

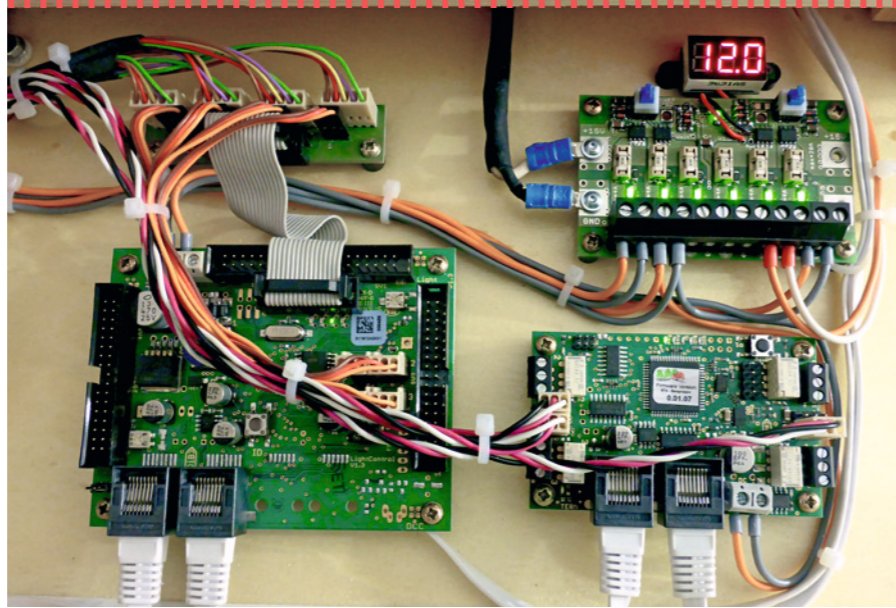
**F**ür eine sehr kleine Heimanlage reichen ein klassischer Trafo oder das digitale Steuergerät aus einer Startpackung sowie handgestellte Weichen, um viel Freude mit der Eisenbahn haben zu können. Bei größeren Anlagen sind hingegen fallweise echte Herausforderungen zu bewältigen. Dies gelingt nur mit vernünftiger Planung und passender Technik. Leider gibt es kein Stück für Stück abarbeitbares allgemeines Rezept hierzu, denn jede Anlage hat ihre eigenen und spezifischen Anforderungen.

Es gibt jedoch ein paar physikalische Größen, die bei jedem Anlagenbau gleich sind und die beachtet werden sollten. Um die sich daraus ergebenden allgemeinen Regeln (oder technisch bezeichnet: „Das Pflichtenheft der digitalen Modellbahn“) soll es im Folgenden gehen:

### ABSCHNITTE BILDEN

Der erste Schritt bei der technischen Planung (wenn also der Gleisplan und das Betriebskonzept etc. feststehen) sollte darin bestehen, die Anlage in Leistungsabschnitte aufzuteilen, die von jeweils einem eigenen Booster (mit eigenem Netzteil!) versorgt werden. Moderne Fahrstrombooster haben ein internes Booster-Management und melden die Betriebsdaten (Spannung, Strom und Temperatur) an ein steuern des PC-System. Damit kann eine dort installierte Software einen Boosterausfall, einen Kurzschluss oder eine drohende Überlastung des Boosterkreises erkennen, Maßnahmen einleiten und somit eine Gesamtabschaltung wegen Überlastung vermeiden. Eine solche Software schickt, wenn dort die Leistungsgrenze erreicht ist, keinen weiteren Zug in den betroffenen Boosterabschnitt, sondern hält ihn vorher an. Es geht natürlich noch einen Schritt intelligenter: Hat das Steuerungsprogramm eine Ausweichroute z.B. über eine Nebenbahn gefunden, kann die Nutzung dieser Umfahrung den Anlagenstillstand verhindern.

