

WLAN-Vorlesung

Teil-2

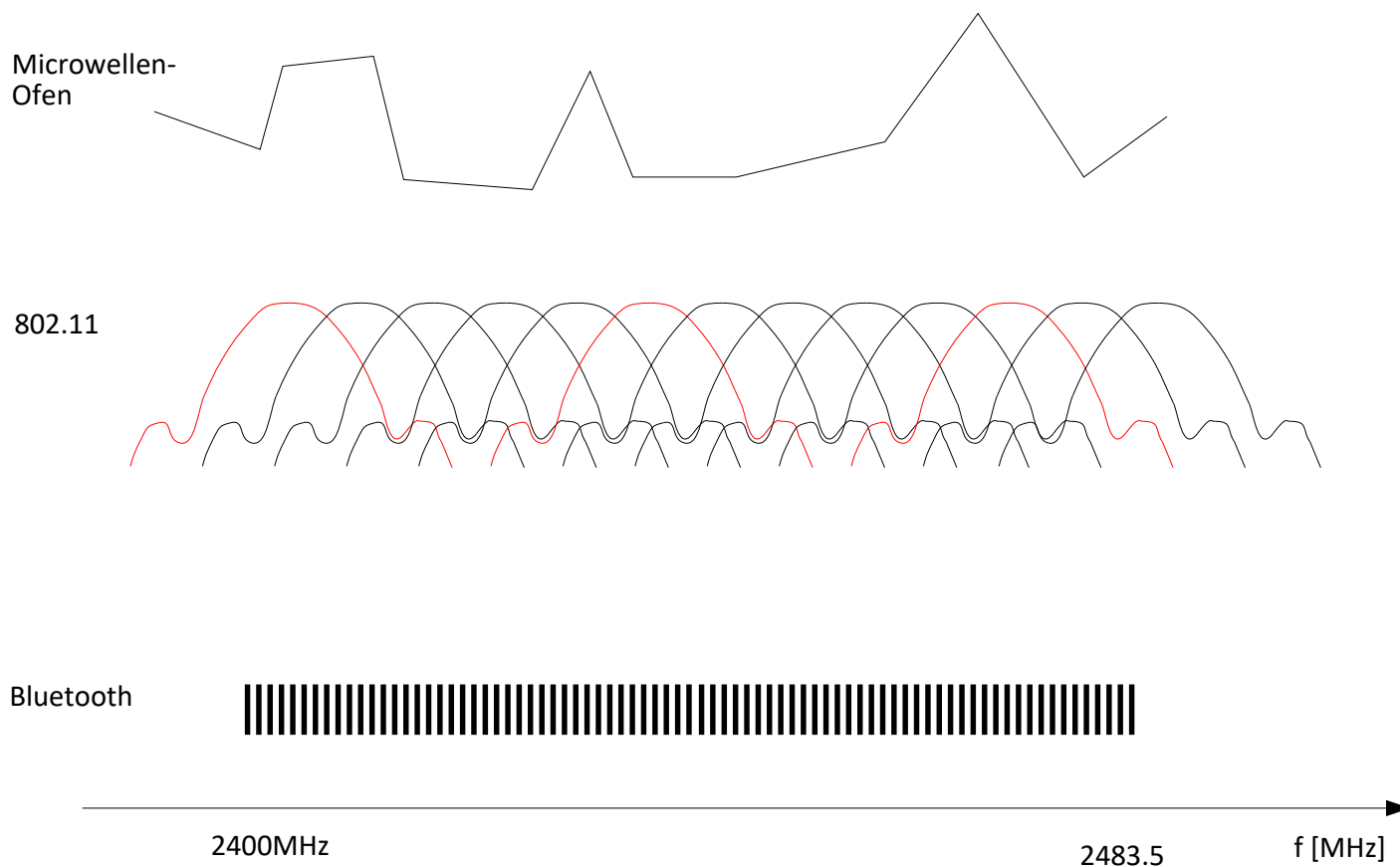
Stand: 16.03.25

- Frequenzbereiche
- Multiplexverfahren
- Modulationsverfahren
- Einbettung von WLAN nach IEEE802.11 in das ISO-7-Schichten Modell
- Sichten auf das ISO 7-Schichten-Modell
- SAPs
- Layer-Management (Management, Control, Data)
- Dienste-Primitive
- Statusmaschine

WLAN-Frequenzbänder

MHz	System		
450 - 470	TETRA (Trans European Trunked Radio) z. B. Bündelfunk Taxi, Busse, Polizei		
863 – 868,6	IEEE 802.11 ah (in Europa mit max. 25 mW)		
870 - 875	TETRA (Trans European Trunked Radio) z. B. Bündelfunk Taxi, Busse, Polizei		
876 – 880	GSM - R		
880 – 890	GSM Extension		
890 – 915	GSM 900		
901 - 928	IEEE 802.11 ah (in USA mit max. 1 W)		
915 – 921	TETRA (Trans European Trunked Radio) z. B. Bündelfunk Taxi, Busse, Polizei		
925 – 935	GSM Extension		
...			
2110 – 2170	UMTS		
2170 – 2200	UMTS Satellite		
2400 – 2500	ISM (IEEE 802.11b/g/n/ax, Bluetooth, Home-RF, Mikrowellenofen, Bewegungsmelder)		
4200 – 5725	Primärnutzer: Navigation	Sekundärnutzer	
		5150 – 5250	HIPERLAN 1 & 2, IEEE 802.11a/h/n/ac/ax
		5250 - 5350	HIPERLAN 2, IEEE 802.11a/h/n/ac/ax
		5470 - 5725	HIPERLAN 2, IEEE 802.11a/h/n/ac/ax
5725 – 5875	ISM (RTTT Road Transport Telefon Telematics = Österreichische Maut)		
5925 - 7125	U-NII-5 bis U-NII-8 in den USA für IEEE802.11ax (Wi-Fi 6E) mit max . 1 W innen und max. 4W außen		
:	:		
61000 - 61500	IEEE 802.11 ad / ay		

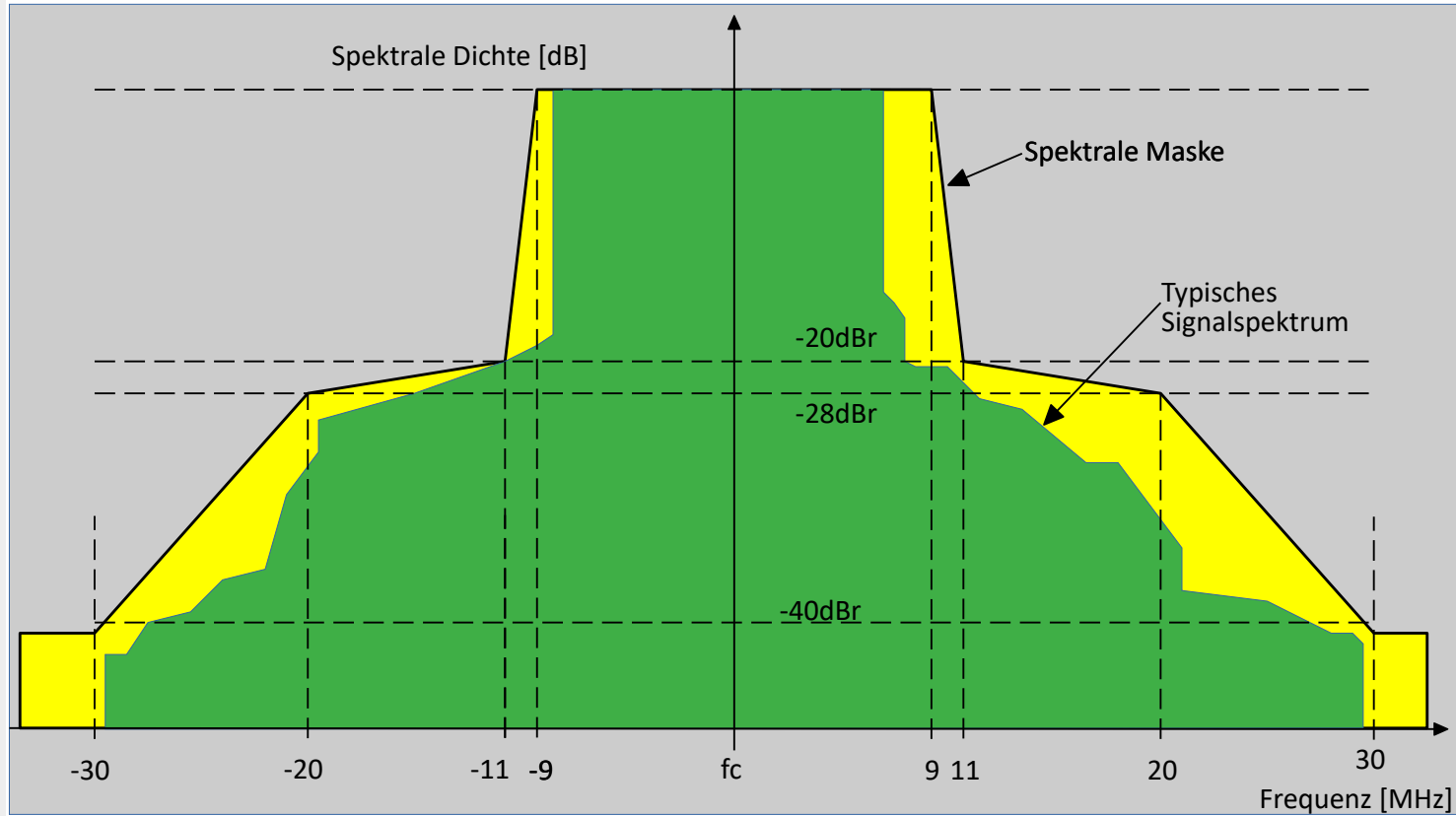
Störeinflüsse im 2,4GHz-Bereich



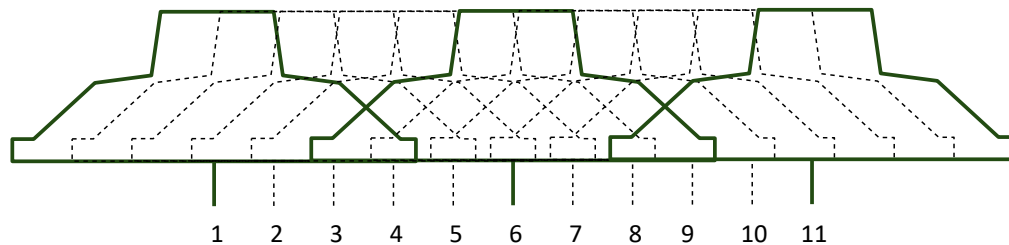
Regionale Unterschiede im 2,4GHz-Band

Kanal	Center Frequency [GHz]	ETSI (Europa)	Japan	FCC (USA)	Israel
1	2,412	100mW	100mW	1W	verboten
2	2,417	100mW	100mW	1W	verboten
3	2,422	100mW	100mW	1W	*
4	2,427	100mW	100mW	1W	*
5	2,432	100mW	100mW	1W	*
6	2,437	100mW	100mW	1W	*
7	2,442	100mW	100mW	1W	*
8	2,447	100mW	100mW	1W	*
9	2,452	100mW	100mW	1W	*
10	2,457	100mW	100mW	1W	verboten
11	2,462	100mW	100mW	1W	verboten
12	2,467	100mW	100mW	verboten	verboten
13	2,472	100mW	100mW	verboten	verboten
14	2,484	verboten	verboten	verboten	verboten

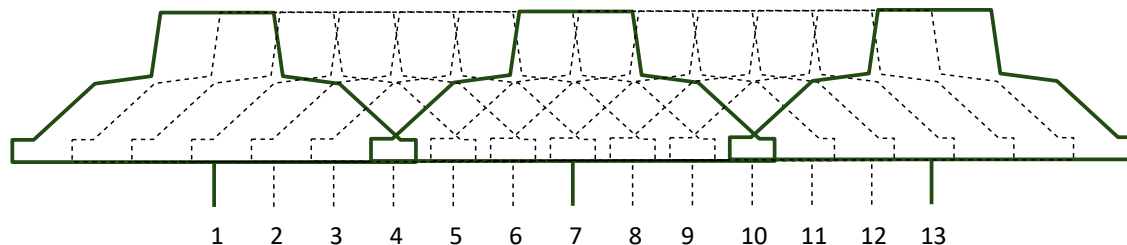
Spektralmaske im 2,4GHz-Bereich



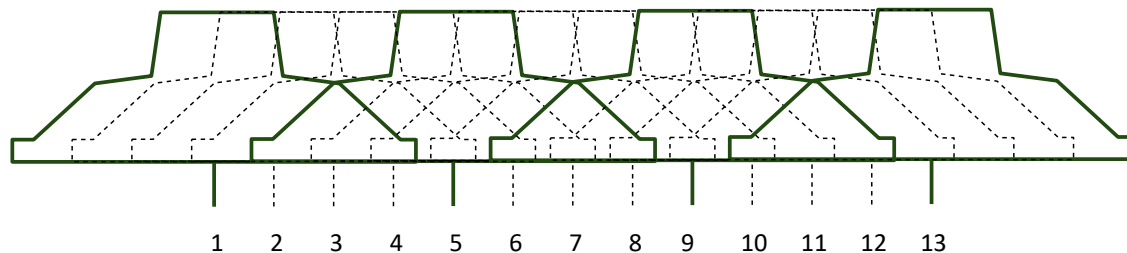
Überschneidungsfreie Kanäle im 2,4GHz-Band



11 Bänder in USA
→ 3 überschneidungsfreie Bänder

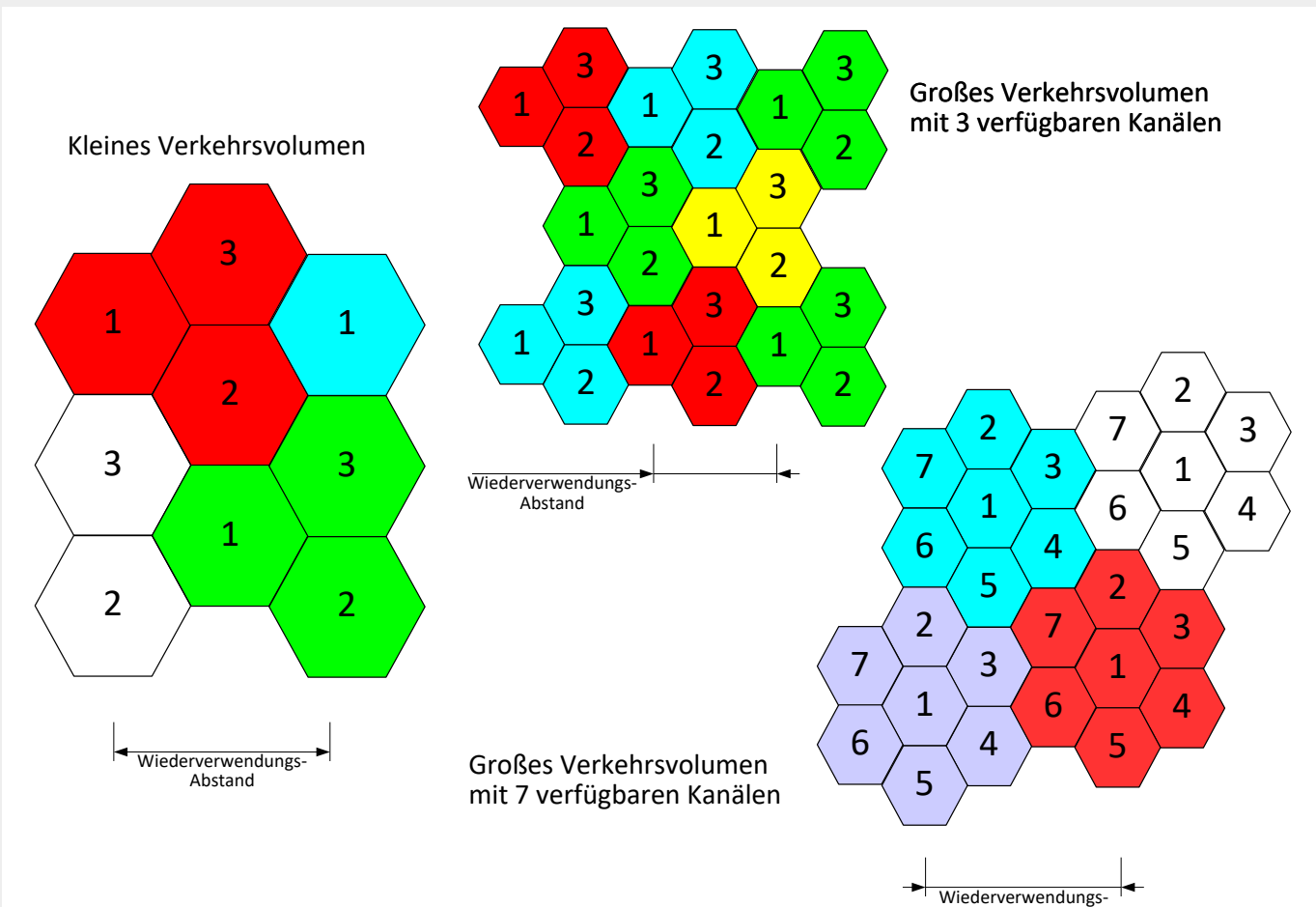


13 Bänder in Europa
→ 3 überschneidungsfreie Bänder



13 Bänder in Europa
→ 4 leicht überschchnittene Bänder

Wiederverwendungsabstand



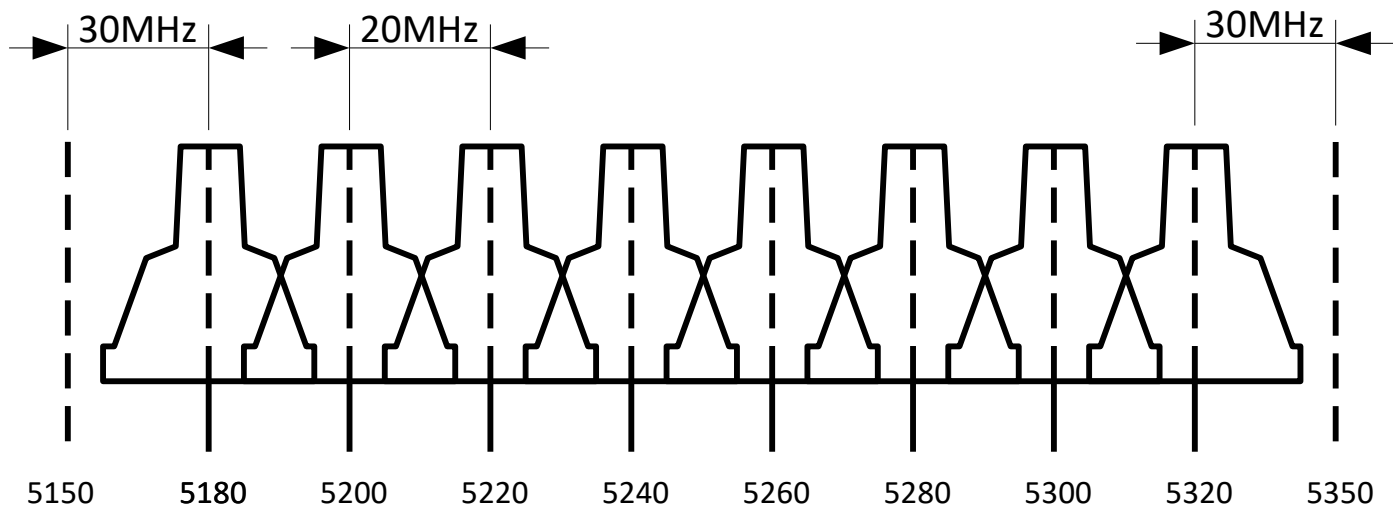
Regionale Unterschiede im 5GHz-Band

Kanal	Mitten-Frequenz [GHz]	Fast alle Länder der Welt	USA / Australien	China / Singapur / Israel
36	5,180	200mW*	erlaubt	erlaubt
40	5,200	200mW*	erlaubt	erlaubt
44	5,220	200mW*	erlaubt	erlaubt
48	5,240	200mW*	erlaubt	erlaubt
52	5,260	200mW*	erlaubt	erlaubt
56	5,280	200mW*	erlaubt	erlaubt
60	5,300	200mW*	erlaubt	erlaubt
64	5,320	200mW*	erlaubt	erlaubt
100	5,500	1W**	erlaubt	verboten
104	5,520	1W**	erlaubt	verboten
108	5,540	1W**	erlaubt	verboten
112	5,560	1W**	erlaubt	verboten
116	5,580	1W**	erlaubt	verboten
120	5,600	1W**	verboten	verboten
124	5,720	1W**	verboten	verboten
128	5,640	1W**	verboten	verboten
132	5,660	1W**	erlaubt	verboten
136	5,680	1W**	erlaubt	verboten
140	5,700	1W**	erlaubt	verboten

