

Überblick zu Kapitel 1 von Beispiele von Nachrichtensystemen

Integrated Services Digital Network – kurz ISDN – war das erste einheitliche digitale Netz für Sprache, Texte, Daten, Video und Multimediakommunikation. Es wurde Ende der 1980er Jahre eingeführt und hatte im Jahre 2004 etwa 25 Millionen Benutzer in Deutschland. ISDN bietet im Vergleich zu den vorher üblichen analogen Telekommunikationsverfahren viele neue oder erweiterte Dienste, eine schnellere Übertragung, eine bessere Sprachqualität und eine einfachere Nutzung von Mehrgeräten.

Das ISDN-Konzept und die Umsetzung werden im vorliegenden Kapitel dargestellt und erläutert, insbesondere werden behandelt:

- eine allgemeine Beschreibung von ISDN,
- die Dienste und Dienstmerkmale des ISDN,
- die ISDN-Netzinfrastruktur und die verschiedenen Anschlussarten,
- die logischen Kanäle und Schnittstellen von ISDN,
- die wichtigsten Übertragungs codes bei ISDN, und
- Breitband-ISDN als eine Weiterentwicklung.

Zum Zeitpunkt der letzten Überarbeitung dieses Buches (2016) darf aber nicht verschwiegen werden, dass ISDN auch in Deutschland keine große Zukunft mehr haben wird – in anderen Ländern hatte es nie diese Bedeutung. Die Deutsche Telekom hat bereits verkündet, dass ISDN 2018 abgeschaltet und durch das **Next Generation Network** (NGN) mit paketvermittelter Netzinfrastruktur ersetzt wird. Spätestens 2022 wird Vodafone diesem Beispiel folgen. Wir belassen aber trotzdem dieses Kapitel in *LNTwww*.

Die theoretischen Grundlagen werden auf 37 Bildschirmseiten dargelegt. Außerdem beinhaltet dieses Kapitel noch 45 Grafiken, sieben Aufgaben und zwei Zusatzaufgaben mit insgesamt 44 Teilaufgaben sowie drei Lernvideos und fünf Interaktionsmodule (IM):

- **Analoge und digitale Signale** (LV, Grundlagen, 2-teilig, Dauer 3:46 – 3:28)
- **Eigenschaften des Übertragungskanal** (LV, Grundlagen, Dauer 5:50)
- **Pulscode modulation** (LV zu Kapitel 1.1, 3-teilig, Dauer 11:35 – 12:53 – 22:15)
- **Dämpfung von Kupferkabeln** (IM zu Kapitel 1.1)
- **Zeitverhalten von Kupferkabeln** (IM zu Kapitel 1.1)
- **Abtastung analoger Signale und Signalrekonstruktion** (IM zu Kapitel 1.1)
- **Signale, AKF und LDS der Pseudoternär codes** (IM zu Kapitel 1.2)
- **Prinzip der 4B3T-Codierung** (IM zu Kapitel 1.2)

Geeignete Literatur: [Boc97] – [Die03] – [Die04] – [Han08] – [HK99] – [HPS00] – [Irm07] – [Noc05] – [Obe98] – [PW95] – [Sie02]

Bei der Erstellung dieses Kapitel war **Hichem Kallel** im Rahmen seiner Studienarbeit von September 2007 bis März 2008 beteiligt. Die Betreuer seiner Studienarbeit waren gemeinsam Prof. Dr.-Ing. **Norbert Hanik** und Prof. Dr.-Ing. habil. **Günter Söder**.

Ziele und Merkmale von ISDN

Der seit Ende der 1980er Jahre etablierte Standard **ISDN** (*Integrated Services Digital Network*) ist ein dienstintegriertes digitales Kommunikationsnetz mit dem Ziel,

- die bis dahin übliche analoge Signalübertragung über Telefonleitungen zu digitalisieren und dadurch eine bessere Sprachqualität zu erzielen,
- die für die analoge Signalübertragung vorhandene Netzinfrastruktur – insbesondere die für teures Geld über viele Jahre verlegten Kupferkabel – weiter zu nutzen,
- verschiedene Informationsquellen wie Sprache, Texte, Daten und Videos, aber auch die zu dieser Zeit aufkommende Multimediakommunikation in einem einzigen Netz zu integrieren,
- unterschiedliche Fernmeldedienste wie Telefonieren, Faxen, Internetsurfen und vieles mehr über das bestehende Leitungsnetz gleichzeitig zu ermöglichen,
- die Zahl der erforderlichen Leitungen möglichst gering zu halten, ohne dadurch die Qualität der Übertragung zu beeinträchtigen, und schließlich
- eine Datenrate (Übertragungsgeschwindigkeit) von 64 kbit/s bereitzustellen, die bei der Einführung von ISDN auch für den Datenverkehr als ausreichend angesehen wurde.

Man unterscheidet bei ISDN zwischen

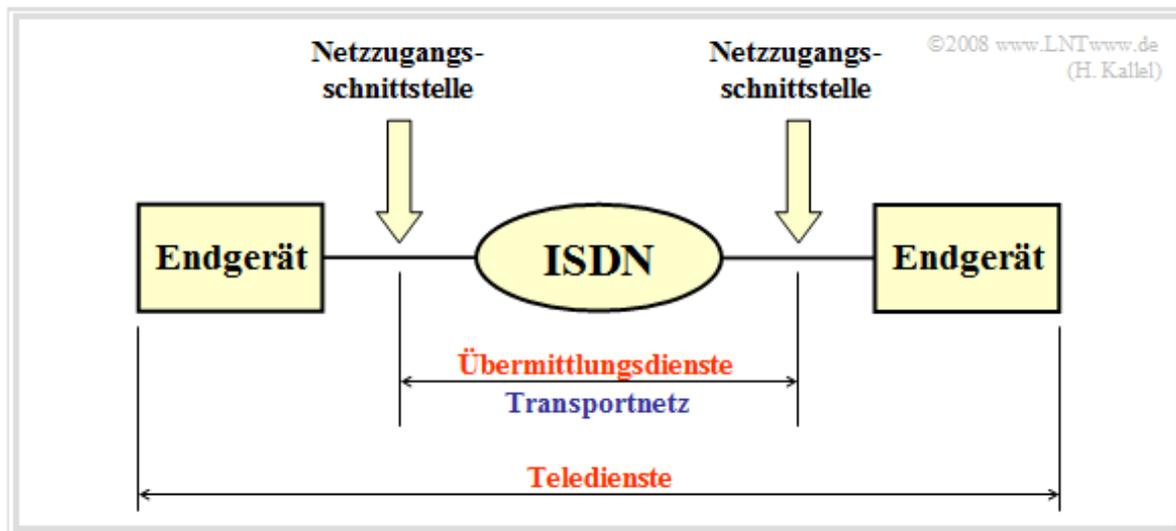
- dem **ISDN-Basisanschluss** mit zwei so genannten B-Kanälen (*Bearer Channels*) zu je 64 kbit/s und einem D-Kanal (*Data Channel*) mit 16 kbit/s – siehe **Kapitel 1.2** – und
- dem **ISDN-Primärmultiplexanschluss** mit 30 B-Kanälen sowie je einem Signalisierungs- und Synchronisationskanal, jeweils mit 64 kbit/s – siehe **Kapitel 1.3**.

Durch Kanalbündelung kann die Datenrate auf 128 kbit/s erhöht werden. Seit der ISDN-Einführung im März 1989 wurde zudem die Qualität der Sprachübertragung sowie die Bitfehlerquote bei der Datenübermittlung stetig verbessert. Durch das 1994 standardisierte **Breitband-ISDN** (*B-ISDN*) auf ATM-Basis sind auch noch deutlich höhere Datenraten möglich – siehe **Kapitel 1.4**.

Dienste und Dienstmerkmale von ISDN (1)

Die verfügbaren ISDN–Dienste können in zwei Gruppen aufgeteilt werden:

- Die **Übermittlungsdienste** (englisch: *Bearer Services*) dienen dem Informationstransport und sichern die Übertragung und die Vermittlung der Daten zwischen den Zugangsschnittstellen des Netzes. Dies entspricht Festlegungen in den drei ersten Schichten **PL** (Physical Layer), **DL** (Data Link Layer) und **NL** (Network Layer) des OSI–Referenzmodells.
- Die **Teledienste** (englisch: *Tele Services*) sind so genannte Ende–zu–Ende–Dienste, umfassen also auch die Endeinrichtungen. Dazu gehören vermittlungstechnische Funktionen und Protokolle in den Schichten 1 bis 3 sowie die Funktionen zur Steuerung der Kommunikationsprozesse in den Schichten 4 bis 7 des OSI–Referenzmodells.



Zu den Übermittlungsdiensten gehören

- die **leitungsvermittelten** Dienste, zum Beispiel die Datenübertragung mit 64 kbit/s (direkt auf dem S_0 –Bus oder über den Terminaladapter X21) sowie die Audioübertragung (Sprache und Musik zwischen 300 und 3400 Hz) wie beim analogen Telefonnetz,
- die **paketvermittelten** Dienste – beispielsweise der Zugang zum Paketnetz im B–Kanal.

Dienste und Dienstmerkmale von ISDN (2)

Die wichtigsten **Teledienste** sind:

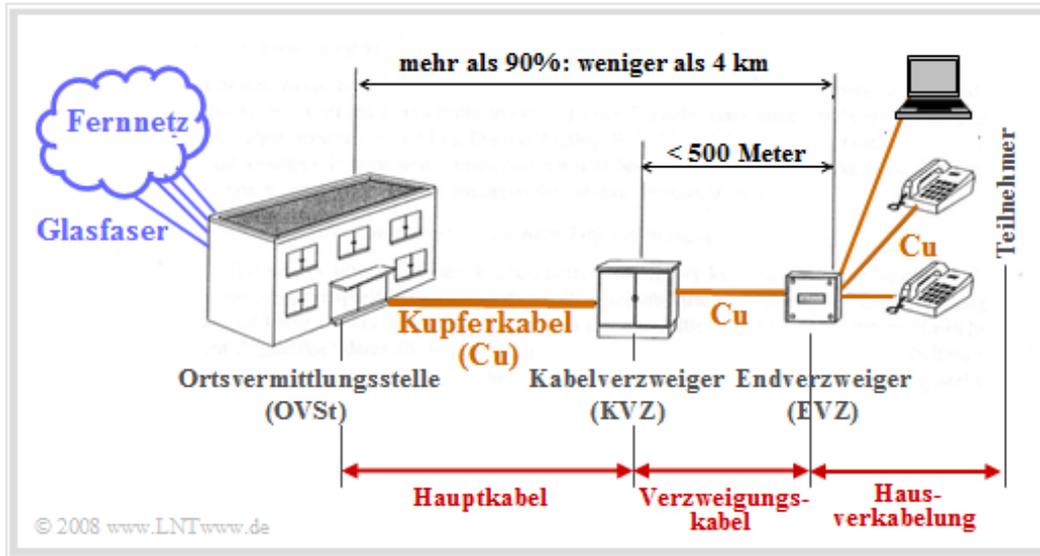
- ISDN–*Fernsprechen* mit einer Bandbreite von 3.1 kHz oder 7 kHz (bei B–ISDN) – auch mit Übergängen zum analogen Festnetz und zu Funknetzen,
- ISDN–*Teletext* mit einer Übertragungsgeschwindigkeit von 64 kbit/s und Übergängen zu den Telebox–Diensten (Briefkasten), T–Online–Diensten und Datex–L/P–Diensten,
- ISDN–*Telefax*, z. B. Fernkopierer der Gruppe 4 mit Übergängen zur Gruppe 3,
- ISDN–*Mixed Mode*, worunter man die gemischte, gleichzeitige Datenübertragung von Texten und Bildern versteht,
- ISDN–*T–Online* mit 64 kbit/s und Übergängen zu T–Online im analogen Telefonnetz sowie zu Telefax der Gruppe 3 und 4,
- *Videotelefonie* – in der Praxis allerdings lediglich als langsame Bewegtbildübertragung möglich,
- *Datenkommunikation* mit standardisierten Protokollen, wie zum Beispiel der Dateientransfer mit FTAM (vergleichbar, aber technisch nicht identisch zum Internet–Dienst FTP).

Die **Dienstmerkmale** als Teilmengen eines Dienstes lassen sich in drei Kategorien unterteilen:

- *Anschluss–Dienstmerkmale*, z. B. Wähl– oder Festverbindung, Leitungs– oder Paketvermittlung sowie die Endgeräteauswahl auf dem S₀–Bus,
- *Verbindungs–Dienstmerkmale*, z. B. schneller Verbindungsaufbau oder Konferenzverbindung,
- *Informations–Dienstmerkmal* wie Veranstaltungshinweise, Identifizieren anderer Teilnehmer, allgemeine Netzinformationen und Anzeige von Gebühren und Tarifen.

Netzinfrastruktur für das ISDN (1)

Das Anfang der 1980er Jahren konzipierte ISDN sollte aus Kostengründen das vorhandene analoge Telefonnetz nutzen. Den größten Kostenfaktor dieser Infrastruktur stellt der Teilnehmeranschlussbereich zwischen der Ortsvermittlungsstelle (OVSt) bzw. einem Hauptverteiler (HVt) und den Teilnehmern dar, da sich in diesem Bereich das Netz maximal verzweigt. In Deutschland ist diese so genannte „Last Mile“ im Landesdurchschnitt kürzer als 4 Kilometer, in städtischen Gebieten zu 90% sogar kürzer als 2.8 km.



Aufgrund der topologischen Gegebenheiten verzweigt sich das Telefonnetz sternförmig zum Endkunden hin immer mehr. Um nicht für jeden Teilnehmer ein separates Kupferkabel zur Ortsvermittlungsstelle legen zu müssen, wurden Verzweiger zwischengeschaltet und die Leitungen in entsprechend großen Kabeln gebündelt. Der **Teilnehmeranschlussbereich** setzt sich deshalb meist wie folgt zusammen:

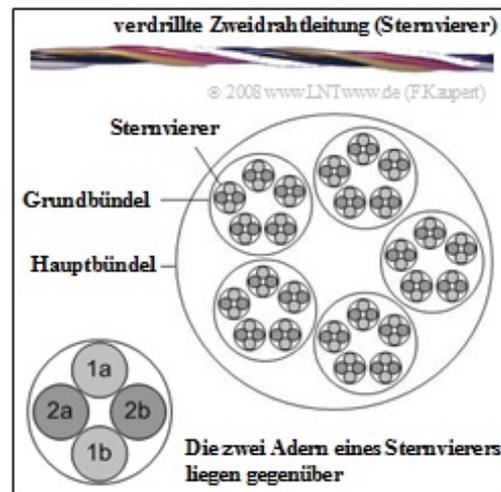
- das *Hauptkabel* mit bis zu 2000 Doppeladern zwischen OVSt/HVt und Kabelverzweiger (KVZ),
- das *Verzweigungskabel* zwischen KVZ und Endverzweiger (EVZ) mit bis zu 300 Doppeladern und mit maximal 500 Meter deutlich kürzer als ein Hauptkabel,
- das *Hausanschlusskabel* zwischen Endverzweiger und der Netzabschlussdose beim Teilnehmer mit zwei Doppeladern.

Um die induktiven und kapazitiven Beeinflussungen von benachbarten Leitungspaaren zu vermindern und damit die Packungsdichte zu erhöhen, werden zwei Doppeladern jeweils zu einem so genannten **Sternvierer** verseilt.

Die Abbildung zeigt einen solchen Sternvierer und ein Bündelkabel. Im dargestellten Beispiel werden

- je fünf solcher Vierer zu einem Grundbündel, und
- je fünf Grundbündel zu einem Hauptbündel

zusammengefasst. Das Kabel beinhaltet 50 Doppeladern mit PE-Isolierung.



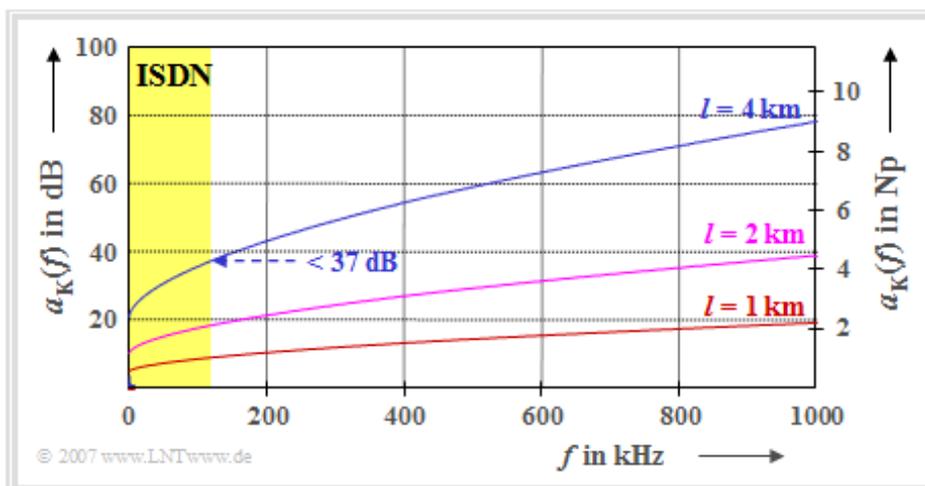
Netzinfrastruktur für das ISDN (2)

Im Bereich der Deutschen Bundespost (heute: Deutsche Telekom) wurden in der Vergangenheit Kupfer-Zweidrahtleitungen – in Netzplänen meist mit „Cu“ bezeichnet – mit Aderndurchmessern von 0.35 mm, 0.4 mm und 0.5 mm verlegt. Alle folgenden Aussagen beziehen sich auf Leitungen mit 0.4 mm Durchmesser. Für diese wurden zum Beispiel in [PW95] folgender empirisch gefundener Dämpfungs- und Phasenverlauf angegeben, wobei l die Leitungslänge bezeichnet:

$$\frac{a_K(f)}{\text{dB}} = \left[5.1 + 14.3 \cdot \left(\frac{f}{\text{MHz}} \right)^{0.59} \right] \cdot \frac{l}{\text{km}},$$

$$\frac{b_K(f)}{\text{rad}} = \left[32.9 \cdot \frac{f}{\text{MHz}} + 2.26 \cdot \left(\frac{f}{\text{MHz}} \right)^{0.5} \right] \cdot \frac{l}{\text{km}}.$$

Im **Kapitel 4** des Buches „Lineare zeitinvariante Systeme“ werden die Übertragungseigenschaften von Kupferleitungen im Detail beschrieben. Hier beschränken wir uns auf einige wenige Eigenschaften, die im Hinblick auf ihre Verwendung bei ISDN von Interesse sind.

