

Grundlagen der drahtlosen Übertragung

Dragan Popovic wi4574
Fachhochschule Wedel – Informatikseminar
WS2004
Prof. Dr. Sebastian Iwanowski

Inhaltsverzeichnis

Geschichte der drahtlosen Kommunikation	3
Kategorien der drahtlosen Kommunikation	4
Mobiltelefonie	4
Drahtlose lokale Netze	4
Wireless Personal Area Networks (WPANs)	4
Satellitennetze	5
Richtfunk (radio beam transmission)	5
Überbrückung der „letzten Meile“ – Wireless Local Loop (WLL)	5
Robotik, Fahrerlose Transportsysteme	5
Rundfunksysteme (broadcast radio transmission)	5
Bündel-, Betriebsfunk TETRA	5
Problemkreise der drahtlosen Kommunikation	6
Besonderheiten der Funkkommunikation	7
Antennen	9
Effekte bei der Signalausbreitung	12
Dämpfung	13
Abschattung	14
Reflexion	14
Refraktion / Brechung	14
Streuung	14
Beugung	15
Mehrwegausbreitung (multipath propagation)	15
Zellenbasierte Funkssysteme	17
Multiplexverfahren	18
Raummultiplex (Space Division Multiplexing, SDM)	18
Frequenzmultiplex (Frequency Division Multiplexing, FDM)	19
Zeitmultiplex (Time Division Multiplexing, TDM)	20
Codemultiplex (Code Division Multiplexing, CDM)	20
Quellenverzeichnis	21

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 : Überblick Kategorien	4
Abbildung 2 : OSI - Referenzmodell	6
Abbildung 3 : Frequenzzuweisungen nach Regionen und Systemen (in MHz)	7
Abbildung 4 : Bereiche einer Funkzelle	8
Abbildung 5 : Richtdiagramm eines idealen Punktstrahlers	9
Abbildung 6 : Einfache Antennen	10
Abbildung 7 : Richtdiagramm eines einfachen Dipols	10
Abbildung 8 : Richtdiagramm einer Antenne mit Richtcharakteristik	10
Abbildung 9 : Richtdiagramme von sektorisierten Antennen	11
Abbildung 10 : Antennendiversität	11
Abbildung 11 : Übersicht Frequenzbereiche zur Datenübertragung	12
Abbildung 12 : Frequenzausnutzung in Deutschland	12
Abbildung 13 : Abschattung, Reflexion, Refraktion	14
Abbildung 14 : Streuung, Beugung	15
Abbildung 15 : Mehrwegausbreitung	15
Abbildung 16 : Signalschwund	16
Abbildung 17 : Raummultiplex	19
Abbildung 18 : Frequenzmultiplex	19
Abbildung 19 : Zeitmultiplex	20
Abbildung 20 : Codemultiplex	21

Geschichte der drahtlosen Kommunikation

150 v.Chr.	Rauchzeichen
1794	Optischer Telegraf
1831	Michael Faraday demonstriert elektromagnetische Induktion
1886	Heinrich Hertz demonstriert die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen durch den Raum
1896	Guglielmo Marconi demonstriert den ersten drahtlosen Telegrafen
1907	Kommerzieller Transatlantik-Telegraf
1915	Drahtlose Sprachübertragung Ney York – San Francisco
1926	Zugtelefon auf der Strecke Hamburg – Berlin
1928	Feldversuche mit Fernsehübertragung
1958	A-Netz in Deutschland
1972	B-Netz in Deutschland
1979	Erste Produkte mit Infrarotkommunikation
1982	Start der GSM-Spezifikation
1986	C-Netz in Deutschland
1991	DECT-Standard für Schnurlos-Telefone
1992	Einsatz von GSM, D-Netz in Deutschland
1994	- E-Netz in Deutschland - IrDA Infrarotstandard
1995	Schnelle Infrarotübertragung FIR (bis 4 MBit/s)
1996	- Lokales Funknetz HIPERLAN (bis 23,5 MBit/s) - Start der Spezifikation von Wireless ATM
1997	Lokales Funknetz nach IEEE 802.11 (bis 2 MBit/s)
1998	- Spezifikation von UMTS - Drahtlose LANs nach HomeRF bis 10 MBit/s
1999	- WLAN nach IEEE 802.11a (bis 54 MBit/s) und 802.11b (bis 11 MBit/s) - Start von WAP (Wireless Application Protocol) - Schnelle Infrarotübertragung VFIR (bis 16 MBit/s) - Bluetooth - Start von i-Mode in Japan
2000	- Versteigerung der UMTS-Funklizenzen - GSM mit höheren Übertragungsraten (HSCSD, GPRS) - HIPERLAN/2 (bis 54 MBit/s) - Erste Bluetooth Geräte
2001	Flächendeckende Einführung von GPRS in Deutschland
2002	Start von i-Mode in Deutschland

Kategorien der drahtlosen Kommunikation

Die drahtlose Kommunikation unterscheidet sich technisch von der drahtgebundenen Kommunikation. Das ist allerdings nicht der einzige Unterschied. So sind jetzt z.B. eine ganze Menge neuer Anwendungen und Einsatzszenarien denkbar, welche vorher nicht realisiert werden konnten.

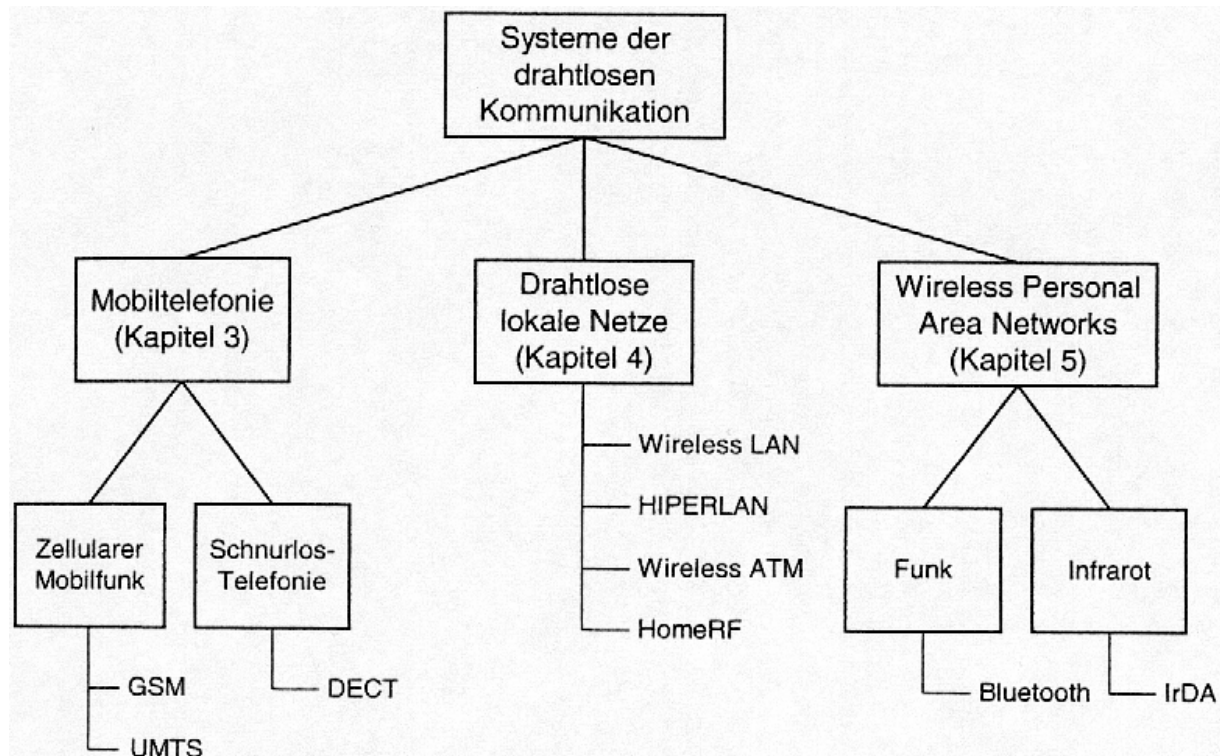


Abbildung 1 : Überblick Kategorien

Mobiltelefonie

Die Mobiltelefonie ist wohl die populärste und bekannteste Verwendung der drahtlosen Kommunikation. Die aktuell verwendeten Netze sind landgestützt und zellular aufgebaut. Allerdings werden auch hier noch Trägernetzwerke zur Verbindung der einzelnen Funkzellen verwendet. Alternativ könnte ein Satellitennetz eingesetzt werden.

Drahtlose lokale Netze

Drahtlose lokale Netze finden ihren Einsatz meist dort, wo eine Verkabelung zu aufwendig und kostenintensiv ist, aber auch immer mehr aus Bequemlichkeitsgründen. So ist es beispielsweise möglich, sich mit einem Laptop „frei“ zu bewegen (im Bereich der Funkzelle) und trotzdem ständig Verbindung mit einem Netzwerk zu haben z.B. mit dem Intranet oder Internet.

Wireless Personal Area Networks (WPANs)

Sie überbrücken nur Entfernung über einige Meter. Werden derzeit bei kabellosen Mäusen und Tastaturen eingesetzt, sollen in Zukunft auch bei Unterhaltungs-, Konsum- und Kleingeräten eingesetzt werden. Diese Technik soll dann beispielsweise ermöglichen eine Digitalkamera kabellos mit einem Drucker zu verbinden.

Satellitennetze

Satellitennetze werden eingesetzt wenn es nötig ist, sehr große Flächen abzudecken. Sie sind allerdings nicht mehr so attraktiv, da sie sehr hohe technische Anforderungen und Kosten haben. Es wird daher oft auf Mobilfunknetze zurückgegriffen.

