

A2.1: Grundsätzliches zu xDSL

Schon Anfang der 1970er Jahre wurde die Notwendigkeit von digitalen Teilnehmeranschlüssen zur Verbesserung der Leistungsausnutzung und zur Erhöhung des Kundenkomforts erkannt. Nach der Spezifikation von ISDN zu Beginn der 1980er Jahre begann dann die eigentliche Entwicklung und Standardisierung von xDSL, wobei das „x“ als Platzhalter für jeweils einen Buchstaben steht.



Hierbei unterscheidet man folgende Systemvarianten:

- **HDSL** – *High-bit-rate Digital Subscriber Line*: Erstes Konzept 1986, erste Prototypen 1989, erste Veröffentlichungen von ANSI 1992 (*Technical Report E1T1/92-002R1*) und von ETSI (*Technical Report ETR 152*), endgültige Definition 1998 durch die ITU –Empfehlung G.991.1.
- **ADSL** – *Asymmetric Digital Subscriber Line*: Beginn der konzeptionellen Vorarbeiten 1989, erste Prototypen 1992, erste Veröffentlichungen 1995 von ANSI (*Technical Report T1.413*) und 1996 von ETSI (*Technical Report ETR 328*), 1999 Zusammenfassung der ITU–Empfehlungen G.992.1 und G.992.2, Weiterentwicklung zu ADSL2 (2002, ITU–Empfehlungen G.992.3 und G.992.4) sowie zu ADSL2+ (2003, ITU–Empfehlung G.992.5).
- **VDSL** – *Very-high-speed Digital Subscriber Line*: Erste Ansätze und Vorversuche 1994, erstmalige Veröffentlichungen von Spezifikationen 1998 (ANSI *Draft Technical Document T1E1.4/98-043 R1* bzw. ETSI *Technical Specification TS 101 270-1*), 2001 Veröffentlichung der ITU–Empfehlung G.993.1, 2006 Veröffentlichung der Weiterentwicklung (ITU–Empfehlung G.993.2).

Der Fragebogen zu dieser Aufgabe beschränkt sich auf Grundsätzliches wie zum Beispiel der Frage: „Ist das Übertragungsmedium Kupfer oder Luft?“ Nach dem hier gewählten Leitbild wäre beides möglich.

Hinweis: Die Aufgabe bezieht sich auf das **Kapitel 2.1** – insbesondere auf die Seite **Historische xDSL–Entwicklung**. Informationen zu anderen erwähnten Kommunikationssystemen finden Sie unter folgenden Links:

ISDN (*Integrated Services Digital Network*),

GSM (*Global System for Mobile Communications*),

UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*),

WiMax (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*).

Fragebogen zu "A2.1: Grundsätzliches zu xDSL"

a) Welches andere Kommunikationssystem hat ähnliche Funktion wie xDSL?

- ISDN,
- GSM,
- UMTS,
- WiMax.

b) Welches andere System verwendet das gleiche Medium wie xDSL?

- ISDN,
- GSM,
- UMTS,
- WiMax.

c) Worauf bezieht sich „unsymmetrisch“ in Zusammenhang mit xDSL?

- Es besagt, dass xDSL nur auf der „Last Mile“ eingesetzt wird.
- Es macht Aussagen über die Verschaltung der Doppeladern.
- Es weist auf verschiedene Raten im Up- und Downstream hin.

d) Welche Aussagen sind bezüglich der Downstreamraten zutreffend?

- VDSL ist schneller als ADSL.
- VDSL(1) ist schneller als VDSL(2).
- Die Datenrate hängt von der Länge der Kupfer-Doppelader ab.

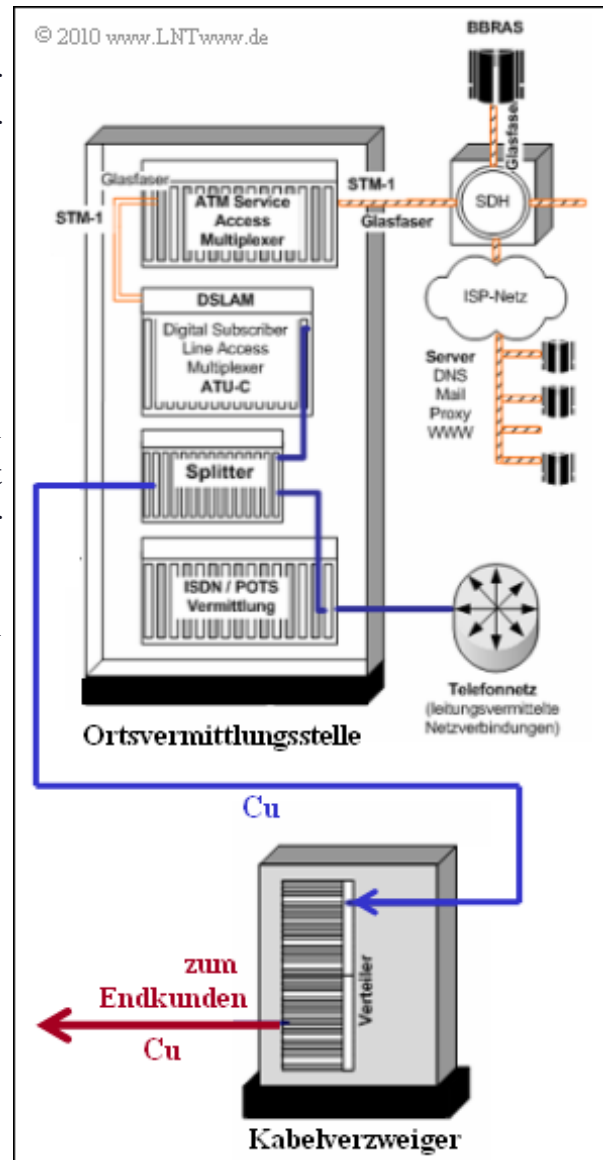
A2.2: xDSL-Varianten

„xDSL“ ist ein sehr weit gefasster Oberbegriff, der eine ganze Reihe verschiedener Systemvarianten für schnellen Internetzugang beinhaltet:

