Digitale Nachrichtensysteme

SS 2000

Prof. Dr.-Ing. Klaus A. Wolf

FH Regensburg
Prüfeningerstr. 58
93025 Regensburg
09 41 - 9 43 - 11 01

email: klaus.wolf@e-technik.fh-regensburg.de

http://homepages.fh-regensburg.de/~ wok39111/wolf.html
http://homepages.fh-regensburg.de/~ wok39111/dns.html
Kurslaufwerk :wf\dns

15.März 2000

10.Auflage

Dieses Skript entsteht aus meinen neuen Vorlesungen an der FH Regensburg. Es hat das Ziel, den Studenten das mühevolle Mitschreiben und Abzeichnen in der Vorlesung zu erleichtern. Es ist unvollständig und durch eigene Eintragungen zu ergänzen. Das Skript kann das Lesen von Büchern und/oder den Besuch der Vorlesungen nicht ersetzen.
Das vorliegende Skript wurde zum zehnten Mal mit emTEX gesetzt. Es ist sehr wahrscheinlich, daß noch Fehler enthalten sind, bzw. sich neue Fehler wieder eingeschlichen haben. Für entsprechende Hinweise bin ich dankbar.

Inhaltsverzeichnis

0 Einleitung 4

1 Begriffsklärungen 6

Übungsblatt 1 17

2 Informationstheoretische Grundbegriffe 18

3 Informationsübertragung über Kanal mit Störungen 22

3.1 Informationsmengen 22

3.2 Leistungsfähigkeit bei der Informationsübertragung 28

Übungsblatt 2 33

4 Codierung 34

4.1 Quellencodierung 34

4.2 Kanalcodierung 39

Übungsblatt 3 50

4.3 Leitungscodierung 51

4.3.1 analoge – digitale Übertragung 51

4.3.2 Formate 51

5 Modulation 57

5.1 Amplitudenmodulation 58

5.2 Frequenzmodulation 64

Übungsblatt 4 76

5.3 Modulation Sinusträger durch digitales Signal 78

5.3.1 ASK (Amplitude Shift Keying, Amplitudenumtastung) 78

5.3.2 FSK (Frequency Shift Keying, Frequenzumtastung) . . . 78
5.3.3 PSK (Phase Shift Keying, Phasenumtastung) . . . 79
5.4 Pulsmodulation . . . 83
5.4.1 Wertkontinuierliche Pulsmodulationsverfahren . . . 83
5.4.2 PCM (Puls-Code-Modulation) . . . 84

Übungsblatt 5 **89**

6 Fernsprechsysteme **104**

6.1 Bandbreite bei Fernsprechsystemen . . . 104
6.2 Übertragungsanforderungen . . . 106
6.2.1 Dämpfungsverzerrungen a(f) . . . 106
6.2.2 Gruppenlaufzeitverzerrungen . . . 107
6.2.3 absolute Laufzeit . . . 107
6.2.4 Nichtlineare Verzerrungen . . . 107
6.2.5 Störabstand . . . 107
6.3 Funktionsprinzip Telefon analog . . . 108
6.4 Netzstruktur der Telekom . . . 109
6.5 Vermittlungsverfahren (Verbindungsaufbau) . . . 110
6.5.1 Durchschaltevermittlung (Leitungsvermittlung) (circuit–switched) . . . 110
6.5.2 Speichervermittlung (Paketvermittlung) (packet–switched) . . . 110
6.6 Übertragungsverfahren bei der Telekom . . . 111
6.6.1 Frequenzmultiplexverfahren, FDM . . . 111
6.6.2 Zeitmultiplexverfahren, TDM . . . 113
6.7 Übertragungsmedien . . . 115
6.7.1 Symmetrische Zweidrahtleitung . . . 115
6.7.2 Koaxialkabel . . . 115
6.7.3 Richtfunkverbindungen . . . 116
6.7.4 LWL–Kabel . . . 117

Übungsblatt 6 **118**

7 ISDN **119**

7.1 Entwicklungsstufen zum ISDN 119

7.2 ISDN–Angebot der Telekom AG 122

7.3 Schnittstellen bei ISDN 127

7.4 U_{k0}–Schnittstelle 128

7.5 $\mathbf{S_0}$–Schnittstelle 131

Übungsblatt 7 **133**

7.6 OSI-Modell 134

7.6.1 Ziele des OSI-Modells 136

7.6.2 wichtige Begriffe: 136

7.6.3 Datenelemente 138

7.6.4 Dienstelemente 139

7.7 D-Kanal-Protokoll 140

7.7.1 Schicht 1 Physical Layer 142

7.7.2 Schicht 2 Data Link Layer 150

7.7.3 Schicht 3 Network Layer 163

Übungsblatt 8 **194**

8 TELEFAX **195**

8.1 FAX Gruppe3 196

8.1.1 Bildübertragung 196

8.1.2 Modem 200

8.1.3 Zeitlicher Ablauf, Protokoll 201

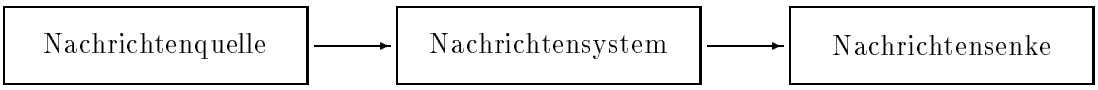
Literaturverzeichnis **204**

Kapitel 0

Einleitung

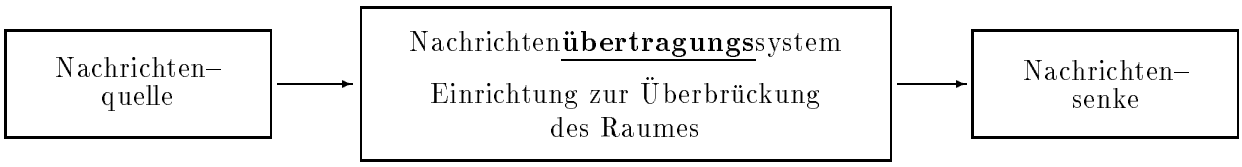
Drei Grundaufgaben der Nachrichtentechnik
- Nachrichtenübertragung
- Nachrichtenspeicherung
- Nachrichtenverarbeitung

d.h. ein Nachrichtensystem hat die generelle Aufgabe, eine Nachricht von einer Quelle zu einer Senke zu bringen



spaltet man das Schema entsprechend den Grundaufgaben auf, ergibt sich

- **Nachrichtenübertragung über räumliche Entfernungen**

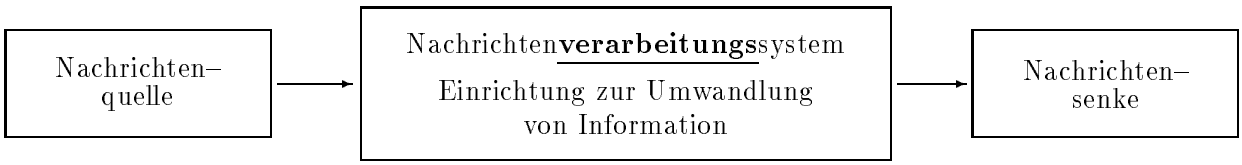


z.B. Fernsprechsysteme, Rundfunksysteme, Fernsehsysteme, Satellitensysteme, Radarsysteme

- **Nachrichtenspeicherung**

z.B. Tonband, Schallplatte, Videoplatte, Videoband, CD, Magnetplatte, Magnetband, RAM, ROM

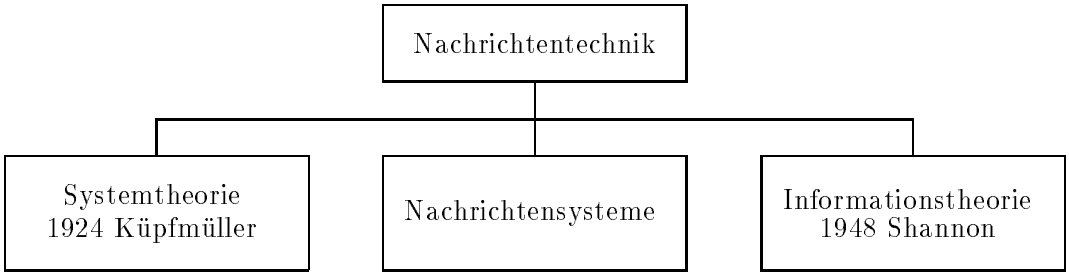
- **Nachrichtenverarbeitung (Informationsverarbeitung)**



z.B. Rechnersysteme, Auswertesysteme Luft- oder Radarbilder, Bildverarbeitungssysteme

Kapitel 1

Begriffsklärungen



INFORMATION ist Kenntnis von irgendetwas (der Welt, von Gedanken und Ideen), oder Abbau von Unkenntnis.

NACHRICHT ist eine Zusammenstellung von Symbolen oder Zuständen, die zur Übermittlung von Information dient.

NACHRICHTENQUELLE ist alles, was eine Nachricht abgibt.

NACHRICHTENSENKE (Nachrichtenempfänger) ist alles, was eine Nachricht aufnimmt.

NACHRICHTENSYSTEM : Alle mit der Nachrichtenübertragung, der Nachrichtenspeicherung und der Nachrichtenverarbeitung befaßten Einrichtungen zwischen der Nachrichtenquelle und der Nachrichtensenke bilden ein Nachrichtensystem.

NACHRICHTENKANAL : Alle mit der Nachrichtenübertragung befaßten Einrichtungen zwischen der Nachrichtenquelle und der Nachrichtensenke bilden den Nachrichtenkanal (Nachrichtenübertragungssystem).

SYMBOL ist ein Element zur Darstellung einer Nachricht. Seine Bedeutung muß gelernt oder vereinbart sein.

ALPHABET A : Ein Alphabet (= Symbolvorrat) ist eine durch Übereinkommen festgelegte Liste (Menge) von Symboltypen (einschließlich Trennungszeichen und Sonderzeichen).

BINÄRE ALPHABETE : Alphabete, die nur zwei Symbole umfassen, sind binäre Alphabete, ihre Symbole heißen Bits, und die zugehörige Nachrichtenquelle wird eine binäre Nachrichtenquelle genannt.

SYMBOLUMFANG s : Die Anzahl der Symbole eines Alphabetes heißt Umfang des Alphabetes.

WORT ist eine Folge von Symbolen, die in einem bestimmten Zusammenhang als Einheit betrachtet wird.

WORTLÄNGE n : Die Anzahl der Symbole eines Wortes ist die Wortlänge.

WORTVORRAT ist eine vereinbarte Menge von Wörtern. Nicht jede beliebige Kombination von Symbolen eines Alphabetes muß als Wort definiert sein!

WORTUMFANG M : Die Anzahl der Wörter eines Wortvorrates ist der Wortumfang.

Wortumfang bei Wörtern gleicher Länge
Der Wortumfang M ist kleiner oder gleich dem mit der Wortlänge n potenzierten Symbolumfang.

$$M \leq s^n$$

$$M_{\max} = s^n$$

Wortumfang bei Wörtern unterschiedlicher Länge

$$M \leq \sum_{j=1}^{n} s^j = s + s^2 + s^3 + ... + s^n = s \cdot \frac{s^n - 1}{s - 1}$$

$$M_{\max} = \sum_{j=1}^{n} s^j = s \cdot \frac{s^n - 1}{s - 1}$$

CODE ist eine nicht notwendigerweise eindeutig umkehrbare Zuordnungsvorschrift zwischen zwei Mengen von Wörtern (Wortvorräten).

CODIERUNG : Unter Codierung versteht man die Umsetzung eines Wortes in das ihm entsprechende Codewort nach einem festgelegten Code.

DECODIERUNG ist die Umsetzung eines Codewortes in das ihm entsprechende Wort; bei eindeutig umkehrbarem Code ist der Vorgang invers zur Codierung.

CODER / DECODER : Eine Einrichtung zur Codierung ist ein Coder und eine Einrichtung zur Decodierung ist ein Decoder.

CODEKLASSEN : Die verschiedenen Codes werden nach dem Umfang ihres Codesymbolvorrates in folgende Klassen eingeteilt.