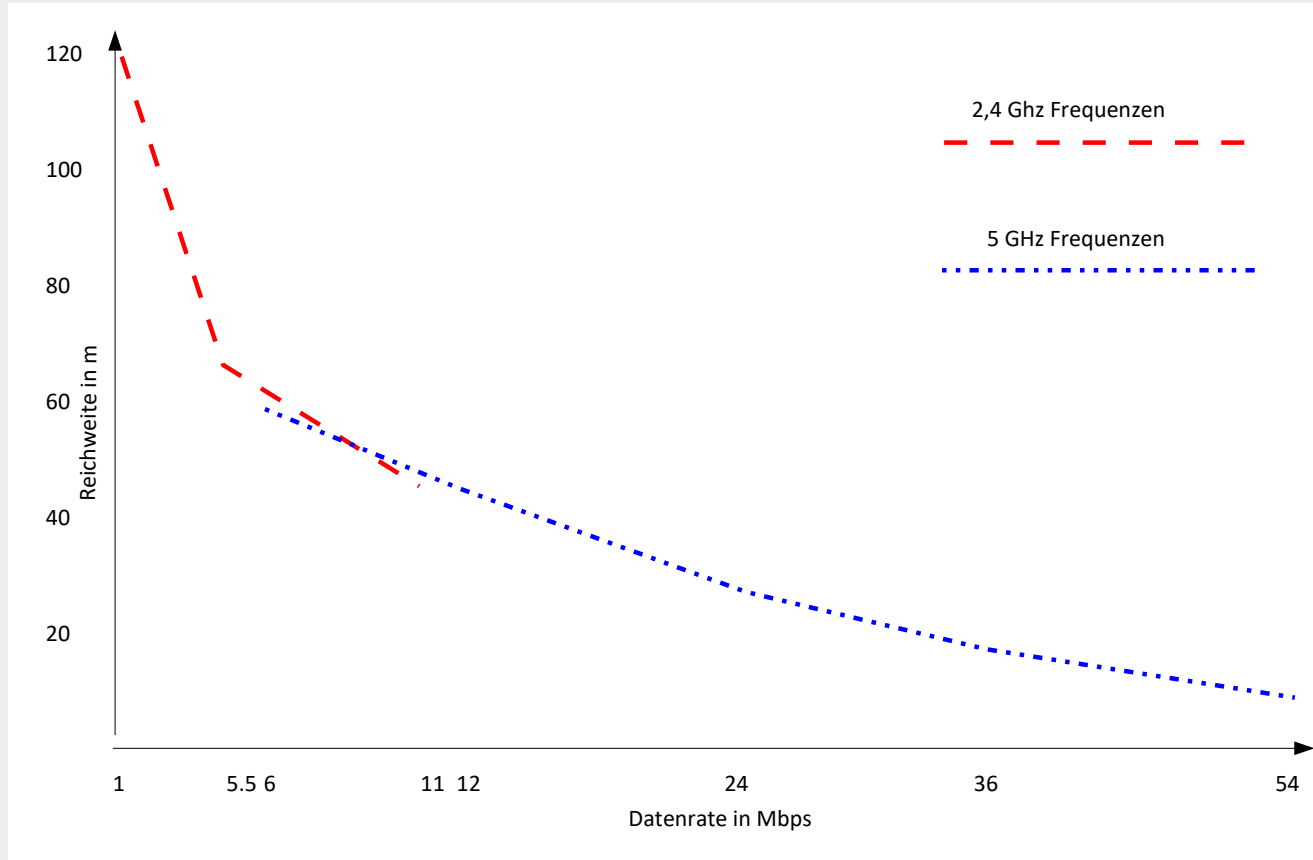
Kanal	Mitten-Frequenz [GHz]	Europa	USA China	Japan Türkei Israel
149	5,745	25mW***	erlaubt	verboten
153	5,765	25mW***	erlaubt	verboten
157	5,785	25mW***	erlaubt	verboten
161	5,805	25mW***	erlaubt	verboten
165	5,825	25mW***	erlaubt	verboten

Überschneidungsfreie Kanäle im 5GHz-Band

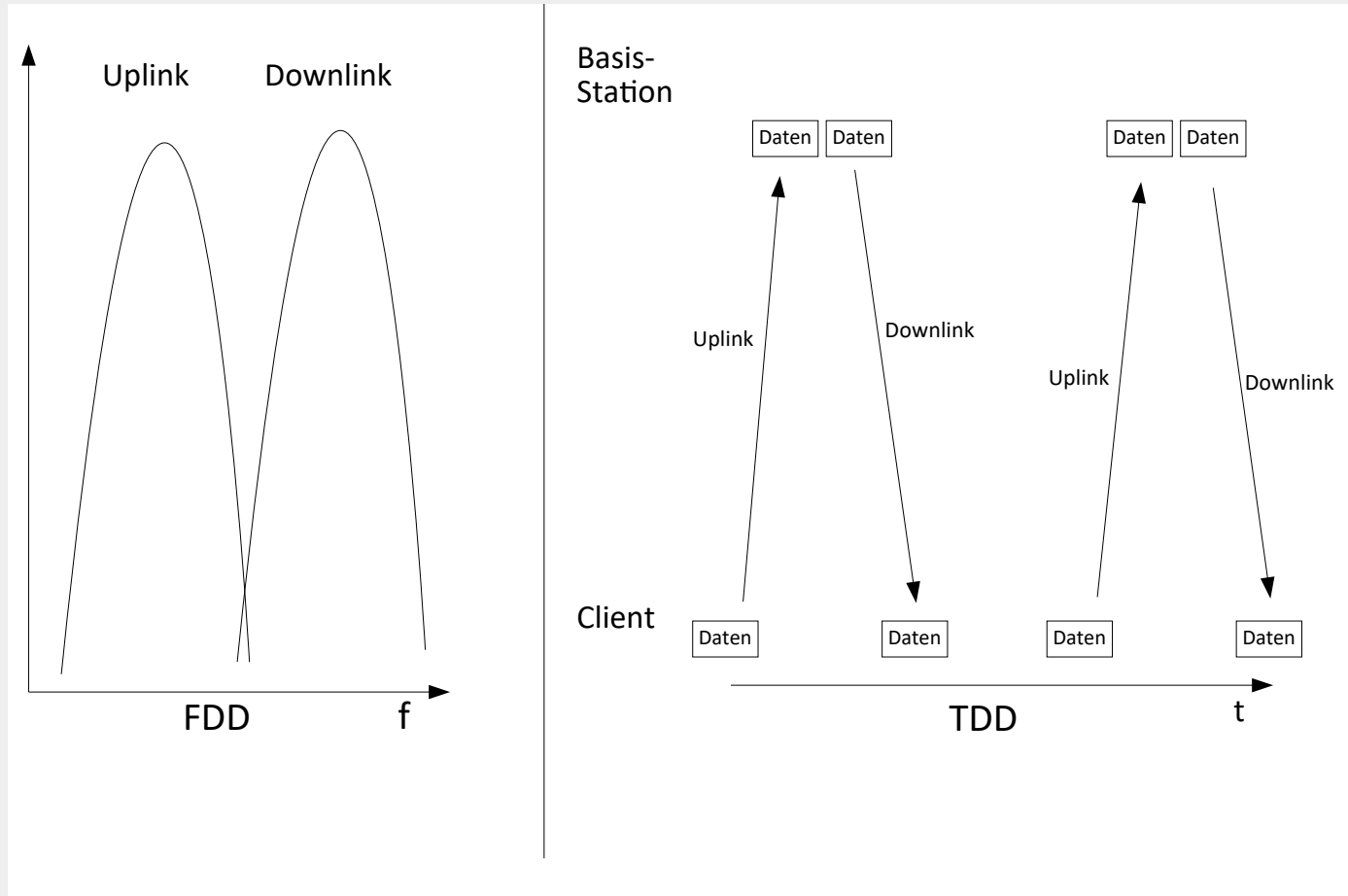
Untere und mittlere U-NII-Bänder:
8 Träger mit einem Kanalabstand von 20 MHz



Vergleich der Datenraten 2,4GHz / 5GHz

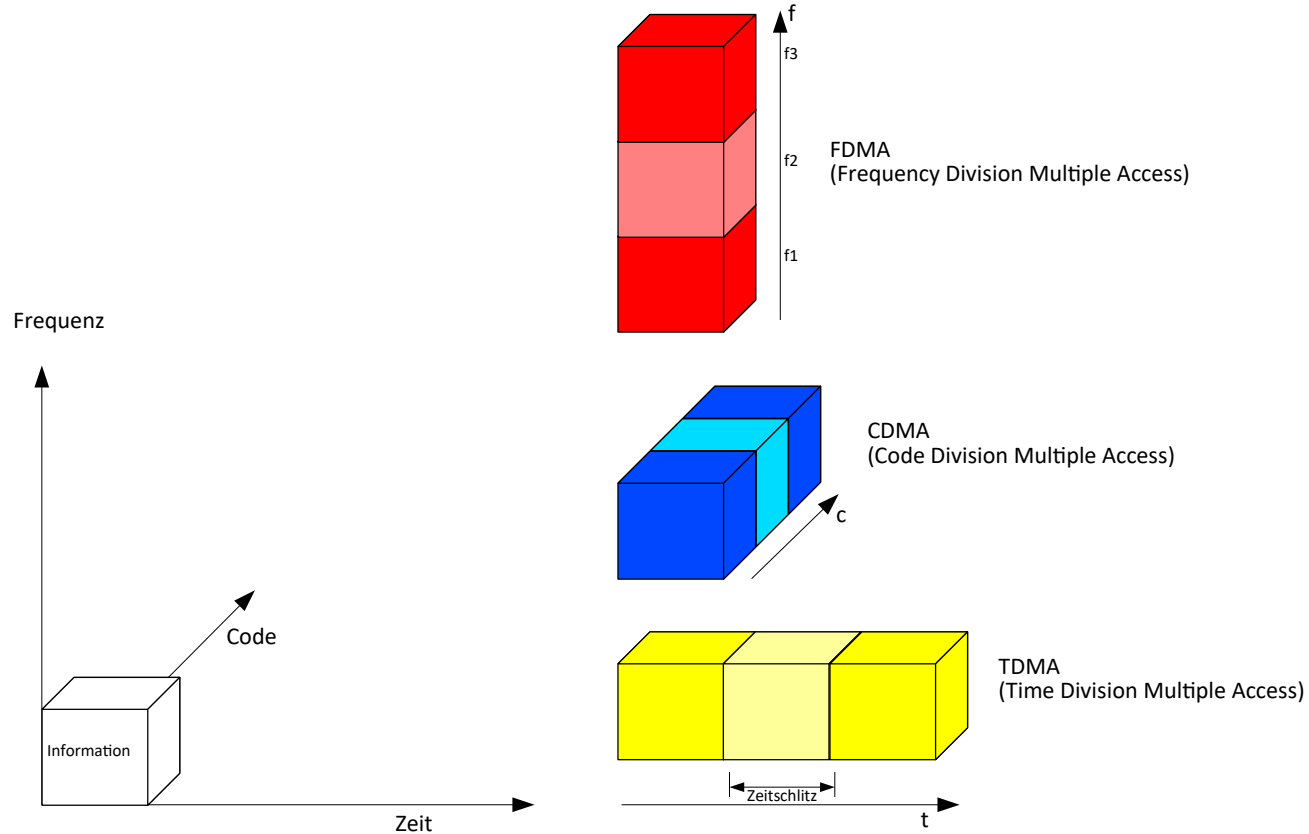


Multiplexbetrieb (2 Teilnehmer)

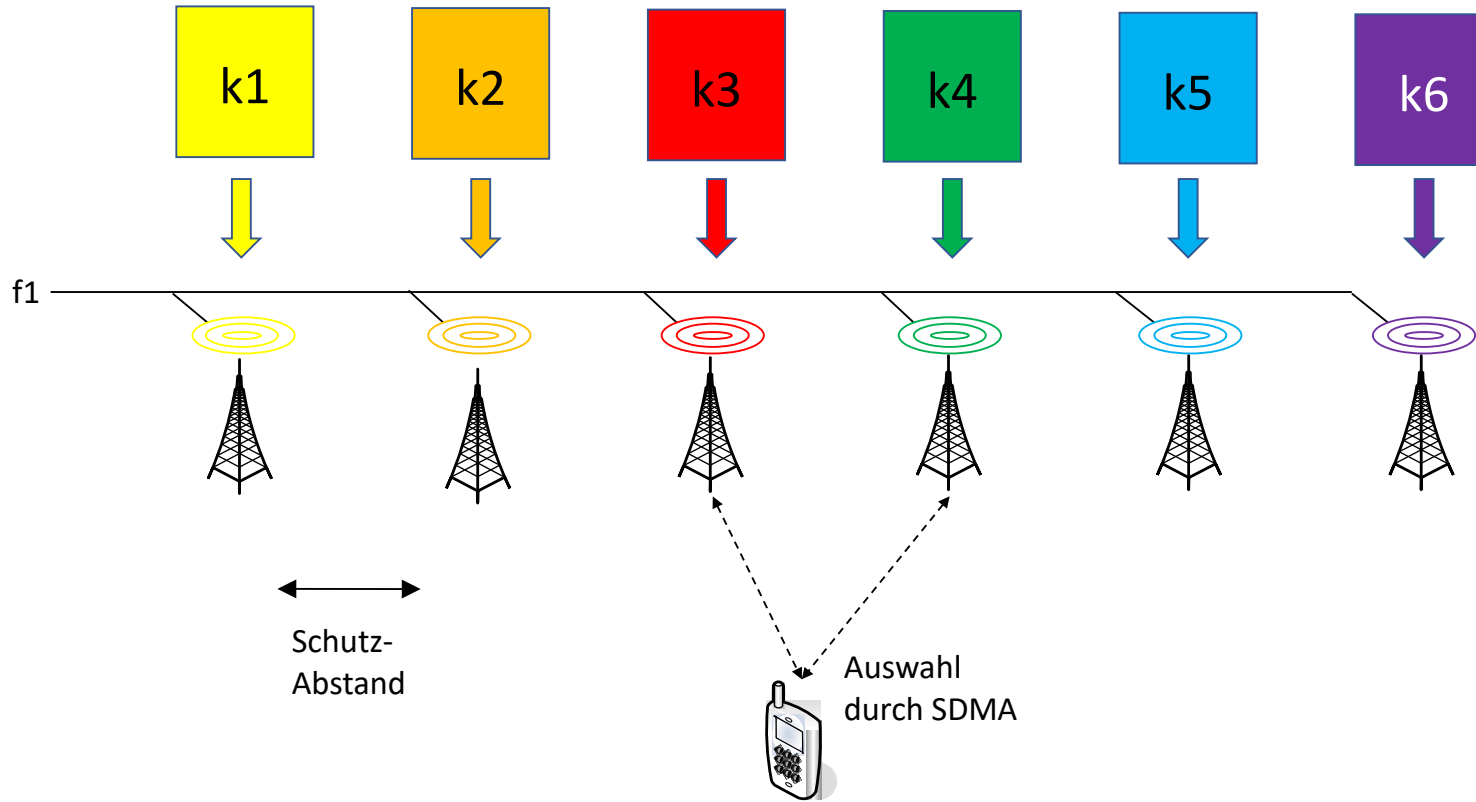


Multiplexbetrieb (>2 Teilnehmer)

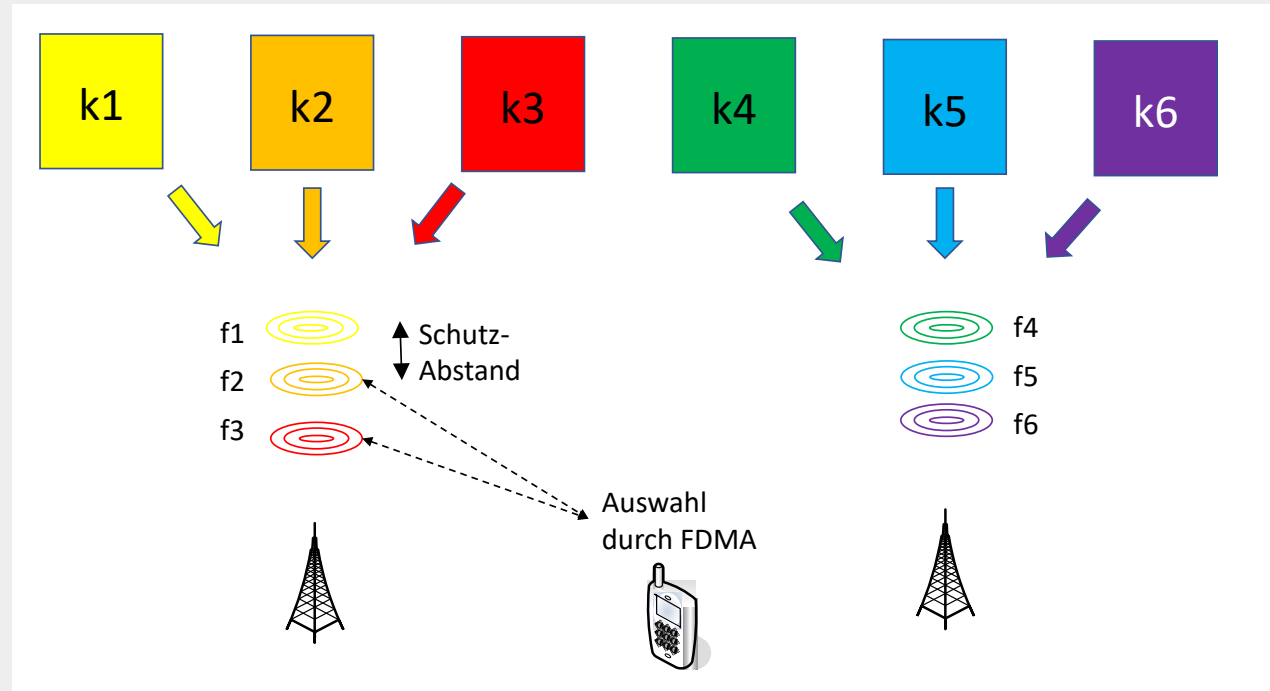
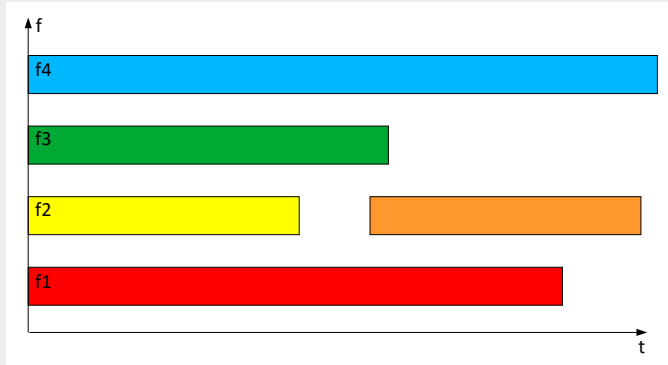
Verteilung eines Kanals auf mehrere Kommunikations-Teilnehmer