- **ADSL**: *Asymmetric Digital Subscriber Line*,
- die Erweiterungen **ADSL2** und **ADSL2+**,
- **VDSL**: *Very high-speed Digital Subscriber Line*, in Deutschland das System VDSL(2).

Die Aufgabe beinhaltet einige Fragestellungen zu den drei oben genannten Systemvarianten. Die Grafik zeigt die Ortsvermittlungsstelle sowie den Kabelverzweiger einer der oben genannten Varianten.

Hinweis: Die Aufgabe gehört zum Themengebiet von **Kapitel 2.2**.



Fragebogen zu "A2.2: xDSL–Varianten"

a) Welche xDSL–Variante ist in der Grafik dargestellt?

- ADSL,
- VDSL.

b) Welche Aussagen stimmen: Bei xDSL liegt der Glasfaser–Abschlusspunkt

- immer in der Ortsvermittlungsstelle,
- im so genannten DSLAM,
- beim Endkunden.

c) Telefonsignal (analog oder ISDN) und das xDSL–Signal werden getrennt

- mit Hilfe eines Routers,
- des DSLAM,
- des DSL–Modems,
- des Splitters.

d) Welche der folgenden Aussagen sind richtig?

- Bei ADSL sind stets 32 kbit/s für Verwaltungsdaten reserviert.
- Bei ADSL2 sind stets 32 kbit/s für Verwaltungsdaten reserviert.
- Eine Neuerung bei ADSL2 ist *Seamless Rate Adaption*.
- VDSL(2) bietet stets eine höhere Datenrate als ADSL2+.

Z2.2: DSL-Internetanschluss

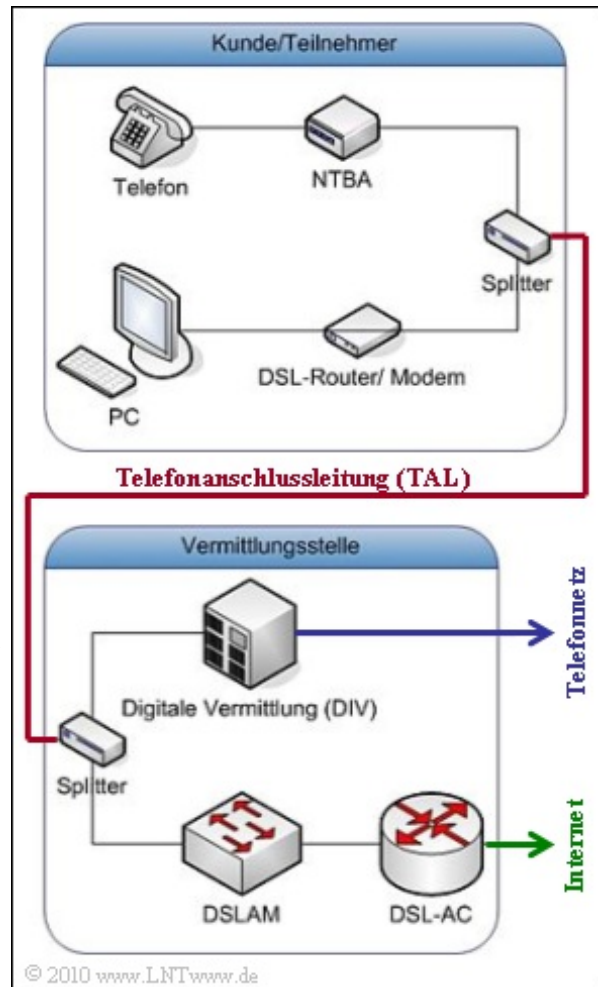
Die Abbildung zeigt eine mögliche Konfiguration eines DSL-Internetanschlusses, oben die Teilnehmerseite und unten die Komponenten der Ortsvermittlungsstelle, welche die Telefonsignale (analog oder ISDN) über die digitale Vermittlung (DIV) zum Telefonnetz weiterleitet und die Datensignale zum Internet.

Die Komponenten auf der Kundenseite, nämlich

- Splitter,
- NTBA,
- DSL-Router/Modem

stehen im Mittelpunkt der folgenden Fragen.

Hinweis: Die Aufgabe bezieht sich auf das **Kapitel 2.2**.



Fragebogen zu "Z2.2: DSL-Internetanschluss"

a) Welche Komponenten trennen Sprach- und Datensignal beim Teilnehmer?

- DSL-Router/Modem,
- DSLAM,
- Splitter.

b) Welche Bedeutung hat der NTBA?

- Der NTBA ist nur bei ISDN erforderlich.
- Umsetzung von U_{KO} auf S_0 (Zweidraht \Rightarrow Vierdraht).
- ISDN-Codeumsetzung von MMS43 auf den AMI-Code.

c) Welche Aufgaben hat das DSL-Modem bzw. der DSL-Router?

