

Drahtlose Netzwerke

Grundlagen und Einsatzfelder

Bitübertragungsschicht

(PHY-Layer)

IEEE 802.11

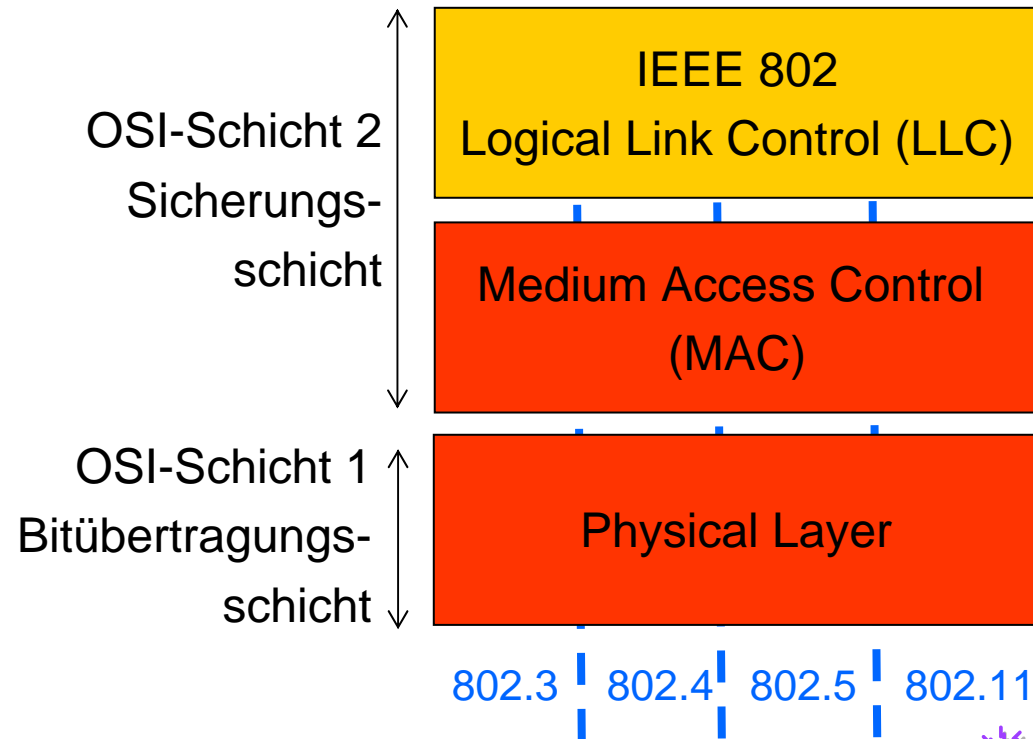
IEEE 802

➤ Standards für LANs (Local Area Networks)

➤ z.B.

- 802.3 – Ethernet
- 802.4 – Tokenbus
- 802.5 – Tokenring
- 802.11 – WLAN
- 802.15 – Bluetooth

➤ Definiert OSI-Schicht 1 u. 2



802.11: Schichten und Funktionen

➤ MAC

- Zugriffsmechanismus, Fragmentierung, Verschlüsselung

➤ MAC Management

- Synchronisierung, Roaming, MIB, Power

➤ PLCP

- Clear Channel Assessment Signal (Carrier Sense)