$s_c = 2$	Binärcode
$s_c = 3$	Ternärcode
$s_c = 4$	Quaternärcode
$s_c = 5$	Quinärcode
$s_c = 6$	Senärcode
$s_c = 7$	Septenärcode
$s_c = 8$	Oktonärcode
$s_c = 9$	Novenärcode
$s_c = 10$	Denärcode
$s_c = 16$	Sedenärcode

CODEWORTUMFANG M_c :
allgemein

$$M_c \leq \sum_{j=1}^{n_c} s_c^j = s_c + s_c^2 + s_c^3 + ... + s_c^{n_c} = s_c \cdot \frac{s_c^{n_c} - 1}{s_c - 1}$$

maximaler Codewortumfang

$$M_{c,\max} = \sum_{j=1}^{n_c} s_c^j$$

REDUNDANTER CODE : Ein Code, dessen Codewortumfang kleiner ist als der maximal mögliche Codewortumfang, ist ein redundanter Code. $M_c < M_{c,\max}$

REDUNDANZFREIER CODE : Ein Code, dessen Codewortumfang **gleich** ist dem maximal möglichen Codewortumfang, ist ein redundanzfreier Code. $M_c = M_{c,\max}$

BLOCKCODE ist ein Code, bei dem alle Codewörter die gleiche Länge besitzen.

Codewortumfang eines Blockcodes

$$M_{c,\max} = s_c^{n_c}$$

Abkürzungen

ITU **I**nternational **T**elecommunication **U**nion. Organisation der Vereinten Nationen. Mitglieder sind die nationalen öffentlichen Netzwerkbetreiber und Postverwaltungen. Die ITU legt die Normen fest, durch die z.B. ein weltweiter Nachrichtenaustausch ermöglicht wird. Diese Arbeit leisteten bis 28.02.1993 zwei Unterorganisationen: CCITT und CCIR Seit 01.03.1993 ITU-T und ITU-R

CCITT **C**omité **C**onsultatif **I**nternational **T**élégraphique et **T**éléphonique. (seit 1956) (Es legte wesentliche Standards auf dem Gebiet der Kommunikationstechnik fest). Seit 01.03.1993 ITU-T

CCIR **C**omité **C**onsultatif **I**nternational des **R**adiocommunications. (seit 1927) (Internationaler beratender Ausschuß für das Funkwesen). Seit 01.03.1993 ITU-R

CEPT **C**onférence **E**uropéenne des Administrations des **P**ostes et **T**élécommunications. (Europäische Standardisierungsorganisation)

ETSI **E**uropean **T**elecommunications **S**tandards **I**nstitute. (1988 gegründetes Normungsinstitut von der Europäischen Gemeinschaft im Hinblick auf den gemeinsamen Markt nach 1992 um den ungehinderten Austausch von Produkten der Fernmeldetechnik innerhalb der EG sicherzustellen. Übernimmt damit die Aufgaben der CEPT und unterscheidet sich von ihr dadurch, daß außer den europäischen Postverwaltungen auch den Herstellern, Anwendern und Forschungsinstituten der Zugang offensteht.)

BZT **B**undesamt für **Z**ulassungen in der **T**elekommunikation. (Seit 10.03.92 aus ZZF (Zentralamt für Zulassungen im Fernmeldewesen) entstanden. Erteilt als Bundesoberbehörde (unmittelbar dem BMPT unterstellt) die Zulassung für sämtliche Endgeräte, die in Deutschland an das öffentliche Netz angeschaltet, oder Funkanlagen, die errichtet und betrieben werden sollen. Der Begriff **zugelassen** ersetzt dann FTZ-zugelassen. (aus Pressemitteilung des BMPT vom 09.03.92)

ANSI **A**merican **N**ational **S**tandards **I**nstitute (Normungsorganisation der USA, entpricht DIN)

ASCII **A**merican **S**tandard **C**ode for **I**nformation **I**nterchange

Seit 01.03.1993 hat die ITU eine neue Struktur. Damit gibt es die Bezeichnungen CCITT und CCIR nicht mehr. Statt dessen gibt es jetzt den Telekommunikations-Standardisierungssektor der ITU (ITU-T). Die CCITT-Vollversammlungen wurden abgelöst durch die Welt-Telekommunikations-Standardisierungskonferenzen (WTSC). Ziel dieser Umstrukturierung war, Standards schneller als alle 4 Jahre (durch die CCITT- Vollversammlungen) einzuführen. Das Telekommunikations-Standardisierungsbüro (TSB, früher CCITT-Sekretariat) organisiert die Zusammenarbeit der einzelnen Studienkommissionen (derzeit 15).

In den TSAG's (Telecom Standardization Advisory Group) kann jeder mitarbeiten. Man unterscheidet dabei zwischen
ROA's (Recognized Operating Agency, also lizensierte Netzbetreiber) und
SIO's (Scientific and Industrial Organizations, z.B. Hersteller von Telekomgeräten, wissenschaftliche und industrielle Organisationen).

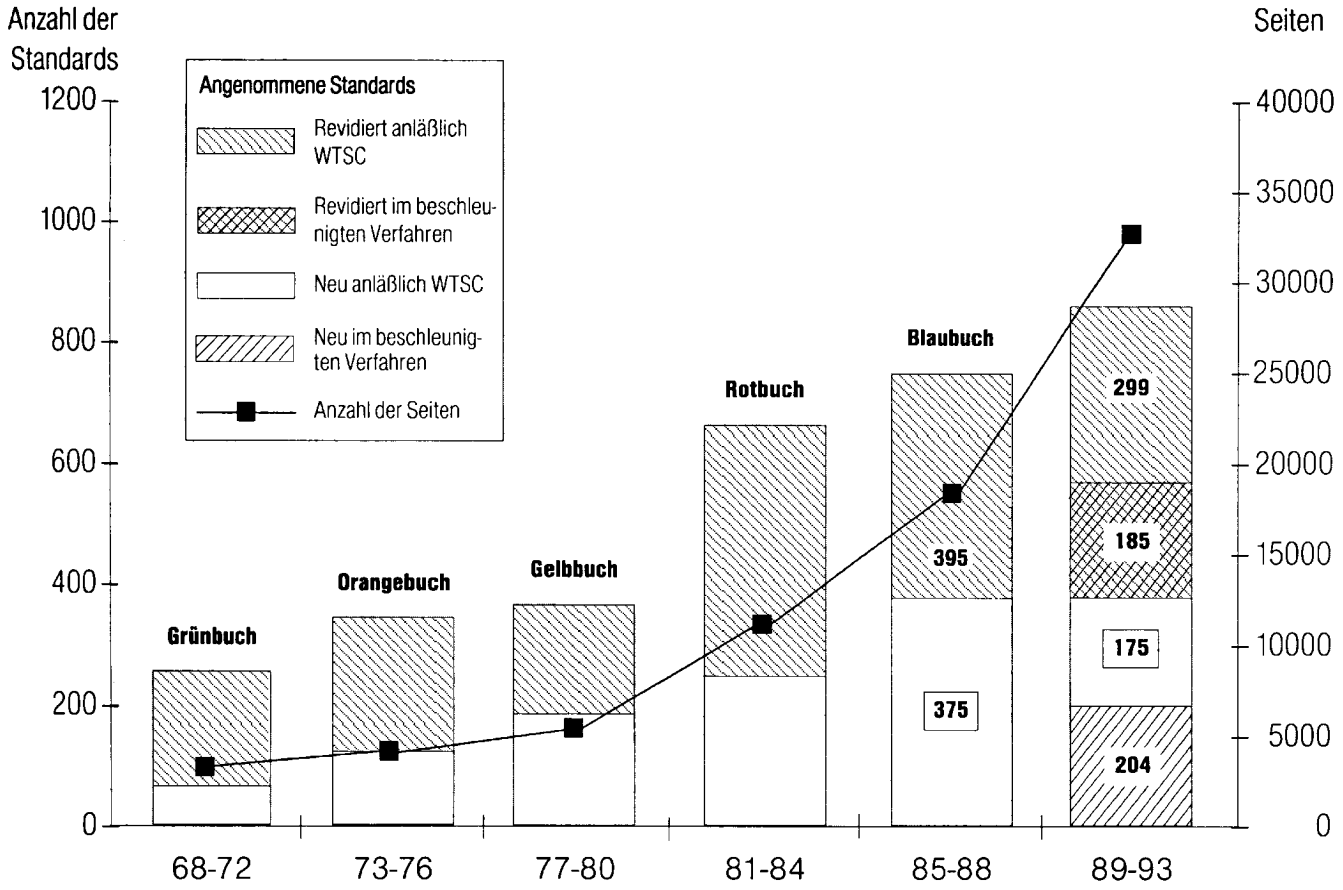


Abbildung 1.1: Zahl und Umfang der Standards Quelle:[23] S.28

Bisherige Bezeichnung	neue Bezeichnung	Abk.
CCITT	Telekommunikations-Standardisierungssektor der ITU	ITU-T
CCITT-Vollversammlung	Weltweite Telekommunikationsstandardisierungs-Konferenz	WTSC
CCITT-Sekretariat	Telekommunikations-Standardisierungsbüro	TSB
CCITT-Direktor	Direktor des Telekommunukations-Standardisierungsbüros	Director, TSB
CCITT-Tagungen	Tagungen des Telekommunikations-Standardisierungssektors	ITU-T meetings
CCITT-Studienkommissionen I bis XVII	Studienkommissionen des Telekommunikations-Standardisierungssektors 1-15	ITU-T study groups 1 to 15
CCITT-Empfehlungen	Empfehlungen des Telekommunikations-Standardisierungssektors	ITU-T Recommandations
	Berater-(Beratungs-)Gruppe für Telekommunikations-Standardisierung	TSAG

Studienkommissionen

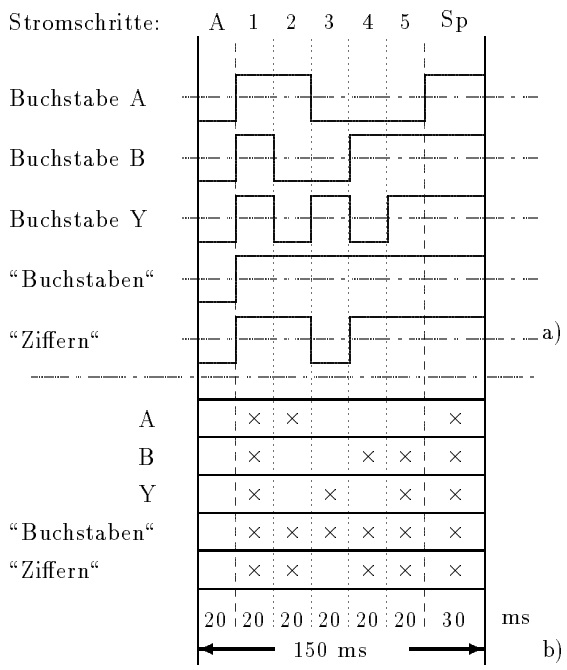
1	Dienste, Dienstdefinitionen
2	Betrieb von Fernsprechnetzen
3	Tarifierungsgrundlagen, internationale Gebührenabrechnung
4	Überwachung und Unterhaltung von Nachrichtennetzen
5	Schutz von Nachrichtennetzen gegen elektromagnetische Beeinflussungen
6	Unterirdische Nachrichtenkabel und Kabelgarnituren
7	Datennetze und offene Systemkommunikation (OSI)
8	Endgeräte für Telematikdienste
9	Fernseh- und Tonübertragung
10	Nachrichtentechnische Programmiersprachen
11	Vermittlungstechnik und Zeichengabeverfahren
12	Übertragungsqualität (einschl. Endgeräte) in Nachrichtennetzen
13	Allgemeine Grundlagen der Nachrichtennetze
14	Modems und Übertragungsverfahren für Daten, Telex und Telematikdienste
15	Übertragungssysteme und -einrichtungen

A	•—	S	•••	Bindestrich	-	—••••—
B	—•••	T	—	Fragezeichen	?	••——••
C	—•—•	U	••—	Doppelpunkt	:	———•••
D	—••	V	•••—	Klammer	()	—•——•—
E	•	W	•——	Punkt	.	•—•—•—
F	••—•	X	—••—	Komma	,	——••——
G	——•	Y	—•——	Auslassungsz.	`	•———•—
H	••••	Z	——••	Doppelstrich	=	—•••—
I	••	1	•————	Bruchstrich	/	—••—•
J	•———	2	••———			
K	—•—	3	•••——	Warten		•—•••
L	•—••	4	••••—	Irrung		••••••••
M	——	5	•••••	Verstanden		•••—•
N	—•	6	—••••	Schlußzeichen		•—•—•
O	———	7	——•••			
P	•——•	8	———••	Mit Strich dargestellte Schritt-		
Q	——•—	9	————•	dauer etwa 3-fache Länge gegen-		
R	•—•	0	—————	über der mit Punkt dargestellten		

