

## Digitalumbauten von analogen Loks: Vorsicht Falle(n)!

Das Sammelstück aus analogen Modellbahnzeiten, die alte Dampflok aus Kindertagen oder das Fundstück von der Modellbahnbörse: Der Einbau eines digitalen Lokdecoders ist meistens möglich, vorausgesetzt, es handelt sich nicht gerade um ein älteres Modell für kleine Nenngrößen (in denen häufig kein Platz vorhanden ist). Wer allerdings beim Umbau nach der Methode "Gehäuse runter, Decoder rein, Gehäuse wieder drauf" verfährt, wird bei der ersten Probefahrt im Digitalbetrieb mit großer Wahrscheinlichkeit eher Frust als Lust erleben.



Abbildung mit freundlicher Genehmigung der Verlagsgruppe Bahn.

### Wenn´s nicht klappt

Als Hersteller von Lokdecodern bekommen wir den Ärger über misslungene Digitalumbauten aus erster Hand mit. Kein Hersteller kann mit 100 %iger Sicherheit ausschließen, dass ein Decoder sich an allen technischen Kontrollen vorbeimogelt und mit einem Defekt ausgeliefert wird. Produktionsfehler kommen jedoch bei weitem nicht so häufig vor, wie mancher am Digitalumbau gescheiterte Modellbahner meint.

### Die Hitliste der Decodermängel

- Keine Mängel am Decoder. Häufig sind diese Decoder nur "verprogrammiert".
- Beschädigte Funktionsausgänge. Schadensursache ist in der Regel ein zu hoher Strom der angeschlossenen Verbraucher oder ein Kurzschluss.
- Defekte Motorendstufen. Als Schadensursache kommen vor allem in Frage: ein zu hoher Motorstrom, ein Defekt am Motor oder ein Kurzschluss.
- Schäden an der Spannungsversorgung. Meist sind zu hohe Umschaltimpulse im Analogbetrieb für diese Schäden verantwortlich.
- Mechanische Beschädigungen, z.B. zerkratzte Leiterbahnen oder Schäden durch unsachgemäße Lötarbeiten am Decoder.
- undefinierbare Mängel: der Decoder tut einfach nicht, was er soll. Da kann selbst der Fachmann ohne Kenntnis der Anlage und der übrigen Digitalkomponenten nicht sagen, wo die Schadensursache liegt, sondern nur Vermutungen anstellen.

Auf den folgenden Seiten stellen wir vor, was bei Auswahl und Einbau eines Lokdecoders schief gehen kann und wie sich Schäden verhindern lassen, woran es liegen kann, dass eine digitalisierte Lok schlechter fährt als vor dem Umbau und wie sich gute Fahreigenschaften im Digitalbetrieb erzielen lassen.

## Die große Inspektion

Gerade bei Loks, die jahrelang ihr Dasein in der Vitrine oder auf dem Dachboden gefristet haben oder viele analoge Runden auf dem Buckel haben, gehört vor dem Einbau eines Decoders immer ein längerer Zwischenstopp in der Werkstatt und eine ausgiebige Testfahrt (auf der analogen Strecke) auf den Fahrplan. Dahinter steckt mehr als mancher Modellbahner sich klar macht:

### Motorstrom

Dafür, dass Lokmotoren deutlich mehr Strom "ziehen" als vom Lokhersteller angegeben (oder vom Modellbahner angenommen), können verschiedene Mängel an der Lok die Ursache sein. Im besten Fall reagiert der Überlastschutz des Decoders und schaltet den Lokmotor sofort beim Anfahren ab, die Suche nach der Ursache des "rätselhaften"

Verhaltens des Decoders beginnt. Im schlimmsten Fall übernehmen die Motorendstufen des Decoders die Aufgabe eines Rauchgenerators, allerdings nur für kurze Zeit und einmal. Der Decoder ist dann ein Fall für die Werkstatt ... oder die Mülltonne.

### Übertragung von Strom und Digitalsignalen

Die Voraussetzung für einen reibungslosen Digitalbetrieb ist die korrekte Übertragung von Strom und Digitalsignalen über die Schiene zum Decoder und von dort weiter zum Motor und zu anderen Komponenten (z.B. Beleuchtungen) – eine Selbstverständ-

lichkeit. Dass daran eine ganze Reihe von Komponenten beteiligt sind, die ausnahmslos in einwandfreiem Zustand sein müssen – das gerät in der Digitalisierungseuphorie schon einmal aus dem Blickfeld.

### Störsignale

Lokdecoder hören und reagieren sensibel auf elektrische Signale. Leider kann es passieren, dass die "guten" digitalen Signalen, die die Zentrale sendet, von "schlechten" elektrischen Störsignalen, die vor allem ältere, viel gefahrene Lokmotore produzieren, überlagert werden. Die Folgen: schlechte Fahreigen-

schaften und merkwürdiges Verhalten der Lok. Diese elektrischen Störfeuer können sogar so erheblich sein, dass sie auch von andere Lokdecodern auf der Strecke empfangen werden und dort scheinbar rätselhafte Phänomene verursachen.

## Checkliste für die große Inspektion

Damit es nach dem Digitalumbau nicht heisst: "Die Lok fährt ja schlechter als vorher im Analogbetrieb!" oder "Der Decoder ist kaputt!" ist es empfehlenswert, die nachfolgende Checkliste für die "Grosse Inspektion" abzuarbeiten.

### Getriebe

In früheren Jahren gebräuchliche Fette haben die unangenehme Eigenschaft, im Lauf der Jahre das Gegenteil dessen zu bewirken, was sie eigentlich sollten: Sie verharzen und kleben die Getriebeteile förmlich zusammen. Hier hilft nur eins: Gründlich reinigen und neu fetten (am besten mit modernen Schmierstoffen, die auch nach Jahren nicht verharzen).

Wird auf diesen Schritt verzichtet, steigt der Motorstrom erheblich. Im Analogbetrieb mag das für ein paar Runden gehen, im Digitalbetrieb besteht die Gefahr, dass der maximale Motorstrom des Decoders überschritten wird, was im schlimmsten Fall zur Zerstörung des Decoders führt.

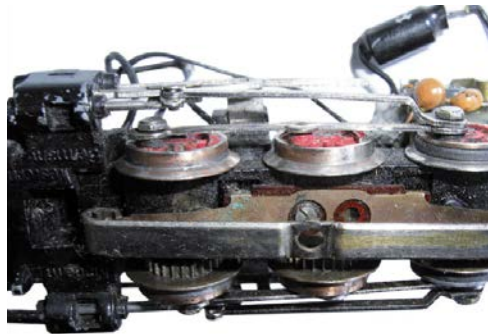
### Bewegliche Teile

Räder, Treibstangen, Gelenkwellen, Zahnräder, kurz: alles, was sich bewegt, muss leichtgängig sein. Teile, die klemmen, verbogen oder beschädigt sind, gehören gerichtet oder getauscht. Andernfalls sind

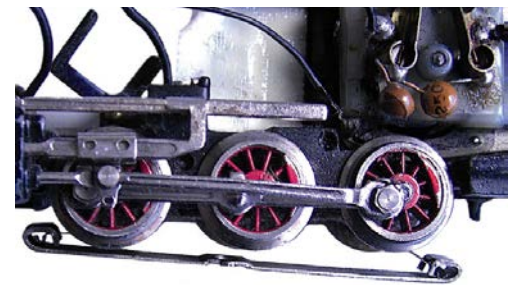
schlechte Fahreigenschaften und (zu) hohe Motorströme mit den bereits beschriebenen möglichen Folgen für den Decoder vorprogrammiert.

Stromaufnahme

Rad- oder Mittelschleifer dürfen wie andere bewegliche Teile nicht verbogen sein. Sie dürfen auch keineswegs voller Schmierfett sein, da das Fett den Kontakt zu den Schienen und damit die Übertragung von Strom und Daten behindert. Ist eine Lok mit verschmierten Schleifern bereits eine Runde gefahren, müssen nicht nur die Schleifer der Lok, sondern auch die Schienen gereinigt werden.



Korrosionsschäden oder Schmutz an den Schleifern sind eines der Haupthindernisse für die Strom- und Datenübertragung. Schleifer, die im Analogbetrieb durchaus noch ihren Dienst tun, sind für den Digitalbetrieb häufig nicht mehr geeignet, da nicht nur Strom, sondern auch digitale Fahr- und Schaltbefehle übertragen werden müssen. Hier hilft im Zweifelsfall, alte Schleifer probenhalber durch neue zu ersetzen.



Links: Der Schleifer ist korrodiert. Rechts: Der Mittelschleifer hängt schief unter der Lok.

In beiden Fällen wird die Übertragung der digitalen Signale beeinträchtigt, ggf. sogar so weit, dass gar nichts mehr beim Decoder ankommt. Bei Radschleifern können ähnliche Mängel auftreten, diese sind aber bauartbedingt nicht so deutlich im Foto zu zeigen.

Leider nicht oder nur schwer von aussen zu erkennen sind Korrosionsschäden im Inneren der Schleifer, die durch Spannungsdifferenzen und daraus resultierende Ausgleichsströme zwischen den unterschiedlichen verwendeten Metallen (z.B. Federbronze und Neusilber) entstehen – auch dann, wenn die Loks gar nicht oder nur selten gefahren werden.

Radschleifern fehlt in solchen Fällen meist der metallische Glanz. Bei Mittelschleifern ist eine zerstörungsfreie Untersuchung nicht möglich. Die Empfehlung lautet daher hier, einen Schleifer bei entsprechendem Verdacht probenhalber durch einen neuen zu ersetzen.



