

# Quo vadis Modem?

Wenn man bedenkt, welche Bit-Geschwindigkeiten heutzutage über eine Fernsprechleitung gejagt werden, kann das einem technisch Interessierten schon fast utopisch anmuten. Hier werden die Begriffe, die Tricks und die Grenzen dargestellt.

Franz Fiala

Wir befinden uns derzeit - was die angewendete Übertragungstechnologie betrifft - an einem Wendepunkt. Einerseits verwenden wir noch Modems zur Überwindung von Fernsprechverbindungen, andererseits werden wir bald auf ISDN-Datenanschlüsse zugreifen können. Es ist daher nur mehr eine Frage der Zeit, wann wir alle einen direkten Datenzugang zwischen PC und Telefonleitung benutzen werden. Die FIDO-Sysops sind voran, sie arbeiten bereits mit ISDN-Anschlüssen und nutzen die 64 kbit/s kostensparend aus. Die User versuchen noch mit aufwendigen technologischen Klimmzügen mit neueren und schnelleren Verfahren die Verbindung zu ihrer Box aufzubauen.

## Warum Modems?

Daß der Begriff Modem von Modulator/Demodulator abstammt, muß man ja nicht mehr eigens betonen, interessanter ist die Frage, warum überhaupt Modulation und Demodulation notwendig sind, denn wenn man Datenendgeräte über kurze Distanzen verbindet, braucht man auch keine Zusatzgeräte. Allerdings erkennt man auch bald die Grenzen eines solchen Übertragungsversuchs: je höher die Geschwindigkeit, desto weniger lang darf das verwendete Kabel sein, um noch fehlerfrei Daten ans andere Ende zu bekommen.

Dann sind da in den posteigenen Übertragungswegen auch noch Übertrager zur Gleichstromtrennung eingebaut, die eine untere Bandbegrenzung darstellen und eventuell lang andauernde 0- oder 1-Folgen unkenntlich machen, zumindest ohne Zusatzmaßnahmen.

Beide Begrenzungen, Kabellänge und untere Bandgrenze, können durch geeignete Kodierung und Verfürfelung der Daten umgangen werden. Die Geräteklasse die diese Tricks anwendet, heißen „Basisbandmodems“ oder „Ortsleitungsmodems“. Der Name „Basisbandmodem“ deutet darauf hin, daß das Spektrum des Datensignals aus seiner ursprünglichen Lage nicht weggeschoben wird, wie das bei Modulation der Fall wäre, sondern durch eine Kodierung in seiner Form verändert wird; der Name „Ortsleitungsmodem“ deutet darauf hin, daß diese Geräte ausschließlich für Ortsverbindungen gedacht und geeignet sind. **Wenn in einer festen Verbindung innerhalb eines Ortsnetzes Daten zu übertragen sind, können diese einfacheren Geräte eingesetzt werden.**

Ortsleitungen unterscheiden sich von Fernleitungen durch mehrere Elemente:

### a. Bandgrenze:

**Ortsleitungen** (2- oder 4-draht-Leitungen) haben keine scharfe obere Bandgrenze. Zwar nimmt die Dämpfung mit größerer Frequenz und Kabellänge immer mehr zu, was auch bewirkt, daß mit zunehmender Leitungslänge die maximale Übertragungsgeschwindigkeit sinkt, aber scharfe Grenzen gibt es nicht. Das Spektrum des Datensignals kann über die normale Grenze von 3400 Hz hinausgehen. Schaltet man die Geschwindigkeit um, erweitert man proportional den verwendeten Frequenzbereich.

Bei **Fernleitungen** werden in das verfügbare Frequenzband viele Fernsprechkanäle frequenzmäßig verschachtelt. Dabei tritt eine viel stärkere Reglementierung des einzelnen Frequenzbandes auf als im Ortsgebiet. Die Bandgrenzen sind einerseits bei 300 Hz und 3400 Hz. Die Bandbreite ist ziemlich genau 3100 Hz. Die einzelnen Fernsprechkanäle wiederholen sich im Abstand von 4000 Hz. Die verbleibende Frequenzdifferenz wird für Signalisation und für die Flanken der Filter benötigt. Diese 3100 Hz reichen für die Verständlichkeit gesprochener Sprache aus. Ähnlich restriktiv verhalten sich PCM-Kanäle, sie beschneiden das Signal ebenfalls auf 3400 Hz Bandbreite. Da PCM auch im Ortsgebiet eingesetzt wird, beschränkt sich das Einsatzgebiet von Basisbandmodems auf festgeschaltete Verbindungen.

Datensignale haben nun aber nicht diese Eigenschaft, gerade bei 300 Hz zu beginnen und bei 3400 Hz aufzuhören. Sie beginnen früher (man überträgt auch sehr langsame Datenanteile), und sie haben auf Grund

der steilen Flanken der Daten auch Frequenzanteile die weit über 3400 Hz hinausgehen.

