

Booster: Strom, Signale und Sicherheit für den Digitalbetrieb

Jede digitale Anlage braucht mindestens einen Booster (oder Leistungsverstärker, wie manche Hersteller ihn nennen). In vielen Digitalzentralen ist bereits ein Booster enthalten, der für die Versorgung einer kleineren Anlage ausreicht (z. B. Märklin Control Unit, Märklin Central Station, Uhlenbrock Intellibox, Fleischmann Twin Center, ESU Ecos, Viessmann Commander). Spätestens dann, wenn der Digitalbetrieb erweitert wird, werden Booster in Form externer Geräte erforderlich. Wird eine Zentrale eingesetzt, in der kein Booster integriert ist, gehört ein externer Booster zur digitalen Grundausstattung (z. B. Tams MasterControl, Lenz LH-Serie, ROCO Multimaus).

Was machen Booster?

Booster haben im wesentlichen drei Aufgaben:

1. Den Strom liefern, der zum Betrieb der digital angesteuerten Loks und Weichen und der sonstigen digitalen Verbraucher benötigt wird.
2. Die Spannung ans Gleis bringen, so dass die digitalen Fahr- und Schaltbefehle bei allen Fahrzeug- und Zubehördecodern ankommen.

3. Im Falle eines Kurzschlusses auf der Anlage (z. B. beim Entgleisen eines Fahrzeugs) dafür sorgen, dass der Strom abgeschaltet wird und Schäden an den Schienen und den Fahrzeugen verhindert werden.

Booster = Booster?

Jeder Booster von jedem Hersteller erfüllt die drei genannten Aufgaben. Wegen der spezifischen Anforderungen, die sich aus der Kombination mit den anderen Digitalkomponenten ergeben, gibt es verschiedene Boostertypen. Hinzu kommen individuelle Anforderungen, z. B. an den Strombedarf oder auf Grund der Betriebsabläufe auf der Anlage, die Unterschiede zwischen den verschiedenen angebotenen Boostern erklären.

Die "richtigen" Booster einzusetzen, ist für einen störungsfreien Digitalbetrieb Grundvoraussetzung. Ein "falscher" Booster funktioniert eventuell gar nicht, kann aber

auch erhebliche Probleme bereiten, für die er nicht auf Antrieb als Verursacher in Betracht kommt. Flackernde Zugbeleuchtungen oder ungleichmäßige Fahrgeschwindigkeiten gehören zu den harmlosen Störungen, für die Booster verantwortlich sein können. Booster können aber auch schwere Unfälle oder Schäden verursachen, wenn die Digitalsignale nicht korrekt übertragen werden oder Kurzschlüsse an den Trennstellen zwischen den Boostern auftreten. Reagieren die Booster bei einer Zugentgleisung nicht "richtig" oder zu spät, können Schäden an Schienen oder Fahrzeugen die Folge sein.

Strom

Booster, die in Digitalzentralen integriert sind, liefern zwischen ca. 1,5 A (kleine Digitalsteuerungen) und bis zu 5 A Strom und mehr (große Digitalzentralen). Sollen mehr als 2 bis 3 Züge gleichzeitig fahren und in mehreren Wagen die Innenbeleuchtungen eingeschaltet werden, sind die Grenzen der integrierten Booster kleiner Zentralen schnell erreicht und mindestens ein zusätzlicher Booster wird benötigt.

Externe Booster werden mit 2,5 A, 3 A oder 5 A, aber auch mit 10 A oder mehr Ausgangsstrom angeboten. Die Idee, leistungsstarke Booster für die Versorgung großer Abschnitte oder gar der kompletten Anlage einzusetzen, liegt nahe, verspricht diese Lösung doch einen minimierten Montageaufwand. Auch die Tatsache, dass die Trennstellen zwischen den Boosterabschnitten beim Überfahren Probleme

bereiten können, lässt den Gedanken an die Verringerung dieser Trennstellen auf das Minimum verlockend erscheinen.

Die Idee hat nur einen entscheidenden Haken: Um den hohen Ausgangsstrom des Boosters ausnutzen zu können, muss der Abschaltstrom (oder anders formuliert: die Kurzschluss-Empfindlichkeit) entsprechend heraufgesetzt werden.

Der Abschaltstrom, bei dessen Erreichen die Anlage aus Sicherheitsgründen abgeschaltet werden sollte, ist umso geringer, je kleiner die Nenngroße der Anlage ist. Das kommt nicht von ungefähr: Um sich vorzustellen, wie der filigrane Radschleifer eines N-Fahrzeugs nach einem Kurzschluss auf einer Anlage aussieht, die durch einen 5 A-Booster versorgt wird (und nachdem 4,99 A Strom hindurchgeflossen sind), bedarf es nur wenig Phantasie.

Nenngroße	empfohlener Abschaltstrom
Z und N	2 A
TT und H0	3 A
0, I und II	5 A

Gleisspannung

Nenngröße	empfohlene Gleisspannung
Z	12 V
N und TT	14 V
H0	18 V
0, I und II	22 – 24 V

Lokomotoren sind – abhängig von der Nenngröße – für den Betrieb mit einer bestimmten Gleisspannung ausgelegt. Werden sie mit einer deutlich höheren als der empfohlenen Gleisspannung angesteuert, werden die Motoren stärker belastet und die Kohlen stärker abgenutzt, HF-Störungen und Bürstenfeuer werden verstärkt.

Lokdecoder sind in der Regel für eine Gleisspannung von maximal 24 V ausgelegt,

manche Minidecoder nur für eine Gleisspannung von 18 V. Eine geringe Überschreitung der maximal zulässigen Spannung um 1 bis 2 V führt meistens nicht zur Beschädigung der Lokdecoder, jedoch in jedem Fall zu einer deutlichen Erwärmung. Bei einer ungünstigen Einbausituation mit schlechter Wärmeabführung können Schäden an den angrenzenden Kunststoffteilen der Lok die (unerwünschte) Folge sein.

Geregelte und unregelte Booster

Geregelte Booster halten die Spannung im angeschlossenen Streckenabschnitt konstant. Das heißt, die Gleisspannung am Boosterausgang entspricht dem Wert, der für den Booster angegeben oder (bei einstellbaren Boostern) eingestellt ist – unabhängig vom aktuellen Stromverbrauch.

Die Spannung, die beim Einsatz unregelter Booster am Gleis anliegt, hängt zum einen

direkt von der Nennspannung des eingesetzten Trafos ab. Zum anderen ist die Gleisspannung vom aktuellen Stromverbrauch abhängig. Die Spannungsschwankungen, die sich aus Veränderungen beim Stromverbrauch ergeben, führen dazu, dass die Fahrgeschwindigkeiten der Loks und die Helligkeit der Beleuchtungen variieren.

EXKURS:

Nennspannung des Trafos ≠ Gleisspannung

Bei geregelten Boostern regelt die Elektronik die Ausgangsspannung auf einen festen Wert. Beim Einsatz unregelter Booster hängt die Gleisspannung vom Trafo und vom Stromverbrauch ab. Sie ist nicht identisch mit der Nennspannung des Trafos. Was steckt dahinter?

