Einführung in die **Digitale Modellbahn**

ALLE SYSTEME
ALLE BAUGRÖSSEN

GRUNDLAGEN UND PRAXIS SCHRITT FÜR SCHRITT ERKLÄRT

TOBIAS PÜTZ

VGB
[VERLAGSGRUPPE BAHN]
KLARTEXT

Einführung in die **Digitale Modellbahn**

GRUNDLAGEN UND PRAXIS SCHRITT FÜR SCHRITT ERKLÄRT

TOBIAS PÜTZ

Vorwort

Täglich gehen wir ganz selbstverständlich mit digitalen Techniken um. Sie begegnen uns in Form von Handys und Tablets, in Fernsehern, in Alltagsgeräten, im Auto und natürlich auch als Computer. „Digital“ ist aus der heutigen Welt einfach nicht mehr wegzudenken. Auch Spielzeug ist heute digital. Keine Drohne könnte fliegen, hätte sie nicht ein elektronisches „Gehirn“, das zwischen Steuerbefehlen und Flugmotoren vermittelt.

Bei der Modellbahn ist digital seit vielen Jahren möglich. Das Besondere hier ist: Die Technik ist noch richtig „begreifbar“. Als Anwender muss man zumindest ein bisschen verstehen, was vor sich geht, wenn man Spaß mit der kleinen Eisenbahn haben möchte. Es war bei der Modellbahn schon immer so, dass sie den Anwender in technischer Hinsicht ein wenig gefordert hat, und das ist bei der digitalen Modellbahn so geblieben, vielleicht sogar stärker geworden.

Verschiedene Hersteller haben versucht, die Modellbahn zu einem Plug-and-Play-System zu machen. Das ist bis zu einem gewissen Punkt gelungen, wenn man im „Ökosystem“ des jeweiligen Herstellers bleibt. Sobald man aber eine der großen Stärken der Modellbahn, die herstellerübergreifende Kompatibilität, nutzen will, ist es vorbei mit Plug-and-Play.

Überwindet man die ersten Hürden, entdeckt man neue Bereiche, in denen Kompatibilität groß geschrieben wird: Der ganze digitale Bereich der Modellbahn lebt davon, dass verschiedene Hersteller zueinander passende Produkte geschaffen haben. Verbindend ist ein Satz Normen, dem sich die Hersteller zum Wohle aller gemeinsam verpflichtet haben. So sind Austauschbarkeit auf der einen, Wettbewerb um die besten Ideen auf der anderen Seite gewährleistet.

Dieses Buch soll helfen, sich in dem Spannungsfeld aus Anwenderfreundlichkeit, Realisierbarkeit und technischer Herausforderung zurechtzufinden. Es vermittelt das Grundlagenwissen, das nötig ist, um eigene Entscheidungen für die eigene Modellbahn treffen zu können. Und vielleicht vermittelt es auch ein wenig von dem Spaß, den eine Beschäftigung mit den digitalen Komponenten bereiten kann, Stichwort „Hobby im Hobby“.

Tobias Pütz

Inhaltsverzeichnis

Impressum ... 4
Vorwort ... 5

Der einfache Einstieg ... 6
- Das zeitlose Hobby Modellbahn ... 8
- Kleine elektrische Eisenbahn ... 8
- Baugrößen ... 11
- „Zweileiter“, „Dreileiter“, Gleichstrombetrieb, Wechselstrombetrieb ... 12
- Systemauswahl ... 14
- Der Einstieg ... 14
- Ein wenig Markt- und Warenkunde ... 16
- Und wo bleibt digital? ... 19
- Der erste Aufbau ... 20
- Teppichbahning als Konzept ... 21
- Feste Anlagen ... 22

Das „PLUS“ von Digital ... 24
- Mit der Hand am Regler ... 26
- Komponenten kommunizieren ... 26
- Elektronik für die Kommunikation ... 28
- Zusätzliche Spielmöglichkeiten ... 29
- Weichen, Signale, Zubehör ... 30
- Die Augen des Systems ... 31
- Digitale Triebfahrzeuge ... 32
- Funktionen ... 34
- Beschleunigen und Bremsen ... 36
- Was ist das – „Lastregelung“? ... 37
- Fahrzeugbeleuchtungen ... 38
- Vorbildgerechte Geräusche ... 41
- An- und Abkuppeln ... 42
- Was gibt es noch? ... 43

Digitale Infrastruktur ... 44
- Was wofür verwenden? ... 46
- Ein Bus für die Heimanlage ... 47
- Zentralen ... 49
- Weichen schalten ... 50
- Zubehördecoder ... 51
- Endabschaltung ... 52
- Zusatzenergie ... 53
- Lagemeldung ... 54
- Exkurs: Stromführung in einer Weiche und Herzstückpolarisierung ... 54
- Signale ... 56
- Melden ... 58
- BÜ-Sicherung per Abschnittsmelder ... 60
- Abschnittsmelder für Mittelleiterfahrer ... 62
- Stromfühlermelder ... 62
- Umkehreinsatz für Melder ... 63
- Fahrzeuge melden: Bidirektionale Kommunikation ... 65

Abläufe automatisieren ... 68
Auf Ereignisse reagieren ... 70
Digital bremsen ... 71
Der Decoder macht den Job ... 72
ABC-Bremsen ... 72
„intelligente“ Bremssysteme ... 73
Auf den Punkt per Software ... 74
Signale als Bremsauslöser ... 75
Technische Assistenten ... 75
Gemeldetes Teppichbahning ... 75
Pendeln als Automatisierungsbeispiel ... 76
Analoge Vorgänger ... 76
Der Decoder pendelt ... 78
Ein Zwischenhalt ... 78
Weichenbehandlung ... 79
EOW-Technik statt Aufschneiden ... 79
Kehr- und Wendeschleifen, Gleisdreiecke – Züge umdrehen ... 80
Welche Variante nehmen? ... 82

Die Technik dahinter ... 84
Was ist „digital“? ... 86
Protokolle ... 87
Elektrische Kommunikation ... 87
Decoder ... 88
Schnittstellen ... 90
MTC und PluX ... 92
Blindstecker ... 93
SUSI-Bus ... 94
Kennzeichnungen auf Lokpackungen ... 94
Kabel bei Decodern ... 95
Pufferspeicher statt Schwungmasse ... 96
Farbcodes/Kabelfarben ... 97
Funktionsdecoder ... 97
Fahrzeugdecoder einstellen ... 97
CV 1 und CV 29 ... 98
DCC-Fahrzeugadressen jenseits der 99 ... 99
Funktionen zuordnen ... 100
Geschwindigkeit und Fahrdynamik ... 101
Mehr als eine Lok im Zug ... 103
Auf dem Haupt- oder einem Extragleis ... 103
CV-Werte ändern ... 104
Zubehördecoder ... 106
Kabel für die Anlage ... 107

Basisinformationen und Hintergründiges ... 108
Nützliche Definitionen ... 110
Bits, Bytes, Rechnerei ... 111
10111110000010101011 0 ... 112
Von Hexa und binären Zahlenräumen ... 113
Acht statt sieben Bits ... 113
Bytes abzählen: kB, MB, GB, TB ... 114
Bits ab 0 zählen oder doch ab 1? ... 114
Kurzausflug in die Elektronik: ... 115
Dioden, LEDs ... 116

E44 098
E44 098

KAPITEL 1

DER EINFACHE EINSTIEG

Das zeitlose Hobby Modellbahn

Bevor wir in das eigentliche Thema „Digital" einsteigen, sollen hier einige wenige Grundlagen besprochen werden. Wenn Sie, lieber Leser, wissen, wie Strom fließt und mit den Begriffen Baugröße und Gleissystem etwas anfangen können, blättern Sie gerne weiter zum nächsten Abschnitt. Wenn Sie sich jedoch nicht sicher sind, oder Einsteiger in das Hobby Modellbahn oder einfach nur neugierig, lesen Sie hier weiter über Strom, Gleise und Maßstäbe.

Bedienzentrum aus der Anfangszeit der digitalen Modellbahn: Der alte analoge Fahrtrafo dient noch der Stromversorgung. Die Steuerung von Loks und Wagen erfolgt nun per Zentrale und Tastenfeld.

Eine der vielen heutigen Möglichkeiten: digitales Fahren per Führerstandsimulation auf dem Tablet-Computer.

Kleine elektrische Eisenbahn

Egal ob analog oder digital, unsere kleine Bahn fährt elektrisch. Wünscht man, dass sich etwas bewegt, muss in den Modelloks Strom fließen können. Dieser folgt bestimmten Regeln, die man kennen sollte, wenn man seine Modellbahn erfolgreich aufbauen möchte. Die wichtigste Regel ist, dass Strom vom einen zum anderen Pol z.B. einer Batterie fließen möchte. Dies kann er nur, wenn man ihm einen geeigneten Weg zur Verfügung stellt. Dabei passiert er den Verbraucher[1], z.B. unsere Modellbahnlok oder, einfacher, eine Glühlampe.

Da die Pole einer Batterie räumlich recht nah beieinanderliegen, kann man sich die Wege zum und vom Verbraucher, wie eine Schleife vorstellen – oder wie einen Kreis. Ist der Kreis vollständig, kann der Strom fließen und die Lok fährt oder die Lampe leuchtet. Man spricht vom geschlossenen Stromkreis. Der Umkehrschluss ist zulässig: Das Unterbrechen des Stromkreises stoppt das, was der dort fließende Strom bewirkt. Nichts anderes tun wir, wenn wir das Licht in einem Raum ein- oder ausschalten: Wir schließen oder öffnen einen Stromkreis.

Bei der elektrischen Modelleisenbahn ist der Weg des Stroms (vereinfacht) folgender: Von der Steck-

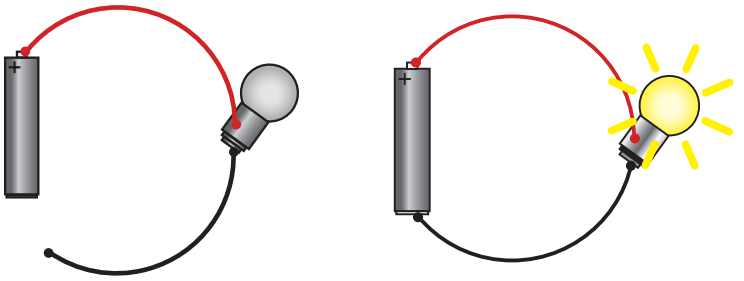
[1] Der Begriff ist umgangssprachlich üblich, aber streng genommen nicht korrekt. Gemeint ist immer das Objekt, das mit Hilfe des fließenden Stroms die gewünschte Leistung erbringt.

dose fließt er zum Netzteil, das die 230-V-Netzspannung auf einen ungefährlichen Wert herabsetzt, von dort zum Fahrgerät, weiter durch eine Schiene zum Triebfahrzeug und durch die andere Schiene (bzw. bei Märklin-H0 über den Mittelleiter) wieder retour. Der weitere Weg durch das Fahrgerät, das Netzteil zur Steckdose schließt den Stromkreis. Entsprechend führen zwei Kabel zum Gleis: Das eine führt den Strom hin, das andere führt ihn zurück.

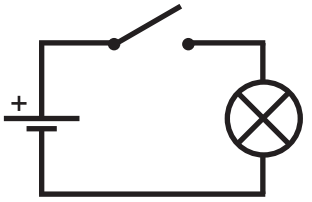
Es ist ein gern genutzer Vergleich: Die Wege des Stroms können sich wie die Wasserwege in einem Flussdelta verzweigen und wieder zusammenfließen. Bei der Modellbahn wird von dieser Möglichkeit intensiv Gebrauch gemacht. Jedes zusätzliche Triebfahrzeug auf den Gleisen stellt eine Verzweigung dar. Aber die Verzweigung kann auch vorher passieren, z.B. bei den Leitungen für die Stromzuführung, wenn man mehrere Gleisabschnitte schaffen will (warum und wann man das wollen sollte, dazu in einem späteren Kapitel mehr).

Beim Verzweigen und Zusammenführen ist streng darauf zu achten, dass die jeweilige Hin- und die zugehörige Rückleitung auch über alle Verzweigungen hinweg getrennt bleiben. Auch dürfen sie nicht unterwegs vertauscht werden. Passt man hier nicht auf, erhält man einen Kurzschluss. Auch kleinste Querverbindungen durch dünnste Drähtchen oder auf den Gleisen liegende Fremdkörper sind schädlich.

