z. B. Signal Hp2 (grün/gelb).
- Gelber Draht mit gelbem Stecker = gemeinsamer Rückleiter (Lichtstrom L).

Die Kabel der Magnetartikel sind anhand des Farbcodes entsprechend mit den Ausgängen des Weichen- oder Schaltdekoders zu verbinden. Sollte das Signal Hp1 (grün) zeigen, obwohl der rote Dekoder-Ausgang aktiviert wurde, so sind die beiden Anschlüsse zu vertauschen.



Schaltbeispiele mit den Dekodern k83 oder k84 von Märklin® finden Sie im Märklin Magazin® sowie den Märklin-Büchern 0306, 0308 oder „Einstieg in Märklin Digital“. Auch im 4. Band „Digitale Steuerungselektronik“ der vierbändigen Buchreihe „Elektronik & Modellbahn“ aus dem Elektor-Verlag finden Sie viele Schaltungen zum Motorola-Format von Märklin®. Alle diese Schaltungen lassen sich natürlich auch mit den hier beschriebenen Dekodern verwirklichen. **Achtung:** Der k84 von Märklin® weist jedoch nur einen Umschaltkontakt je Ausgang auf. Bild 9 hierüber zeigt stellvertretend ein Anwendungsbeispiel für den Schaltdeko. Das Aufzeigen aller Schaltvarianten würde allerdings den Rahmen dieses Artikels sprengen.

Die Signalschaltung nach Bild 9 bedient mit nur zwei Adressen und dem obigen Schaltdekoder ein komplettes Hauptsperrsignal (Ausfahrtsignal) mit dem dazugehörigen Vorsignal. Die erste Adresse lässt zwischen Hp1/Hp2 oder Hp00/Hp0 mit Sh1 und die zweite zwischen Hp00 oder Hp0 mit Sh1 umschalten. Das Signalbild Hp1 oder Hp2 ist dabei von der Weichenstellung der Weiche E abhängig. Hierzu dient ein zur Weiche parallelgeschaltetes bistabiles 24-V-Relais E, dessen e1-Kontakt die gelbe LED entsprechend zu- oder abschaltet. Ob durch die 1. Adresse auf Hp00 oder Hp0 mit Sh1 umgeschaltet wird entscheidet die 2. Adresse und das durch sie betätigte B-Relais. Sie sollten daher die 2. Adresse immer von Hp0 mit Sh1 auf Hp00 zurückschalten. Eine weitere Besonderheit stellt PNP-Leistungstransistor T1 (BD 680) dar, der am Punkt X Pluspotenzial liefert, wenn die grüne LED des jeweiligen Hauptsperrsignals leuchtet und T1 durchschaltet. An X können Sie den Rückleiter Z (Pluspotenzial) eines am Mast dieses Hauptsperrsignals befestigten Vorsignals anschalten. Das am Mast des Hauptsperrsignals befindliche Vorsignal kann dann nur arbeiten, wenn das Hauptsperrsignal Hp1 oder Hp2 zeigt, d. h. T1 durchgeschaltet hat. Zeigt das Hauptsperrsignal, an dessen Mast das Vorsignal befestigt ist, Hp00 oder Hp0 mit Sh1 bleibt das Vorsignal dunkel, weil T1 in diesem Falle sperrt. Der 470- $\mu$ F-Kondensator vom Pluspotenzial zur Basis von T1 verhindert ein Flackern der Vorsignal-LED bei fehlender negativer Halbwelle des Steuer-Wechselstroms. Die Schaltung ist so ausgelegt, dass Massepotenzial geschaltet wird, um herkömmliche Lichtsignale verwenden zu können, bei denen meist der Rückleiter an Pluspotenzial zu legen ist. Sollte T1 im Dauerbetrieb zu warm werden, ist durch einen schwarz eloxierten U-Kühlkörper SK 13/3551 (für TO-220-Gehäuse) von Fischer mit einem  $R_{thK}$  von 17 K/W Abhilfe zu schaffen (Conrad-Bestellnummer: 18 79 68).

**Hp00** = Zughalt und Rangierverbot: Es leuchten rot 1 und rot 2 beim Ausfahrtsignal sowie gelb 1 und gelb 2 beim Vorsignal (Vr0 = Zughalt erwarten).

**Hp0 mit Sh1** = Zughalt, Rangierverbot aufgehoben: Es leuchten rot 1 und die beiden weißen LED sowie gelb 1 und gelb 2 beim Vorsignal (Vr0 = Zughalt erwarten).

**Hp1** = Fahrt: Es leuchten die grüne LED beim Ausfahrtsignal sowie grün 1 und grün 2 beim Vorsignal (Vr1 = Fahrt erwarten).

**Hp2** = Langsamfahrt mit 40 km/h, wenn nicht eine andere Geschwindigkeit z. B. durch Geschwindigkeitsanzeiger Zs3 vorgegeben wird. Es leuchten die grüne und die gelbe LED beim Ausfahrtsignal sowie gelb 2 und grün 1 beim Vorsignal (Vr2 = Langsamfahrt erwarten).

**Wichtiger Hinweis:** X liefert Pluspotenzial für das Vorsignal (am Mast des betrachteten Hauptsperrsignals), das mit dem nachfolgenden Hauptsignal korrespondiert. Bitte nicht X und Z in der Schaltung nach Bild 9 miteinander verbinden!! Wenn das Vorsignal nicht am Mast eines Hauptsignals befestigt ist, sondern als eigenständiges Signal dasteht, ist Punkt Z des Vorsignals mit Pluspotenzial vom Punkt Y zu verbinden.

Damit die Digitalloks ihr Gedächtnis nicht verlieren, sollten Sie alle Fahrstrom-Trennstellen durch einen Widerstand von 1,5 k $\Omega$  mit einer Belastbarkeit von  $\frac{1}{4}$  W überbrücken. Dieser Widerstand bewirkt, dass auch beim Signalhalt ein kleiner Strom in den abgeschalteten Haltebereich fließt, der zu gering ist, um den Lokmotor zu bewegen, der aber ausreicht, um den Lokdekoder auch bei einem Signalhalt mit den notwendigen digitalen Daten zu versorgen. Sie können dann z. B. vorbereitend die Fahrtrichtung einer vor einem roten Signal wartenden Lokomotive ändern oder andere Funktionen im Vorfeld veranlassen.

Allerdings haben die stromlosen Abschnitte auf digitalgesteuerten Anlagen den gleichen Schönheitsfehler wie beim konventionellen Betrieb. Nämlich auch in Digitalanlagen erlischt die Beleuchtung der im stromlosen Abschnitt stehenden Loks oder Waggons und der Zug kommt ab-

rupt zum Stehen, trotzdem das Bremsverhalten im Dekoder ganz toll eingestellt wurde. Ohne Spannungsversorgung kann auch eine Digitallok nicht zaubern. Wenn Sie dies verhindern wollen, sollten Sie Ihre Züge (wie der Lokführer) von Hand steuern und die Trennstellen ggf. weglassen oder sie nur als Notbremsbereich nutzen, damit die Lok nicht aus dem Signalbereich herausfährt.

Mit dem Weichen- und dem Schaltdekoder haben Sie nun die beiden wichtigsten Dekoder für den Schalteinsatz kennengelernt. Was jetzt noch fehlt, ist ein entsprechendes Steuergerät zum Schalten der einzelnen Artikel.

