



Leseprobe

Thomas Fuchß

Mobile Computing

Grundlagen und Konzepte für mobile Anwendungen

ISBN: 978-3-446-22976-1

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser.de/978-3-446-22976-1>

sowie im Buchhandel.

# 2 Grundlagen der drahtlosen Kommunikation

Nachdem das vorherige Kapitel der Frage gewidmet war, was Mobile Computing ist und wodurch es sich vom gewöhnlichen Computing unterscheidet, konzentrieren wir uns in diesem Kapitel auf die Grundlagen des Mobile Computing. Klar im Vordergrund steht hier die Mobilkommunikation. Obwohl dies kein Buch direkt zu diesem Thema ist, ist es dennoch erforderlich, die grundlegenden Fragen der mobilen Kommunikation aufzuarbeiten. Denn ohne ein Verständnis dieser Materie ist es nur schwer möglich, die besonderen Anforderungen, die das Mobile Computing stellt, zu begreifen, einzuordnen und Lösungen dafür zu finden.

Im ersten Abschnitt dieses Kapitels wird das ISO/OSI-Modell für die Kommunikation in offenen Systemen vorgestellt, um eine Basis für die weiteren Betrachtungen zu schaffen. Der zweite Abschnitt beschäftigt sich dann mit der Frage, wie Daten über eine drahtlose Strecke übertragen werden können und welche Probleme der „Äther“ als Übertragungsmedium mit sich bringt. Im dritten Abschnitt werden wir uns dann der zentralen Frage des Medienzugriffs zuwenden:

**Wie können mehrere Teilnehmer dasselbe Übertragungsmedium nutzen?**

## 2.1 Das ISO/OSI-Modell

Um die folgenden Fragen, Konzepte, Probleme und Lösungen aus dem Bereich der drahtlosen Kommunikation richtig einordnen und verstehen zu können, bedarf es einer systematischen Herangehensweise an dieses Thema. Als Basis hierfür dient uns das ISO/OSI-Modell [ISO94], welches als Referenzmodell für die Kommunikation in offenen Systemen durch die ISO standardisiert wurde. Obwohl nicht jedes gebräuchliche Kommunikationsprotokoll dem ISO/OSI-Modell entspricht, können die meisten Protokollstapel auf das ISO/OSI-Modell abgebildet werden. Das Modell selbst besteht aus sieben Schichten, die ihre Dienste der jeweils höheren Schicht zur Verfügung stellen:

### **Anwendungsschicht** (Application Layer – Schicht 7)

Diese Schicht ist die applikationsspezifische Schicht, die der Applikation den Zugang zum Protokollstapel bietet. D.h., sie stellt einer Applikation die eigentlichen Kommunikationsdienste zur Verfügung. Typische Aufgaben dieser Schicht sind die Identifikation der Kommunikationspartner, das Auffinden von Diensten, die Behandlung von Quality-of-Service-Aspekten, wie etwa die Anpassung an Übertragungsraten, aber natürlich auch spezifische Funktionen zur Datenübertragung.

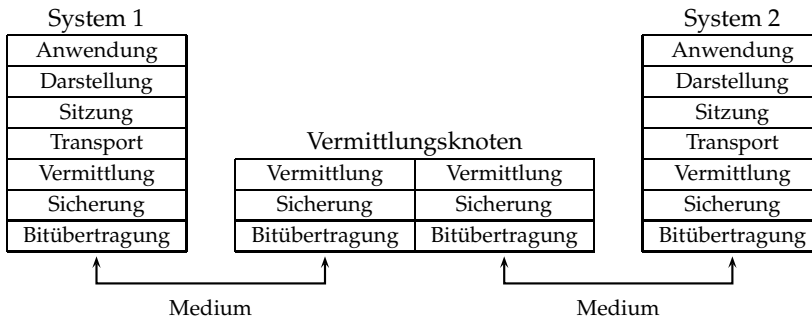


Abbildung 2.1: Das ISO/OSI-Modell

### Darstellungsschicht (Presentation Layer – Schicht 6)

Diese Schicht stellt der Applikationsschicht eine konkrete Syntax für die Übertragung der Daten und zur Steuerung der Übertragung zur Verfügung. Hier werden die zu verwendenden Datenformate und Komprimierungsverfahren definiert und realisiert.

