

# Übertragungstechnik in der Telefonie

Übertragungstechnik in der Telefonie hat im Wesentlichen zwei Aufgaben:

- Sicherstellen einer guten Qualität der übertragenen Sprache d.h. verständlich, störungsfrei und geheim sowie
- erzeugen einer möglichst großen Übertragungsbereichweite.

Heute sind das Selbstverständlichkeiten für die weltweiten digitalen Netze auch bei Mobilfunk.

**Als Philipp Reis** 1861 in Friedrichsdorf sein erstes „Telefon“ baute war er froh, dass sein Assistent im Schuppen hinter dem Haus den berühmten Satz verstand: „Das Pferd frisst keinen Gurkensalat“. Auch die Sprachübertragung im Physikalischen Verein in Frankfurt, aus einem Nebenzimmer, war nicht besonders beeindruckend. Die gelehrten Zuhörer erkannten nicht das Potential das in dieser Erfindung steckte.

Aber Philipp Reis hatte nicht nur den bis heute gültigen Begriff „**Telefon**“ geprägt, er hatte auch gezeigt dass man die Schallschwingungen der Sprache in der Luft über ein „**Mikrofon**“ einem Gleichstrom aufprägen (modulieren) und so übertragen kann, dass am anderen Ende der „**Leitung**“ über einen „**Hörer**“ wieder hörbare und verständliche Schallwellen entstehen.

Er hatte also alle Elemente der Telefonübertragungstechnik in seiner Apparatur dargestellt und baute dann noch einige zehn Stück, die in vielen Städten und Ländern vorgeführt wurden, aber eine Serienproduktion war auf diesem Stand der Technik nicht möglich. Die Apparatur war zu empfindlich, besonders das Mikrofon konnte nur von einem begabten Mechaniker einjustiert werden.

**Alexander Graham Bell** soll in Schottland eine Vorführung des Reisschen Telefons erlebt haben, bevor er nach Amerika auswanderte. Dort ließ ihn, den Taubstummenlehrer, der Gedanke an ein Telefon nicht los. Im Jahr 1876 meldete er dann ein Patent an. Bell hatte einen elektromagnetischen Schallwandler gebaut der sowohl als Mikrofon und als Hörer verwendet wurde. Zwei gleiche Geräte die über eine zweiadrige Leitung mit einander verbunden wurden und abwechselnd an den Mund oder das Ohr gehalten wurden. Mit diesen Geräten konnten Entfernungen von einigen Kilometern überbrückt und so Stadtnetze aufgebaut werden.

Siemens übernahm eine Lizenz zum Nachbau der Bellschen Geräte so dass schon 1878 die ersten Telefonverbindungen von der Reichspost und Siemens in Berlin vorgeführt werden konnten.

Ein weiterer großer Schritt in der Verbesserung der Telefonübertragungstechnik war die Erfindung des **Kohlemikrofons** durch **D.E. Hughes** anno 1877. Beim Kohlemikrofon wird feiner Kohlegries in einer kleinen Kammer von einer Membran im Rhythmus der Schallwellen zusammen gepresst und änderte damit seinen elektrischen Widerstand. So kann, wie beim Reisschen Kontaktmikrofon, ein Gleichstrom moduliert werden. Das Kohlemikrofon hat einen wesentlich besseren Umwandlungsfaktor für Schallwellen in elektrische Schwingungen als der Bellsche elektromagnetische Wandler, aber es kann nicht als Hörer verwendet werden. Die Kombination von Kohlemikrofon und elektromagnetischem Hörer brachte eine wesentlich höhere Reichweite und hat die Telefonübertragungstechnik für annähernd 100 Jahre geprägt. \*1) Zur Verbindung von zwei Telefonen mit getrenntem Mikrofon und Hörer benötigt man eigentlich eine Vierdrahtleitung, was teuer ist. Schaltet man Mikrofon und Hörer einfach parallel an eine Zweidrahtleitung dann hört man die eigene Sprache lauter als die des Gesprächsteilnehmers was irritiert und stört.

Die Lösung ist der Einbau einer elektrischen **Gabelschaltung** in den Fernsprecher. An diese Schaltung werden einerseits Mikrofon und Hörer getrennt angeschaltet und andererseits die Zweidrahtleitung und eine Leitungsnachbildung. Die Nachbildung soll der Impedanz der Leitung möglichst genau entsprechen. Je besser das gelingt um so weniger hört der Sprecher sich selbst im eigenen Hörer, das Telefon hat dann eine hohe **Rückhördämpfung**.

