Systeme II

CoNe
Freiburg

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

Christian Schindelhauer
Sommersemester 2006
8. Vorlesung
18.04.2006
schindel@informatik.uni-freiburg.de

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

Die Sicherungsschicht

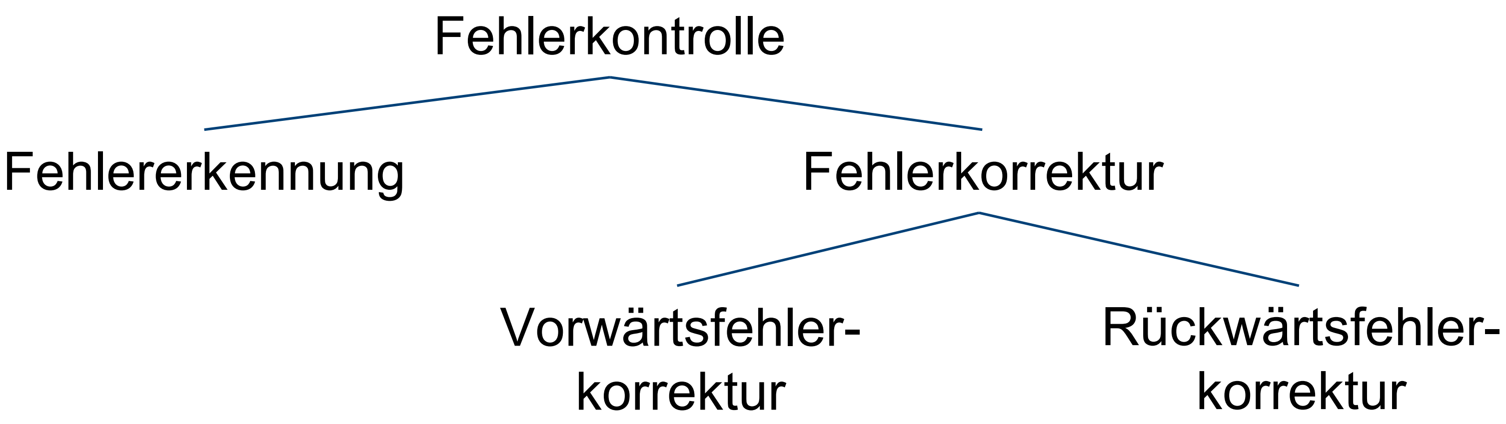
- **Aufgaben der Sicherungsschicht**
  - Dienste für die Vermittlungsschicht
  - Frames
  - Fehlerkontrolle
  - Flusskontrolle
- **Fehlererkennung und Korrektur**
  - Fehlerkorrigierende Kodierungen
  - Fehlererkennende Kodierungen
- **Elementare Sicherungsprotokolle**
  - Simplex
  - „Stop-and-Wait"
  - „Noisy Channel"
- **„Sliding Window"**
  - „1-Bit-Sliding Window"
  - „Go Back N"
  - „Selective Repeat"
- **Protokollverifikation**
  - Endliche Automaten
  - Petrinetze
- **Beispiele**
  - HDLC
  - Internet (PPP)

Einige Folien aus diesem Kapitel
sind aus der Vorlesung „Computer Networks"
von Holger Karl (Universität Paderborn)
übersetzt und „entliehen" worden