## Steuergerät mit Booster für die Schaltkommandos für 256 (320) Adressen

Dieses kompakte Steuergerät kann alle 256 (320) Adressen der Magnetartikel oder Dauerstromverbraucher im Motorola-Format ansprechen und ersetzt somit die Central-Unit (mit Booster) für die Schaltkommandos und alle möglichen 16 Keyboards 6040 von Märklin®. Hierdurch können Sie bei größeren Anlagen sicher einige Hundert Euro sparen. Neben Ihren Selbstbaudekodern lassen sich u. a. auch die Märklin®-Dekoder k83 und k84 sowie Dekoder anderer Firmen, wie tams-elektronik, Viessmann oder Conrad, damit ansteuern. Außerdem besteht die Möglichkeit, bis zu 48 Fahrstraßen mit maximal je 12 Schaltadressen zu speichern. Die Schaltung, die Bild 11 zeigt, ist dabei sehr einfach gehalten und besteht aus einem PIC 16F872 mit 16-MHz-Quarz, einem EEPROM EE 24LC16 B/P, zwei OpAmps (NE 5534 N und LM 675 T), einem einzeiligen LC-Display, einer 12er-Tastatur, drei Spannungsreglern (7815, 7915 und 7805), sechs Tasten, einer Duo-LED und einigen passiven Bauteilen. Die Schaltung ist zu den Komponenten von Märklin kompatibel und arbeitet völlig autark (vom Griechischen sich selbst genügend).

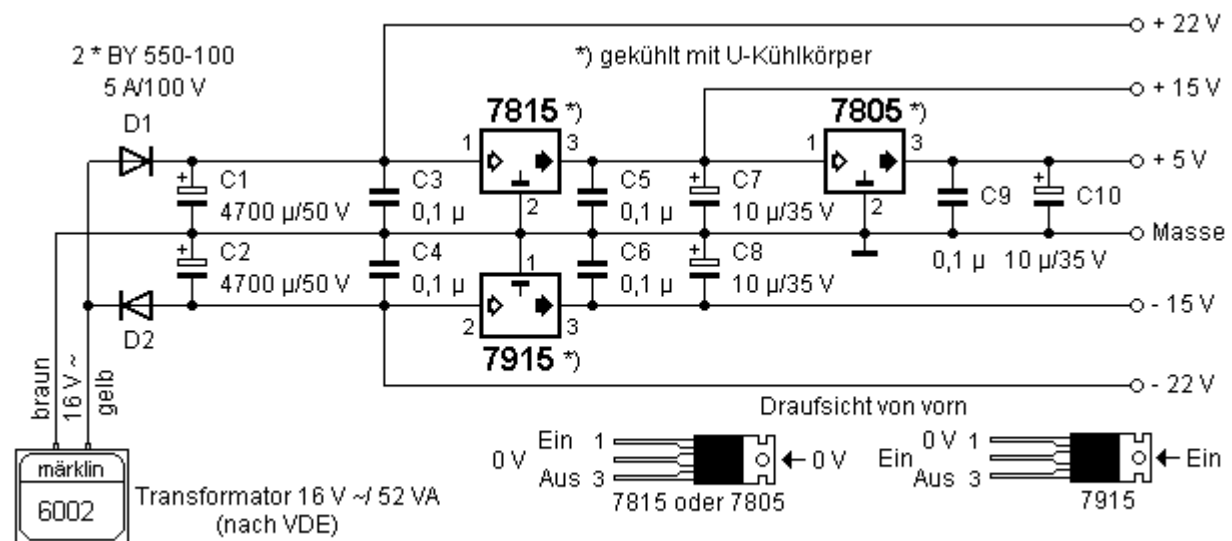


Bild 10 Spannungsversorgung: +5 V/+15 V/-15 V

Die Spannungsversorgung übernimmt ein VDE-Transformator mit einer Sekundärspannung von 16 V ~ und einer Leistung von  $\geq 52$  VA (gelb und braun). Zwei Einweggleichrichter mit je einer Diode BY 550-100 (D1 und D2) am einen Wechselspannungspol (gelb) und zwei Kondensatoren mit je 4.700 µF/50 V (C1 und C2) gegen Masse erzeugen aus der Wechselspannung von ca. 16 V ~ die symmetrische Booster-Spannung  $\pm U_0$  von ca.  $\pm 22$  V. Die positive Halbwelle liefert dabei die positive Spannung ( $+ 22$  V =  $+ U_0$ ) und die negative Halbwelle die negative Spannung ( $- 22$  V =  $- U_0$ ). Rückleiter ist jeweils der andere Wechselspannungspol (braun). Da immer nur eine Halbwelle der Wechselspannung genutzt wird, muss die Kapazität von C1 und C2 entsprechend hoch sein, um die Spannung bei der anderen Halbwelle jeweils zu puffern. Bei höherer Stromentnahme sind C1 und C2 ggf. zu vergrößern. Höhere Kapazitätswerte lassen sich auch durch Parallelschaltung mehrerer Kondensatoren erreichen. Falls Sie Platzprobleme durch die

beiden „dicken“ Ladekondensatoren von je 4.700  $\mu\text{F}$  bekommen, reicht auch eine Nennspannung von 35 V statt 50 V bei C1 und C2 aus. Die erforderliche Spannungsstabilisierung erfolgt dann durch drei Spannungsregler (7815 = + 15 V, 7915 = - 15 V und 7805 = + 5 V) in Standardbeschaltung mit schwarzen U-Kühlkörpern (Fischer SK 13/35 SA), die alle drei auf der Boosterplatine zu montieren sind. Die entsprechende Netzteil-Schaltung zeigt Bild 10. Der Spannungsregler 7805 (+ 5 V/1 A), liefert die positive Versorgungsspannung für den PIC und seine Peripherie.

Die Boosterplatine ist auf dem Gehäuseboden festzuschrauben. Den Kühlkörper der Booster-Leistungstransistoren können Sie außerhalb (wie bei Märklin) oder auch innerhalb des Gehäuses montieren. Bei einer Montage im Gehäuse sind ggf. einige Lüftungslöcher oder -schlitze vorzusehen. Als externer Transformator (im Kunststoffgehäuse) ist einer mit einer Sekundärwechselspannung von 16 V und 52 VA; z. B. von Märklin (6002), Viessmann oder Conrad zu verwenden. Der externe Transformator muss VDE-geprüft sein und die VDE-Bestimmungen für Spielzeug einhalten!!