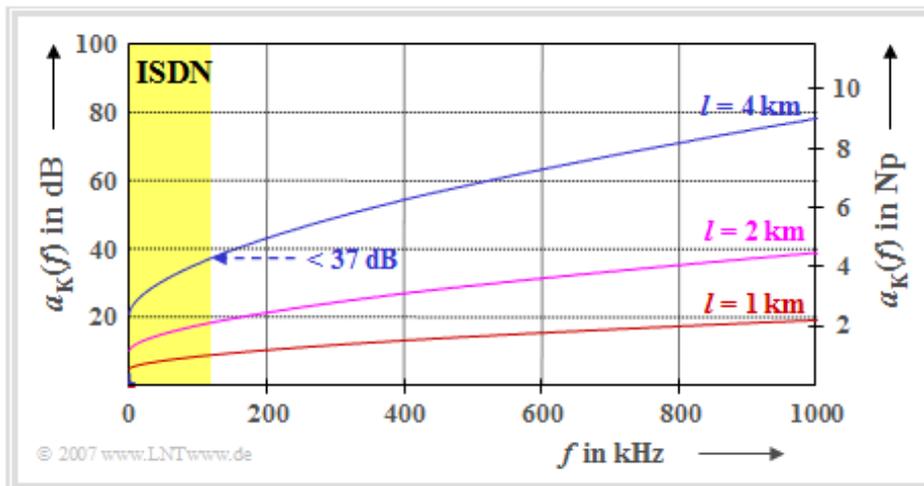


In der Grafik ist für die Leitungslängen $l = 1$ km, $l = 2$ km und $l = 4$ km bei 0.4 mm Leitungsdurchmesser der Dämpfungsverlauf im Frequenzbereich bis 1 MHz dargestellt. Die Bildbeschreibung folgt auf der nächsten Seite.

Hinweis: Mit dem nachfolgenden interaktiven Berechnungsmodul können Sie sich den Dämpfungsverlauf von symmetrischen Leitungen und Koaxialkabeln mit unterschiedlichen Abmessungen ansehen:

Dämpfungsverlauf von Kupferkabeln

Netzinfrastruktur für das ISDN (3)

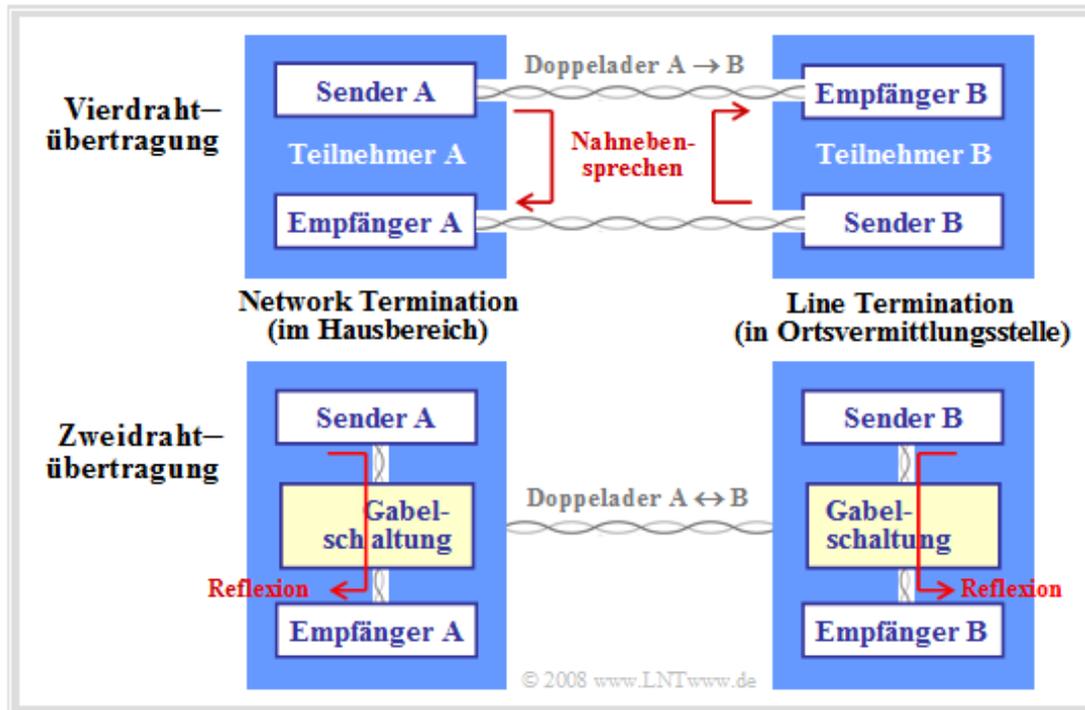


Man erkennt aus dem Dämpfungsverlauf für den Leitungsdurchmesser 0.4 mm:

- Die Dämpfungsfunktion $a_K(f)$ liegt für einen Kilometer Kabellänge zwischen 5.1 dB (bei $f = 0$) und 19.4 dB (bei $f = 1$ MHz). $a_K(f)$ ist proportional zur Kabellänge. Bei $l = 4$ km vervierfachen sich die oben angegebenen Werte.
- Kabellängen von 4 Kilometern treten bei ISDN höchstens auf dem U_{K0} -Bus auf, also auf der Verbindung zwischen Ortsvermittlungsstelle und Endverzweiger. Die Symbolfolgefrequenz beträgt hier aufgrund der 4B3T-Codierung nur 120 kHz.
- In der Grafik ist dieser ISDN-relevante Bereich gelb hinterlegt. Bei 120 kHz und $l = 4$ km beträgt die Dämpfung ca. 37 dB, ist also im Vergleich zum breitbandigen DSL (*Digital Subscriber Line*) eher moderat, so dass die Kabeldämpfung bei ISDN kein beschränkender Systemparameter ist.
- Der dargestellte Dämpfungsverlauf gilt allein für das Übertragungsmedium „Zweidrahtleitung“. Im ISDN-Zugangsnetz gibt es aber daneben auch Übertrager mit der Konsequenz, dass darüber Gleichsignalanteile nicht übertragen werden können.
- Für das ISDN-System bedeutet diese Tatsache, dass im Zugangsnetz (auf dem U_{K0} -Bus) durch eine Leitungscodierung – genauer gesagt durch den **4B3T-Code** – die Gleichsignalfreiheit des Sendesignals gewährleistet werden muss.
- Weiterhin war bei der Konzipierung von ISDN zu berücksichtigen, dass bei Zweidrahtleitungen in Kabelbündeln das Nebensprechen von benachbarten Adern die dominante Störquelle darstellt und nicht etwa das thermische Rauschen wie bei einem Koaxialkabelsystem.
- Deshalb kann bei dieser Infrastruktur die Fehlerwahrscheinlichkeit nicht durch eine Erhöhung der Sendeleistung abgesenkt werden, da man durch einen höheren Pegel das Störsignal (für andere Doppeladern) in gleicher Weise verstärken würde wie das Nutzsignal.
- Von den Nebensprechstörungen ist **Nahnebensprechen** gefährlicher als Fernnebensprechen. Nahnebensprechen ergibt sich, wenn zwei benachbarte Doppeladern in unterschiedliche Richtung betrieben werden, so dass der gestörte Empfänger örtlich nahe beim störenden Sender liegt. Dagegen wird bei Fernnebensprechen die induzierte Störleistung durch die Kabeldämpfung merklich abgeschwächt und hat so geringere Auswirkungen.

Vierdraht- und Zweidrahtübertragung

Eine Kommunikationsverbindung arbeitet meist – so auch bei ISDN – im **Vollduplexbetrieb**, das heißt, die beiden Kommunikationspartner senden kontinuierlich und unabhängig voneinander. Um diese Betriebsart zu gewährleisten, sind zwei Varianten möglich, die in der Grafik dargestellt sind. Die Sende- und Empfangseinrichtung beim Kunden (Teilnehmer A) wird als *Network Termination* (NT) bezeichnet, die entsprechende Gegenstelle in der Ortsvermittlungsstelle heißt *Line Termination* (LT).



Es gibt zwei Möglichkeiten für einen solchen Vollduplexbetrieb:

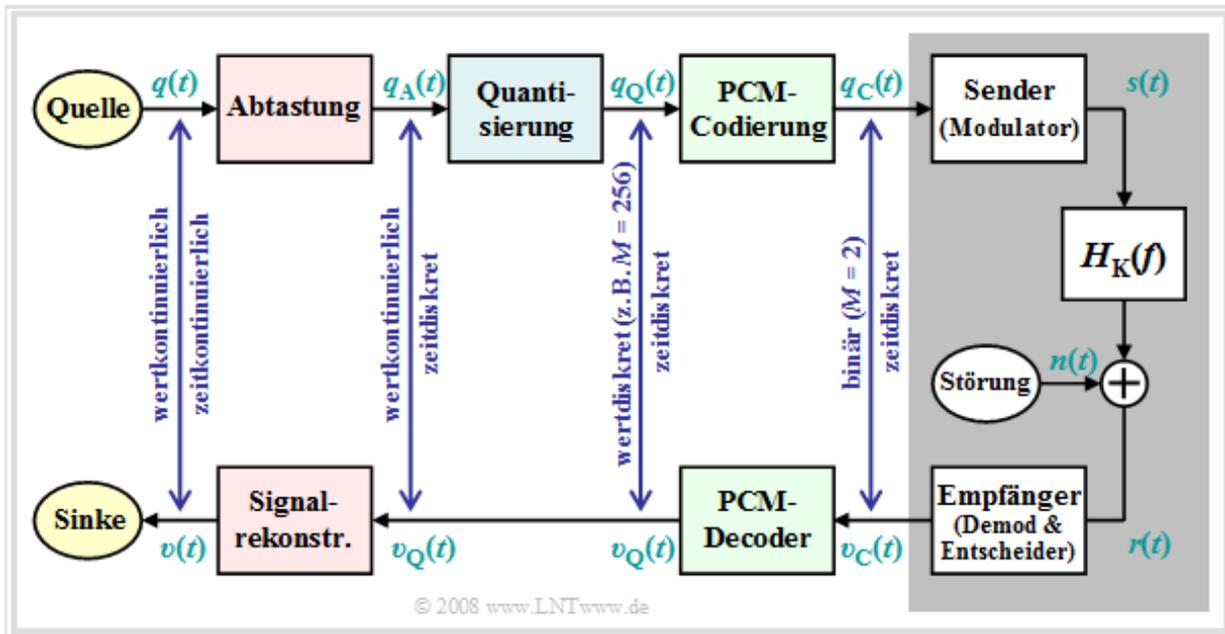
- Man kann die Kommunikation von A → B und die Gegenrichtung von B → A über getrennte Leitungen realisieren. Diese nicht unbedingt ökonomische **Vierdrahtübertragung** wird bei ISDN im Hausanschlussbereich – dem sogenannten **S₀-Bus** – angewendet, wobei für jede Richtung eine Doppelader zur Verfügung gestellt wird.
- Ökonomischer ist die gemeinsame Nutzung einer Doppelader für beide Richtungen – also die so genannte **Zweidrahtübertragung**. Diese wird bei ISDN im Zugangsnetz – auf dem so genannten **U_{K0}-Bus** – angewendet. Da für beide Richtungen der gleiche Frequenzbereich benutzt wird, spricht man auch vom *Zweidraht-Frequenzgleichlageverfahren*.

Bei der Vierdrahtübertragung kann es über die ersten Meter der Leitung durch induktive oder kapazitive Kopplungen zu *Nahnebensprechen* (siehe vorherige Seite) kommen, das heißt, der Sender stört den eigenen Empfänger.

Bei der Zweidrahtvariante ist die interne Reflexion des Sendesignals in den (eigenen) Empfänger die dominante Störungsursache, die bei schmalbandigen Sendesignalen (beispielsweise Sprache) durch eine **Gabelschaltung** vermieden oder zumindest vermindert werden kann. Bei Breitbandsignalen sind zusätzlich aufwändige adaptive Verfahren zur Echokompensation erforderlich.

Einige Grundlagen von PCM (1)

Das ISDN-Konzept basiert weitgehend auf der **Pulscode modulation** (PCM), deren Grundzüge schon 1938 von **Alec Reeves** entwickelt wurden. Dieses wichtige Grundlagengebiet der digitalen Modulation und der Digitalsignalübertragung wird im **Kapitel 4.1** des Buches „Modulationsverfahren“ detailliert beschrieben. Hier folgt eine kurze Zusammenfassung in Hinblick auf die Verwendung bei ISDN.



Die Grafik zeigt das Blockschaltbild des PCM-Übertragungssystems, das an die Gegebenheit bei ISDN angepasst ist. Man erkennt:

- Das analoge (das heißt: wert- und zeitkontinuierliche) Quellensignal $q(t)$ wird durch die drei Funktionsblöcke **Abtastung** – **Quantisierung** – **PCM-Codierung** in das Binärsignal $q_C(t)$ gewandelt. In der Grafik geschieht dies im oberen Signalpfad.
- Der grau hinterlegte Block zeigt das digitale Übertragungssystem mit Sender, Kanalverzerrungen und Rauschaddition sowie dem Digitalempfänger, der unter anderem einen Entscheider beinhaltet. Das Kanalausgangssignal $v_C(t)$ ist wie $q_C(t)$ ein Binärsignal.
- Im unteren Zweig erkennt man zunächst den PCM-Decoder mit dem immer noch zeitdiskreten, nun aber höherstufigen Ausgangssignal $v_Q(t)$. Anschließend folgt die **Signalrekonstruktion** zur Gewinnung des Analogsignals $v(t)$, wozu ein idealer, rechteckförmiger Tiefpass ausreicht.
- Für die Quantisierung gibt es empfängerseitig keine Entsprechung, das heißt, die beim Sender unvermeidbaren Quantisierungsfehler sind irreversibel. Deshalb gilt bei PCM wie bei jeder Form von Digitalsignalübertragung stets $v(t) \neq q(t)$.
- Ein wichtiger Quantisierungsparameter ist die Stufenzahl $M = 2^N$, wobei N die Anzahl der für einen Abtastwert erforderlichen Binärzeichen angibt. Je größer N ist, desto weniger stark ist der störende Einfluss der Quantisierung und um so höher die Qualität des PCM-Systems.

Alle diese Aussagen gelten für PCM allgemein. Auf der nächsten Seite werden die Besonderheiten der Pulscode modulation bei ISDN genannt.

Einige Grundlagen von PCM (2)

Die Abtastung im Zeitabstand T_A erfolgt entsprechend dem **Abtasttheorem**. Dieses besagt:

- Besitzt das Spektrum $Q(f)$ des analogen Quellensignals Anteile bis zur Frequenz $f_{\text{NF, max}}$ so muss die Abtastrate folgende Bedingung erfüllen:

$$f_A = \frac{1}{T_A} \geq 2 \cdot f_{\text{NF, max}}$$

- ISDN–Telefonsignale enthalten Spektralanteile zwischen 300 Hz und 3400 Hz und die Abtastrate beträgt $f_A = 8 \text{ kHz} \Rightarrow T_A = 125 \text{ } \mu\text{s}$. Somit ist das Abtasttheorem erfüllt.