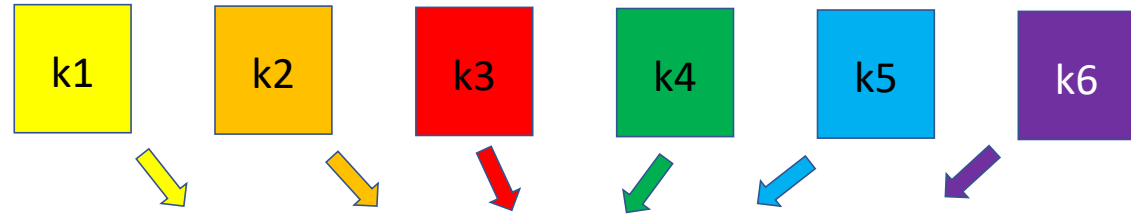
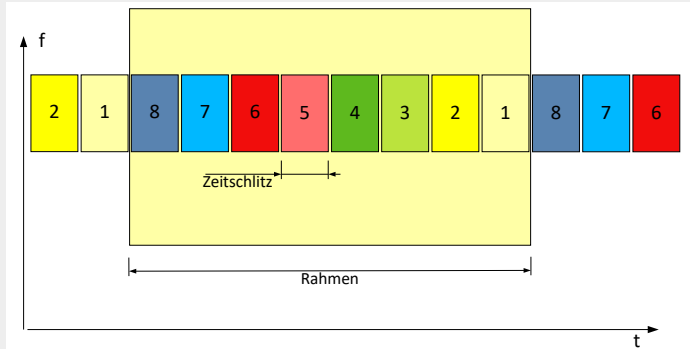
Space Division Multiple Access (SDMA)



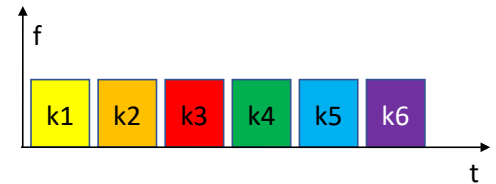
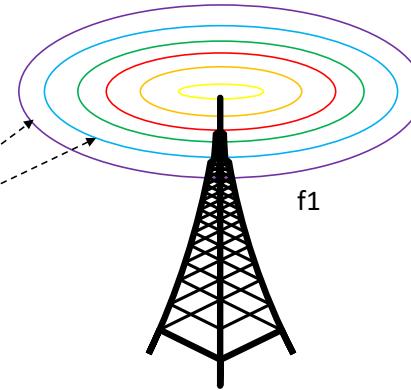
Frequency Division Multiple Access (FDMA)



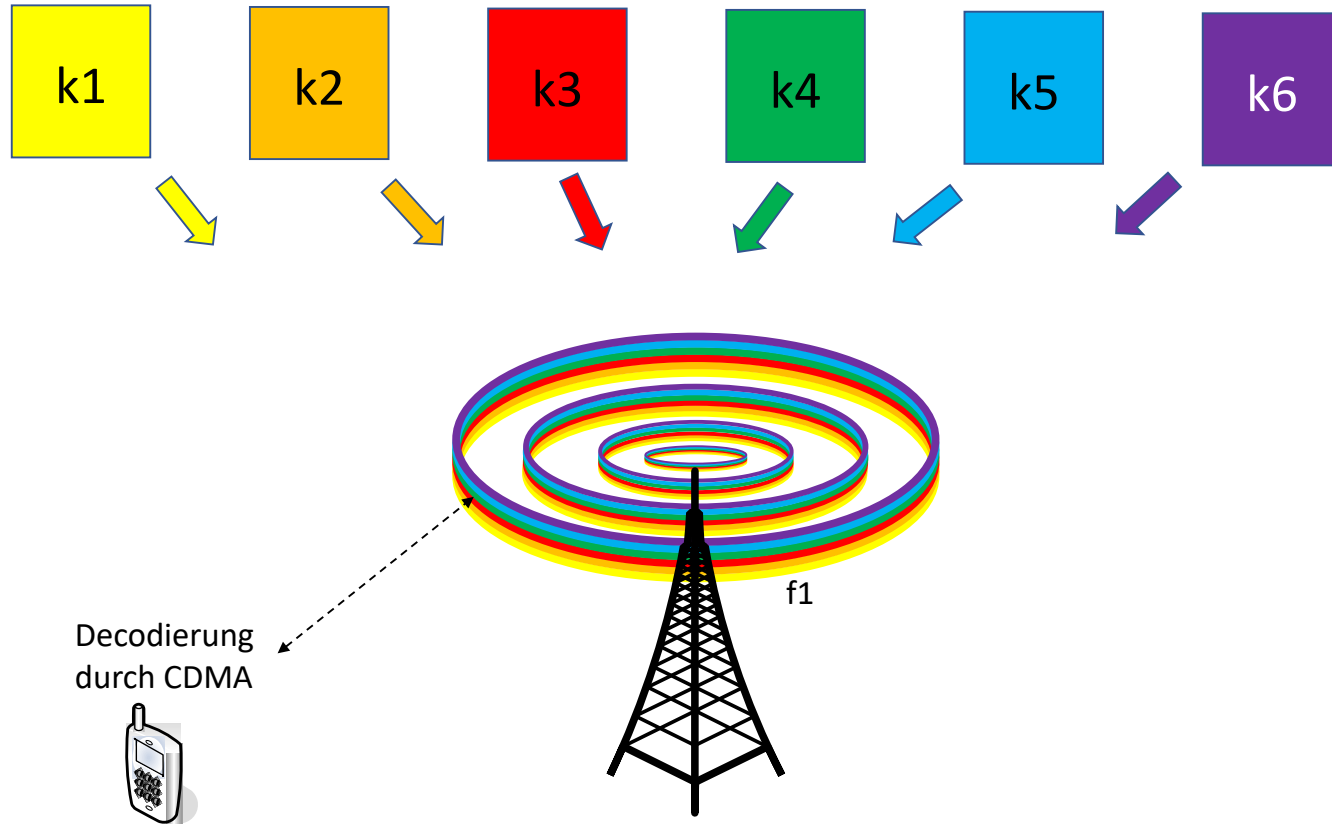
Time Division Multiple Access (TDMA)



Auswahl
durch TDMA



Code Division Multiple Access (CDM)



Code Division Multiple Access (CDMA)

Beispiel

Umsetzungsbeispiel

Sender A sendet ein Bit (A_d)

Daten: $A_d = 1$

Verwendeter Schlüssel $A_k = 010011$ (setze: „0“ = -1, „1“ = +1) = (-1, +1, -1, -1, +1, +1)

Resultierendes Sendesignal $A_s = A_d * A_k = (-1, +1, -1, -1, +1, +1)$ (d. h. A_k bleibt erhalten)

Sender B sendet ein Bit (B_d)

Daten: $B_d = 0$

Verwendeter Schlüssel $B_k = 110101$ (setze: „0“ = -1, „1“ = +1) = (+1, +1, -1, +1, -1, +1)

Resultierendes Sendesignal $B_s = B_d * B_k = (-1, -1, +1, -1, +1, -1)$ (d. h. B_k wird negiert)

Beide Sendesignale werden additiv überlagert und über die Luft übertragen

$$C = A_s + B_s = (-2, 0, 0, -2, +2, 0)$$

Empfänger C will Sender A hören und wendet dessen Schlüssel A_k bitweise an (inneres Produkt)

$$A_s = C * A_k = (2, +0 + 0 + 2 + 2 + 0) = 6$$

Da das Ergebnis > 0 ist, wird das empfangene Bit = 1

Empfänger D will Sender B hören und wendet dessen Schlüssel B_k bitweise an (inneres Produkt)

$$B_s = C * B_k = -2, +0 + 0 - 2 - 2 + 0 = -6$$

Da das Ergebnis < 0 ist, wird das empfangene Bit = 0

Modulation

$$S(t) = a(t)\cos(\omega_{\{0\}}t + \varphi(t))$$

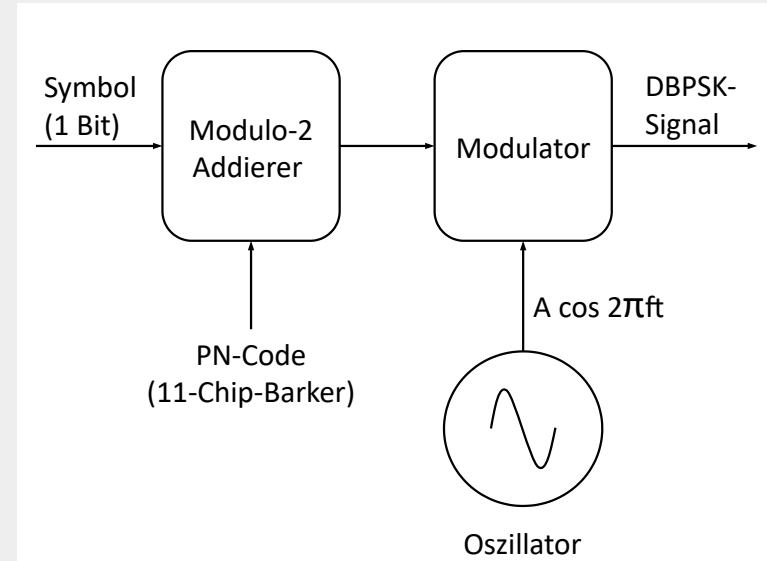
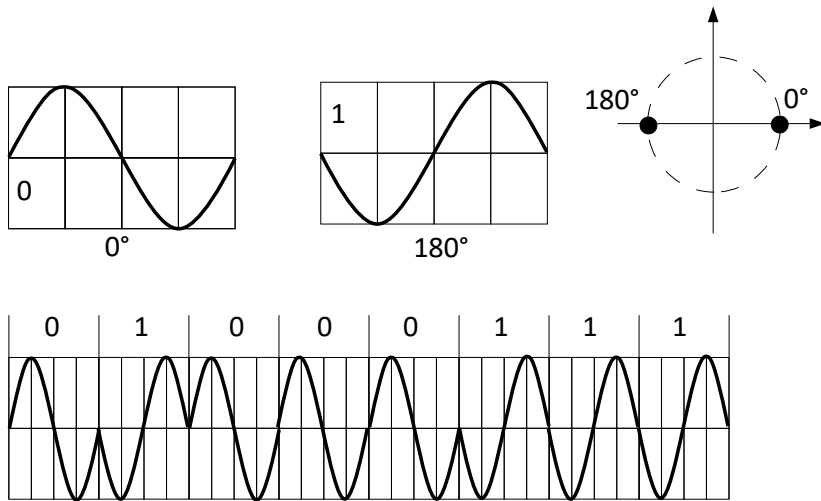
Damit sind für eine Modulation folgende Variablen gegeben:

- Amplitude a
- Frequenz $f = 1 / T$
- Phase φ

Binary Phase Shift Keying (BPSK)

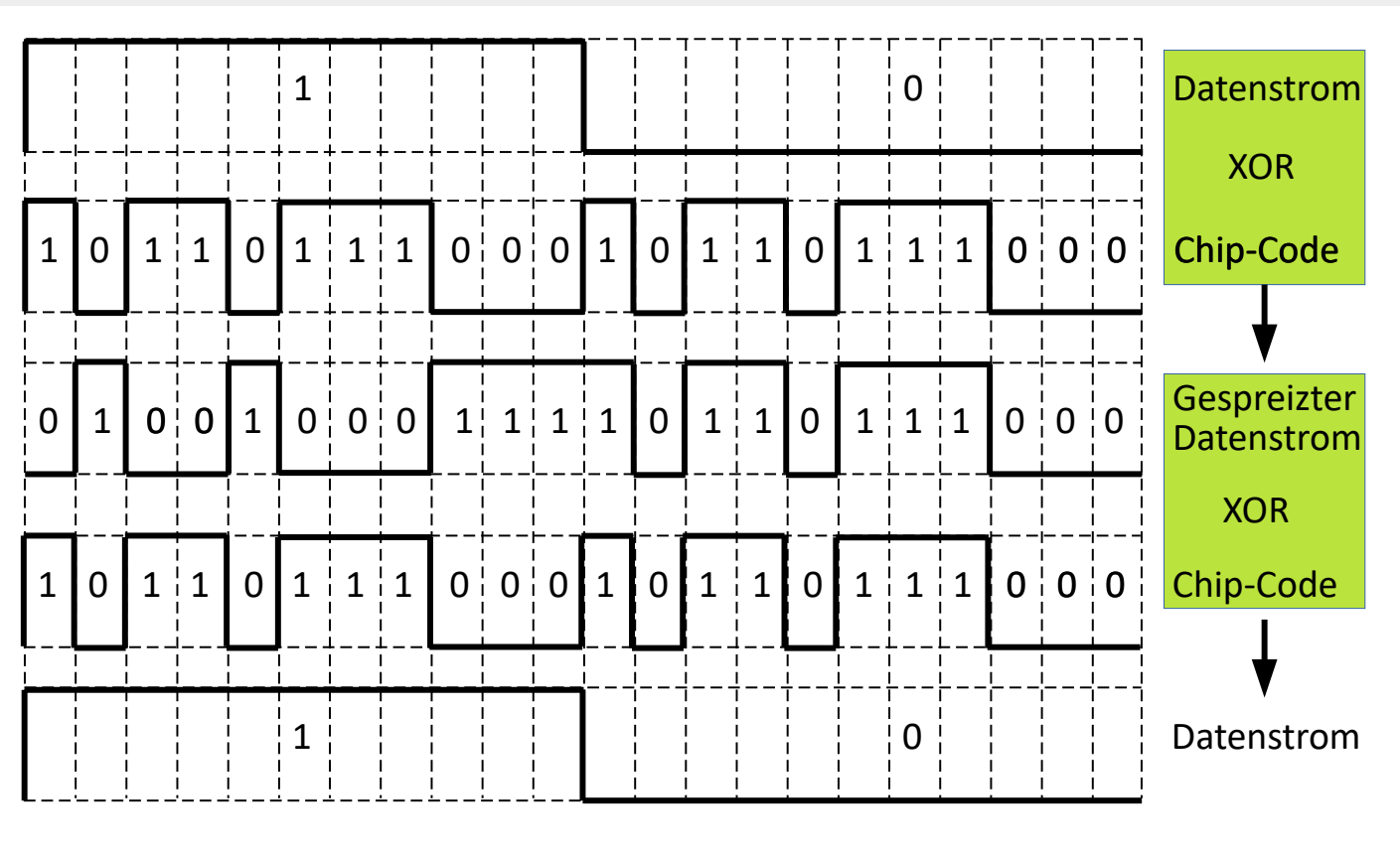
Binary Phase Shift Keying (BPSK)

- 180° Phasenwechsel
- 1 Bit pro Symbol



BPSK-Modulator

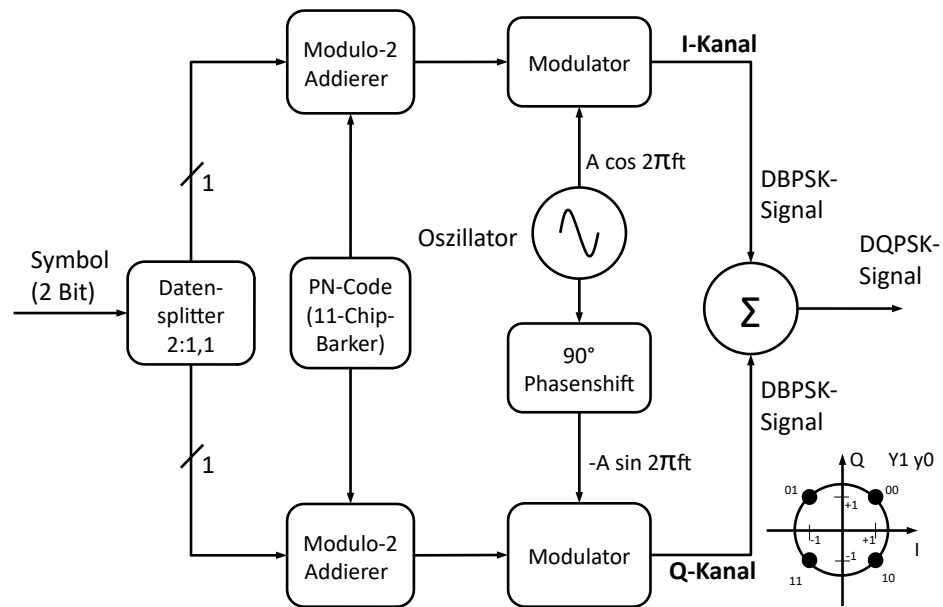
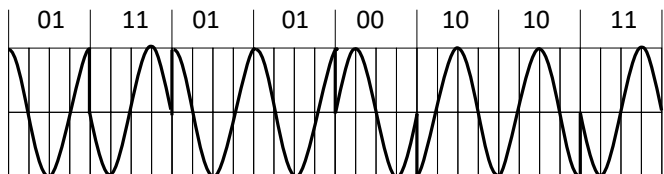
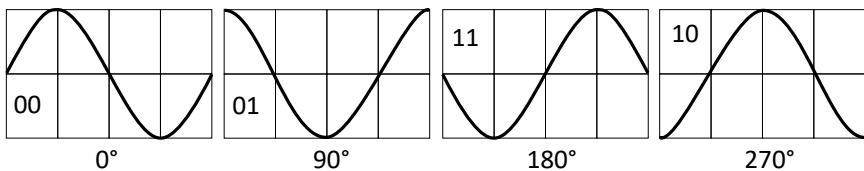
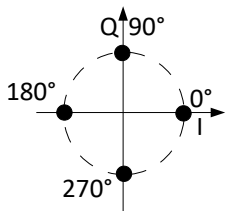
Anwendung des Barker-Codes



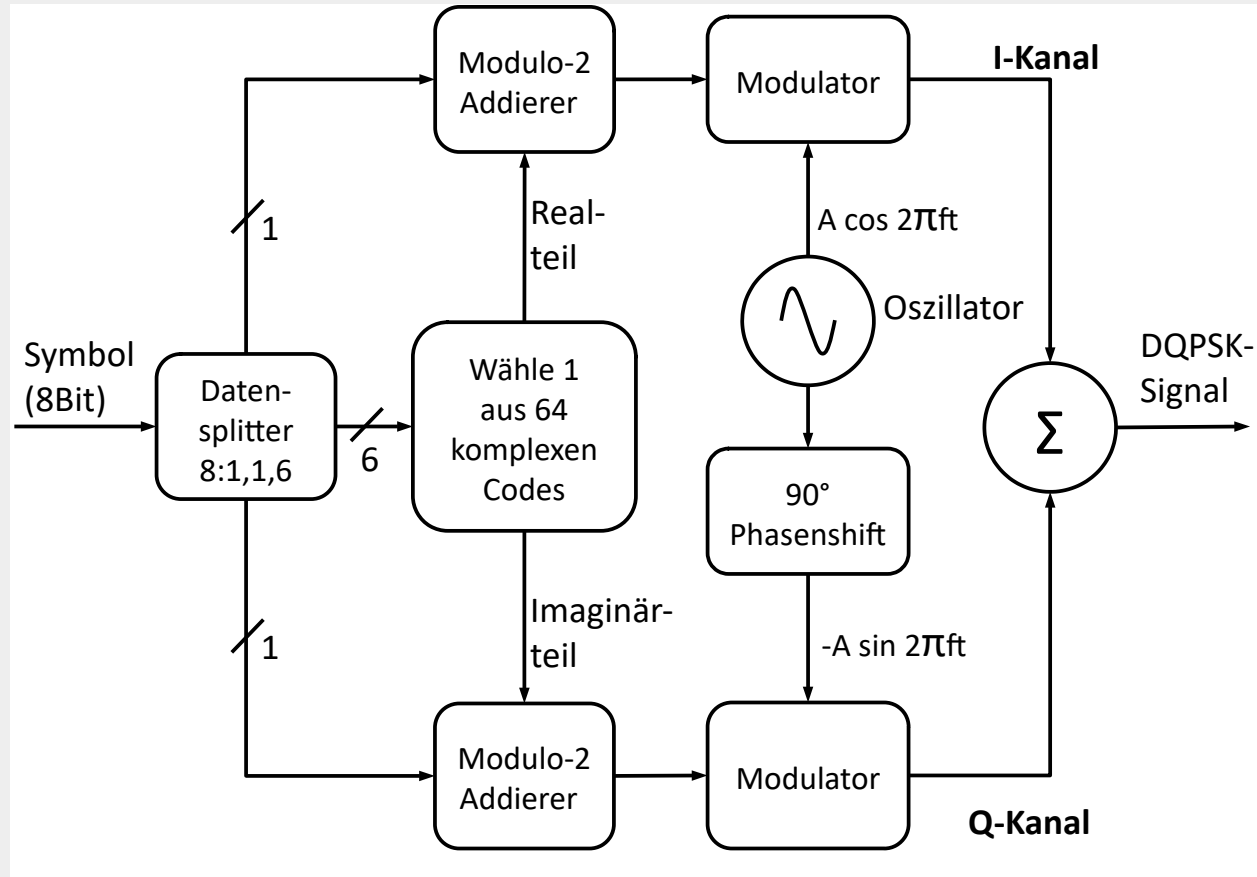
Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)

Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)

- 90° Phasenwechsel
- 2 Bit pro Symbol

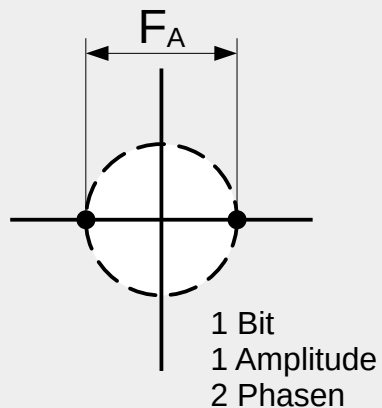


Complementary Code Keying (CCK)

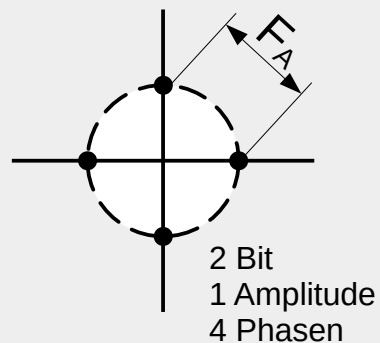


Von BPSK zu 16QAM

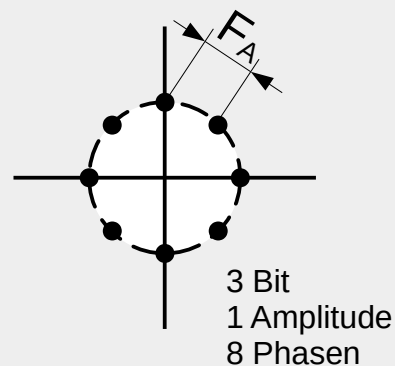
BPSK (2PSK)



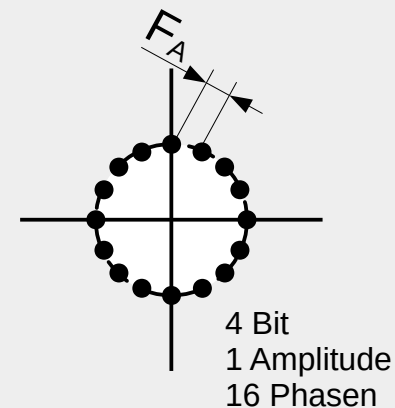
QPSK (4PSK)



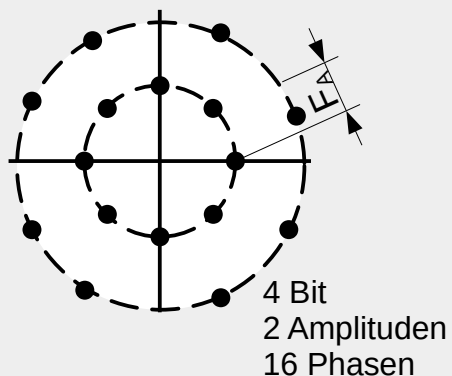
8PSK



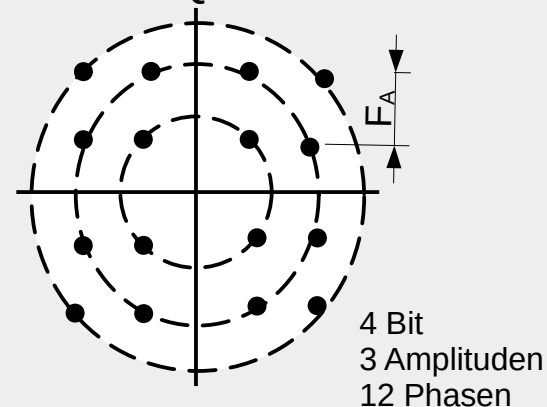
16PSK



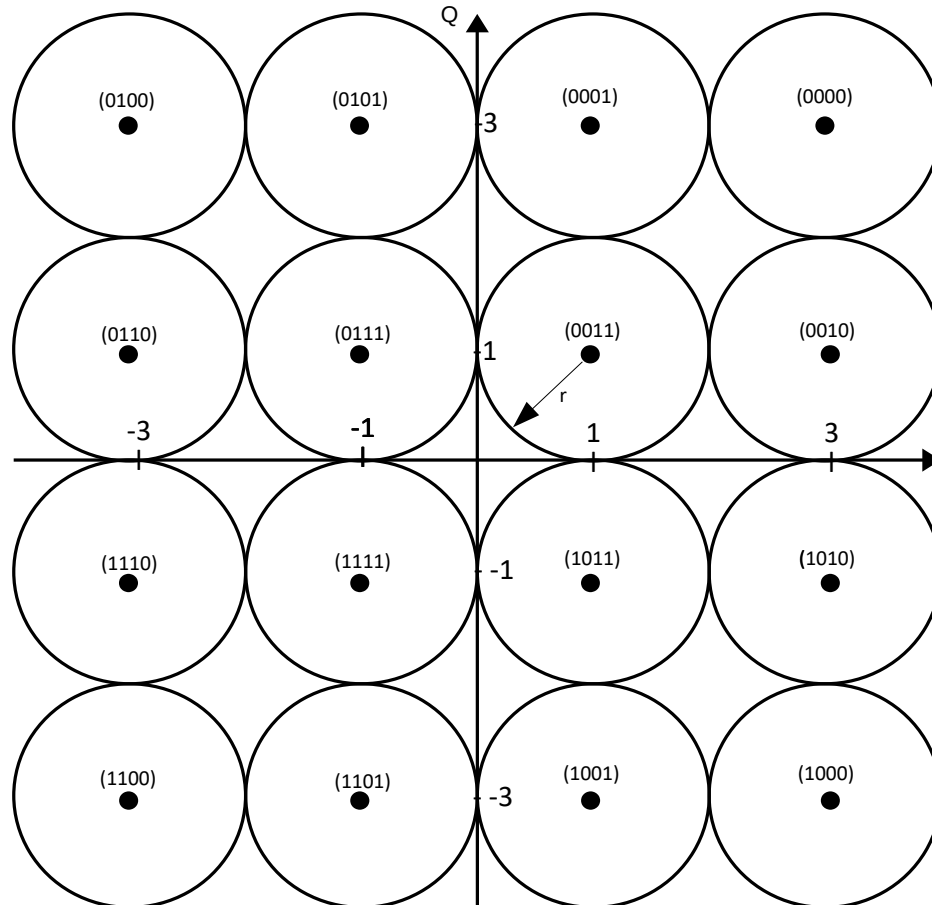
16APSK



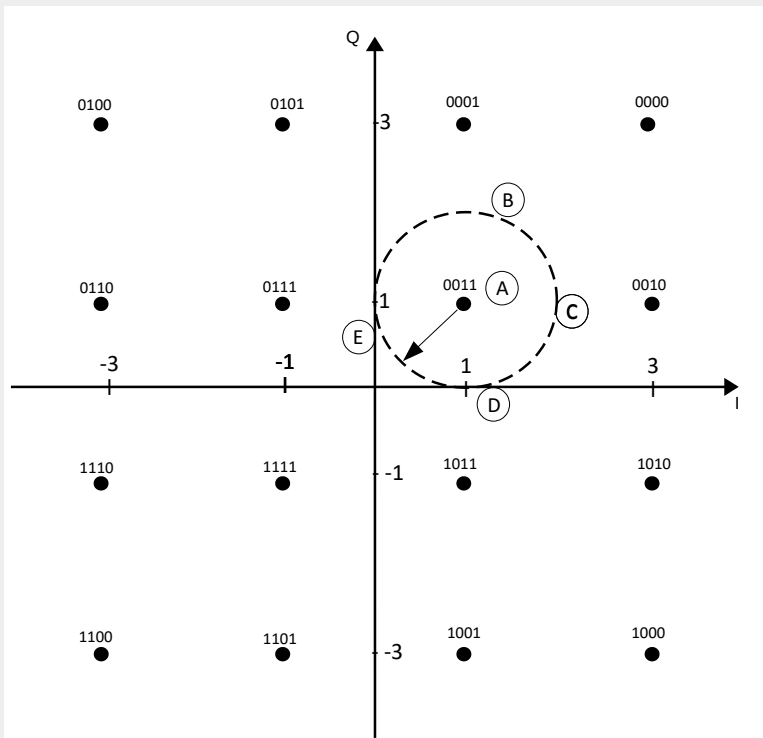
16QAM



16-QAM



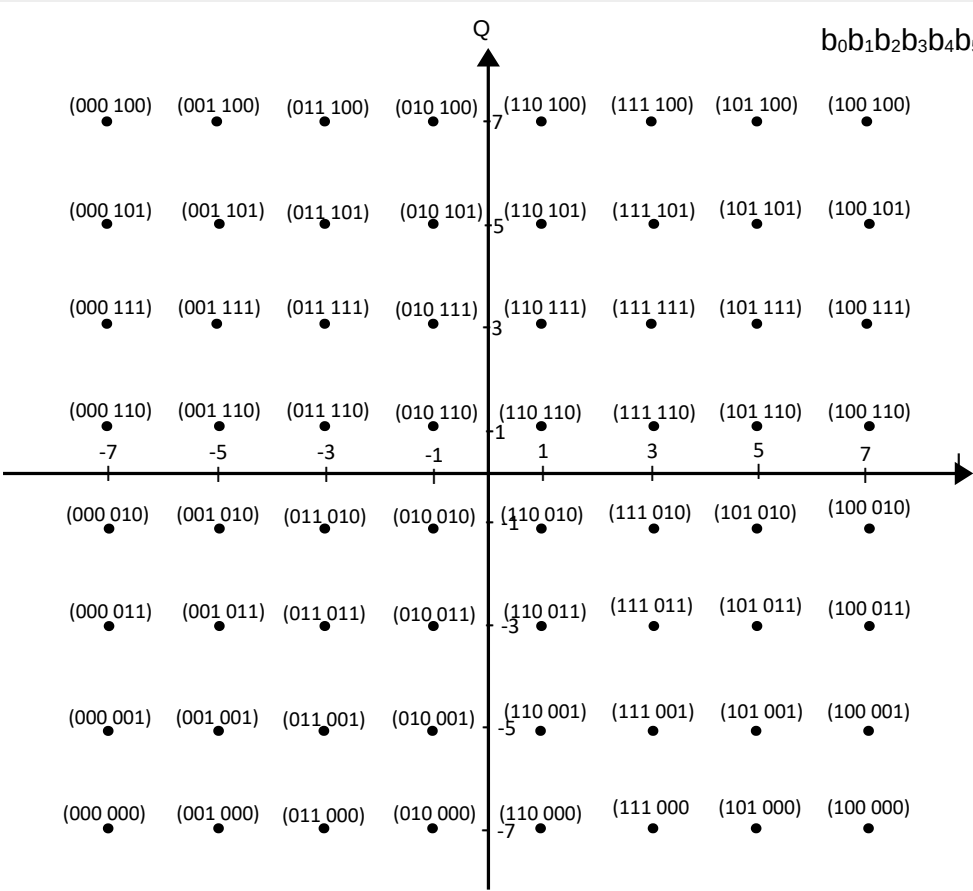
16-QAM (Erkennung von Bitfehlern)



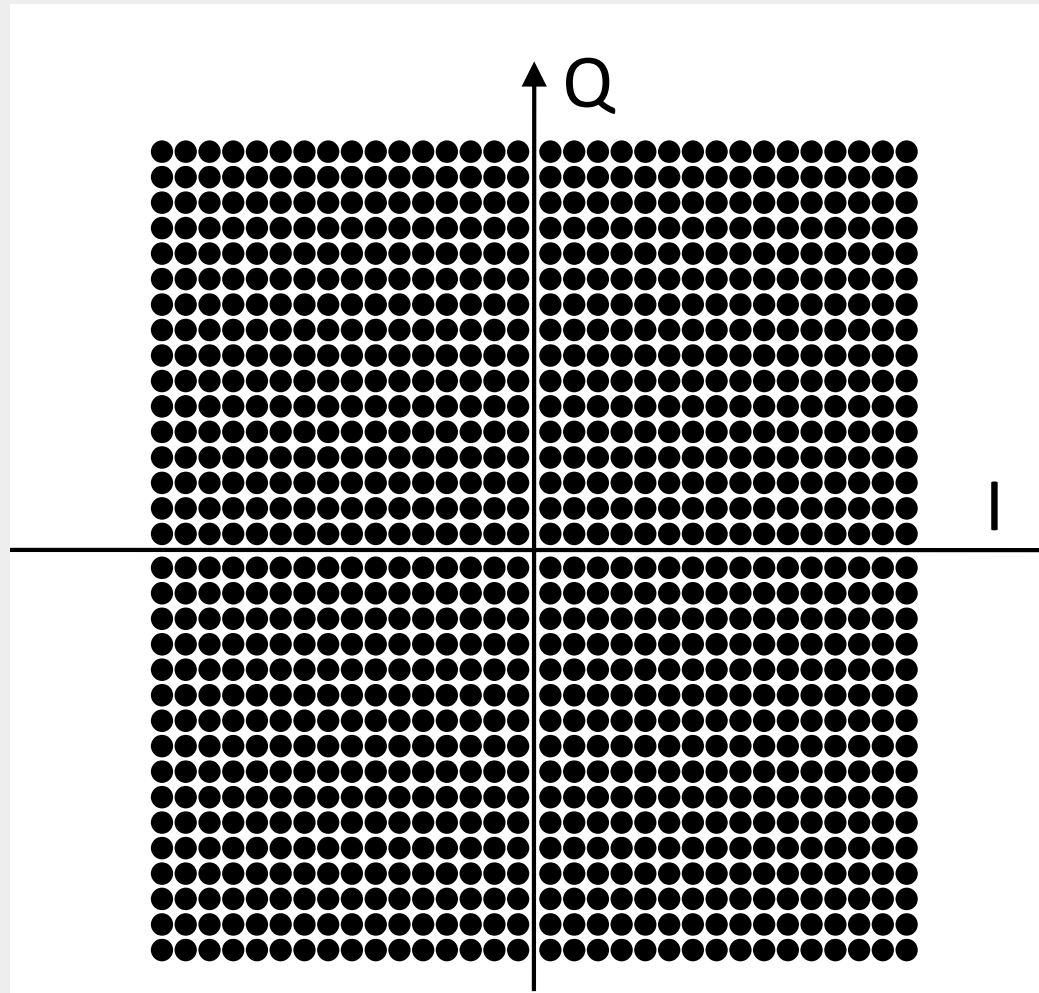
Punkt	Decodiert	Bitfehler
A	0011	0
B	0001	1
C	0010	1
D	1011	1
E	0111	1

64-QAM

Bits ($b_0b_1b_2$)	I-Out	Bits ($b_3b_4b_5$)	Q-Out
000	-7	000	-7
001	-5	001	-5
011	-3	011	-3
010	-1	010	-1
110	1	110	1
111	3	111	3
101	5	101	5
100	7	100	7