Fehlerkontrolle

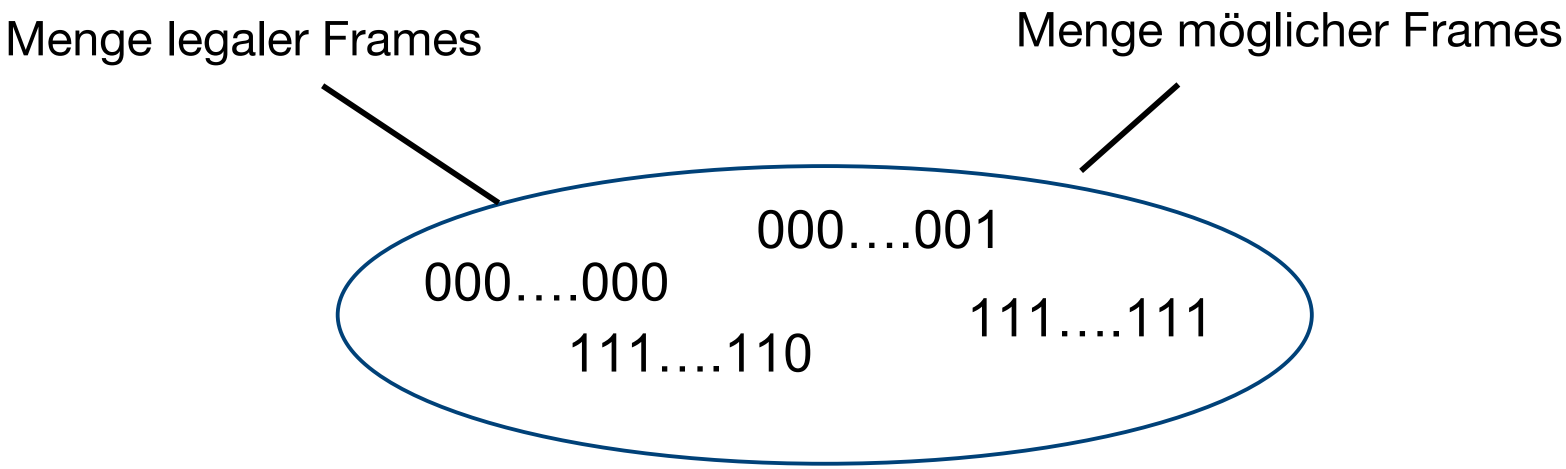
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

- **Zumeist gefordert von der Vermittlungsschicht**
  - Mit Hilfe der Frames
- **Fehlererkennung**
  - Gibt es fehlerhaft übertragene Bits
- **Fehlerkorrektur**
  - Behebung von Bitfehlern
  - Vorwärtsfehlerkorrektur (Forward Error Correction)
    - Verwendung von redundanter Kodierung, die es ermöglicht Fehler ohne zusätzliche Übertragungen zu beheben
  - Rückwärtsfehlerkorretur (Backward Error Correction)
    - Nach Erkennen eines Fehlers, wird durch weitere Kommunikation der Fehler behoben



Redundanz

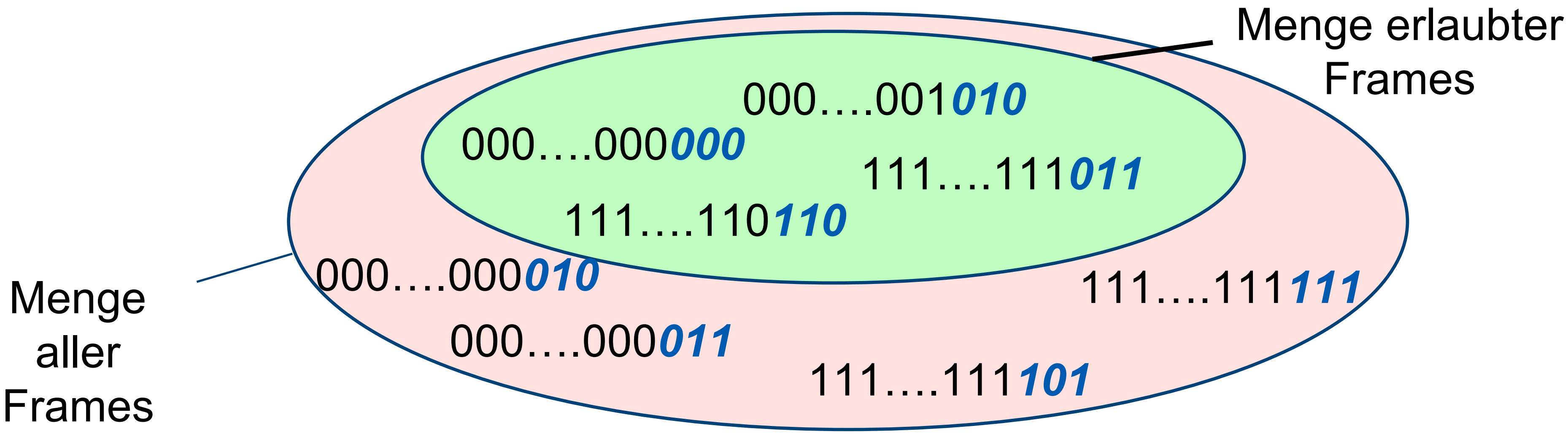
- **Redundanz ist eine Voraussetzung für Fehlerkontrolle**
- **Ohne Redundanz**
  - Ein Frame der Länge m kann 2^m mögliche Daten repräsentieren
  - Jede davon ist erlaubt
- **Ein fehlerhaftes Bit ergibt einen neuen Dateninhalt**



Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

Redundanz

- **Kernidee:**
  - Einige der möglichen Nachrichten sind verboten
  - Um dann 2^m legale Frames darzustellen
    - werden mehr als 2^m mögliche Frames benötigt
    - Also werden mehr als m Bits in einem Frame benötigt
  - Der Frame hat also Länge $n > m$
  - *r=m-n sind die* redundanten Bits
    - z.B. Im Header oder Trailer
- **Nur die Einschränkung auf erlaubte und falsche (legal/illegal) Frames ermöglicht die Fehlerkontrolle**



Einfachste Redundanz: Das Paritätsbit

- **Eine einfache Regel um ein redundantes Bit zu erzeugen (i.e., n=m+1): Parität**
  - **Odd parity**
    - Eine Eins wird hinzugefügt, so dass die Anzahl der 1er in der Nachricht ungerade wird (ansonsten eine Null)
  - **Even parity**
    - Eine Eins wird hinzugefügt, so dass die Anzahl der 1er in der Nachricht gerade wird (ansonsten wird eine Null hinzugefügt)

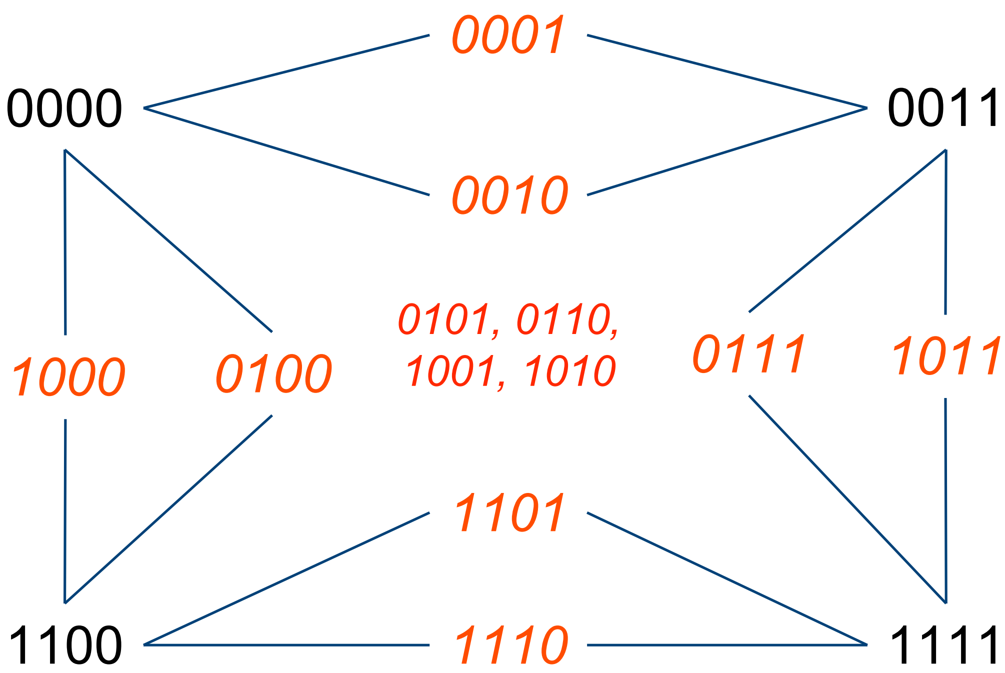
- **Example:**
  - Originalnachricht ohne Redundanz: 01101011001
  - Odd parity: 01101011001***1***
  - Even parity: 01101011001***0***