Richtfunk (radio beam transmission)

Mit Hilfe des Richtfunks ist eine Datenübertragung über mehrere Kilometer möglich. Da allerdings nur stationäre Endpunkte verbunden werden können, fällt der Richtfunk nicht in den Bereich der mobilen Kommunikation. Es werden Richtantennen mit hoher Bündelung auf der Sender- und Empfangsseite verwendet. Dadurch kann auch bei Sender mit kleiner Leistung eine störungsarme Übertragung und eine gewisse Sicherheit gegen Abhören erreicht werden.

Überbrückung der „letzten Meile“ – Wireless Local Loop (WLL)

Netzbetreiber können diese Technik nutzen um ein flächendeckendes Netzwerkangebot zu erstellen, ohne in die Festverkabelung des Ortsnetzes einzugreifen. Die Strecke zwischen einem Verteilungsknoten und einem Haushalt wird als „letzte Meile“ bezeichnet. Um diese letzte Meile zu überbrücken, müssen die Netzbetreiber lediglich drahtlose Kommunikationsstrecken zwischen den Verteilungsknoten und den Haushalten einrichten.

Robotik, Fahrerlose Transportsysteme

Auch im Bereich der Robotik oder bei fahrerlosen Transportsystemen kann die drahtlose Kommunikation eingesetzt werden. Ein großes Einsatzgebiet dabei ist die Logistik. Dort sind beispielsweise PC's an Gabelstaplern angebracht, welche dem Fahrer beim durchfahren einer Lagerhalle ständig mitteilt welche Waren von wo nach wo transportiert werden müssen, um optimale Wege zu erhalten.

Rundfunksysteme (broadcast radio transmission)

Rundfunksysteme arbeiten nur unidirektional. Dabei werden elektromagnetische Wellen (gesendete Daten) gleichförmig in alle Richtungen ausgestrahlt. Die Beschaffenheit des Geländes, die Stärke des Senders und Empfängers sind Faktoren welche die Reichweite beeinflussen. Radio und Fernsehen sind dabei typische Anwendungen.

Bündel-, Betriebsfunk TETRA

Mit dem Betriebsfunk wird die innerbetriebliche Kommunikation zwischen einer Einsatzzentrale und mobilen Teilnehmern realisiert. Typische Einsatzgebiete sind: Taxis, Busse, Polizei, Feuerwehr, Energieversorger.

Der Bündelfunk wurde 1990 eingeführt und löste damit den Betriebsfunk ab. Der Bündelfunk wird typischerweise durch Dritte betrieben. In Europa gibt es einen digitalen Standard TETRA (Trans-European Trunked Radio) welche alle Formalien bezüglich der Realisierung regelt.

Problemkreise der drahtlosen Kommunikation

Die verschiedenen Aspekte der drahtlosen und mobilen Kommunikation aus der Sicht eines stark vereinfachten OSI-Referenzmodells.



Abbildung 2 : OSI - Referenzmodell

Bitübertragungsschicht / Sicherungsschicht

Die Schichten 1 und 2 regeln alle Probleme bezüglich der Luftschnittstelle. Die erste Hürde dabei ist die Frage der Bitübertragung. Diese wird in Bereichen der Hardwareentwicklung, Elektronik, Elektrotechnik und Physik behandelt. Wenn mehrere Benutzer Daten über ein gemeinsam genutztes Medium übertragen wollen, ist es notwendig Verfahren einzusetzen, welche den so genannten Mehrfachzugriff regeln bzw. ermöglichen.

Die Vermittlungsschicht

Um die drahtlose Kommunikation auch wirklich mobil zu halten und dem Benutzer somit Freiheiten und Komfort einzuräumen werden bestimmte Mechanismen eingesetzt. Diese Mechanismen ermöglichen dem Benutzer räumliche Mobilität. D.h. ein Benutzer kann sich an verschiedenen Orten in sein Netzwerk einloggen (Roaming), ohne ständig neue komplizierte und meist zeitaufwendige Konfigurationen vornehmen zu müssen. Des Weiteren regelt ein zweiter Mechanismus (Handover) das mobile Bewegen des Benutzers innerhalb verschiedener Funkzellen. Beispiel: Ein Benutzer führt ein Telefongespräch und fährt dabei von Hamburg nach Hannover. Da die Funkzellen im Mobilfunk nur einen bestimmten Radius abdecken können (max. 50km), muss sich der sich bewegende Teilnehmer durch die Funkzellen auf seiner Strecke hangeln. Dieses Hangeln (Aufrechterhaltung der Verbindung beim Übergang von einer Funkzelle zu einer anderen) wird durch das Handover ermöglicht.

Transportschicht

Da bei der damaligen Entwicklung der Transportprotokolle fast nur an drahtgebundene Netzwerke gedacht wurde, funktionieren diese zwar auch mit drahtlosen Netzen, aber die Performance ist sehr schlecht.

Anwendungsschicht

Ihr sind drei weitere wichtige Problemkreise zuzuordnen. Die Dienstvermittlung in mobilen Umgebungen ist dabei von großer Bedeutung. Wenn Benutzer sich in einer neuen Umgebung mit zusätzlichen oder vorher nicht angebotenen Diensten befinden, müssen diese automatisch erkannt und genutzt werden können. Bei der Übertragung von Daten ist es wichtig, einen plattformübergreifenden Austausch zu ermöglichen, da meist sehr heterogene Systeme miteinander verbunden werden. Außerdem sind auf jeden Fall die Fähigkeiten der Endgeräte zu beachten. Die Leistung (Akku, Stromversorgung, Rechenleistung) ist bei den mobilen Endgeräten sehr unterschiedlich.

Besonderheiten der Funkkommunikation

	Europa	USA	Japan
Mobil- telefone	NMT 453–457, 463–467; GSM 890–915, 935–960; 1710–1785, 1805–1880; UMTS (FDD)/W-CDMA 1920–1980, 2110–2190; UMTS (TDD) 1900–1920, 2020–2025	AMPS, TDMA, CDMA 824–849, 869–894; TDMA, CDMA, GSM 1850–1910, 1930–1990;	PDC 810–826, 940–956; 1429–1465, 1477– 1513; FOMA/W-CDMA 1920–1980, 2110– 2170
Schnurlose Telefone	CT1+ 885–887, 930–932; CT2 864–868 DECT 1880–1900	PACS 1850–1910, 1930–1990 PACS-UB 1910–1930	PHS 1895–1918 JCT 254–380
Drahtlose LANs	IEEE 802.11 2400–2483 HiperLAN2/IEEE 802.11a 5150–5350, 5470–5725	IEEE 802.11 902–928, 2400–2483 HiperLAN2/IEEE 802.11a 5150–5350, 5725–5825	IEEE 802.11 2400–2497 HiperLAN2/IEEE 802.11a 5150–5250
Weitere	Funksteuerungen 27, 128, 418, 433, 868	Funksteuerungen 315, 915	Funksteuerungen 426, 868
	Satelliten (z.B. Iridium, Globalstar) 1610–1626, 2483–2500		

Abbildung 3 : Frequenzzuweisungen nach Regionen und Systemen (in MHz)

Den größten Unterschied zwischen der drahtgebundenen und der drahtlosen Kommunikation weisen die Schichten 1 und 2 des OSI-Referenzmodells auf. Dabei unterscheiden sich die jeweiligen Verfahren der Bitübertragung grundlegend voneinander. Bei der drahtlosen Kommunikation gibt es dabei einige Randbedingungen zu beachten:

- Störanfälligkeit
- Niedrige Datenraten
- Mithören der Kommunikation
- Hoheitliche Restriktionen (European Radio Office – ERO www.ero.dk; USA - FCC www.fcc.gov; Japan – ARIB www.arib.or.jp)

Das Funkmedium lässt sich im Gegensatz zur drahtgebundenen Kommunikation nicht gegen Störungen abschirmen. Daher wirken sich alle elektromagnetischen Störungen heftig auf die zu übertragenden Daten aus. Hinzu kommen die Effekte bzw. Probleme der Signalausbreitung (Dämpfung, Mehrwegausbreitung). Wie auch bei der drahtgebundenen Kommunikation hat die drahtlose Kommunikation Sender und Empfänger. Wie schon erwähnt unterscheiden sich die beiden Verfahren aber grundlegend voneinander. Bei der drahtgebundenen Kommunikation breiten sich die Signale entlang des Leiters (Koaxialkabel, verdrehte Kupferadern, Glasfaser, Hohlleiter usw.) aus, womit die räumliche Zuordnung (Leiter) genau bestimmt werden kann und des weiteren die Eigenschaften (benötigt für weitere Berechnungen) des Leiters genau bekannt sind. Bei der drahtlosen Kommunikation hingegen wird die Signalausbreitung aus sehr vielen Faktoren (Geländeform, atmosphärische Bedingungen, Gebäude u.v.m.) bestimmt und kann daher eher schlecht (meist gar nicht) vorhergesagt werden. Eine genaue Vorhersage wäre nur möglich, wenn es keine Störfaktoren geben würde, das Vakuum ist so ein Fall.

Die Datenübertragung ist nur in einem bestimmten Bereich um den Sender möglich. Je nach Antennenart des Senders kann man den Bereich um einen Sender als Kreis mit drei Bereichen sehen. Man spricht dann auch von einer Funkzelle. Sie ist in die drei Bereiche : Übertragung, Erkennung und Interferenzbereich unterteilt.