➤ PMD

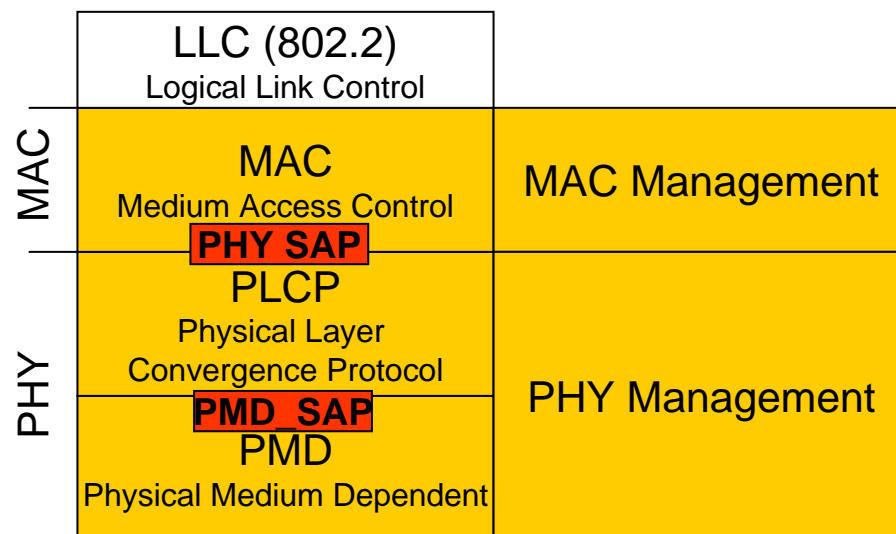
- Modulation, Codierung

➤ PHY Management

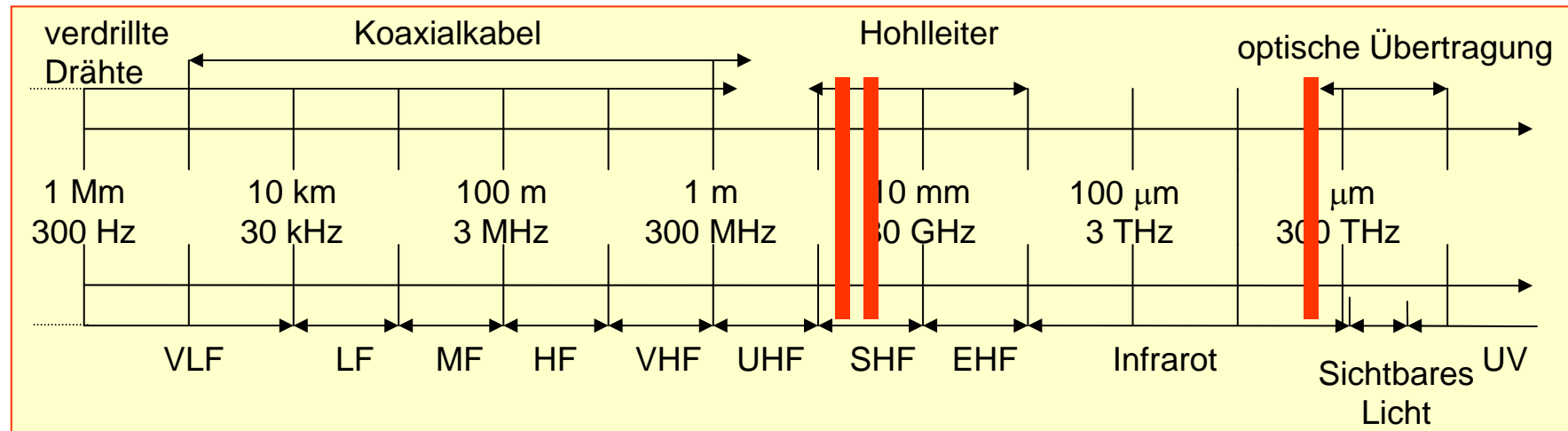
- Kanalwahl, MIB

➤ Station Management

- Koordination der Management-Funktionen



Benutzte Frequenzbereiche 802.11



➤ 2,4000 – 2,4835 GHz

- ISM-Band (Industrial, Scientific, Medical)
- IEEE 802.11, 802.11b

➤ 5 GHz

- HIPERLAN/2, 802.11a, 802.11h

➤ Infrarot (850-950nm, bzw. 316 THz – 353 THz)



Übertragungstechniken 802.11

- **Infrarot**
 - 1 und 2 Mb/s
- **FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)**
 - ISM-Band
 - 1 und 2 Mb/s
- **DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)**
 - ISM-Band
 - 1, 2, 5.5 und 11 Mb/s
- **PBCC (Packet Binary Convolutional Code)**
 - nur optional in 802.11b; 5.5 und 11 Mb/s (TI: 22 und 44 Mb/s)
- **OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)**
 - 5 GHz-Band
 - 6 – 54 Mb/s



Das Multiple-Access-Problem

- Zugang mehrerer Benutzer auf das gleiche Frequenzband

1. Beliebige Benutzer, z.B.

- verschiedene WLAN-Standards
- Mikrowellenöfen
- (analoge) ISM-Anwendungen

**Physical
Layer**

2. Verschiedene Benutzer eines Systems

- Stationen eines WLANs

**MAC
Layer**



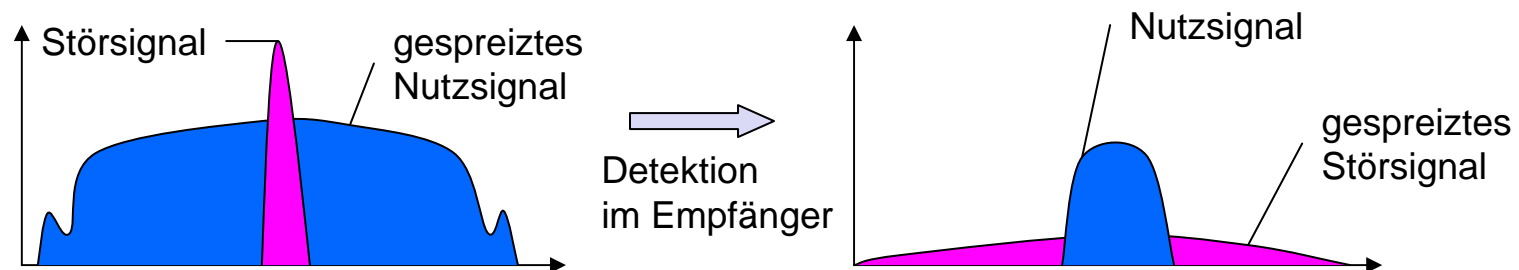
Bandspreizung (Spread Spectrum)

- Lösung des MA-Problems auf dem PHY:
 1. Spreizung der Informationen auf einen größeren Frequenzbereich
 - Weniger Leistungsdichte pro Einzelfrequenz
 2. Spreizung durch einen Code
 - Nur Sender und Empfänger bekannt
- ➔ Recht störungsunempfindlich



Störuneempfindlichkeit

- **Problem bei Funkübertragung: frequenzabhängiges Fading löscht schmalbandige Signale für gewissen Zeitbereich aus**
 - Lösung: Signal mittels Codefolge auf breiteren Frequenzbereich spreizen
 - Schutz gegen schmalbandige Auslöschungen und Störungen