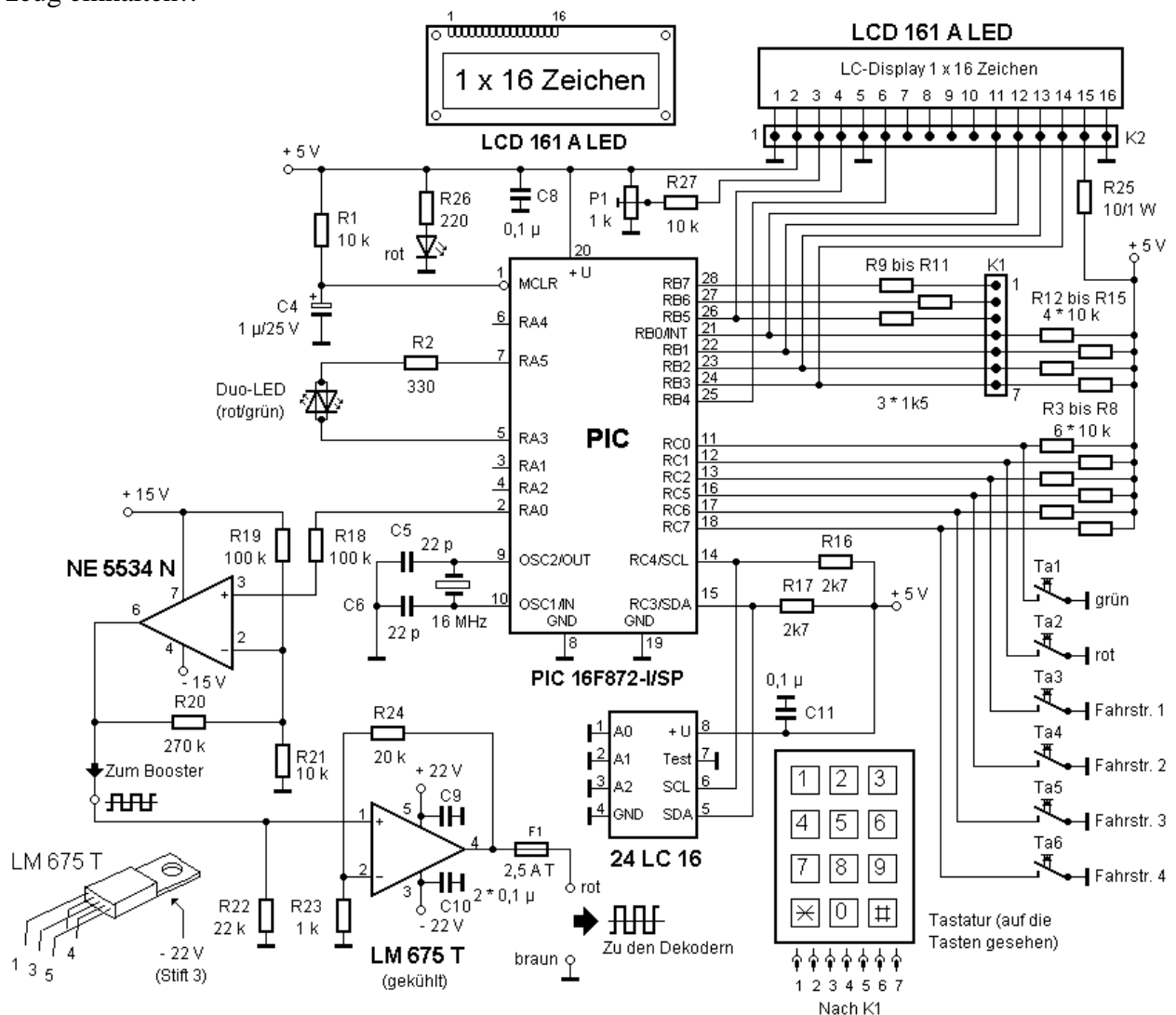


Bild 11 Steuergerät für Schaltkommandos mit PIC und LC-Display mit 1 x 16 Anzeigeelementen (5 x 7 Punkte)

Beim Display wurde der einzeilige Typ „LCD 161A LED“ von Displaytech mit LED-Hintergrundsbeleuchtung gewählt, der 1 x 16 Zeichen mit 5 x 7 Punkten sowie Cursor darstellen kann und u. a. bei Reichelt Elektronik (Bestellnr.: LCD 161A LED) erhältlich ist. LCD ist dabei die Kurzform von Liquid Crystal Display = englisch für Flüssigkristallanzeige. Flüssigkristalle stellen ein passives Anzeigemedium dar und senden selbst kein Licht aus. Zur besseren Ablesbarkeit benötigen sie eine Hintergrundsbeleuchtung. Auch andere Hersteller, wie z. B. Philips (erhältlich bei Conrad), bieten LCD-Module an, die meist befehls- und pinkompatibel sind. Er-

kundigen Sie sich hier bitte vorher beim Händler. In der Regel verwenden die Hersteller den Controller HD 44780 von Hitachi, der den erweiterten ASCII-Zeichensatz mit 255 Zeichen, den Kanji-Zeichensatz und einige Sonderzeichen darstellen kann. Außerdem lassen sich acht Zeichen selbst (frei) definieren. Die Stiftbelegung der 16 Stifte des verwendeten Displays sieht folgendermaßen aus (gilt auch für 1 x 8 bis 4 x 20 und 2 x 40):

Stift	Belegung	Pegel	Beschreibung
1	VSS	Low = L	Spannungsversorgung 0 V, GND
2	VDD	High = H	Spannungsversorgung + 5 V, + U <sub>B</sub>
3	VEE	-	Kontrasteinstellung, typisch 0 bis + 1,5 V
4	RS	H / L	<u>R</u> egister <u>S</u> elect (englisch für Registerauswahl) H = Dateneingabe und L = Befehlseingabe
5	R/W	H / L	H = <u>R</u> ead (englisch lesen) und L = <u>W</u> rite (englisch schreiben)
6	E	H	Enable (englisch für Freigabe)
7	D0	H / L	Datenleitung 0 (LSB)
8	D1	H / L	Datenleitung 1
9	D2	H / L	Datenleitung 2
10	D3	H / L	Datenleitung 3
11	D4	H / L	Datenleitung 4
12	D5	H / L	Datenleitung 5
13	D6	H / L	Datenleitung 6
14	D7	H / L	Datenleitung 7 (MSB)
15	+ U <sub>LED</sub>	typisch 4,1 V	LED zur Hintergrundsbeleuchtung (I <sub>LED</sub> = 80 bis 240 mA)
16	VSS	L	LED zur Hintergrundsbeleuchtung, 0 V, GND

Bei den Anzeigen ohne Hintergrundsbeleuchtung sind die Stifte 15 und 16 nicht beschaltet. Bei Anzeigen mit Hintergrundsbeleuchtung erhält die hierfür eingesetzte LED über die Stifte 15 und 16 ihre Stromversorgung. Es ist dabei ein Vorwiderstand R<sub>V</sub> erforderlich, der sich so berechnen lässt (mit Beispiel):

$$R_V = \frac{U_B - U_{LED}}{I_{LED}} = \frac{+5\text{ V} - 4,1\text{ V}}{90\text{ mA}} = 10\ \Omega$$

Einstellregler P1 (1 kΩ) dient zur Kontrasteinstellung des LC-Displays und ist mit einem Festwiderstand von 10 kΩ (R27) in Reihe geschaltet.

Technisch gesehen besteht ein LC-Display aus zwei – jeweils auf den Innenseiten mit einer hauchdünnen transparenten Metallschicht aus Indiumzinnoxid (ITO) bedampften – Glasplatten als Elektroden, zwischen denen eine kristalline „Flüssigkeit“ (das Flüssigkristall) eingeschlossen ist. Der Abstand der beiden Platten beträgt zwischen 5 und 10 µm. Das Phänomen der Flüssigkristalle wurde bereits 1888 vom österreichischen Botaniker Friedrich Reinitzer entdeckt, der s. Z. mit Cholesterylbenzoat experimentierte. 1904 gelang es dann dem Darmstädter Pharma- und Chemiekonzern Merck (Deutschland) daraus Flüssigkristalle in besonders reiner Form für Laborzwecke zu produzieren. Merck ist heute Marktführer bei Flüssigkristallen. Das einfache Flüssigkristall-Anzeigeelement heißt – nach seinen Erfindern M. Schadt und W. Helfrich, auch Schadt-Helfrich-Zelle und ist ein spannungsgesteuertes Lichtventil. Die beiden deutschen Chemiker erfanden 1971 die Drehzelle (heute TN-Zelle = englisch Twisted Nematic Cell = verdrehte nematische Zelle). Nematisch bedeutet dabei fadenförmig. Flüssigkristalle (Liquid Cystal = LC) sehen aus wie eine milchige Flüssigkeit und bestehen aus organischen, stäbchenförmigen Molekülen, die sich hauptsächlich aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff zusammensetzen. Die kristalline „Flüssigkeit“ dreht die Polarisierung des Lichtes und lässt sich im Temperaturbereich zwischen 0° und 75° C durch Anlegen eines elektrischen Feldes beeinflussen.