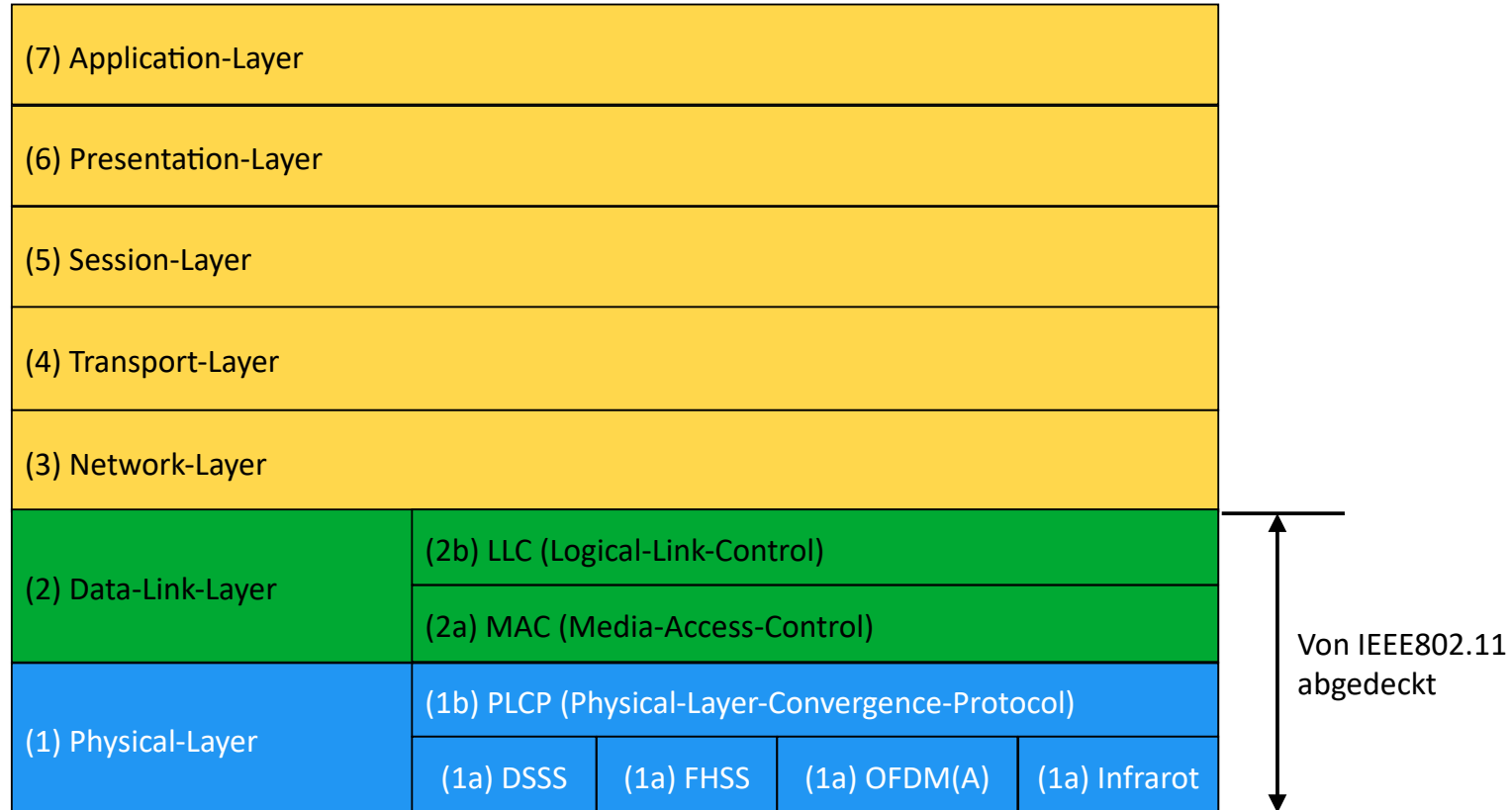


1024-QAM

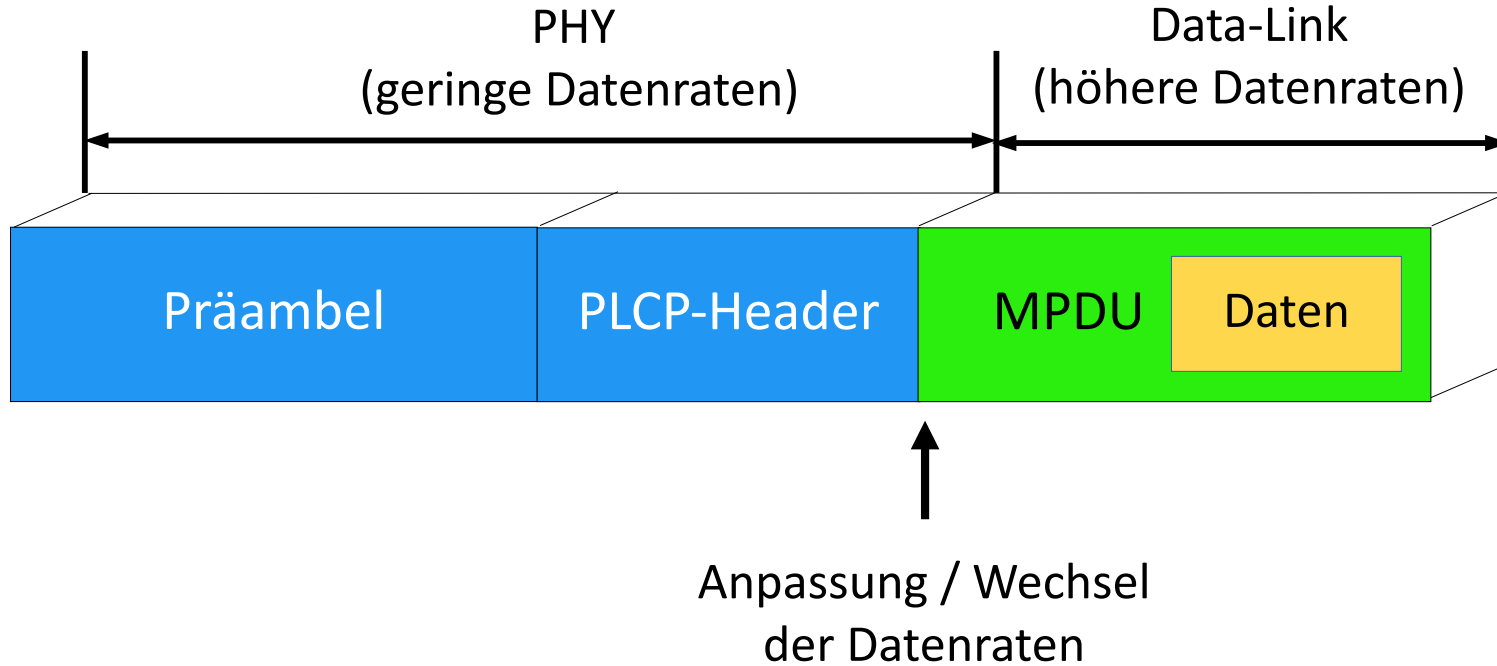


Damit können 10 Bits
kodiert werden

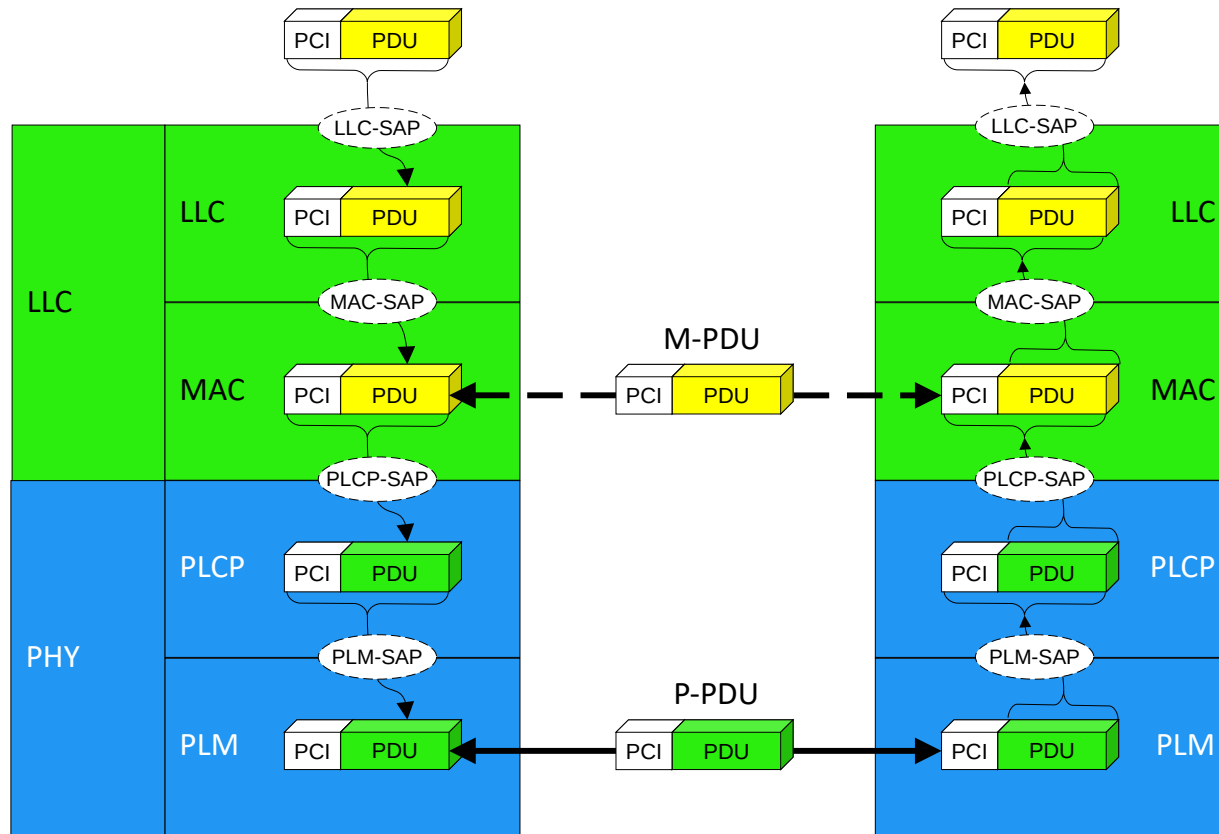
WLAN nach IEEE802.11 im ISO-7-Schichten-Modell



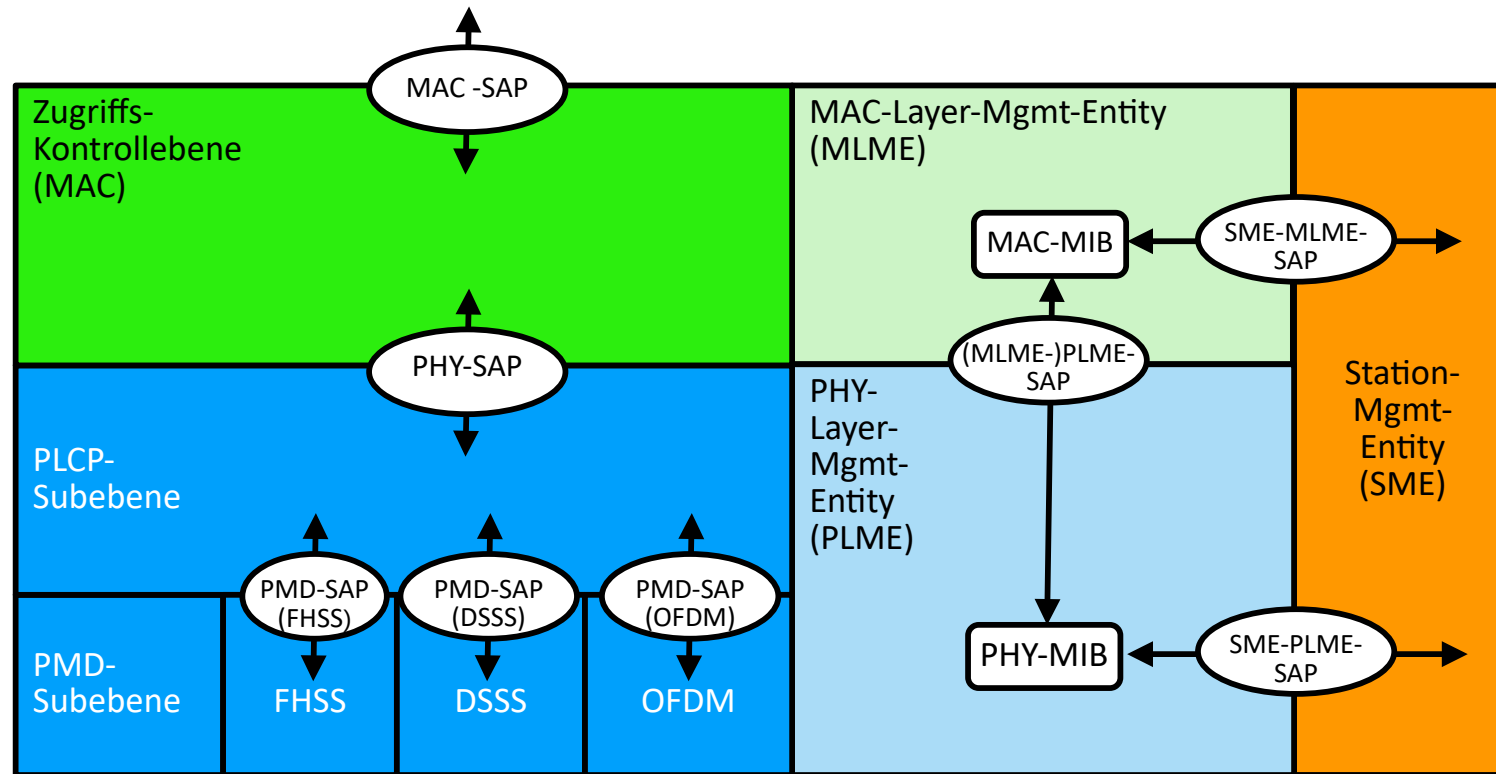
Frame-Aufbau



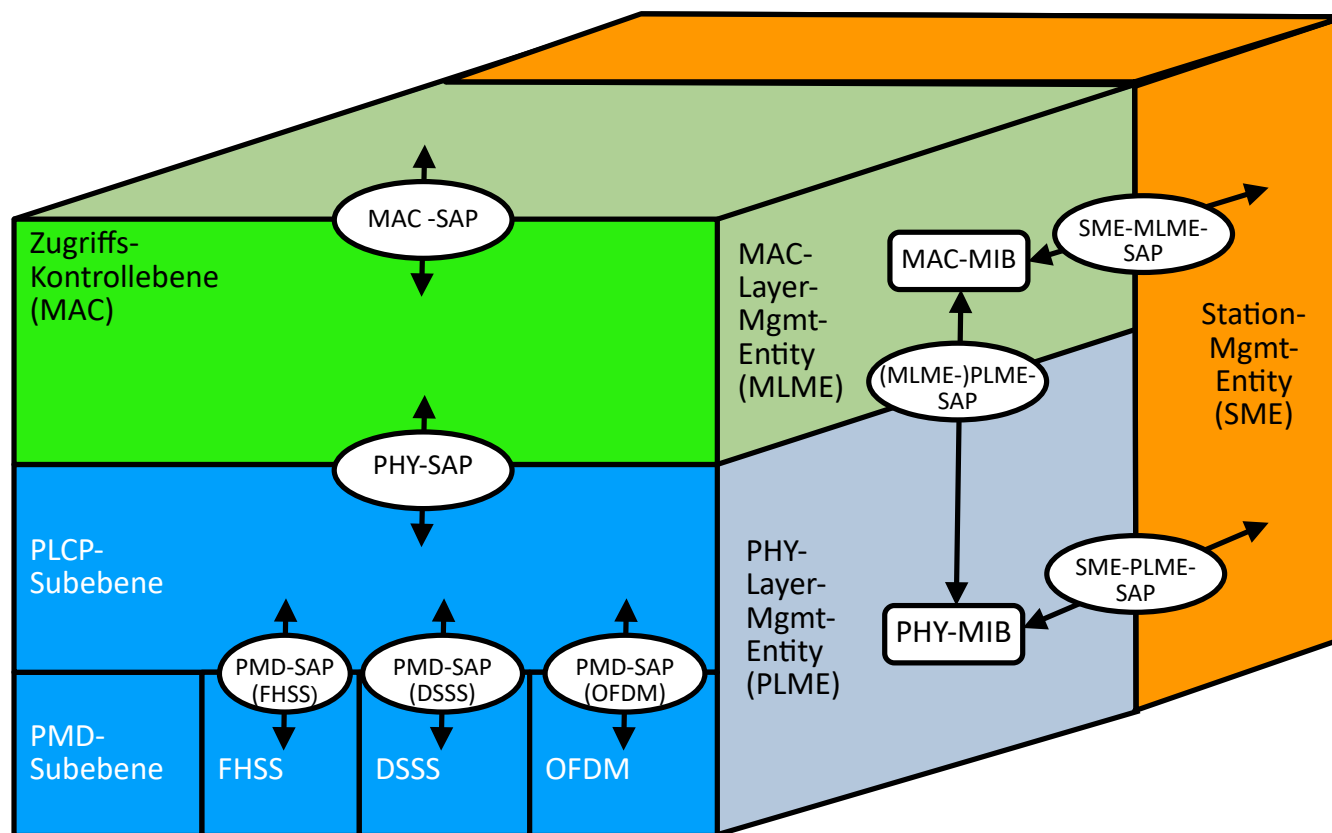
Protokoll-Sicht



Layer-Management



Layer-Management



Primitive für : CCA / Daten senden / Daten empfangen

Clear Channel Assessment (CCA)

Senden einleiten

PHY-TXSTART.request(TXVECTOR)

PHY-TXSTART.confirm

Daten Senden

PHY-Data.request(DATA)

PHY-Data.indication(DATA)

PHY-DATA.confirm

Daten Empfangen

PHY-RXSTART.indication(RXVECTOR)

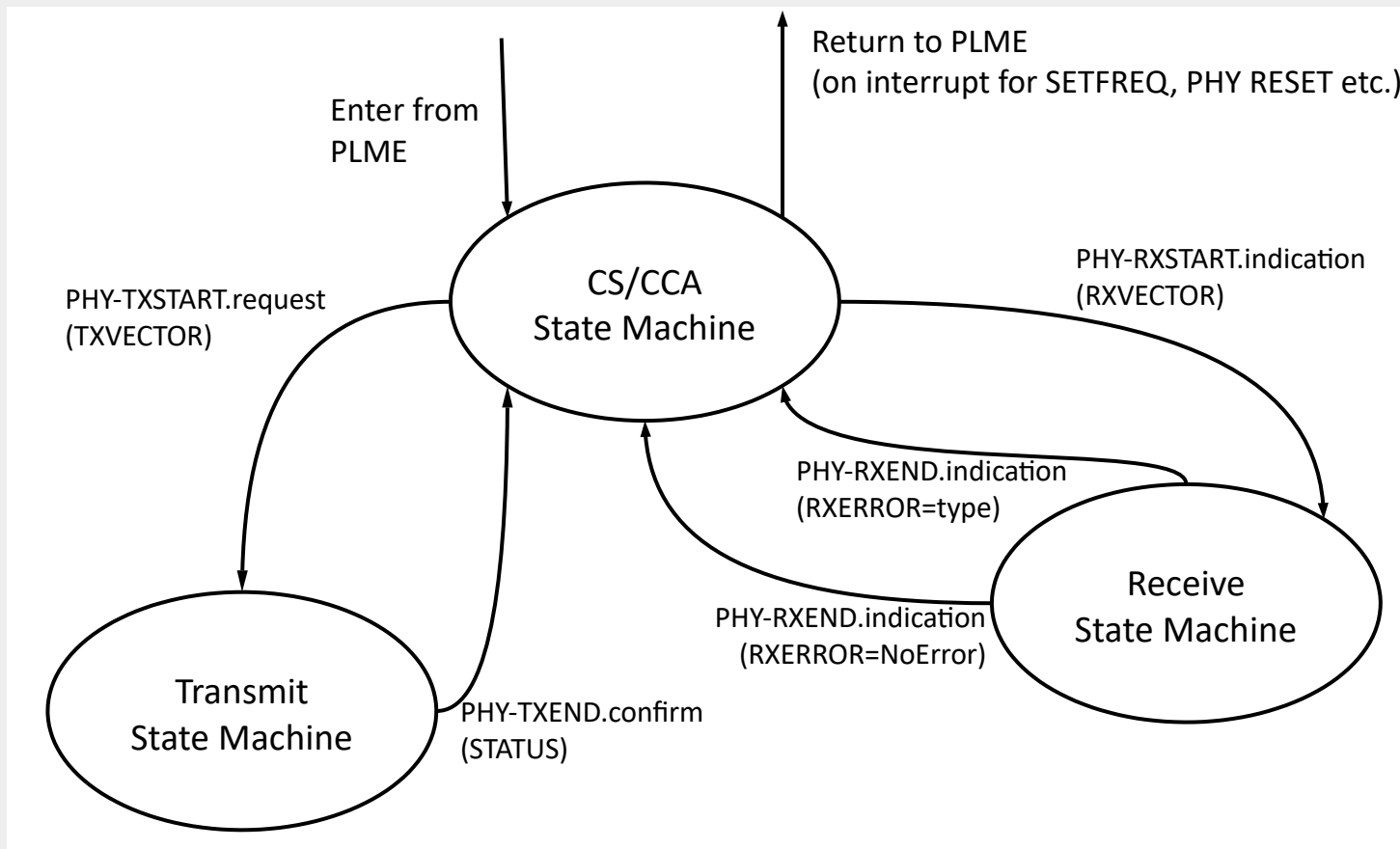
PHY-RXEND.indication(RXERROR → NoError, FormatViolation, CarrierLost, UnsupportedRate)

Sende-Ende

PHY-TXEND.request

PHY-TXEND.confirm

Statusmaschine



Inhalt

- Frequenzbereiche (2,4 / 5 / 6 / 60 GHz)
- Multiplexverfahren (SDMA, FDMA, TDMA und CDMA)
- Modulationsverfahren (BPSK, QPSK, CCK, QAM bis 1024-QAM)
- Einbettung von WLAN nach IEEE802.11 in das ISO-7-Schichten Modell
- Sichten auf das ISO 7-Schichten-Modell (Dienstesicht, Protokollsicht)
- SAPs (SME-MLME, SME-PLME / MAC-SAP, PHY-SAP, PMD-SAP(xxxx))
- Layer-Management (Management, Control, Data)
- Dienste-Primitive(request, indication, confirm)
- Statusmaschine (CS/CCA, Transmit, Receive)

WLAN-Vorlesung Teil-2

Stand: 16.03.25

Inhalt

- Frequenzbereiche
- Multiplexverfahren
- Modulationsverfahren
- Einbettung von WLAN nach IEEE802.11 in das ISO-7-Schichten Modell
- Sichten auf das ISO 7-Schichten-Modell
- SAPs
- Layer-Management (Management, Control, Data)
- Dienste-Primitive
- Statusmaschine

WLAN Teil-2
Stand: 16.03.2025
Folie: 3:37

WLAN-Frequenzbänder

MHz	System
450 - 470	TETRA (Trans European Trunked Radio) z. B. Bündelfunk Taxi, Busse, Polizei
863 - 868,6	IEEE 802.11 ah (in Europa mit max. 25 mW)
870 - 875	TETRA (Trans European Trunked Radio) z. B. Bündelfunk Taxi, Busse, Polizei
876 - 880	GSM - R
880 - 890	GSM Extension
890 - 915	GSM 900
901 - 928	IEEE 802.11 ah (in USA mit max. 1 W)
915 - 921	TETRA (Trans European Trunked Radio) z. B. Bündelfunk Taxi, Busse, Polizei
925 - 935	GSM Extension
...	
2110 - 2170	UMTS
2170 - 2200	UMTS Satellite
2400 - 2500	ISM (IEEE 802.11b/g/n/ax, Bluetooth, Home-RF, Mikrowellenofen, Bewegungsmelder)
4200 - 5725	Sekundärnutzer
	Primärnutzer: Navigation
	5150 - 5250 HIPERLAN 1 & 2, IEEE 802.11a/h/n/ac/ax
	5250 - 5350 HIPERLAN 2, IEEE 802.11a/h/n/ac/ax
5725 - 5875	ISM (RTTT Road Transport Telefon Telematics = Österreichische Maut)
	5925 - 7125 U-NII-5 bis U-NII-8 in den USA für IEEE802.11ax (Wi-Fi 6E) mit max. 1 W innen und max. 4W außen
:	:
61000 - 61500	IEEE 802.11 ad / ay

ISM

ISM steht für die Bereiche Industrial Scientific Medical.