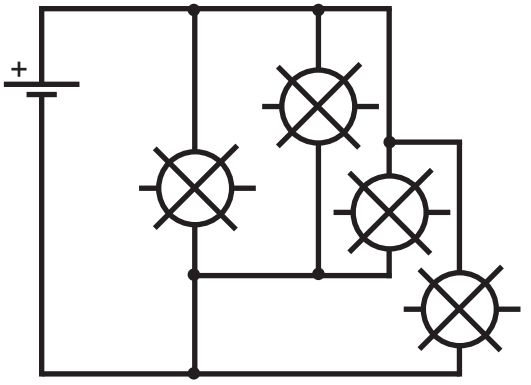
Bei der Frage, wieviel Strom fließt, kann man ebenfalls einen Vergleich zum Wasser ziehen: Je dicker das Rohr, desto mehr geht durch – wenn genügend Druck da ist. Beim Wasser bestimmt die Wassersäulenhöhe den Druck, bei der Elektrizität die als Spannung bezeichnete Ladungsdifferenz zwischen den Polen in der Quelle. Wichtig: Strom und Spannung sind nicht zu verwechseln, sondern zwei Seiten der gleichen Medaille. Das eine existiert ohne das andere nicht. Wie Steine im Fluss gibt es auch bei der Elektrik Widerstände, die dem Strom entgegenstehen und ihn reduzieren. Ein Mehr an Spannung steigert auch den Strom. Das Verhältnis Spannung zu Strom ist ein Maß für den wirkenden Widerstand. Umgekehrt ist das Produkt aus Spannung und Strom ein Maß für die umgesetzte Leistung. Spannung misst man in Volt (V), den Strom in Ampere (A).



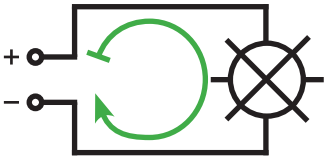
So lange der Kreis offen ist, kann kein Strom aus der Batterie fließen. Verbindet man auch den zweiten Pol der Batterie, wird der Stromkreis geschlossen und die Lampe leuchtet.



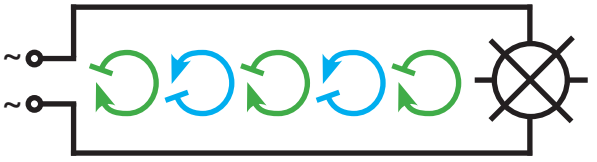
Um elektrische und elektronische Schaltungen aufzuzeichnen, verwendet man genormte Symbole: links eine Batterie , oben ein Schalter, rechts ein Lämpchen. Der Stromkreis ist offen.



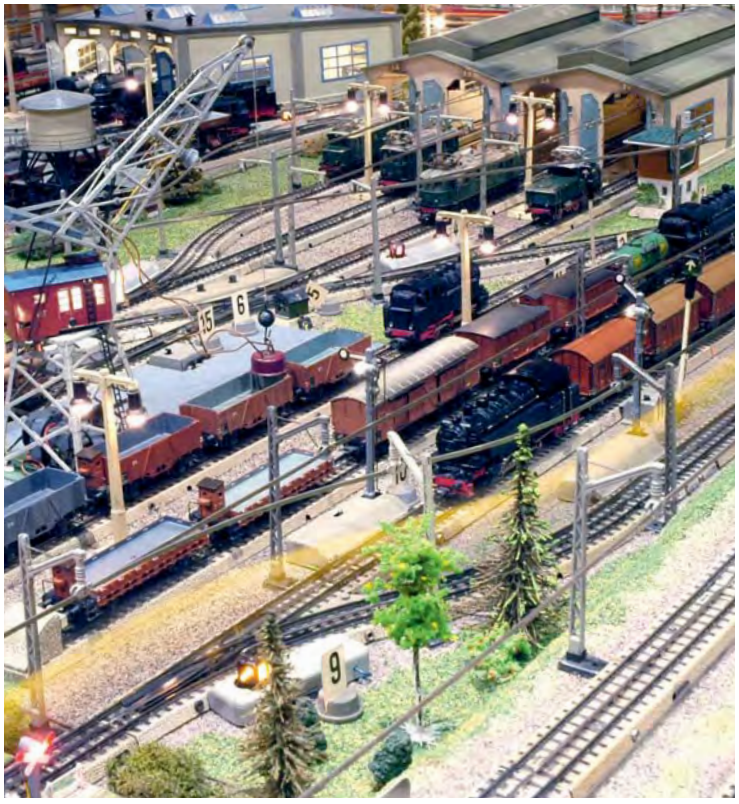
Strom kann wie Wasser in einem Flussdelta verzweigte Wege fließen. Letztlich müssen aber doch alle Pfade wieder zurück zur Spannungsquelle geleitet werden.



Gleichstrom fließt immer in einer Richtung durch den Stromkreis. Bei der technischen Stromrichtung ist dies von Plus nach Minus.



Wechselstrom hingegen wechselt sehr häufig die Polarität. Der Strom fließt also kurz rechtsherum, dann linksherum, dann wieder rechtsherum und so weiter.



Historische Modellbahnanlage mit Märklin-Blechgleis. Zu Beginn der 1950er war der Mittelleiter noch ein durchgehender Strang.

Modellbau fürs Museum: Der TEE VT 601 ist als 1:10-Modell in der am 8. Juni 2019 eröffneten Dauerausstellung „Im Deutschland der zwei Bahnen" im DB Museum Nürnberg zu sehen.
Foto: DB Museum Nürnberg/Uwe Niklas

Was ist das nun mit dem Gleich- und dem Wechselstrom? Gleichstrom ist das, was aus einer normalen Batterie (oder einem Akku) herauskommt: Schließt man den Stromkreis, fließt der Strom immer in die gleiche Richtung, technisch gesehen immer von Plus nach Minus[2]. Manche Dinge funktionieren abhängig von der Stromrichtung, sodass man hier durch schlichtes Umpolen das Verhalten beeinflussen kann.

Wechselstrom hingegen ändert ständig seine Richtung. Unser üblicher Haushaltsstrom ist Wechselstrom. Das hat den Vorteil, dass er transformierbar ist, d.h., in einem Transformator kann die Höhe der Wechselspannung den Erfordernissen angepasst werden. Verhaltensänderungen, die beim Gleichstrom durch Umpolen erreicht werden, muss man jedoch beim Wechselstrom auf anderem Weg erreichen.

Grundsätzlich gilt: Alle normalen Elektrikregeln zu Stromkreisen gelten uneingeschränkt auch für die Modellbahn und hier wiederum für die digitale gleichermaßen wie für die analoge. Details, z.B. wie man mit dem Strom rechnet, sind im Kapitel „Glossar" zu finden.

Modellbahnen gibt es schon sehr lange. Sie haben ihre Wurzeln zum einen im technischen/musealen Modellbau, wo es um eine möglichst exakte Verkleinerung z.B. einer Vorbildlokomotive für Lehrzwecke und/oder für die Ausstellung in einer Vitrine im Museum geht. Zum anderen sind nur vage an Vorbilder angenäherte Spielzeugbahnen die Ahnen der modernen Modellbahn. Hier war – neben einem für ein größeres Publikum bezahlbaren Preis – die Funktionalität das Maß der Dinge. Egal, ob sie mit Aufziehantrieb oder mit Strom fuhr – die Eisenbahn musste den rauen Spielalltag überstehen und auf den Gleisen bleiben. Erst in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts wuchsen Spielzeug und Vorbildnachbildung zu der Modellbahn zusammen, wie wir sie heute kennen.

[2] Die physikalische Stromrichtung, also die Bewegung der Elektronen, erfolgt genau in umgekehrter Richtung. Am Minuspol einer Stromquelle liegt ein Elektronenüberschuss vor; die Elektronen drängen, danach, zum Pluspol zu wandern.

Im Laufe der langen Entwicklung wurden viele Dinge erfunden und wieder verworfen, bis die Modellbahn ihre heutige Erscheinungsform gefunden hat. Zwei Dinge sind dabei besonders wichtig: Das ist zum einen der Maßstab und zum anderen die Art, wie der Strom zu den Loks kommt, also die Bauart der Gleise.

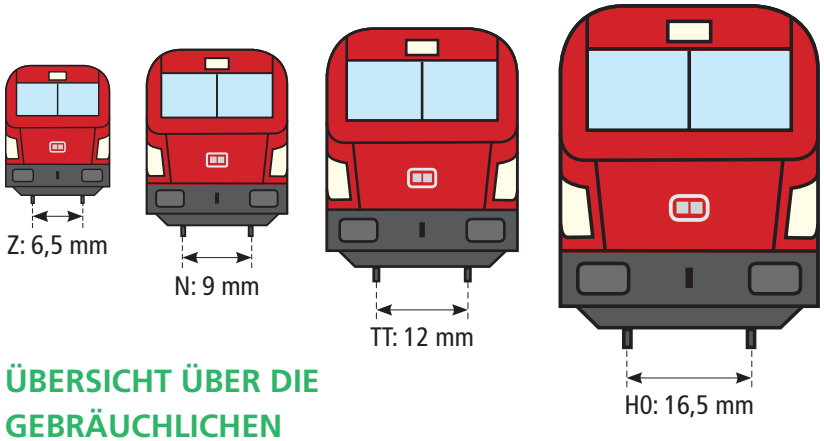
BAUGRÖSSEN

Beginnen wir mit der Baugröße: Die größte Verbreitung haben Modelle im Maßstab 1:87. Modellbahnsystematiker vergangener Generationen haben uns ein Bezeichnungssystem hinterlassen, in dem diese Baugröße „H0“ genannt wird (von „halb Null“, also „Hanull“ und nicht „Ha-ooooo“!). Modelle von Regelspurfahrzeugen, also solche, deren Vorbilder auf 1435 mm Spurweite fahren, sind in H0 auf Schienen in einem Abstand von 16,5 mm unterwegs.

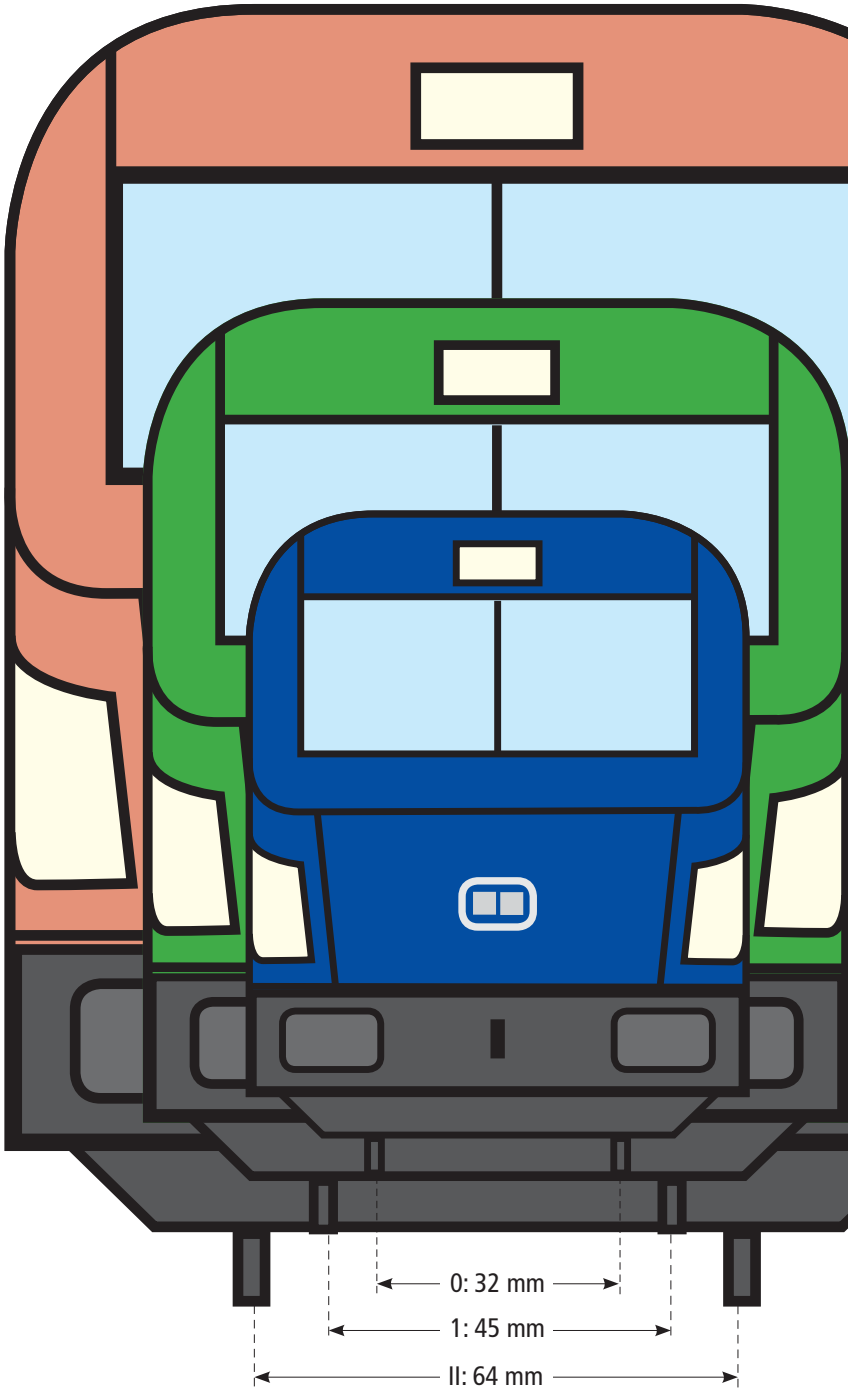
Die Größenbezeichnung deutet es schon an: Es gibt auch eine Nenngröße 0 („Null“, oft nicht ganz korrekt „Spur Null“ genannt) mit 32 mm Spurweite. Beim Maßstab gibt es unterschiedliche Philosophien: In Mitteleuropa herrscht 1:45 vor, in Frankreich und England dominiert 1:43,5 und in Amerika entscheidet man sich meist für 1:48. In den allermeisten Fällen ist es jedoch trotz des numerischen Unterschieds möglich, die Komponenten zu mischen.

