

# Telematik

## 6. Datenübertragung



Prof. Dr. Martina Zitterbart

Dipl.-Inform. Thomas Gamer

Dipl.-Inform. Martin Röhrich

[zit | gamer | roehricht]@tm.uka.de



## 6. Datenübertragung

### I. Einführung

1. Einführung

### II. Internet

2. Ende-zu-Ende Datentransport
3. Routingprotokolle und -architekturen
4. Medienzuteilung
5. Brücken

### III. Übertragungstechnik

#### 6. Datenübertragung

### IV. Telekommunikationsnetze

7. ISDN
8. Weitere ausgewählte Beispiele

### V. Netzmanagement

9. Netzmanagement

#### 6.1 Leitungscodes

- 6.1.1 Fehlerquellen
- 6.1.2 Leitungscodes: Beispiele
- 6.2.3 Blockcodes
- 6.1.4 Techniken zur Verwülfelung

#### 6.2 Zusammenfassung

2

Telematik – WS 2009/10

6. Datenübertragung

Institut für Telematik  
Universität Karlsruhe (TH)

www.tm.uka.de



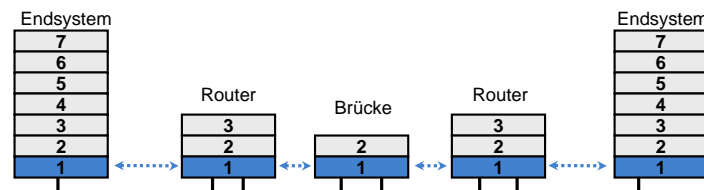
## Einordnung in das ISO/OSI-Basisreferenzmodell



### • Datenübertragung im Schichtenmodell

#### • Schicht 1: Bitübertragungsschicht (Physical Layer)

- ▶ Übertragung von Bits
- ▶ Keine Pufferung
- ▶ Berücksichtigung der Eigenschaften des Mediums
- ▶ Problem: mögliche Störungen der Übertragung
- ▶ Ziel: Fehlerfreie Bitübertragung



3

Telematik – WS 2009/10

6. Datenübertragung

Institut für Telematik  
Universität Karlsruhe (TH)

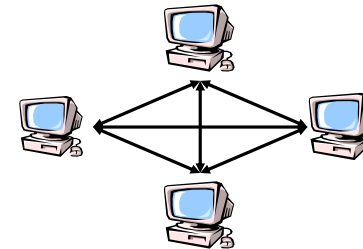
www.tm.uka.de



## Basisszenario

### • Einfacher Aufbau eines Netzes

- Alle Systeme werden direkt miteinander verbunden
- Es kommunizieren also immer direkt benachbarte Systeme miteinander



#### 6.1 Leitungscodes

### • Die folgenden Probleme sind dabei unter anderem zu lösen

- ▶ Wahl des Mediums
- ▶ Kodierung der zu übertragenden digitalen Information auf dem Übertragungsmedium
- ▶ Zusammenstellung der Bits zu Dateneinheiten
- ▶ Fehlererkennung und -behebung
- Medienzugriff bei gemeinsam genutztem Medium

4

Telematik – WS 2009/10

6. Datenübertragung

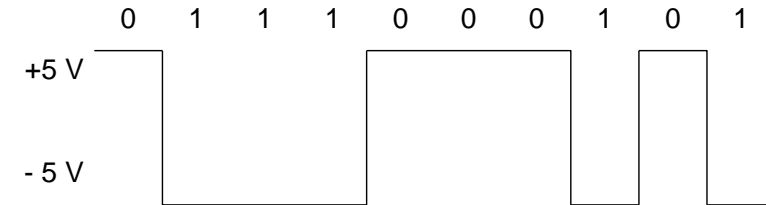
Institut für Telematik  
Universität Karlsruhe (TH)

www.tm.uka.de

- Grundlagen der Signalübertragung
  - Signal repräsentiert die physikalische Darstellung von Daten
  - Signalparameter
    - ▶ Diejenige physikalische Kenngröße eines Signals, deren Wert oder Werteverlauf die Daten repräsentieren
  - Räumliche (ortsabhängige) Signale
    - ▶ Werte des Signalparameters  $S$  sind Funktion des Orts:  $S = S(x, y)$
    - ▶ z.B. Speichern von Daten
  - Zeitabhängige Signale
    - ▶ Werte des Signalparameters  $S$  sind Funktion der Zeit  $S(t)$ :  $S = S(t)$
    - ▶ z.B. Verarbeiten und Übertragen von Signalen
  - Grundsatz
    - ▶ Jedes ortsabhängige Signal ist in zeitabhängiges Signal überführbar („Lesen“, Abtasten) und umgekehrt („Schreiben“, Aufzeichnen)

Vorlesung behandelt **ausschließlich zeitabhängige Signale**

5



- Beispiel
  - Binäre Eins wird durch -5 Volt repräsentiert
  - Binäre Null wird durch +5 Volt repräsentiert
  - Signaldauer eines Bits beträgt 0,02 ms

→ Welche Datenrate resultiert hieraus?

