

Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

Band: 66 (1988)

Heft: 1

Artikel: Was ist Digitalisierung?

Autor: Vögtli, Kurt

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-876229>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 14.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Was ist Digitalisierung ?

Kurt Vögtli, Bern

Zusammenfassung. Die konsequente Anwendung der Digitaltechnik bis zum Kunden wird diesem erlauben, die verschiedensten Fernmeldedienste über denselben Anschluss abzuwickeln. Der Autor versucht deshalb, die wichtigsten Unterschiede zwischen analogen und digital kodierten Signalen einfach zu erläutern. Denn was zunächst wie eine unnötige Komplizierung aussieht, erlaubt Sprache, Musik, Texte, Bilder und Computerdaten auf dieselbe Art zu übertragen und zu vermitteln. Weitere Vorteile sind die Störfestigkeit derartiger Systeme sowie die Möglichkeit einfacher Datenverarbeitung und zeitlicher Verschachtelung.

Qu'est-ce que la numérisation ?

Résumé. L'utilisation systématique de la technique numérique jusque chez l'abonné lui permettra de recourir aux services des télécommunications les plus divers sur un seul et même raccordement. C'est pourquoi l'auteur tente d'expliquer de façon simple les différences les plus importantes entre les signaux analogiques et ceux qui sont codés numériquement. Car, ce qui apparaît en premier lieu comme une complication inutile permet en réalité de transmettre et de commuter de la même manière, la parole, la musique, les textes, les images et les données d'ordinateur. D'autres avantages de tels systèmes résident dans leur immunité contre les perturbations et dans la possibilité de réaliser des traitements simples de données et de les imbriquer dans le temps.

Che cos'è la numerizzazione?

Riassunto. L'applicazione sistematica della tecnica numerica fino all'abbonato permetterà a quest'ultimo di svolgere i più diversi servizi di telecomunicazione su un unico collegamento. L'autore cerca di spiegare con parole semplici le differenze più importanti fra segnali analogici e segnali digitali. Ciò che a prima vista può sembrare un'inutile complicazione permette di trasmettere e commutare allo stesso modo voce, musica, testi, immagini e dati. Gli altri vantaggi di questi sistemi sono la loro insensibilità ai disturbi e la possibilità di un trattamento semplice dei dati e del loro scaglionamento nel tempo.

Wenn im Bereich der Telekommunikation von rasanten Fortschritten und neuen Anwendungen die Rede ist, treten fast zwangsläufig zwei eng miteinander verknüpfte Begriffe auf: Digitalisierung und Mikroelektronik. Hier wollen wir uns hauptsächlich mit der Digitalisierung befassen und gleich zum vornherein festhalten, dass die Mikroelektronik ein sehr geeignetes Mittel ist, um die Digitaltechnik zu realisieren, mit dieser aber keineswegs identisch und auch nicht auf sie beschränkt ist. Schon lange bevor es die für die Mikroelektronik typischen Chips gab, wurden digitale Schaltungen in Röhrentechnik realisiert. Nur, was damals ganze Schränke und selbst Säle füllte, kann man heute in die Tasche stecken oder als Tischcomputer vor sich aufs Pult stellen. Man kann sagen, dass die Digitaltechnik in ihrem Wesen in der Mathematik wurzelt und einen von den Anwendungen unabhängigen Eigenwert hat, die Mikroelektronik aber die praktische Anwendung sehr erleichtert und sich auch mit ihrer Entwicklung ständig neue Anwendungen realisieren lassen.