Ein in seine Einzelteile zerlegter Mittelschleifer, bei dem die Bleche infolge Kontaktkorrosion beschädigt sind. Von außen ist dieser Schaden nicht zu erkennen, Strom und Daten werden jedoch nur unzureichend oder gar nicht übertragen. Es empfiehlt sich nicht, Schleifer in dieser Weise zu zerlegen, um „mal nachzuschauen“ – die Chance, die Einzelteile wieder zu einem funktionsfähigen Schleifer zusammen zu bekommen, ist gering..

Motor

Glück hat derjenige, der einen neueren gekapselten Gleichstrommotor, bei dem die Kohlen nicht zugänglich sind, in seiner Lok findet: diese Motoren sind wartungsfrei. Pech hat allerdings derjenige, der einen Schaden an so einem Motoren feststellt: Hier hilft nur der Austausch.

Finger von diesen Motoren lassen, da sie eng mit der Steuerungselektronik gekoppelt sind. Es besteht die große Gefahr, Teile zu dejustieren und anschließend die Lok auf eine Reise zum Hersteller schicken zu müssen.

Auch die Sinus-Motoren (von Märklin) sind wartungsfrei. Grundsätzlich sollte man die

Bei älteren Gleichstrommotoren und bei den in Märklin-Loks lange gebräuchlichen Wechselstrommotoren stehen jedoch einige Motorteile zur Prüfung an:



## Bürsten und Kollektor

Sowohl in Wechselstrom- als auch in Gleichstrom-Lokmotoren werden zum Einspeisen des Stroms Kohlebürsten verwendet. Diese Bürsten stellen den Kontakt zum rotierenden Anker her. Eine Besonderheit sind die von Märklin verwendeten Scheibenkollektormotore, die jeweils eine Kohle- und eine Kupferdrahtbürste haben, umgangssprachlich oft als Kohle- und Bürste bezeichnet. Wenn wir allgemein von "Bürsten" sprechen, meinen wir damit sowohl Kohle- wie Kupferdrahtbürsten.

Kohlenstaub und Öl haben an Bürsten und Kollektor nichts zu suchen, da daraus ein elektrisch leitfähiger Schlamm entsteht, der in die Ritzen des Kollektors sickert. Dadurch wird die Leistung des Motors reduziert und die Stromaufnahme erhöht, mit möglichen fatalen Folgen für den Lokdecoder. Verölzte Kollektoren



können gereinigt werden, Bürsten sollten in diesem Fall getauscht werden.

Sind die Bürsten oder Kollektor abgenutzt, müssen sie ausgetauscht werden, sonst entstehen bei der Übertragung der Spannung vom Kollektor auf die Ankerspule Störspannungen (das sogenannte Bürstenfeuer), die die Funktion des Decoders erheblich beeinträchtigen können.

Nach dem Einbau neuer Anker und / oder Bürsten braucht der Motor eine kurze Einlaufphase (ca. 2 bis 3 Minuten) an einer provisorischen Stromversorgung oder auf dem Rollenprüfstand. Der Hintergrund: Die Bürsten müssen eingeschliffen, also an die Form des Ankers angepasst werden. Dabei erzeugen sie starke elektrische Störungen, die die Funktion eines Lokdecoders beeinträchtigen.

Im Bild links ein Scheibenkollektor, rechts ein Trommelkollektor. Am Rand des Scheibenkollektors sind deutliche Abnutzungsspuren erkennbar, im Betrieb ist der Kontakt zu den Bürsten reine Glücksache. Dass dieser Kollektor schon diverse Betriebsstunden mit intensivem Bürstenfeuer hinter sich hat, ist am Lochfraß auf der Kollektorscheibe gut zu erkennen.

## Lampen

Eigentlich eine Banalität, aber die Funktionsfähigkeit der Lampen für Vorwärts- und Rückwärtsfahrt gehört ebenfalls in die "Grosse Inspektion". Schon mancher Modellbahner hat sich über einen vermeintlich defekten Ausgang des Decoders geärgert oder nach der Ursache gesucht, warum der Decoder nicht in den (durch das Blinken der Lampen angezeigten) Programmiermodus gewechselt hat. Und dann waren nur die Glühlampen defekt.

Unbedingt zu klären ist auch, wie viel Strom die Glühlampen verbrauchen, damit nicht mit dem ersten Einschalten der Beleuchtung die Decoderausgänge überlastet und beschädigt werden. Dabei reicht keineswegs der Blick auf

die Angabe des Nennstroms auf der Glühlampe. Eine Lampe verbraucht beim Einschalten ein mehrfaches des angegebenen Stroms (weil der Glühfaden erst warm werden muss). Als Richtwert kann man davon ausgehen, dass der Nennwert der Glühlampe maximal  $\frac{1}{2}$  so groß sein sollte wie der maximale Strom des Funktionsausgangs.

Beim Anschluss der Lampen auf den Überlastschutz des Decoders zu vertrauen, kann danebengehen: Bei vielen Decodern reagiert der Überlastschutz nur auf einen zu hohen Motor- oder Gesamtstrom, jedoch nicht auf einen zu hohen Strom am Ausgang. Mehr dazu im Abschnitt "Mit Versicherung".

## EXKURS: Motorentstörung

### Wozu entstören?

Bei allen Lokmotoren, bei denen die Spannungsübertragung vom rotierenden Anker über Bürsten erfolgt, also sowohl bei Gleich- als auch bei Wechselstrommotoren, treten Störspannungen auf. Sie müssen daher grundsätzlich entstört werden. Nicht dazu gehören Sinus-Motore, die nach einem anderen Prinzip aufgebaut sind und daher keine Bürsten haben.

Die Intensität des sogenannten "Bürstenfeuers" hängt davon ab, wie stark die Kohlebürsten bei der Drehung der Ankerspule vom Kollektor "abheben". Verschleiß, Unwuchten oder Vibrationen verstärken den Effekt.

Die Lokhersteller bauen an den Motoren daher Kondensatoren und Drosseln zur Entstörung ein, die z.B. verhindern, dass der Nachbar den Modellbahnbetrieb im Radio mitverfolgen kann. Auch wenn der Nachbar und sein Radioempfang nebensächlich erscheinen, bleibt die Vermeidung eines zu starken Bürstenfeuers eine Hauptsache: Wird es zu stark, kommt die Decoderelektronik quasi "durcheinander" (vor allem die Lastregelung), was sich durch schlechte Fahreigenschaften bemerkbar macht. Es kann sogar so weit kommen, dass die entstehenden Stromspitzen Bauteile auf dem Decoder zerstören.

### Entstörmittel: drinlassen oder ausbauen?

Das ist eine häufig gestellte Frage von Modellbahnern, die ihre Lok mit einem Digitaldecoder nachrüsten wollen. Die Frage lässt sich nur mit einem unklaren "Kommt darauf an..." beantworten, nämlich darauf, wie der Decoderhersteller seinen Lokdecoder aufgebaut hat. Manche Decoderhersteller integrieren die Motorentstörung auf dem

Lokdecoder. Andere vertreten die Meinung, dass die vom Lokhersteller angebrachten Entstörmittel am besten auf den jeweiligen Motor abgestimmt sind und daher am Motor belassen werden sollen. Um die Eingangsfrage zu beantworten, hilft also nur ein Blick in die Anleitung zu dem jeweiligen Lokdecoder.

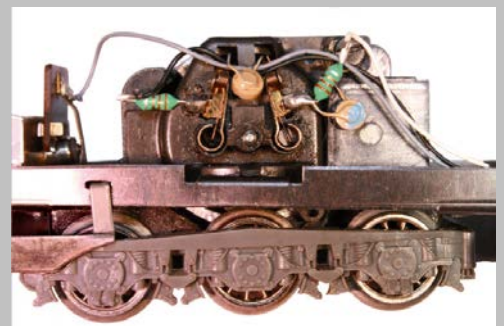
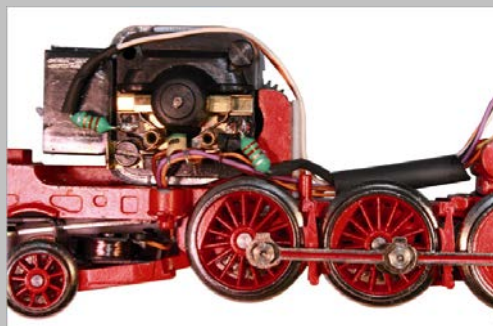
### Zusätzliche Entstörmittel einbauen

Mit zunehmendem Verschleiß wird das Bürstenfeuer stärker und die vom Lokhersteller angebrachten Entstörmittel können nicht mehr ausreichend sein. Das macht sich durch schlechtes Fahrverhalten bemerkbar, die Lok ruckelt oder schaukelt nach dem Decoder-einbau. Eine sichere, jedoch aufwändige Lösung ist der Austausch der Bürsten und ggf. des Ankers oder gleich des kompletten Motors.

Einfacher, deutlich preiswerter und daher einen Versuch wert ist der Einbau zusätzlicher

Entstörmittel am Motor. Dabei geht man üblicherweise in zwei Schritten vor:

1. Zusätzlichen Entstördrosseln (ca.  $3,3 \mu\text{H}$ ) in den Zuleitungen vom Decoder zum Motor einbauen und wenn das nicht ausreicht:
2. Einen zusätzlichen Entstörkondensator (zwischen 1 und  $2,2 \text{ nF}$ ) parallel zum vorhandenen Kondensator einlöten.



Bilder: Motoren mit nachträglich eingebauten (zusätzlichen) Entstördrosseln in den Zuleitungen vom Decoder zum Motor. Hätte das nicht ausgereicht, wäre noch ein Kondensator parallel zum bereits vom Lokhersteller eingebauten Entstörkondensator eingebaut worden. In beiden Fällen wird der Entstörkondensator als Halterung für die Anschlusskabel verwendet: so ist sichergestellt, dass die Kabel beim Aufsetzen des Gehäuses nicht gequetscht und die Isolierungen beschädigt werden.