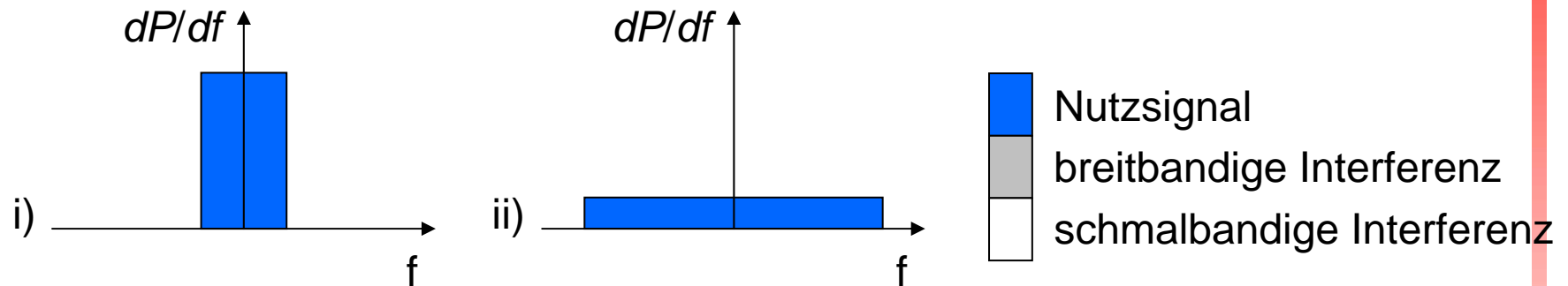


Beseitigung eines Schmalbandstörers

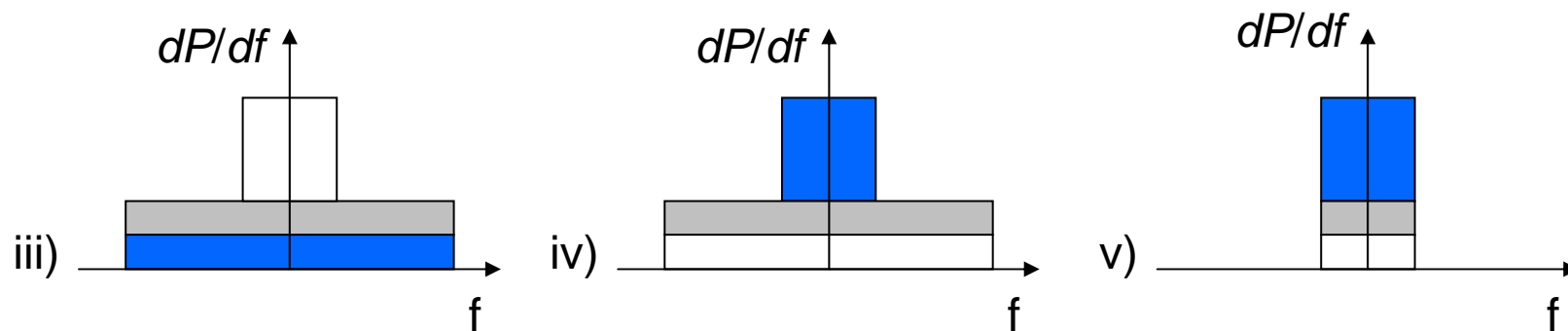
- **Nebeneffekte:**
 - Koexistenz mehrerer Nutzsignale ohne dynamische Koordination
 - Abhörsicherheit
- **Varianten: Frequency Hopping (FH), Direct Sequence (DS)**



Bandpreizung und Interferenz



Sender

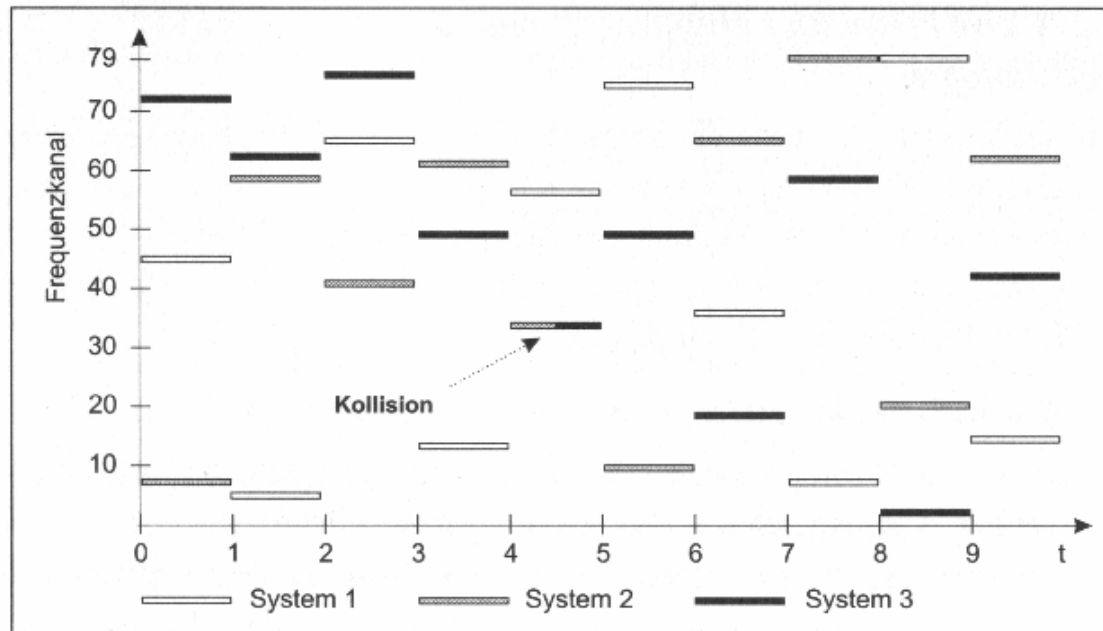


Empfänger



Frequency Hopping SS

- **Gaußsche FSK (GFSK): 2-level und 4-level**
 - „Gaußsches“: Tiefband, minimiert Spektrum
- **79 Kanäle mit 1 MHz Bandbreite**



- **Mindestens 2,5 Frequenzwechsel pro Sekunde**



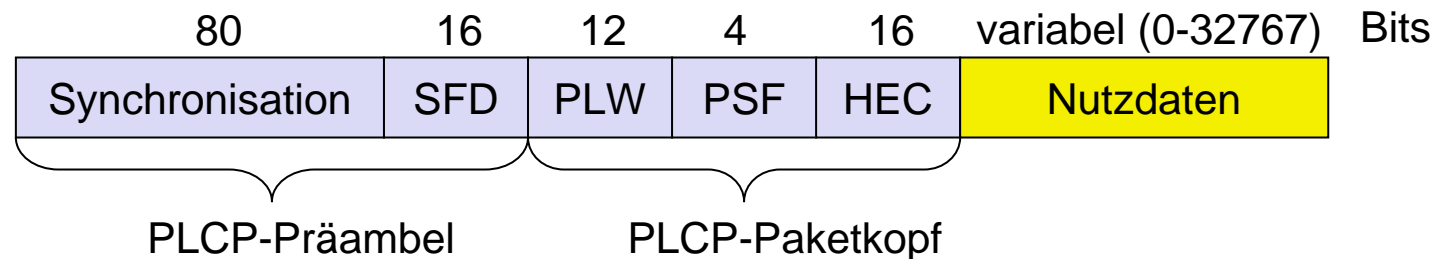
FHSS: Eigenschaften

- + CDMA - Code ist die *Hopping-Sequenz*
- + Kollision nur bei gemeinsam benutzter Frequenz
- + Hopping-Sets
 - Verschiedene Hopping-Sequenzen
 - minimieren Anzahl der Kollisionen
 - Bis zu 13 FHSS-Systeme an einem Ort
 - „schlechte“ Frequenzen stören nicht dauerhaft
- + Systeme einfach und energiesparend
- Höhere Bandbreiten als 2 Mb/s problematisch
- Hand-off (Roaming) dauert lange