1. Die Nennspannung des Trafos wird als Effektivspannung U_{eff} angegeben, es handelt sich also um den Mittelwert. Für die Gleisspannung ist jedoch die Spitzenspannung U_s von Bedeutung. Daher gilt: $U_s \cong 1,4 \times U_{eff}$

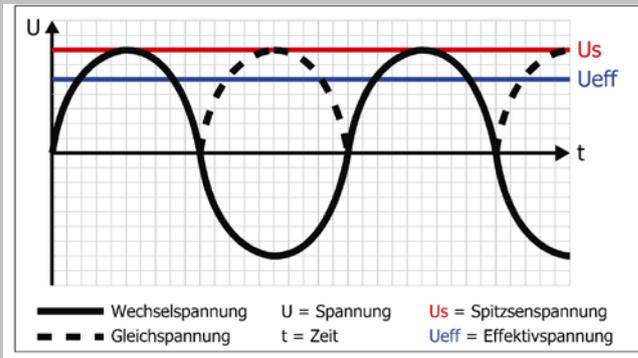


Abb.: Nennspannung und Spitzenspannung

Die maximale Gleisspannung entspricht der Spitzenspannung U_s , die ca. 1,4 x so hoch ist wie die auf dem Trafo angegebene Effektivspannung U_{eff} .

Anmerkung: Mathematisch korrekt, aber schwieriger zu rechnen wäre:

$$U_s = \sqrt{2} \times U_{eff}$$

Dem nebenstehenden Beispiel liegt der Einsatz eines H0-typischen Trafos mit 54 VA zu Grunde. Die Gleisspannung, die in Kombination mit einem unregelmäßigem Booster im Normalbetrieb tatsächlich anliegt, ist mit 24 – 25 V jedoch deutlich höher als die empfohlene Gleisspannung von 18 V - mit den möglichen negativen Auswirkungen.

Daher die Empfehlung:

Grundsätzlich nur geregelte Booster einsetzen!

2. Der Booster wandelt die Trafospannung in eine gleichgerichtete Wechselspannung um. Dabei gehen etwa 2 V von der Spitzenspannung verloren.
3. Dieser errechnete Wert gilt jedoch nur, wenn der auf dem Trafo angegebene Maximalstrom verbraucht wird, bei einem 54 VA-Trafo mit 18 V Nennspannung also 3 A. Ein Stromverbrauch von 3 A in einem Boosterabschnitt wird im Normalbetrieb selten dauerhaft erreicht, gewöhnlich liegt der Wert deutlich niedriger, bei bis zu wenigen mA. Die tatsächliche Trafospannung und damit auch die tatsächliche Gleisspannung liegt daher um ca. 1-2 V höher als errechnet, im Beispiel also bei 24 bis 25 V.

Aus 1. bis 3. ergibt sich bei Einsatz eines Trafos mit 18 V Nennspannung rein rechnerisch folgende Gleisspannung:

$$18 \text{ V} \times 1,4 - 2 \text{ V} + 2 \text{ V} = 25,2 \text{ V}$$

Die tatsächlich am Gleis anliegende Spannung beim Einsatz unregelmäßigem Booster lässt sich nach folgender vereinfachter Rechenformel ermitteln:

$$\text{Gleisspannung} \cong 1,4 \times \text{Nennspannung des Trafos}$$

Datenformate

Welches Datenformat das digitale Signal hat, das der Booster übertragen soll, ist egal, könnte man meinen. Schließlich soll der Booster das Signal ja nur übertragen... Das ist jedoch nicht so, da die Signalformen der heute gebräuchlichen Datenformate DCC, Motorola, mfx und Selectrix sich voneinander unterscheiden.

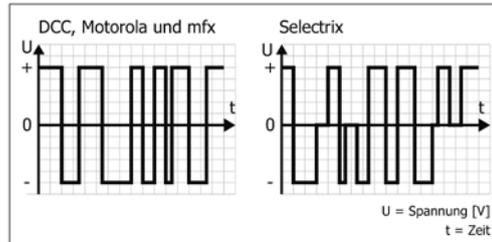


Abb.: Digitale Signalformen

Die Signalform, die für die Formate DCC, Motorola und mfx verwendet wird, ist eine Unterform der für Selectrix verwendeten Signalform. Daher können Booster für das Selectrix-Format grundsätzlich auch für die Übertragung von Signalen im DCC-, Motorola- und mfx-Format eingesetzt werden.

Da Selectrix sich in vielen weiteren Details und Lösungsansätzen von den Formaten DCC, Motorola und mfx unterscheidet, empfehlen wir Selectrix-Modellbahnern grundsätzlich, die Digitalkomponenten der Selectrix-Spezialisten einzusetzen. Im folgenden beschränken wir uns auf die Merkmale von Boostern für die am weitesten verbreiteten Formate DCC, Motorola und mfx.

Rückmeldeformate RailCom und mfx

Booster spielen eine Rolle bei den Rückmeldesystemen, die die Schienen zur Übertragung der Rückmeldedaten verwenden, also bei RailCom und mfx. Dabei besteht die Aufgabe der Booster **nicht** darin, die Rückmeldedaten von den Decodern in Richtung Zentrale zu übertragen, denn im Booster gilt grundsätzlich eine Einbahnstraßenregelung: von der Zentrale zum Decoder. Was haben Booster also mit der Rückmeldung zu tun?

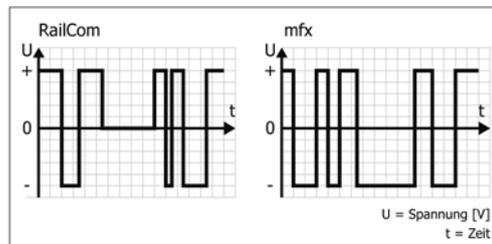


Abb.: Signalformen von Rückmeldeformaten

Beide Systeme benötigen zur Übertragung der Rückmeldedaten eine Lücke im Datenstrom, der von der Zentrale zu den Decodern gesendet wird. Zum Auslesen, Verarbeiten und Weiterleiten der Daten werden spezielle Empfänger (sogenannte Detektoren) an den Schienen angeschlossen.

RailCom: Für die Rückmeldung der Daten über RailCom wird die Lücke im Datenstrom, das sogenannte RailCom-Cutout, vom Booster erzeugt. Daher müssen für Anlagen (oder Abschnitte), in denen RailCom eingesetzt wird, spezielle RailCom-taugliche Booster eingesetzt werden.

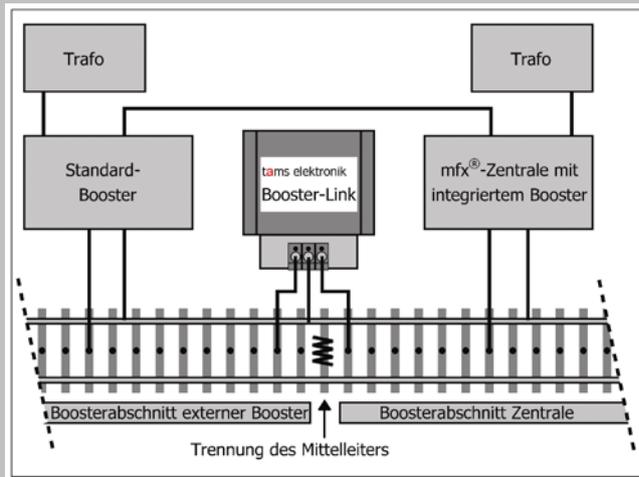
mfx: Die Rückmeldung über mfx ist so konzipiert, dass die Zentrale die Lücke für die Übertragung der Rückmeldedaten bereitstellt. Die Daten, die von den Decodern gesendet und über die Schienen übertragen werden, werden von einem Detektor, der in der Zentrale integriert ist, empfangen und verarbeitet.