## Motoren: Who is who?

Im Zusammenhang mit Lokmotoren tauchen diverse Begriffe auf, die schon mal durcheinandergeraten. Ein kleiner Überblick verrät, was in punkto Lokdecodereinbau von Bedeutung ist:

### Gleichstrom oder Wechselstrom?

Wenn diese Frage im Zusammenhang mit Lokdecodern gestellt wird, geht es nicht darum, ob die (analoge) Modellbahnanlage mit Gleichstrom oder Wechselstrom versorgt wird, sondern vielmehr darum, ob die Lok einen Gleich- oder einen Wechselstrommotor hat.

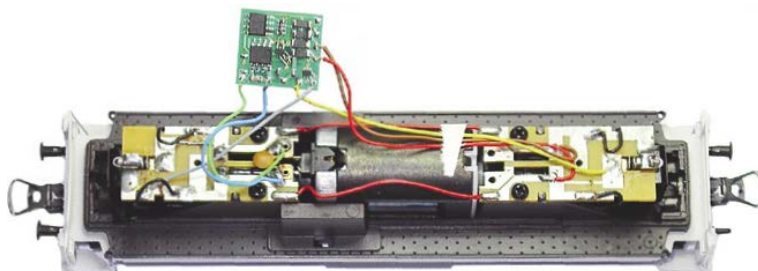
Bei Auswahl des "richtigen" Lokdecoders ist diese Frage entscheidend: Die beiden Motorarten werden auf unterschiedliche Art und Weise angesteuert, entsprechend gibt es für beide Motorarten unterschiedliche Decodertypen.

### Gleichstrommotoren

Die meisten Lokhersteller setzen als Lokmotoren Gleichstrommotoren ein (mittlerweile auch Märklin). Diese haben einen Dauermagneten zur Erzeugung des Magnetfeldes, in dem sich die Ankerspulen drehen. Durch Umkehrung der Polarität der Versorgungsspannung wird die Drehrichtung des Motors und damit die Fahrtrichtung geändert.

Sollen Loks mit Gleichstrommotoren in 3-Leiter-Wechselstromanlagen eingesetzt werden, benötigen sie einen zusätzlichen Umschalter, der die Versorgungsspannung für die Ankerspulen umschaltet. Dieser Umschalter wird nicht mehr benötigt, wenn ein Digitaldecoder eingebaut wird. Decoder für Gleichstrommotoren haben zwei Anschlüsse für den Motor.

Lok mit Gleichstrommotor.  
Der Decoder ist bereits provisorisch angeschlossen.



### Wechselstrommotoren

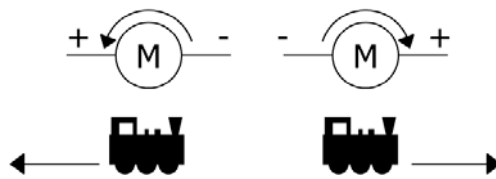
Bei Wechselstrommotoren (fachlich korrekter, aber so gut wie nie verwendet: Allstrommotoren) wird das Magnetfeld in einer Feldspule erzeugt, die im Grunde aus zwei verschieden gewickelten Feldspulen besteht. Um die Drehrichtung der Ankerspulen zu ändern, muss eine Feldspule mit einer anderen Wicklungsrichtung von Strom durchflossen werden.

Märklin ist der Hersteller, der lange Zeit Wechselstrommotoren in seinen H0-Modellen eingesetzt hat. Zum Umschalten zwischen den beiden Feldspulen wird ein Fahrtrichtungsumschalter eingesetzt, der auf einen Überspannungsimpuls reagiert, im Digitalbetrieb übernimmt der Decoder die Aufgabe des Umschalters. Decoder für Wechselstrommotoren haben drei Anschlüsse, einen für den Motor und zwei für die Feldspule.

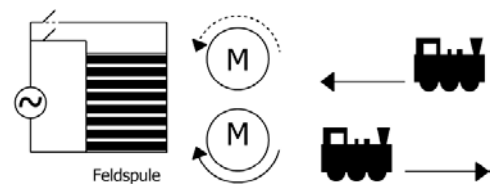
Lok mit Wechselstrommotor vor dem Decodereinbau.  
Umschaltrelais und Feldspule sind noch im Originalzustand.



Funktionsweise von Gleichstrom- und Wechselstrommotoren



Gleichstrommotor: Die Fahrtrichtung wechselt mit der Polung der Versorgungsspannung und der daraus resultierenden Drehrichtung der Ankerspulen des Motors.



Wechselstrommotor: Die Drehrichtung der Ankerspulen des Motors wechselt durch Umschalten zwischen zwei unterschiedlich gewickelten Feldspulen.

Glockenankermotoren

Glockenankermotoren (nach einem Hersteller oft auch als Faulhaber-Motoren bezeichnet) sind vom Prinzip Gleichstrommotoren – allerdings deutlich aufwändiger konstruiert und daher teurer. Die großen Vorteile: Sie sind nahezu verschleissfrei und arbeiten mit sehr hohen Drehzahlen, was einen sehr gleichmäßigen, ruhigen Lauf gewährleistet.

Grundsätzlich eignen sich zur Ansteuerung von Glockenankermotoren Lokdecoder für Gleichstrommotoren. Allerdings sollten die Decoder die Motoren mit einer hohen Frequenz von mindestens 6 kHz (der sogenannten PWM-Frequenz, mehr dazu s.u.) ansteuern.

Sinus-Motoren

Die Sinus-Motoren sind Drehstrommotoren, die von Märklin in einigen Modellen eingesetzt werden. Für die Ansteuerung ist eine spezielle

Elektronik erforderlich, die auch den Decoder umfasst. Diese wird ausschließlich von Märklin angeboten.

Trommelkollektor und Scheibenkollektor

Beide Kollektortypen sind sowohl in Gleichstrom- als auch in Wechselstrommotoren zu finden. Ob in einem Motor ein Trommel- oder Scheibenkollektor verbaut wurde, hat

auf die Auswahl des Decoders oder die Fahreigenschaften der Lok keinerlei Auswirkungen – vorausgesetzt, Kollektoren und Bürsten sind in einwandfreiem Zustand.

3-Pol- und 5-Pol-Anker

In Lokomotoren sind Anker mit drei oder fünf Spulen gebräuchlich. Heute werden überwiegend 5-polige Anker eingesetzt, da ihre Laufeigenschaften gegenüber denen eines 3-poligen Ankers deutlich besser sind.

Beim Nachrüsten eines Decoders spielt die Zahl der Ankerspulen eine untergeordnete Rolle. Eine wesentlich größere Bedeutung kommt mit Blick auf die Fahreigenschaften im Digitalbetrieb dem Gesamtzustand des Motors zu.



Bild links 3-Pol-Anker, rechts 5-Pol-Anker. Der 5-Pol-Anker gewährleistet eine größere Laufruhe des Motors, vor allem im unteren Drehzahlbereich. Für das gute oder schlechte Fahrverhalten einer Lok spielen jedoch eher andere Faktoren wie der Zustand des Motors und des Getriebes eine Rolle.

Hochleistungsantrieb und Hochleistungsmotor

Als "Hochleistungsantrieb" bezeichnet Märklin ein Umrüst-Set für analoge Loks mit Trommelkollektor-Motor. Es besteht aus einem 5-poligen Anker, einem Permanentmagneten, einem flachen Motorschild und einem Lokdecoder, also Komponenten, die zum Teil auch von anderen Herstellern angeboten werden.

Auch bei H0-Modellen aus neuerer Produktion bietet Märklin "Hochleistung" an: Seit einigen Jahren werden die Lokmodelle nicht mehr mit den über viele Jahrzehnte gebräuchlichen Wechselstrommotoren, sondern mit Gleich-

strommotoren ausgerüstet. Märklin bezeichnet diese als "Hochleistungsmotoren". Von den Gleichstrommotoren, die von anderen Herstellern verwendet werden (und wurden), unterscheiden sie sich hauptsächlich durch die Bauform: Um die Formen älterer Modelle nicht ändern zu müssen, wurden die Gleichstrommotoren in das Chassis der Wechselstrommotoren eingepasst. Diese Motoren lassen sich mit handelsüblichen Lokdecodern für Gleichstrommotoren ansteuern.



## Wechselstrommotoren und Digitalbetrieb

Die Diskussion über die "richtige" Digital-Umrüstung alter (Märklin-) Loks mit Wechselstrommotoren kann hohe Wellen schlagen. Dass die Fahreigenschaften alter Wechselstrommotoren, in denen womöglich noch ein 3-Pol-Anker verbaut wurde und die schon ein langes und arbeitsreiches Modellbahnleben hinter sich haben, schlechter sind als Fahreigenschaften moderner Gleichstrommotoren aus fabrikneuen Loks steht wohl ausser Frage. Eine ordentliche Wartung des alten Wechselstrommotors kann jedoch schon Wunder wirken...

### Für Perfektionisten

Perfektionisten vertreten die Meinung, dass akzeptable Fahreigenschaften nur nach Austausch der Mehrzahl der Motorteile (oder des kompletten Motors) zu erzielen sind.

Dieser Ansatz ist bei besonderen (wertvollen) Modellen sicher eine Überlegung wert ist, aber eben auch entsprechend teuer und aufwendig in der Umsetzung.

### ... und Pragmatiker

Pragmatiker suchen eher nach einer preiswerten, einfachen Lösung, um eine alte Dampflok aus eigenen Kindertagen für den digitalen Fahrbetrieb mit Kindern oder Enkeln nutzen zu können. Welches die für ihn jeweils "richtige" Lösung ist, möge jeder Modellbahner selbst entscheiden.