Es geht auch noch größer: Mit den Nenngrößen I und II („Eins“, „Zwei“) kommt man in Dimensionen, die kaum noch auf eine Tischplatte passen: Die Spurweiten sind 45 mm und 64 mm, die Maßstäbe 1:32 und 1:22,5. IIm[3] („Zwei m“) hat bei Gartenbahnen weite Verbreitung gefunden. Synonym zu IIm wird daher gerne auch „G“ als Baugrößenbezeichnung verwendet.

[3] An die Baugrößenbezeichnung angehängte Buchstaben kennzeichnen Modellgleissysteme, deren Vorbilder nicht der Regelspurweite entsprechende Schienenabstände haben. So steht das „m“ üblicherweise für ein Meterspurgleis, das „e“ für 750 mm und „f“ für 600-mm-Feldbahngleis. Die genannten Werte entsprechen der mitteleuropäischen Praxis. In Amerika hat „n3“ große Bedeutung (3-Fuß-Gleise, 914 mm). Für Breitspursysteme gibt es die Buchstaben „b“ und „w“.

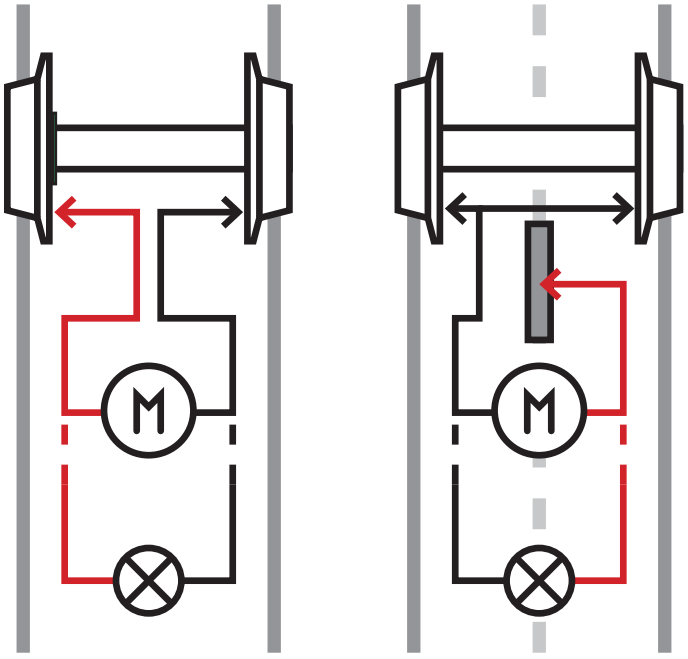


ÜBERSICHT ÜBER DIE GEBRÄUCHLICHEN BAUGRÖSSEN



ALLE DIGITALSYSTEME KÖNNEN AUF ALLEN GLEISARTEN UND FÜR ALLE NENNGRÖSSEN EINGESETZT WERDEN!

So „groß" ist eine Lok im Maßstab 1:220 (Z). Die Vorbild-LüP 12,4 m werden zu rund 56,3 mm. Auch diese Lok hat eine winzige Digitalelektronik an Bord.



Der kleine Unterschied: Links wird der Strom über die Schienen zugeführt: Zweischienenversorgung. Die Schienen sind im Gleis voneinander isoliert. Auch die Radsätze aller Fahrzeue müssen isoliert sein, um einen Kurzschluss zu vermeiden. Rechts erfolgt die Stromzufuhr über einen zusätzlichen Kontaktstreifen in der Mitte zwischen den Schienen: Mittelleiterversorgung. Die Schienen sind nicht isoliert voneinander und auch die Radsätze können durchverbunden sein.

Schaut man größenmäßig in die andere Richtung, hat TT als „Spur der Mitte" Verbreitung gefunden: Maßstab 1:120 auf 12-mm-Gleisen („TT" steht für „table top"). Noch stärker verkleinert sind die Baugrößen N und Z: Maßstab 1:160 mit 9 mm Spurweite sowie 1:220 bei 6,5-mm-Gleisen.

Digital können alle fahren, völlig unabhängig von der Baugröße. In vielen Fällen bekommt man heutzutage die Fahrzeuge gleich mit einer kompletten und hochwertigen Digitalausstattung, manche Hersteller liefern gar keine analogen Versionen mehr. Die Baugröße Z macht hier eine Ausnahme: Digitalisierungen sind hier derzeit noch privater Initiative vorbehalten, was in Anbetracht der Kleinheit der Fahrzeuge nachvollziehbar ist: Die für den Digitalbetrieb nötige Kontaktsicherheit setzt aufgrund der Kleinheit eine über hobbyübliche Verfahren hinausgehende gesteigerte Präzision besonders bei der Gleislage voraus.

„ZWEILEITER", „DREILEITER", GLEICHSTROMBETRIEB, WECHSELSTROMBETRIEB

Noch zu Zeiten der reinen Spielzeugeisenbahnen entwickelten die verschiedenen Hersteller unterschiedliche technische Möglichkeiten, wie man eine Modellbahnlok antreiben kann. Die wesentlichen Unterschiede lagen in der Art, wie der Strom zur Lok kommt und auch in der Stromart selbst. Speziell im H0-Maßstab prägen diese Unterschiede das Geschehen auf den Modellschienen bis heute, auch wenn die Hersteller sich verstärkt um Brücken bemühen.

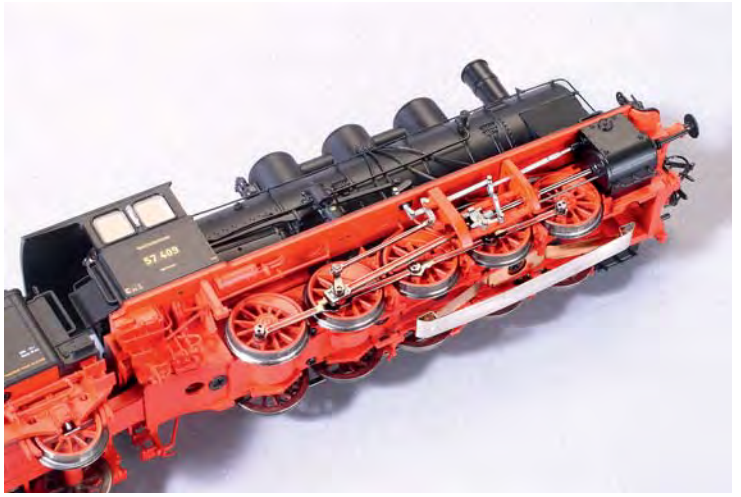
Der erste wesentliche Unterschied liegt in der Stromart: Märklin setzte auf Wechselstrom, die anderen Hersteller auf Gleichstrom. Von der Stromart leiten sich die Bezeichnungen „Wechselstromloks" oder „AC-Loks" sowie das Zeichen „~" für zu diesem System passende Fahrzeuge ab. Entsprechend heißen die anderen „Gleichstromloks"[4]. Warum diese Unterscheidung unter dem digitalen Aspekt hinfällig

[4] Die Darstellung in diesem Buch ist notwendigerweise verkürzt. Im Laufe der über hundertjährigen Entwicklung der Modellbahn haben verschiedene Hersteller die unterschiedlichsten Strom- und Stromzuführungssysteme entwickelt. Betrachtet wird hier nur, was heute Bedeutung hat.

ist (auch wenn sie immer noch bemüht wird), klären wir später.

Der zweite wesentliche Unterschied ist der Weg des Stroms zur Lok: Märklin entschied sich, beide Schienen mit dem gleichen Potential zu belegen und für den Gegenpol eine Reihe aus Kontaktstiften in die Mitte dazwischen zu setzen. Demnach haben Fahrzeuge für das Märklin-System durchverbundene Achsen (man spart sich eine aufwendige und in diesem Fall unnötige Isolierung der Räder gegeneinander) und sie besitzen einen länglichen Schleifer zwischen den Rädern. Ist das Fahrzeug ordentlich aufgegleist, berührt dieser Schleifer immer mehrere der punktförmigen Kontakte des Mittelleiters gleichzeitig.

Die anderen Hersteller entschieden sich, nur die beiden Schienen für die Stromzuführung zu ihren Fahrzeugen zu verwenden.[5] Bei diesen sind die Räder einer Achse voneinander isoliert und einen Mittelschleifer gibt es nicht. Dieses System wird allgemein „Zweileitersystem" genannt, auch wenn dieser Begriff eine Selbstverständlichkeit benennt: Es sind immer zwei Leiter, die an einen elektrischen Verbraucher herangeführt werden, so auch bei einer Lok auf der Modellbahn[6]. Entsprechend ist der für das Märklinsystem immer wieder verwendete Begriff „Dreileiter"[7] völlig falsch und sollte gemieden werden. Besser, man spricht hier von der „Mittelleiterversorgung" in Abgrenzung zur „Zweischienenversorgung". Letzteres System hat international die größte Verbreitung gefunden. In den Normen wird es als „Zweischienenbetrieb" bezeichnet.



Das Modell der 57 409 wurde von Brawa zur Verwendung auf H0-Gleisen mit Mittelleiter hergestellt, wie der große Schleifer unter den ersten drei Achsen der Lok beweist.

„ZWEILEITER" IST EINE SELBSTVERSTÄNDLICHKEIT. „DREILEITER" IST SOGAR GRUNDFALSCH. BESSER, MAN SPRICHT VON MITTELLEITER- UND ZWEISCHIENENVERSORGUNG.

Dieses H0-Modell einer BR 78 steht als Beispiel für Modelle der Zweischienenversorgung. Die Räder sind gegeneinander isoliert. Interessant ist hier auch der Metallpilz hinter der ersten Kuppelachse: Er ist typisch für H0-Modelle von Fleischmann und diente in vordigitalen Zeiten zum Auslösen von Schaltgleisereignissen.

[5] Das Trix-Express-System benutzt eine Mittelleiterschiene und wahlweise die rechte oder die linke Außenschiene zur Stromzuführung. Das System verlor an Marktbedeutung, als die Modellbahner zunehmend vorbildgerechte Fahrzeuge und vor allem Fahrwege wünschten. Eine kleine Fangemeinde ist dem System treu geblieben. Immer mal wieder werden passende neue Produkte angeboten.

[6] Drehstrom mit tatsächlich drei oder vier an einen Verbraucher herangeführten Leitungen findet bei der Modellbahn nicht statt.

