

Digitale Modellbahnsteuerung mit einem PC

Dr. Konrad Froitzheim

Die meisten Modellbahner träumen von sogenannten Mehrzugsteuerungen, das heißt einem Weg, mehrere Lokomotiven an einem Stromkreis unabhängig voneinander zu steuern. Im wesentlichen bedeutet dies, daß in der Lokomotive ein fernsteuerbares Gerät zur Motorkontrolle eingebaut ist. Bereits in den 70^{er} Jahren gab es zu diesem Zweck spezielle Steuergeräte, die meist nach dem Mehrfrequenzverfahren arbeiteten. Seit ungefähr zehn Jahren experimentieren die großen Modellbahnhersteller mit Mehrzugsteuerungen auf digitaler Basis. Ungefähr ab 1985 werden die Systeme auch von Märklin, Fleischmann und Trix angeboten. Im folgenden möchte ich das System 'Märklin Digital' näher erläutern.

Systemaufbau

Ein Stromkreis in einer Modellbahnanlage dient zur Versorgung der Lokomotiven mit Fahrstrom. Alle angeschlossenen Geräte haben Zugang zu diesem gemeinsamen Medium, an dem es einen Sender, den (regelbaren) Transformator und mehrere Empfänger, die Lokomotiven gibt. Neben der Stromversorgung könnte man auch noch Informationen an die Lokomotiven verteilen, wie in einem lokalen Rechnernetz (LAN), bei dem auch alle Computer an einem gemeinsamen Draht angeschlossen sind. Diese Informationen müssen wie ein Paket mit einer Adresse versehen sein, damit der richtige Empfänger die für ihn bestimmten Informationen entgegennehmen kann. Der Transformator muß noch so gestaltet werden, daß er neben dem Fahrstrom auch noch die Pakete versendet. In Abbildung 1 kann man die Einzelteile von Märklin Digital erkennen:

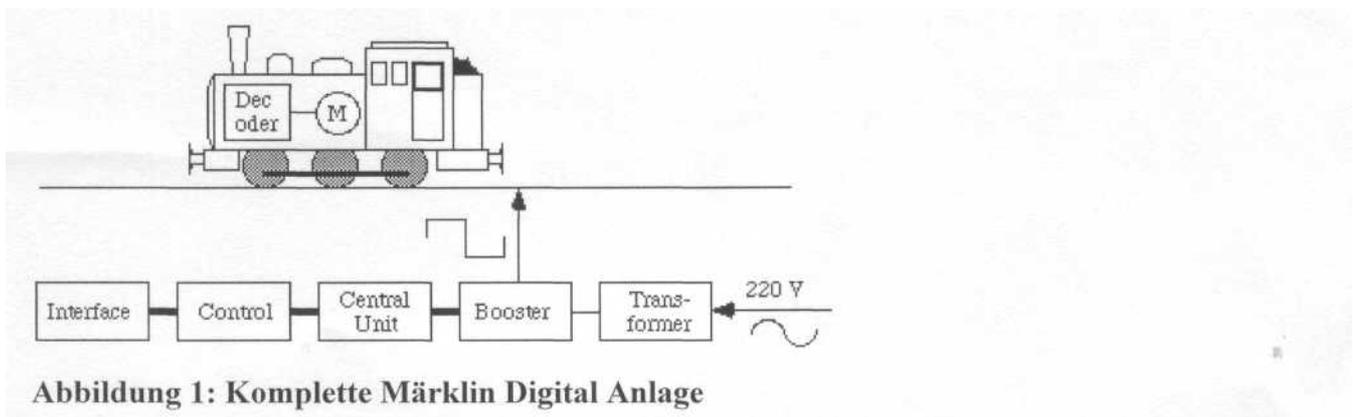


Abbildung 1: Komplette Märklin Digital Anlage

Das Kontrollgerät (**Control**) gibt dem Benutzer die Möglichkeit, dem System Befehle einzugeben.