(Die **Dämpfung** beschreibt in der Nachrichtentechnik wie stark ein Signal durch Übertragungseinrichtungen geschwächt – positive Dämpfung – oder verstärkt wird – negative Dämpfung -. Ihr Wert wird im logarithmischen Maßstab in „dB“ angegeben)

Mit den drei übertragungstechnisch wirksamen Elementen **Mikrofon, Hörer** und **Gabelschaltung** werden bis heute alle analogen Telefone weltweit ausgestattet.

Ab 1881 wurden in den größeren Städten Deutschlands die ersten öffentlichen Telefonnetze aufgebaut. Das erste Telefonverzeichnis für Frankfurt zeigte 27 Teilnehmer.

Auch wenn die ersten Fernsprechteilnehmer verlacht und die Telefonverzeichnisse als „Narrenbücher“ verspottet wurden, verbreitete sich das Telefon explosionsartig.

Mit der Verbreitung des Telefons wurde auch die Zahl der Hersteller\*2) und der Modelle vielfältiger. Die Deutsche Reichspost musste Sicherstellen, dass die verschiedenen Geräte, bei der Zusammenschaltung, eine einheitliche Gesprächsqualität gewährleisteten. Sie definierte dazu ein Referenztelefon gegen das die zu prüfenden Geräte durch Sprechproben beurteilt wurden. Für grenzüberschreitende Telefonverbindungen wurde bald ein europäisches Eichsystem geschaffen.

Das in Genf angesiedelte internationale Institut für Telegrafie ( CCIT ) wurde in seiner Zuständigkeit auf Telefonie ( CCITT ) erweitert. Dort wurden u.a. die grundlegenden übertragungstechnischen Anforderungen an Telefone für den internationalen Telefonverkehr definiert und ein zugehöriges Prüfnormal geschaffen:

Die jeweiligen **Bezugsdämpfungen** geben an ob die ermittelten Werte höher oder niedriger sind als das Bezugsnormale. Geprüft wurde durch geschulte Sprecher- und Hörergruppen im Wesentlichen:

### **Sendebezugsdämpfung**

### **Empfangsbezugsdämpfung**

### **Rückhörbezugsdämpfung**

### **Silbenverständlichkeit**

Aufgrund der Untersuchungen der Silbenverständlichkeit und anderer Messungen legte CCITT fest, dass eine Übertragungsbandbreite von **300 bis 3400 HZ** für eine gute Sprachverständlichkeit und auch Natürlichkeit ausreichend ist.

Ein störender Einfluss auf die Sprachübertragung ist die **Laufzeit** der Signale zwischen Mikrofon und Hörer, wie sie z.B. bei Interkontinentalverbindungen auftreten. Ist die Laufzeit größer als etwa 300ms dann wird der Gesprächsfluss gestört und es können **Echos** auftreten.

In einem Dämpfungsplan legte CCITT auch fest welche **Einfügungsdämpfung** eine nationale Verbindung bis zum Grenzübergangspunkt bei einem internationalen Telefongespräch haben darf.

Aus diesen Basisanforderungen legte in Deutschland die Reichspost bzw. die Bundespost die Anforderungen an die einzelnen Geräte und Einrichtungen fest, die Bestandteile des Öffentlichen Fernsprechnetzes waren oder an dieses angeschaltet wurden wie z.B. Fernsprechapparate, Anschlussleitungen, Vermittlungseinrichtungen, Fernleitungen oder Nebenstellenanlagen. Die Einfügungsdämpfung war für die einzelnen Vermittlungs- und Übertragungseinrichtungen sehr knapp kalkuliert weil sich diese in einer Verbindung addierten. Bei der Ausarbeitung von Vorschriften und besonders auch bei Abnahmemessungen wurde oft um zehntel-dB heftig diskutiert und um Zeigerbreite am Messgerät gestritten.

Neben der Einfügungsdämpfung wurden für alle Verbindungselemente z.B. die Geräuschbelastung, der Frequenzgang und auch die **Nebensprechdämpfung** festgelegt. Die Nebensprechdämpfung ist ein Element zur Wahrung des Fernmeldegeheimnisses. Sie stellt sicher dass z.B. in Kabeln nicht Gespräche auf benachbarten Leitungsadern oder in Vermittlungseinrichtungen durch benachbarte Bauelemente mitgehört werden können.

