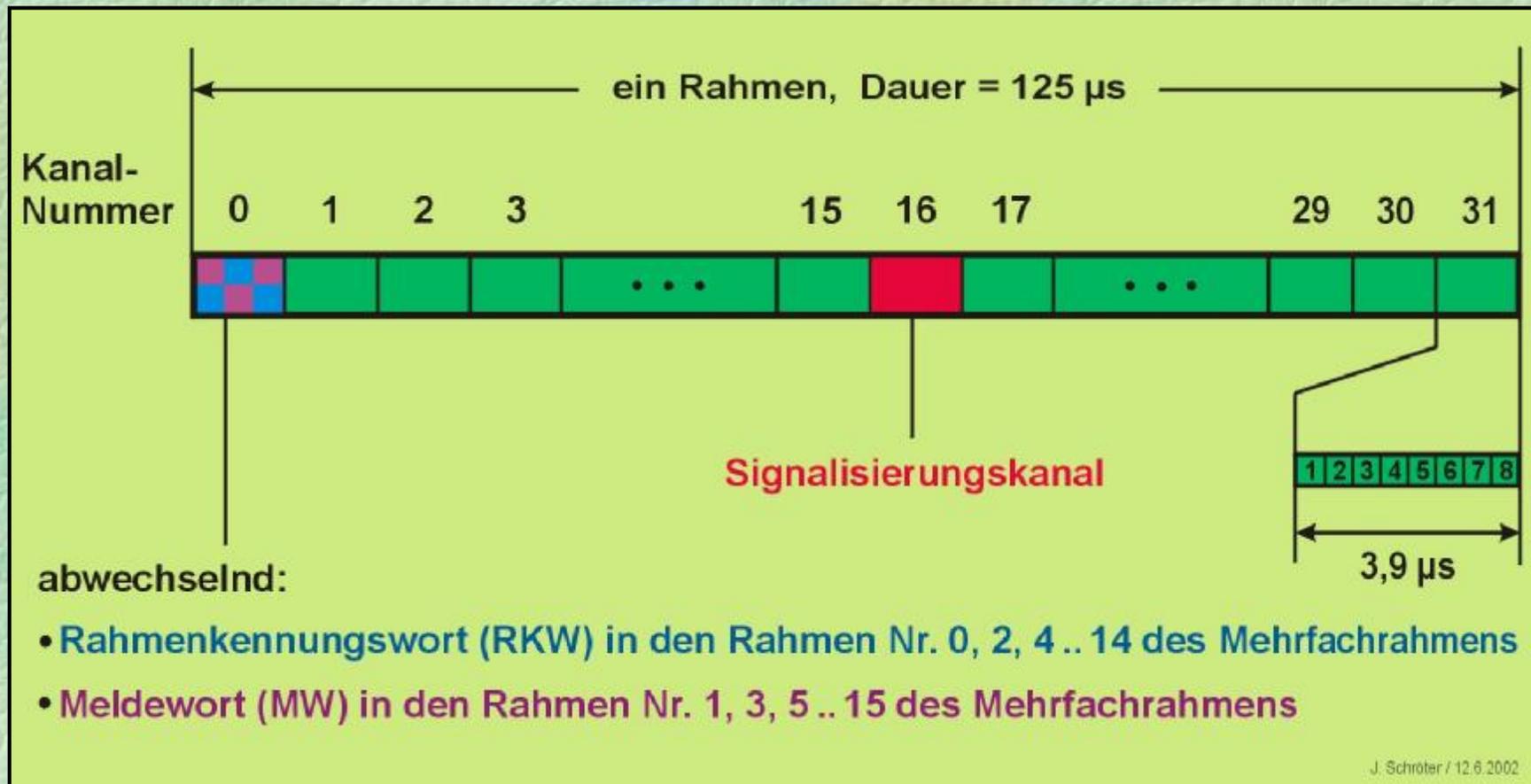


PCM-30-Grundsystem

Das vom CCITT (heute ITU-T) standardisierte **PCM-30-Grundsystem** besteht aus **30 Nutzkanälen** (z.B. für Sprache) zu je **64 kbit/s** und je einem 64-kbit/s-Kanal für die **Synchronisierung** (Kanal 0) und **Signalisierung** (Kanal 16). Diese 32 Kanäle werden in einem Rahmen übertragen und zwar **8.000 Mal pro Sekunde**.



Die Kennwerte des PCM-30-Grundsystems

Abtastfrequenz:

$$f_A = 8 \text{ kHz}$$

Dauer eines PCM-30-Rahmens:

$$T_R = \frac{1}{f_A} = \frac{1}{8 \text{ kHz}} = 125 \text{ } \mu\text{s}$$

Dauer eines Mehrfachrahmens:

$$T_{MR} = 16 \times 125 \text{ } \mu\text{s} = 2 \text{ ms}$$

Kanäle pro Rahmen:

$$K = 32 \text{ (davon 30 Nutzkanäle)}$$

Anzahl Bit pro Kanal:

$$n_K = 8 \text{ Bit}$$

Dauer eines PCM-30-Kanals:

$$T_K = \frac{T_R}{K} = \frac{125 \text{ } \mu\text{s}}{32} = 3,9 \text{ } \mu\text{s}$$