Die Steuereinheit (**Central Unit**) baut die Datenpakete für die Lokomotiven zusammen, sie codiert die mit dem Kontrollgerät eingegebenen Befehle und Adressen in Pakete. Diese Pakete werden an den Verstärker ohne Leistung als binäres Signal weitergegeben.

Der **Booster** nimmt das Rechtecksignal vom Steuergerät und gibt es verstärkt, aber sonst unverändert auf die Schienen. Jetzt ist im Signal sowohl Fahrstrom als auch Steuerinformation enthalten.

Ein **Transformator** dient als Stromversorgung für Steuergeräte, Verstärker und Lokomotiven.

In den Lokomotiven und den Magnetartikeln (Weichen, Signale) sind Empfänger, die sogenannten **Decoder**, eingebaut, die die Pakete auf dem Stromkreis betrachten, die mit der richtigen Adresse empfangen und entsprechend dem Paketinhalt den Motor der Lokomotive steuern. Diese Dekoder können auch nachgerüstet werden, zum Beispiel in konventionelle Märklin-Lokomotiven anstelle des Fahrtrichtungsumschalters eingesetzt werden.

Mit einer Schnittstelle (**Interface**) kann die Verbindung zu einem Computer geschaffen werden.

Darüberhinaus gibt es noch weitere Funktionseinheiten für Weichenbedienung (Keyboard), Fahrstraßensteuerung (Memory) und ähnliches (siehe auch [1]).

Informationsübertragung

Das zentrale Stück von Märklin Digital ist die Informationsübertragung auf der Schiene. Wie bereits erwähnt handelt es sich dabei um eine Art Bus wie bei einem Rechnernetz (z.B. Ethernet), auf dem die Information in adressierten Paketen (Abbildung 2) übertragen wird.

Die Decoder in den Lokomotiven sind mit einem IC ausgerüstet, der jedes Paket auf der Schiene prüft und bei Übereinstimmung mit der an ihm eingestellten Adresse empfängt und die enthaltenen Nutzdaten an die Motorkontrolle weitergibt. Akzeptiert wird ein Paket aus Sicherheitsgründen aber erst dann, wenn das gleiche Paket zweimal kurz hintereinander empfangen wurde. Ursprünglich wurde diese Arbeit von einem handelsüblichen Chip, dem Motorola MC145029 getan, heute ist es ein von Märklin entwickelter Spezial-IC, indem auch noch die Motorsteuerung integriert ist. Als Sender wird der Motorola MC 145026 verwendet [2]. Durch externe Beschaltung mit einem RC-Netz (2 Widerstände und 2 Kondensatoren) kann der interne Oszillator auf eine bestimmte Frequenz eingestellt werden, mit der dann der Datenstrom auf der Schiene abgetastet wird. So wird die Datenrate der Übertragung festgelegt, 19 kHz für die Lokdecoder und 38 kHz bei den Weichendecodern. Leider sind die Motorola-Bauteile heute kaum noch erhältlich, da die Produktion eingestellt wurde.



Abbildung 2: Paketformat

Vor der Erklärung des Paketformates aus Abbildung 2 muß noch kurz auf die Codierung eingegangen werden. Um mehr Informationen in einem Paket unterzubringen, hat Motorola nämlich zu einem Trick gegriffen, bei dem dreiwertige "Bits" verwendet werden. An jedem Dateneingang des Sendechips können nämlich drei Signale anliegen: 1, 0 oder open. Diese drei Werte werden in einem ternären Bit codiert, wie in Abbildung 3 gezeigt. Ein Bit ist 8 Takte der Abtastfrequenz lang, eine Pause zwischen den Datenpaketen 24 Takte oder 3 Bit.