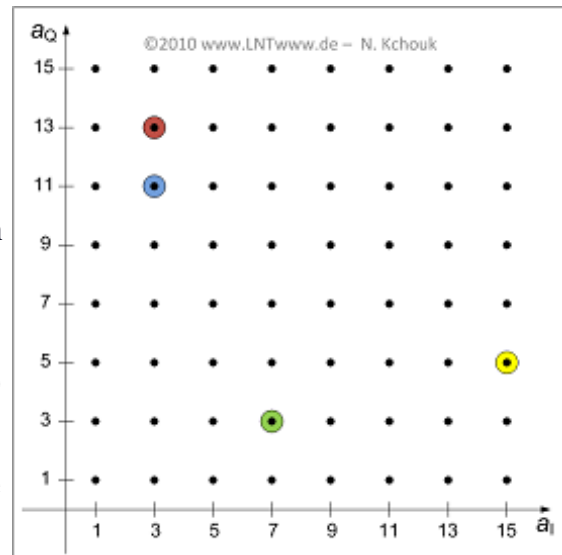
- Diese Einheiten bewerkstelligen eine Protokollumsetzung.
- Diese Einheiten beinhalten den Einschub „xTU-R“.
- Diese Einheiten beinhalten den Einschub „xTU-C“.

A2.3: QAM-Signalraumbelegung

Bei ADSL können verschiedene Übertragungsverfahren eingesetzt werden. Sowohl bei QAM als auch bei CAP und DMT findet dabei eine Signalraumzuordnung statt.

Die Grafik zeigt den ersten Quadranten der betrachteten Signalraumzuordnung. Auf die farblich markierten Punkte wird in der Aufgabe Bezug genommen. Anzumerken ist:

- Die Inphase- und Quadraturkoeffizienten (a_I , a_Q) können hierbei jeweils die Werte 1, 3, ... , 15 annehmen. In anderen Quadranten sind auch die negativen Werte -1 , -3 , ... , -15 möglich.
- Jeweils b Bit werden zu einem Signalraumpunkt zusammengefasst, der durch die Koordinaten a_I und a_Q gekennzeichnet wird.
- Wird eine Bitfolge ($q_{b-1}, q_{b-2}, \dots, q_0$) übertragen, so bezeichnen die MSB (*Most Significant Bits*) q_{b-1} und q_{b-2} die Vorzeichen von a_I und a_Q , und damit auch den Quadranten.
- Ist $q_{b-1} = 0$, so ist a_I positiv. Dagegen weist $q_{b-1} = 1$ auf ein negatives a_I hin. Der gleiche Zusammenhang besteht zwischen q_{b-2} und a_Q .
- Der Inphase-Anteil a_I ergibt sich als der Dezimalwert der Binärzahl ($q_{b-1}, q_{b-3}, \dots, q_1, 1$). Negative Zahlen werden durch das Zweierkomplement dargestellt.
- Der Quadratur-Anteil a_Q ergibt sich als der Dezimalwert der Binärzahl ($q_{b-2}, q_{b-4}, \dots, q_0, 1$). Negative Zahlen werden auch hier durch das Zweierkomplement dargestellt.



Ziel dieser Aufgabe ist es, gegebene Bitfolgen dem richtigen Signalraumpunkt zuzuordnen und umgekehrt.

Hinweis: Die Aufgabe gehört zum Themengebiet von **Kapitel 2.3**.

Fragebogen zu "A2.3: QAM–Signalraumbelegung"

a) Um welche Konstellationsgröße handelt es sich im betrachteten Beispiel?

- 8–QAM,
- 16–QAM,
- 64–QAM,
- 256–QAM.

b) Wie viele Bit werden zu einem Signalraumpunkt zusammengefasst?

$$b =$$

c) Welche MSB–Werte gelten für den in der Grafik dargestellten Quadranten?

- $q_7 = 0, q_6 = 0,$
- $q_7 = 1, q_6 = 0,$
- $q_7 = 1, q_6 = 1,$
- $q_7 = 0, q_6 = 1.$

d) Wie lauten die Koordinaten der Bitfolge **10010011**?

$$a_I =$$

$$a_Q =$$

e) Welche Bitfolge ist dem roten Punkt zugeordnet?

- 00001011,**
- 00010011,**
- 00010110,**
- 00101110.**

f) Welche Bitfolge ist dem blauen Punkt zugeordnet?

- 00001011,**
- 00010011,**
- 00010110,**
- 00101110.**

g) Liegt hier eine Gray–Codierung vor?

- Nein.

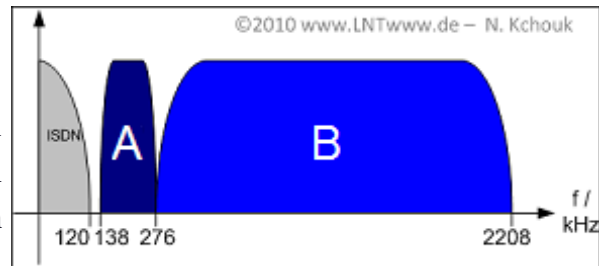
Ja.

h) Welche Aussagen gelten hinsichtlich Gray-Codierung und Bitfehlerrate?

