

*Wie die Welt von morgen aussehen wird, hängt in großem Maß von der Einbildungskraft jener ab, die gerade jetzt lesen lernen.*  
*Astrid Lindgren, Kinderbuchautorin*

Bis Ende des 20. Jahrhunderts dominierte die sogenannte analoge (kontinuierliche) Datenübertragung. Unser 21. Jahrhundert wird oft als digitales Zeitalter bezeichnet. Kernbegriff ist dabei das *Bit*. Bit ist ein zusammengesetztes Kunstwort aus *Binary* (zweiwertig) und *Digit* (Ziffer). Das Bit besteht also aus zweiwertigen Ziffern – aus Eins oder Null, Ja oder Nein, An oder Aus. Das Bit als digitales Signal kann sowohl aus Stromstößen (elektrisches Bit für die Übertragung in Kupferdrähten) als auch aus Lichtblitzen (optisches Bit für die Übertragung in Lichtwellenleitern, also Glasfasern) bestehen. Der Siegeszug der digitalen Darstellung ist nicht mehr aufzuhalten. Der entscheidende Vorteil liegt dabei bei den digitalen Speichermöglichkeiten: Festplatte, DVD, USB-Stick, SD-Karte usw. Einer Abschätzung von Hilbert und López aus dem Jahr 2011 zufolge waren 2007 bereits 94 % der weltweiten technologischen Informationskapazität digital (nach lediglich 3 % im Jahr 1993) [2]. Es wird angenommen, dass es der Menschheit im Jahr 2002 zum ersten Mal möglich war, mehr Information digital als analog zu speichern – das war wohl der Beginn des „Digitalen Zeitalters“.

Was haben Festnetztelefon, Handy und Smartphone gemeinsam? Sie haben ein Mikrofon zur Umwandlung von Sprache, Tönen oder Musik in ein elektrisches

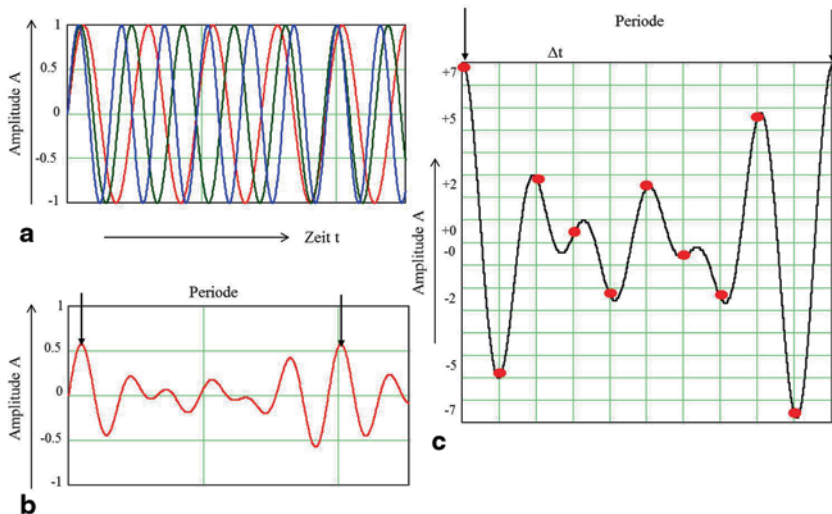
Signal und einen kleinen Lautsprecher zur Umwandlung elektrischer Signale in Sprache, Töne oder Musik.

Wie wird aus dem *kontinuierlichen*, analogen (meist elektrischen) Signal ein *diskontinuierliches*, digitales (elektrisches oder optisches) Signal – wie werden aus Schwingungen die sogenannten Bits? Hier soll das Problem anschaulich betrachtet werden – technische Einzelheiten findet man zum Beispiel in [3].

## 2.1 Digitalisierung von Tönen und Musik

Betrachten wir die Digitalisierung von Tönen und Musik, also von Schwingungen verschiedener Art.