Für dieses intelligente Booster-Management ist natürlich ein geschicktes Trennen und Aufteilen von Boosterkreisen die Voraussetzung. Hier kann



### EMV-gerechte Anlagenverkabelung

# SAFETY FIRST!

Wenn man eine neue Modellbahnanlage bauen will, reicht es nicht, Gleispläne und Landschaftskonzepte zu entwickeln. Auch auf technischer Seite gehört eine gut durchdachte (u.a.) Elektrik-Planung dazu, um einen sicheren und störungsfreien Anlagenbetrieb zu erreichen. Christoph Schörner ist einer der Väter von BiDiB, entwickelt professionelle Modellbahn-Elektronik und beschreibt hier aus seiner Praxis heraus, welche Aspekte man bei der Verkabelung besonders beachten sollte, insbesondere wenn man Digital fahren will.

man gut nach dem Standardkonzept „Hauptbahn, Nebenbahn“ oder „rechtes Hauptbahngleis, linkes Hauptbahngleis, Nebenbahn“ vorgehen. Liegt ein Bahnhof oder Schattenbahnhof in der Strecke, sollte man diesen auch nach Ausfall eines Boosters durchfahren können.

Entweder zieht man die Streckenbooster durch den Bahnhof hindurch oder zwei zusätzliche Booster versorgen den Bereich.

Bei der Aufteilung in Boosterabschnitte muss man auch den benötigten Strom betrachten. Dieser ist vom fahrenden Material abhängig, wobei Spurweite, Rauchgeneratoren, Sounddecoder oder beleuchtete Wagen etc. zur Rechnung beitragen. Die Stromentnahme aus einem Booster sollte bei voller Auslastung auf ca. 75% seines Maximalstroms ausgelegt werden. Die restlichen 25% sind Reserve, falls doch

einmal ein Zug mehr in den versorgten Abschnitt gefahren wird.

Grundsätzlich ist immer ein Overhead notwendig, da es beim Überfahren von Boostergrenzen zu einem Lastausgleich zwischen dem bisherigen und dem neuen Booster kommt.

### BLÖCKE WIE BEIM VORBILD

Sind die Boostergrenzen definiert und ist auch die beidseitige Schientrennung im Gleisplan vermerkt, kann mit dem Aufteilen in Streckenblöcke begonnen werden.

Jeder Block besteht aus mindestens einem Fahr- und einem Halteabschnitt mit je einem eigenen Belegtmelder. Für einen sicheren automatischen Betrieb heißt das: Je Block und Fahrtrichtung sind zwei Belegtmelder nötig.

In zahlreichen Foren und Beiträgen wird häufig von einem Einmelderbe-

trieb berichtet. Das ist zwar technisch machbar und es funktioniert im Betrieb mit einer guten Weg-Zeit-Berechnung auch. Aber: Nur ein Melder je Block ist – gerade auch in Situationen, in denen der reguläre Betrieb unterbrochen war – nicht betriebssicher. Im sichtbaren Bereich ist zusätzlich ein Bremsabschnitt mit eigenem Melder einzuplanen. Dieser dritte Melder ermöglicht ein sicheres Zielbremsen auf den gewünschten Punkt auch nach Störungen im Betrieb.

Erfahrungen aus dem Anlagenbau (Spurweite Ho) haben gezeigt, dass ein Haltmelder 30 cm vor dem Signal platziert werden sollte. Bei langen Blöcken (z.B. Paragleise) sollte eine Trennung etwa 150 cm vor dem Signal erfolgen und ein extra Belegtmelder zur Bremsleitung vorgesehen werden. Große Streckenabschnitte, die länger als 600 cm sind, sollten besser in zwei Blöcke bzw. einen Block mit mehreren Meldeabschnitten aufgeteilt werden. Diese größere Auflösung an Positionsmeldungen verbessert die Fehlerkorrektur in der Weg-Zeit-Berechnung des PC-Steuerprogramms und fördert das punktgenaue Anhalten am Signal erheblich.

Weichen sollten bis über das Grenzzeichen hinaus („bis zum Radsatz“) aus den Blöcken herausgenommen und mit einem eigenem Melder ausgerüstet werden. Dies ist sinnvoll, da die Weiche so als betrieblich eigenständige Einheit betrachtet werden kann. Wird ihre Belegung getrennt erfasst, ist ihre Befahrbarkeit nicht von einem (vielleicht sehr langen) daranhängenden Abschnitt abhängig. Stattet man auf der anderen Seite einzelne Weichen oder gar ganze Weichenfelder nicht mit einem Melder aus, fährt ein Zug dort in ein schwarzes Loch. Je nach verwendetem PC-Steuerprogramm kann dies zu unkontrollierten Ereignissen führen. Auch für RailCom-Übertragungen ist es wichtig, dass alle Gleisabschnitte den gleichen Spannungsabfall haben. Sonst kommt es bei der Überfahrt von einem zum anderen Abschnitt zu Nachrichtenverlusten. Hieraus folgt, dass es beim Einsatz von RailCom keine ungemeldeten Abschnitte geben darf.