6



- Taktrückgewinnung
  - Den Signalwerten können Zeichenwerte und Takt entnommen werden
  - Die Taktrückgewinnung ist erforderlich, wenn keine separate Taktleitung zur Verfügung steht
  - Taktgehalt eines Codes sollte möglichst unabhängig vom Inhalt der übertragenen Daten sein
- Gleichstromanteil
  - Auf manchen Übertragungsstrecken darf wegen der angeschlossenen Geräte kein Gleichstrom auftreten
  - Kann meist nicht absolut, sondern nur im statistischen Mittel erfüllt werden
- Fehlererkennung
  - Signalfehler sollten auf Signalebene erkannt werden
- Übertragungsreichweite
  - Hängt mit der Betriebsdämpfung zusammen
  - Hohe Frequenzen werden stärker gedämpft als niedrige
- Anzahl gemeinsam codierter Zeichen
  - In einem Signalwert kann mehr als ein Zeichenwert codiert werden
- Resynchronisation
  - Wird meist durch Rahmenbildung ermöglicht

7



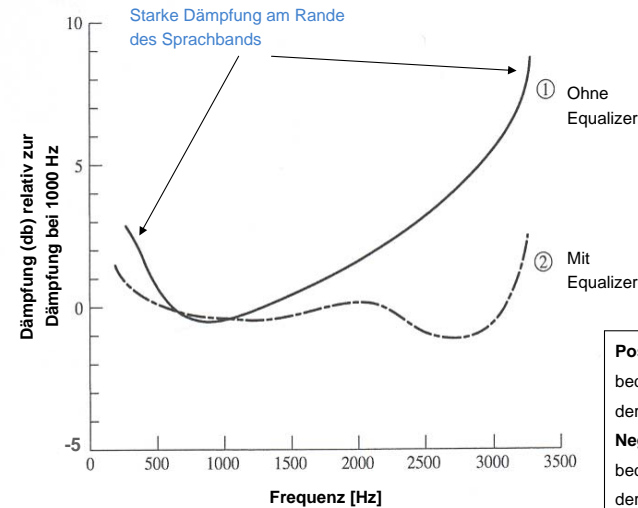
- Problem
  - Das beim Empfänger empfangene Signal kann sich von dem ursprünglich gesendeten Signal unterscheiden
    - ▶ Eine gesendete binäre Null wird beispielsweise beim Empfänger als binäre Eins erkannt
- Fehlerquellen
  - Dämpfung (*Attenuation*)
  - Verzögerungsverzerrung (*Delay Distortion*)
  - Rauschen (*Noise*)

8



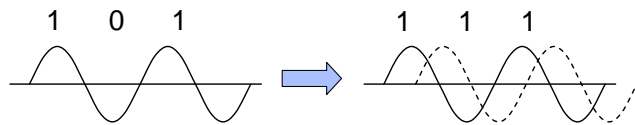
- Signalstärke sinkt auf jedem Medium mit der Übertragungsdistanz
  - Exponentiell für leitungsgebundene Medien
  - Ausgedrückt als konstante Anzahl Dezibel pro Distanzeinheit
- Signalstärke muss beim Empfänger groß genug sein, um das Signal dort zu erkennen
  - Einsatz von Verstärkern und Repeatern
- Signalstärke muss höher sein als Rauschen
- Dämpfung variiert mit der Frequenz
  - Equalizer zur Gleichsetzung der Dämpfung über die Frequenzen hinweg
  - Unterschiedliche Verstärkung verschiedener Frequenzen

9



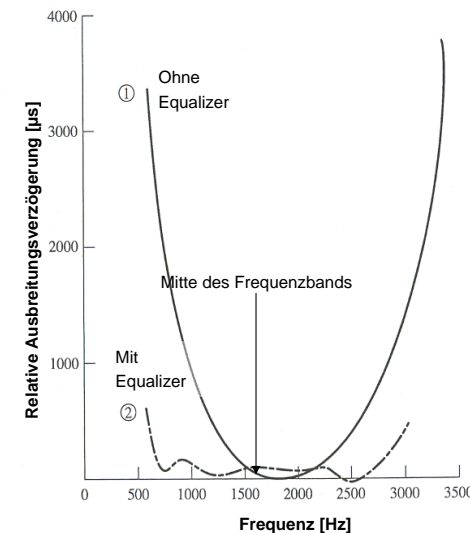
10

- Begründet durch Signalausbreitungsverzögerung
  - Variiert mit der Frequenz, d.h. unterschiedliche Frequenzkomponenten eines Signals erreichen den Empfänger zu verschiedenen Zeitpunkten
    - ▶ Phasenverschiebung
- Überlappung von aufeinander folgenden Bits
  - ▶ Intersymbol-Interferenz
  - ▶ Wichtige Limitierung für die maximal erreichbare Datenrate