Was ist nun aber eigentlich Digitalisierung? Zunächst einmal etwas, was sich in der Natur kaum findet, indem selbst rasche Zustandswechsel stets etwas Zeit erfordern. Nehmen wir als Beispiel das Zustandspaar: Hell – Dunkel. Die Natur kennt zwischen Tag und Nacht die Zeit der Dämmerung, das Augenlid hat auch eine nicht beliebig kurze Schliesszeit, und selbst die uns deswegen blendenden Blitze erreichen ihre maximale Helligkeit zwar sehr rasch, aber doch nicht unendlich schnell. In der Welt der Digitaltechnik werden Zustandsänderungen dagegen als eigentliche Sprünge betrachtet. Der Übergang vom stromdurchflossenen Leiter zum stromlosen, das Verschwinden oder die Umpolung einer Spannung, die Zustände Licht bzw. kein Licht an einer bestimmten Stelle eines Glasfaserleiters sollen zunächst einmal beliebig rasch wechseln. Dies ist zwar in der Praxis nur angenähert zu realisieren, aber bei theoretischen Betrachtungen ist eine derartige Idealisierung sehr nützlich.

Als erstes soll die Verknüpfung der sogenannten Analogtechnik mit der Digitaltechnik am Beispiel des Telefons erläutert werden.

Wenn unsere Sprache auf den Teil des Telefonhörers trifft, der sich in der Nähe des Mundes befindet, so wandelt die dort eingebaute Mikrofonskapsel die Schallwellen (das heisst Druckschwankungen) in gleichartige (das heisst analoge) elektrische Stromschwankungen um. Diese werden in den Kupferleitungen des Telefonnetzes weitergeleitet und beim Partner in der Kapsel vor dem Ohr (der sogenannten Telefonkapsel) wieder in hörbare Schallwellen zurückverwandelt. Die Digitalisierung betrifft in unserem Beispiel nur das elektrische Analogsignal, das durch die Schallwellen erzeugt wird, seinen Weg durch die verschiedenen Zentralen nimmt und je nach Wunsch zum Partner im gleichen Haus oder zu einer Telefonstation auf einem anderen Kontinent übertragen wird.

Ein Sprachsignal besteht also ursprünglich aus raschen Druckschwankungen in der Luft, und einen ähnlichen Verlauf hat auch das analoge elektrische Signal des beschallten Mikrofons. Warum aber nur einen ähnlichen und nicht einen identischen Verlauf? Das hängt damit zusammen, dass die Mikrofonskapsel nur bis zu einem gewissen Grad die Druckschwankungen einer Stimme in elektrische Stromschwankungen umwandeln kann. Je nach Konstruktion ist es früher oder später nicht mehr in der Lage, besonders langsamen und sehr raschen Druckschwankungen zu folgen.

Für besonders hochwertige Musikwiedergaben werden allerdings Mikrofone, Platten und Bänder angeboten, welche elektrische Signale erzeugen, die praktisch denselben Verlauf aufweisen wie die ursprünglichen Druckschwankungen einer Schallquelle. Sind auch die Verstärkeranlagen und insbesondere die Lautsprecher, in denen das elektrische Signal wieder in ein Tonsignal umgewandelt wird, ebenfalls in der Lage, das ganze Spektrum zu verarbeiten, so ist auch der Toneindruck,



Fig. 1
Durch periodische Probenahme wird ein kontinuierliches Analogsignal in ein diskontinuierliches Signal mit Puls-Amplituden-Modulation (PAM) übergeführt

den schliesslich das Ohr empfindet, dem des Originals sehr ähnlich (sogenannte High-Fidelity-Anlagen). Bei einem Telefon ist aber die Tonqualität begrenzt. Zwar sind die Möglichkeiten der Telefonapparate auf diejenigen des Netzes abgestimmt, so dass stets eine gute Verständlichkeit garantiert werden kann, aber trotzdem ist ein Telefongespräch immer leicht von einem Originalgespräch zu unterscheiden. Die Möglichkeit der Übertragung von Druckschwankungen kann mit aussagefähigen Zahlen charakterisiert werden. So weiss man, dass unser Ohr Töne im Bereich von 30...15 000 Schwingungen je Sekunde, ein Telefon dagegen nur 300...3400 Schwingungen je Sekunde wahrnehmen kann. Ein Tonsignal ist aber nicht nur durch sein Frequenzspektrum gekennzeichnet, sondern auch durch seine Auslenkung von der Nullstellung (Amplitude) entsprechend der jeweiligen Lautstärke. Auch hier ist der Unterschied von ganz leise bis sehr laut bei einem direkten Gespräch weit grösser, als dies beim Telefonieren möglich ist.