### Sitzungsschicht (Session Layer – Schicht 5)

Diese Schicht verwaltet und organisiert die logischen Verbindungen, d.h., der Datenaustausch zwischen den Objekten der beteiligten Darstellungsschichten wird geregelt und synchronisiert und nach Störungen in den darunter liegenden Schichten ggf. wieder hergestellt.

### Transportschicht (Transport Layer – Schicht 4)

Diese Schicht realisiert eine gesicherte Ende-zu-Ende-Verbindung zwischen den beiden Kommunikationspunkten. Zu den typischen Aufgaben dieser Schicht gehören u.a. Staukontrolle, Flusskontrolle und Regelung der Dienstqualität. D.h., diese Schicht stellt sicher, dass die Datenpakete ihre richtige Reihenfolge beibehalten, keine verloren gehen, verdoppelt werden oder fehlerhaft sind. Hier erfolgt auch die Abbildung der logischen Adressen auf die realen Adressen des darunterliegenden Netzwerks.

### Vermittlungsschicht (Network Layer – Schicht 3)

Diese Schicht sorgt für die Vermittlung der Nachrichten auch über Zwischenstationen und ganze dazwischen liegende Netze (Transit Networks) hinweg. Sie kümmert sich um die Adressierung, die Wegewahl, das Auffinden der Endgeräte usw.

### Sicherungsschicht (Data Link Layer – Schicht 2)

Diese Schicht wird oftmals weiter unterteilt in:

- MAC-Schicht (*Medium Access Control*), die die Codierung und Koordinierung des Zugriffs auf das gemeinsame Medium regelt und die Abbildung der logischen Kanäle auf die Transportkanäle vornimmt
- LLC-Schicht (*Logical Link Control*), die die Interpretation der Bit-Folge aus Schicht 1 als Folge von Datenblöcken übernimmt und zum Schutz vor Übertragungsfehlern fehlererkennende und -korrigierende Codes einsetzt. Sie garantiert, dass ein fehlerfreier Bitstrom übertragen wird

**Bitübertragungsschicht** (Physical Layer – Schicht 1)

Diese Schicht ist zuständig für die eigentliche Kommunikation über das physische Medium. Sie stellt die Transportkanäle zur Verfügung. Hier werden die Bits in übertragbare Signale verwandelt, die durch das physische Medium transportiert werden können.

Abbildung 2.1 zeigt den schematischen Aufbau des Protokollstapels unter Verwendung eines Vermittlungsknotens, der typischerweise nur die unteren drei Protokollschichten umfasst und somit transparent ist für die Ende-zu-Ende-Verbindung, die Schicht 4 zur Verfügung stellt.

Widmen wir uns nun den beiden unteren Schichten dieses Stapels.

## 2.2 Wie kommen die Bits in den „Äther“?

Wenn man sich diese Frage stellt, dann sollte man zuerst klären, was mit dem Begriff „Äther“ gemeint ist. Im Sinne des ISO/OSI-Modells ist der Äther offensichtlich ein physisches Medium (vgl. Abbildung 2.1) zu dem die Bitübertragungsschicht die Schnittstelle bildet. Aus physikalischer Sicht gibt es dieses Ding, das man nicht sehen, nicht schmecken und nicht riechen kann, das als Träger für die elektromagnetischen Wellen dient, nicht. D.h., wenn man sich mit der drahtlosen Übertragung von Information beschäftigt, dann kann man nicht einfach ein Medium wählen, das feste Grenzen hat, wie ein Draht, sondern man muss sich mit der Ausbreitung von Wellen im Raum beschäftigen. Dieser Raum ist dabei in hohem Maße heterogen, größere und kleinere Hindernisse beeinflussen die Ausbreitung der Wellen und die ausgestrahlten Wellen verschiedener Sender stören sich gegenseitig. Die Frage, die uns also beschäftigt ist nicht nur, wie die Bits in den Äther kommen, sondern vielleicht noch mehr, wie kommen Sie wieder aus dem Äther heraus und wie findet ein Empfänger die, die für ihn bestimmt sind?

