

Beschreibung des mfx[®]-Schienenformats

Autor: Stefan Krauß

*Team: Rainer Müller, Mike F. Schwarzer, Stefan Krauß,
Knut Schwichtenberg, Erwin Stegmaier*

Version 2.3 vom 2017-06-17

mfX ist eine eingetragene Marke der Gebrüder Märklin & Cie. GmbH,
73033 Göppingen, Deutschland

Hinweis

Aus privater Wissbegier wurde von einigen technisch interessierten Modellbahnern (dem Team) das mfx[®]-Format erforscht. In diesem Dokument werden die entsprechenden Beobachtungen und Schlussfolgerungen beschrieben; es gibt die private Meinung der Autoren wieder. Die vorliegende Beschreibung ist keine offizielle Formatspezifikation und nicht von den an der Entwicklung oder Vermarktung von mfx[®] beteiligten Firmen autorisiert.

Das Dokument richtet sich an technisch interessierte Modellbahner und sollte als journalistische Arbeit verstanden werden. Es werden keine kommerziellen Interessen verfolgt.

Haftungsausschluss

Autor und Team schließen jegliche Ansprüche durch Schäden aus, die durch falsche, unvollständige oder ungenaue Informationen in diesem Dokument entstehen könnten. Insbesondere wird darauf hingewiesen, dass alle Informationen nur informativ zu verstehen sind, eine Eignung für einen bestimmten Zweck nicht garantiert werden kann und eventuell Schutzrechte Dritter betroffen sein können. Es ist damit zu rechnen, dass das Dokument unvollständig und teilweise nicht korrekt ist.

Urheberrechte

Das Urheberrecht am vorliegenden Dokument liegt beim Autor. Alle Texte, Zeichnungen und Bilder dürfen nicht ohne schriftliches Einverständnis des Autors ganz oder in Teilen verwendet werden. Der Autor ist über die folgende E-Mail-Adresse bzw. Internet-Seite zu erreichen:

stefan@skrauss.de
<http://www.skrauss.de>

Die unveränderte PDF-Datei darf privat weitergegeben und zu privaten Zwecken ausgedruckt werden. Eine kommerzielle Verwendung ist ausgeschlossen.

Dieser Urheberrechtshinweis bezieht sich nicht auf die dargestellten Sachverhalte und technischen Verfahren. Diese können durch Urheber-, Patent- oder andere Schutzrechte Dritter geschützt sein. Die Wiedergabe erfolgt in diesem Dokument nur zu Informationszwecken.

Markenrechte

Märklin, mfx und mfx+ sind eingetragene Marken der Firma Gebrüder Märklin & Cie. GmbH, 73033 Göppingen, Deutschland. Trix ist eine eingetragene Marke der Märklin Holding GmbH, 73037 Göppingen, Deutschland.

ESU und ECoS sind eingetragene Marken der Firma ESU electronic solutions ulm GmbH & Co. KG, 89081 Ulm, Deutschland.

Motorola ist eine eingetragene Marke der Motorola Inc., Schaumburg, Illinois, USA.

RDS ist eine eingetragene Marke der THOMSON Licensing S.A., Boulogne Billancourt, Frankreich.

Weitere Bezeichnungen können Schutzrechten Dritter unterliegen. Marken und andere geschützte Bezeichnungen werden in diesem Dokument nur informativ verwendet.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	5
1.1	Zweck des Dokuments.....	5
1.2	Dokumentenhistorie.....	5
1.3	Konventionen.....	6
1.4	Abkürzungen.....	6
1.5	Schutzrechte.....	6
1.6	Verweise und Literatur.....	7
2	Signal und Kodierung.....	8
2.1	Übertragungsprinzip.....	8
2.2	Steuerkanal.....	9
2.2.1	Bit-Kodierung und Synchronisation.....	9
2.2.2	Stuffing.....	10
2.2.3	Bit-Reihenfolge.....	11
2.2.4	Aufbau der Datenframes.....	11
2.2.5	Checksumme.....	13
2.2.6	Prinzip der Rückmeldung.....	13
2.2.7	Rückmeldefenster 1-Bit-Rückmeldung.....	14
2.2.8	Rückmeldefenster Datenrückmeldung.....	15
2.2.9	Einbettung von Steuerbefehlen im MM-Format.....	16
2.3	Rückkanal.....	16
2.3.1	Modulation.....	17
2.3.2	Kodierung der 1-Bit-Rückmeldung.....	17
2.3.3	Kodierung bei Datenrückmeldung.....	17
2.3.4	Checksumme bei Datenrückmeldung.....	18
3	Kommandos.....	20
3.1	Kommandos.....	20
3.1.1	Kein Kommando.....	20
3.1.2	Kommando 000: Fahren (kurz).....	20
3.1.3	Kommando 001: Fahren.....	20
3.1.4	Kommando 010: Funktionen (kurz).....	21
3.1.5	Kommando 011: Funktionen (erweitert).....	21
3.1.6	Kommando 100: Funktionen (Einzelansteuerung).....	21
3.1.7	Kommando 101: reserviert.....	21
3.1.8	Kommando 110: reserviert.....	21
3.1.9	Kommando 111: Konfiguration.....	21
3.2	Erweiterte Kommandos zur Konfiguration.....	22
3.2.1	Kommando 111 000: CV Lesen.....	22
3.2.2	Kommando 111 001: CV Schreiben.....	22
3.2.3	Kommando 111 010: Dekoder-Suche.....	22
3.2.4	Kommando 111 011: Zuweisung Schienenadresse.....	22
3.2.5	Kommando 111 100: Existenzabfrage (Ping, mfx [®] Verify).....	23
3.2.6	Kommando 111 101: Zentrale.....	23

3.2.7 Kommando 111 110: reserviert.....	23
3.2.8 Kommando 111 111: reserviert.....	23
4 Protokoll.....	24
4.1 Ruhezustand.....	24
4.2 Einschalten: Dekoder erhält Strom.....	25
4.3 Anmeldung.....	25
4.4 Abmelden.....	27
4.5 Reset der Zentrale.....	27
4.6 Fahren und Bedienen.....	28
4.7 Mehrfachtraktion.....	28
4.8 Notstopp.....	28
4.9 Konfigurieren.....	29
4.10 Protokollumschaltung.....	30
5 Erweiterung mfx+®.....	31
5.1 Funktionsprinzip.....	31
5.2 Verfahren und Abläufe.....	32
5.2.1 Modus-Einstellung.....	32
5.2.2 Betriebsmittelverwaltung.....	32
5.2.3 Notlauf.....	33
5.2.4 Betriebsaufzeichnung.....	33
5.2.5 Interaktion mit der Zentrale.....	33
6 Dekoder-Konfiguration.....	35
6.1 Adressierung.....	35
6.2 Kodierung und Byte-Reihenfolge.....	35
6.3 Struktur.....	36
6.3.1 Aufbau des Konfigurationsraums.....	36
6.3.2 Regeln für die Strukturen für die Schnellanmeldung.....	38
6.4 Beschreibung der Konfigurationsvariablen.....	39
6.4.1 Block 01: Dekoder-Eigenschaften.....	39
6.4.2 Block 02: Funktionen.....	44
6.4.3 Block 03: Automatische Funktionen.....	44
6.4.4 Block 04: Funktionszuordnung.....	45
6.4.5 Block 05: Fahreigenschaften.....	49
6.4.6 Block 06: Hardware-Funktionen.....	51
6.4.7 Block 07: Weitere Protokolle.....	53
6.4.8 Block 08: Sound-Einstellungen.....	56
6.4.9 Block 09: Sonderoptionen.....	58
6.4.10 Block 0A: mfx+®.....	58
6.4.11 Dekoder-Reset.....	61

1 Einleitung

1.1 Zweck des Dokuments

Mit der Vorstellung des neuen Digitalsystems für die Steuerung von Modelleisenbahnen von Märklin[®] im Jahr 2004 wurde auch ein neues Schienenformat eingeführt. Das neue Format bzw. die dazugehörigen Dekoder werden als mfx[®] bezeichnet. Über die technischen Hintergründe und die genaue Funktionsweise des neuen Digitalformat wurde von den Firmen Märklin[®] und ESU[®] leider nur sehr wenig veröffentlicht. Eine offizielle technische Spezifikation ist nicht verfügbar.

Einige technisch interessierte und versierte Modellbahner – das Team – haben in mühevoller Kleinarbeit das Schienensignal untersucht und versucht, die Funktionsweise von mfx[®] zu verstehen. Dies ist in großen Teilen gelungen. Das vorliegende Dokument enthält das Ergebnis dieser Untersuchungen. Es beschreibt das mfx[®]-Schienensignal, wie es vom Team interpretiert wird. Daraus erklären sich auch die Lücken und die sicher enthaltenen Fehler; ebenso ist manches vielleicht Spekulation, da die Intention der ursprünglichen Entwickler nicht bekannt ist.

Die informative Darstellung soll dem technisch interessierten Modellbahner einen Einblick in die Funktionsweise von mfx[®] erlauben. Auch wenn dieses Wissen im normalen Modellbahnalltag sicher nicht notwendig ist, hilft es doch, bestimmte Vorgänge zu erklären und zu verstehen.

1.2 Dokumentenhistorie

Version	Datum	Autor	Änderungen
1.0	2009-02-01	S. Krauß	Dokument neu erstellt, alle Ergebnisse des Teams R. Müller, M. F. Schwarzer, S. Krauß, K. Schwichtenberg und E. Stegmaier zusammengefasst CVs detailliert aufgeschlüsselt
1.1	2009-03-01	S. Krauß	Kleine Korrekturen
2.0	2014-06-13	S. Krauß	Überarbeitung des gesamten Dokuments, Einarbeitung der Hinweise aus verschiedenen Bastelprojekten CV-Bedeutung weiter analysiert und fehlende Beschreibungen ergänzt bzw. bestehende korrigiert mfx+ [®] analysiert und beschrieben
2.1	2014-06-29	S. Krauß	Fehler korrigiert, einige neue Erkenntnisse (insb. mfx+ [®]) eingearbeitet
2.2	2016-11-05	S. Krauß	mfx [®] -Befehl für 32 Funktionen eingefügt, MM-Kodierung korrigiert
2.3	2017-06-xx	S. Krauß	Erläuterungen Configuration Space erweitert, Schnellanmeldung beschrieben

1.3 Konventionen

Manche Details ließen sich bisher nicht klären und auch nicht experimentell untersuchen. Diese offenen Fragen sind in diesem Dokument in der Regel nicht explizit vermerkt. Wo bisher im Detail unbekannte Teile beschrieben werden, treten zwei Fälle auf, die wie folgt gekennzeichnet sind:

reserviert: Als *reserviert* werden die Teile beschrieben, die zwar logisch möglich und sinnvoll sind, aber experimentell nicht beobachtet werden konnten (z.B. bestimmte Kommandokennzeichnungen). Diese Möglichkeiten werden von den Systementwicklern eventuell später definiert oder sind bereits definiert, aber noch nicht verwendet worden.

unbekannt: Als *unbekannt* werden die Teile beschrieben, die beobachtet wurden, aber für die bisher eine Erklärung fehlt.

Da die von den Entwicklern verwendeten Namen und Bezeichnungen unbekannt sind, wurde versucht, möglichst sinnvolle Bezeichnungen zu finden. Im Zweifelsfall können die verwendeten Bezeichnungen aber auch in die Irre führen, nämlich dann, wenn eine Bezeichnung implizit Sachverhalte assoziiert, die nicht zutreffen. Bei der Ableitung von Information aus den Bezeichnungen ist daher Vorsicht geboten.

Die Begriffe Dekoder und Lok werden im Dokument synonym verwendet, weil bisher mfx[®]-fähige Dekoder nur als Lokomotiven-Dekoder vorgekommen sind. Die Ausführungen gelten aber sinngemäß auch für alle anderen denkbaren mfx[®]-Dekoder, z.B. Funktions-Dekoder.

1.4 Abkürzungen

CA	Configuration Array	Teilstruktur der Konfigurationsvariablen.	siehe 6.1
CV	Konfigurationsvariable (Configuration Variable)	Speicherstelle für Konfigurationseinstellungen in den Dekodern.	siehe 6.1
DCC	Digital Command Control	Alternatives Schienenformat.	siehe 2.1
MM	Märklin [®] -Motorola [®]	Alternatives Schienenformat.	siehe 2.1
SID	Schienenadresse (Schienen-Identifizier)	Zur Adressierung von mfx [®] -Dekodern über das Schienensignal verwendete Adressen.	siehe 2.2.4
UID	Teilnehmererkennung (Unique Identifier)	Eindeutige 32-Bit-Seriennummer für Zentralen, Dekoder und andere Digitalkomponenten wie Booster; wird von Märklin vergeben.	vgl. CS2-CAN-Protokoll-Beschreibung

1.5 Schutzrechte

Die beschriebenen Verfahren können Schutzrechten Dritter unterliegen, insbesondere Urheber- und Patentrechten. Bekannt ist die, letztlich nicht weiter verfolgte, Patentanmeldung EP

1 555 054 A1, die sich offensichtlich auf bestimmte Anwendungen des mfx[®]-Schienenformats bezieht, insbesondere die automatische Anmeldung. Von Märklin existieren weitere Patente und Patentanmeldungen aus den Folgejahren, die sich mit verschiedenen Aspekten der Steuerung über mfx[®] und mfx+[®] beschäftigen. Allerdings scheint es sich zum Teil um Weiterentwicklungen zu handeln, die bisher nicht umgesetzt sind.

Es kann daher keine Aussage über die freie Nutzbarkeit der hier beschriebenen Verfahren gemacht werden.

1.6 Verweise und Literatur

Der überwiegende Teil der Information wurde vom Team durch eigene Beobachtungen, Experimente und Schlussfolgerungen gewonnen. Einige Hinweise finden sich auch an den folgenden Stellen:

Internet-Seite von Rainer Müller: ursprünglich <http://www.mue473.de>, nach einem Domain-Umzug nun unter <http://www.alice-dsl.net/mue473/> zu finden. Diese detaillierte Beschreibung ist teilweise parallel zu den Arbeiten des Teams entstanden und veröffentlicht worden, bevor Rainer Müller zum Team hinzu gestoßen ist.

CS2_can-protokoll_1-0.pdf (26.9.2008): Von Märklin[®] auf <http://www.maerklin.de> veröffentlichte Beschreibung des Kommunikationsprotokolls (CAN/Ethernet) der Märklin[®] Central Station 2.

cs2CAN-Protokoll-2_0.pdf (7.2.2012): Zweite, erweiterte Version der CAN-Protokollbeschreibung von Märklin[®], ebenfalls auf <http://www.maerklin.de> veröffentlicht.

Patentanmeldung EP 1 555 054 A1: Von ESU[®] 2004 eingereichte Patentanmeldung, die sich offensichtlich mit den Verfahren von mfx[®] beschäftigt. Die Patentantrag wurde aufgegeben, es ist kein gültiges Patent entstanden.

Patent DE 10 2011 003 472 A1 bzw. Patentanmeldung EP 2 481 458 A1: Märklin-Patent, das sich mit den Verfahren zur Berechnung des Betriebsmittelverbrauchs etc. bei mfx+ befasst. Beide Dokumente sind inhaltlich im Wesentlichen gleich.

Patent DE 10 2009 058 296 A1 bzw. Patentanmeldung EP 2 329 870 B1: Märklin beschreibt darin eine mögliche Erweiterung des Umgangs mit Adressen im mfx[®]-Format. Beide Dokumente sind inhaltlich im Wesentlichen gleich.

Patentanmeldung EP000002431083A1: Patentantrag von Märklin, der sich mit der Rückmeldung im mfx[®]-Signal beschäftigt.

Prospekt „Let's talk about ... Märklin[®] systems“: Bei der Einführung von mfx[®] 2004 von ESU[®] herausgegebenes Informationsblatt, enthält einen Abschnitt mit technischen Details über mfx[®].

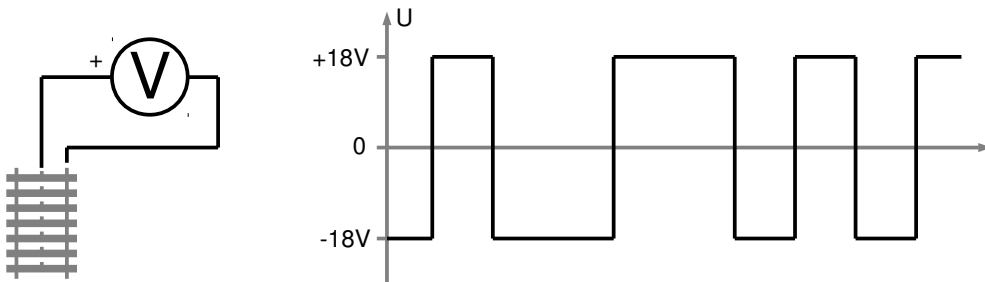
Die Patentdokumente sind über die Patentrecherche beim Deutschen Patent- und Markenamt zu erhalten (im Internet über <http://depatisnet.dpma.de/> zu erreichen).

2 Signal und Kodierung

2.1 Übertragungsprinzip

Das Schienensignal besteht aus einer Rechteck-Wechselspannung von etwa ± 18 V. In den Fahrzeugen und stationären Dekodern wird nach Gleichrichtung daraus die Versorgungsspannung für die Dekoder-Elektronik und die angeschlossenen Verbraucher gewonnen.

Die Polaritätswechsel dienen der Übertragung von Information. Dasselbe Prinzip wird auch bei anderen Digitalsystemen wie dem Digitalsystem im Märklin[®]-Motorola[®]-Format (MM-Format, bisher von Märklin[®] verwendetes Format und damit in gewisser Weise Vorgänger von mfx[®]) oder DCC (Digital Command Control, ein standardisiertes und insbesondere bei Zweileiter-Modellbahnsystemen verbreitetes Format) angewandt. Aus physikalischer Sicht ist das Schienensignal daher zu diesen Systemen kompatibel.



Das Schienensignal wechselt nur die Polarität, Lücken (spannungslose Zeiten) gibt es nicht. Allerdings kann die Polarität einige Zeit gleich bleiben. Solche Pausen werden zur Trennung zwischen Motorola[®]-Befehlen und mfx[®]-Befehlen sowie zur Rückmeldung verwendet. Diese Pausen betragen dann aber unter 100 ms (Maximalwert ist nicht genau bekannt).

Längere Zeiten mit negativem Potential (Grenze nicht genau bekannt, vermutlich > 100 ms) am Mittelleiter werden als Bremsstrecke wie im bisherigen Digitalsystem verstanden. Der Dekoder regelt in diesem Fall gemäß der Bremskurve bis zum Stillstand und fährt unter Berücksichtigung der Anfahrkurve an, wenn wieder Informationen empfangen werden. Die Bremsstreckenfunktion muss nicht implementiert sein und kann abgeschaltet werden.

Die Märklin[®]-Bremsstrecke wird bei manchen Dekodern auch bei positivem Potential erkannt, die ursprüngliche Definition verlangt aber negatives Potential. Damit das Prinzip auch auf Zweileitersystemen verwendet werden kann, wo es keine eindeutige Zuordnung der beiden Anschlüsse gibt, unterscheiden diese Dekoder positives und negatives Potential nicht.

Das Schienensignal kennt auch einen Rückkanal, über den mfx[®]-Dekoder Informationen an die Zentrale zurückmelden können. Dies geschieht in speziellen Pausen, während denen am Gleis eine Spannung gleich bleibender Polarität oder mit kurzen Polaritätswechseln zur Synchronisation angelegt wird. Es wird die Modulationsmethode des RDS[®] (RadioDataSystem, ein System zur Übertragung von digitaler Zusatzinformation wie dem Sendernamen in der Radiosendung) verwendet. Die Rückmeldung wird über einen Verbraucher im Dekoder generiert. Dieser erzeugt kurze Stromimpulse in einer bestimmten Frequenz, die an der Zentrale wieder ausgekoppelt werden können. Der Verbraucher im Dekoder wird über ein Rechtecksignal stimuliert.