Die ersten vier t-Bits eines Paketes enthalten die Adresse, die auch beim Empfänger ternär interpretiert wird. So ergeben sich $3^4 = 81$ mögliche Adressen. Die restlichen fünf Bits werden binär interpretiert, eines (0..1) um eine Funktion wie Licht oder die Telex-Kupplung zu schalten und vier Bits (0..15) für die Geschwindigkeit: Wert 0 für Stehen, 1 für Fahrtrichtungsumschaltung und 2.. 15 für die Fahrstufe (Abbildung 2).

Wenn keine Informationsübertragung auf der Schiene stattfindet, muß natürlich noch Wechselstrom mit 5 bis 10 kHz zur Kraftübertragung auf der Schiene sein. Das Gesamtsignal wird von der Central Unit erzeugt und zum eingebauten Verstärker und den angeschlossenen Boostern übertragen. Dabei handelt es sich um ein digitales Rechtecksignal mit ganz geringer Leistung. Die Idee ist nun, bis auf Booster und Transformator alle Steuereinheiten von Märklin (Keyboard, Control, Central Unit, ...) wegzulassen und das beschriebene Signal mit den Schnittstellen eines Computers zu erzeugen. Die Entgegennahme der Steuerbefehle vom Benutzer kann der Computer ja ebenfalls viel komfortabler erledigen als die teuren Märklin-Kästchen.

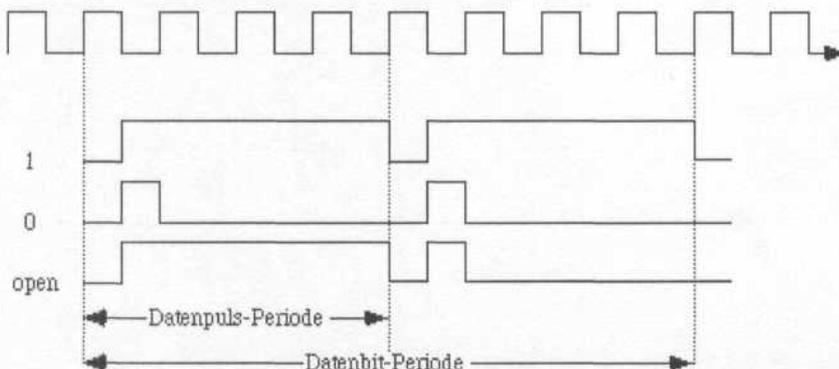


Abbildung 3: Ternäre Bits

PC-Einsatz

Die Idee geht auf Edward M. McCreight zurück, der während einer Gastprofessur in Deutschland zum erstenmal Märklin Digital gesehen hat. Als Informatiker hat er sich dafür interessiert, wie das ganze funktioniert. Er hat es durch die Auswertung der wenigen vorhandenen Informationen und durch Zerlegen der Geräte (Booster, Decoder) auch herausgefunden. Darüberhinaus hat er auch ein C-Programm entwickelt, um das Ausgangssignal der Central Unit mit der Parallelschnittstelle seines 80386 PCs zu erzeugen. Das Systemschaltbild ist in Abbildung 4 angegeben. Nachdem er mir seine Kenntnisse vermittelt hatte, habe ich ein Pascal-Programm geschrieben, das das Märklinsignal mit der seriellen Schnittstelle eines PC's nachbildet, sodaß auch langsame IBM-kompatible PC's zur Steuerung verwendet werden können.