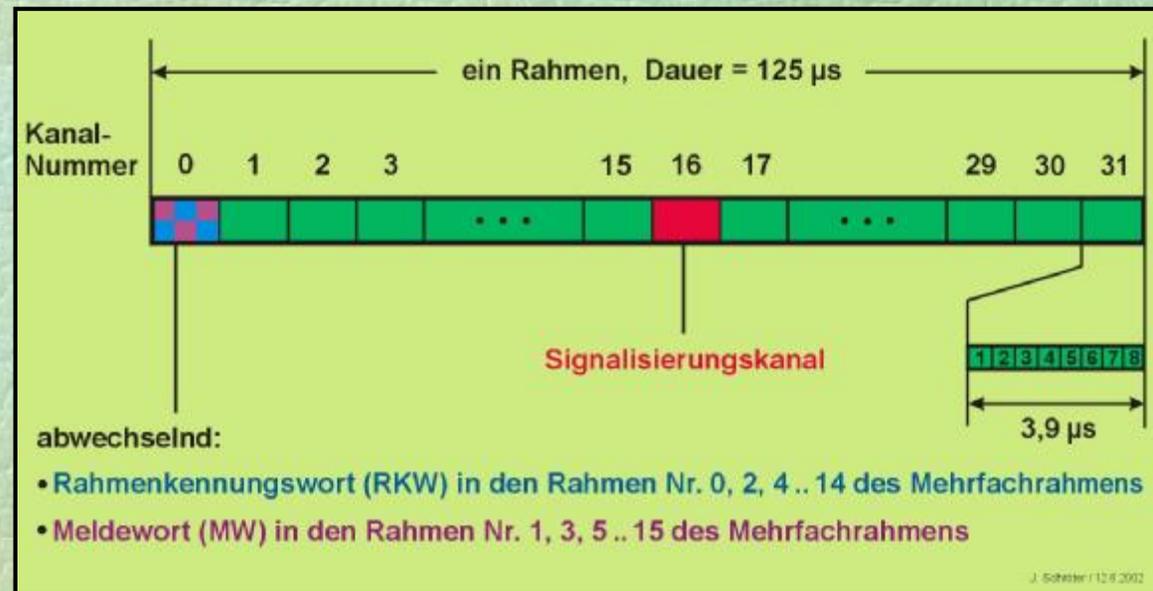
Bitrate pro Kanal:

$$R_K = n_K \times f_A = 8 \text{ Bit} \times 8 \text{ kHz} = 64 \text{ kbit/s}$$

Bitrate PCM-30-System:

$$R_{32} = R_K \times K = 64 \text{ kbit/s} \times 32 = 2,048 \text{ Mbit/s}$$

Die Synchronisierung im PCM-30-System

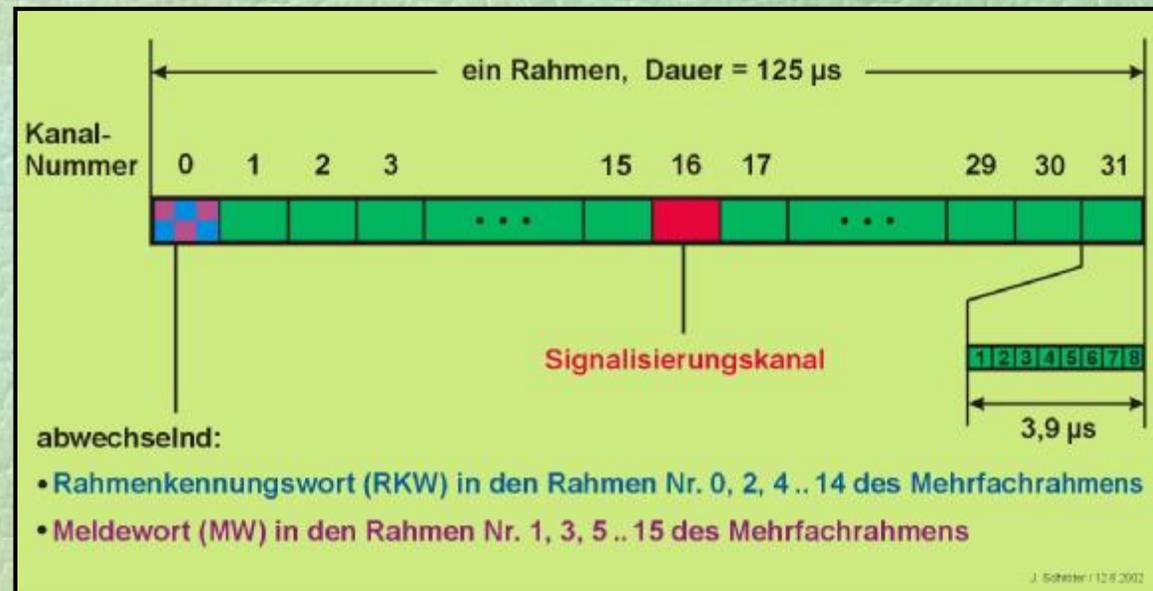


Die Sende- und Empfangseinrichtungen eines PCM-30-Systems werden mit Hilfe des „**Rahmenkennungswortes**“ (RKW) **synchronisiert**. Es hat ein **festes Bitmuster**, nämlich **x001 1011** (Bedeutung **x** siehe „CRC-4-Verfahren“ und ¹).

Das **Rahmenkennungswort** muß 3 Mal korrekt empfangen werden, ehe sich eine eingeschaltete PCM-30-Strecke als „betriebsbereit“ meldet (d.h. keine Alarme im **Meldewort**). Nach drei fehlerhaften RKW erfolgt eine Neusynchronisierung.

Um auszuschließen, daß bei fortlaufender Aussendung eines Nutzbytes des Wertes **x001 1011** eine Fehlsynchronisierung erfolgt, gibt es eine zusätzliche Sicherung durch die „**Mehrfachrahmensynchronisierung**“ (engl. „Multiframe Alignment“ MFA ¹).

Fehlermeldungen und Service-Funktionen im PCM-30-System



Das „**Meldewort**“ (MW) dient zur Übertragung von **Fehlermeldungen** und **Service-Funktionen** zwischen den Sende- und Empfangseinrichtung des PCM-30-Systems.