- Gray-Codierung verkleinert die Bitfehlerrate.
- Gray-Codierung vergrößert die Bitfehlerrate.
- Gray-Codierung hat keinen Einfluss auf die Bitfehlerrate.

Z2.3: xDSL–Frequenzband

Die Abbildung zeigt die Frequenzbandbelegung eines gebräuchlichen xDSL–Systems. Im unteren Bereich befindet sich das ISDN–Band, danach folgen zwei Bänder A und B, die für Downstream und Upstream stehen. Über die Reihenfolge der beiden Bänder wird nichts ausgesagt. Dies ist die Fragestellung zur Teilaufgabe b).



Weiter ist bei xDSL/DMT standardisiert, dass

- pro Sekunde 4000 Rahmen übertragen werden,
- nach 68 Datenrahmen jeweils ein Synchronisationsrahmen eingefügt wird,
- die Symboldauer wegen des zyklischen Präfix noch um den Faktor $16/17$ verkürzt werden muss,
- jeder Datenrahmen zu einem DMT–Symbol codiert wird.

Damit ist auch die Integrationsdauer T festgelegt, die beim Empfänger zur Detektion ausgewertet wird, und gleichzeitig auch die Grundfrequenz $f_0 = 1/T$ des hier betrachteten DMT–Verfahrens (*Discrete Multitone Transmission*).

Hinweis: Die Aufgabe bezieht sich auf das **Kapitel 2.3** dieses Buches. Informationen zum *zyklischen Präfix* finden Sie im **Kapitel 2.4**.

Fragebogen zu "Z2.3: xDSL–Frequenzband"

a) Um welches xDSL–System handelt es sich?

- ADSL,
- ADSL2+,
- VDSL.

b) Wie ist die Reihenfolge von Upstream und Downstream?

- A kennzeichnet den Upstream und B den Downstream.
- A kennzeichnet den Downstream und B den Upstream.

c) Welche Symboldauer ergibt sich für das DMT–System?

$$T = \quad \mu\text{s}$$

d) Welche Grundfrequenz liegt dem DMT–Verfahren zugrunde?

$$f_0 = \quad \text{kHz}$$

e) Wieviele Kanäle könnten in 2208 kHz übertragen werden?

$$K_{\max} =$$

f) Wieviele Downstreamkanäle ergeben sich bei diesem System, wenn man die Aussparung der unteren Frequenzen berücksichtigt?

$$K =$$

g) Mit wievielen Bit (b) müssten die Subkanäle im Mittel belegt werden, damit die Bitrate $R_B = 25 \text{ Mbit/s}$ beträgt?

$$b = \quad \text{bit}$$

A2.4: DSL/DMT mit IDFT/DFT

Eine **Realisierungsform** des DMT-Verfahrens (steht für *Discrete Multitone Transmission*) basiert auf der Inversen Diskreten Fouriertransformation (IDFT) sowie der DFT am Empfänger.

Beim Sender werden $N/2-1$ Nutzer durch die komplexen Spektralkoeffizienten D_k ($k = 1, \dots, N/2-1$) den Frequenzen $f_k = k \cdot f_0$ zugewiesen, wobei die Grundfrequenz f_0 der Kehrwert der Symboldauer T ist.

Es gilt $D_k \in \{\pm 1 \pm j\}$, falls ein Kanal belegt ist, im anderen Fall $D_k = 0$. Die Koeffizienten D_0 und $D_{N/2}$ sind stets 0. Die obersten Koeffizienten werden konjugiert-komplex belegt:

$$D_k = D_{N-k}^*, \quad k = N/2 + 1, \dots, N - 1.$$

Dadurch wird sicher gestellt, dass das Zeitsignal $s(t)$ stets reell ist. Die Abtastwerte s_0, \dots, s_{N-1} dieses Signals werden dabei durch die IDFT gebildet, wobei der zeitliche Abstand zweier Abtastwerte $\Delta t = T/N = 1/(N \cdot f_0)$ beträgt. Durch Tiefpassfilterung erhält man das zeitkontinuierliche Signal.

Bei ADSL/DMT gilt $N = 512$ und $f_0 = 4.3125$ kHz. In dem hier betrachteten Beispiel seien die Parameter zur Vereinfachung wie folgt angenommen:

$$N = 16, \quad \Delta t = 10 \mu\text{s}.$$

In der obigen Tabelle sind für drei verschiedene D_k -Belegungen die Abtastwerte s_l ($l = 0, \dots, 15$) nach der IDFT angegeben. Gesucht sind die zugehörigen Spektralkoeffizienten D_k ($k = 0, \dots, 15$).

Hinweis: Die Aufgabe gehört zum **Kapitel 2.3**. Das Sendesignal hat bei DSL die Form

$$s(t) = \sum_{k=1}^K [2 \cdot \text{Re}\{D_k\} \cdot \cos(2\pi \cdot k f_0 \cdot t) - 2 \cdot \text{Im}\{D_k\} \cdot \sin(2\pi \cdot k f_0 \cdot t)].$$

Beachten Sie auch die folgende trigonometrische Beziehung:

$$\cos(2\pi f_0 t + \phi_0) = \cos(\phi_0) \cdot \cos(2\pi f_0 t) - \sin(\phi_0) \cdot \sin(2\pi f_0 t).$$

Als *Crestfaktor* (oder Scheitelfaktor) eines Signals bezeichnet man das Verhältnis von Maximalwert und Effektivwert.

