

7 Rechnernetze

Bis in die frühen 80er Jahre waren Computer große und teure Anlagen, zu denen nur wenige Personen direkten Zugang besaßen. Betriebe und Universitäten hatten Rechenzentren eingerichtet, welche die kostbare Rechnerleistung verwalteten, und die Benutzer mussten sich in Terminalräume begeben, wenn sie am Rechner arbeiten wollten. Diese Situation hat sich in den 80er Jahren dramatisch verändert. Personal Computer und Workstations, die direkt auf den Schreibtischen von Entwicklern und Ingenieuren stehen, liefern nicht nur ausreichende Rechenleistung, sie bieten mit ihrer Grafikfähigkeit und ihren Benutzeroberflächen eine viel attraktivere Arbeitsumgebung als frühere Großrechner. Heute sind jene weitgehend verdrängt, und nur noch in bestimmten zentralen Aufgaben finden sie ihre Anwendung. Die Leistungsfähigkeit von Personal Computern ist mittlerweile so weit gediehen, dass auch die Unterscheidung von Workstations und Personal Computern keinen Sinn mehr macht. Wir sprechen daher allgemein von *Rechnern* und meinen damit sowohl Workstations als auch Personal Computer und tragbare Geräte, also Netbook-, Notebook- und Laptop-Computer.

Rechner sind heute fast immer mit einem Netzwerk verbunden. Das Konzept einer dezentralen Rechnerversorgung mit Servern, die die Rolle eines zentralen Datei-Verwalters übernehmen und viele andere Dienste (E-Mail, WWW, Datenbankenbindung, etc.) anbieten und Rechnern, die als Klienten diese Dienste in Anspruch nehmen, hat sich jedoch weitgehend durchgesetzt. Wir sind darauf im Kapitel über Betriebssysteme bereits unter dem Stichwort „Client-Server-Systeme“ eingegangen (siehe dazu auch S. 536).

In neuerer Zeit ist zu diesen *Rechnern* noch eine Vielzahl anderer Geräte hinzugekommen, deren Leistungsfähigkeit zum Teil ein ähnliches Niveau erreicht. Der einzige Unterschied liegt darin, dass sie meist auf spezielle Anwendungen ausgerichtet sind. Dazu zählen vor allem *Navigationsgeräte*, *GPS-Empfänger* (Global Positioning System), *persönliche digitale Assistenten* (PDAs) und *mobile Telefone* (Handys) sowie Kombinationen aus diesen Gerätetypen (*Smartphones*, etc.). Dies sind kleine, mobile Computer, deren Funktionsumfang auf den Bereich der Navigation und Ortsbestimmung und/oder auf den Bereich der persönlichen Organisation und/oder auf den Bereich der drahtlosen Kommunikation abgestimmt ist.

Die große Herausforderung ist die Vernetzung all dieser Geräte, wobei in die Netze heute bereits, bzw. in Zukunft noch mehr, Geräte wie Drucker, Scanner, Photo- und Videoapparate, HiFi-Anlagen, Fernseher, Heizungen, Kühlschränke etc. einbezogen sind bzw. sein werden.

7.1 Rechner-Verbindungen

Die Voraussetzung für die Vernetzung von Rechnern aller Art ist die direkte Verbindung von Rechnern untereinander. Ist dieser Schritt erstmal geschafft, kann man mehrere Rechner zu einem logischen Netz zusammenfassen. Jedes Netz eröffnet vielfältige Möglichkeiten der Kommunikation zwischen den angeschlossenen Rechnern. Ein nächster nahe liegender Schritt besteht darin, verschiedene Netze untereinander zu verbinden. So entstand z.B. seit etwa 1970 ein weltumspannendes Netz von Rechnernetzen, das *Internet*, dessen fantastische Möglichkeiten als weltumspannendes Informationssystem erst nach und nach entdeckt werden.

In diesem Kapitel werden wir auf die Techniken der direkten Verbindung von Rechnern untereinander und auf verschiedene Netzwerktechnologien eingehen, bevor wir uns im nächsten Kapitel dem Internet zuwenden.