Wie bereits erwähnt, führt die Quantisierung auf M mögliche Eingangswerte zu irreversiblen Fehlern. Wegen der nachfolgenden binären PCM–Codierung wird für M stets eine Zweierpotenz gewählt. Damit lässt sich jeder der M –stufigen Eingangswerte durch $N = \text{ld}(M)$ Binärsymbole (Bit) darstellen. Bei dieser Dimensionierung ist zu beachten:

- Das Quantisierungs–Signal–zu–Störleistungsverhältnis ist $\rho_Q \approx M^2 = 2^{2N}$. Diese Größe beschreibt das resultierende SNR ρ_v an der Sinke unter der Voraussetzung, dass nicht zusätzlich noch Übertragungsfehler auftreten. Bei Berücksichtigung von Störungen/Rauschen ist das Sinken–SNR ρ_v stets kleiner als das Quantisierungs–SNR ρ_Q .
- Durch große Werte von M bzw. N kann man die PCM–Qualität auf Kosten des Aufwands, der Übertragungsrate und der damit erforderlichen HF–Bandbreite erhöhen. Bei ISDN wurde mit $N = 8 \Rightarrow M = 256$ ein (für die 1990er Jahre) guter Kompromiss zwischen wünschenswerter Qualität und erforderlicher Bitrate standardisiert.
- Die ISDN–Bitrate (für jeden der beiden B–Kanäle) beträgt entsprechend den obigen Angaben $8 \cdot 8000 \text{ 1/s} = 64 \text{ kbit/s}$. Das Quantisierungs–SNR ist somit gleich
$$\rho_Q = 2^{16} \Rightarrow 10 \cdot \lg \rho_Q = 10 \cdot \lg 2^{16} \approx 48 \text{ dB.}$$
- Bei CD–Qualität ($N = 16 \Rightarrow M = 65536$) würde sich $10 \cdot \lg \rho_Q \approx 96 \text{ dB}$ ergeben. Dazu müsste allerdings die Bitrate auf 128 kbit/s verdoppelt werden.

Betrachten wir nun den grauen Block im PCM–Blockschaltbild. Bei ISDN beinhaltet der Sender keinen Modulator zur Frequenzumsetzung und der Empfänger keinen Demodulator. Das heißt: ISDN ist ein **Basisbandübertragungssystem** mit folgenden Besonderheiten:

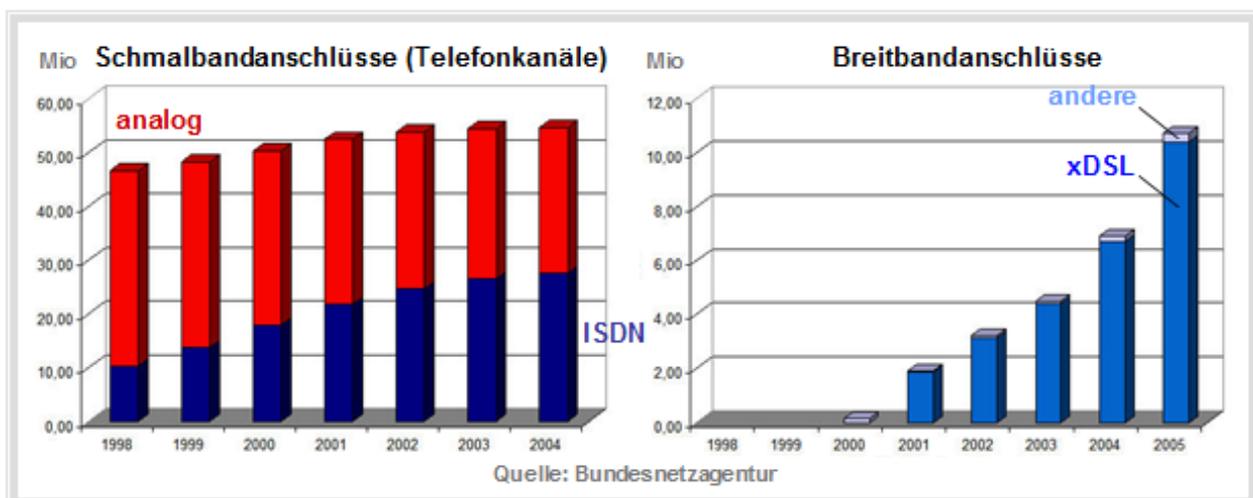
- Beim ISDN–Übertragungssystem wird ein redundantes ternäres Sendesignal $s(t)$ verwendet, wobei auf der S_0 –Schnittstelle (Hausanschluss) der modifizierte AMI–Code zum Einsatz kommt und auf der U_{K0} –Schnittstelle (Zugangsnetz) ein 4B3T–Code.
- Die dominante Störung $n(t)$ ist das Nahbensprechen von benachbarten Leitungspaaren. Viele der im Buch „Digitalsignalübertragung“ für AWGN–Rauschen angegebenen Aussagen gelten bei dieser Störungsart nur bedingt.

Entstehung und historische Entwicklung

Nachfolgend sind einige Daten zur historischen Entwicklung der digitalen Übertragungstechnik und Vermittlungstechnik – insbesondere von ISDN – zusammengestellt. Hierbei beschränken wir uns vorwiegend auf die Entwicklungen in Deutschland. Weitere Informationen hierüber findet man in [Sie02].

- **Um 1970** – Weltweit wird die Notwendigkeit digitaler Teilnehmeranschlüsse erkannt; dies ist der Anfang der digitalen Übertragungstechnik mit Pulsmodulation (PCM).
- **1979** – Entscheidung der Deutschen Bundespost (DBP), alle Vermittlungsstellen zu digitalisieren.
- **Um 1980** – Erste ISDN-Spezifikation durch *Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique* (CCITT) – heute International Telecommunication Union (ITU).
- **1982** – Entscheidung der DBP für die Einführung von ISDN und Konkretisierung der Pläne. Bis zur Einführung dauert es allerdings noch sieben Jahre.
- **1984/85** – Die DBP nimmt die ersten digitalen Fern- und Ortsvermittlungsstellen in Betrieb.
- **1987** – Start zweier ISDN-Pilotprojekte der DBP in Mannheim und Stuttgart.
- **1989** – Beginn des offiziellen Betriebs des nationalen ISDN nach dem ITR6-Standard am 08.03. auf der CeBIT in Hannover; Spezifikation eines europaweit einheitlichen ISDN (Euro-ISDN).
- **1993/94** – ISDN-Flächendeckung in den alten Ländern der Bundesrepublik Deutschland; Beginn des Breitband-ISDN-Pilotprojekts (ATM) der inzwischen privatisierten Deutschen Telekom.
- **1995** – Offizielle Einführung des europaweiten ISDN nach dem DSS1-Standard (Euro-ISDN).
- **1996** – Einführung des Breitband-ISDN-Regeldienstes.
- **1998** – Vollständig digitalisiertes Netz in Deutschland.

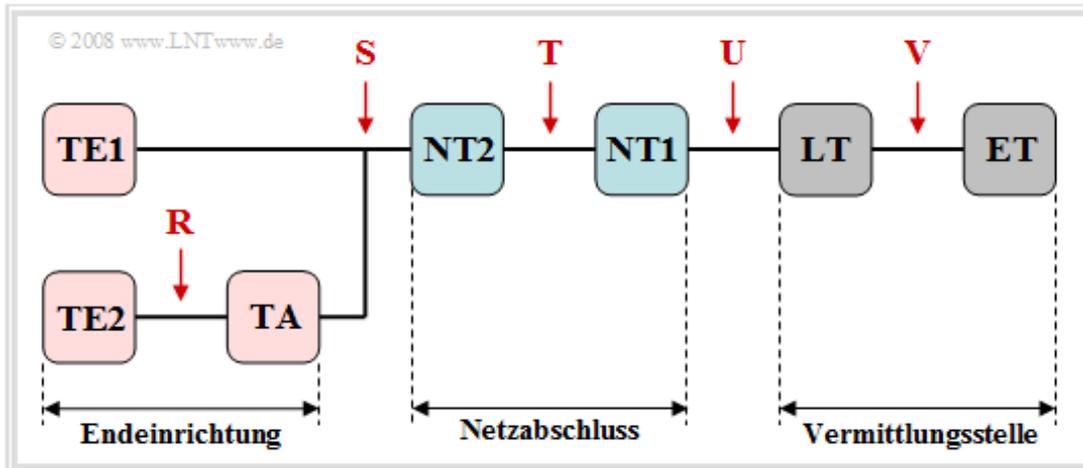
Die linke Grafik zeigt die Zunahme der ISDN-Teilnehmer in Deutschland (blaue Balken). Bereits 1999 wird die Zehnmillionen-Marke überschritten und 2002 gibt es schon 20 Millionen ISDN-Teilnehmer in Deutschland. Im Jahr 2004 sind schon die Hälfte aller Schmalbandkanäle digital, nachdem die Zahl der analogen Telefonanschlüsse schon ab 2000 deutlich weniger wurden.



Aus der Grafik kann man aber auch eine gewisse Sättigung (mathematisch ausgedrückt: eine negative zweite Ableitung) der ISDN-Kurve ablesen. Dies hängt unmittelbar mit der Erfolgsgeschichte von DSL (*Digital Subscriber Line*) zusammen, die etwa 2001 beginnt. Hierzu mehr im Kapitel 2 dieses Buches.

Einige Begriffserklärungen

Die häufigste ISDN-Anschlussart ist der so genannte **Basisanschluss** (englisch: *Basic Rate Interface – BRI*), der insbesondere von Privatkunden und mittleren Unternehmen genutzt wird.



Wie in der Grafik dargestellt, besteht ein ISDN-Anschluss aus folgenden Funktionsgruppen:

- *Terminal Equipment* Typ 1 (TE1, ISDN-Endgerät),
- *Terminal Equipment* Typ 2 (TE2, analoges Endgerät),
- *Terminal Adapter* (TA, Endgeräte-Adapter),
- *Network Termination* 1 (NT1, Netzabschluss 1),
- *Network Termination* 2 (NT2, Netzabschluss 2, optional),
- *Line Termination* (LT, Leitungsabschluss),
- *Exchange Termination* (ET, Vermittlungsabschluss).

Die Referenzpunkte zwischen den einzelnen Funktionsgruppen werden mit R, S, T, U und V bezeichnet. Daraus ergeben sich auch die üblichen ISDN-Bezeichnungen verschiedener Busse:

- **S₀-Bus**: Referenzpunkt S zwischen dem Teilnehmeranschlussbereich und dem Netzabschluss; die **0** steht für Basisanschluss.
- **U_{K0}-Bus**: Referenzpunkt U zwischen dem Netzabschluss und der Ortsvermittlungsstelle; das **K** steht für Kupferkabel und die **0** wiederum für Basisanschluss.

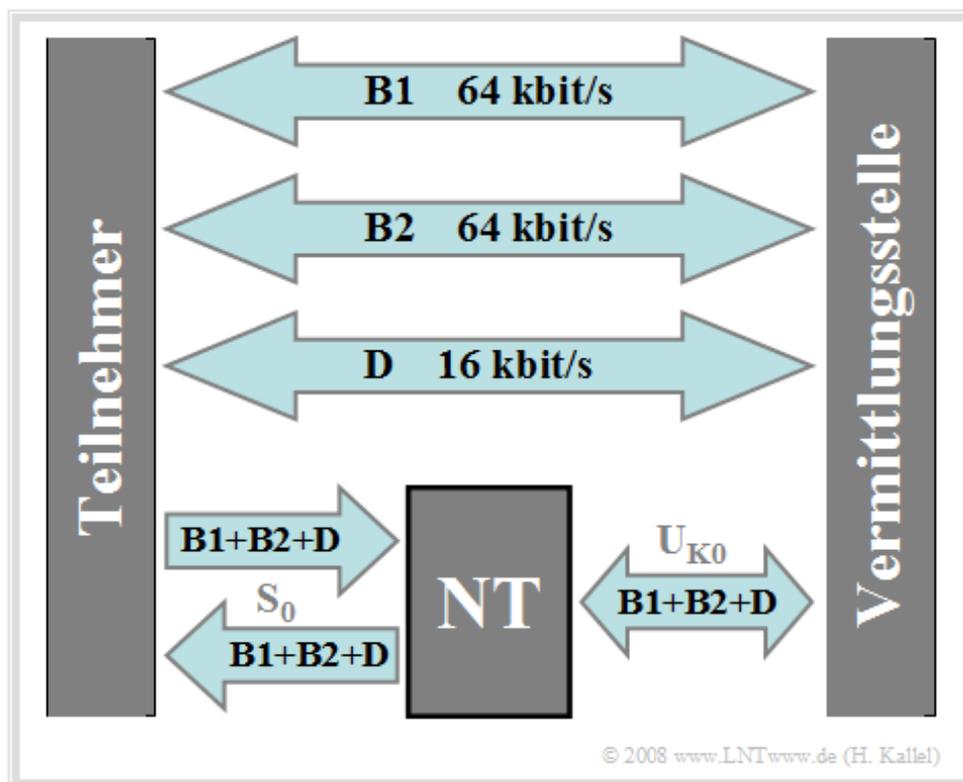
Auf den nächsten Seiten werden diese Teilnehmeranschlusskonfiguration sowie die Schnittstellen des ISDN-Basisanschlusses im Detail beschrieben.

Logische Kanäle

Der Basisanschluss besteht aus mindestens drei Kanälen, nämlich zwei Nutzkanälen (B-Kanäle) mit jeweils 64 kbit/s und einem Signalisierungskanal (D-Kanal) mit 16 kbit/s.

- Ein **B-Kanal** (englisch: *Bearer Channel*) wird zur Übertragung von Nutzinformationen (Sprache, Texte, Bilder, Daten, usw.) verwendet. Zwei B-Kanäle können gleichzeitig aktiv sein, unabhängig voneinander operieren und verschiedene Zieleinrichtungen haben.
- Der **D-Kanal** (englisch: *Data Channel*) ist hauptsächlich für die Steuerung der Verbindungen der B-Kanäle zuständig. Er sorgt insbesondere für den Auf- und Abbau der Verbindungen und für die Kommunikationssteuerung.
- Zusätzlich kann der D-Kanal für die **Datenübertragung** genutzt werden. Aufgrund der niedrigen Datenrate (16 kbit/s) ist dies aber nur für Anwendungen mit sehr geringem Datenaufkommen interessant, zum Beispiel für Überwachungsanlagen oder Online-Buchungssysteme.

Die Grafik zeigt die logischen Kanäle des ISDN-Basisanschlusses. Dem Teilnehmer steht mit den beiden Basiskanälen (je 64 kbit/s) und dem kombinierten Daten- und Signalisierungskanal (16 kbit/s) somit eine **Gesamt-Nettobandbreite von 144 kbit/s** zur Verfügung.



Alle logischen Kanäle sind bidirektional. Im unteren Teil der Grafik ist die Umsetzung im Basisanschluss dargestellt:

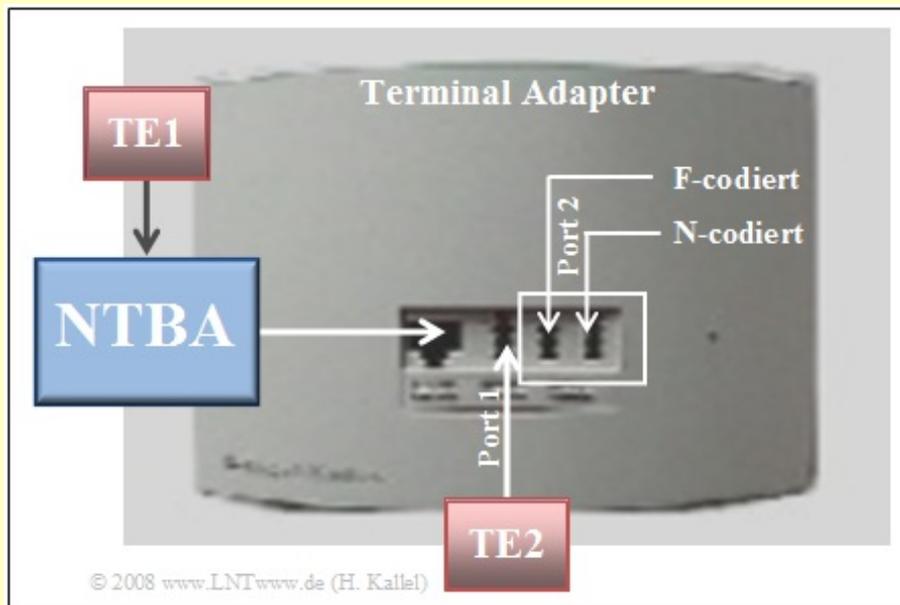
- Zwischen der Vermittlungsstelle und dem Netzabschluss – also auf dem U_{K0}-Bus – gibt es eine **Zweidrahtverbindung**, die in beiden Richtungen betrieben wird.
- Dagegen wird im Hausanschlussbereich – auf dem S₀-Bus – die **Vierdrahtübertragung** genutzt, wobei für die beiden Richtungen je eine Doppelader benötigt wird.

Endeinrichtungen für ISDN

Man unterscheidet bei ISDN zwei verschiedene Arten von Endgeräten:

- **Terminal Equipment Typ 1 (TE1)**: Hierzu gehören beispielsweise ISDN-fähige Telefone, ISDN-Faxgeräte der Gruppe 4 und ISDN-PC-Karten. Diese Endgeräte werden unmittelbar an der Schnittstelle S_0 über den Netzabschluss (NTBA) angeschlossen.
- **Terminal Equipment Typ 2 (TE2)**: Darunter versteht man Endeinrichtungen für das analoge Fernsprechnetz (Telefone, Faxgeräte der Gruppe 3 und herkömmliche Modems), die über einen *Terminal Adapter* an die S_0 -Schnittstelle angeschlossen werden müssen.
- **Terminal Adapter (TA)**: Damit können bei ISDN auch TE2-Geräte genutzt werden. Solche Adapter können sowohl analoge Schnittstellen zum Endgerät (sog. a/b-Schnittstellen) besitzen als auch digitale Schnittstellen zum Anschluss von Endgeräten, zum Beispiel mit V.24 oder X21.

