

Beschreibung des mfx[®]-Schienenformats

Autor: Stefan Krauß

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

Version 1.0 vom 2009-02-01

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 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 ist eine eingetragene Marke 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	Konventionen.....	5
1.3	Abkürzungen.....	6
1.4	Schutzrechte.....	6
1.5	Verweise und Literatur.....	6
2	Signal und Kodierung.....	7
2.1	Übertragungsprinzip.....	7
2.2	Steuerkanal.....	8
2.2.1	Bitkodierung und Synchronisation.....	8
2.2.2	Stuffing.....	9
2.2.3	Aufbau der Datenframes.....	10
2.2.4	Checksumme.....	11
2.2.5	Prinzip der Rückmeldung.....	12
2.2.6	Rückmeldefenster 1-Bit-Rückmeldung.....	12
2.2.7	Rückmeldefenster Datenrückmeldung.....	13
2.2.8	Einbettung von Steuerbefehlen im MM-Format.....	14
2.3	Rückkanal.....	14
2.3.1	Modulation.....	14
2.3.2	Kodierung der 1-Bit-Rückmeldung.....	15
2.3.3	Kodierung bei Datenrückmeldung.....	15
2.3.4	Checksumme bei Datenrückmeldung.....	16
3	Kommandos.....	17
3.1	Kommandos.....	17
3.1.1	Kein Kommando (mfx® Verify).....	17
3.1.2	Kommando 000: Fahren (kurz).....	17
3.1.3	Kommando 001: Fahren.....	17
3.1.4	Kommando 010: Funktionen (kurz).....	18
3.1.5	Kommando 011: Funktionen (erweitert).....	18
3.1.6	Kommando 100: reserviert.....	18
3.1.7	Kommando 101: reserviert.....	18
3.1.8	Kommando 110: reserviert.....	18
3.1.9	Kommando 111: Konfiguration.....	18
3.2	Erweiterte Kommandos zur Konfiguration.....	18
3.2.1	Kommando 111 000: CV Lesen.....	18
3.2.2	Kommando 111 001: CV Schreiben	19
3.2.3	Kommando 111 010: Decoder-Suche.....	19
3.2.4	Kommando 111 011: Zuweisung Schienenadresse.....	19
3.2.5	Kommando 111 100: Existenzabfrage (Ping).....	19
3.2.6	Kommando 111 101: Zentrale.....	20
3.2.7	Kommando 111 110: reserviert.....	20
3.2.8	Kommando 111 111: reserviert.....	20

4	Protokoll.....	21
4.1	Ruhezustand.....	21
4.2	Einschalten: Decoder erhält Strom.....	22
4.3	Anmeldung.....	22
4.4	Abmelden.....	23
4.5	Reset der Zentrale.....	24
4.6	Fahren und Bedienen.....	24
4.7	Mehrfachtraktion.....	24
4.8	Notstopp.....	25
4.9	Konfigurieren.....	25
4.10	Protokollumschaltung.....	26
5	Decoder-Konfiguration.....	27
5.1	Adressierung.....	27
5.2	Struktur.....	27
5.3	Beschreibung der Konfigurationsvariablen.....	29
5.3.1	Block 01: Decoder-Eigenschaften.....	29
5.3.2	Block 02: Funktionen.....	32
5.3.3	Block 03: Automatische Funktionen.....	32
5.3.4	Block 04: Funktionszuordnung.....	33
5.3.5	Block 05: Fahreigenschaften.....	35
5.3.6	Block 06: Hardware-Funktionen.....	37
5.3.7	Block 07: Weitere Protokolle.....	38
5.3.8	Block 08: Sound-Einstellungen.....	40
5.3.9	Block 09: Sonderoptionen.....	41
5.3.10	Decoder-Reset.....	41

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 Decoder 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 allgemein 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 Modellbahnaltag sicher nicht notwendig ist, hilft es doch, bestimmte Vorgänge zu erklären und zu verstehen.

1.2 Konventionen

Viele 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 Kommando-kennzeichnungen). Diese Möglichkeiten werden von den Systementwicklern eventuell erst später definiert oder sind bereits definiert, aber noch nicht verwendet oder entdeckt 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.

1.3 Abkürzungen

CA	Configuration Array	Teilstruktur der Konfigurationsvariablen.	siehe 5.1
CV	Konfigurationsvariable (Configuration Variable)	Speicherstelle für Konfigurationseinstellungen in den Decodern.	siehe 5.1
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®-Decodern über das Schienensignal verwendete Adressen.	siehe 2.2.3
UID	Teilnehmererkennung (Unique Identifier)	Eindeutige 32-Bit-Seriennummer für Zentralen, Decoder und andere Digitalkomponenten wie Booster; wird von Märklin vergeben.	vgl. CS2-CAN-Protokoll-Beschreibung

1.4 Schutzrechte

Die beschriebenen Verfahren können Schutzrechten Dritter unterliegen, insbesondere Urheber- und Patentrechten. Bekannt ist die Patentanmeldung EP 1555054A1, die sich offensichtlich auf bestimmte Anwendungen des mfx®-Schienenformats bezieht, insbesondere die automatische Anmeldung.

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

1.5 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.

CAN_CS2_Protokoll_1-0.doc: Von Märklin® auf <http://www.maerklin.de> veröffentlichte Beschreibung des Kommunikationsprotokolls (CAN/Ethernet) der Märklin® Central Station 2.

Europäische Patentanmeldung EP 1 555 054 A1: Von ESU® eingereichte Patentanmeldung, die sich offensichtlich auch mit Aspekten von mfx® beschäftigt. Das Dokument ist über die Patentrecherche beim Deutschen Patent- und Markenamt zu erhalten (im Internet über <http://depatisnet.dpma.de/> zu erreichen).

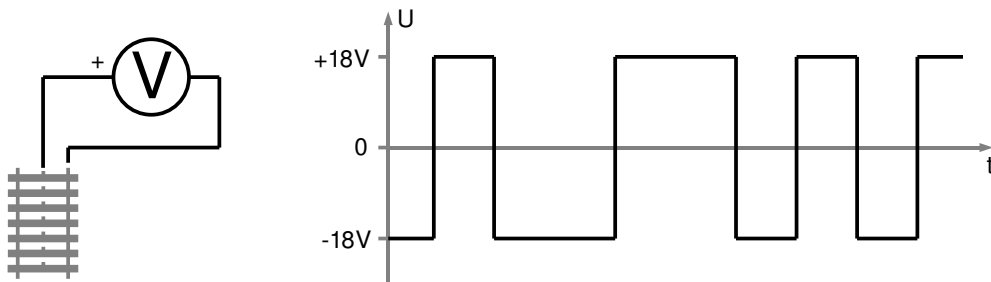
Prospekt „Let's talk about ... Märklin® systems“: Bei der Einführung von mfx® 2004 von ESU® herausgegebenes Informationsblatt, enthält einen Abschnitt mit technischen Details über mfx®.