7.1.1 Signalübertragung

Signale sind elektrische oder optische Repräsentationen von Daten. Auf der untersten Ebene verstehen wir Daten als Bitfolgen. Angenommen wir wollen das ASCII-Zeichen „b“, also die Bitfolge 01100010, übertragen. Wir stellen diese durch einen Spannungsverlauf mit fester Amplitude dar, indem wir dem Bit 0 die Spannung 0 V zuordnen und dem Bit 1 die Spannung 1 V. Der Spannungsverlauf ist eine Rechteckkurve wie in der folgenden (mithilfe von „gnuplot“ erzeugten) Abbildung dargestellt.

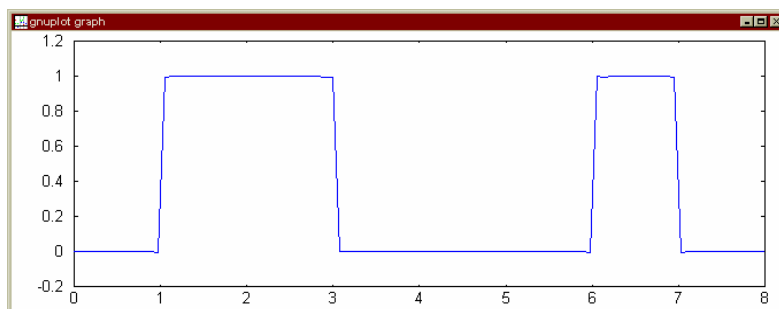


Abb. 7.1: Rechteckkurve für das Bitmuster 01100010

Bei der Übertragung durch elektromagnetische Wellen setzt sich jedes Signal $s(t)$ als unendliche Summe von *harmonischen Schwingungen* zusammen. Der k -te Summand ist dabei die harmonische Schwingung $a_k \cdot \cos(k \cdot \omega \cdot t) + b_k \cdot \sin(k \cdot \omega \cdot t)$ mit der Frequenz $f = k \cdot \omega / (2\pi)$. Die Amplituden a_k und b_k des Cosinus- und Sinusanteils heißen auch die „Fourierkoeffizienten“. Wie man sie rechnerisch bestimmt, soll hier nicht näher erläutert werden. Die Fourier-Darstellung der kompletten Signalfunktion $s(t)$ ist dann die unendliche Summe

$$s(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cdot \cos(k \cdot \omega \cdot t) + b_k \cdot \sin(k \cdot \omega \cdot t)).$$

Bricht man diese Summation nach endlich vielen Schritten ab, so erhält man bereits eine recht gute Approximation an das wahre Signal. In Abb.7.1 haben wir die gewünschte Rechteckkurve durch die ersten 1000 Summanden der Fourierentwicklung angenähert. Bricht man schon viel früher ab, so enthält man ungenauere Approximationen. In der folgenden Abbildung haben wir zum Vergleich sukzessiv bessere Approximationen an das wahre Signal in einem gemeinsamen Schaubild dargestellt. Die relativ flache Funktion in der Mitte zeigt die Approximation nach einem Schritt. Nach $k = 3$ Schritten sind bereits zwei peaks zu erkennen, aber noch nicht, ob das Bitmuster 01100110 oder 01100010 herauskommen wird. Nach $k = 10$ Schritten ist das Bitmuster bereits klar ersichtlich, und nach $k = 100$ Schritten hat man fast die perfekte Rechteckkurve, nur an den scharfen Ecken gibt es noch leichte Verzerrungen so genannte „Überschwinger“.