Bis jetzt wurde nur das analoge Telefonsignal analysiert. Wo liegt nun der springende Punkt zum digitalen Telefon? In etwas, das bis jetzt gar nicht erwähnt wurde, nämlich dass das analoge Signal gleich wie der erzeugende Schall nur dann eine längere signallose Zeitspanne aufweist, wenn Ruhe herrscht. Sonst haben wir nur Nulldurchgänge, je nach Tonhöhe wie bereits erwähnt mehr oder weniger. Bei einem digitalen Signal ist dies ganz anders. Stellt man sich einen analogen Signalzug als obere Begrenzung einer Wand mit der Zeit als Längsmassstab und der Höhe als Mass der Lautstärke vor, so besteht der Übergang zur Digitaltechnik darin, dass die Wand durch einen Zaun ersetzt wird (Fig. 1). Dabei erkennt man unschwer, dass der Abstand der einzelnen Latten um so geringer und diese um so schmaler sein müssen, als das Signal rasche Wechsel aufweist. Die Theorie lehrt, dass für die Wiedergabe einer Schwingung mit x Nulldurchgängen (Wechsel von Überdruck auf Unterdruck in der Luft) ebenfalls x Lättchen, das heisst x Momentanwerte zur Verfügung stehen müssen. Bei einem digitalen Telefon sind das 8000 Momentanwerte/Sekunde, was einer oberen Erfassungsgrenze von 4000 Schwingungen je Sekunde entspricht.

Unser Lattenzaun mit 8000 Lättchen unterschiedlicher Höhe wäre also punkto Informationsgehalt gleichwertig mit einem analogen Signal mit Schwingungsanteilen bis 4000 Schwingungen je Sekunde. Der Unterschied von 3400 analog auf 4000 Schwingungen je Sekunde digital ist übrigens einer der Gründe, weshalb man sagen kann, dass die digitale Telefonie eine gewisse Qualitätsverbesserung mit sich bringt.

Worin liegt aber der schaltungstechnische Vorteil von einem Zaun gegenüber einer Wand? Nun, der Dichter Christian Morgenstern wusste es ganz genau: «Es war einmal ein Lattenzaun mit Zwischenraum, hindurchzuschauen.» Der Zwischenraum ist tatsächlich der wesentliche Unterschied. 8000 Lättchen unterschiedlicher Höhe und dazwischen eben Zwischenräume von je 125 Millionstelssekunden (μs).

Falls aus irgendeinem Grund ein Lättchen in seiner Höhe verändert wird, so kann diese Änderung nicht festgestellt und damit auch nicht rückgängig gemacht werden. Das heisst, ein gestörtes Signal kann nicht mehr in den ungestörten Zustand zurückgeführt werden. Dies wird aber möglich, wenn man von der Lattendarstellung mit unterschiedlich hohen Lättchen (Pulshöhenmodulation) auf die codierte (Puls-Code-Modulation = PCM) Modulation übergeht. Dabei kommt uns das französische Wort für Digitalisierung, nämlich «numérisation», zu Hilfe. Man kann sich z. B. vorstellen, dass der Zaun aus lauter Lättchen bestehen würde, die nichts anderes als Abschnitte von Massstäben wären. Hätten alle am Boden denselben Ausgangswert (z. B. 0 cm), so würde es genügen, die Höhe der in gleichen Abständen folgenden Lättchen zu kennen, um den Zaun zu konstruieren. Also alle 125 μs ein neues Höhenmass (Puls-Amplituden-Modulation = PAM). Bei PCM wird genau das gemacht, nur dass die Höhe nicht in Dezimalzahlen wie auf einem normalen Massstab, sondern als Folge von Nullen und Einsen angegeben wird (Fig. 2). Dies ist deshalb besonders vorteilhaft, weil 0 z. B. kein Strom, keine Spannung oder kein Licht, 1 dagegen Strom, Spannung bzw. Licht oder in unserem Bild ein Lättchen vorhanden bzw. kein Lättchen vorhanden bedeuten kann. Dabei ist bei einer derartigen rein dualen Beschreibung nur die Anwesenheit