2 Signal und Kodierung

2.1 Übertragungsprinzip

Das Schienensignal besteht aus einer Rechteck-Wechselspannung von etwa ± 18 V. In den Fahrzeugen und stationären Decodern wird nach Gleichrichtung daraus die Versorgungsspannung für die Decoder-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 Decoder regelt in diesem Fall gemäß der Bremskurve bis zum Stillstand und fährt unter Berücksichtigung der Anfahrkurve an, wenn wieder Informationen empfangen werden (sofern er diese Fähigkeit überhaupt bietet und diese auch eingeschaltet ist).

Die Märklin®-Bremsstrecke wird bei manchen Decodern 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 Decoder positives und negatives Potential nicht.

Das Schienensignal kennt auch einen Rückkanal, über den mfx®-Decoder 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 Decoder generiert. Dieser erzeugt kurze Stromimpulse durch einen Verbraucher, die als entsprechende Frequenzen an der Zentrale wieder ausgekoppelt werden können. Der Verbraucher im Decoder wird über ein Rechtecksignal stimuliert.

Die Spezifikation der zu erzeugenden Stromstärke ist nicht genau bekannt, aktuelle Decoder 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 nicht beliebig belastbar; sehr viele Rückmeldungen in kurzer Zeit können daher den Decoder beschädigen.

Zum Vergleich DCC: Hier ist ein Acknowledge-Impuls als Rückmeldung definiert, der ebenfalls mit solchen Stromimpulsen arbeitet, die aber üblicherweise durch den am Decoder 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

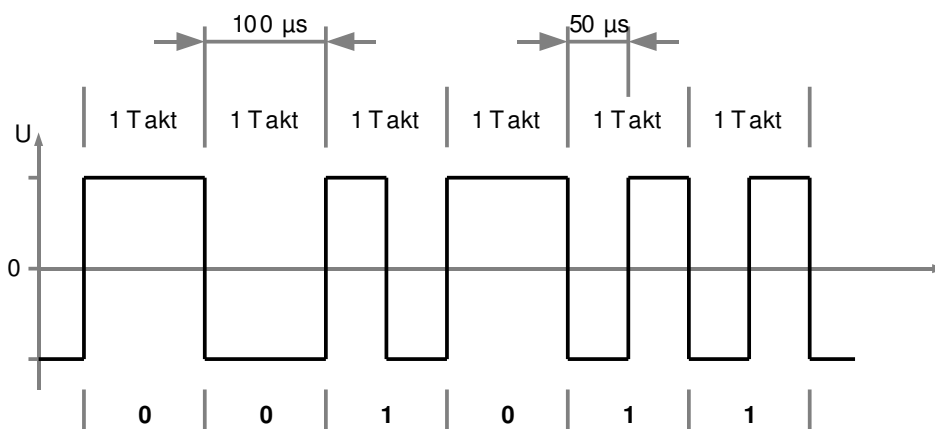
Als Steuerkanal wird die Übertragung von Information von der Zentrale zum Decoder über die Schiene bezeichnet.

2.2.1 Bitkodierung 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 Bitkodierung kann durch folgende Regeln beschrieben werden:

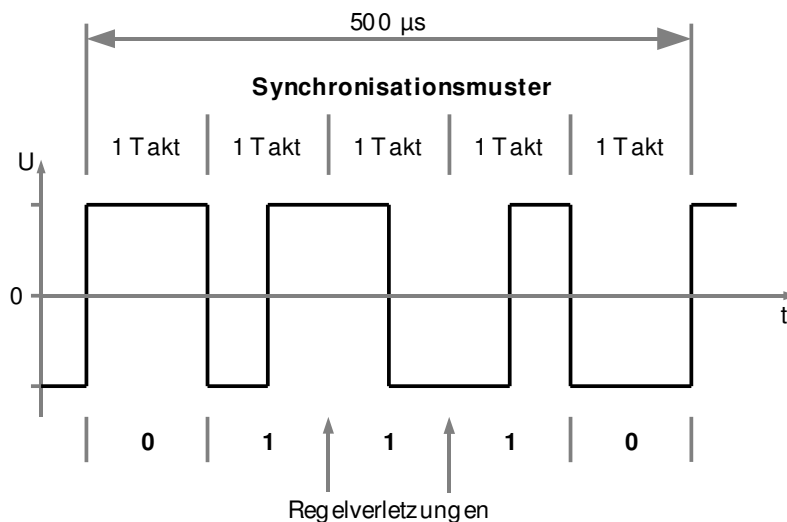
- Jede Taktgrenze wird durch einen Polaritätswechsel markiert.
- Eine Eins wird durch einen Polaritätswechsel in der Mitte der Taktzelle dargestellt.
- Eine Null wird durch eine Taktzelle ohne Polaritätswechsel dargestellt.



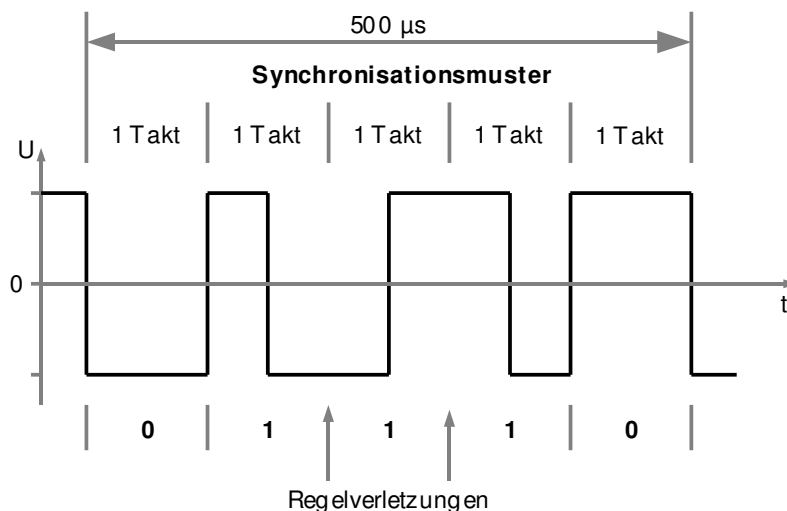
Zur Synchronisation der Übertragung und zur Kennzeichnung von Frame-Beginn und -Ende wird ein Synchronisationsmuster (für die Frames kann dieses als Präambel angesehen werden) verwendet, das gezielt die Kodierungsregeln verletzt. Das Synchronisationsmuster ist daher unabhängig von den gesendeten Daten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

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

len 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. Dies hat jedoch keine besondere Bedeutung.



