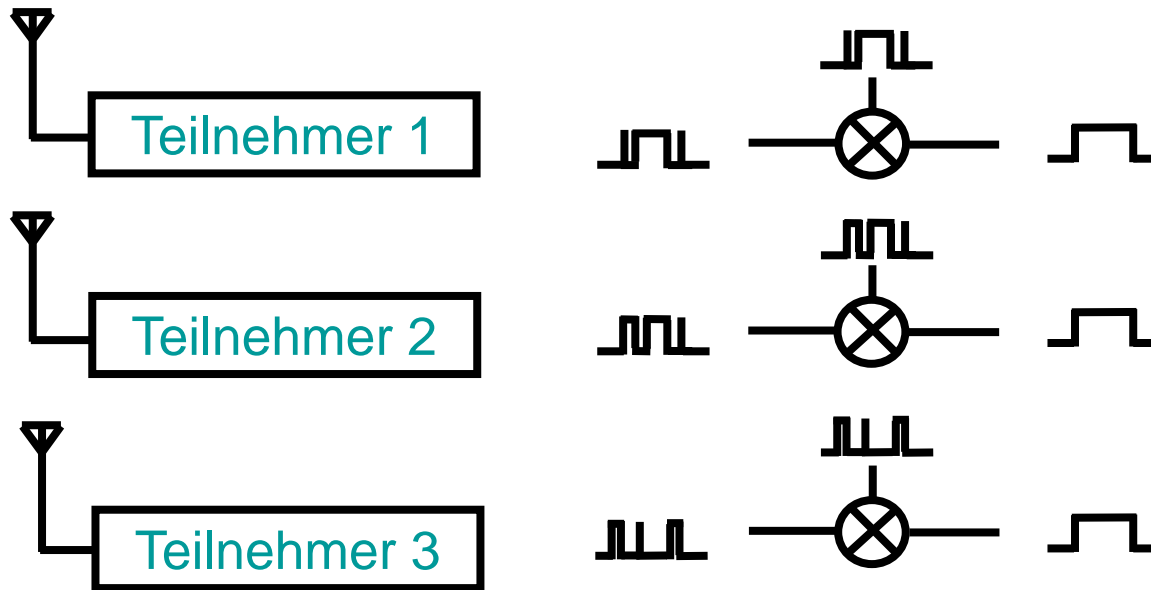


Überblick über „Duplex“- und „Multiple-Access“- Verfahren



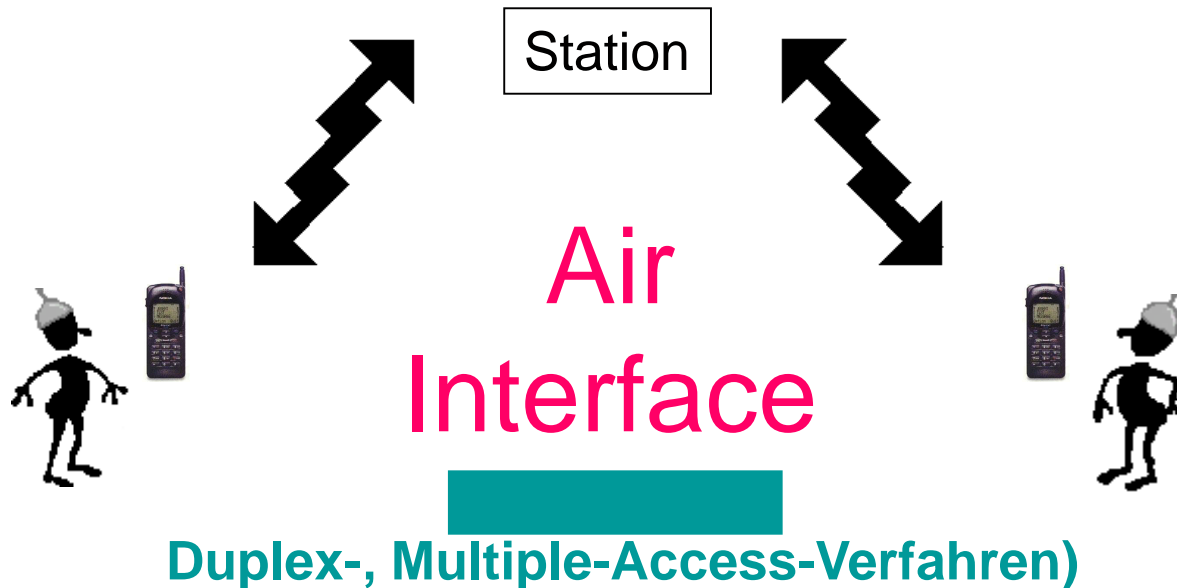
Roland Pfeiffer
4. Vorlesung

Auswahl eines „Air Interfaces“

Ihre Firma hat einen Frequenzbereich zugeteilt bekommen.
Ihr Chef verlangt, daß möglichst viele Gespräche für diesen
Frequenzbereich gleichzeitig übertragen werden können.



Ihre Aufgabe: -Auswahl eines „Air Interfaces“



Gliederung

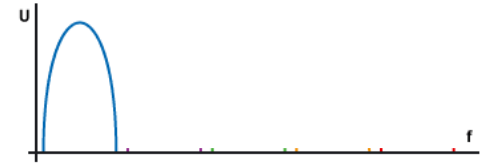


Grundlage: Aufbau einer Funkverbindung

- Was bedeutet „Duplexing“?
 - Problemstellung: Duplexing
 - Frequency Division Duplexing (FDD)
 - Time Division Duplexing (TDD)
- Was bedeutet „Multiple Access Verfahren“?
 - Problemstellung: Multiple Access
 - Time Division Multiple Access (TDMA)
 - Frequency Division Multiple Access (FDMA)
 - Code Division Multiple Access (CDMA)
 - Frequency-Hopping CDMA (FH-CDMA)
- Zusammenfassung
- Literaturhinweise

Aufbau einer Funkverbindung

prinzipiell nur nötig:
ein Funkkanal („Channel“) mit Schutzabständen



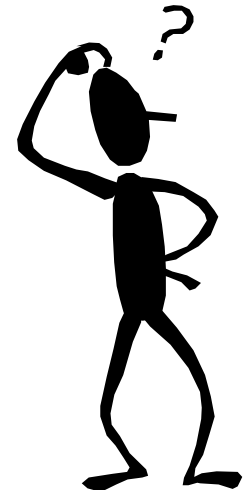
z.Bsp 60kHz z.Bsp 80kHz z.Bsp 60kHz
Schutzabstand Signal Schutzabstand



Funkkanalbreite („Channel Bandwith“)

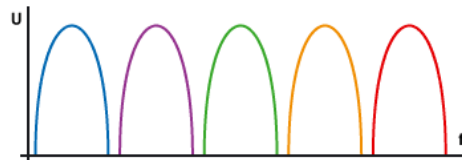
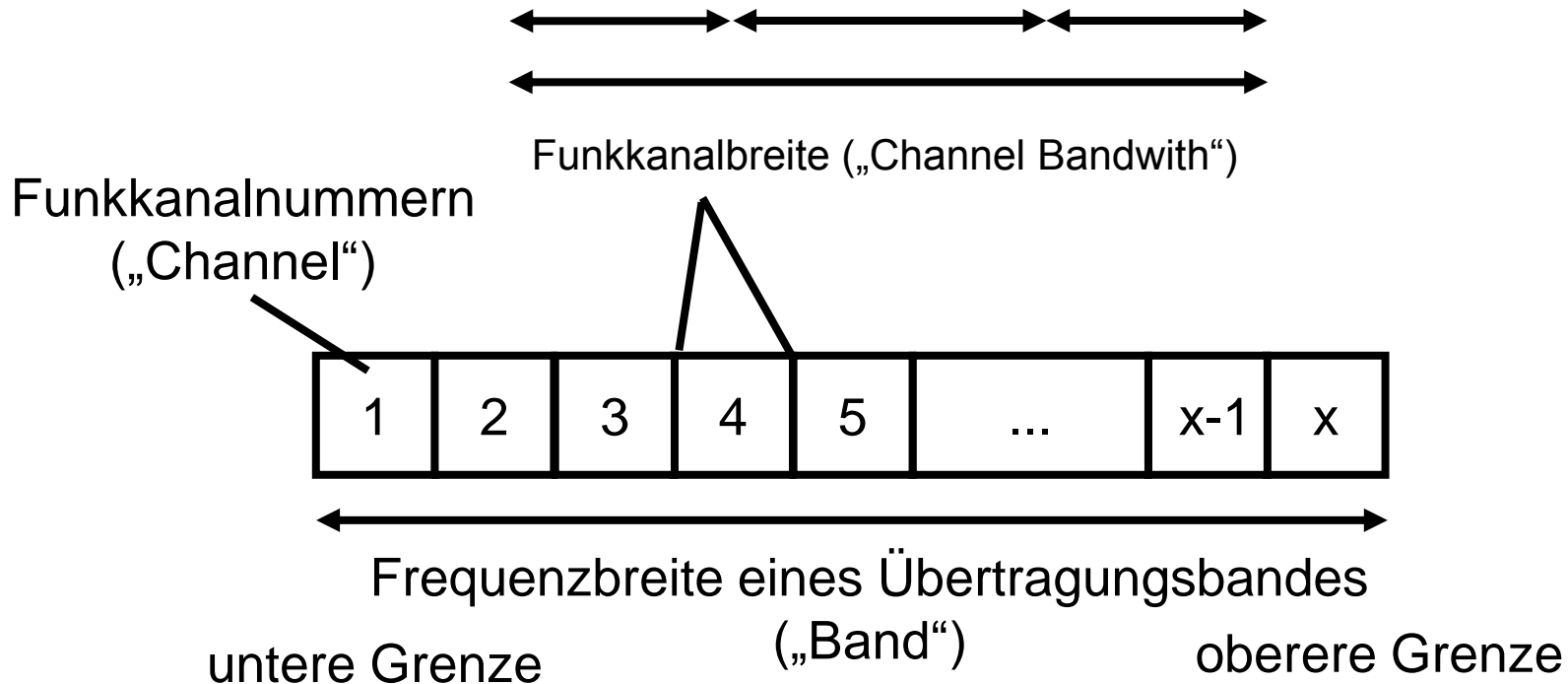
z.Bsp 200kHz (Bsp. GSM)

Problem: nur ein einziges Gespräch gleichzeitig möglich!!
zusätzlich: Sprechen oder Hören !!



Aufbau einer Funkverbindung

mehrere Teilnehmer \Rightarrow mehrere Funkkanäle („Channel“)



Gliederung

- Grundlage: Aufbau einer Funkverbindung



Was bedeutet „Duplexing“?

- Problemstellung: Duplexing
- Frequency Division Duplexing (FDD)
- Time Division Duplexing (TDD)

- Was bedeutet „Multiple Access Verfahren“?

- Problemstellung: Multiple Access
- Time Division Multiple Access (TDMA)
- Frequency Division Multiple Access (FDMA)
- Code Division Multiple Access (CDMA)
- Frequency-Hopping CDMA (FH-CDMA)

- Zusammenfassung

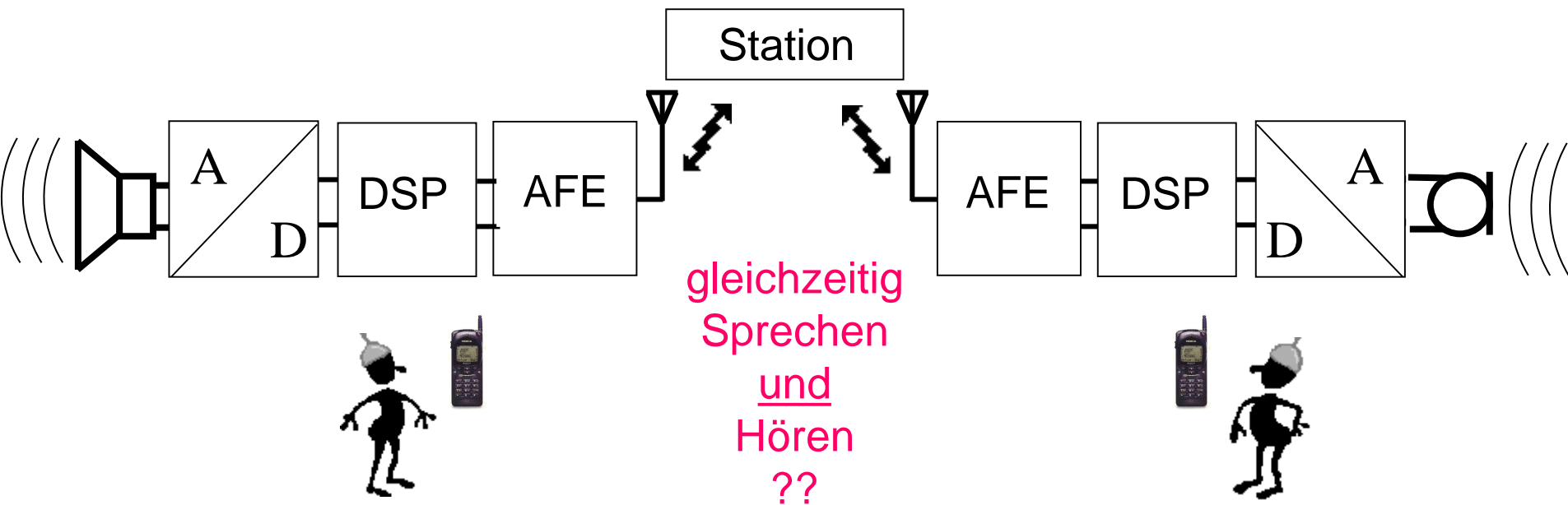
- Literaturhinweise

Problemstellung Duplexing:

wie kann man **gleichzeitig Sprechen und Hören** ⇒

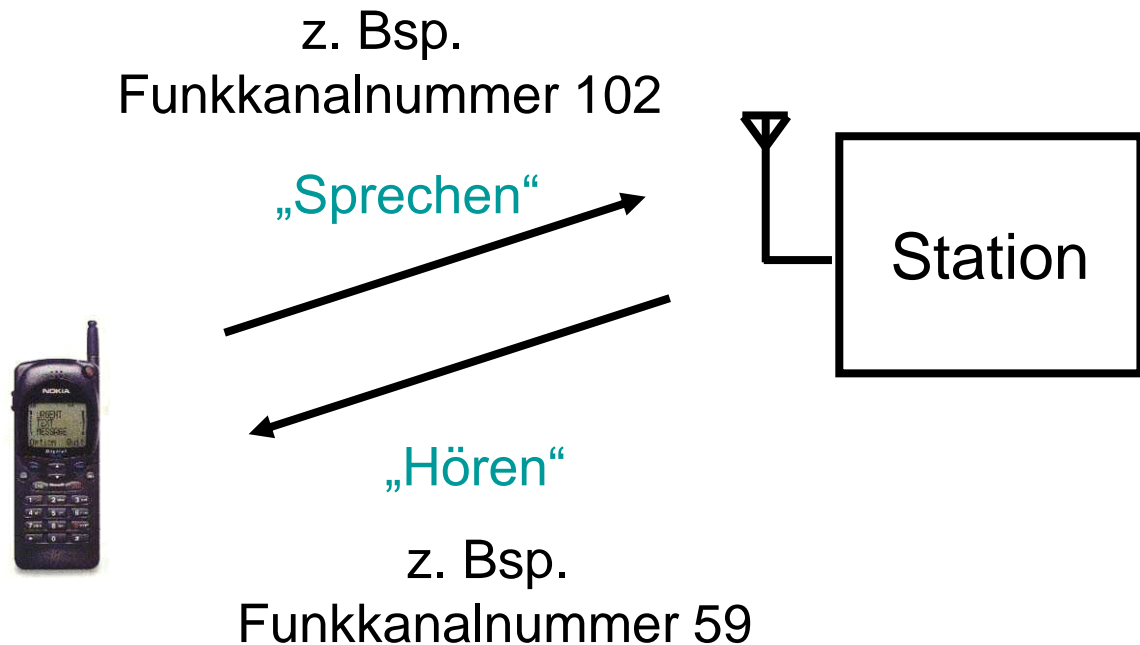
„Duplexing“ Verfahren:

- Frequency Division Duplexing (FDD)
- Time Division Duplexing (TDD)



Frequency Division Duplexing (FDD)

Prinzip: für Sprechen und Hören werden zwei unterschiedliche Funkverbindungen („Channels“) verwendet

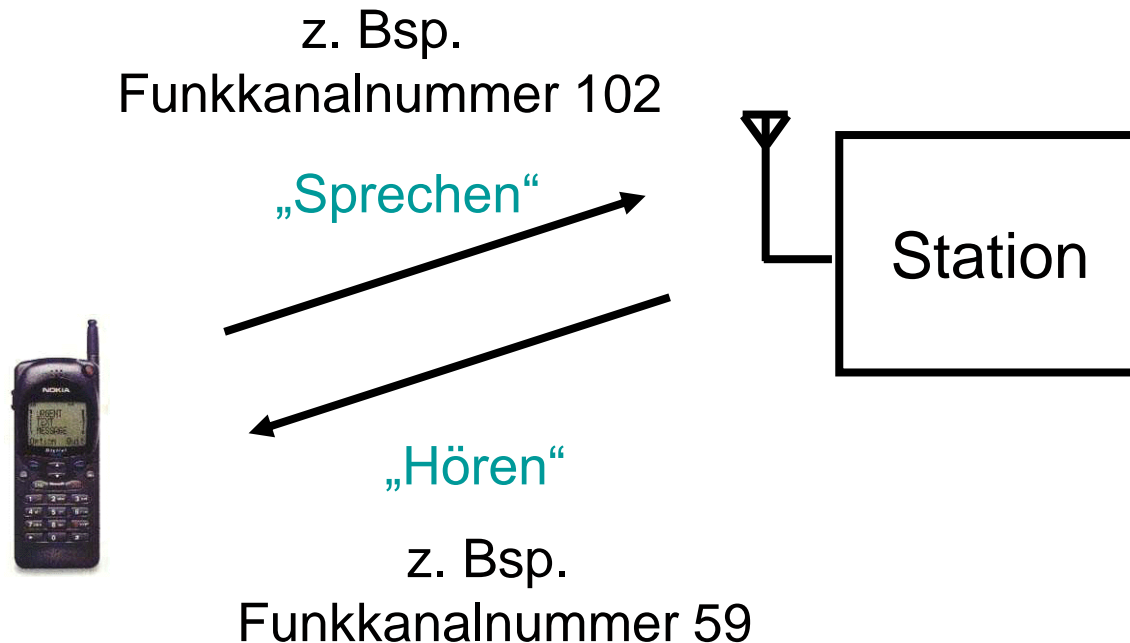


Frequency Division Duplexing (FDD)

Bezeichnungen:

„Sprechen“ des Mobilteils: Transmit-Band, Transmit-Channel, TX-Band, TX-Channel, uplink, reverse

„Hören“ des Mobilteils: Receive-Band, Receive-Channel, RX-Band, RX-Channel, downlink, forward



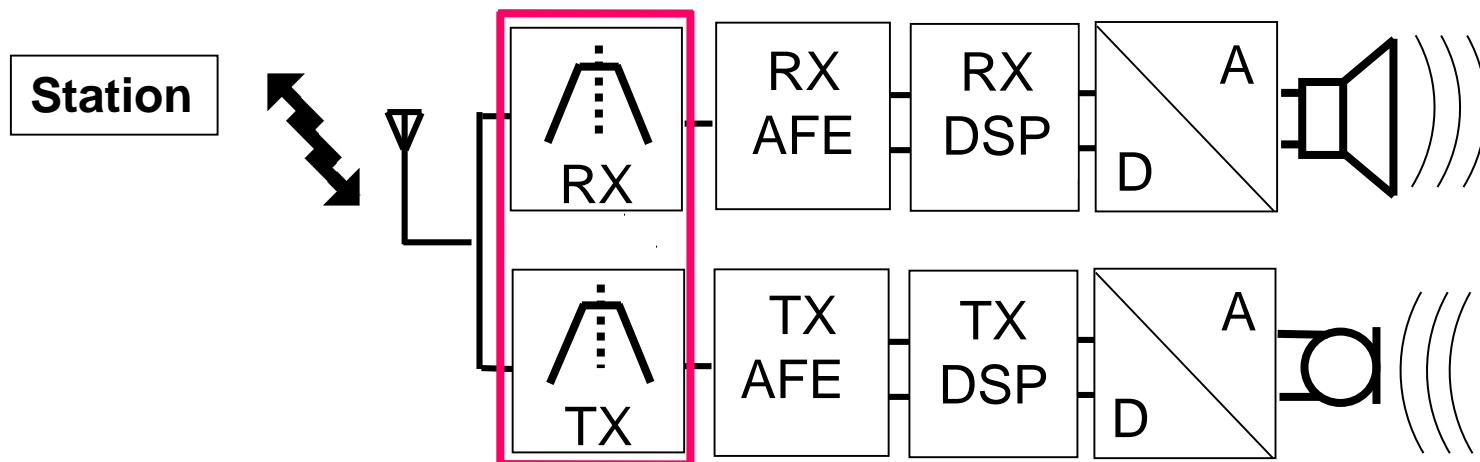
Frequency Division Duplexing (FDD)

Problem: Antenne zugleich Sprechen und Hören (TX/RX)

Lösung: nach der Antenne Bandfilter („Duplexer“) zur Trennung von TX und RX Pfad

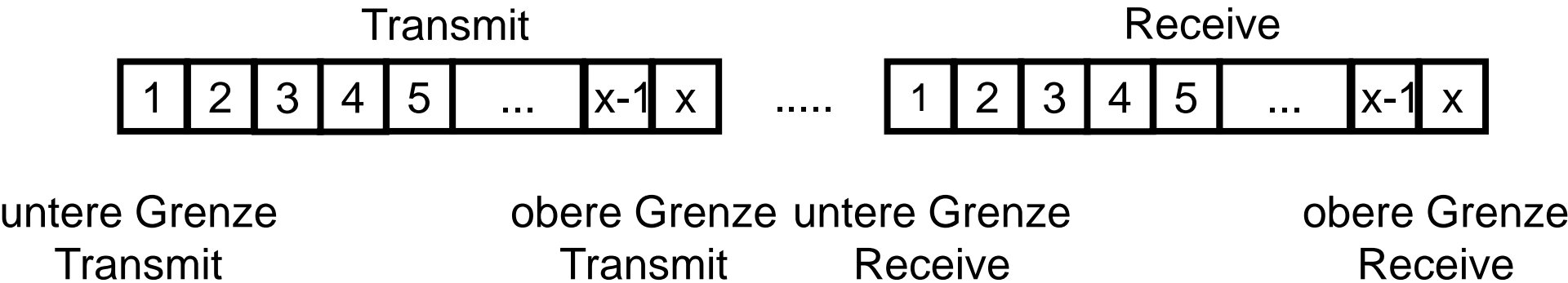
Bedingung: ausreichender Duplexabstand

TX/RX Aufteilung
durch Duplexer



Frequency Division Duplexing (FDD)

Bezeichnungen: Duplexabstand

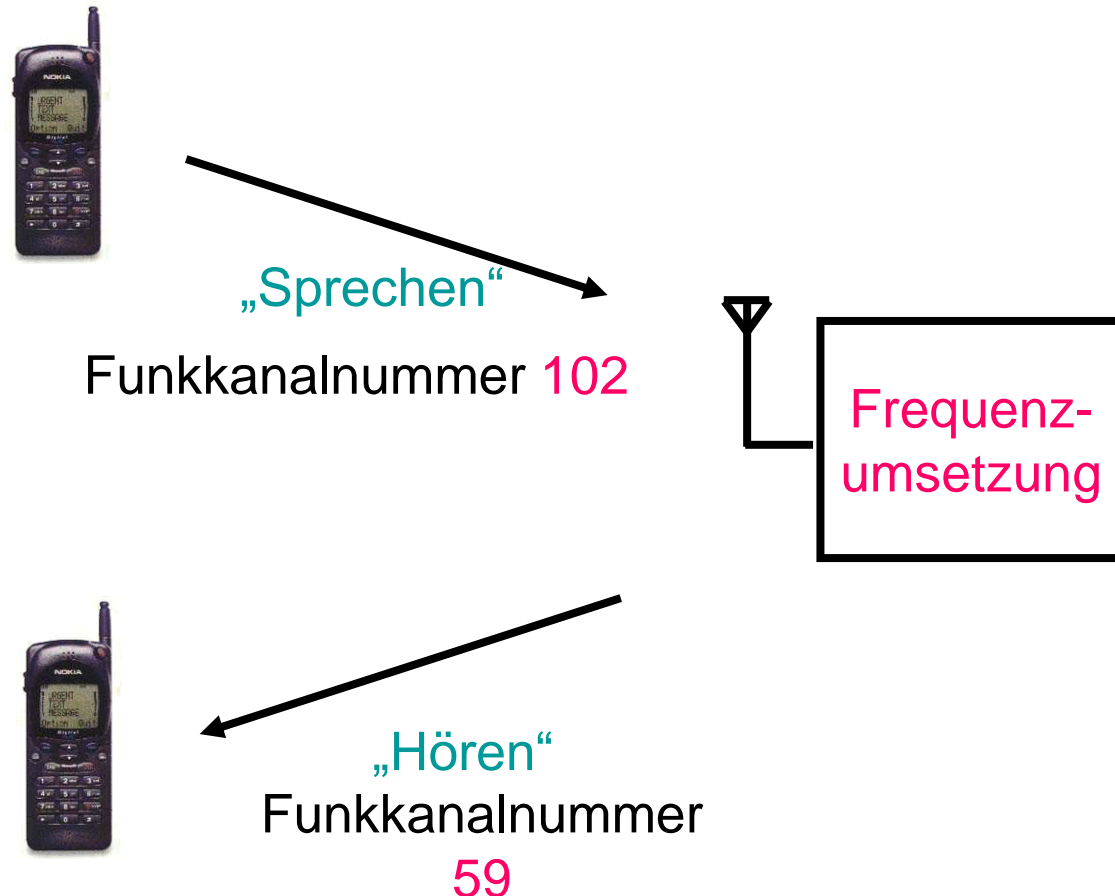


Duplexabstand

Frequency Division Duplexing (FDD)

Verbindung zwischen zwei Mobilteilen:

Problem: Frequenzumsetzung (Sprechen Mobilteil 1 \Rightarrow Hören Mobilteil 2 und umgekehrt): in Station gemacht



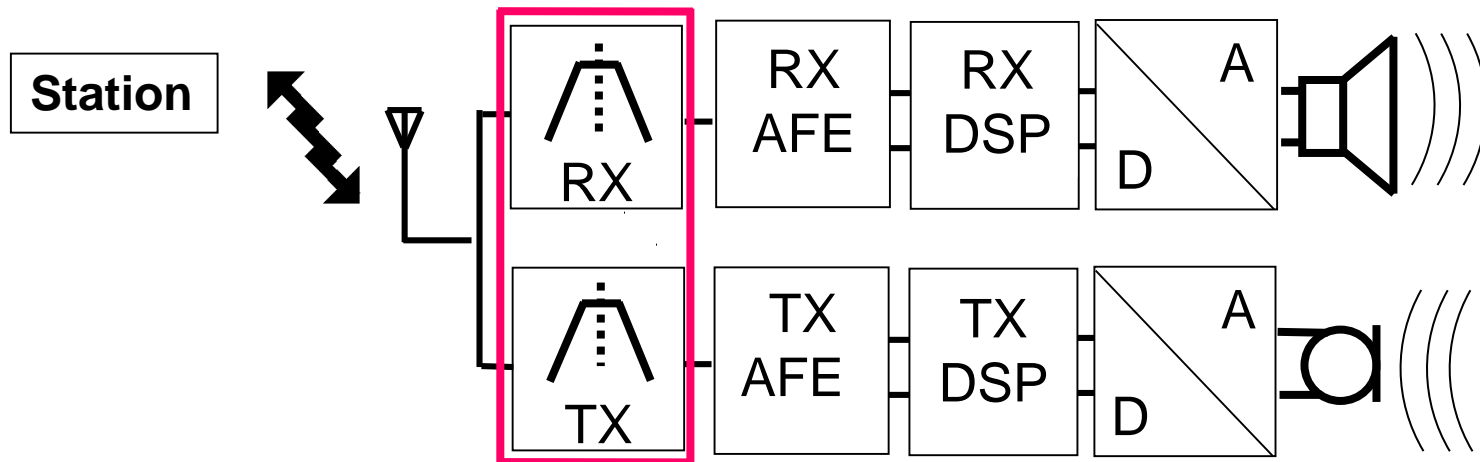
Frequency Division Duplexing (FDD)

Vorteile:


- Trennung der Frequenzen für Sprechen und Hören
- „Full-duplex“ Betrieb (Empfang und Senden gleichzeitig möglich)