FHSS: PHY Frame Format

- **Synchronisation**
 - Synch. mit 010101... Muster
 - dient als CCA
- **SFD (Start Frame Delimiter)**
 - 0000110010111101 Startmuster
- **PLW (PLCP_PDU Length Word)**
 - Länge Nutzdaten, PLW < 4096 Byte
- **PSF (PLCP Signaling Field)**
 - Art der Nutzdaten (0=1 Mb/s, 2=2 Mb/s)
- **HEC (Header Error Check)**
 - CRC mit $x^{16}+x^{12}+x^5+1$



Modulation bei FHSS

➤ Frequenzmodulation

- Gaussian Frequency Shift Keying (GFSK) -Modulation

➤ 1 Mbps – 2-Level GFSK (2GFSK)

- *Sendefrequenz* = $F_c + F_d$ zur Übertragung einer 1
- *Sendefrequenz* = $F_c - F_d$ zur Übertragung einer 0
- F_d Abweichung von d. zentralen Kanalfrequenz (min. 110 KHz)

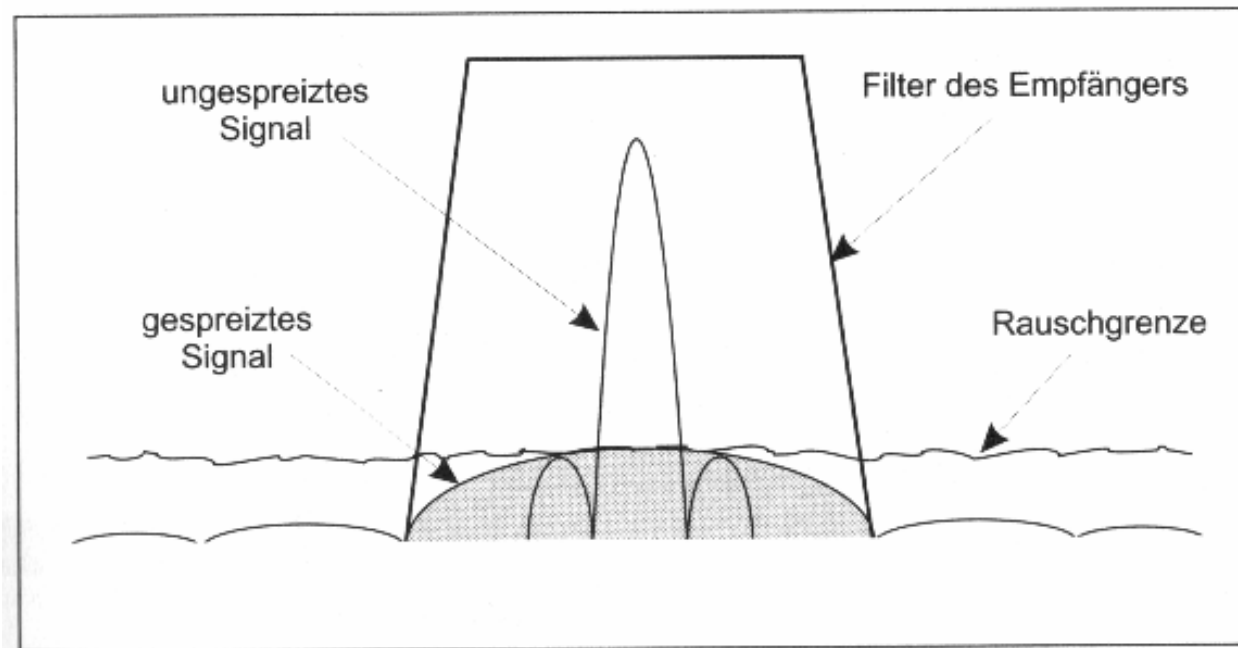
➤ 2 Mbps – 4-Level GFSK (4GFSK)

- *Sendefrequenz* = $F_c + F_d$ zur Übertragung des Symbols 10
- *Sendefrequenz* = $F_c + 1/3 F_d$ zur Übertragung des Symbols 11
- *Sendefrequenz* = $F_c - 1/3 F_d$ zur Übertragung des Symbols 01
- *Sendefrequenz* = $F_c - F_d$ zur Übertragung des Symbols 00
- F_d Abweichung von d. zentralen Kanalfrequenz (min. 202,5 KHz)