2.2.2 Stuffing

Unter Stuffing versteht man das Einfügen von Bits in den Datenstrom, um bestimmte Bitmuster im normalen Datenstrom zu vermeiden, weil diese Bitmuster zum Beispiel zur Synchronisation verwendet werden. Die Synchronisation der Daten und Frames des mfx®-Schienensignals ist durch das spezielle Synchronisationsmuster von den übertragenen Daten unabhängig, bestimmte Bitfolgen 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-Decoder 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 aber 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.

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 Decoder wieder entfernt. Das Synchronisationsmuster wird nicht berücksichtigt, es wird also in keinem Fall ein Stuff-Bit im Synchronisationsmuster eingefügt. Wenn alle 8 Bits der Checksumme Eins sind, wird am Ende des Frames noch eine Stuff-Bit-Null angehängt. Dies verhindert, dass die Checksumme zusammen mit einem eventuell darauf folgenden Synchronisationsmuster 9 Eins-Bits ergibt.

2.2.3 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 Synchronisationsmuster 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 Decoder wird eine Schienenadresse verwendet, die sogenannte SID. Sie wird während der Anmeldung den Decodern dynamisch zugewiesen (mit 1 beginnend). Die Adresse ist 14 Bits lang (= 16383 Adressen + 0 als Broadcast-Adresse). Es werden aber nicht immer alle Adressbits 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	AAAAAAAA	9 Bit Adresse
1110	AAAAAAAAAA	11 Bit Adresse
1111	AAAAAAAAAAAA	14 Bit Adresse

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

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 Parameterbits 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 Unterkommandobits könnten als Parameter betrachtet werden.

2.2.4 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 Pseudocode zeigt zur Verdeutlichung beispielhaft eine Möglichkeit zur Prüfung der Checksumme:

```
BYTE crc = 0x7F
WHILE (exist (next_bit))
    crc << 1
    crc = crc + next_bit
    IF (crc_carry = 1)
        crc = crc XOR 0x07
    IF (crc != 0)
        failed
```

In dieser Algorithmus-Implementierung wird das Polynom durch 0x07 dargestellt, die 9. Bitstelle wird weggelassen; Anfangswert ist 127 = 0x7F.

2.2.5 Prinzip der Rückmeldung

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

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

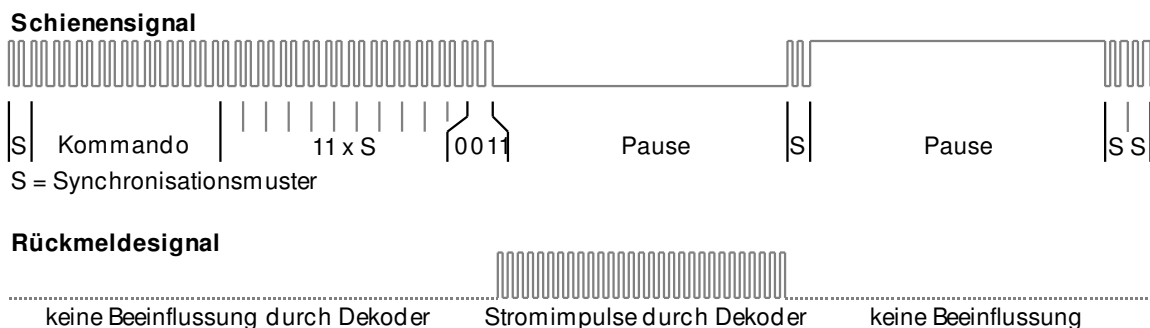
Es gibt zwei Arten von Rückmeldungen: eine einfache 1-Bit-Rückmeldung (in der Art einer Ja/Nein-Antwort) und die Datenrückmeldung, bei der einige Bytes übermittelt werden können. Welche Rückmeldung erwartet wird, ist fest vom Kommando abhängig. Das Rückmeldefenster unterscheidet sich leicht zwischen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

Das Verhalten des Steuerkanals, also des Signals von der Zentrale zum Decoder, für die 1-Bit-Rückmeldung wird im folgenden Abschnitt 2.2.6 beschrieben, für die Datenrückmeldung in 2.2.7. Der Rückkanal, also das Signal vom Decoder zur Zentrale, ist Gegenstand des Unterkapitels 2.3.

2.2.6 Rückmeldefenster 1-Bit-Rückmeldung

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

- 11 Synchronisationsmuster
- Bitfolge 0011
- Pause mit negativem/positivem (hängt davon ab, von welchem Potential die Synchronisationsmuster gestartet sind) Potential von 6,4 ms
- 1 Synchronisationsmuster
- Pause mit inversem Potential von 6,4 ms
- 2 Synchronisationsmuster als Abschluss; das letzte Synchronisationsmuster bildet gegebenenfalls den Start eines neuen Frames



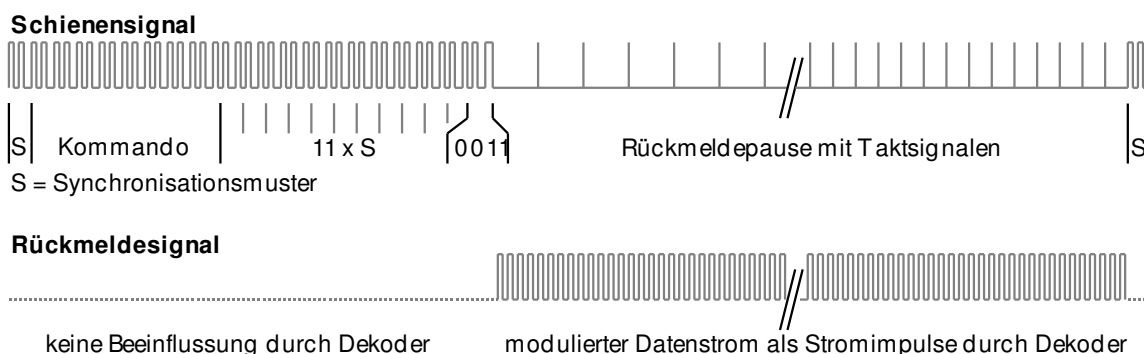
Bei der einfachen Rückmeldung gibt es keine Synchronisation mit dem RDS®-Takt wie bei der Datenrückmeldung. Die Rückmeldung durch Anlegen des RDS®-Trägersignals (Erzeugen von Stromimpulsen durch den Decoder, siehe 2.3) wird während der ersten Pause erzeugt.

In der zweiten Pause erzeugt der Decoder 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 ist enthält dann keinen Gleichspannungsanteil, ist also DC-frei. Für die Datenrückmeldung gilt dies jedoch nicht.

2.2.7 Rückmeldefenster Datenrückmeldung

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

- 11 Synchronisationsmuster
- Bitfolge 0011
- 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 Decoder 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 µs langen Impuls (positiv oder negativ, je nach Potential des Pausensignals) angezeigt.