Fehlermeldungen werden

- für „dringende Alarme“ über das „**D-Bit**¹“ bzw.
- für „nicht-dringende Alarme“ über das „**N-Bit**¹“ (tlw. S4 genannt) signalisiert.

Des weiteren stehen fünf Bits für **Service-Funktionen** zur Verfügung (S5 .. S8 und E-Bit¹), von denen das Bit S8 für **internationale Zwecke** reserviert ist (z.Z. fest mit „1“ codiert), während S5 .. S7 und E **national** definiert sind (DTAG-Richtlinie 1 TR 216).

¹ siehe Bild „RKW, Alarmierung, Service-Bits, CRC-4 und MFA im Kanal 0“

RKW, Alarmierung, Service-Bits, CRC-4 und MFA im Kanal 0

Multiframe-Section	Rahmen-Nr.	Rahmen-Bits							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Teil-Mehrfachrahmen I	0 (RKW)	C1	0	0	1	1	0	1	1
	1 (MW)	0	1	D	N	S5	S6	S7	S8
	2 (RKW)	C2	0	0	1	1	0	1	1
	3 (MW)	0	1	D	N	S5	S6	S7	S8
Sub-Multiframe I	4 (RKW)	C3	0	0	1	1	0	1	1
	5 (MW)	1	1	D	N	S5	S6	S7	S8
	6 (RKW)	C4	0	0	1	1	0	1	1
	7 (MW)	0	1	D	N	S5	S6	S7	S8
Teil-Mehrfachrahmen II	8 (RKW)	C1	0	0	1	1	0	1	1
	9 (MW)	1	1	D	N	S5	S6	S7	S8
	10 (RKW)	C2	0	0	1	1	0	1	1
	11 (MW)	1	1	D	N	S5	S6	S7	S8
Sub-Multiframe II	12 (RKW)	C3	0	0	1	1	0	1	1
	13 (MW)	E	1	D	N	S5	S6	S7	S8
	14 (RKW)	C4	0	0	1	1	0	1	1
	15 (MW)	E	1	D	N	S5	S6	S7	S8