Decoder zur Ansteuerung von Wechselstrommotoren sind für unter 15 € zu haben.



Mit ein paar Ersatzteilen (z. B. Kohlen und Schleifer) und nach einer gründlichen Inspektion fährt eine alte (Märklin-) Lok für etwa 20 bis 25 € im Digitalbetrieb.

Der Haken an dieser Lösung: Decoder für Wechselstrommotoren sind – bis auf wenige Ausnahmen – nicht lastgeregelt, da die Lastregelung für diese Motorart nur schwer (und damit aufwendig und teuer) zu realisieren ist.

Mancher Modellbahner fragt sich angesichts dieses Modells sicher: Lohnt sich da der Einbau eines Decoders? Die Antwort möge jeder für sich finden.

Der (finanzielle) Aufwand ist sicher nicht das Hauptkriterium, wenn, wie hier zu sehen, ein einfacher Decoder (ca. 15 €) im Austausch für das Umschaltrelais eingebaut wird und die Feldspulen unangetastet bleiben.

### Mit Lastregelung

Wer auf eine Lastregelung nicht verzichten mag, muss trotzdem nicht gleich den ganzen Motor auswechseln. Es reicht, die Feldspule gegen einen Permanentmagneten zu tauschen und damit den Wechselstrommotor in einen Gleichstrommotor umzuwandeln.

Permanentmagnete sind sowohl für Scheibenkollektor-Motoren als auch für kleine und große Trommelkollektor-Motoren erhältlich.



Mit einem etwas höheren Aufwand lassen sich auch alte Wechselstrommotoren lastgeregelt ansteuern: Anstelle der Feldspulen wurde hier ein Permanentmagnet eingebaut. Dieser verwandelt den Wechselstrommotor in einen Gleichstrommotor, der problemlos über einen lastgeregelt Decoder angesteuert werden kann..



## Individuum Motor - Eine Frage der richtigen Einstellung

Die vom Hersteller voreingestellten Werte der Konfigurationsvariablen (bzw. Register) des Decoders, die die Fahreigenschaften beeinflussen, passen meistens recht gut für eine "Durchschnittslok". Durch individuelle Anpassung der Werte an die Motoreigenschaften der jeweiligen Lok lassen sich die Fahreigenschaften im Einzelfall deutlich verbessern. Angst vor möglichen Beschädigungen des Decoders beim Programmieren ist dabei völlig unbegründet. Wenn ein Decoder während des Programmierens beschädigt wird, dann meistens, weil der Motorstrom oder der Strom an einem Ausgang zu hoch war oder ein Kurzschluss aufgetreten ist. Eine völlig misslungene Programmierung lässt sich durch einen Decoderreset (die Rückstellung auf die Werkseinstellungen des Decoders) wieder ungeschehen machen.

### Anfahr- und Höchstgeschwindigkeit

Eine präzise Einstellung der Anfahr- und Höchstgeschwindigkeit lässt die Lok bei Fahrstufe 1 gerade anfahren und sorgt dafür, dass sie bei Höchstgeschwindigkeit mit vorbildgerechtem Tempo über die Anlage

fährt. Die zur Verfügung stehenden Fahrstufen können bei guter Einstellung der Anfahr- und Höchstgeschwindigkeit optimal genutzt werden.

### Losbrechmoment

Die Spannung, die beim Anfahren benötigt wird, um die Haftreibung der Lok zu überwinden und die Lok in Bewegung zu setzen, ist größer als die Spannung, die die Lok zum Fahren in der niedrigsten Fahrstufe benötigt. Zur Überwindung dieses

"Losbrechmomentes" haben einige Decoder eine Konfigurationsvariable zur Einstellung des sogenannten "Anfahr-Kicks", der die Motorspannung beim Anfahren kurzzeitig erhöht.

### PWM und Motoransteuerung

Grob vereinfacht kann man die PWM (=Pulsweitenmodulation) folgendermaßen erklären: Die Spannung wird in einem definierten Zeitraum für eine bestimmte Zeit ein- und wieder ausgeschaltet. Dieser Vorgang wird fortlaufend wiederholt. Ist die Einschaltzeit groß im Vergleich zur Ausschaltzeit, fährt die Lok schnell und umgekehrt.

Diese Impulse, mit denen ein Lokdecoder den Motor ansteuert, werden mit einer bestimmten Frequenz wiederholt. Die "richtige" PWM-Frequenz ist vor allem vom Motor abhängig. Bei einigen Lokdecodern kann die PWM-Frequenz eingestellt und damit an die individuellen Motoreigenschaften angepasst werden. Oft sind die Decoder auf eine feste Frequenz eingestellt, die Nachteile aufgrund der im Einzelfall schlechten Anpassung an den Motor werden durch die Lastregelung wett gemacht.

**Gleichstrommotoren** können mit allen Frequenzen betrieben werden, gebräuchlich sind heute Frequenzen bis 40 kHz. Ältere Motoren laufen mit niedrigeren Frequenzen

unter 500 Hz besser als mit hohen. Niedrige Frequenzen bis ca. 20 kHz haben jedoch einen Nachteil: sie sind hörbar (je nach Alter des Zuhörers kann die hörbare Frequenz allerdings auf unter 10 kHz sinken). Daher werden heute die meisten Lokdecoder für Gleichstrommotoren mit einer PWM-Frequenz von mindestens 15-16 kHz angeboten. Die für manche Lokmotoren "zu hohe" Frequenz wird durch die Lastregelung ausgeglichen.

Zur Ansteuerung von **Glockenankermotoren** wird eine PWM-Frequenz von mindestens 6 kHz benötigt. Für diese Motoren gilt: Je höher, desto besser.

**Wechselstrommotoren** werden mit einer PWM-Frequenz von ca. 50 bis 500 Hz betrieben. Höhere Frequenzen kommen bei diesen Motoren nicht in Frage, da sie umso kraftloser sind, je höher die Frequenz ist. Leider ist diese Frequenz im hörbaren Bereich, jedoch so tief, dass sie in der Regel nicht als besonders unangenehm empfunden wird.

### Lastregelparameter

Die Einstellung der Lastregelung ist eine komplexe Angelegenheit, da hier bis zu drei Parameter beteiligt sind, die sich gegenseitig beeinflussen. Die Angaben des Decoderherstellers in der Anleitung zu diesem Thema sollten Pflichtlektüre sein, bevor die Last-

regelparameter umprogrammiert werden. Sollte die Programmierung der Lastregelparameter total verunglücken, hilft wie bei allen fehlgeschlagenen Programmierungen ein Decoderreset.

## EXKURS: Wer misst, misst Mist

Die Hersteller von Lokdecodern geben meistens Empfehlungen, für welche Nenngrößen die angebotenen Decoder geeignet sind. Grundsätzlich gilt: Je kleiner ein Decoder ist, desto geringer ist der Motorstrom, den er bereitstellen kann, und damit die Nenngröße, für die der Decoder geeignet ist. Wird vom Decoder ein höherer Strom verlangt, sterben Bauteile oder Leiterbahnen auf dem Decoder infolge der Überlastung einen meist sehr schnellen Hitzetod, es sei denn, der Decoder hat einen Überlastschutz (mehr dazu in Abschnitt "Mit Versicherung"). Eine Beschädigung angrenzender Kunststoffteile der Lok ist in diesem Fall nicht zu befürchten: Die Hitzeentwicklung ist zwar groß, jedoch auf die Elektronikteile des Decoders beschränkt und nur von kurzer Dauer.

Mängel am Motor oder an beweglichen Teilen der Lok können einen erheblichen Anstieg in den technischen Daten der Lok angegebenen Motorstroms zur Folge haben (s. Abschnitt "Die große Inspektion").

### Stromfresser



Gerade (ältere) Lokmodelle wie dieser H0-Intercity halten schon mal eine Überraschung bereit: Der große, runde Gleichstrommotor verbraucht bauartbedingt beim Anfahren mehr als 1.500 mA Strom – womit der maximale Strom üblicher H0-Decoder deutlich überschritten ist. Einige Hersteller haben Decoder im Programm, die bei H0-tauglicher Größe mehr als die üblichen 1.000 bis 1.200 mA Motorstrom vertragen.

### Richtig messen

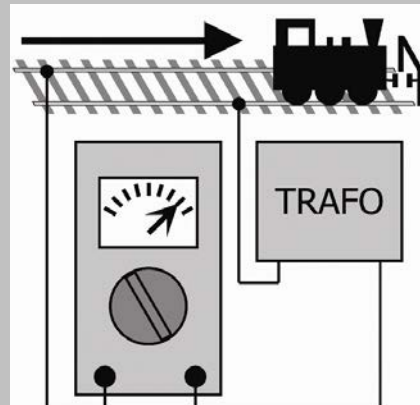
Im Zweifelsfall ist es daher sinnvoll, den Motorstrom zu messen. Der Messwert muss das wiedergeben, was die Lok unter Höchstlast, also beim Anfahren und mit Belastung, verbraucht. Die Skizze verdeutlicht die Messanordnung, bei der die Lok mit Höchstgeschwindigkeit gegen einen Prellbock fährt und an einem auf Strommessung eingestellten Multimeter der Strom abgelesen wird. Die Stromversorgung erfolgt über einen normalen Fahrtrafo.

#### Aber ACHTUNG!

Der am Multimeter angezeigte Wert ist lediglich der Effektivwert! Um den Spitzenwert und damit den tatsächlichen, für den Decoder relevanten Motorstrom zu ermitteln, ist noch ein bisschen Mathematik nötig:

$$\text{Spitzenwert} = \text{gemessener Effektiv-Wert} \times 1,4$$

Es empfiehlt sich, auf diesen Wert noch 10 bis 15 % als Reserve aufzuschlagen und einen Decoder auszuwählen, der einen entsprechend hohen Motorstrom liefern kann.