Beispiel: Die Grafik zeigt eine ISDN-Konfiguration. In der Mitte ist der Terminal-Adapter *TA2a/b Komfort* der Deutschen Telekom dargestellt, der Bestandteil des uni@home-Paketes ist.



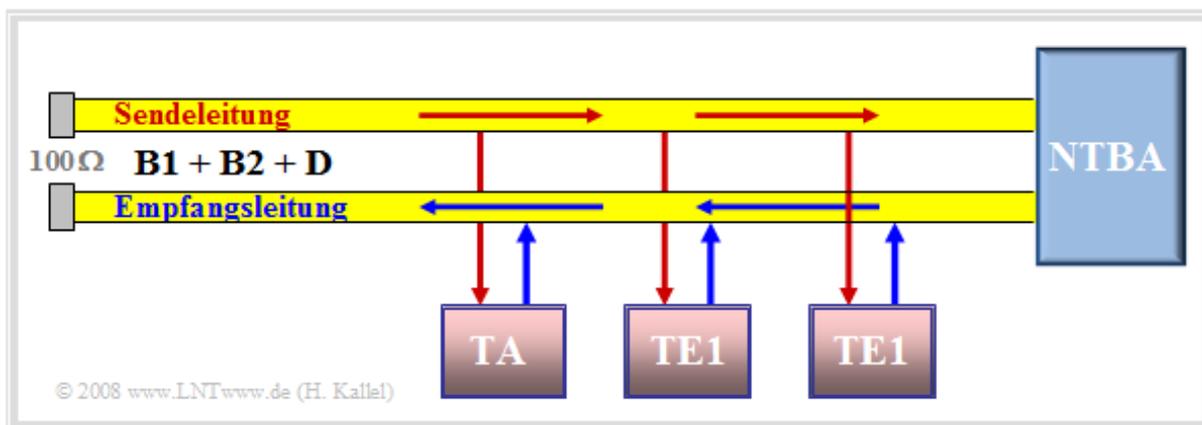
Dieser besitzt zwei integrierte a/b-Ports mit drei TAE-Steckbuchsen für analoge Endgeräte:

- Der Port 1 ist universal-codiert; man spricht hier wirklich von „Codierung“, auch wenn diese Steckerbelegung mit einer Codierung im nachrichtentechnischen Sinne nichts zu tun hat. An diesen Port kann man TE2-Endgeräte jeder Art (Telefon, Fax, Modem, usw.) anschließen.
- Der Port 2 besteht aus einer N-codierten (steht für *Non-Voice*-Geräte) TAE-Buchse wie Fax, Anrufbeantworter, usw. und einer F-codierten Buchse für ein Telefon. Bei Port 2 kann nur jeweils einer der beiden Eingänge aktiv sein.

Allgemeine Beschreibung der S₀-Schnittstelle (1)

Der **S₀-Bus** ist ein hausinterner Bus und stellt die Verbindung zwischen dem **Netzabschlussadapter** (NTBA oder NT) und den ISDN-Endgeräten (TE) dar. An maximal zwölf Anschlussdosen lassen sich gleichzeitig bis zu acht Endgeräte anschließen wie zum Beispiel Telefone, Faxgeräte, ISDN-Karten und auch ISDN-Nebenstellenanlagen. Ein solcher **ISDN-Mehrgeräteanschluss** verfügt über:

- drei Mehrfachrufnummern (*Multiple Subscriber Number*, MSN) – bis auf zehn erweiterbar,
- zwei Nutzkanäle (B-Kanäle) mit jeweils 64 kbit/s für die verschiedenen Dienste,
- einen Signalisierungs- bzw. Datenkanal mit 16 kbit/s,
- zwölf Anschlussdosen mit bis zu acht angeschlossenen Geräten (aber nur vier Sprach-Endgeräte).



Aus der Grafik erkennt man:

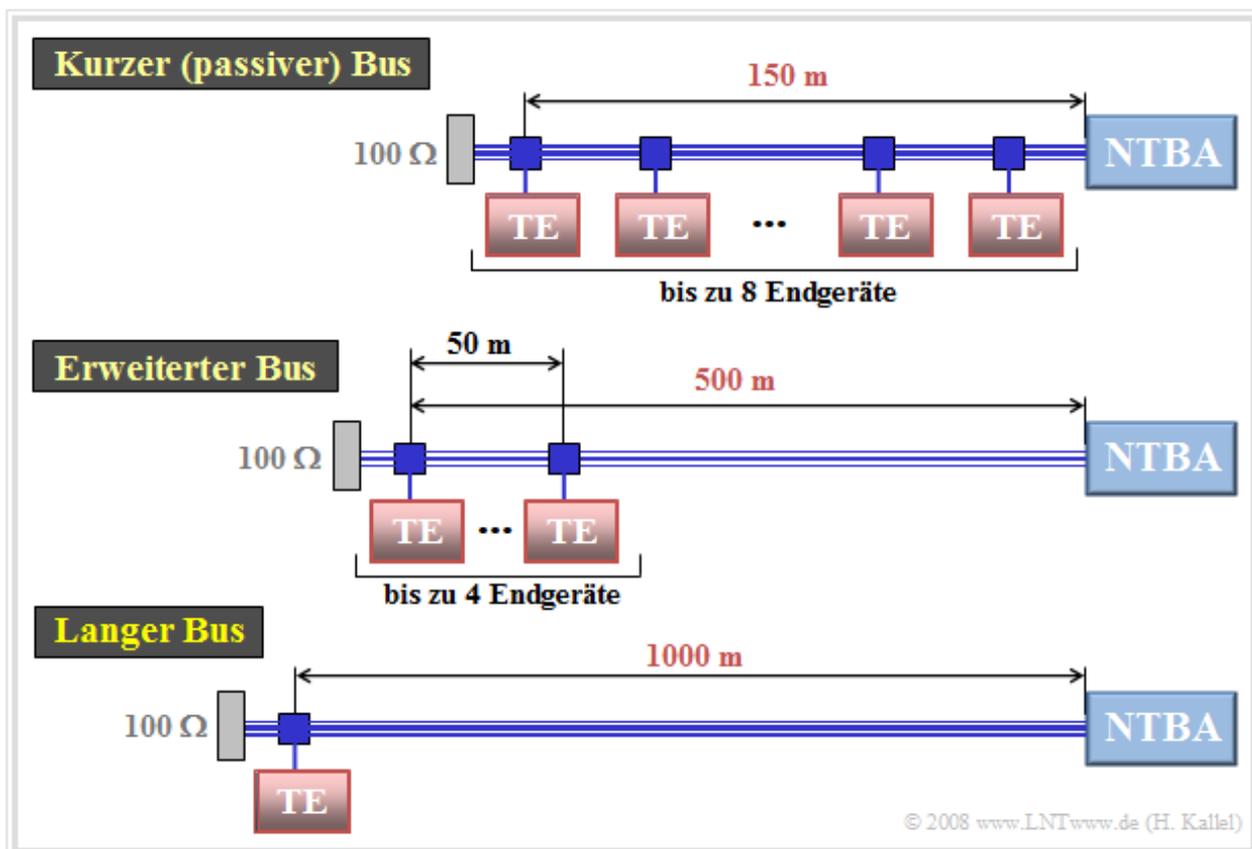
- Von einer vieradrigen Kupferleitung werden zwei Adern (eine Doppelader) für den Transport der Daten vom Endgerät (TE) zum NTBA belegt (Sendeleitung) und die andere Doppelader für den Datentransfer vom NTBA zum TE (Empfangsleitung).
- Beachten Sie bitte, dass in manchen Fachartikeln die Richtung TE → NTBA als Empfangsleitung und die Gegenrichtung NTBA → TE als Sendeleitung bezeichnet wird. Diese gegenüber unserem Tutorial unterschiedliche Beschreibung ergibt sich aus der Sicht des NTBA.
- Der S₀-Bus stellt zwei B-Kanäle (B1 und B2) für die Nutzdatenübertragung mit je 64 kBit/s und den D-Kanal mit 16 kbit/s für die Signalisierung beim Verbindungsaufbau und für verschiedene Synchronisationsdaten bereit.
- Daraus ergibt sich für den S₀-Bus eine Netto-Übertragungsrate von 144 kbit/s pro Richtung. Die **Brutto-Übertragungsrate** unter Berücksichtigung von **Steuerbits** beträgt **192 kbit/s**.

Allgemeine Beschreibung der S₀-Schnittstelle (2)

Über den S₀-Bus können mehrere Endgeräte an den Netzabschluss (*Network Termination for ISDN Basic Rate Access*, NTBA) parallel angeschlossen werden. Die offenen Leitungsenden müssen mit dem Wellenwiderstand von 100 Ω (reell) terminiert werden, da es sonst zu Reflexionen kommt.

Der S₀-Bus reagiert im allgemeinen tolerant gegenüber Fehlanpassungen, doch sind in diesem Fall gewisse Längenbegrenzungen und Installationsregeln zu beachten. Die möglichen Verkabelungsarten für den S₀-Bus in der Betriebsart *Mehrgeräteanschluss* sind in der unteren Grafik dargestellt:

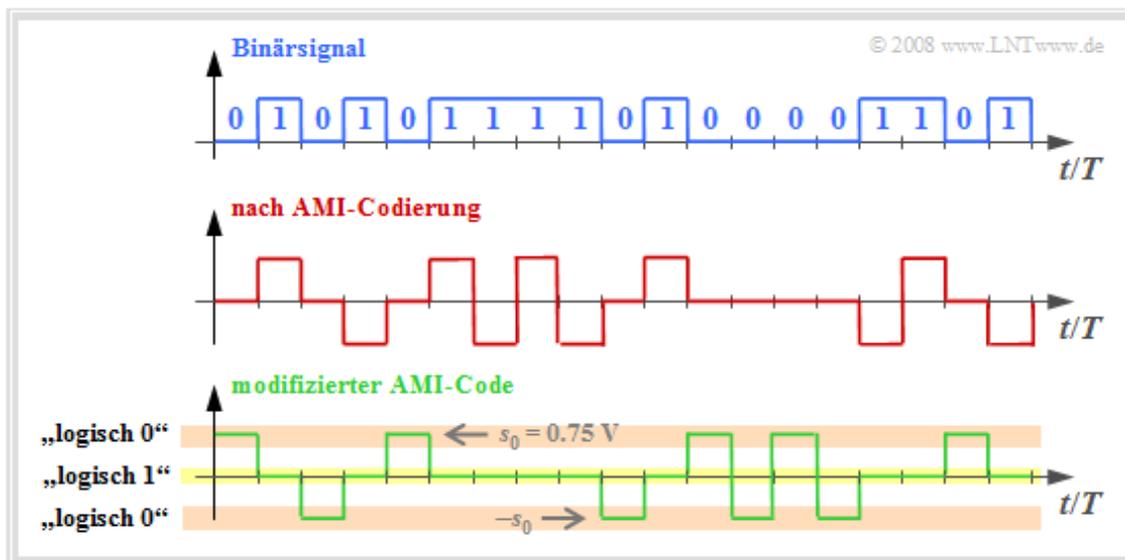
- Die übliche Anschlussart ist der **kurze passive Bus** mit maximal 150 Meter Länge. An diesen können bis zu acht Endgeräte – beliebig verteilt – angeschlossen werden. Auf den Zusatz „passiv“ verzichten wir im Folgenden, auch bei den anderen Anschlussarten.
- Der **erweiterte Bus** ist mindestens 100 Meter und höchstens 500 Meter lang. Angeschlossen werden können maximal vier Endgeräte, allerdings dürfen diese nur innerhalb der letzten 50 Meter vor dem Abschlusswiderstand positioniert sein.
- Bei einem Punkt-zu-Punkt-Anschluss kann die Kabellänge bis zu 1000 Meter betragen. Man spricht in diesem Fall von einem **langen Bus**. Es ist zu beachten, dass bei dieser Länge aber nur ein einziges Endgerät angeschlossen werden kann („Einzelanschluss“).



Nachrichtentechnische Aspekte der S₀–Schnittstelle

Auf dem S₀–Bus werden die beiden B–Kanäle und der D–Kanal zusammen mit Synchronisations– und Steuerbits im Rahmen zu je 48 Bit im Zeitmultiplex übertragen. Anwendung findet der **modifizierte AMI–Code** (der Name steht für *Alternate Mark Inversion*), der wie folgt charakterisiert werden kann:

- Die logische (binäre) „1“ wird durch den Spannungswert 0 V dargestellt und die logische (binäre) „0“ abwechselnd mit +s₀ bzw. –s₀, wie der Vergleich des oberen und des unteren Signalverlaufs in der Grafik zeigt. Bei ISDN ist der Aussteuerbereich s₀ = 0.75 V festgelegt.
- Die Pseudoternärcodierung stellt sicher, dass der S₀–Bus jederzeit gleichspannungsfrei bleibt. Die Redundanz von $1 - 1/d (3) \approx 37\%$ wird bei ISDN beispielsweise zur Rahmensynchronisation verwendet, in dem man zur Markierung von Rahmen die AMI–Codierregeln gezielt verletzt.
- Der S₀–Bus ist durch die logische UND–Verknüpfung beschreibbar. Das heißt, dass der NTBA nur dann die logische „1“ empfängt, wenn alle Endgeräte eine logische „1“ – also den Nullpegel – senden. Sendet auch nur ein Gerät die logische „0“, so wird diese auch empfangen.
- Alle Endgeräte beziehen ihren Takt vom NTBA und arbeiten bitsynchron. Das Ruhesignal ist stets der Nullpegel, also die logische „Dauer–Eins“. Da zudem im D–Kanal alle Geräte eine „0“ immer mit gleicher Polarität senden, können sich Impulse nicht gegenseitig auslöschen.



Die Grafik verdeutlicht den Unterschied zwischen modifiziertem und **herkömmlichem AMI–Code**, nämlich die Vertauschung von „0“ und „1“ beim Binärsignal. Der Grund für diese Vertauschung ist:

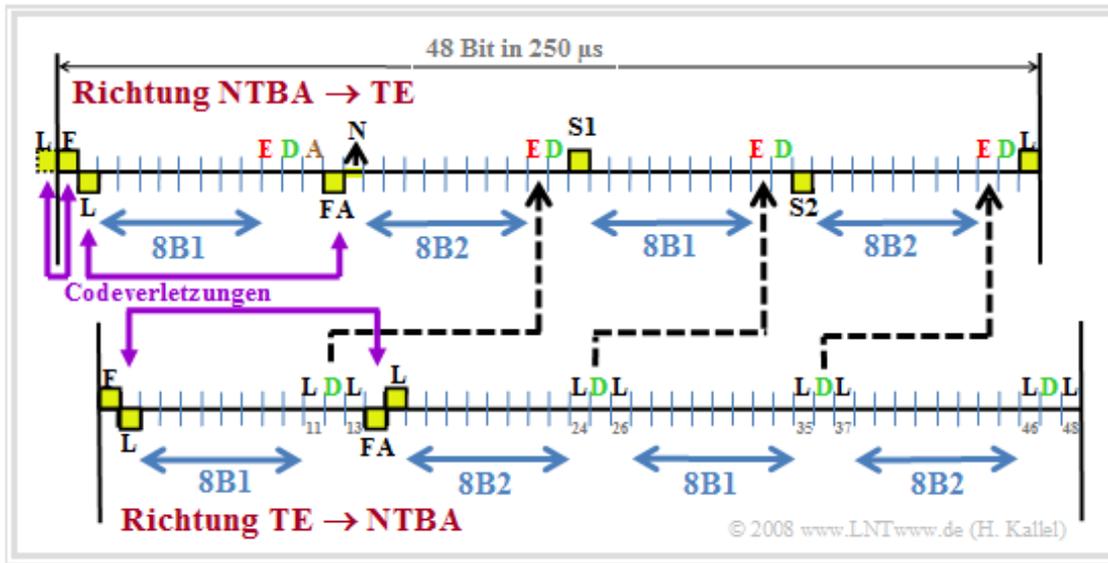
- Beim normalen AMI-Code werden bei einer Sprachpause auch keine Symbole übertragen, oder anders ausgedrückt, über einen längeren Zeitraum nur Impulse mit der Amplitude 0 (siehe mittleres Diagramm). Dies erschwert die Taktsynchronisierung.
- Beim modifizierten AMI-Code (unteres Diagramm) wechseln sich positive und negative Impulse ab ⇒ einfache Taktsynchronisierung bei Dauer–Null. Kritisch ist nun ein Signal mit konstanter Maximalamplitude ⇒ Dauer–Eins, was bei Sprachübertragung nie (extrem selten) auftritt.

Diesen Hinweis zur praktischen Bedeutung des modifizierten AMI–Codes erhielten wir von Prof. Peter Richert (FH Münster). Herzlichen Dank!

Rahmenstruktur der S₀-Schnittstelle (1)

Der Rahmenaufbau der S₀-Schnittstelle – also der Bus zwischen dem Netzabschluss (NTBA) und der Teilnehmerendeinrichtung (TE) – ist im oberen Teil der folgenden Grafik dargestellt. Der untere Teil zeigt die Rahmenstruktur in der Gegenrichtung (TE → NTBA). Ein jeder Rahmen besteht aus

- je 2 · 8 = 16 Bit für jeden der beiden B-Kanäle (insgesamt 32 Bit),
- 4 Bit für den D-Kanal (grün markiert) und
- weiteren 12 Steuerbits, die für die beiden Übertragungsrichtungen unterschiedlich sind.