x001 1011 ist das RKW

D und N sind Alarm-Bits

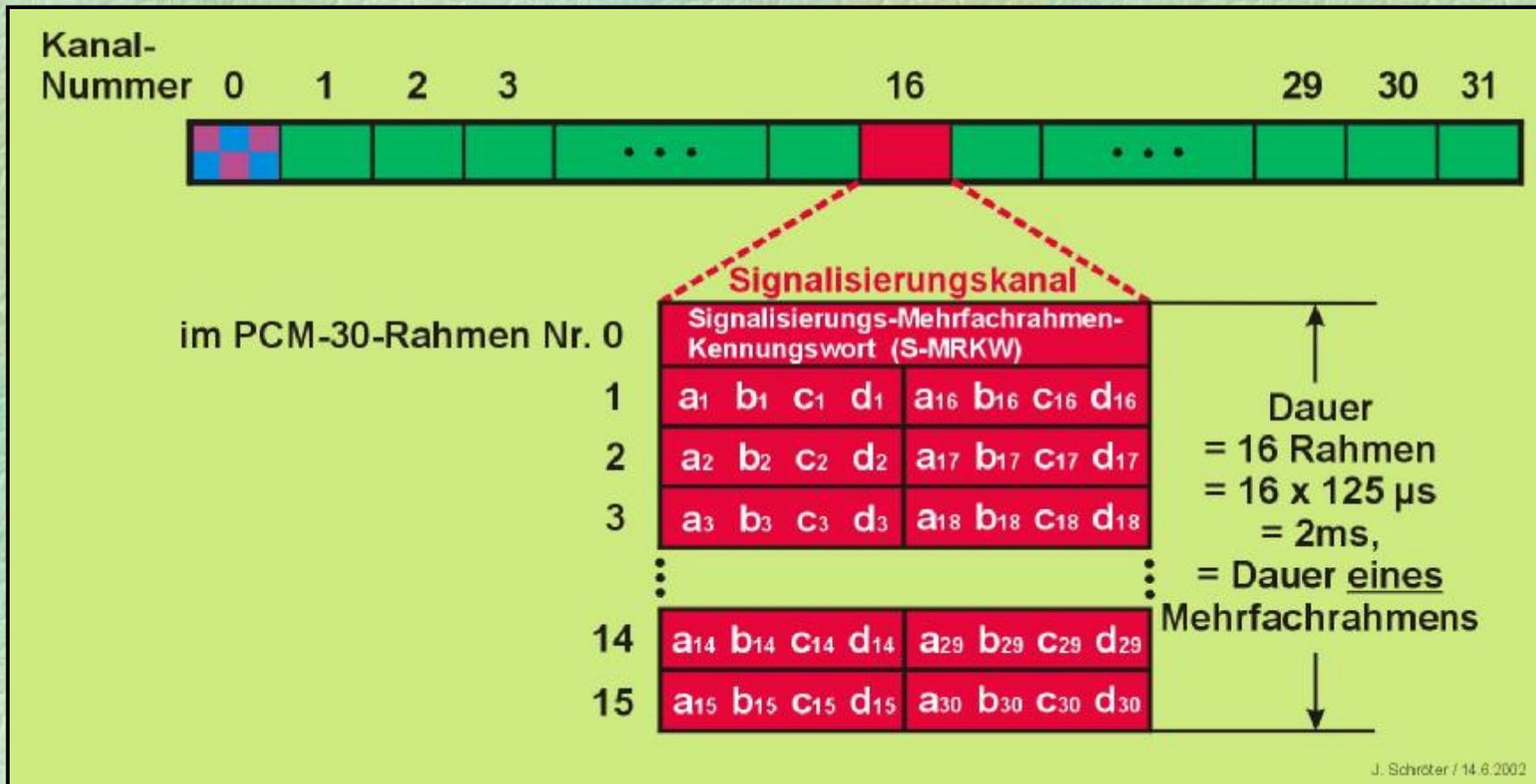
S5 .. S8 und E sind die Service-Bits

C1 .. C4 sind die Prüfsumme des CRC-4-Verfahrens

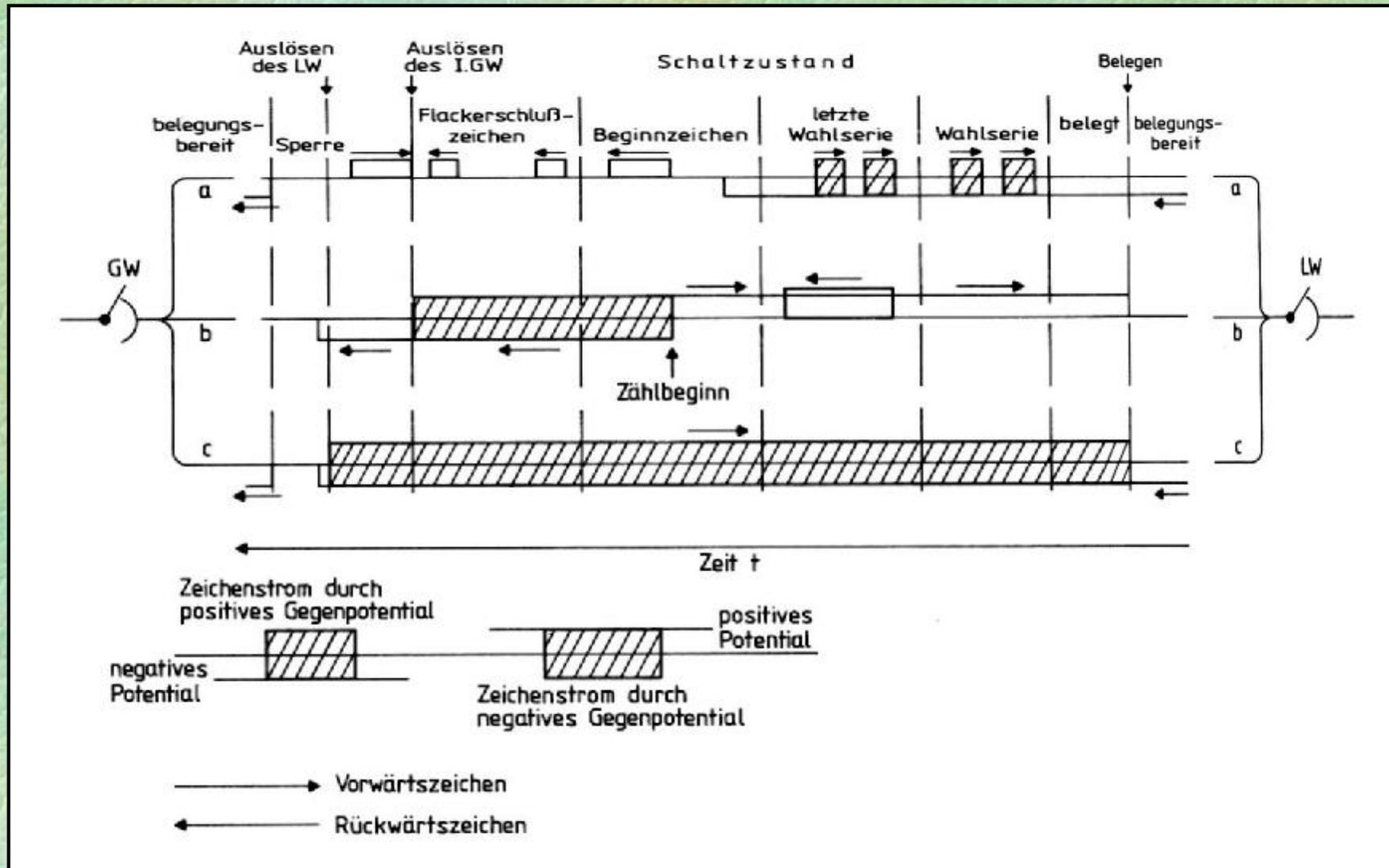
001011 in Bit 1 ist das Mehrfachrahmensynchronwort (MFA)

PCM-30-Grundsystem

Die **Signalisierung** im PCM-30-System ist **kanalgebunden** (engl. „**Channel Associated Signaling**“ **CAS**). Sie erfolgt **im Kanal 16**, und zwar pro Rahmen für je zwei Verbindungen zu je 4 Bit (a_x, b_x, c_x, d_x für $x = 1 \dots 30$). Alle 2 ms, also nach Durchlauf eines kompletten Mehrfachrahmens, sind die CAS-Informationen aller 32 Kanäle übertragen.



Schaltkennzeichen-Austausch auf a-, b- und c-Ader im Ortsverkehr



Zur Übertragung der Digitalsignale wird im PCM-30-System der „**Leitungscode HDB3**“ (**H**igh **D**ensity **B**ipolar of order **3**, d.h. max. 3 Nullen) verwendet.

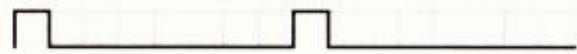
Der HDB-3-Code ist eine Erweiterung des dreiwertigen (-1, 0, +1) **AMI-Codes** (**A**lternate **M**ark **I**nversion), bei dem jede zu übertragende „1“ **abwechselnd** als **positives und negatives** Signal dargestellt wird.

Beim **HDB-3-Code** wird zusätzlich dafür gesorgt, daß lange Folgen von logischen „0“ vermieden werden. Dies geschieht dadurch, daß **jede vierte** „0“ als „1“ mit der gleichen Polarität der zuletzt gesendeten „1“ dargestellt wird. Weil dies eine „Verletzung der AMI-Code-Regel“ ist, wird diese speziell dargestellte „0“ als „**Verletzungsbit**“ („**V**“ im Bild) bezeichnet.