Die Spezifikation der zu erzeugenden Stromstärke ist nicht genau bekannt, aktuelle Dekoder erzeugen aber Stromimpulse von etwa 140 mA. Dort schließt ein Transistor gesteuert von einem Prozessorausgang die beiden Signalleitungen über einen 100-Ohm-Widerstand kurz. Achtung: Transistor und Widerstand sind je nach Dekoder-HW nicht beliebig belastbar; sehr viele Rückmeldungen in kurzer Zeit können daher den Dekoder beschädigen.

Zum Vergleich DCC: Hier ist ein Acknowledge-Impuls als Rückmeldung definiert, der ebenfalls mit Stromimpulsen arbeitet, die aber üblicherweise durch den am Dekoder angeschlossenen Motor erzeugt werden. Hier muss der Strom mindestens 60 mA betragen; an der Zentrale (Programmierschiene!) wird er über einen Widerstand auf etwa 250 mA begrenzt. Der Impuls ist nicht moduliert und muss etwa 6 ms lang sein.

2.2 Steuerkanal

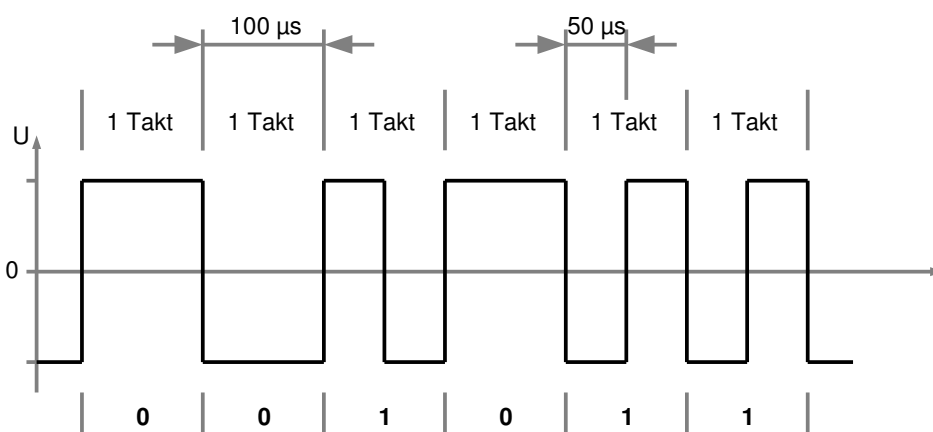
Als Steuerkanal wird die Übertragung von Information von der Zentrale zum Dekoder über die Schiene bezeichnet.

2.2.1 Bit-Kodierung und Synchronisation

Die Bits sind bi-phase mark kodiert. Das Taktsignal ist daher im Datenstrom enthalten, alle Bits haben eine feste Länge. Es wird ein Übertragungstakt von 10 kBaud verwendet, ein Bit ist daher 100 μ s lang.

Die Bit-Kodierung kann durch folgende Regeln beschrieben werden:

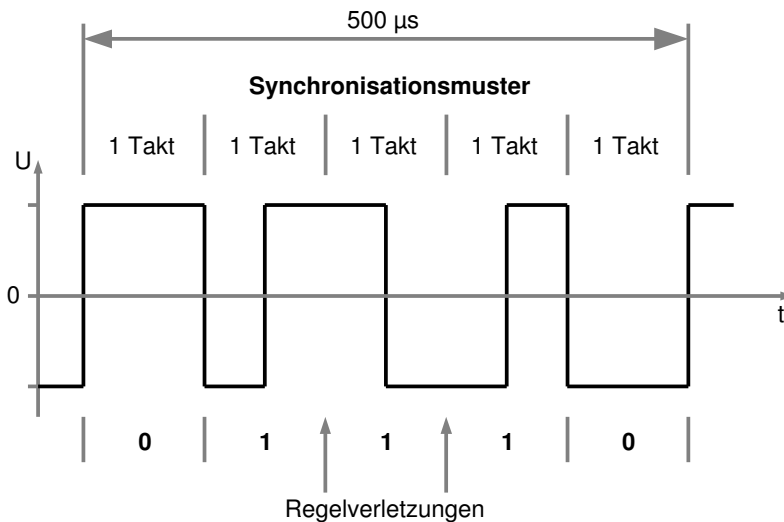
- Jede Taktgrenze wird durch einen Polaritätswechsel markiert.
- Eine Eins wird durch einen Polaritätswechsel in der Mitte der Taktzelle dargestellt.
- Eine Null wird durch eine Taktzelle ohne Polaritätswechsel dargestellt.



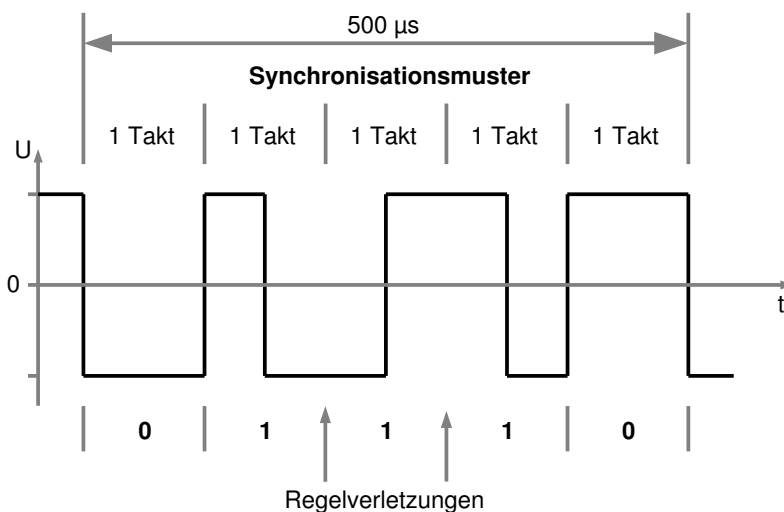
Zur Synchronisation der Übertragung und zur Kennzeichnung von Frame-Beginn und -Ende wird ein Synchronisationsmuster (für die Frames kann dieses als Präambel angesehen werden) verwendet, das gezielt die Kodierungsregeln verletzt. Das Synchronisationsmuster ist daher unabhängig von den gesendeten Daten leicht zu erkennen.

Als Synchronisationsmuster wird die 500 μ s lange Bit-Folge 01110 verwendet, wobei der Polaritätswechsel zwischen dem 2. und 3. sowie dem 3. und 4. Bit entfällt. An diesen beiden

Stellen entfällt der eigentlich obligatorische Polaritätswechsel, der das Ende einer Taktzelle anzeigt. Dies ist eine Verletzung der bi-phase-mark-Regeln.



Je nach Pegel am Beginn des Synchronisationsmusters kann dieses natürlich auch mit entgegengesetzten Pegeln auftreten. Die Richtung der Polaritätswechsel hat keine besondere Bedeutung.



2.2.2 Stuffing

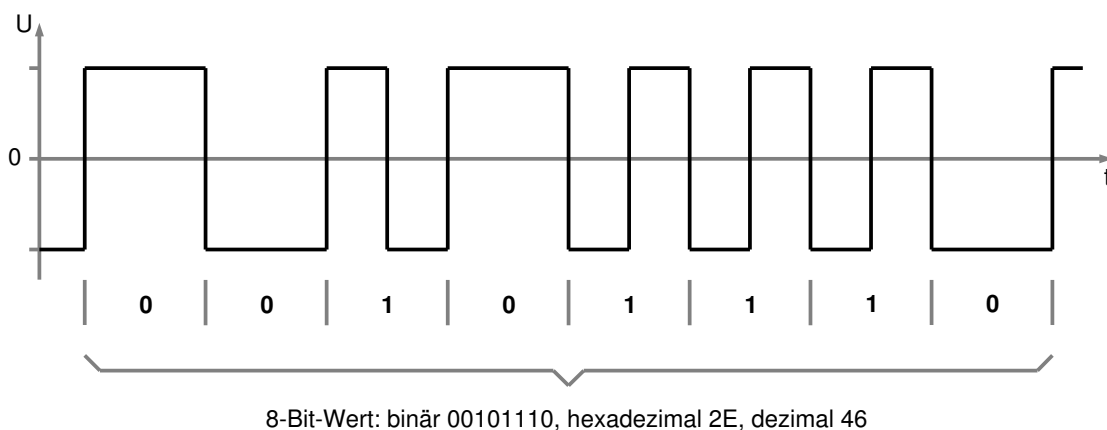
Unter Stuffing versteht man das Einfügen von Bits in den Datenstrom, um bestimmte Bit-Muster im normalen Datenstrom zu vermeiden. Dies wird verwendet, weil zum Beispiel diese Bit-Muster zur Synchronisation verwendet werden oder eine Verwechslung mit anderen Protokollen möglich ist. Die Synchronisation der Daten und Frames des mfx®-Schieneformats ist durch das spezielle Synchronisationsmuster von den übertragenen Daten unabhängig, bestimmte Bit-Folgen in den Daten können also nicht mit dem Synchronisationsmuster verwechselt werden. Bit-Stuffing wäre daher eigentlich nicht notwendig.

Trotzdem wird Bit-Stuffing verwendet, das verhindert, dass mehr als 9 Eins-Bits direkt hintereinander übertragen werden. Die Eins-Bits würden nämlich von einem DCC-Dekoder ebenfalls als Eins-Bits erkannt, auch wenn sich hier die spezifizierten Längen nur recht knapp überschneiden. Eine lange Serie von Eins-Bits gilt im DCC-System als Synchronisationssignal für DCC-Frames. Deshalb wird im mfx[®]-Datenstrom ein Stuff-Bit eingefügt, um solche Konstellationen nicht entstehen zu lassen und damit die Interoperabilität zum DCC-System zu erhalten. Auf demselben Gleis können also DCC und mfx[®] abwechselnd übertragen werden, ohne dass es zu Verwechslungen im Dekoder kommen kann.

Die Stuff-Bit-Regelung lautet: Nach 8 übertragenen Einsen wird immer eine Null eingefügt. Diese wird nach der Checksummenberechnung in der Zentrale eingefügt und vor dem Checksummentest im Dekoder wieder entfernt. Das Synchronisationsmuster wird nicht berücksichtigt, es wird also in keinem Fall ein Stuff-Bit im Synchronisationsmuster eingefügt. Wenn alle 8 Bits am Ende des Frames eins sind, wird am Ende des Frames noch eine Stuff-Bit-Null angehängt. Somit kann das Stuff-Bit auch am Frame-Ende ohne Sonderbehandlung entfernt werden.

2.2.3 Bit-Reihenfolge

Die Bits werden in der Reihenfolge Big Endian übertragen, das höchstwertige Bit eines Wertes also zuerst gesendet.



Diese Reihenfolge gilt für jeden Einzelwert, unabhängig von dessen Länge. Die Bit-Reihenfolge Big Endian gilt auch für die Bits der einzelnen Bytes in der Rückmeldung.

In der Rückmeldung wird die Byte-Reihenfolge Little Endian verwendet. Es wird also zunächst das Byte 0, dann das Byte 1 usw. gesendet.

Hinweis: Bei der Ablage der Konfigurationsvariablen werden teilweise größere Einzelwerte aus mehreren Konfigurationsvariablen, also mehreren Bytes gebildet. Hier wird in der Regel die Byte-Reihenfolge Big Endian verwendet (siehe Kapitel 6).

2.2.4 Aufbau der Datenframes

Datenframes werden durch das Synchronisationsmuster begonnen und enden auch immer mit einem Synchronisationsmuster. Zwischen zwei Datenframes braucht jedoch nur ein Synchronisationsmuster ausgegeben werden. Es können jedoch auch mehrere Synchronisati-

onsmuster aufeinander folgen oder am letzten Synchronisationsmuster vor einer Pause der letzte Polaritätswechsel entfallen.

Die Datenframes sind wie folgt aufgebaut:

Adresse Kommandos Checksumme

Der Frame kann ein Kommando mit Parametern enthalten, er kann aber auch gar kein Kommando oder mehrere Kommandos hintereinander enthalten. Die folgenden Muster sind also ebenfalls gültige Frames:

Adresse Kommando1 Checksumme

Adresse Checksumme

Adresse Kommando1 Kommando2 Checksumme

Zwei Kommandos kommen nur in der Kombination Fahrbefehl plus Funktionszustand vor. Vermutlich ist nur diese Kombination erlaubt. Insbesondere funktionieren keine komplexeren Befehle mit Rückmeldung in Kombination mit anderen Befehlen.

Zur Adressierung der Dekoder wird eine Schienenadresse verwendet, die sogenannte SID. Sie wird während der Anmeldung den Dekodern dynamisch zugewiesen (Adressen ab 1, wobei die Zentrale frei ist, welche Adressen sie vergibt). Die Adresse ist 14 Bits lang (= 16383 Adressen + 0 als Broadcast-Adresse). Es werden aber nicht immer alle Adress-Bits übertragen, um Übertragungszeit zu sparen; die oberen Bits sind dann implizit 0. Das Format ist an den ersten Bits eindeutig zu erkennen.

Die Adressformate in verschiedenen Längen (LSB ganz rechts):

10 AAAAAA	7 Bit Adresse
110 AAAAAAAAA	9 Bit Adresse
1110 AAAAAAAAAA	11 Bit Adresse
1111 AAAAAAAAAAAAA	14 Bit Adresse

Die Adresse 0 ist die Broadcast-Adresse und adressiert alle Dekoder, insbesondere auch noch nicht angemeldete Dekoder.

Die Checksumme ist immer 8 Bit lang und bildet die letzten 8 Bits des Frames:

CCCCCCCC

Die Kommandos beginnen grundsätzlich mit einem 3-Bit-Kommando-Bezeichner. Daran schließen sich dann die Parameter-Bits des Kommandos an.

CCC PPPP...

Die Länge des Kommandos mit Parametern ergibt sich beim Lesen von links nach rechts aus dem Kommando und eventuell den Parameterwerten. Die Länge ist nicht unbedingt fest vorgegeben (aber meistens).

Manche Kommandos verwenden in den Parametern noch an erster Stelle eine Unterkommando-Kennzeichnung von weiteren 3 Bits (erweiterte Kommandos).

CCC UUU PPPP...

Der Aufbau ist aber grundsätzlich derselbe, die Unterkommando-Bits könnten als Parameter betrachtet werden.

2.2.5 Checksumme

Die Checksumme ist ein CRC-Code, der über alle Bits des Frames gebildet wird, allerdings erst, wenn eventuell vorhandene Stuff-Bits bereits gelöscht wurden. Der CRC-Code wird bitweise gebildet, da die Framelänge nicht unbedingt durch 8 teilbar ist.

CRC-Algorithmus: einfacher, bitweiser CRC-Code mit XOR

CRC-Polynom: $x^8 + x^2 + x + 1$ (= 100000111)

Startwert: 127 (= 01111111)

Endwert: 0

Beim Lesen werden alle Bits des Frames ohne Stuff-Bits in das CRC-Register geschoben. Das Register wird dazu zunächst mit dem Startwert initialisiert. Am Ende des Frames, wenn also auch die 8 Bits der Checksumme durch das CRC-Register verarbeitet wurden, muss im CRC-Register 0 stehen.

Für die CRC-Berechnung gibt es viele Implementierungen. Der folgende C-Code zeigt zur Verdeutlichung beispielhaft eine Möglichkeit zur Prüfung der Checksumme (`daten` enthält die Daten-Bits aufsteigend, `ANZAHL` ist die Anzahl der Daten-Bits):

```
uint8_t daten[ANZAHL]; // Wert nur 0 oder 1
uint16_t crc;          // nicht nur 8 Bit, um Carry zu erhalten

crc = 0x007F;
for (int i = 0; i < ANZAHL; i++)
{
    crc = (crc << 1) + daten[i];
    if ((crc & 0x0100) > 0)
        crc = (crc & 0x00FF) ^ 0x07;
}
```

In dieser Algorithmus-Implementierung wird das Polynom durch 0x07 dargestellt, die 9. Bitstelle wird weggelassen. Ist `crc` am Ende gleich 0, so war die Prüfung erfolgreich.

Die CRC-Berechnung kann mit dem gleichen Code durchgeführt werden. Die Daten-Bits müssen dabei auch die 8 Bits enthalten, die später den CRC aufnehmen. Diese Bits müssen dabei zunächst mit 0 belegt sein.

2.2.6 Prinzip der Rückmeldung

Der Dekoder ist in der Lage, Informationen zur Zentrale zu senden. Dies wird als Rückmeldung bezeichnet. Die Datenübertragung zwischen Dekoder und Zentrale wird immer von der Zentrale initiiert und gesteuert. Bestimmte Kommandos der Zentrale erwarten eine Rückmeldung. Der Dekoder antwortet also immer nur auf diese Kommandos.

Nach jedem Kommando, das eine Rückmeldung erwartet, wird ein Rückmeldefenster gesendet, das dem Dekoder Zeit gibt, die Rückmeldung auf das Gleis zu legen. Der Dekoder sendet nur in diesem Fenster Daten.

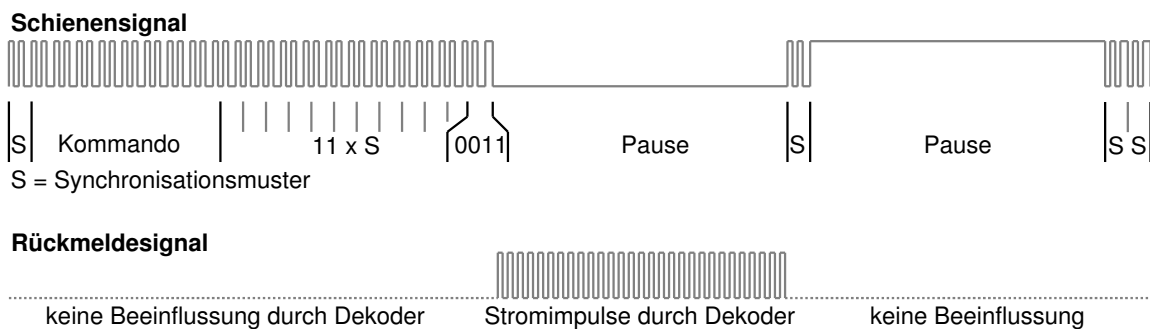
Es gibt zwei Arten von Rückmeldungen: eine einfache 1-Bit-Rückmeldung (in der Art einer Ja/Nein-Antwort) und die Datenrückmeldung, bei der einige Bytes übermittelt werden können. Welche Rückmeldung erwartet wird, ist fest vom Kommando abhängig. Das Rückmeldefenster unterscheidet sich leicht zwischen den beiden Rückmeldearten.

Das Verhalten des Steuerkanals, also des Signals von der Zentrale zum Dekoder, für die 1-Bit-Rückmeldung wird im folgenden Abschnitt 2.2.7 beschrieben, für die Datenrückmeldung in 2.2.8. Der Rückkanal, also das Signal vom Dekoder zur Zentrale, ist Gegenstand des Unterkapitels 2.3.