Jeder Rahmen setzt sich somit aus 48 Bit zusammen, die in 250 Mikrosekunden übertragen werden (4000 Rahmen pro Sekunde). Hieraus ergibt sich die Gesamtbruttobitrate von $48 \cdot 4000 = 192$ kbit/s.

Die **12 Bit für Steuerinformationen** setzen sich wie folgt zusammen:

- A-Bit: Aktivierungsbit (braun markiert),
- E-Bits: Bits für Echo-Kanal (rot markiert),
- F-Bit: Rahmensynchronisationsbit,
- FA-Bit: Zusätzliches Rahmensynchronisationsbit,
- L-Bits: Gleichstrom-Ausgleichbits,
- N-Bit: invertiertes FA-Bit,
- S-Bits: reserviert für zukünftige Anwendungen.

Das Zusammenwirken dieser Steuerbits wird auf der nächsten Seite im Detail beschrieben. Vorneweg nur soviel:

- Jeder Rahmen ist aus Teilrahmen zusammengesetzt, wobei jeder Teilrahmen – und somit auch der gesamte Rahmen – gleichstromfrei gehalten werden muss. Um dies zu erreichen, verwendet man in jedem Teilrahmen so genannte L-Bits.
- Ein solches L-Bit ist immer dann logisch „0“ mit positiver oder negativer Polarität (± 0.75 V), wenn die Anzahl der Polaritätswechsel nach dem letzten L-Bit ungerade ist. Ist dagegen die Anzahl der Polaritätswechsel gerade, so ist das L-Bit logisch „1“ $\Rightarrow 0$ V.

Rahmenstruktur der S₀-Schnittstelle (2)

Für die folgende Beschreibung der Bitbelegung, die von der Übertragungsrichtung abhängt, können Sie die **Grafik der Rahmenstruktur** nochmals einblenden. In **beiden Richtungen** gilt:

- Das erste Bit eines jeden Rahmens ist das Rahmensynchronisationsbit (**F–Bit**). Dieses ist stets auf „0“ mit positiver Polarität gesetzt $\Rightarrow +0.75$ V.
- Danach folgt ein Gleichstrom-Ausgleichsbit (**L–Bit**: „0“ mit negativer Polarität $\Rightarrow -0.75$ V) zum Verhindern eines Gleichstromanteils.
- Da am Ende des letzten Rahmens ebenfalls ein L–Bit (mit Pegel $+0.75$ V) aufgetreten ist, führt das F–Bit des aktuellen Rahmens zu einer absichtlichen Verletzung der AMI–Codierregel (violette Markierung in der Grafik), was zur Rahmensynchronisation genutzt wird.
- Das 14. Bit ist ein zusätzliches Rahmensynchronisationsbit (**FA–Bit**), das immer auf „0 negativ“ (-0.75 V) gesetzt ist. Da der Teilrahmen zwischen Bit 3 und 13 stets gleichstromfrei ist, erzeugt das FA–Bit (14) zusammen mit dem L–Bit (2) ebenfalls eine beabsichtigte Codeverletzung.
- Diese zweite Codeverletzung bestätigt die vom F–Bit herrührende Codeverletzung. Damit wird vermieden, dass ein Übertragungsfehler fälschlicherweise als Rahmenanfang interpretiert wird.
- Ein Verlust der Rahmensynchronität kann angenommen werden, wenn innerhalb zweier Rahmen keine Codeverletzungspaare identifiziert werden.
- Die Rahmensynchronisation wird als abgeschlossen betrachtet, wenn drei aufeinander folgende Codeverletzungen erkannt wurden: F – FA – F.

In **Senderichtung** (untere Grafik) können verschiedene Endgeräte gleichzeitig senden. Jedes einzelne Gerät muss durch das jeweilige L–Bit nach jedem B–Kanal (Bit 11, 24, 35, 46) und D–Kanal (Bit 13, 26, 37, 48) gleichstromfrei sein. Das L–Bit 15 ist immer „0“ mit positiver Polarität ($+0.75$ V).

In **Empfangsrichtung** (obere Grafik) sendet allein der NTBA und somit reicht ein einziges Ausgleichsbit (L–Bit) außer Bit 2 am Ende. Daneben gibt es in dieser Richtung (NTBA \rightarrow TE) weitere Steuerbits:

- Das dreizehnte Bit ist das Aktivierungsbit (**A–Bit**). Dieses wird bei Aktivierung auf „0“ und bei Deaktivierung auf „1“ gesetzt.
- Das **N–Bit** auf Bitposition 15 folgt stets direkt dem FA–Bit und ist gegenüber diesem invertiert, also auf „1“ gesetzt $\Rightarrow 0$ V.
- Die **S–Bits** S1 und S2 sind für künftige Anwendungen reserviert und momentan immer auf logisch „0“ (mit unterschiedlichen Polaritäten) gesetzt.
- Die insgesamt vier **E–Bits** (Bits für den Echo–Kanal) in Empfangsrichtung hängen von den D–Bits der Senderichtung ab. Anhand dieser Bits kann entschieden werden, welche Endgeräte momentan senden dürfen. Hierauf wird auf der nächsten Seite noch im Detail eingegangen.

Rahmenstruktur der S₀-Schnittstelle (3)

Abschließend soll gezeigt werden, wie bei ISDN mehreren Endeinrichtungen ein **Zugang zum D-Kanal** ermöglicht wird, ohne dass es zu Kollisionen kommt, und welche Endeinrichtung Priorität beim Senden hat. Man verwendet für die Blockierung bzw. die Freischaltung des D-Kanals das Verfahren *Carrier Sense Multiple Access* (CSMA), das in aller Kürze wie folgt beschrieben werden kann:

- In den Datenstrom für die Richtung NTBA → TE wird der so genannte **Echo-Kanal** eingefügt. Darunter versteht man die Gesamtheit der in der Grafik rot markierten E-Bits, die jeweils ein zuvor empfangenes D-Bit wieder zurück an die Endgeräte übertragen.
- Ein E-Bit ergibt sich aus der **UND-Verknüpfung** aller Teilnehmer. Das heißt: Im Echo-Kanal tritt die logische „1“ nur dann auf, wenn jeder Teilnehmer eine „1“ – also nichts – sendet. Eine „0“ im Echo-Kanal zeigt an, dass ein Gerät Zugriff auf den D-Kanal hat oder dies zumindest wünscht.
- Jedes Endgerät überprüft durch **Mithören auf dem Echo-Kanal**, ob der D-Kanal frei oder belegt ist. Dazu wartet das Endgerät auf mindestens *N* aufeinander folgende logische Einsen (0 V) im Echo-Kanal. Bei einer Fernsprecheinrichtung gilt *N* = 8, bei Dateneinrichtungen *N* = 10.
- Nach *N* Einsen kann man mit genügender Sicherheit von einem freien D-Kanal ausgehen und das Gerät beginnt zu senden. Zur Übertragungssicherung beginnt und endet jede Nutzinformation mit dem Bitmuster 01111110 (**Flag**) gemäß dem Protokoll der Schicht 2 des OSI-Referenzmodells.

Im nachfolgenden Beispiel wird gezeigt, welchem Endgerät Priorität eingeräumt wird, wenn zwei Endeinrichtungen gleichzeitig mit dem Senden beginnen wollen.

Beispiel: Zwei Endgeräte TE1 und TE2 wollen gleichzeitig auf den D-Kanal zugreifen. Sie warten beide *N* = 8 aufeinander folgende logische Einsen auf dem Echo-Kanal ab (in der Grafik blau markiert, Zeitmarke *t*₁). Danach senden beide – wieder gleichzeitig – ein Flag (grüne Markierung, Zeitmarke *t*₂).

| | <i>t</i> ₁ | <i>t</i> ₂ | <i>t</i> ₃ | <i>t</i> ₄ | <i>t</i> ₅ | <i>t</i> ₆ | <i>t</i> ₇ |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| TE1: | 11111111 | 01111110 | 01101111 | 11111111 | 11111111 | 01111110 | 01101010 |
| TE2: | 11111111 | 01111110 | 01100110 | 01111110 | 11111111 | 11111111 | 11111111 |
| Echo-Kanal: | 11111111 | 01111110 | 01100110 | 01111110 | 11111111 | 01111110 | 01101010 |

© 2008 www.LNTwww.de (H. Kalle)

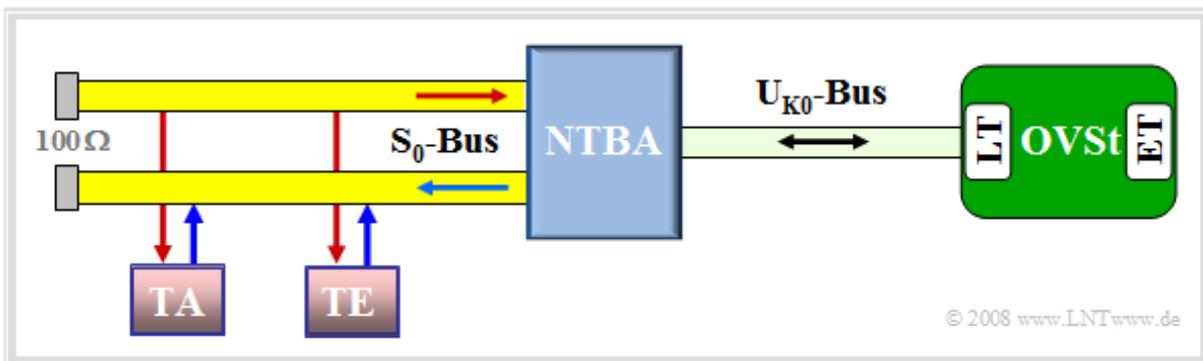
Zum Zeitpunkt *t*₃ senden nun beide Endgeräte ihre eigentlichen Informationen. Im Echo-Kanal erkennt man eine Kollision nur dann, wenn sich die Bits von TE1 und TE2 unterscheiden. Priorität hat dabei die logische „0“ gegenüber der logischen „1“. Im Beispiel hat somit TE2 Priorität gegenüber TE1, da das 5. Bit von TE2 eine „0“ ist und das 5. Bit von TE1 eine „1“ (rote Markierungen).

Somit wird TE1 den Sendebetrieb stoppen. Er kann seine Information erst zum Zeitpunkt *t*₇ absetzen, nachdem TE2 seine Sendung mit einem Flag abschließt (*t*₄), und damit der D-Kanal ab *t*₅ wieder frei ist. Dies überprüft TE1 während der Zeitmarke *t*₅ und sendet danach (*t*₆) wieder ein Flag.

Allgemeine Beschreibung der U_{K0} -Schnittstelle

Die U-Schnittstelle ist nach dem ISO-OSI-Referenzmodell allgemein die Verbindung zwischen dem Netzabschluss (NTBA) und dem Leitungsabschluss (*Line Termination*, LT) in der Vermittlungsstelle. Beim ISDN-Basisanschluss nennt man diesen Punkt die **U_{K0} -Schnittstelle** und den dazugehörigen Bus den U_{K0} -Bus. „K“ steht hier für das Übertragungsmedium Kupfer und „0“ für den Basisanschluss.

Der Leitungsabschluss (LT) bildet den übertragungstechnischen Abschluss auf der Netzseite. Dieser übernimmt alle vermittlungstechnischen Aufgaben wie die Leitungscodierung, Übertragungssteuerung, die Fernspeisung sowie verschiedene Test- und Überwachungsfunktionen.



Die Grafik zeigt die U_{K0} -Schnittstelle als den Netzzugang für einen Teilnehmer. Diese Schnittstelle (bzw. der zugehörige Bus) zeichnet sich durch folgende Eigenschaften aus:

- Der U_{K0} -Bus wird durch Zweidrahtübertragung über eine einzige Kupferdoppelader realisiert, wobei Reichweiten von 8 Kilometer (bei 0.6 Millimeter Aderndurchmesser) bzw. von 6 km (bei 0.4 mm Durchmesser) möglich sind.
- Die Bruttodatenübertragungsrate beträgt in beide Richtungen jeweils 160 kbit/s, die sich auf zwei B-Nutzkanäle zu je 64 kbit/s, den D-Kanal mit 16 kbit/s und einen zusätzlichen 16kbit/s-Kanal für Synchronisation und Service verteilen.
- Man benutzt hier im Gegensatz zum S_0 -Bus (modifizierter AMI-Code) einen Übertragungscode mit weniger Redundanz. In Deutschland und Belgien verwendet man einen 4B3T-Code (siehe nächste Seite), in anderen europäischen Ländern den redundanzfreien Quaternärcode (2B1Q).
- Beim 2B1Q-Code werden jeweils zwei Binärsymbole auf ein Quaternärzeichen abgebildet; die vier möglichen Spannungswerte sind ± 2.5 V und ± 0.83 V. Der Vorteil ist die kleinere Symbolrate (Schrittgeschwindigkeit) von 80000 Quaternärzeichen pro Sekunde (80 kBaud) und damit eine größere Reichweite. Der Nachteil ist, dass Übertragungsfehler wegen der fehlenden Redundanz nicht erkannt werden können und dass der 2B1Q-Code nicht gleichsignalfrei ist.

Nachrichtentechnische Aspekte der U_{K0} Schnittstelle

Im ISDN-Netz der Deutschen Telekom wird – ebenso wie in Belgien – für die Übertragung auf dem U_{K0} -Bus der **MMS43-Code** (*Modified Monitored Sum 4B3T*) eingesetzt. Dieser Pseudoternär code wurde bereits in **Aufgabe A2.6** des Buches „Digitalsignalübertragung“ behandelt. Weitere Informationen finden Sie im **Kapitel 2.3** des zitierten Buches. Im Folgenden sollen nur die wichtigsten Eigenschaften zusammengefasst werden:

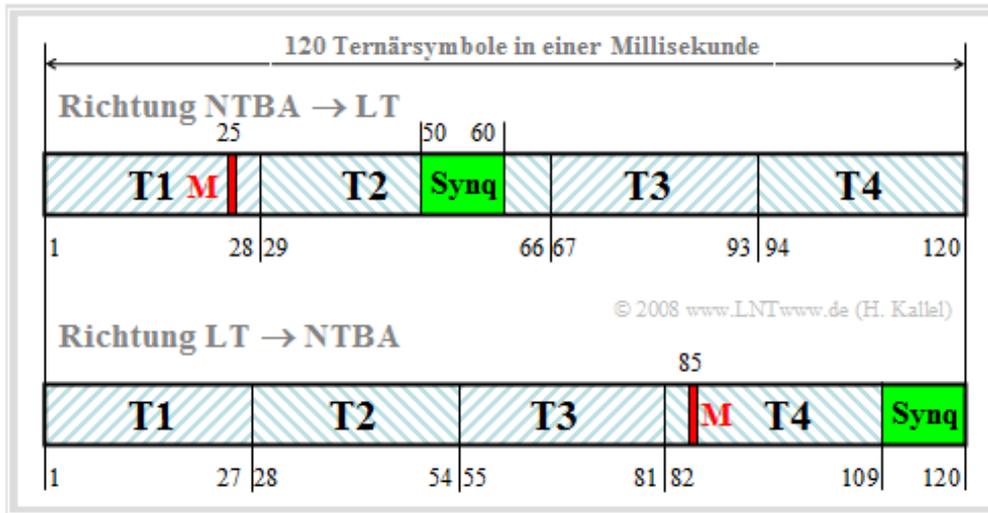
- Bei jedem **4B3T-Code** werden jeweils vier Bit (4B) durch drei Ternärsymbole (3T) dargestellt, die hier vereinfachend mit „-“, „0“ und „+“ bezeichnet werden. Diese Symbole stehen für die Signalpegel -2.5 V , 0 V und $+2.5\text{ V}$. Der ternäre Entscheider besitzt zwei Schwellen.
- Gegenüber dem Binär code – auch gegenüber dem AMI-Code – ist die Schrittgeschwindigkeit (Symbolrate) um 25% kleiner. Das heißt: Die Bitrate 160 kbit/s führt hier zur Symbolrate 120 kBaud (120 000 Ternärsymbole pro Sekunde) und nicht zu 160 kBaud wie auf dem S_0 -Bus.
- Die Symbolrate ist zwar größer als beim 2B1Q-Code (80 kBaud). Ein wesentlicher Vorteil des redundanten 4B3T-Codes ist jedoch, dass dieser gleichsignalfrei ist. Es kann also nicht über einen längeren Zeitraum ein konstanter Spannungswert $+2.5\text{ V}$ bzw. -2.5 V auftreten.
- Ein weiteres Kennzeichen des MMS43-Codes ist, dass für die Umsetzung von binär auf ternär vier verschiedene Codetabellen zur Verfügung stehen, die nach der laufenden digitalen Summe Σ_l (der Ternärwerte) ausgewählt werden. Die untere Grafik zeigt diese Tabellen.
- Sechs der insgesamt 16 Einträge (rote Pfeile) sind in allen vier Zeilen gleich und gelten somit unabhängig von der laufenden digitalen Summe (LDS). Diese Ternärfolgen enthalten jeweils ein „+“ und ein „-“, so dass der LDS-Wert erhalten bleibt: $\Sigma_{l+1} = \Sigma_l$.
- Betrachten wir nun ein Binärwort mit unterschiedlichen Einträgen: Ist $\Sigma_l = 0$, so wird die Binärfolge „0000“ durch „+ 0 +“ ersetzt und damit LDS um 2 erhöht. In allen anderen Fällen wird „0 – 0“ ausgegeben, wodurch LDS um 1 vermindert wird.
- Die beiden Zeilen der Tabelle für $\Sigma_l = 1$ und $\Sigma_l = 2$ unterscheiden sich nur in zwei Einträgen, die in der Grafik durch blaue Umrahmungen hervorgehoben sind. Dadurch unterscheidet sich der MMS43-Code vom herkömmlichen **MS43-Code**, der mit nur drei Codetabellen auskommt.