Die subjektiven Messungen der Bezugsdämpfungen sind aufwendig und langwierig. Dr. Karl Braun\*3) vom FTZ (Fernmeldetechnisches Zentralamt) der Post entwickelte deshalb zusammen mit Siemens einen **Objektiven Bezugsdämpfungsmessplatz (OBDM)**. Ein künstlicher Mund erzeugte mit einem Heulton von 300 bis 3400 HZ einen bestimmten Schalldruck an einem davor positionierten Mikrofon (Sprechkapsel) und ein künstliches Ohr

nahm den Schall des Hörers (Hörkapsel) auf. Von einer kleinen Bildröhre wurden die Frequenzgänge der gemessenen Signale angezeigt. Der OBDM wurde in Deutschland und vielen europäischen Ländern als verbindlich eingeführt. Vom CCITT wurde er aber nicht anerkannt.

Über **Nebenstellenanlagen** können Telefongespräche ins Öffentliche Netz also auch ins Ausland geführt werden. Sie unterliegen deshalb auch dem Dämpfungsplan von CCITT.

Sie müssen vom Telefon bis zum Amtsanschluss die von der Post herausgegebenen „Übertragungstechnischen Vorschriften“ erfüllen. Die Anteile von Nebenstellenanlagen an den vom Dämpfungsplan zulässigen nationalen Grenzwerten z.B. Einfügungsdämpfung oder Geräuschspannung wurden knapp bemessen, damit möglichst viel in den Anlagen des Öffentlichen Netzes „verbraucht“ werden konnten. Die Anforderungen an Nebenstellenanlagen waren über Jahrzehnte nahezu konstant und die technischen Lösungen in den maßgebenden Bauelementen und Schaltungen auch .

Das änderte sich entscheidend als von **TN** das **IIIW-System 6030** \*4) mit elektronischer Sprechwegedurchschaltung in PAM- Zeitmultiplextechnik. (**Puls-Amplituden-Modulation**) entwickelt wurde. Bei PAM wird das elektrische Sprachsignal im 8kHz- Rhythmus abgetastet.

Das bedeutet, dass alle 125 ms Amplitudenproben eines Sprachsignals genommen werden, die dann übertragen werden. Aus den sehr kurzen Proben kann auf der Empfangsseite das vollständige Sprachsignal rekonstruiert werden. Zwischen den Proben eines Sprachkanals können Proben anderer Sprachkanäle eingefädelt und übertragen werden. So entsteht ein Zeitmultiplex mit bis zu einhundert Kanälen auf einer Übertragungsstrecke.

Die Durchschaltung mit PAM war nicht mehr transparent wie bei Wähler oder Relais sondern vierdrähtig mit **Gabelschaltungen** an beiden Enden des Sprechweges. Wegen der neuen Sprechwegetechnik war die Zulassung durch das FTZ langwierig und bedurfte vieler Überzeugungsarbeit gegenüber den Zulassungsbeamten und auch Nachbesserungen im System.

Ein Wettbewerber \*5) versuchte in einer Fachzeitschrift darzustellen, dass zeitmultiplexe Durchschaltung für Nebenstellenanlagen nicht geeignet sei, dies konnte schlüssig widerlegt werden \*6) Einige Jahre später hatte sich das Thema ohnehin erledigt, weil alle PCM-Vermittlungen im Zeitmultiplex arbeiten.

Um den Entwicklungs-Ingenieuren der neuen Systeme, das jetzt wichtigere Wissen über die Übertragungstechnik zu vertiefen , wurde von Prof. Dr. Lennertz ein Übertragungstechnisches Kolloquium eingerichtet in dem aktuelle oder grundsätzliche Fragen der Übertragungstechnik vorgetragen und diskutiert wurden und es wurde eine eigene Abteilung „Übertragungstechnik“ in der Vorentwicklung gegründet. Diese stand den Produktentwicklungen beratend zur Seite.