(Lauf-)Zeitverzerrung (Intersymbol-Interferenz)

11



12

- Überlagerung mit anderen Signalen auf dem Medium
  - Thermisches Rauschen
    - ▶ Funktion der Temperatur
    - ▶ Gleichmäßig verteilt über Frequenzen (oft als weißes Rauschen bezeichnet)
    - ▶ Kann nicht eliminiert werden und bestimmt damit die maximale Leistungsfähigkeit mit
      - ▶  $N_0$  – Thermisches Rauschen pro 1 Hz Bandbreite
      - ▶  $N_0 = kT$  [W/Hz], mit  $k: 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$  (Boltzmann-Konstante,  $T$ : Temperatur [K])
    - ▶ Beispiel: weißes Rauschen bei Zimmertemperatur ( $17^\circ\text{C}$  bzw.  $290\text{K}$ ). Die Geräusch-Energiedichte in Watt pro 1 Hz beträgt dann:
 
$$N_0 = (1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}) \cdot 290 \text{ K} = 4 \cdot 10^{-21} \text{ W/Hz} = -204 \text{ dBW/Hz}$$
    - ▶ Unabhängig von der Frequenz
      - ▶ Thermisches Rauschen in Bandbreite von  $B$  Hz:  $N = kTB$
  - Modulationsrauschen (*Intermodulation noise*)
    - ▶ Zwei Frequenzen ( $f_1$  und  $f_2$ ) überlagern sich und es resultiert  $f = f_1 + f_2$

13



- Übersprechen (*Crosstalk*)
  - Man hört andere Gesprächsteilnehmer
    - ▶ Hervorgerufen durch die Kopplung von zwei Kabeln, die sich beeinflussen
- Impulsrauschen (*Impulse noise*)
  - Zeichnet sich durch unregelmäßige, unreguläre Ausschläge und Geräuschspitzen kurzer Dauer und hoher Amplitude aus
  - Hervorgerufen von elektromagnetischen Störungen z.B. Blitze
  - Nicht kritisch für analoge Daten; z.B. werden Telefongespräche durch kurzes Knacken unterbrochen
  - Kritisch für digitale Daten, da bereits eine Störung der Dauer 0,01s bei einer Übertragungsrate von 56 kbit/s 560 Bits der Daten zerstören würde

14

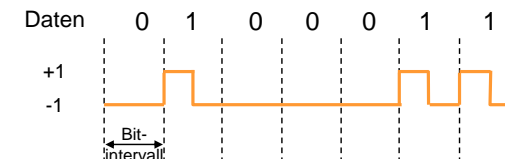


- Folgende Unterteilung der Leitungscode lässt sich vornehmen
  - Binäre Leitungscode
    - ▶ Symbolwerte werden durch Signalwert bestimmt
  - Biphase Leitungscode
    - ▶ Symbolwerte werden durch Phasensprünge codiert
  - Ternäre Leitungscode
    - ▶ Die beiden Symbolwerte 0 und 1 werden in drei Codiersymbole ( $-1, 0, +1$ ) abgebildet
  - Blockcodes
    - ▶  $m$  Bits werden als Block zusammengefasst und zu einem neuen Block der Länge  $n$  codiert in einer  $N$ -ären Darstellung
- Es folgen Beispiele aus der Praxis für diese unterschiedlichen Codes

15



- Binärer Code
- Einfacher Ansatz: „1“ wird als high-Signal dargestellt; „0“ als low-Signal
  - Zwei Klassen solcher Codes, um Bitfolgen zu codieren
    - ▶ RZ (*Return to Zero*)
    - ▶ NRZ (*Non-return to Zero*)
- RZ
  - Gekennzeichnet durch einen Rechteckimpuls in der 1. Hälfte des Bitintervalls für eine zu übertragende „1“
  - Danach Rückkehr in Grundzustand (Zero)
  - Die Baudrate (Schrittgeschwindigkeit) ist im Extremfall (Folge von „1“) doppelt so hoch wie die Bitrate (Datenrate)
  - Bei Null-Folge keine Taktrückgewinnung möglich
  - Gleichstromanteil kann hoch werden
  - Beispiel



16





- Schrittggeschwindigkeit (Baudrate)
  - Zahl der Signalparameter-Zustandswechsel
  - Einheit: baud (1/s) (nach Jean Maurice Baudot)
  - entspricht bei isochronem Takt der Taktfrequenz
  - auch als *Baudrate* bezeichnet
- Datenrate (Bitrate)
  - Anzahl der übertragbaren Bitstellen pro Zeiteinheit
  - Einheit: bit/s
- Schrittggeschwindigkeit = Datenrate?
  - Nur für binäre Signale, bei denen jeder Schritt als Signalelement genau ein Bit als Codeelement darstellt.