Zunächst sendet die Zentrale Impulse im Abstand von 912 µs. Der Decoder 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 Decoder-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-µs-Impuls. Für eine Null müsste der Decoder an dieser Stelle einen weiteren Phasenwechsel einfügen (siehe 2.3). Die Impulse von der Zentrale kommen nun also im Abstand von 456 µs.

Die Anzahl ist von der Anzahl der erwarteten Daten abhängig (3 für Startmuster 010 + Anzahl der Datenbits + 8 für Checksumme + 4 überzählige am Ende). Bei der Übertragung von einem Datenbyte sind es also 23 Takte (= 46 Impulse im Abstand von 456 µs), bei 2 Datenbytes 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 Decoder sendet keine Rückmeldesignale mehr und schaltet das Trägersignal ab.

2.2.8 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 Doppelbits (= 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 Decoder zur Zentrale über die Schiene bezeichnet.

2.3.1 Modulation

Grundsätzlich ist der Rückkanal wie ein RDS®-Signal kodiert (Bitkodierung und Modulation). Somit ist es möglich, für die Dekodierung des Rückkanals in der Zentrale einen handelsüblichen RDS®-Decoder-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 2.2.5 beschrieben gibt es zwei Arten von Rückmeldungen: eine einfache 1-Bit-Rückmeldung und die Datenrückmeldung. Beide nutzen zwar den RDS®-Decoder-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 Decoders gibt. Gibt der Decoder 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 Decodern gleichzeitig gesendet werden, die Antworten sind ODER-verknüpft. Die Rückmeldung wird also als existent erkannt, wenn mindestens ein Decoder eine Rückmeldung sendet.

Als Rückmeldung legt der Decoder 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®-Decoder-Chip das Vorhandensein eines Trägersignals unabhängig von übertragenen Daten meldet.

2.3.3 Kodierung bei Datenrückmeldung

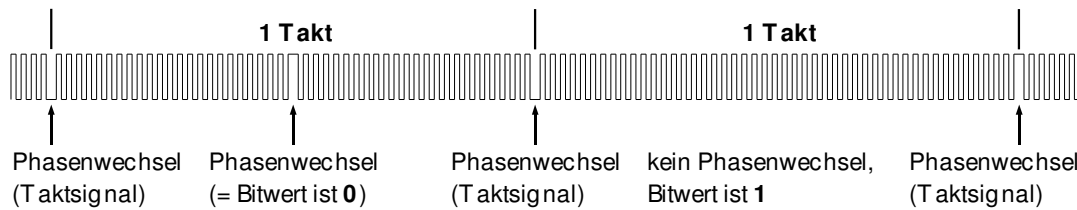
Bei der Datenrückmeldung wird ein Strom von Datenbits gesendet, welche die Zentrale interpretiert. Dabei werden 1, 2, 4 oder 8 Daten-Bytes sowie ein Checksummen-Byte übertragen. In Versuchen konnten nur 1, 2 und 4 Bytes übertragen werden. Angaben in der CAN-Dokumentation zur Märklin Central Station 2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

Die Rückmeldung darf nur von einem Decoder, 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 Datenbytes. Dann folgen 1 bis 8 Datenbytes ohne weitere Trennzeichen. Am Ende folgt immer eine 8-Bit-Checksumme. Bit-Stuffing oder Ähnliches erfolgt nicht.

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 Daten-Bytes der Rückmeldung gebildet.

Der folgende Algorithmus kann verwendet werden, um zu prüfen, ob die zurückgemeldeten Daten korrekt waren. Die Checksumme wird dabei byteweise geprüft (für DatenByteAnzahl = 1, 2, 4 oder 8):

```
WORD tmp = 0x00FF;
FOR i=1..DatenByteAnzahl DO
    tmp = tmp XOR (tmp << 1) XOR (tmp << 2)
    tmp = Nutzbytes[i]
    IF ((tmp AND 0x0100) > 0)
        tmp = tmp XOR 0x0107
    IF ((tmp AND 0x0200) > 0)
        tmp = tmp XOR 0x020E
tmp = tmp XOR Checksumme
IF (tmp != 0)
    failed
```

Die tatsächliche Implementierung kann hiervon natürlich abweichen, der Pseudocode zeigt nur den Algorithmus.

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

```
IF ((Nutzbyte XOR Checksumme) != 0xF3)
    failed
```


3 Kommandos

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

Bei allen Kommandos werden hier nur die Datenbits 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 (mfx® Verify)

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

Dieses Kommando wurde bisher noch bei keiner Zentrale beobachtet, sondern experimentell ermittelt.

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 alle 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 FFFFFFFFFFFFFFFFFF

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

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

FFFFFFFFFFFFFFFF = F15 – F0

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

3.1.6 Kommando 100: reserviert

3.1.7 Kommando 101: reserviert

3.1.8 Kommando 110: reserviert

3.1.9 Kommando 111: Konfiguration

111 CCC

Die Konfiguration des Decoders (Lesen und Schreiben) wird über das erweiterte Kommando 111 durchgeführt. Die Aktion wird dabei durch ein Unterkommando CCC festgelegt, das dann auch die Parameter bestimmt. Dieses Kommando mit den Unterkommandos wird im folgenden Unterkapitel genauer beschrieben.

3.2 Erweiterte Kommandos zur Konfiguration

3.2.1 Kommando 111 000: CV Lesen

111 000 VVVVVVVVVVIIIIII CC

+ Datenrückmeldung 1 – 8 Byte

Die Konfigurationsvariable (CV, Bedeutung und Struktur siehe Kapitel 5) mit der CV-Nummer V und dem Index I und die direkt darauf folgenden Konfigurationsvariablen (Index wird jeweils

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.
- Decoder-Suche: Gibt Decodern die Möglichkeit, sich anzumelden.
- Decoder-Abfrage für jeden angemeldeten mfx®-Decoder: Durch die entsprechende Rückmeldung weiß die Zentrale, welche angemeldeten Decoder rückmeldefähig ansprechbar sind.
- Fahr- und Schaltbefehle für jeden angemeldeten mfx®-Decoder: Damit wird der Zustand der Decoder aufgefrischt.
- Falls auch MM-Decoder 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-Decoder 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.
- Decoder-Suche und Decoder-Abfrage wechseln sich ab, dabei wird die Decoder-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 Decoder-Zustände werden häufiger übermittelt, der Abstand zwischen zwei Kommandos für denselben Decoder liegt bei etwa 50 – 80 ms. Decoder-Zustände für mfx®- und MM-Decoder 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: Decoder erhält Strom

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

- Je nach Einstellung der Sonderoptionen im Decoder 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 Decoder und Zentrale sich bereits korrekt kennen, nimmt der Decoder weitere Befehle entgegen und beantwortet auch die Decoder-Anfrage (Ping) der Zentrale wieder, vorher ignoriert er diese.
- Der Decoder 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 Decoder-Anfrage erkannt, so meldet sich der Decoder erneut bei der Zentrale an.

