



openHPI-Kurs: Wie funktioniert das Internet?

Exkurs: Fehlererkennung

Matthias Bauer
Hasso-Plattner-Institut
Universität Potsdam

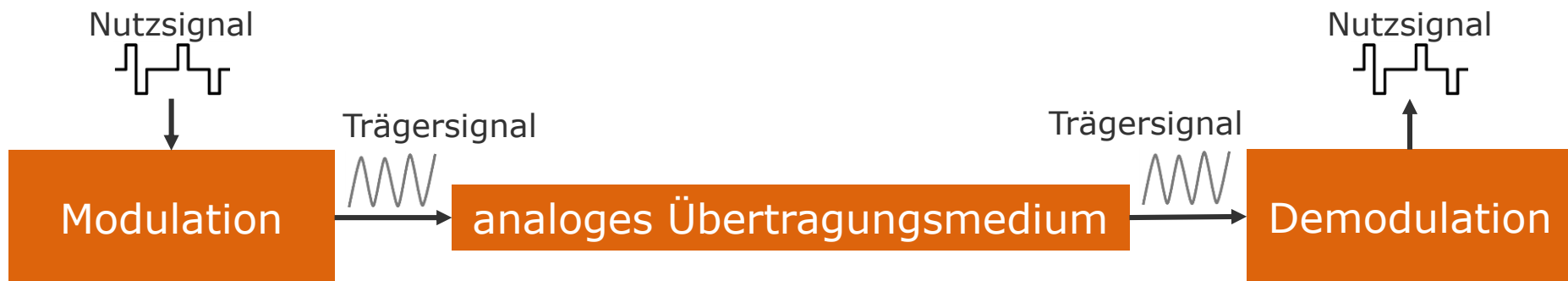
Wie entstehen Bitfehler? (1/2)

Einordnung: befinden uns in unterster Schicht

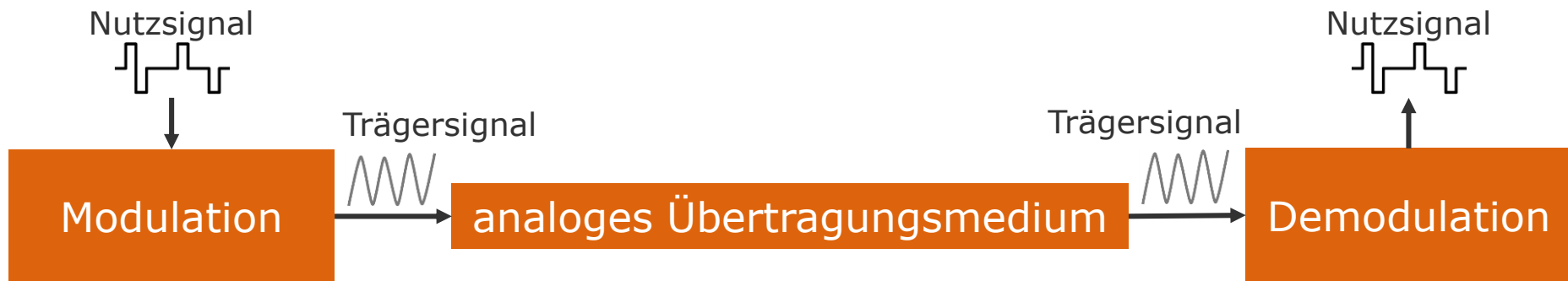
→ Übertragung von Daten über

- Kupferkabel
- Glasfaserkabel
- Luft

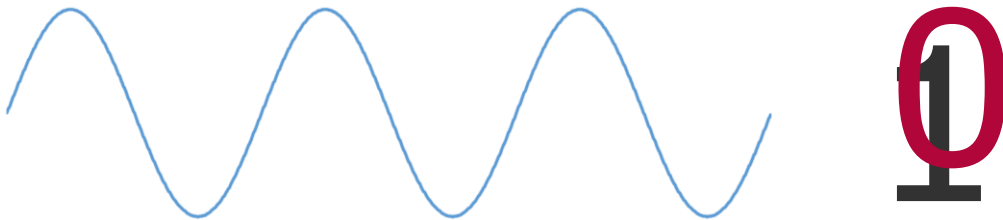
Digitale Daten müssen über analoges Medium übertragen werden.



Wie entstehen Bitfehler? (2/2)



Fehler durch Dämpfung, Interferenzen, Rauschen...



Fehlererkennung durch Paritätsbits

- Codewort z.B. 11001
- Gerade Parität: Anzahl der Einsen ist gerade (even parity)
- Ungerade Parität: Anzahl der Einsen ist ungerade (odd parity)
- Codewort + Paritätsbit
 - gerade Parität 11001**1**
 - ungerade Parität 11001**0**
- Nur ein einziger Fehler erkennbar – und nicht korrigierbar
- Auch mehrere Paritätsbits verwendbar...