17



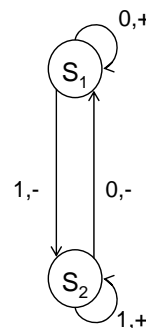
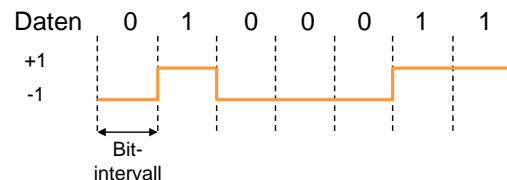
- (\* 11. September 1845 in Magneux (Haute-Marne), Frankreich;  
† 28. März 1903 in Sceaux (bei Paris), Frankreich); war ein französischer Ingenieur und Erfinder
- Das Ziel von Baudots Forschungen und Entwicklungen war es, die bis dahin langsame telegrafische Übertragung zu verbessern
  - Baudot-Code (später International Telegraph Alphabet No. 1 (ITA1), CCITT-1)
  - Am 17. Juni 1874 wurde unter der Nr. 103,898 Baudot ein Patent mit dem Titel „System zur schnellen Telegrafie“ erteilt
  - Das Baudot-System wurde 1875 durch die französische Verwaltung für Post und Telegrafie angenommen



18



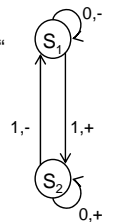
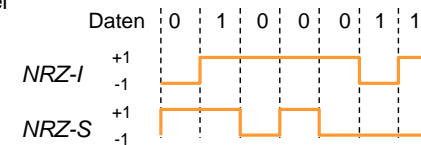
- Binärer Code
- Kennzeichen
  - fester Pegel während eines Bitintervalls.
  - Signalübergänge (Signalwechsel) erfolgen an den Intervallgrenzen
- NRZ
  - „1“ hoher Pegel
  - „0“ niedriger Pegel
- Bewertung
  - sehr einfach zu implementieren
  - Gleichstromkomponente kann hoch sein
  - eignet sich nicht zur Taktrückgewinnung
- Beispiel



19



- Grundlegende Vorgehensweise:  
Es wird nicht der absolute Signalwert in der Zuordnungsvorschrift verwendet, sondern der Signalwert in Abhängigkeit von der Polarität des vorhergehenden Signalelements codiert
  - Biphas Code
  - Vorteil: Unter Einfluss von Störungen sind Signalwechsel leichter zu erkennen als Signalpegel, die mit einer Schwelle verglichen werden müssen
- NRZ-I (*Inverse on ones*)
  - Übergang in den entgegengesetzten Signalwert zur Darstellung einer übertragenen „1“
  - kein Wechsel bei „0“
  - hoher Gleichstromanteil möglich
  - Taktrückgewinnung nicht immer gegeben
- NRZ-S (*Space*)
  - Wie NRZ-I, aber Signalwechsel bei übertragener „0“ und kein Signalübergang bei „1“
- Beispiel



20



- NRZ
  - 1 = hoher Pegel
  - 0 = niedriger Pegel
- NRZ-I
  - 1 = Signalübergang zu Intervallanfang
  - 0 = kein Signalübergang
- NRZ-S
  - 1 = kein Signalübergang
  - 0 = Signalübergang zu Intervallanfang
- Return to Zero (RZ)
  - 1 = Signalübergang am Intervallanfang und Rücksetzung in der Mitte des Bit-Intervalls
  - 0 = kein Signalübergang

21



- Biphase Code
- Mindestens ein Signalwechsel pro Bitintervall; Maximal zwei Signalwechsel pro Bit
  - „1“ = Signalübergang vom hohen Pegel zum niedrigen Pegel in der Intervallmitte
  - „0“ = Signalübergang vom niedrigen Pegel zum hohen Pegel in der Intervallmitte
  - Erzeugbar über XOR-Verknüpfung von NRZ-kodierten Daten und dem Takt
- Hilfswechsel erforderlich (erhöhen Baudrate)
- Vorteile
  - Leichte Taktrückgewinnung, da stets mindestens ein Signalwechsel pro Bitintervall
  - Keine Gleichstromkomponente
  - Fehlererkennung auf Signalebene: Fehlen eines erwarteten Übergangs erkennbar
- Wurde z. B. bei lokalen Netzen verwendet (Ethernet, 10 Mbit/s)