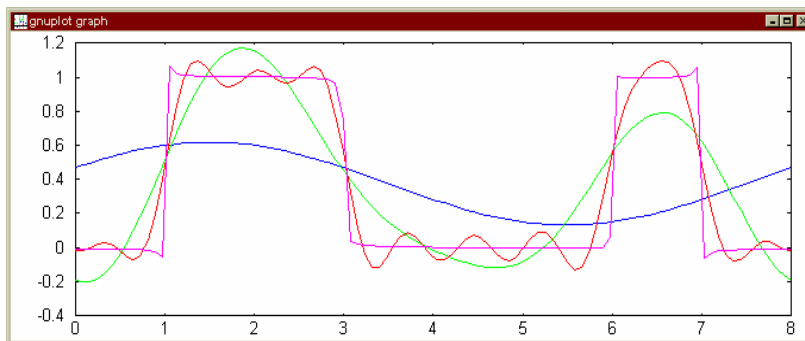


Abb. 7.2: Approximationen der Rechteckkurve aus Abb. 7.1 mit $k = 1, 3, 10, 100$

Der für die approximative Darstellung eines Signals verwendete Frequenzbereich ist die *effektive Bandbreite* des Signals. Allgemein verstehen wir unter dem Begriff *Bandbreite* einen Frequenzbereich oder die Differenz zwischen der höchsten und niedrigsten Frequenz eines solchen Bereiches. Wenn wir also unser Signal bei einer Grundfrequenz f durch die ersten k Fouriersummanden approximieren, so nutzen wir eine Bandbreite von $k \cdot f - f = (k - 1) \cdot f$ aus. Bei $f = 1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz}$ und $k = 10$ benötigen wir eine Bandbreite von 9 MHz. Dabei wird das Signal, hier ein Byte, in der Zeit $T = 1/f = 10^{-6} \text{ s} = 1 \mu\text{s}$ übertragen. Wollen wir die Datenrate verdoppeln, so heißt das, dass wir T halbieren. Wir wählen also $2 \cdot f$ als Grundfrequenz. Jetzt benötigen wir aber die doppelte Bandbreite, nämlich $k \cdot (2f) - (2f) = 2 \cdot (k - 1) \cdot f$.

Für $k = 10$ und $f = 1 \text{ MHz}$ wären dies 18 MHz.

Solche Überlegungen sind deswegen relevant, weil sich in jedem elektromagnetischen Übertragungsmedium nur eine gewisse Bandbreite zur Signalübertragung nutzen lässt. Außerhalb dieser Bandbreite werden die Signale zu stark gedämpft. Bei genügend großer nutzbarer Bandbreite lässt sich diese noch in disjunkte (nicht überlappende) Bereiche, *Kanäle* genannt, unterteilen. Innerhalb jedes Kanals kann eine unabhängige Datenübertragung stattfinden. Von

der Radioübertragung ist uns die Methode wohlbekannt. Die Bandbreite der Radiosender eines Wellenbereiches ist in Kanäle aufgeteilt, die jeweils einem Sender zur Verfügung stehen. Dabei entsteht die Optimierungsaufgabe, möglichst viele Kanäle zu schaffen, die sich untereinander nicht stören, andererseits jedem Kanal genügend Bandbreite zur Verfügung zu stellen, so dass die Signale unverzerrt übertragen werden können.

7.1.2 Physikalische Verbindung

Die einfachste physikalische Verbindung zwischen zwei Rechnern geschieht durch ein Paar von Kupferdrähten, das möglichst noch verdreht sein sollte. Die Verdrehung verringert die Störanfälligkeit.

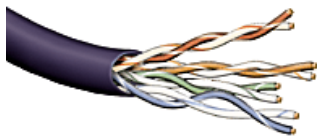


Abb. 7.3: Verdrillte Kabel

Nicht abgeschirmte verdrehte Kabel (*UTP = Unshielded twisted Pair*) sind die billigste und einfachste Verdrahtungsmöglichkeit. Sie sind in Rechnernetzen und im Bereich der Telefonie sehr weit verbreitet und erlauben heute, z.B. bei ISDN, Datenübertragungsraten von 150 kBit/s über größere Strecken. Auf mittlere Distanzen sind auch Datenübertragungsraten von über 10 MBit/s möglich. Diese Möglichkeit wird von der DSL-Technologie (siehe S. 604) genutzt. Auf kurze Distanzen sind noch höhere Datenübertragungsraten erzielbar, z.B. beim Gigabit-Ethernet. Weniger weit verbreitet sind abgeschirmte verdrehte Kabel (*STP = Shielded Twisted Pair*).

Kupferkoaxialkabel bestehen aus einem isolierten Kupferdraht, der zur Ausschaltung von Störungen mit einer leitenden Abschirmung umhüllt ist.