Das LC-Display funktioniert wie folgt: Im Ruhezustand dreht das Flüssigkristall im LC-Display die Polarisationssebene des einfallenden Lichtes um, so dass das Licht ungehindert den Analysator der unteren Glasplatte passieren kann, d. h. das LCD ist durchsichtig. Im Ruhezustand ist das Display also durchsichtig. Diese Anordnung nennt sich Normally-White-Mode (englisch für Normal-Weiß-Modus). Durch Anlegen eines elektrischen Feldes an die aufgedampfte Metallschicht drehen sich die Flüssigkristalle und damit auch die Polarisationssebene des Lichtes mit ansteigender Feldstärke immer mehr. Der entsprechende Bildpunkt leuchtet somit (Ruhezustand) oder wird mit zunehmender Drehung der Flüssigkristalle immer dunkeler. Bei einer Drehung um 90° verspermt der Analysator dem Licht vollständig den Weg. Das Display ist dadurch undurchsichtig geworden. Durch entsprechendes Aufdampfen der Metallschicht wird das Display in verschiedene Segmente (Punkte = englisch Dots) unterteilt, aus denen sich dann unterschiedliche Zeichen, Ziffern oder Buchstaben bilden lassen. Für das Dotmatrixdisplay gibt es auch einen Einbaurahmen, der allerdings fast so teuer ist, wie das Display selbst.

Als PIC kommt im Steuergerät das 28polige IC 16F872 von Microchip zum Einsatz, wodurch sich der Bauteileaufwand drastisch reduziert und sich die Schaltung entsprechend vereinfacht. Der PIC 16F872 ist eine leistungsstarke RISC-CPU (Reduced Instruktion Set Computer = englisch für Computer mit reduziertem Befehlssatz), für deren Programmierung 35 Einwortbefehle mit einer Breite von jeweils 14 Bit ausreichen. Die maximale Taktfrequenz liegt bei 20 MHz. Der PIC 16F872 weist einen 2 KB großen 8-Bit-CMOS-Flash-Programmspeicher (2 k x 14 Words = 2.048 x 14), 128 Bytes RAM (Datenspeicher) und 64 Bytes beim EEPROM (mit 100.000 Löschen-/Schreibzyklen) als Zusatzspeicher auf. Außerdem verfügt der PIC noch über einen fünfkanaligen 10-Bit-A/D-Wandler und eine PC-Schnittstelle. Das IC ist im DIP-, SOIC- oder SSOP-Gehäuse erhältlich. Um Platz zu sparen, wurde die Version PIC 16F872-I/SP im schmalen Skinny-DIP-28-Gehäuse (2 x 14 Stifte, Rastermaß 7,62 mm) ausgewählt. Beim PIC stehen 22 Ein-/Ausgänge zur Verfügung. Der PIC ist in Bild 11 in seiner Standard-Applikation beschaltet. Die Oszillatorfrequenz (Taktfrequenz) des PICs bestimmt ein 16-MHz-Quarz.

Die Bedienung ist wie das ganze Steuergerät sehr einfach gehalten. Beim Einschalten des Gerätes erscheint im Display folgende Menüanzeige: W = 1 F = 2 P = 3. Die drei Buchstaben bedeuten dabei: W = Weicheneinzeleingabe, F = Fahrstraßen-Abruf und P = Programmierung von Fahrstraßen. Generell gilt: Taste „#“ = Bestätigung und Taste „\*“ = Zurück zum Startmenü.

Um einen Magnetartikel oder einen Dauerstromverbraucher zu schalten, betätigen Sie die Taste „1“. Es erscheint W 001 im Display. Nun geben Sie die absolute Adresse (001 bis 320) des Schaltartikels immer dreistellig (!) über die Zahlentasten der 12er-Tastatur ein. Da es wenig Sinn macht, die Adresse 000 zwischen den Adressen 255 und 257 zu verwenden, ist bei diesem Steuergerät – abweichend von Märklin® – die Adresse 256 statt der 000 einzugeben. Der PIC konvertiert dann die Adresse 256 in 000, um kompatibel zu Märklin® zu bleiben. Die erste Ziffer ist die Hunderterstelle, dann folgen die Zehner- und die Einerstelle. Ungültige Adressen wie < 001 oder > 320 werden abgewiesen. Zur Kontrolle erscheint die eingegebene Adresse im LC-Display, das 16 Zeichen in einer Reihe darstellen kann. Nach der Adresseingabe ist die rote oder grüne Taste zu betätigen, um den entsprechenden Schaltvorgang auszulösen; rot = abbiegen sowie Hp0 oder grün = geradeaus sowie Hp1. Ein Schaltimpuls dauert (wie bei Märklin-Digital-H0® auch) so lange, wie die rote oder grüne Taste gedrückt wird. Die optische Anzeige der gewählten Taste (rot oder grün) übernimmt eine vom PIC gesteuerte Duo-LED, die entweder rot oder grün leuchtet. Durch Eingabe der absoluten Adresse müssen Sie bei diesem Steuergerät nicht mehr überlegen, welche Taste auf welchem Stellpult für welchen Artikel zuständig ist.

Der PIC oder besser sein Steuerprogramm generiert nun aus diesen dualen Daten den Märklin® kompatiblen Motorola-Code und stellt ihn an seinem Ausgang RA0 (Stift 2) zur Verfügung. Der MC 145026 kann somit entfallen. Zur Signal-Anpassung ist allerdings noch ein achtpoliges Ope-

rationsverstärker-IC NE 5534 N von Philips (mit symmetrischer Spannungsversorgung) erforderlich, das als Schmitt-Trigger oder Schwellwertschalter beschaltet ist und das asymmetrische Eingangssignal vom PIC in ein symmetrisches Ausgangssignal von ca.  $\pm 13$  V umwandelt. Der NE 5534 N kann mit einer Versorgungsspannung von bis zu 36 V ( $\pm 18$  V) betrieben werden.

Die eigentliche Stromverstärkung des Digitalsignals übernimmt der zweite OpAmp, ein monolithischer Power-OpAmp LM 675 T von National Semiconductor im TO-220-Kunststoffgehäuse mit fünf Anschlüssen. Das IC lässt sich mit einer Versorgungsspannung von bis zu 60 V ( $\pm 30$  V) betreiben und kann mit entsprechendem Kühlkörper und einem leistungsfähigen Netzteil einen Strom von bis zu 3 A liefern. Leider beträgt die Spannungsverstärkung nur „1“ (daher auch der vorgeschaltete OpAmp NE 5534 N). Das IC verfügt zudem über mehrere Schutzmechanismen, wie thermischer Schutz und Kurzschlusschutz und sowie ausgangsseitige Schutzdioden. Es weist eine Brummspannungs-Unterdrückung von 90 dB auf.

Die Kühlfahne führt das Potenzial von Stift 3, d. h. an der Kühlfahne liegt die negative Versorgungsspannung an. Der Kühlkörper sollte daher keine anderen Teile oder das Gehäuse berühren!! Die Beschaltung des fünfpoligen LM 675 T im TO-220-Gehäuse, der im Internet bei Mercateo, Hübner-Elektronik oder Segor erhältlich ist, zeigt die nachfolgende Tabelle:

Beschaltung des OpAmps LM 675 T				
Stift 1	Stift 2	Stift 3	Stift 4	Stift 5
Pluseingang OpAmp	Minuseingang OpAmp	$-U_B$	Ausgang	$+U_B$

Zur Kühlung reicht ein kleinerer (schwarz eloxierter) Strang-Kühlkörper mit einem Wärmewiderstand  $R_{thK}$  von  $\leq 2,6$  K/W; wie z. B. der SK 04-37,5-SA mit den Maßen: 97 x 25 x 37,5 mm<sup>3</sup> (B x H x L),  $R_{thK} = 2,6$  K/W von Fischer oder der SK 04-50-SA mit den Maßen: 97 x 25 x 50 mm<sup>3</sup> (B x H x L),  $R_{thK} = 2,4$  K/W von Fischer. Der LM 675 T ist daran mit einer metallenen M3-Zylinderkopfschraube von z. B. 20 mm Länge und einer M3-Sechskantmutter zu befestigen.