### 2.2.1 Signale und ihre Modulation

Während man auf den höheren Schichten des ISO/OSI-Modells in der Regel von Daten spricht, die zwischen einem Sender und Empfänger ausgetauscht werden, so gilt dies für das physische Medium nicht mehr. Hier bewegen wir uns auf der Ebene, auf der die Physik das Geschehen bestimmt. Insofern sind es nicht mehr Daten, die zwischen Sender und Empfänger ausgetauscht werden, sondern Signale. Die Aufgabe des Senders ist es, die elektrischen Signale (Daten), die bei ihm eingehen, in für den Übertragungskanal geeignete Signale zu verwandeln. Im Falle der Mobilkommunikation (drahtlose Kommunikation) sind diese Signale Radiowellen, mathematisch gesehen Funktionen, abhängig von Ort und Zeit. Im Idealfall handelt es sich dabei um periodische Signale  $S(t)$ , die als Summe von Sinus- und Kosinusschwingungen dargestellt werden können.<sup>1</sup>

$$S(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(2\pi n f_0 t) + b_n \sin(2\pi n f_0 t)]$$

<sup>1</sup>Die Darstellung in Form von Sinus- und Kosinusschwingungen ist nur für reelle, periodische Signale  $S(t)$  möglich.

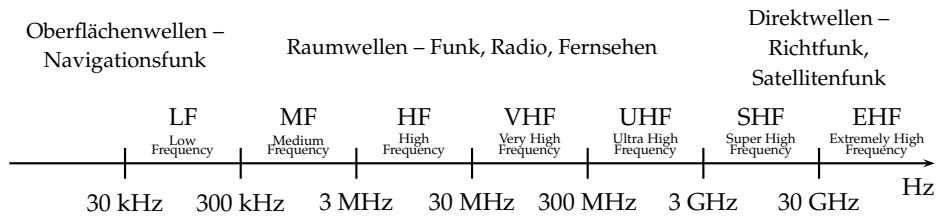


Abbildung 2.2: Frequenzbereiche elektromagnetischer Wellen

Dabei sind:

- $a_0$  der Gleichstromanteil – die Verschiebung der Nulllinie
- $a_i, b_i$  die Amplituden der  $i$ -ten Sinus- bzw. Kosinusfunktion – der Faktor, der den Anteil der entsprechenden Funktion am Gesamtsignal beschreibt
- $f_0$  die Grundfrequenz des Signals

Theoretisch kann auf diese Weise jedes periodische Signal beschrieben werden. In der Realität sind die übertragbaren Frequenzen aber nach oben begrenzt. D.h., ab einem bestimmten  $n_g$  sind alle  $a_i$  und  $b_i$  ( $i > n_g$ ) gleich null. Diese Signalkomponenten liegen oberhalb der Grenzfrequenz ( $f_g$ ) des verwendeten Kanals ( $n_{g-1}f \leq f_g < n_g f$ ). Damit ist offensichtlich nicht jedes Signal verzerrungsfrei übertragbar. Dies ist für die Praxis jedoch nicht weiter schlimm, wie wir in den folgenden Abschnitten sehen werden.

## 2.2.2 Analoge Modulation

Will man ein beliebiges periodisches Signal übertragen, steht man vor der Frage, wie dies geschehen soll. Zwar wissen wir, dass ein periodisches Signal in Sinus- und Kosinus-schwingungen verschiedener Frequenzen zerlegt werden kann. Doch wie soll man diese Schwingungen übertragen? Selbstverständlich wird jeder auf dem Gebiet der Physik auch nur leicht bewanderte Leser sofort Radiowellen zur Übertragung vorschlagen. Denn hier steht ein Frequenzspektrum von einigen kHz bis zu einigen GHz zur Verfügung (siehe Abbildung 2.2). Doch damit gibt es ein Problem. Die Radiowellen verändern über diesen Bereich ihre Eigenschaften drastisch. Während Langwellen (LF) in der Lage sind, sich bodennah auszubreiten, sie fließen fast schon auf der Erdoberfläche entlang, weisen Super-Hochfrequenzen (SHF) und die Frequenzen darüber fast schon den Charakter von Licht auf. Aus diesem Grund spricht man hier auch von Direktwellen. Zwischen diesen Extrema liegt der Bereich der Raumwellen. Abhängig von ihrer Frequenz werden sie unterschiedlich stark an den oberen Schichten der Atmosphäre gebeugt und reflektiert, wodurch sie eine hohe Reichweite erreichen. Zur Übermittlung eines Signals muss demzufolge zuerst ein geeignetes Frequenzband gewählt werden, dessen Charakteristik den Übertragungsanforderungen entspricht. Im Allgemeinen wird aber dieses Frequenzband nicht in der Lage sein, das Signal, das man übertragen möchten, auch nur annäherungsweise nachzubilden. Wir müssen uns also die Frage stellen, wie man ein Signal an den gewählten Frequenzbereich anpassen kann. Diese Anpassung nennt man Modulation.