Spezielle mfx-Booster

Sind ausser dem in der mfx-Zentrale integrierten Booster weitere Booster nötig, muss der Übertragungsweg für die Rückmeldedaten (= die Schienen) unterbrochen werden, da die einzelnen Boosterabschnitte elektrisch voneinander getrennt werden müssen. Die Konsequenz: Loks, die sich in Streckenabschnitten befinden, die über externe Booster versorgt werden, können sich nicht bei der Zentrale anmelden.

Zur Lösung dieses Problems wurden mittlerweile spezielle mfx-Booster mit eingebauten Detektoren entwickelt, die die Daten über einen schienenunabhängigen Datenbus an die Zentrale weiterleiten. Als Alternative zu dieser Lösung bietet sich der Einsatz der von uns entwickelten Booster-Links an.

EXKURS:
Booster-Link



Funktionsweise des Booster-Links:

An der notwendigen Trennstelle zwischen den Boosterabschnitten ist die Weiterleitung der mfx-Rückmeldedaten an die Zentrale unterbrochen. Loks im Bereich des externen Boosters können sich daher nicht bei der Zentrale anmelden. Zur Übertragung der Rückmeldedaten über die Trennstelle hinweg kann z.B. ein Booster-Link eingesetzt werden, der die Daten unabhängig von den Boostern überträgt.

Booster-Schnittstellen

Die meisten Digitalzentralen haben eine Schnittstelle zum Anschluss von Boostern. Weit verbreitet sind die 3-polige DCC-konforme Schnittstelle und die 5-polige Märklin-kompatible Schnittstelle.

<p>DCC-konform</p> <p>Pin-Belegung: 1 (C) Daten 2 (D) Masse 3 (E) Kurzschluss-Rückmeldeleitung</p>	<p>Märklin-kompatibel</p> <p>Pin-Belegung: 1 Kurzschluss-Rückmeldeleitung 2 Masse 3 Versorgungsspannung Booster (+) 4 Booster "ein / aus" 5 Daten</p>
--	---

Abb.: Boosterschnittstellen

Die beiden Booster-Schnittstellen unterscheiden sich in ihrer Funktionsweise wesentlich voneinander. Märklin-kompatible Booster werden über ein eigenes Signal ein- und ausgeschaltet, das über einen Extra-Pin am Booster-Ausgang der Zentrale bereitgestellt wird. DCC-Booster werden eingeschaltet, sobald ein Datensignal am Booster-Ausgang der Zentrale anliegt. Am Ausgang der Märklin-kompatiblen Schnittstelle liegt ein TTL-Signal an, das vom Booster in das eigentliche Gleissignal umgewandelt wird. An DCC-konformen Boosterschnittstellen liegt das Gleissignal direkt an.

Bei DCC-Zentralen entspricht das Ausgangssignal dem Gleissignal. Am Boosterausgang von Motorola-Zentralen liegt ein TTL-Signal an, das vom Booster in das Gleissignal umgewandelt werden muss.

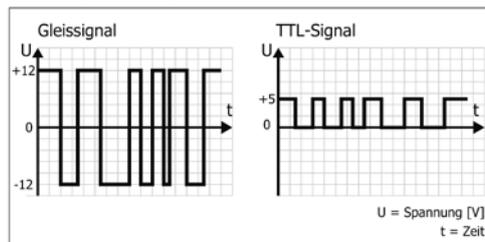


Abb.: Datensignale am Boosterausgang der Zentrale

Die meisten Digitalzentralen sind für den Anschluss eines bestimmten Boostertyps ausgelegt. Das gilt grundsätzlich für Zentralen, in denen ein Booster integriert ist. Damit ist die Auswahl zusätzlicher Booster in der Regel auf die Booster des passenden Typs oder auf kompatible Allround-Booster beschränkt.

Bei einigen Zentralen, in denen kein Booster integriert ist, kann der Booster-Ausgang so konfiguriert werden, dass der Anschluss sowohl Märklin-kompatibler als auch DCC-konformer Booster möglich ist (z. B. MasterControl).

Sonderformen von Boosterschnittstellen

Neben den beschriebenen 3- und 5-poligen Schnittstellen gibt es noch Sonderformen: Die von ROCO für die Lokmaus und die Multimaus konzipierte Boosterschnittstelle ist technisch eine DCC-Boosterschnittstelle, durch die Verwendung einer speziellen Anschlussbuchse ist der Einsatz von Boostern, die nicht über einen entsprechenden Stecker verfügen (also von Boostern anderer Hersteller) jedoch schwer möglich.

Technisch gesehen sind die mfx-Boosterschnittstellen von mfx-Zentralen eine Besonderheit. Diese sind für den Anschluss von mfx-tauglichen Boostern entwickelt worden und haben neben den eigentlichen Boosteranschlüssen einen weiteren Anschluss für die mfx-Rückmeldeleitung. Anmerkung: Die meisten mfx-Zentralen haben auch eine "normale" Boosterschnittstelle, an die Standard-Booster, die nicht mfx-tauglich sind, angeschlossen werden.

Schnittstelle und Datenformat

Die Schnittstelle (Märklin-kompatibel oder DCC-konform), über die der Booster an die Zentrale angeschlossen wird, hat keinerlei Bedeutung für das Datenformat, mit dem die Decoder angesteuert werden. Die Schnittstelle muss lediglich zur Zentrale kompatibel sein.

Manche Zentralen haben verschiedene Booster-Schnittstellen (z.B. Tams MasterControl). Bei diesen Zentralen muss ggf. die Kurzschluss-Polarität entsprechend der verwendeten Schnittstelle eingestellt werden.

EXKURS:

DCC-Booster an eine Motorola-Zentrale anschließen

Das müsste doch gehen: Einen DCC-konformen Booster mit 3 Anschlusspins an die 5-polige Märklin-kompatible Schnittstelle der Zentrale anschließen. Da bleiben halt 2 Pins der Boosterschnittstelle frei...

So geht es leider nicht. Zum einen deshalb nicht, weil am Ausgang der Märklin-kompatiblen Schnittstelle ein TTL-Signal anliegt, das vom Booster in das Gleissignal umgewandelt werden muss. DCC-konforme Booster können das nicht, können also keine für die Decoder verständlichen Signale übertragen. Auch die Kurzschluss-Rückmeldung funktioniert bei den beiden Boostertypen auf unterschiedliche Art und Weise. (Mehr zum Thema Kurzschlussrückmeldung im gleichnamigen Abschnitt weiter unten.)

Das geht: DCC-konforme Booster können an den Gleis Ausgang von Zentralen mit Märklin-kompatibler Boosterschnittstelle angeschlossen werden. Am Gleis Ausgang liegt das "richtige" Gleissignal an, das der DCC-Booster verstärken kann. Nach diesem Prinzip werden alle Allround-Booster angeschlossen. Diese bieten auch eine Lösung für das Problem der unterschiedlichen Kurzschluss-Rückmeldung der beiden Boostertypen.