Das muß uns aber nicht gleich beunruhigen, denn die menschliche Stimme hat ja auch signifikante Anteile, die weit über das Fernsprechband hinausgehen und dennoch verstehen wir uns via Telefon ganz gut. So ähnlich ist es bei der Datenübertragung auch: es ist ausreichend, wenn die Frequenzanteile bis zur sogenannten Nyquistfrequenz übertragen werden. Man erhält dann am Empfangsort zwar keine Rechtecksignale, sondern sinusförmig anmutende Schwingungsverläufe. Wenn man diese aber über einen Trigger leitet, kann man das ursprüngliche Datensignal wieder einwandfrei rekonstruieren.

## Wieviel Band braucht man?

Die Antwort ist einfach, gibt aber gleich auch ein Rätsel auf: für die Übertragung binärer Signale benötigt man für 1 bit/s 0,5 Hz oder z.B. für 2400 bit/s 1200 Hz Bandbreite. Wenn man das weiterdenkt, braucht man für 9600 bit/s ja schon 4800 Hz und die hat man nicht, denn der Fernsprechkanal bietet nur 3100 Hz Bandbreite.

Die Lösung liegt darin, daß die obige Faustformel 0,5 Hz/bit/s für die Übertragung binärer Zustände gilt. Bei binären Signalen entspricht jedem Schritt ein Bit. Läßt man dagegen mehrwertige Signale zu (vierwertige, achtwertige, 16-wertige, 64-wertige...) kann man jeweils pro Schritt mehr als nur ein Bit übertragen und es wird erforderlich, zwischen **bit/s** (Datenübertragungsgeschwindigkeit = jene Geschwindigkeit, die am Modemausgang gemessen wird und die noch nicht die Portgeschwindigkeit sein muß, denn es kommen dann eventuell noch Kompressionsverfahren zum Zug) und **baud** (Anzahl der Modulations-schritte pro Sekunde) zu unterscheiden.

**Beispiel 1:** V.26bis, 2400 bit/s vollduplex. Dieses Verfahren teilt den Fernsprechkanal in zwei Hälften, jeweils für jede Richtung 1550 Hz. Jedes der beiden Frequenzbänder wird durch eine Abart der Amplitudenmodulation mit zwei Seitenbändern ohne Träger ausgefüllt, d.h. pro Seitenband werden 750 Hz verwendet. Die Nyquistfrequenz beträgt 600 Hz, d.h. es können 1200 baud (Modulationsschritte pro Sekunde) übertragen werden. Jedem Schritt werden 2 bit zugeordnet („Dibits“, 4 Signalzustände), was gerade die 2400 bit/s an der Schnittstelle ergibt.

**Beispiel 2:** V.29, 9600 bit/s halbduplex. Das gesamte Übertragungsband wird für eine Richtung verwendet. Das Amplitudenmodulationsverfahren benützt wieder einen unterdrückten Träger, daher verbleibt pro Seitenband 1550 Hz. Die Nyquistfrequenz beträgt 1200 Hz, daher können 2400 baud übertragen werden. Jedem Schritt werden 4 bit zugeordnet („Quadbits“, 16 Signalzustände), was gerade die 9600 bit/s an der Schnittstelle ergibt.

Auch die untere Bandgrenze könnte man durch den Einsatz geeigneter Kodierungsverfahren überlisten. Die Bandgrenze allein ist es also nicht, die uns stört. Entscheidend ist der

### b. Frequenzversatz

Bei der Verschachtelung der vielen Fernsprechkanäle werden sendeseitig Oszillatoren eingesetzt, deren Frequenz empfangsseitig zwar genau eingehalten wird aber für das Fernsprechen sind einige Hertz Unterschied ohne Bedeutung, da die Phasenlage der Oberwellen bei der menschlichen Sprache nicht in die Verständlichkeit eingeht. Ganz anders bei Datensignalen. Hier wird durch die Frequenzversetzung der Phasenbezug zwischen Grund- und Oberwellen empfindlich gestört. Diese unvermeidliche Störung der Harmonie zwischen Grund- und Oberwelle im Empfangssignals erzwingt den Einsatz von Modems. Die Modems sind in der Lage, unabhängig von Übertragungsweg, empfangsseitig wieder stabile Phasenzustände abzuleiten. Das schaffen sie durch sehr weit entwickelte Modulationsverfahren (das derzeit am häufigsten eingesetzte Verfahren ist die Quadraturamplitudenmodulation).

c. Andere Störungen

Die Art der Übertragung über Fernleitungen bedingt noch weitere Störungen, die durch besondere Einrichtungen in den Modems kompensiert werden.