Des weiteren gelten für HDB-3 die Regeln:

- ist die Zahl der seit dem letzten „Verletzungsbit“ aufgetretenen „1“ **ungerade**, so wird eine „4-Bit-Nullfolge“ (0000) als „000**V**“ dargestellt - dies entspricht der o.g. „Verletzungsregel“ des AMI-Codes;
- ist die Zahl der seit dem letzten „Verletzungsbit“ aufgetretenen „1“ **gerade** oder **null**, so wird eine „4-Bit-Nullfolge“ (0000) als „**B**00**V**“ dargestellt. Das **B**-Bit sorgt wiederum für eine **Umpolung** und damit für einen **geringen Gleichstromanteil** bei der Übertragung sowie eine **sichere Taktrückgewinnung** beim Empfänger!

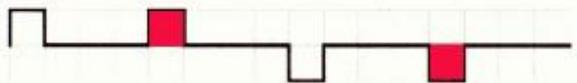
Übertragung von Digitalsignalen im HDB-3-Code



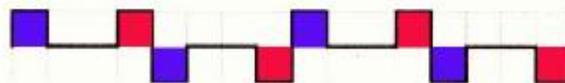
Binärsignal
10000000



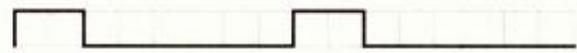
Binärsignal
00000000



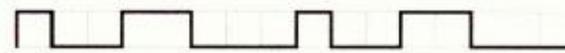
HDB-3-Signal
1000V000



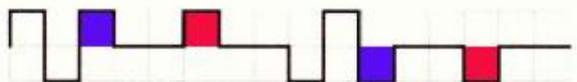
HDB-3-Signal
B00VB00V



Binärsignal
11000000



Binärsignal
10011000



HDB-3-Signal
11B00V00



HDB-3-Signal
10011000

nach [4]

Taktversorgung und Taktimpulse

Die **Taktversorgung** erzeugt die zur Steuerung aller Vorgänge im Multiplexgerät erforderlichen **Taktimpulse**.

Die Taktversorgung für die Senderichtung kann **wahlweise** abgeleitet werden

- 1) entweder **aus** einem von außen dem Multiplexgerät **zugeführten hochstabilen Fremdtaktsignal T3an** mit der **Frequenz** von **2.048 kHz**,
- 2) oder **aus der Taktversorgung für die Empfangsseite**, d.h. einem der 2-Mbit/s-DS (mit einer Toleranz von $\pm 5 \cdot 10^{-5}$),
- 3) oder **aus** einem **internen Sendequarzgenerator** mit dem **Grundtakt** von **2.048 kHz** (bzw. einem Vielfachen dieser Frequenz).

Aus diesem Grundtakt werden mit Hilfe von Zählern abgeleitet:

- 16 **Rahmenzeit-Takte** (Breite = 125 μ s, Folgefrequenz = 500 Hz / alle 2 ms)
- 32 **Kanalzeit-Taktrate** (Breite = 3,91 μ s, Folgefrequenz = 8 kHz / alle 125 μ s)
- 8 **Bit-Takte** (Breite = 488 ns, Folgefrequenz = 256 kHz / alle 3,91 μ s)

Zwischenregeneratoren

Je nach Eigenschaft des eingesetzten Übertragungsmediums (das sind für PCM-30-Systeme in der Regel symmetrische **Kupfer-Doppeladern - getrennt nach gehender und kommender Richtung!**) müssen nach bestimmten Entfernungen „**Zwischenregeneratoren**“ (ZWR) verwendet werden.