Zusätzliche Meldeabschnitte ziehen allerdings ein Mehr an Meldern nach

sich und erhöhen den finanziellen Aufwand für die Elektronik. Eine spätere Einbringen der Abschnitttrennungen und z.B. ein Nachverkabeln der Weichen ist jedoch meist schwierig. Es ist daher sinnvoll, die „Vollausstattung“ zumindest durchzuplanen. In der ersten Ausbaustufe werden dann manche Abschnitte auf der Kabelseite sinnvoll zusammengefasst. So kann man auch testen, wie weit die eigene Toleranz geht: Gelegentliche Blocksperrungen, weil ein durchgerutschter Zug den Ablauf beeinträchtigt? Oder doch ein automatischer Anlagenbetrieb, bei dem nur selten ein Eingreifen notwendig ist?

### EMV-SICHERE VERKABELUNG

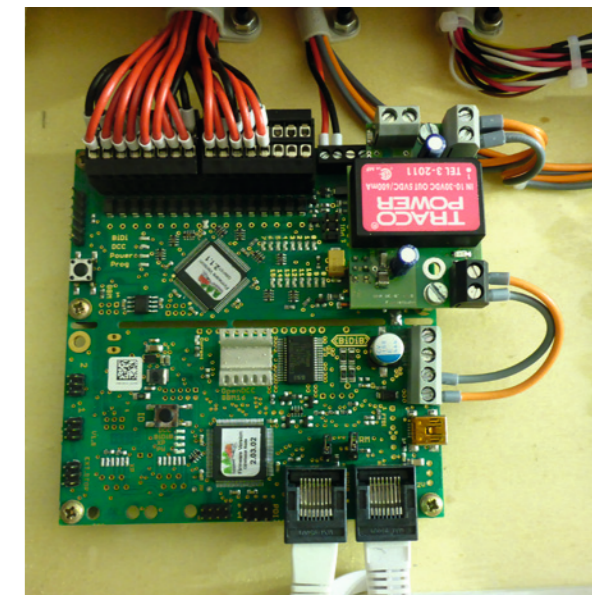
Bei Ausstellungsanlagen muss man mit Zuschauern rechnen. Die haben fast alle ein Handy dabei. Das hat zur Folge, dass in Ausstellungsräumen ein ziemliches Mobilfunkaufkommen herrscht. Hier werden viele Leser denken: „Ich baue keine Ausstellungsanlage und befinde mich alleine in meinem Modellbahnraum.“

Aber ist das wirklich so? Mit dem Aufkommen der ständigen Vernetzung unterhalten sich inzwischen viele Medien über Bluetooth, WLAN oder andere Nahfeld-Kommunikationen. Das wirkt sich im privaten Hobbyraum genau so aus wie im Vereinsheim bei der Großanlage. Eine EMV-sichere Verkabelung vom Gleis ausgehend bis zum angrenzenden Bussystem kann deshalb modellbahnlebensnotwendig sein.

Ein Gleis- bzw. Meldeabschnitt sollte mehrfach eingespeist werden und dies mindestens an beiden Enden des Meldeabschnitts. Ich wurde schon häufig gefragt, warum ich diesen großen Aufwand empfehle. Der Grund ist, dass Neusilber (das Material der Schienen) eine relativ schlechte Leitfähigkeit hat, die sich als Spannungsverlust (ohmscher Verbraucher) bemerkbar macht. Die Schienenverbinder, die Gleisstücke untereinander verbinden, sind weitere Schwachstellen, die zudem erst mit zunehmendem Alter zum Vorschein kommen. Deswegen sollte der Fahrstrom mindestens alle 1,5 m von einer unter dem Gleis parallel laufenden Leitung eingespeist werden. Alle DCC-Leitungen sind als verdrehte Leitung zu