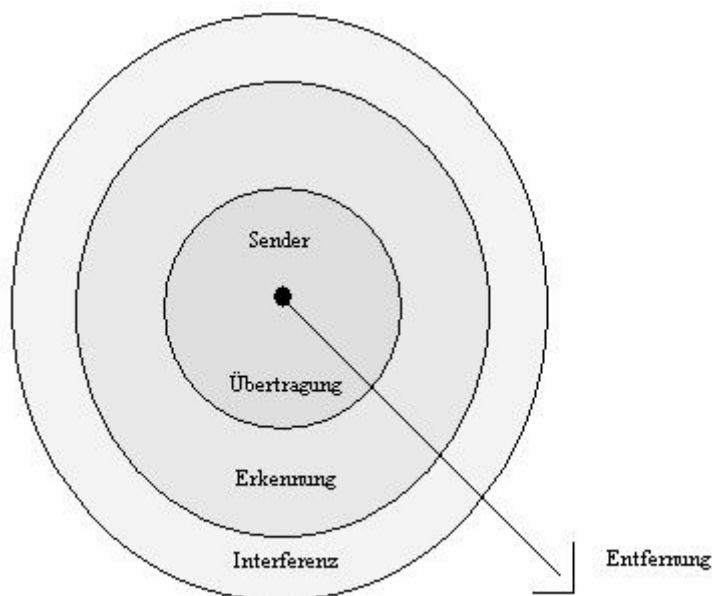


Abbildung 4 : Bereiche einer Funkzelle

Übertragungsbereich: In diesem Bereich können jeweils ein Sender und ein Empfänger in beiden Richtungen (Sender - >Empfänger , beim Rückweg wird der Empfänger zum Sender) Daten übertragen. Dabei ist die Fehlerrate so gering, dass der Empfänger die Daten korrekt erhält bzw. rekonstruieren kann.

Erkennungsbereich: In diesem Bereich wird ein Sender zwar vom Empfänger erkannt, jedoch sind die empfangenen Daten so fehlerhaft, dass sie nicht wiederhergestellt werden können. Daher ist eine Kommunikation zwischen Sender und Empfänger nicht mehr möglich.

Interferenzbereich: In diesem Bereich kann der Empfänger das Signal des Senders nicht mehr empfangen. Allerdings ist das Signal des Senders noch so stark, dass es zum allgemeinen Rauschen beiträgt, so dass andere Übertragungen gestört werden.

In der Natur sieht eine Funkzelle nicht so ideal kreisförmig wie in der Abbildung aus, sondern stellt eher eine bizarre Form dar. Die Größe und Form der einzelnen Bereiche sowie die Proportionen untereinander hängen von der Frequenz und dem Zeitpunkt der Beobachtung ab.

Antennen

Durch Antennen funktioniert die drahtlose Kommunikation, indem sie elektromagnetischen Wellen den Übergang von einem Leiter (Draht, Koaxialkabel etc.) in den Raum und umgekehrt ermöglichen.

Um die Antenneneigenschaften bewerten zu können, wird ein „idealer Punktstrahler“ oder „isotroper Kugelstrahler“ als Referenz genommen. Dieser Punkt dient als theoretische Antenne. Es ist ein Punkt im Raum der in alle Richtungen mit der gleichen Energie sendet. Bei diesem Modell ist die Abstrahlungscharakteristik symmetrisch in allen Richtungen.

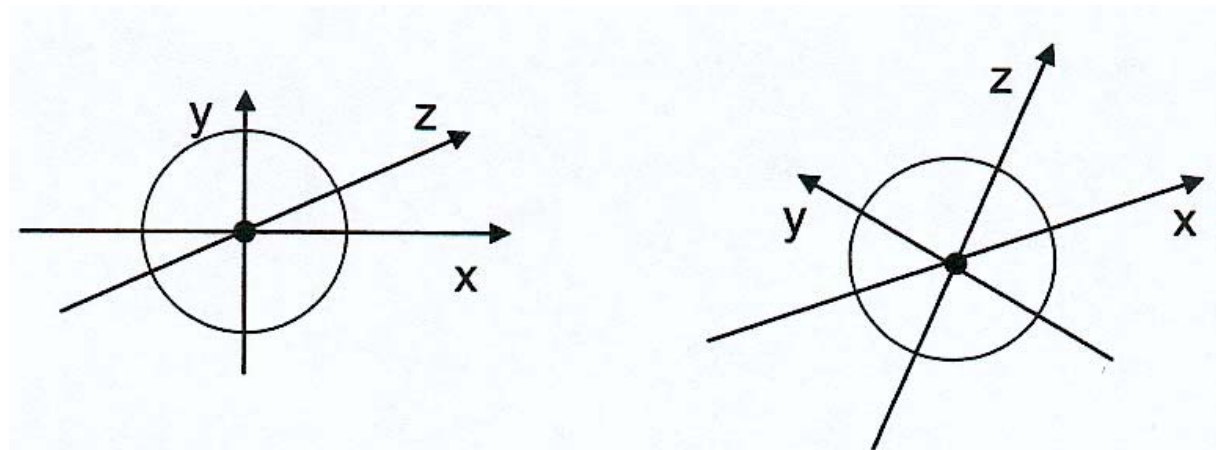


Abbildung 5 : Richtdiagramm eines idealen Punktstrahlers

Im Gegensatz zu diesem „idealen Punktstrahler“ haben alle realen Antennen eine gewisse Richtwirkung. Die einfachste Antenne (Hertzscher Dipol) besteht aus einem dünnen Draht mit der Energiezuführung in der Mitte. Ein solcher Dipol besteht aus zwei gleichlangen kollinearen Leitern durch einen dünnen Spalt getrennt. Die Länge eines Dipols sollte in etwa die Hälfte der verwendeten Wellenlänge haben. Die Wellenlänge wird dabei mit λ bezeichnet. Wenn Antennen auf einem guten Leiter montiert werden, beispielsweise auf einem Auto, dann sollte die Länge nur $\lambda/4$ betragen. Eine Antenne der Länge $\lambda/4$ heißt Marconi-Antenne.

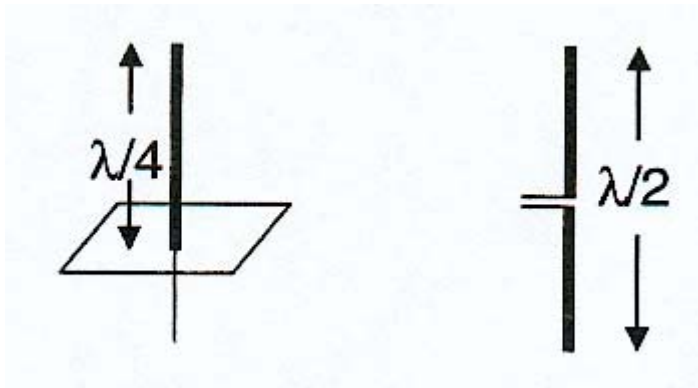


Abbildung 6 : Einfache Antennen

Betrachtet man das Abstrahlungsmuster eines $\lambda/2$ Dipol, erkennt man unschwer eine liegende acht (omnidirektional). Leider ist eine weitere Richtwirkung mit einer einfachen Antenne dieser Art nicht zu realisieren. Damit Signale trotzdem schwieriges Gelände (Berge, Täler, Häuserschluchten usw.) durchqueren können, muss die Sendeleistung erhöht werden. Wird die Sendeleistung erhöht, geht aufgrund der omnidirektionalen Abstrahlungscharakteristik sehr viel Energie verloren.

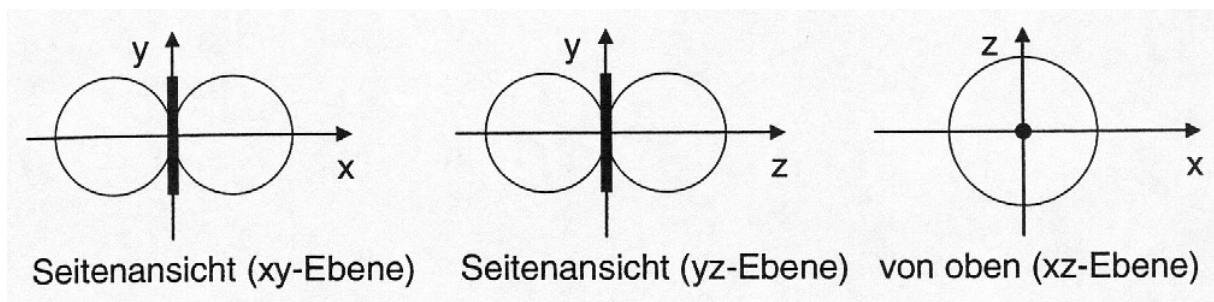


Abbildung 7 : Richtdiagramm eines einfachen Dipols

Damit keine Energie „verschwendet“ wird, setzt man in Tälern, an Hauswänden oder Straßenschluchten Antennen mit einer Richtcharakteristik und gegebener Hauptausbreitungs- und Hauptempfangsrichtung ein. Ein Beispiel dafür sind Satellitenantennen, aber auch in Mobilfunksystemen werden solche Antennen eingesetzt. Beim Mobilfunkeinsatz werden dann mehrere solcher Richtfunkantennen an einem Mast angebracht.

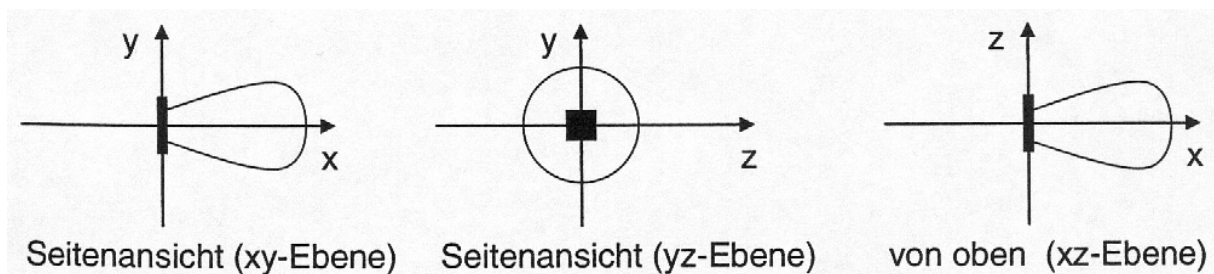


Abbildung 8 : Richtdiagramm einer Antenne mit Richtcharakteristik

Jede einzelne Antenne versorgt dann einen bestimmten Sektor. Wie man in der Abbildung sieht, werden die Antennen so angebracht, dass sich jeweils ein Teil der Sektoren überlappt. Dieses wird so praktiziert, um eine unterbrechungsfreie Funkversorgung zu garantieren.