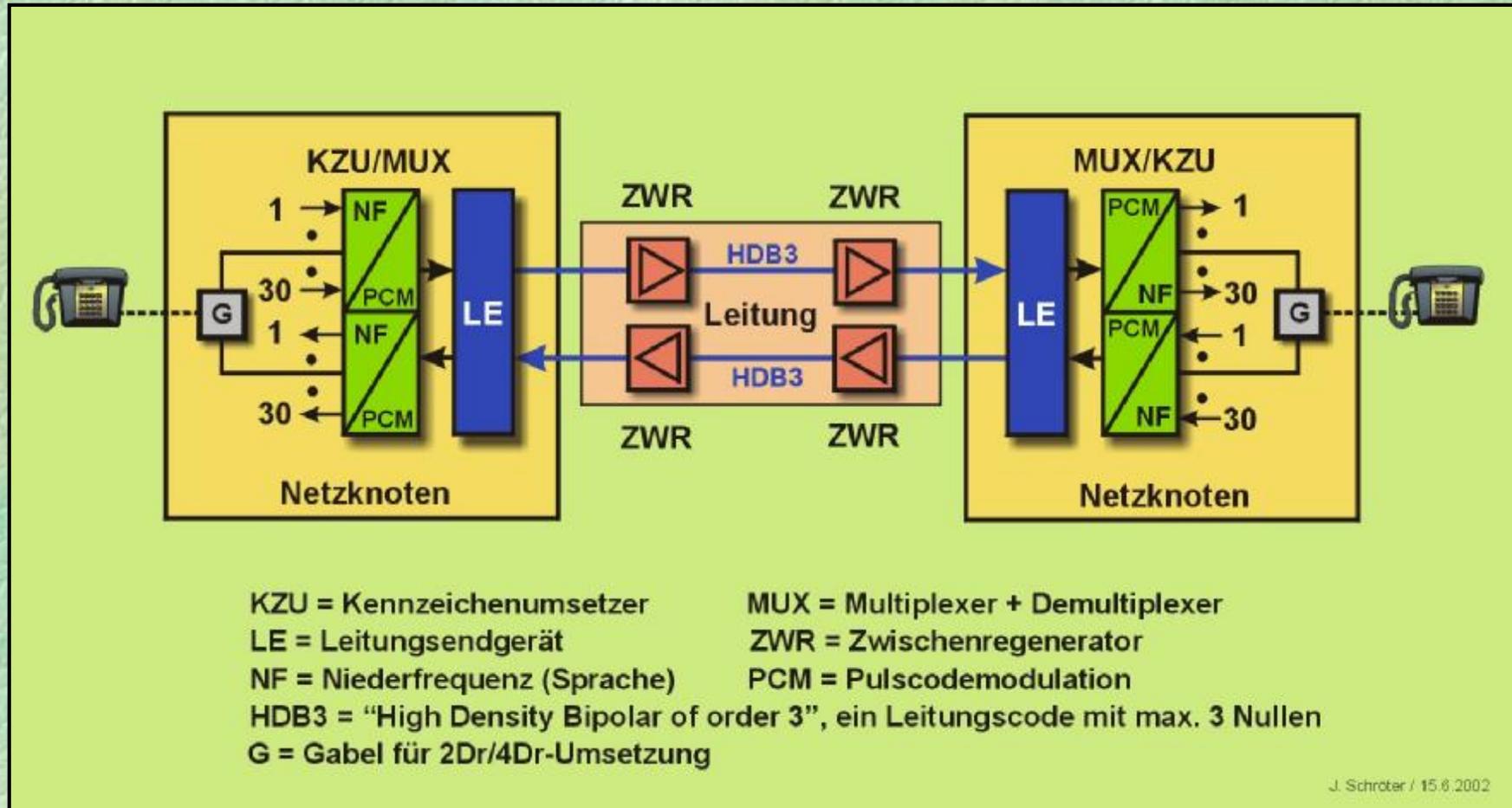
Aufgabe der ZWR ist es, die auf der Übertragungsstrecke gedämpften und verzerrten Digitalsignale zu **regenerieren und zu verstärken**. Auf diese Weise können größere Entfernungen zwischen den Endstellen des PCM-Systems überbrückt werden.

Die auf der PCM-30-Leitung gedämpften und verzerrten Digitalsignale werden im ZWR entzerrt und in einem Bereich von etwa 0 bis 40 dB verstärkt.

ZWR für 2-Mbit/s-Systeme werden **alle 2 .. 3 km** in das symmetrische Kupfer-Kabel eingeschaltet.

Die ZWR werden von den Endstellen des PCM-Systems **ferngespeist!**

Aufbau eines PCM-30-Systems



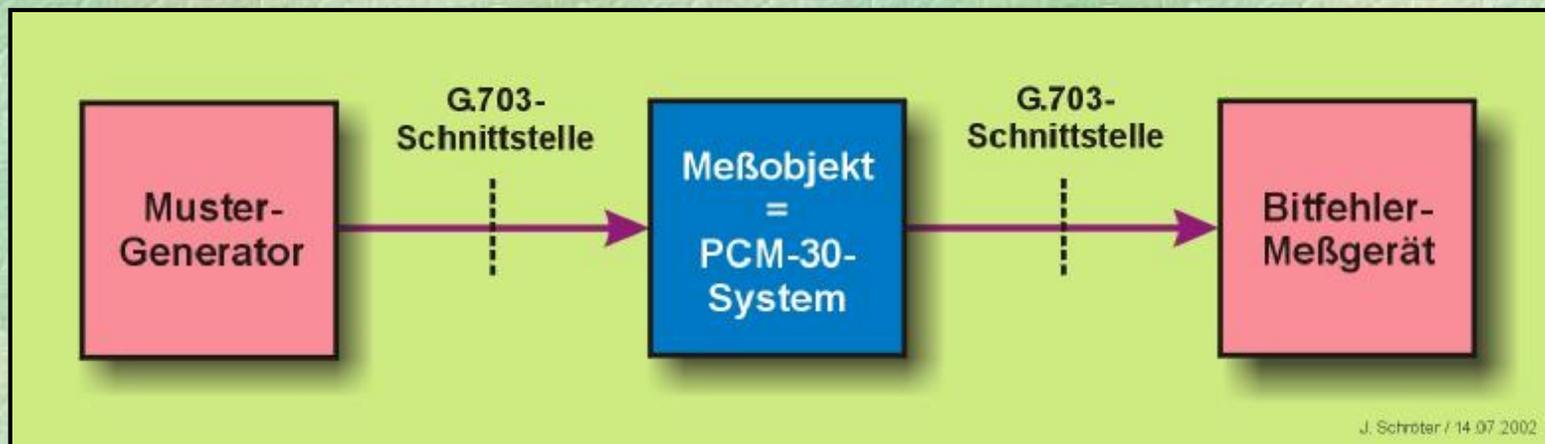
Ein wichtiger **Qualitätsparameter** der **Netzqualität** ist die „**Bitfehlerhäufigkeit**“ (BFH, engl. „**Bit Error Rate**“ **BER**), auch „**Bitfehlerrate**“ genannt.

Die „**Bitfehlerrate**“ ist das Verhältnis der „Anzahl der fehlerhaft empfangenen Bits“ zur „Gesamtzahl der übertragenen Bits“ im betrachteten Zeitintervall.

Solange bei **Sprachverbindungen** die Bitfehlerrate $< 10^{-6}$ bleibt, ist subjektiv keine Beeinträchtigung festzustellen, da die Sprache eine hohe Redundanz hat.