2.2.7 Rückmeldefenster 1-Bit-Rückmeldung

Das Rückmeldefenster für eine 1-Bit-Rückmeldung besteht aus folgendem Ablauf, der sich direkt an ein entsprechendes Kommando anschließt:

- 11 oder 11,5 Synchronisationsmuster
- Bit-Folge 0011
- nach der letzten Flanke kann nach sehr kurzer Zeit (ca. 2 – 3 μ s nochmals ein Flankenwechsel stattfinden; dies fügt die Zentrale ein, um eine bestimmte Polarität der Pause zu erreichen)
- Pause mit negativem/positivem Potential von 6,4 ms
- 1 oder 1,5 Synchronisationsmuster
- Pause mit gleichem oder inversem Potential von 6,4 ms
- 2 Synchronisationsmuster als Abschluss; das letzte Synchronisationsmuster bildet gegebenenfalls den Start eines neuen Frames



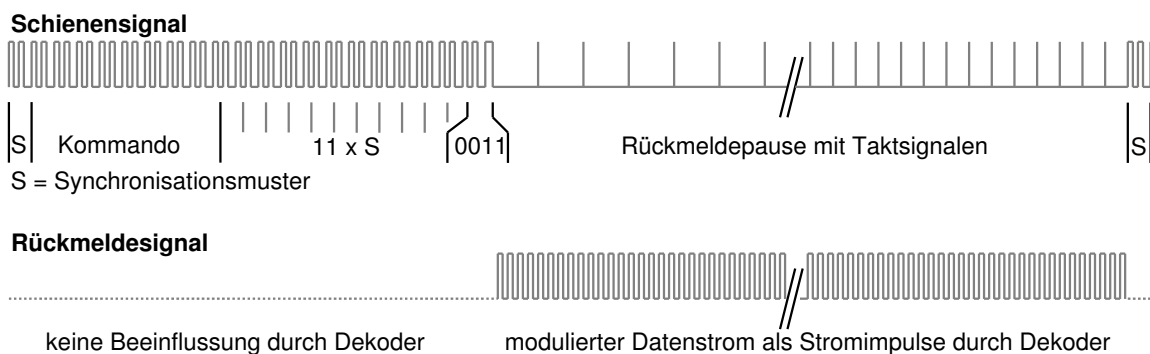
Bei der einfachen Rückmeldung gibt es keine Synchronisation mit dem RDS®-Takt wie bei der Datenrückmeldung. Die Rückmeldung durch Anlegen des RDS®-Trägersignals (Erzeugen von Stromimpulsen durch den Dekoder, siehe 2.3) wird während der ersten Pause erzeugt. In der zweiten Pause erzeugt der Dekoder das Signal nicht mehr. Die zweite Pause könnte als Referenz zur Fehlererkennung dienen (wenn hier ein Träger gemessen wird, liegt ein Fehler vor, z.B. durch ein eingestreutes Signal). Außerdem sorgt sie dafür, dass ein reines mfx®-Signal bis auf die Datenrückmeldungen symmetrisch ist, positive und negative Spannungsanteile also im Mittel gleich lang sind. Das Signal enthält dann keinen Gleichspannungsanteil, ist also DC-frei. Für die Datenrückmeldung gilt dies jedoch nicht.

Die Bitfolge 0011, mit der der Beginn des Rückmeldefensters angezeigt wird, wurde so gewählt, weil sie eine eindeutige Unterscheidung zwischen dem Beginn eines Kommandos (beginnt immer mit 1 und dann den Adressbits) bzw. eines Synchronisations-Musters (beginnt mit 01, wobei der 1 die letzte Flanke fehlt) ermöglicht. Dies erleichtert die Dekodierung des Datenstroms im Dekoder, der damit den Beginn des Rückmeldefensters synchron zum Datenstrom erkennen kann.

2.2.8 Rückmeldefenster Datenrückmeldung

Das Rückmeldefenster für eine Datenrückmeldung besteht aus folgendem Ablauf, der sich direkt an ein entsprechendes Kommando anschließt:

- 11 oder 11,5 Synchronisationsmuster
- Bit-Folge 0011
- nach der letzten Flanke kann nach sehr kurzer Zeit (ca. 2 – 3 μ s nochmals ein Flankenwechsel stattfinden; dies fñgt die Zentrale ein, um eine bestimmte Polarität der Pause zu erreichen)
- Pause mit überwiegend negativem/positivem Potential, Länge ist von den erwarteten Bits abhängig, in der Pause werden kurze Taktimpulse erzeugt
- 1 Synchronisationsmuster als Abschluss; gehört als Start-Synchronisationsmuster evtl. wieder zum darauf folgenden Datenframe



Mit den kurzen Impulsen während der Rückmeldepause gibt die Zentrale dem Dekoder die Lage der möglichen Phasenwechsel für das Takt- und Datensignal vor (Takt und Daten werden durch Phasenwechsel kodiert, siehe 2.3). Ein möglicher Phasenwechsel wird von der Zentrale durch einen kurzen, 25 μ s langen Impuls (positiv oder negativ, je nach Potential des Pausensignals) angezeigt.

Der Dekoder kann sich an diesen Signalen orientieren, muss dies aber nicht. Neure Märklin[®]-Dekoder verzichten darauf vermutlich. Aus Kompatibilitätsgründen senden die Zentralen aber trotzdem die 25- μ s-Impulse.

Zunächst sendet die Zentrale Impulse im Abstand von etwa 912 μ s. Der Dekoder moduliert an diesen Stellen das Taktsignal durch einen Phasenwechsel auf. In dieser Zeit werden noch keine Nutzdaten gesendet, die gesendeten Daten entsprechen einer Folge von Einsen. Es werden 23 Takte ohne Daten gesendet. Dies gibt dem RDS[®]-Empfänger in der Zentrale Gelegenheit, sich auf das Signal aufzusynchronisieren. Funktioniert dies in Ausnahmefällen

einmal nicht, weil zum Beispiel das Dekoder-Signal zufällig sehr ungünstig beginnt, kann die Rückmeldung von der Zentrale nicht gelesen werden und die Abfrage muss wiederholt werden.

Dann beginnt die eigentliche Datenübertragung. Dazu legt die Zentrale auch in die Mitte der Takte einen 25- μ s-Impuls. Für eine Null müsste der Dekoder an dieser Stelle einen weiteren Phasenwechsel einfügen (siehe 2.3). Die Impulse von der Zentrale kommen nun also im Abstand von 456 μ s.

Die Anzahl ist von der Anzahl der erwarteten Daten abhängig (3 für Startmuster 010 + Anzahl der Daten-Bits + 8 für Checksumme + 4 überzählige am Ende). Bei der Übertragung von einem Daten-Byte sind es also 23 Takte (= 46 Impulse im Abstand von 456 μ s), bei 2 Daten-Bytes sind es 31 Takte. Die gesamte Pause mit den kurzen Taktsignalen ist demnach bei einer 1-Byte-Rückmeldung rund 42 ms lang, bei 2 Byte etwas über 49 ms.

Danach endet die Pause, es wird das abschließende Synchronisationsmuster gesendet, der Dekoder sendet keine Rückmeldesignale mehr und schaltet das Trägersignal ab.

Hinweis zum Timing: Der Abstand zwischen dem Beginn der 25- μ s-Impulse beträgt ungefähr 912 μ s bzw. 456 μ s. Allerdings sind die Abstände nicht sehr genau. Am Anfang betragen sie eher mehr (ca. 930 μ s), später eher weniger (ca. 880 μ s). Es kommt hier aber auch nicht auf ein sehr exaktes Timing an.

2.2.9 Einbettung von Steuerbefehlen im MM-Format

In den Datenstrom des Schienensignals können neben dem mfx[®]-Signal auch MM-Steuerbefehle eingebettet werden. Dazu wird der Datenstrom der mfx[®]-Frames durch mindestens zwei Synchronisationsmuster abgeschlossen und zwar so, dass das letzte Synchronisationsmuster mit einem negativen Potential endet. Es folgt dann eine Pause mit negativem Potential, dann ein MM-Befehl und dann nochmals eine Pause mit negativem Potential. Dann beginnt wieder die Übertragung von mfx[®]-Frames mit einem Synchronisationsmuster.

- Pause mit negativem Potential, etwa 6,25 ms
- ein MM-Befehl aus 9 Doppel-Bits (= 18 Bits)
- Pause mit negativem Potential, etwa 1,57 ms
- Wiederholung des MM-Befehls
- Pause mit negativem Potential, etwa 6,18 ms

Die Wiederholung des MM-Befehls und die Pause zwischen MM-Befehl und Wiederholung sind notwendiger Bestandteil der MM-Definition (der Befehl wird nur akzeptiert, wenn der Befehl nach einer entsprechenden Pause direkt wiederholt wird).

Es können auch mehrere, verschiedene MM-Befehle direkt hintereinander gesendet werden, bevor wieder auf den mfx[®]-Datenstrom umgeschaltet wird. Außerdem könnten in gleicher Weise auch Befehle anderer Datenformate eingebettet werden, z.B. DCC-Befehle.

2.3 Rückkanal

Als Rückkanal wird die Übertragung von Information vom Dekoder zur Zentrale über die Schiene bezeichnet.

2.3.1 Modulation

Grundsätzlich ist der Rückkanal wie ein RDS[®]-Signal kodiert (Bit-Kodierung und Modulation). Somit ist es möglich, für die Dekodierung des Rückkanals in der Zentrale einen handelsüblichen RDS[®]-Dekoder-Chip zu verwenden. Dies wird auch so umgesetzt.

Die Trägerfrequenz entspricht nicht exakt der für RDS[®] definierten Trägerfrequenz. Es wird eine geringfügig geringere Frequenz verwendet, die sich im Gegensatz zur RDS[®]-Trägerfrequenz aus einem Quarz mit einem „geraden“ Frequenzwert ableiten lässt (z.B. 4 MHz). Die Trägerfrequenz beträgt 52,63 kHz (ergibt sich aus 4 MHz geteilt durch 76, statt 4,332 MHz geteilt durch 76 = 57 kHz bei RDS[®]).

Wie in 2.2.6 beschrieben gibt es zwei Arten von Rückmeldungen: eine einfache 1-Bit-Rückmeldung und die Datenrückmeldung. Beide nutzen zwar den RDS[®]-Dekoder-Chip, aber auf unterschiedliche Art und Weise. Nur die eigentliche Datenrückmeldung verwendet die eigentliche RDS[®]-Übertragungstechnik.

2.3.2 Kodierung der 1-Bit-Rückmeldung

Die einfache 1-Bit-Rückmeldung wird über die Tatsache kodiert, ob es überhaupt eine Antwort des Dekoders gibt. Gibt der Dekoder eine Rückmeldung ab, so wird dies als Eins („Ja“) gewertet. Erkennt die Zentrale keine Rückmeldung, so bedeutet dies Null („Nein“). Das Besondere daran: Diese Art der Rückmeldung kann von mehreren Dekodern gleichzeitig gesendet werden, die Antworten sind ODER-verknüpft. Die Rückmeldung wird also als existent erkannt, wenn mindestens ein Dekoder eine Rückmeldung sendet.

Als Rückmeldung legt der Dekoder das RDS[®]-Trägersignal an, erzeugt also ein Rechtecksignal mit einer Frequenz von 52,63 kHz.

Technisch handelt es sich um ein ASK-Signal (Amplitude Shift Keying). Das Trägersignal wird also mit dem Datenstrom amplitudenmoduliert. Es gibt nur zwei Zustände zu übertragen: Bit = 0 bedeutet Amplitude des Trägersignals ist 0, bei Bit = 1 wird das Trägersignal mit voller Amplitude ohne Phasenwechsel gesendet.

In der Zentrale wird der Umstand genutzt, dass der RDS[®]-Dekoder-Chip das Vorhandensein eines Trägersignals unabhängig von übertragenen Daten meldet.

2.3.3 Kodierung bei Datenrückmeldung

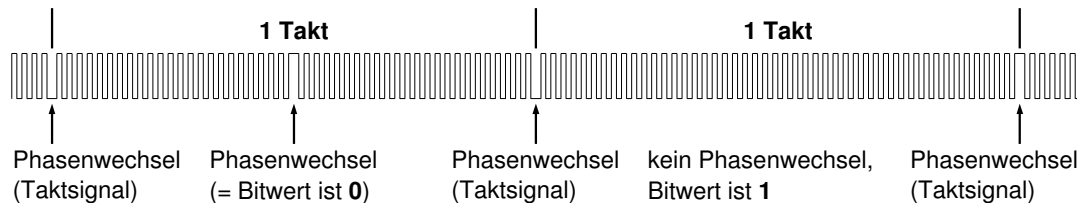
Bei der Datenrückmeldung wird ein Strom von Daten-Bits gesendet, welche die Zentrale interpretiert. Dabei werden 1, 2, 4 oder 8 Daten-Bytes sowie ein Checksummen-Byte übertragen. In Versuchen konnten nur 1, 2 und 4 Bytes übertragen werden. Angaben in der CAN-Dokumentation zur Märklin Central Station 2 und die Kommandostruktur lassen aber den Schluss zu, dass auch 8 Bytes möglich sind.

Die Rückmeldung darf nur von einem Dekoder, der durch das zugehörige Kommando dazu aufgefordert wird, gleichzeitig erfolgen.

Zur Kodierung von Takt und Daten wird die bei RDS[®] definierte bi-phase-Modulation verwendet. Bei jedem Taktsignal wechselt die Phasenlage des Trägersignals um 180°. Ein Takt dauert 912 µs, es wird also mit 1096,5 Baud gesendet (= Trägersignal durch 48). Auch die Bits werden durch Phasenwechsel kodiert:

- **Bit = 1:** die Phasenlage wechselt nicht innerhalb eines Takts.
- **Bit = 0:** die Phase des Trägersignals wechselt um 180° in der Mitte eines Takts (also 456 µs nach dem Phasenwechsel des Takts).

Die Kodierung ähnelt stark der beim Schienensignal verwendeten bi-phase-mark-Kodierung.



Technisch ist dies eine PSK-Modulation (Phase Shift Keying). Durch die Veränderung der Phasenlage des Signals wird Information übertragen. In diesem Fall wird durch die bi-phase-Kodierung durch zwei Phasenlagen das Taktsignal und das Datensignal übertragen.

Der Datenstrom des Rückkanals übermittelt im Ruhezustand Eins-Bits. Der Datenframe ist wie folgt aufgebaut:

```
...11111 010 Byte1 (Byte2 ... Byte8) Checksumme 111...
```

010 ist die Präambel, sie kennzeichnet den Start der Daten-Bytes. Dann folgen 1 bis 8 Daten-Bytes ohne weitere Trennzeichen. Am Ende folgt immer eine 8-Bit-Checksumme. Bit-Stuffing oder Ähnliches erfolgt nicht.

Es wird die angegebene Byte-Reihenfolge beginnend mit Byte 1 verwendet. Die Rückmeldung enthält normalerweise die Inhalte von aufeinanderfolgenden Konfigurationsvariablen. Byte 1 ist die Konfigurationsvariable an der angeforderten Adresse, Byte 2 die CV mit einer um eins erhöhten Adresse usw.

2.3.4 Checksumme bei Datenrückmeldung

Das letzte Byte der zurückgelesenen Daten bildet eine Checksumme, die gewisse Ähnlichkeiten mit einem CRC-Code hat. Diese Checksumme wird über die alle Daten-Bytes der Rückmeldung gebildet und dann angehängt.

Der folgende Algorithmus (in C) kann verwendet werden, um die Checksumme aus den Daten-Bytes zu errechnen (`daten` enthält die Daten-Bytes, `ANZAHL` ist die Anzahl der Daten-Bytes, also 1, 2, 4 oder 8):

```
uint8_t daten[ANZAHL];
uint16_t checksum;

checksum = 0x00FF;
for (int i = 0; i < ANZAHL; i++)
{
    checksum = checksum ^ (checksum << 1) ^ (checksum << 2);
    checksum = checksum ^ daten[i];
    if (checksum & 0x0100)
        checksum = checksum ^ 0x0107;
    if (checksum & 0x0200)
        checksum = checksum ^ 0x020E;
}
```

Im Code fehlt das Laden der Daten, es soll nur der Algorithmus dargestellt werden. Eine tatsächliche Implementierung kann davon natürlich abweichen.

Bei der Rückmeldung von einem Byte vereinfacht sich die Prüfung der Checksumme zu:

```
if ((datenbyte ^ checksum) == 0xF3)
    ok
```

3 Kommandos

In diesem Kapitel werden die verschiedenen Kommandos beschrieben, die in einem mfx[®]-Frame von der Zentrale an die Dekoder über das Schienensignal geschickt werden können.

Bei allen Kommandos werden hier nur die Daten-Bits des Kommandokennzeichners und der Kommandoparameter angegeben. Für einen vollständigen mfx[®]-Frame müssen dazu nach dem im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Schema Synchronisationsmuster, Adresse (SID) und Checksumme ergänzt werden.

3.1 Kommandos

3.1.1 Kein Kommando

Datenframes ohne ein Kommando (also nur Adresse + Checksumme) erwarten eine einfache 1-Bit-Rückmeldung vom angesprochenen Dekoder. Damit lässt sich feststellen, ob unter der angegebenen Adresse (SID) zur Zeit ein Dekoder erreichbar ist.

Dieses Kommando wurde bisher noch bei keiner Zentrale beobachtet, sondern experimentell bei ersten Dekodern mit mfx[®] ermittelt. Ob sich alle Dekoder entsprechend verhalten, ist nicht bekannt.

3.1.2 Kommando 000: Fahren (kurz)

000 R SSS

Dieses Kommando ermöglicht extrem kurze Fahrbefehle, ist dafür aber auf bestimmte Fahrstufen eingeschränkt. Es wird insbesondere verwendet, wenn die Lok steht (also bei Fahrstufe 0). Es wird die Fahrtrichtung und die Geschwindigkeit der Lok angegeben.

R = 0: vorwärts, R = 1: rückwärts

S = Fahrstufe berechnet aus $S * 16$ (also die 8 Fahrstufen: Halt, 16, 32, 48, 64, 80, 96, 112); es werden also die Bits 4, 5 und 6 der Fahrstufe übertragen, die Bits 0, 1, 2 und 3 sind implizit 0.

mfx[®] benutzt 127 Fahrstufen. Die Fahrstufe 1 bewirkt unabhängig von der Richtung einen Notstopp; die Lok hält sofort ohne Berücksichtigung der eingestellten Bremsverzögerung an. Die Fahrstufe 1 kann mit diesem Kommando jedoch nicht übertragen werden.

3.1.3 Kommando 001: Fahren

001 R SSSSSSS

Dieses Kommando gibt die Fahrtrichtung und Geschwindigkeit in voller Auflösung an, es können also alle möglichen Fahrstufen übertragen werden.

R = 0: vorwärts, R = 1: rückwärts

S = Fahrstufe (127 Fahrstufen, Fahrstufe = 1 ist Notstopp)

3.1.4 Kommando 010: Funktionen (kurz)

```
010 FFFF
```

Dieses Kommando gibt den Zustand der Funktionen an. Implizit werden damit die ersten 16 Funktionen gesteuert, explizit werden jedoch nur die ersten 4 Funktionen angegeben. Die anderen 12 Funktionen sind implizit „aus“.

FFFF = F3 F2 F1 F0; F4 – F15 sind „aus“

F = 0: Funktion „aus“, F = 1: Funktion „ein“

3.1.5 Kommando 011: Funktionen (erweitert)

```
011 0 FFFFFFFF
```

```
011 1 FFFFFFFFFFFFFFFF
```

Mit diesem Kommando wird ebenfalls der Zustand der Funktionen der Lok bzw. des Dekoders übermittelt. Es gibt zwei Varianten, die entweder die ersten 8 oder die ersten 16 Funktionen explizit angeben.

FFFFFFFF = F7 F6 F5 F4 F3 F2 F1 F0; F8 – F15 sind „aus“

FFFFFFFFFFFFFFF = F15 – F0

F = 0: Funktion „aus“, F = 1: Funktion „ein“

3.1.6 Kommando 100: Funktionen (Einzelansteuerung)

```
100 NNNNNNN 0 F
```

Mit diesem Kommando kann der Zustand genau einer Funktion gesteuert werden. Die Zustände aller anderen Funktionen werden nicht beeinflusst. Das Kommando muss daher für alle vorhandenen Funktionen gesendet werden, um den kompletten Funktionszustand zu übermitteln.

Es können bis zu 128 Funktionen, also F0 – F127 geschaltet werden. Bisher unterstützen Zentralen und Dekoder aber nur maximal 16 oder 32 Funktionen.