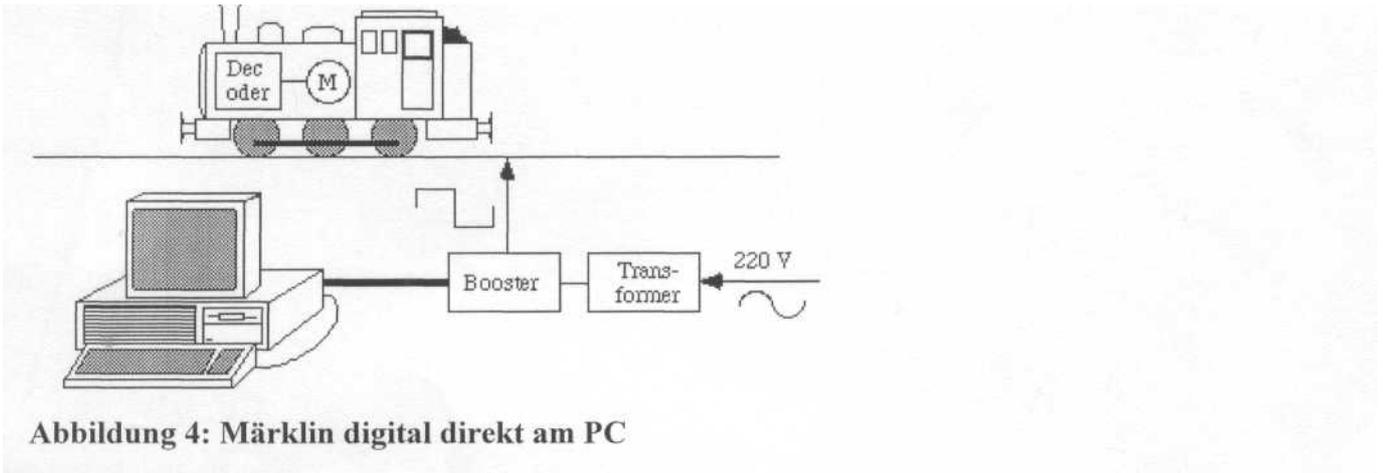


Abbildung 4: Märklin digital direkt am PC

Auf diese Weise können nicht nur mindestens 1000 DM für die Märklin-Komponenten gespart werden, auch die zur Steuerung der Modellbahn mit dem Computer notwendige Software vereinfacht sich, da die Kommunikation mit dem Märklin-Interface wegfällt. Im folgenden soll nun beschrieben werden, wie das genau geht.

Nachbildung des Orginalsignals

Eine serielle, asynchrone Schnittstelle (V.24 oder RS 232) versendet Datenworte (5, 6, 7 oder 8 Bits lang) in einem sogenannten Rahmen. Wenn keine Informationen übertragen werden, ist die Leitung auf -12V (logisch 1). Soll etwas übertragen werden, wird zunächst das Startbit gesendet (logisch 0, +12V), an dem der Empfänger den Beginn der Übertragung erkennt. Dann wird das Datenwort gesendet, das mit einem oder zwei Stopbits (logisch 1, -12V) abgeschlossen wird. Danach kann die Leitung auf logisch 1 bleiben, bis das nächste Startbit kommt (Abbildung 5). Die Länge der Bits wird durch die Datenrate bestimmt, zum Beispiel 833 usec (Mikrosekunden, Millionstel Sekunden) bei 1200 bit/s oder 52 usec bei 19200 bit/s.

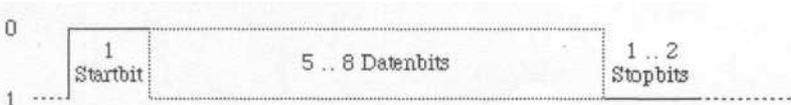


Abbildung 5: Asynchrone Datenübertragung

Wenn man das Signal der Central Unit mit der V.24 nachbilden will, muß man Startbit und Stopbit in das Nutzsignal einbeziehen. Zur Übertragung eines ternären Bits werden bei 19 kHz-Daten (Lokomotiven) zwei Datenworte benutzt, bei 38 kHz-Daten (Weichen) ein Wort. Die drei verschiedenen Werte eines t-Bits werden durch die richtige Wahl des sechs Bit langen Datenwortes erzeugt:

ternäres Bit	Daten bei 19 kHz	Daten bei 38 kHz
0	63, 63	8
1	0, 0	59
open	0, 63	11

Tabelle 1: Kodierung der ternären Bits mit Datenworten der V.24

Diese Technik wird am besten mit Abbildung 6 zusammen mit Abbildung 3 erklärt:

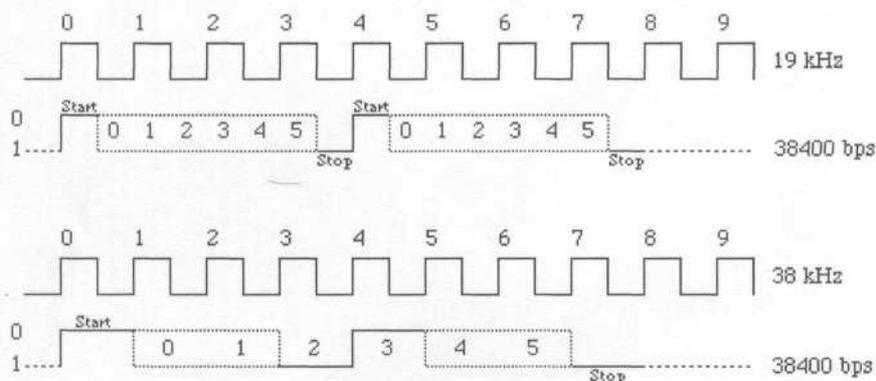


Abbildung 6: V.24-Datenworte für Märklin Digital

Um das Signal für die Lokomotiven exakt nachzubilden, ist eine Datenrate von 38400 bit/s erforderlich. Bei dieser Datenrate kann das Signal für die Weichen nicht mehr exakt nachgebildet werden, wie man in der unteren Hälfte von Abbildung 6 erkennt. Diese Ungenauigkeit akzeptieren die Weichendecoder jedoch ohne Probleme.

Um ein komplettes Paket zu verschicken, müssen für die Lokomotiven 18 Byte mit der seriellen Schnittstelle ausgegeben werden, für die Weichen nur 9 Byte. Die Werte für diese Bytes müssen entsprechend der obigen Tabelle, der Lokadresse und der gewünschten Geschwindigkeit ausgewählt werden. Um Lokomotive 19 mit Fahrstufe 12 und Licht fahren zu lassen, werden die folgenden Daten gesendet:

	Adresse	Licht	Fahrstufe
Paketinhalt:	19	1	12
ternäre Bits:	1, 0, open, 0	1	0, 0, 1, 1
Datenworte:	0, 0, 63, 63, 0, 63, 63, 63,	0, 0,	63, 63, 63, 63, 0, 0, 0, 0

Nach dem Versand eines Paketes muß dann noch ein wenig gewartet werden (1250 usec bzw. 625 usec), bis das Paket wiederholt werden kann, damit die Information vom angesprochenen Decoder akzeptiert wird.

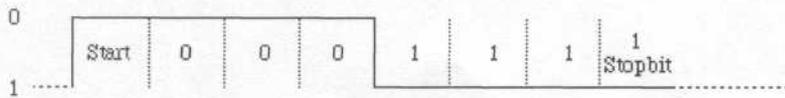


Abbildung 7: Datenwort im Ruhezustand

Als letztes Problem bleibt die Erzeugung des Wechselstromes im Ruhezustand übrig. Dazu wird dafür gesorgt, daß die Schnittstelle ständig ein Datenwort sendet, zum Beispiel den Wert 56, wodurch eine symmetrische Wechselspannung mit 10 kHz erzeugt wird (Abbildung 7). Wenn man eine asymmetrische Wechselspannung schickt, entsteht ein Gleichstromanteil, mit dem eine weitere Lokomotive ohne Dekoder gesteuert werden kann. Die zugehörigen Werte sind:

Datenwort	Fahrstufe
0	+3
32	+2
48	+1
56	0
60	-1
62	-2
63	-3

Tabelle 2: Datenworte für Wechselstrom mit Gleichstromanteilen

Bei Gleichstromlokomotiven kann damit Geschwindigkeit und Fahrtrichtung, bei Wechselstromlokomotiven nur die Geschwindigkeit gesteuert werden.