Die Grafik zeigt die vier Codetabellen des MMS43-Codes.

| binär | 0000 | 0001 | 0010 | 0011 | 0100 | 0101 | 0110 | 0111 | 1000 | 1001 | 1010 | 1011 | 1100 | 1101 | 1110 | 1111 |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $\Sigma_l = 0$ | +0+ | 0-+ | +-0 | 00+ | -+0 | 0++ | -++ | -0+ | +00 | +-- | ++- | +0- | +++ | 0+0 | 0+- | ++0 |
| $\Sigma_l = 1$ | 0-0 | 0-+ | +-0 | 00+ | -+0 | -00 | -++ | -0+ | +00 | +-- | ++- | +0- | -+- | 0+0 | 0+- | 00- |
| $\Sigma_l = 2$ | 0-0 | 0-+ | +-0 | 00+ | -+0 | -00 | -++ | -0+ | +00 | +-- | ++- | +0- | -+- | 0+0 | 0+- | 00- |
| $\Sigma_l = 3$ | 0-0 | 0-+ | +-0 | -00 | -+0 | -00 | -++ | -0+ | 0-- | -+- | +-- | +0- | -+- | -0- | 0+- | 00- |

Rahmenstruktur der U_{K0}-Schnittstelle

Jeder Rahmen auf dem U_{K0}-Bus setzt sich aus 120 Ternärsymbolen zusammen und wird in einer Millisekunde übertragen. Daraus resultiert die *Symbolrate* (Schrittgeschwindigkeit) 120 kBaud.



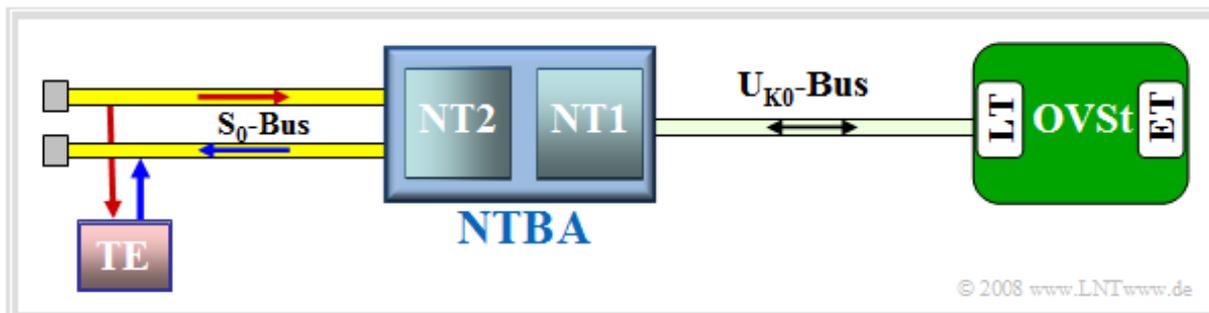
Die Grafik verdeutlicht die **U_{K0}-Rahmenstruktur**, im oberen Teil in der Richtung vom NTBA zur *Line Termination* (LT) in der Ortsvermittlungsstelle, unten in Gegenrichtung. Man erkennt:

- Die Informationssymbole sind in vier Teilrahmen T1, ... , T4 je 27 Ternärsymbolen eingebettet, die sich nach der 4B3T-Codierung aus 36 Eingangsbit ergeben.
- Diese 36 Bit setzen sich aus je 16 Bit der beiden B-Kanäle B1 und B2 und vier Bit des D-Kanals zusammen, die ineinander verschachtelt werden.
- Weiter gibt es noch ein aus dem *Barker-Code* abgeleitetes Synchronisationswort (**Sync**) mit elf Ternärsymbolen, die für die beiden Richtungen in Position und Inhalt unterschiedlich sind.
- Das *Maintenance-Symbol M* (rote Markierung) wird aus acht Überrahmen abgeleitet und dient vorwiegend zu Servicezwecken.

Netzabschluss (NTBA)

Ein Netzabschlussgerät für den ISDN-Basisanschluss (englisch: *Network Termination for ISDN Basic Rate Access*, NTBA)

- verbindet ein hauseigenes ISDN-Endgerät (*Terminal Equipment*, TE) über die Vermittlungsstelle mit dem übergeordneten Ortsnetz,
- realisiert die Umsetzung von der vieradrigen Hausanschlussleitung zum ISDN-Zugangsnetz, das zweiadrig beim NTBA anliegt,
- ist eine sehr wichtige ISDN-Netzkomponente, da er den Übergang zwischen zwei verschiedenen Bussystemen (S_0 -Bus und U_{K0} -Bus) ermöglicht.



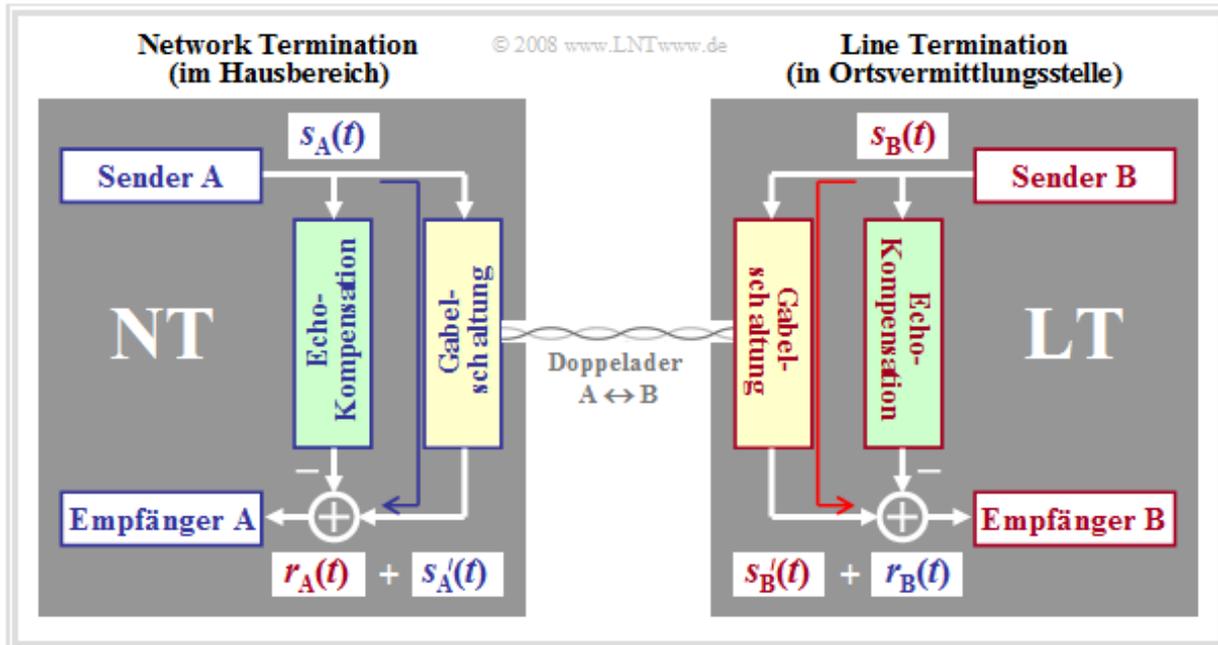
Im Allgemeinen setzt sich der NTBA aus zwei Teilen zusammen, die NT1 und NT2 genannt werden. Die Aufgaben des unabdingbaren **Netzabschlusses NT1** sind:

- die Umsetzung von Zweidraht- auf Vierdrahtleitung (und umgekehrt) sowie die Codeumsetzung zwischen 4B3T-Code (U_{K0}) und AMI-Code (S_0),
- die Stromversorgung für den S_0 -Bus (230 V mit maximal 4.5 W Leistungsabgabe), wobei der NT1 im Normalbetrieb von der Vermittlungsstelle über die U_{K0} -Schnittstelle gespeist wird,
- die Stromversorgung von bis zu vier Endgeräten der S_0 -Schnittstelle im Notbetrieb, wobei in diesem Fall der NT1 an eine sichere Stromversorgung angeschlossen werden muss,
- die Ausführung aller Betriebsfunktionen, wozu unter anderem das Erkennen von Rahmenfehlern und die Durchführung von Tests und so genannten Schleifenbildungen gehören.

Der NT2 ist optional und wird nur gebraucht, wenn hinter dem Netzabschluss eine Nebenstellenanlage angeschlossen werden soll. Im Netz der Deutschen Telekom lassen sich bis zu acht Endgeräte (maximal vier ISDN-Telefone) über den passiven S_0 -Bus anschließen. In diesem Fall kann auf den NT2 verzichtet werden; der NTBA besteht dann nur aus dem NT1.

Richtungstrennungsverfahren (1)

Wegen seiner guten Übertragungseigenschaften (große Übertragungreichweite, geringe Bandbreite) wird auf dem U_{K0} -Bus das so genannte **Vollduplex-Frequenzgleichlageverfahren** angewandt, das heißt, dass die Signale in Sende- und Empfangsrichtung über eine Zweidrahtleitung zur gleichen Zeit und im gleichen Frequenzbereich übertragen werden.



Die Signale der Sende- und Empfangsrichtung werden mit Hilfe einer **Gabelschaltung** voneinander getrennt, wie in der Grafik dargestellt ist. Die Realisierung wird auf der nächsten Seite im Detail erklärt. Hier nur eine kurze Erläuterung der Arbeitsweise am Beispiel von Teilnehmer A:

- Beim Empfänger A sollte nur das Signal $r_A(t)$ ankommen, das ohne Störungen, Verzerrungen und Echos gleich dem Sendesignal $s_B(t)$ von Teilnehmer B wäre (rot eingezeichnete Komponente).
- Dem überlagert sich aber nun das Signal $s_A'(t)$, das über die Gabelschaltung vom eigenen Sender an den Empfänger gelangt. Dies ist durch den blauen Pfeil angedeutet.
- Aufgabe der Gabelschaltung ist es nun, diesen Anteil $s_A'(t)$ des Empfangssignals möglichst gering zu halten. Dies gelingt bei schmalbandigem Sendesignal – zum Beispiel Sprache – im Allgemeinen sehr gut, nicht jedoch für ein Breitbandsignal.

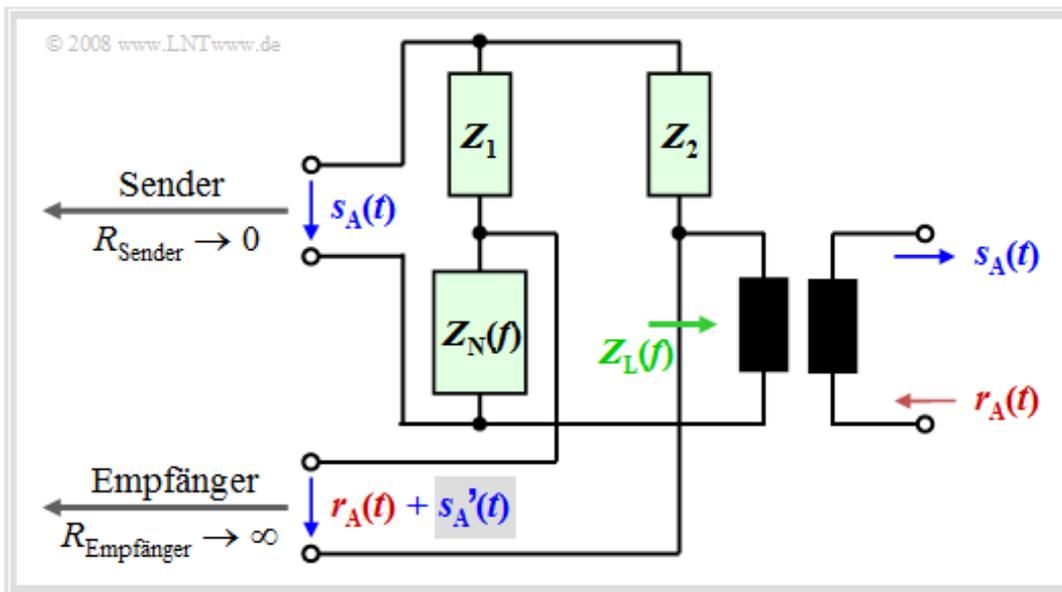
In diesem Fall muss zusätzlich das **Echokompensationsverfahren** angewandt werden (siehe grün hinterlegte Blöcke in obiger Grafik). Dessen Funktionsweise lässt sich in aller Kürze wie folgt darstellen:

- Der Sender gibt regelmäßig *Testsignale* ab und misst das jeweils ankommende Signal, das über die Gabelschaltung, aber auch durch Nahbensprechen an den eigenen Empfänger gelangt.
- Aus der dabei ermittelten *Echo-Impulsantwort* berechnet der Echokompensator das erwartete Echo im Normalbetrieb des eigenen Senders und subtrahiert dieses vom Empfangssignal.
- Der Echokompensator lässt sich durch ein *Transversalfilter* realisieren, dessen Filterkoeffizienten von einem Prozessor eingestellt und nachgeregelt werden.

Richtungstrennungsverfahren (2)

Die Grafik zeigt eine gängige Realisierung der **Gabelschaltung**. Man erkennt

- links die Sende- und Empfangsleitung der S_0 -Schnittstelle, und
- rechts den Zweidrahtanschluss der bidirektionalen U_{K0} -Schnittstelle.



Die Aufgabe der Gabelschaltung ist es, das (blaue) Sendesignal $s_A(t)$ von der S_0 - auf die U_{K0} -Seite durchzuschalten und das (rote) Empfangssignal $r_A(t)$ in die Gegenrichtung. Dabei ist darauf zu achten, dass der S_0 -Empfänger möglichst vollständig vom S_0 -Sender entkoppelt ist. Das heißt, dass der grau hinterlegte Signalanteil $s_A'(t)$ auf der Empfangsleitung verschwinden oder zumindest sehr klein sein sollte.

Diese Schaltung funktioniert in der folgenden Weise:

- Gilt für die Brückenschaltung $Z_1/Z_N(f) = Z_2/Z_L(f)$, so ist $s_A'(t) = 0$. Hierbei bezeichnen Z_1 und Z_2 reelle Widerstände. $Z_L(f)$ und $Z_N(f)$ sind komplex und damit frequenzabhängig.
- $Z_L(f)$ ist der Eingangswiderstand der über den Übertrager angekoppelten Kupferleitung des ISDN-Zugangnetzes und $Z_N(f)$ die künstliche Leitungsnachbildung in der Gabelschaltung.
- Bei Schmalbandsignalen gelingt die Nachbildung von $Z_L(f)$ durch $Z_N(f)$ relativ gut, so dass $s_A'(t)$ bereits durch die Gabelschaltung hinreichend klein gemacht werden kann.
- Dagegen ist dies bei breitbandigen Signalen nicht für den gesamten Frequenzbereich möglich. Hier muss zusätzlich die auf der letzten Seite beschriebene Echokompensation angewandt werden.

Allgemeine Beschreibung (1)

Zunächst soll erklärt werden, wozu ein ISDN–Primärmultiplexanschluss gebraucht wird. Dieser wird nur als **Anlagenanschluss** (Punkt–zu–Punkt) angeboten. Diese Anschlussart besagt, dass man nur ein Gerät an den Netzabschluss anschließen kann, nämlich eine *Telekommunikationsanlage*, im Folgenden mit **TK–Anlage** abgekürzt.

Die Gründe für die Verwendung eines Anlagenanschlusses sind vielfältig:

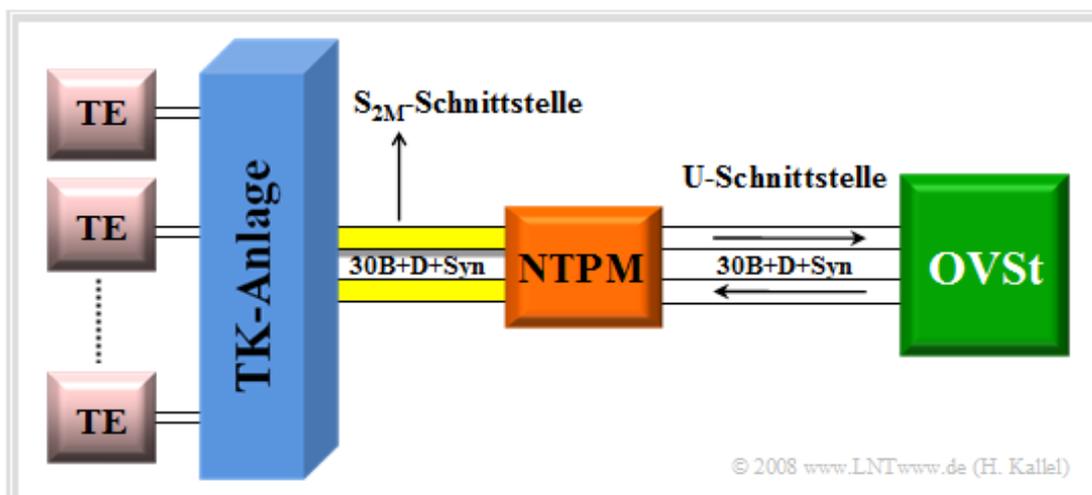
- Firmen, Behörden oder Krankenhäuser brauchen häufig eine Zentralrufnummer und einen Block von Durchwahlnummern. Meistens ist die Durchwahlnummer der Zentrale die „0“.
- Die Zentralrufnummer ist 3– bis 5–stellig, eine Durchwahlnummer danach ist 2– bis 5–stellig. Dies erlaubt die direkte Anwahlmöglichkeit eines Gesprächspartners von außen.
- Das Telefonieren zwischen Mitarbeitern – also eine interne Verbindung – ist kostenlos.