22

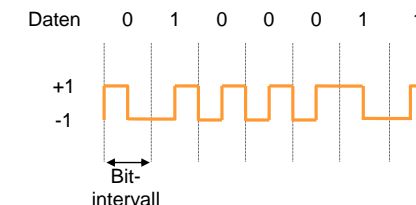


- Verdoppelt die Rate von Signalwechseln auf der Leitung
  - Baudrate steigt
  - Datenrate = 50% Baudrate, im schlimmsten Fall (d.h. Baudrate größer als Datenrate)
- Baudrate kann auch kleiner als Datenrate sein
  - Übertragung von mehreren unterschiedlichen Signalen (vier beim quaternären Code)
    - ▶ in den Beispielen zur Codierung jeweils zwei

23



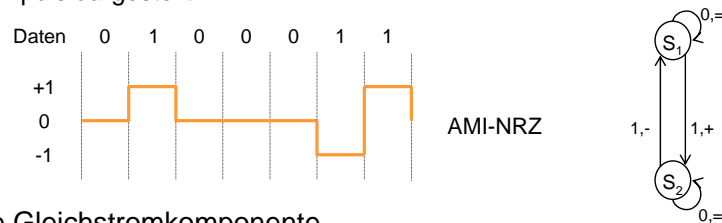
- Biphase Code
- Signalwechsel in der Mitte jedes Bitintervalls
- Signalwechsel am Anfang eines Bitintervalls nur, wenn „0“ kodiert wird
  - Ausgabesignal von Startlevel abhängig
  - Polaritätsunabhängig
- Diese Art der Codierung wird beispielsweise im lokalen Netz Token-Ring eingesetzt



24

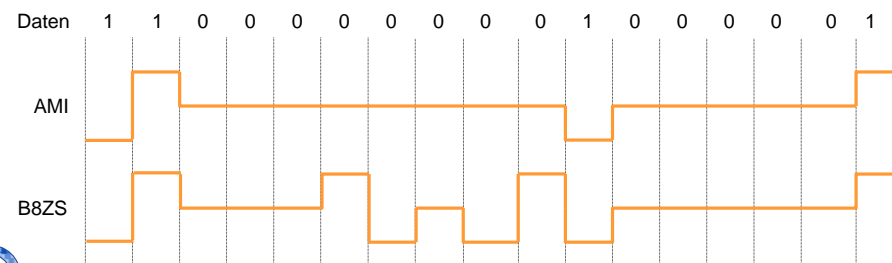


- Ternärer Code
  - Leitungscodierung mit mehr als zwei Signalwerten
  - Beispiel: AMI-Kodierung (*Alternate Mark Inversion*)
    - ▶ **AMI-RZ**: „1“ wird abwechselnd durch positiven oder negativen Impuls in der 1. Hälfte des Bitintervalls dargestellt
    - ▶ **AMI-NRZ**: „1“ wird abwechselnd durch positiven oder negativen Impuls dargestellt
- Keine Gleichstromkomponente
  - ▶ Aber: lange „0“-Folgen sind problematisch für Taktrückgewinnung
  - ▶ Mögliche Lösung: Zwei aufeinanderfolgende „0“-en werden durch eine „0“ und eine umgekehrte „1“ kodiert
    - ▶ Einfache Taktrückgewinnung durch Coderegelerletzungen



25

- Basiert auf AMI
  - Problem bei AMI: lange Nullfolgen können zum Synchronisationsverlust führen
- Auftreten von 8 Nullen in Folge:
  - Letzter vorangegangener Puls positiv
    - ▶ 8 Nullen werden als 000+-0-+ kodiert
  - Letzter vorangegangener Puls negativ
    - ▶ 8 Nullen werden als 000-+0+ kodiert
- Führt zu zwei Coderegelerletzungen innerhalb eines Wortes