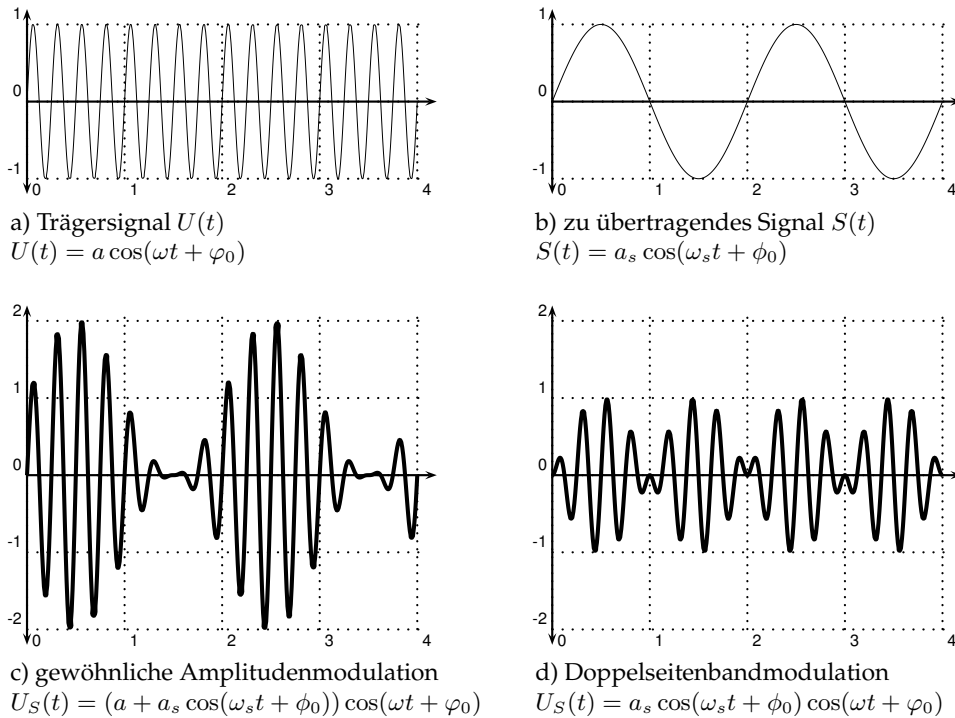


Abbildung 2.3: Varianten der Amplitudenmodulation

Die erste Form der Modulation, die wir hier näher betrachten wollen, ist die analoge Modulation, d.h. die Anpassung, oder besser Verschiebung eines analogen periodischen Signals auf eine Trägerfrequenz. Mathematisch bedeutet dies, die Änderung der Parameter der zugrunde liegenden Trägerschwingung  $U(t)$  (Kosinusschwingung)

$$U(t) = a \cos(\omega t + \varphi_0) \text{ mit } \omega = 2\pi f$$

proportional zum zu übertragenden Signal. Damit ergeben sich drei grundlegende Möglichkeiten der Modulation:

- Amplitudenmodulation
- Frequenzmodulation
- Phasenmodulation

### 2.2.2.1 Amplitudenmodulation

Bei dieser Form der Modulation wird die Amplitude  $a$  des Trägersignals in Abhängigkeit vom zu übertragenden Signal  $S(t)$

$$S(t) = a_s \cos(2\omega_s t + \phi_s)$$

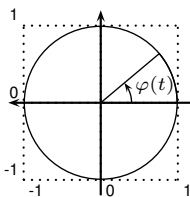
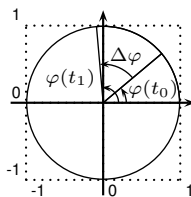
a) Phasenmodulation:  $\varphi$  ändert sichb) Frequenzmodulation:  $\Delta\varphi$  ändert sich