ABER ACHTUNG! Der in der Digitalsteuerung integrierte Booster sollte dann nicht mehr zur Versorgung der Anlage mit Fahrstrom verwendet werden. Zu den Gründen siehe "Booster richtig einsetzen", Abschnitt "Mischen impossible".

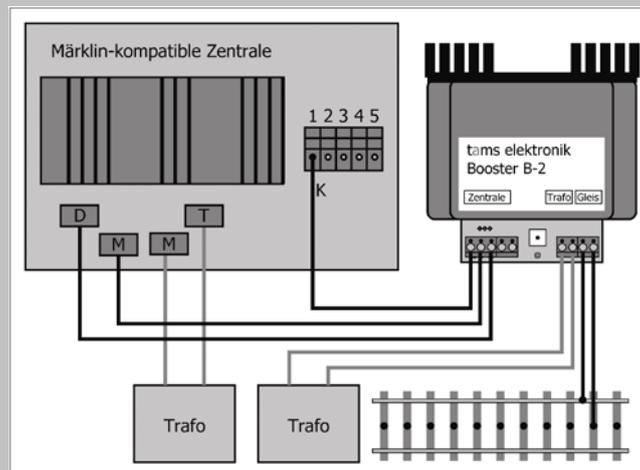


Abb.: Anschluss eines Allround-Boosters an eine Märklin-Zentrale.

Der Allround-Booster ist intern wie ein DCC-Booster aufgebaut und versteht daher das TTL-Signal, das am Boosterausgang der Zentrale anliegt, nicht. Der Booster wird daher an den Gleis Ausgang der Zentrale angeschlossen, der Märklin-kompatible Boosterausgang der Zentrale bleibt (bis auf ggf. den Anschluss für die Kurzschluss-rückmeldung) frei.

EXKURS:

Booster an Steuerungen ohne Schnittstelle anschließen

Die meisten kleinen Digitalsteuerungen (z. B. Märklin Mobile Station, Fleischmann Profi-Boss, Liliput Bachmann Dynamis, ESU Navigator) haben keine Schnittstelle für den Anschluss eines externen Boosters. Reicht der Strom, den die integrierten Booster liefern können (ca. 1,5 bis 2 A Strom), nicht aus, ist der Anschluss externer Booster dennoch möglich.

Grundsätzlich kommen nur DCC-konforme Booster für den Anschluss an diese Digitalsteuerungen in Frage. Diese Booster erwarten

am Eingang ein Gleissignal (im Gegensatz zu Märklin-kompatiblen Boostern, die ein am Eingang anliegendes TTL-Signal erst in ein Gleissignal umwandeln) und können daher direkt an den Gleis Ausgang der Digitalsteuerung angeschlossen werden.

ABER ACHTUNG! Der in der Digitalsteuerung integrierte Booster sollte dann nicht mehr zur Versorgung der Anlage mit Fahrstrom verwendet werden. Zu den Gründen siehe "Booster richtig einsetzen", Abschnitt "Mischen impossible".

Interner Aufbau

Die Art und Weise, wie die Schnittstellen der beiden gängigen Boostertypen funktionieren, hängt direkt mit ihrem internen Aufbau zusammen.

Massebezogene Booster

Märklin-kompatible Booster sind massebezogen, d.h. die Booster und die komplette Modellbahnanlage einschließlich aller Digital-komponenten und Trafos haben eine gemeinsame Masse. Die positive (+) und die negative Spannung (-) werden abwechselnd (entsprechend dem von der Zentrale gesendetem TTL-Signal) an die Schiene gelegt. Da die Halbleiter, die für die negative und die positive Spannung zuständig sind, einen unterschiedlichen Spannungsabfall haben, entstehen am Ausgang Spannungsdifferenzen bezüglich Masse von bis zu 1 V und damit ein unsymmetrisches Gleissignal. Das macht

einen zuverlässigen Einsatz des ABC-Bremsverfahrens unmöglich.

Die durchgängige Masseverbindung in diesem System ermöglicht technisch sehr einfache Rückmeldesysteme, wie z. B. das s88-Rückmeldesystem. Unabsichtlich geknüpfte Masserverbindungen bergen jedoch die Gefahr von Brummschleifen, die Auswirkungen auf die Funktionsweise von anderen Komponenten haben können. Daher müssen alle Komponenten in massebezogenen Systemen sehr sorgfältig abgeschlossen werden.

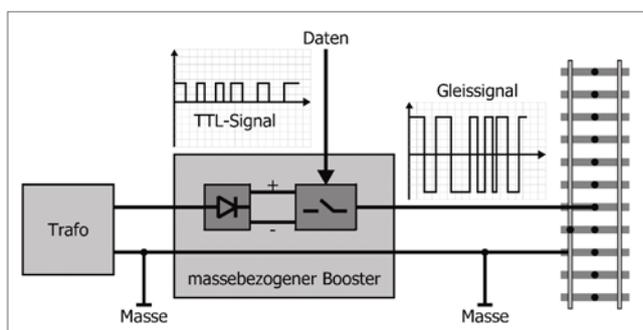


Abb.: Interner Aufbau massebezogener Booster

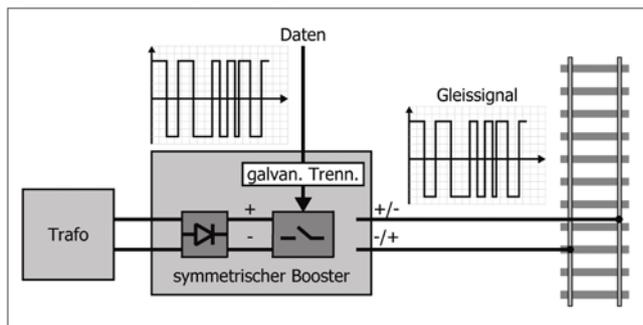
Die digitalen Daten liegen am Eingang des Boosters als TTL-Signal an und steuern einen Schalter innerhalb des Boosters. Dieser erzeugt am Ausgang abwechselnd eine positive und eine negative Gleisspannung.

Booster mit galvanischer Trennung (symmetrische Booster)

Bei DCC-konformen Booster sind die Ein- und Ausgänge durch einen Optokoppler galvanisch voneinander getrennt, es besteht also keine elektrische Verbindung zwischen Zentrale und Boosterausgang. Das Ausgangssignal entsteht durch die ständige Umpolung der Trafospannung nach den Vorgaben des digitalen Steuersignals aus der Zentrale. Da am Ausgang immer die selbe Spannung anliegt (abwechselnd positiv und negativ), ist die Ausgangsspannung am Boosterausgang DCC-konformer Booster 100 % symmetrisch.

abschnitt beruht. Positiver "Nebeneffekt" der galvanischen Trennung ist das Fehlen einer durchgängigen Systemmasse. Brummschleifen werden damit wirkungsvoll verhindert.

Und wenn doch eine gemeinsame Systemmasse benötigt wird, z.B. zum Einsatz des s88-Rückmeldesystems? In diesem Fall muss der Masseanschluss des s88-Rückmelders mit einer Schiene verbunden werden. Genauso wie beim Einsatz massebezogener Booster ist auch bei dieser Variante von entscheidender Bedeutung, dass die Masseverbindung zur "richtigen" Schiene hergestellt wird.