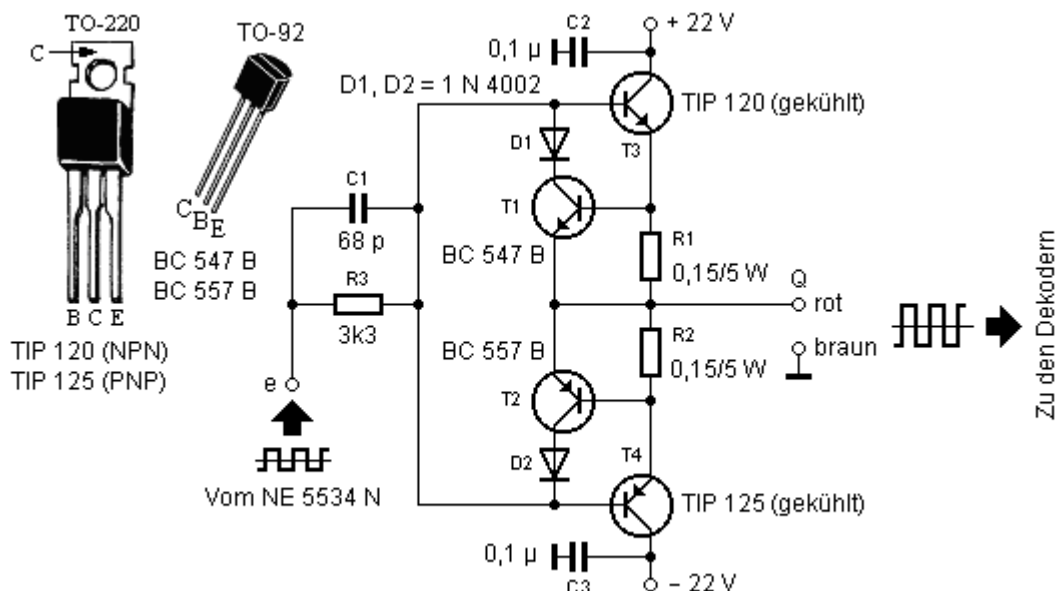


Bild 11a Einfacher Booster für das Schaltkommando-Steuergerät nach Bild 11

Wenn Ihnen der LM 675 T zu teuer ist oder Sie ihn nur schwer bekommen können, so bietet sich als Alternative die (kurzschlussfeste) Endstufe nach Bild 11a an, die einen maximalen Ausgangsstrom von bis zu 3,6 A liefern kann (wenn der Transformator mitspielt) und mit wenigen (überall erhältlichen) Teilen auskommt. Die Endstufe können Sie in Bild 11 an Stelle des LM

675 T einsetzen. Der Eingang e der Endstufe ist dabei mit dem Ausgang des NE 5534 N (Stift 6) des Schaltkommando-Steuergerätes zu verbinden.

Die beiden komplementären Endstufentransistoren T3 und T4 (NPN = TIP 120 und PNP = TIP 125) im TO-220-Gehäuse sind zu kühlen. Hierfür reicht jeweils ein schwarzer, vorgebohrter Fingerkühlkörper FK 201 SA (45 x 45 x 25,4 mm<sup>3</sup>, L x B x H) der Firma Fischer mit einem Wärmewiderstand R<sub>thK</sub> von 6 K/W aus, wenn der Ausgangsstrom bei ca. 2 A bleibt. Den Fingerkühlkörper bekommen Sie u. a. bei Conrad oder Reichelt; Conrad-Bestellnr.: 18 79 33, Reichelt-Bestellnr.: V 4554D. Da immer nur ein Schaltartikel geschaltet wird, dürften ein Maximalstrom von ca. 2 A völlig ausreichen!

Bei R1 und R2 (je 0,15 Ω/5 W) handelt es sich um glasierte oder zementierte Hochlast-Drahtwiderstände, die u. a. sowohl Reichelt als auch Conrad im Programm führen. R1 und R2 dienen als Kurzschlussstromfühler. Bei einem zu großen Ausgangsstrom (z. B. durch einen Kurzschluss) steigt der Spannungsabfall an R1 und R2 auf über 0,65 V (> U<sub>BE</sub>) und die Transistoren T1 und T2 (BC 547 & BC 557) beginnen zu leiten. Hierdurch erhalten die Endstufentransistoren T3 und T4 weniger Basisstrom, so dass der Ausgangsstrom herunter geregelt und Schaden vermieden wird. Der Kurzschluss sollte jedoch so schnell wie möglich beseitigt werden!! Im Prototypen wurde für R1 und R2 jeweils ein 5-W-Drahtwiderstand mit mehrlagigem Kunstharzüberzug und ± 5 % Toleranz (Ø 6,5 x 17,5 mm<sup>2</sup>) von Conrad verwandt; Conrad-Bestellnr.: 40 16 76. Wenn Ihnen der Maximalstrom von 3,6 A zu hoch ist, können Sie R1 und R2 entsprechend vergrößern, z. B. für maximal 2 A auf 0,33 Ω/4 W. Die Rechenformel sehen Sie hierunter:

$$R1 = R2 = \frac{U_{BE}}{I_{\max}} \Rightarrow I_{\max} = \frac{U_{BE}}{R1} = \frac{0,65 \text{ V}}{0,33 \Omega} = 1,97 \text{ A} \approx 2 \text{ A}$$

Das serielle EEPROM EE 24LC16 B/P (interne Organisation: 8 x 256 x 8 Bit = 2048 x 8 Bit = 16.384 Bit = 16 KBit) im achtpoligen DIP-Gehäuse von MICROSHIP speichert die, über den I<sup>2</sup>C-Bus angelieferten Daten des Steuergerätes zwischen (Stift 5 = SDA, Stift 6 = SCL), so dass das Steuergerät auch nach einer Spannungsunterbrechung noch „weiß“, wie die Schaltzustände vor der Unterbrechung waren. Die gespeicherten Daten bleiben für bis zu 100 Jahre erhalten, wenn sie nicht überschrieben werden. Das EEPROM ist für mindestens 100.000 Schreibzyklen (typisch sind 1.000.000 Zyklen) gut. Stift 7 des EE 24LC16 muss an Masse liegen, damit gelesen und geschrieben werden kann. Liegt Stift 7 an + 5 V, so ist das EEPROM schreibgeschützt und es können nur Daten gelesen werden.

Wie schon erwähnt kann der PIC 48 Fahrstraßen mit jeweils bis zu 12 Schaltbefehlen mit den entsprechenden Adressen speichern. Eine Fahrstraße beginnt meist beim Einfahrsignal – Bahnhofseinfahrt = Starttaste – und endet in der Regel vor dem Ausfahrtsignal (Hp00) = Zieltaste. Das Einfahrsignal darf die Fahrt jedoch erst freigeben, wenn das Ausfahrtsignal auf Hp00 steht und alle Weichen gestellt sind. Somit wird das Ausfahrtsignal als erstes auf Hp00 und das Einfahrsignal als letztes auf Hp1 oder Hp2 geschaltet. Dazwischen erfolgt nacheinander die Schaltung der Weichen, die zur Fahrstraße gehören. Zur Fahrstraßenprogrammierung ist folgende Prozedur erforderlich:

1. Fahrstraßenprogrammierung durch Druck der Taste „3“ im Startmenü (P = 3) auswählen.
2. Die Anzeige im Display zeigt nun: „FP 00“ = Fahrstraßen-Programmierung, Fahrstraße 00 und „\*/#“ = Abbruch/Bestätigung.
3. Legen Sie jetzt eine Fahrstraßennummer zwischen 01 und 48 fest und geben Sie sie mit der Tastatur immer zweistellig (!) ein, wie z. B.: 02 oder 36.
4. Angegebene Fahrstraßennummer dann mit der Taste „#“ bestätigen.