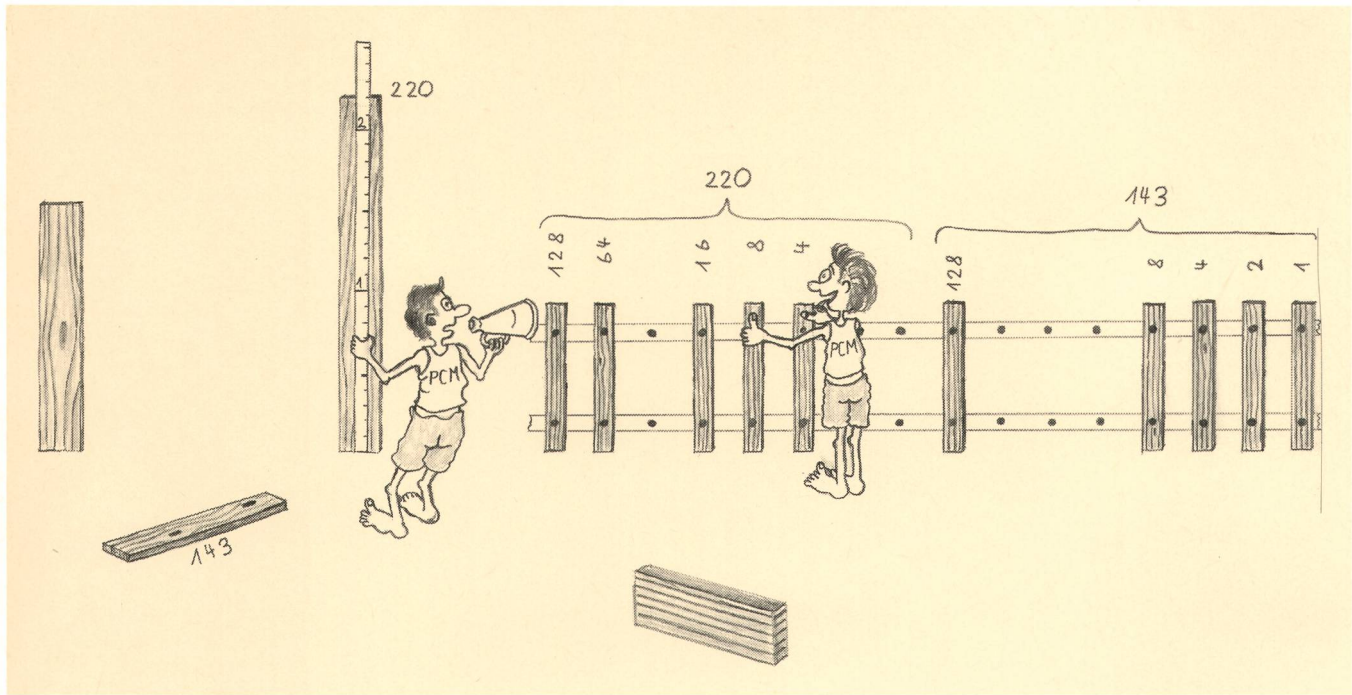


Fig. 2
Übergang von der Puls-Amplituden-Modulation (PAM) zur Puls-Code-Modulation (PCM)