Abbildung 1.2: Morse-Code

MSD / LSD		0	1	2	3	4	5	6	7
		000	001	010	011	100	101	110	111
0	0000	NUL	DLE	SP	0	@	P	`	p
1	0001	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
2	0010	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
3	0011	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
4	0100	EOT	DC4	$	4	D	T	d	t
5	0101	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
6	0110	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
7	0111	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
8	1000	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
9	1001	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
A	1010	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
B	1011	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
C	1100	FF	FS	,	<	L	\	l	|
D	1101	CR	GS	-	=	M	]	m	}
E	1110	SO	RS	.	>	N	^	n	~
F	1111	S1	US	/	?	O	_	o	DEL

Abbildung 1.3: ASCII-Code, auch ITU-T Alphabet Nr.5



WR: Wagenrücklauf
ZR: Zeilenvorschub
Bu: Buchstabenumschaltung
Zi: Ziffernumschaltung
ZW: Zwischenraum
BEL: Klingelsignal

Nr.	Register 1. Bu.	2. Zi. u. Zei	Nr. 1	2	3	4	5
1	A	-	●	●			
2	B	?	●			●	●
3	C	:		●	●	●	
4	D	Werda	●			●	
5	E	3	●				
6	F		●		●	●	
7	G			●		●	●
8	H				●		●
9	I	8		●	●		
10	J	BEL	●	●		●	
11	K	(	●	●	●	●	
12	L	)		●			●
13	M	.			●	●	●
14	N	,			●	●	
15	O	9				●	●
16	P	0		●	●		●
17	Q	1	●	●	●		●
18	R	4		●		●	
19	S	′	●		●		
20	T	5					●
21	U	7	●	●	●		
22	V	=		●	●	●	●
23	W	2	●	●			●
24	X	/	●		●	●	●
25	Y	6	●		●		●
26	Z	+	●				●
27	WR					●	
28	ZR			●			
29	Bu.		●	●	●	●	●
30	Zi.		●	●		●	●
31	ZW				●		
32							

Abbildung 1.4: Telegrafencode ITU-T Nr.2

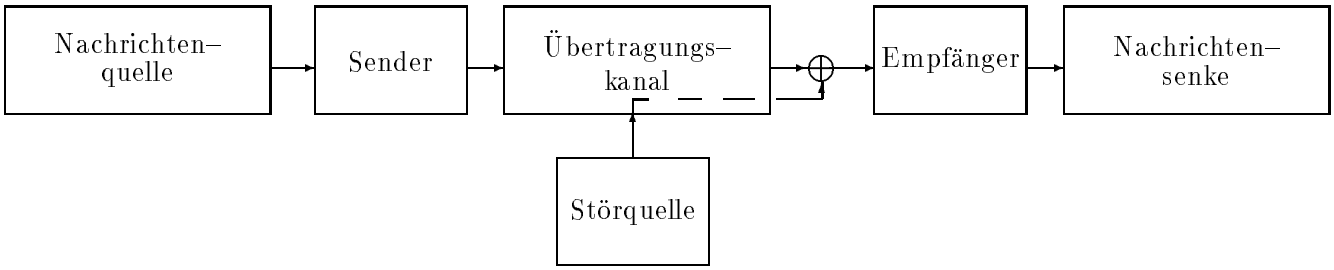
Das **Signal** *– der* **wichtigste** *Gegenstand der Nachrichtentechnik*

SIGNAL ist die physikalische Repräsentation einer Nachricht. (z.B. el.Spannung, el.Strom, Feldstärke i.a. Zeitfunktionen, aber auch räumliche Funktionen wie Magnetisierung, Schwärzungsgrad u.ä.)

AUGENBLICKSWERT eines Signals $x(t)$ ist sein Wert zum Zeitpunkt t.

SIGNALPARAMETER : Diejenige Kenngröße eines Signals, deren Wert oder Wertverlauf die Nachricht darstellt, ist der Signalparameter (oder Informationsparameter).

Nachrichtenübertragungssystem und seine Signale



SCHNITTSTELLE :

Eine Schnittstelle ist eine Grenze zwischen Signalübertragungseinrichtungen, Baugruppen, Geräten, Anlagen oder Leitungsnetzen zur Abgrenzung der Funktionen.

Die Festlegung einer Schnittstelle umfaßt:

a) die physikalischen Eigenschaften der zur Schnittstelle gehörigen Leitungen
b) die darauf ausgetauschten Signale und
c) deren Bedeutung.

Schnittstellen sind je nach Aufgabenstellung und Zweckmäßigkeit frei wählbar.

NACHRICHTENÜBERTRAGUNGSSYSTEM :

Alle Einrichtungen, die im Signalablauf zwischen der Quellenschnittstelle und der Sinkenschnittstelle liegen, bilden ein Nachrichtenübertragungsssystem.

QUELLENSIGNAL $q(t)$: Das Signal an der Quellenschnittstelle ist das Quellensignal $q(t)$. (z.B. Mikrofonspannung)

SENDESIGNAL $s(t)$: Das Signal am Ausgang des Senders ist das Sendesignal $s(t)$.

EMPFANGSSIGNAL $e(t)$: Das Signal am Eingang des Empfängers ist das Empfangssignal $e(t)$.

SENKENSIGNAL / VERBRAUCHERSIGNAL $v(t)$: Das Signal an der Senkenschnittstelle ist das Senken- oder Verbrauchersignal $v(t)$. (z.B. Schalldruck, Verstärkerausgangssignal)

SENDER umfaßt alle Einrichtungen, die zwischen der Quellen- und der Sendeschnittstelle liegen. Er hat die Aufgabe, das Quellensignal in ein für die Übertragung geeignetes Sendesignal umzuwandeln. (z.B. Verstärker, Filter, Modulator, Begrenzer)

ÜBERTRAGUNGSKANAL umfaßt alle Einrichtungen, die zwischen der Sende- und der Empfangsschnittstelle liegen. Er sollte den zeitlichen Verlauf des Signalparameters möglichst unverfälscht über räumliche Entfernungen übertragen. (z.B. Drahtleitungen, Funkstrecken, Verstärker, Speicher, Filter)

EMPFÄNGER umfaßt alle Einrichtungen zwischen der Empfangs- und der Senkenschnittstelle. Er hat die Aufgabe, die Signale von Störungen und Verzerrungen zu befreien, und in eine adäquate Signalform umzuwandeln. (z.B. Verstärker, Filter, Mischstufen, Demodulatoren, Entzerrer, Begrenzer)

SYSTEMGRÖßEN sind Größen, die die Eigenschaften eines Nachrichtensystems bestimmen. Sie sind unabhängig von den Eigenschaften der übertragenen Signale.

SIGNALGRÖßE ist eine Größe, die Eigenschaften eines Signals beschreibt.

NUTZSIGNAL : Das der Nachricht eindeutig zugeordnete Signal ist das Nutzsignal.

STÖRSIGNAL $n(t)$: Ein Signal, das die Form (den zeitlichen Verlauf) eines Nutzsignals verfälscht, ist ein Störsignal. Häufig werden alle Störungen in einem resultierenden Störsignal zusammengefaßt, das sich dem Nutzsignal am Kanalausgang additiv überlagert. (z.B. Nebensprechen, atmosphärische Störungen, Schalt- und Zündvorgänge, Wärmerauschen, Fehlstellen im Magnetband)

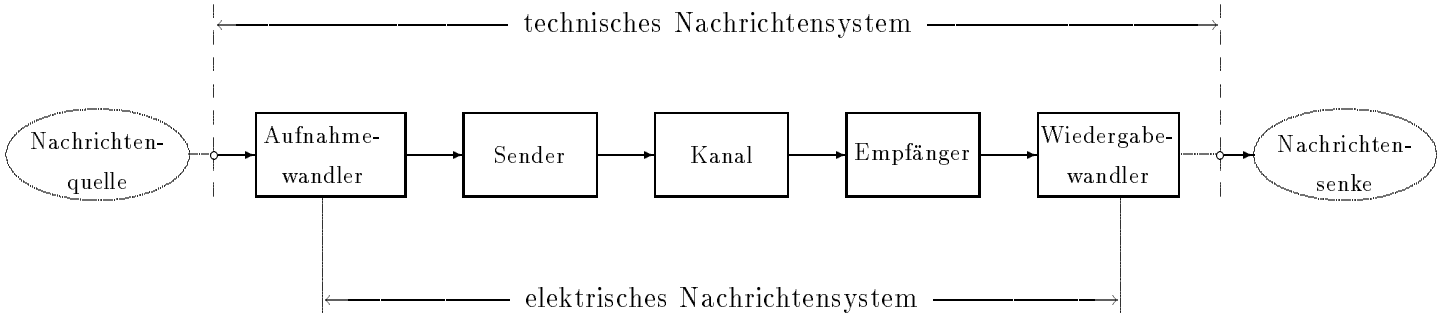


Abbildung 1.5: Funktionsblockschaltbild Nachrichtenübertragung allgemein

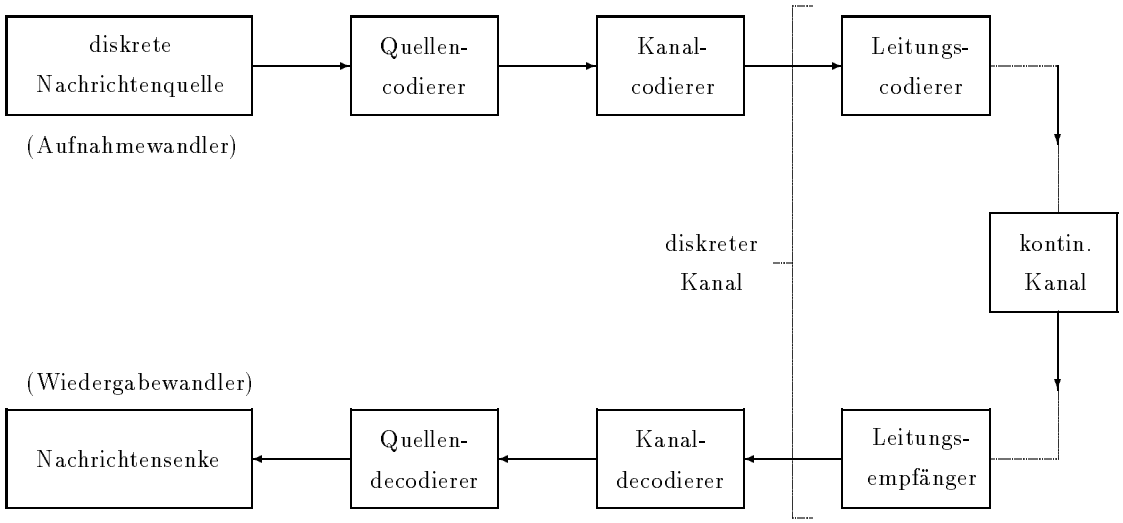


Abbildung 1.6: Funktionsblockschaltbild digitales Übertragungssystem

Klassifizierung von Signalen

a) nach dem Signalparameter (DIN 40146)