Nachteile:

- schwieriges Filter-Design für die zwei eng benachbarten Duplex-Kanäle
- Duplexfilter Verluste $\approx 2\text{-}3\text{dB}$
- Belegung von zwei Kanälen

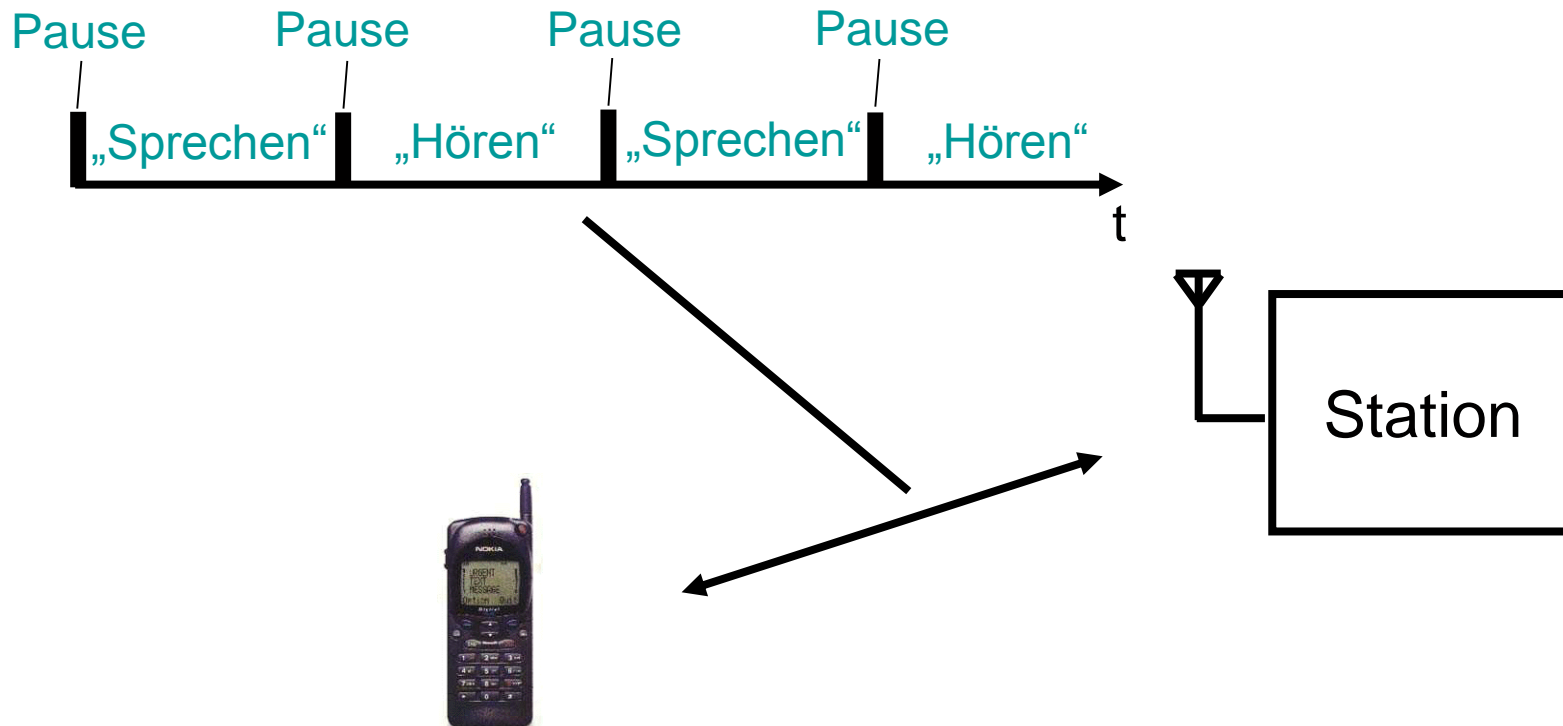


Gliederung

- Grundlage: Aufbau einer Funkverbindung
- Was bedeutet „Duplexing“?
 - Problemstellung: Duplexing
 - Frequency Division Duplexing (FDD)
 -  Time Division Duplexing (TDD)
- Was bedeutet „Multiple Access Verfahren“?
 - Problemstellung: Multiple Access
 - Time Division Multiple Access (TDMA)
 - Frequency Division Multiple Access (FDMA)
 - Code Division Multiple Access (CDMA)
 - Frequency-Hopping CDMA (FH-CDMA)
- Zusammenfassung
- Literaturhinweise

Time Division Duplexing (TDD)

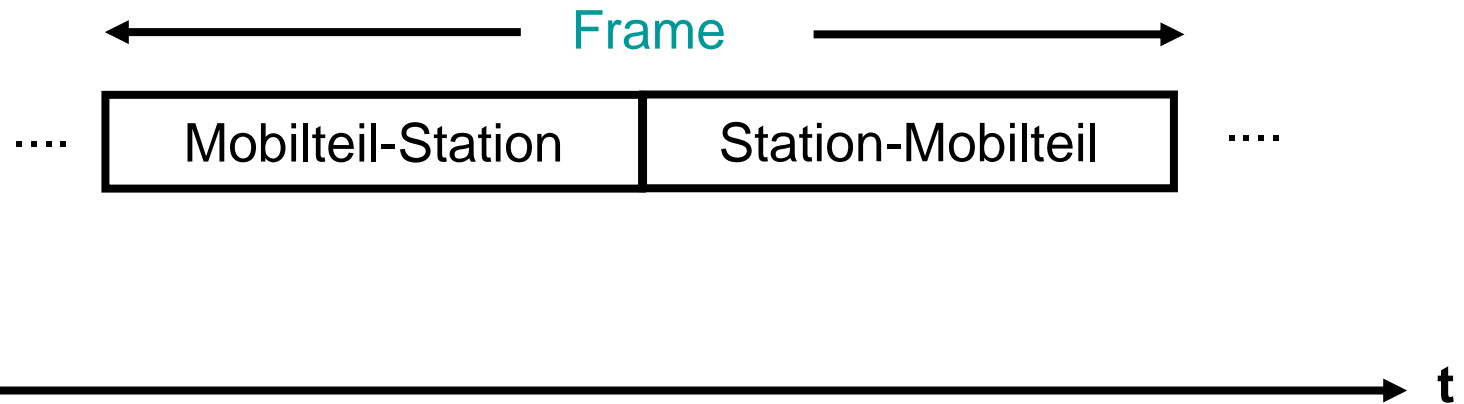
Prinzip: für Sprechen und Hören werden eine einzige Frequenz verwendet, die dann zeitlich z. Bsp. gleichmäßig aufgeteilt wird



Time Division Duplexing (TDD)

Bezeichnungen:

Zeit zur Übertragung (Mobilteil-Basisstation und zurück) „Frame“



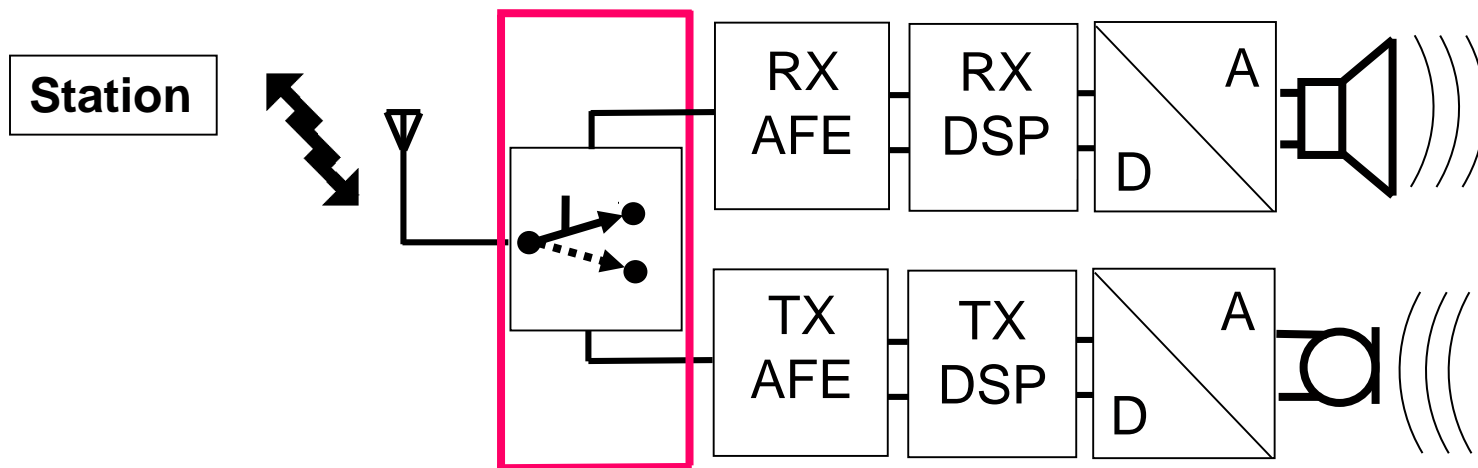
Time Division Duplexing (TDD)

Problem: Antenne zugleich Sprechen und Hören (TX/RX)

Lösung: nach der Antenne Schalter („TX/RX switch“) zur Trennung von TX und RX Pfad

Bedingung: ausreichende Pause

TX/RX Aufteilung
durch „TX/RX switch“



Time Division Duplexing (TDD)

Vorteile:

- Trennung der Zeiten für Sprechen und Hören ⇒ idealerweise keine Wechselwirkung
- TX/RX switch Dämpfung ≈ 1 dB (FDD 2-3 dB)
- „Hören“/„Sprechen“ Zeiten dynamisch anpassbar (unsymmetrischer Betrieb Download Internet UMTS)

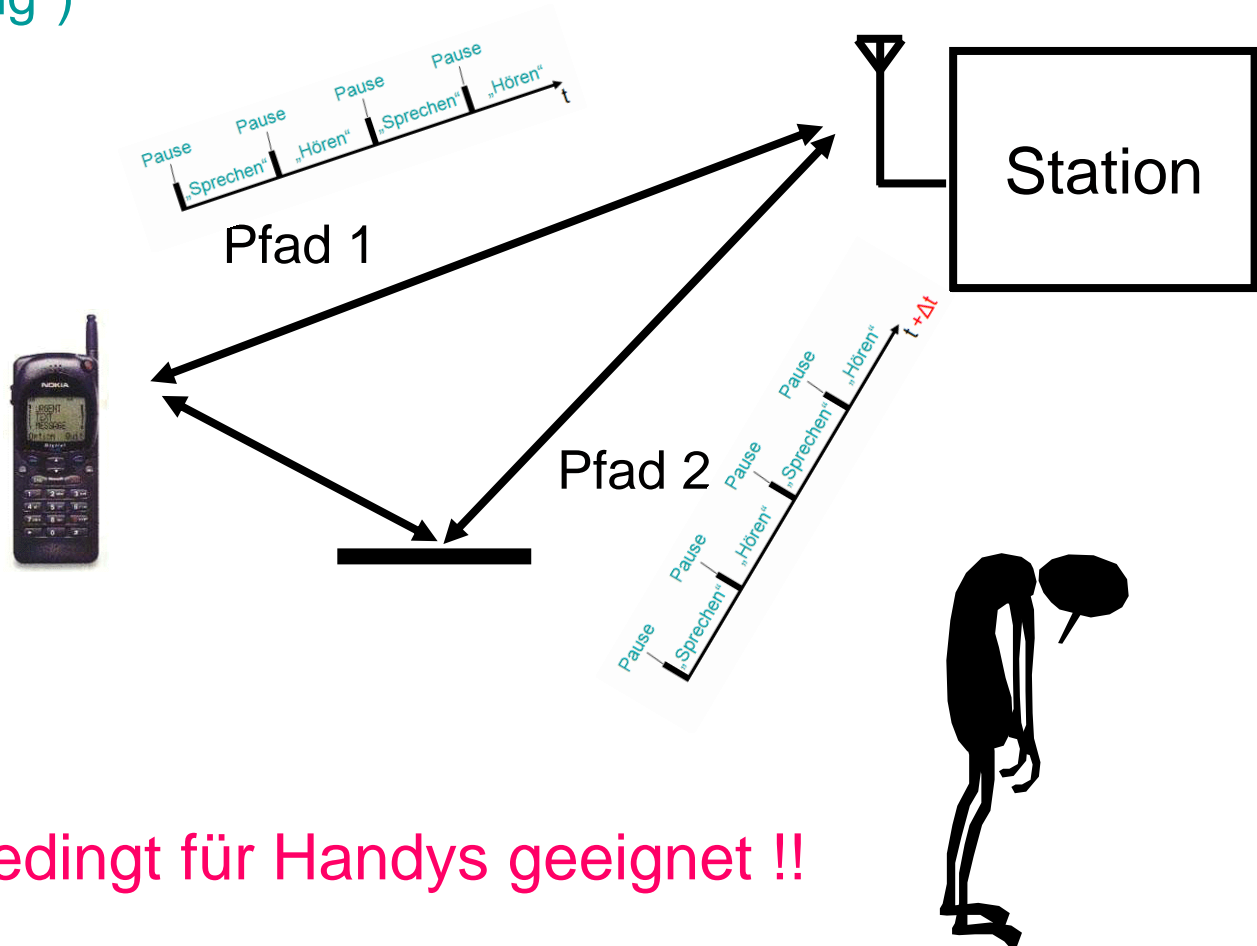
Nachteile:

- „Zeitverlust“: entweder nur Sprechen oder nur Hören (half-duplex Betrieb, non-duplex Betrieb, simplex Betrieb)
- für analoge Signale sehr schwierig zu realisieren

Time Division Duplexing (TDD)

Nachteil:

-empfindlich auf Timing (Verbindung auf verschiedenen Übertragungswege „multipath fading“)