Direct Sequence SS

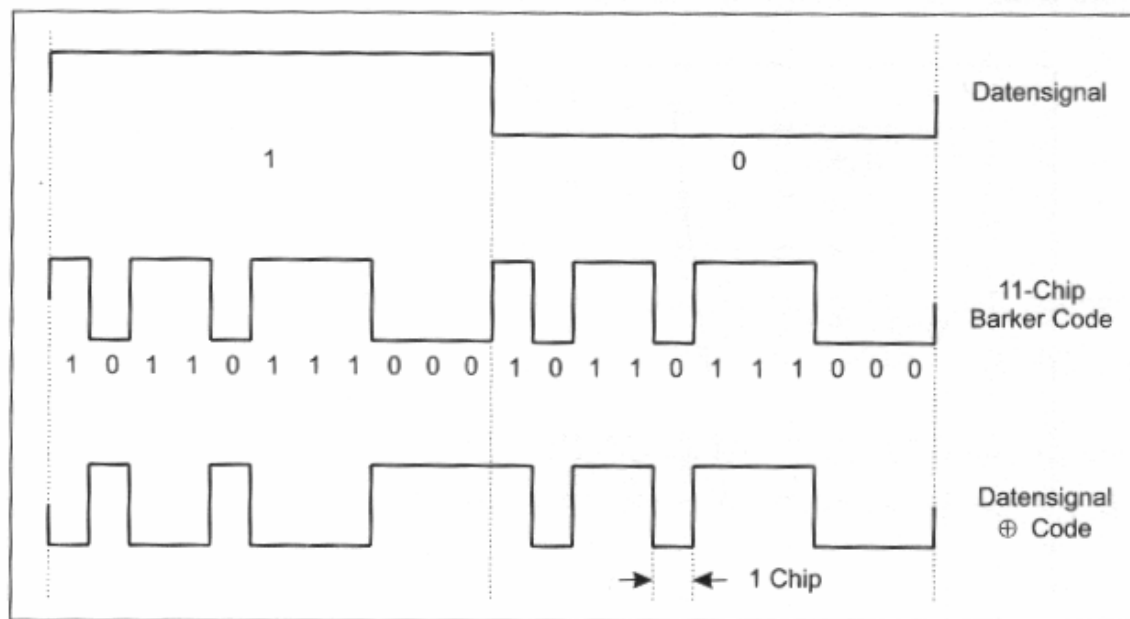
- Spreizung durch Codierung mit einem höherfrequenten Pseudo-Noise (PN)-Code
- Signalpegel unterhalb der Rauschgrenze



DSSS bei 802.11

➤ Signalspreizung durch PN-Code

- Sender: XOR der Daten mit dem *Chip-Code* 10110111000
- Chip-Rate: 11 Mbps
- Empfänger: Daten XOR Code XOR Code = Daten



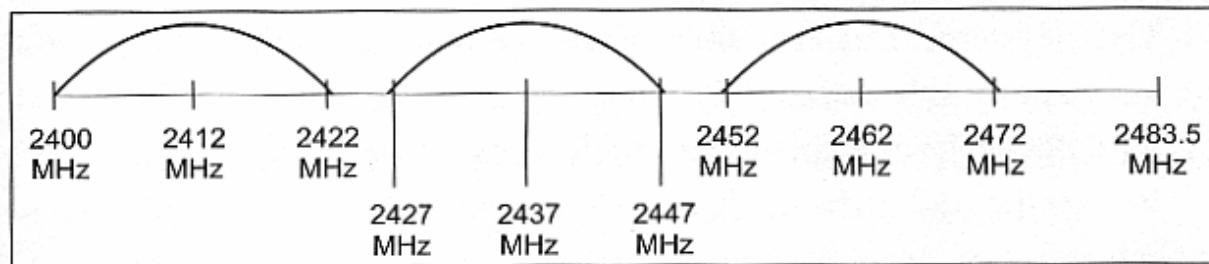
DSSS: Frequenzen und Kanäle

➤ 13 (USA 11) Kanäle mit 5 MHz Abstand

CH-ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
f [MHz]	2412	2417	2422	2427	2432	2437	2442	2447	2452	2457	2462	2467	2472
USA	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Europa	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

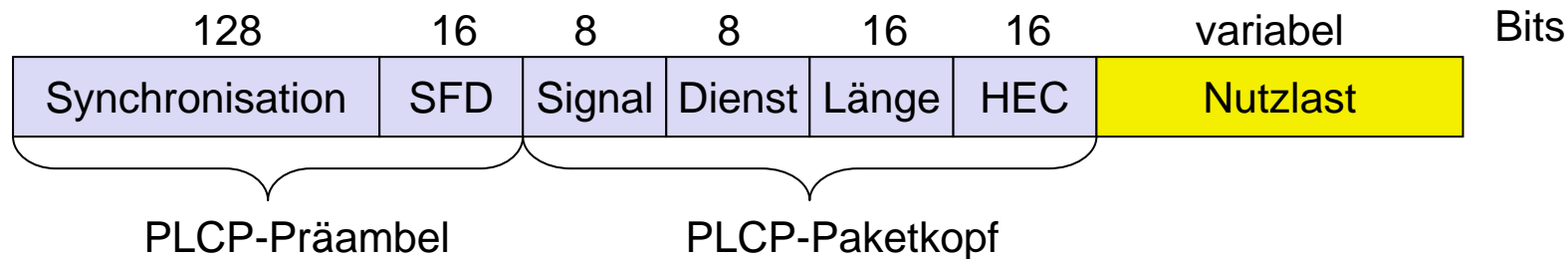
➤ Überschneidung von DSSS-Kanälen

- Bandbreite eines Kanals 22 Mhz
- Abstand min. 25 MHz



DSSS PHY Frame Format

- **Synchronisation**
 - synch., Leistungssteuerung, Signaldetektion, Frequenzanpassung
- **SFD (Start Frame Delimiter)**
 - 1111001110100000
- **Signal**
 - Datenrate der Nutzlast (0x0A = 1 Mb/s, 0x14 = 2 Mb/s)
- **Dienst (reserviert, immer 0)**
- **Länge**
 - Länge der Nutzdaten (in Mikrosekunden!)
- **HEC (Header Error Check)**
 - Schutz der Felder signal, service und length, $x^{16}+x^{12}+x^5+1$



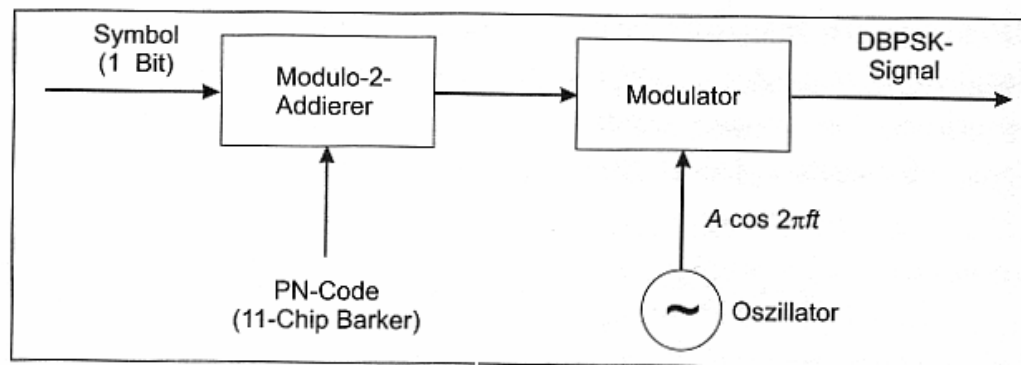
DSSS: Modulation bei 1 Mb/s

➤ Phasenmodulation

- Differential Binary Phase Shift Keying (DBPSK)-Modulation
- „Differential“ = als Referenz gilt die vorherige Phase
- Phasenverschiebung:

Eingabesymbol (Bit)	Phasenverschiebung
0	0
1	π

➤ Eine DSSS DBPSK Sendeeinheit

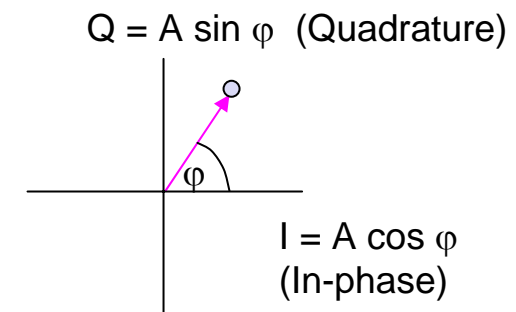
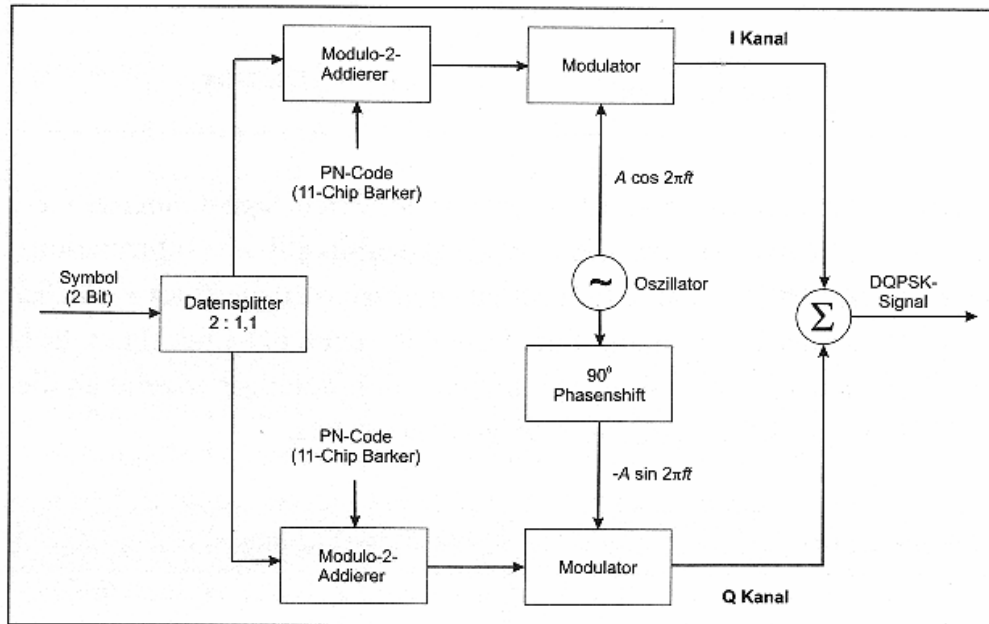


DSSS: Modulation bei 2 Mb/s (1)

➤ Phasenmodulation

- Differential Quadrature Phase Shift Keying (DQPSK)-Modulation
- Modulation in beiden Dimensionen der Phase (real und imaginär)

➤ Eine DSSS DQPSK Sendeeinheit



DSSS: Modulation bei 2 Mb/s (2)

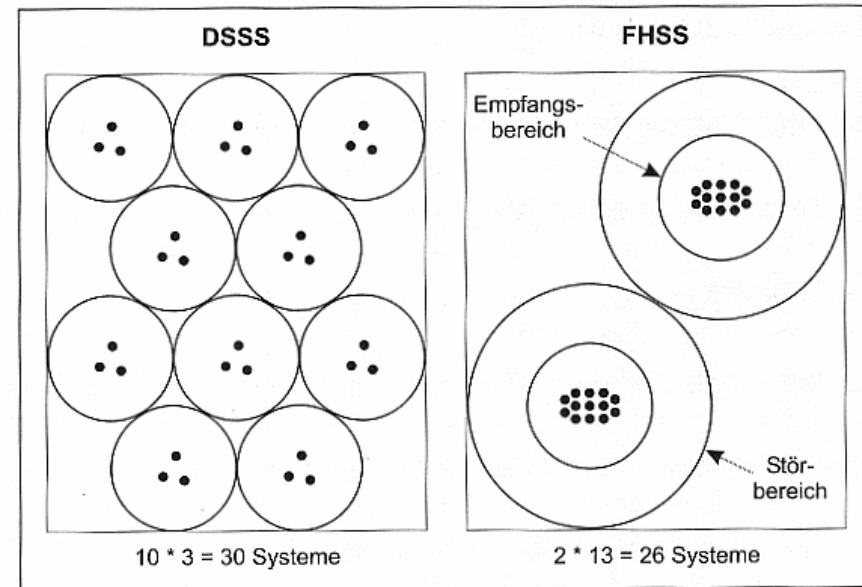
➤ Resultierende Phasenverschiebung

Eingabesymbol (2 Bits)	Phasenverschiebung
00	0
01	$\pi/2$
11	π
10	$3\pi/2$



DSSS: Eigenschaften

- drei unabhängige Kanäle an einem Ort
- Geringe gegenseitige Störanfälligkeit
- Engere Packung als bei FHSS möglich
- Komplizierter und höherer Energieverbrauch als FHSS
- Bandbreiten bis 2 Mb/s
- Hand-off (Roaming) geht schnell