[7] Einzig das Trix-Express-Gleis könnte man als „Dreileitergleis" bezeichnen, da sowohl beide Schienen als auch der Mittelleiter voneinander isoliert sind.

ZSR
770 052-9
770 052-9
51 54

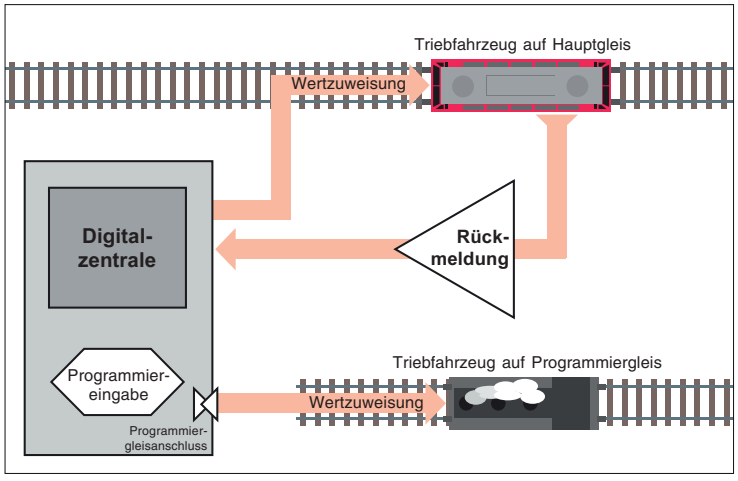
KAPITEL 2

DAS „PLUS“ VON DIGITAL

Mit der Hand am Regler

Die Bedienung der Modellbahn ist intuitiv: Eine Lok oder ein Zug steht auf dem Gleis, man greift zum Regler, dreht am Reglerknopf und der Zug setzt sich in die eine oder andere Richtung in Bewegung. Die gefahrene Geschwindigkeit ist proportional zum gewählten Drehwinkel. Zur Umkehr der Fahrtrichtung dreht man den Reglerkopf über die Nullstellung hinaus in die andere Richtung. Dieses einfache Verhalten ist so naheliegend, dass auch kleinere Kinder es beim ersten Kontakt mit der Modellbahn sehr schnell durchschauen und sofort in ihr Spiel integrieren.

Komponenten kommunizieren



Ein Kommunikationsschema bei der digitalen Modellbahn

DIE WICHTIGSTE UND HERAUSRAGENDSTE LEISTUNG EINES MODELLBAHN-DIGITALSYSTEMS IST ES, SEINE FAHRZEUGE GLEICHZEITIG INDIVIDUELL AUF DEM GLEICHEN GLEIS STEUERN ZU KÖNNEN.

Nach diesem einfachen Steuerungsprinzip funktionierte Modellbahn „schon immer“, auch schon zu Zeiten, als man noch lange nicht an „digital“ dachte. Der Reglerknopf war typischerweise ins Gehäuse des Fahrtrafos integriert. Man kann sich technisch ganz gut vorstellen, wie die Steuerung funktioniert: Mit dem Reglerknopf am Fahrtrafo stellt man die Spannung ein, die dem Antrieb im Zug auf den Gleisen zur Verfügung stehen soll. Abhängig von dieser Spannung dreht sich der Anker des im Modell eingebauten Motors langsamer oder schneller und sorgt so für eine langsamere oder schnellere Bewegung des Fahrzeugs auf den Gleisen.

Der für diese Art der Steuerung verwendete Begriff „analog“ beschreibt das Verfahren recht gut: Analog bedeutet „ähnlich, vergleichbar, gleichartig, entsprechend“. Im technischen Umfeld geht es bei „analog“ um einen stufenlosen und kontinuierlicheren Verlauf eines Signals. Genau das trifft bei der beschriebenen Modellbahnsteuerung zu: Jede winzige Veränderung der Stellung des Reglerknopfes führt zu einer (ebenso winzigen) Änderung der Spannung und damit der Geschwindigkeit.

Man könnte also sagen, dass der Bediener seiner Lok mittels des Reglerknopfes „sagt“ , wie schnell sie fahren soll. Die Kommunikation zwischen Bediener

und Lok wird auf technische Weise übermittelt. Mit genau einem Triebfahrzeug oder Zug auf den Gleisen funktioniert das System hervorragend.

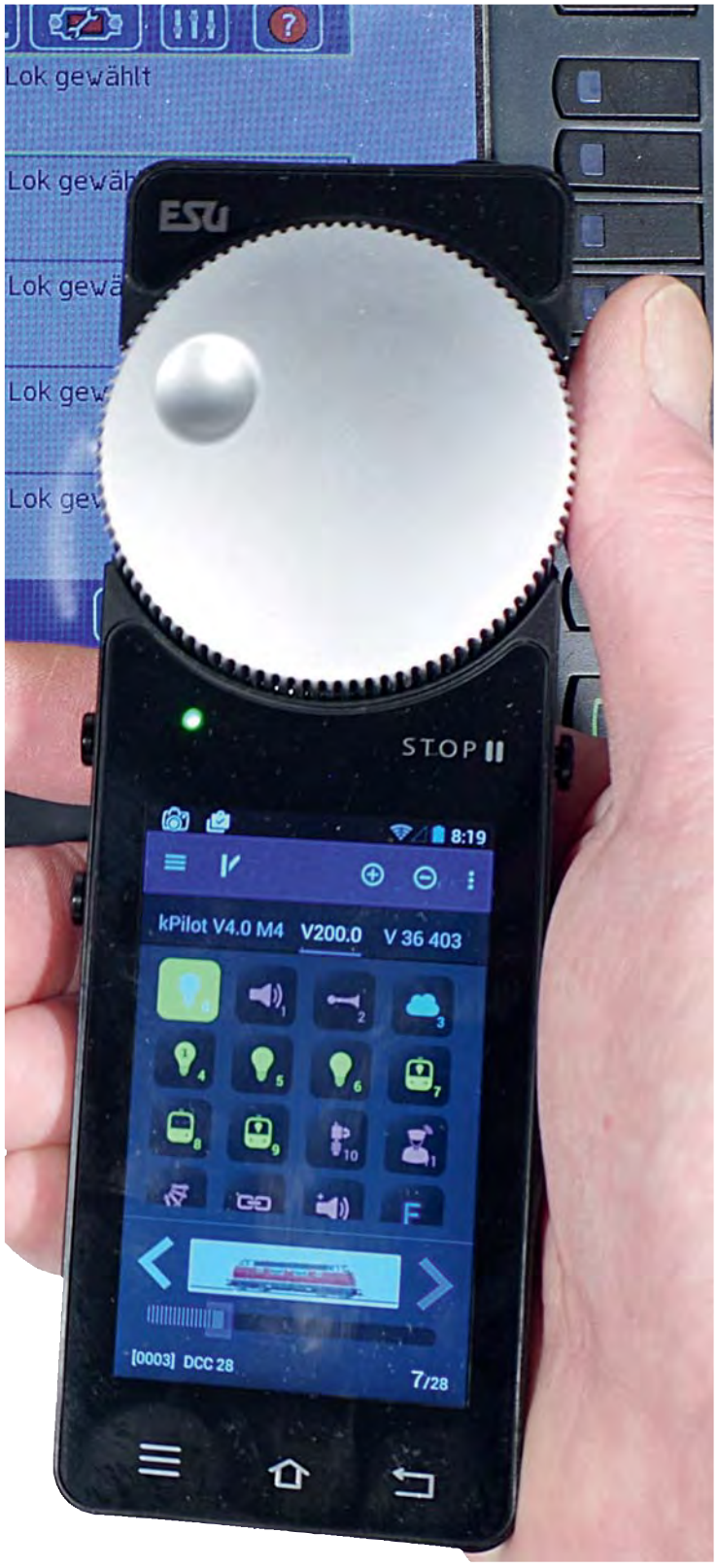
Hat man zwei oder mehr Züge vor sich auf dem gleichen Gleis, funktioniert der einfache Ansatz technisch immer noch. Das Ergebnis ist jedoch anders als gewünscht: Die Fahrzeuge bewegen sich synchron, alle gleichzeitig nach links, alle gleichzeitig nach rechts, gemeinsam schneller, gemeinsam langsamer. Wenn man genau das haben will, z.B. weil man mit Vorspann fährt – wunderbar! Meist will man die Züge jedoch individuell steuern können.

Also muss man mit den Fahrzeugen getrennt kommunizieren. Genau dies möglich zu machen, ist die wichtigste und herausragendste Leistung eines Modellbahn-Digitalsystems. Für viele heutige Digitalpropagandisten ist diese Fähigkeit kaum noch einer Erwähnung wert. Dabei ist es genau diese Möglichkeit zur individuellen Kommunikation, die von Anfang an Ziel der Entwicklung war und die auch heute noch den größten Wert der Systeme ausmacht.

Mit zwei Loks gleichzeitig auf einem Gleis rangieren zu können, war der große Traum ganzer Modellbahnergenerationen und es gab verschiedenste elektrotechnische Ansätze, um dem Ziel näher zu kommen. Endgültig gelöst wurde die Aufgabe erst durch Einführung der Digitalsysteme.

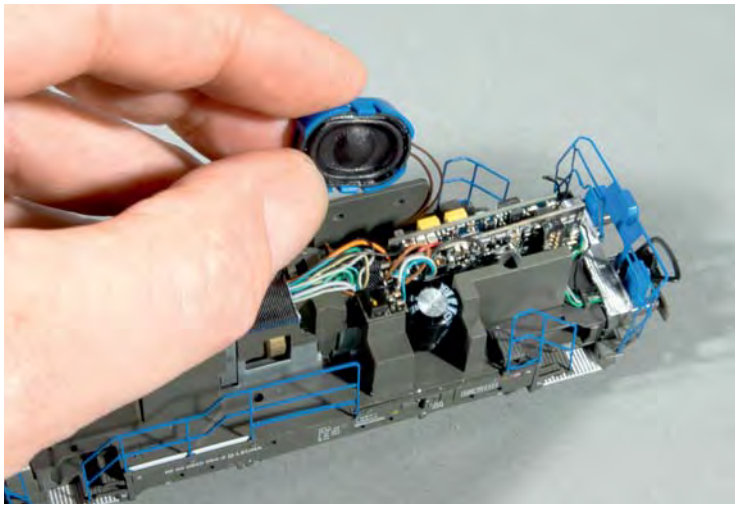
Zusammengefasst kann man sagen: Digitalsysteme sind im Wesentlichen Kommunikationssysteme. Mit dem Regler in der Hand erstellt man eine Nachricht mit Anweisungen, die der Lok oder dem Zug auf dem Gleis postwendend zugestellt wird. Es ist sogar vorgesehen, dass die Fahrzeuge antworten. Aber welcher Lok, welchem Zug wird eine bestimmte Nachricht zugestellt? Das legt man als Anwender natürlich vorher fest. Man wählt mit seinem Steuergerät ein Fahrzeug aus und „sagt" ihm zum Beispiel: „Fahre mit halber Geschwindigkeit vorwärts!" Das angesprochene Fahrzeug wird die Anweisung befolgen.

Es gibt Systeme, die die auswählbaren Züge am Steuergerät im Klartext mit einem Namen und/oder mit einem Bild der Lok anzeigen. Je nach System kann man solche Namen und Bilder sogar selbst ver-



Bediengeräte mit Touchdisplay eignen sich sehr gut, um die Möglichkeiten eines Modells mit Symbolen darzustellen. Hier wird eine V-200-Nachbildung mit einem Mobile Control II von Esu gesteuert.

Solche Geräte vermitteln zwischen Anwender und Modellbahn. Sie verrichten dort ihr elektronisches Werk normalerweise im Verborgenen. Im Bild eine Zentrale „Redbox" von Tams Elektronik mit Anschlussadapter.



Auf Fahrzeugseite ist die Elektronik oft dicht gepackt eingebaut. Trotz knappem Einbauraum kann die Leistung der Elektronik durch die fortschreitender Miniaturisierung stetig weiter steigen.

geben. Zur Kommunikation mit dem Zug wird allerdings nicht ein solcher für Menschen verständlicher Name übermittelt, sondern eine kurze Codenummer, von der das Fahrzeug „weiß", dass es die seine ist.