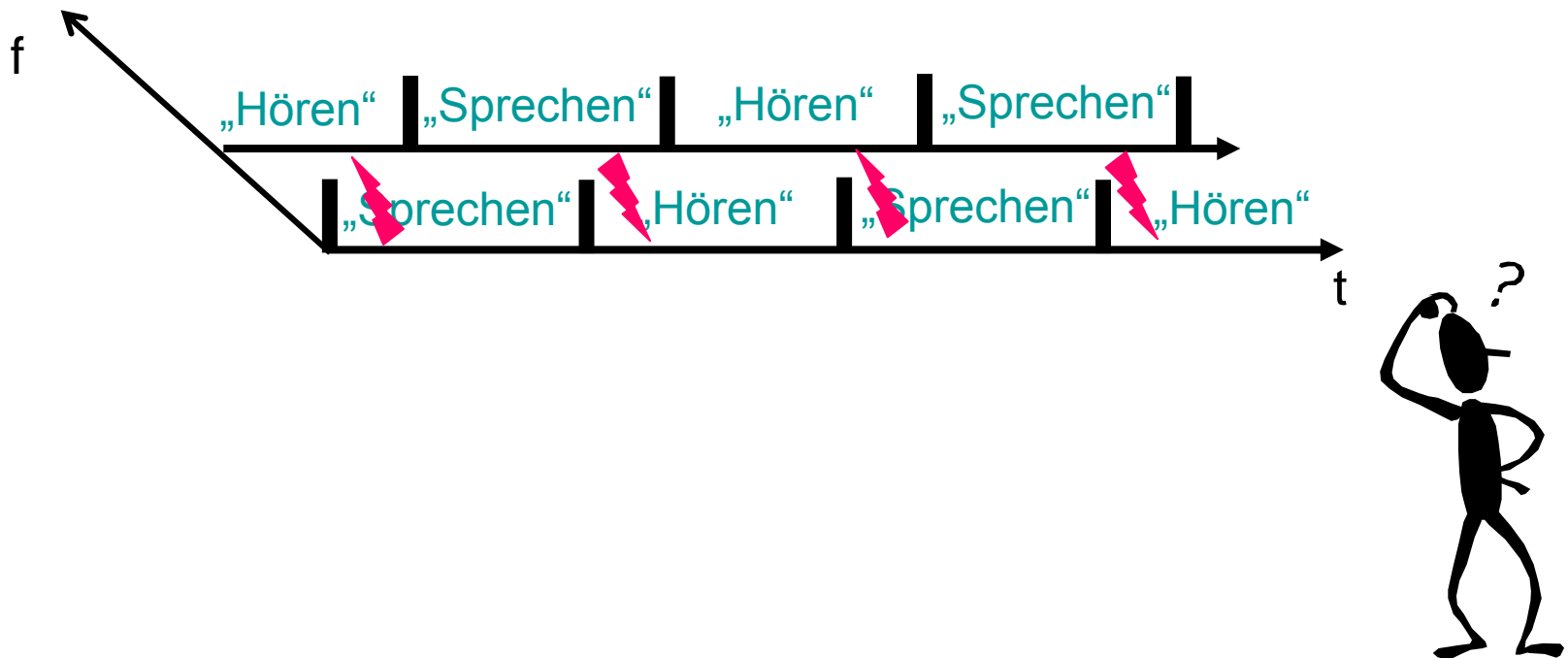
deshalb: nur bedingt für Handys geeignet !!

Frequency vs. Time Division Duplexing ?

in meisten Mobilfunk-Standards:

-Frequency Division Duplexing

- bei Time Division Duplexing starker benachbarter Sender führt zu Desensibilierung des Empfängers

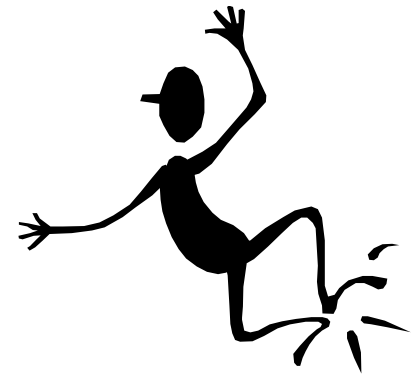
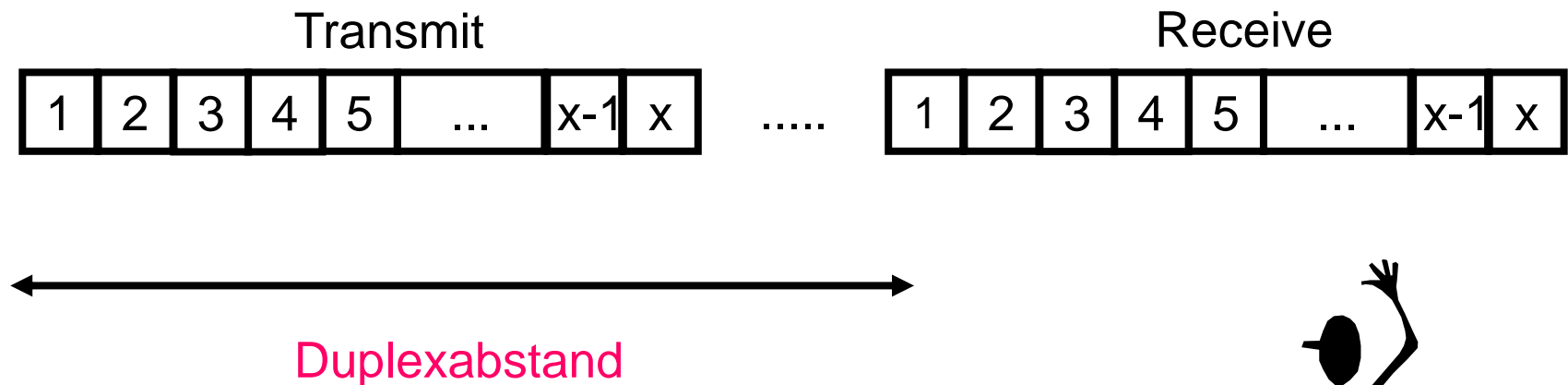


Frequency vs. Time Division Duplexing ?


in meisten Mobilfunk-Standards:

-Frequency Division Duplexing

-bei Frequency Division Duplexing frequenzmäßige Isolation zwischen Sender und Empfänger durch Duplexabstand



Gliederung

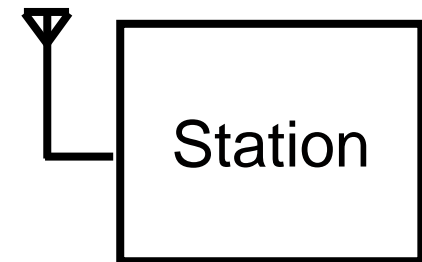
- Grundlage: Aufbau einer Funkverbindung
- Was bedeutet „Duplexing“?
 - Problemstellung: Duplexing
 - Frequency Division Duplexing (FDD)
 - Time Division Duplexing (TDD)
-  Was bedeutet „Multiple Access Verfahren“?
 - Problemstellung: Multiple Access
 - Time Division Multiple Access (TDMA)
 - Frequency Division Multiple Access (FDMA)
 - Code Division Multiple Access (CDMA)
 - Frequency-Hopping CDMA (FH-CDMA)
- Zusammenfassung
- Literaturhinweise

Problemstellung Multiple Access Verfahren

Wie kann man über möglichst wenig „Channels“ so viele Teilnehmer wie möglich übertragen \Rightarrow

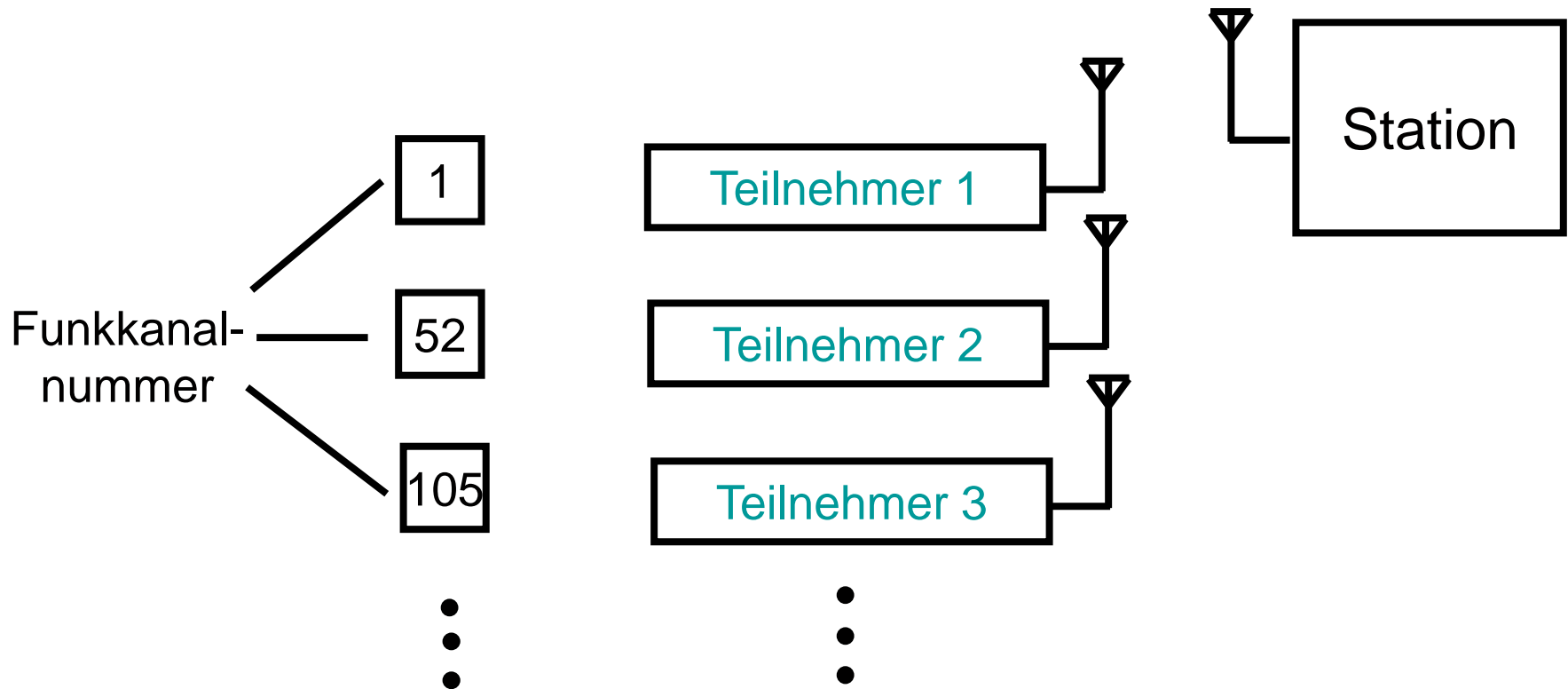
„Multiple Access“ (Mehrfach Zugriff) Verfahren:

- Frequency Division Multiple Access (FDMA)
- Time Division Multiple Access (TDMA)
- Code Division Multiple Access (CDMA)



Frequency Division Multiple Access (FDMA)

Prinzip: gesteuert von der Basisstation bekommt jeder Teilnehmer eine Funkverbindung zur Datenübertragung innerhalb des Frequenzbandes z.Bsp



Frequency Division Multiple Access (FDMA)

Vorteile:

-einfache Realisierung der FDMA

Nachteile:

-harte Grenze der zu übertragenden Teilnehmer



Mobilfunk fürs Oktoberfest: Wo die Wiesn-Riesen schlafen

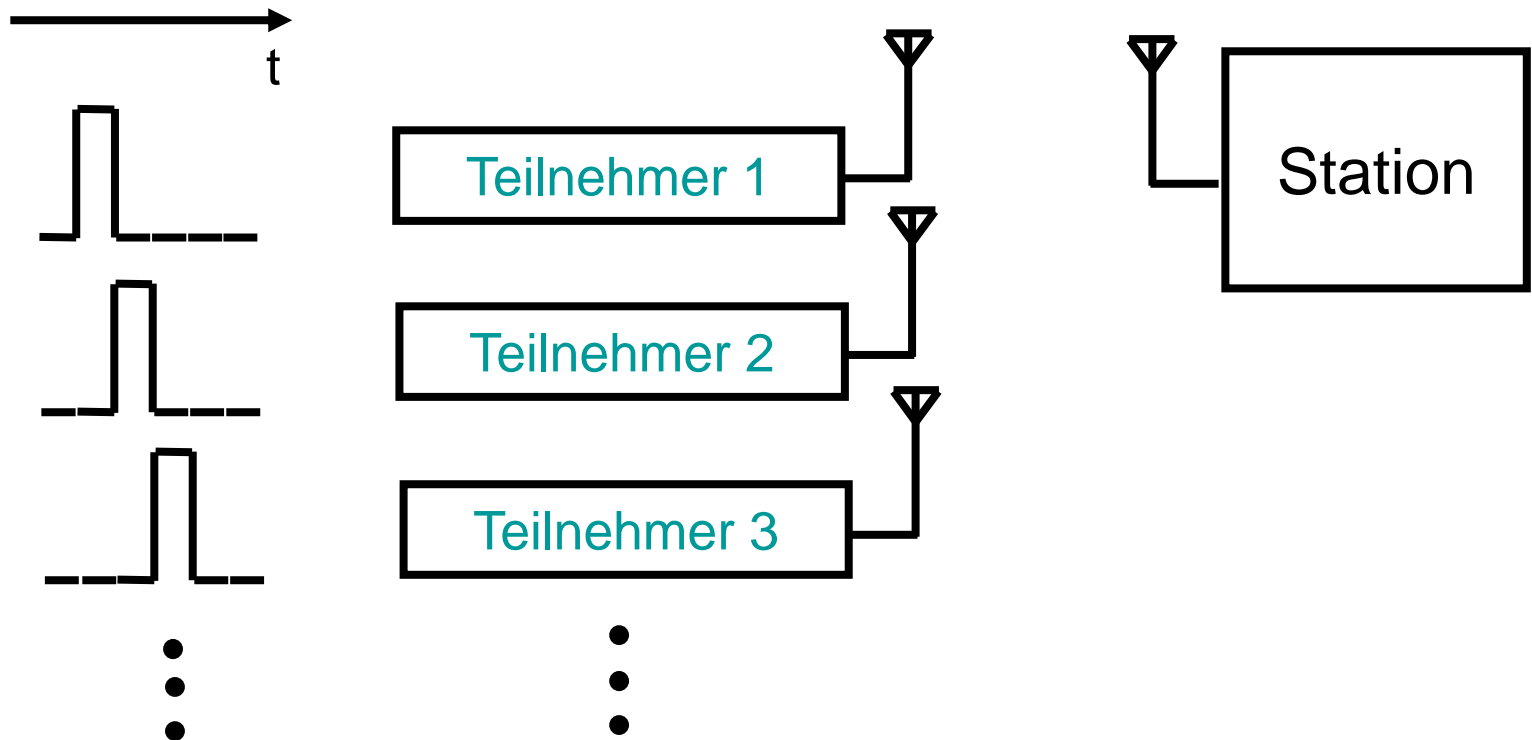


Problem:
Oktoberfest

<https://www.youtube.com/watch?v=8suLtehPop0>

Time Division Multiple Access (TDMA)