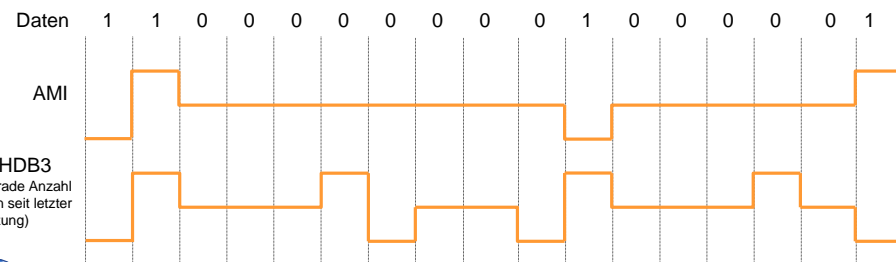
26

- Basiert auf AMI
  - Problem bei AMI: lange Nullfolgen können zum Synchronisationsverlust führen
  - HDBn-Codes beseitigen diesen Nachteil
- Codierungsregeln für HDB-Codes  $n$ -ter Ordnung
  - Beim Auftreten einer Nullfolge der Länge  $(n+1)$  wird diese ersetzt durch
    - ▶  $n \cdot 0$  V, falls zwischen zwei Ersetzungen eine ungerade Anzahl an Einsen auftrat
      - ▶ V steht für eine 1, welche die AMI-Coderegeln verletzt
    - ▶  $B(n-1) \cdot 0$  V, falls zwischen zwei Ersetzungen eine gerade Anzahl an Einsen oder keine Eins auftrat
      - ▶ B steht für eine 1, welche die AMI-Coderegeln einhält
  - Letzte Null wird folglich immer durch eine Coderegelerletzung ersetzt
  - Aufeinander folgende Coderegelerletzungen haben immer alternierende Polarität

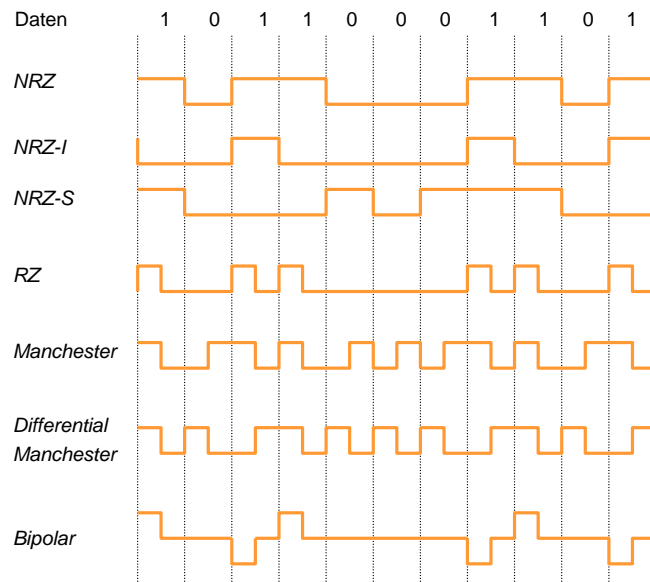
27

- Beispiel: HDB3
  - Ersetzung von Nullfolgen der Länge 4 durch die folgenden Blöcke

Letzte Eins	Anzahl von Einsen seit letzter Ersetzung	
	Ungerade	Gerade
Negativ	000-	+00+
Positiv	000+	-00-



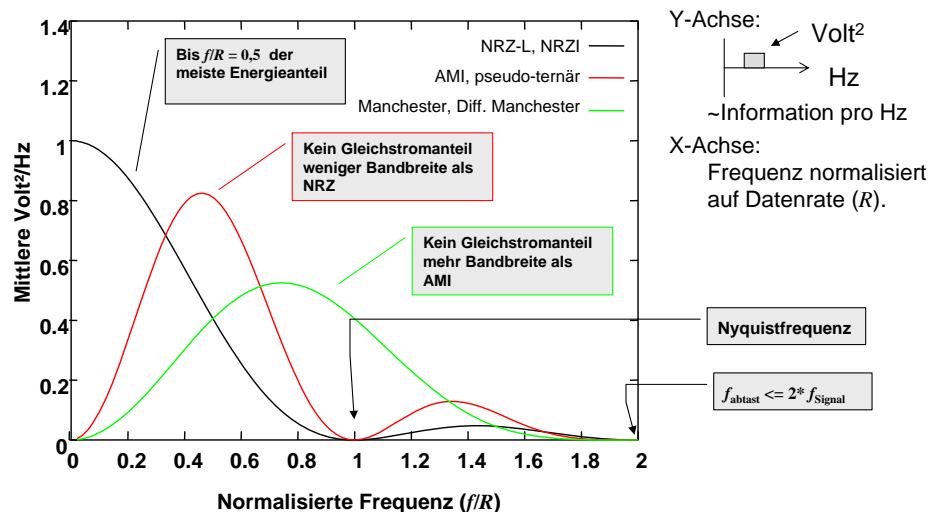
28



29

- Signalspektrum (Kriterien)
    - Geringer Anteil an hohen Frequenzen
      - ▶ zur Übertragung wird weniger Bandbreite benötigt
    - Gleichstromfreiheit
      - ▶ es sollte kein Strom fließen
    - Einfluss der Kriterien auf Verzerrung und Interferenz
      - ▶ Abhängig von den Eigenschaften des Spektrums der Übertragung
- Generell gilt: Die Übertragungseigenschaften eines Kanals werden an den Bandbreitengrenzen schlechter
- ➔ Bei gutem „Signal-Design“ ist die Übertragungsenergie in der Mitte der Bandbreite am höchsten