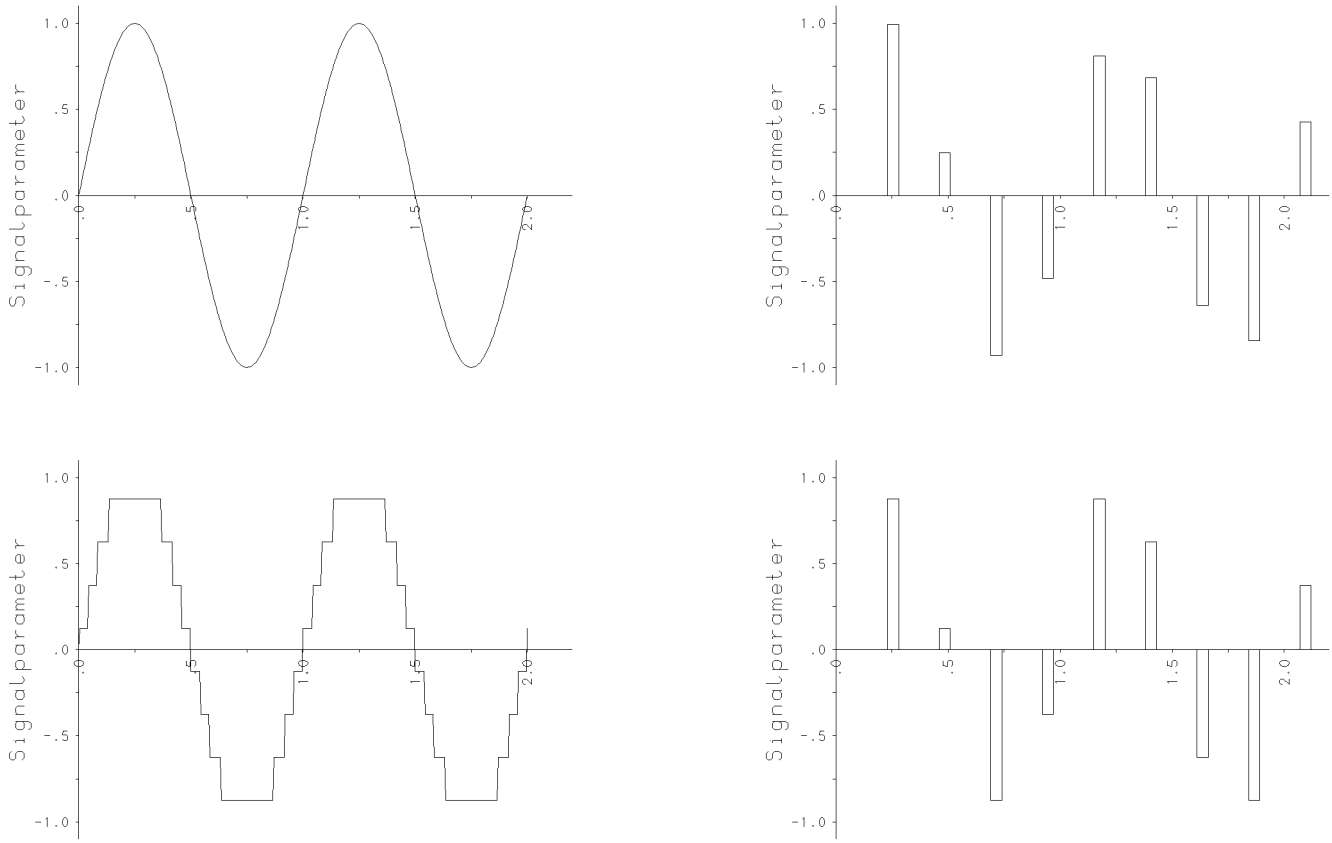


Abbildung 1.7: Einteilung der Signale nach DIN 40146

WERTKONTINUIERLICHES SIGNAL ist ein Signal, bei dem der Signalparameter alle Werte eines Kontinuums, z.B. eines Intervalls annehmen kann.
z.B. alle Spannungen zwischen – 5V und + 5V.

WERTDISKRETES SIGNAL ist ein Signal, bei dem der Signalparameter nur durch bestimmte diskrete Werte oder bestimmte nicht überlappende Wertintervalle eines Wertebereichs gegeben ist. Die Anzahl dieser relevanten Werte (Intervalle) gibt die Wertigkeit des Signals an; ein m-wertiges Signal hat m relevante Werte (Intervalle) des Signalparameters.

ZEITKONTINUIERLICHES SIGNAL ist ein Signal, bei dem der Signalparameter in jedem beliebigen Zeitpunkt der Dauer des Signals definiert ist.

ZEITDISKRETES SIGNAL ist ein Signal, dessen Signalparameter nur in diskreten Zeitpunkten (Zeitintervallen) definiert ist.

ANALOGE SIGNALE sind Signale, die einen kontinuierlichen Vorgang kontinuierlich abbilden. Sie sind demzufolge wert- und zeitkontinuierliche Signale. Meistens ist ihr Signalparameter proportional zum Augenblickswert des kontinuierlichen, nachrichtentragenden Vorgangs.

DIGITALE SIGNALE sind Signale, deren Signalparameter eine Nachricht darstellen, die nur aus Symbolen eines endlichen Symbolvorrats besteht.

BINÄRSIGNALE sind zweiwertige Digitalsignale.

b) nach der Signalform

ZUFALLSSIGNALE sind Signale, deren Zeitfunktion der sie beschreibende Beobachter (Empfänger) nicht vorhersagen kann. D.h. ein Beobachter, der ein Zufallssignal $x(t)$ bis zu einem Zeitpunkt t_0 kennt, kann nicht vorhersagen, welchen weiteren Verlauf das Signal besitzt.

DETERMINIERTE SIGNALE sind Signale, deren Zeitfunktion der Beobachter (Empfänger) explizit angeben kann. Ihr Verhalten ist damit für alle Zeiten bekannt und auch für die Zukunft vorhersagbar.

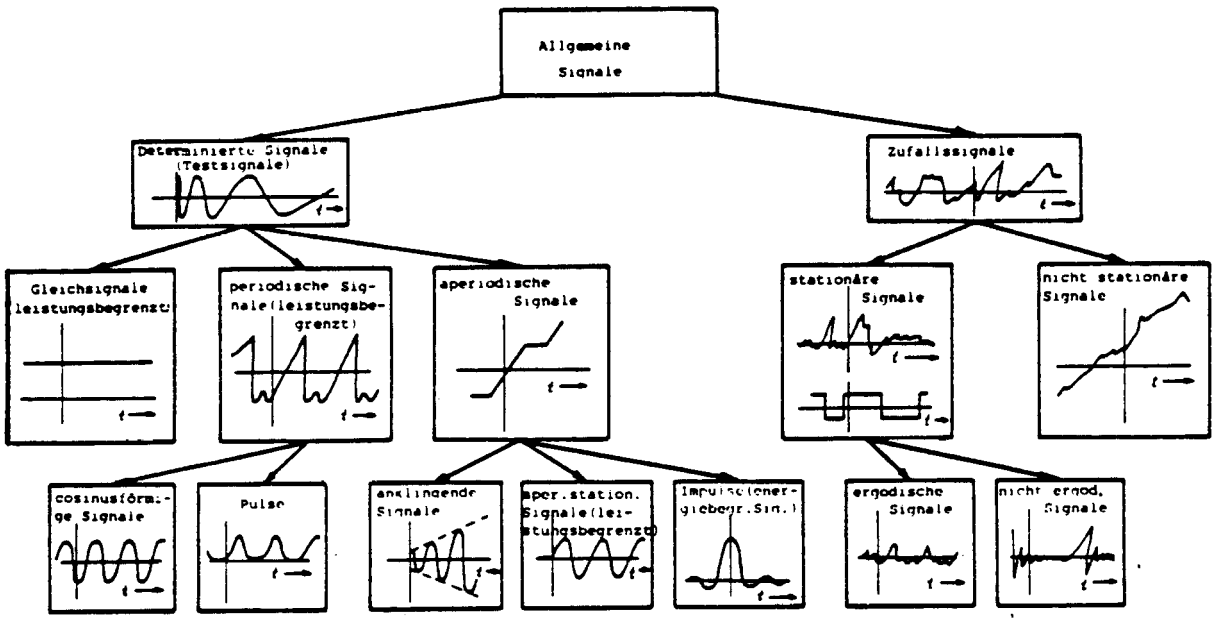


Abbildung 1.8: Quelle: [1] S.3-40

Informationstragende Signale sind immer Zufallssignale !!!

1. Was ist Nachricht, was ist Information ?

2. Grenzen Sie die Begriffe Symbol, Alphabet, Symbolumfang, Wort, Wortlänge, Wortvorrat, Wortumfang gegeneinander ab.

3. Welchen Codewortumfang hat ein quinärer Blockcode ?

4. Entwerfen Sie einen binären Blockcode mit möglichst kleiner Codewortlänge, mit dem die Wörter (Wortlänge $n_q = 1$) A, B, C, D, E, F codiert werden können. Ist dieser Code redundant?

5. Wieviele Wörter sind mit der Codewortlänge $n_c = 5, 10, 20$ bei einem binären und einem ternären Blockcode maximal codierbar?

6. Geben Sie den Symbolumfang, Symbolvorrat, Wortlänge, das Signal, den Signalparameter und die Nachricht bei einer Verkehrsampel an.

7. Was ist ein analoges Signal, was ist ein digitales Signal?

8. Berechnen Sie das zweiseitige Spektrum einer Pulsfolge mit der Impulsbreite 0.2 sec und der Periodendauer 4 sec, Amplitude 1 V. Zeichnen Sie das Zeitsignal und das dazugehörige Spektrum bis $f = 20$ Hz. Heben Sie charakteristische Werte deutlich hervor.

9. Aufgabenstellung wie Aufgabe 8, jetzt aber Impulsbreite 0.33 sec und Periodendauer 6.6 sec.

10. Aufgabenstellung wie Aufgabe 8, jetzt aber Impulsbreite 3.8 sec und Periodendauer 4.0 sec.

11. Berechnen Sie das zweiseitige Spektrum eines Impulses der Impulsbreite 0.4 sec und der Amplitude 1 V. Zeichnen Sie das Zeitsignal und das dazugehörige Spektrum bis $f = 20$ Hz. Heben Sie charakteristische Werte deutlich hervor.

12. Ein Signal setzt sich aus 2 überlagerten Cosinusschwingungen zusammen. Die Amplitude des einen Cosinus beträgt 3 V bei einer Periodendauer von 1 sec, die andere Cosinusschwingung hat eine Amplitude von 1 V und eine Periodendauer von 0.2 sec. Beide Signale sind jeweils um $t_0 = 0.1$ sec zum Zeitnullpunkt verschoben. Skizzieren Sie das Signal im Zeitbereich. Stellen Sie das Signal im Frequenzbereich dar

    a) als einseitiges komplexes Amplitudenspektrum
    b) als zweiseitiges komplexes Amplitudenspektrum
    c) als einseitiges Amplitudenspektrum
    d) als einseitiges Phasenspektrum

    Zeichnen Sie jeweils ein Zeigerdiagramm für die Zeitpunkte $t = 0$ sec und $t = 0.5$ sec.

13. Was ist ein Signal ? Wie lassen sich Signale klassifizieren ?

14. Was ist eine Schnittstelle ? Wie wird sie beschrieben ?

15. Welche Signale enthalten Information ?

16. Was ist ein LTI-System ?

17. Was ist eine Übertragungsfunktion ?

18. Auf welche Weise stellt man Übertragungsfunktionen dar ?

19. Welche Dimension hat das komplexe Dämpfungsmaß ?

20. Welche Anforderungen werden an ein verzerrungsfreies Nachrichtensystem gestellt ?

Kapitel 2

Informationstheoretische Grundbegriffe

Um Information quantitativ meßbar und mathematisch behandelbar zu machen, sind drei Anforderungen an eine Informationsdefinition zu stellen.

- Der Informationsgehalt I einer Nachricht muß umso größer sein, je kleiner die Wahrscheinlichkeit p ihres Auftretens ist, *d.h.* je größer ihr *Überraschungswert* ist. Es wird also die *Neuigkeit*, nicht die *Inhaltsschwere* der Nachricht definiert.
- Eine Nachricht mit der Wahrscheinlichkeit $p = 1$ muß den Informationsgehalt $I = 0$ haben, da sie beim Empfänger mit Sicherheit erwartet wird, *d.h.* bekannt ist.
- Der Informationsgehalt statistisch unabhängiger Nachrichten soll sich addieren.

Daraus ergab sich folgende Definition:

INFORMATIONSGEHALT I
Der Informationsgehalt I eines Symbols x_i einer Nachrichtenquelle ist der Logarithmus Dualis vom Kehrwert der Wahrscheinlichkeit $p(x_i)$, mit der dieses Symbol von der Nachrichtenquelle abgegeben wird.

$$I(x_i) = ld\frac{1}{p(x_i)}$$

Als Einheit ist gebräuchlich bit. [a] [b]

Die Verwendung des Logarithmus zur Basis 2 als Maßstab wurde deshalb gewählt, damit im einfachsten Fall einer symmetrischen, binären Nachrichtenquelle $p(0) = p(1) = 0.5$ der Informationsgehalt eines Zeichens 1 bit wird. [c]

Der Informationsgehalt ist immer positiv oder Null.