Das **TN-System 4030** \*7) der Baustufe II hatte ein einstufiges Raumvielfach-Koppelfeld mit elektronischen Zweidraht-Koppelpunkten. Diese Koppelpunkte wurden von TN zusammen mit AEG-Telefunken entwickelt. Übertragungstechnisch waren die Herausforderungen nicht so groß wie beim System mit zeitmultiplexer Durchschaltung. Die Anschlußschaltungen für das Koppelfeld wurden unter Einbeziehung des Dämpfungswiderstandes des Koppelpunktes optimiert, so dass bei Einhaltung der Postvorschriften und anderer technischer Randbedingungen eine wirtschaftliche Fertigung möglich war.

Die nächste Stufe in der Übertragungstechnik der Telefonie war die Digitalisierung durch PCM. Bei der **Puls-Code-Modulation** werden die Sprachsignale in einem CODEC (Codierer-Decodierer) wie bei PAM abgetastet, dann aber vor der Übertragung nach einem bei CCITT festgelegten Schema (A-law) digitalisiert. Die Übertragungsrate der Sprache wird dabei auf 8 Bit je Abtastprobe reduziert. Bei einer Abtastrate von 8kHz ergibt sich damit eine PCM-Übertragungsrate von 64 kbit/s je Sprachkanal.

In **digitalen** Vermittlungs- und Übertragungseinrichtungen der DBP, wie auch in Nebenstellenanlagen erfolgt die Vermittlung im Zeitmultiplex wie bei PAM. Die digitale Signalübertragung ist dämpfungsfrei. Damit sind heute weltweite Telefonate so gut verständlich wie in einer Nebenstellenanlage im Zimmer nebenan.

Mit der Einführung von **ISDN (Integrated Services Digital Networks)** wurde auch die Teilnehmerleitung bis zum Endgerät digitalisiert. Der CODEC ist dann im Telefon eingesetzt. Es ergibt sich so eine voll digitale Verbindung von Telefon zu Telefon, die für die komplette Gesprächsdauer bestehen bleibt.

Im **INTERNET** werden die zu übertragenden Daten in Pakete aufgeteilt, einzeln adressiert und versendet. Die Datenpakete können zwischen Sender und Empfänger unterschiedliche Wege im Netz nehmen und zu verschiedenen Zeiten ankommen. Beim Empfänger werden die Pakete gespeichert, sortiert und damit erst auswertbar. Die Sprachübertragung erfolgt im Internet also nicht mehr kontinuierlich sondern in Paketen. Dadurch entstehen Laufzeiten in der Sprachübertragung die den Gesprächsfluss stören.

Aus wirtschaftlichen Gründen ist es aber interessant Computer und Telefon über den selben Internet-Zugang an zu schliessen. Dies ist im Prinzip mit **VoIP (Voice over Internet-Protokoll)** möglich. Das größte übertragungstechnische Problem ist dabei die Laufzeit der Sprachsignale durch die verschiedenen Verarbeitungs- und -übertragungsschritte. Es bedarf einer schnellen Internet-Anschlussleitung um eine flüssige und verständliche Sprachübertragung zu ermöglichen.

## Literatur

- \*1) Hofmann, H.: Die neue TN-Sprechkapsel 539; TN-Nachrichten 1956 Heft 65
- \*2) 70 Jahre technisch Entwicklung, Die Entwicklung des TN-Tischfernsprechers 1900-1965  
Telefonbau u Normalzeit 1899 bis 1969 S. 30
- \*3) Braun K.: Die Bezugsdämpfung; TuN- Nachrichten (1952), H. 41
- \*4) Plank, K.-L. ; Schosnig J.-G.: Vollelektronische Sprechwegedurchschaltung mit getasteten  
Schaltern.; Fachberichte der Telefonbau und Normalzeit 1/1970
- \*5) Gasser, L.; Szechenyi, K.: Raumvielfach- oder Zeitvielfach-Sprechwegedurchschaltung in  
modernen Nebenstellenanlagen; Nachrichtentechnische Zeitschrift 31 (1978) H. 6
- \*6) Keßler, A.: Stellungnahme zu \*4) unter gleichem Titel in : Nachrichtentechnische  
Zeitschrift 31 (1978) H. 8
- \*7) Glemser, J.; Kämpfer, W.; Keßler, A.; Dangel, J.; Schlüter, K.: TN-System 4030  
Raummultiplex - elektronisches Koppelfeld und übertragungstechnische Eigenschaften. TN-  
Nachrichten 1978 Heft 79

Geschichtsverein Informationstechnik e.V. Autor: Arthur Keßler 16.10.2014