### KEHRSCHELFEN

Man findet auf dem Markt Kehrschleifenmodule, die bei einem Micro-Kurzschluss umschalten und Module, die nach dem Sensor-Prinzip arbeiten. Im digitalen Betrieb sollten Kehrschleifen kurzschlussfrei durchfahren werden. Auch ein Micro-Kurzschluss ist eine ständige und wiederholte Belastung für Schiene, Radkontakte und elektrisches Material. Je nach Kurzschlussdauer und Reaktionszeit des Boosters führt ein Micro-Kurzschluss auch zu dessen Abschalten. Diese Unsicherheit und die unnötige Materialbelastung hat auf einer betriebssicheren Modellbahnanlage nichts zu suchen.



Ein OpenDCC-Gleisbelegtmelder besteht aus einem Leistungsteil mit Boosterfunktion für die RailCom-Detektion und dem Sensorteil für die Belegungserkennung. Oben werden bis zu 16 verdrehte Adernpaare für bis zu 16 Gleisanschlüsse montiert. Die mit „Traco Power“ beschriftete Schaltregler-Platine erzeugt eine lokale 5-V-Spannung aus der höheren allgemeinen Versorgungsspannung (orange-grau).

verlegen, auch die Leitungen vom Melder zum Gleis. Der Sternpunkt für das gemeinsame „Gleis-DCC“ ist beim Melder zu platzieren. Mit diesem Vorgehen vermeidet man Störüberlagerungen bei den Hin- bzw. Rückströmen.

Der Spannungsabfall am Gleis soll die Funktion der Fahrzeuge nicht beeinflussen. Hier spielt auch der Querschnitt des Leiters eine entscheidende

de Rolle. Für die Spurgröße Ho ist ein Spannungsabfall von 0,5 V bei 1 A als tolerierbar eingestuft, deshalb ist ein empfindlicher Querschnitt für die Leitungspaare vom Rückmelder zum Gleis 0,8 mm<sup>2</sup>. Für diese Größe sind die Anschlussklemmen der meisten Gleisbelegmelder vorkonfektioniert.

Die korrekte Verkabelung endet jedoch nicht bei den Gleisbelegmeldern, sondern setzt sich mit der Wahl des richtigen Bussystems fort. Die gesammelten Informationen von den Belegmeldern und die Steuerbefehle von der Zentrale müssen sicher an ihren Zielen ankommen. Die am Markt verfügbaren Steuer- und Meldebuss sind unterschiedlich auf Funktion und Sicherheit ausgerichtet. Hat man noch die Wahl, sollte man sich für ein Bussystem entscheiden, das auf einer industriereprobten und störresistenten Technik, z.B. RS485, basiert. Genau dies hat uns unter anderem dazu bewegt, den Modellbahnbus „BiDiB“ zu entwickeln.

## STROMVERSORGUNG DER ANLAGE

Dieses sehr heikle Thema, bei dem man als Nicht-Techniker viel falsch machen kann, würde ich in zwei Kategorien aufteilen: einfach und schwierig.

Einfache Version: Handelt es sich um eine kleine Tischanlage und möchte man kein technisches Risiko eingehen, verwendet man am besten Steckernetzteile mit einer maximalen Leistung von 60 W. Diese Netzteile können kleinen Versorgungsbereichen zugeteilt und jeweils direkt mit den Baugruppen verbunden. Bei einer 12-V-Gleichspannung liefert ein solches Netzteil einen maximalen Strom von 5 A. Dieser Strom ist im Netzteil mit einer internen Kurzschlussüberwachung abgesichert. Die Baugruppen werden mit einem Querschnitt von 1,2 mm<sup>2</sup> verbunden. Bei einem Kurzschluss verkraften die Kabel dann die anfallende Verlustleistung. Die Richtlinien für eine Brandsicherung sind somit erfüllt.

Schwieriger wird es, wenn eine größere Anlage versorgt werden soll. Hier sind nach dem beschriebenen Konzept eine ganze Reihe solcher 60-W-Schaltnetzteile im Einsatz und meist parallel mit der gleichen Steckdose verbunden. Jedes Schaltnetzteil produziert beim

Einschalten kurzzeitig einen hohen Anlaufstrom auf der 230-V-AC-Seite. Je nach Ausgangsleistung kann das ein Impuls von über 70 A sein. Starten nun mehrere Schaltnetzteile gleichzeitig, lösen die Leitungsschutzschalter (Sicherung in der Hausverteilung) aus.