Hinweis: Ihre Lösung können Sie mit dem folgenden Flash-Modul überprüfen:

Diskrete Fouriertransformation

Index l	Belegung A: s_l	Belegung B: s_l	Belegung C: s_l
0	2.000	-2.000	0
1	1.082	1.082	2.164
2	0	2.828	2.828
3	-1.082	1.082	0
4	-2.000	-2.000	-4.000
5	-2.613	-2.613	-5.226
6	-2.828	0	-2.828
7	-2.613	2.613	0
8	-2.000	2.000	0
9	-1.082	-1.082	-2.164
10	0	-2.828	-2.828
11	1.082	-1.082	0
12	2.000	2.000	4.000
13	2.613	2.613	5.226
14	2.828	0	2.828
15	2.613	-2.613	0

© 2010 www.LNTwww.de

Fragebogen zu "A2.4: DSL/DMT mit IDFT/DFT"

a) Wieviele Nutzer (K) können mit diesem System versorgt werden?

$$K =$$

b) Wie groß ist die Bandbreite B des betrachteten DMT-Systems?

$$B = \text{kHz}$$

c) Wie lauten die Spektralkoeffizienten bei Belegung A?

- $D_1 = 1 - j$, alle anderen 0,
- $D_1 = 1 + j$, $D_{15} = 1 - j$, alle anderen 0,
- $D_1 = 1 + j$, $D_{15} = 1 + j$, alle anderen 0.

d) Wie lauten die Spektralkoeffizienten bei Belegung B?

- $D_2 = -1 - j$, $D_{14} = -1 + j$, alle anderen 0,
- $D_3 = 1 - j$, $D_{13} = 1 + j$, alle anderen 0,
- $D_3 = -1 - j$, $D_{13} = -1 + j$, alle anderen 0.

e) Wie lauten die Spektralkoeffizienten bei Belegung C? Es gilt $(C) = (A) + (B)$.

- $D_1 = 1 + j$, $D_3 = -1 - j$, $D_{13} = -1 + j$, $D_{15} = 1 - j$,
- $D_k = (-1)^k + j \cdot (-1)^{k+1}$.

f) Wie groß ist der Crestfaktor (CF) bei der Belegung C?

$$\text{Belegung C: CF} =$$

Z2.4: Wiederholung zur IDFT

Bei der Diskreten Fouriertransformation (DFT) werden aus den Zeitabstastwerten $d(\nu)$ mit $\nu = 0, \dots, N - 1$ die diskreten Spektralkoeffizienten $D(\mu)$ mit $\mu = 0, \dots, N - 1$ wie folgt berechnet:

$$D(\mu) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{\nu=0}^{N-1} d(\nu) \cdot w^{\nu \cdot \mu}.$$

Hierbei ist mit w der komplexe Drehfaktor abgekürzt, der folgendermaßen definiert ist:

$$w = e^{-j \cdot 2\pi/N} = \cos\left(\frac{2\pi}{N}\right) - j \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{N}\right).$$

	A	B	C	D	E
D(0)	1	0	0	0	1
D(1)	0	0.5	0	0	0
D(2)	0	0	0.5	0	0
D(3)	0	0	0	0	0
D(4)	0	0	0	1	1
D(5)	0	0	0	0	0
D(6)	0	0	0.5	0	0
D(7)	0	0.5	0	0	0

© 2007 www.LNTwww.de

Somit gilt für die Inverse Diskrete Fouriertransformation (IDFT) als *Umkehrfunktion* der DFT:

$$d(\nu) = \sum_{\mu=0}^{N-1} D(\mu) \cdot w^{-\nu \cdot \mu}.$$

In dieser Aufgabe sollen für verschiedene Beispielfolgen $D(\mu)$ – die in obiger Tabelle mit „A“, ... , „E“ bezeichnet sind – die Zeitkoeffizienten $d(\nu)$ ermittelt werden. Es gilt somit stets $N = 8$.

Hinweis: Die Aufgabe bezieht sich auf die theoretischen Grundlagen von **Kapitel 5.2** des Buches „Signaldarstellung“ und ist identisch mit der dortigen Aufgabe A5.2. Sie können sich die Lösung auch mit folgendem Interaktionsmodul verdeutlichen:

Diskrete Fouriertransformation

DFT und IDFT spielen auch bei **DSM/DSL** eine große Rolle. Im entsprechenden Kapitel werden die Spektralkoeffizienten allerdings mit D_k bezeichnet und die Zeitabstastwerte mit s_l . Wir bitten Sie, diese Nomenklaturdiskrepanz zu entschuldigen.

Für die beiden Laufvariablen gelten mit dem DFT-Parameter $N = 8$:

$$0 \leq k \leq 7, \quad 0 \leq l \leq 7.$$

Fragebogen zu "Z2.4: Wiederholung zur IDFT"

a) Wie lauten die Zeitkoeffizienten $d(v)$ für $D(\mu)$ gemäß Spalte A?

$$D(\mu) \text{ gemäß „A“: } d(0) =$$

$$D(\mu) \text{ gemäß „A“: } d(1) =$$

b) Wie lauten die Zeitkoeffizienten $d(v)$ für $D(\mu)$ gemäß Spalte B?

$$D(\mu) \text{ gemäß „B“: } d(0) =$$

$$D(\mu) \text{ gemäß „B“: } d(1) =$$

c) Wie lauten die Zeitkoeffizienten $d(v)$ für $D(\mu)$ gemäß Spalte C?