30



31

- Ziel des Einsatz von Blockcodes
  - Vermeiden der Probleme von NRZ-Codes
    - ▶ Taktrückgewinnung wegen langer „0“ bzw. „1“-Folgen nicht möglich
  - Vermeiden der Ineffizienz des Manchester Codes
    - ▶ Hohe Baudrate
    - ▶ Im schlechtesten Fall nur Effizienz von 50%
- Grundlegende Idee
  - Blockcode Block1/Block2
    - ▶ Block1 der Daten wird als Block2 codiert
    - ▶ Nur eine Untermenge aller möglichen Bitmuster von Block2 wird genutzt
    - ▶ Auswahl der Bitmuster derart, dass eine Taktrückgewinnung immer möglich ist
      - ▶ Keine langen „0“ bzw. „1“-Folgen

32



## Funktionsweise

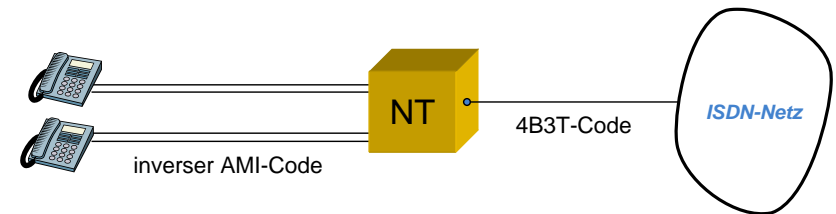
- Nutzung eines zusätzlichen Bits, um lange „0“ bzw. „1“-Folgen zu vermeiden
  - 4-Bit Daten werden in 5-Bit Blöcken kodiert
    - Nicht mehr als eine führende „0“
    - Nicht mehr als zwei abschließende „0“
- Als Leitungscode wird der NRZ-I-Code verwendet
  - 80% Effizienz
- Einsatzbeispiel: Fast Ethernet
- Weitere Beispiele für Blockcodes
  - 8B/6T
    - 8-Bit Daten werden in 6 ternären Blöcken kodiert
  - 8B/10B
    - Bessere Übertragungseigenschaften und Fehlerkorrektur als 4B/5B

4-Bit Daten	5-Bit Code
0000	11110
0001	01001
0010	10100
0011	10101
0100	01010
0101	01011
0110	01110
0111	01111
1000	10010
1001	10011
1010	10110
1011	10111
1100	11010
1101	11011
1110	11100
1111	11101

33

## 4B3T

- Auch als MMS43 (Modified Monitored Sum) bezeichnet
- 4 binäre Schritte werden auf 3 ternäre Schritte abgebildet
  - Auswahl der Folge so, dass gleichspannungsfreie ternäre Folge entsteht
- Die Abbildung erfolgt mittels einer Tabelle
  - Besteht aus vier Alphabeten (S1–S4)
- Schrittgeschwindigkeit nach der Codierung nur noch  $\frac{3}{4}$  der ursprünglichen Schrittgeschwindigkeit
- Eingesetzt z.B. bei ISDN



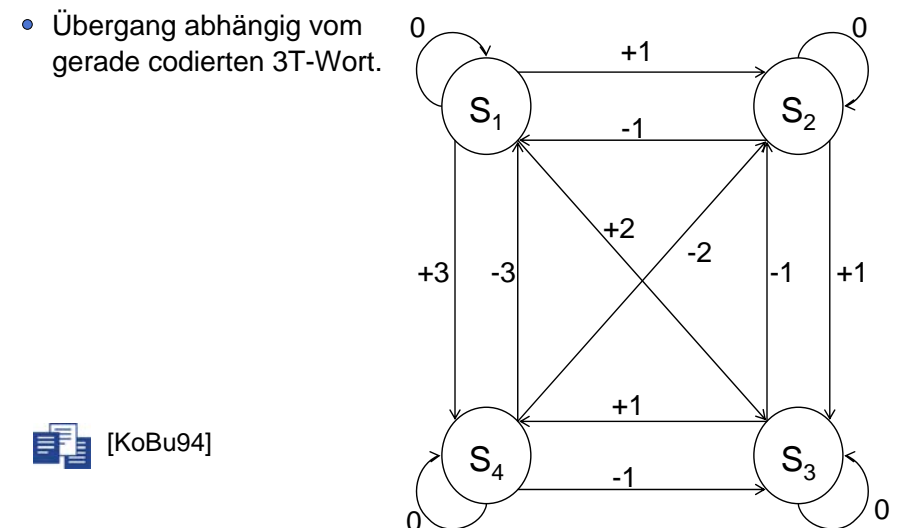
34

- Auswahl der Folge so, dass gleichstromfreie ternäre Folge entsteht  
Bsp. (Start S1) : 0011 1101 1001 1001 → 00+ 0+0 +-+ ---