Bei einer Großanlage kann das Problem des Anlaufstroms durch Verwen-

ständnis der Technik erfordert. Eine Missachtung der Absicherungsmaßnahmen kann zu einer thermischen Überbelastung von Leitungen führen, was im schlimmsten Fall in einen Anlagenbrand mündet: Ein Kabel könnte heiß werden und entflammbares Material in der Umgebung mehr und mehr erwärmen, bis sich dieses – am besten

### WIEVIELE SCHALTNETZTEILE AN EINER SICHERUNG?

Mit einer einfachen Formel lässt sich die Anzahl der Schaltnetzteile berechnen, die maximal an einem Leitungsschutzschalter (Sicherung) anliegen dürfen:

$$\text{Anzahl der Netzteile} = (I_{\text{nom}} * M * k) / (I_{\text{max}})$$

- $I_{\text{nom}}$  = Nominalstrom der Sicherung. Zum Beispiel bei einer Sicherung B16 ist der  $I_{\text{nom}} = 16$  A.
- $M$  = Multiplikationsfaktor in Abhängigkeit der Schaltcharakteristik der Sicherungskategorie (für B-Klassen ist es der Faktor 3, für C-Klassen 5 und für D-Klassen 10).
- $k$  = Sicherheitsfaktor, der in Abhängigkeit des Schaltverhaltens der Sicherung und des Einschaltstromimpulses von den Herstellern der Sicherungen und Leitungsschutzschalter angegeben ist. Dieser Faktor ist in den Datenblättern des Sicherungsherstellers enthalten.

Für ein Beispiel nehmen wir einen Einschaltstromimpuls von 600 µs und einen sich daraus ergebenden k-Faktor von 4,2 an. Der  $I_{\text{max}}$ , der beim Einschalten entsteht, lässt sich messen. In der Regel ist der Wert auch dem Datenblatt des Herstellers des Schaltnetzteils zu entnehmen. Für das Beispiel gilt der Wert  $I_{\text{max}} = 30$  A.

Somit ergibt sich folgende Rechnung:

$$\text{Anzahl der Netzteile} = (16 * 3 * 4,2) / 30 = 6,72$$

Das bedeutet, dass man maximal sechs Schaltnetzteile mit einem Einschaltstrom von  $I_{\text{max}} = 30$  A und einer Impulsdauer von 600 µs an eine Sicherung der Klasse B16 anschließen darf, um ein Auslösen der Sicherung beim Einschalten der Netzteile zu vermeiden.

Eine Möglichkeit, die Anzahl der Schaltnetzteile zu erhöhen, besteht unter anderem in der Auswahl einer anderen Sicherungskategorie (beispielsweise Klasse C oder D). Das geht aber nur, wenn der Gesamtplan der Stromverteilung dieses auch zulässt. Einfacher ist es hingegen, die Netzteile auf weitere Sicherungsautomaten zu verteilen oder getrennt voneinander (naheinander) einzuschalten.