NNNNNNN = Funktionsnummer F0 – F127

F = 0: Funktion „aus“, F = 1: Funktion „ein“

3.1.7 Kommando 101: reserviert

3.1.8 Kommando 110: reserviert

3.1.9 Kommando 111: Konfiguration

```
111 CCC . . . .
```

Die Konfiguration des Dekoders (Lesen und Schreiben) wird über das erweiterte Kommando 111 durchgeführt. Die Aktion wird dabei durch ein Unterkommando CCC fest-

4 Protokoll

In diesem Kapitel werden Abläufe beschrieben, wie sie im Betrieb vorkommen. Die Beschreibung beruht im Wesentlichen auf der Beobachtung verfügbarer Systeme. Eventuell gibt es für die Abläufe bestimmte Vorgaben und Regeln, die aber nicht bekannt sind.

4.1 Ruhezustand

Ändert der Bediener nichts, so ist das System in einem Ruhezustand, in dem zyklisch bestimmte Informationen übermittelt werden:

- Kommando „Zentrale“: Hiermit gibt die Zentrale ihre UID und den Neuanmeldezähler bekannt.
- Dekoder-Suche: Gibt Dekodern die Möglichkeit, sich anzumelden.
- Dekoder-Abfrage für jeden angemeldeten mfx®-Dekoder: Durch die entsprechende Rückmeldung weiß die Zentrale, welche angemeldeten Dekoder rückmeldefähig ansprechbar sind.
- Fahr- und Schaltbefehle für jeden angemeldeten mfx®-Dekoder: Damit wird der Zustand der Dekoder aufgefrischt.
- Falls auch MM-Dekoder von der Zentrale gesteuert werden, wird auch ein MM-Signal erzeugt und wiederholt.

Das zeitliche Verhalten ist stark von der jeweiligen Situation, insbesondere der Anzahl der angemeldeten mfx®- und MM-Dekoder abhängig.

Beispiel: Die folgenden Verhältnisse wurden bei einem System mit drei angemeldeten mfx®-Loks und einer MM-Lok beobachtet (grob):

- Die Zentrale stellt ihre UID/Neuanmeldezähler ungefähr im Abstand von 150 ms (Märklin® Mobile Station 1¹) bzw. 500 ms (Märklin® Central Station 1²) zur Verfügung.
- Dekoder-Suche und Dekoder-Abfrage wechseln sich ab, dabei wird die Dekoder-Abfrage zyklisch über alle angemeldeten Loks vorgenommen. Hier ist also die Sequenz „Suche, Abfrage SID 1, Suche, Abfrage SID 2, Suche, Abfrage SID 3“ zu beobachten. Der Abstand zwischen zwei Kommandos liegt bei ungefähr 100 ms.
- Die Dekoder-Zustände werden häufiger übermittelt, der Abstand zwischen zwei Kommandos für denselben Dekoder liegt bei etwa 50 – 80 ms. Dekoder-Zustände für mfx®- und MM-Dekoder werden in etwa gleich behandelt und zyklisch versandt (also mfx® SID 1, 2, 3, dann MM, dann wieder SID 1, 2, 3 usw.).

1 Um die erste Generation der Märklin® Mobile Station von der 2008 vorgestellten Nachfolgegeneration zu unterscheiden, wird in diesem Dokument von der Mobile Station 1 gesprochen. Offiziell wird diese Kennzeichnung bzw. Nummerierung von Märklin® nicht verwendet.

2 Wie bei der Märklin® Mobile Station 1 ist auch hier die erste Generation der Märklin® Central Station gemeint und deshalb mit einer offiziell nicht verwendeten Nummer 1 gekennzeichnet.

4.2 Einschalten: Dekoder erhält Strom

Sobald der Dekoder Strom erhält (auch nach kurzen Stromunterbrechungen) verhält er sich wie folgt:

- Je nach Einstellung der Sonderoptionen im Dekoder fährt er zunächst mit den letzten Einstellungen für Motor und Funktionen weiter.
- Er wartet 2 korrekte Kommandos „Zentrale“ ab (UID der Zentrale und Neuanmeldezähler müssen mit den gespeicherten Werten übereinstimmen). Erst wenn dadurch sicher gestellt ist, dass Dekoder und Zentrale sich bereits korrekt kennen, nimmt der Dekoder weitere Befehle entgegen und beantwortet auch die Dekoder-Anfrage (Ping) der Zentrale wieder, vorher ignoriert er diese.

Ursprünglich war vorgesehen, dass ein Dekoder nach dem Einschalten an seine SID gerichtete Befehle entgegen nimmt, auch wenn er noch nicht prüfen konnte, ob diese von der bekannten Zentrale stammen. Nach Erhalt einer falschen Zentralen-Identifikation wäre die Lok dann ggf. stehen geblieben und hätte sich neu angemeldet. Dies sollte dazu dienen, um bei kurzen Stromunterbrechungen keine Aussetzer in der Steuerbarkeit der Loks zu erzeugen. In den ersten Dekodern wurde aber der oben beschriebene, sicherere Weg umgesetzt.

- Der Dekoder kann auch durch eine Adresszuweisung in den Betriebsmodus gebracht werden (Zuweisung einer SID).
- Wird eine andere Zentralen-UID, eine Veränderung des Anmeldezählers oder eine falsche Adresszuordnung in der Dekoder-Anfrage erkannt, so meldet sich der Dekoder erneut bei der Zentrale an.

Wenn der Dekoder beim Abschalten noch nicht angemeldet war oder sich gerade in einer Anmeldeprozedur befunden hat, merkt sich dies der Dekoder. In diesem Fall meldet sich der Dekoder direkt neu an, wenn er wieder Spannung erhält.

4.3 Anmeldung

In regelmäßigen Abständen schickt die Zentrale das Kommando Dekoder-Suche mit C=0, U=0. Darauf hin melden sich alle noch nicht angemeldeten Dekoder, also alle Dekoder, die bereit sind, sich anzumelden. Durch folgende Ereignisse sind Dekoder bereit für eine Anmeldung:

- Der Dekoder hat sich noch nicht angemeldet oder ist noch nicht zu einer Neuanmeldung gekommen, nachdem er für eine Anmeldung bereit war. In diesem Fall ist im Dekoder keine Zentralen-UID gespeichert.
- Es wird ein Kommando „Zentrale“ empfangen, bei dem entweder die UID der Zentrale oder der Neuanmeldezähler nicht mit den gespeicherten Werten übereinstimmen.

Wird der Neuanmeldezähler verändert, während der Dekoder die Daten empfängt (Dekoder hat also ein Kommando „Zentrale“ mit altem und danach mit neuem Anmeldezählerstand gesehen), so speichert er nur den neuen Wert des Zählers, meldet sich aber nicht erneut an.

- Es wird eine Dekoder-Abfrage für die eigene Schienenadresse (SID) empfangen, in der nicht die eigene UID angegeben ist.

Dies nutzt die Zentrale nach dem Löschen einer Lok in der Zentrale, um diese zu einer sofortigen Neuansmeldung zu veranlassen, falls sich die Lok gerade auf dem Gleis befindet (in diesem Fall hätte sie die Erhöhung des Neuansmeldezählers ja erkannt und ohne Neuansmeldung abgespeichert). Die Zentrale sendet dazu nach dem Löschen an die freigewordene SID eine Dekoder-Abfrage mit UID 0.

- Der Dekoder empfängt etwa 5 bis 10 Minuten lang keine Dekoder-Abfrage für den eigenen Dekoder mehr.

Sobald sich (mindestens) ein Dekoder auf die erste Suchanfrage hin meldet, wird die UID des Dekoders über eine Sequenz von Suchanfrage-Kommandos ermittelt.

Dieser Vorgang funktioniert wie folgt: Zunächst werden mit C=1, U=000... alle Dekoder gesucht, deren oberstes Bit 0 ist. Meldet sich einer, so wird mit dem nächsten Bit (C=2) fortgefahren. Meldet sich keiner, so wird mit C=1, U=100... mit der Abfrage auf ein 1-Bit fortgefahren. In dieser Weise werden alle 32 Bits der UID abgefragt. Versuchen sich gleichzeitig mehrere Dekoder anzumelden, so wird auf diese Weise nur der Dekoder mit der kleinsten ID gefunden. Der nicht erkannte Dekoder meldet sich bei der nächsten Abfrage an.

Nachdem die Dekoder-UID ermittelt wurde, weist die Zentrale dem Dekoder mit dem Kommando „Zuweisung Schienenadresse“ eine 14-Bit-Schienenadresse (SID) zu. Dieser Befehl wird an die Broadcast-Adresse 0 gesendet, da der Dekoder die SID ja noch nicht kennt. Damit geht der Dekoder mit der betreffenden UID in den Betriebsmodus über und kann im Weiteren unter dieser SID angesprochen werden.

Die Zentrale liest nun eine ganze Reihe von CVs aus. Während dieser Zeit müssen noch keine Dekoder-Abfragen gesendet werden, da durch die Leseoperationen ja sowieso eine Rückmeldung erfolgt.

Die Zentrale beginnt die eigentlichen Fahrinformationen und die Dekoder-Zustände zu senden, sobald sie genügend Informationen über den Dekoder ausgelesen hat. Sie wartet damit also nicht bis zum Abschluss des Auslesevorgangs. Auf diese Weise kann eine Lok an der Zentrale schon vor Ende des kompletten Anmeldevorgangs bedient werden.

Sobald die Zentrale alle für sie notwendigen CVs gelesen hat, ist der Anmeldevorgang beendet. Ab nun werden regelmäßig der Dekoder-Zustand und die Dekoder-Abfrage gesendet.

Es gibt verschiedene Strategien der Zentralen für das Auslesen der Dekoder-CVs nach dem Anmelden. Die erste Generation der Zentralen (Märklin® Central Station 1, Märklin® Mobil Station 1, ESU® ECoS®) liest alle CVs des Dekoders bei der Anmeldung aus. Dies dauert je nach Dekoder und Zentrale grob zwischen 1 und 3 Minuten. In der zweiten Zentralen-Generation von Märklin® (Central Station 2, Mobile Station 2) werden hingegen nur die für die Steuerung notwendigen Parameter ausgelesen (insbesondere Name und Funktionen). Die Anmeldung benötigt so nur etwa 10 bis 15 Sekunden. Allerdings müssen die restlichen CVs unter entsprechendem Zeitbedarf ausgelesen werden, wenn der Anwender Parameter vorstellen möchte und das entsprechende Menü aufruft.

Zusätzlich kann das Auslesen bei verschiedenen Dekodern in unterschiedlich schneller Abfolge geschehen (siehe 4.9 Konfigurieren), was von der Zentrale ausgenutzt werden kann.

4.4 Abmelden

Eine einmal automatisch angemeldete Lok bleibt in der Zentrale gespeichert bis sie manuell in der Zentrale gelöscht wird. Solange ein mfx[®]-Dekoder angemeldet ist, wird er von den Zentrale angesprochen und verbleibt auch im Refresh-Zyklus der Zentrale.

Mit dem Kommando „Existenzabfrage“ kann eine Zentrale erkennen, welche angemeldete Lok sich tatsächlich auf dem Gleis befindet. Ursprünglich war vorgesehen, keine Befehle an mfx[®]-Loks zu schicken, die nicht erreichbar sind. Die Zentrale kann bei der Existenzabfrage aber nicht unterscheiden, ob die Lok in einem von einem nicht rückmeldefähigen Booster betriebenen Abschnitt steht oder sich tatsächlich nicht auf dem Gleis befindet. Deshalb wird von dieser Möglichkeit kein Gebrauch gemacht.

Es gilt deshalb: ein mfx[®]-Dekoder meldet sich zwar automatisch bei der Zentrale an, abmelden und damit aus dem Refresh-Zyklus der Zentrale entfernen muss man ihn aber manuell.

Bei jedem Abmeldevorgang (= Löschen einer mfx[®]-Lok in der Zentrale) erhöht die Zentrale den Neuanmeldezähler um eins. Eine „in Abwesenheit“ abgemeldete Lok erkennt so, dass sie sich erneut anmelden muss (Neuanmeldezähler stimmt nicht mit gespeichertem Wert überein).

Allerdings melden sich auch alle zum Zeitpunkt der Abmeldung nicht auf dem Gleis befindlichen mfx[®]-Dekoder erneut an. Für sie ist nicht ersichtlich, welche Lok abgemeldet wurde.

Zum Zeitpunkt der Abmeldung auf dem Gleis befindliche Loks melden sich jedoch nicht erneut an, weil sie den Zählerwechsel direkt mitbekommen und den abgespeicherten Zählerwert korrigieren.

Dies würde auch für die Lok gelten, die gerade abgemeldet wurde. Diese könnte demnach nur am Ausbleiben von an sie gerichteten Befehlen erkennen, dass sie gelöscht wurde (in diesem Fall würde sie sich nach einigen Minuten wieder anmelden).

Damit sich die gelöschte Lok sofort nicht mehr angesprochen fühlt und ggf. wieder anmeldet, sendet die Zentrale unmittelbar vor der Erhöhung des Neuanmeldezähler an die gelöschte Lok eine Dekoder-Abfrage mit der (falschen) UID 0.

4.5 Reset der Zentrale

Beim Reset wird wie beim Löschen einer Lok der Neuanmeldezähler um eins erhöht. Dabei wird aber auch das Schienensignal für etwa 10 Sekunden unterbrochen. Die Erhöhung des Neuanmeldezählers kann dabei also von keinem Dekoder aktiv detektiert werden. Alle mfx[®]-Dekoder melden sich somit nach dem nächsten Einschalten des Schienensignals wieder neu an.

4.6 Fahren und Bedienen

Jeder Fahrbefehl (= Änderung der Richtung oder Geschwindigkeit) wird unmittelbar in einem mfx®-Frame an den Dekoder gesandt (einmal). Andere Zustandsinformationen wie z.B. der Stand der Funktionen wird dabei nicht mit übermittelt. Zum Beispiel:

Fahren (Geschwindigkeit)

oder

Funktionen (Funktionszustand aller Funktionen)

Es wird hierzu nicht auf die zyklische Übermittlung des Dekoder-Zustands gewartet. Bei der nächsten Übermittlung des kompletten Dekoder-Zustands wird die Änderung aber natürlich berücksichtigt.

Dekoder-Zustand und Fahrbefehle werden auch dann an einen angemeldeten mfx®-Dekoder geschickt, wenn keine Rückmeldung auf die ebenfalls zyklisch geschickten Dekoder-Existenzanfragen empfangen wird (siehe 4.1 Ruhezustand und 4.4 Abmelden).

4.7 Mehrfachtraktion

Mit manchen Zentralen können Mehrfachtraktionen angelegt und gefahren werden. Dies ist jedoch eine Eigenschaft der Zentrale und hat keine Entsprechung im Schienenprotokoll. Die Zentrale sendet also einfach an alle zur Mehrfachtraktion gehörenden Dekoder unabhängig vom Protokoll dieselben Steuerinformationen.

4.8 Notstopp

Eine Rücknahme der Fahrgeschwindigkeit wirkt sich normalerweise nicht sofort aus, sondern wird erst langsam gemäß der Bremsverzögerung erreicht. Dies gilt auch, wenn die Fahrgeschwindigkeit auf Null geregelt wird oder die Fahrtrichtung geändert wird. In letzterem Fall wird die Geschwindigkeit gemäß der Bremsverzögerung bis zum Stillstand und dann gemäß der Beschleunigungszeit auf die eingestellte Geschwindigkeit geregelt.

Im Notfall reicht dies aber nicht aus, hier sollte die Lok unverzüglich zum Stillstand kommen. Dies wird erreicht, wenn die Fahrstufe 1 eingestellt wird. In diesem Fall bremst die Lok so schnell wie möglich bis zum Stillstand herunter. Die eingestellte Fahrtrichtung ist unerheblich.

Die Märklin® Mobile Station 1 sendet den Befehl „Fahrstufe 0“ zur Sicherheit 4 mal direkt hintereinander und wechselt dabei auch die Fahrtrichtung (der Knopf für Notstopp ist mit dem Fahrtrichtungswechsel identisch).

Hinweis: Bei MM-Dekodern bewirkt der Fahrtrichtungswechsel aus Fahrt einen Notstopp. Bei MM-1-Dekodern wird für den Fahrtrichtungswechsel Fahrstufe 1 verwendet. Bei MM-2-Dekodern gibt es für die Fahrtrichtung ein weiteres, eigenes Bit. Fahrstufe 1 wird hier nur für den Notstopp verwendet, für die Fahrtrichtung ist das Fahrtrichtungs-Bit entscheidend.

4.9 Konfigurieren

Die Konfiguration der Dekoder geschieht im Betrieb. Dazu werden über die entsprechenden mfx[®]-Befehle Konfigurationsvariablen (CV, siehe Kapitel 6) im Dekoder ausgelesen und geschrieben.

Bei mfx[®] gibt es allerdings keine eindeutige Zuordnung zwischen CV-Adresse und Bedeutung. Deshalb muss die Zentrale zunächst durch Lesen bestimmter Variablen die Datenstruktur und damit die für bestimmte Aufgaben zuständigen CVs ermitteln. Die Zentrale lasen deshalb auch nicht das Programmieren beliebiger CVs zu, sondern ermöglichen nur die Änderung von Eigenschaften, welche die Zentrale in der CV-Struktur des betreffenden Dekoders ermittelt hat.

Die Zentrale liest dazu die aktuelle Konfiguration eines Dekoders beim Anmelden oder beim Aufruf des Programmiermenüs aus. Es werden dann nur die verfügbaren und von der Zentrale unterstützten Konfigurationsmöglichkeiten angezeigt.

Beim Lesen werden die Werte über den Rückkanal übertragen. Da dies eine thermische Belastung für die Dekoder-Hardware darstellt, dürfen zwei CV-Lesevorgängen nicht beliebig schnell aufeinander folgen. Beobachtet wurde bei den ersten von ESU[®] hergestellten Systemen ein Abstand von ungefähr 120 ms zwischen zwei Lesevorgängen. Die von Märklin[®] hergestellten, neueren Dekoder (wie Märklin[®] mLD und mSD) haben eine verbesserte Hardware, die nicht auf diese Pausen angewiesen ist.

Beim Schreiben der Konfiguration wurden verschiedene Abläufe beobachtet:

- Märklin[®] Mobile Station 1: Das Schreiben erfolgt zur Sicherheit durch drei direkt aufeinander folgende, gleiche Schreibkommandos. Durch die Anmeldung ist die genaue CV bekannt, ein Rücklesen der geschriebenen Werte erfolgt nicht. Es erfolgt also keinerlei Kontrolle, ob der Wert tatsächlich erfolgreich geschrieben wurde.

CV-Setzen (CV, Wert)

CV-Setzen (CV, Wert)

CV-Setzen (CV, Wert)

- Märklin[®] Central Station 1: Die Central Station 1 speichert nicht die CV-Adressen aller Einstellungsmöglichkeiten eines Dekoders, sondern nur den Beginn der Konfigurationsblöcke (die Struktur ist in Kapitel 6 beschrieben). Deshalb wird zunächst im jeweiligen Block die entsprechende CV-Nummer gesucht (Lesen von Index 00 jeder zum Block gehörenden CV-Nummer bis die gesuchte CV-Nummer gefunden ist). Dann werden alle belegten CVs (identifiziert durch CV-Nummer + Index) unter dieser CV-Nummer geschrieben, nicht nur die eigentlich geänderten. Zum Schluss werden alle geschriebenen CVs zur Kontrolle wieder gelesen. Geschrieben und gelesen wird dabei immer nur 1 Byte.
- Märklin[®] Central/Mobile Station 2: Es werden Mehr-Byte-Befehle benutzt (meist 4 Byte-Blöcke), nach dem Schreiben wird der Wert zur Kontrolle zurückgelesen.

Bei den ersten Systemen wurden die vorhandenen Mehr-Byte-Lese- und Schreibbefehle nicht verwendet. Bei den neueren Systemen wie der Märklin[®] Central/Mobil Station 2 wird davon jedoch Gebrauch gemacht.