Da diese Frequenzbänder lizenzfrei sind, nutzen sie noch Nutzer aus anderen Bereichen.

So sind Mikrowellenöfen, Bewegungsmelder usw. auch im 2,4GHz Band angesiedelt.

Für jeden Bereich sind maximale Sendeleistungen festgelegt. Trotzdem kann es zu Störungen kommen. Diese sind zu tolerieren und es muss dann irgendwie damit umgegangen werden.

In Europa richten sich die Länder nach den Freigaben der ETSI und international nach der ITU.

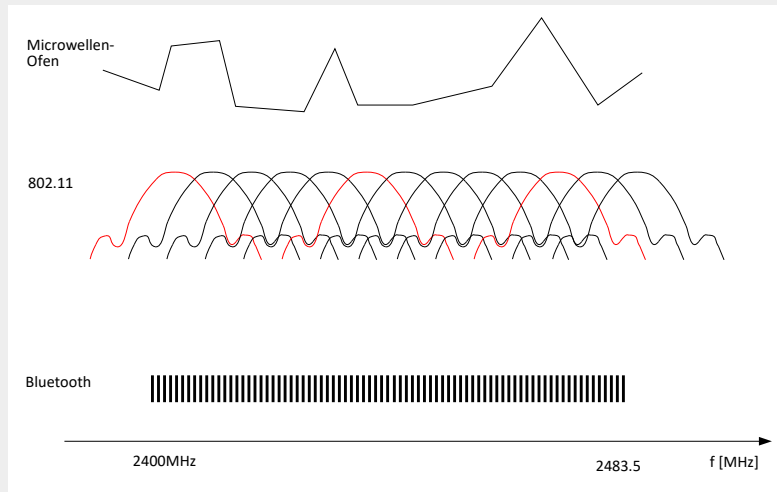
In Deutschland ist für die Vergabe von Frequenzbändern die Bundesnetzagentur (BnetzA) zuständig.

In Österreich regelt die Rundfunk und Telekom Regulierungs-GmbH (RTR) und in der Schweiz das Bundesamt für Kommunikation (BAKOM) die Frequenzfreigabe.

U-NII

In den USA werden die 5 und 6 GHz-Bänder in den so genannten Unlicensed National Information Infrastructure (U-NII)-Bändern von der Federal Communications Commission (FCC) verwaltet.

Störeinflüsse im 2,4GHz-Bereich



Das für WLANs genutzte ISM-Band im 2.4 GHz-Band hat viel Konkurrenz. Es muss sich gegen medizinische Geräte, Bluetooth, schnurlose Telefone, Bewegungsmelder so wie auch z. B. Mikrowellenöfen durchsetzen.

Während die industriellen Mikrowellen-Öfen den gesamten Bereich abdecken zeigen Mikrowellenöfen in privaten Haushalten nur Störungen im Kanal 9 und 10 bei 2,455GHz.

Für Bluetooth stehen 79 Kanäle zur Verfügung. Diese Kanäle werden von Bluetooth nach dem Frequency-Hopping-Verfahren 1600 mal in der Sekunde gewechselt.

Regionale Unterschiede im 2,4GHz-Band

Kanal	Center Frequency [GHz]	ETSI (Europa)	Japan	FCC (USA)	Israel
1	2,412	100mW	100mW	1W	verboten
2	2,417	100mW	100mW	1W	verboten
3	2,422	100mW	100mW	1W	*
4	2,427	100mW	100mW	1W	*
5	2,432	100mW	100mW	1W	*
6	2,437	100mW	100mW	1W	*
7	2,442	100mW	100mW	1W	*
8	2,447	100mW	100mW	1W	*
9	2,452	100mW	100mW	1W	*
10	2,457	100mW	100mW	1W	verboten
11	2,462	100mW	100mW	1W	verboten
12	2,467	100mW	100mW	verboten	verboten
13	2,472	100mW	100mW	verboten	verboten
14	2,484	verboten	verboten	verboten	verboten

In diesem Bereich sind die Standards IEEE802.11/b/g/n/ax angesiedelt. Vor allem im SOHO-Bereich (Small-Office / Home-Office) sind hier Produkte zu finden.

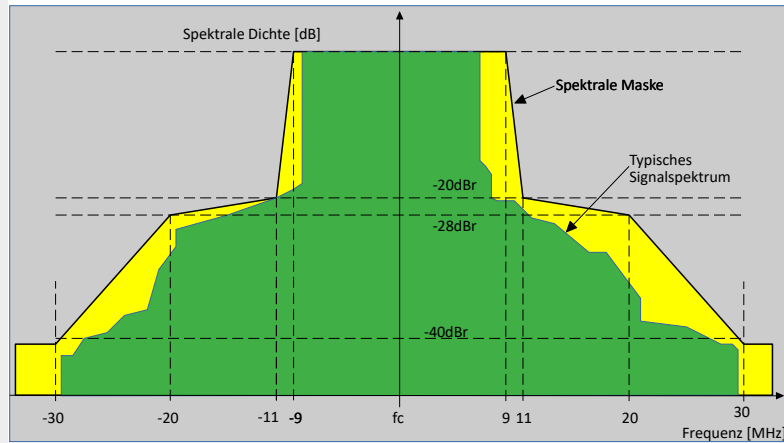
Es handelt sich dabei um einen Frequenzbereich, der in maximal 14 **Kanäle** aufgeteilt wird.

Die Aufteilung des 2,4GHz-Bandes in Kanäle ist in den Regionen unterschiedlich organisiert.

In Japan und fast allen Ländern Europas sind als Sendeleistung 100mW zugelassen. In den USA ist 1W zugelassen. Dafür sind in den USA zwei Kanäle weniger zugelassen!

Geregelt werden die Unterschiede in den Ländern mit dem Standard IEEE802.11d (World-Mode).

Spektralmaske im 2,4GHz-Bereich



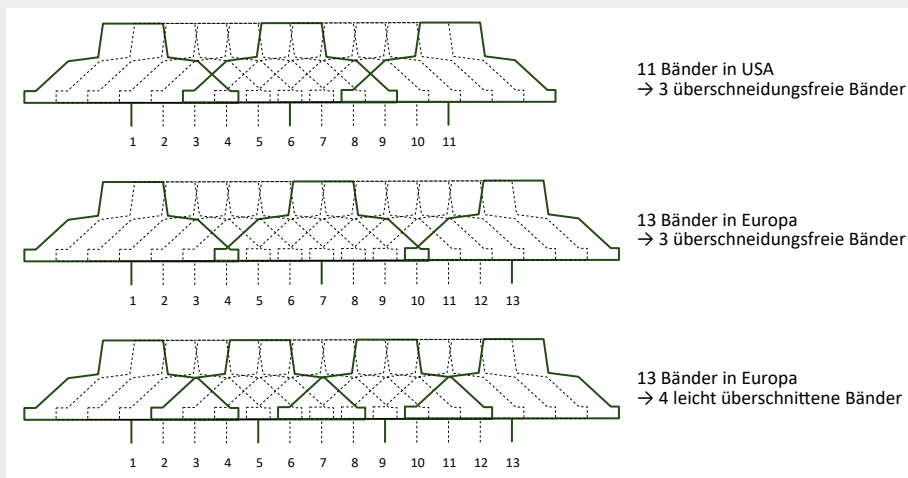
Im 2,4GHz-Band waren für die ersten Standards nur Kanäle mit einer Bandbreite von 20 MHz vorgesehen. In der Folie ist ein solches Band mit seiner sende-seitigen Spektralmaske Dargestellt.

Die dBr-Werte beziehen sich als relative dB-Werte auf den Bereich zwischen -9 MHz und +9 Mhz von der zentralen Kanal Frequenz (Center Frequency f_c) aus gesehen.

Der gelbe Bereich stellt die Vorgabe durch die Norm dar.

Der grüne Bereich stellt einen typischen Verlauf dar.

Überschneidungsfreie Kanäle im 2,4GHz-Band



Der Kanalabstand ist bei WLANs (mit Ausnahme von Kanal 14) auf 5MHz festgelegt. Da die beim WLAN genutzten Kanäle jedoch mindestens 20MHz breit sind, gibt es Überlappungen. Diese wirken sich in den unterschiedlichen Regionen unterschiedlich aus.

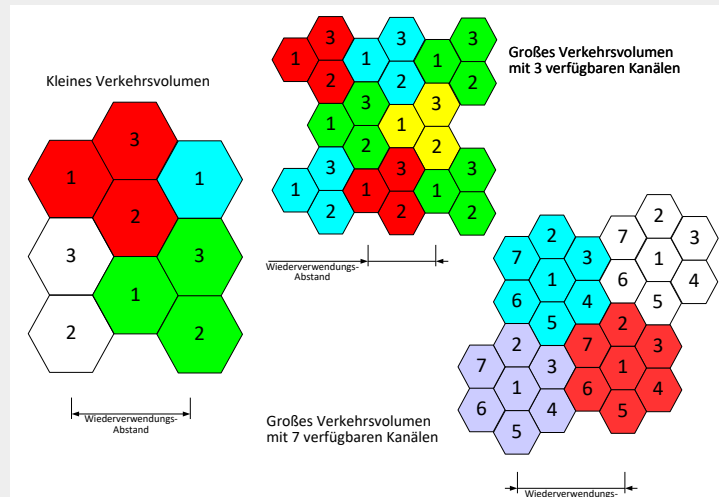
Die Überschneidungen sind bei geringem Abstand der WLAN-Teilnehmer nicht problematisch. Bei größeren Abständen wird es schwierig höhere Datenraten zu erreichen.

In der Folie ist zu sehen wie in unterschiedlichen Regionen die Überschneidungen ausfallen.

Es ist immer ein Kompromiss zwischen:

- Anzahl der verfügbaren Kanäle
- Überschneidungen der Bänder
- Anzahl der APs
- Erreichbare Datenübertragungsrate
- Anzahl der Stationen
- Erreichbare Datenübertragungsrate pro Station

Wiederverwendungsabstand



Da Mobilfunknetze in Zellen aufgeteilt werden und die Anzahl der verfügbaren Frequenzbereiche endlich ist, muss bei einer Abdeckung größerer Flächen der Wiederverwendungsabstand eingeführt werden.

Die Reichweite von Funkzellen ist begrenzt. Deshalb müssen mehrere Funkzellen aneinander gelegt werden um größere Flächen abzudecken. Dies ist möglich, führt jedoch zu Problemen, wenn die aneinander liegenden Funkzellen das gleiche Frequenzband benützen. Durch die Interferenzen, die durch die Überlagerung der Funkwellen entstehen kann der Funkverkehr stark beeinträchtigt werden. Deshalb müssen aneinander liegende Funkzellen mit unterschiedlichen Frequenzen arbeiten. Da die Kanalanzahl jedoch begrenzt ist, tritt hier der Begriff des Wiederverwendungsabstands auf. Er ist ein Maß dafür, ab welchem Abstand der gleiche Kanal wieder verwendet werden kann. Er ist somit von der Anzahl der verfügbaren Kanäle und der Sendeleistung abhängig.

Die flächendeckende Abdeckung muss auch berücksichtigen wie viele mobile Clients mit der Basisstation kommunizieren wollen.

Sind zu viele Clients an einer Basisstation assoziiert, sinkt die Datenrate der einzelnen Verbindungen entsprechend ab, da es sich bei Funk um ein Shared Media handelt, das sich alle teilen müssen.

Hier kann nur durch Verkleinerung der Funkzellen einer Erhöhung der Anzahl der Station entgegengewirkt werden. Entsprechend muss die Sendeleistung der APs angepasst werden.

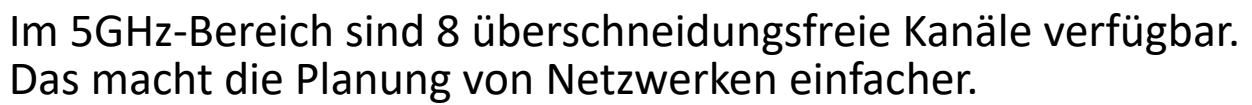
Regionale Unterschiede im 5GHz-Band

Kanal	Mitten-Frequenz [GHz]	Fast alle Länder der Welt	USA / Australien	China / Singapur / Israel
36	5,180	200mW*	erlaubt	erlaubt
40	5,200	200mW*	erlaubt	erlaubt
44	5,220	200mW*	erlaubt	erlaubt
48	5,240	200mW*	erlaubt	erlaubt
52	5,260	200mW*	erlaubt	erlaubt
56	5,280	200mW*	erlaubt	erlaubt
60	5,300	200mW*	erlaubt	erlaubt
64	5,320	200mW*	erlaubt	erlaubt
100	5,500	1W**	erlaubt	verboten
104	5,520	1W**	erlaubt	verboten
108	5,540	1W**	erlaubt	verboten
112	5,560	1W**	erlaubt	verboten
116	5,580	1W**	erlaubt	verboten
120	5,600	1W**	verboten	verboten
124	5,720	1W**	verboten	verboten
128	5,640	1W**	verboten	verboten
132	5,660	1W**	erlaubt	verboten
136	5,680	1W**	erlaubt	verboten
140	5,700	1W**	erlaubt	verboten

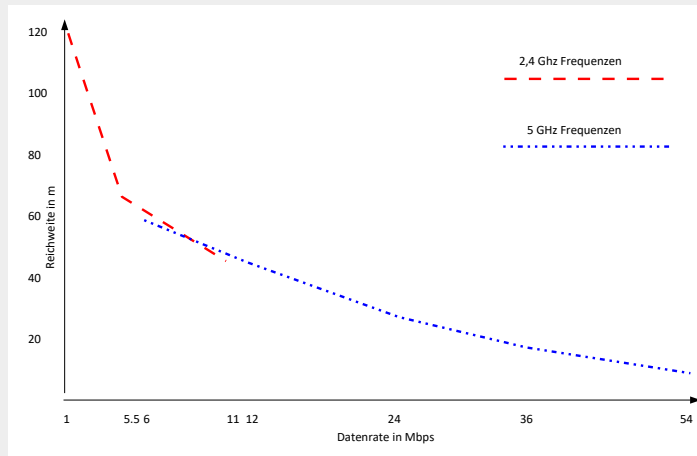
Kanal	Mitten-Frequenz [GHz]	Europa	USA China	Japan Türkei Israel
149	5,745	25mW***	erlaubt	verboten
153	5,765	25mW***	erlaubt	verboten
157	5,785	25mW***	erlaubt	verboten
161	5,805	25mW***	erlaubt	verboten
165	5,825	25mW***	erlaubt	verboten

Auch im 5GHz-Band gibt es regionale Unterschiede bei der Freigabe und bei den Sendeleistungen.

Standards die im 5GHz-Bereich arbeiten sind:
IEEE802.a/h/n/ax



Vergleich der Datenraten 2,4GHz / 5GHz

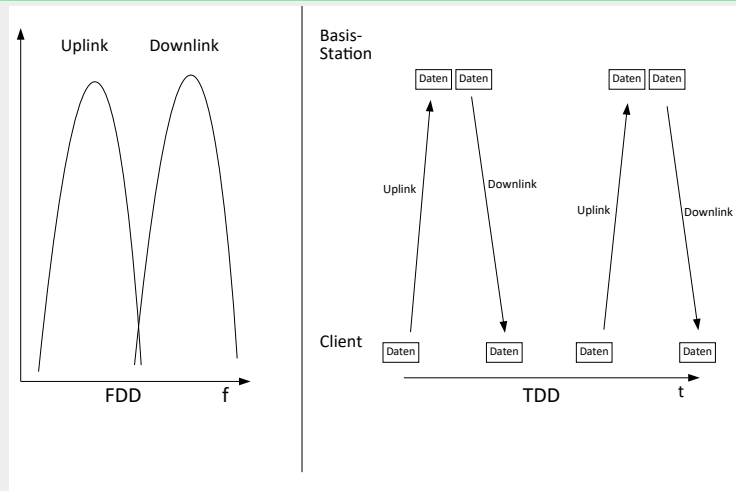


Funknetze haben das Reichweitenproblem als Eigenschaft mit eingebaut. Je höher die Frequenz ist, desto größer ist die Freiraumdämpfung und damit umso kleiner die Reichweite.

Als Stellschraube kann die Sendeleistung wegen den gesetzlichen Vorgaben nur in Grenzen geändert werden.

Weitere Informationen dazu beim Kapitel Antennen.

Multiplexbetrieb (2 Teilnehmer)



Zwischen **zwei** Kommunikationspartnern kann eine Trennung zwischen Uplink und Downlink erfolgen. Dies ermöglicht eine Kommunikation in 2 Richtungen quasi gleichzeitig.

Hierbei sind die folgenden Verfahren gängig:

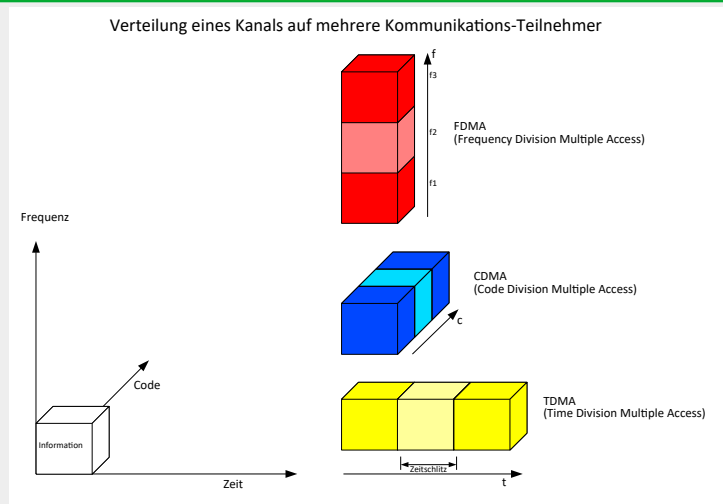
FDD (Frequency Division Duplex)

Jeder Kanal bekommt dabei einen eigenen Frequenzbereich. Dies erhöht den Bandbreitenbedarf.

TDD (Time Division Duplex)

Jeder Teilnehmer bekommt zum Senden innerhalb eines Zeit-Rahmens einen Zeitschlitz zugewiesen.

Multiplexbetrieb (>2 Teilnehmer)



Sollen **mehr als zwei** Kommunikations-Teilnehmern gleichberechtigt kommunizieren können, gibt es die Möglichkeiten, die vom Message Cube abgeleitet werden können.

Möglichkeiten des Multiplexing.

FDMA (Frequency Division Multiple Access)

Beruht auf der Verwendung von FDM (Frequency Division Multiplex). Dabei werden den Übertragungskanälen für die Dauer der Übertragung die Frequenzen zugewiesen.

TDMA (Time Division Multiple Access)

Verwendung von Zeitschlitz, in denen jeweils ein Gerät sendet.

CDMA (Code Division Multiple Access)

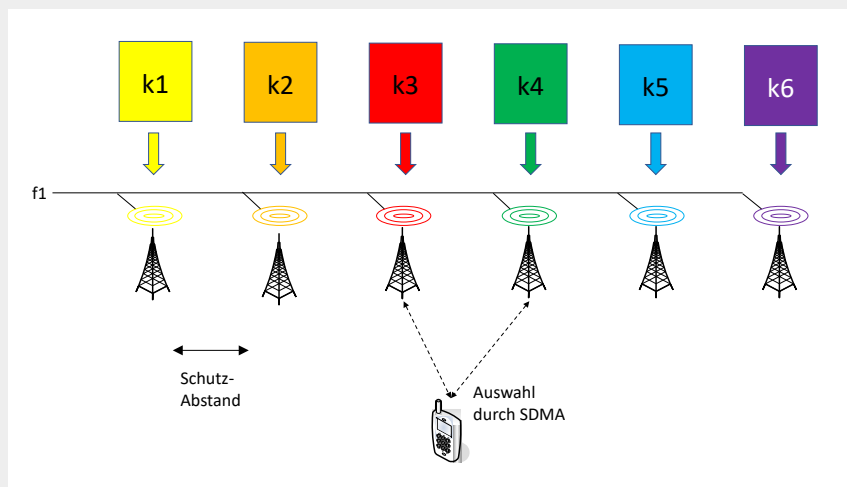
Verwendung von unterschiedlichen Codierungs-Verfahren.