Interner Aufbau symmetrischer Booster

Die digitalen Daten steuern einen Schalter innerhalb des Boosters. Dieser wechselt entsprechend dem eingehenden Signal die Polarität der Gleisspannung, die am Boosterausgang anliegt.

Sicherheit bei Überlast und Kurzschluss

Übersteigt der Stromverbrauch im angeschlossenen Streckenabschnitt den maximalen Strom des Boosters, muss der Booster abgeschaltet werden, um die elektronischen Bauteile vor Beschädigungen zu schützen.

Tritt ein Kurzschluss auf, z. B. wenn ein Zug entgleist, ist schnelles Handeln - sprich Abschalten des Stroms notwendig, um Schäden an den Schienen, den Fahrzeugen oder den Boostern zu verhindern. Da die Reaktionszeit des Modellbahners in der Regel zu lang wäre, übernimmt der Booster diese Aufgabe.

Technisch gesehen wird in beiden Fällen am Boosterausgang mehr Strom gefordert als der Booster liefern kann. Die Begriffe "Überlastschutz" und "Kurzschlusssicherung" bezeichnen daher das selbe, allerdings sind zwei Varianten gebräuchlich:

1. Kurzschlussrückmeldung an die Zentrale: Der Booster meldet die Überschreitung des maximalen Stroms über die Kurzschluss-

Rückmeldeleitung an die Zentrale, woraufhin diese die komplette Anlage abschaltet. Der Modellbahner kann nun die Ursache für den Kurzschluss beheben oder den Stromverbrauch im Streckenabschnitt verringern und die Digitalzentrale wieder einschalten. Der Betrieb auf der gesamten Anlage geht da weiter, wo er zuvor unterbrochen wurde.

2. Interne Kurzschlussabschaltung: Bei Überschreitung des maximalen Stroms schaltet der Booster den Strom für den angeschlossenen Boosterabschnitt selbsttätig ab. Auf der übrigen Anlage läuft der Betrieb weiter. Manche Booster haben für diese Art der Kurzschlusssicherung eine automatische Wiedereinschaltung: Der Booster prüft in kurzen Zeitabständen, ob der Kurzschluss oder die Überlast noch vorliegen und schaltet den Strom automatisch wieder an, wenn der Strom wieder unterhalb des maximal zulässigen Stroms liegt.

Kurzschlussrückmeldung und Boostertypen

DCC-konforme Booster stellen bei Überlast am Gleis Ausgang eine Verbindung zwischen den Pins 2 und 3 (Kurzschlussrückmeldeleitung und Masse) der Booster-Schnittstelle her. Bei Märklin-kompatiblen Boosters liegt bei Überlast am Pin 1 (Kurzschlussrückmelde-

leitung) der Boosterschnittstelle eine Spannung von 5 V an. Die Polarität der Anschlüsse für die Kurzschlussrückmeldeleitung ist also bei den beiden Boostertypen genau entgegengesetzt.

EXKURS: Welche Kurzschluss-Sicherung?

Im Falle eines Kurzschlusses kann entweder über eine Meldung an die Zentrale die gesamte Anlage oder über eine interne Kurzschlussabschaltung im Booster nur der betroffene Boosterabschnitt abgeschaltet werden. Bei manchen Boostern kann zwischen beiden Varianten gewählt werden. Welche Art der Kurzschlusssicherung ist die "richtige"?

Alle Abschnitte, in denen nach Fahrplan gefahren wird, sollten grundsätzlich bei einem Kurzschluss automatisch von der Zentrale ausgeschaltet werden. Die Konsequenzen einer Weiterführung des automatisierten Betriebes bei einem ausgeschalteten Boosterabschnitt wären unabsehbar.

Für den Betrieb in einem BW, das über einen eigenen Booster versorgt wird, bietet sich der

Einsatz der Booster-internen Kurzschlussabschaltung an. Schließlich bringt eine Unterbrechung des Betriebes auf der gesamten Anlage keinerlei Vorteile beim Beheben eines Rangierunfalls im BW.

Werden unterschiedliche Booster zum Fahren und zum Schalten eingesetzt, ist für die Fahr-Booster der Anschluss der Kurzschluss-Rückmeldung zur Zentrale nicht empfehlenswert. Schneidet z. B. eine Lok eine Weiche auf und löst dadurch einen Kurzschluss aus, könnte die Weiche nicht mehr geschaltet (und damit der Kurzschluss nicht behoben werden), wenn die Zentrale auch den Schalt-Booster ausgeschaltet hätte.

Komfort

Über die Erledigung der eigentlichen Aufgaben hinaus bieten einige Booster den einen oder anderen Zusatznutzen:

Einstellmöglichkeiten: Die Gleisspannung und der Abschaltstrom können bei einigen Boostern individuell eingestellt und an den individuellen Bedarf angepasst werden.

Anzeigen: Bei manchen Boostern werden Betriebszustände und / oder Fehlermeldungen durch LEDs oder Displays angezeigt. Das kann im Betrieb sehr hilfreich sein, um Fehler und ihre Ursachen schnell zu erkennen.

Separate Ausgänge: Booster mit einem hohen Ausgangsstrom von mehr als 5 A sind wenig sinnvoll, da der Abschaltstrom auch bei

großen Spurweiten 5 A in der Regel nicht übersteigen sollte. Booster mit 10 A können dann sinnvoll eingesetzt werden, wenn der Ausgangsstrom auf mehrere, separat abgesicherte Ausgänge verteilt wird.

Kombination mit Zusatzgeräten: In manchen Boostern sind zusätzliche Schaltungen, wie z.B. Kehrschleifenmodule, integriert.

Ein- und Ausschalten mit Weichenbefehlen: Für diese Funktion wird dem Booster eine Weichenadresse zugewiesen. Wird ein Weichenstellbehl an die betreffende Adresse gesendet ("geradeaus" oder "Abzweig"), wird der Booster ein- oder ausgeschaltet.

Booster und PC-Steuerung

Wird der Booster in einer PC-gesteuerten Anlage eingesetzt, können einige Zusatzfunktionen die Betriebssicherheit erhöhen:

Kurzschlusswarnung: Als Grundlage für ein PC-gesteuertes Boostermanagement wird bei Überschreiten eines Grenzwertes, der niedriger ist als der eingestellte Abschaltstrom, eine Kurzschlusswarnung an den PC gesendet. Die PC-Steuerung kann dann (wenn ein Kurzschluss durch Überlastung droht) z.B. Wagenbeleuchtungen im überlasteten Boosterkreis ausschalten.

Watchdog: Die Zentrale bzw. die PC-Software sendet bei dieser Funktion in periodischen Abständen einen Weichenstellbefehl an eine dem Booster zugeordnete Weichenadresse. Sobald der Booster diese Befehle nicht mehr empfängt, schaltet er sich automatisch ab.

Booster richtig einsetzen

Beim Einsatz und Anschluss von Boostern lauern diverse Fallen, die – tappt man hinein – den Digitalbetrieb zum Frusterlebnis machen. Selbst banale Kleinigkeiten wie die Auswahl der Anschlussleitungen können große Auswirkungen haben...