bzw. das Fehlen einer physikalischen Grösse und nicht deren Stärke von Bedeutung. Mit Nullen und Einsen kann man nun gleich wie im Dezimalsystem fortlaufend zählen, bloss dass hier der Stellenwert nicht 10, sondern 2 ist. Also beginnen wir einmal von hinten. Ist die letzte Ziffer 0, so bedeutet dies wie auf allen Plätzen ebenfalls 0. Ist sie 1, so bedeutet 1 an der letzten Stelle auch im Dezimalsystem 1. Auf dem zweitletzten Platz bedeutet 0 wie bereits erwähnt 0, 1 aber jetzt nicht mehr 1, sondern 2, weil an zweitletzter Stelle vorhanden. Eine 1 mit zwei folgenden Ziffern ist dann gleichwertig wie 4 im Dezimalsystem, eine 1 mit drei folgenden Ziffern ist identisch mit 8, oder, allgemein ausgedrückt, eine 1 und x folgende Ziffern ist dem Wert nach gleich wie 2^x im Dezimalsystem. Für Telefonesignale werden Folgen von 8 mit Nullen oder Einsen besetzten Stellen verwendet. Fragen wir uns, welches denn die so bezeichnare

höchste Zahl im Dezimalsystem ist, so müssen wir zunächst alle 8 Stellen mit Einsen besetzen und erhalten dann folgende Werte, die zu addieren sind: $2^7 + 2^6 + 2^5 + 2^4 + 2^3 + 2^2 + 2^1 + 2^0 = 128 + 64 + 32 + 16 + 8 + 4 + 2 + 1 = 255$, und falls wir die Null (8 Stellen mit 0) noch dazunehmen, können wir feststellen, dass mit einem Oktett von Nullen und Einsen 256 Messstufen ausgedrückt werden können. Erinnern wir uns jetzt der Zwischenräume im Lattenzaun. Statt einer Latte bestimmter Höhe und 125μ Zwischenraum bis zur nächsten kann ein Oktett von Nullen bzw. Einsen eingefügt werden. Das heisst dann, dass ich alle $125:8 \mu$ bzw. $1000:64 \mu$ eine Null oder Eins zu übertragen habe. Damit kommen wir zum Schluss, dass ein Telefongespräch mit einem oberen Frequenzbereich von 4000 Schwingungen in 256 Lautstärkestufen übertragen werden kann, falls ein Übertragungskanal von 64 000 Bit/s zur Verfügung steht.

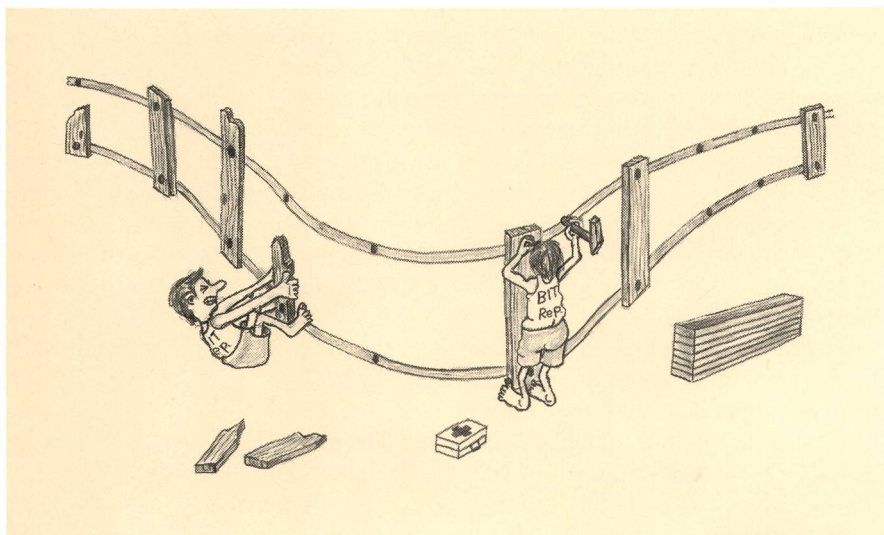


Fig. 3
Ein gestörtes PCM-Signal kann wieder vollständig regeneriert werden, solange die verstümmelten Einzelimpulse identifizierbar sind