Diese Codenummer wird „Adresse" genannt und sie funktioniert genauso wie die Postleitzahlen bei der Briefbeförderung. Die Postleitzahl ist eindeutig, und in gleicher Weise muss auch die Adresse eines Zuges eindeutig sein. So kann man z.B. bei Systemen mit wählbaren Bezeichnungen das Problem der Namensgleichheit lösen: So, wie die Post die vielen „Neustadt" mit Postleitzahlen auseinanderhält, hält das Digitalsystem verschiedene als „Schnellzug" angelegte Modelle anhand der Digitaladresse auseinander.

Es gibt, wie schon angedeutet, auch Systeme, die keine Möglichkeit zur Namensvergabe vorsehen. Das mag im ersten Moment als Nachteil erscheinen. Viele Modellbahner bevorzugen jedoch sogar die numerische Art der Ansprache: Man habe es mit einem technischen System zu tun, warum solle man also die technischen Aspekte hinter irgendwelchen verbalen Vorhängen verbergen? Die große Bahn nummeriere ihre Loks, Züge und Strecken ja auch – und das nicht ohne Grund ... Letztlich ist es eine Geschmacksfrage, ob Sie als Anwender lieber mit direkten Adressen oder mit Zug- bzw. Loknamen umgehen wollen.

ELEKTRONIK FÜR DIE KOMMUNIKATION

Zuständig für die Kommunikation ist ein Sender im oder beim Handsteuergerät und ein Empfänger im Zug. Der Sender wird üblicherweise „Zentrale" genannt. Dieser stationäre Baustein schickt die Betriebsenergie für die Lokomotiven mit den enthaltenen Steuerbefehlen auf die Gleise. Die Empfänger in den Fahrzeugen werden „Decoder" genannt und letztendlich sind sie es, denen man die Adressen zuweist. Die Bezeichnung „Decoder" kommt daher, dass die Informationen nicht im Klartext, sondern verschlüsselt, also kodiert übermittelt werden. Die Zentrale packt die Befehle zu einem Datenstrom zusammen, ein Decoder entschlüsselt die Nachrichten und sorgt für entsprechende Aktionen im angesprochenen Triebfahrzeug.

Heutige Lok- und Triebwagenmodelle sind meist bereits ab Werk in einer digitalen Version erhältlich, teilweise bietet der Hersteller eine Modellvariante ohne Decoder gar nicht mehr an. Was ist aber mit den ganzen analogen Modellfahrzeugen aus der vordigitalen Zeit? Für die Umrüstung von Lokomotiven auf digital haben sich verschiedene Hersteller und Ingenieurbüros etabliert, die passende Nachrüstelektroniken in jeder gewünschten Geschmackslage liefern. Vor dem Hintergrund der angebotenen Vielfalt ist es möglich, jede Lokomotive, von der kleinsten in Baugröße Z bis zur größten in „Spur II" mit einem Decoder zu versehen. Märklin bietet sogar komplette Umrüstsets für viele ältere Modelle aus dem eigenen Hause an, mit denen man sowohl den Motor um- als auch eine Digitalelektronik einbauen kann. Berichte über solche Umbauten und passende Anleitungen sind regelmäßig in der Zeitschrift „Digitale Modellbahn"[1] zu finden.

ZUSÄTZLICHE SPIELMÖGLICHKEITEN

Hat man entschieden, welchen Zug man ansprechen möche und dies am Steuergerät entsprechend eingestellt, kann man neben der Geschwindigkeitsregelung noch eine ganze Reihe weiterer Dinge tun. Schon bei den allerersten Digitalsystemen war die Möglichkeit vorgesehen, das Fahrlicht ein- und auszuschalten. Inzwischen können einige Systeme bis zu 32 Dinge schalten. Was hier geschaltet wird, nennt man „Funktionen".

Wie auch bei der Adresse gilt bei Funktionen, dass sie technisch über eine Indexnummer angesprochen werden. Manche Steuergeräte zeigen Ihnen statt der Funktionsindexnummer ein Icon. Einige davon visualisieren die zugehörige Funktion richtig gut: Zum Beispiel ist das Signet einer Glühlampe für das Licht oder das einer Glocke für die „Bahnübergangswarnbimmel" absolut eindeutig. Bei manch anderem Icon muss man jedoch erst in der Anleitung nachschauen, um zu verstehen, was gemeint ist.

[1] Die Zeitschrift „Digitale Modellbahn" erscheint vierteljährlich bei der Verlagsgruppe Bahn, siehe die Vorstellung von Verlagsprodukten auf den letzten Seiten dieses Buches.

Die Bedienung der links abgebildeten Redbox von Tams kann über einen normalen Handregler oder aber auch über ein Smartphone erfolgen. Auf dessen Display sind alle nötigen Steuerelemente verfügbar.

Einer anderen Philosophie folgen Geräte wie der Raptor (niederländische Zentrale, www.raptor-digital.eu) oder die Intellibox von Uhlenbrock: Alle Bedienelemente werden mit der Elektronik in ein gemeinsames Gehäuse vereint. Gerade letztere hat mit diesem Ansatz eine große Verbreitung gefunden.

38 2208

KAPITEL 4

ABLÄUFE AUTOMATISIEREN

Auf Ereignisse reagieren

„Melden“ war bereits im vorangegangenen Kapitel ein Thema. Dass es hier wieder auftaucht, liegt ganz einfach daran, dass – neben der unabhängigen Steuerung mehrerer Fahrzeuge auf dem Gleis – das Sammeln von Informationen eine der großen Stärken der digitalen Modellbahn ist. So kann man den Kreis schließen: Es führt zu einem System, das genau so weit automatisch funktioniert, wie es der Modellbahner haben will. Von leichten Assistenzsystemen wie dem wiederholt angesprochenen Bahnübergang bis hin zur Vollautomatik, bei der man sich zurücklehnt und der Parade der Züge genüsslich zuschaut, ist alles drin.

Doch zuerst schauen wir die Ereignisse noch einmal genauer an: Welche Informationen sind uns nützlich und was können wir damit anfangen? Und daraus folgend: Wie müssen die Melder angeordnet werden, damit sie uns genau das geben, was wir brauchen? Beim Beispiel mit dem Bahnübergang wurden bereits zwei grundlegende Meldertypen angesprochen: Punkt- und Abschnittsmelder. Die von ihnen erzeugten Nachrichten lauten: „Ein Fahrzeug hat einen bestimmten Punkt erreicht“ und „Ein Fahrzeug befindet sich in einem bestimmten Gleisabschnitt“. Damit lässt sich schon manches anfangen. Darüberhinaus könnte es interessant sein zu wissen, in welcher Richtung ein Fahrzeug unterwegs ist, mit welcher Geschwindigkeit es fährt sowie um welches Fahrzeug es sich handelt. Wie man Richtungsinformationen mit zwei Meldern kurz hintereinander erhält, wurde schon beschrieben. Misst man zusätzlich die Zeit zwischen beiden Meldungen, kann man auf die Geschwindigkeit rückschließen.

Die Richtung, die Geschwindigkeit und vor allem die Identität eines Fahrzeugs lässt sich mit RailCom-Meldern[1] feststellen oder durch logische Deduktion herleiten: Fährt Fahrzeug A in einen leeren Gleisabschnitt hinein, kann man davon ausgehen, dass auch Fahrzeug A wieder aus diesem Gleisabschnitt herauskommen wird. Wichtig ist dabei nur, die Ausgangsstellung zu erfassen und dann genau Buch zu führen, wer sich wann wo aufhält und wie bewegt.

DAS SAMMELN VON BETRIEBSINFORMATIONEN IST EINE DER GROSSEN STÄRKEN DER DIGITALEN MODELLBAHN.

Wer die Fahrzeuginformationen nicht auf dem Bildschirm, sondern z.B. am Gleisbildstellpult haben möchte, kann sich von einem RCA-24 die von passenden RailCom-Detektoren gesammelten Lokadressen anzeigen lassen.

[1] Vergleichbare mfx-Melder gibt es noch nicht.

Man kann Meldungen unterscheiden in solche, die auf die Fahrwege und die Modellfahrzeuge selbst zurückwirken, z.B. im Blockstellenbetrieb, wo erst weitergefahren werden darf, wenn das vorausliegende Gleis frei ist, und solche, die externe Abläufe auslösen. Man könnte es auch so bezeichnen: Meldungen mit Bedeutung für den Betriebsablauf und Meldungen mit Bedeutung für Auge und Ohr.

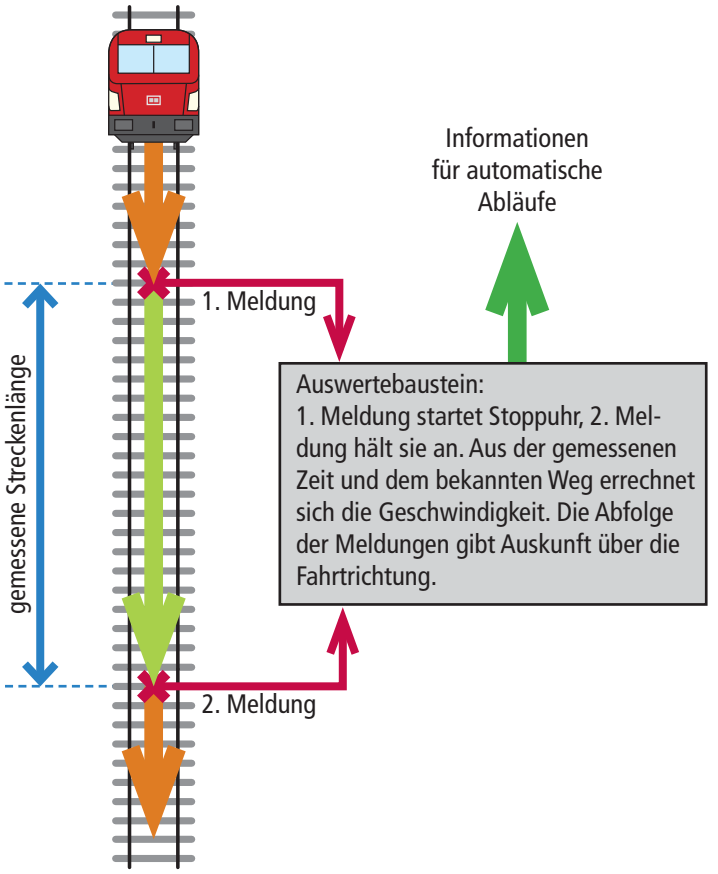
Letztere lassen sich in der Regel gut mit Punktmeldern auslösen, sind aber auch gerne fahrtrichtungsabhängig wie z.B. der Lokpfiff vor Einfahrt in einen Tunnel (angenommen, dieser wird von einem stationären Lautsprecher wiedergegeben; soll die Lok selbst pfeifen, muss ihre Identität bekannt sein).

Bei Meldungen mit Bedeutung für den Betriebsablauf geht es im Endeffekt um Fahrberechtigungen oder das Fehlen derselben. Rechtzeitiges Anhalten ist sicherheitsrelevant. Deshalb muss das dynamische Verhalten der Fahrzeuge bekannt sein, will man hier zielgerichtet eingreifen, also punktgenau anhalten können. Die zentrale Frage ist also: Wie lang ist der vorgesehene Bremsweg einer Lok bzw. eines Zuges?

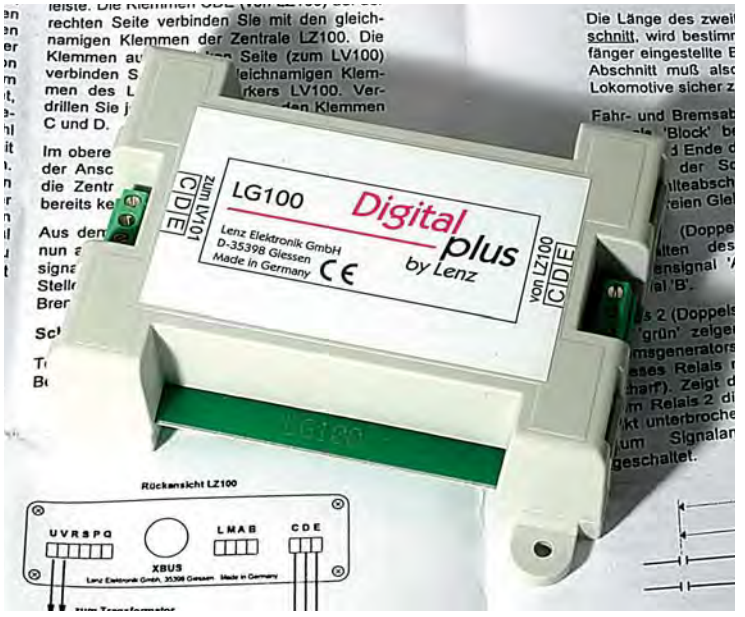
Ohne jede Modifikation durch eine Elektronik sind die Bremswege bei der Modellbahn sehr kurz. Sie sind so unerfreulich kurz, dass die Lokmodellhersteller vielfach Energiespeicher in Form von Schwungmassen einbauen, um den Fahrzeugen über kleine Schienenverschmutzungen hinwegzuhelfen. Als elektronisches Gegenmittel gegen zu kurze Bremswege gibt es die bereits im Kontext der Fahrzeugdecoder vorgestellte Bremsverzögerung. Mit einer solchen Massesimulation lassen sich die Bremswege vorbildgerecht bzw. modellbahngerecht lang gestalten. Die Frage, wie lang der Bremsweg bei den verschiedenen Zügen nun tatsächlich ist, ist damit aber noch nicht beantwortet.