Prinzip: gesteuert von der Basisstation bekommt jeder Teilnehmer ein zeitliches „Fenster“ zur Datenübertragung („TDMA burst“)



Time Division Multiple Access (TDMA)

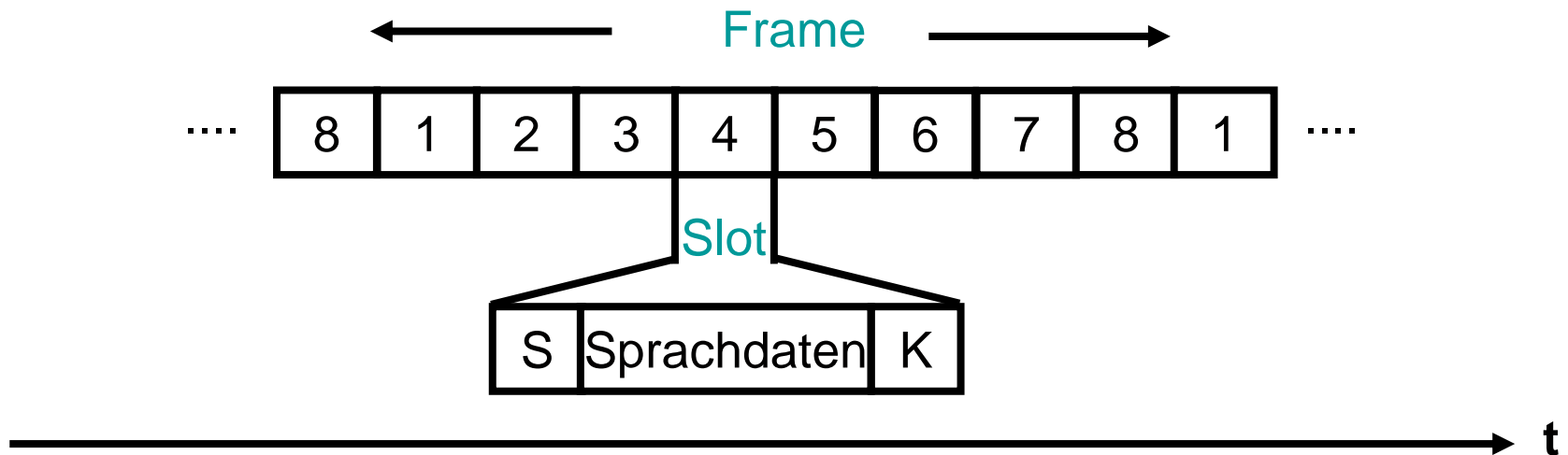
Bezeichnungen:

Zeit zur Übertragung aller Teilnehmer „Frame“

Zeit zur Übertragung eines Teilnehmers „Slot“

„Slot“: „TDMA burst“ (Synchronisations-, Sprach- und Kontroll-Daten)

z.Bsp. TDMA mit 8 Teilnehmern



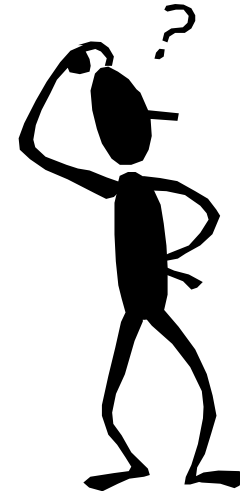
Time Division Multiple Access (TDMA)

Vorteile:

-TDMA erlaubt das Ausschalten des Sendeverstärker im Transmitter während der Pausen \Rightarrow längere Sprechzeiten

Nachteile:

- bei analogen Signalen sehr schwierig realisierbar
- komplizierte Schaltungstechnik wegen Zwischenspeicherung („Buffern“) der Informationen während der Pausen, Senden der gesammelten Daten durch „TDMA burst“
- harte Grenze der zu übertragenden Teilnehmer



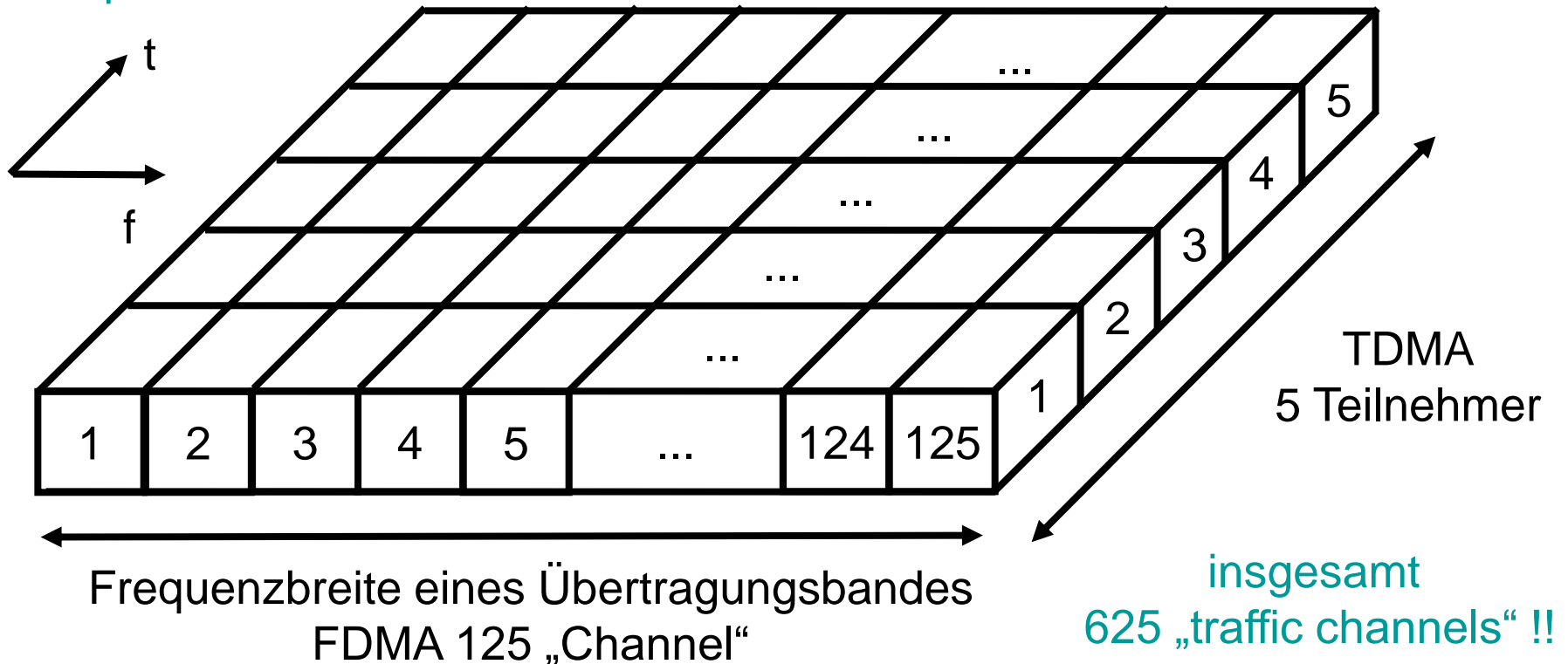
Time Division Multiple Access (TDMA)

Bemerkung:


Für jede Frequenz innerhalb des Frequenzbandes des Übertragungsbandes kann TDMA verwendet werden \Rightarrow Kombination von FDMA und TDMA: Verkehrskanäle „traffic channels“

Kombination in den meisten derzeitigen Mobilfunk-Standards angewendet!

Beispiel:

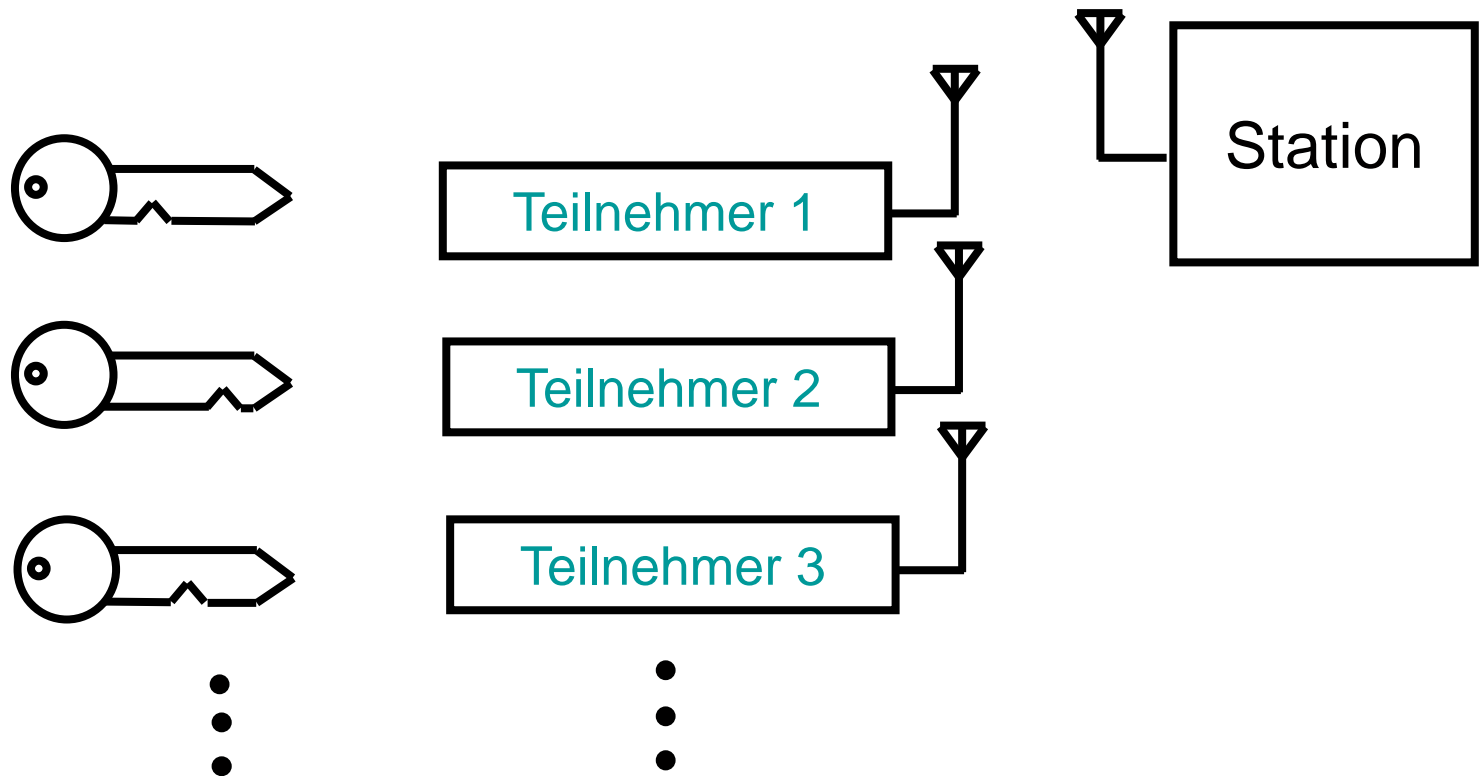


Gliederung

- Grundlage: Aufbau einer Funkverbindung
- Was bedeutet „Duplexing“?
 - Problemstellung: Duplexing
 - Frequency Division Duplexing (FDD)
 - Time Division Duplexing (TDD)
- Was bedeutet „Multiple Access Verfahren“?
 - Problemstellung: Multiple Access
 - Time Division Multiple Access (TDMA)
 - Frequency Division Multiple Access (FDMA)
 -  Code Division Multiple Access (CDMA)
 - Frequency-Hopping CDMA (FH-CDMA)
- Zusammenfassung
- Literaturhinweise

Code Division Multiple Access (CDMA)

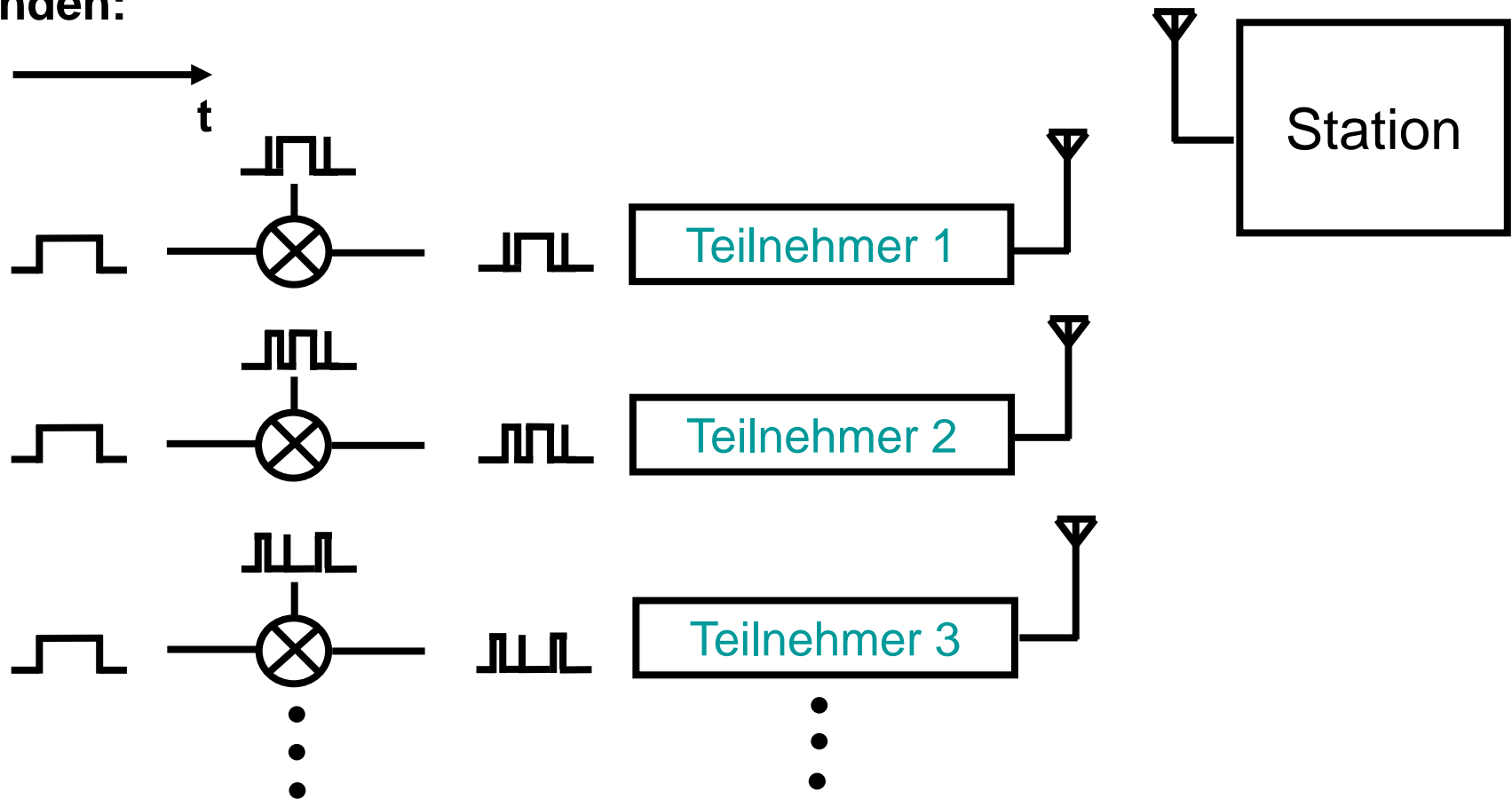
Prinzip: gesteuert von der Basisstation bekommt **jeder Teilnehmer** einen „**Schlüssel**“ zur Datenübertragung