Hinweis: Die Strategie, wann und welche CVs gelesen und geschrieben werden, ist wesentlich von der jeweiligen Zentralen-Software abhängig. Es muss daher damit gerechnet werden, dass sich die genauen Vorgehensweisen abhängig von der Software-Version ändern.

4.10 Protokollumschaltung

Alle bisher bekannten mfx[®]-Dekoder sind multiprotokollfähig. Sie können zumindest neben mfx[®] auch im MM-Format und im analogen Modus (AC, also mit Wechselstrom) betrieben werden. Der Dekoder schaltet dabei automatisch zwischen den verfügbaren Betriebsarten um.

Der Dekoder entscheidet sich in wenigen Sekunden, auf welches Protokoll er hört. Die Umschaltung kann auch während des Betriebs geschehen.

Grundsätzlich gibt es verschiedene Strategien, wie die Protokolle erkannt und auf welche Befehle von welchem Protokoll reagiert wird. Beobachtet wurden unter anderem folgende Vorgehensweisen der Dekoder:

- Dekoder der ersten Generation und Märklin[®]-mfx[®]-Dekoder verwenden Prioritäten:
Der Dekoder verwendet ein bestimmtes Protokoll, wenn er gültige Datenpakete für dieses Protokoll auf dem Bus erkennt. Es ist dabei unerheblich, ob diese Datenpakete an ihn selbst gerichtet sind. Allerdings muss das Datenpaket für sich gültig sein, also zum Beispiel die richtige Checksumme besitzen.
Werden am Gleis mehrere Protokolle erkannt, so wählt der Dekoder das verwendete Protokoll nach Prioritäten aus: mfx[®] hat dabei die höchste Priorität. Der Dekoder hört nie gleichzeitig auf mehrere Protokolle, auch wenn bezüglich der eingestellten Adressen Datenpakete aus verschiedenen Protokollen an ihn gerichtet werden.
Nach etwa 3 Sekunden Fahrt mit mfx[®] schaltet der Dekoder nicht mehr auf MM um, auch wenn er keinen gültigen mfx[®]-Frame mehr erkennt. Nach einer kurzen Spannungsunterbrechung (ungefähr 50 ms reichen aus) wird aber wieder neu entschieden, welches Protokoll verwendet wird.
- ESU-Dekoder der Version 4 verwenden keine Prioritäten, sondern hören gleichzeitig auf die verfügbaren Protokolle (zumindest auf manche Kombinationen).

Der Umgang mit verschiedenen Protokollen ist im Wesentlichen eine Frage der Dekoder-Implementierung und nicht in den Protokollen festgelegt.

5 Erweiterung mfx+[®]

5.1 Funktionsprinzip

Märklin[®] vermarktet eine 2013 eingeführte Gruppe von Funktionen unter den Namen mfx+[®] bzw. „Spielewelt“. Im Kern basiert mfx+[®] darauf, dass realistischere Spielfunktionen von Betriebszuständen abhängen, die im Dekoder selbst gespeichert und nutzungsabhängig nachgeführt werden. mfx+[®] betrifft damit verschiedene Bestandteile des Digitalsystems:

- Dekoder

Ein mfx+[®]-Dekoder misst einige Betriebsparameter und leitet davon Betriebszustände ab, die er fortlaufend neu berechnet und speichert. So misst die Lok zum Beispiel anhand der Motordrehzahl die zurückgelegte Wegstrecke oder mit Hilfe der aufsummierten Motorleistung einen fiktiven Energieverbrauch. Diese Werte werden von der Zentrale abgefragt und für die Darstellung eines realistischeren Spielbetriebs verwendet. So muss zum Beispiel bei einer Diesellok nach entsprechendem Einsatz Kraftstoff nachgefüllt werden. Wann dies der Fall ist, wird anhand eines simulierten Kraftstoffverbrauchs in der Lok errechnet.

Der Dekoder hat dabei zwei Aufgaben: Zum einen erfasst er selbständig die Betriebsparameter und berechnet die fiktiven Betriebsstoffvorräte. Zum anderen geht die Lok selbständig in ein Art Notlauf, wenn die Vorräte zu Neige gehen.

- Zentrale

Erst die Zentrale macht aus den Möglichkeiten des mfx+-Dekoders einen realistischeren Ablauf. Dazu fragt sie den Zustand der Loks, insbesondere deren aktuellen Betriebsmittelvorrat, in regelmäßigen Abständen ab und bietet dem Bediener passende Aktionen an, wie zum Beispiel das Tanken.

Darüber hinaus gehört zu den Möglichkeiten von mfx+[®]-Lokomotiven bei Märklin[®] auch die Steuerung über einen grafisch dargestellten Führerstand an der Zentrale. Dies ist jedoch eine Funktionalität der Zentrale und benötigt technisch keine mfx+[®]-Dekoder. Die Software der Zentrale schränkt lediglich die Nutzung auf entsprechend ausgestattete Lokomotiven ein.

- mfx[®]-Schienenformat

Die Funktionen von mfx+[®] erweitern das Schienenformat mfx[®] im engeren Sinne lediglich um einige Konfigurationsvariablen. Über diese Variablen kann das Dekoderinterne Erfassen der Betriebszustände konfiguriert und der aktuelle Betriebszustand abgefragt werden. Die eigentlichen Möglichkeiten von mfx+[®] werden durch die Zentrale und das erweiterte Verhalten der Dekoder erzielt.

In Kapitel 6, insbesondere Unterkapitel 6.4.10, werden die zu mfx+[®] gehörenden Konfigurationsvariablen beschrieben. Die Abläufe und Verfahren für mfx+[®], die den Dekoder und seine Interaktion mit der Zentrale betreffen, werden in diesem Kapitel beschrieben.

5.2 Verfahren und Abläufe

5.2.1 Modus-Einstellung

Ein mfx+[®]-Dekoder kennt zwei Modi, die über eine Konfigurationsvariable umgeschaltet werden:

- Standard-Modus: In diesem Modus sind die Besonderheiten von mfx+[®] abgeschaltet.
- mfx+[®]-Modus

Es erfolgt keine Unterscheidung zwischen verschiedenen mfx+[®]-Spielarten wie „Profi“, „Halbprofi“ oder „Spezialist“. Ebenso wenig wird zwischen den Traktionsarten (Dampf, Diesel, Elektro) unterschieden. Dies sind Einstellungen, die lediglich an der Zentrale vorgenommen werden und das Verhalten der Zentrale steuern. Sie werden nicht im Dekoder gespeichert.

Der Modus wird bei jedem mfx[®]-Anmeldevorgang automatisch vom Dekoder auf „Standard“ zurückgestellt. Damit ist die Kompatibilität mit Zentralen gewährleistet, die mfx+[®] nicht kennen. Eine Zentrale, die den mfx+[®]-Modus nutzen möchte, muss diesen nach dem Anmelden also explizit einschalten.

Für die Auswahl des Führerstandes und der benutzten Betriebsmittel (E-Lok hat z.B. keinen Kohlevorrat) gibt es zwei Vorgehensweisen:

- mfx+[®]-Dekoder, alter Firmware-Stand (es ist kein Führerstand im Konfigurationsbereich unter „Vorrat“ gespeichert): Die Traktionsart erkennt die Zentrale aus dem abgelegten Symbol für die Mobile Station. Möchte man daher einen anderen Führerstand verwendet, braucht man lediglich das Mobile-Station-Symbol im Konfigurationsmenü der Zentrale umstellen. Allerdings sind hier auch nur die drei Standard-Führerstände für Dampf-, Diesel- und Elektro-Loks nutzbar.
- mfx+[®]-Dekoder mit neuem Firmware-Stand: Hier ist der Führerstand, aus dem sich auch die Traktionsart ergibt, explizit im Dekoder unter einer entsprechenden Konfigurationsvariablen gespeichert (siehe Kapitel 6.4.10).

Wird der Dekoder über ein anderes Datenformat (z.B. MM) betrieben, so werden die mfx+[®]-Einstellungen ignoriert (kein Betriebsmittelverbrauch, kein Notlauf etc.).

5.2.2 Betriebsmittelverwaltung

Der mfx+[®]-Dekoder verwaltet drei Arten von Betriebsvorräten:

- Fuel A: Wasser bei Dampfloks, Diesel bei Dieselloks
- Fuel B: Kohle bei Dampfloks
- Sand

Beim Fahren „verbraucht“ der Dekoder diese Vorräte. Ziel ist die Nachbildung eines möglichst realistischen Verhaltens. Bei Fahrt unter Last wird zum Beispiel mehr Diesel verbraucht als bei einfachem Rollen. Der Dekoder verwendet für die Berechnung außer der Zeit daher weitere Messwerte wie die Motordrehzahl und den Strombedarf. Wie genau die Verbräuche berechnet werden, ist in der Firmware des Dekoders hinterlegt und nicht bekannt. Wie

schnell die einzelnen Betriebsmittel verbraucht werden, kann jedoch über Konfigurationsvariablen beeinflusst werden.

Die fiktiven Betriebsmittel werden nur im mfx+[®]-Modus „verbraucht“. Der letzte Stand bleibt jedoch im Standard-Modus gespeichert und steht damit nach dem Zurückschalten in den mfx+[®]-Modus wieder zur Verfügung.

Der Betriebsmittelverbrauch ist unabhängig davon, welche Traktionsart der Dekoder simuliert. Eine entsprechende Einstellung gibt es nicht. Der Dekoder berechnet immer den Verbrauch für alle drei Betriebsmittel. Was diese Betriebsmittel genau darstellen und ob sie überhaupt angezeigt werden, ist Sache der Zentrale.

Bei einem Betriebsmittel, das nicht benötigt wird (z.B. der Kohlevorrat bei einer E-Lok), muss der Verbrauchsfaktor auf 0 gesetzt werden. Das Betriebsmittel wird dann nicht berücksichtigt.

5.2.3 Notlauf

Unterschreitet der Vorrat eines Betriebsmittels bestimmte Grenzen, geht die Lok in den Notlauf. Das heißt, die Fahrgeschwindigkeit wird auf einen bestimmten Wert begrenzt. Es gibt zwei Notlaufbereiche:

- Geringer Füllstand: Der Grenzwert kann für jedes Betriebsmittel eingestellt werden. Wird er bei mindestens einem Betriebsmittel unterschritten, begrenzt die Lok ihre Geschwindigkeit auf einen einstellbaren Wert (als „Reserve-Stufe“ bezeichnet).
- Betriebsmittel leer: Ist der aktuelle Vorrat für ein Betriebsmittel bei 0 angekommen, wird die Geschwindigkeit auf einen zweiten einstellbaren Wert begrenzt (als „Leer-Stufe“ bezeichnet).

Der Notlauf ist wie die Betriebsmittelverwaltung nur im mfx+[®]-Modus aktiv.

Ein Betriebsmittel mit Faktor 0 wird nicht berücksichtigt und löst keinen Notlauf aus.

5.2.4 Betriebsaufzeichnung

Der mfx+[®]-Dekoder zeichnet die gefahrene Strecke (gemessen über Drehzahl und eingestellter Getriebeübersetzung) und die Fahrzeit auf. Die Gesamtstrecke und Gesamtfahrzeit ist als Wert über Konfigurationsvariablen abrufbar. Die Aufzeichnung (genauer: die Erhöhung des Werts) geschieht unabhängig vom Modus.

5.2.5 Interaktion mit der Zentrale

Die Märklin[®] Central Station 2/3 mit entsprechendem Software-Stand bietet bei Loks mit mfx+[®]-Dekodern erweiterte Funktionen. Sie erkennt einen mfx+[®]-Dekoder beim Anmelden am zusätzlichen mfx+[®]-Konfigurationsblock.

Die Zentrale fragt in regelmäßigen Abständen durch Lesen der entsprechenden Konfigurationsvariablen den aktuellen Stand der drei Betriebsmittel ab. Die Abfrage ist für die Funktion der mfx+[®]-Dekoder unerheblich. Sie dient nur der Realisierung der Zentralenfunktionalität.

Beobachtet wurde folgendes Verhalten der Märklin[®] Central Station 2: Zwischen zwei Abfragen wird ein Abstand von 10 Sekunden eingehalten. Es werden nur die Loks abgefragt,

die für den Benutzer steuerbar, also im Display sichtbar sind. Auch während der Konfigurations-Bildschirm offen und damit die Lok nicht sichtbar ist, wird auf die Abfrage verzichtet. Der Abfrageabstand wird auch bei mehreren sichtbaren Loks eingehalten, die einzelnen Loks werden dann entsprechend seltener abgefragt.

Hinweis: Um die Abfrage möglichst schnell durchführen zu können, werden vier Konfigurationsvariablen gleichzeitig über einen Lesebefehl ausgelesen. Da es nur drei Betriebszustände gibt, wird eine vierte, unbenutzte Variable mit ausgelesen. Diese hat aber keine Bedeutung, sondern ist immer 0.

Beim Auffüllen der Betriebsvorräte („Tanken“) wird von der Zentrale der neue Wert in die entsprechenden Konfigurationsvariablen (aktueller Stand des Betriebsmittelvorrats) geschrieben.

Nach dem Ändern von Werten im CV-Konfigurationsmenü oder nach dem Tank-Vorgang, liest die Zentrale die Konfiguration der Betriebsmittelbevorratung erneut komplett ein (also aktueller Wert, Maximalwert, Faktor, usw.). Diese Werte verwendet sie zur Darstellung von entsprechend umgerechneten Betriebsmittelvorräten in der Anzeige.

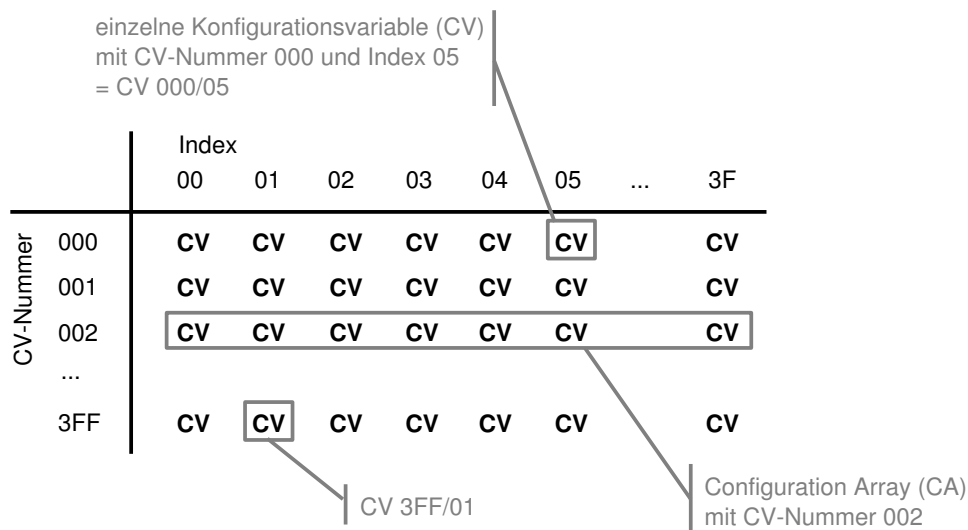
6 Dekoder-Konfiguration

6.1 Adressierung

Die Adressen der Konfigurationsvariablen (Configuration Variable, CV) sind 16 Bit lang und setzen sich aus zwei Teilen zusammen:

VVVVVVVVVV I I I I I I

Die obersten 10 Bit geben die Nummer der Konfigurationsvariablen an, die unteren 6 Bit stellen einen zusätzlichen Index dar. Als Schreibweise für die Adresse wird V/I verwendet. Eine Gruppe von Konfigurationsvariablen, durch die CV-Nummer V gekennzeichnet, wird hier zur besseren Unterscheidung von einzelnen CVs als Configuration Array (CA) bezeichnet.



Wie in der Skizze dargestellt, sind die einzelnen Konfigurationsvariablen also in einer zweidimensionalen Struktur organisiert (alle Angaben hexadezimal).

6.2 Kodierung und Byte-Reihenfolge

Eine CV umfasst 8 Bit, enthält also 1 Daten-Byte.

Werte, die einen größeren Wertebereich benötigen, werden über mehrere, aufeinander folgende CVs verteilt. Die Byte-Reihenfolge ist Big Endian.

Es wird also das MSB an der kleineren (Index-) Adresse gespeichert, wie das nachfolgende Beispiel zeigt.

Beispiel		Index						
		00	...	05	06	07	08	...
CV-Nummer	...							
	002	16		83	00	91	EE	
	...							

Artikelnummer, 24-Bit-Wert
 hex 0091EE = dezimal 37358

Grundsätzlich können über mfx® alle CVs an allen denkbaren Adressen gelesen und geschrieben werden. Allerdings sind nicht an allen Adressen CVs mit einem sinnvollen Wert hinterlegt und es sind auch nicht alle CVs schreibbar. Entsprechende Schreibbefehle werden ignoriert. Beim Lesen einer CV ohne definierten Wert wird 0 zurückgegeben. Wird eine einzelne, undefinierte CV gelesen, so wird 0 zurückgegeben oder es erfolgt gar keine Rückmeldung (vom Dekoder abhängig). Es existiert aber kein sicherer Mechanismus, um nicht definierte CVs zu erkennen.

Alle Zahlenangaben sind in diesem Kapitel hexadezimal, wenn nicht explizit anders angegeben.

6.3 Struktur

6.3.1 Aufbau des Konfigurationsraums

Die Bedeutung der CVs ist nicht an Hand der CV-Adresse festgelegt. Stattdessen kann die Struktur und die Bedeutung der abgelegten Information selbst über CVs ausgelesen werden. Diese Meta-Information tragenden CVs können nicht geschrieben, sondern nur gelesen werden.

Beim Lesen und Schreiben muss die Zentrale an Hand der Meta-Information durch die CVs navigieren. Dies ist etwas komplizierter als bei fester Zuordnung der CV-Adressen zu Konfigurationsparametern, aber dafür flexibler und leicht zu erweitern. Die Zentrale verbirgt die Komplexität der Strukturen vor dem Benutzer und greift normalerweise nur auf definierte CVs zu.

Die CVs eines Dekoders sind nach folgenden Regeln aufgebaut:

- Der Adressraum der CVs wird in Blöcken verwaltet, die ein Vielfaches von 4 CAs lang sind. Eventuell nicht benötigte CAs am Ende bleiben unbenutzt.

Der erste Block beginnt mit dem ersten CA, also dem CA der CV-Nummer 000. Um den kompletten Konfigurationsraum auszulesen, beginnt die Zentrale mit dem Lesen von CVs in diesem CA.

- Die CV bei Index 00 gibt in jedem CA den CA-Typ, also die Bedeutung des Configuration Arrays an. Definiert sind:

00 = CA nicht verwendet

01 = Blockbeschreibung

10 ... XX = CA-Typ abhängig vom Block

Die Bedeutung des CA-Typs ist innerhalb eines Blocks festgelegt, in unterschiedlichen Blöcken hat der gleiche CA-Typ eine unterschiedliche Bedeutung.

Die CV bei Index 00, also der CA-Typ, ist immer nur lesbar.

- Das CA mit der Blockbeschreibung ist immer das erste CA in einem Block und komplett nur lesbar. Sie ist wie folgt aufgebaut (also die CVs an Index 00, 01, 02 usw.):

```
01 BB VV 00 GG LL
```

01 ist der CA-Typ, siehe oben.

BB steht für den Blocktyp, also

01 = Dekoder-Grundeinstellung

02 = Funktionalität

03 = automatische Funktionen

04 = Function Mapping

... usw.

Die Blocktypen, ihr Aufbau und die Bedeutung ihrer CAs wird in Kapitel 6.4 beschrieben. GG und LL siehe nächsten Spiegelstrich.

VV steht für die Version der Blockstruktur. Typischerweise ist sie 01.

- Jeder Block ist in gleich große Gruppen von CAs unterteilt.

