

## Hintergrundtext II

*„Die Physik fragt sich ja nur: Wie geht es? Der Ingenieur fragt sich: Wie kann man es benutzen, anwenden, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen?“*

*Heinz Zemanek, Computerpionier*

## **Vernetzte Welt – vom Telegrafen zum World Wide Web**

Das Informationszeitalter ist ein Kind vieler. An seiner Wiege standen Großindustrielle, Jugendliche, Wissenschaftler, Ingenieure, Philosophen, Mathematiker, Gesetzgeber und Gesetzesbrecher. Alle zusammen sorgten sie dafür, dass die Welt heutzutage umhüllt ist von einem dichten Netz aus Kabeln, Funkverbindungen und Kommunikationssatelliten, das Kontinente, Nationen und Menschen verbindet.

### **Physikalische Voraussetzungen der Vernetzung**

Die physikalischen Voraussetzungen der elektronischen Kommunikationssysteme wurden im 19. Jahrhundert geschaffen. Telegraf und Eisenbahn, die beiden spektakulärsten technischen Errungenschaften jener Zeit, schufen neue Möglichkeiten der Kommunikation und des Transports. Die neuen Formen der Informationsvermittlung wurden durch verschiedene Experimente mit einer immer noch von vielen Mysterien umgebenen Naturkraft ermöglicht: Elektrizität. Vor allem durch die Arbeiten des britischen Physikers **Michael Faraday (1791-1867)** waren die erstaunlichen Eigenschaften dieser unsichtbaren Kraft erstmals in vollem Umfang klar geworden: Lässt man Strom durch einen Kupferdraht fließen, dann wirkt dieser Draht wie ein Magnet; bewegt man einen Magneten an einem Kupferdraht entlang, dann entsteht darin elektrischer Strom. Außerdem pflanzt sich Elektrizität entlang eines elektrisch leitenden Drahtes fort. Diese Experimente im Bereich des Elektromagnetismus bildeten die Grundlage für eine Reihe neuer Technologien wie etwa die Erfindung des Dynamos, des Elektromotors und des Elektromagneten.

### **Vom Telegrafen zum Telefon**

**Samuel Morse (1791-1872)** erreichte 1837 einen Durchbruch im Bereich der Kommunikation, als er einen Elektromagneten mit einem langen elektrischen Draht fernsteuern konnte. Sobald am Ende des Drahtes der Stromkreis geschlossen wurde, floss elektrischer Strom durch die Kupferwindungen des Elektromagneten. Das erzeugte magnetische Feld bewegte einen Magneten, der wiederum auf einem durch ein Uhrwerk vorübergeführten Papierstreifen

Punkte und Striche erzeugte. Je nachdem, wie lange der Absender den Stromkreis geschlossen hielt, entstand eine Abfolge von Punkten und Strichen. Morse ersann daraus das nach ihm benannte Alphabet.

Als größtes physikalisches Hindernis erwies sich die Verlegung der Kabel. Eine unterirdische Verlegung war unmöglich, da es zu diesem Zeitpunkt noch keine brauchbare wasserdichte Isolierung gab. Daher spannte man die Kabel ober-irdisch zwischen Holzmasten auf. Erfinder wie etwa **Thomas Alva Edison (1847-1931)** verbesserten die Technik so, dass über nur einen Telegrafendraht mehrere Nachrichten gleichzeitig verschickt werden konnten, in beide Richtungen. Obwohl das Regulieren des Eisenbahnverkehrs eine der ersten Anwendungen des Telegrafen war, wurde das Telegrafieren sofort auch ein wichtiges Instrument für das Verschicken von Nachrichten.

1847 gelang es den Gebrütern Siemens, mit einer Art Kautschuk eine elektrische Isolierung für Kabel herzustellen. Damit rückte die betriebssichere Verlegung von unterirdischen Kabeln auf dem Festland, vor allem aber auch die Verlegung von Seekabeln, in den Bereich des Machbaren. 1848 wurden die ersten Nachrichtenagenturen wie etwa die Associated Press in Amerika und Reuters in Frankreich gegründet.