Abbildung 2.4: Winkelmodulation

geändert. Abbildung 2.3 zeigt hier die typischen Varianten. Zum einen die gewöhnliche Amplitudenmodulation 2.3 (a): Hier wird das zu übertragende Signal  $S(t)$  mit einem konstanten Faktor  $c$  zur Amplitude des Trägersignals addiert:

$$a(t) = a + cS(t)$$

Zum anderen die Doppelseitenbandmodulation 2.3 (b). Hier wird die Amplitude des Trägersignals durch das zu übertragende Signal ersetzt:

$$a(t) = cS(t)$$

Natürlich kann auch hier eine geeignete Konstante  $c$  ergänzt werden. Dem aufmerksamen Leser wird sicher aufgefallen sein, dass bei der Doppelseitenbandmodulation der Vorzeichenwechsel des zu übertragenden Signals  $S(t)$  einen Sprung in der Phase des resultierenden Signals  $U_S(t)$  bewirkt. Gerade dies macht die Doppelseitenbandmodulation besonders interessant für die Übertragung digitaler Signale, wie wir noch sehen werden.

### 2.2.2.2 Frequenz- und Phasenmodulation

Bei diesen Formen der Modulation wird die Phase  $\varphi(t) = \omega t + \varphi_0$  des Trägersignals bzw. die Frequenz, d.h. die Änderungsgeschwindigkeit des Phasenwinkels

$$f_m(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\varphi(t)}{dt}$$

im Rhythmus des zu übertragenden Signal  $S(t)$  geändert, während die Amplitude gleich bleibt. Da sowohl Frequenzmodulation als auch Phasenmodulation eine Änderung des Phasenwinkels bewirken, werden diese beiden Modulationsarten auch als Winkelmodulationen bezeichnet. D.h., eine Änderung der Phase des Signals führt zu einer Abweichung der Momentanfrequenz von der Trägerfrequenz, und umgekehrt führt eine Änderung der Momentanfrequenz stets auch zu einer Änderung der Phase (siehe Abbildung 2.4). Der Unterschied der beiden Verfahren liegt also einzig und allein darin, wie das zu übertragende Signal  $S(t)$  die Phase des Trägersignals  $\varphi(t)$  verändert. Während bei der Phasenmodulation die Änderung der Phase des Trägersignals direkt proportional zum zu übertragenden Signal ist,