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

4.3 Anmeldung

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

- Der Decoder 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 Decoder keine Zentralen-UID gespeichert.
- Es wird eine 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 Decoder die Daten empfängt (Decoder 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 Decoder-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 Neuanmeldung zu veranlassen, falls sich die Lok gerade auf dem Gleis befindet (in diesem Fall hätte sie die Erhöhung des Neuanmeldezählers ja erkannt und ohne Neuanmeldung abgespeichert). Die Zentrale sendet dazu nach dem Löschen an die freigewordene SID eine Decoder-Abfrage mit UID 0.

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

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

Dieser Vorgang funktioniert wie folgt: Zunächst werden mit C=1, U=000... alle Decoder 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 Decoder anzumelden, so wird auf diese Weise nur der Decoder mit der kleinsten ID gefunden. Der nicht erkannte Decoder meldet sich bei der nächsten Abfrage an.

Nachdem die Decoder-UID ermittelt wurde, weist die Zentrale dem Decoder mit dem Kommando „Zuweisung Schienenadresse“ eine 14-Bit-Schienenadresse (SID) zu. Damit geht der Decoder 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 werden noch keine Decoder-Abfragen gesendet, da durch die Leseoperationen ja sowieso eine Rückmeldung erfolgt.

Die Zentrale beginnt, die eigentlichen Fahrinformationen und die Decoder-Zustände zu senden, sobald sie genügend Informationen über den Decoder 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 wird nicht nur regelmäßig der Decoder-Zustand gesendet, sondern auch die Decoder-Abfrage.

Bei ansonsten unbenutztem System vergehen zwischen zwei CV-Lesevorgängen (1 Byte lesen) ungefähr 120 ms. Der Anmeldevorgang dauert demnach je nach Decoder und Zentrale ganz grob 30 bis 180 Sekunden.

Hinweis: Dieser Vorgang kann auch anders gestaltet werden. Neuere Zentralen wie die Märklin® Central Station 2 gehen etwas anders vor, um den Anmeldevorgang möglichst kurz zu halten.

4.4 Abmelden

Eine einmal automatisch angemeldete Lok bleibt in der Zentrale gespeichert (und wird angesprochen) bis sie manuell in der Zentrale gelöscht wird. Bei jedem Löschvorgang 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®-Decoder 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 aber sofort nicht mehr angesprochen fühlt und ggf. wieder anmeldet, falls sie noch auf dem Gleis steht, sendet die Zentrale unmittelbar vor der Erhöhung des Neuanmeldezähler an die gelöschte Lok eine Decoder-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 Decoder aktiv detektiert werden. Alle mfx®-Decoder 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 Decoder 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 Decoder-Zustands gewartet. Bei der nächsten Übermittlung des kompletten Decoder-Zustands wird die Änderung aber natürlich berücksichtigt.

Decoder-Zustand und Fahrbefehle werden auch dann an einen angemeldeten mfx®-Decoder geschickt, wenn keine Rückmeldung auf die ebenfalls zyklisch geschickten Decoder-Anfragen empfangen wird (siehe Ruhezustand). Die Zentrale kann in diesem Fall nicht unterscheiden, ob die Lok in einem von einem nicht rückmeldefähigen Booster betriebenen Abschnitt steht oder sich tatsächlich nicht auf dem Gleis befindet.

Es gilt deshalb: ein mfx®-Decoder meldet sich zwar automatisch bei der Zentrale an, abmelden (= aus dem Refresh-Zyklus der Zentrale entfernen) muss man ihn aber manuell.

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

4.9 Konfigurieren

Die Konfiguration der Decoder geschieht im Betrieb. Dazu werden Konfigurationsvariablen (CV, siehe Kapitel 5) im Decoder 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 Zentralen lassen deshalb auch nicht das Programmieren beliebiger CVs zu, sondern ermöglichen nur die Änderung von Eigenschaften, welche die Zentrale in der CV-Struktur des betreffenden Decoders ermittelt hat.

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

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 Decoders, sondern nur den Beginn der Konfigurationsblöcke (Struktur siehe nächstes Kapitel). 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 immer nur 1 Byte, von den Mehrbyte-Befehlen wird kein Gebrauch gemacht.

4.10 Protokollumschaltung

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

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

Der Decoder 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 Bus mehrere Protokolle erkannt, so wählt der Decoder das verwendete Protokoll nach Prioritäten aus: mfx® hat die höchste Priorität, MM die zweithöchste.

Nach etwa 3 Sekunden Fahrt mit mfx® schaltet der Decoder nicht mehr auf MM um, auch wenn er keinen gültigen mfx®-Frame mehr erkennt. Nach einer kurzen Spannungsunterbrechung (~ 50 ms reichen aus) wird aber wieder neu entschieden, welches Protokoll verwendet wird.

Der Decoder hört nie gleichzeitig auf mehrere Protokolle, auch wenn logisch gesehen Datenpakete aus verschiedenen Protokollen an ihn gerichtet werden.

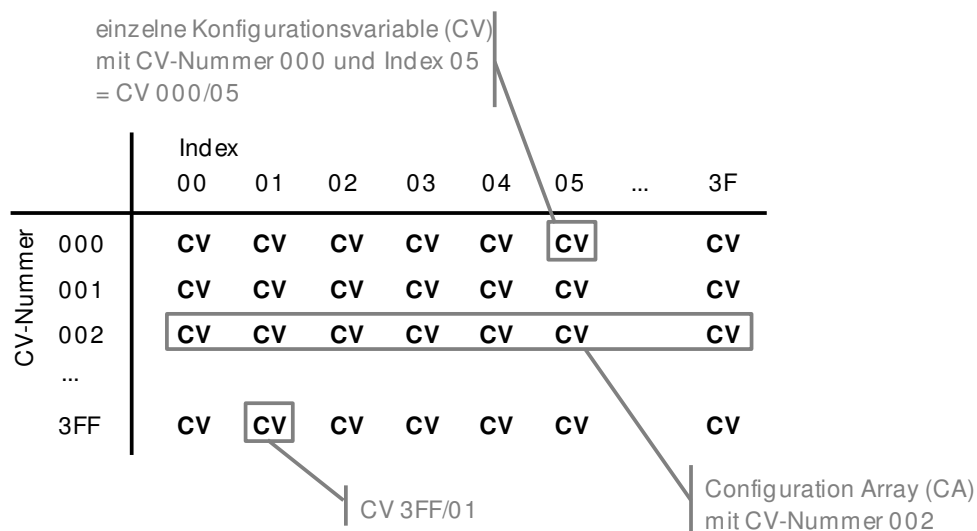
5 Decoder-Konfiguration

5.1 Adressierung

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

VVVVVVVVVVIIIIII

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.