Beim Telegrafen wurde die zu transportierende Mitteilung erst so kodiert, dass sie mit dem Ein- und Ausschalten eines Relais oder dem Drehen eines elektromechanischen Anzeigers verschickt werden konnte. Doch hatten Experimente gezeigt, dass sich auch akustische Schwingungen in mechanische und diese wieder in elektrische Signale umwandeln ließen. Einige Experimentatoren stellten sich die Aufgabe, mit Hilfe der Elektrizität nicht nur spezielle Signale, sondern auch Musik oder gar menschliche Sprache zu übertragen. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts konnten in Deutschland **Johann Philipp Reis (1834-1874)** und in Amerika **Alexander Graham Bell (1847-1922)** zum ersten Mal Töne elektrisch übertragen. Unabhängig voneinander bauten sie Geräte, in denen eine Membran durch den Schalldruck der Stimme in Schwingungen versetzt wurde. Der elektrische Widerstand dieser Membran änderte sich analog zu den Veränderungen der Schallschwingungen. Die Variationen in dem Widerstand führten zu Stromschwankungen, die am anderen Ende eines elektrisch leitenden Kabels in einer Spule aus Kupferdraht unterschiedliche magnetische Kräfte auslösten. Diese wiederum setzten einen an einem Resonanzkörper angebrachten Stab in Bewegung. Das Telefon war erfunden.

1877 wurde das erste funktionsfähige Telefongerät in Amerika verkauft. In das Bell'sche Telefon musste man sehr laut hineinsprechen, um ausreichend starke

Ströme zu induzieren. Betrag seine Reichweite anfangs nur etwa 30 Kilometer, so war man mit den verbesserten Modellen schon bald bei der doppelten Distanz. Wie telegrafische Nachrichten wurden Telefongespräche zunächst über Leitungen aus Stahldraht übertragen. Stahldraht war preiswert und wies eine hohe mechanische Festigkeit auf. Lagen Telegrafie und Telefonie in einer Hand, wie dies in manchen europäischen Ländern der Fall war, so wurden Gespräche auch über Telegrafleitungen übertragen.

Das Telefon wurde außerordentlich schnell angenommen. Die Reichweite ver Hundertfachte sich in kurzer Zeit auf bis zu 5.000 Kilometer, und neu entstandene Telefongesellschaften verlegten erst zwischen Städten, später auch zu kleineren Orten Kabel. In Deutschland verdoppelte sich die Anzahl der Telefongeräte ab 1890 etwa alle fünf Jahre bis auf eine Million am Anfang des Ersten Weltkrieges.

Inzwischen hatten die Experimente des britischen Physikers James Clerk Maxwell (1831-1879) und des deutschen Physikers Heinrich Hertz (1857-1894) noch mehr erstaunliche Eigenschaften der Elektrizität aufgedeckt: Floss elektrischer Strom durch einen Kupferdraht, entstand ein elektromagnetisches Feld, das sich unsichtbar über große Distanzen in der Luft ausbreiten konnte. Ohne direkten Kontakt mit einem anderen Kupferdraht erzeugte es darin messbare elektrische Ströme. Der italienische Physiker Guglielmo Marconi (1874-1937) wusste die Theorie in der Praxis zu einem funktionierenden Funkgerät umzusetzen. 1901 gelang es ihm, eine Nachricht in Morsezeichen über den Atlantik zu verschicken, ein Abstand von mehr als 3.000 Kilometern.

Innerhalb weniger Jahrzehnte entstand so ein dichtes Netz aus Informationsträgern, die auf Basis elektromagnetischer Effekte Nachrichten per Kabel oder per Funk um die ganze Welt verschicken konnten. In diesem Netz drehte sich alles nur um eins: Information. Was aber ist Information?

### **Informationsnetze**

Eine richtungweisende Antwort gab kurz nach dem Zweiten Weltkrieg der amerikanische Ingenieur **Claude E. Shannon (1916-2001)**. Überzeugt, dass die Mathematik der Schlüssel zur besseren Telekommunikation sei, stellte er 1948 als Erster ein abstraktes Modell von Information auf. Die grundlegende Idee seiner Theorie war, dass man das technische Problem des Transports einer Mitteilung vom einen zum anderen Ort trennen sollte vom Inhalt dieser Mitteilung. „Information“, definierte Shannon, „ist ein Signal, das über ein

bestimmtes Medium von einem Sender zu einem Empfänger fließt.“ Diese abstrakte Definition ermöglichte es Shannon nicht nur, die kleinste denkbare Informationseinheit festzulegen – er nannte sie „single binary digit“ oder auch „Bit“ –, sondern es gelang ihm auch, Formeln aufzustellen, mit denen sich die Übertragungskapazität eines bestimmten Kommunikationskanals exakt berechnen ließ.