Beispiel: Betrachten wir einen Betrieb in München, dessen Zentrale von außen über „089/4711 – 0“ und intern mit „0“ zu erreichen ist. Der Mitarbeiter X ist von außerhalb kostenpflichtig unter der Durchwahl „089/4711 – 432“ zu erreichen und intern ohne Gebühren unter „432“.

Auch mit einem Basisanschluss – wie in **Kapitel 1.2** beschrieben – kann ein solcher Anlagenanschluss als *Punkt–zu–Punkt–Verbindung* realisiert werden, wie in der Grafik dargestellt ist:

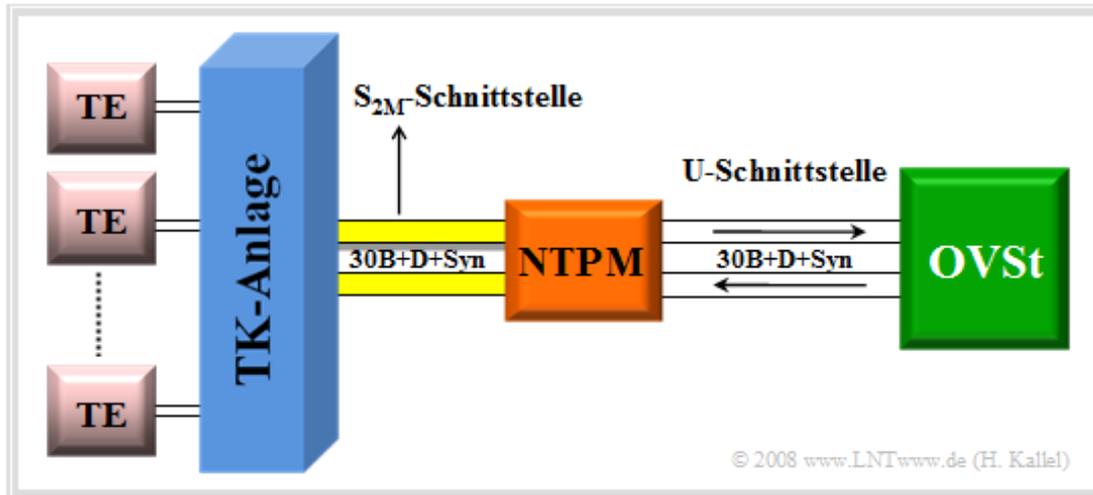
- Ein Basisanschluss mit einem NTBA (U_{K0} –Schnittstelle) bietet zwei Nutzkanäle (B1 und B2). Damit sind gleichzeitig zwei externe und maximal vier interne Gespräche möglich.
- Ist dies zu wenig, so kann eine Telefonanlage über zwei oder mehr parallele U_{K0} –Schnittstellen angeschlossen werden. Bei N Anschlussleitungen können dann gleichzeitig maximal $2N$ externe Gespräche geführt werden.
- Dies macht allerdings nur bei kleineren Firmen Sinn, nämlich dann, wenn man mit bis zu acht Basisanschlüssen auskommt. Bei größerem Bedarf an Leitungen (oder an gleichzeitig geführten Gesprächen) ist der **Primärmultiplexanschluss** kostengünstiger.

Die folgende Grafik zeigt einen solchen Primärmultiplexanschluss.



Allgemeine Beschreibung (2)

Mittlere und größere Firmen arbeiten meist mit einem **Primärmultiplexanschluss** (PMxAs), an dem die Telekommunikations- bzw. Datenverarbeitungsanlage durch eine Vierdrahtleitung angeschlossen wird. Die englische Bezeichnung für einen solchen Anschluss ist *Primary Rate Interface* (PRI).



Der Primärmultiplexanschluss bietet:

- 30 vollduplexfähige Basiskanäle mit jeweils 64 kbit/s,
- einen Signalisierungskanal (D) mit 64 kbit/s, und
- einen Synchronisationskanal (ebenfalls mit 64 kbit/s).

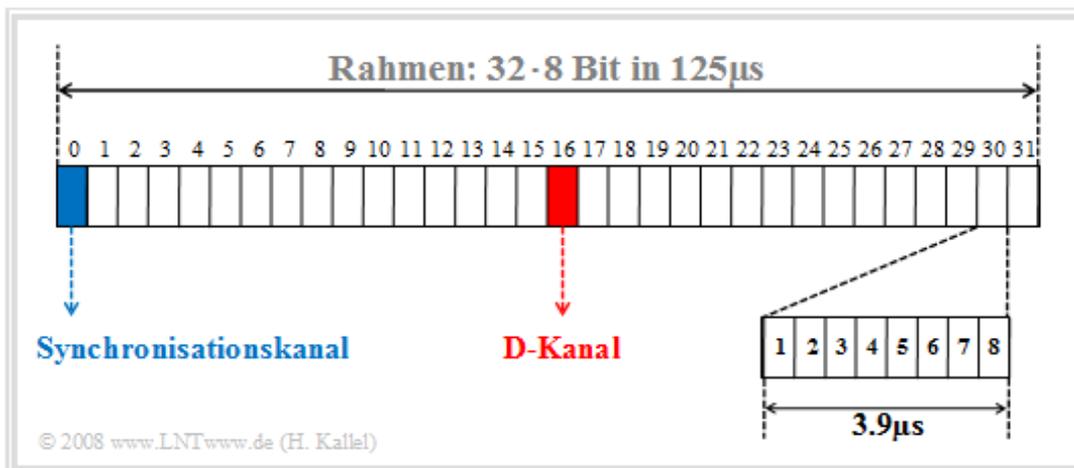
Somit ergibt sich die **Brutto-Datenrate** zu $32 \cdot 64 \text{ kbit/s} = 2048 \text{ kbit/s}$.

Es folgen noch einige allgemeine Angaben zum Primärmultiplexanschluss (siehe Grafik):

- Die Realisierung der 30 Nutzkanäle erfolgt mit dem Multiplexsystem „PCM–30“. Im Gegensatz zum Basisanschluss ist hier nur eine Punkt–zu–Punkt–Verbindung möglich. Das heißt, dass eine zweite Anlage nicht an die gleiche Leitung angeschlossen werden kann wie bei einem Bus.
- Die Telefonanlage wird über das Netzabschlussgerät NTPM (*Network Termination for Primary Rate Multiplex Access*) an die örtliche Vermittlungsstelle angeschlossen.
- Dieser Anschluss ist vierdrahtig, so dass die beiden Übertragungsrichtungen getrennt sind. Somit sind im NTPM und in der Ortsvermittlung keine Richtungstrennungsverfahren (Gabelschaltung, Echo–Kompensation, usw.) erforderlich.
- Man bezeichnet den Referenzpunkt U (zwischen Netzabschluss und Ortsvermittlungsstelle) beim Primärmultiplexanschluss mit U_{K2} , wenn ein Kupferkabel (K) verwendet wird; die 2 steht für die Übertragungsrate 2 Mbit/s. Bei einem Glasfaseranschluss nennt man diesen Punkt U_{G2} .
- Entsprechend wird die Verbindung zwischen dem Netzabschluss und der TK–Anlage allgemein als die S_{2M} –Schnittstelle bezeichnet. Technisch besteht allerdings kein großer Unterschied zwischen der U_{K2} – und der S_{2M} –Schnittstelle.

Rahmenstruktur von S_{2M} - und U_{K2} -Schnittstelle

Die S_{2M} -Schnittstelle stellt die Verbindung zwischen Telekommunikationsanlage und Netzabschluss (NTPM) dar, die mit zwei Kupferdoppeladern realisiert wird. Da hier nur ein Punkt-zu-Punkt-Betrieb möglich ist, ist die S_{2M} -Schnittstelle nicht als Bus ausgelegt wie die S_0 -Schnittstelle beim Basisanschluss, und daher ist hier auch kein Kollisionserkennungsverfahren erforderlich.



Die Grafik zeigt die Rahmenstruktur der S_{2M} -Schnittstelle. Man erkennt:

- Im Zeitmultiplex wird alle 125 Mikrosekunden ein TDMA-Rahmen übertragen. Jeder der 32 Kanäle belegt den TDMA-Rahmen allerdings nur für die Dauer von $125 \mu\text{s}/32 = 3.906 \mu\text{s}$.
- Pro Kanal und TDMA-Rahmen werden acht Bit übertragen; die Bitdauer ist $T_B = 3.906 \mu\text{s}/8 = 0.488 \mu\text{s}$. Deren Kehrwert ergibt die **Brutto-Datenrate** $R_B = 2.048 \text{ Mbit/s}$.
- Die Kanäle 1 bis 15 sowie 17 bis 31 stellen die Nutzkanäle (B-Kanäle) dar, die alle mit 64 kbit/s unabhängig voneinander betrieben werden. Der Kanal 16 (D-Kanal, in der Grafik rot markiert) sorgt für die Steuerung dieser B-Kanäle und der gesamten Telefonanlage.
- Der Kanal 0 (Synchronisationskanal, blau markiert) dient bei ungeradem Rahmen (1, 3, 5, ...) zur Rahmenerkennung, während die geraden Rahmen (2, 4, 6, ...) für Wartungszwecke und für die Fehlerbehandlung genutzt werden. Beides geschieht mit Hilfe des CRC4-Verfahrens, das auf der nächsten Seite genauer beschrieben wird.

Die U_{K2} -Schnittstelle weist genau die gleichen Eigenschaften wie die S_{2M} -Schnittstelle auf und besitzt damit auch die genau gleiche Rahmenstruktur.

Rahmensynchronisation (1)

Die Synchronisation ist beim Primärmultiplexanschluss jeweils im *Synchronisierungskanal* (Kanal 0) eines Rahmens realisiert. Man verwendet dafür den *Cyclic Redundancy Check* (CRC4), der in aller Kürze wie folgt dargestellt werden kann:

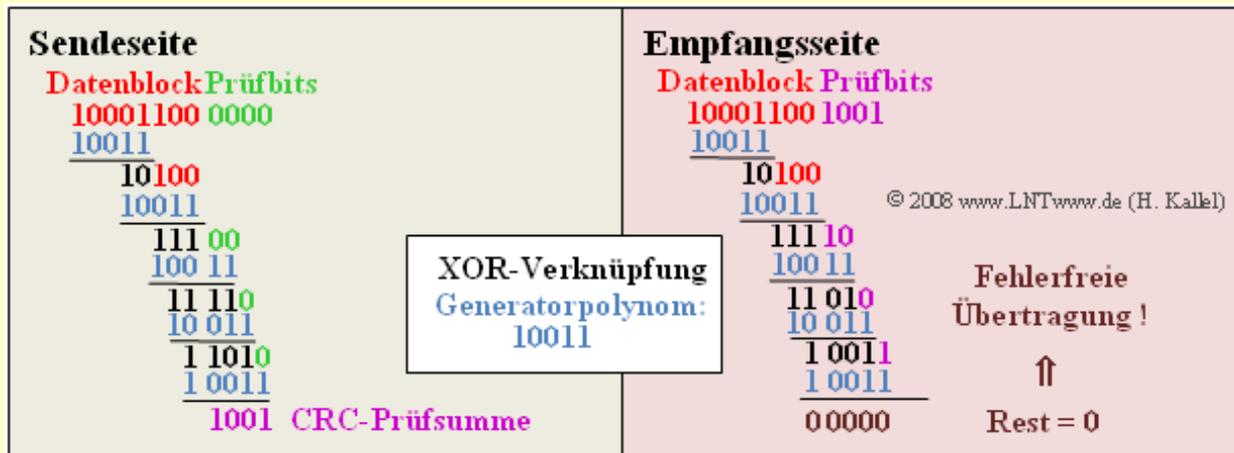
- Der Kanal 0 eines jeden ungeraden Zeitrahmens (Nummer 1, 3, ... , 15) überträgt das so genannte *Rahmenkennwort* (RKW), während jeder gerade Rahmen (Nummer 2, 4, ... , 16) von Kanal 0 das *Meldewort* (MW) beinhaltet.
- Anhand des Rahmenkennworts mit dem festen Bitmuster **X001 1011** wird die Synchronisation zwischen der Sende- und der Empfangsrichtung hergestellt. Das erste Bit $X \in \{0, 1\}$ wird dabei durch das CRC4–Verfahren bestimmt.
- Das Meldewort lautet **X1DN YYYY**. Über das D–Bit und N–Bit werden *Fehlermeldungen* signalisiert. Die vier Y–Bits sind für *Service–Funktionen* reserviert. Das X–Bit wird wieder durch das CRC4–Verfahren gewonnen.
- Man benötigt für das CRC4–Verfahren 16 X–Bits \Rightarrow 16 aufeinander folgende Pulsrahmen, die in zwei Mehrfachrahmen aufgeteilt werden. Die Länge eines Mehrfachrahmens ist deshalb $8 \cdot 256$ Bit = 2048 Bit und die Zeitdauer beträgt $8 \cdot 125 \mu s = 1$ ms.
- Die CRC4–Prüfsumme wird als Folge von 4 Bit (C0 bis C3) in jedem Mehrfachrahmen gebildet und liefert das jeweils erste Bit (**X**) für vier aufeinander folgende Rahmenkennworte.

Die Tabelle zeigt die jeweilige Rahmenbelegung des Synchronisierungskanals 0 für einen Zyklus des CRC4–Verfahrens.

| | Rahmen Nr | Kanal 0 - Bits | | | | | | | |
|------------------|-----------|----------------|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Mehrfachrahmen 1 | 1 (RKW) | C0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| | 2 (MW) | 0 | 1 | D | N | Y | Y | Y | Y |
| | 3 (RKW) | C1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| | 4 (MW) | 0 | 1 | D | N | Y | Y | Y | Y |
| | 5 (RKW) | C2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| | 6 (MW) | 1 | 1 | D | N | Y | Y | Y | Y |
| | 7 (RKW) | C3 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| | 8 (MW) | 0 | 1 | D | N | Y | Y | Y | Y |
| Mehrfachrahmen 2 | 9 (RKW) | C0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| | 10 (MW) | 1 | 1 | D | N | Y | Y | Y | Y |
| | 11 (RKW) | C1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| | 12 (MW) | 1 | 1 | D | N | Y | Y | Y | Y |
| | 13 (RKW) | C2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| | 14 (MW) | E | 1 | D | N | Y | Y | Y | Y |
| | 15 (RKW) | C3 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| | 16 (MW) | E | 1 | D | N | Y | Y | Y | Y |

Rahmensynchronisation (2)

Beispiel: Die Vorgehensweise beim CRC4–Verfahren soll an einem Beispiel erklärt werden, wobei vom Generatorpolynom $D^4 + D^1 + 1$ ausgegangen wird. In der Binärdarstellung lautet dieses: **10011**. Die Grafik zeigt die Gewinnung der CRC4–Prüfsumme (links) und deren Auswertung beim Empfänger (rechts).



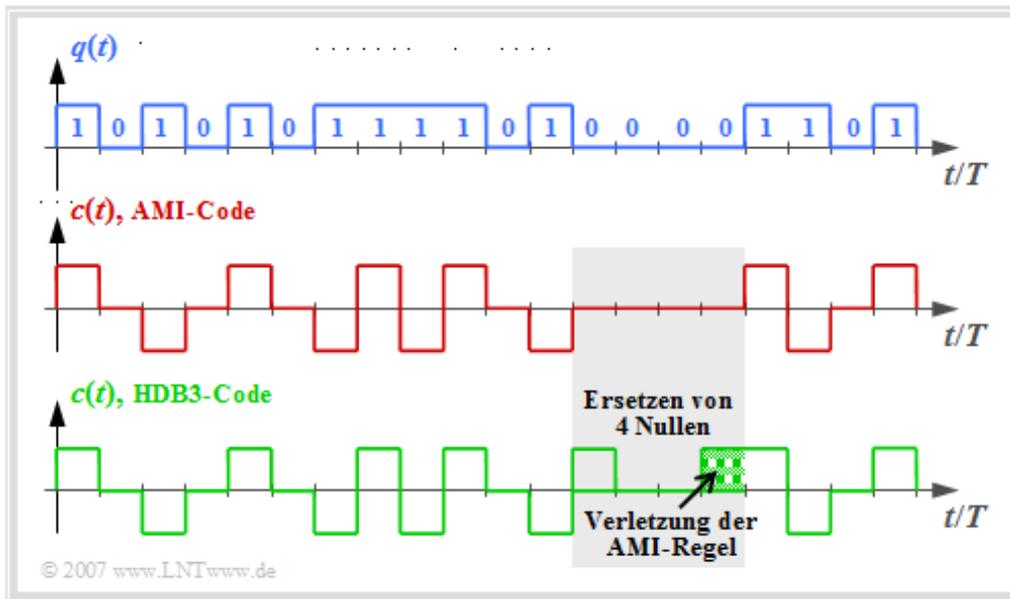
Man erkennt:

- Die senderseitige CRC4–Prüfsumme ergibt sich als der Rest der Division eines Datenblocks mit insgesamt 12 Bit (8 Nutzbit, im Beispiel **1000 1100**, an die **0000** angehängt wird) durch das Generatorpolynom in Binärdarstellung (**10011**). In Polynomschreibweise ergibt sich der Rest der Division $(D^{11} + D^7 + D^6) : (D^4 + D + 1)$ zu $R(D) = D^3 + 1$.
- Die Division wird durch eine **Modulo–2–Addition** (bitweise XOR–Verknüpfung) realisiert. Im Beispiel liefert die Division den Rest **1001**. Diese vier Bit (C_0, \dots, C_3) der CRC–Prüfsumme werden dann in verschiedenen Rahmen des Synchronisierungskanals zum Empfänger übertragen (siehe Rahmenbelegung auf der letzten Seite).
- Nachdem der Empfänger diese 12 Bit (Datenblock und CRC4–Prüfsumme) empfangen hat, teilt dieser dieses 12–stellige Binärwort ebenfalls durch das Generatorpolynom. Im Beispiel ergibt diese Division **1000 1100 1001** geteilt durch **10011** den Rest **0**. Dieses Ergebnis zeigt an, dass keine Übertragungsfehler aufgetreten sind.
- Ist dagegen der Divisionsrest ungleich **0**, so weist das Ergebnis auf einen Übertragungsfehler hin. In diesem Fall müssen die Daten beim Sender nochmals angefordert werden.