## Diverse Verbraucher

Der maximale Strom, mit dem die Funktionsausgänge eines Lokdecoders belastet werden können, ist begrenzt, Werte zwischen 100 und 500 mA je Ausgang sind üblich. Wird für einen Decoder ein hoher maximaler Strom je Ausgang angegeben, bedeutet das nicht, dass dieser auch für alle Ausgänge ausgenutzt werden kann: Der maximale Strom des Decoders, der sich aus Motorstrom und dem Strom aller Funktionsausgänge zusammensetzt, darf ebenfalls nicht überschritten werden.

**Die technischen Daten:** Bevor ein Verbraucher an den Funktionsausgang eines Decoders angeschlossen wird, gehört also ein Blick in die technischen Daten zum Pflichtprogramm. Der (unerwartet hohe) Stromverbrauch des Verbrauchers kann sonst böse Überraschungen zur Folge haben.

**Überlastschutz:** Als Schutz vor Schäden durch zu hohe Ströme haben viele Decoder heute einen Überlastschutz. Das bedeutet jedoch nicht zwingend, dass jeder Ausgang einzeln geschützt wird. Weit verbreitet ist ein Überlastschutz, der bei Überschreitung des Gesamtstroms wirksam wird. Dieser zeigt jedoch keine Schutzfunktion wenn z.B. ein bis 100 mA belastbarer Ausgang mit 200 mA belastet wird und der zulässige Gesamtstrom dabei nicht überschritten wird. Mehr zum Thema Überlastschutz im Abschnitt "Mit Versicherung".

### Glühlämpchen



haben einen Nennstrom von 30 bis 100 mA. Aber ACHTUNG! Beim Einschalten liegt der tatsächliche Strom einer Glühlampe um ein Vielfaches höher. Der maximale Strom des Ausgangs muss daher mindestens doppelt so hoch sein wie der Nennstrom der Glühlampe.

In Loks, die für den Einsatz in analogen Anlagen konstruiert wurden, sind meist Glühlampen verbaut, die für eine Spannung von maximal 16 V ausgelegt sind. In digitalen Anlagen liegt die Gleisspannung häufig deutlich höher, vor allem, wenn unregelmäßige

Booster eingesetzt werden (bei Einsatz eines 18 V-Trafos liegt die Gleisspannung bei 24 – 25 V!). Die "analogen" Glühlämpchen leuchten dann sehr hell, brennen schnell durch und verbrauchen mehr Strom (und überlasten dann ggf. den Funktionsausgang). Entweder sollte man sie daher gleich beim Decodereinbau austauschen oder – falls der Decoderausgang diese Möglichkeit bietet – die Spannung für den betreffenden Ausgang reduzieren (anders formuliert: dimmen).

### LEDs



verbrauchen deutlich weniger Strom als Glühlampen und haben eine nahezu unbegrenzte Lebensdauer. Vor allem als Wageninnenbeleuchtungen sind LEDs in digitalen Anlagen erste Wahl, da eine größere Zahl von Glühlämpchen die Digitaldecoder in der Regel überfordert. Sie müssen jedoch immer über einen Vorwiderstand betrieben werden, da sie sonst (nur für kurze Zeit) sehr hell leuchten. Auf Platinen für Wageninnenbeleuchtungen sind diese Vorwiderstände in der Regel integriert.

Je nach eingesetztem Vorwiderstand beträgt der Strom einer LED maximal 20 mA. Es ist empfehlenswert, den Vorwiderstand so zu berechnen, dass der Strom bei ca. 10 mA liegt, der Helligkeitsunterschied ist kaum wahrnehmbar. LEDs, die an einen Digitaldecoder angeschlossen werden, benötigen einen Vorwiderstand mit mindestens 1 kOhm. Die meisten heute gebräuchlichen LEDs leuchten mit diesem Widerstandswert viel zu hell, daher können Widerstände mit einem Wert bis zu 10 kOhm zum Einsatz kommen.

### Telexkupplungen



älterer Bauart benötigen einen Strom von 250 bis 300 mA, was die Funktionsausgänge vieler Lokdecoder überfordert. Sollen diese Kupplungen angeschlossen werden, empfiehlt sich vor der endgültigen Auswahl ein prüfender Blick in die Datenblätter der in Frage kommenden Decoder.

### Elektrische Kupplungen



heutiger Bauart benötigen zum Schalten einen kurzen, hohen Strom. Um zu verhindern, dass die Spulen durchbrennen, muss der Strom sofort nach dem Lösen der Kupplung reduziert werden. Diverse Decoder bieten die Möglichkeit, für einen Ausgang diese sogenannte "Kickfunktion" zu programmieren.

## Das "Motorola-Flackern"

### Was dahinter steckt-

Ein Phänomen, das nur in digitalen Anlagen auftritt, die im Motorola-Format (daher der Name) oder im mfx-Format gesteuert werden, ist das Flackern der Beleuchtungen im Digitalbetrieb. Ursache ist die Signalstruktur der Digitalsignale: Während im DCC-Format ein 100 % symmetrisches Signal gesendet wird, verwenden Motorola und mfx ein unsymmetrisches Signal.

Besonders "gemein" an dieser Erscheinung ist, dass sie immer auftritt, sobald ein entsprechendes unsymmetrisches Signal gesendet wird. Ein Beispiel: Eine digitale Anlage wird mit einer Multiprotokoll-Zentrale (DCC und Motorola) gesteuert, im Refresh der Zentrale sind aktuell 63 Loks mit DCC-Decoder und

eine Lok mit Motorola-Decoder und: bei allen 64 Loks flackert die Beleuchtung.

In der Praxis würde dieses genauso meist nicht auftreten, denn: Bei den Loks, wo der Rückleiter der Lampen mit dem Rückleiter für alle Funktionen des Decoders verbunden ist, tritt dieses Phänomen nicht auf. Aber bei allen anderen Loks, wo die Rückleitung der Lampen über das Gehäuse zu den Schienen erfolgt, flackern die Lampen – unabhängig davon, ob die jeweilige Lok im DCC- oder im Motorola-Format angesteuert wird. Entscheidend für das Auftreten des Phänomens ist ausschließlich, ob die Zentrale ein Motorola-Signal auf die Schienen gibt oder nicht.

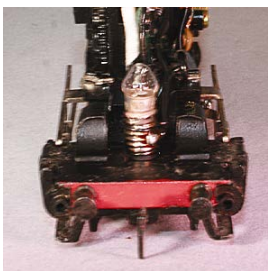
### Rückleiter für alle Funktionen

Einen Rückleiter für alle Funktionen (auch als Stromrückführung für Beleuchtung und Funktionen oder ähnlich bezeichnet) haben fast alle Decoder. Ausnahme sind Decoder mit 6-poliger Schnittstelle nach NEM 651. Beim Anschluss der Lampen an den Decoder ist es eine Überlegung wert, den Rückleiter der Lampen vom Gehäuse zu trennen und statt dessen mit dem Rückleiter auf dem Decoder zu verbinden.

Erfolgt die Rückleitung der Lampe (oder eines anderen Verbrauchers) über den Decoder, ist die einwandfreie Isolierung Voraussetzung für

das lange Leben der Lampe (oder des Verbrauchers) und des Decoders. Besteht (oder entsteht im Fahrbetrieb) eine Verbindung von der Lampe oder dem Verbraucher zu Metallteilen des Gehäuses und von dort womöglich noch zu den Schienen, treten Kurzschlüsse auf, bei denen der Überlastschutz des Decoders in der Regel überfordert ist (s. Abschnitt "Mit Versicherung"). Besonderes Augenmerk verdient die Befestigung der Teile, damit sie im Fahrbetrieb kein Eigenleben entwickeln können.

### Mit integrierter Fassung



Bei manchen älteren Lokmodellen ist die Rückleitung von den Lampen auf den Decoder allerdings schwer umzusetzen.

Bei älteren H0-Märklin-Loks findet man häufig Lampenfassungen, die direkt mit dem (Metall-) Gehäuse verbunden sind und in die passende Glühlampen eingeschraubt werden. Die Rückleitung erfolgt über das Gehäuse zu den Schienen. Eine einfache Lösung ist der Einbau von Bi-Pin-Lampensockeln, die genau in diese Lampenfassungen hineinpassen, und in die passende Glühlampen eingesteckt werden. Die Anschlusspins der Sockel werden mit dem Ausgang des Decoders und dem Rückleiter für alle Funktionen auf dem Decoder verbunden.



Bei älteren Loks anderer Hersteller waren (bevor NEM-Schnittstellen eingebaut wurden) ebenfalls Konstruktionen verbreitet, bei denen die Lampenfassungen im Gehäuse integriert sind. Diese Lampenfassungen sind in der Regel so klein, dass der Einbau von Bi-Pin-Lampensockeln nicht möglich ist. Diese Lampen umzubauen, ist mit einem erheblichen Aufwand verbunden. Wer seine Anlage ausschließlich im DCC-Format steuert, kann sich größere Umbauten schenken. Wer im Motorola-Format fährt, muss für sich entscheiden, ob er mit dem Motorola-Flackern leben kann, oder ob er sich an den Umbau wagen will.

Bild oben links: Typische Lampenfassung einer älteren Märklin-Lok. Um eine Rückleitung über den Decoder zu realisieren, kann ein Bi-Pin-Sockel mit passender Stecklampe verwendet werden.

Bild unten links: Gehäuse mit integrierter Lampenfassung. Eine Rückleitung auf den Decoder ist extrem aufwändig zu realisieren.