SDMA (Space Division Multiple Access)

Räumliche Aufteilung der Kanäle über unterschiedliche Sendemasten.

Mischformen aus den Formen sind sowohl möglich als auch sinnvoll.

Space Division Multiple Access (SDMA)



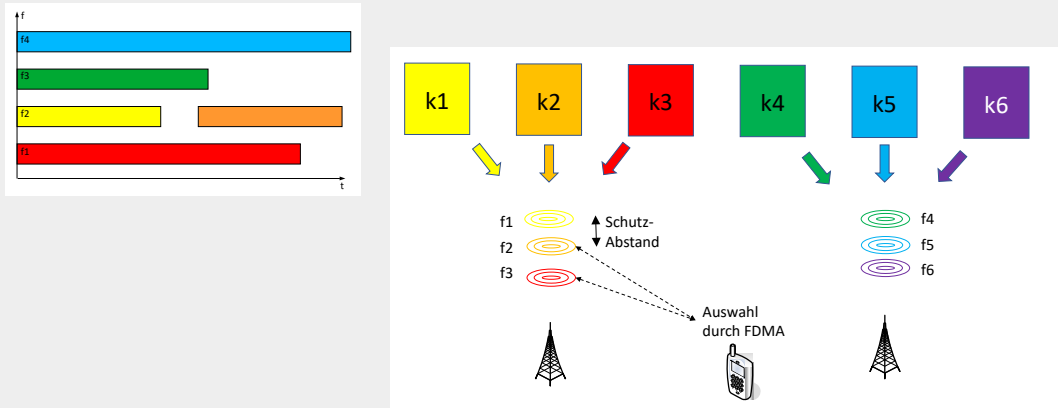
Beim Space Division Multiple Access handelt es sich um ein Raum Multiplex-Verfahren.

Die Sendemasten sind hierbei räumlich voneinander getrennt. Damit kann die Kommunikation nur in einem bestimmten regionalen Bereich erfolgen.

Bei Nutzung von nur einer Frequenz ist ein Schutzabstand notwendig. Oder jeder Sender würde eine eigene Frequenz benötigen. Deshalb ist das Raum-Multiplex-Verfahren nur in Kombination mit anderen Multiplexverfahren sinnvoll.

Wichtig im Zusammenhang von WLANs ist das Thema Wiederverwendungsabstand. (siehe Folie Wiederverwendungsabstand)

Frequency Division Multiple Access (FDMA)



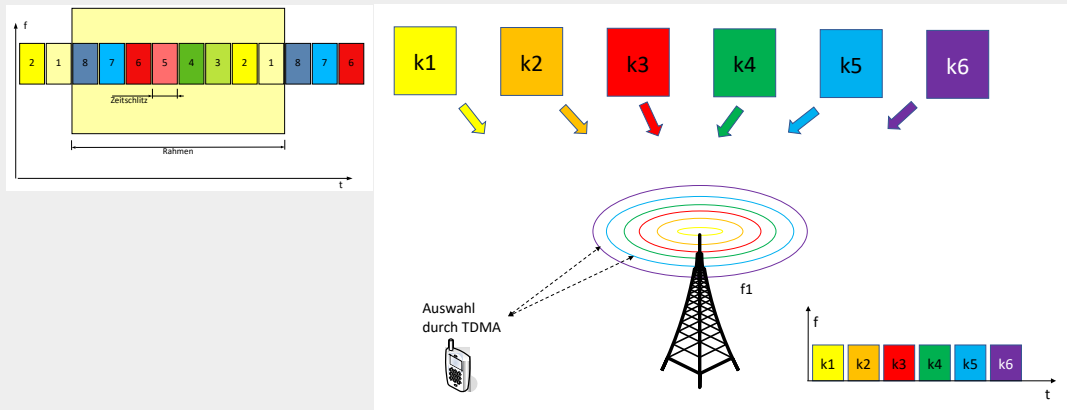
Unterschiedliche Frequenzen werden z. B. beim Rundfunk eingesetzt. Jeder Sender hat seine eigene, ihm zugewiesene, feste Frequenz.

Die Bandbreite pro Kanal sowie die Anzahl der Frequenzbänder sind hierbei die begrenzenden Faktoren für die Datenübertragungsrate. Jeder Teilnehmer belegt den Kanal so lange wie er senden möchte. Dies kann zu langen Wartezeiten führen, wenn alle Kanäle belegt sind.

Zusätzlich benötigt jeder Kanal einen eigenen Transceiver in der Basisstation. Dadurch ist diese Technik teuer.

Der Schutzabstand wird durch Frequenzbereiche (z. B. Guard-Subcarrier), die nicht für den Datentransport verwendet werden dürfen, sicher gestellt.

Time Division Multiple Access (TDMA)

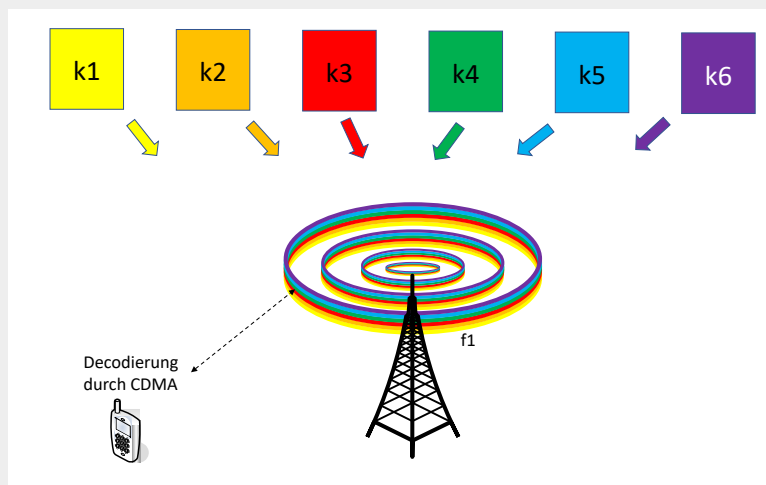


TDMA beruht auf TDM (Time Division Multiplexing). Das Übertragungsmedium wird einem Übertragungskanal eine bestimmte Zeit zugewiesen. Hierbei wird nur auf einer Frequenz gesendet.

Innerhalb eines Zeit-Rahmens hat jeder Teilnehmer einen Zeitschlitz, den er für das Senden nutzen kann. Bandbreite, Rahmendauer, Anzahl der Zeitslitze pro Rahmen sowie die Zeitschlitzdauer sind die begrenzenden Faktoren für die Datenübertragungsrate.

Der Schutzabstand wird durch Inter Frame Spaces und Guard-Intervalle sicher gestellt.

Code Division Multiple Access (CDM)



Bei CDMA handelt es sich genau genommen um ein Bandspreizverfahren.

Vorteil:

Mehrere Teilnehmer können über eine Frequenz (einen Kanal) Daten übertragen.

Nachteil:

Die Bandbreite des Kanals muss um den Faktor m größer sein als der Kanal für nur einen Teilnehmer.

Funktions-Beispiel:

Bei einer Versammlung von Personen können die Kommunikationspartner nahe beisammen stehen. Jeder spricht jeder nur so laut, dass der Partner ihn verstehen kann.

Jede Kommunikationsbeziehung wird in einer anderen Sprache (einem anderen Code) durchgeführt. Dadurch sind die Kommunikationskanäle voneinander getrennt, denn andere Sprachen können nicht verstanden werden. Andere Sprachen werden nur als Hintergrundrauschen wahrgenommen. Problematisch dabei sind verwandte Sprachen mit geringen Unterschieden. Dabei ist dann der Störabstand zu gering. (z. B. Norwegisch und Schwedisch)

Code Division Multiple Access (CDMA) Beispiel

Umsetzungsbeispiel

Sender A sendet ein Bit (A_d)

Daten: $A_d = 1$

Verwendeter Schlüssel $A_k = 010011$ (setze: „0“ = -1, „1“ = +1) = (-1, +1, -1, -1, +1, +1)

Resultierendes Sendesignal $A_s = A_d * A_k = (-1, +1, -1, -1, +1, +1)$ (d. h. A_k bleibt erhalten)

Sender B sendet ein Bit (B_d)

Daten: $B_d = 0$

Verwendeter Schlüssel $B_k = 110101$ (setze: „0“ = -1, „1“ = +1) = (+1, +1, -1, +1, -1, +1)

Resultierendes Sendesignal $B_s = B_d * B_k = (-1, -1, +1, -1, +1, -1)$ (d. h. B_k wird negiert)

Beide Sendesignale werden additiv überlagert und über die Luft übertragen

$C = A_s + B_s = (-2, 0, 0, -2, +2, 0)$

Empfänger C will Sender A hören und wendet dessen Schlüssel A_k bitweise an (inneres Produkt)

$A_s = C * A_k = (2, +0 + 0 + 2 + 2 + 0) = 6$

Da das Ergebnis > 0 ist, wird das empfangene Bit = 1

Empfänger D will Sender B hören und wendet dessen Schlüssel B_k bitweise an (inneres Produkt)

$B_s = C * B_k = -2, +0 + 0 - 2 - 2 + 0 = -6$

Da das Ergebnis < 0 ist, wird das empfangene Bit = 0

Jede Bitübertragungszeit wird in m kurze Intervalle namens Chips unterteilt.

Jede Station bekommt einen eindeutigen m -Bit-Code zugewiesen, der auch Chipfolge genannt wird.

Orthogonale Chipfolgen können mit einer Methode namens Walsh Code erzeugt werden.

$$S(t) = a(t)\cos(\omega_{\{0\}}t + \varphi(t))$$

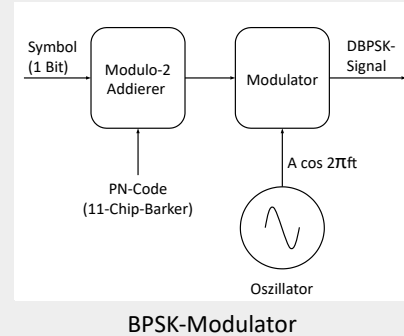
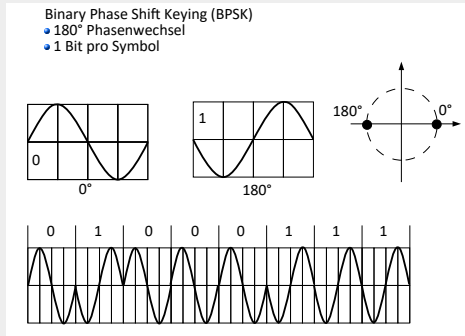
Damit sind für eine Modulation folgende Variablen gegeben:

- Amplitude a
- Frequenz $f = 1 / T$
- Phase φ

Eine Amplitudenmodulation allein ist für WLANs nicht tauglich da die Störeinflüsse zu groß sind.

Da beim Multiplexing bereits FDMA angewendet wird kann bei WLANs Nur noch eine Mischung aus Amplituden und Phasenmodulation angewendet werden.

Binary Phase Shift Keying (BPSK)

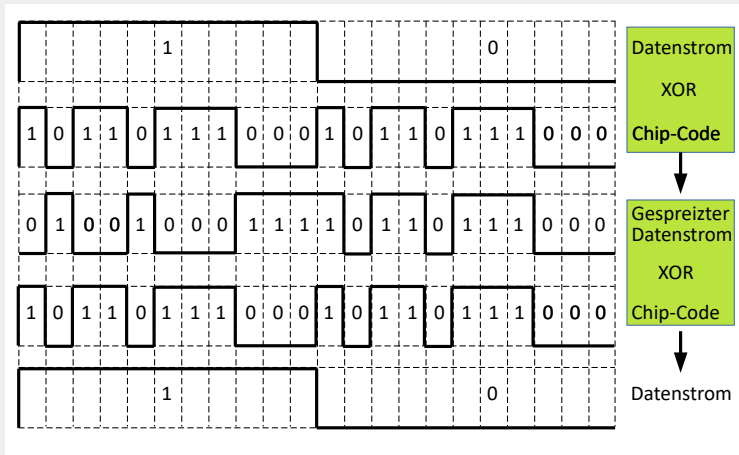


Will man eine Modulation der Phase durchführen, kann man z. B. für die Kodierung einer „0“ den Phasenwinkel 0 nehmen und für die Kodierung einer „1“ den Phasenwinkel 180° dies führt zur Binary Phase Shift Keying (BPSK)

Hierbei wechselt sich der Phasenwinkel um 180°, wenn ein Übergang von einer 1 auf eine Null oder umgekehrt übertragen wird.

Im Modulator werden zuerst das Datenbit zuerst mit einem 11-Chip Barker-Code mit modulo-2 addiert. Danach wird mit einem Cosinus Moduliert. Das entspricht einer Signalspreizung, da die Verknüpfung mit dem 11-Chip-Barker-Code einer Vergrößerung der Bitanzahl um 11 entspricht.

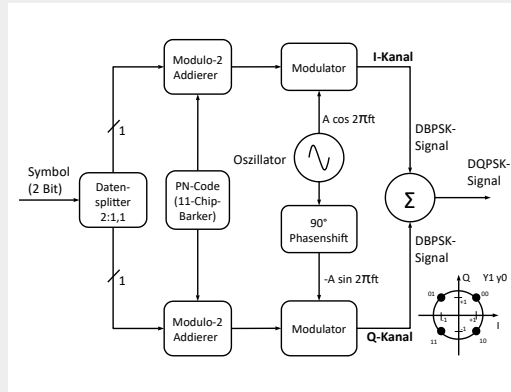
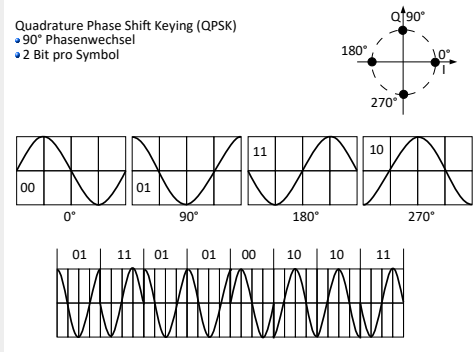
Anwendung des Barker-Codes



Beim Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)-Verfahren wird das Thema als Anwendung nochmals zur Sprache kommen.

Wie in der Folie sichtbar ist, wird der Chip-Code mit dem Datenbit XOR verknüpft. Dadurch entsteht aus einem Datenbit eine 11-Bit-Sequenz. Als Folge davon muss die verwendete Bandbreite 11 mal größer sein als beim Original-Signal.

Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)



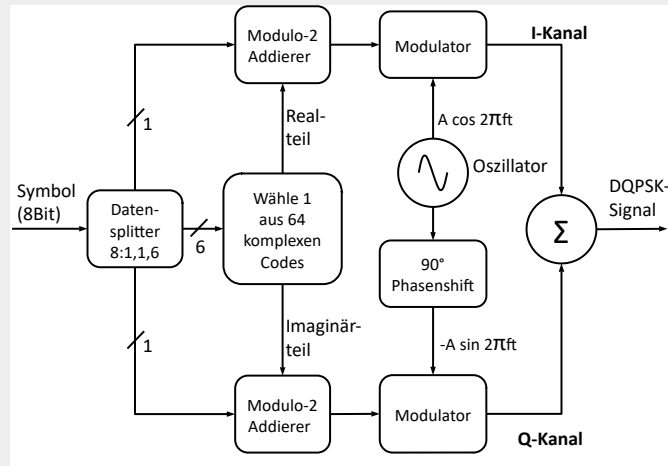
Will man noch mehr Bits gleichzeitig übertragen kann an der Anzahl der unterschiedlichen Phase manipuliert werden. Werden anstelle von zwei gleich vier unterschiedliche Phasenlagen angewendet kann man zwei Bits übertragen.

Bevor nun die Verknüpfung mit dem Chip-Code erfolgt werden die beiden Bits in zwei Ströme, einen Q-Kanal und einen I-Kanal, aufgeteilt. Die Bearbeitung mit dem Chipcode erfolgt mit dem selben Barker-Chipcode, jedoch für jeden Strom getrennt.

Nach der Signalspreizung erfolgt die Modulation wobei die beiden Ströme um 90° Phasenverschoben werden.

Am Ende werden die beiden Ströme Summiert und in Richtung Antenne geleitet.

Complementary Code Keying (CCK)

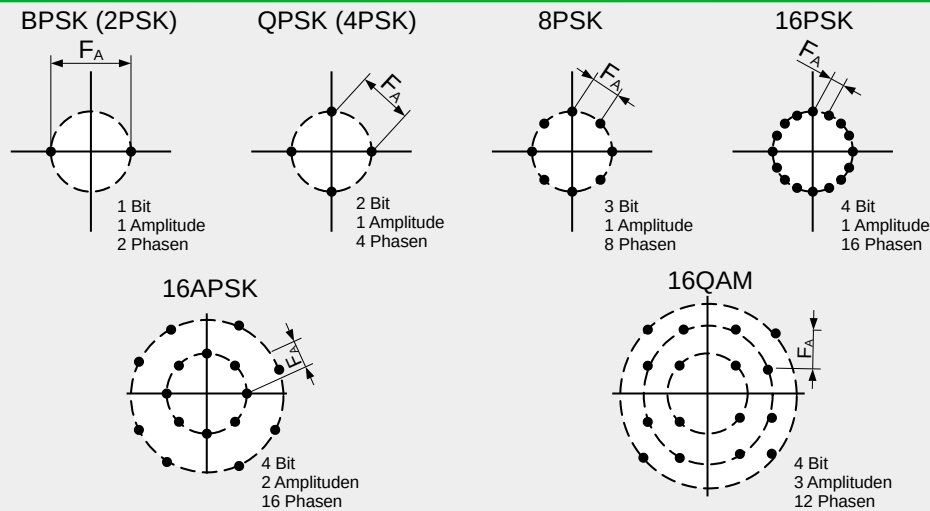


Sobald mehr als 2 Bits zu modulieren sind wird das Complementary Code Keying (CCK) eingesetzt.

Hierbei wird bei der Aufteilung der Bits am Anfang in 3 Teile aufgeteilt. Jeweils ein Bit für die Erstellung des I-Kanals für den Realteil und den Q Kanal für den Imaginärteil.

Die restlichen Bits (in der Folie sind das 6 Bits) werden für die Auswahl eines komplexen Codes, bestehend aus einem Realteil und einem Imaginärteil, herangezogen. Der Rest verläuft dann wie bei der QPSK.

Von BPSK zu 16QAM



Bei der Phasenmodulation (PSK = Phase Shift Keying) halbiert sich der Fehlerabstand (F_A) mit jedem weiteren Bit, was zu einer Verdopplung der Konstellationspunkte führt.

Solange nur eine Amplitude verwendet wird, müssen die Empfänger immer empfindlicher werden, um die Konstellationspunkte voneinander zu trennen.

Durch die Einführung mehrerer Amplituden durch die APSK (Amplitude Phase Shift Keying) erhöht sich der Fehlerabstand wieder.

Das kann dazu genutzt werden, um die Distanz zwischen Sender und Empfänger zu erhöhen oder ein kleineres Sendesignal zu verwenden.