$$\varphi_{neu}(t) = \varphi(t) + cS(t)$$

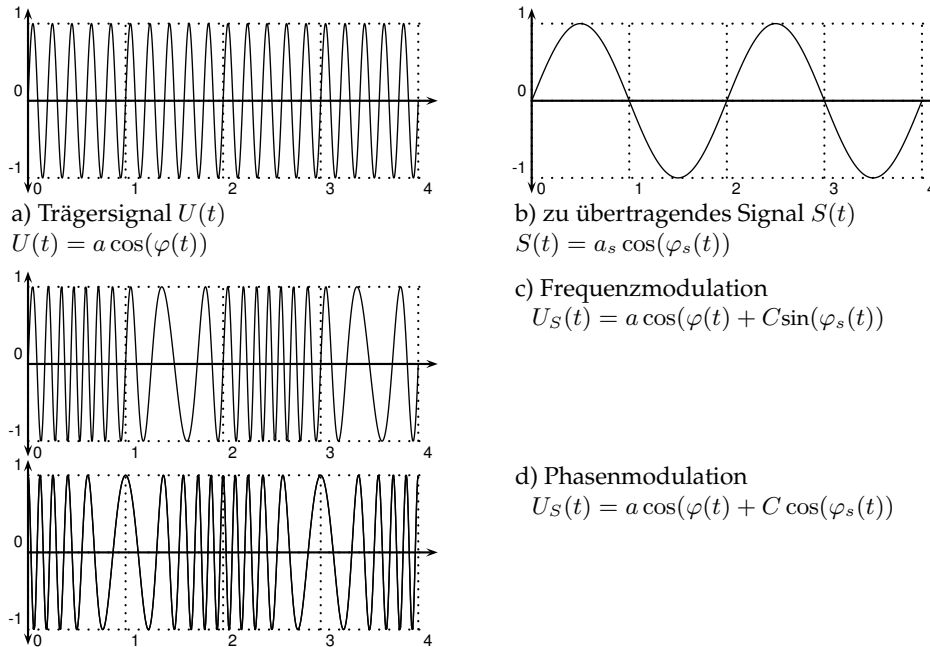


Abbildung 2.5: Unterschied zwischen Frequenz- und Phasenmodulation

ändert sich bei der Frequenzmodulation die Frequenz des Trägersignals. D.h., die Differenz zwischen Momentanfrequenz und Trägerfrequenz ist proportional zum zu übertragenden Signal:

$$\Delta f(t) = f_m(t) - f_t = cS(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\varphi(t)}{dt} - f_t$$

Damit kann der neue Phasenwinkel  $\varphi_{neu}(t)$  bestimmt werden zu:

$$\varphi_{neu}(t) = \varphi(t) + 2\pi \int cS(t) dt$$

Die Änderung des Phasenwinkels ist damit abhängig vom Integral des zu übertragenden Signals. Abbildung 2.5 zeigt die Veränderungen, die sich bei einem kosinusförmigen Trägersignal bei der Modulation mit einem kosinusförmigen Nutzsignal ergeben.

### 2.2.3 Digitale Modulation

Nachdem wir nun wissen, wie analoge Signale auf übertragbare Trägersignale moduliert werden können, widmen wir uns dem nächsten Schritt, der Aufbereitung digitaler Signale. Letztlich geht es uns doch um die Übertragung von Bits. Der zentrale Unterschied zwischen einem analogen und einem digitalen Signal liegt darin, dass das analoge sich kontinuierlich ändert, während das digitale eine endliche Anzahl diskreter Werte aufweist, typischerweise 1 und 0. Damit ändert sich ein idealisiertes digitales Signal sprunghaft (siehe Abbildung 2.6 (a)). Dies bedeutet, ein ideales digitales Signal besitzt eine unendliche



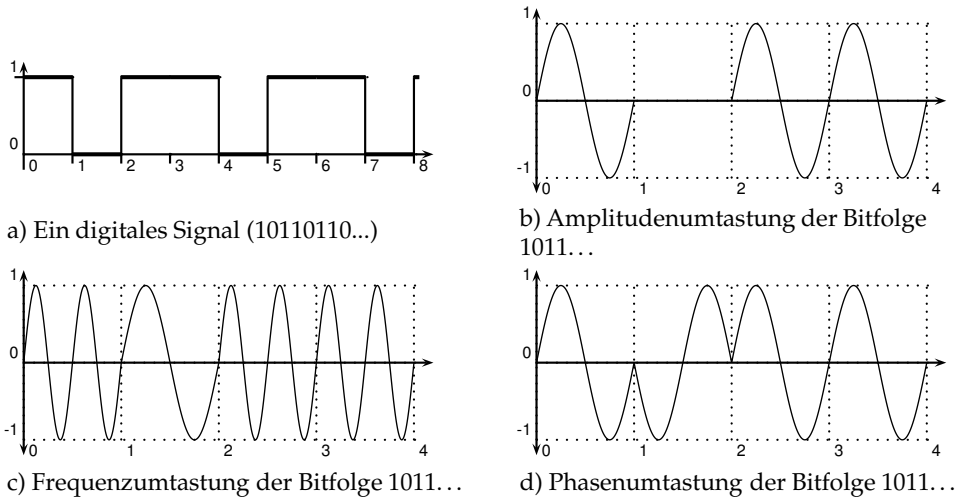


Abbildung 2.6: Beispiele digitaler Modulation

Bandbreite. Solch ein Signal ist natürlich nicht übertragbar. Das Signal muss zuerst in ein übertragbares Signal, das Basisbandsignal, gewandelt werden. Diese Wandlung bezeichnet man als digitale Modulation bzw. Umtastung. Wie im Falle der analogen Modulation gibt es auch hier drei prinzipielle Varianten. Diese bezeichnet man als:

- Amplitudenumtastung (Amplitude Shift Keying),
- Frequenzumtastung (Frequency Shift Keying) und
- Phasenumtastung (Phase Shift Keying).