$$D(\mu) \text{ gemäß „C“: } d(0) =$$

$$D(\mu) \text{ gemäß „C“: } d(1) =$$

d) Wie lauten die Zeitkoeffizienten $d(v)$ für $D(\mu)$ gemäß Spalte D?

$$D(\mu) \text{ gemäß „D“: } d(0) =$$

$$D(\mu) \text{ gemäß „D“: } d(1) =$$

e) Wie lauten die Zeitkoeffizienten $d(v)$ für $D(\mu)$ gemäß Spalte E?

$$D(\mu) \text{ gemäß „E“: } d(0) =$$

$$D(\mu) \text{ gemäß „E“: } d(1) =$$

A2.5: DSL–Fehlersicherungsmaßnahmen

Um die Bitfehlerrate der xDSL–Systeme entscheidend zu senken, wurden in den Spezifikationen verschiedene Sicherungsverfahren vorgeschlagen, um den zwei häufigsten Fehlerursachen entgegen zu wirken:

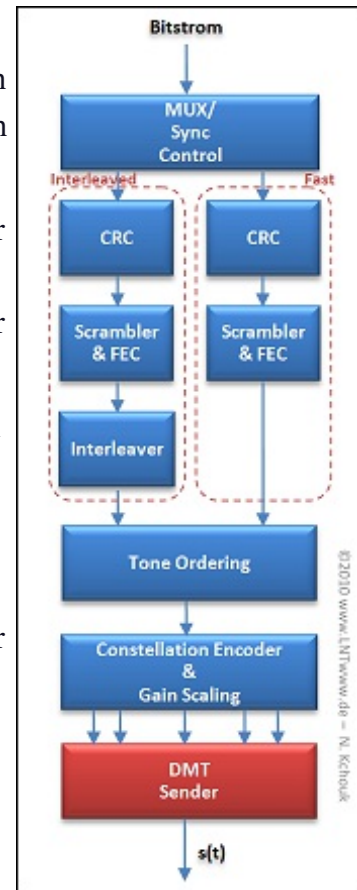
- Bitfehler aufgrund von Impuls– und Nebensprechstörungen auf der (Zweidraht–)Leitung,
- Abschneiden von Signalspitzen aufgrund mangelnder Dynamik der Sendeverstärker (*Clipping*).

Die Grafik zeigt die Fehlerschutzmaßnahmen bei ADSL/DMT. Diese sind in zwei verschiedenen Pfaden realisiert:

- Beim *Fast–Path* setzt man auf geringe Wartezeiten.
- Beim *Interleaved–Path* wird eine niedrige Bitfehlerrate erwartet.

Die Zuordnung der Bits zu diesen Pfaden übernimmt dabei ein Multiplexer (MUX) mit Synchronisationskontrolle.

Hinweis: Die Aufgabe gehört zu **Kapitel 2.4**.



Fragebogen zu "A2.5: DSL-Fehlersicherungsmaßnahmen"

a) Welche Aussagen sind für die beiden Pfade zutreffend?

- Der *Interleaved-Path* hat größere Latenzzeiten.
- Der *Fast-Path* ist anfälliger gegen AWGN-Rauschen.
- Der *Fast-Path* ist anfälliger gegen Bündelfehler.

b) Welche Aufgaben haben *Cyclic Redundancy Check (CRC)* & *Scrambler*?

- CRC bildet aus Datenblöcken einen Prüfwert mit 8 Bit.
- Die Redundanz von CRC ist sehr hoch.
- Der Scrambler soll lange Null-Eins-Folgen vermeiden.
- CRC & (De-)Scrambler werden mit Schieberegistern realisiert.

c) Welche Aussagen sind bezüglich Vorwärtsfehlerkorrektur zutreffend?

- DSL/DMT verwendet eine Faltungscodierung.
- DSL/DMT verwendet Reed-Solomon-Codierung.
- Die Codierung geschieht auf Byte-Ebene.
- Es handelt sich um eine symbolweise Codierung.
- Optional wird Trellis-codierte Modulation (TCM) verwendet.

d) Welche Aufgaben erfüllen *Interleaving* und *De-Interleaving*?

- Verbesserte Korrekturmöglichkeiten für „Reed-Solomon“.
- Interleaver und De-Interleaver arbeiten auf Byte-Ebene.
- Durch Interleaving wird Redundanz hinzugefügt.
- Interleaving ist besonders für Echtzeitanwendungen geeignet.

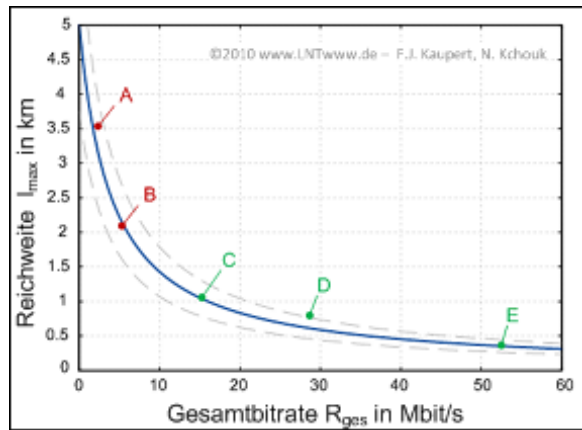
e) Welche Aufgaben haben die Blöcke „*Tone Ordering*“ und „*Gain Scaling*“?