	Code	S1	Next	S2	Next	S3	Next	S4	Next
1	0001	0 - +	S1	0 - +	S2	0 - +	S3	0 - +	S4
2	0111	- 0 +	S1	- 0 +	S2	- 0 +	S3	- 0 +	S4
3	0100	- + 0	S1	- + 0	S2	- + 0	S3	- + 0	S4
4	0010	+ - 0	S1	+ - 0	S2	+ - 0	S3	+ - 0	S4
5	1011	+ 0 -	S1	+ 0 -	S2	+ 0 -	S3	+ 0 -	S4
6	1110	0 + -	S1	0 + -	S2	0 + -	S3	0 + -	S4
7	1001	+ - +	S2	+ - +	S3	+ - +	S4	+ - +	S1
8	0011	0 0 +	S2	0 0 +	S3	0 0 +	S4	- - 0	S2
9	1101	0 + 0	S2	0 + 0	S3	0 + 0	S4	- 0 -	S2
10	1000	+ 0 0	S2	+ 0 0	S3	+ 0 0	S4	0 - -	S2
11	0110	- + +	S2	- + +	S3	- + +	S2	- + +	S3
12	1010	+ + -	S2	+ + -	S3	+ + -	S2	+ + -	S3
13	1111	+ + 0	S3	0 0 -	S1	0 0 -	S2	0 0 -	S3
14	0000	+ 0 +	S3	0 - 0	S1	0 - 0	S2	0 - 0	S3
15	0101	0 + +	S3	- 0 0	S1	- 0 0	S2	- 0 0	S3
16	1100	+ + +	S4	- + -	S1	- + -	S2	- + -	S3

35

- Zustandsübergänge zwischen den vier Alphabeten



[KoBu94]

36

### Ethernet

	10Base5	10Base2	10Base-T
Medium	Koaxialkabel		Twisted Pair
Kodierung	Manchester		
Topologie	Bus		Stern

### Fast Ethernet

	100Base-T	100Base-T4	100Base-Tx	100Base-Fx
Medium	Twisted Pair			Glasfaser
Kodierung	Manchester	8B/6T NRZ	4B/5B NRZI & MLT-3	4B/5B NRZI
Topologie	Stern			

### Gigabit Ethernet and beyond

	1000Base-SX	1000Base-T	10GBase-SR	10GBase-T
Medium	Glasfaser	Twisted Pair	Glasfaser	Twisted Pair
Kodierung	8B/10B NRZ	PAM-5 & Trellis	66B/68B	PAM-16 & DSQ128
Topologie	Stern			

37

### Signalübertragung

- Fehlerquellen von Leitungscodes
  - z.B. Dämpfung, Rauschen, Verzögerungsverzerrung
- Funktionsweise und Eigenschaften von Leitungscodes
- Bewertung unterschiedlicher Kodierungen
- Verbesserung verschiedener Eigenschaften durch
  - Blockcodes

38

### Bücher

[KoBu94] P. Kowalk, M. Burke; **Rechnernetze**; Teubner Verlag, 1994

- Leitungskodierung

[Kros98] K. Kroschel; **Datenübertragung – Eine Einführung**; Springer-Verlag, Broschiert, 1998

- Kapitel 4

[Stal06] W. Stallings; **Data & Computer Communications**; Pearson Prentice Hall, 8th Edition, 2006

- Kapitel 3 und 4: Übertragungstechnik
- Kapitel 5: Signalkodierung

### Vertiefende Literatur

[Free98] R. Freeman; **Bits, Symbols, Bauds, and Bandwidth**; IEEE Communications Magazine, Vol. 36, Issue 4, April 1998, pp. 96-99

39

- Wieso ist die Taktrückgewinnung bei Leitungscodes wichtig?
- Welche Probleme entstehen durch Dämpfung und wie kann man diesen entgegenwirken?
- Was ist der Unterschied zwischen Bit- und Baudrate?
- Vergleichen Sie die unterschiedlichen Kodierungs-Verfahren im Hinblick auf Taktrückgewinnung und Gleichstromfreiheit.
- Aus welchem Grund verwendet man Blockcodes?
- Es soll eine digitale Übertragung mit 9600 bit/s ermöglicht werden. Ein Signal kodiert dabei ein 4-Bit-Wort. Welche minimale Bandbreite muss der Kanal zur Verfügung stellen?

40