Für eine statistisch unabhängige (gedächtnislose) Nachrichtenquelle gilt, daß sich bei einer Folge von Symbolen deren Informationsgehalte addieren.

$$I_{folge} = \sum I_{symbol}$$

Um den mittleren Informationsgehalt einer beliebigen Quelle beschreiben zu können wurde der Begriff der Entropie eingeführt.

---

[a] 1 bit = ld(2) als Maß für die kleinste unterscheidbare Nachrichtenmenge. Bit (binary digit) ist ein Zeichen aus einem Zeichenvorrat von zwei Zeichen. Ursprüngliche Bezeichnung nach Shannon: **B**asic **i**ndissoluble unit. [29] S.1

[b] In DIN 1304 Teil 6 Formelzeichen. Formelzeichen für die elektrische Nachrichtentechnik. Entwurf Mai 1990 Tabelle 11 wird Sh (Shannon) als Einheit vorgeschlagen. (Ebenso in ISO 2382/XVI), scheint sich aber nicht durchzusetzen.

[c] Verwendet man statt ld, ln oder log, so ergeben sich die Einheiten bei ln *nit* oder *nat*, bei log *dit* oder *Hartley* [25] S.6 [30] S.99

ENTROPIE H (mittlerer Informationsgehalt)

Die Entropie[d] H einer Nachrichtenquelle ist der arithmetische Mittelwert der Informationsgehalte einer unendlich langen Folge von Nachrichten aus dieser Quelle.

$$H = \overline{I_i} = \lim_{n\to\infty} \frac{1}{2n+1} \sum_{i=-n}^{+n} I_i$$

Für eine statistisch unabhängige Nachrichtenquelle gilt damit:

$$H = \overline{I_i} = \lim_{n\to\infty} \frac{1}{2n+1} \sum_{i=-n}^{+n} I_i = \sum_{i=1}^{s_q} p(x_i) \cdot I(x_i) = \sum_{i=1}^{s_q} p(x_i) \cdot ld \frac{1}{p(x_i)}$$

Eine Nachrichtenquelle mit dem Symbolumfang s_q kann maximal die Entropie

$$H_{max} = ld\ s_q$$

abgeben. Dieser Wert tritt auf, wenn die Wahrscheinlichkeiten $p(x_i)$ für alle Symbole i des betrachteten Alphabets gleich groß sind.

Allgemein gilt :

ENTSCHEIDUNGSGEHALT H_0

Der Entscheidungsgehalt H_0 einer Nachrichtenquelle ist der Maximalwert der Entropie, den diese Nachrichtenquelle abgeben könnte.

$$H_0 = ld\ s_q$$

Die maximale Entropie gibt eine Nachrichtenquelle dann ab, wenn die einzelnen Nachrichtensymbole gleichverteilt und statistisch unabhängig sind.

Jede Abweichung von der Gleichverteilung und von der statistischen Unabhängigkeit bewirkt eine Verringerung des mittleren Informationsgehaltes der abgegebenen Nachricht.

REDUNDANZ R

Die Redundanz R einer Nachrichtenquelle ist die Differenz zwischen Entscheidungsgehalt H_0 und Entropie H der Quelle.

$$R = H_0 - H$$

Die Redundanz einer Nachrichtenquelle liefert somit eine Aussage darüber, um wieviel der mittlere Informationsgehalt pro Nachricht unterhalb des maximal möglichen (mittleren) Informationsgehaltes pro Nachricht liegt.

Eine Nachrichtenquelle mit der Redundanz $R = 0$ heißt redundanzfrei.

Relative Redundanz r

$$r = \frac{R}{H_0} = \frac{H_0 - H}{H_0}$$

Redundanzfreier Code

Ein Code mit der Coderedundanz $R = 0$ ist ein redundanzfreier Code oder **Minimalcode**.

[d] Der Begriff Entropie wurde aus der Thermodynamik entlehnt, wo er ein Maß für die statistische Unordnung bzw. Unsicherheit in einem thermodynamischen System ist. Er ist ähnlich in der mathematischen Formulierung.

Beispiel zur Redundanz :
Deutsche Schriftsprache, Symbolumfang $s_q = 27$, also 26 Buchstaben und Trennzeichen, ohne Umlaute

- Annahme: -jeder Buchstabe besitzt die gleiche Wahrscheinlichkeit, daraus ergibt sich $p(x_i) = \frac{1}{27}$
  - die Buchstaben sind voneinander statistisch unabhängig.
  Damit ergäbe sich die Entropie zu

$$H = H_0 = ld\ 27 = 4.75 \text{ bit}$$

- Bei Berücksichtigung der unterschiedlichen Zeichenhäufigkeiten gilt

$$H = \sum_{i=1}^{s_q} p(x_i)\ I(x_i) = \sum_{i=1}^{s_q} p(x_i)\ ld\frac{1}{p(x_i)} = 4.037 \text{ bit}$$

  somit

$$R = H_0 - H = 0.7\text{bit}$$

- Bei Berücksichtigung statistischer Bindungen aufeinanderfolgender Buchstaben

$$H = 3.0\text{bit}$$

$$R = 1.7\text{bit}$$

- Bei Berücksichtigung der Verbundwahrscheinlichkeiten aufgrund vieler vorausgeganger Buchstaben (ab ca. 10 Buchstaben ändert sich nicht mehr viel, siehe [25] S.33)

$$H = 1.6 \text{ bit}$$

$$R = 3.15\text{bit}$$

$$r = 0.66$$

Bezüglich des Informationsgehalts sind also 66% der deutschen Sprache überflüssig oder redundant.
Bei optimaler Codierung würden 34% des Textumfangs zur Übermittlung des gleichen Informationsgehalts ausreichen.

Hilfsblatt 'Informationstheorie' - Wahrscheinlichkeitsrechnung [e]

Axiomatische Definition der Wahrscheinlichkeit

1. Für die Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses A gilt

$$0 \leq P(A) \leq 1.$$

2. Für das sichere Ereignis S, d.h., die Vereinigung aller möglichen Ereignisse A_ν, gilt:

$$P(S) = P(\cup_\nu A_\nu) = 1.$$

3. Für disjunkte (d.h. unvereinbare) Ereignisse A_μ und A_ν gilt:

$$P(A_\mu \cup A_\nu) = P(A_\mu) + P(A_\nu).$$

Folgerungen:

- Die Wahrscheinlichkeit des *unmöglichen Ereignisses* $\overline{S}$ ist Null:

$$P(\overline{S}) = 0.$$

- Für die Vereinigung beliebiger Ereignisse A_ν gilt:

$$P(\cup_\nu A_\nu) \leq \sum_\nu P(A_\nu).$$

Für **statistisch unabhängige Ereignisse** A, B gilt:

$$P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B).$$

Die **bedingte Wahrscheinlichkeit** $P(B|A)$ ist die Wahrscheinlichkeit, daß das Ereignis B eintritt, wenn (d.h. 'unter der Bedingung, daß') das Ereignis A eingetreten ist:

$$P(B|A) = P(A \cap B)/P(A).$$

Aus Symmetriegründen gilt:

$$P(A|B) \cdot P(B) = P(B|A) \cdot P(A).$$

Satz von der totalen Wahrscheinlichkeit:

$$P(B) = \sum_\nu P(B|A_\nu) \cdot P(A_\nu).$$

Als Folge der Symmetrieeigenschaft und des Satzes von der totalen Wahrscheinlichkeit ergibt sich der **Bayes'sche Satz:**

$$P(A_\nu|B) = \frac{P(B|A_\nu) \cdot P(A_\nu)}{\sum_\nu P(B|A_\nu) \cdot P(A_\nu)}.$$

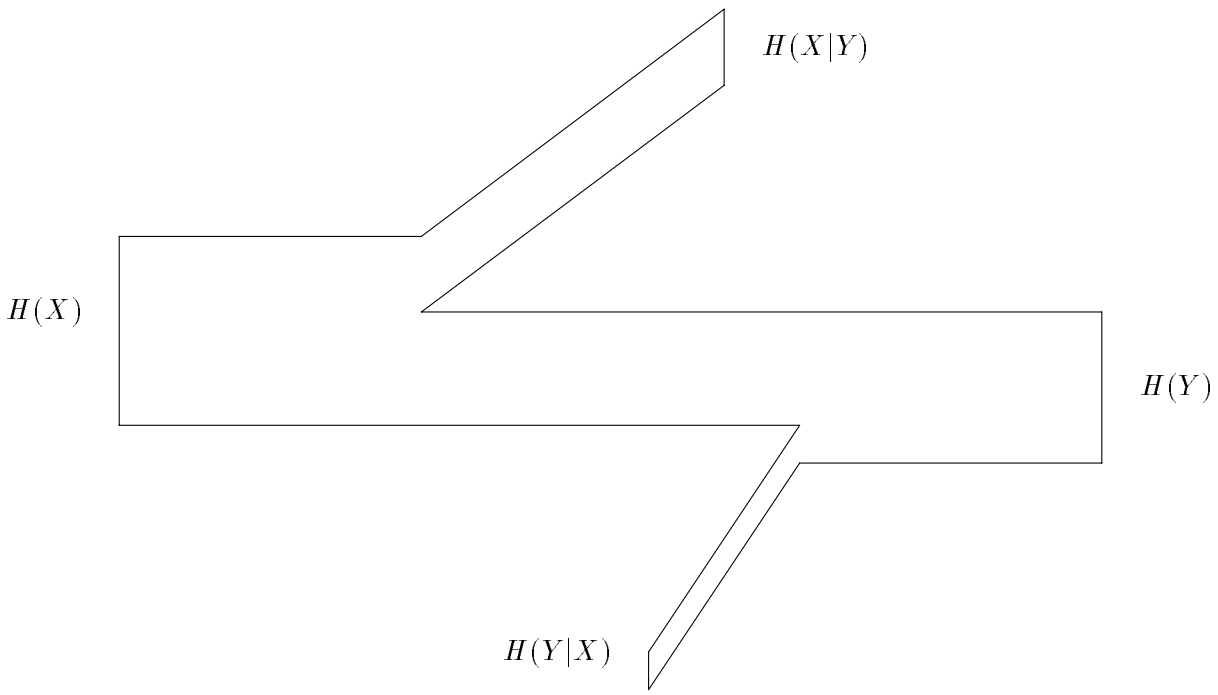
[e] © W. Kellermann, FH Regensburg, Dezember 1993

Kapitel 3

Informationsübertragung über Kanal mit Störungen

3.1 Informationsmengen

Eine Nachrichtenquelle gibt die Quellenentropie $H(X)$ ab. Auf dem Übertragungsweg wird die Information durch Störungen beeinträchtigt. Den Anteil, der Information, der bei der Übertragung verloren geht, nennt man Äquivokation $H(X|Y)$, der verbleibende Rest wird Synentropie oder Transinformation T bezeichnet. Die Transinformation ist das Maß für die richtig übertragene Information. Auf dem Übertragungsweg kommt zu dieser Transinformation allerdings noch ein weiterer Anteil dazu, der Irrelevanz $H(Y|X)$ genannt wird. Die Irrelevanz ist ein Maß für die Information, die dem Empfänger aufgrund der Störungen vorgetäuscht wird (Fehlinformation).