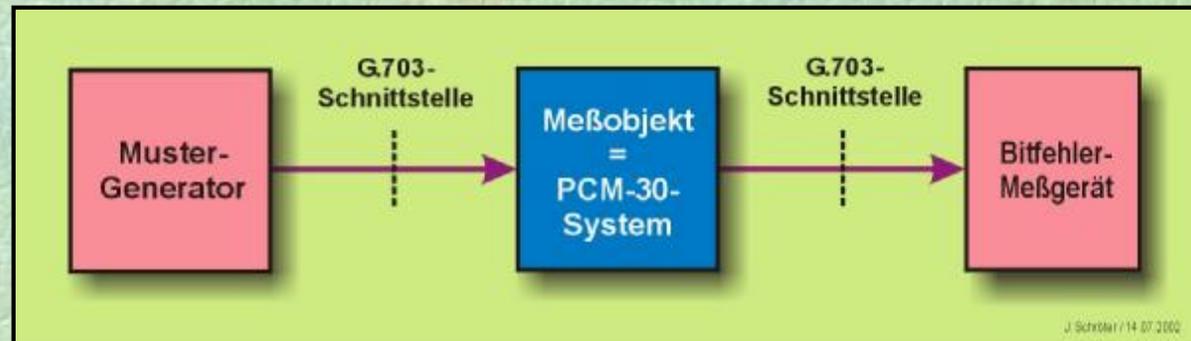
Für **Datenverbindungen** werden jedoch **BER von 10^{-9}** angestrebt!

Die „echte“ Bitfehlerraten-Messung erfolgt nach dem hier gezeigten Prinzip entsprechend der ITU-T-Empfehlung **G.821**:



PCM-30-Grundsystem

Die Bitfehlerraten-Messung nach diesem Prinzip hat in der Praxis einen großen Nachteil:



Das Meßobjekt (z.B. ein PCM-30-System) muß „**out of service**“ („**offline**“) sein!

„Offline“ bedeutet, das PCM-30-System ist zwar in Funktion, darf aber keinen Nutzverkehr führen.

Das ist für ein neu installiertes Übertragungssystem kein Problem, sehr wohl aber für Netze im Wirkbetrieb!

Aus diesem Grund ist es wünschenswert, ein Verfahren zur Ermittlung der Bitfehlerrate zu haben, das „**online**“-fähig ist:

Das „**CRC-4-Verfahren**“ bietet eine Lösung für dieses Problem!

CRC-4 = **C**yclic **R**edundancy **C**heck, Berechnung einer Prüfsumme (über eine definierte Blocklänge), die in **4** aufeinanderfolgenden Rahmen übertragen wird.

Das CRC-4-Verfahren (1 von 3)

Bei der Bitfehler-Erkennung mit Hilfe des „CRC-4-Verfahrens“ **bildet der Sender über einen Datenblock bekannter Länge eine „CRC-4-Prüfsumme“**.

Diese „**CRC-4-Prüfsumme**“ **wird mit übertragen. Der Empfänger vergleicht diese mit der von ihm berechneten Prüfsumme und erkennt auf Fehler, wenn die beiden Prüfsummen nicht übereinstimmen.**

Wird der zu überwachende Block zu groß gewählt, so ist auch bei kleinen Fehlerhäufigkeiten die Wahrscheinlichkeit groß, daß ein überwachter Block gestört ist. Ist der gewählte Block zu klein, so ist der relative Aufwand zur Übertragung der Prüfsumme groß. Die Größe des zu überwachenden Blocks soll daher zwischen diesen Extremen liegen.

Beispiel: CRC-Prüfsumme beim PCM-30-System mit 2.048 kbit/s

Jeweils 8 Rahmen (die Teil-Mehrfachrahmen I und II) bilden **einen, durch eine CRC-Prüfsumme überwachten Block** der **Länge 2.048 Bit** (8 Rahmen x 32 Kanäle pro Rahmen x 8 Bit/Kanal). Die Prüfsumme wird als Folge von 4 Bit (**C1 .. C4**) in vier aufeinanderfolgenden Rahmen **im Bit 1 des RKW** übertragen (je einmal pro Teil-Mehrfachrahmen I und II).

Das CRC-4-Verfahren (2 von 3)

Der auf Übertragungsfehler zu überprüfende Datenblock (L = 2048 Bit) wird auf der Sendeseite mit x^4 multipliziert, d.h. um vier „0“ verlängert und durch das Generatorpolynom $x^4 + x + 1$ (= 10011) dividiert. Der Divisionsrest wird in C1 .. C4 zum Empfänger übertragen.

Behandlung des Datenblocks auf der Sendeseite

Datenblock	Multiplikator	Generatorpolynom	
10100000	1	10011	<p>Die Division wird durch "Modulo-2-Addition" ohne Übertrag realisiert. Schaltungstechnisch ist dies eine "Exklusiv-Oder-Verknüpfung"</p>
10011			
11100			
10011			
11110			
10011			
			<p>1101 — Divisionsrest, wird der Empfangsseite als "CRC-4-Prüfsumme" (C1 .. C4) mitgeteilt</p>

J. Schröter / 27.7.2002

Behandlung des Datenblocks auf der Empfangsseite

Datenblock	Divisionsrest	Generatorpolynom	
10101101	1	10011	<p>Die Division wird durch "Modulo-2-Addition" ohne Übertrag realisiert. Schaltungstechnisch ist dies eine "Exklusiv-Oder-Verknüpfung"</p>
10011			
11010			
10011			
10011			
10011			
			<p>0000 — empfangsseitiger Divisionsrest wird im fehlerfreien Fall zu NULL</p>

J. Schröter / 27.7.2002

Hier wird der empfangene Datenblock im Prinzip derselben Prozedur unterzogen. Wird eine Differenz zwischen dem Sender- und Empfänger-Divisionsrest festgestellt, liegt ein Übertragungsfehler vor!

Das CRC-4-Verfahren (3 von 3)

CRC-Prüfverfahren können Einzelfehler sicher erkennen. Eine Aussage, wieviele Bitfehler die Ursache für eine abweichende CRC-Prüfsumme im Empfänger waren, ist jedoch nicht möglich.