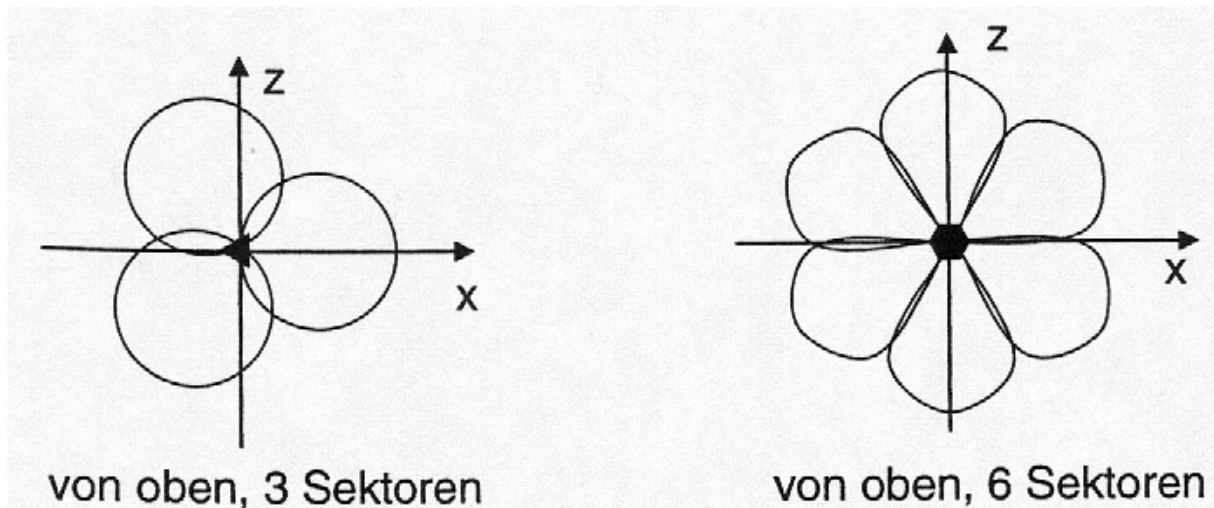


Abbildung 9 : Richtdiagramme von sektorisierten Antennen

Eine weitere Kombination von Antennen ermöglicht eine höhere Effektivität. Werden mehrere Antennen zusammengeschaltet, können sie gezielt so geschaltet werden, dass sie negativen Übertragungseffekten entgegenwirken. Man nennt eine derartige Zusammenschaltung auch Gruppenantennen, Mehrelementantennen oder Antennenfelder. Die durch das Zusammenschalten mehrerer Antennen entstehende Antennendiversität kann beispielsweise so genutzt werden, dass sich ein Empfänger immer die Antenne mit dem derzeitig stärksten Signal sucht bzw. auswählt. Ein bekannter Effekt ist das vorrollen mit dem Auto an einer Ampel. Manchmal reichen dabei minimale Bewegungen mit dem Auto um den Radioempfang zu verschlechtern bzw. zu verbessern.

Der zu wählende Abstand beim Zusammenschalten von Antennen sollte vielfache von $\lambda/2$ betragen.

Zusätzlich sind intelligente Antennen im Einsatz. Dabei verbindet ein Signalprozessor viele Antennen miteinander. Diese bilden dann ein „antenna array“. Der Nutzen liegt darin, dass mit Hilfe von Algorithmen die Antennencharakteristik der Umgebung angepasst werden kann. Zusätzlich kann ein solches antenna array sehr schnell auf störende Effekte der Signalausbreitung, wie z.B. Mehrwegausbreitung, reagieren. Ein weiterer Vorteil resultiert aus der Möglichkeit die Sendekule zu formen. Dieses ist dann ein Spezialfall einer gerichteten Antenne.

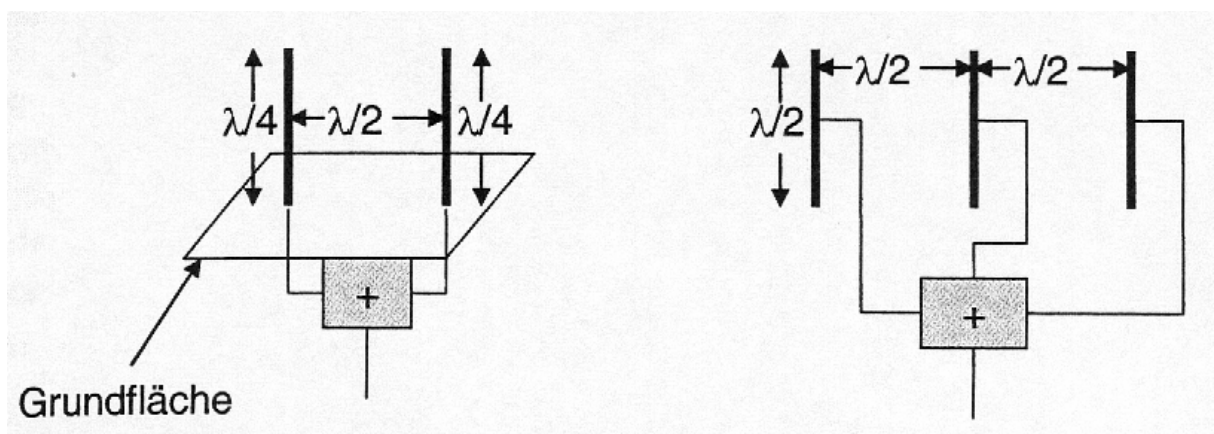
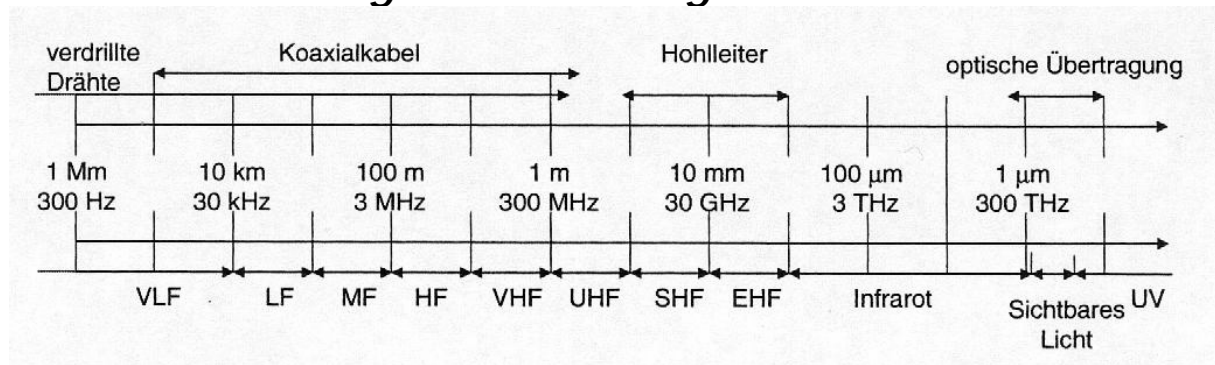


Abbildung 10 : Antennendiversität

Effekte bei der Signalausbreitung



Frequenzbereich Radio UKW : 87,5 - 108 MHz

Frequenzbereich TV : 85-862 MHz

Frequenzbereich Mobilfunk : 890-960 / 1710-1880 MHz

Abbildung 11 : Übersicht Frequenzbereiche zur Datenübertragung

Frequenzband	System	Rubrik
890-915 MHz	GSM (GSM 900)	Mobilfunk
935-960 MHz	GSM (GSM 900)	
1227,6 MHz	GPS	Positionsbestimmung
1575,42 MHz	GPS	
1710-1785 MHz	GSM (DCS 1800)	Mobilfunk
1805-1880 MHz	GSM (DCS 1800)	
1880-1900 MHz	DECT	Schnurlos-Telefonie
1900-1920 MHz	UMTS (UTRA-TDD)	Mobilfunk
1920-1980 MHz	UMTS (UTRA-FDD)	
2010-2025 MHz	UMTS (UTRA-TDD)	
2110-2170 MHz	UMTS (UTRA-FDD)	
2400-2483,5 MHz	WLAN 802.11b, HomeRF, Bluetooth	drahtlose lokale Netze
5120-5300 MHz	HIPERLAN/1	
5150-5250 MHz	WLAN 802.11a	
5150-5350 MHz	HIPERLAN/2	
5470-5725 MHz	HIPERLAN/2	
5725-5825 MHz	WLAN 802.11a	

Abbildung 12 : Frequenzausnutzung in Deutschland

Dämpfung

Werden Gravitationseffekte der Erde vernachlässigt, dann breiten sich elektromagnetische Wellen, Kurzwellen genauso wie Licht, geradlinig aus. Dieses ist unabhängig von der jeweiligen Frequenz, es dürfen jedoch keine Hindernisse zwischen dem Sender und dem Empfänger liegen. Eine Verbindung dieser Art wird als „Line Of Sight“ kurz LOS bezeichnet.

Die Signalstärke nimmt aber selbst im Vakuum ab. Dieser Leistungsverlust ist entfernungsabhängig. Die Empfangsleistung nimmt dabei quadratisch mit dem Abstand zum Sender ab.