DIGITAL BREMSEN

Welche Bremsmöglichkeiten gibt es bei der digitalen Modellbahn überhaupt? Die krasse Methode „Strom weg“ kommt nur im Notfall in Frage, wenn schlagartig alles stehen soll, um Unfälle zu vermeiden. Drückt man bei seinem Regler auf „Not-Stopp“, werden die Züge auf genau diese Art angehalten, egal wo sie



Mit zwei kurz nacheinander eingebauten Meldern kann man die Geschwindigkeit und die Fahrtrichung genau bestimmen.



Der LG100 ist ein DCC-Bremsgenerator, ein Gerät, das an seinem Ausgang ein digitales Gleissignal bereitsellt, das allen Triebfahrzeugen das geordnete Anhalten unter Beachtung der Massesimulation befiehlt.

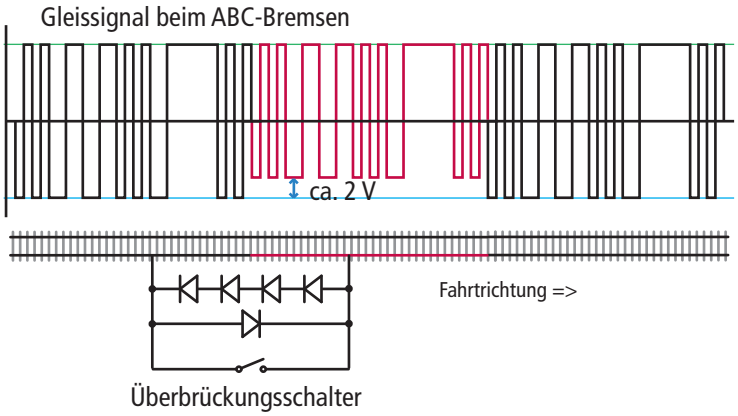
ABC-BREMSEN

ABC steht für „Advanced Breaking Control“, eine Technik, bei der das eigentlich symmetrische digitale Gleissignal einseitig um ca. 2 V reduziert wird. Ein ABC-fähiger Fahrzeugdecoder erkennt diese Asymmetrie im Gleissignal und bremst das Fahrzeug im eingestellten Bremsweg zum Stillstand herunter. Sobald die Asymmetrie verschwindet, beschleunigt das Fahrzeug mit der eingestellten Masseverzögerung auf die vor dem Bremsen eingestellte Reisegeschwindigkeit.

Teil des ABC-Konzeptes ist es, zu erkennen, wie herum die Asymmetrie erzeugt wurde. So kann ein Triebfahrzeug in der einen Fahrtrichtung zum Bremsen gebracht werden, in der Gegenrichtung jedoch fährt es auf dem gleichen Gleis ohne Unterbrechung durch. Auch ist ein Vorbeifahren am roten Signal möglich, wenn man sein Triebfahrzeug in den Rangiergang schaltet.

Die Anwendung der Technik setzt voraus, dass der Fahrzeugdecoder ABC „kann“. Auf viele am Markt befindliche Decoder trifft das zu. Will man ABC flächendeckend einsetzen, sollte man die verfügbaren Decoder vorab entsprechend prüfen.

Der Baustein BM1 ist sehr schlicht aufgebaut. Letztlich besteht er nur aus fünf Leistungsdioden.



In einer erweiterten ABC-Form ist es möglich, dem Triebfahrzeug über den einfachen Brems- bzw. Anhaltebefehl hinaus eine Langsamfahranweisung zu geben. Hierbei wird die Asymmetrie im Gleissignal zusätzlich moduliert, sodass der Decoder einen Unterschied erkennen kann. Dies leistet ein BM2 genanntes Modul von Lenz Elektronik. Eine zusätzliche Fähigkeit des BM2 ist es, korrekte Bremswege für geschobene Züge einzuhalten. Dazu wird die Gleisbelegung geprüft und die Bremsung im richtigen Moment ausgelöst. Die Belegungsinformation kann per zusätzlichem Melder weitergeleitet werden, ein direkter Anschluss an den Lenz-Meldebus ist nicht vorgesehen..

Die Module BM3 und BM3K sind ABC-Anwendungen für Blockstrecken. Sie kombinieren eine Folgeblockauswertung mit einer passenden Signalansteuerung und der ABC-Gleissignalformung. Ein so aufgebauter Blockverkehr läuft automatisch. Es findet keine Steuerung oder Überwachung von Fahrzeugen oder Signalen durch eine übergeordnete Instanz statt. Will man den Belegungszustand der Blöcke an einer anderen Stelle nachvollziehen können, z.B. in einem Gleisbildstellpult, müssen zusätzliche Melder eingebaut werden.

sich befinden. Die Strom-Weg-Methode ist universell und funktioniert für alles, was sich auf den Gleisen befindet.

Viele alte analoge Schaltungen, besonders solche für verdeckte Bereiche wie z.B. Schattenbahnhöfe, funktionieren nach dem Strom-Weg-Prinzip. Das kann man mit digitalen Fahrzeugen auch machen und viele ältere umgestellte Anlagen beweisen, dass es funktioniert. Man handelt sich aber eine ganze Reihe von Nachteilen ein: Beim Wiederanfahren startet die Elektronik in den Triebfahrzeugen von Null an. Loks mit Betriebsgeräusch starten z.B. den Motor, was aus den Tiefen des Schattenbahnhofs schon eigenartig klingen kann.

Eine reguläre Besetztmeldung der Schattenbahnhofsgleise per Strommelder ist nicht möglich, weil keine Spannung am Gleis anliegt. Hat man ein Steuerungsprogramm, das die Zugpositionen mitnotiert, ist das kein Problem. Ansonsten muss man sich selbst merken oder aufschreiben, welches Gleis besetzt ist. Vor allem ist es auch eine Frage der Konsequenz: Wenn man digital fährt und digital steuert, warum sollte man dann nicht auch digital kontrolliert bremsen? Hier gibt es verschiedene Möglichkeiten, die auch miteinander gemischt werden können. Die erste Variante setzt an der Fahrzeugelektronik an.

DER DECODER MACHT DEN JOB

Hier liegen alle Informationen über die aktuelle Geschwindigkeit und Last vor. Wird die fahrzeuginterne Bremsfunktion für einen konstanten Bremsweg aufgerufen, weiß die Elektronik, wie der Motor geregelt werden muss, damit das Fahrzeug exakt am Ende einer festgelegten Strecke zum Halten kommt. Wann gebremst werden soll erfährt die Elektronik unabhängig von den digitalen Daten. Eine kleine analoge Modifikation des Gleissignals durch ein paar Dioden genügt als Information. Sobald diese Veränderung erkannt wird, beginnt die Elektronik mit dem Zielbremsen. Die Technik nennt sich ABC [2]. Die meisten modernen DCC- bzw. Multiprotokoll-Fahrzeugdecoder sind ABC-fähig. Das Bremsen mit

[2] siehe Kasten „ABC-Bremsen“

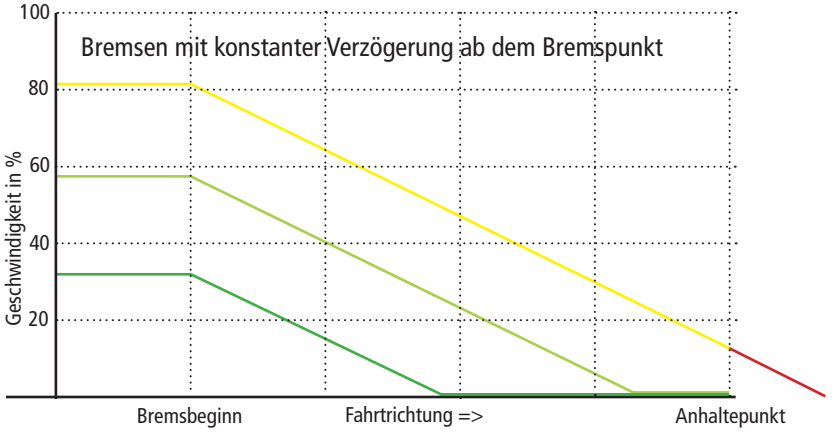
ABC kann parallel zu anderen Verfahren eingesetzt werden. Während der Bremsung und auch im Stillstand danach sind alle Funktionen des betroffenen Triebfahrzeugs schaltbar, da der digitale Datenstrom aufrecht erhalten wurde.

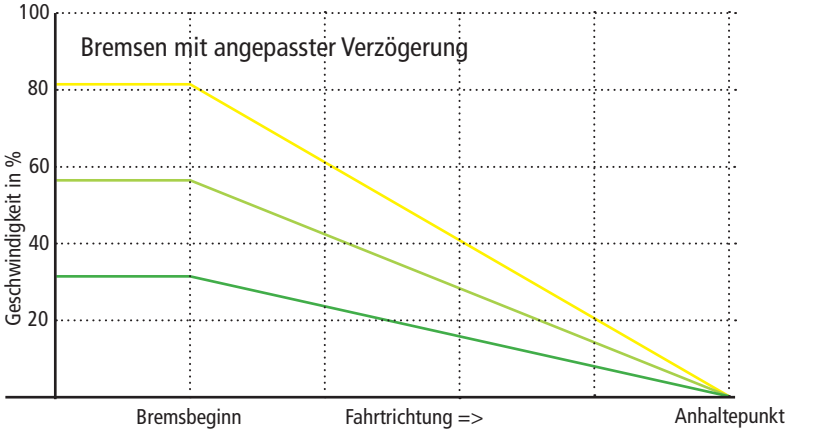
Für die alten Digitalprotokolle MM und Sx gibt es ebenfalls Bremsmethoden, die auf einer umschaltbaren Manipulation des Gleissignals beruhen[3]. Beide Verfahren sind mit Nachteilen behaftet, veraltet und sollten nicht mehr neu aufgebaut werden. Auch nicht mehr zeitgemäß sind klassische DCC-Bremsgeneratoren[4]. Weder erlauben sie ein Zielbremsen noch bleiben die Funktionen der in ihrem Bereich befindlichen Fahrzeuge erreichbar. Letzteres leisten „intelligente" Bremsgeneratoren[5]. Das Zimo-HLU[6]-System gehört auch in diese Kategorie, verwendet aber einen anderen Wirkmechanismus.

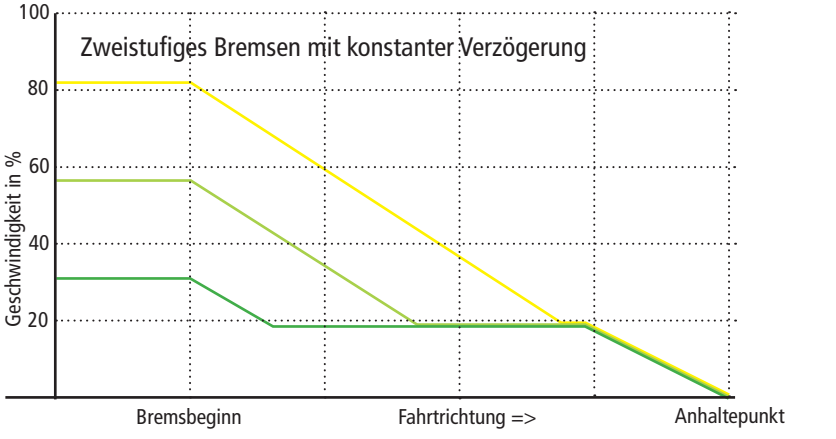
„INTELLIGENTE" BREMSSYSTEME

Bei den „intelligenten" Systemen wird eine Punktbremsung dadurch erreicht, dass in einem ersten Schritt die Geschwindigkeit deutlich reduziert wird. Dabei kommt die eingestelllte Bremsverzögerung zum Tragen. Das Fahrzeug „schleicht" dann weiter bis kurz vor den eigentlichen Anhaltepunkt, wo eine letzte Bremsung bis zum Stillstand erfolgt. Der gewünschte Anhalteort wird bis auf wenige Zentimeter genau getroffen.