Alle Töne oder Bilder werden durch sinusförmige *elektrische* Schwingungen dargestellt. Zum Beispiel wandelt ein Mikrofon Töne in Sinusschwingungen um. Man erhält also eine sich mit der Zeit  $t$  ändernde Amplitude  $A$ . Als Beispiel sind in Abb. 2.1a drei Töne jeweils als Sinusschwingungen mit einer bestimmten Frequenz zu sehen (gemessen in Schwingungen pro Sekunde oder Hertz (Hz)): Die Töne C (Frequenz: 262 Hz, rot markiert), E (Frequenz: 330 Hz, grün markiert) und G (Frequenz: 392 Hz, blau markiert). Zusammen bilden sie eine Harmonie C+E+G (Abb. 2.1b). So harmonisch der Name klingt, die Überlagerung ist keine einfache Sinusschwingung mehr! Jedoch findet man nach einer gewissen Zeit ein



**Abb. 2.1** Harmonische Schwingungen (a), Überlagerung (b) und einzelne Periode (c)

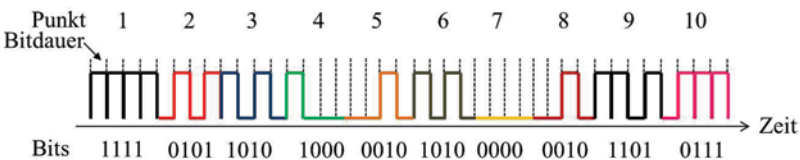
sich wiederholendes Aussehen, diese Zeit nennt man die Periode der Schwingung. Eine einzelne Periode ist in Abb. 2.1c dargestellt. Eine analoge Technik muss nun diese Schwingung über eine lange Strecke möglichst verlustarm und ohne Verfälschungen übertragen. Genau dort liegen jedoch die Schwierigkeiten und Grenzen der analogen Technik: Störungen (das sogenannte Rauschen) verfälschen die Schwingungen.

Die Periode der Schwingung wird dazu im zeitlichen Abstand  $\Delta t$  abgetastet (Punkte in Abb. 2.1c). Zum Beispiel werden bei dem meist benutzten Verfahren, der Pulse-Code-Modulation (PCM) die in Abb. 2.1 markierten Punkte mit Amplitudenbereichen zwischen  $+7$  und  $-7$  benutzt, wobei es auch die (sonst unüblichen) Bereiche  $+0$  und  $-0$  gibt. Jeder Punkt wird durch 4 Bits charakterisiert: Das erste Bit steht für das Vorzeichen ( $+$  wird zu „1“ und  $-$  zu „0“), das zweite bis vierte Bit charakterisiert binär (also nur mit „1“ oder „0“) den Bereich zwischen 0 und 7. Zum Beispiel wird  $+7$  zu 1111,  $-2$  zu 0010,  $-0$  zu 0000 oder  $+0$  zu 1000.

Im Ergebnis erhält man zur Darstellung des Signals eine Aneinanderreihung der digitalen „Punkte“ aus Abb. 2.1 – eine Bitfolge (siehe Abb. 2.2).

Bei einer Rekonstruktion des Signals (z. B. am Ende der Übertragungsstrecke) erhält man „nur“ diese 10 Punkte. Eine digitale Darstellung der analogen Schwingungsperiode mit 10 Punkten im Abstand  $\Delta t$  (Abb. 2.1c) ist natürlich sehr grob. Besser wäre es, statt zehn 100 oder noch besser 1000 Abtastpunkte pro Periode zu nehmen – die Zahl der zu übertragenden Bits würde dann allerdings auch von 40 auf 400 bzw. 4000 anwachsen. Außerdem ist die 4-Bit-Unterteilung (Vorzeichen plus 3 Bit für Werte zwischen 0 und 7, also 16 „Stufen“) sehr grob, besser wäre z. B. die maximal übliche 24-Bit-Unterteilung ( $2^{24} = 16,8$  Mio. „Stufen“) – allerdings vergrößert sich die Zahl der Bits zur Charakterisierung *eines* Punktes von vier auf 24 Bit. Ein weiteres „Problem“ ist die Dauer der Schwingungsperiode. Nimmt man für eine hochwertige Übertragung an, dass

- der Klang (Abb. 2.1b) sich alle hundertstel Sekunde ändert (Periodendauer  $1/100$  s),
- pro Periode 1000 Abtastpunkte übertragen werden sollen und
- jeder Punkt durch 24 Bit charakterisiert wird,



**Abb. 2.2** Digitale Bitfolge entsprechend Abb. 2.1

so müsste man  $24\text{Bit} \cdot 1000\text{Punkte}/(1/100\text{s}) = 2,4 \text{ Mio. Bit pro Sekunde} = 2,4 \text{ Mega-bit/s} = 2,4 \text{ Mbps}$  (englisch: *Megabit per second*) übertragen. Aus Abb. 2.1c wird jedoch auf alle Fälle klar, dass mit der Digitalisierung grundsätzlich ein *Qualitätsverlust* verbunden ist, weil die Auflösung (der Abstand zweier Punkte in Abb. 2.1c) sehr klein werden kann, aber „endlich“ bleibt. Ein digitalisiertes Signal kann jedoch in vielen Fällen so genau sein, dass es für einen Großteil der möglichen (auch zukünftigen) Anwendungsfälle ausreichend ist.