## Dioden in der Zuleitung

### Der Trick mit dem Lichtwechsel

Bei Loks für 2-Leiter-Systeme ist ein Trick beliebt, um den Lichtwechsel von rot auf weiß zu realisieren: In die Zuleitungen zu den Lampen werden Dioden eingebaut, die so gepolt sind, dass sie entweder bei Vorwärts- oder Rückwärtsfahrt den Strom passieren lassen.

Nach dem Anschluss der Lampen an die Funktionsausgänge übernimmt der Lokdecoder die Aufgabe, die Lampen entsprechend der Fahrtrichtung ein- oder

auszuschalten. Bleiben die Dioden in den Zuleitungen erhalten, liegt die Wahrscheinlichkeit, dass die Lampen nach dem Einschalten leuchten, bei 50 %. Daher gilt: die Dioden in den Zuleitungen müssen beim Einbau eines Decoders ausgebaut werden. Die Dioden sind allerdings nicht immer auf den ersten Blick als solche zu erkennen. Durchaus nicht unüblich war der Einbau kleiner Silizium-Plättchen am Sockel der Lampen, die wie Dioden wirken.

## Exkurs: Verbraucher über Relais schalten

### Mehr Strom zum Schalten

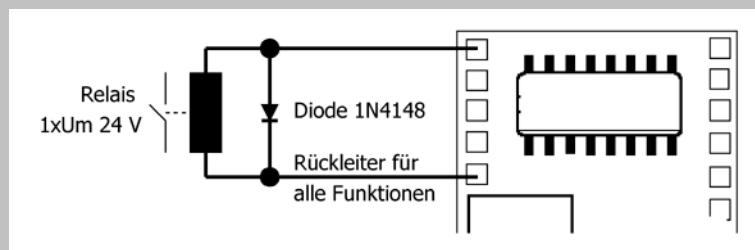
Mit einer kleinen Schaltung lassen sich die Einschränkungen hinsichtlich des maximalen Gesamtstroms eines Decoders und / oder des maximalen Stroms eines Ausgangs überwinden.

Die Schaltung, die an den Decoderausgang angeschlossen wird, besteht aus einem Relais 1xUm/24 V und einer Freilaufdiode. Sie verbraucht zum Schalten des ange-

schlossenen Verbrauchers unter 100 mA. Die Stromversorgung des Verbrauchers selbst erfolgt direkt von den Stromabnehmern.

Der Vorteil dieser Lösung ist, dass zwischen Decoder und Verbraucher keinerlei elektrische Verbindung besteht (galvanische Trennung), der Nachteil der hohe Platzverbrauch.

Anschluss eines Relais an einen Decoderausgang. Über das Relais wird der Verbraucher geschaltet, der Strom zum Betrieb des Verbrauchers wird direkt abgenommen.



## Mit Versicherung

Die Decoderhersteller bauen in ihren Decodern zum Teil Schutzschaltungen ein, die unter den Begriffen Überlast-Schutz, Kurzschluss-Schutz oder Überhitzungs-Schutz beworben werden. In den meisten Fällen schützen sie den Motor, seltener auch jeden einzelnen Ausgang. Wie andere Versicherungen auch, sind diese Schutzschaltungen nicht umsonst zu haben. Wie diese Mechanismen wirken und was sie leisten, zeigen einige Fallbeispiele:

### Überlastschutz

Fall 1: Der Motor verbraucht mehr Strom als angenommen.

Fall 2: Die Treibstangen der Räder verhaken, der Motor zieht plötzlich sehr viel Strom.

Hier greift der Überlastschutz des Decoders und schaltet den Decoder ab. Bleibt der Decoder unter Spannung, kann sich das Spielchen in regelmäßigen Abständen wiederholen – ein zunächst rätselhaftes Verhalten.

Überlastschutz für Funktionsausgänge

Fall 3: Eine Glühlampe mit 100 mA Nennstrom ist an einen Decoderausgang angeschlossen worden, der für maximal 100 mA Strom ausgelegt ist. Beim Einschalten verbraucht die Lampe jedoch ein Vielfaches von 100 mA.

Hier hilft ein Überlastschutz für den Funktionsausgang, der bei Lokdecodern jedoch recht selten ausgeführt wird. In der

Regel haben Decoder nur einen Überlastschutz für den gesamten Decoder bzw. den Motor, der reagiert, wenn der maximale Gesamtstrom oder der maximale Motorstrom überschritten werden. Im geschilderten Fall wird der maximale Gesamtstrom vermutlich nicht überschritten, der Überlastschutz hat keine Wirkung.

Kurzschluss-Schutz

Fall 4: Der Glühfaden in einer Glühlampe brennt durch und eines der Teilstücke verursacht innerhalb der Glühlampe einen Kurzschluss.

Fall 5: Bei den Verdrahtungsarbeiten werden versehentlich zwei Decoderkabel am selben Anschluss einer Lampe angeschlossen, es entsteht ein Kurzschluss.

Fall 6: Die Isolierungen von zwei Anschlusskabeln sind beschädigt, die Kabel bekommen

untereinander Kontakt und erzeugen einen Kurzschluss.

In diesen Fällen wirkt der Kurzschluss-Schutz, der Decoder schaltet den Motor und den Decoder ab. Hat der Decoder einen Überlastschutz, so ist der Schutz vor Kurzschlüssen dieser Art "mit drin", da sie rein technisch eine extreme Überlast darstellen.

Überhitzungs-Schutz

Fall 7: Die im Betrieb (vor allem an den Motortreibern) entstehende Wärme erhitzt den Decoder, weil sie nicht ausreichend nach außen abgeführt wird.

Hat der Decoder einen Überhitzungsschutz,

schaltet die Lok in diesem Fall ab. Wenn der Decoder wieder ein wenig abgekühlt ist, fährt die Lok wieder ein Stückchen, bevor sie erneut stehen bleibt – ein auf den ersten Blick höchst seltsames Verhalten.

Schutzlos ausgeliefert

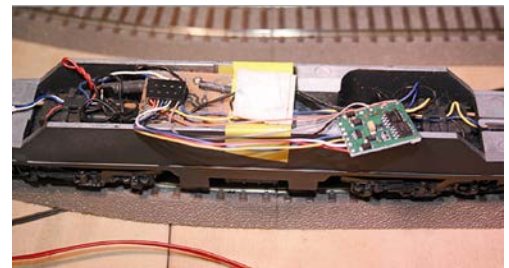
Fall 8: Die Lok macht ihre erste Probefahrt, noch ohne Gehäuse. Aus der Hemdtasche fällt ein Schraubendreher auf den Decoder.

Fall 9: Wieder Probefahrt ohne Gehäuse. Der nur provisorisch befestigte Decoder berührt das Chassis der Lok.

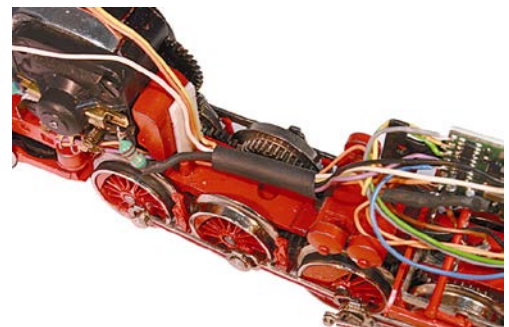
Fall 10: Beim Aufsetzen des Gehäuses werden die Isolierungen der Decoderkabel gequetscht. Im Betrieb scheuern die Isolierungen durch und bekommen, da sie nicht befestigt sind, Verbindung zu metallenen Teilen des Gehäuses und darüber zu den Schienen.

In diesen Fällen schützt keine der beschriebenen Schaltungen. Im günstigsten Fall bringt der Kurzschluss das "Gedächtnis" des Decoders durcheinander, was durch einen Reset und eine neue Programmierung behoben werden kann. Im ungünstigsten Fall werden Bauteile und / oder Leiterbahnen zerstört.

Hintergrund: Damit die Schutzschaltungen auf dem Decoder reagieren können, muss der Decoder die Überlast, den Kurzschluss oder die Überhitzung messen können. In den Fällen 8 bis 10 werden jedoch Bauteile auf dem Decoder kurzgeschlossen oder Bauteile auf dem Decoder unmittelbar durch extreme Überschreitung der internen Arbeitsspannung überlastet. Die Schutzschaltung ist in diesen Fällen machtlos.



Der Decoder wurde für die erste Probefahrt noch nicht befestigt. Kommt er während der Probefahrt mit dem Gehäuse in Kontakt, gibt es einen Kurzschluss, der den Decoder i.d.R. irreparabel zerstört.



Bei so vielen Kabeln ist die Gefahr recht groß, dass beim Aufsetzen des Gehäuses die Kabel eingeklemmt werden und es zu einem Kurzschluss kommt, wenn die Isolierungen durchgescheuert sind. Ein besonders kritischer Punkte ist z.B. am Anschluss an die Entstördrossel, wo kaum Platz ist zwischen Chassis und Gehäuse ist.

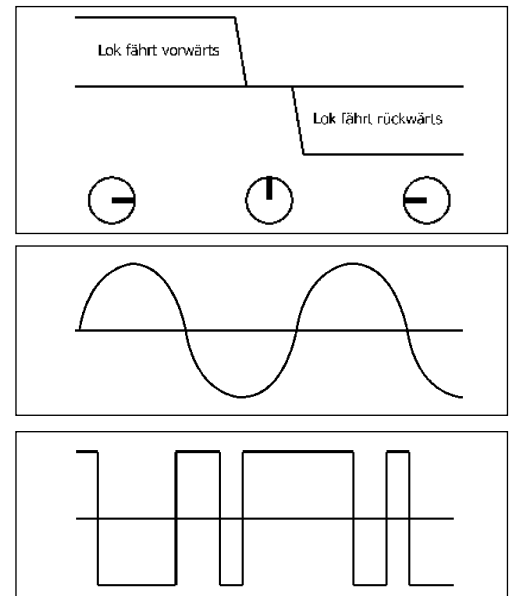
Auch am Gelenk des Chassis ist es empfehlenswert, die Kabel mit Schrumpfschlauch zu schützen.