Auch Bausteine mit lokaler Steuerintelligenz können Fahrzeuge nach diesem Verfahren abbremsen. Sie greifen allerdings nicht in den vorhandenen







Die obere Variante entspricht dem Bremsgenerator, der ab einer bestimmten Stelle die Gleisversorgung übernimmt. Alle Züge bremsen mit ihrer eingestellten Bremsverzögerung und kommen je nach Geschwindigkeit an sehr unterschiedlichen Punkten zum Halten. Die zweite Variante passt die Bremsverzögerung an. Dies setzt Kenntnisse über Geschwindigkeit und Weg vorraus – wie sie ein Decoder beim ABC-Bremsen hat. Variante drei bremst die Züge auf Schleichfahrt ab, lässt sie so vorrücken und stoppt sie dann exakt am Anhaltepunkt.

3 Stichworte „Gleichspannungsbremsen" für MM und „Bremsdiode" für Sx

4 Im DCC-Protokoll sind Broadcast-Befehle vorgesehen, die von allen Decodern adressunabhängig ausgeführt werden. Wird hier die Fahrstufe „0" gesendet, kommen alle Triebfahrzeuge unter Beachtung der eingestellten Massesimulation zum Stehen.

5 z.B. Bremsgenerator 10779 von Roco oder Digimoba Gleisbaustein 2025, beide für DCC; die Fahrbefehle für die aktiven Fahrzeuge werden aus dem Datenstrom herausgefiltert und gegen solche mit Fahrstufe „0" bei Erhalt aller anderen Informationen ausgetauscht.

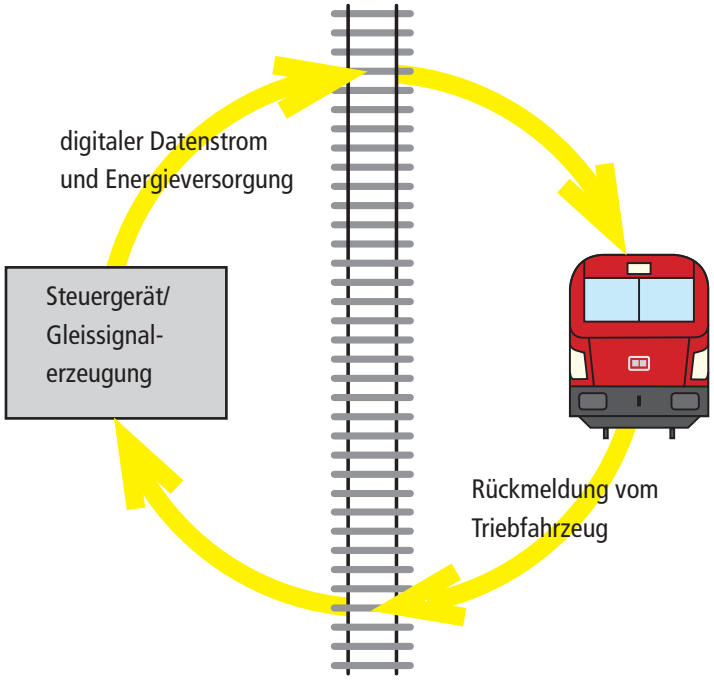
6 HLU steht für „Halt-Langsamfahrt-Ultralangsamfahrt". Bestimmte Füll-Bits im DCC-Signal werden verändert, um einem HLU-fähigen Decoder Informationen zukommen zu lassen. Dieser reduziert die Fahrgeschwindigkeit nach Anforderung auf verschiedene Stufen. Decoder von Zimo, ct-Elektronik und manche von Esu beherrschen das HLU-Bremsen.

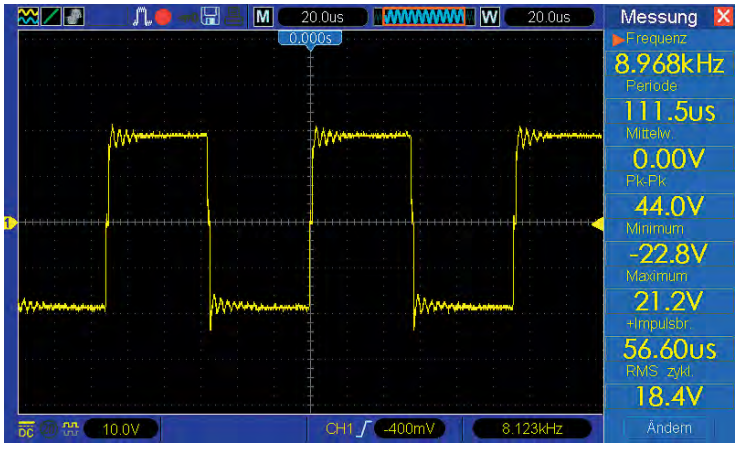
10 002

KAPITEL 5

DIE TECHNIK DAHINTER

Was ist „digital“?





So wird ein recht sauberes digitales Gleissignal auf einem Oszilloskopschirm dargestellt. Die leichten Überschwinnger an den Flanken sind technisch bedingt und tolerierbar.

Noch einmal auf den Punkt gebracht, was digital leistet: Mithilfe passender Steuergeräte werden die Eingaben des Benutzers so an Modellfahrzeuge und Zubehör übermittelt, dass diese unabhängig voneinander auf dem gleichen Gleis fahren und/oder Aktionen durchführen können. Hierzu ist jedes Modellfahrzeug und jedes Zubehörgerät über seine eigene Adresse erreichbar, an die die entsprechenden Fahr- und Aktionsbefehle übermittelt werden. Es ist möglich, das Steuerverhalten an die eigenen Bedürfnisse anzupassen und auch mehrere Fahrzeuge und Geräte gleichzeitig mit einem Steuergerät zu kontrollieren.

Die Kommunikation zwischen Steuergerät und Modellfahrzeug erfolgt auf digitalem Weg.

Der Begriff „digital“ umfasst verschiedene Aspekte. Da gibt es zum einen digitale Signale, also Signale, die so definiert sind: Sie können nur eine begrenzte Anzahl verschiedener Werte annehmen und weisen nur zu bestimmten Zeitpunkten Signaländerungen auf. Zum anderen bedeutet „digital“ eine Technologie, um Signale dieser Art erzeugen, senden, empfangen und auswerten zu können. Bei der Modellbahn liegt das digitale Signal in der Regel als Folge von Spannungspegeln vor, die Kommunikation wird also elektrisch vermittelt. Andere Übertragungsmethoden, wie z.B. eine Funkübertragung, sind bisher Nischenentwicklungen geblieben und haben kaum Verbreitung gefunden.

Man kann sich die digitale Informationsübermittlung ein wenig wie beim Morsen vorstellen: Dort gibt es kurze und lange Töne sowie Pausen. Die eigentliche Information ist in der Abfolge der Töne und Pausen versteckt. Die Bedeutung einer Ton-und-Pausenfolge ergibt sich aus einer Codetabelle. Beim internationalen Morsecode ist z.B. festgelegt, dass ein einzelner langer Ton ein „T“ bedeutet, eine Folge aus viermal kurz jedoch ein „H“.

Der Morsecode – in die Codierung flossen die Erfahrungen aus zwei Jahrzehnten Morsen ein – wurde 1865 auf dem Internationalen Telegraphenkongress in Paris standardisiert. Damit sorgte man endgültig

und weltweit dafür, dass sich Sender und Empfänger über die Bedeutung einzelner Tonfolgen einig waren. Natürlich wären auch andere Codierungen mit einer anderen Zuordnung der Tonfolgen zu Buchstaben und Ziffern denkbar gewesen. Aber auch in diesem Fall wäre es entscheidend für das Funktionieren der Kommunikation gewesen, dass Sender und Empfänger die gleichen Codetabellen verwenden.

Protokolle

Bei der Modellbahn heißt eine solche Codetabelle „Protokoll". Da die Kommunikation über das Gleis erfolgt, spricht man auch vom „Gleisprotokoll". Bei der kleinen Bahn existieren im Gegensatz zum international genormten Morsecode verschiedene Protokolle nebeneinander. Sie wurden von diversen Herstellern zu verschiedenen Zeiten mit unterschiedlichen Schwerpunkten entwickelt. Heutzutage sind die Unterschiede zwischen den Protokollen für den privaten Anlagenbetreiber eher nebensächlich. Zeitgemäße Digitaltechnik für die Modellbahn ist „mehrsprachig" und erzeugt und verarbeitet mehrere Protokolle parallel: multiprotokoll.

Warum überhaupt verschiedene Protokolle? Wie bei vielen neuen Technologien setzte auch bei der Entwicklung der digitalen Modellbahn früh ein Wettbewerb der Ideen und Möglichkeiten ein, der sich mit Aspekten von Firmenpolitik und Marktmacht durchmischte. So fanden im Wesentlichen vier Protokolle Verbreitung, die jeweils auch mit Firmen, Personen und Institutionen verknüpft sind. Dies sind:

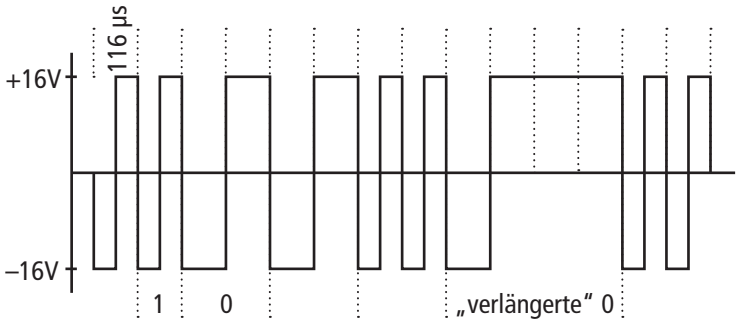
- „Märklin-Motorola", abgekürzt „MM", das einen Teil seines Namens vom Elektronikhersteller Motorola erbte, für dessen Übertragungs-Chips sich Märklin entschied, als man Märklin-Digital Mitte der 1980er entwickelte;
- „mfx", das Digitalprotokoll für Märklin-Systems, das 2004 auf den Markt kam und von Märklin gemeinsam mit der Firma Electronic Solutions Ulm (Esu) entwickelt worden war;
- „Selectrix", abgekürzt „Sx", das 1982 von Trix (als diese noch eine unabhängige Firma waren) vorgestellt wurde und von der Firma Doehler & Haass (D&H) für Trix entwickelt worden war;
- „DCC" (für „digital command control"), das von einem Team um Bernd Lenz, dem Gründer und Chef der Firma Lenz Elektronik, entwickelt worden war und zu Beginn der 1990er von der NMRA, der Modellbahnervereinigung der USA („National Modell Railroad Association"), zur Norm erklärt wurde.

Zum Glück erkannte man schon früh, dass eine Koexistenz der Systeme für alle Beteiligten überlebenswichtig ist. Der europäische Modellbahnerverband NEM übernahm DCC und Selectrix in den eigenen Normenkatalog. MM, als quasi Standard in der Märklin-Welt, wurde zwar technisch entschlüsselt, aber offiziell nicht freigegeben. Märklin tolerierte jedoch, dass andere Anbieter Produkte mit MM-Unterstützung entwickelten. Um mfx gab es eine Zeit lang lizenzrechtliches Gerangel, aber auch hier hat man zu einer friedlichen Koexistenz gefunden.