Mischen impossible?

Die meisten Hersteller empfehlen, nur Booster eines Herstellers und Typs zu verwenden und nicht unterschiedliche Booster miteinander auf einer Anlage zu mischen. Sie begründen ihre Empfehlung damit, dass sonst beim Überfahren der Übergänge zwischen den Abschnitten Probleme auftreten können:

- Kurzschlüsse an Boostern, Schienen, Rädern und Schleifern.
- Störung der Datenübertragung zu den Decodern.

Was steckt dahinter: Eine Maßnahme zur Kundenbindung und sonst nichts?

Boostertypen

Grundsätzlich können die beiden Boostertypen "Märklin-kompatibel" und "DCC-konform" nicht miteinander kombiniert werden, da sie auf unterschiedliche Art und Weise ein- und ausgeschaltet werden. Auch die unterschiedliche Funktionsweise der Kurzschlussrückmeldung der beiden Boostertypen verhindert in der Regel die Kombination.

Ausgleichsströme: Beim Überfahren der Trennstellen zwischen den Boosterabschnitten entstehen immer Ausgleichsströme, die Kurzschlüsse an Boostern, Schienen, Rädern und Schleifern verursachen können, wenn sie ausreichend groß sind. Die Ausgleichsströme sind umso größer, je unterschiedlicher die Ausgangsspannungen der Booster sind. Kleine (aber ungefährliche) Ausgleichsströme treten selbst bei zwei baugleichen Boostern vom selben Hersteller auf, da diese auf Grund von Bauteiltoleranzen in der Praxis niemals völlig gleiche Ausgleichsspannungen erzeugen.

Durchlaufzeit der digitalen Daten: Die digitalen Daten benötigen eine bestimmte Zeit, um im Booster verarbeitet zu werden und vom Dateneingang des Boosters zum Ausgang zu gelangen. Diese Durchlaufzeit ist bei jedem Booster bauartbedingt und auf Grund von Bauteiltoleranzen anders. Die Unterschiede können so groß sein, dass beim einen Booster noch ein negatives Signal am Ausgang anliegt, während ein anderer Booster, der von der selben Zentrale angesteuert wird, bereits ein positives Signal am Ausgang hat. Sobald die Trennstelle zwischen den beiden Boosterabschnitten von einer Lok überbrückt wird, kann auf diese Weise in den dann miteinander verbundenen Boosterabschnitten "Datensalat" entstehen, der von den Fahrzeugdecodern falsch interpretiert wird und z.B. zu folgenden Phänomenen führt:

- Lokdecoder verstehen das Signal als Impuls zum Umschalten in den Analogmodus. Da sich die Loks jedoch auf der Digitalstrecke befinden, rasen sie mit Höchstgeschwindigkeit los.
- Lokdecoder lesen aus dem fehlerhaften Datensignal einen Fahrbefehl für ihre Adresse heraus und setzen Loks wie von Geisterhand in Bewegung.
- Funktionen wie Beleuchtung oder Sound werden ein- oder ausgeschaltet, ohne dass entsprechende Schaltbefehle an der Zentrale eingegeben wurden.

Die unterschiedlichen Datendurchlaufzeiten stellen häufig ein Problem dar, wenn in Digitalzentralen integrierte Booster zusammen mit externen Boostern, die über den Gleis Ausgang angeschlossen werden, die Anlage mit Fahrstrom versorgen sollen. Die Unterschiede in der Durchlaufzeit der Daten sind hier besonders groß. Daher ist von dieser Konstellation grundsätzlich abzuraten. Positiver Nebeneffekt der auf den ersten Blick "teuren" Lösung (weil ein Booster ungenutzt bleibt) ist, dass die Zentrale vor Beschädigungen geschützt wird. Denn die meisten Zentralen gehen kaputt, weil der integrierte Booster "was abkriegt".

Gleiswippen: In 3-Leiteranlagen können Gleiswippen die Probleme lösen, die beim Überfahren der Trennstellen entstehen. Sie verhindern, dass die Trennstelle beim Überfahren durch die Lok überbrückt wird. Sie funktionieren jedoch nicht bei Loks mit zwei Schleifern, bei Loks, deren Decoder ihren Dienst bei einer kurzen Stromunterbrechung quittieren oder bei Loks, die die Trennstelle mit sehr geringer Geschwindigkeit überfahren.

FAZIT:
Mischen ? Jein!

Eine Anlage sollte möglichst mit Boostern einer Bauart und eines Herstellers ausgestattet werden.

Booster verschiedener Bauart und von verschiedenen Herstellern können auf einer Anlage eingesetzt werden, wenn sie z.B. für voneinander komplett getrennte Anlagenteile (z.B. Normalspurstrecke und Schmalspurstrecke) oder getrennt für die Aufgaben "Schalten" und "Fahren" eingesetzt werden.

Werden Booster über den Gleis Ausgang an eine Zentrale oder eine kleine Digitalsteuerung angeschlossen, sollten der integrierte und der externe Booster grundsätzlich nicht gemeinsam für die Versorgung der Anlage mit Fahrstrom eingesetzt werden. Der in der Zentrale integrierte Booster kann sinnvoll zum Schalten der Zubehördecoder in einem eigenen Boosterkreis eingesetzt werden.

Der richtige Trafo:

Nicht nur die Leistung zählt!

Ohne Trafo wäre ein Booster: ... nichts. Für Märklin-kompatible Booster wird grundsätzlich ein Wechselspannungstrafo benötigt. In Kombination mit DCC-konformen Boostern kommen ebenfalls Wechselspannungstrafos

zum Einsatz, es können jedoch auch Trafos mit integriertem Gleichrichter oder Schaltnetzteile verwendet werden. Bei der Auswahl des Trafos gilt es jedoch noch einige andere Merkmale zu beachten.

Leistung: Die Leistung eines Trafos wird in "VA", also Volt x Ampere angegeben. Die Mindest-Trafoleistung erfolgt nach der Formel:

$\begin{aligned} & \text{Gewünschte Gleisspannung [V]} \\ & \times \text{ gewünschter Abschaltstrom [A]} \\ & = \text{Mindest-Trafoleistung [VA]} \end{aligned}$
--

Beispiel für eine H0-Anlage:

Gewünschte Gleisspannung: 18 V

Gewünschter Abschaltstrom: 3 A

→ Mindest-Trafoleistung: 18 V x 3 A = 54 VA

Spannung: Bei der Auswahl eines passenden Trafos sollte auf die Frage "Darf's auch mehr Nennspannung sein?" ein klares "Nein" folgen. Das gilt nicht nur für die Kombination mit ungeredelten Boostern (s. Abschnitt "Geregelte und ungeredelte Booster"), sondern grundsätzlich für alle Booster.

Hintergrund: Die Leistung, die aus der Differenz zwischen der tatsächlichen Trafo-(Spitzen-)Spannung und der gewünschten Gleisspannung und dem entnommenen Strom entsteht, muss der Booster als Wärme abführen.

Ist diese Leistung zu hoch, überhitzt der Booster und schaltet infolge Übertemperatur ab - vorausgesetzt er hat eine Übertemperaturabschaltung. Hat er diese nicht, sind Schäden am Booster die Folge.