Es gibt aber, selbst wenn nichts zwischen dem Sender und dem Empfänger steht, noch weitere Störfaktoren. Die Wellenlänge und die Richtcharakteristik der Antennen beeinflussen die empfangene Leistung stark. Befinden sich Hindernisse zwischen Sender und Empfänger wird ein Grossteil der Leistung den Weg nicht zum Empfänger schaffen. Während die Freiraumdämpfung (durch Regen, Schnee, Nebel, Dunst, Smog etc.) der Erdatmosphäre bei lokalen drahtlosen Netzen keine große Rolle spielt, beeinträchtigt sie die Funkübertragung bei großen Entfernungen gravierend. Dieses betrifft vor allem Satellitenübertragungen und Mobilfunksysteme. Bei starkem Regen kann es daher sein, dass Mobilfunksysteme zusammenbrechen können, weil Wasser sehr viel von der abgestrahlten Energie einer Antenne absorbieren kann und somit nicht genügend Energie zum Empfänger durchdringen kann.

Die Frequenz spielt daher in der Natur im Gegensatz zum Vakuum eine große Rolle. Signale mit niedriger Frequenz können Objekte besser durchdringen als Signale mit hoher Frequenz. Hohe Frequenzen verhalten sich mit zunehmender Frequenz wie Licht. Bei Frequenzen ab dem EHF-Bereich (> 30 GHz) blockieren bereits Blätter eine Übertragung.

Es gibt drei grundlegende Ausbreitungsverhalten bei Funkwellen. Diese sind abhängig von der Frequenz.

- **Bodenwellen (<2MHz):** Da Funkwellen niedriger Frequenz der Erdoberfläche folgen, kann man mit ihnen sehr große Distanzen zurücklegen. Einsatzgebiete für diese Art von Wellen sind U-Boote und Lang- und Mittelwellen-Radios.
- **Raumwellen (2-30MHz):** Diese Funkwellen werden zwischen Ionosphäre und Erdoberfläche „gespiegelt“ und können so die ganze Erde umwandern. Eingesetzt werden sie von Kurzwellensendern und Amateurfunkern.
- **Sichtverbindung (>30 MHz):** Die Frequenzen der Mobiltelefonie, Satellitensysteme, schnurlosen Telefone usw. liegen alle viel höher als die, der eben genannten. Die hierbei gesendeten Wellen folgen alle einer mehr oder weniger geraden direkten Linie (LOS) von Antenne zu Antenne (Sender zu Empfänger). Daher ist eine direkte Kommunikation mit Satelliten ohne Reflexion an der Ionosphäre möglich, jedoch muss beachtet werden, dass die Wellen bei der terrestrischen Übertragung durch die Atmosphäre abgelenkt werden. Mobilfunksysteme verwenden Frequenzen über 100MHz, funktionieren aber auch ohne Sichtverbindung. Diese Frage wird nachstehend beantwortet.

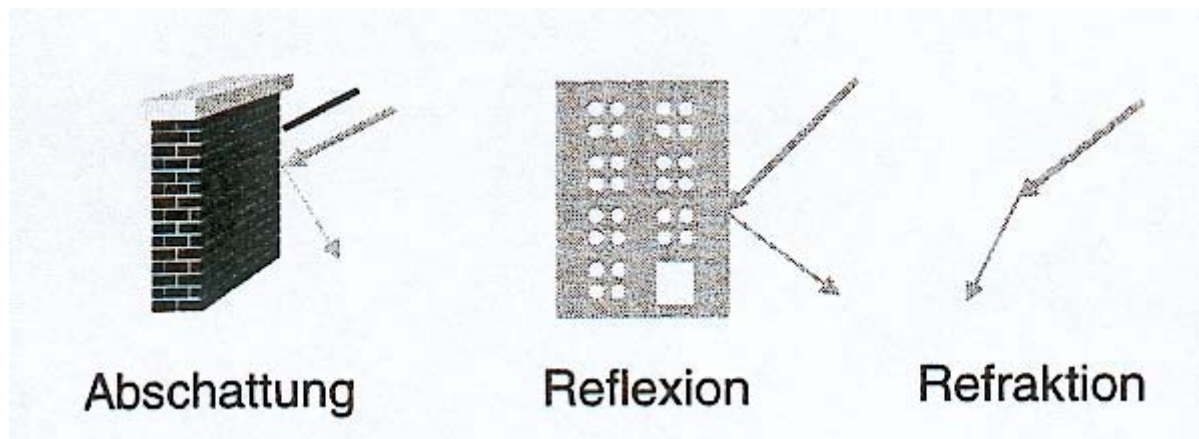


Abbildung 13 : Abschattung, Reflexion, Refraktion

Abschattung

In Abhängigkeit der Frequenz (verhalten wie Licht) können große Objekte eine Abschattung des Signals verursachen. Je höher die Frequenz allerdings ist, können auch schon kleinere Objekte wie Mauern, Fahrzeuge oder Bäume eine Abschattung verursachen. Dieses ist die extremste Form der Dämpfung.

Reflexion

Große Gebäude, Berge und die Erdoberfläche sind nur einige Beispiele der Objekte, welche eine Reflexion verursachen. Dieses Verhalten wird beispielsweise beim Mobilfunk ausgenutzt. Da in großen Städten viele große Gebäude stehen und dadurch keine LOS Verbindung möglich ist, kommt den Mobilfunkbetreiber dieses Phänomen zu gute. Die Signale werden dabei vom Sender aus gesendet, treffen dann irgendwann auf ein Gebäude. Das Signal wird nun reflektiert und weitergeleitet. So handelt sich das Signal weiter, bis es irgendwann einen Empfänger erreicht. Die Stärke des Signals nimmt dabei bei jeder Reflexion ab.

Refraktion / Brechung

Die Geschwindigkeit elektromagnetischer Wellen hängt von der Dichte des Übertragungsmediums ab. Nur im Vakuum ist die Geschwindigkeit gleich der Lichtgeschwindigkeit. Wellen werden immer in die Richtung des dichteren Mediums abgelenkt. Deswegen werden auch Funkwellen, welche einer Sichtverbindung folgen, in Erdrichtung abgelenkt, da die Dichte in Bodennähe höher ist.

Anders als die eben beschriebenen Effekte, welche entstehen wenn die Objekte wesentlich größer sind als die Wellenlänge der Signale, entstehen die beiden folgenden Effekte durch typische „Welleneffekte“ eines Radiosignals. Diese entstehen wenn die Objekte in etwa so groß wie die Wellenlänge des Signals oder kleiner sind.

Streuung

Signale werden an Objekten, welche in etwa die gleiche Größe haben oder kleiner sind als die Wellenlänge des Signals, gestreut. Streuung bedeutet, dass ein Signal in mehrere kleine bzw. schwächere Signale gespalten wird. Die so entstandenen Signale verlaufen in verschiedenen Richtungen. Beim Mobilfunk haben die Wellen etwa eine Länge von einigen 10cm, woraus sich schließen lässt, dass es sehr viele Objekte gibt, an denen das Ursprungssignal gestreut wird.

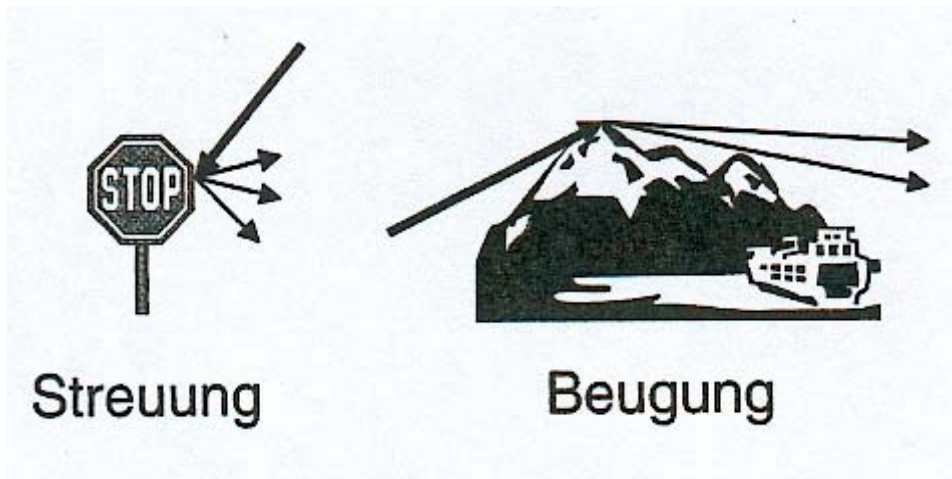


Abbildung 14 : Streuung, Beugung

Beugung

Die Beugung macht es möglich Funkkommunikation auch über Berge hinweg zu betreiben, auch wenn der Empfänger nicht auf der Bergspitze steht, sondern dahinter. Dabei wird der Effekt ausgenutzt, dass Radiowellen beim Auftreffen auf Kanten von Objekten oder Hindernissen (etwa eine Bergkuppe) von der ursprünglichen Ausbreitungsrichtung abgelenkt werden.

Um die exakte Stärke eines Signals hervorzusagen, ist es teilweise notwendig aufwendige 3D-Modelle von Geländeausschnitten zu erstellen und Messungen vorzunehmen, da in der Natur alle Dämpfungsarten in verschiedenster Kombination untereinander auftreten können. Dieses wird von den Mobilfunkbetreibern in der Praxis auch so gehandhabt.