5.2 Struktur

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. Da die Meta-Information eindeutig ist, sollte im Betrieb nie eine nicht belegte bzw. nicht vorhandene CV gelesen werden. Der Decoder gäbe in diesem Fall aber einfach 00 zurück.

Die CVs eines Decoders 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. Die Zentrale beginnt immer mit dem Lesen von CVs in diesem CA beim Auslesen eines Decoders.

- 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 kann daher die gleiche Nummer im ersten CV etwas Unterschiedliches bedeuten.

Die CV bei Index 00 ist immer nur lesbar.

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

01 BB BB 00 GG LL

01 ist der CA-Typ, siehe oben.

BB BB steht für den Blocktyp:

01 01 = Decoder-Grundeinstellung

02 01 = Funktionalität

03 01 = automatische Funktionen

04 01 = Function Mapping

05 01 = Fahreigenschaften

06 01 = Konfiguration der Decoder-Ausgänge

07 01 = weitere Protokolle (Analog, MM)

08 01 = Sound-Einstellungen

09 01 = Sonderoptionen

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

GG = Anzahl der Gruppen

LL = Anzahl CAs pro Gruppe

Alle CVs dieses ersten CA eines Blocks sind immer nur lesbar.

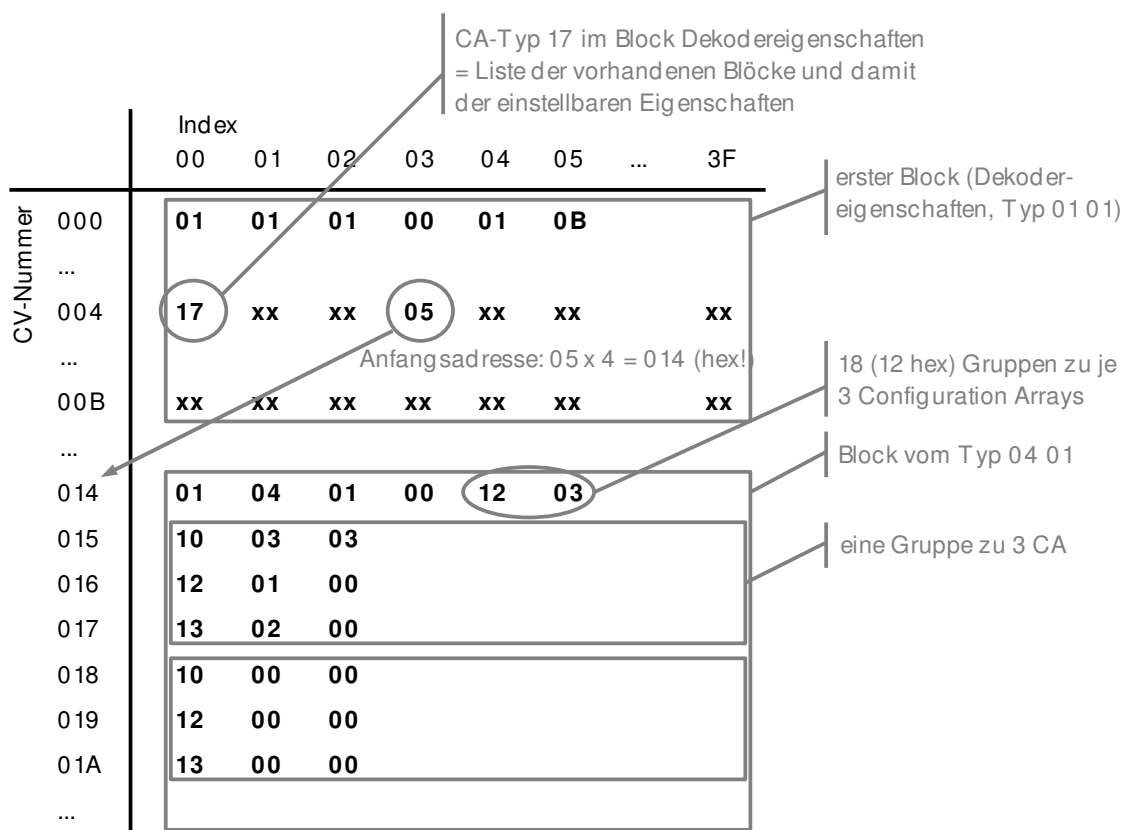
- Innerhalb eines Blocks kann die Reihenfolge der CAs (oder Gruppen von mehreren CAs) eine Bedeutung haben.

Beispiel: In der Konfiguration der Decoder-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 Aus-

gang (AUX 4). Hier entscheidet also rein die Reihenfolge, es gibt nicht noch eine zusätzliche CV, die besagt, um welchen Ausgang es sich handelt.

- 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.

Das folgende Beispiel verdeutlicht die Struktur der CVs.



Die folgenden Unterkapitel listen die Bedeutung der bekannten Konfigurationsvariablen auf. Alle Zahlenangaben sind hexadezimal, wenn nicht explizit anders angegeben.

5.3 Beschreibung der Konfigurationsvariablen

5.3.1 Block 01: Decoder-Eigenschaften

CA-Typ 10: 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® (auch von Märklin® verwendet)

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

PP = Produktkennung (ESU®-Terminologie: proID)

02 00 00 0E = mfx®-Decoder 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

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

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

Diese Versionsnummer wird üblicherweise in dieser Dreiteilung dargestellt.

DD = Produktionsdatum (ESU®-Terminologie: pDate)

Das Datum ist in Sekunden seit dem 1.1.2000 angegeben.

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

Alle Bytes können nur gelesen werden.

CA-Typ 12: Firmware-Version, Teil B

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

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

Diese Versionsnummer wird üblicherweise in dieser Dreiteilung dargestellt.

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

Das Datum ist in Sekunden seit dem 1.1.2000 angegeben.

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

Alle Bytes können nur gelesen werden.

CA-Typ 13: Firmware-Version, Teil A

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

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

Diese Versionsnummer wird üblicherweise in dieser Dreiteilung dargestellt.

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

Das Datum ist in Sekunden seit dem 1.1.2000 angegeben.

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

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

Alle Bytes können nur gelesen werden.

CA-Typ 14: unbekannt

14	??	??	??	??	??
----	----	----	----	----	----

Mindestens 5 Bytes, Bedeutung unbekannt.

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 Decoder, 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-Symbol

16	SS	SS	YY	YY	HH	XX	XX	XX
----	----	----	----	----	----	----	----	----

Das Lok-Symbol wird durch alle 8 Bytes bestimmt, wobei dies offensichtlich in ein "Grundsymbol" (zum Beispiel für die Märklin® Mobile Station 1) und ein "Detailsymbol" zerfällt. Für das Grundsymbol werden nur die ersten beiden Bytes ausgelesen.