Der Name Umtastung rührt dabei von der Tatsache her, dass digitale Signale diskrete Signale sind, deren Werte nur zu bestimmten Zeitpunkten, den Abtastzeitpunkten, betrachtet werden müssen. Diese sind abhängig von der Frequenz des digitalen Signals. Für eine geeignete Umtastung sollte die Frequenz des nicht modulierten Basisbandsignals (einem Vielfachen) der zu übertragenden Bitrate entsprechen ( $1 \text{ kbit/s} \equiv 1 \text{ kHz}$ ). Ändert sich durch die digitale Modulation die Frequenz des Basisbandsignals, so spricht man von einer Frequenzumtastung, ändert sich die Phase, so spricht man von einer Phasenumtastung, und bei einer Änderung der Amplitude von einer Amplitudenumtastung. Die Modulation des Basisbandsignals geschieht dabei im Wesentlichen auf dieselbe Art und Weise wie bei der analogen Modulation. Eine Besonderheit stellt in diesem Zusammenhang die Phasenumtastung einer Bitfolge dar, denn sie muss nicht zwangsläufig durch eine Phasenmodulation entstehen. Betrachten wir hierzu Abbildung 2.6 (c), so sehen wir hier ein Signal, das eine ideale Phasenverschiebung von  $\pi$  aufweist, demzufolge müsste unser digitales Signal offensichtlich eine Amplitude von  $\pi$  (oder eines Vielfachen von  $\pi$ ) aufweisen, was sicher auch für ein idealisiertes Beispiel recht unglaublich erscheint. Dennoch hat diese Form der Umtastung, die man als *Binary Phase Shift Keying* oder kurz BPSK bezeichnet, eine hohe praktische Relevanz, da sie sehr unempfindlich gegenüber

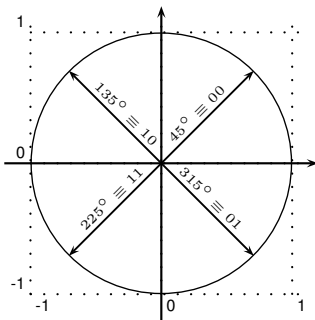


Abbildung 2.7: QPSK (Quaternary Phase Shift Keying) bei UMTS

Störungen ist und äußerst einfach über eine Doppelseitbandmodulation realisiert werden kann (vgl. Abschnitt 2.2.2.1). Hierzu muss lediglich das digitale Signal um eine halbe Amplitude nach unten verschoben werden, was einer Entfernung des Gleichstromanteils entspricht und technisch sehr einfach realisiert werden kann.

In der Praxis werden die zu übertragenden Basisbandsignale noch durch geeignete Filter aufbereitet, um den Bandbreitenbedarf, der bei Frequenz- oder Phasensprüngen entsteht zu reduzieren, bevor sie letztlich auf das Trägersignal moduliert werden. Diese Aufbereitung ist aber unkritisch, da für die Rückgewinnung des digitalen Signals wiederum nur fest definierte Abtastzeitpunkte relevant sind.

Darüber hinaus finden sich auch sehr oft Verfahren, bei denen das digitale Alphabet erweitert wird. Statt lediglich 0 oder 1 zu übertragen, werden bei den sogenannten mehrstufigen Verfahren Alphabete mit 4, 8 oder auch 16 Werten benutzt. Dies ermöglicht eine höhere Datenübertragungsrate, da es nun möglich ist, mehrere Bits auf einmal zu übertragen. Zu diesen Verfahren zählt die bei UMTS zum Einsatz kommende Vierphasenumtastung, kurz QPSK (*Quaternary Phase Shift Keying*), deren Alphabet aus 4 diskreten Werten besteht. Abbildung 2.7 zeigt die Verschiebung der Phasenwinkel und die Bitmuster, die ihnen zugeordnet werden.