Code Division Multiple Access (CDMA)

„Schlüssel“ besteht aus „orthogonalen“ Digital-Code (auch „Pseudo-Noise(PN)- oder „Spreiz-Code“) mit dem das eigentliche Datensignal zeitlich multipliziert wird

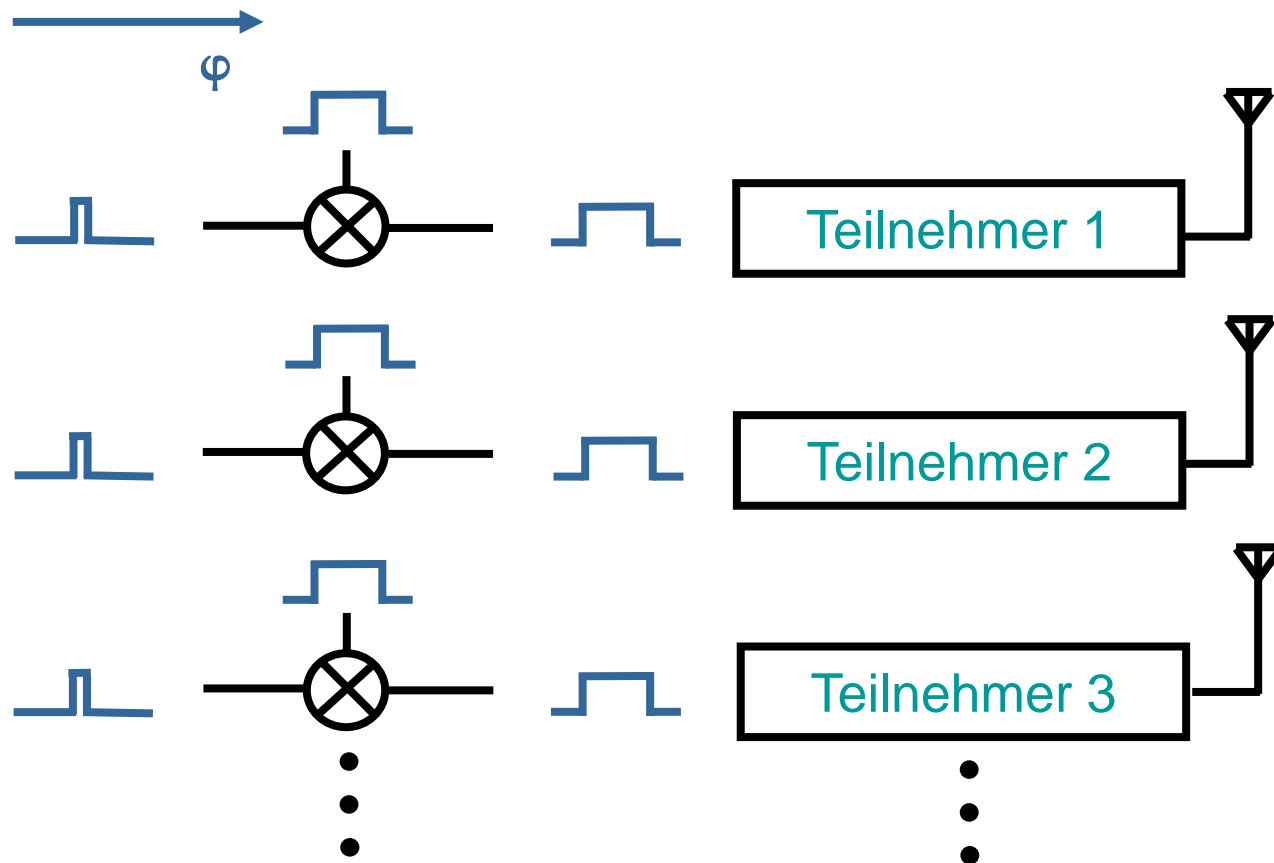
Senden:



Code Division Multiple Access (CDMA)

Durch diese Multiplikation wird die Bandbreite erweitert
(andere Bezeichnung „Spread Spectrum Multiple Access“)

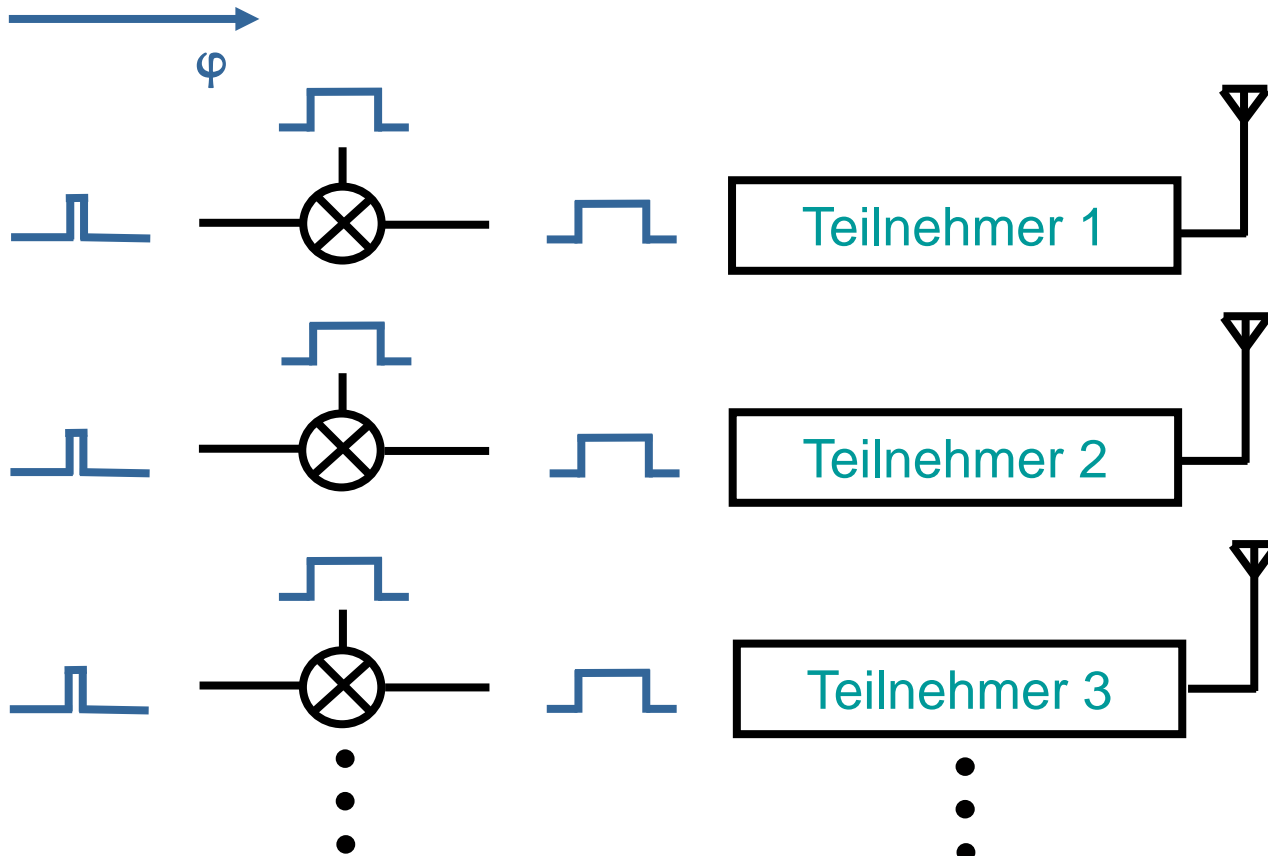
Senden:



Code Division Multiple Access (CDMA)

Frage: Multiplikation mit „orthogonalen“ Digital-Code steht für mehr Bandbreite, Widerspruch zu „spectral efficiency“ ??

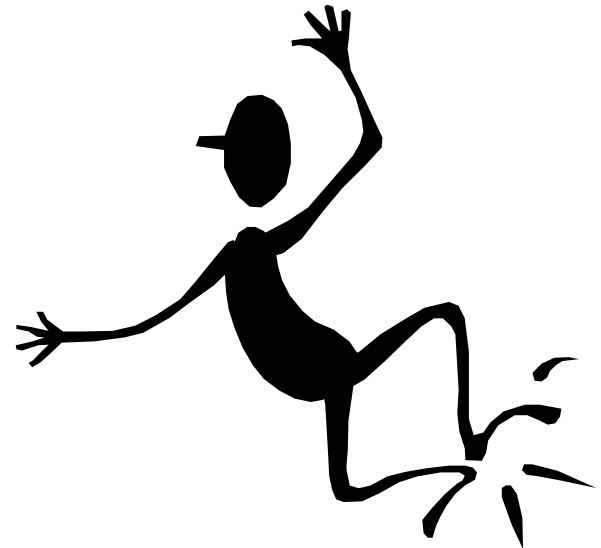
Senden:



Code Division Multiple Access (CDMA)

Frage: Multiplikation mit „orthogonalen“ Digital-Code steht für mehr Bandbreite („spread spectrum technique“), Widerspruch zu „spectral efficiency“ ??

Antwort: da mit CDMA mehr Teilnehmer auf den selben Frequenzband senden und empfangen können, ist CDMA besser als TDMA und FDMA bezüglich „spectral efficiency“!

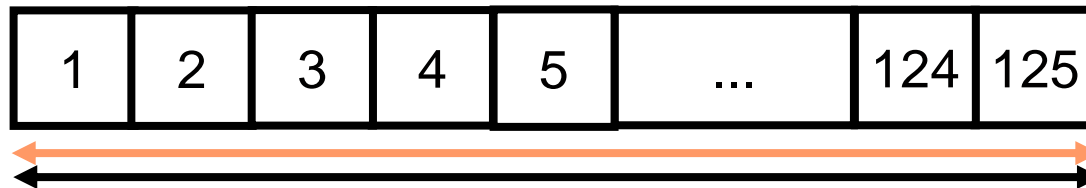


Code Division Multiple Access (CDMA)

Bei CDMA wird entweder der ganze Frequenzbereich des Übertragungsbandes (1) oder Teile davon (2) ausnützt für jeden einzelnen Teilnehmer !!

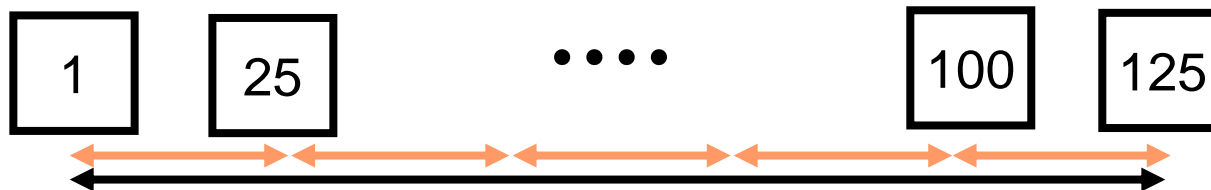
⇒ „Direct-sequence Spread-Spectrum“ (DS-SS-) CDMA“
„Wideband (W-) CDMA“

(1)



Frequenzbreite eines Übertragungsbandes
(„Band“) = 1 CDMA (\cong 125 „Channels“)

(2)