GG = Anzahl der Gruppen

LL = Anzahl CAs pro Gruppe

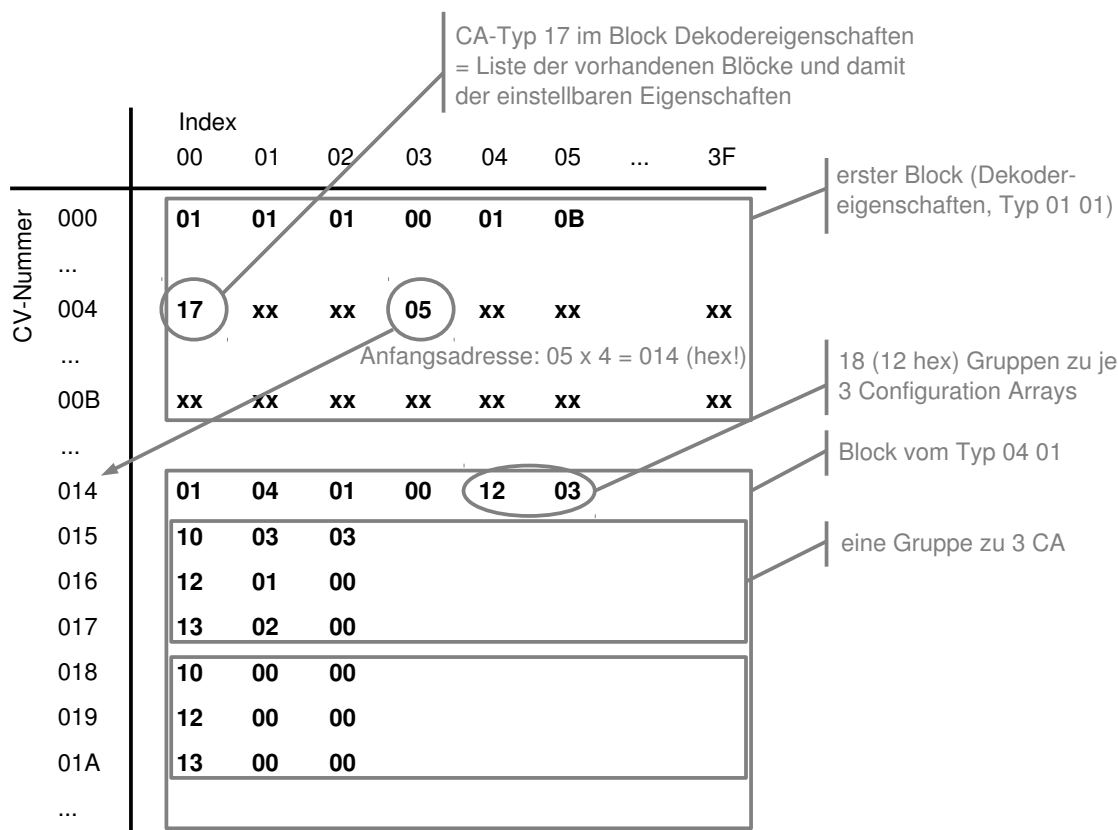
- Innerhalb eines Blocks kann die Reihenfolge der CAs (oder Gruppen von mehreren CAs) eine Bedeutung haben.

Beispiel: In der Konfiguration der Dekoder-Ausgänge gibt es 27 Gruppen mit je einem CA. Dabei gibt es 6 CAs mit der Bedeutungskennzeichnung 10 (hier: Konfiguration eines Hardware-Ausgangs). Das erste CA steht dabei für den ersten Ausgang (Licht vorne), der zweite für den zweiten Ausgang (Licht hinten) usw. bis zum sechsten Ausgang (AUX 4). Hier entscheidet also rein die Reihenfolge, es gibt nicht noch eine zusätzliche CV, die besagt, um welchen Ausgang es sich handelt.

Auch die Funktionsdefinitionen in Block 04 sind der Reihenfolge nach ab F0 aufgeführt. In diesem Fall müsste das nicht so sein, weil es eigentlich in Block 02 dafür eine Index-Tabelle gibt. Diese wird von den Zentralen aber in der Regel ignoriert und von einer entsprechenden Reihenfolge in Block 04 ausgegangen. Dies spart Lesezugriffe und damit Zeit beim Auslesen der Konfiguration.

- Im ersten, immer vorhandenen und bei CV-Nummer 000 beginnenden Block wird in einem CA mit dem CA-Typ 17 eine Liste mit Verweisen auf alle weiteren Blöcke vorgehalten.
- Der Beginn eines Blocks liegt immer auf einer durch 4 teilbaren CV-Nummer. Der Index in der genannten Blocktabelle kann daher auf 8 Bit beschränkt bleiben, da die beiden unteren Bits immer 0 sind und nicht mit gespeichert werden. Der Index muss also mit 4 multipliziert werden, um die CV-Nummer des Blockbeginns zu finden.

Das folgende Beispiel verdeutlicht die Struktur der CVs.



Die folgenden Unterkapitel listen die Bedeutung der bekannten CA-Typen, Blöcke und Konfigurationsvariablen auf.

6.3.2 Regeln für die Strukturen für die Schnellanmeldung

Um den Anmeldevorgang zu beschleunigen, reicht es, nur die Informationen, die für den unmittelbaren Betrieb notwendig sind, aus dem Dekoder auszulesen. Diese „Schnellanmeldung“ hat Märklin® mit der Märklin® Central Station 2 eingeführt.

Im Prinzip könnte die Zentrale z.B. an der UID erkennen, um welchen Dekoder es sich handelt. In diesem Fall könnte sie sogar auf das Auslesen der Struktur-CVs verzichten und direkt auf die für sie interessanten Werte zugreifen, wenn sie den Dekoder kennt und weiß, wie dessen CV-Struktur aufgebaut ist. Das würde das Anmelden einer mfx®-Lok weiter beschleunigen.

Neuere SW (ab 3.0) der Märklin® Central Station 2 und die Central Station 3 scheinen teilweise so vorzugehen. Bestimmte Struktur-Informationen werden nicht mehr ausgelesen, weil davon ausgegangen wird, dass bestimmte Informationen an festen CVs (absolut oder relativ zu anderen) zu finden sind.

Im ersten Schritt werden folgende Informationen in dieser Reihenfolge ausgelesen:

- CV-Adresse 004: Blocktabelle (Block 01, CA-Typ 17).

Gelesen werden nur die CV an Index 01 – 09, also der Index der ersten 9 Blöcke.

- In jeder Blockbeschreibung der 9 Blöcke werden die ersten beiden CVs gelesen (Index 0 und 1). An Index 0 wird erkannt, dass es sich wirklich um einen Blockanfang handelt; Wert muss 01 sein. Index 1 beschreibt den Blocktyp.
- CV-Adresse 008: Dekoder-Hersteller (Block 01, CA-Typ 10). Hier wird nur Index 4 gelesen, also die Hersteller-Identifikation.

Der mfx[®]-Konfigurationsraum muss deshalb CA-Typ 17 im Block 1 immer auf die CV-Adresse 004 legen, damit die Schnellanmeldung funktioniert.

Die Märklin[®] Central Station 2 liest dann zum Beispiel die folgenden Informationen während der Schnellanmeldung (SW-Stand 4.1.2(3)):

- CV-Adresse 002: Lok-Identifikation/Loksymbol (Block 01, CA-Typ 16).
- CV-Adresse 003: Lok-Namen (Block 01, CA-Typ 18).
- Beginn Block 7 + 12 (= 4. CA in der 3. Gruppe in Block 7): MM-Adresse (CA-Typ 13). Gelesen wird nur Index 1, also die erste MM-Adresse.
- Beginn Block 5 + 2: Anfahr-/Bremsverzögerung (CA-Typ 13).
- Beginn Block 5 + 3: Geschwindigkeitskennlinie (CA-Typ 17). Gelesen werden nur die ersten beiden Werte, also Anfahr- und Maximalgeschwindigkeit.
- Beginn Block 8 + 1: Lautstärke (CA-Typ 10).
- Beginn Block 4 + 1 ... + 48 in 3er-Schritten, insgesamt 16 CA: Funktionszuordnung (die ersten 16 Gruppen, jeweils erste CA, CA-Typ 10).
- Beginn Block A + 12: Führerstand für mfx+[®] (CA-Typ 1B).

Die aufgeführte Reihenfolge stimmt nur ansatzweise, ist aber auch nicht wichtig.

6.4 Beschreibung der Konfigurationsvariablen

6.4.1 Block 01: Dekoder-Eigenschaften

CA-Typ 10: Dekoder-Hersteller

10	HH	HH	HH	HH	PP	PP	PP	PP
----	----	----	----	----	----	----	----	----

HH = Herstellerkennung (ESU[®]-Terminologie: manID)

00 00 00 97 = ESU[®]

00 00 00 83 = Trix[®]/Märklin[®]

Das letzte Byte entspricht der Hersteller-ID aus dem DCC-Standard.

PP = Produktkennung (ESU[®]-Terminologie: proID)

Bei Märklin[®] wird hier die Ersatzteilnummer des Dekoders abgelegt (Ersatzteilnummer, wie sie im Ersatzteilblatt zu finden ist).

Einige Werte von ESU[®]-Dekodern, es finden sich aber auch andere:

02 00 00 0E = mfx[®]-Dekoder wie verbaut in den ersten Märklin[®]-mfx[®]-Loks

02 00 80 10 = LokPilot mfx® (V2.0, älterer ESU® 61600)
 02 00 00 28 = LokPilot V3.0 mfx®

FF FF FF FF bedeutet jeweils: Wert ist nicht gesetzt.

Alle Bytes können nur gelesen werden.

CA-Typ 11: Produktionskennung

Die 8 Bytes enthalten Informationen über die Herstellung. Sie werden von den verschiedenen Herstellern unterschiedlich genutzt.

Bedeutung bei ESU®:

11	AA	BB	CC	CC	DD	DD	DD	DD
----	----	----	----	----	----	----	----	----

AA.BB.CCCC = Produktionskennung (ESU®-Terminologie: plnfo)

DD = Produktionsdatum (ESU®-Terminologie: pDate)

Das Datum ist in Sekunden seit dem 1.1.2000 angegeben.

Bedeutung bei Märklin®:

11	DD	DD	DD	DD	IN	IN	IN	IN
----	----	----	----	----	----	----	----	----

DD = Herstellungsdatum

Datumsangabe als Zahl; Beispiel: die Zahl 20120314 steht für den 14.3.2012

IN = Herstellungsinformation (in der Regel nicht genutzt)

FF FF FF FF bedeutet jeweils: Wert ist nicht gesetzt.

Alle Bytes können nur gelesen werden.

CA-Typ 12: Bootloader-Version (Firmware Teil B)

8 Bytes zur Kennzeichnung der Bootloader-Version, Nutzung ist vom Hersteller abhängig.

Bedeutung bei ESU®:

12	AA	BB	CC	CC	DD	DD	DD	DD
----	----	----	----	----	----	----	----	----

AA.BB.CCCC = Firmware-Version B (ESU®-Terminologie: bCode)

DD = Erstellungsdatum Firmware B (ESU®-Terminologie: bDate)

Das Datum ist in Sekunden seit dem 1.1.2000 angegeben.

Bedeutung bei Märklin®:

12	AA	BB	CC	VV	DD	DD	DD	DD
----	----	----	----	----	----	----	----	----

AA.BB.CC.VV = Bootloader-Version

DD = Erstellungsdatum Bootloader

Datumsangabe als Zahl; Beispiel: die Zahl 20120314 steht für den 14.3.2012

FF FF FF FF bedeutet jeweils: Wert ist nicht gesetzt.

Alle Bytes können nur gelesen werden.

CA-Typ 13: Firmware-Version (Firmware Teil A)

8 Bytes zur Kennzeichnung der Firmware-Version, Nutzung ist vom Hersteller abhängig.

Bedeutung bei ESU[®]:

13	AA	BB	CC	CC	DD	DD	DD	DD	TT	TT	TT	TT
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

AA.BB.CCCC = Firmware-Version A (ESU[®]-Terminologie: aCode)

DD = Erstellungsdatum Firmware A (ESU[®]-Terminologie: aDate)

Das Datum ist in Sekunden seit dem 1.1.2000 angegeben.

TT = Firmware-Typ (ESU[®]-Terminologie: aType)

Bedeutung bei Märklin[®]:

13	AA	BB	CC	VV	DD	DD	DD	DD	EE	FF	GG	HH
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

AA.BB.CC.VV = Firmware-Version

DD = Erstellungsdatum Firmware

Datumsangabe als Zahl; Beispiel: die Zahl 20120314 steht für den 14.3.2012

EE.FF.GG.HH = Firmware-Info

FF FF FF FF bedeutet jeweils: Wert ist nicht gesetzt.

Alle Bytes können nur gelesen werden.

CA-Typ 14: Protokoll-Information

14	P1	P2	PL	MS6 ... MS1 G P	0000 WR1 WR2 RD1 RD2
----	----	----	----	-----------------	----------------------

P1.P2 = Protokoll-Version des mfx[®]-Protokolls (bisher nur 1.0 beobachtet)

PL = maximale Paketlänge in Bits der mfx[®]-Kommandos (nur Kommando ohne Synchronisationsmuster, ohne Adresse und ohne CRC, außerdem ohne Stuff-Bits; beobachtet wurden bisher maximale Paketlängen von 63 Bits und PL von 64 und 80.

Schreibverzögerung:

MS (Bedeutung unklar)

G = Gesamt (Bedeutung unklar)

P = Passiv (Bedeutung unklar)

Multi-Info:

WR = maximale Anzahl CVs, die in einem Kommando geschrieben werden können

RD = maximale Anzahl CVs, die in einem Kommando gelesen werden können

Achtung: Die Reihenfolge ist hier anders als üblich. Es wird dieselbe Kodierung vermutet wie in den Read/Write-mfx[®]-Kommandos. Allerdings passen die Angaben nicht zu den Beobachtungen.

Alle Bytes können nur gelesen werden.

CA-Typ 15: unbekannt

Es können 4 Bytes abgelegt und wieder gelesen werden. Diese Daten haben keine beobachtbaren Auswirkungen auf den Dekoder, evtl. kann hier lediglich die Zentrale Informationen ablegen (wie z.B. der Lok-Name, der bei Typ 16 auf diese Weise abgelegt ist). Bisher unbenutzt, alle Bytes enthalten 0.

CA-Typ 16: Lok-Identifikation (Symbol, Hersteller, Artikelnummer)

Aus diesen Informationen versucht die Zentrale, ein passendes Lok-Symbol oder Lok-Bild anzuzeigen. Da Benutzer eigene Bilder in die Zentrale laden können, kann keine eindeutige Identifikation für das Bild abgelegt werden. Stattdessen muss mit den verfügbaren Informationen und Heuristiken ein passendes Bild gefunden werden.

16	SS	SS	YY	YY	HH	AA	AA	AA
----	----	----	----	----	----	----	----	----

Die ersten 4 Bytes definieren ein Lok-Symbol für die erste Märklin[®] Gerätegeneration und die ESU[®] Geräte.

Die Märklin[®] Mobile Station 1 kennt nur wenige, feste Symbole („generische Symbole“). Diese werden durch die ersten beiden Bytes bestimmt. Die Mobile Station 1 liest auch nur die ersten beiden Bytes aus.

SS SS = generisches Symbol

- 01 08 = kein Bild
- 01 09 = E-Lok
- 01 0A = Diesellok
- 01 0B = DampfloK

Beobachtung: Ist nur ein generisches Symbol durch die Mobile Station 1 abgelegt, so wird die Herstellerkennung von ESU[®] verwendet und YY YY = 00 00. Die Central Station 1 verwendet auch YY YY, es ist dann in der Regel die Herstellerkennung von Märklin[®] abgelegt.

SS SS YY YY = Symbol der Märklin[®] Central Station 1. In dieser Verwendung kann es auch für SS SS von der obigen Tabelle abweichende Werte geben.

HH = Herstellerkennung der Lok (nach NMRA, wie DCC)

- 97 = ESU[®]
- 83 = Trix[®]/Märklin[®]

A = Artikelnummer der Lok

Bei der Märklin[®] Central Station 2 wird vor allem die Artikelnummer und der Name für die Auswahl eines Symbols oder Lok-Bildes verwendet (im Name steckt oft die Baureihennummer, für die es dann entsprechende Lok-Bilder gibt).

CA-Typ 17: Block-Tabelle

17	FF	...	0
----	----	-----	---

Null-terminierte Liste der verfügbaren Blöcke.

FF = Index des Blockanfangs (FF x 4 = CV-Nummer des ersten CA des entsprechenden Blocks)

CA-Typ 18: Lok-Name

18	CC	...	0
----	----	-----	---

Null-terminierte Zeichenkette mit Lok-Name. Lok-Namen können maximal 16 Byte lang sein. Der Lok-Name ist in UTF-8 kodiert. Bei ausschließlicher Nutzung von ASCII-Zeichen kann der Name daher 16 Zeichen lang werden. Bei Verwendung von Umlaute und anderen Sonderzeichen verkürzt sich die Maximallänge entsprechend, weil diese Zeichen durch mehrere Bytes kodiert werden.

Bei Ausnutzung aller 16 Bytes kann auf das terminierende 0-Zeichen verzichtet werden. Dieses würde sowieso durch die nicht schreibbare CV an Index 17 dargestellt, die wie alle nicht definierten CVs immer als 0 gelesen wird.

CC = Zeichen des Lok-Namens in UTF-8-Kodierung

CA-Typ 19: Benutzerdaten

Es kann eine 0-terminierte Zeichenkette mit bis zu 16 Bytes abgelegt und wieder gelesen werden. Die Daten werden von der Zentrale evtl. nur bis zum ersten 0-Zeichen gelesen. Diese Daten haben keine Auswirkung auf den Dekoder, hier kann lediglich die Zentrale Informationen ablegen.

Bisher ist keine Nutzung bekannt.

CA-Typ 1A: unbekannt

1B	??	??	??	??	??	??	??	??
----	----	----	----	----	----	----	----	----

unbenutzt oder bisher nur mit 00 als Nutzdaten gemessen

Es könnte sich um ein 32-Bit-Indexregister + ein 32-Bit-Datenregister handeln oder um ein Register für die Authentifizierung der Zentrale und für den Update von Firmware oder Sound zuständig sein. Wahre Bedeutung und Funktion sind unbekannt.

CA-Typ 1B: Hardware-Version

1B	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG	HH	HW	HW	HW	HW
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

AA.BB.CC.DD.EE.FF.GG.HH = Hardware-Version

HW = Teilenummer (bei Märklin[®]: Nummer des unprogrammierten HW-Teils, die programmierte HW wird dann komplett unter der Ersatzteilnummer geführt, wie sie auch im Ersatzteilblatt aufgeführt wird)

6.4.2 Block 02: Funktionen

CA-Typ 10: Fahrfunktion

10	XX
----	----

XX = Fahrfunktion vorhanden (Wert 01, nicht vorhanden: 00).

Evtl. ist dies auch ein Index, falls in Block 05 mehrere Motoren konfiguriert werden können.

CA-Typ 11: Schaltfunktion

11	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

XX = Index in die Funktionszuordnungstabelle (siehe Block 04) für die Funktionen F0 bis F15 (in dieser Reihenfolge). 00 für nicht vorhandene Funktion.

6.4.3 Block 03: Automatische Funktionen

CA-Typ 10: Automatische Schaltfunktion bei Stand (FS)

10	XX
----	----

XX = Index in die Funktionszuordnungstabelle (siehe Block 04) für die Funktion FS

Die Funktion FS ist eine Pseudo-Funktion, die intern automatisch eingeschaltet wird, wenn der Zug steht.