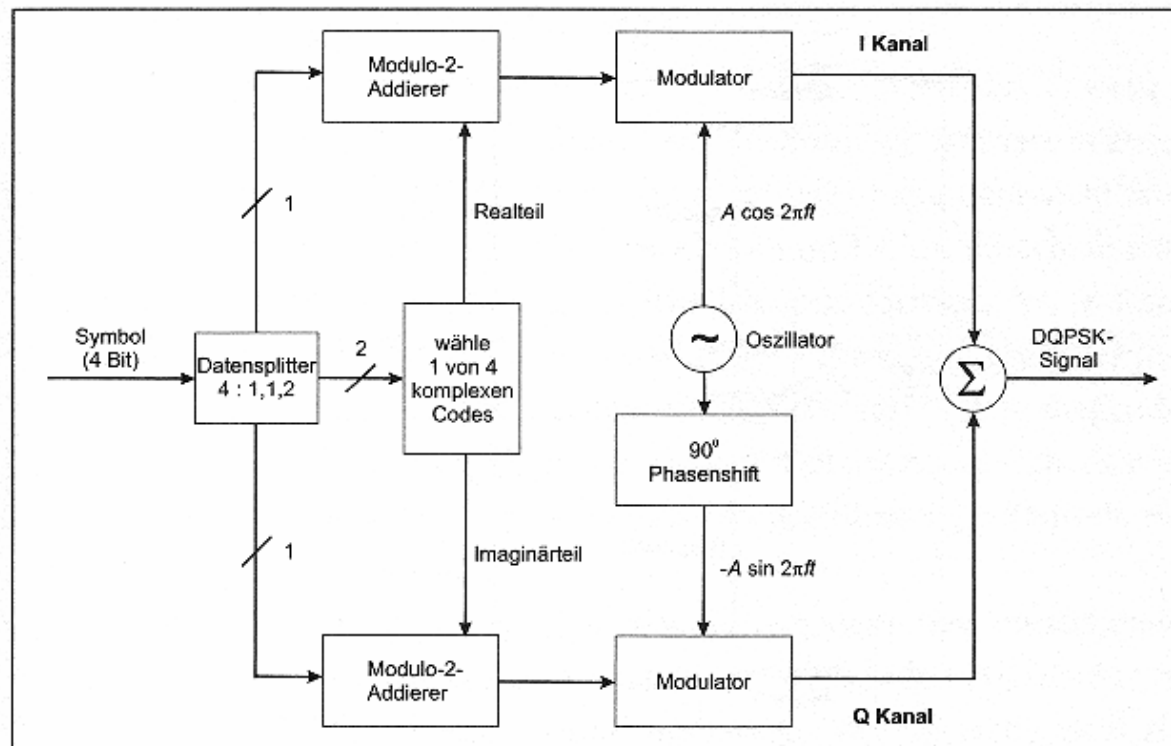
CCK-DSSS

- „Complementary Chip Keying“
- Erweiterung von DSSS
- Benutzt bei 802.11b
- Höhere Datenraten als 2 Mb/s
 - 5,5 Mbit/s und 11 Mbit/s
- Statt eines Chip-Codes nun mehrere benutzt
 - $2^2 = 4$ bei 5,5 Mbit/s
 - $2^6 = 64$ bei 11 Mbit/s
 - 8 Bit Länge (statt 11 Bit bei DSSS)
- DQPSK