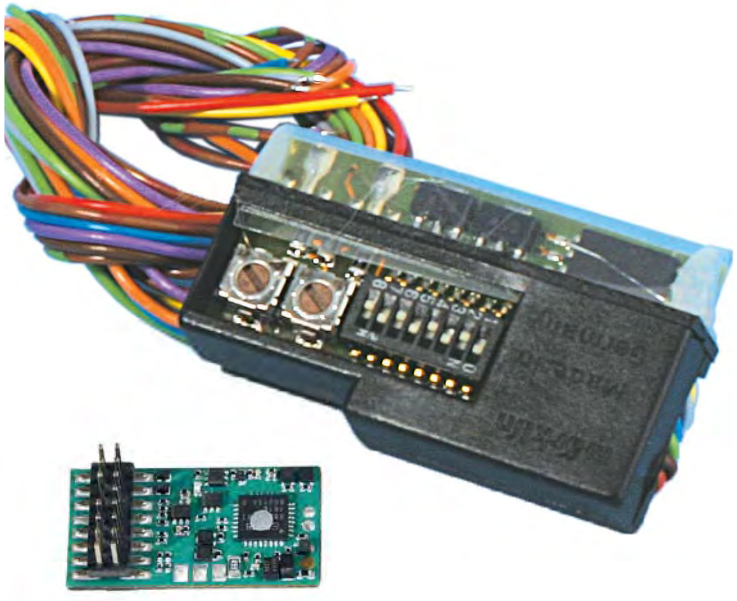
Heutzutage kooperieren alle Anbieter in einer vor einem Vierteljahrhundert noch undenkbaren Weise miteinander. Mit der RailCommunity hat man ein Gremium geschaffen, in dem technische Entwicklungen diskutiert und, wenn möglich, zum Nutzen der ganzen Branche in Normen überführt werden. Der Wettbewerb um Ideen und Kunden findet heute auf anderen Ebenen statt.

ELEKTRISCHE KOMMUNIKATION

Die Befehlsübermittlung zwischen Bediener und Modell auf den Gleisen findet elektrisch statt, wobei die zu übermittelnden Informationen anhand der im Gleisprotokoll festgelegten Regeln digital codiert werden. Auf Senderseite macht dies eine Elektronik, die häufig als „Zentrale" bezeichnet wird. Sie nimmt entgegen, was der Anwender an Bedienschritten vornimmt und generiert dazu passende digitale Zeichen in Form einer Folge von „0" und „1", also binären Bit-Werten. Jede „0" heißt „keine Spannung", jede „1" dagegen „volle Spannung". Es entsteht eine Wechselspannung, die über das Gleis an die Modellbahnfahrzeuge übertragen wird.



Der prinzipielle Aufbau des DCC-Signals basiert auf einem 58-µs-Zeitraster. So lange muss eine negative und dann nochmal eine positive Spannung anliegen, damit ein Decoder dies als logische „1“ erkennt. Doppelt so lange Spannungswerte werden als „0“ interpretiert. Die relativ hohe Spannung von für H0 16 V, für größere Spuren bis 22 V, macht die Datenübertragung recht unempfindlich gegen Störungen. Da die Bitfolgen symmetrisch sind, ist das DCC-Signal eine reine Wechselspannung mit zwei Frequenzen (~8,6 kHz und ~4,3 kHz). Der Gleichspannungsanteil ist also normalerweise Null. Die Spezifikation unterstützt das einseitige Verlängern von 0-Bits. Dadurch entsteht ein Gleichspannungsanteil, der es erlaubt, Fahrzeuge ohne Decoder im Notbetrieb fahren zu lassen.



In der direkten Gegenüberstellung wird der technische Fortschritt deutlich: Oben ein fast 20 Jahre alter Märklin-Decoder aus einem Nachrüstset mit Hochleistungsmotor, unten ein 2019er IntelliDrive2-Decoder von Uhlenbrock mit PluX16-Schnittstelle, der im Vergleich zum älteren Kollegen ein Vielfaches an Dingen beherrscht. Der Abbildungsmaßstab ist ungefähr gleich.

Dort dient diese Wechselspannung, also das digitale Gleissignal, einerseits als Energieversorgung[1] für Antriebe, Lichter, Geräusche und die sonstigen Funktionen, andererseits stecken in den Wechseln der Wechselspannung die Informationen, die übertragen werden sollten. Um diese zurückzugewinnen, müssen die Folgen von „0“ und „1“ passend entschlüsselt, also „decodiert“ werden.

Decoder

Im zweiten Kapitel hatten wir Decoder bereits aus funktionaler Sicht kennengelernt. Hier soll es um ihren technischen Aufbau gehen. Es handelt sich um kleine Elektronikbausteine, die auf der einen Seite das digitale Gleissignal empfangen und auf der anderen alle verschiedenen Elemente eines Modellfahrzeugs ansteuern. Die meisten Triebfahrzeuge bei der Modellbahn sind Lokomotiven, und so spricht man von „Lokdecodern“ (in Abgrenzung zu „Funktionsdecodern“ und „Zubehördecodern“), wenn die Rede von Decodern mit Motoranschluss ist.

In den über dreißig Jahren seit der Markteinführung erster Digitaldecoder hat die Elektronik eine rasante Entwicklung genommen. Immer mehr Leistung wird auf immer kleinerem Raum untergebracht, sodass die Fähigkeiten der Digitaldecoder enorm gestiegen sind und auch weiter von Generation zu Generation steigen. Dabei ist die Entwicklung bei Weitem nicht so halsbrecherisch wie z.B. bei modernen Mobiltelefonen, die mit ihrer Rechenleistung weit über den vor einem Vierteljahrhundert üblichen Bürocomputern der XT- oder auch AT-Klasse liegen.

Sehr zur Enttäuschung mancher Modellbahner ist auch der Preisverfall der Elektronik bei Weitem nicht mit dem bei Computern und Mobiltelefonen vergleichbar. Dafür sind einfach die Stückzahlen

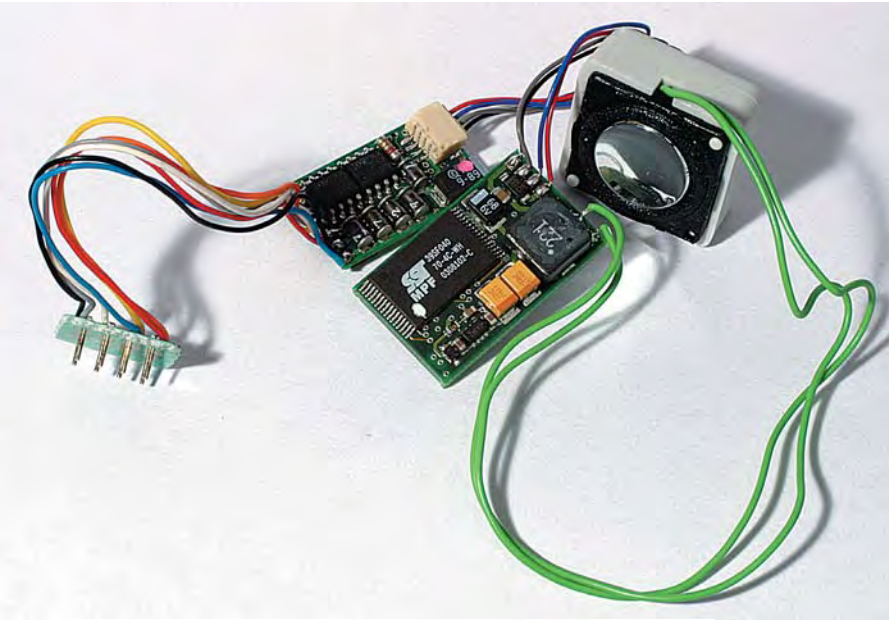
[1] Für die Gleisspannung gelten je nach Baugröße folgende Richtwerte: Z => 9–10 V; N => 11–13 V; TT => 12–14 V; H0 => 13–15 V; 0 => 14–16 V; I => 16–18 V; II => 18–22 V. Die nach Normen maximal zulässige Spannung beträgt 22 V. Eine digitale Gleisspannung ist eine rechteckförmige Wechselspannung von etwa 10 kHz. Normale Multimeter können zur Spannungsmessung nicht verwendet werden!

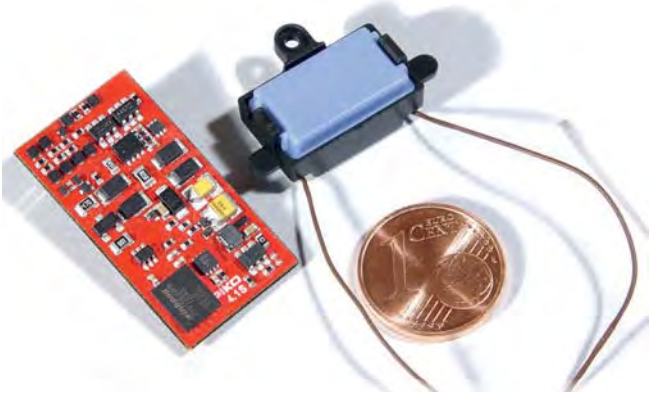
bei der Modellbahnelektronik viel zu klein, als dass sich effizientere Produktionsmethoden hier deutlich auswirken würden. Preisbestimmend ist nach wie vor die auf das Einzelstück umgelegte Ingenieursleistung, die über die Jahre hinweg ungefähr konstant geblieben ist. So kommt es, dass sich niedrigere Elektronikpreise auf der einen Seite und Inflation und gestiegene Löhne auf der anderen Seite ungefähr die Waage halten: Ein Fahrdecoder kostet circa im Bereich 20, 25, 30 Euro, ein Sounddecoder um die 75 bis100 Euro – und das seit vielen Jahren.

Natürlich entwickeln sich die Fähigkeiten der Decoder kontinuierlich weiter. Dieser Prozess ist jedoch fließend und niemand muss Angst vor Fehlinvestitionen haben. Eine Modellbahn mit ihren Loks und Wagen und auch ihrer Landschaft und den Gebäuden ist im privaten Umfeld selten eine homogene Sache, sondern meist das Ergebnis jahrelanger Sammeltätigkeit und kontinuierlicher Beschäftigung mit dem Hobby. Es ist also ganz normal, modernste Technik neben zwanzig oder noch mehr Jahre alten Schätzchen zu finden. Sie alle sollen gemeinsam betrieben werden können, ohne sich gegenseitig zu stören oder gar zu behindern. Möglich wird dies durch die ausgeprägte Betonung der Produktkontinuität auf Seiten der Hersteller und eine starke für Kompatibilität sorgende Normung[2].

Wir hatten schon besprochen, dass viele der Fähigkeiten eines Eisenbahnmodells für den Bediener über Funktionsnummern schaltbar gemacht sind. Aus technischer Sicht wird dies entweder decoderintern (Rangiergang, Geräuscherzeugung etc.) erledigt oder, wie beim Fahrlicht, als elektrischer Anschluss für eine externe Beschaltung ausgeführt. Um die steuernden Elektroniken austauschbar zu machen und

Bedenkt man, dass ein Decoder kein den Moden unterworfenes modernes Gadget wie ein Handy ist, sondern ein langfristiges Investitionsgut, das auch in zehn Jahren nichts von seinen Fähigkeiten verloren hat, relativiert sich der Preis: Drei oder auch zehn Euro im Jahr für die Steuerung einer Lok sind wahrlich nicht viel ...





Noch einmal zwei Decodergenerationen in der Gegenüberstellung: Oben ein rund 15-jähriger Uhlenbrock 76500 mit NEM-652-Stecker, am Decoder angeschlossen ein Susi-Soundmodul und Lautsprecher; unten ein brandaktueller „Smart Decoder 4.1" von Piko mit PluX22-Schnittstelle und zugehörigem Lautsprecher.

[2] Der „Verband der Modelleisenbahner und Eisenbahnfreunde Europas", MOROP, erarbeitet und aktualisiert die Normen Europäischer Modellbahnen (NEM). In diesen Normen sind alle relevanten Festlegungen für ein gutes Zusammenspiel der verschiedenen Modellbahnkomponenten getroffen. Die NEM sind unter www.morop.eu/index.php/de/nem-normen.html jederzeit einsehbar.
Neben dem MOROP (als Interessenvertretung der Anwender) besteht mit der „RailCommunity" ein Verband der Digitalhersteller, der eigene Normen, die RCN, entwickelt und verabschiedet (einsehbar unter www.railcommunity.org/index.php?option=com_content&view=article&id=49&Itemid=61). Beide Verbände arbeiten eng zusammen und übernehmen Normungen vom jeweils anderen.