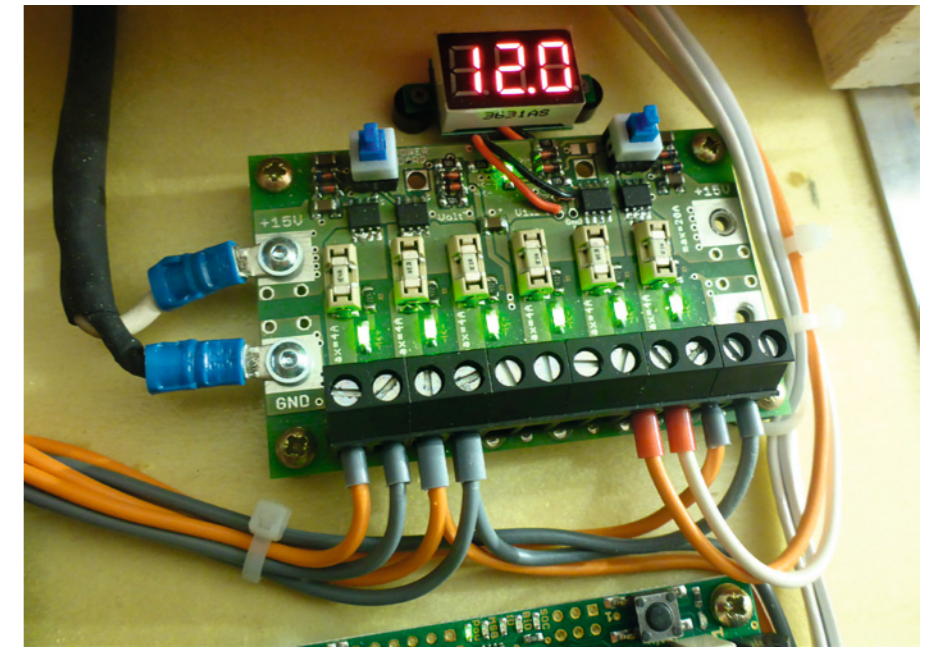
derung von größeren Schaltnetzteilen mit einem höheren Ausgangsstrom reduziert werden. Das scheint im ersten Moment widersinnig, ist es aber nicht, denn der Anlaufstrom hängt nur in geringerem Maße von der Ausgangsleistung eines Netzteils ab, sondern primär von der verwendeten Schaltungstechnik. Hochwertige Schaltnetzteile verfügen z.B. über eine Leistungsfaktorkorrektur (PFC), die das störende Verhalten verringert. In Summe heißt das: Weniger Netzteile verwenden, diese dafür hochwertiger und leistungsstärker.

Solche Netzteile weisen oftmals keine geeignete Absicherung gegen den Kurzschlussfall auf. Ein solcher Fehlerfall muss vom Anwender getrennt abgesichert werden, was etwas Ver-

spät Nachts in einer unbeaufsichtigten Stunde – entzündet und es so zum offenen Feuer auf der Anlage kommt. Man sollte dem Thema „Kurzschlussicherung“ also mit einer gewissen Achtung begegnen. In unserem OpenDCC-Arbeitskreis wurde ein Powerboard entwickelt, das als Stromverteiler für Gleichspannungen im Modellbahnbereich eingesetzt werden kann. Es können damit mehrere Baugruppen (z.B. GBM oder LightControls) aus einem gemeinsamen, leistungsstarken Schaltnetzteil versorgt werden, ohne dabei Probleme mit thermischen Lasten, wie sie besonders im Kurzschlussfall auftreten, zu bekommen. Das Powerboard kann bis zu sechs Ausgänge bereitstellen, die über vier

MOSFET-Schalter in zwei Gruppen geschaltet werden können. Jeder Ausgang ist einzeln abgesichert und kann dabei je nach verwendeter Sicherung zwischen 0,25 A und 4 A Dauerstrom bereitstellen. Der maximale Eingangsstrom beträgt 20 A. Das Powerboard verteilt Gleichspannungen zwischen 12 und 24 V. Durch das Softstartverhalten werden die Ausgänge zeitlich verzögert zugeschaltet, sodass Baugruppen mit einer großen Eingangskapazität keine zusätzlichen Stromspitzen hinterlassen. Die Versorgungs- und Masseleitungen zu den einzelnen Verbrauchern sollten entsprechend dem jeweils über die Sicherung eingestellten Strom dimensioniert sein und in allen Bereichen denselben Querschnitt aufweisen.

Unabhängig vom Powerboard ist es empfehlenswert, bei einer größeren Anzahl von Steckernetzteilen (Großanlage/Vereinsanlage), einen gemeinsa-



Das Powerboard verteilt den Strom von einer kräftigen Quelle auf bis zu sechs einzeln und unterschiedlich abgesicherte Verbraucher. (<https://www.fichtelbahn.de/powerboard.html>)