Seitdem bauen alle elektronischen Geräte, die irgendetwas mit der Übermittlung von Information zu tun haben, auf Shannons Theorie auf. Egal ob es sich dabei um Glasfaser oder das alte Telefonkabel handelt. Auch heute sind Shannons Formeln entscheidend für alle elektronischen Schaltungen, Computer und Kommunikationssysteme. Das wird auch auf absehbare Zeit so bleiben, da Shannons Theorie nicht abhängig ist von der eingesetzten Technik.

Zehn Jahre, nachdem Shannon seine Theorie aufgestellt hatte, erfanden Ingenieure der Bell Telefongesellschaft das erste Gerät, mit dem seine Ideen in die Praxis umgesetzt werden konnten. Sie nannten es „Modulator-Demodulator“ oder kurz „Modem“. Mit dem Modem wurde es zum ersten Mal möglich, Maschinen auch über große Distanz mittels einer Standard-Telefonleitung miteinander kommunizieren zu lassen. Dank Shannons Formeln konnte man sehr präzise ausrechnen, wie viel Information die Systeme in einer bestimmten Zeit miteinander austauschen konnten.

Die ersten Systeme, die in den 1950er Jahren über eine Modem-Verbindung miteinander kommunizierten, waren militärische Radarstationen in den Vereinigten Staaten und Kanada. Die ersten Modems schafften lediglich eine recht begrenzte Anzahl digitaler Zahlen pro Sekunde über eine analoge Telefonleitung. Mit nur zwei unterschiedlichen Tonhöhen für die binären Zahlen 0 und 1 ließen sich etwa 300 Bits pro Sekunde transportieren. Dank Shannons Formeln gelang es jedoch, neuartige Techniken zu finden. So waren Ingenieure in der Lage, gleichzeitig mehrere Töne für die Modulation digitaler Zahlen zu verwenden. Auch wurden Wege gefunden, den jeweiligen Schwingungszustand eines Tons für das Verschicken digitaler Zahlen einzusetzen, eine Methode namens „Phase-Modulation“. Außerdem wurden gezielte Variationen in der Lautstärke eines Grundtons verwendet, um noch mehr Bits pro Sekunde über eine Telefonleitung zu versenden (Amplitude-Modulation).

So wurde es mit Hilfe der Technik zur Modulation und Demodulation möglich, ständig mehr Daten pro Sekunde über eine Standard-Telefonverbindung zu verschicken und zu empfangen. Dabei gelang durch Verfeinerungen bestehender Methoden in den 1960er Jahren, die breite Verfügbarkeit von Integrated Circuits (IC) in den Siebzigern, die Nutzung von Fehlerkorrekturberechnungen in den

Achtzigern und das Einsetzen spezieller Kompressionsalgorithmen in den Neunzigern eine Steigerung der Datentransportgeschwindigkeit über eine Telefonleitung bis hin zum theoretischen Maximalwert, der sich laut Shannon über eine Standard-Telefonverbindung transportieren ließ – das 200fache von der Übertragungsgeschwindigkeit des ersten Modems.

Mit der Verfügbarkeit einer universalen Informationstheorie, eines weltweiten Netzwerks an Telefonkabeln und einer Modulationstechnik, mit der dieses Kabelnetzwerk sich für digitale Datenkommunikation nutzen ließ, war Anfang der 1960er Jahre die Voraussetzung für die Möglichkeit eines weltweiten Computernetzwerks geschaffen.