Berechnungsmöglichkeiten der einzelnen Komponenten

Quellenentropie H(X)
Eine diskrete gedächtnislose (statistisch unabhängige) Nachrichtenquelle gibt n–Symbole aus einem Symbolvorrat $X = \{x_1, x_2, \cdots, x_n\}$ mit unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten $p(x_i)$ ab. Dann ergibt sich die Quellenentropie zu

$$H(X) = \sum_{i=1}^{n} p(x_i)\ ld\frac{1}{p(x_i)}$$

Senkenentropie H(Y)
Auf der Empfangsseite soll ein gleich großer Symbolvorrat $Y = \{y_1, y_2, \cdots, y_m\}$ mit n = m vorhanden sein. Damit läßt sich die Senkenentropie berechnen zu

$$H(Y) = \sum_{j=1}^{m} p(y_j)\ ld\frac{1}{p(y_j)}$$

Irrelevanz H(Y|X)
Eine gesendete Nachricht x_i kann aufgrund der Störungen auf dem Übertragungskanal in ein beliebiges Empfangssymbol y_j umgewandelt werden. Diesen möglichen Übergang kann man durch die bedingte Wahrscheinlichkeit $p(y_j|x_i)$ beschreiben. Die Vorhersagewahrscheinlichkeit $p(y_j|x_i)$ gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit die Nachricht y_j empfangen wird, wenn man die Nachricht x_i aussendet. Für die Wahrscheinlichkeit, daß die Nachricht x_i gesendet wird und die Nachricht y_j empfangen wird gilt:

$$p(y_j, x_i) = p(y_j|x_i)\ p(x_i)$$

Für den bedingten Informationsgehalt gilt : $I(y_j|x_i) = ld\frac{1}{p(y_j|x_i)}$
Er gibt an, welchen Informationsgehalt eine empfangene Nachricht y_j besitzt, wenn man bereits weiß, daß die Nachricht x_i gesendet wurde. Bei einer ungestörten Nachrichtenübertragung ist
$p(y_j|x_i) = \begin{cases} 1 \text{ für } & i=j, \text{ womit dann } I(y_j|x_i)=0 \text{ wird.} \\ 0 \text{ für } & i \neq j \end{cases}$

Treten Störungen auf, dann ist $I(y_j|x_i) \neq 0$, was bedeutet, daß dem Nachrichtenempfänger ein nicht vorhandener irrelevanter Informationsgehalt vorgetäuscht wird.

IRRELEVANZ oder STREUENTROPIE
Die Irrelevanz ist der mittlere bedingte Informationsgehalt über alle Symbolpaare y_j und x_i

$$H(Y|X) = \overline{I(y_j|x_i)} = \sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} p(y_j, x_i)\ ld\frac{1}{p(y_j|x_i)}$$

(Voraussetzung für obige Formel: gedächtnislose Quelle und gedächtnisloser Kanal)
Die Irrelevanz gibt an, um welchen Wert sich die Senkenentropie $H(Y)$ infolge der Störungen erhöht hat. Es wird also Information vorgetäuscht, die nicht von der Nachrichtenquelle stammt.

Äquivokation H(X|Y)
Geht man von der empfangenen Nachricht y_j aus, so kann diese durch Störungen aus jeder beliebigen Nachricht x_i herrühren. Die Rückschlußwahrscheinlichkeit $p(x_i|y_j)$ beschreibt diesen Sachverhalt. Für die Wahrscheinlichkeit, daß die Nachricht x_i gesendet und die Nachricht y_j empfangen wurde gilt.

$$p(x_i, y_j) = p(x_i|y_j)\ p(y_j)$$

Für den bedingten Informationsgehalt gilt: $I(x_i|y_j) = ld\frac{1}{p(x_i|y_j)}$
Er gibt an, welchen Informationsgehalt eine gesendete Nachricht x_i besitzt, wenn man bereits weiß, daß die Nachricht y_j empfangen wurde. Bei einer ungestörten Nachrichtenübertragung ist
$p(x_i|y_j) = \begin{cases} 1 \text{ für } & i=j, \text{ womit dann } I(x_i|y_j)=0 \text{ wird.} \\ 0 \text{ für } & i \neq j \end{cases}$

Treten Störungen auf, dann ist $I(x_i|y_j) \neq 0$, was bedeutet, daß dem Nachrichtenempfänger ein Informationsgehalt verloren geht.

ÄQUIVOKATION oder RÜCKSCHLUßENTROPIE

Die Äquivokation ist der mittlere bedingte Informationsgehalt über alle Symbolpaare x_i und y_j

$$H(X|Y) = \overline{I(x_i|y_j)} = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} p(x_i, y_j)\ ld\frac{1}{p(x_i|y_j)}$$

Die Äquivokation gibt an, in welchem Maß die von der Quelle abgegebene Entropie $H(X)$ durch den Einfluß der Störungen vermindert wurde.

Transinformation T

Wie berechnet man den tatsächlich übertragenen Informationsgehalt? Gibt die Quelle die Nachricht x_i ab und empfängt die Sinke die Nachricht y_j, so bleibt beim Empfänger die Restunsicherheit, ob die Nachricht x_i tatsächlich gesendet wurde. Der fehlende Informationsgehalt ist also

$$I_{Restunsicherheit} = ld\frac{1}{p(x_i|y_j)}$$

TRANSINFORMATIONSGEHALT T_{ij}

Der Transinformationsgehalt T_{ij} ist der Informationsgehalt, der von einer Nachrichtenquelle, die die Nachricht x_i abgibt, zu einer Senke, die die Nachricht y_j empfängt, übertragen wird.

$$T_{ij} = ld\frac{1}{p(x_i)} - ld\frac{1}{p(x_i|y_j)} = ld\frac{p(x_i|y_j)}{p(x_i)}$$

Es gilt : $T_{ij} = T_{ji}$ wegen $p(x_i|y_j) = \frac{p(x_i,y_j)}{p(y_j)} = \frac{p(y_j|x_i)\ p(x_i)}{p(y_j)}$

MITTLERER TRANSINFORMATIONSGEHALT oder SYNENTROPIE T

Die Synentropie T ist der Mittelwert einer unendlich langen Folge von statistisch unabhängigen Nachrichtenpaaren x_i und y_j

$$T = \overline{T_{ij}} = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} p(x_i, y_j)\ T_{ij}$$

Es gilt:

$$T = H(X) - H(X|Y) = H(Y) - H(Y|X)$$

Transinformation = Quellenentropie - Äquivokation

Transinformation = Senkenentropie - Irrelevanz

Wozu sind diese theoretischen Überlegungen eigentlich gut ?

Auf folgenden drei Gebieten werden die Grundlagen der Informationstheorie und Codierung umgesetzt.

- Abschätzung der Grenzen der Nachrichtenübertragung über gegebene physikalische Kanäle (Bestimmung der Kanalkapazität)
- Quellencodierung (redundanzmindernde Codierung)
- Kanalcodierung (Erkennung von Übertragungsfehlern und deren Korrektur)

Um die definierten Begriffe anwenden zu können, muß ein Wahrscheinlichkeitsfeld vorliegen. Deshalb ist eine diskrete Informationsquelle vollständig beschrieben, wenn außer ihrem Alphabet auch das statistische Gesetz für das Auftreten ihrer Symbole gegeben ist. Man müßte also eine Quelle über einen langen Zeitraum beobachten, um die entsprechenden Wahrscheinlichkeiten auszuzählen. Hängt die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines bestimmten Symbols von den k vorangehenden Symbolen ab, dann wird die Quelle, welche diese Symbole erzeugt, als eine Markoff–Quelle k–ter Ordnung bezeichnet. Eine diskrete Informationsquelle, bei der jedes Symbol von dem vorangehenden völlig unabhängig ist und bei der jedes Symbol nur durch einen festen Wahrscheinlichkeitswert (Symbolwahrscheinlichkeit) bestimmt ist, wird als Quelle ohne Gedächtnis bezeichnet. Beschrieben werden Informationsquellen mit **Zustandsdiagrammen**, Matrizen der Wahrscheinlichkeiten oder **Typischen Nachrichten** (TN). Aus der TN können die Übergangswahrscheinlichkeiten und Symbolwahrscheinlichkeiten bestimmt werden.

Beispiel:
Gegeben sei die Typische Nachricht einer gedächtnislosen Quelle und deren korrespondierende TN auf der Senkenseite. Der Kanal sei ebenfalls gedächtnislos.

x : AABCCBCAAA
y : ACBCAACBCA

Daraus ergibt sich Symbolvorrat und Symbolumfang der Quelle und Senke.

X = { } n =
Y = { } m =

Aus der TN lassen sich die Informationsgehalte für Quellen- und Senkenseite berechnen.

Für die Quelle ergibt sich:

p(A) = I(A) =
p(B) = I(B) =
p(C) = I(C) =

und damit die Quellenentropie

$$H(X) = \sum_{i=1}^{3} p(x_i)\ ld\frac{1}{p(x_i)} =$$

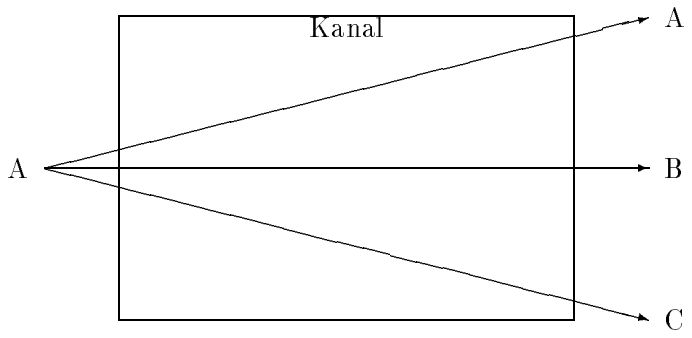
Für die Senke ergibt sich:

p(A) = I(A) =
p(B) = I(B) =
p(C) = I(C) =

und damit die Senkenentropie

$$H(Y) = \sum_{i=j}^{3} p(y_j)\ ld\frac{1}{p(y_j)} =$$

Auf der Übertragungsstrecke wird die Information offensichtlich verändert. Diese Veränderung soll informationstheoretisch beschreibbar gemacht werden mit den Größen Irrelevanz und Äquivokation. Dafür muß bestimmt werden, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein gesendetes Zeichen x_i in eines der empfangenen Zeichen y_j übergeht und umgekehrt.



Diese bedingte Wahrscheinlichkeit (Übergangswahrscheinlichkeit) wird als Vorhersagewahrscheinlichkeit $p(y_j|x_i)$ bezeichnet. Dargestellt werden diese Wahrscheinlichkeiten meistens in einer Matrixform.

$p(y_j\|x_i)$	$y_1 = A$	$y_2 = B$	$y_3 = C$
$x_1 = A$			
$x_2 = B$			
$x_3 = C$			

Die Summe pro Zeile muß jeweils 1 betragen !!

Für die Verbundwahrscheinlichkeit gilt $p(y_j, x_i) = p(y_j|x_i)\ p(x_i)$

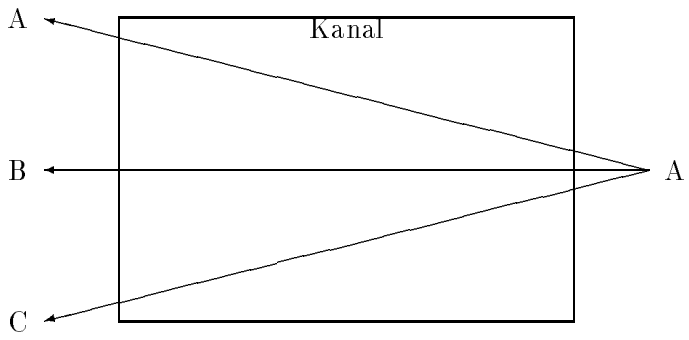
$p(y_j, x_i)$	$y_1 = A$	$y_2 = B$	$y_3 = C$
$x_1 = A$			
$x_2 = B$			
$x_3 = C$			

Die Summe aller Verbundwahrscheinlichkeiten muß sich natürlich zu 1 ergeben !!

Damit ist die Irrelevanz als Maß für die Falschinformation aufgrund der Kanalstörungen berechenbar zu

$$H(Y|X) = \sum_{j=1}^{m} \sum_{i=1}^{n} p(y_j, x_i)\ ld \frac{1}{p(y_j|x_i)} =$$

Mit welcher Wahrscheinlichkeit kann man aus einem empfangenen Zeichen y_j auf ein gesendetes Zeichen x_i zurückschließen ? (Rückschlußwahrscheinlichkeit)



$p(x_i\|y_j)$	$x_1 = A$	$x_2 = B$	$x_3 = C$
$y_1 = A$			
$y_2 = B$			
$y_3 = C$			

Damit ist die Äquivokation als Maß für den Informationsverlust aufgrund der Kanalstörungen berechenbar zu

$$H(X|Y) = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} p(x_i, y_j)\ ld \frac{1}{p(x_i|y_j)} =$$

Am Schluß stellt sich die Frage, welcher Informationsanteil überhaupt unverfälscht übertragen wurde, nämlich die Synentropie T. Der Transinformationsgehalt eines Zeichens ist berechenbar entweder aus dem Informationsgehalt des Quellenzeichens abzüglich der Restunsicherheit, ob wirklich dieses Zeichen empfangen wurde, oder aus dem Informationsgehalt des Senkenzeichens abzüglich der Restunsicherheit, daß auch wirklich dieses Zeichen gesendet wurde.

$$T_{ij} = ld \frac{1}{p(x_i)} - ld \frac{1}{p(x_i|y_j)} = ld \frac{p(x_i|y_j)}{p(x_i)} = ld \frac{p(y_j|x_i)}{p(y_j)}$$

Insgesamt ergibt sich die richtig übertragene Information als Synentropie zu

$$T = \overline{T_{ij}} = \sum_{i=1}^{3} \sum_{j=1}^{3} p(x_i, y_j)\ T_{ij}$$

3.2 Leistungsfähigkeit bei der Informationsübertragung

Signale zur Übertragung von Nachrichten sind meistens Zeitsignale.