Daher bedient man sich der folgenden Regel:

Als Unterscheidungsmerkmal für eine **BER $\geq 10^{-3}$** gilt das Auftreten von **≥ 512 fehlerhaften Mehrfachrahmenanteilen** bei einer **Meßzeit = 1 Sekunde**.

Für eine **BER $\geq 10^{-6}$** gilt das Auftreten von **≥ 64 fehlerhaften Mehrfachrahmenanteilen** bei einer **Meßzeit = 60 Sekunden**.

Die exakte Bestimmung der BER einer Übertragungsstrecke bleibt also der oben gezeigten „echten“ Bitfehlerraten-Messung im „offline“-Betrieb vorbehalten.

Störungen

Unter einer „**Störung**“ versteht man eine **unzulässige Abweichung der geforderten Übertragungsqualität eines Übertragungsweges (DSV¹, DSGL²)**.

Störungen werden unterschieden in:

- **Beeinträchtigung:** eine Störung, bei der der Toleranzbereich für die geforderte Übertragungsqualität zwar überschritten ist, bei der die **Übertragung von Nachrichten jedoch noch mit gewissen Einschränkungen möglich ist;**
- **Ausfall:** eine Störung, bei der der Toleranzbereich für die geforderte Übertragungsqualität so weit überschritten ist, daß eine ordnungsgemäße Übertragung von Nachrichten nicht mehr gewährleistet ist (z.B. BER von 10^{-3}) bzw. völlig unmöglich, z.B. bei Unterbrechung des Übertragungsweges (LOS³);
- **Abschaltung:** eine Störung, bei der der Übertragungsweg **nach vorheriger Ankündigung gewollt außer Betrieb genommen wird.**

Störungen führen zu „Störungsalarmen“ von denjenigen Geräten, die Anfang und Ende einer DSV bzw. DSGL bilden.

¹ Digitalsignal-Verbindung

² Digitalsignal-Grundleitung

³ Loss of Signal, kein Eingangssignal

Störungsalarmierung und Störungsbeseitigung

„**Störungsalarme**“ beziehen sich in der Regel nur auf die Empfangsrichtung des Übertragungsweges.

Beim Ansprechen der Überwachungsschaltung wird im erkennenden Gerät ein Störungsalarm abgegeben, z.B. durch eine **LED-Anzeige** am erkennenden Gerät.

Des Weiteren wird eine „**Störungsmeldung**“ zu einer **zentralen Anzeigeeinrichtung** - ein „**Signalfeld**“ - abgegeben.

Eine **Störung ist beseitigt**, wenn der einwandfreie Übertragungszustand wieder hergestellt ist. Dies kann erfolgen durch

- **Ersatzschaltung des Übertragungsweges**,
- **Austausch** des defekten Gerätes bzw. der fehlerhaften Baugruppe,
- **Beseitigung des Fehlers**, z.B. durch Behebung der Unterbrechung in der Übertragungsstrecke.

Fehler und Fehleralarme

Unter einem „**Fehler**“ versteht man die **unerwünschte Beeinträchtigung der Funktion eines Systemteils, Gerätes oder einer Baugruppe.**

Ursache für ein solche Beeinträchtigung kann sein:

- Fehler auf Bauelementen, Baugruppen, Steckverbindern (**Gerätefehler**),
- eine unzulässige Abweichung der übertragungstechnischen Eigenschaften von Leitungen (**Kabelfehler**),
- eine unzulässige Manipulation an Geräten oder Leitungen (**Bedienungsfehler**).

Ein Fehler ist in den meisten Fällen die Ursache für eine Störung!

Je nach Dringlichkeit der Störungsbeseitigung unterscheidet man zwei Wertigkeitsstufen für Fehleralarme:

- **A-Alarm:** **dringender Alarm!** Dieser Alarm muß sofort bearbeitet werden, auch außerhalb der Regelarbeitszeit (d.h. nachts, feiertags usw.),
- **B-Alarm:** **nicht-dringlicher Alarm.** Die Bearbeitung dieser Alarme erfolgt innerhalb der Regelarbeitszeit.

Solange eine Fehlerursache andauert, leuchtet am meldenden Gerät eine LED sowie am Signalfeld die „A“- oder „B“-Alarmlampe.

Das Alarmindikationssignal AIS, das D-Bit und N-Bit

Erkennt eine Überwachungsschaltung einen Fehler, der zu einem Ausfall des Übertragungsweges führt, so wird das Digitalsignal (DS) der gestörten Übertragungseinrichtung durch das sogenannte „**AIS¹**“ - ein **Dauer-Eins-Signal** - ersetzt. Dieses **AIS soll Fehleralarme in nachfolgenden Geräten oder Systemen unterdrücken**, die dort sonst als Folge-Fehleralarme aufträten, ohne daß dort die Fehlerursache liegt. Störungsalarme werden durch AIS nicht unterdrückt.

Zwischen dem Erkennen eines Fehlers und dem Aussenden von AIS soll eine Schutzzeit von 50 .. 100 ms liegen.

Das Abschalten der AIS-Aussendung nach Beendigung einer Störung soll erst dann erfolgen, wenn der fehlerfreie Zustand min. 50 ms andauert.

Des weiteren signalisieren PCM-30-Systeme **Alarme im „Meldewort“** zur Gegenstelle und zwar im „**D-Bit²**“ und „**N-Bit³**“.

Moderne SW-gesteuerte Systeme (z.B. Cross Connector Systeme) geben darüber hinaus die Übertragungstechnischen Alarme über Management-Schnittstellen detailliert an übergeordnete Bediensysteme.

¹ Alarm Indication Signal

² dringende Alarme

³ nicht-dringende Alarme