Aus Vorsicht habe ich noch eine kleine Schaltung zwischen serieller Schnittstelle und Booster eingebaut, die die Aufgabe hat, die +12V / -12V der V.24 in +5V / 0V umzuwandeln, da ich nicht weiß ob man die +/-12V direkt in den Booster hineinlassen kann, ohne ihn zu beschädigen (Abbildung 8). Wenn man statt des Märklin Boosters den Verstärker aus der Zeitschrift Elektor 1/89 [3] verwendet, der nebenbei noch viel leistungsfähiger ist als der Märklin Booster und auch nicht teurer, kann man auf diese Schaltung verzichten.

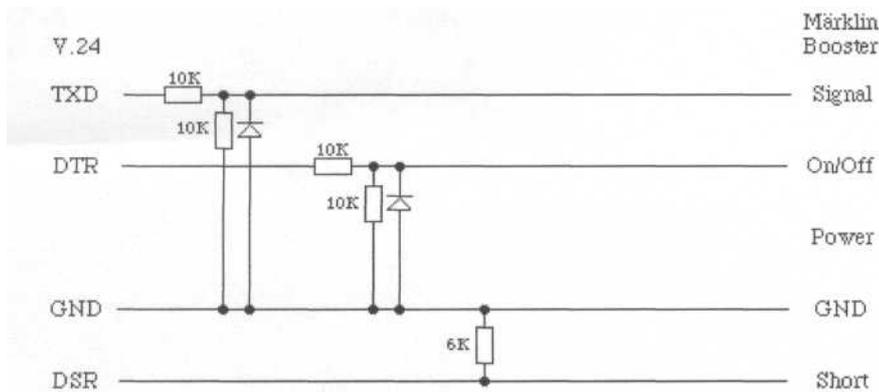


Abbildung 8: Levelanpassung

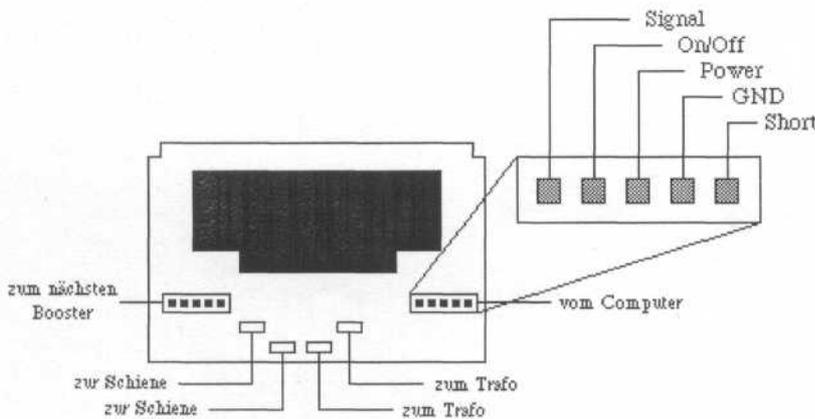


Abbildung 9: Märklin-Booster von hinten

Um das erzeugte Signal vom Computer zu einem Booster zu bringen, braucht man natürlich noch ein Kabel. Wie das zu schalten ist, sieht man ebenfalls in Abbildung 8. Die Beschaltung Ihrer seriellen Schnittstelle finden Sie zum Beispiel im Handbuch Ihres PCs oder bei [4]. Wo sich die genannten Eingänge am Booster befinden, kann man Abbildung 9 entnehmen.

Implementierung

Meine Implementierung geschah auf einem Einfach-PC mit 8088, 4.77 MHz, 256 K RAM, zwei Diskettenlaufwerken (eines hätte auch gereicht) und serieller Schnittstelle in der Programmiersprache Pascal. Allerdings braucht man einige Kenntnisse über die Hardware des PCs, insbesondere über den Steuerbaustein der seriellen Schnittstelle (8250 oder 16450, UART), über den Interruptkontroller (8257, PIC) und den Timerbaustein (8253, PIT). Die nötigen Informationen findet man in der PC-Literatur, zum Beispiel [4] oder in den entsprechenden Datenblättern.