Gewünschte Gleisspannung	Empfohlene Trafospannung
10 – 12 V	12 V
12 – 15 V	15 V
15 – 18 V	16 V
18 – 22 V	18 V
> 22 V	20 V

Strom: Der Trafo muss mindestens so viel Strom liefern wie der Booster am Ausgang bereitstellen **kann**, oder anders formuliert: Der Trafostrom muss mindestens so hoch sein wie der Abschaltstrom des Boosters bei einem Kurzschluss oder Überstrom.

Hintergrund: Bei einem Kurzschluss oder einem zu hohen Stromverbrauch wird der maximale Strom des Boosters am Ausgang überschritten. Beträgt der Abschaltstrom des

Boosters z. B. 5 A, der maximale Strom des Trafos jedoch nur 3 A, kann der Booster den Überstrom nicht erkennen und folglich auch den Strom nicht abschalten, um die elektronischen Bauteile im Boosters, die Fahrzeuge und die Schienen vor Schäden zu schützen.

⚠ Bei dieser Konstellation besteht Brandgefahr !

Den Strombedarf ermitteln

Wie viel Strom verbrauchen die Digital-Komponenten auf der Anlage? Mit den folgenden Werten kann der benötigte Boosterstrom der Anlage abgeschätzt werden:

eine Lok	Spur N: 600 mA Spur H0: 800 mA \geq Spur 0: 1 A
eine Wageninnenbeleuchtung	50 - 200 mA
ein sonstiger Verbraucher (z.B. Geräuschmodul):	100 - 300 mA
Reserve für Weichen	10 bis 15 % der ermittelten Gesamtsumme

Wenn der Strom in einem Boosterabschnitt nicht ausreicht, macht sich der Booster schnell bemerkbar. Die Überlastsicherung reagiert und der Booster schaltet ab. Bei einer richtig eingestellten Überlastsicherung werden Schäden am Booster als Folge zu hohen Stromverbrauchs also wirkungsvoll verhindert.

Wenn die Überlastsicherung nicht richtig eingestellt ist oder zu spät reagiert, sieht das allerdings anders aus... (Mehr zum Thema in "Booster, Abschnitt Sicherheit bei Überlast und Kurzschluss" und im Abschnitt "Der richtige Trafo").

Anlage in Abschnitte unterteilen

Jedem Booster, der für die Versorgung der Anlage gebraucht wird, wird ein eigener Streckenabschnitt zugeordnet, für den er zuständig ist. Die einzelnen Boosterabschnitte müssen strikt elektrisch voneinander getrennt werden. Sind die Ausgänge verschiedener Booster miteinander verbunden, können Ausgleichsströme in die Ausgänge zurückfließen. Bereits recht niedrige Rückströme reichen aus, um die Halbleiter in den Boostern zu beschädigen.

Die Streckenabschnitte, die im Endausbauzustand erforderlich sind und über einen eigenen Booster versorgt werden, sollten von vornherein geplant werden. Die notwendigen Trennungen gleich zu Beginn der Bauarbeiten

auszuführen, auch wenn zunächst zwei oder mehrere Abschnitte mit einem Booster versorgt werden, spart nachträgliche, aufwändige Montagearbeiten.

In jedem Booster-Abschnitt sollten maximal drei bis fünf Loks gleichzeitig fahren. Folgende Unterteilungen sind sinnvoll:

- Bahnhof
- Betriebswerk
- Hauptstrecke (ggf. in mehreren Abschnitten)
- Nebenstrecke (ggf. in mehreren Abschnitten)

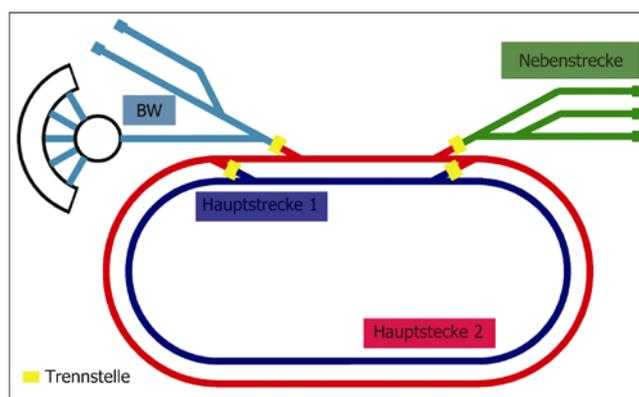


Abb.: Sinnvolle Aufteilung einer Anlage in Boosterabschnitte

Trennen der Booster-Abschnitte

Die Übergänge zwischen den Booster-Abschnitten stellen beim Überfahren immer eine kritische Stelle dar, weil dabei kurzfristig die Trennstelle überbrückt wird und folglich Ausgleichsströme zwischen den Boosterabschnitten fließen. Dabei entsteht ein Kurzschluss an Schienen und Rädern (bzw. Schleifer) der Lok. Bei gut zueinander passenden Boostern sind die Ausgleichsströme so gering, dass weder Booster noch Loks und Schienen beschädigt

werden. Trotzdem sollte man zwei Grundregeln beherzigen:

1. Boosterabschnitten sollten so angeordnet werden, dass sie möglichst wenig überfahren werden müssen.
2. Eine Lok sollte niemals auf einer Trennstelle für längere Zeit stehen bleiben.

Trennen der Booster-Abschnitte

Bei 2-Leiter-Systemen wird üblicherweise eine Schiene durchtrennt, welche ist zunächst nicht bedeutsam. Es muss jedoch in allen Boosterabschnitten dieselbe Schiene ("links" oder "rechts") durchtrennt werden. In größeren, unübersichtlichen Anlagen ist es empfehlenswert, sicherheitshalber beide Schienen zu durchtrennen, was keinen Einfluss auf die Funktionsweise hat.

Bei 3-Leiter-Systemen muss in der Regel nur der Mittelleiter durchtrennt werden. Beim Einsatz bestimmter Booster müssen allerdings die Außenleiter ebenfalls durchtrennt werden. Für welche Booster das erforderlich ist, steht in der Anleitung zu dem betreffenden Booster.

Getrennte Booster zum Schalten und Fahren

Grundsätzlich empfehlenswert ist die Verteilung der Aufgaben "Schalten" und "Fahren" auf verschiedene Booster. Vorteile dieser Lösung ergeben sich z.B. in folgenden Situationen:

Schneidet eine Lok eine Weiche (einer 2-Leiter-Anlage) auf und verursacht dadurch einen Kurzschluss, wird der Strom für den betroffene Streckenabschnitt durch die Kurzschlussicherung abgeschaltet. Wird die Weiche durch den selben Booster versorgt, kann die Weiche nicht umgeschaltet werden, um den Kurzschluss zu beheben. Anders sieht die Situation aus, wenn die Weiche über

einen gesonderten Schaltbooster versorgt wird.

Ist ein Booster durch die Versorgung fahrender und beleuchteter Züge bereits weitestgehend ausgelastet, kann das Schalten einer Weiche (für das ca. 500 bis 1000 mA Strom benötigt werden) zum Abfallen der Gleisspannung (bei unregulierten Boostern) oder zur Überlastung und damit zur Abschalten des Boosterabschnitts führen. Sind Schalten und Fahren unterschiedlichen Boostern zugeordnet, tritt dieses Problem nicht auf.