## Strom - Daten - Spannung

Gleichspannung,  
Wechselspannung,  
Digital

Gleichspannung für 2-Leiter-Anlagen, Wechselspannung für 3-Leiteranlagen, das ist wohl jedem Modellbahner in Fleisch und Blut übergegangen. Und noch eines ist Basiswissen: Die Fahrtrichtung von Loks in 2-Leiter-Anlagen hängt davon ab, wie herum die beiden Leiter (oder Schienen) gepolt sind und um die Fahrtrichtung der Loks in 3-Leiter-Anlagen wechseln zu können, muss in der Lok ein Umschalter sein, der auf den Umschaltimpuls reagiert.

Und was ist mit Digital? Die Einspeisung von Strom und digitalen Signale wird von den Boostern erledigt (die selbst mit einem passenden Trafo versorgt werden). Die Booster selbst liefern immer eine spezielle Art der Wechselspannung, egal, ob sie eine 2- oder 3-Leiter-Anlage versorgen. Die Aufgabe, die Fahrtrichtung der Loks umzuschalten, übernehmen in digitalen Anlagen die Lokdecoder (weshalb die Umschaltrelais in Loks für 3-Leiter-Anlagen ausgebaut werden müssen).



Von oben nach unten:  
Gleichspannung – Wechselspannung – "Digitalspannung"

Strom- und  
Datenübertragung

Bei schlechter Stromübertragung ist das Fahrverhalten der Loks wenig befriedigend: Sie geraten vor allem bei langsamer Fahrt ins Stocken (oder bleiben sogar ganz stehen), sie haben Probleme, Steigungen zu überwinden oder Lasten zu bewegen. Dazu kommen flackernde Beleuchtungen. Probleme bei der Datenübertragung zeigen sich in einer trägen Reaktion der Decoder auf Schalt- und Steuerbefehle.

Voraussetzung für einen reibungslosen Digitalbetrieb ist also die gute Übertragung von Strom und Digitalsignalen über die Schiene zum Decoder (wie bereits an anderen Stellen erwähnt). Was theoretisch klar und selbstverständlich erscheint, ist in der Praxis manchmal nicht so einfach umzusetzen. Einige Beispiele für Übertragungshemmnisse:

**Schmutz und Korrosion auf den Schienen:** Auch wenn es manchmal schwer fällt, hier hilft wirklich nur saubermachen. Dieses gilt in besonderem Maß für ältere Gleissysteme aus leicht korrodierenden Materialien (z.B. Märklin M-Gleis).

**Weichen:** Je nach Konstruktion (und Zustand) der Weichen, müssen die Lok eine kleine (oder größere) stromlose Lücke überwinden. Hier kann ein Stützelko Abhilfe schaffen (s.u.).

**Minikurzschlüsse:** An Übergängen zwischen Boosterabschnitten, an Weichen in 3-Leiter-Anlagen, an Kehrschleifen in 2-Leiteranlagen,

die auf Kurzschlüsse mit einer schnellen Umpolung reagieren: hier treten beim Überfahren immer Kurzschlüsse auf. Normalerweise sind diese unbedenklich, sie können jedoch auch – bei entsprechender Intensität – die digitalen Signale stören und die Funktion des Decoders beeinträchtigen. Um Probleme an diesen kritischen Stellen zu vermeiden, sollten einige Regeln beachtet werden:

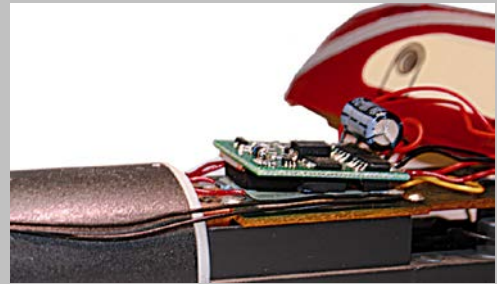
- Für die Versorgung von verschiedenen Boosterabschnitten in einer Anlage sollten nur Booster vom gleichen Typ und vom selben Hersteller eingesetzt werden.
- Die Punktkontakte in den Weichen dürfen nicht zu stark abgenutzt sein, falls doch, hilft nur der Austausch der Weiche.
- Die Kurzschlussempfindlichkeit von Kehrschleifenmodulen, die auf dem Kurzschlussprinzip beruhen, muss sehr präzise eingestellt werden.

**Zu geringe Gleisspannung:** Die Anschlussleitungen der Booster und die Schienen sind elektrisch nichts anders als Widerstände, in denen Spannung quasi "verloren" geht. Um auch am "Ende" eines Boosterabschnitts eine ausreichende Gleisspannung zu haben, müssen die Boosterleitungen ausreichend groß dimensioniert werden (Aderquerschnitt  $\geq 1,5 \text{ mm}^2$ ) und die Einspeisung in Abständen von 2-3 m erfolgen.

## EXKURS: Strom speichern

### Stützkelos

Eine Reihe von Decodern haben Anschlusspunkte, an die direkt Stützkelos angeschlossen werden können. Sie helfen als Überbrückung kurzer Stromunterbrechungen, z.B. beim Überfahren von kleinen Schmutzstellen oder von Weichen. Bedingt durch die meist begrenzten Platzverhältnisse im Inneren der Loks ist die Kapazität der einsetzbaren Elkos beschränkt, da Elkos umso größer sind, je größer die Kapazität ist. Ein aufgeladener Elko "reicht" für einige Millisekunden.



Decoder mit angelötetem Stützkelo. Dieser puffert den Strom, der erforderlich ist, wenn die Stromübertragung beim Überfahren kleiner Schmutzstellen oder von Weichen kurz unterbrochen wird.

### Goldcaps

Als Alternative zu den Elkos erscheinen Goldcaps als ideale Lösung: sie sind klein und haben trotzdem eine enorm große Kapazität. Sie dürfen jedoch nicht mit einer höheren Spannung als 5,5 V betrieben werden, was den direkten Anschluss an einen Lokdecoder unmöglich macht (hier sind 25 bis 35 V erforderlich). Sie müssen daher über einen sogenannten DC/DC-Wandler angeschlossen werden. Erschwerend kommt hinzu, dass die Goldcaps einen im Vergleich zu Elkos extrem hohen Innenwiderstand haben und daher beim Entladen die zur Verfügung stehende Spannung sehr schnell kleiner wird, wenn Strom entnommen wird.

Dieses Verhalten muss über eine Schaltung kompensiert werden, die üblicherweise zusammen mit dem DC/DC-Wandler auf einer gesonderten Platine untergebracht wird. Auf den Lokdecodern ist dafür schlicht kein Platz.

Nachdem das Problem, die Pufferschaltung im Fahrzeug unterzubringen, gelöst ist, können im Betrieb andere Schwierigkeiten auftreten: Wenn die Anlage abgeschaltet wird, kann die Lok mit dem gespeicherten Strom noch weiterfahren – was z. B. bei einem Not-Aus auf keinem Fall erwünscht ist. Das macht wiederum einen zusätzlichen Schutzmechanismus für diesen Fall erforderlich, der z.B. im Lokdecoder integriert werden kann.

### Fazit

Treten massive Probleme bei der Stromübertragung auf, die sich mit einem Stützkelo am Decoder nicht beheben lassen (die Rede ist also von größeren Problemen als denen, die beim Überfahren kleiner Schmutzstellen oder Weichen entstehen),

sollte die Beseitigung der Ursachen an erster Stelle stehen. Pufferbausteine sollten den Lokdecoder maximal für 1/2 Sekunde mit Spannung versorgen und nur nach sorgfältiger Berücksichtigung der möglichen Folgen eingesetzt werden.

### Gleisspannung und Lokdecoder

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

Die meisten Lokdecoder sind für eine Gleisspannung von 24 V ausgelegt, manche Mini-decoder nur für eine Gleisspannung von 18 V. Eine geringe Überschreitung der maximal zulässigen Spannung um 1 bis 2 V führt in der Regel nicht zu Schäden am Lokdecoder.

Also alles im grünen Bereich beim Einsatz der weit verbreiteten Trafos mit einer Nennleistung von ca. 50 VA und einer Nennspannung von 16 bis 18 V ? Nein, denn:

Die Nennspannung des Trafos ist nicht gleich der anliegenden Gleisspannung. In Kombination mit unregelmäßigen Boostern entspricht die Gleisspannung etwa dem 1,4 fachen der Nennspannung des Trafos, bei einem Trafo mit 18 V Nennspannung also ca. 25 V. Damit ist der Grenzwert mancher Lokdecoder deutlich überschritten.

Also könnte man nur Lokdecoder einsetzen, die eine Gleisspannung von 24 V vertragen. Die vorteilhaftere Lösung ist die Verwendung geregelter Booster (die am Ausgang eine feste, geregelte Gleisspannung von z.B. 18 V bereitstellen), denn:

Lokmotoren sind – abhängig von der Nenngröße – für den Betrieb mit einer bestimmter 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 das sogenannte Bürstenfeuer werden verstärkt. Eine Gleisspannung von 25 V, wie sie beim Einsatz unregelmäßiger Booster und Standard-Trafos mit 18 V Nennspannung anliegt, ist also schon für H0-Fahrzeuge deutlich zu hoch. von kleineren Spurweiten ganz zu schweigen.