Der Zaun hat also 64 000 Plätze für stets gleiche Latten, wobei immer 8 einen momentanen Signalwert in dualer Form wiedergeben. Bei völliger Ruhe sind alle Plätze frei (Null), bei maximalem Signalpegel sind dagegen alle Plätze mit Einsen belegt.

Warum ist nun ein digitales Signal besonders störfest? Offenbar sind in unserem digitalen Lattenzaun alle Lättchen gleich hoch und an ganz bestimmten Stellen vorhanden oder auch nicht vorhanden, je nach Signalstärke. Sollte nun eine Eins mit zu hohem oder zu niedrigem Wert anfallen, so kann leicht ein neuer Normwert weitergegeben werden, falls nur sicher erkannt wurde, dass in diesem Moment überhaupt ein Signal vorhanden ist. Man wird also eine Einrichtung schaffen, die kontrolliert, ob in einem bestimmten Moment ein Signal vorhanden ist, welches einen vorgegebenen Wert übersteigt. Ist dies der Fall, so wird ein neues Normsignal weitergegeben, und zwar unabhängig von der effektiven Grösse des registrierten Signals. Ist dagegen im betrachteten Moment der Signalpegel unter dem Minimum, so wird kein Signal weitergegeben. Dies bedeutet aber, dass Geräusche bis zur Höhe des Minimalwertes vollständig unterdrückt werden. Abgeänderte, das heisst gestörte Signale über dem Minimum werden dagegen wieder regeneriert. Aber nicht nur die Signalhöhe kann nachträglich wieder in Ordnung gebracht werden. Auch wenn das Signal zeitlich etwas verschoben eintrifft und die Signalform verfälscht ist, kann das ursprüngliche Bit wieder regeneriert werden, da dessen Form und Lage genau definiert sind. Übersetzen wir zur Klärung des Sachverhaltes diese Aussage nochmals ins Bildliche (Fig. 3). Wenn die Latten nicht die gewünschte Länge

haben, zu breit geraten sind und die Schrauben in den Löchern Spiel haben und deshalb nicht mehr genau an ihrem Platz sitzen, so können sie leicht ausgewechselt werden, und der neue Zaun unterscheidet sich dann durch nichts vom ursprünglichen. Voraussetzung ist nur, dass alle mit Lättchen besetzten Positionen als solche erkannt und umgekehrt keine unbesetzte Position mit einem Lättchen versehen wurde.

Ein weiterer Vorteil der Digitalisierung liegt in der einfachen, einheitlichen Signalform. Wir haben gesehen, dass mit einem Oktett von Nullen bzw. Einsen 256 Messstufen übertragen werden können. In unserem Fall 256 verschiedene Stromwerte in der Erregerspule der Telefonkapsel vor unserem Ohr. Aber natürlich sind auch ganz andere Zuordnungen denkbar, z. B. 255 verschiedene Zeichen wie grosse und kleine Buchstaben, dazu Satzzeichen und Abstände oder der Befehl, eine neue Zeile zu beginnen. Aber auch Bildsignale lassen sich digitalisieren, und die Computer tauschen ebenfalls Bitströme untereinander aus. Die Digitalisierung erlaubt also Sprache, Musik Schrift, Bilder und Computerdaten auf dieselbe Art zu übertragen. Was bei den verschiedenen Anwendungen dienstspezifisch sein muss, ist die Auswertung. Und unterschiedlich sind auch die Grössen der benötigten Bitströme, z. B. 64 000 Bit/s für ein Telefongespräch, aber etwa 140 Mio Bit/s für ein bewegtes Farbbild, sofern nicht mit speziellen Einrichtungen die benötigte Bitfolge reduziert wird. Und damit kommen wir zu einem weiteren Vorteil der digitalen Signale. Sie können verhältnismässig einfach bearbeitet werden. Man kann z. B. bei einer Bitmenge, die einem Bild entspricht, rasch entscheiden, welche Bit bei einem neuen