Die **Initialisierung** liest die Lokomotivadressen und Startgeschwindigkeiten aus der Datei LOCOS.BUC, initialisiert die nötigen Tabellen und die Bausteine (UART, PIC, PIT), und schickt an die Lokomotiven die Anfangsgeschwindigkeit. In LOCOS.BUC steht eine Zeile pro Lokomotive:

Name; Adresse; Startgeschwindigkeit; Licht;

Außerdem gibt es noch eine Parameterdatei, in der der Name des Lokomotivverzeichnisses, die Nummer der seriellen Schnittstelle (0=COM1:, 1=COM2:), die Vorauswahl der Lok, die Bildschirmfarben und die Bildschirmtexte vorgegeben werden können.

Eine komfortable **Benutzeroberfläche** ermöglicht die Auswahl der Lokomotive, die den nächsten Steuerbefehl bekommen soll, mit den Cursorstasten. Dann kann ihre Geschwindigkeit mit der Taste '+' erhöht, mit '-' vermindert oder mit F5 / F6 das Licht ein- und ausgeschaltet werden. Nach der Eingabe einer Weichennummer kann die Stellung der Weiche mit F3 und F4 verändert werden. F2 ist die 'Notaus' - Taste. End oder ESC dienen zum Verlassen des Programmes, wobei die Anlage automatisch ausgeschaltet wird.

Codierung und Versand der Pakete geschehen in zwei Prozeduren, eine für die Lokomotiven und eine für die Weichen. Dabei muß im Wesentlichen die Umrechnung von Lokadresse und Fahrstufe zu ternären Bits und weiter in Datenworte für die V.24 durchgeführt werden.

Zum tatsächlichen **Paketversand** werden Pakete über den richtigen I/O-Port auf das Tx-Register der UART ausgegeben. Jedesmal wenn das Tx-Register leer ist, muß sofort ein neues Byte ausgegeben werden, bis das Paket komplett verschickt ist. Dieser Versand ist zeitkritisch, da kein Zwischenraum im Paket entstehen darf. Nachdem das Paket weg ist, muß 625 bzw. 1250 usec gewartet werden, dann wird es wiederholt. Eine **Interruptroutine** zur Wechselstromerzeugung wird im Ruhezustand 4800 mal pro Sekunde aufgerufen, die Interrupts werden mit dem TxEmpty-Interrupt der UART erzeugt. Letzteres ist ein einfacher, aber wirkungsvoller Trick, um ein Unterprogramm periodisch aufrufen zu lassen: Die UART kann jedesmal, wenn sie ein Datenwort gesendet hat, einen Interrupt auslösen. In diesem Falle also $38400 / (6+1+1) = 4800$ mal (6 Datenbits, 1 Startbit, 1 Stopbit). In jedem Interrupt wird wieder die Zahl 56 oder eine andere aus Tabelle 2 ausgegeben. Diese Routine ist ebenfalls etwas zeitkritisch, da sie sooft aufgerufen wird und der PC nicht allzu langsam werden soll. Meine Implementierung verschlingt ungefähr 20% der Gesamtrechenleistung des PCs, das ist unproblematisch.

Literatur:

[1] Märklin: Modelleisenbahn digital gesteuert, Best.Nr. 0306.

[2] Motorola Semiconductors: MC145026,...; Datenblatt; Toulouse, 1986.

[3] EDITS-Booster; Elektor, Heft 1/89, S. 57.

[4] Sargent, Murray III; Shoemaker, Richard L.: The IBM Personal Computer from the Inside Out; Addison-Wesley, Reading, Mass., ..., 1984 (sehr empfehlenswert).