- Vermessung der Kanalcharakteristik der einzelnen Subkanäle.
- Zuweisung der einzelnen QAM-Signale auf Subkanäle.
- Durch *Tone Ordering* kann man die Bitfehlerrate weiter senken.

Z2.5: ADSL–Reichweite vs. –Bitrate

Die Entwicklung der xDSL–Technik begann 1995 mit dem ersten Standard für ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*). Ab 2006 kommt in Deutschland auch das schnellere VDSL (*Very High Data Rate Digital Subscriber Line*) zum Einsatz.

Die Grafik zeigt 5 Systemvarianten in einem Diagramm, in dem die erreichbare Kabellänge l_{\max} in Abhängigkeit der Gesamtbitrate R_{ges} aufgetragen ist:



- **A:** 0.2 Mbit/s + 2 Mbit/s; $l_{\max} \approx 3.5$ km,
- **B:** 0.2 Mbit/s + 6 Mbit/s; $l_{\max} \approx 2$ km,
- **C:** 2 Mbit/s + 13 Mbit/s; $l_{\max} \approx 1$ km,
- **D:** 2 Mbit/s + 26 Mbit/s; $l_{\max} \approx 0.8$ km,
- **E:** 2 Mbit/s + 51 Mbit/s; $l_{\max} \approx 0.4$ km.

Eine der hier angegebenen Bitraten bezieht sich auf den Upstream, die andere auf den Downstream. Die Gesamtbitrate ist die Summe der beiden Anteile. Welche Bitrate sich auf den Upstream bezieht und welche auf den Downstream, wird in der Teilaufgabe a) abgefragt. Alle Angaben gelten für eine Kupfer–Doppelader mit 0.4 mm Durchmesser.

Die farbliche Unterscheidung der eingezeichneten Punkte bezieht sich auf die Unterteilung in ADSL und VDSL. Hierauf wird in der Teilaufgabe b) Bezug genommen. Die blau eingezeichnete Kurve zeigt eine Faustformel, die den Zusammenhang zwischen Reichweite und Gesamtbitrate annähert:

$$l_{\max} [\text{in km}] = \frac{20}{4 + R_{\text{ges}} [\text{in Mbit/s}]} \cdot$$

Gestrichelt eingezeichnet sind Abweichungen hiervon um $\pm 25\%$.

Häufig charakterisiert man ein leitungsgebundenes Übertragungssystem anhand der Kabeldämpfung bei der halben Bitrate (beachten Sie bitte das „a“ bei der Dämpfung):

$$a_{\star} = a_K(f = R_B/2) = \alpha_K(f = R_B/2) \cdot l.$$

Das Dämpfungsmaß (mit „alpha“ notiert) ist für eine 0.4 mm Kupfer–Doppelader wie folgt gegeben:

$$\alpha_K(f) = [5.1 + 14.3 \cdot (f/(1 \text{ MHz}))^{0.59}] \text{ dB/km}.$$

Für den Downlink von Variante **A** ($R_B = 2$ Mbit/s) ergibt sich somit mit $l = l_{\max} = 3.5$ km:

$$\begin{aligned} \alpha_K(f = 1 \text{ MHz}) &= [5.1 + 14.3] \text{ dB/km} = 19.4 \text{ dB/km} \\ \Rightarrow a_{\star} &= 19.4 \text{ dB/km} \cdot 3.5 \text{ km} = 67.9 \text{ dB}. \end{aligned}$$

Die Werte für die anderen Systemvarianten sollen in der Teilaufgabe d) ermittelt werden.

Hinweis: Die Aufgabe bezieht sich auf das **Kapitel 2.4**.

Fragebogen zu "Z2.5: ADSL-Reichweite vs. -Bitrate"

a) Betrachten Sie beispielsweise die Systemvariante C. Was trifft zu?

- Die Upstream-Bitrate beträgt 13 Mbit/s.
- Die Downstream-Bitrate beträgt 13 Mbit/s.

b) Welche der eingezeichneten Varianten sind ADSL- bzw. VDSL-Systeme?

- Die roten Punkte kennzeichnen VDSL-Systeme.
- Die grünen Punkte kennzeichnen VDSL-Systeme.

c) Welche Reichweite ergäbe sich aus der Faustformel für $R_{ges} = 1$ Gbit/s.