5. In der Anzeige erscheint „WP 001“ = Weichenprogrammierung und „0 \*/#“ = Artikelzähler Abbruch/Bestätigung.
6. Nun nacheinander die Adressen der zu schaltenden Artikel (Weichen, Signale usw.) per Tastatur immer dreistellig (!) eingeben und danach die rote (Weiche = abbiegen, Signal = rot) oder grüne (Weiche = geradeaus, Signal = grün) Taste je nach Bedarf drücken. Der Artikelzähler zählt dabei zur Info von 1 bis 12 hoch.
7. Sind alle Adressen und Aktionen der Fahrstraße eingegeben, ist die Taste „#“ zur Bestätigung zu bestätigen. Sonderfall: Wenn Sie die maximale Artikelmenge von 12 erreicht haben, erfolgt eine automatische Abspeicherung der Fahrstraße und die sofortige Rückkehr zum Startmenü.
8. Die aktuelle Fahrstraße wird gespeichert und Sie können die Daten der nächsten Fahrstraße eingeben.
9. Mit der Taste „\*“ = Abbruch gelangen Sie wieder zum Startmenü (W = 1 F = 2 P = 3). Dies gilt bei allen Eingaben, d. h. mit der Taste „\*“ kehren Sie generell zum Startmenü zurück.

Um eine Fahrstraße abzurufen, ist dann folgendermaßen zu verfahren:

1. Fahrstraßenfunktion durch Druck der Taste „2“ im Startmenü (F = 2) auswählen.
2. Anzeige im Display zeigt: „F 00“ = Fahrstraße 00
3. Fahrstraßennummer zwischen 01 und 48 mit der Tastatur immer zweistellig (!) eingeben.
4. Nachdem die zweite Ziffer eingegeben wurde, erscheint im Display zusätzlich „\*/#“ = Abbruch/Bestätigung:
5. Ausgewählte Fahrstraße mit der Taste „#“ bestätigen oder Taste „\*“ für Abbruch.
6. Der PIC erledigt nun seine Aufgabe und schaltet die Schaltartikel (Weichen, Signale usw.). Auf der Anzeige erscheinen an Stelle der Fahrstraßennummer nacheinander die Adressen der geschalteten Artikel und die Duo-LED leuchtet entsprechend rot oder grün.
7. Wenn der PIC mit seiner Aufgabe fertig ist, kehrt das Programm wieder zu Punkt 2 zurück.
8. Sie können nun die nächste Fahrstraßennummer wieder zweistellig eingeben oder mit der Taste „\*“ zum Startmenü zurückkehren.

Wenn Sie sich im Startmenü befinden, können Sie die ersten vier gespeicherten Fahrstraßen auch über die weißen Tasten Ta3 bis Ta6 abrufen. Hier reicht dann der Druck auf die entsprechende Taste (Ta3 bis Ta6), um die hinterlegte Fahrstraße vom PIC einstellen zu lassen.

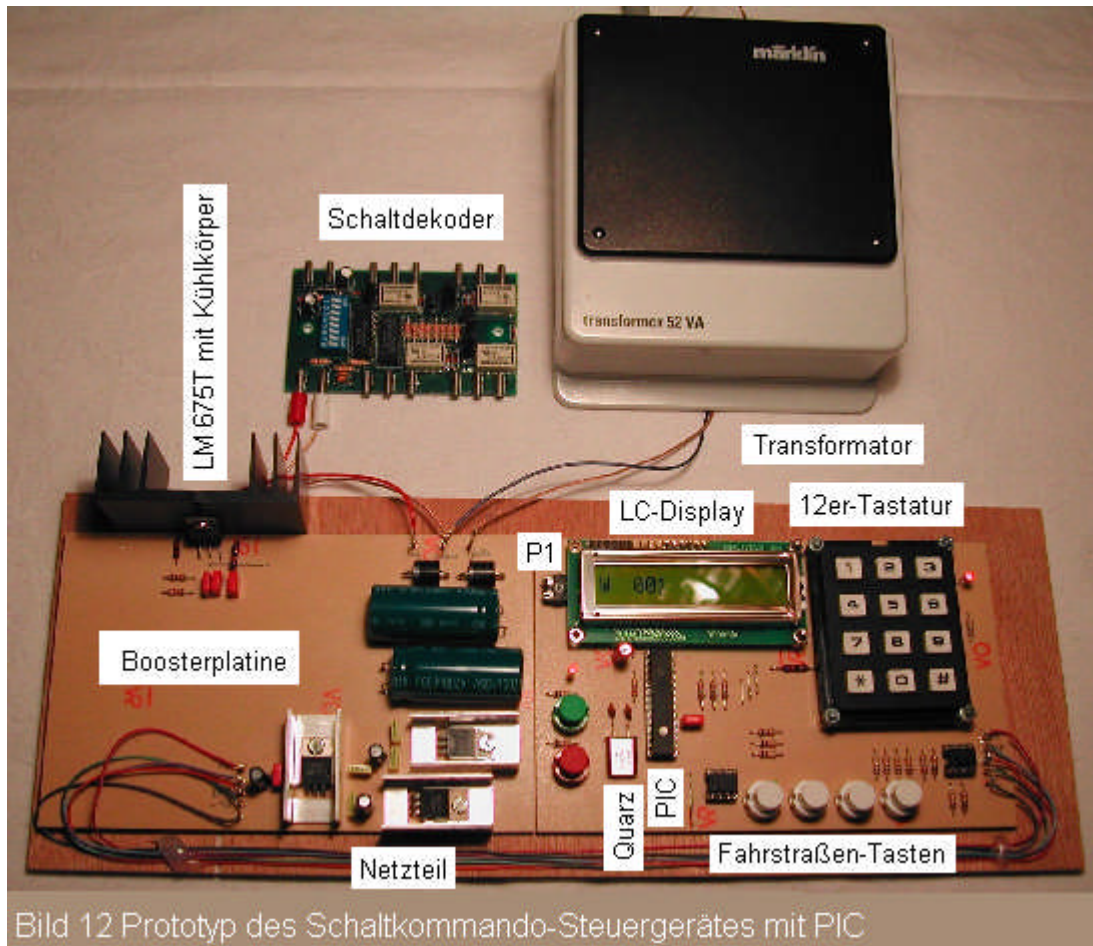
Noch mehr Möglichkeiten bietet der pinkkompatible PIC 16F873-20I/SP (im S-DIP-28-Gehäuse), dessen 8-Bit-CMOS-Flash-Programmspeicher mit 4 KB (4 k x 14 Words = 4.096 x 14) doppelt so groß ist. Die Taktfrequenz kann ebenfalls bis zu 20 MHz betragen. Auch hier reichen 35 Einwortbefehle mit einer Breite von 14 Bit zur Programmierung. Der PIC 16F873 weist 368 Bytes RAM als Datenspeicher und 256 Bytes beim EEPROM als Zusatzspeicher auf. Damit kann das Steuerprogramm noch mehr Fahrstraßen mit noch mehr Schaltartikeln realisieren. Es lassen sich hiermit 96 Fahrstraßen mit jeweils 21 Schaltbefehlen mit Adressen speichern. Außerdem können Sie noch mehr Tasten mit festen Fahrstraßen belegen. Auch beim PIC 16F873-20I/SP stehen 22 Ein-/Ausgänge zur Verfügung. Leider ist der PIC 16F873 auch doppelt so teurer wie der PIC 16F872. Für die meisten Anwendungen dürfte der PIC 16F872 jedoch völlig ausreichen.