## 2.2 Digitalisierung von Bildern und Videos

Aufnahmen von Bildern und Filmen erfolgten über lange Zeit analog. Bei der analogen Bildübertragung (z. B. über Fernsehsender) gibt es Störungen, die das Bild stark beeinflussen: Beim Durchzug eines Regengebietes liefert die (analoge) Antenne auf dem Dach den berühmten „Gries“ statt der Fußballübertragung.



**Abb. 2.3** Rasterprinzip beim HD-TV

Für ein digitalisiertes Bild „zerlegt“ man das Bild (oder beim Video *jedes* Bild) in Bildpunkte, die sogenannten Pixel. Für *jeden* Pixel muss man nun rasterförmig die genaue Position im Bild und dessen Farbe darstellen.

Betrachten wir ein Beispiel. Ein *einzelnes Bild* beim hochauflösenden Fernsehen (englisch: High Definition Television, HD-TV) enthält bei der sogenannten 16:9-Darstellung 1920 Spalten und 1088 Zeilen, insgesamt ( $1920 \times 1088 = 2088960$ ) mehr als 2 Mio. Pixel pro Bild! Das neue Super-HD-TV hat sogar doppelt so viele Spalten (3840) und Zeilen (2160), also viermal mehr Pixel! Jedoch ist die Übertragung *noch* problematisch. Das Rasterprinzip beim HD-TV ist in Abb. 2.3 dargestellt.

Rasterförmig überdecken Zeilen von 0 bis 1087 und Spalten von 0 bis 1919 das Bild. Durch Spalten(S)- und Zeilen(Z)-Nummer (S, Z) ist die Position gegeben. Zum Beispiel bedeutet (0,0) ein Pixel ganz links oben auf dem Bildschirm, (1919,1087) ganz rechts unten. Für die rund 2 Mio. Pixel muss man noch die Farbe bestimmen. Aus den 3 Grundfarben Rot (Wellenlänge oberhalb 650 nm), Grün (Wellenlänge 546 nm) und Blau (Wellenlänge 436 nm), dem sogenannten RGB-Signal, kann man durch Mischung von RGB mit verschiedenen Intensitäten eine gewaltige Anzahl verschiedener Farben erzeugen. Für die digitale Darstellung der Farbe des Pixels benutzt man meistens die „True Color“-Darstellung: Die Intensität jeder Farbe wird durch 8 Bit dargestellt (3 Farbkanäle), es gibt also  $2^8 = 256$  Abstufungen *pro Farbe*. Für alle 3 Grundfarben zusammen hat man damit  $256^3 = 16777216$  Kombinationsmöglichkeiten. Fügt man die Farbinformation hinzu, so ergibt sich, dass pro Bild maximal  $2,1 \text{ MB} \times 32 = 67 \text{ MB}$  zu übertragen sind. Durch Datenkompression sind um den Faktor 10–100 weniger Daten zu übertragen – trotzdem müssen mindestens stolze 700 Kilobit (kB) pro Bild übertragen werden!!! Ein ähnliches Bild ergibt sich für *ein* Bild auf dem Computermonitor mit einer Standardauflösung von  $1280 \times 720 = 921600$  Pixel. Mit Datenkompression müsste man rund 0,3–3 MB pro Bild übertragen. Für *ein* mit dem Smartphone oder dem Handy „geschossenes“ Foto mit einer Auflösung von etwa 270 Spalten und 180 Zeilen enthält man etwa 800 kB. Sieht man sich das Foto nach dem Versand als MMS oder über WhatsApp an, so hat es durch Datenkomprimierung „nur“ etwa 40 kB. Man sieht diese Komprimierung aber sofort, wenn man das Bild vergrößert – die Pixel treten sichtbar hervor. Ein Foto fürs Familienalbum kann man daraus nicht mehr machen.

Damit wird die Dimension der Aufgabenstellung klar: Man muss gewaltige Datenpakete übertragen: Für *ein* HD-TV-Bild etwa 700 kB, für *ein* Bild auf dem Computermonitor etwa 300 kB bzw. für *ein* Handybild etwa 40 kB. Und nicht zu vergessen – es gibt *gleichzeitig* eine Riesenzahl von Datenpaketen, die darauf warten, im globalen Netz übertragen zu werden.



<http://www.springer.com/978-3-658-09594-9>

Das globale Netz

Wirkungsweise und Grenzen der Datenübertragung im  
globalen Netz

Brückner, V.

2015, VI, 57 S. 26 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-658-09594-9