Der Nutzen illegaler Frames

- **Der Sender sendet nur legale Frames**
- **In der Bitübertragungsschicht könnten Bits verfälscht werden**
- **Hoffnung:**
  - Legale Frames werden nur in illegale Nachrichten verfälscht
  - Und niemals ein legaler Frame in einem Illegalem
- **Notwendige Annahme**
  - In der Bitübetragungsschicht werden nur eine bestimmte Anzahl von Bits verändern
    - z.B. k bits per frame
  - Die legalen Nachrichten sind verschieden genug, um diese Frame-Fehlerrate zu erkennen

Veränderung der Frames durch Bitfehler

- **Angenommen die foglenden Frames sind legal: 0000, 0011, 1100, 1111**



Kanten verbinden Frames, die sich nur in einem Bit unterscheiden

uvxy – legal *abcd* – illegal

Ein einfacher Bitfehler kann legale Frames nicht in Illegale umformen!

Hamming Distanz

- **Der "Abstand" der erlaubten Nachrichten zueinander war immer als zwei Bits**
- **Definition: Hamming-Distanz**
  Seien $x=x_1,\ldots, x_n$ und $y=y_1,\ldots, y_n$ Nachrichten
  Dann sei d(x,y) = die Anzahl der 1er Bits in x XOR y
- **Intuitiver: die Anzahl der Positionen, in denen sich x und y unterscheiden**
- **Die Hamming-Distanz ist eine Metrik**
  – Symmetrie, Dreiecksungleichung

Beispiel:

x=0011010111
y=0110100101
x XOR y=0101110010

d(x,y) = 5

Hamming-Distanz von Nachrichtenmengen

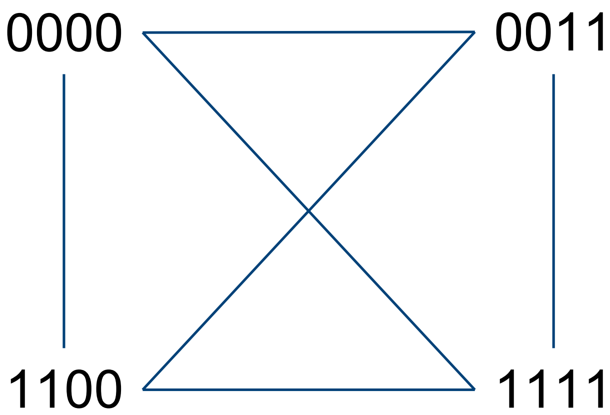
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

- **Die Hamming-Distanz einer Menge von (gleich langen) Bit-Strings S ist:**

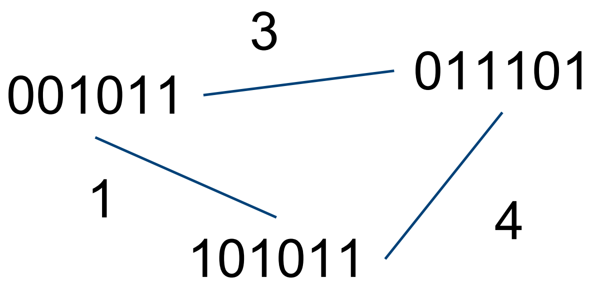
$$d(S) = \min_{x,y \in S, x \neq y} d(x,y)$$

  – d.h. der kleinste Abstand zweier verschiedener Worte in S

Beispiel:



Alle Abstände sind 2



Ein Abstand ist 1!