Mehrwegausbreitung (multipath propagation)

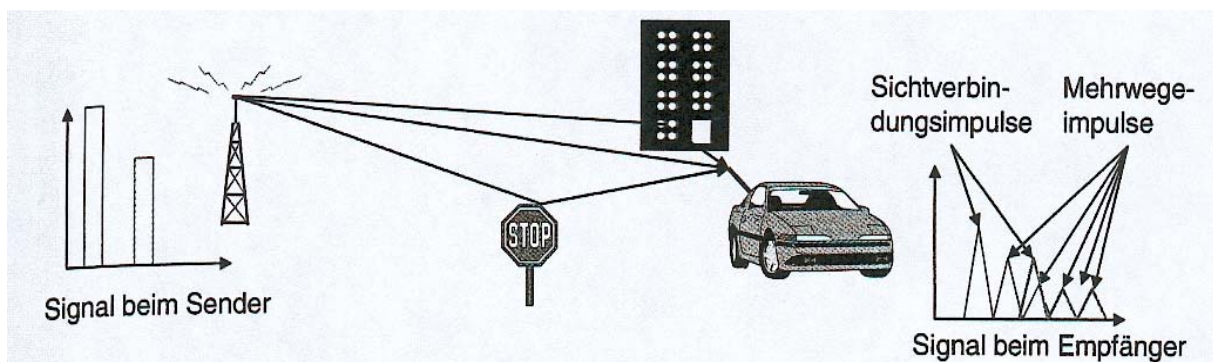


Abbildung 15 : Mehrwegausbreitung

Eines der größten Probleme der drahtlosen Kommunikation ist die Mehrwegausbreitung. Sie entsteht durch gleichzeitiges Eintreten mehrerer Effekte bei der Signalausbreitung. Auf der Abbildung treffen zwei Effekte und die direkte Signalausbreitung zusammen, das entspricht 3 Ausbreitungspfaden. In der Realität sind es meistens unzählige Ausbreitungspfade.

Das Problem dabei ist, dass die verschiedenen Signale den Empfänger wegen der unterschiedlichen Wege zu verschiedenen Zeiten erreichen. Dieser Effekt heißt Laufzeitdispersion (delay spread) und ist typisch für die drahtlose Kommunikation, da es keine Leitung gibt, welche eine einheitliche Ausbreitungsrichtung für das gesendete Signal vorgibt. Durch diesen Effekt wird klar, dass die Laufzeit eines Signals kein fester

Wert ist, sondern von den Wegen bzw. der Anzahl der Ausbreitungspfade abhängt. Die Mehrwegausbreitung hat nichts mit dem Bewegen des Senders und oder Empfängers zu tun. In Innenstädten liegen die Werte der Laufzeitdispersion zwischen $3\mu\text{s}$ und $12\mu\text{s}$. GSM-Systeme können bis Laufzeitunterschiede bis zu $16\mu\text{s}$ tolerieren. Dieses entspricht einer Weglängendifferenz von etwa 5 km.

Die Auswirkung der Laufzeitdispersion ist eine Impulsverbreiterung. Dabei wird ein Empfangsimpuls durch die Impulse aus den verschiedenen Ausbreitungswegen verbreitert. Je höher die Anzahl der Impulse, desto breiter wird der Empfangsimpuls. Je mehr ein Sendeimpuls „aufgeteilt“ (durch verschiedene Effekte) wird, desto schwächer werden die einzelnen Impulse. Einige Impulse können dann vom Empfänger nicht mehr empfangen werden, weil sie sich nicht mehr vom Hintergrundrauschen abheben. Wenn es dazu kommt, dass klar getrennte Signale zeitlich überlappt werden, tritt ein weiterer Effekt, die Intersymbolinterferenz (ISI), ein. Dieser Effekt tritt verstärkt auf, wenn die Senderate hoch ist. Dabei können sich Signale gegenseitig auslöschen. Die ISI begrenzt die Bandbreite eines Funkkanals mit Mehrwegausbreitung. Um der ISI entgegenzuwirken werden den Sendern und Empfängern die Charakteristiken der Übertragungskanäle mitgeteilt. So können die Empfänger, wenn sie wissen welche Wege den größten Anteil am Signal haben, die Störungen kompensieren. Eine praktische Anwendung dazu ist, dass regelmäßig Trainingssequenzen vom Sender aus gesendet werden. Dem Empfänger ist bekannt, welches Signalmuster empfangen werden muss. Die Empfänger können dann auf Grund der empfangenen Signale den richtigen Weg wählen. Um sich dann noch auf das richtige Signal einzustellen, werden so genannte „Entzerrer“ (Equalizer) eingesetzt.

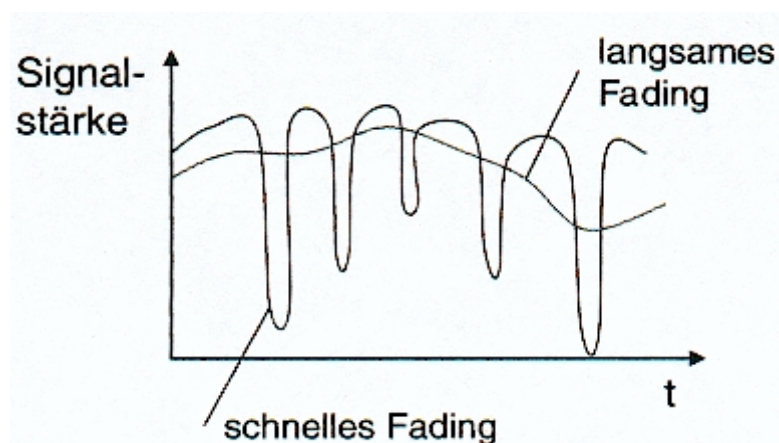


Abbildung 16 : Signalschwund

Hinzu kommen noch zwei weitere Effekte, welche durch die Bewegung von Sender und Empfänger ausgelöst werden. Der Weg eines Signals und die Charakteristik des zugehörigen Übertragungskanals ändern sich bei Bewegung des Senders und Empfängers ständig. Beispiel dazu ist die hörbare Veränderung des Empfangs beim Autoradio während einer Autofahrt. Die Signalstärke ändert sich dabei oft sehr rasch, z.B. wenn ein längerer Tunnel durchfahren oder ein Waldstück passiert wird. Diese schnelle Änderung des Signals wird als „short term fading“ bezeichnet. Der Empfänger versucht diesem Effekt entgegenzuwirken, indem er ständig versucht den Entzerrer neu zu justieren. Ändert sich das Signal allerdings sehr häufig, kann sich der Entzerrer ab einer bestimmten Frequenz nicht mehr schnell genug anpassen. In diesem Fall steigt dann die Fehlerrate drastisch an.

Wenn nun ein Signal längerfristig schwindet, spricht man vom „long term fading“. Wenn sich der Abstand vom Sender zum Empfänger ständig ändert (vergrößert), dann wird das Signal auch immer schwächer. Dem kann entgegengewirkt werden, indem die Sendeleistung dynamisch angepasst wird. Dadurch wird erreicht, dass das Empfangssignal immer in einem bestimmten Bereich liegt und es nicht zu Empfangsstörungen kommt.

Zellenbasierte Funksysteme

Raummultiplex wird zur Erhöhung der Gesamtkapazität bei Mobilfunksystemen verwendet. Dabei decken dann die einzelnen Sender (Basisstationen) einen bestimmten Bereich, eine Zelle, ab. Die Größe der Zelle ist abhängig von der Umgebung. In geschlossenen Räumen beträgt der Radius etwa 20m, einige hundert m in Städten und in ländlichen Regionen sogar bis zu 50 km. Auch wenn hier die Rede von einem Radius ist, sind die Zellen in der Realität nicht kreisrund, sondern abhängig von Gelände und Netzlast irgendwelche bizarren Formen. Schnell kommt die Frage auf, warum so viele einzelne Basisstationen verwendet werden, wenn man dieses auch mit viel stärkeren Sendern (wie z.B. im Rundfunk), von denen man dann natürlich viel weniger bräuchte, realisieren könnte. Dazu folgen nun die Vorteile zellenbasierter Funksysteme.

- **Höhere Gesamtkapazität:** Der Frequenzbereich ist beschränkt. Mehrfachverwendung von Frequenzen ist durch Raummultiplex möglich, wenn zusätzlich die Sender in einer Entfernung zueinander stehen, bei welcher sie sich nicht mehr stören können. Jeder Teilnehmer bekommt eine gewisse Frequenz zugewiesen, welche dann für die anderen Teilnehmer blockiert ist. Je kleiner nun die Zelle gewählt wird, desto höher wird die Anzahl der möglichen Nutzer pro Quadratkilometer.
- **Geringere Sendeleistung:** Mobile Endgeräte haben ihren Schwachpunkt bei den Akkumulatoren. Je weiter weg sich ein mobiles Endgerät von einem Sender befindet, desto mehr Sendeleistung braucht es.
- **Nur lokale Störungen:** Je kleiner der Zellenbereich, desto weniger Störungen treten auf und es müssen folglich weniger kompensiert werden.
- **Robustheit:** Im Falle eines Ausfalls ist nur die jeweilige Zelle selbst betroffen. Im optimalen Fall kann eine benachbarte Zelle noch gut genug empfangen werden, um eine Verbindung zu Stande zu bringen.

Es gibt allerdings auch einige Nachteile:

- **Umfangreiche Infrastruktur:** Um alle Basisstationen untereinander zu verbinden und zu koordinieren ist eine komplexe Infrastruktur notwendig. Um die Verwaltung der Aufenthaltsdaten und Lokalisierung mobiler Stationen zu bewältigen, werden meistens Datenbanken eingesetzt. Zur Infrastruktur gehört des weiteren die Planung der Antennen und Zwischensysteme.
- **Häufige Übergabe:** Wenn ein mobiles Endgerät eine Zelle verlässt und eine andere betritt, dieser Vorgang heißt „handover“, finden umfangreiche Maßnahmen in der Infrastruktur statt. So ein handover kann unter Umständen sehr häufig geschehen, beispielsweise wenn sich ein Teilnehmer ständig am Rande einer Funkzelle bewegt und ständig zwischen zwei Zellen gewechselt wird.
- **Frequenzplanung:** Damit keine Gleichkanalstörungen auftreten, muss im Voraus genau geplant werden, wie die Verteilung der Frequenzen auf die Basisstationen aussehen muss.