Es wurde schon betont, daß die Rekonstruktion der Datensignale auf Phasenfehler sehr empfindlich reagiert. Dabei ist nicht eine gleichbleibende Phasendrehung gemeint, sondern frequenzabhängige **Phasenverzerrungen**. Anschaulicher als die Phasendrehung ist die Signallaufzeit. Für die Kanaltrennung in Fernsprechsystemen werden steile Filter eingesetzt, die eine für das Fernsprechen unbedeutende, dafür für die Datenübertragung schwerwiegende Bedeutung haben: sie bewirken **Laufzeitverzerrungen**, anschaulich: Frequenzanteile an den unteren und oberen Bandgrenzen kommen etwas später an, als mittlere Frequenzen. Gegen diese Art von Störung gibt es im Modem eine Wunderwaffe: selbsttätig adaptierende Filter (automatic adaptive Equalizer), die während der Synchronisationsphase des Verbindungsaufbaus auf die konkrete Verbindung abgestimmt werden, sodaß die Laufzeit insgesamt möglichst konstant über den Frequenzbereich bleibt. Selbstverständlich geht das nicht beliebig lang, d.h. sehr lange Leitungen (oder besser Leitungen mit vielen Modulationsabschnitten) können durchaus bewirken, daß eine Verbindung nicht zustande kommt. Die Modems wissen sich dann im allgemeinen zu helfen und schalten selbsttätig auf eine kleinere Geschwindigkeit um, bei der eine Entzerrung zwar auch nicht vollständig gelingt aber immerhin für die kleinere Geschwindigkeit ausreichend ist.

**Phasenjitter** und **kurzzeitige Unterbrechungen** der Verbindung machen sich gegen die genannten Laufzeitverzerrungen ja fast schon harmlos aus, wirken aber durchaus ähnlich: Moderne Modulationsverfahren sind Kombinationen vieler unterscheidbarer Phasen- und Amplitudenzustände. Schwankungen in diesen beiden Richtungen bewirken Fehler, wenn sie eine bestimmte Größe überschreiten. Ebenso werden in der Synchronisationsphase durch sogenannte „trainings-sequenzen“ (=Testdaten) die Leitungen diesbezüglich untersucht und bei Bedarf auf kleinere Geschwindigkeiten zurückgeschaltet.

Die **Unterbrechungen** bewirken normalerweise eine Neusynchronisation der Verbindung, die ziemlich viel von der Übertragungszeit „stiehlt“. Typische Drop-Outs von D-Netz-Verbindungen wären davon betroffen. Neuere Modems kennen das und behalten eine einmal gefundene Einstellung über diese Drop-Outs hinweg bei.

Nicht unwichtig sind auch zunehmend **nichtlineare Verzerrungen**, da die Kombination aus Amplituden- und Phasenmodulation darauf besonders empfindlich reagieren kann. Bei PCM-Verbindungen muß man über den gesamten Aussteuerungsbereich mit Verzerrungen rechnen, die früher nur in den Extrembereichen auftraten.

Das wär's: Modems werden also benötigt, um Datenverbindungen über Frequenz- oder Zeitvielfachsysteme zustande zu bringen und mit den speziellen Störungen zurechtzukommen.

Ein Ende der Modem-Ära zeichnet sich aber ab: Mit zunehmender Umstellung der Wählämter auf die digitale Technik können nach und nach alle datenintensiven Anwendungen ISDN-Anschlüsse statt des analogen Modems verwenden. Damit wanden alle Überlegungen, wie man die Datenraten über die Leitung bringt aus dem Verantwortungsbereich der Enduser in jenen der Post und damit verschwinden auch viele Probleme bei der oft nicht vorhandenen Postzulassung der Endgeräte. Aber noch ist es nicht soweit!

**Modems, wie schnell noch?**

In wenigen Jahren wurde die Übertragungsgeschwindigkeit verzwanzigfacht. Man begann mit 1200 bit/s voll duplex etwa von 9 Jahren (die Zeit davor können wir aus heutige Sicht als praktisch steinzeitlich und nicht für uns Enduser brauchbar vergessen). Heute peilen wir 28800 bit/s an. Die Leitungen sind noch größtenteils dieselben geblieben. Wohin wird das weitergehen? Diese Frage wurde schon vor einigen Jahrzehnten von Shannon beantwortet, der einen Zusammenhang zwischen Bandbreite, Kanalkapazität und dem Störabstand auf der Leitung herstellte.

$$C = B * \log_2(1 + \frac{P_N}{P_S})$$

wobei

- C Kanalkapazität (theoretische Grenze in bit/s bis zu der eine Übertragung möglich ist)
- B Bandbreite (beim Fernsprechen 3100 Hz)
- P<sub>N</sub> Leistung des Nutzsignals
- P<sub>S</sub> Leistung des Störsignals

Daraus sehen wir, daß ohne Störung (P<sub>S</sub>=0) die Kanalkapazität unendlich groß wird, was ebenso unmöglich wie unrealistisch ist.