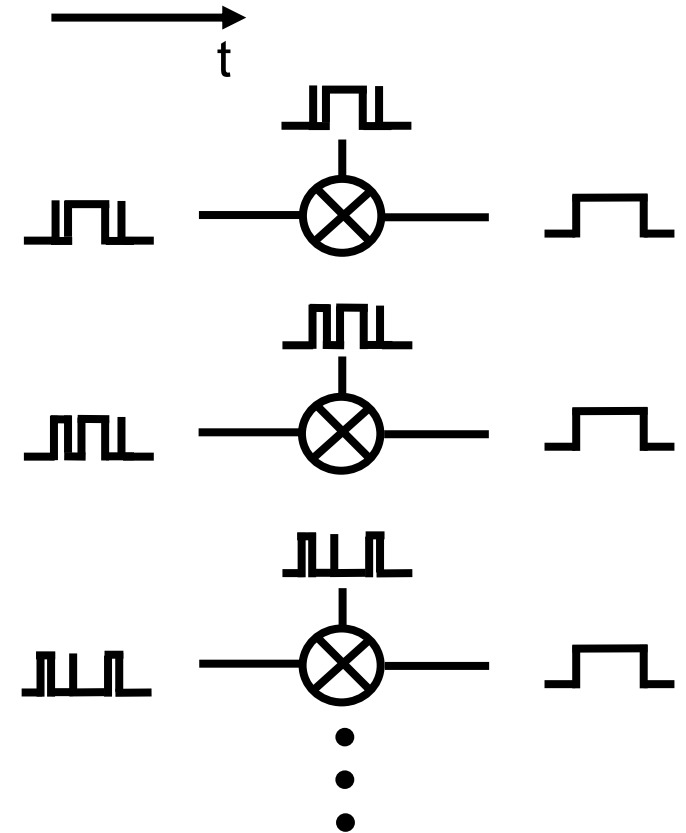
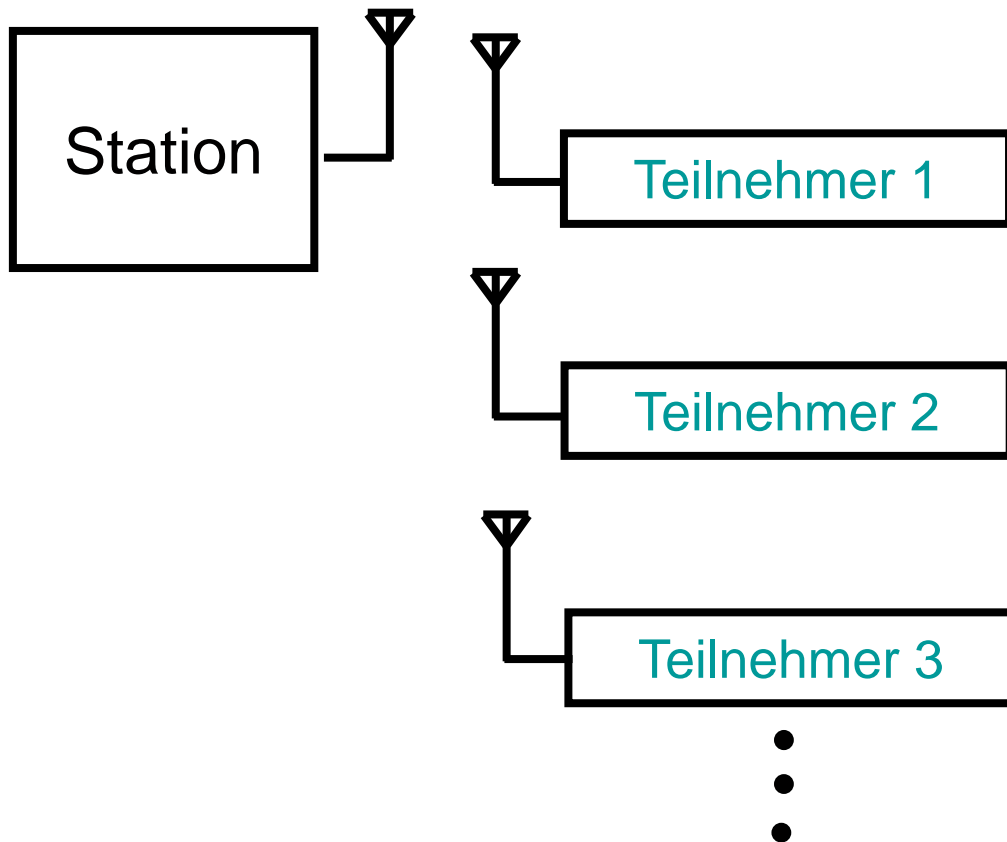


Frequenzbreite eines Übertragungsbandes
(„Band“) = 5 CDMA (\cong 25 „Channels“)

Code Division Multiple Access (CDMA)

Beim Empfangen wird derselbe „Schlüssel“ mit dem Funksignal multipliziert, um das eigentliche Datensignal wiederherzustellen („de-spreading“)

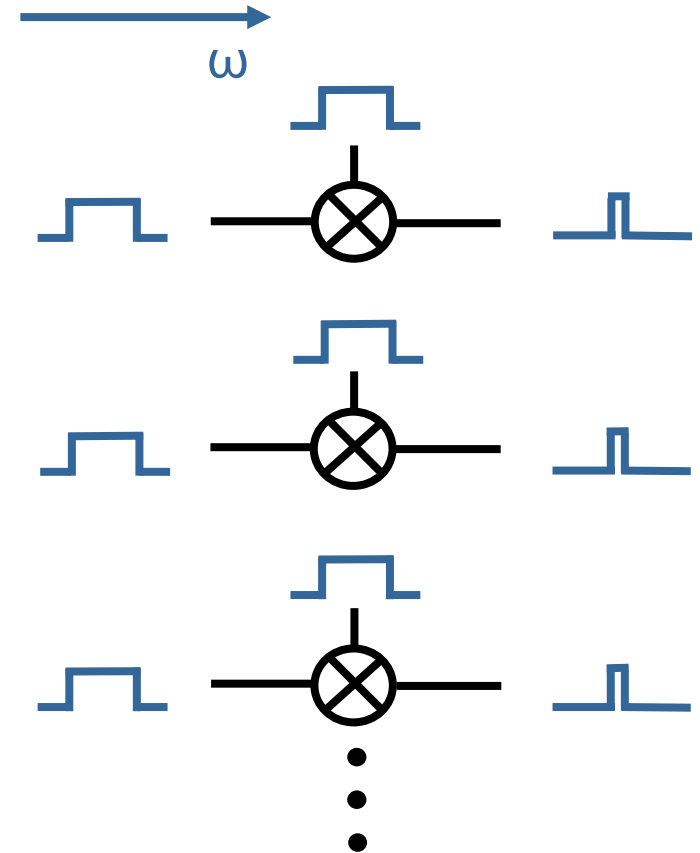
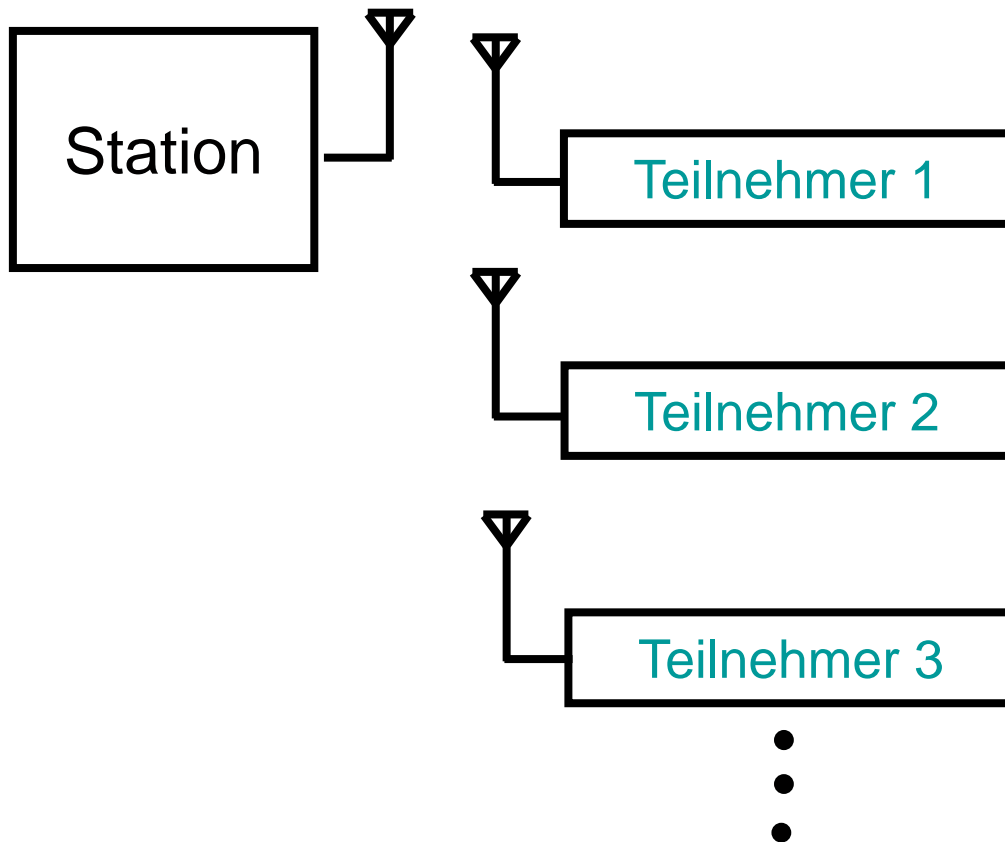
Empfangen:



Code Division Multiple Access (CDMA)

Beim Empfangen wird derselbe „Schlüssel“ mit dem Funksignal multipliziert, um das eigentliche Datensignal wiederherzustellen („de-spreading“)

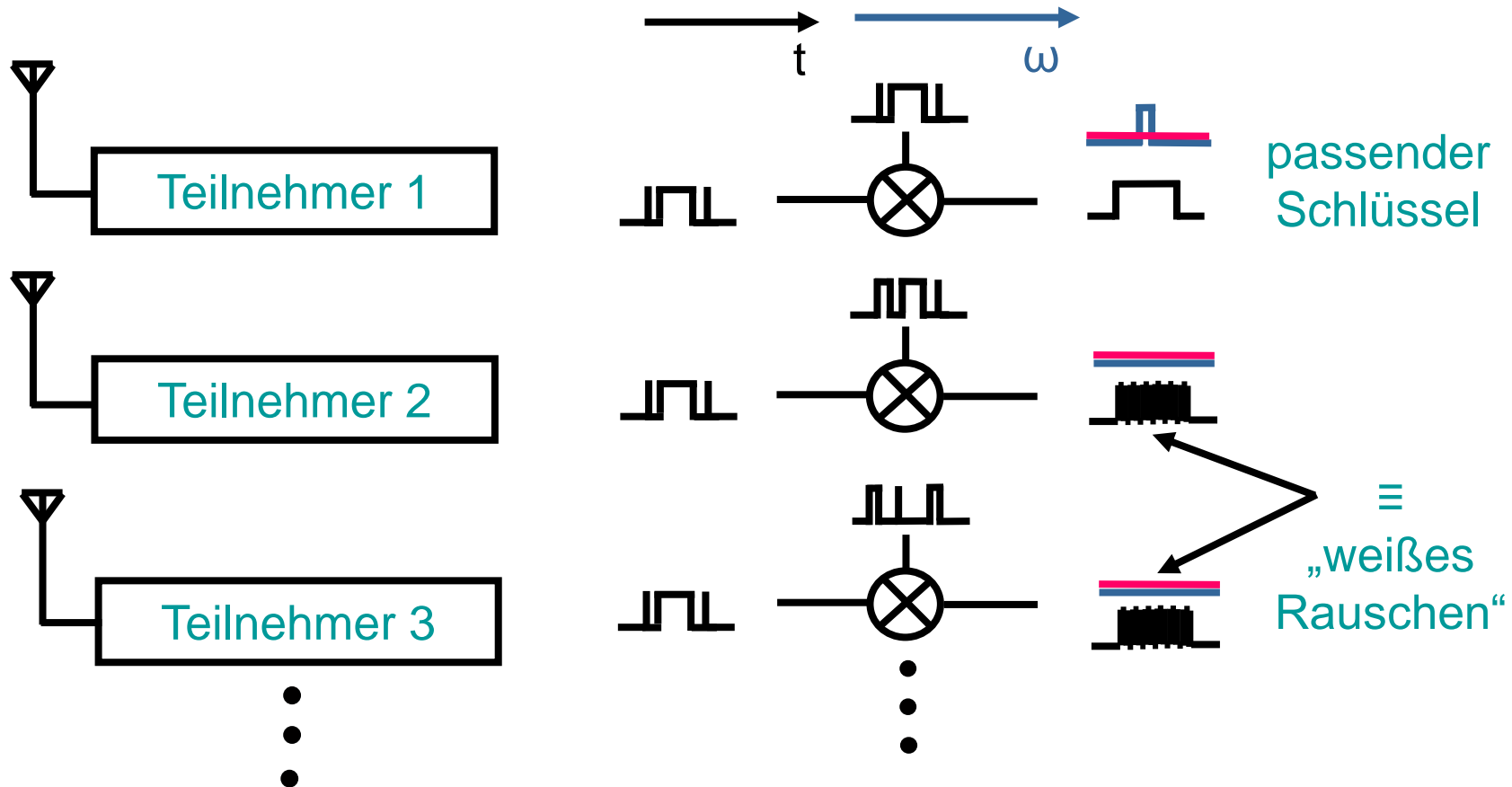
Empfangen:



Code Division Multiple Access (CDMA)

Empfang mit nicht passenden „Schlüssel“ kann als „weißes Rauschen“ angesehen werden („noise floor“)

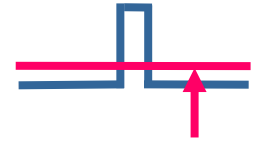
Empfangen:



Code Division Multiple Access (CDMA)

Vorteile:

-weiche Grenze der zu übertragenden Teilnehmer (lineares Ansteigen des „noise floors“ mit der Teilnehmerzahl)



Nachteile:

-CDMA ist sehr empfindlich auf die Sendestärke:


ein starker Sender \Rightarrow überproportionale Erhöhung des „noise levels“ („near-far“-Problem, weniger Effekt bei TDMA und FDMA)



Gegenmaßnahme:

Abstimmung der Sendeleistung \Rightarrow komplizierte Schaltungstechnik
(aber Vorteil: längere Sprechzeiten !)

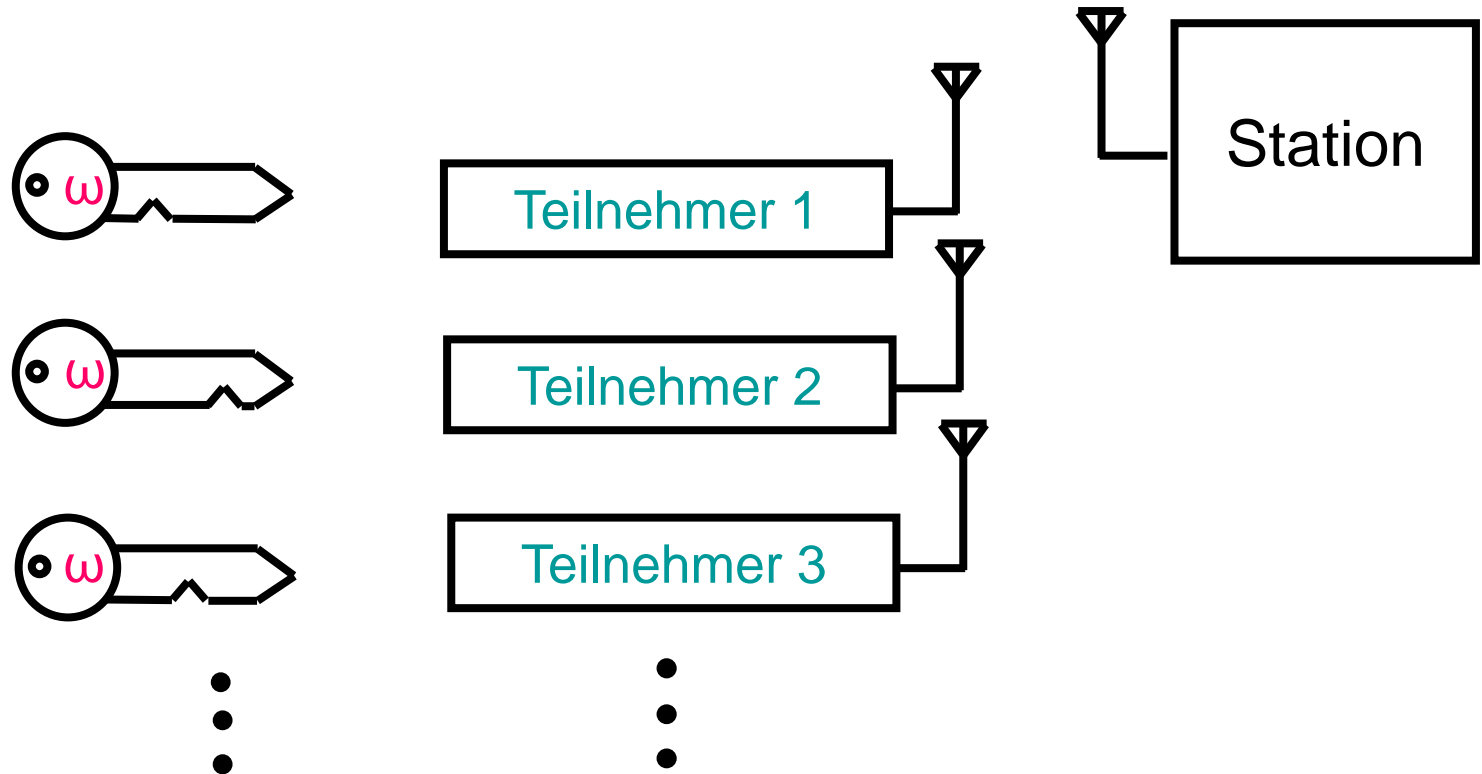
Gliederung

- Grundlage: Aufbau einer Funkverbindung
- Was bedeutet „Duplexing“?
 - Problemstellung: Duplexing
 - Frequency Division Duplexing (FDD)
 - Time Division Duplexing (TDD)
- Was bedeutet „Multiple Access Verfahren“?
 - Problemstellung: Multiple Access
 - Time Division Multiple Access (TDMA)
 - Frequency Division Multiple Access (FDMA)
 - Code Division Multiple Access (CDMA)
 -  Frequency-Hopping CDMA (FH-CDMA)
- Zusammenfassung
- Literaturhinweise