$$l_{max} = \quad \quad \quad m$$

d) Berechnen Sie die charakteristischen Kabeldämpfungen für die Variante

$$\mathbf{B: } a_* = \quad \quad \quad \text{dB}$$

$$\mathbf{C: } a_* = \quad \quad \quad \text{dB}$$

$$\mathbf{D: } a_* = \quad \quad \quad \text{dB}$$

$$\mathbf{E: } a_* = \quad \quad \quad \text{dB}$$

A2.6: Zyklisches Präfix

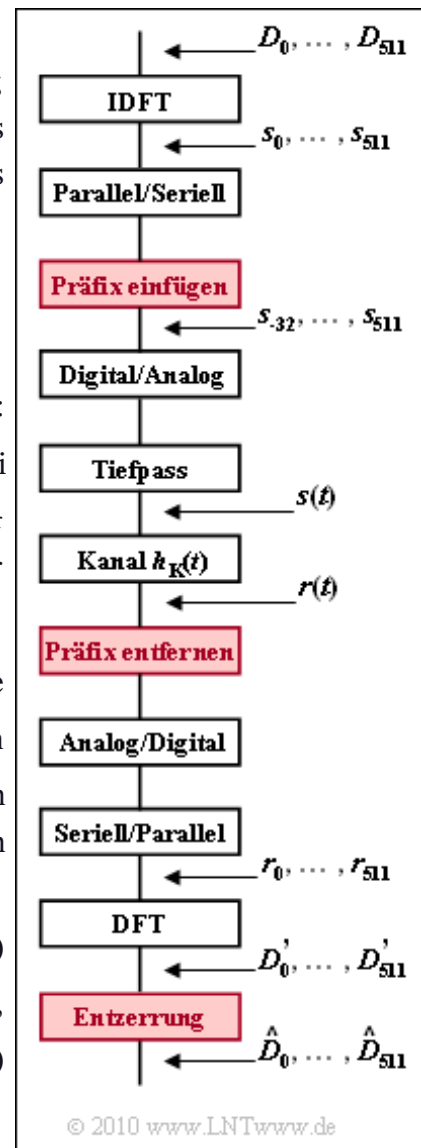
Ein wesentlicher Vorteil von DSL/DMT ist die einfache Entzerrung von Kanalverzerrungen durch die Einfügung eines Guard-Intervalls und eines zyklischen Präfix. Die Grafik zeigt ein vereinfachendes Blockschaltbild, wobei die zur Entzerrung des Kanalfrequenzgangs

$$H_K(f) \bullet \text{---} \circ h_K(t)$$

erforderlichen Komponenten rot hervorgehoben sind.

Für den ADSL/DMT-Downstream gelten folgende Systemparameter:

- Mit jedem Rahmen werden die Subkanäle $k = 64, \dots, 255$ bei den Trägerfrequenzen $f_k = k \cdot f_0$ mit den QAM-Symbolen D_k belegt. Wegen der Reservierung der untersten Frequenzen für ISDN und Upstream gilt $D_0 = \dots D_{63} = 0$.
- Die Grundfrequenz ist zu $f_0 = 4.3125 \text{ kHz}$ gewählt und die Rahmendauer beträgt $T = 1/f_0 \approx 232 \mu\text{s}$. Diese Werte ergeben sich aus der Forderung, dass pro Sekunde 4000 Rahmen übertragen werden sollen und nach jedem 68. Rahmen ein Synchronisationsrahmen eingefügt wird.
- Nach Belegung der oberen Koeffizienten ($k = 257, \dots, 448$) entsprechend $D_k = D_{512-k}^*$ wird der gesamte Datenblock D_0, \dots, D_{511} einer IDFT (Inverse Diskrete Fouriertransformation) zugeführt. Die Zeitkoeffizienten sind dann s_0, \dots, s_{511} .
- Um Impulsinterferenzen – auch Inter-Symbol-Interferenzen (ISI) genannt – zwischen benachbarten Rahmen zu vermeiden, wird zwischen zwei Rahmen ein Schutzabstand („Guard-Intervall“) der Dauer T_G eingefügt. Der Rahmenabstand muss dabei mindestens so groß sein wie die Länge T_K der Impulsantwort.
- Bei DSL werden zudem die IDFT-Ausgangswerte (s_{480}, \dots, s_{511}) dupliziert, als (s_{-32}, \dots, s_{-1}) dem Ausgangsvektor (s_0, \dots, s_{511}) vorangestellt und im Guard-Intervall übertragen. Man nennt dies das „zyklische Präfix“. Somit stören sich auch die Subträger eines Rahmens nicht, das heißt, es gibt nicht nur keine ISI, sondern auch keine Inter-Carrier-Interferenzen (ICI).



Hinweis: Die Aufgabe bezieht sich auf die **letzte Seite** von Kapitel 2.4. Im Fragebogen bezeichnet $s_k(t)$ den (zeitkontinuierlichen) Signalverlauf, wenn allein der Koeffizient D_k des Trägers bei $f_k = k \cdot f_0$ von 0 verschieden ist.

Fragebogen zu "A2.6: Zyklisches Präfix"

a) Wie groß ist die Dauer des Guard-Intervalls zu wählen?

$$T_G = \quad \mu\text{s}$$

b) Welche Ausdehnung darf die Kanalimpulsantwort $h_K(t)$ haben, damit es keine Intersymbolinterferenzen gibt?

$$T_{K, \max} = \quad \mu\text{s}$$

c) Welche Eigenschaften besitzt das DMT-System mit zyklischem Präfix? Der Einfluss des Rauschens soll hier unberücksichtigt bleiben.

- Alle Spektralkoeffizienten nach der DFT (D_k') sind gleich D_k .
- Die Koeffizienten nach Entzerrung (D_k mit \wedge) sind gleich D_k .
- Das Guard-Intervall hat keine Auswirkung auf die Datenrate.

d) Was wäre, wenn man das Guard-Intervall unbelegt lässt?

- Das würde nichts verbessern.
- Daten verschiedener Rahmen stören sich nicht gegenseitig.
- Daten innerhalb eines Rahmens stören sich nicht gegenseitig.

e) Auf welchem Prinzip beruht das zyklische Präfix?

- Der Einfluss von $h_K(t)$ wird auf $t < 0$ begrenzt.
- Für $0 \leq t \leq T$ stellt $s_k(t)$ eine harmonische Schwingung dar.
- $h_K(t)$ hat keinen Einfluss auf Betrag und Phase von $s_k(t)$.