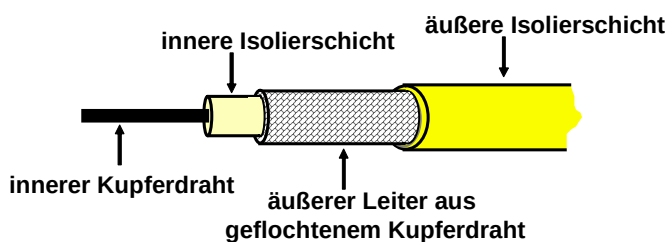


Abb. 7.4: Kupferkoaxialkabel

Mit Kupferkoaxialkabeln lassen sich Übertragungsraten von 100 MBit/s im *Basisbandverfahren* erzielen. Dieser Begriff bezeichnet die direkte Übertragung von Bits durch verschiedene Spannungsniveaus, bzw. durch verschiedene optische Niveaus im Falle der gleich zu besprechenden Glasfaserkabel. Im Gegensatz dazu wird bei einer *Breitbandübertragung* das eigentliche Signal auf eine hochfrequente elektrische Welle aufmoduliert. Durch die Definition verschiedener Frequenzbereiche (FDM = frequency division multiplexing) lassen sich mehrere unabhängige Übertragungskanäle einrichten, so dass sich die Datenübertragungsrate entsprechend vervielfacht. Während bei verdrehten Kupferdrähten und Koaxialkabeln in lokalen Netzen die Basisbandübertragung vorherrscht, wird bei Funkverbindungen und vermehrt auch bei optischen Verbindungen die Breitbandübertragung eingesetzt.

Glasfaserkabel zeichnen sich durch Unempfindlichkeit gegen äußere Störungen und höchstmögliche Übertragungsraten aus. Nachteilig sind der hohe Aufwand für Sender und Empfänger sowie die relativ hohen Kosten des Mediums. Bei einer *Multimode* Glasfaser reflektiert das übertragene Licht am inneren Rand der Glasfaser. Auf diese Weise folgt es auch den Biegungen der Faser. Allerdings werden die von einer Lichtquelle ausgehenden Strahlen, je nach Eintrittswinkel in die Faser, verschieden oft reflektiert, so dass sich unterschiedliche Weglängen ergeben. Ein Strahl entlang des Zentrums kommt früher an als einer, der oft reflektiert wird. Ein eintretender kurzer Lichtpuls wird auf diese Weise zeitlich „verschmiert“, was wiederum eine verringerte Datenübertragungsrate zur Folge hat.

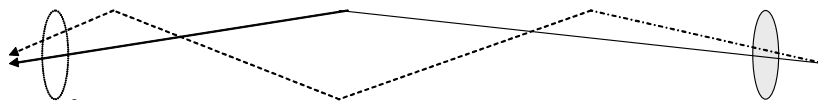


Abb. 7.5: Strahlengänge in einer Glasfaser

Man kann diesem Effekt entgegenwirken, indem man den Brechungsindex der Faser vom Zentrum zum äußeren Rand verringert. Ein höherer Brechungsindex bedeutet gleichzeitig eine geringere Fortpflanzungsgeschwindigkeit, so dass ein Strahl entlang des Zentrums zwar seltener reflektiert wird, aufgrund des höheren Brechungsindex in der Mitte aber verlangsamt wird.

Eine bessere Lösung besteht darin, die Dicke der Faser auf eine Größenordnung zu reduzieren, die der Wellenlänge des verwendeten Lichtes nahekommt. In einer solchen *Singlemode* Glasfaser wandert das Signal weitgehend unreflektiert auf einem einzigen Pfad durch die Faser. Singlemode Glasfasern erlauben die höchsten Übertragungsraten. Heute sind 622 MBit/s im Basisband üblich, im Testbetrieb sogar 2,5 GBit/s. Durch die gleichzeitige Nutzung mehrerer Wellenlängen (WDM = wavelength division multiplexing) sind heute bereits problemlos Gesamtdatenraten von 2,5 GBit/s pro Faser üblich. Im Testbetrieb verwendet man bereits 32 Wellenlängen gleichzeitig in einer Faser und erreicht eine entsprechende Vervielfachung der Datenrate.