FH-CDMA

Prinzip des „Frequency-Hopping“ CDMA:

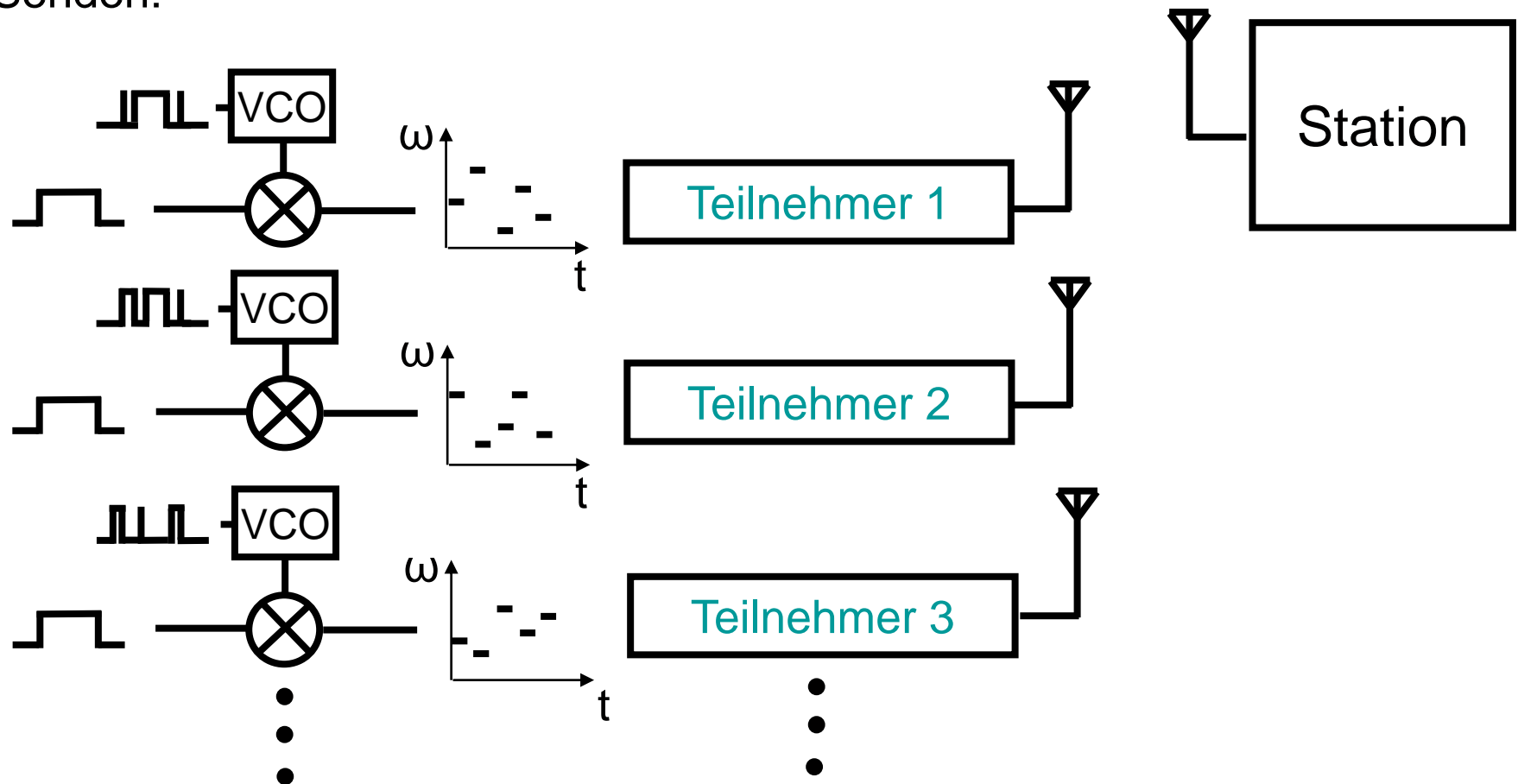
gesteuert von der Basisstation bekommt jeder Teilnehmer einen „Schlüssel“ zur Datenübertragung, der die Übertragungsfrequenz steuert \Rightarrow „Kombination“ von FDMA und CDMA!



FH-CDMA

„Schlüssel“ besteht aus „orthogonalen“ Digital-Code, mit dem die Übertragungsfrequenz gesteuert wird:

Senden:



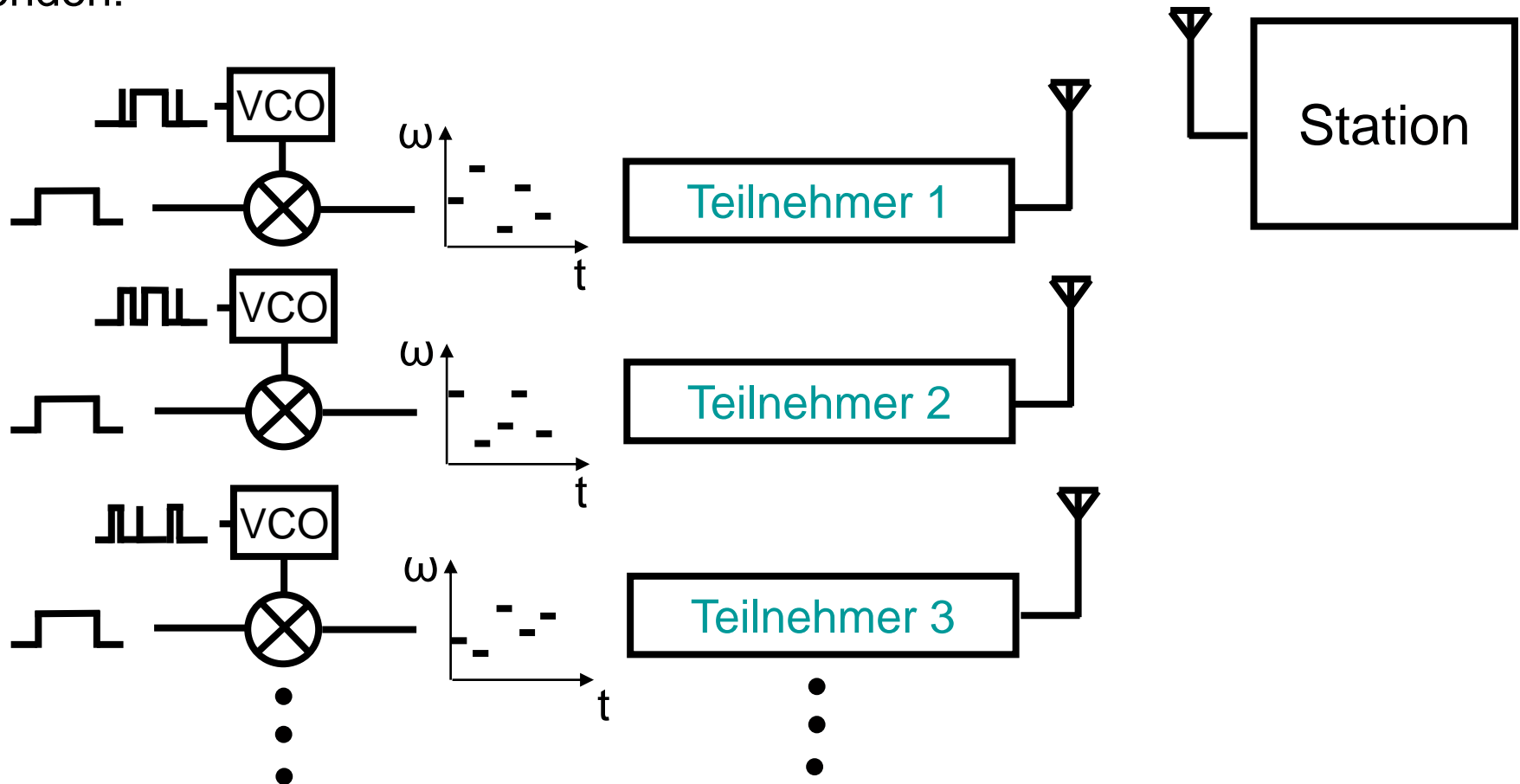
Empfangen analog !

FH-CDMA

Fast-Frequency Hopping: ein Symbol (I/Q) verschiedene Frequenzen

Slow-Frequency Hopping: ein/mehrere Symbol(e) (I/Q) derselben Frequenz

Senden:



Empfangen analog !

FH-CDMA



Vorteile:

- weiche Grenze der zu übertragenden Teilnehmer
- durch Wechseln der Frequenz: Störsicherheit, da Störungen im allg. nur eine geringen Frequenzbereich betreffen
- durch Frequenzwechsel (ähnlich FDMA) ist FH-CDMA weniger empfindlich auf die Sendestärke als CDMA

Nachteile:

- ungünstigere Bit Error Rate durch seltene Belegung derselben Übertragungsfrequenz durch verschiedene Codes

Bemerkung:

noch andere Arten des CDMA z.Bsp. Time-Hopping Spread Spectrum

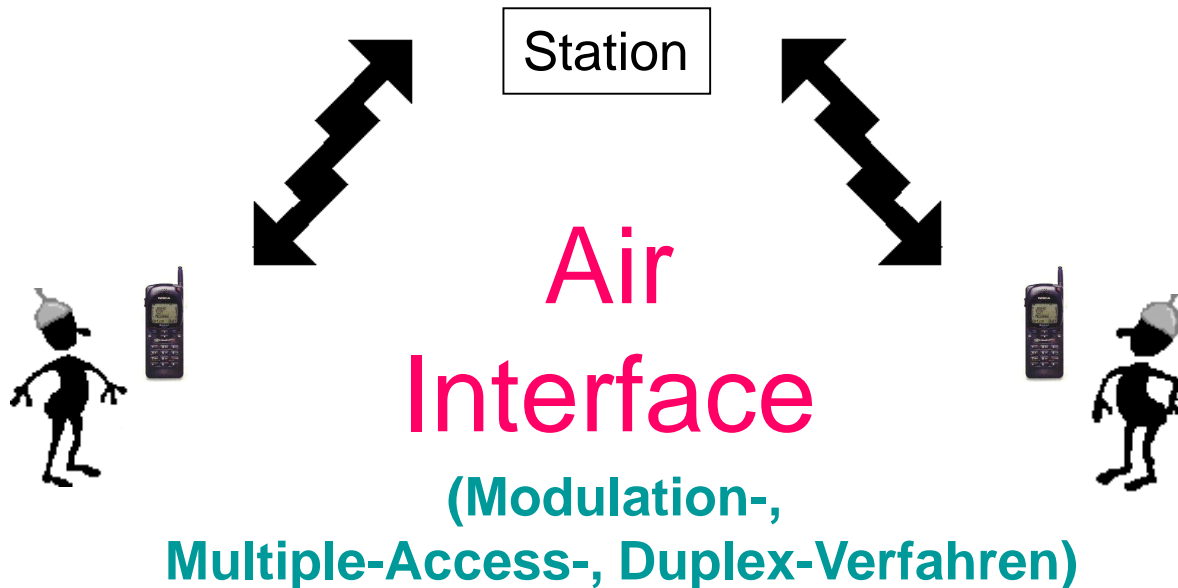
Zusammenfassung

- Aufbau einer Funkverbindung
- Was bedeutet „Duplexing“?
 - Problemstellung: Duplexing
 - Frequency Division Duplexing (FDD)
 - Time Division Duplexing (TDD)
- Was bedeutet „Multiple Access Verfahren“?
 - Problemstellung: Multiple Access
 - Time Division Multiple Access (TDMA)
 - Frequency Division Multiple Access (FDMA)
 - Code Division Multiple Access (CDMA)
 - Frequency-Hopping CDMA (FH-CDMA)
- Zusammenfassung
- Literaturhinweise

Auswahl eines „Air Interfaces“

Ihre Firma hat einen Frequenzbereich zugeteilt bekommen.
Ihr Chef verlangt, daß möglichst viele Gespräche für diesen Frequenzbereich gleichzeitig übertragen werden können.

Ihre Aufgabe: -Auswahl eines „Air Interfaces“



Literaturhinweise

Bücher:

- B. Razavi, „RF Microelectronics“ ,Prentice Hall, 2011,
ISBN 0-13-713473-8
- T.S. Rappaport, „Wireless Communications“, Prentice Hall, 2002,
ISBN 0-13-042232-0
- E.A. Lee, D.G. Messerschmidt, „Digital Communication“, Kluwer,
1994, ISBN 0-79239-391-0
- J. Schiller, „Mobilkommunikation“, Pearson Studium,
2003, ISBN 3-8273-7060-4