Erkennung und Korrektur mit Hamming-Distanzen

1. Fall d(S)=1

- Keine Fehlerkorrektur
- Alle legalen Frames unterscheiden sich in einem Bit

2. Fall d(S) = 2

- Dann gibt es nur $x,y \in S$ $d(x,y) = 2$
- Somit ist jedes u mit $d(x,u) = 1$ illegal,
  - wie auch jedes u with $d(y,u)=1$

$$x \xrightarrow{\text{1 Bit Unterschied}} u \xrightarrow{\text{1 Bit Unterschied}} y$$

- 1-Bit-Fehler
  - können immer erkannt werden
  - aber nicht korrigiert werden

Erkennung und Korrektur mit Hamming-Distanzen

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

3. Fall d(S) = 3

- Dann gibt es nur $x,y \in S$ mit $d(x,y) = 3$
- Jedes u mit $d(x,u) = 1$ illegal und $d(y,s) > 1$

$$x \xrightarrow{\text{1 Bit Unterschied}} s \xrightarrow{\text{1 Bit Unterschied}} u \xrightarrow{\text{1 Bit Unterschied}} y$$

- Falls u empfangen wird, sind folgende Fälle denkbar:
  - x wurde gesendet und mit 1 Bit-Fehler empfangen
  - y wurde gesendet und mit 2 Bit Fehler empfangen
  - Etwas anderes wurde gesendet und mit mindestens 2 Bit-Fehlern empfangen
- Es ist also wahrscheinlicher, dass x gesendet wurde, statt y

Erkennung und Korrektur mit Hamming-Distanzen

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

- **Um d Bit Fehler zu erkennen ist eine Hamming-Distanz von d+1 in der Menge der legalen Frames notwendig**

- **Um d Bit Fehler zu korrigieren, ist eine Hamming-Distanz von 2d+1 in der Menge der legalen Frames notwendig**

Codebücher und Kodierungen

- **Die Menge der legalen Frames $S \in \{0,1\}^n$ wird das Code-Buch oder einfach Kodierung genannt.**
  - Die Rate R eines Codes S ist definiert als
    - Die Rate charakterisiert die Effizienz des Codes

$$R_S = \frac{\log |S|}{n}$$

  - Die Distanz δ des Codes S ist definiert als
    - charakterisiert die Fehlerkorrektur oder Fehlererkennungsmöglichkeiten

$$\delta_S = \frac{d(S)}{n}$$

- **Gute Codes haben hohe Raten und hohe Distanz**
  - Beides lässt sich nicht zugleich optimieren

Block-Codes

- **Block-Codes kodieren k Bits Originaldaten in n kodierte Bits**
  - Zusätzlich werden n-k Symbole hinzugefügt
  - Binäre Block-Codes können höchstens bis zu t Fehler in einem Code-Wort der Länge n mit k Originalbits erkennen, wobei (Gilbert-Varshamov-Schranke):

$$2^{n-k} \geq \sum_{i=0}^{t} \binom{n}{i}$$

  - Das ist eine theoretische obere Schranke
- **Beispiele**
  - Bose Chaudhuri Hocquenghem (BCH) Codes
    - basierend auf Polynomen über endlichen Körpern (Galois-Körpern)
  - Reed Solomon Codes
    - Spezialfall nichtbinärer BCH-Codes

Ende der 8. Vorlesung

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

Systeme II
Christian Schindelhauer
schindel@informatik.uni-freiburg.de

Folien adaptiert aus
Vorlesung *Computer Networks*
von Holger Karl
Universität Paderborn