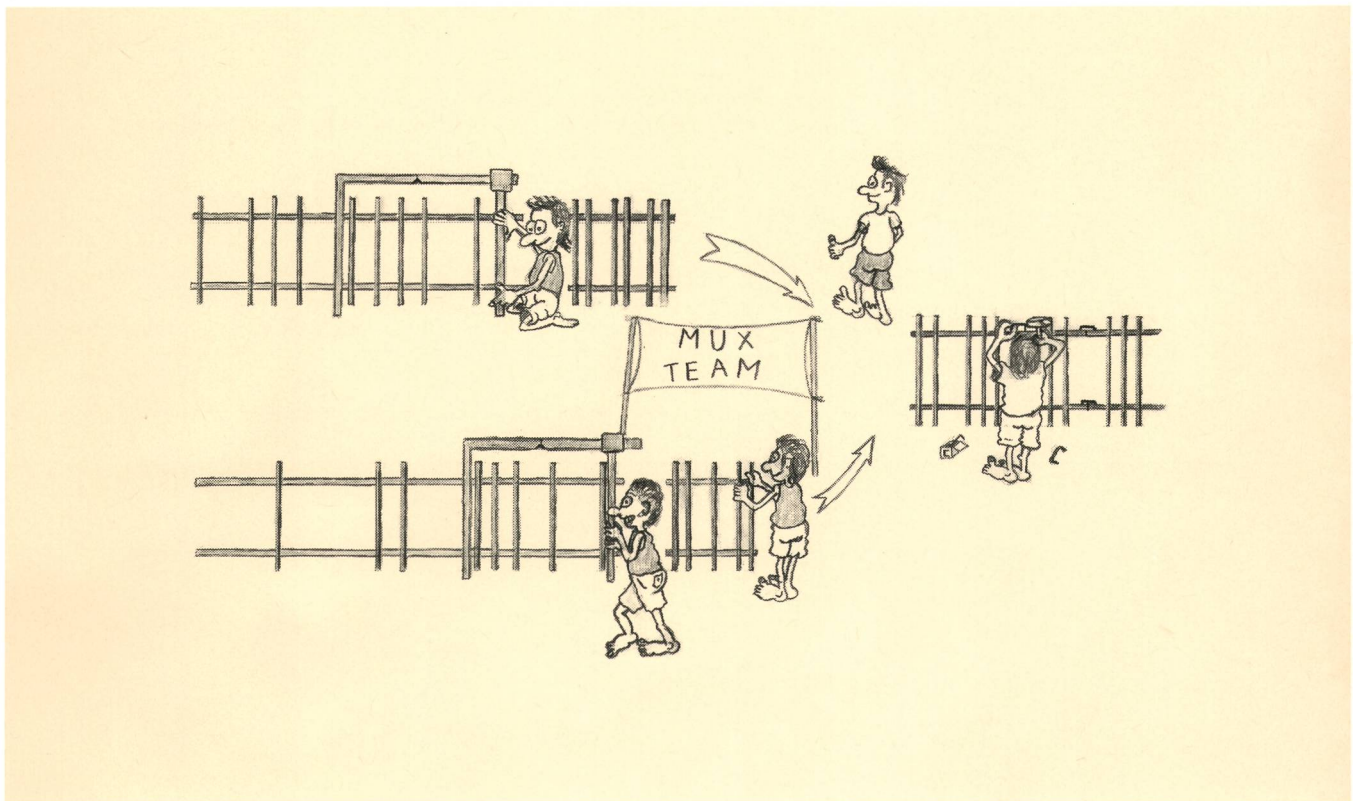


Fig. 4
Beim Zeitmultiplex werden verschiedene (x) Bitströme zeitlich ineinander verschachtelt. Dabei werden die Oktetts (links) auf i/x (in unserem Falle $1/2$) zusammengestaucht und abwechselnd zu einem neuen Bitstrom (rechts) zusammengefügt. So wird es möglich, die Signale von x Kanälen (hier 2) gemeinsam zu übertragen (Zeichnungen von: Peter Herzig, Bern)

Bild wirklich ihre Lage verändern und welche einem vorangehenden entsprechen. Wenn z. B. bei einem Bildtelefon nicht nur der Ton, sondern auch das Bild des Partners übertragen wird, so wird vor allem die Lippenbewegung zu übertragen sein, während der übrige Kopf und der Hintergrund mehr oder weniger unverändert bleiben. Es werden bereits Geräte angeboten, die ein solches Bild mit nur 64 000 Bit/s übertragen können, gegenüber dem voll regenerierten Bild mit 140 Mbit/s eine mehr als 2000fache Einsparung. Immerhin sei nicht verschwiegen, dass derartige Einrichtungen zurzeit noch sehr teuer sind und schnelle Bewegungen des ganzen Bildes nicht scharf übertragen können.

Zum Abschluss noch ein letzter Fachbegriff: Multiplex(ierung). Wir haben gesehen, dass bei einem Telefongespräch innerhalb 125 μ s ein Signalwert übertragen werden muss. Dazu ist ein Oktett von Nullen bzw. Einsen nötig. Wir können die acht Bit über die 125 μ s verteilt oder aber auch sehr rasch hintereinander aussenden. Beanspruchen wir z. B. nur die Hälfte der zur Verfügung stehenden Zeit, so gibt es Platz für ein anderes Oktett