Damit ist es geschafft, die Bits sind im Äther – wenigstens theoretisch. Technisch bedarf es noch einer Sendeeinrichtung, die diese Modulationen durchführt und letztlich das Signal über eine Antenne abstrahlt. Natürlich wollen wir unsere Bits wieder aus dem Äther entnehmen. Wir benötigen also noch einen geeigneten Empfänger. Auch dieser verfügt selbstverständlich über eine Antenne, mit der er das Signal empfängt und über Demodulatoren, mit denen er die Modulationen wieder umkehrt, um letztlich die Originalbitfolge zu rekonstruieren. Dies ist aber nur möglich, wenn das übertragene Signal möglichst unverfälscht beim Empfänger ankommt und er das verwendete Trägersignal und die eingesetzten Modulationsarten kennt. Dass dies nicht trivial ist, kann jeder selbst ausprobieren. Man benötigt hierzu lediglich ein Radio, eine Radiozeitschrift mit Frequenzbereichangaben für die einzelnen Stationen und etwas Zeit für das Auffinden der gewünschten Sendung.

## 2.2.4 Signalausbreitung

Damit stellt sich aber die Frage, wieso es so schwer ist ein Signal sauber zu empfangen. Hierfür gibt es eine Reihe von Gründen, die direkt mit dem Medium, d.h., dem Raum zu tun haben, in dem sich das Signal ausbreitet. Die zentralen Effekte, die hier zum Tragen kommen, sind:

- Freiraumdämpfung
- Reflexion
- Beugung
- Streuung
- Abschattung
- Überlagerung

Prinzipiell breiten sich elektromagnetische Wellen geradlinig aus, wie Licht. Jedoch breiten sie sich nicht in der Ebene, sondern im Raum aus. Idealisiert kann man sich vorstellen, dass sich ein Signal in alle Richtungen gleich schnell und gleich stark ausbreitet, d.h., die Ausbreitung des Signals entspricht einer sich aufblähenden Kugel mit dem Sender im Zentrum. Damit nimmt aber die Stärke eines ausgesendeten Signals durch die Expansion der Kugel proportional mit der Zunahme der Kugeloberfläche ab. Für die Leistungsdichte  $F$  in der Entfernung  $r$  zu einem idealen Sender mit der Sendeleistung  $P_s$  gilt also:

$$F(r) = \frac{P_s}{4\pi r^2}$$

Neben diesen prinzipiellen Gegebenheiten kommt die Atmosphäre hinzu, die als nicht leerer Raum die Ausbreitung der Signale weiter beeinflusst. Der Raum, in dem sich die Signale ausbreiten, ist nicht nur nicht leer, sondern gespickt mit großen und kleinen Hindernissen: Bäume, Häuser, Berge. . . . Durch sie werden die Signale gebeugt, reflektiert, gestreut, abgeschwächt oder gar ganz abgeschattet. In der Realität bedeutet dies, dass ein Signal nicht nur auf einem, sondern auf vielen Wegen unterschiedlichster Länge den Empfänger erreicht. Diese *Mehrwegsausbreitung* führt zu Überlagerungen oder besser Verzerrungen des Signals beim Empfänger, die zu Laufzeitverzögerung sowie Verstärkung oder Abschwächung (*Fading*) bis zur vollständigen Auslöschung des Signals reichen können. Da die Charakteristiken solcher Störungen recht ortstabil sind, können sie durch den Einsatz eines darauf abgestimmten Equalizers behoben werden. Richtig schwierig wird es erst, wenn sich der Empfänger z.B. während einer Autofahrt schnell bewegt, da dann eine Anpassung des Equalizers immer schwieriger wird, was direkt zu einer Verschlechterung der Übertragungsleistung bis zum vollständigen Abbruch der Übertragung führen kann.

Wer mehr über dieses spannende Thema wissen möchte, sei verwiesen auf das Buch von Proakis und Salehi, Grundlagen der Kommunikationstechnik [PS02], in dem sehr umfassend das Gebiet der analogen und digitalen Signalübertragung behandelt wird.

## 2.3 Medienzugriffsverfahren

Nachdem die Frage geklärt ist, wie die Bits in den Äther und wie sie auch wieder herauskommen, wird dem aufmerksamen Leser aufgefallen sein, dass wir noch vor einem weiteren großen Problem stehen:

**Signale stören sich gegenseitig!**