Bei der 12er-Tastatur handelt es sich um ein Drucktastenfeld mit einer Matrix 3 x 4 und einer siebenpoligen Stiftleiste, die z. B. Conrad im Programm hat; Bestellnummer: 70 98 40. Von der Verwendung billiger Folientastaturen wird in diesem Zusammenhang (aus leidvoller Erfahrung) abgeraten. Die Tastatur bedient direkt den PIC und wird einfach in die Platine gelötet (K1). Der PIC wertet die zehn Zifferntasten „0 bis 9“ und die beiden anderen Tasten „#“ und „\*“ jeweils über die Matrix 3 x 4 aus. Hierzu liefert der PIC über die drei Ausgänge (Stifte 26, 27 und 28)

jeweils Massepotenzial, das bei Betätigung einer der zwölf Tasten dann über die Matrix zum entsprechenden Eingang (Stifte 21 bis 24) des PICs gelangt. Der PIC „weiß“ damit immer genau, welche Taste niedergedrückt wurde.

**Hinweis:** Damit die Schaltung funktioniert, muss der PIC und auch das EEPROM programmiert sein, d. h. der im Laden erstandene (unprogrammierte), neue PIC oder das unprogrammierte EEPROM sind nicht verwendbar. Den entsprechend programmierten PIC und das zugehörige (programmierte) EEPROMs können Sie beim Verfasser über [www.koemoba.de](http://www.koemoba.de) beziehen.

Die gesamte Schaltung mit Display, Tasten, LEDs, Trimmern und dem 2-A-Booster lässt sich auf zwei Platinen in ein TEKO-Pultgehäuse von Reichelt Elektronik (Bestellnr.: TEKO 364), mit den Maßen 311 x 170 x 87 mm<sup>3</sup> (L x B x H) sowie einer Neigung der silberfarbenen Abdeckplatte von 15°, einbauen. Die beiden Platinen (für Booster und Steuerschaltung) sind mit einem fünfpoligen, um 90° gewinkelten Platinensteckverbinder (Rastermaß 2,54 mm, Reichelt-Bestellnr.: PS 25/5W) miteinander zu verbinden. Die fünf Drähte repräsentieren dabei den Ausgang des NE 5534 N (Pin 6) sowie die Spannungsversorgung von + 5 V, + 15 V, – 15 V und Masse (GND). Beide Platinen passen inklusive Kühlkörper übereinander in das o. a. TEKO-Pultgehäuse von Reichelt. Das Ganze macht dann mit einer entsprechend gestalteten Frontplatte einen professionellen Eindruck. Bild 12 zeigt ein Foto des Schaltkommando-Steuergeräts (Prototyp).



Nachfolgend zwei Bilder zur gelungenen Verwirklichung des Schaltkommando-Steuergeräts mit PIC für 256 Adressen nach Bild 11 oder auch Bild 7.2 (Seite 135) aus Band 4 der vierbändigen Buchreihe „Elektronik & Modellbahn“ aus dem Elektor-Verlag, durch den Leser Herrn **Werner Loers**. Die beiden Fotos stammen von Herrn Loers, dessen E-Mail-Adresse so lautet: [werner.loers@gmx.de](mailto:werner.loers@gmx.de). Hier erhalten Sie auch ggf. weitere Informationen (z. B. zu Platinen).

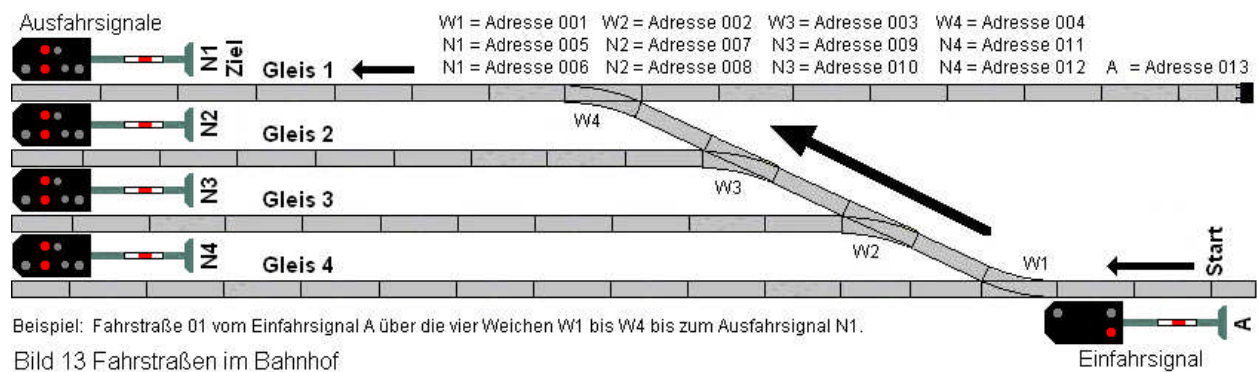


Herr Loers hat die gesamte Schaltung auf drei kleine Platinen verteilt und in ein Digital-Gehäuse mit den Abmessungen ca. 180 x 125 x 85 mm<sup>3</sup> von Conrad; Conrad-Bestellnr.: 21 19 90 eingebaut, das exakt zu den Märklin-Komponenten passt. Das fertige Selbstbau-Gerät ist optisch perfekt und macht einen professionellen Eindruck. Es kann sich durchaus mit einem käuflichen Artikel messen. Herr Loers hat neben dem PIC und dem EEPROM, die Sie auf der Homepage [www.koemoba.de](http://www.koemoba.de) erhalten, nur handelsübliche Bauteile verbaut. Diese Bauteile wiederum erhalten Sie u. a. bei Conrad oder Reichelt. Anstatt des (schwer erhältlichen) LM 675 T hat Herr Loers die alternative Booster-Schaltung nach Bild 11a mit komplementären Transistoren aufgebaut, die sehr gut mit der Steuergeräte-Schaltung harmonisiert.





## Konkrete Fahrstraßenprogrammierung mit dem obigen Steuergerät



Für das Einstellen und Speichern der Fahrstraße 01, ausgehend vom Einfahrtsignal A (Start) über die vier Weichen bis zum Ausfahrtsignal N1 (Ziel), sind folgende Eingaben am Steuergerät nötig:

1. Programmierfunktion durch Druck der Zifferntaste „3“ im Startmenü (P = 3) auswählen.
2. Das Display zeigt danach: „FP 00“ und „\*/#“ = Abbruch/Bestätigung.
3. Fahrstraßennummer **01** mit der 12er-Tastatur zweistellig (!) eingeben.
4. Eingegebene Fahrstraßennummer mit der Taste „#“ bestätigen oder Taste „\*“ für Abbruch drücken. Bei einem Abbruch mit der Taste „\*“ erfolgt Rückkehr zum Startmenü.
5. In der Anzeige erscheint „WP 001“ und „0 \*/#“ = Artikelzähler Abbruch/Bestätigung.
6. Erste Adresse des Ausfahrtsignals N1 = **005** per 12er-Tastatur dreistellig (!) eingeben und danach die rote Taste für „Hp0 = rot“ drücken. Artikelzähler geht auf „1“.
7. Zweite Adresse des Ausfahrtsignals N1 = **006** per 12er-Tastatur dreistellig (!) eingeben und danach die rote Taste für „Hp00 = 2 x rot“ drücken. Artikelzähler geht auf „2“.
8. Adresse der Weiche W1 = **001** per 12er-Tastatur dreistellig (!) eingeben und danach die rote Taste für „abbiegen = rund“ drücken. Artikelzähler geht auf „3“.
9. Adresse der Weiche W2 = **002** per 12er-Tastatur dreistellig (!) eingeben und danach die grüne Taste für „geradeaus“ drücken. Artikelzähler geht auf „4“.
10. Adresse der Weiche W3 = **003** per 12er-Tastatur dreistellig (!) eingeben und danach die grüne Taste für „geradeaus“ drücken. Artikelzähler geht auf „5“.
11. Adresse der Weiche W4 = **004** per 12er-Tastatur dreistellig (!) eingeben und danach die rote Taste für „abbiegen = rund“ drücken. Artikelzähler geht auf „6“.
12. Adresse des Einfahrtsignals A = **013** per 12er-Tastatur dreistellig (!) eingeben und danach die grüne Taste für „Hp2 = grün/gelb“ drücken. Artikelzähler geht auf „7“. Die gelbe LED des Einfahrtsignals ist abhängig von der Weiche W1 mittels eines weiteren bistabilen Relais parallel zu W1 zu schalten. Steht W1 auf „Abbiegen“, muss die gelbe LED des Einfahrtsignals leuchten, was Hp2 = „Langsamfahrt“ entspricht; siehe auch in Bild 9.
13. Korrekte Fahrstraßendaten mit Taste „#“ bestätigen oder Taste „\*“ für Abbruch.
14. Die aktuelle Fahrstraße wird nach Druck der Bestätigungstaste „#“ gespeichert. Sie können danach die Daten der nächsten Fahrstraße eingeben.
15. Durch Druck der Taste „\*“ = Abbruch gelangen Sie wieder zum Startmenü zurück. Es erfolgt jedoch keine Abspeicherung der vorher eingegebenen Fahrstraßendaten.