Die neuen Kommunikationstechnologien wurden in einer politisch bewegten Zeit entwickelt. In Amerika war die Periode der 1950er und der 1960er Jahre gekennzeichnet von rassenbedingten sozialen Unruhen, und die Großmächte der Welt waren in den Kalten Krieg verwickelt. Als im Oktober 1957 die Sowjetunion mit dem Sputnik-Satelliten der westlichen Welt ihren damaligen technischen Vorsprung demonstrierte, löste dies in den Vereinigten Staaten einen Schock aus. Als Reaktion auf den „Sputnik-Schock“ gründete das amerikanische Verteidigungsministerium 1958 eine Forschungsbehörde mit dem Namen Advanced Research Projects Agency (ARPA). Der Auftrag der ARPA war es, neuartige Technologien zu entwickeln, vor allem im Bereich der „Command and Control Systems“. Dabei sollten auch technische Visionen auf ihre Realisierbarkeit überprüft werden.

### **Vom ARPANET zum WWW**

Eine der ersten Visionen, die aufgegriffen wurde, hatte der Physiker, Mathematiker und Psychologe **Joseph Licklider (1915-1990)** Anfang der 1960er Jahre formuliert: das „Intergalactic Computer Network“. In Lickliders Vision waren geographische Barrieren gefallen, und alle Menschen der Welt konnten ungehindert Information miteinander teilen. Der erste Schritt in Richtung globaler Vernetzung war damit getan.

Das Ziel der ARPA-Forschung war es zunächst, mit dieser Vision eine nutzbare Technik zu entwickeln, um die kapitalintensiven Großrechner möglichst ökonomisch zu betreiben. Mit Hilfe eines Computernetzes – so die Vorstellung – konnte man auch über große Distanzen auf einem leistungsstarken Rechner arbeiten, deren Auslastung momentan gering war. Bei den Großrechnern waren dazu in den späten 1950er Jahren mit dem Konzept des Time-Sharing die technischen Voraussetzungen schon geschaffen worden. Dabei wird die

Rechenzeit eines Zentralrechners über dessen lokale Nutzer so verteilt, dass diese simultan daran arbeiten können. Schon bald stellte sich heraus, dass für Time-Sharing über große Distanzen mehr benötigt wurde als nur eine Art Verlängerungskabel. Über normale Telefonverbindungen konnten nur etwa zehn Nutzer gleichzeitig an einem Großrechner arbeiten, da das System sonst zu langsam wurde.

Die zweite Vision, die ARPA aufgriff, war eine Idee des in Polen geborenen Ingenieurs **Paul Baran (\*1926)** von Anfang 1960. Baran, als Kind mit seinen Eltern nach Amerika emigriert, war davon überzeugt, dass existierende Kommunikationssysteme extrem störungsanfällig waren. Das einfache Durchschneiden eines Kabels würde ausreichen, um große Teile des Telefonsystems lahm zu legen, ganz zu schweigen davon, was bei einem nuklearen Angriff passieren würde. Baran hatte zwei weitsichtige Ideen. Erstens: Die Struktur des bestehenden Telefonnetzwerks ist zu störungsanfällig. Telefonzentralen sind untereinander über ein Kabel verbunden und verteilen die Signale in sternförmigen Netzen. Fällt eine Telefonzentrale im Herzen eines solchen Sterns aus, bricht die Kommunikation weitflächig zusammen. Baran schlug ein verteiltes Netzwerk vor, bei dem jeder Knotenpunkt im Netzwerk mit seinen direkten Nachbarn verbunden sein sollte.

Dies führte zu einem spinnwebartigen Netz, in dem Nachrichten auf verschiedene Art ihre Ziele erreichen können. Die zweite grundlegend neue Idee von Baran war: Die Art, wie eine Telefonzentrale eine Nachricht übermittelt, ist in der neuen Netzstruktur zu ineffizient. Beim Telefonieren wird eine feste Verbindung zwischen Sender und Empfänger eingerichtet. Barans Alternativvorschlag lautete, jede Nachricht in kleine digitale Pakete aufzuteilen. Jedes dieser Pakete bekommt eine Absender- und eine Empfängeranschrift, eine fortlaufende Nummerierung und Daten zur Korrektur von Übertragungsfehlern. Die Pakete einer Nachricht können alle unterschiedliche Routen durch das Netzwerk zurücklegen. Beim Empfänger wird die Originalnachricht wieder aus den einzelnen Datenpaketen zusammengesetzt.