Multiplexverfahren

Wenn ein Medium von verschiedenen Nutzern gleichzeitig genutzt wird, dann spricht man von Multiplex. Dabei gibt es viele anschauliche Beispiele aus dem täglichen Leben. Die Autobahn ist beispielsweise ein sehr anschauliches Beispiel. Täglich fahren Tausende Fahrzeuge über bestimmte Autobahnen. Die Autobahn spiegelt das Medium wieder, die Autos sind die Nutzer. Unfälle oder Kollisionen entsprechen Interferenzen. Damit nun nicht ständig Kollisionen auftreten, müssen sich die Autos (Nutzer) irgendwie arrangieren. In der Realität fahren Autos auf verschiedenen Spuren (Raummultiplex), oder aber auf der gleichen Spur aber hintereinander, was zeitlich versetzt bedeutet (Zeitmultiplex). Für die Umsetzung in der drahtlosen Kommunikation stehen noch weitere Verfahren zur Verfügung. Üblicherweise werden 4 verschiedene Multiplexverfahren eingesetzt: Raummultiplex, Zeitmultiplex, Frequenzmultiplex und Codemultiplex. Um die Anzahl der möglichen Kollisionen (Interferenzen) von vornherein möglichst gering zu halten, werden die Verfahren kombiniert eingesetzt. Es sieht dann in etwa so aus, dass ein bestimmter Kanal einen Raum zu einer bestimmten Zeit mit einer bestimmten Frequenz und einem Code zugewiesen bekommt.

Definition laut Duden – Informatik :

„multiplex: Kennzeichnung für einen Datenübertragungskanal, bei dem entweder ein Sender mit mehreren Empfängern oder ein Empfänger mit mehreren Sendern verbunden ist. Eine Multiplexverbindung ist im allgemeinen nur sinnvoll, wenn die Arbeitsgeschwindigkeit des Einzelgerätes (Sender bzw. Empfänger) wesentlich größer ist als die der angeschlossenen Geräte (Empfänger bzw. Sender). Multiplexkanäle lohnen sich zum Beispiel für die Verbindung mehrerer relativ langsamer Drucker mit einer Steuereinheit. Das Herstellen der Verbindung zwischen dem Einzelgerät und einem der angeschlossenen Geräte ist Aufgabe des Multiplexers.“

Raummultiplex (Space Division Multiplexing , SDM)

Beim Raummultiplexverfahren werden Sender- und Empfängerpaaren jeweils exklusive Übertragungswege, welche aus parallel installierten Wegen entstehen, zur Verfügung gestellt. Es wird dabei zwischen drahtgebundenen und drahtlosen Raummultiplexverfahren unterschieden. Die analogen Ortstelefonnetze sind ein Beispiel für drahtgebundene Raummultiplexverfahren. Für das analoge Ortsnetz wurden einzelne Drahtpaare zu großen Bündeln zusammengefasst. Dadurch konnten viele Gespräche parallel auf einem Weg geführt werden. Bei der drahtlosen Kommunikation wird das Raummultiplexverfahren eingesetzt, weil die Frequenzen sehr knapp sind. Mit dem Raummultiplex ist es möglich gleiche Frequenzen wieder zu verwenden. Dieses ist möglich, weil das Raummultiplex so funktioniert, dass die einzelnen Frequenzen jeweils einem bestimmten Raum zugeteilt werden. Dieser Raum entspricht dann einem Übertragungskanal. Damit es allerdings nicht zu Störungen, so genannten Interferenzen, kommt, muss ein Mindestabstand bzw. Schutzabstand eingehalten werden. In der Praxis wird oft ein Schutzabstand von 2 Zellen gewählt. Das Raummultiplex wird auch z.B. beim Rundfunk, Fernsehen und Mobilfunk verwendet. Die eben genannten Einrichtungen profitieren sehr davon, weil sie dann in verschiedenen Sendegebieten die gleiche Frequenz, welche sehr teuer ist, wiederverwenden können.

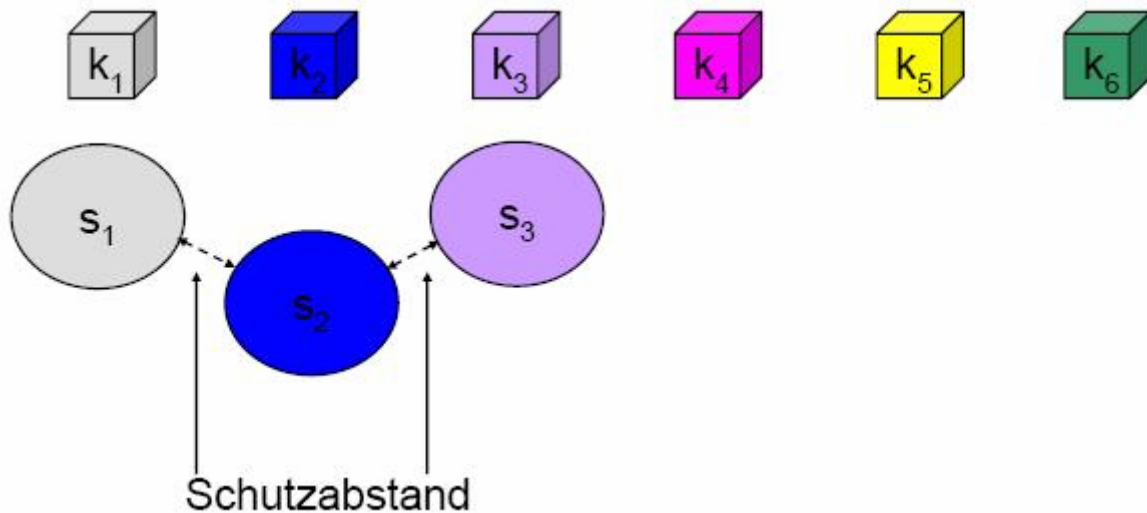


Abbildung 17 : Raummultiplex

Frequenzmultiplex (Frequency Division Multiplexing, FDM)

Das Frequenzmultiplex fasst alle Verfahren, welche ein gegebenes Frequenzspektrum in mehrere Frequenzbänder aufteilen, zusammen. Dabei ist es wichtig, dass sich die einzelnen Frequenzbänder nicht überlappen und, ähnlich wie beim Raummultiplex, ein Schutzabstand, aber diesmal zwischen den Frequenzbändern, eingehalten wird. Ein Beispiel dazu sind die Zuweisungen einer bestimmten Senderfrequenz eines Radiosenders in einer bestimmten Region. Ein Vorteil des Frequenzmultiplex ist, dass keine aufwendige Koordination zwischen Sender und Empfänger notwendig ist. Der Empfänger muss lediglich auf die richtige Frequenz eingestellt sein. In der praktischen Anwendung allerdings, beispielsweise beim Mobilfunk, ist die statische Frequenzzuweisung unbrauchbar, da es nicht nötig ist einen Kanal / eine Frequenz ständig reserviert zu halten. So eine Reservierung würde die Anzahl der möglichen Sender in einem Bereich / einer Zelle stark begrenzen und damit eine Verschwendung der sehr knappen Ressourcen (Frequenzen) bewirken.

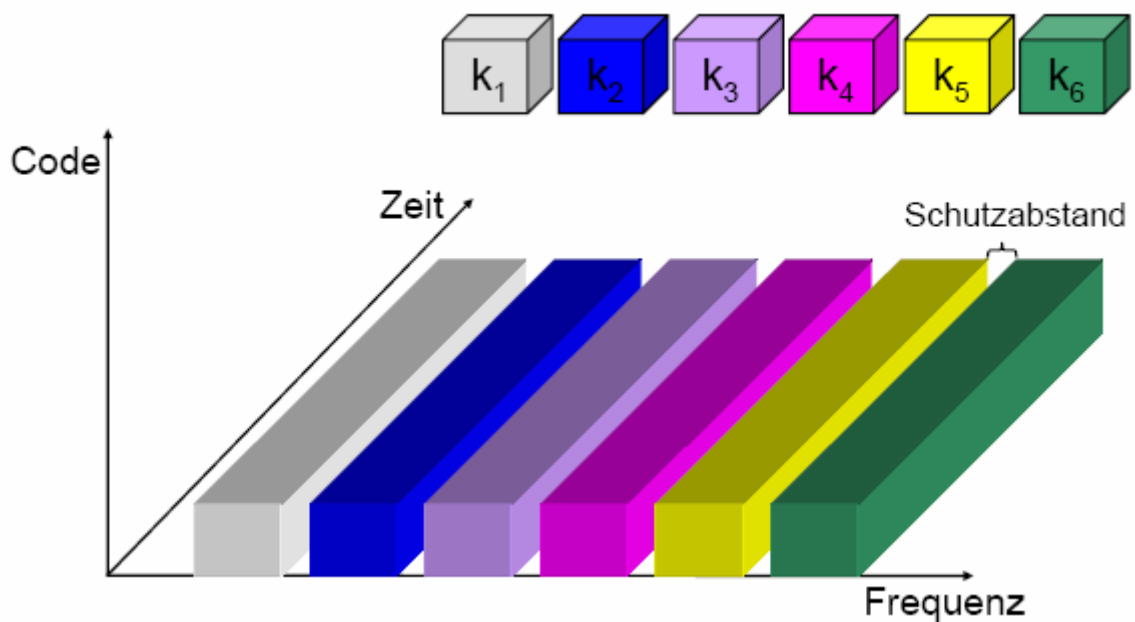


Abbildung 18 : Frequenzmultiplex

Zeitmultiplex (Time Division Multiplexing, TDM)

Das Zeitmultiplexverfahren ist flexibler als das Raum- und Frequenzmultiplexverfahren. Es wird deswegen auch in Verbindung mit den anderen Verfahren in den Mobilfunksystemen eingesetzt. Beim Zeitmultiplexverfahren wird die ganze zur Verfügung stehende Frequenzbreite für eine bestimmte Zeit an die einzelnen Kanäle zugewiesen. Hierbei ist es auch wieder wichtig einen Schutzabstand einzuhalten. Dieser ist hierbei eine zeitliche Pause. Um Interferenzen vorzubeugen müssen die Sender sehr genau synchronisiert werden, damit sich die Kanäle nicht zeitlich überlappen. Daraus wird ein Nachteil deutlich, nämlich dass die Sender über einen Takt gesteuert werden müssen um die Signale zur richtigen Zeit empfangen zu können. Es reicht hier nicht mehr aus, dass der Empfänger auf die richtige Frequenz eingestellt ist. Zur richtigen Zeit muss auch die exakte Dauer des Empfangens bekannt sein. Trotzdem überwiegt der Vorteil, welcher aus der Flexibilität dieses Verfahrens resultiert. Wenn ein Sender eine höhere Datenmenge zu senden hat, kann er einen größeren Zeitschlitz zur Verfügung gestellt bekommen.