Generell gilt bei allen Eingaben, dass Sie mit der Taste „\*“ zum Startmenü zurückkehren!

Weitere Fahrstraßen im obigen Beispiel wären:

Fahrstraße 02 = N2 auf Hp00, W1 abbiegen, W2 geradeaus, W3 abbiegen und A auf Hp2.

Fahrstraße 03 = N3 auf Hp00, W1 abbiegen, W2 abbiegen und A auf Hp2.

Fahrstraße 04 = N4 auf Hp00, W1 geradeaus und A auf Hp1.

Märklin ist ein eingetragenes Warenzeichen der Gebr. Märklin & Cie GmbH in Göppingen (Deutschland). Motorola ist ein eingetragenes Warenzeichen der Motorola Inc. in Tempe-Phoenix / Arizona (USA). Alle Warenzeichen sind Eigentum ihrer jeweiligen Inhaber.

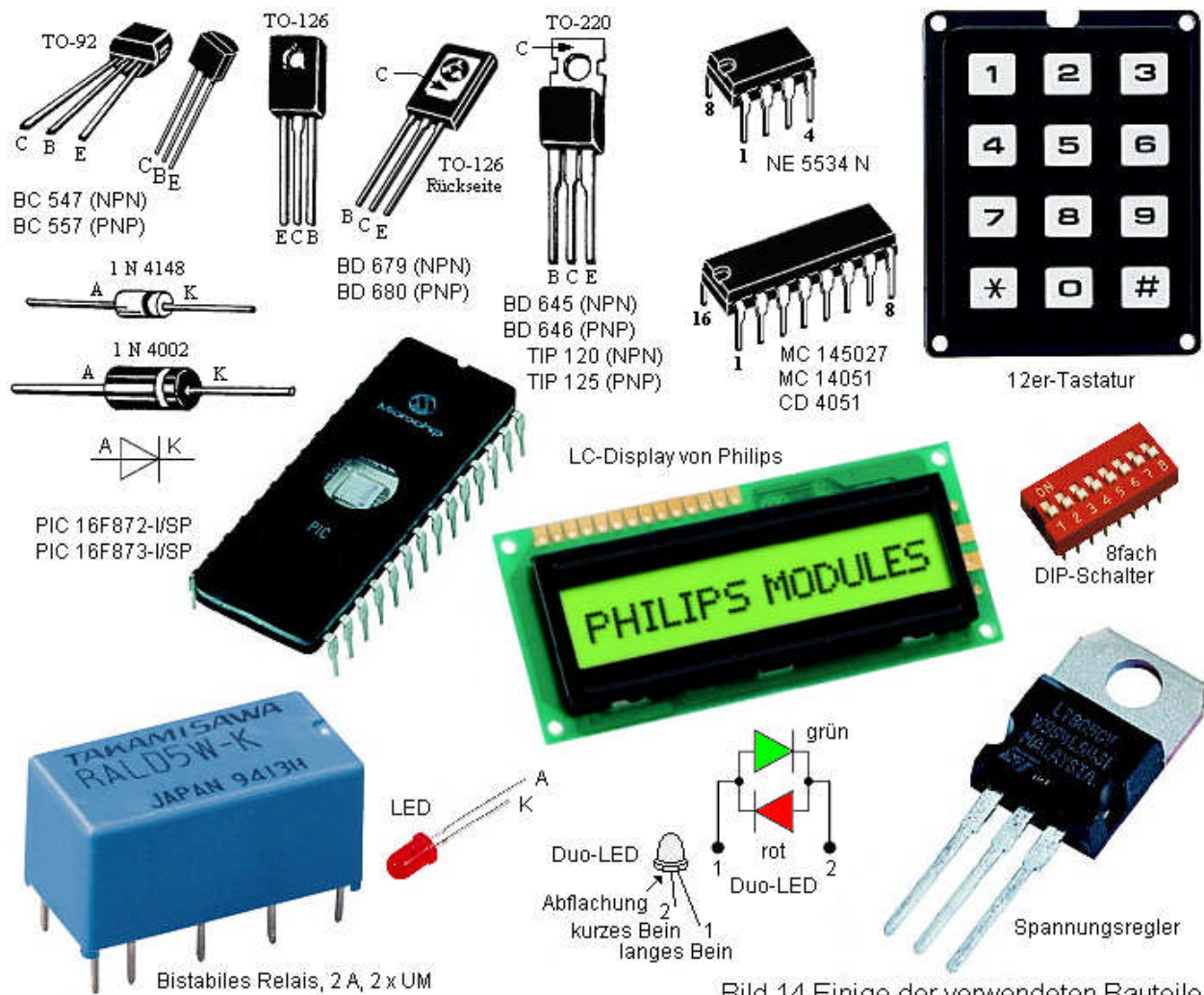


Bild 14 Einige der verwendeten Bauteile

## Wie bekomme ich mehr als 256 Adressen:

Märklin nutzt nur 64 Decodernummern, obwohl problemlos 80 ( $3^4 = 81$ ), wie bei den Loks, machbar sind. Die entsprechenden Adressen für die Decodernummern 65 bis 80 finden Sie in der Tabelle auf Seite 13. Diese zusätzlichen Adressen lassen sich bei allen im Handel erhältlichen Schalt- und Magnetartikel-Decodern mit achtpoligem Mäuseklavier, also auch beim k83 oder beim k84 von Märklin, nutzen. Allerdings gibt es hierfür keine Keyboard Stellpulte 6040 von Märklin. Hier hilft nur der Selbstbau oder ein Produkt einer anderen Firma weiter, wie z. B. die Intellibox von Uhlenbrock oder die Easy Control von Tams. Mit den zusätzlich schaltbaren Adressen lassen sich dann 320 (80 Decodernummern \* 4 Doppelausgänge = 320 Doppelspulenartikel) Artikel mit zwei Zuständen (rot/grün oder abbiegen/geradeaus usw.) schalten. Noch mehr Adressen ließen sich realisieren, wenn auch das fünfte Trit zur Adresscodierung herangezogen würde. Hierdurch stünden theoretisch 243 Decodernummern ( $3^5 = 243$ ) zur Verfügung, was für 972 Artikel mit zwei Zuständen ausreichen würde. Allerdings wären hierfür völlig neue Decoder und Stellpulte erforderlich, da bisher das fünfte Trit fest auf Masse liegt und das Mäuseklavier dann 10 DIP-Schalter aufweisen müsste. Für ein Schaltkommando-Steuergerät mit PIC und direkter Adresseingabe, wie z. B. nach Bild 13, stellen die zusätzlichen Adressen kein Problem dar. Hier wäre nur der PIC entsprechend neu zu programmieren.