Nachrichtendauer oder Symboldauer T_i
Die Nachrichtendauer T_i ist die Zeitspanne, die für die Darstellung der i–ten Nachricht zur Verfügung steht.

mittlere Nachrichtendauer T_s
Für die mittlere Nachrichtendauer einer unendlich langen Nachrichtenfolge gilt :

$$T_s = \overline{T_i} = \sum_{i=1}^{n} p(x_i)\ T_i$$

Die Nachrichtendauer ist die Zeit, die der Quelle oder dem Coder zur Verfügung steht, um eine Nachricht abzugeben.

Symbolrate f_s
Der Reziprokwert der mittleren Symboldauer ist die mittlere Symbolrate oder Schrittgeschwindigkeit oder Symbolfluß

$$f_s = \frac{1}{T_s} \qquad \text{Einheit : } \frac{\text{Symbole}}{\text{sec}} = \text{Baud}$$

Bei binären Übertragungssystemen wird die Symbolrate entweder Bitfolgefrequenz oder Bitrate (f_{bit}) genannt.

mittlerer Informationsfluß H^*
Der mittlere Informationsfluß H^* ist der Quotient aus der Entropie H und der mittleren Symboldauer T_s

$$H^* = \frac{H}{T_s} \qquad \text{Einheit : } \frac{\text{bit}}{\text{sec}}$$

Der mittlere Informationsfluß gibt an, wieviel Information pro Zeiteinheit über eine bestimmte Stelle eines Systems fließt. Die Größe hängt von den Eigenschaften der Nachrichtenquelle ab.

mittlerer Transinformationsfluß T^*
Der mittlere Transinformationsfluß T^* ist der Quotient aus der Transinformation T und der mittleren Symboldauer T_s.

$$T^* = \frac{T}{T_s} \qquad \text{Einheit : } \frac{\text{bit}}{\text{sec}}$$

Der mittlere Transinformationsfluß gibt an, wieviel Information pro Zeiteinheit über den Kanal übertragen wird. Die Größe hängt von den Eigenschaften des Kanals ab.

Kanalkapazität C^*
Die Kanalkapazität C^* ist der maximal mögliche Wert des mittleren Transinformationsflusses über einen gegebenen Nachrichtenkanal.

$$C^* = T^*_{max}$$

Die Kanalkapazität ist eine absolut obere Grenze für die Leistungsfähigkeit eines Nachrichtenkanals. Sie hängt ausschließlich von den Eigenschaften des Kanals ab und nicht von den statistischen Eigenschaften einer Nachrichtenquelle. Diese Kanalkapazität wird im allgemeinen nicht erreicht, weil die Quellen meist nicht optimal an den Kanal angepaßt sind.

Shannon hat für einen kontinuierlichen Kanal der Bandbreite B, der durch Rauschen mit Gaußscher Amplitudenverteilung gestört wird, theoretisch folgende Beziehung abgeleitet.

$$C^* = B\ ld(1 + \frac{S}{N})$$

B : Ideale Bandbreite
S : Signalleistung
N : Störleistung

Nachrichtenquader
Um die obige Problematik zu veranschaulichen, hat sich der Begriff des Nachrichtenquaders (Informationsquaders) eingebürgert.
Eine Nachrichtenmenge wird als räumlicher Quader mit den Seiten

B für Bandbreite,
D für Dynamik und
T für Übertragungsdauer dargestellt.

Um gleiches Volumen zu erhalten kann man die Seitenverhältnisse variieren.

$$B_1 \cdot D_1 \cdot T_1 = B_2 \cdot D_2 \cdot T_2$$

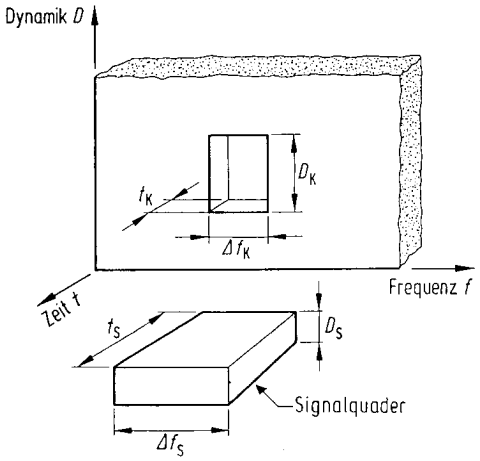


Bild 1.3.4–1
Anpassung zwischen Signal und Übertragungskanal
D_K = Dynamikbereich des Übertragungskanals
Δf_K = Bandbreite des Übertragungskanals
t_K = Laufzeit
D_S = Dynamikbereich des Signals
Δf_S = Bandbreite des Signals
t_S = Signaldauer

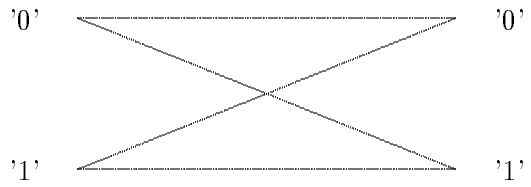
Abbildung 3.1: Quelle:[9] S.147

Definitionen nach DIN 44301 Informationstheorie: Begriffe.

Diskreter Kanal ohne Nachwirkung
ist ein diskreter Kanal, bei dem jedes abgegebene Zeichen y_j stochastisch abhängt von nur einem einzigen aufgenommenen Zeichen x_i. Dieser Kanal wird vollständig beschrieben durch die Matrix der bedingten Wahrscheinlichkeiten $p(y_j|x_i)$. Er wird auch als gedächtnisloser diskreter Kanal bezeichnet.

Binärkanal
ist ein diskreter Kanal mit einem binären Zeichenvorrat am Eingang und am Ausgang.

Symmetrischer Binärkanal
ist ein Binärkanal ohne Nachwirkung, bei dem beide Binärzeichen '0' und '1' mit der gleichen bedingten Wahrscheinlichkeit verfälscht werden. Es ist also $p(y0|x1) = p(y1|x0) = p$. p wird als Bitfehlerwahrscheinlichkeit bezeichnet, damit ist die Wahrscheinlichkeit für eine richtige Übertragung $1 - p$. Graphisch wird dieser Sachverhalt folgendermaßen dargestellt.



Beispiel:
Eine gedächtnislose binäre Nachrichtenquelle sendet über einen symmetrischen gedächtnislosen Binärkanal.
Gegeben ist
$p_x('0') = 0.2$ und $p_{yx}('0'|'1') = 0.1$

Daraus ergibt sich für $p_x('1') =$

Die Quellenentropie errechnet sich in diesem Fall zu:

$$H(X) = p('0')\ ld\frac{1}{p('0')} + p('1')\ ld\frac{1}{p('1')}$$

Man könnte H(X) auch nur in Abhängigkeit von $p('0')$ ausdrücken

$$H(X) = p('0')\ ld\frac{1}{p('0')} + [1 - p('0')]\ \ ld\frac{1}{1 - p('0')}$$

Diskutiert man diesen Ausdruck in Abhängigkeit von $p('0')$, so ergibt sich nebenstehender Zusammenhang.

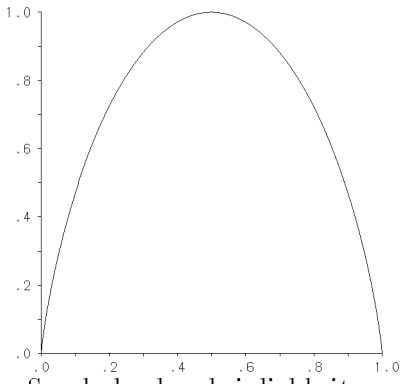


Abbildung 3.2: Quellenentropie in Abhängigkeit von Symbolwahrscheinlichkeit

Die gedächtnislose binäre Nachrichtenquelle gibt maximale Entropie für Gleichverteilung ihrer Symbole ab.

Die Senkenentropie ergibt sich zu

$$H(Y) = p_y('0')\ ld\frac{1}{p_y('0')} + p_y('1')\ ld\frac{1}{p_y('1')}$$

mit
$p_y('0') = (1-p)\cdot p_x('0') + p\cdot p_x('1')$
$p_y('1') = p\cdot p_x('0') + (1-p)\cdot p_x('1')$

Die Irrelevanz ergibt sich dann zu

$$H(Y|X) = \sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} p(y_j, x_i)\ ld\frac{1}{p(y_j|x_i)}$$

Die Übergangswahrscheinlichkeiten ergeben sich zu

$p(y_j\|x_i)$	$y_1 =' 0'$	$y_2 =' 1'$
$x_1 =' 0'$		
$x_2 =' 1'$		

allgemein

$p(y_j\|x_i)$	$y_1 =' 0'$	$y_2 =' 1'$
$x_1 =' 0'$		
$x_2 =' 1'$		

Die Verbundwahrscheinlichkeiten ergeben sich zu

$p(y_j, x_i)$	$y_1 =' 0'$	$y_2 =' 1'$
$x_1 =' 0'$		
$x_2 =' 1'$		

allgemein

$p(y_j, x_i)$	$y_1 =' 0'$	$y_2 =' 1'$
$x_1 =' 0'$		
$x_2 =' 1'$		

damit $H(Y|X) =$

und somit die richtig übertragene Informationsmenge

$T = H(Y) - H(Y|X) =$

Der mittlere Informationsfluß ergibt sich dann zu $H^* = \frac{H}{T_s}$ mit $T_s = T_{bit}$

$$H^* = 0.72 \cdot f_{bit}\ \ \frac{bit}{sec}$$

Der mittlere Transinformationsfluß ergibt sich zu $T^* = \frac{T}{T_s}$

$$T^* = 0.36 \cdot f_{bit}\ \ \frac{bit}{sec}$$

Wie groß wäre denn der überhaupt maximal mögliche Transinformationsfluß ??

$$T_{max} = MAX\left(\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} p(y_j, x_i)\cdot ld\frac{p(y_j|x_i)}{p(y_j)}\right)$$

Allgemein gilt für den gedächtnislosen symmetrischen Binärkanal mit $p = p_{yx}('0'|'1') = p_{yx}('1'|'0')$

$p(y_j\|x_i)$	$y_1 =' 0'$	$y_2 =' 1'$
$x_1 =' 0'$	$1-p$	p
$x_2 =' 1'$	p	$1-p$

und

$p(y_j, x_i)$	$y_1 =' 0'$	$y_2 =' 1'$
$x_1 =' 0'$	$(1-p)\cdot p_x('0')$	$p\cdot p_x('0')$
$x_2 =' 1'$	$p\cdot p_x('1')$	$(1-p)\cdot p_x('1')$

$$T_{max} = MAX\left\{(1-p)\cdot p_x('0')\cdot ld\frac{(1-p)}{p_y('0')} + p\cdot p_x('1')\cdot ld\frac{p}{p_y('0')} + \right.$$
$$\left. + p\cdot p_x('0')\cdot ld\frac{p}{p_y('1')} + (1-p)\cdot p_x('1')\cdot ld\frac{(1-p)}{p_y('1')}\right\}$$

Nach etwas Rechnung ergibt sich

$$T_{max} = 1 - p\cdot ld\frac{1}{p} - (1-p)\cdot ld\frac{1}{1-p}$$

Für die Kanalkapazität eines gedächtnislosen symmetrischen Binärkanals in Abhängigkeit von der Bitfehlerwahrscheinlichkeit p ergibt sich somit

$$C^* = T^*_{max} = \frac{T_{max}}{T_{bit}} = \frac{1}{T_{bit}}\left\{1 - p\cdot ld\frac{1}{p} - (1-p)\cdot ld\frac{1}{1-p}\right\}$$