Beide Ideen Barans waren so unkonventionell, dass er dafür keine Unterstützung von der Telefonindustrie bekam. 1965 gab er seine Ideen auf und widmete sich anderen Projekten. Für das Übermitteln von Sprache in Echtzeit hatten Barans Ideen in der Zeit tatsächlich Nachteile – mit der damals vorhandenen Technik gelang es noch nicht, die Sprachpakete in Echtzeit wieder in der richtigen Reihenfolge zusammenzubringen. Aber für die Datenkommunikation ist das Konzept geradezu ideal.

Das ARPA beschloss darum Ende der 1960er Jahre, alle Computernetzwerke nur noch nach dem Modell von Barans „Packet-Switching“ anzulegen. Dies führte 1969 zum so genannten ARPANET. Wie aber kommunizieren Rechner über dieses Netzwerk miteinander? Gefragt waren nun neue Standards und Protokolle. Der Ablauf der Kommunikation von Computern in Netzwerken musste einheitlich festgelegt werden.

Ein wichtiger Ansatz wurde 1963 geliefert, als das American National Standards Institut einen standardisierten Zeichensatz zur Textdarstellung am Computer einführte, „ASCII“ genannt. 1965 entwickelte der Soziologe **Ted Nelson (\*1939)**, Mitglied einer Gruppe antiautoritärer Computerfans, die Vision vom Hypertext, eine nicht lineare Organisation von Information. Dokumente werden dabei in einer netzartigen Struktur miteinander verbunden. Die Verbindungen werden durch logische Querverweise hergestellt, so genannte Hyperlinks. Jedes Dokument kann dabei zu beliebig vielen anderen Dokumenten verweisen, ebenso können Dokumente von beliebig vielen anderen erreicht werden. Eine zentrale Verwaltung entfällt.

Ein weiterer Standard kam 1971 hinzu, als der junge Elektrotechniker **Ray Tomlinson (\*1941)** eine Methode zum Versenden und Empfangen von Dateien entwickelte. Dieses File Transfer Protocol, kurz FTP, erweiterte Tomlinson wenig später um eine Funktion, mit deren Hilfe der Benutzer persönliche Mitteilungen elektronisch von einem Rechner zu einem anderen schicken konnte. Bald wurde E-Mail die meistgenutzte Anwendung des ARPA-Netzes.

Ende der 1970er Jahre wurden Standards entwickelt, mit denen sich auch in der elektronischen Kommunikation zwei essentielle Bedürfnisse menschlicher Kommunikation gewährleisten ließen: dass vertrauliche Inhalte nicht mehr von jedem mitgelesen werden konnten und dass man sicher sein konnte, dass der Absenders einer Nachricht auch wirklich der war, der darauf geschrieben stand. Auf der Basis aufwändiger mathematischer Berechnungen gelang es 1975 drei Mathematikern, eine neuartige kryptographische Methode zu entwickeln. Die RSA-Technik – das Kürzel entstand aus den ersten Buchstaben der Nachnamen der Erfinder – machte es zum ersten Mal möglich, ein digitales Dokument verschlüsselt über ein Computernetz zu verschicken.

1983 wurde im ARPANET ein weiteres Netzwerkprotokoll eingeführt, das Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP). Es war in den 1970er Jahren explizit entwickelt worden, um angesichts einer Welt mit einer zunehmenden Anzahl physikalischer Netze (Kupfer- und Glasfaserkabel, Funkverbindungen, Satellitenkommunikation) ein universales Abwicklungsprotokoll für den Versand von Datenpaketen zu haben. Das TCP/IP-

Protokoll regelt auf dem Niveau der Datenpakete die einheitliche Distribution und Zustellung einzelner Pakete in unterschiedliche Netzsysteme.

Das World Wide Web (WWW) entstand 1990 als neues Informationsmanagement-Protokoll. Das Ziel des WWW-Protokolls war es, auf den unterschiedlichsten Computersystemen, die über ein einheitliches Netzwerk Datenpakete miteinander austauschen können, eine standardisierte Art der Informationsaufbereitung zur Verfügung zu stellen. Das Protokoll musste in der Lage sein, viele unterschiedliche Arten der Information, wie elektronische Notizzettel, Textdokumente, Bilder, Animationen, Datenbanken und Dokumentationen, auf einheitliche Art darzustellen.