SS SS = Grundsymbol

01 09 = E-Lok

01 0A = Diesellok

01 0B = Dampflokom

HH = Herstellerkennung (für das Lok-Symbol o.ä.)

97 = ESU®

83 = Trix® (auch Märklin®)

Bisher: Wird nur ein Grundsymbol abgelegt, so wird die Herstellerkennung von ESU® abgelegt, ist auch ein Detailsymbol vorhanden, so wird die von Märklin® verwendet.

YY ist bisher 00, wird aber beschrieben, wenn die Märklin® Central Station 1 ein Detailsymbol ablegt; XX enthält Werte ungleich 00.

Möglicherweise ist folgende Aufteilung intendiert: es werden zwei 4-Byte-Lok-Symbole abgelegt; das erste Byte zeigt an, für welche Zentrale (01 = einfache Zentrale, 83 = Zentrale vom Hersteller Märklin®, usw.) das Symbol gedacht ist. Einfache Zentralen nutzen dabei nur ein weiteres Byte. Achtung: dies ist eine Vermutung!

CA-Typ 17: Block-Tabelle

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

Null-terminierte Liste der verfügbaren Blöcke.

FF = Index des Blockanfangs ($FF \times 4 = \text{CV-Nummer des ersten CA des entsprechenden Blocks}$)

CA-Typ 18: Lok-Name

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

Null-terminierte Zeichenkette mit Lok-Name. Beschrieben werden können maximal 16 Zeichen, das 17. und alle weiteren können nicht geschrieben werden und geben immer 0 zurück. Lok-Namen können also maximal 16 Zeichen lang sein.

CC = ASCII-Zeichen des Lok-Namens (ISO 8859-1)

CA-Typ 19: unbekannt

Es können 8 Bytes abgelegt und wieder gelesen werden. Diese Daten haben keine beobachtbaren Auswirkungen auf den Decoder, evtl. kann hier lediglich die Zentrale Informationen ablegen (wie z.B. der Lok-Name, der bei Typ 16 so abgelegt ist). Bisher unbenutzt, alle Bytes enthalten 0.

CA-Typ 1A: unbekannt

unbenutzt oder bisher nur mit 00 als Nutzdaten gemessen

Es scheint sich um ein 32-Bit-Indexregister + ein 32-Bit-Datenregister zu handeln und für den Update von Firmware oder Sound zuständig zu sein. Wahre Bedeutung und Funktion sind unbekannt.

5.3.2 Block 02: Funktionen

CA-Typ 10: Fahrfunktion

10	XX
----	----

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

CA-Typ 11: Schaltfunktion

11	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.

5.3.3 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.

5.3.4 Block 04: Funktionszuordnung

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

CA-Typ 10: Funktionssymbol

10	M 0 0 0 GGG	SS	00
----	-------------	----	----

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

GG = Funktionsgruppe

00 = keiner Funktionsgruppe zugeordnet

02 = undefiniert

03 = Licht

04 = Innenbeleuchtung

05 = Außenbeleuchtung

06 = Mechanische Funktionen

07 = Sound

08 = Hintergrund-Sound

09 = Sprachausgabe

0A = Rangiergang

0B = Direktsteuerung (ABV aus)

SS = Funktionssymbol

00 = keine Funktion (kein Symbol)

02 = undefiniert (Fragezeichen)

03 = Fahrtlicht (Lichtsymbol)

04 = Innenbeleuchtung

05 = Außenbeleuchtung

06 = Mechanische Funktion (allgemeines Funktionssymbol)

07 = Sound (Sound-Symbol)

08 = Hintergrund-Sound (Lautsprechersymbol)

09 = Sprachausgabe (Sprechblasensymbol)

0A = Rangiergang (Schildkrötensymbol)

0B = Direktsteuerung (Beschleunigungssymbol)

1F = Benutzerdefinierte Funktion (Gruppe 2)

20 = Telex-Kupplung (Gruppe 6)

- 21 = Rauchgenerator (Gruppe 6)
- 22 = Pantograph (Gruppe 6)
- 23 = Fernlicht (Gruppe 3)
- 24 = Glocke (Gruppe 7)
- 25 = Horn (Gruppe 7)
- 26 = Pfeife (Gruppe 7)

Bei Momentanfunktionen schaltet die Zentrale die Funktion nur solange ein, wie die entsprechende Taste gedrückt gehalten wird.

Durch die Funktionsgruppe lässt sich auch mit einem geringeren Umfang an Symbolen arbeiten. Die Märklin® Central Station 1 nutzt dies jedoch nicht und programmiert die Gruppe mit 0.

Das Byte bei Index 03 ist immer 00, ebenso bei Index 04. Index 03 wird immer mit gelesen und geschrieben. Das Byte bei Index 04 wird jedoch von der Märklin® Central Station 1 gesetzt, nicht jedoch bei der Anmeldung ausgelesen. Bedeutung beider Bytes ist unbekannt.

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 auf den aktuellen ESU®/Märklin® mfx®- und mfx®-Sound-Decoder. Grundsätzlich findet aber lediglich 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.

- RD = Rangiergang
- DS = Direktsteuerung (Beschleunigungskurve & Bremskurve aus)
- A4 ... A1 = Ausgang AUX 4 bis 1
- LH = Ausgang Licht hinten
- LV = Ausgang Licht vorne
- Sxx = Sound-Slot Nr. xx
- SE = Sound einschalten
- AS = Alternativen Sound einschalten
- BA = Bremsgeräusch ausschalten

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.

5.3.5 Block 05: Fahreigenschaften

CA-Typ 10: unbekannt

10	??
----	----

Eventuell mit weiteren, bisher nur als 00 gemessenen Datenbytes.

CA-Typ 11: unbekannt

11	??
----	----

Eventuell mit weiteren, bisher nur als 00 gemessenen Datenbytes.

CA-Typ 12: Motorsteuerung

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

FF FF = PWM-Frequenz der Motoransteuerung

06 1A = 15 kHz

0C 35 = 30 kHz

Definiert sind nur die angegebenen Werte. Es liegt allerdings der Schluss nahe, dass hier die PWM-Frequenz in 10-Hz-Schritten angegeben wird.

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)

KK = Regelparameter K

II = Regelparameter I

CA-Typ 16: Märklin®-Bremsstrecke

16	0000000B
----	----------

B = Märklin®-Bremsstrecke aktivieren

CA-Typ 17: Geschwindigkeitskennlinie

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

MM = Anfahrgeschwindigkeit 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: unbekannt

Es können 2 Bytes abgelegt und wieder gelesen werden. Diese Daten haben keine beobachtbaren Auswirkungen auf den Decoder, evtl. kann hier lediglich die Zentrale Informationen ablegen (wie z.B. der Lok-Name, der in Block 01, Typ 16 so abgelegt ist). Bisher unbenutzt, alle Bytes enthalten 0.