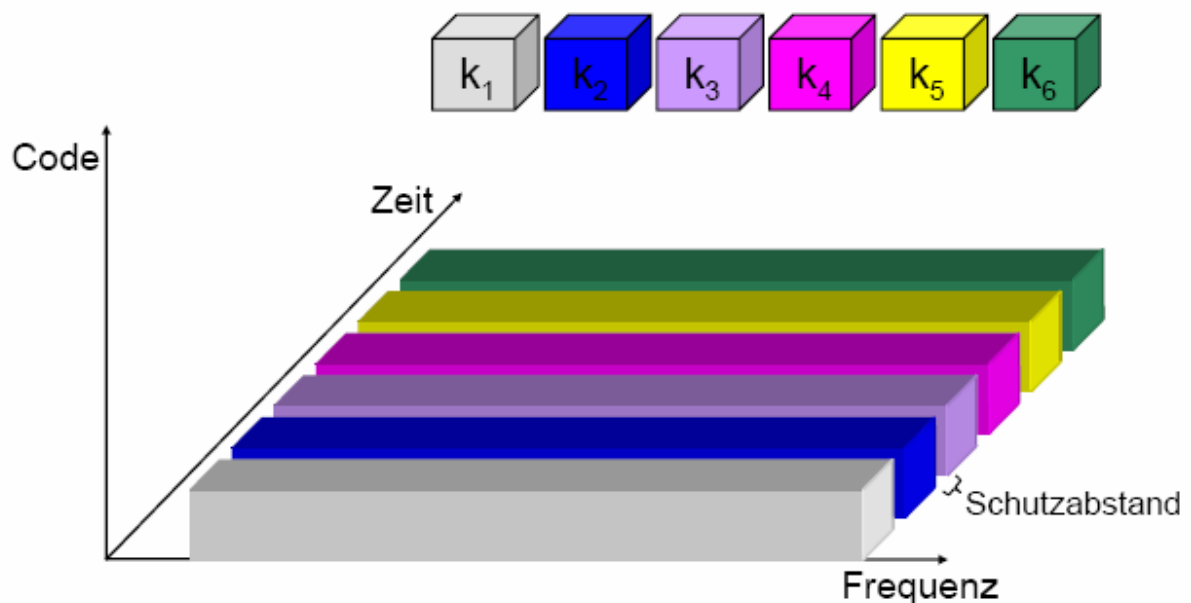


Abbildung 19 : Zeitmultiplex

Codemultiplex (Code Division Multiplexing, CDM)

Das Codemultiplexverfahren ist in zivilen Systemen (Mobilfunk usw.), im Gegensatz zu den drei Anderen, ein relativ neues Verfahren. Es wurde vom Militär entwickelt und verfügt über eine inhärente Abhörsicherheit. Dieses wird aufgrund hochintegrierter Schaltungen ermöglicht. Bei diesem Verfahren benutzen alle Kanäle zur selben Zeit dieselbe Frequenz. Dabei erhält jeder Kanal einen eigenen speziellen Code, damit eine Trennung der Kanäle bzw. Daten erfolgen kann. Der hierbei benötigte Schutzabstand wird durch Codes realisiert, welche einen bestimmten abstand im Coderaum haben müssen. In der Praxis werden dafür so genannte orthogonale Codes eingesetzt. Ein anschauliches Beispiel zum Codemultiplex wäre eine Party. Dort sind viele Leute in einem bestimmten Raum und unterhalten sich alle zusammen. Trotzdem kommen sinnvolle Gespräche zustande. Einmal wird dabei das Raummultiplex genutzt. Die Leute bilden Gruppen in denen sie sich unterhalten. Dann kommt hinzu, dass die Leute eine andere Sprechfrequenz haben, der eine spricht relativ tief, ein anderer mit einer hohen Stimme. Dadurch sind sinnvolle Konversationen auch zur selben Zeit möglich. Möglich ist dieses weil die Leute ja wissen, welche Tonlage die Gesprächspartner in etwa haben und sich so auf die gewünschte Information „einstellen“ können. Wenn sich nun jeweils ein Sender und Empfänger auf einer bestimmten Sprache miteinander unterhalten, dann entspricht das dem Codemultiplexverfahren.

Beispiel: Es befinden sich 4 Personen in einem Raum, von denen jeweils zwei nur englisch bzw. deutsch sprechen können. Wenn jetzt jeweils eine Person englisch und eine zweite Person zur selben Zeit deutsch sprechen, können die anderen beiden Personen das an sie gerichtete Wort, und nur dieses, aufgrund der Sprachkenntnis (Code) verstehen.

Ein großer Vorteil beim Codemultiplexverfahren ist die Abhörsicherheit gegen einfaches Abhören. Zusätzlich ist es nicht so sehr Störanfällig wie die anderen Verfahren. Da allerdings zu jedem Kanal unterschiedliche Codes zugewiesen werden müssen, ist der Coderaum im Verhältnis zum Frequenzraum riesig. Das ermöglicht eine Codezuweisung zu Kommunikationspartnern schon vor einer Verbindung bzw. Datenübertragung. Auch hierbei gibt es Nachteile. Dem Empfänger muss der Code des Senders genau bekannt sein, und zwar vorm Senden der Nutzdaten. Außerdem muss sich der Empfänger, wie beim Zeitmultiplexverfahren, genau mit dem Sender synchronisieren, damit er seinen Code richtig anwenden kann. Dieses wiederum erfordert komplexe Empfänger.

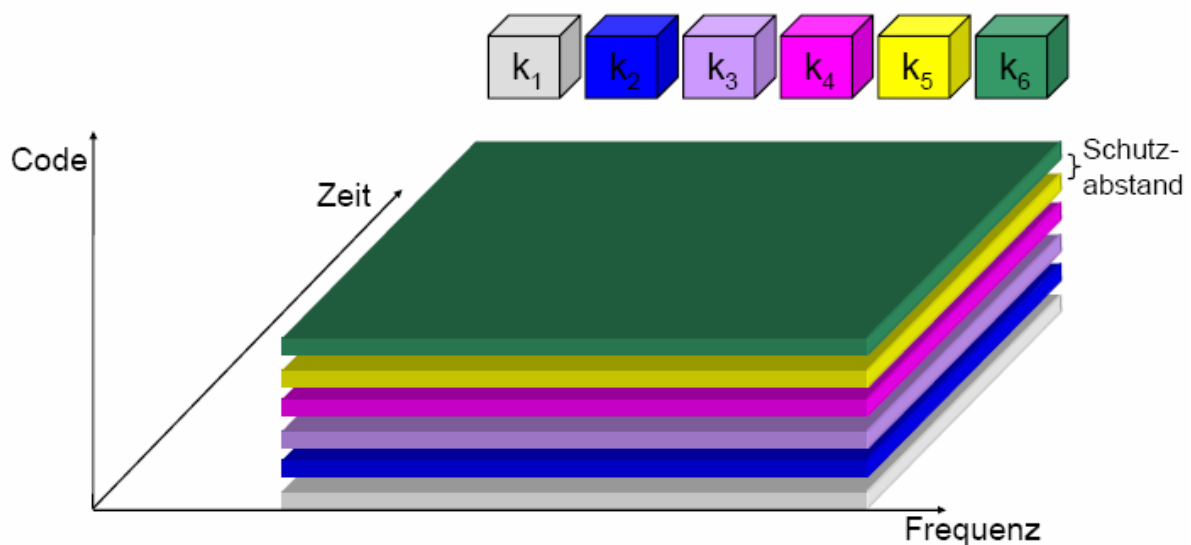


Abbildung 20 : Codemultiplex

Quellenverzeichnis

Verwendete Bücher:

Mobilkommunikation 2., überarbeitete Auflage Jochen Schiller Pearson Studium ISBN 3-8273-7060-4

Mobile Computing Grundlagen, Technik, Konzepte Jörg Roth dpunkt.verlag ISBN 3-89864-165-1

Duden Informatik

Wirtschaftsinformatik 1 7. Auflage H.R.Hansen Lucius & Lucius ISBN 3-8252-0802-0

Internet Seiten:

<http://encyclopedia.thefreedictionary.com/Space-division%20multiple%20access>

<http://de.freeglossary.com/Raummultiplex>

http://wi2.wiwi.uni-augsburg.de/workshop/Praesentation_TG_I-2er.pdf