### WARUM VERDRILLEN?

Ist das Verdrillen wirklich erforderlich? Die Antwort lautet: „Technisch Nein, es geht auch ohne. Aber wenn man es richtig machen will, dann Ja!“ Warum ist das so? Strom fließt immer im Kreis, d.h. jeder Strom hin zu einem Verbraucher (z.B. einer Lok) hat auch irgendwo sein Gegenstück vom Verbraucher zur Stromquelle (in unserem Fall der Booster). Fließender Strom verursacht ein Störfeld, dessen Auswirkungen u.a. von der zwischen Hin- und Rückleiter eingeschlossenen Fläche bestimmt werden. Daher ist es sehr sinnvoll, diese Fläche zu minimieren. Beispiel: Werden die Gleisabschnitte nur einseitig eingespeist und über die Gegenseite und einen gemeinsamen Leiter zurück zum Booster verbunden, entspricht die eingeschlossene Fläche einem großen Teil des Boosterbereichs. Realisiert man eine EMV-gerechte Verkabelung und speist die Gleisanschlüsse beidseitig mit verdrehten Zuleitungen, ist die eingeschlossene Fläche nur der Abstand zwischen den beiden verdrehten Leitungen: Das Störfeld ist minimiert.

men sekundärseitigen Masseanschluss aller Netzteile mit einem Querschnitt 2,5 mm<sup>2</sup> separat mit dem Haus-Erder zu verbinden. Dadurch werden die Leckströme der Entstörkondensatoren in den Schaltnetzteilen abgeleitet und führen nicht zum Aufbau einer bei Berührung der Anlage merkbaren Spannung. Wenn man die aufgeführten Punkte bei der Anlagenverkabelung beachtet, sollte einem erfolgreichen Hobby mit viel Spaß im sicheren Anlagenbetrieb nichts im Wege stehen.

Christoph Schörner

## Unsere Fachhändler im In- und Ausland, geordnet nach Postleitzahlen

Modellbahn-Center • **EUROTRAIN**® Idee+Spiel-Fachgeschäft • Spielzeugring-Fachgeschäft

FH = Fachhändler • RW = Reparaturdienst und Werkstätten • H = Hersteller • A = Antiquariat • B = Buchhändler • SA = Schauanlagen

**10589 Berlin**  
**MODELLB. am Mierendorffplatz GmbH**  
 Mierendorffplatz 16  
 Direkt an der U7 / Märklin-Shop-Berlin  
 Tel.: 030 / 3449367 • Fax: 030 / 3456509  
 www.Modellbahnen-Berlin.de  
**FH EUROTRAIN**

**42289 Wuppertal**  
**MODELLBAHN APITZ GMBH**  
 Heckinghauser Str. 218  
 Tel.: 0202 / 626457 • Fax: 0202 / 629263  
 www.modellbahn-apitz.de  
**FH**

**58135 Hagen-Haspe**  
**LOKSCHUPPEN HAGEN HASPE**  
 Vogelsanger Str. 36-40  
 Tel.: 02331 / 404453 Fax: 02331 / 404451  
 www.lokschuppenhagenhaspe.de  
 office@lokschuppenhagenhaspe.de  
**FH/RW**

**71720 Oberstenfeld**  
**SYSTEM COM 99**  
**Modellbahn-Zentrum-Bottwartal**  
 Schulstr. 46  
 Tel.: 07062 / 9788811  
 www.Modellbahn-Zentrum-Bottwartal.de  
**FH/RW EUROTRAIN**

**40217 Düsseldorf**  
**MENZELS LOKSCHUPPEN**  
**TÖFF-TÖFF GMBH**  
 Friedrichstr. 6 • LVA-Passage  
 Tel.: 0211 / 373328  
 www.menzels-lokschuppen.de  
**FH/RW EUROTRAIN**

**Erfolgreich werben**  
**und trotzdem sparen:**  
  
**Digitale Modellbahn**  
 Tel.: 081 41/534 81-153

**67146 Deidesheim**  
**moba-tech**  
**der modelleisenbahnladen**  
 Bahnhofstr. 3  
 Tel.: 06326 / 7013171 • Fax: 06326 / 7013169  
 www.moba-tech.de • info@moba-tech.de  
**FH/RW**

**75339 Höfen**  
**DIETZ MODELLBAHNTECHNIK**  
**+ ELEKTRONIK**  
 Hindenburgstr. 31  
 Tel.: 07081 / 6757  
 www.d-i-e-t-z.de • info@d-i-e-t-z.de  
**FH/RW/H**