Fehlererkennung durch Prüfsummen

Prüfsumme/Checksum

- Idee: Übertragung des Codes + Summe der einzelnen Werte des Codes

Beispiel für 16-Bit-Prüfsummenberechnung

H	e	l	l	o	o	w	o	r	l	d	!
48	65	6C	6C	6F	20	77	6F	72	6C	64	21

$$4865 + 6C6C + 6F20 + 776F + 726C + 6421 = 2.71ED$$

mehr als 16 Bit → Übertrag aufaddieren: $71ED + 2$

Prüfsumme = 71EF

→ Übertragung von Nachricht und Prüfsumme

Fehlererkennung durch Prüfsummen

CRC – Cyclic Redundancy Check

Beispiel: CRC-5 (USB) $G(x) = x^5 + x^2 + 1$ 100101

Prüfbits ermitteln

110010100000 : 100101

100101

101111

100101

101000

100101

110100

100101

100010

100101

00111

Empfangenen Bitstring überprüfen

110010100111 : 100101

100101

101111

100101

101000

100101

110111

100101

100101

100101

0 → OK!

Hamming-Distanz: Anzahl ungleicher Bits von zwei Bit-Strings

Code-Wörter	Hamming-Distanz	erkennbare u.	korrigierbare Fehler
0,1	1	0	0
00, 11	2	1	0
000, 111	3	1	1
0000, 1111	4	2	1
...	...	...	...
	h		$(h-1)/2$

Allgemein: $h=2r+1$

d.h. bei Hamming-Distanz von h sind r Bitfehler korrigierbar.

(15,11)-Hamming-Code

Ermittlung der Prüfbits

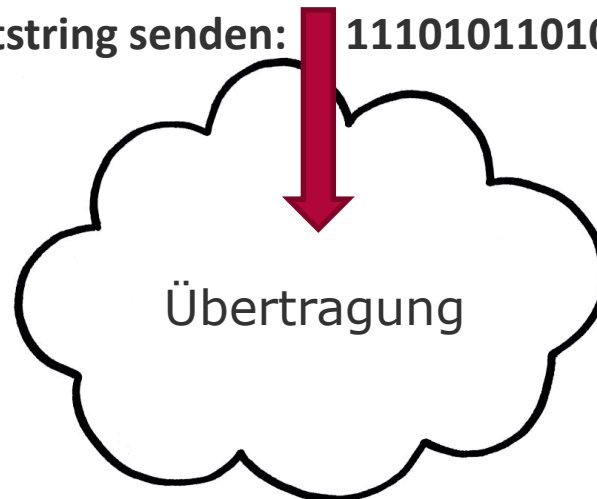
Nachricht + Prüfbits = zu übertragender Bitstring

11101010100 $P_3 P_2 P_1 P_0$ 1 1 1 0 1 0 1 P_3 0 1 0 P_2 0 $P_1 P_0$
 (11 Bit) (4 Bit) (15 Bit)

Sender

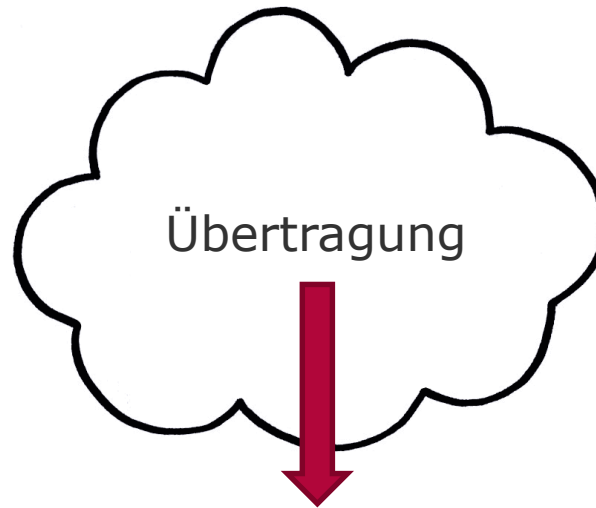
	1	1	1	0	1	0	1	P_3	0	1	0	P_2	0	P_1	P_0		Parity Bit
Bit	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	$\Sigma(1)$	
$2^0 = 1$	1		1		1		1									4	$\rightarrow P_0 = 0$
$2^1 = 2$	1	1			1					1						4	$\rightarrow P_1 = 0$
$2^2 = 4$	1	1	1							1						4	$\rightarrow P_2 = 0$
$2^3 = 8$	1	1	1		1		1									5	$\rightarrow P_3 = 1$

Bitstring senden: 111010110100000



(15,11)-Hamming-Code

Überprüfung der empfangenen Daten



Bitstring gesendet: 111010110100000

Bitstring empfangen: 1**0**1010110100000

Empfänger

	1	0	1	0	1	0	1	P ₃ 1	0	1	0	P ₂ 0	0	P ₁ 0	P ₀ 0		Fehler-Bit
Bit	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Σ(1)	
2 ⁰ = 1	1		1		1		1									4	0
2 ¹ = 2	1				1					1						3	1
2 ² = 4	1		1							1						3	1
2 ³ = 8	1		1		1		1	1								5	1