Nachrichtentechnische Aspekte

Beim ISDN–Primärmultiplexanschluss wird sowohl auf der S_{2M} – als auch auf der U_{K2} –Schnittstelle jeweils der so genannte **HDB3–Leitungscode** (*High Density Bipolar 3ary*) verwendet. Gegenüber dem modifizierten AMI–Code auf der S_0 –Schnittstelle des Basisanschlusses

- wird das Auftreten von langen Nullfolgen vermieden und dadurch
- dem Empfänger eine sicherere Taktrückgewinnung und Synchronisation ermöglicht.



Die HDB3–Leitungscodierung funktioniert wie folgt:

- Wie beim AMI–Code wird jeder binären „0“ der Signalpegel 0 V zugeordnet, während die binäre „1“ alternierend durch die Werte $+s_0$ bzw. $-s_0$ dargestellt wird.
- Treten im AMI–codierten Signal vier aufeinander folgende „0“–Bits auf, so werden diese durch eine Folge von vier anderen Bits ersetzt, welche die AMI–Codierregel verletzen.
- Ist wie in obiger Grafik die Anzahl der Einsen gerade oder 0 und der letzte Puls vor diesen vier Bits negativ (bzw. positiv), so wird „0 0 0 0“ durch „+ 0 0 +“ (bzw. „– 0 0 –“) ersetzt.
- Bei ungerader Anzahl von Einsen vor diesem „0 0 0 0“–Block würden dagegen als Ersetzungen „0 0 0 +“ (falls letzter Puls positiv) oder „0 0 0 –“ (falls letzter Puls negativ) gewählt.
- In allen vier Fällen kann der Decoder die Verletzung der AMI–Regel erkennen und diesen Block wieder durch „0 0 0 0“ ersetzen. Die Gleichstromfreiheit bleibt durch diese Maßnahmen erhalten.

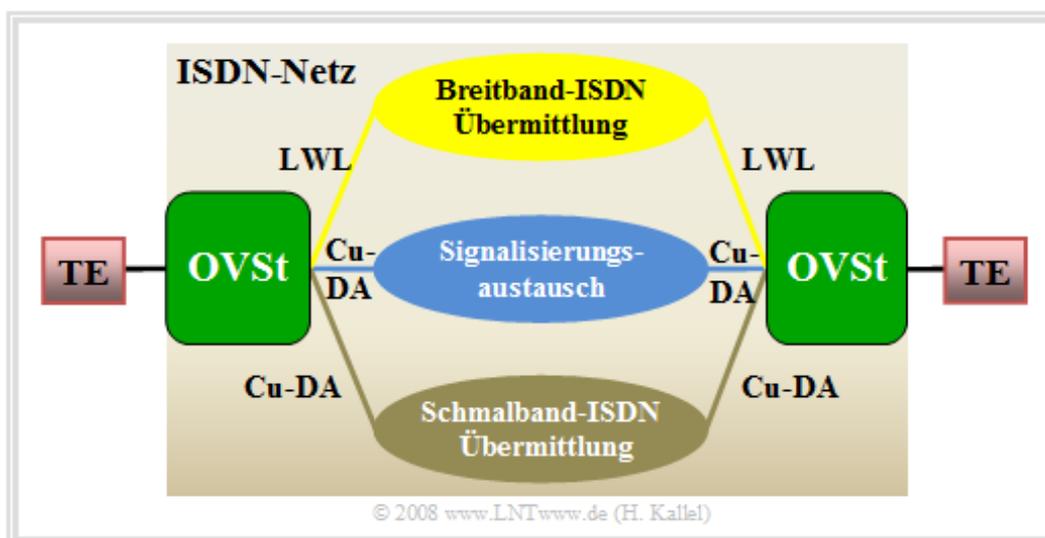
Breitband-**ISDN**

Breitband-**ISDN** – meist abgekürzt als **B-**ISDN**** – ist eine Weiterentwicklung von **ISDN**. Ziel dieser Weiterentwicklung aus dem Jahre 1996 war es, zusätzlich zu den Diensten und Anwendungen des Schmalband-**ISDN** neue Kommunikationsdienste mit höheren Bandbreiten zu ermöglichen. **B-**ISDN**** unterstützt beispielsweise audiovisuelle Dienste und Multimedia-Anwendungen wie Bildübertragung, Bildtelefon und Videokonferenz mit Übertragungsraten bis zu maximal 155 Mbit/s.

Um eine solch große Übertragungsrate zu erreichen, nutzt **B-**ISDN**** folgende neue Technologien:

- Anstelle von Kupferkabeln werden Glasfasern verwendet, die aufgrund ihrer geringen Dämpfung größere Bandbreiten und Reichweiten ermöglichen. Auf der nächsten Seite sind die Vorteile der **Glasfasertechnologie** zusammengestellt.
- Zur Übertragung und Vermittlung der Information wird auf die **ATM-Technik** (*Asynchronous Transfer Mode*) gesetzt. Auf der letzten Seite dieses Abschnitts wird diese Übertragungstechnik für **B-**ISDN**** erklärt.
- Die Orts- und Fernvermittlungsstellen sind speziell für diese großen Bandbreiten ausgelegt.

Die nachfolgende Grafik zeigt ein **ISDN-Netz** mit zwei **B-Kanälen** (Schmalband-**ISDN**, unten) über eine Kupfer-Doppelader (**Cu-DA**) und oben das Breitband-**ISDN** (**B-**ISDN****) über Glasfaser (**LWL**, Lichtwellenleiter). Über eine weitere Kupfer-Doppelader (in der Mitte) erfolgt die Signalisierung, zum Beispiel mittels des Signalisierungssystems **SS7**.

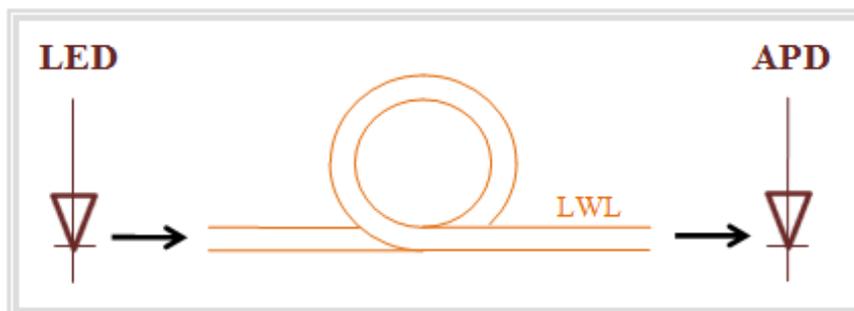


Der große wirtschaftliche Erfolg von **B-**ISDN**** ist ausgeblieben, da diese Technologie sehr teuer ist und mit **DSL** (*Digital Subscriber Line*) ebenfalls ausreichende Bandbreiten erreicht werden können. Die hohen Kosten hängen damit zusammen, dass die Glasfaser bis zum Teilnehmer verlegt werden muss. Größere Firmen und Behörden benutzen aber teilweise auch heute noch **B-**ISDN****, wobei nach weiteren Modifikationen Datenraten bis zu 622 Mbit/s erreicht werden.

Glasfasertechnologie

Die Übertragungsmedien für B-ISDN sind **Lichtwellenleiter** (LWL), häufig auch vereinfacht Glasfasern genannt. Seit den ersten Versuchen in den 1970er Jahren hat die optische Übertragungstechnik enorme Fortschritte gemacht und bietet viele Vorteile gegenüber der elektrischen Übertragung:

- In einem Lichtwellenleiter erfolgt die Signalausbreitung durch ein geführtes elektromagnetisches Feld und es existieren keine Ströme und Spannungen wie bei Kupferleitungen. Ein Glasfaserkabel ist deshalb *unempfindlich gegenüber elektromagnetischen Störungen* und zudem wesentlich leichter als ein Kupferkabel.
- Die Signaldämpfung eines Lichtwellenleiters ist deutlich geringer als die eines Kupferkabels. Im *Dämpfungsminimum* bei der Wellenlänge $\lambda = 1,55 \mu\text{m}$ wird ein Wert von 0.2 dB/km erreicht. Zum Vergleich: Bei einer Kupferleitung mit 0.4 mm Durchmesser beträgt der Dämpfungswert für ein Gleichsignal ca. 5 dB/km und bei einem Megahertz etwa 20 dB/km – siehe **Kapitel 1.1**.
- Mit Glasfasern kann man heute bis zu einer Entfernung von 70 km auch ohne zwischengeschaltete Verstärker Übertragungsraten von 10 Gbit/s und mehr erreichen. Erst bei deutlich größeren Entfernungen müssen Zwischenregeneratoren eingesetzt werden.
- Aktuelle optische Übertragungssysteme transportieren bei einer einzigen Wellenlänge Datenraten von 10 Gbit/s über eine Entfernung von 650 Kilometern und es sind bereits heute (2008) Systeme mit 40 Gbit/s kommerziell erhältlich.
- Durch **optisches Wellenlängenmultiplex** (englisch: *Wavelength Division Multiplex*, WDM) können bis zu 160 Kanäle parallel aufgebaut werden. Bei 80 Kanälen zu je 40 Gbit/s ergibt dies bereits eine Gesamtdatenrate von 3.2 Tbit/s – also 3200 Gbit/s – über eine einzige Faser.
- Heutzutage werden Glasfasern vorwiegend zwischen den Vermittlungsstellen eingesetzt, während man aus Kostengründen zwischen Teilnehmer und Vermittlungsstelle weiterhin die vorhandenen Kupferleitungen verwendet. Längerfristig wird es aber sicher *Fiber-to-the-Home* (FttH) geben.
- In den Vermittlungsstellen muss sendeseitig eine elektrisch-optische Wandlung (E/O) durch eine *Laserdiode* (LD) oder eine LED (englisch: *Light-emitting Diode*) vorgenommen werden. Beim Empfänger ist dann eine optisch-elektrische Rückwandlung (O/E) durch eine *Photodiode* (PD) notwendig. *Hinweis*: APD steht für Lawinenphotodiode (englisch: *Avalanche Photodiode*).



U_{G2}-Schnittstelle

Bei Glasfaseranbindung wird der Referenzpunkt zwischen Netzabschluss und Ortsvermittlungsstelle mit U_{G2} bezeichnet. Diese Schnittstelle besteht aus zwei Glasfasern für die beiden Übertragungsrichtungen.

Da man den ternären HDB3-Code mit dem Wertevorrat $\{-1, 0, +1\}$ der S_{2M}-Schnittstelle in optischer Form ohne aufwändigen optischen Modulator nicht übertragen kann, muss für die U_{G2}-Schnittstelle dieser wieder in einen Binärcode mit den Elementen „0“ und „1“ gewandelt werden. Diese Umwandlung erfolgt redundant mit dem **1T2B-Code**. Das heißt: Jedes Ternärsymbol wird durch zwei Binärsymbole gemäß der folgenden Tabelle dargestellt. Die Coderedundanz ist hierbei gleich $1 - \log_2(3)/2 \approx 20.7\%$.

| WANDLUNG VON HDB3 NACH 1T2B | |
|-----------------------------|-----------|
| HDB3-Code | 1T2B-Code |
| + (positiv) | 11 |
| - (negativ) | 00 |
| Null Volt | 01 |
| Undefiniert | 10 |

© 2008 www.LNTwww.de (H. Kallel)

Daraus ergeben sich folgende Eigenschaften:

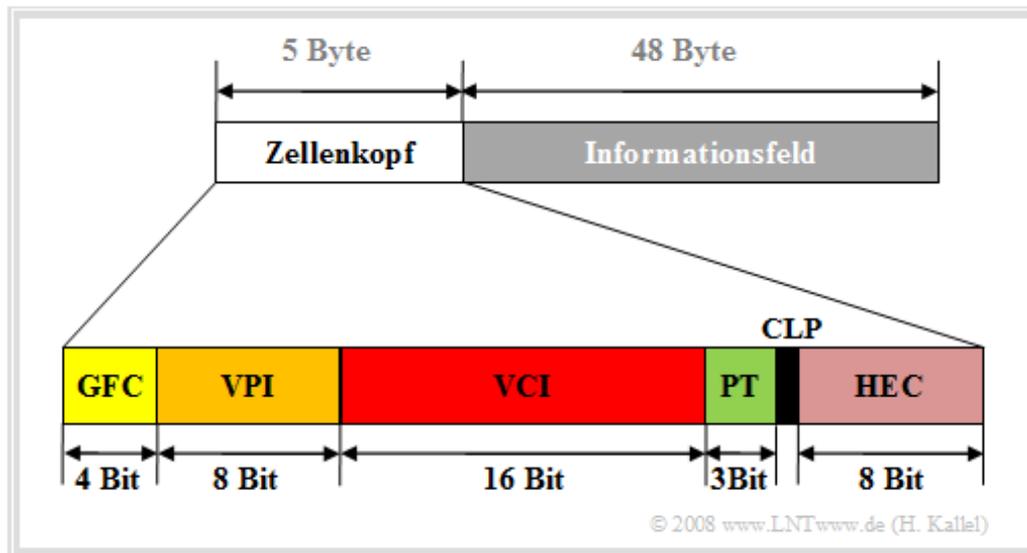
- Durch die Umsetzung wird die Schrittgeschwindigkeit auf 4096 kbit/s verdoppelt, was prinzipiell von Nachteil ist, aber durch die Vorteile der optischen Übertragung mehr als ausgeglichen wird.
- Ein echter Nachteil ist der zusätzliche Aufwand des Empfängers für die Umsetzung des optischen Signals in ein elektrisches Signal.

ATM-Technik

Das Breitband-ISDN basiert auf der so genannten **ATM-Technik** (*Asynchronous Transfer Mode*). Gegenüber PCM 30 bietet ATM folgende Vorteile für Breitbanddienste und -Anwendungen:

- flexible Zugriffsmöglichkeiten auf die Daten,
- eine gute Anpassung an hohe Bitraten.

Hier folgt nur eine kurze Beschreibung des ATM-Verfahrens und seiner Funktionsweise. ATM ist eine spezielle verbindungsorientierte Paketvermittlung, wobei die Pakete hier als ATM-Zellen bezeichnet werden. Es handelt es sich also um eine paketorientierte Übertragung von Zellen.



Die Grafik zeigt die ATM-Zellenstruktur. Jede ATM-Zelle setzt sich aus 53 Byte zusammen und besteht aus dem Zellenkopf (5 Byte) sowie einem Informationsfeld (48 Byte), das für die Übertragung von Nutzinformationen oder Signalisierungsdaten verwendet wird. Der Zellenkopf enthält:

- den *Generic Flow Control* (GFC) – 4 Bit zur Steuerung des Zellflusses,
- den *Virtual Path Identifier* (VPI) – 8 Bit zur virtuellen Pfadkennung,
- den *Virtual Channel Identifier* (VCI) – 16 Bit zur virtuellen Kanalkennzeichnung,
- den *Payload Type* (PT) – 3 Bit zur Beschreibung des Zellentyps,
- die *Cell Loss Priority* (CLP) – ein Bit, um einen Zellenverlust zu erkennen,
- den *Header Error Control* (HEC) – 8 Bit, um Bitfehler im Zellenkopf zu vermeiden.

Bei ATM werden die von den Endgeräten asynchron ankommenden Zellen im Zeitmultiplexverfahren übertragen. Kommen keine Zellen an, so werden Leerzellen erzeugt, so dass auf der Leitung stets ein kontinuierlicher Zellenstrom vorliegt. ATM ist in dem Sinn asynchron, dass Zellen mit Nutzinformation nicht periodisch auftreten müssen.

Weitere Informationen zu ATM finden Sie im nachfolgenden Kapitel „DSL – Digital Subscriber Line“, das ebenfalls die ATM-Technik benutzt.