**Abwärme**

Ein weiteres wichtiges Argument für den Einsatz geregelter, auf die Nenngröße abgestimmter Booster liefert die Physik: Die elektrische Leistung ist umso größer, je höher die Gleisspannung ist. Der größte Teil der elektrischen Leistung wird vom Motor in Bewegung und der "Rest" am Motor und am Decoder in Wärme umgesetzt. Die Wärmeleistung wird umso größer, je höher die Gleisspannung ist – und zwar im Quadrat zur anliegenden Spannung.

Die entstehende Wärme erhitzt den Decoder, den Motor und die angrenzenden Bauteile der

Lok. Kann sie nicht oder nicht ausreichend abgeführt werden, können Schäden an den angrenzenden Kunststoffteilen der Lok oder an den elektronischen Bauteilen des Decoders die (unerwünschte) Folge sein. Lokdecoder mit einem integrierten Überhitzungsschutz schützen zwar den Decoder und schalten den Lokmotor bei zu großer Wärmeentwicklung ab, jedoch erst bei recht hohen Temperaturen. Kunststoffteile der Lok können dann schon verformt sein.

## Analog mit Digital

Digitaldecoder und Analogbetrieb, das klingt zunächst vielleicht merkwürdig, ist aber durchaus möglich. Viele Lokdecoder der neueren Generation erkennen automatisch, wenn sie sich auf einer analog gesteuerten Anlage befinden, und schalten auch im Analogbetrieb die Beleuchtung fahrtrichtungsabhängig ein und aus – allerdings keine Funktionen.

**Automatische  
Analogerkennung:  
Nicht immer ohne Fehler**

Was als perfekte Lösung für Modellbahnen erscheint, die gerade im Umbau von analog auf digital sind, oder für Loks, die öfter mal von einer digitalen Heim- auf eine analoge Clubanlage wechseln, hat leider auch einen Haken: Befindet sich die Lok auf einer digitalen Anlage und stellt der Lokdecoder fälschlich in den Analogmodus um, rast die Lok mit Höchstgeschwindigkeit über die digitale Anlage.

Dieser Fehler tritt am häufigsten beim Einschalten der Anlage auf oder wenn der Lokdecoder sich nach einer Stromunterbrechung neu eingeschaltet hat, also immer dann, wenn der Decoder vor die Entscheidung "analog oder digital?" gestellt wird und das Fehlen eines Digitalsignals als Analogbetrieb interpretiert wird. Einige Beispiele, wann solche Fehlentscheidungen des Lokdecoders passieren:

Gleich nach dem Einschalten kann es vorkommen, dass die (Multiprotokoll-) Zentrale nur ein Digitalsignal in einem Format

sendet, das der Decoder nicht versteht. Der Decoder interpretiert das Fehlen eines Digitalsignals im für ihn "richtigen" Datenformat als "kein Digitalbetrieb, also Analogbetrieb".

Wenn die Lok nach mühsamen Aufgleisversuchen endlich richtig auf den Schienen steht, hatte die Lok zwar bereits Schienenkontakt, der Decoder jedoch kein digitales Signal empfangen, Folge: der Decoder hat sich auf Analogbetrieb eingestellt.

Störspannungen, die über die Schienen übertragen oder vom (schlecht gewarteten) Lokmotor übertragen werden, können die Digitalsignale so überlagern, dass sie vom Lokdecoder nicht mehr erkannt werden.

An Schmutzstellen oder beim Überfahren von Weichen ist der Decoder kurzzeitig stromlos und schaltet sich wieder ein, sobald er wieder mit Strom versorgt wird. Ein Stützelko kann hier Abhilfe schaffen.

Die Digitalsignale werden auf dem Weg durch die Schienen verfälscht, der Decoder kann sie nicht als Digitalsignal erkennen. Das kommt häufig vor, wenn in den Gleisen aus alten analogen Zeiten noch Entstörkondensatoren vorhanden sind. Besonders gute Chancen, beim Umstieg auf Digital übersehen zu werden, haben Kondensatoren in den Gleisen von Drehscheiben oder Schiebebühnen.

Wird die Trennstelle zwischen zwei Boosterabschnitten von einer Lok überbrückt (also kurzgeschlossen), kann in den dann miteinander verbundenen Boosterabschnitten "Datensalat" entstehen, der von den Lokdecodern falsch interpretiert, z.B. als Impuls zum Umschalten in den Analogbetrieb.

Die Ursachen von Störspannungen oder verfälschten Digitalsignalen, die die automatische Analogerkennung von Decodern "irritieren", sind oft schwer auszumachen. Daher ist es empfehlenswert, bei Decodern, die nur in digitalen Anlagen betrieben werden, grundsätzlich die automatische Analogerkennung auszuschalten.



Kleines Bauteil, große Wirkung: Der Entstörkondensator aus analogen Zeiten, der beim Umstieg auf Digital in den Schienen vergessen wurde, stört die Übertragung der digitalen Signale.

Lokdecoder im Analogbetrieb

Digitale Lokdecoder erfreuen sich auch bei reinen Analogbahnern durchaus einer gewissen Beliebtheit: als Ersatz für defekte (meist teurere) Umschaltrelais. Doch auch hier gibt es einige Pferdefüße.

Zum Starten brauchen die Lokdecoder eine (vergleichsweise hohe) Mindestspannung (der Trafo muss also ungewohnt weit aufgedreht werden) und es vergeht mehr Zeit als gewohnt, bevor es losgeht. Rätselhaft erscheint zunächst, dass die Lampen der Loks vor dem Anfahren schon leuchten, merkwürdigerweise sowohl vorne als auch hinten. Ursache ist, dass die anliegende Spannung zwar für das Einschalten der Lampen ausreicht, aber noch nicht für den Decoder: Daher "weiß" die Lok noch nicht, welche Fahrtrichtung eingestellt ist.

Grundsätzlich muss man auch erkennen, dass die elektronischen Bauteile auf den Decodern anfälliger auf hohe Impulse beim Umschalten der Fahrtrichtung reagieren als die Umschalt-

relais. Gerade der Einsatz (ur-) alter Trafos, die noch für eine Netzspannung von 220 V ausgelegt sind (und unbedingt entsorgt gehören) macht Lokdecodern schon mal den Garau: Diese Trafos haben häufig extrem große Bauteiltoleranzen, der Umschaltimpuls ist daher häufig viel höher als vorgesehen. In Kombination mit der heute üblichen Netzspannung von 230 V treten beim Richtungswechsel dann Spannungen auf, vor denen die elektronischen Bauteile auf dem Decoder kapitulieren.

Daher die Empfehlung: Wer ausschließlich analog fährt und niemals auf Digitalbetrieb umstellen will, sollte ein defektes Umschaltrelais lieber durch ein heiles Umschaltrelais und nicht durch einen Lok-decoder ersetzen. Nur dann, wenn der Umstieg auf digital bereits geplant ist, ist der Einbau eines Lokdecoders als Ersatz für ein defektes Umschaltrelais eine empfehlenswerte Lösung.

Zusammengefasst: die häufigsten Fehler und Probleme beim Decodereinbau

Beschädigung der Funktionsausgänge

Hauptursache 1: Glühlampen aus "alten" analogen Loks mit einem Nennstrom von 60 mA, die für eine Spannung von 16V ausgelegt sind, können beim Einschalten und bei Verwendung unregelter Booster gut und gerne 180 mA "ziehen" – eine Tatsache, die vielen Modellbahnern nicht bewusst ist.

Hauptursache 2: Kurzschlüsse. Als Verursacher kommen alle unbeabsichtigten leitenden Verbindungen zwischen Verbraucher und Metallteilen der Lok oder den Schienen in Frage, von schlecht isolierten Anschlusskabeln bis hin zu einer unzureichenden Befestigung des Verbrauchers.

Beschädigung der Motorendstufen

Hauptursache 1: Der Motor verbraucht mehr Strom als der Decoder liefern kann. Das kann an der Konstruktion des Motors liegen (alte Rundmotoren in H0-Loks verbrauchen beim Anfahren bis zu 2 A!), aber auch an Mängeln am Motor oder beweglichen Teilen.

Hauptursache 2: Kurzschlüsse. Alle Fälle, in denen Decoderbauteile kurzgeschlossen werden

oder extreme Überlasten auftreten (wie z.B. durch Verbindungen des Decoders zu Metallteilen der Lok oder den Schienen), führen zwangsläufig zur Beschädigung der Motorendstufen. Eine Kurzschluss-Sicherung oder ein Überlast-Schutz ist in diesen Fällen meistens wirkungslos.

Schlechteres Fahrverhalten als im Analogbetrieb

Mangelhafte Stromaufnahme (und damit auch schlechte Übertragung der Digitalsignale): In diesem Fall gehören die Schleifer oder Stromabnehmer auf den Prüfstand. Probleme entstehen häufig auch beim Überfahren von Weichen, der Einbau eines Stützelkos kann Abhilfe schaffen.

Störungen vom Motor: Fehlende oder unzureichende Entstörmittel am Motor, aber auch abgenutzte Kohlen und Bürsten können die Elektronik auf dem Decoder massiv stören.

Schlechte Einstellung des Decoders: Welche Einstellungen die "richtigen" sind, lässt sich häufig nur durch Ausprobieren herausfinden.

Rätselhafte Phänomene

Die Lok fährt an, hält an, fährt wieder an, hält an, usw.: Häufig ist der Überlast- oder Überhitzungsschutz hierfür "verantwortlich" bzw. der Motor, der mehr Strom aufnimmt als der Decoder liefern kann.

Die Lok rast plötzlich ohne erkennbaren Grund los. Dahinter steckt i.d.R. die auto-

matische Analogerkennung. Da der Grund, warum der Decoder kein digitales Signal erkennt, häufig schwer auszumachen ist, empfiehlt sich die Abschaltung der Analogerkennung - vorausgesetzt, die Lok soll ausschließlich digital angesteuert werden.