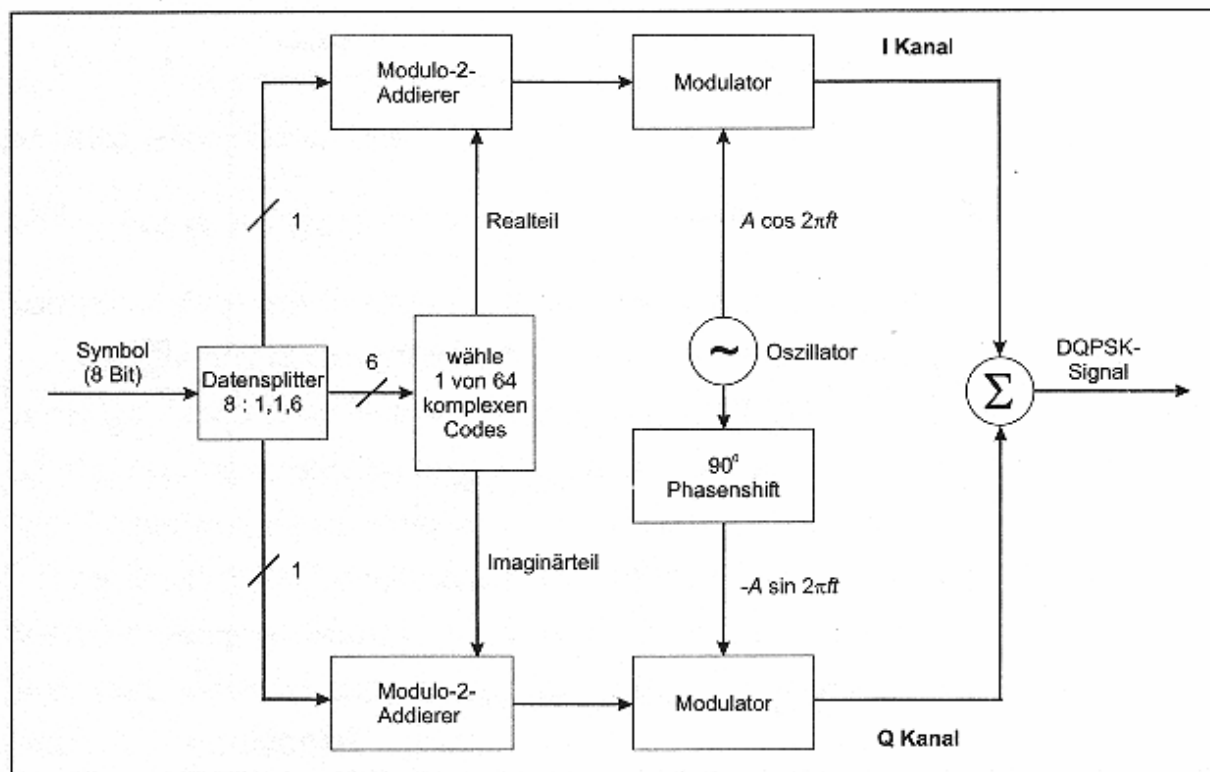
CCK-DSSS: 5,5 Mbit/s

➤ Eine DSSS CCK 5,5 Mbit/s Sendeeinheit



CCK-DSSS: 11 Mbit/s

➤ Eine DSSS CCK 11 Mbit/s Sendeeinheit



CCK-DSSS: Chip Codes

➤ Chipcodes der Länge 8, komplex

$$C = \left\{ e^{j(\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4)}, e^{j(\varphi_1 + \varphi_3 + \varphi_4)}, e^{j(\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_4)}, -e^{j(\varphi_1 + \varphi_4)}, \right. \\ \left. e^{j(\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3)}, e^{j(\varphi_1 + \varphi_3)}, -e^{j(\varphi_1 + \varphi_2)}, e^{j(\varphi_1)} \right\}$$

$$\text{für } \varphi_i \in \{0, \pi/2, \pi, 3\pi/2\}, i \in \{1, 2, 3, 4\}$$

➤ φ_1 wird wie bei der DQPSK phasenverschoben

- Bits 1 und 2 des Datenworts

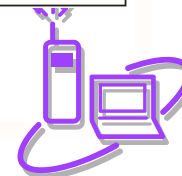
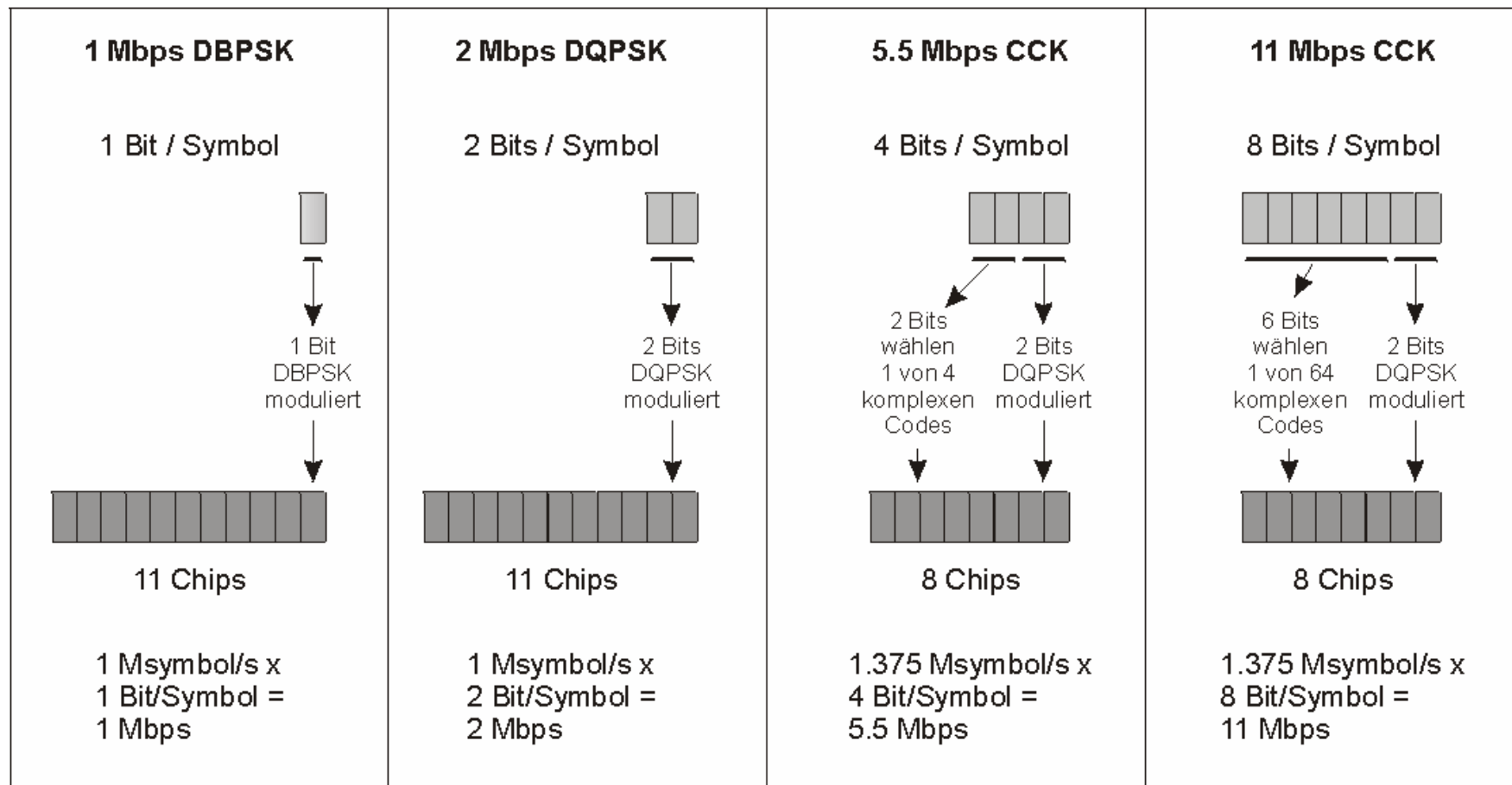
➤ $\varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ berechnen sich aus den restlichen Bit

- Bits 3-6 bei 11 Mbps
- Für jedes $\varphi_i, i \in \{2, 3, 4\}$:

Eingabesymbol (2 Bits)	Phasenverschiebung
00	0
01	$\pi/2$
10	π
11	$3\pi/2$



Varianten von DSSS im Überblick



PHY Frame Format von 802.11b

- **Ähnlich 802.11 DSSS**
- **Synchronisation**
 - 1...1 bei long, 0...0 bei short
- **SFD (Start Frame Delimiter)**
 - 1111001110100000 bei long, inverses bei short
- **Signal**
 - Datenrate in Vielfachen von 100 Kbit/s