CA-Typ 11: Automatische Schaltfunktion bei Fahrt (FF)

11	XX
----	----

XX = Index in die Funktionszuordnungstabelle (siehe Block 04) für die Funktion FF

Die Funktion FF ist eine Pseudo-Funktion, die intern automatisch eingeschaltet wird, wenn der Zug fährt.

CA-Typ 12: Sensoreingang (I)

12	XX
----	----

XX = Index in die Funktionszuordnungstabelle (siehe Block 04) für den Sensoreingang.

Der Sensoreingang wird wie eine Funktion behandelt, die durch ein Signal am entsprechenden Eingang des Dekoders ausgelöst wird. Es kann mehrere Sensoreingänge geben. Deshalb können auch mehrere Zielen vom Typ 12 vorkommen, die Reihenfolge bestimmt die Sensoreingangsnummer (I1, ...).

6.4.4 Block 04: Funktionszuordnung

Pro Funktion (16 Stück) + FS und FF (Funktionalität bei Stopp und bei Fahrt) + Sensoreingänge (falls vorhanden) je eine Gruppe mit jeweils den drei CAs vom Typ 10, 12 und 13.

CA-Typ 10: Funktionssymbol

10	M GGGGGGG	S1	S2
----	-----------	----	----

M = Momentan- (1) oder Dauerfunktion (0)

Die Zentrale schaltet bei Momentanfunktioen die Funktion beim Drücken ein und beim Loslassen der Taste aus. Bei Dauerfunktionen wird beim ersten Drücken die Funktion eingeschaltet, beim nächsten Drücken die Funktion ausgeschaltet.

Die Funktionssymbole werden in drei Teilen definiert, was eine abgestufte Differenzierung zwischen den Symbolen je nach Darstellungsmöglichkeit der Zentrale erlaubt. Während die Mobile Station 1 nur die Funktionsgruppe auswertet (G), liest die Mobile Station 2 schon Funktionsgruppe und Teil 1 der Symbolinformation (G S1). Die Central Station wertet alle 3 Teile (G S1 S2) aus.

G = Funktionsgruppe

00 = keiner Funktionsgruppe zugeordnet, es gibt nur ein spezifisches Symbol

02 = unspezifische Funktion (als F dargestellt)

03 = Licht

04 = Innenbeleuchtung

05 = Außenbeleuchtung

06 = Mechanische Funktionen

07 = Sound

08 = Hintergrund-Sound

09 = Sprachausgabe

0A = Rangiergang

0B = Direktsteuerung (ABV aus)

S1 S2 = Funktionssymbol

In der folgenden Tabelle werden alle Detailsymbole aufgelistet (Angabe von G S1 S2; allerdings muss die Gruppenzuordnung nicht immer vorhanden sein, die Gruppe könnte auch 00 sein):

00 00 00 = keine Funktion (kein Symbol)

02 02 00 = undefiniert (Fragezeichen oder F-Symbol, an Central Station 2 mit Nummer)

03 03 00 = Stirnlicht (Lichtsymbol)

03 03 40 = Führerstandbeleuchtung hinten

03 03 80 = Führerstandbeleuchtung vorne

04 04 00 = Innenbeleuchtung allgemein

04 04 01 = Innenbeleuchtung im Wagen

04 04 04 = Innenbeleuchtung nostalgisch

04 04 05 = Tischlampe Kugel (Epoche II)

- 04 04 06 = Tischlampe Kegel (Epoche III)
- 04 04 07 = Tischlampe Zylinder (Epoche IV)
- 05 05 00 = Außenbeleuchtung (allgemein)
- 05 05 01 = Nummernschildbeleuchtung
- 05 05 02 = Zuglaufschildbeleuchtung
- 05 05 03 = Fahrwerksbeleuchtung
- 05 05 06 = Blinklicht
- 05 05 07 = Treppenbeleuchtung
- 05 05 09 = Feuerbüchsenbeleuchtung
- 06 06 00 = Mechanische Funktion (allgemeines Funktionssymbol)
- 07 07 00 = Sound (Sound-Symbol)
- 07 07 01 = Bremsgeräusch
- 07 07 02 = Pantographengeräusch
- 07 07 05 = Kupplungsgeräusch
- 07 07 06 = Schienenstoß
- 07 07 08 = Schaffnerpfeife
- 07 07 09 = Schaltstufen
- 07 07 0A = Zylinder ausblasen
- 07 07 0D = Schüttelrost
- 07 07 0E = Generator
- 07 07 0F = Pufferstoß
- 07 07 10 = Schüttelrost
- 07 07 11 = allgemeiner Klang (Symbol Musiknote)
- 07 07 13 = Dampf ablassen
- 07 07 14 = Motorgeräusch
- 07 07 2E = Sanden
- 07 07 2F = Bremsgeräusch ausschalten
- 08 08 00 = Hintergrund-Sound (Symbol Lok von vorne)
- 09 09 00 = Durchsage (Lautsprechersymbol)
- 09 09 01 = Durchsage (Lautsprechersymbol mit Befestigungsstange nach unten)
- 09 09 02 = Durchsage (Lautsprechersymbol mit Befestigungsstange nach oben)
- 09 09 04 = Durchsage (Mastsymbol)
- 09 09 05 = Sprachausgabe (Sprechblasensymbol)
- 0A 0A 00 = Rangiergang (Schildkrötensymbol)
- 0A 0A 01 = Rangieren (Symbol: kein Halt vor rotem Signal)
- 0B 0B 00 = Direktsteuerung (Massensymbol)
- 0B 0B xx = alternative Geschwindigkeitskennlinie
- 02 1F 00 = Benutzerdefinierte Funktion
- 06 20 00 = Telex-Kupplung
- 00 20 00 = Telex-Kupplung
- 00 20 40 = Telex-Kupplung hinten
- 00 20 80 = Telex-Kupplung vorne

06 21 00 = Rauchgenerator
00 21 00 = Rauchgenerator

06 22 00 = Pantograph
00 22 00 = Pantograph
00 22 40 = Pantograph hinten
00 22 80 = Pantograph vorne

03 23 00 = Fernlicht
00 23 00 = Fernlicht
00 23 40 = Fernlicht hinten
00 23 80 = Fernlicht vorne

07 24 00 = Glocke
00 24 00 = Glocke

07 25 00 = Horn
00 25 00 = Horn

07 26 00 = Pfeife
00 26 00 = Pfeife

00 27 00 = Türen öffnen
00 27 01 = Türen schließen

00 28 00 = Lüfter
00 28 01 = Lüfter

00 29 00 = Pumpe
00 29 01 = Luftpumpe
00 29 02 = Lüfter (Ansaugung)
00 29 04 = Injektor
00 29 05 = Wasserpumpe

00 2A 00 = Kohleschaufeln

00 2B 00 = Kranhaken
00 2B 01 = Pfeile für Kippen (nach vorne/nach oben)
00 2B 02 = Pfeil hoch/runter
00 2B 03 = Pfeil drehen (vorne nach rechts)
00 2B 04 = Pfeil rechts/links
00 2B 05 = Doppelhaken
00 2B 06 = Magnet
00 2B 07 = Pfeil hoch
00 2B 08 = Pfeil runter
00 2B 09 = Pfeil nach links
00 2B 0A = Pfeil nach rechts
00 2B 0C = Pfeil drehen (vorne nach links)

00 2C 00 = dicker Pfeil nach oben
00 2C 01 = Sound aus (Symbol durchgestrichener Lautsprecher)

Bei manchen Funktionssymbolen wurde eine Zeile mit Gruppenzuordnung und eine weitere mit Gruppe 00 eingefügt, weil beide Kombinationen beobachtet wurden. Grundsätzlich dürfte die Gruppenzugehörigkeit aber unabhängig vom Symbol sein.

CA-Typ 12: Funktion bei Vorwärtsfahrt

12	RG DS A4 A3 A2 A1 LH LV	S4 S3 S2 S1 S0 SE AS BA
	S12 ... S5	0 0 0 0 0 S15 .. S13

Die mit 1 markierten Funktionen sind aktiv, wenn die aktivierte Funktion bei Vorwärtsfahrt eingeschaltet wird.

Die Beschreibung der Bedeutung der Bits bezieht sich hier auf die ersten ESU®/Märklin® mfx®- und mfx®-Sound-Dekoder mit 4 AUX-Ausgängen. Sie ist daher als Beispielkonfiguration zu sehen. Neuere Dekoder definieren sogar 6 AUX-Ausgänge (für den Betrieb als Funktionsdekoder, Funktionsausgänge statt Motor), die Bits verschieben sich entsprechend. Außerdem werden inzwischen bis zu 28 Sound-Slots angeboten.

Grundsätzlich findet eine Zuordnung zu den Hardware-Funktionen statt (Bit 0, Index 01 = Hardware-Funktion 0; Bit 1, Index 01 = Hardware-Funktion 1 usw.). Die vorhandenen Hardware-Funktionen und damit die Reihenfolge wird durch die Angaben in Block 06 bestimmt. Für neuere Dekoder mit mehr Hardware-Ausgängen (AUX) muss das Schema entsprechend angepasst werden.

LV = Ausgang Licht vorne

LH = Ausgang Licht hinten

A4 ... A1 = Ausgang AUX 4 bis 1

DS = Direktsteuerung (Beschleunigungskurve & Bremskurve aus = ABV aus)

RG = Rangiergang

BA = Bremsgeräusch ausschalten

AS = Alternativen Sound einschalten bzw. Mute

SE = Sound einschalten (Fahrgeräusch einschalten)

Sxx = Sound-Slot-Nummer xx

CA-Typ 13: Funktion bei Rückwärtsfahrt

13	RG DS A4 A3 A2 A1 LH LV	S4 S3 S2 S1 S0 SE AS BA
	S12 ... S5	0 0 0 0 0 S15 .. S13

Die mit 1 markierten Funktionen sind aktiv, wenn die aktivierte Funktion bei Rückwärtsfahrt eingeschaltet wird.

Bedeutung der Felder entspricht denen bei Vorwärtsfahrt, siehe oben bei CA-Typ 12.

6.4.5 Block 05: Fahreigenschaften

CA-Typ 10: Motoren

10	AA
----	----

AA = Anzahl der Motorausgänge, 0 bei Funktionsdekodern, die keinen Motor ansteuern

CA-Typ 11: Motortyp

11	00 A R DDDD
----	-------------

Über den Motortyp wird bestimmt, wie der Motor vom Dekoder geregelt wird.

Eine besondere Form ist der Motortyp „AUX“. In diesem Modus fungieren die beiden Motoranschlüsse als zusätzliche Funktionsausgänge (AUX 5 und AUX6).

A = Regelung im Analog-Betrieb (1 = ja, 0 = nein)

R = Regelung dynamisch reduziert (1 = ja, 0 = nein)

D = Motortyp:

0 = AUX, Motorendstufe wird als zwei Funktionsausgänge verwendet

1 = SDS-Motor, ungeregelt

2 = ungeregelter Motor

3 = geregelter DC-Motor (Hochleistungsantrieb C90)

4 = geregelter Glockenanker-Motor

5 = geregelter DC-Motor (weich)

6 = geregelter DC-Motor (hart)

7 = geregelter DC-Motor (Spur 1)

Die gesamten 6 Bits des Motortyps können auch als eine Einheit betrachtet werden und geben dann eine Kennzahl für den Motortyp von 0 – 63 an.

Der SDS-Motor hat eine eigene Ansteuerung und darf deshalb vom Dekoder nicht geregelt werden. Wenn Typ 1 = SDS eingestellt ist, müssen die Regelparameter auf 0 gesetzt werden (insbesondere der Parameter Regeleinfluss).

CA-Typ 12: Motoransteuerfrequenz

12	FF	FF
----	----	----

FF FF = PWM-Frequenz der Motoransteuerung in 10 Hz-Schritten

Es sind je nach Dekoder nur ganz wenige Frequenzen möglich. Beobachtet wurde zum Beispiel:

06 1A = 15 kHz

0C 35 = 30 kHz

CA-Typ 13: Beschleunigungszeit, Bremsverzögerung

13	AA	BB
----	----	----

AA = Beschleunigungszeit (AA x 0,25 Sek.)

BB = Bremsverzögerung (BB x 0,25 Sek.)

Es ist jeweils die Zeit angegeben, welche die Lok für die Beschleunigung bzw. den Bremsvorgang von 0 bis V_{\max} benötigt.

CA-Typ 14: Trimmung

14	FF	RR
----	----	----

FF = Vorwärts-Trim (FF x 0,0078125 x Motorspannung)

RR = Rückwärts-Trim (RR x 0,0078125 x Motorspannung)

Die Trimmung dient dazu, V_{\max} für Vorwärts- und Rückwärtsfahrt unterschiedlich einzustellen. Man wird damit Lokomotiven gerecht, die vorwärts und rückwärts unterschiedliche Höchstgeschwindigkeiten haben.

Bei einem Wert von 80 (dezimal 128) ergibt sich keine Beeinflussung (Faktor ist dann 1,0), bei anderen Werten wird die aus der Geschwindigkeitskennlinie abgeleitete Motorspannung mit dem hier angegebenen Faktor multipliziert. Daraus ergibt sich dann die tatsächlich verwendete Motorspannung.

CA-Typ 15: Lastregelung

15	EE	RR	KK	II
----	----	----	----	----

EE = Regeleinfluss (EE x 0,39216 %)

RR = Regelreferenz (RR x 0,1 Volt), absolutes V_{\max} für Motorkennlinie

KK = Regelparameter K

II = Regelparameter I

CA-Typ 16: Bremsstrecke

16	00 A B 000 C
----	--------------

A = Bremsstrecke durch Gleichspannung am Gleis (entgegen Fahrtrichtung, normales 2-Leiter-Bremsverhalten) aktivieren (Wert 1)

B = Bremsstrecke durch Gleichspannung am Gleis (in Fahrtrichtung, inverses 2-Leiter-Bremsverhalten) aktivieren (Wert 1)

Sind AB = 11, also beide aktiviert, so wird das richtungsunabhängige Bremsen mit Gleichspannung (3-Leiter-Verhalten) aktiviert.

C = Märklin®-Bremsstrecke aktivieren (Wert 1, dieses Bit gibt es nur bei den ersten ESU®/Märklin®-mfx®-Dekodern)

CA-Typ 17: Geschwindigkeitskennlinie

17	MM	AA		...	KK
----	----	----	--	-----	----

MM = Anfahrsgeschwindigkeit V_{\min} (0-255)

AA = Maximalgeschwindigkeit V_{\max} (0-255)

KK = 26 Stützpunkte der Geschwindigkeitskennlinie

Die Geschwindigkeitskennlinie besitzt 28 Punkte, wobei der erste und der letzte Punkt konstant sind (01 und FF) und deshalb nicht gespeichert werden. Die Stützpunkte werden als Faktoren zwischen 01 und FF angegeben.

CA-Typ 18: Tacho

18	TT	TT
----	----	----

TT = Auf dem Tacho der Zentrale angezeigte Maximalgeschwindigkeit in km/h

Achtung: Der Tachowert wird abweichend von anderen CVs in der Byte-Reihenfolge Little Endian abgelegt. Beispiel: 120 km/h Höchstgeschwindigkeit wird dargestellt mit TT TT = 78 00.

CA-Typ 19: Reverse-Betrieb

19	0000000R
----	----------

R = Reverse-Betrieb aktivieren (Richtungsverhalten der Lok umkehren bezogen auf Fahrtrichtung und Licht)

6.4.6 Block 06: Hardware-Funktionen

Gruppen zu je einem CA. Jede Gruppe und damit jedes CA steht für eine vorhandene Hardware-Funktion, die in diesem CA konfiguriert werden kann. Die Reihenfolge bestimmt, welches Bit für die Hardware-Funktion in der Funktionszuordnungstabelle steht.

Von den meisten CA-Typen gibt es mehrere Gruppen. Die Reihenfolge ist bedeutsam, denn sie bestimmt die Zuordnung zur Hardware (z.B. erstes CA vom CA-Typ 10 steuert Ausgang 1 alias Licht vorne, sechstes CA vom CA-Typ 10 steuert Ausgang 6 alias AUX4).

CA-Typ 10: Konfiguration der Hardware-Ausgänge

10	MM	DD	FF
----	----	----	----

Konfiguration eines Hardware-Ausgangs. Die Reihenfolge der Angaben bestimmt die Zuordnung: 1. Eintrag Licht vorne, 2. Eintrag Licht hinten, 3. bis 6. Eintrag AUX1 bis AUX4.

MM = Ausgangsmodus

00 = keine Funktion

01 = Dauerlicht

02 = Blinklicht (Ein-/Auszeit ist gleich lang)

03 = Blinklicht (Gegenphase, ist also aus, wenn Blinklicht 02 ein ist und umgekehrt)

- 04 = Lichteffect Strobe (kurzer Lichtblitz am Anfang jeder Periode)
- 05 = Lichteffect Double Strobe (zwei kurze Lichtblitze am Anfang jeder Periode)
- 06 = Zufalls-Lichteffect (für Feuerbüchsenflackern)
- 07 = Ansteuerung eines Rauchgenerators
- 08 = Dauerlicht, wird beim Ein-/Ausschalten langsam auf- und abgeblendet
- 09 = Lichteffect Marslight (für amerikanische Lokomotiven)
- 0A = Lichteffect Gyrolight (für amerikanische Lokomotiven)
- 0B = Lichteffect Rule 17 forward (für amerikanische Lokomotiven)
- 0C = Lichteffect Rule 17 reverse (für amerikanische Lokomotiven)
- 0D = Neonlicht (flackert eine Zeit lang beim Einschalten, geht sofort aus)
- 0E = Energiesparlampenlicht (braucht einige Zeit, bis die volle Helligkeit erreicht ist)
- 0F = Telex („Soft-Telex“ für die neueren Telex-Kupplungen, reduziert den Strom in der Haltephase)

DD = Dimmung (0-255), für alle Effekte gültig

FF = Blinkfrequenz (FF x 0,05 Sek.) bzw. vom Lichteffect abhängige Zeitangabe:

- Effekt 02 – 05: Periodendauer
- Effekt 08: Auf-/Abblendzeit
- Effekt 09 und 0A: Geschwindigkeit
- Effekt 0B und 0C: Dimmzeit
- Effekt 0D: Flackerzeit
- Effekt 0E: Zeit bis volle Helligkeit beim Einschalten erreicht wird
- Effekt 0F: Kuppelzeit
- alle anderen Effekte verwenden die Angabe nicht

Anmerkung: bei den getesteten ersten Märklin[®]/ESU[®] mfx[®]-Dekodern ist nur eine Blinkfrequenz möglich (vermutlich, weil im Mikrocontroller entsprechende Ressourcen knapp sind). Setzt man die Blinkfrequenz bei diesen Dekodern für einen bestimmten Ausgang, so wird dieser Wert automatisch für alle anderen Ausgänge ebenfalls übernommen.

Anmerkung: Bei neueren Märklin[®]-mfx[®]-Dekodern gibt es keinen Unterschied zwischen Blinklicht 02 und 03, insbesondere leuchten sie nicht gegenphasig.

CA-Typ 11: Konfiguration der internen Funktionen

11	TT	PP
----	----	----

TT = Typ der internen Funktion

- 01 = Direktsteuerung (ABV abschalten)
- 02 = Rangiergang
- 03 = Bremsgeräusch
- 04 = Alternativer Sound (bei älteren ESU[®]/Märklin[®]-mfx[®]-Sound-Dekodern)
- 06 = Mute
- 07 = Alternativer Sound (bei neueren Märklin[®]-mfx[®]-Sound-Dekodern)
 inzwischen: Bremsdynamik (= Bremsquietschen Spielwelt)
 Wenn ein, wird auch dann ein Bremsquietschen ausgelöst, wenn die Lok langsam über viele Fahrstufen abgebremst wird (bei PC-Steuerung oder ABV-Simulation in der Märklin[®] Central Station).