Entwickelt wurde das WWW von den Informatikern **Tim Berners-Lee (\*1955)** und **Robert Cailliau (\*1947)** am Centre Européen de Recherches Nucléaires, dem Europäischen Zentrum für Teilchenphysik, in Genf. Das Team am CERN entwickelte eine Computersprache, mit der Informationen einheitlich aufbereitet werden konnten (Hypertext Markup Language, HTML). Gleichzeitig wurden ein Protokoll für das Verschicken von HTML-Seiten (Hypertext Transfer Protocol) und ein Identifikationssystem entwickelt, mit dem Dokumente einheitlich gekennzeichnet werden konnten (Universal Resource Locator, URL). Erst mit dieser Kombination einheitlicher Standards realisierte das WWW wesentliche Teile der Vision von Ted Nelson, unterschiedliche Informationen mit unterschiedlichen Techniken zu erschließen und zu verbinden.

### **Von der Hardware zur Software**

Betrachtet man die Entwicklungen der Datennetze im letzten halben Jahrhundert zusammenfassend, dann ist eine klare Tendenz zu erkennen, die von der Hardware zur Software führt. Das Formulieren von Regeln und Algorithmen, die Formate, Inhalt und Reihenfolge gesendeter Nachrichten zwischen Sender und Empfänger festlegen, hat gegenüber dem Erfinden von Techniken zum Transport digitaler Zahlen über ein physikalisches Medium immer mehr an Bedeutung gewonnen. Die vernetzte Welt ist immer zunehmend angewiesen auf Software-Standards, mit denen sich Informationen einheitlich bearbeiten, komprimieren, speichern und verschicken lassen. Beispiele solcher Software-Standards sind die Komprimierungsverfahren für Fotos (wie etwa „jpeg“, „tiff“, „gif“), Geräusche (wie etwa „mp3“) und Videobilder (wie etwa „MPEG“, „DivX“, „quicktime“ etc). Die vereinheitlichten digitalen Dateien lassen sich über jede Art physikalischer Netze – Kupfer-, Glasfaser-, Radio- oder Satellitenverbindungen – verschicken.

Und wie sieht die Zukunft aus? In einer vernetzten Welt wird die Informatik noch mehr an Bedeutung gewinnen. Immer nachdrücklicher achtet sie auf exakte Vereinbarungen, die den Datentransfer zwischen Computersystemen regeln; sie gibt den Rahmen vor, in dem die unterschiedlichsten Rechnersysteme miteinander kommunizieren können, und sorgt dafür, dass das Zusammenspiel unterschiedlicher Kommunikationsmedien und Trägerformate immer besser funktioniert. Software ermöglicht eine weitere Konvergenz der Medien, die sich auch auf Medien wie Telefon, Radio, Fernsehen, Zeitungen und Bücher, die früher nebeneinander existierten, erstreckt. Neuartige Software sorgt dafür, dass die Mensch-Maschine-Interaktion noch besser aufeinander abgestimmt werden kann. Vor allem bei der drahtlosen Anbindung diverser Systeme an ein weltumspannendes Netzwerk ist es die Software, die neue Techniken immer nahtloser in den Alltag integrieren kann.

**Abdruck honorarfrei, Belegexemplar erbeten.  
Für weitere Informationen wenden Sie sich bitte an:**

**Team Informatikjahr**

Susanne Kumar-Sinner  
Neue Schönhauser Straße 3-5  
10178 Berlin  
Tel.: 030 / 590 04 33 - 11  
Fax: 030 / 590 04 33 - 51  
E-Mail: [kumar@informatikjahr.de](mailto:kumar@informatikjahr.de)  
[www.informatikjahr.de](http://www.informatikjahr.de)

Tiziana Zugaro-Merimi  
Neue Schönhauser Straße 3-5  
10178 Berlin  
Tel.: 030 / 590 04 33 - 54  
Fax: 030 / 590 04 33 - 51  
E-Mail: [zugaro@informatikjahr.de](mailto:zugaro@informatikjahr.de)  
[www.informatikjahr.de](http://www.informatikjahr.de)