von einem zweiten Gespräch (Fig. 4). Über Glasfasern können bis über eine Milliarde Bits je Sekunde ohne Zwischenverstärkung über Dutzende von Kilometern übertragen werden. Eine Milliarde Bit je Sekunde ermöglicht aber die gleichzeitige Übertragung von etwa 15 000 Gesprächen. Nur, das Aneinanderfügen dieser Oktetts in einer Telefonzentrale und dessen Aufgliederung in einer anderen ist ein schwieriges Unterfangen, müssen doch die Oktetts definiert in den rasenden Bitstrom eingefügt und diesem ebenso präzise entnommen werden, damit genau diejenigen Oktetts zu dem Kunden gelangen, für den sie bestimmt sind. Offenbar spielt der Zeittakt, nach welchem die Oktetts eingefügt und herausgenommen werden müssen, eine entscheidende Rolle. Eine Milliarde Bit bitgenau aufzuteilen, erfordert eine Zeitpräzision von besser als 10^{-9} Sekunden. Digitaltechnik, die nur funktioniert, wenn sich Zustandsänderungen wirklich sehr rasch realisieren lassen. Unvorstellbar schnell und trotzdem noch unendlich weit entfernt von der mathematischen Sprungfunktion. Es gilt noch immer: *Natura non saltat* (die Natur macht keine Sprünge).

Die nächste Nummer bringt unter anderem:

Vous pourrez lire dans le prochain numéro:

2/88

Kienast H.	Neue Baumethoden im unterirdischen Linienbau Nouvelles méthodes appliquées à la construction de lignes souterraines
Vögli K.	Qu'est-ce que la numérisation? Che cos'è la numerizzazione?
König P.	Berechnung der Übertragungssicherheit von Zeichen für Mobilfunksysteme
Körner W.	Bedeutung der monolithischen mm-Wellen-Integration für Funk- und Radartechnik
English part: Szentkúti B.	The background for electromagnetic screening measurements of cylindrical screens