EXKURS: Gleisspannung messen

Die Höhe der Gleisspannung ist doch im Datenblatt des Boosters angegeben. Wozu also noch messen?

Zumindest für geregelte Booster trifft diese Aussage zu – aber nur zum Teil. Denn die Gleisspannung entspricht nur direkt am Gleis Ausgang des Boosters dem Wert, der im Datenblatt als Ausgangsspannung angegeben ist. Durch Spannungsabfälle verringert sich die Gleisspannung mit jedem cm Leitung.

Um die Gleisspannung zu messen, reicht der Anschluss eines Multimeters nicht aus, da die Spannung zum einen keine reine Sinusspannung ist und zum anderen eine hohe, variable Frequenz hat. Doch auch ohne Einsatz eines Oszilloskops ist mittels einer kleinen Hilfsschaltung und eines Multimeters die Ermittlung eines hinreichend genauen Wertes möglich.

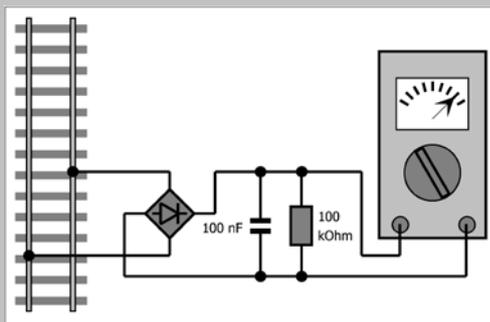


Abb: Gleisspannung mit einem Multimeter messen

Die Hilfsschaltung besteht aus einem Gleichrichter, einem Kondensator 100 nF und einem Widerstand 100 kOhm. Die Schaltung wird entsprechend der Abbildung verdrahtet.

Um korrekte Messergebnisse zu erzielen, muss das Multimeter auf Gleichspannungs-Messung eingestellt werden. Das Messergebnis entspricht nicht der anliegenden Gleisspannung, da es den Spannungsabfall des Gleichrichters nicht berücksichtigt. Dieser liegt in der Regel bei 1,5 V.

Daraus ergibt sich:

$$\text{Gleisspannung [V]} = \text{Messwert aus Gleichspannungsmessung [V]} + 1,5 \text{ V}$$

Schienenanschlüsse verlegen

Ein Rest Draht, der sich noch in einer Schublade findet, an den Booster und die Schienen angeschlossen ... und schon ist die Stromversorgung für die Digitalanlage fertig. Ganz so einfach sollte man es sich nicht machen, wenn die Digitalanlage störungs- und schadensfrei funktionieren soll.

Hintergrund: Die Leitungen sind elektrisch nichts anders als Widerstände, in denen Spannung quasi "verloren" geht. Der Spannungsabfall in einer Leitung ist umso höher, je höher der Strom, je kleiner der Aderquerschnitt und je länger die Leitung ist. Auch die Übergänge der Gleisstücke stellen einen recht hohen elektrischen Widerstand dar, der die Spannung verringert. Damit auch "am Ende" eines Boosterabschnitts die

Gleisspannung noch ausreicht, also die Versorgung der Fahrzeuge mit Strom und Daten klappt und die Kurzschlusssicherung im Ernstfall funktioniert, sollten bei der Verlegung der Leitungen ein paar Regeln befolgt werden:

1. Für die Schienenanschlüsse des Boosters sollten Leitungen mit einem möglichst großen Querschnitt verwendet werden, mindestens mit einem Aderquerschnitt von 1,5 mm².
2. Der Boosterstrom sollte in Abständen von ca. 2 bis 3 m in das Gleis eingespeist werden. Empfehlenswert ist die Verlegung einer Ringleitung, von der die Einspeisungen abzweigen.

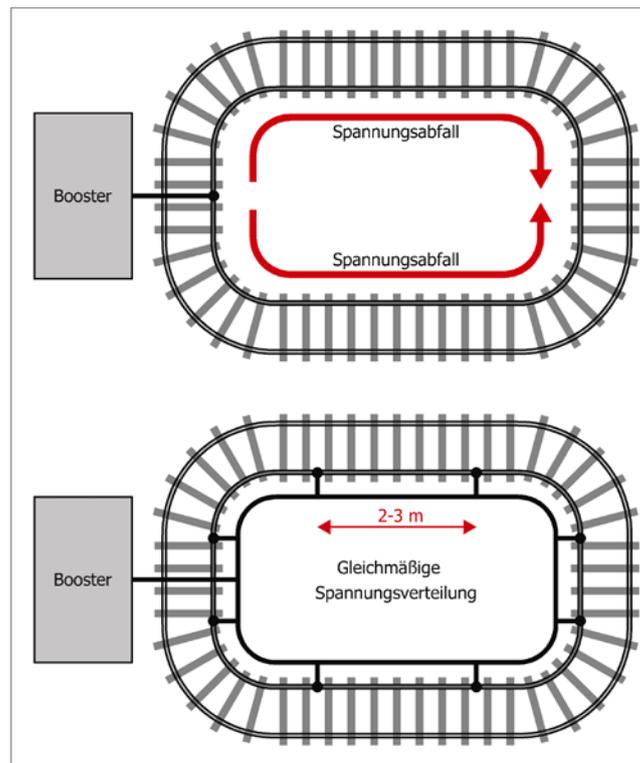


Abb.: "Abfallvermeidung" auf der Modellbahn
 Oben: Einspeisung des Boosterstroms an einer Stelle für den gesamten Boosterabschnitt. Die Gleisspannung ist umso geringer, je größer der Abstand zur Einspeisestelle ist.
 Unten: Einspeisung des Boosterstroms in Abständen von 2-3 m und Verlegung der Zuleitung als Ringleitung. Eine gleichmäßig hohe Gleisspannung ist in allen Bereichen gewährleistet.

Kurzschluss-rückmeldeleitung anschließen

Die Kurzschlussrückmeldeleitung zwischen Booster und Zentrale sollte möglichst kurz sein. Bei Verwendung der Märklin-kompatiblen Schnittstelle ist eine Begrenzung auf 1 m Länge empfehlenswert, bei der DCC-konformen Schnittstelle sind größere Längen möglich.

Hintergrund: Eine lange Kurzschlussrückmeldeleitung empfängt in ungünstigen Fällen Störsignale aus anderen Daten- oder Stromleitungen, die zu Fehlermeldungen führen können oder die Übertragung einer Kurzschlussmeldung stören. Prinzipbedingt ist die Rückmeldeleitung der Märklin-kompatiblen Schnittstelle empfindlicher gegenüber diesen Störungen.

Ist also eine Kurzschlussrückmeldung an die Zentrale vorgesehen, bedeutet das automatisch, dass der Booster möglichst in der Nähe der Zentrale stehen sollte. Das Verlegen einer längeren Anschlussleitung zu den Schienen ist aber ein geringeres Übel als im Ernstfall eine nicht funktionierende Kurzschlussrückmeldung.

Anders sieht die Sache aus, wenn auf die Kurzschlussrückmeldung verzichtet werden kann (z.B. weil die interne Kurzschlussabschaltung des Boosters genutzt wird): Dann kann der Booster direkt an "seinem" Streckenabschnitt aufgestellt werden.