PP = Parameter für die entsprechende Funktion

Funktion 01: vermutlich Teiler, der bestimmt, um welchen Teil die ABV herabgesetzt wird

Funktion 02: Teiler für die Geschwindigkeit im Rangiergang (Bit 7 = 1/2, Bit 6 = 1/4 usw.; normalerweise 80 für halbe Normalgeschwindigkeit)

Funktion 03, 04, (07 alt): Lautstärke

Funktion 06, 07: keine Bedeutung

CA-Typ 12: Konfiguration der Sound-Funktionen

12	AA	LL
----	----	----

Konfiguration der Sound-Funktionen, die Reihenfolge bestimmt die Nummer des Sound-Slots (der erste Eintrag mit AA = 02 beschreibt den Sound-Slots Nummer 1 usw.).

AA = Art des Sounds

01 = Betriebsgeräusch (Fahr sound)

02 = Sound-Slot

LL = Lautstärke (0 = aus, FF = volle Lautstärke)

6.4.7 Block 07: Weitere Protokolle

Blöcke mit je 4 CAs; jeder Block konfiguriert ein zusätzliches Protokoll. Welches, ist CA-Typ 10 zu entnehmen.

CA-Typ 10: Protokoll

10	PP
----	----

PP = weiteres Protokoll

01 = Analog AC

02 = Analog DC

03 = MM

04 = DCC

CA-Typ 11: Protokoll-Konfiguration

Die Konfigurationsbits sind (bis auf Bit 0 = Aktivierung) vom Protokoll abhängig.

Analog AC oder DC:

11	0000000A
----	----------

A = Protokoll aktiviert (1)

MM:

11	000 F DD H A
----	--------------

F = Folge-Adressen (Wert = 1) oder frei definierbare Adressen verwenden (Wert = 0)

Diese Einstellung definiert, wie die 2. und alle weiteren Adressen bestimmt werden. Es können ausgehend von der eingestellten MM-Adresse automatisch die darauf folgenden Adressen verwendet werden oder alle Adressen werden explizit im Dekoder definiert.

D = Anzahl Adressen (00 = 1 Adresse, 01 = 2 Adr., 10 = 3 Adr., 11 = 4 Adr.)

Die 1. Adresse steuert die Fahrstufe und F0 – F4, die 2. Adresse F5 – F8 usw.

H = Halbstufen erlauben (Wert 1 bedeutet: 27 Fahrstufen über Halbstufen-Verfahren)

A = Protokoll aktiviert (1)

DCC:

11	00 E 00 P S A
----	---------------

E = kurze Adressen (0) oder lange Adressen (1) verwenden

P = Power (Funktion unbekannt)

S = 14 Fahrstufen (0) oder 28/128 Fahrstufen (1) verwenden

A = Protokoll aktiviert (1)

CA-Typ 12: Aktivierte Funktionen

12	F15 F14 ... F8	F7 F6 ... F0
----	----------------	--------------

Gesetztes Bit bedeutet: Diese Funktion ist automatisch aktiviert, wenn in diesem Protokoll gefahren wird.

CA-Typ 13: Adressen im MM-Format

13	M1	M2	M3	M4
----	----	----	----	----

M1 = MM-Adresse (Fahren und Funktionen F0 bis F4)

M2 = 2. MM-Adresse (Funktionen F5 – F8 durch MM-Funktion F1 bis F4)

M3 = 3. MM-Adresse (Funktionen F9 – F12 durch MM-Funktion F1 bis F4)

M4 = 4. MM-Adresse (Funktionen F13 – F15 durch MM-Funktion F1 bis F3)

Kodierung nach der Signalform des MM-Schienensignals:

0 = bedeutet kurzer Impuls (1/8 der Bit-Länge High, 7/8 Low)

1 = langer Impuls (7/8 der Bit-Länge High, 1/8 Low)

Die Kodierung der ersten 81 Adressen war durch Märklin® vorgegeben und entspricht dem ursprünglichen MM-Format (Märklin® verwendet dabei allerdings nur die Adressen 1 bis 80; die Adresse 0 wird manchmal als Adresse 81 bezeichnet und zeigt bei manchen Dekodern an, dass der Dekoder analog betrieben wird). Inzwischen sind alle Bit-Muster definiert, so dass 255 Adressen zur Verfügung stehen (0 wird weiterhin nicht verwendet). Es ergeben sich folgende Werte:

Adr. 0 – 9: 55, 03, 01, 0C, 0F, 0D, 04, 07, 05, 30

Adr. 10 – 19: 33, 31, 3C, 3F, 3D, 34, 37, 35, 10, 13

Adr. 20 – 29:	11, 1C, 1F, 1D, 14, 17, 15, C0, C3, C1
Adr. 30 – 39:	CC, CF, CD, C4, C7, C5, F0, F3, F1, FC
Adr. 40 – 49:	FF, FD, F4, F7, F5, D0, D3, D1, DC, DF
Adr. 50 – 59:	DD, D4, D7, D5, 40, 43, 41, 4C, 4F, 4D
Adr. 60 – 69:	44, 47, 45, 70, 73, 71, 7C, 7F, 7D, 74
Adr. 70 – 79:	77, 75, 50, 53, 51, 5C, 5F, 5D, 54, 57
Adr. 80 – 89:	00, 02, 06, E9, 0E, 12, 16, 1A, 1E, 22
Adr. 90 – 99:	26, 2A, 2E, 32, 36, 3A, 3E, 42, 46, 4A
Adr. 100 – 109:	4E, 52, 56, 5A, 5E, 62, 66, 6A, 6E, 72
Adr. 110 – 119:	76, 7A, 7E, 82, 86, 8A, 8E, 92, 96, 9A
Adr. 120 – 129:	9E, A2, A6, F9, AE, B2, B6, BA, BE, C2
Adr. 130 – 139:	C6, CA, CE, D2, D6, DA, DE, E2, E6, EA
Adr. 140 – 149:	EE, F2, F6, FA, FE, 08, 18, 28, 38, 48
Adr. 150 – 159:	58, 68, 78, 88, 98, A8, B8, C8, D8, E8
Adr. 160 – 169:	F8, 0B, 1B, 2B, 3B, 4B, 5B, 6B, 7B, 8B
Adr. 170 – 179:	9B, AB, BB, CB, DB, EB, FB, 09, 19, 29
Adr. 180 – 189:	39, 49, 59, 69, 79, 89, 99, A9, B9, C9
Adr. 190 – 199:	D9, 0A, AA, 20, 60, A0, E0, 23, 63, A3
Adr. 200 – 209:	E3, 21, 61, A1, E1, 2C, 6C, AC, EC, 2F
Adr. 210 – 219:	6F, AF, EF, 2D, 6D, AD, ED, 24, 64, A4
Adr. 220 – 229:	E4, 27, 67, A7, E7, 25, 65, A5, E5, 80
Adr. 230 – 239:	83, 81, 8C, 8F, 8D, 84, 87, 85, B0, B3
Adr. 240 – 249:	B1, BC, BF, BD, B4, B7, B5, 90, 93, 91
Adr. 250 – 255:	9C, 9F, 9D, 94, 97, 95

Achtung: Im MM-Format wird Bit 0 zuerst gesendet. Dieses entspricht Bit 0 in obiger Adressdefinition.

CA-Typ 13: Adressen im DCC-Format

13	AD	EA (MSB)	EA (LSB)	RTTTTTTT
----	----	----------	----------	----------

AD = DCC-Adresse (kurze Adresse)

EA = erweiterte (lange) DCC-Adresse

T = Traktionsadresse (0 = keine Mehrfachtraktion)

Bei Mehrfachtraktion wird die DCC-Adresse ignoriert. Um die Lok wieder einzeln fahren zu können, muss daher die Traktionsadresse auf 0 gesetzt werden.

R = Richtungsvertauschung bei Mehrfachtraktion (Wert = 1, betrifft Fahrtrichtung und Lichtfunktion)

CA-Typ 14: Spannungsbereich im Analog-Modus

14	MM	AA
----	----	----

MM = Anfahrspannung (0-255, Anteil an der verfügbaren Spannung)

AA = Spannung bei Höchstgeschwindigkeit (0-255, Anteil an der verfügbaren Spannung)

6.4.8 Block 08: Sound-Einstellungen

Je nach Sound-Dekoder werden nicht alle Einstellmöglichkeiten angeboten. Auch unterscheidet sich teilweise die Interpretation der Parameter leicht.

CA-Typ 10: Lautstärke

10	LL
----	----

LL = Lautstärke (0-255)

CA-Typ 11: Geräushtyp (Diesellok/E-Lok)

Bei ESU®-Sound-Dekodern:

11	TT	TT
----	----	----

TT TT = Geräushtyp, die Bit-Felder werden wie folgt interpretiert:

00000001 0AAAAAAA = Diesellok elektrisch / E-Lok

A = Abstand der Schaltstufen (1-127)

00000001 10000000 = Diesellok hydraulisch

00000000 0AAAAAAA = Diesellok mit Schaltgetriebe

A = Anzahl der Schaltstufen (1-127)

Bei Märklin®-Sound-Dekodern:

11	A1	A2
----	----	----

A1 = Abstand der Dampfstöße bei Fahrstufe 1

Bei Radsensor: 0 = bei jedem Impuls

Bei E-Lok/Diesellok: Geschwindigkeitsmodulation

1 = stufenweise, lineare Modulation

A2 = Abstand der Dampfstöße bei Fahrstufe > 1

Bei Radsensor: 0 = bei jedem Impuls, >0 = bei jedem x.ten Impuls

Bei E-Lok/Diesellok: Geschwindigkeitsmodulation

0 = stufenweiser linearer, fester Abstand der Fahrstufen

CA-Typ 12: Geräushtyp (Dampflok)

Wird nur von ESU®-Sound-Dekodern unterstützt.

12	TT	TT
----	----	----

TT TT = Geräushtyp, die Bit-Felder werden wie folgt interpretiert:

0MMMMMMM 0AAAAAAA = Dampflokomotive ohne externem Sensor

M = Abstand Dampfstöße bei Fahrstufe 1 (M x 0,064 Sek.; 1-127)

A = Abstand Dampfstöße bei Fahrstufe > 1 (Steilheit; 1-127)

00000000 OTTTTTTT = Dampflokomotive mit externem Sensor

T = Trigger-Impulse (1-127)

CA-Typ 13: Geräuschgeschwindigkeit

13	MM	AA
----	----	----

MM = Geschwindigkeit des Fahrgeräusches bei kleinster Fahrstufe (MM x 0,78125 %)

AA = Geschwindigkeit des Fahrgeräusches bei höchster Fahrstufe (AA * 0,78125 %)

CA-Typ 14: Zufallsgeräusch

14	MM	AA
----	----	----

Wenn MM und AA größer als 0, wird das Zufallsgeräusch aktiviert.

MM = minimaler Abstand in Sekunden

AA = maximaler Abstand in Sekunden

CA-Typ 15: Bremsgeräusch

15	SS
----	----

SS = Schwellwert für das Bremsgeräusch (1-255)

Das Bremsgeräusch beginnt früher, je größer der Wert ist, und später, je kleiner der Wert ist. Wird der Wert zu klein, wird das Bremsgeräusch jedoch nie ausgelöst.

CA-Typ 16: Automatische Sounds

16	RW	0 R L K AAAA
----	----	--------------

RW = Nummer des Sounds, der bei einem Richtungswechsel abgespielt wird

Konfiguration der Multi-Bahnhof-Ansage. Dieser muss in der Sound-Konfiguration vorgesehen werden. Beim Abspielen des entsprechenden Sound-Slots wird jeweils eine andere Ansage abgespielt. Die Reihenfolge wird in der CV definiert.

R = Reihenfolge der Ansagen (0 = mit Ansage 1 aufsteigend beginnen, 1 = absteigend)

L = Reihenfolge umkehren, wenn die Fahrtrichtung geändert wird (1)

Für Pendelzüge: Wendet der Zug an der Endstation, werden die Ansagen wieder in umgekehrter Reihenfolge abgespielt.

K = Reihenfolge beim Erreichen der letzten Ansage (Endansage) umkehren (1)

Für Kehrschleifen: Wird der letzte Bahnhof (= letzte Ansage) erreicht, wendet der Zug in einer Kehrschleife und fährt die Bahnhöfe wieder in umgekehrter Reihenfolge an.

Entsprechend werden die Ansagen am Ende wieder in umgekehrter Reihenfolge abgespielt (die letzte Ansage, die Endansage, wird nur einmal abgespielt).

A = Anzahl der Bahnhöfe (= Anzahl der Ansagen)

6.4.9 Block 09: Sonderoptionen

CA-Typ 10: Speicheroptionen A

10	0 0 0 0 0 R S Z
----	-----------------

R = Nach dem Reset (Spannungsverlust) wieder mit Anfahrbeschleunigung anfahren (1) bzw. ohne Berücksichtigung der Beschleunigungskurve letzte Geschwindigkeit einnehmen (0); zeigt nur eine Wirkung, wenn auch die Geschwindigkeit gespeichert wurde

S = Aktuelle Soll-Geschwindigkeit beim Ausschalten speichern (1)

Z = Zustand der Funktionen beim Ausschalten speichern (1)

CA-Typ 11: Speicheroptionen B

11	0 0 0 0 0 0 0 F
----	-----------------

F = Fahrtrichtung beim Ausschalten speichern (1)

CA-Typ 12: Konfiguration der Ausgänge (Ports)

12	0 A6 A5 A4 A3 G L M
----	---------------------

A6 = Push/Pull-Ausgangsstufe für AUX6 verwenden (1)

A5 = Push/Pull-Ausgangsstufe für AUX5 verwenden (1)

A4 = AUX4 als Logikausgang verwenden (1), ansonsten verstärkter Ausgang

A3 = AUX3 als Logikausgang verwenden (1), ansonsten verstärkter Ausgang

G = Gleisanschlüsse vertauschen

L = Ausgänge Licht vorne/hinten vertauschen

M = Motoranschlüsse vertauschen

6.4.10 Block 0A: mfx+®

CA-Typ 10: Aktueller Betriebsmittelvorrat

10	FA	FB	SD
----	----	----	----

Prozentualer, noch vorhandener Betriebsmittelvorrat (0 = 0%, leer; FF = 100%, voll).

FA = Aktueller Betriebsmittelvorrat für Fuel A (Wasser, Diesel)

FB = Aktueller Betriebsmittelvorrat für Fuel B (Kohle)

SD = Aktueller Betriebsmittelvorrat für Sand

CA-Typ 11: Maximaler Betriebsmittelvorrat

11	FA	FA	FB	FB	SD	SD
----	----	----	----	----	----	----

Absolutwert des Betriebsmittelvorrats (jeweils als 16-Bit-Wert), wenn aktueller Vorrat 100% beträgt.

FA = Maximaler Betriebsmittelvorrat für Fuel A in Liter

FB = Maximaler Betriebsmittelvorrat für Fuel B in Kilogramm

SD = Maximaler Betriebsmittelvorrat für Sand in Kilogramm

CA-Typ 12: Faktor für Betriebsmittelverbrauch

12	FA	FB	SD
----	----	----	----

Der aktuelle Betriebsmittelvorrat wird abhängig von der Nutzung „verbraucht“, das heißt schrittweise verringert. In diesen CVs kann die Schrittweite für jedes Betriebsmittel definiert und damit der Verbrauch gesteuert werden.

FA = Schrittweite für Fuel A (Verringerung pro Intervall)

FB = Schrittweite für Fuel B (Verringerung pro Intervall)

SD = Schrittweite für Sand (Verringerung pro Anfahren aus dem Stillstand)

Bei Schrittweite 0 wird das Betriebsmittel nicht beachtet (kein Verbrauch, kein Notlauf).

CA-Typ 13: Betriebsmittel-Reserve

13	FA	FB	SD
----	----	----	----

Wenn der jeweilige Reserve-Vorrat (Schwellwert) unterschritten wird, geht der Dekoder in den Notlauf („Reserve-Stufe“).

FA = Betriebsmittel-Reserve für Fuel A

FB = Betriebsmittel-Reserve für Fuel B

SD = Betriebsmittel-Reserve für Sand

CA-Typ 14: Notlaufgeschwindigkeit

14	LS	SS
----	----	----

LS = Maximale Fahrstufe im Notlauf, wenn ein Betriebsmittelvorrat leer, also 0, ist („Leer-Stufe“)

SS = Maximale Fahrstufe im Notlauf, wenn ein Betriebsmittelvorrat den Reservestand unterschritten hat („Reserve-Stufe“)

Bei Unterschreiten der jeweiligen Schwelle wird maximal die hier definierte Fahrstufe verwendet, auch wenn über das Fahrkommando eine höhere Fahrstufe gewählt wird.

CA-Typ 15: Fahrdauer

15	DD	DD	DD	DD
----	----	----	----	----

D = Gesamtfahrdauer in Sekunden; also aufsummierte Zeit, in der die Lok fuhr

Die Gesamtfahrdauer wird auch im Standard-Modus erhoben. Bei einem Reset wird dieser Wert nicht zurückgesetzt. Der Wert kann nur gelesen werden.

CA-Typ 16: Wegstrecke

16	SS	SS	SS	SS
----	----	----	----	----

S = Gesamtfahrstrecke

Die Fahrstrecke wird aus der Motordrehzahl und der Getriebeuntersetzung berechnet. Bei entsprechender Einstellung der Getriebeuntersetzung ist eine Messung der Wegstrecke in mm möglich. Durch Schlupf und Messungenauigkeiten ist jedoch mit einem relativ hohen Fehler zu rechnen.

Die Gesamtfahrstrecke wird auch im Standard-Modus erhoben. Bei einem Reset wird dieser Wert nicht zurückgesetzt. Der Wert kann nur gelesen werden.

CA-Typ 17: Last

17	DD	DD
----	----	----

D = Maß für die aktuelle Last

Die zyklische Lastmessung arbeitet nur im mfx+®-Modus und nur, wenn Fuel A verwendet wird (Faktor Fuel A > 0). Der Wert wird vom Dekoder an Hand der Fahrdaten laufend neu berechnet.

Anmerkung: In einer früheren Version wurde der Wert als Maß für die maximale Drehzahl bezeichnet. Der Wert kann nur gelesen werden.

CA-Typ 18: Getriebeuntersetzung

18	UU	UU
----	----	----

U = Faktor für die Berechnung der Fahrstrecke aus der Motordrehzahl (siehe Wegstrecke)

Der Faktor kann als Getriebeuntersetzung angesehen werden. Als Maß für die Motordrehzahl wird die Gegen-EMK-Spannung verwendet, der Faktor dient zur weiteren Berechnung der Strecke. Aus dem Faktor kann daher nicht auf die tatsächlichen mechanischen Verhältnisse geschlossen werden.

CA-Typ 19: Intervall

19	IA	IB
----	----	----

Steuert, in welchen Intervallen (Wert 00 ... FF) die beiden Betriebsmittel Fuel A und Fuel B verringert werden. Zusammen mit dem Faktor lässt sich damit der Verbrauch definieren.

IA = Intervall für Fuel A

IB = Intervall für Fuel B

CA-Typ 1A: mfx+[®]-Modus

1A	MM
----	----

Modus im mfx+[®]-Betrieb; wird bei Anmeldung an einer mfx[®]-Zentrale automatisch gelöscht (= Standard-Modus eingestellt).

00 = Standard-Modus, kein Betriebsmittelverbrauch und kein Notlauf

01 = mfx+[®]-Modus

CA-Typ 1B: Führerstand

1B	FF	FF
----	----	----

FF = Nummer des Führerstands, der von der Central Station 2 angezeigt wird

Wenn die Zentrale die Führerstandsnummer nicht kennt, wird einer der drei Standard-Führerstände je nach Mobile-Station-Symbol ausgewählt.

6.4.11 Dekoder-Reset

Der Dekoder-Reset wird durch das Schreiben des Wertes 0xC6 in das CV 000/01 erzeugt. Normalerweise wird aus diesem Register jedoch Strukturinformation gelesen, der Wert kann daher nicht zurückgelesen werden.