Nehmen wir vielmehr Störabstände im Bereich von 40..60 dB an, erhalten wir theoretische Übertragungsraten von 40000..60000 bit/s. Vergleichen wir mit dem in Diskussion stehenden V.34-Standard, dann sehen wir, daß wir mit 28800 bit/s schon sehr nahe an der theoretischen Grenze angelangt sind und es nur weniger zusätzlicher Störungen bedarf, um ein Zurückschalten auf eine geringere Geschwindigkeit notwendig zu machen.

Andererseits sehen wir aber auch die Nähe zu den 64000 bit/s, die uns ISDN bietet. Der Umstieg auf ISDN wird nur durch den höheren Preis und die noch zu spärlichen Datenpartner getrübt.

Die logische Frage: wieviele Modems noch? (siehe Titelbild) könnte man heute vielleicht schon einigermaßen sicher beantworten: Allzuviel schneller wird es jetzt nicht mehr werden, bzw. die möglichen Steigerungen an Geschwindigkeit sind jedenfalls nicht mit den Sprüngen der letzten Jahre vergleichbar. Ein Umstieg von 1200 auf 9600 bit/s brachte vierfache Geschwindigkeit. Wer sich heute ein V.34-Modem kauft (vielleicht gleich ein etwas gehobenes Gerät mit zukünftigen Upgrade-möglichkeiten in den kommenden Jahren) könnte bis zum endgültigen Umstieg auf ISDN ausgesorgt haben.

**Das Bessere ist der Feind des Guten**

Mit zunehmender Geschwindigkeit und zunehmendem Datenaufkommen sollte man sich auch fragen, ab welchem Zeitpunkt etwa ein ISDN-Anschluß einem schnellen Modem vorzuziehen wäre. Die nachfolgende Tabelle versucht eine Antwort auf der Basis einer täglich zu übertragenden Datenmenge und zweier Übertragungsgeschwindigkeiten zu geben. Pro Stunde Belegung werden ATS 40,- berechnet.

Datenmenge	1	2	4	8	16	32
ISDN	400	400	400	400	400	400
S	164	328	655	1311	2621	5243
min/Tag	4	6	12	23	45	88
min/Monat	112	194	358	685	1341	2651
ATS/Monat	475	529	638	857	1294	2168
Analog/2400	180	180	180	180	180	180
S	4369	8738	17476	34953	69905	139810
min/Tag	74	147	292	584	1166	2331
min/Monat	2215	4399	8768	17506	34983	69935
ATS/Monat	1656	3113	6025	11851	23502	46803
Analog/28800	180	180	180	180	180	180
S	364	728	1456	2913	5825	11651
min/Tag	7	13	25	50	98	195
min/Monat	212	394	758	1486	2943	5855
ATS/Monat	321	443	685	1171	2142	4084
	5	3	1	1	0	0

Verglichen mit einem langsamen Modem (2400 bit/s) lohnt sich ISDN schon bei relativ geringen Datenmengen, bei 28800 bit/s lohnt sich ISDN bei etwa 4 MB/Tag. Achtung: Anschaffung von Geräten wurde nicht gerechnet, auch nicht die Tatsache, daß man bei ISDN über 2 unabhängige Amtsleitungen verfügt. Schließlich nützt die schönste Rechnung nichts, wenn der Partner keinen ISDN-Anschluß hat. Bis dahin werden wohl beide Welten je nach Anwendung koexistieren; mit einem starken Trend Richtung ISDN. Die Übertragungszeiten sind in die Clubkartentabellen übernommen worden. (siehe Beitrag CC-Card).

**Wann amortisiert sich ein 28880 bps-Modem?**

Nehmen wir einen Kaufpreis von S 7000,- an, dann sehen Sie in der untersten Zeile die Anzahl der Monate, in der sich das Gerät bei den derzeitigen Gesprächsgebühren bezahlt macht. Bei einem Datenaufkommen von 4MB/Tag sind die Gerätekosten von S 7000,- gegenüber einem vorhandenen Gerät mit 2400 bit/s durch eingesparte Gesprächsgebühren in einem Monat „hereingespielt“. Besser ist es jedenfalls längere Zeiträume anzunehmen, denn es wird wohl noch einige Zeit dauern, bis alle Datenpartner so schnell unterwegs sind und - nicht alle Verbindungen werden mit 28800 bit/s zustandekommen, dafür werden die Leitungsbedingungen schon sorgen. □