Modulationsart → Anzahl der Bits pro moduliertem Symbol

16QAM → 4 Bit

(32QAM) → 5 Bit

64QAM → 6 Bit

(128QAM) → 7 Bit

256 QAM → 8 Bit

(512QAM) → 9 Bit

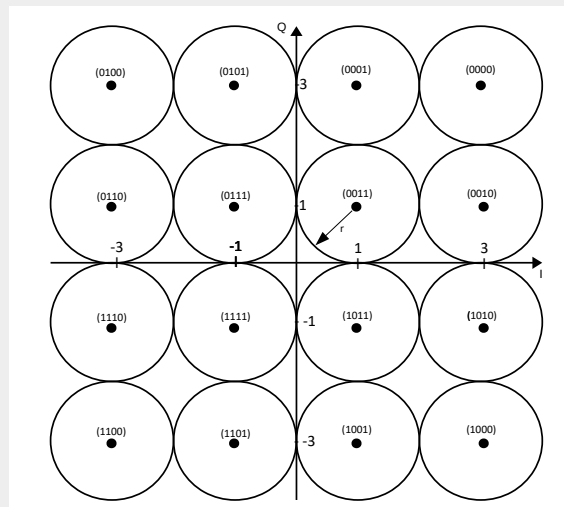
1024QAM → 10 Bit

(2048QAM) → 11 Bit

4096QAM → 12 Bit

Modulationsarten in Klammern werden bei WLAN nicht verwendet.

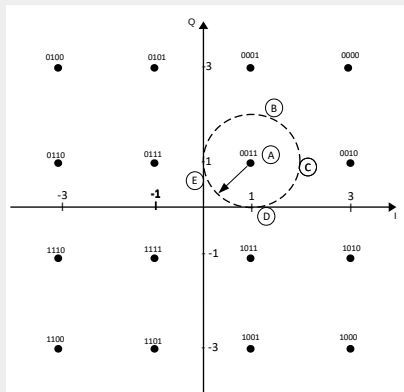
16-QAM



Zusätzlich zur Phasenumtastung wurde noch eine Amplitudenumtastung durchgeführt. Beim 16-QAM steigt die Anzahl der Symbole auf 16.

Damit lassen sich 4 Bit codieren. Im folgenden Beispiel wurde noch zusätzlich eine Gray-Codierung der Werte vorgenommen. Damit ändert sich bei jedem Übergang zu einem anderen Symbol nur ein Bit. Damit ist der Hamming-Abstand = 1.

16-QAM (Erkennung von Bitfehlern)



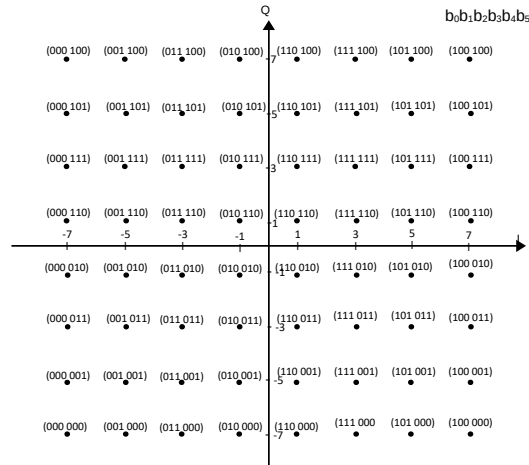
Punkt	Decodiert	Bitfehler
A	0011	0
B	0001	1
C	0010	1
D	1011	1
E	0111	1

Im Beispiel sieht man die Auswirkungen, falls die Erkennung der Phase und / oder der Amplitude gelingt oder fehlschlägt.

Im Fehlerfall (B – E) kann immer ein Bitfehler erkannt werden.

64-QAM

Bits ($b_0b_1b_2$)	I-Out	Bits ($b_3b_4b_5$)	Q-Out
000	-7	000	-7
001	-5	001	-5
011	-3	011	-3
010	-1	010	-1
110	1	110	1
111	3	111	3
101	5	101	5
100	7	100	7

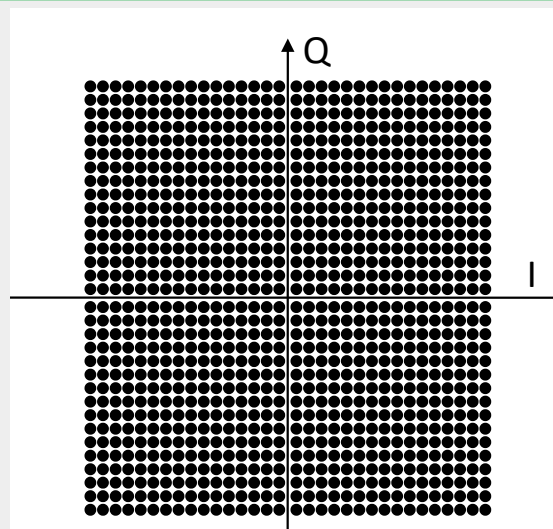


Beim 64-QAM-Verfahren werden 6 Bits pro Daten-Symbol transportiert.

Die ersten 3 Bits (b_0, b_1 und b_2) werden dazu verwendet um eine von 8 Phasenlagen im I-Kanal darzustellen.

Die höherwertigen Bits (b_3, b_4 und b_5) werden dazu verwendet die 8 möglichen Amplituden im Q-Kanal zu adressieren.

1024-QAM



Damit können 10 Bits
kodierte werden

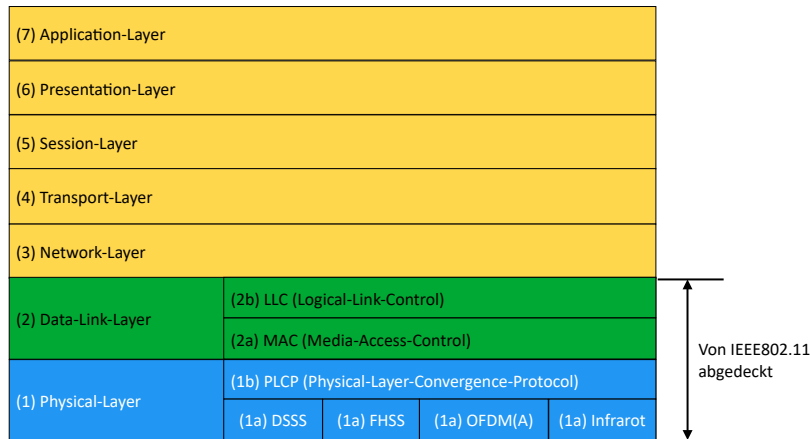
Spinnt man diese Entwicklung weiter landet man bei der Codierung von derzeit maximal 10 Bits bei 1024QAM.

Es ist klar, dass damit die Anforderungen an die Empfänger-Empfindlichkeit immer weiter steigen. Deshalb wird bei den einzelnen Standard-Erweiterungen, die immer höhere Datenraten bringen, die Anforderungen an die Empfänger in entsprechenden Tabellen mitgeliefert.

Um die Datenübertragung auch bei hohen Daten-Übertragungsraten möglichst robust zu gestalten werden die ersten Bits der Header mit robusten Modulationsverfahren übertragen. Je nachdem wie gut die Daten übertragen werden können, wird nach dem PHY-Header auf eine Modulation mit höherer Datenübertragungsrate umgeschaltet. Als Entscheidungskriterium wird hierzu das Signal zu Rauschen-Verhältnis (SNR) herangezogen.

Damit erklärt sich zum Teil, warum bei den WLANs, die theoretisch maximale Datenübertragungsrate, nie erreicht werden kann. Es wird immer ein Teil des Headers mit einer Datenübertragungsrate von 1MBit/s übertragen.

WLAN nach IEEE802.11 im ISO-7-Schichten-Modell



IEEE802.11 beschreibt die unteren beiden Schichten im ISO-7-Schichten Modell, wobei die beiden Schichten nochmals in jeweils zwei Schichten (a unten und b oben) unterteilt werden.

Es wird versucht die Farbzuzuordnung im Skript und in den Präsentationen durchzuhalten.

1a

Hier werden abhängig vom Medium Nullen und Einsen übertragen.
Als zugehörige Themen sind:
Modulation

1b

Hier wird die Anpassung der MAC-Ebene an die unterschiedlichen physikalischen Möglichkeiten vorgenommen.

2a

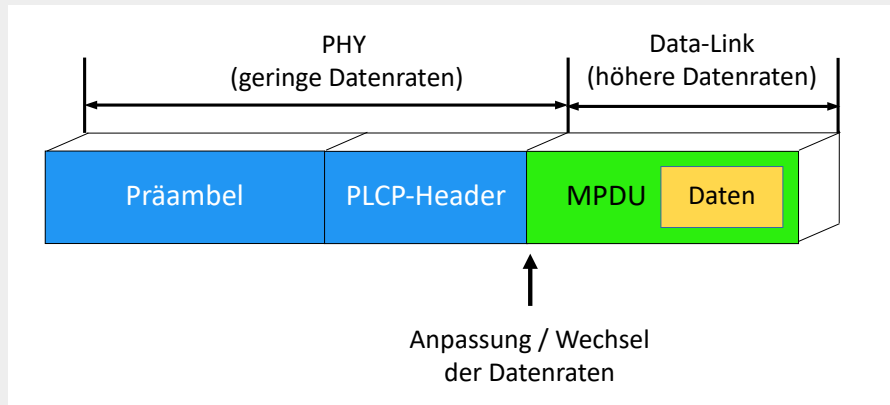
Hier werden die MAC-Themen abgehandelt
Quality of Service (QoS)
Medium-Zugriffsverfahren

2b

Hier wird die Verschlüsselungsthemen abgehandelt

Für die Ebene 3 verhält sich ein WLAN transparent. D. h. Es ist für die Netzwerk-Ebene nicht ersichtlich, ob es sich um ein WLAN oder um ein Ethernet handelt.

Frame-Aufbau



Der grundsätzliche Frameaufbau beinhaltet 4 Blöcke:

Präambel

Die Präambel wird in der Literatur oft der Synchronisierung zugeordnet. Es sind jedoch noch weitere Themen untergebracht.

- Frequenzbänder
- Sendeleistung
- Signal zu Rauschen Verhältnis (SNR) → Grundlage für einen Zellenwechsel
- Taktrückgewinnung
- Synchronisierung

PLCP-Header

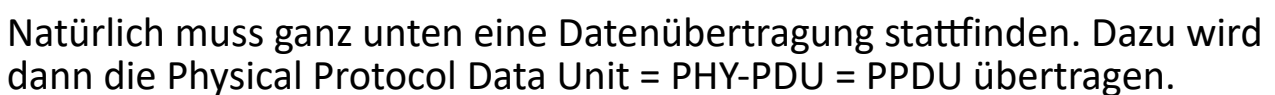
Hier werden die gewünschten Parameter mitgegeben um eine Auswahl aus den mediumabhängigen Möglichkeiten zu treffen

MAC-Header

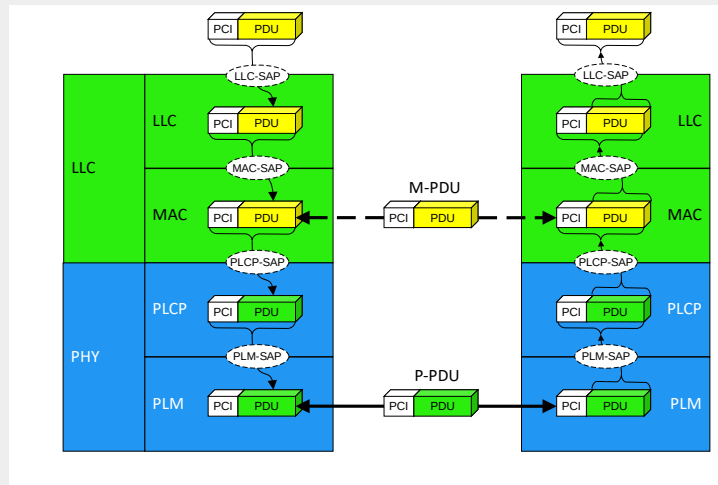
Hier sind die MAC-Adressen und Services mit ihren Ausprägungen hinterlegt

Daten

Mit Daten wird die von der Ebene 3 übergebene Service Data Unit (SDU) bezeichnet.



Protokoll-Sicht

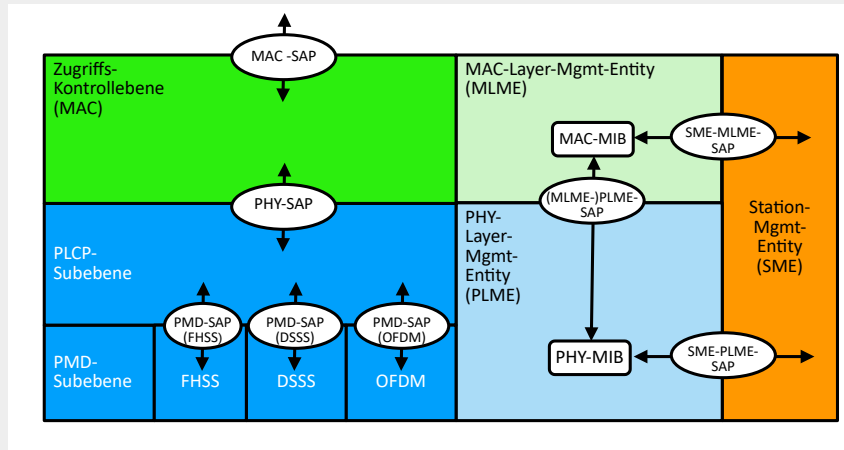


In der Protokollsicht werden die Daten, die auf gleicher Ebene ausgetauscht werden betrachtet (was tatsächlich nur auf der untersten Ebene stattfindet)

Zur Protocol Data Unit (PDU) wird durch jede Schicht die Protocol Control Information (PCI) als Header vorangestellt. Sie wird von der gleichen Ebene auf der Empfängerseite ausgewertet.

Die Übertragung einer MPDU kann also nicht direkt zwischen den beiden MAC-Ebenen stattfinden.

Layer-Management



In der Folie ist rechts die übergeordnete Verwaltungseinheit, die so genannte Station-Management-Entity (SME) dargestellt.

Sie kann über die von den Ebenen zur Verfügung gestellten SAPs die Ebenen steuern.

Bei den einzelnen Ebenen gibt es für die MAC- und die PHY-Ebene Verwaltungseinheiten die so genannten Layer-Management-Entitys (LME).

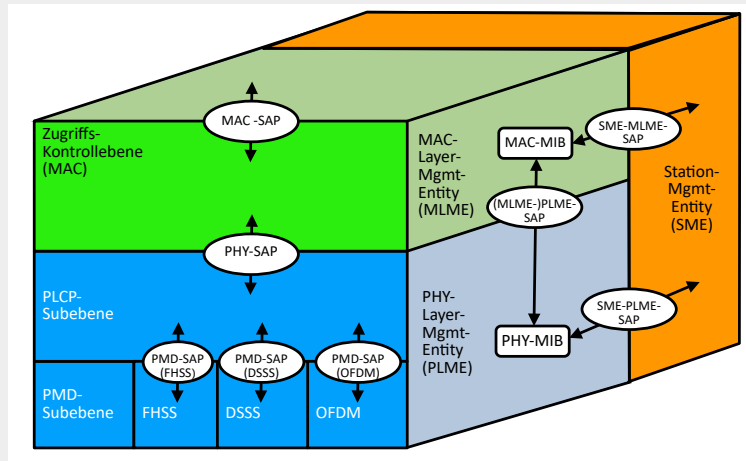
Für die MAC-Ebene gibt es damit eine MAC-Layer-Management-Entity (MLME) und für die Physikalische Ebene gibt es eine Physical-Layer-Management-Entity (PLME).

Informationen werden in den jeweiligen MIBs (Management-Information-Base) verwaltet.

Der Management-Zugriff der SME auf die Ebenen erfolgt waagerecht über SAPs (SME-MLME-SAP und SME-PLME-SAP) mit diversen Primitiven (GET und SET) um die Management-Funktionen durchzuführen. So wird z. B. der Layer-Status von den Management-Einheit verwaltet.

Zwischen MLME und PLME können über den MLME-PLME-SAP mittels den GET- und SET-Primitiven Informationen ausgetauscht werden.

Layer-Management



Weiterhin kann eine Ebene einer ihr überlagerten Ebene Dienste (also senkrecht) über SAPs zur Verfügung stellen. Genauso kann die überlagerte Ebene die Dienste der unterlagerten Ebene über die SAPs in Anspruch nehmen.

Auch hier erfolgt der Zugriff über SAPs mittels den Dienste-Primitiven. (MAC-SAP, PHY-SAP und PMD-SAP)

MAC-SAP und PHY-SAP ist für alle Technologien gleich. Die PMD-Subebene ist für jede Technologie unterschiedlich und damit auch der PMD-SAP. Die Anpassung an die unterschiedlichen Technologien wird in der PLCP-Subebene vorgenommen.

Der SME-PLME-SAP und der MLME-PLME-SAP unterstützen die selben Primitive und können als ein SAP, den PLME-SAP angesehen werden. Die Nutzung erfolgt durch die MLME selbst, oder durch die MLME im Auftrag der SME.

Clear Channel Assessment (CCA)

Senden einleiten

PHY-TXSTART.request(TXVECTOR)
PHY-TXSTART.confirm

Daten Senden

PHY-Data.request(DATA)
PHY-Data.indication(DATA)
PHY-DATA.confirm

Daten Empfangen

PHY-RXSTART.indication(RXVECTOR)
PHY-RXEND.indication(RXERROR → NoError, FormatViolation, CarrierLost, UnsupportedRate)

Sende-Ende

PHY-TXEND.request
PHY-TXEND.confirm

Layer-Management

- Management
- Control
- Data

Für die Steuerungszugriffe der Management-Ebene gibt es die folgenden Primitive:

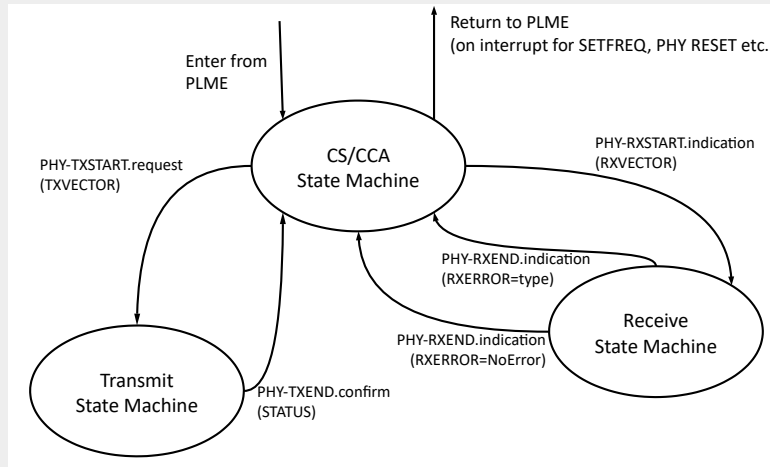
XX-GET.request(MIBAttribute) fordert den Wert einer MIB-Variablen an.

XX-GET.confirm(MIBAttribute) gibt den Wert der MIB-Variablen zurück.

XX-SET.request(MIBAttribute, MIBAttributevalue) setzt die Variablen (MIBAttribute) auf den Wert (MIBAttributevalue). Wenn MIBAttribute eine Aktion impliziert wird dadurch die Durchführung der Aktion angestoßen.

XX-SET.confirm(status, MIBAttribute)

Statusmaschine



Carrier Sense / Clear Channel Assessment (CS/CCA)

Bestimmung des Belegungszustandes des Übertragungsmediums
(belegt /frei)

Transmit

Daten senden

Receive

Daten empfangen

Die Übergänge werden durch die entsprechenden Primitive angestoßen.

Inhalt

- Frequenzbereiche (2,4 / 5 / 6 / 60 GHz)
- Multiplexverfahren (SDMA, FDMA, TDMA und CDMA)
- Modulationsverfahren (BPSK, QPSK, CCK, QAM bis 1024-QAM)
- Einbettung von WLAN nach IEEE802.11 in das ISO-7-Schichten Modell
- Sichten auf das ISO 7-Schichten-Modell (Dienstesicht, Protokollsicht)
- SAPs (SME-MLME, SME-PLME / MAC-SAP, PHY-SAP, PMD-SAP(xxxx))
- Layer-Management (Management, Control, Data)
- Dienste-Primitive(request, indication, confirm)
- Statusmaschine (CS/CCA, Transmit, Receive)