CA-Typ 19: Reverse-Betrieb

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

R = Reverse-Betrieb aktivieren (alle Richtungsangaben tauschen)

5.3.6 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 = Dimmer
- 02 = Blinklicht (Phase 1)
- 03 = Blinklicht (Phase 2)
- 04 = Lichteffekt Strobe
- 05 = Lichteffekt Double Strobe
- 06 = Zufalls-Lichteffekt
- 07 = Rauchgenerator
- 08 = Licht auf- und abblenden
- 09 = Lichteffekt Marslight
- 0A = Lichteffekt Gyrolight

DD = Dimmung (0-255)

FF = Blinkfrequenz (FF x 0,05 Sek.)

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

CA-Typ 11: Konfiguration der internen Funktionen

11	TT	??
----	----	----

TT = Typ der internen Funktion

- 01 = Direktsteuerung (ABV abschalten)
- 02 = Rangiergang
- 03 = Bremsgeräusch
- 04 = Alternativer Sound

Es folgt mindestens ein Konfigurationsbyte, die Bedeutung ist unbekannt.

Alle CVs dieses CA sind nur lesbar!

CA-Typ 12: Konfiguration der Sound-Funktionen

12	AA	??
----	----	----

Konfiguration der Sound-Funktionen, die Reihenfolge bestimmt die Nummer des Sound-Slots (der erste Eintrag mit AA = 02 beschreibt den Sound-Slots Nummer 0).

AA = Art des Sounds

01 = Betriebsgeräusch

02 = Sound-Slot

Es folgt mindestens ein Konfigurationsbyte, die Bedeutung ist unbekannt.

Alle CVs dieses CA sind nur lesbar!

5.3.7 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 = MM

02 = Analog DC

03 = Analog AC

CA-Typ 11: Protokoll aktivieren

11	AA
----	----

AA = Protokoll erlaubt (01) oder nicht unterstützt (00)

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: MM-Adressen

13	M1	M2
----	----	----

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

M2 = zusätzliche, zweite MM-Adresse (für die Funktionen F5 bis F8)

Kodierung nach der Signalform des MM-Schienensignals:

0 = bedeutet kurzer Impuls (1/8 der Bitlänge High, 7/8 Low)

1 = langer Impuls (7/8 der Bitlänge 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 Decodern an, dass der Decoder analog betrieben wird). Inzwischen sind alle Bitmuster definiert, so dass 255 Adressen zur Verfügung stehen (0 wird weiterhin nicht verwendet). Es ergeben sich folgende Werte:

Adr. 0 – 9:	AA, C0, 80, 30, F0, B0, 20, E0, A0, 0C
Adr. 10 – 19:	CC, 8C, 3C, FC, BC, 2C, EC, AC, 08, C8
Adr. 20 – 29:	88, 38, F8, B8, 28, E8, A8, 03, C3, 83
Adr. 30 – 39:	33, F3, B3, 23, E3, A3, 0F, CF, 8F, 3F
Adr. 40 – 49:	FF, BF, 2F, EF, AF, 0B, CB, 8B, 3B, FB
Adr. 50 – 59:	BB, 2B, EB, AB, 02, C2, 82, 32, F2, B2
Adr. 60 – 69:	22, E2, A2, 0E, CE, 8E, 3E, FE, BE, 2E
Adr. 70 – 79:	EE, AE, 0A, CA, 8A, 3A, FA, BA, 2A, EA
Adr. 80 – 89:	00, 40, 60, 97, 70, 48, 68, 58, 78, 44
Adr. 90 – 99:	64, 54, 74, 4C, 6C, 5C, 7C, 42, 62, 52
Adr. 100 – 109:	72, 4A, 6A, 5A, 7A, 46, 66, 56, 76, 4E
Adr. 110 – 119:	6E, 5E, 7E, 41, 61, 51, 71, 49, 69, 59
Adr. 120 – 129:	79, 45, 65, 9F, 75, 4D, 6D, 5D, 7D, 43
Adr. 130 – 139:	63, 53, 73, 4B, 6B, 5B, 7B, 47, 67, 57
Adr. 140 – 149:	77, 4F, 6F, 5F, 7F, 10, 18, 14, 1C, 12
Adr. 150 – 159:	1A, 16, 1E, 11, 19, 15, 1D, 13, 1B, 17
Adr. 160 – 169:	1F, D0, D8, D4, DC, D2, DA, D6, DE, D1
Adr. 170 – 179:	D9, D5, DD, D3, DB, D7, DF, 90, 98, 94
Adr. 180 – 189:	9C, 92, 9A, 96, 9E, 91, 99, 95, 9D, 93
Adr. 190 – 199:	9B, 50, 55, 04, 06, 05, 07, C4, C6, C5
Adr. 200 – 209:	C7, 84, 86, 85, 87, 34, 36, 35, 37, F4
Adr. 210 – 219:	F6, F5, F7, B4, B6, B5, B7, 24, 26, 25
Adr. 220 – 229:	27, E4, E6, E5, E7, A4, A6, A5, A7, 01
Adr. 230 – 239:	C1, 81, 31, F1, B1, 21, E1, A1, 0D, CD
Adr. 240 – 249:	8D, 3D, FD, BD, 2D, ED, AD, 09, C9, 89
Adr. 250 – 255:	39, F9, B9, 29, E9, A9

Die Bitmuster sind wie folgt zu interpretieren: das höchste Bit gibt das erste gesendete Bit an, eine 1 steht an dieser Stelle für ein langes High (= +18V).

CA-Typ 14: Spannungsbereich im Analog-Modus

14	MM	M2
----	----	----

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

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

5.3.8 Block 08: Sound-Einstellungen

CA-Typ 10: Lautstärke

10	LL
----	----

LL = Lautstärke (0-255)

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

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

TT TT = Geräushtyp, die Bitfelder 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)

CA-Typ 12: Geräushtyp (Dampflokomotive)

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

TT TT = Geräushtyp, die Bitfelder 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 2 (Steilheit; 1-127)

00000000 0TTTTTTT = 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)

5.3.9 Block 09: Sonderoptionen**CA-Typ 10: Verschiedenes**

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

R = Nach dem Reset (Spannungsverlust) wieder mit Anfahrbeschleunigung anfahren (1)

S = Aktuelle Soll-Geschwindigkeit speichern (1)

Z = Zustand der Funktionstasten speichern (1)

CA-Typ 11: Fahrtrichtung speichern

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

F = Fahrtrichtung speichern (1)

5.3.10 Decoder-Reset

Der Decoder-Reset wird durch das Schreiben des Wertes 0xC6 in das CV 000/01 erzeugt. Normalerweise wird aus diesem Register jedoch Strukturinformation gelesen.