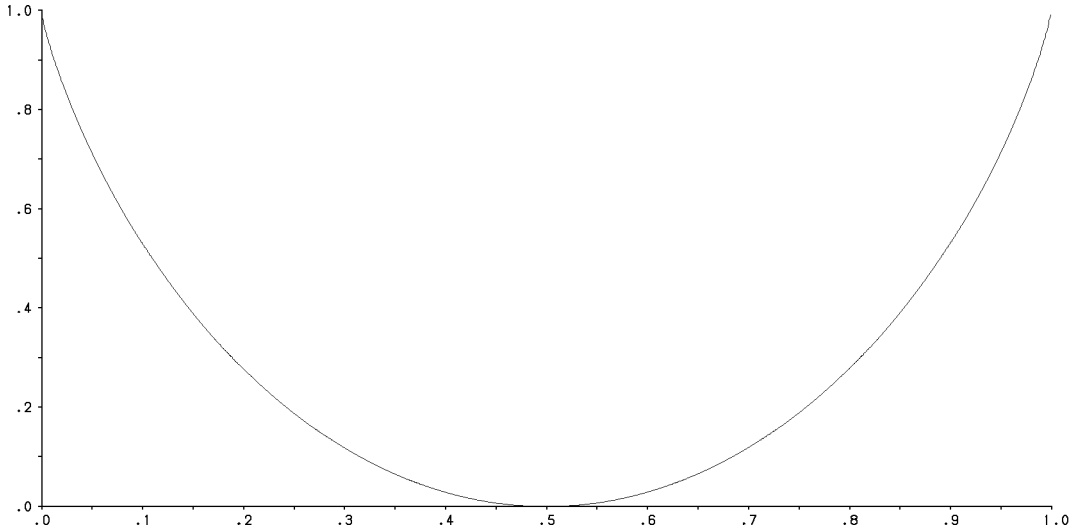


Abbildung 3.3: Kanalkapazität in Abhängigkeit von Bitfehlerwahrscheinlichkeit

Für schwach gestörte Binärkanäle ($p < 0.01$) ergibt sich damit näherungsweise eine Kanalkapazität

$$C^* \approx \frac{1}{T_{bit}} = f_{bit}$$

1. Eine statistisch unabhängige binäre Nachrichtenquelle gibt das Zeichen '0' mit einer Wahrscheinlichkeit von 80% ab.

   a) Wie groß ist der Informationsgehalt der Quellensymbole ?
   b) Berechnen Sie den Entscheidungsgehalt und die Entropie.
   c) Wie groß ist die absolute und relative Redundanz.

2. Berechnen Sie aus der Typischen Nachricht einer Quelle ABCABCABCA die Quellenentropie und die Informationsgehalte der Zeichen A, B, C. Bei der Übertragung dieser Nachricht über einen gedächtnislosen Kanal treten Verfälschungen auf. Die übertragene Typische Nachricht auf der Senkenseite lautet ABBABCABBA. Berechnen Sie folgende Größen:

   a) Rückschlußwahrscheinlichkeiten
   b) Verbundwahrscheinlichkeiten
   c) Irrelevanz
   d) Äquivokation
   e) Transinformation
   f) Senkenentropie
   g) Informationsgehalte der Zeichen A, B, C auf der Senkenseite

3. Eine gedächtnislose Binärquelle (p=0.5) sendet über einen symmetrischen Binärkanal ohne Nachwirkung. Berechnen Sie für eine Übergangswahrscheinlichkeit $p_{yx}('0'|'1') = 0.01$

   a) Synentropie
   b) Äquivokation
   c) Irrelevanz
   d) Quellenentropie
   e) Senkenentropie
   f) Kanalkapazität (für $T_{Bit} = 15.625\mu s$)

4. Aufgabenstellung wie vorher. Berechnen Sie die Größen für ein

   a) p = 1E-6
   b) p = 1E-7
   c) p = 1E-8

5. Eine gedächtnislose Binärquelle (p(0)=0.4, 0.3, 0.2, 0.1) sendet über einen symmetrischen Binärkanal ohne Nachwirkung. Berechnen Sie für eine Übergangswahrscheinlichkeit $p_{yx}('0'|'1') = 0.1$

   a) Synentropie
   b) Äquivokation
   c) Irrelevanz
   d) Quellenentropie
   e) Senkenentropie
   f) Kanalkapazität (für $T_{Bit} = 15.625\mu s$)

6. Welchen Codewortumfang hat eine 5stellige und eine 10stellige Internetadresse? Wieviele Stellen bräuchte man dafür bei binärer Kodierung?

7. Nehmen Sie einen beliebigen Text und berechnen Sie die Zeichenhäufigkeit und Entropie dieses Textes.

Kapitel 4

Codierung

Umsetzen der Information in eine für die Übertragung, Speicherung oder Verarbeitung geeignete Form.

Darstellung von Codes:

– Codetabelle

– Codebaum

– n-dimensionaler Hyperkubus

– Karnaugh-Veitch Diagramme

4.1 Quellencodierung

Quellencodierung ist die Umsetzung eines Wortes in das entsprechende Codewort nach einem redundanzmindernden Code.

Redundanzmindernde Codes sind Codes mit ungleichlangen Codewörtern, wobei man den häufigsten Quellenwörtern die kürzesten Codewörter zuordnet und damit eine Einsparung der im Mittel benötigten Codewortlänge erreicht.

Die mittlere Codewortlänge ist bei binärer Codierung die Entropie des Codes und damit ein Maß für die Redundanzreduktion. (ℓ_c : Codewortlänge eines Zeichens)

$$\ell_m = \sum_{i=1}^{M_q} p(x_i) \cdot \ \ell_c(x_i)$$

Codiervorschrift nach Shannon/Fano.

Bei Binärcodierungen liefert dieses Verfahren unmittelbar einen vollständigen Codebaum.

1. Ordnen der Quellensymbole nach fallender Wahrscheinlichkeit.
2. Unterteilung in s_c Gruppen (2 bei binär), wobei die Summe der Wahrscheinlichkeiten in jeder Gruppe möglichst genau gleich groß sein soll.
3. Zuordnen der s_c-Codesymbole zu jeder Gruppe. ('0' und '1' bei binär)
4. Unterteilung der s_c Untergruppen jeweils wieder in s_c Untergruppen, wobei in jeder Untergruppe die Summe der Wahrscheinlichkeiten möglichst gleich groß sein soll.
5. Zuordnung der Codesymbole wie in 3.
6. Wiederholung der Schritte 4 und 5 bis keine weitere Zerlegung mehr möglich ist.

Huffman-Codierung

1. Sortieren nach Auftrittswahrscheinlichkeit wie bei Shannon/Fano
2. Zusammenfassen der beiden Symbole mit den kleinsten Wahrscheinlichkeiten zu einer Untergruppe.
3. Zusammenfassen der Symbole bzw. Untergruppen mit den kleinsten Wahrscheinlichkeiten zu einer neuen Untergruppe, usw.

Der Huffman-Code baut den Code von der letzten Stelle auf. Die gewonnene Codierung unterscheidet sich oft nur wenig zu der nach Shannon/Fano.

Nach [25] S.107 ergibt sich für den Huffman-Code oft zwar eine etwas geringere mittlere Codewortlänge, allerdings dafür auch eine größere Standardabweichung $\sigma^2 = \sum_{i=1}^{n} (\ell_i - \ell_m)^2 \cdot p(\ell_i)$.

Selbstsynchronisierender Code ist ein Code, der ohne zusätzliche Trennungszeichen decodierbar ist, d.h. der Decoder kann eine beliebige Folge von Codewörtern nach einer Einlaufphase ohne zusätzliche Information richtig decodieren.

Hinreichende und notwendige Bedingung:

Kein Codewort darf linker Teil eines anderen Codeworts sein.

oder am Codebaum veranschaulicht:

Im Codebaum dürfen nur die Astspitzen mit Codewörtern belegt sein.

Präfixcode ist ein Code, mit der Eigenschaft, daß kein Codewort den Anfang eines anderen Codeworts bildet.

Effizienz eines Codes bezüglich einer Quelle ist

$$E = \frac{H(X)}{\ell_m} \cdot \frac{1}{ld(s_c)}$$

Idealer Code ist ein Code mit E = 1.

Optimaler Code:
Gilt für einen Code, daß er optimal ist in dem Sinne, daß es keinen anderen decodierbaren Code mit dem selben Codealphabet für die gegebene Quelle gibt, der eine kleinere mittlere Länge ℓ_m hat, so nennt man ihn optimal oder kompakt.[a]

nach Shannon gilt: **Schranken für die mittlere Codewortlänge**

$$\frac{H(X)}{ld(s_c)} \leq \ell_m \leq \frac{H(X)}{ld(s_c)} + 1$$

bei binär ($s_c = 2$) ergibt sich dann $H(X) \leq \ell_m \leq H(X) + 1$

1.Hauptsatz der Informationstheorie oder auch Fundamentalsatz der Quellencodierung

Bei einer diskreten Quelle X ohne Gedächtnis ist der mittlere Codieraufwand pro Quellenzeichen (bei der Codierung der Quellenwörter fester Länge n mittels eines Präfixcodes) durch die Entropie H(X) nach unten beschränkt. Bei geeignet großer Wortlänge n läßt sich aber eine Codierung finden, deren mittlerer Codieraufwand beliebig nahe bei H(X) liegt. [b]

$$\frac{H(X)}{ld(s_c)} \leq \ell'_m \leq \frac{H(X)}{ld(s_c)} + \frac{1}{n}$$

Eine etwas modifizierte Art der Huffman-Codierung wird beim Telefax der Gruppe 3 verwandt. Nach Norm (Standard) besitzen die Gruppe 3–Geräte eine Auflösung in horizontaler Richtung von 8 Bildpunkten pro mm (203 dpi) bei 1728 Bildpunkte (215mm[c]) Breite und in vertikaler Richtung 3.85 oder 7.7 Zeilen pro mm (bzw. 98 oder 196 dpi) (ITU-T T.4 für Group 3 Faksimile). Würden die Bildpunkte als einzelne Punkte weiß oder schwarz übertragen, so ergäbe sich je nach Vorlage eine extreme Ungleichverteilung zwischen weiß und schwarz und somit informationstheoretisch betrachtet viel Redundanz. Dies würde sich in einer großen Übertragungsdauer niederschlagen. Deshalb wendet man eine **Lauflängencodierung** an und nennt den Code **M**odified **H**uffman **C**ode (MHC). Eine ununterbrochene Anzahl weißer oder schwarzer Punkte wird als *Lauflänge* bezeichnet und mit einer Quellencodierung, die für Schreibmaschinenschrift optimiert worden ist, umgesetzt. Entsprechend seiner redundanzmindernden Funktion werden dabei häufig vorkommenden Lauflängen kurze Codeworte zugeteilt und entsprechend seltener vorkommenden längere Codeworte. Man unterscheidet bei der Umsetzung zwischen Basis–Codeworten (TC = Terminating Codes) und Abschnitts–Codeworten (MUC = Make–Up Codes), die jeweils getrennt nach schwarzer oder weißer Lauflänge codieren. Jede Lauflänge wird entweder durch ein Basis–Codewort oder durch ein Abschnitts–Codewort gefolgt von einem Basis–Codewort codiert. Ab einer Lauflänge von 1792 werden schwarz und weiß mit Abschnitts–Codeworten für Ergänzungsmerkmale umgesetzt, denen dann ein entsprechendes Basis– oder Abschnitts–Codewort zur Festlegung der Farbe folgen muß. Jede Zeile beginnt mit einer Lauflänge weiß!

Die folgenden Tabellen zeigen die Zuordnung.

---

[a] siehe [7] S.135

[b] siehe hierzu [37] S.54, [25] S.112ff, [7] S.145, [30] S.140, [36] S.197 [38] S.22

[c] nach T.4 215mm ± 1%

Basis Codeworte (TC = Terminating Codes)

Lauflänge	weiß	schwarz
0	0 0 1 1 0 1 0 1	0 0 0 0 1 1 0 1 1 1
1	0 0 0 1 1 1	0 1 0
2	0 1 1 1	1 1
3	1 0 0 0	1 0
4	1 0 1 1	0 1 1
5	1 1 0 0	0 0 1 1
6	1 1 1 0	0 0 1 0
7	1 1 1 1	0 0 0 1 1
8	1 0 0 1 1	0 0 0 1 0 1
9	1 0 1 0 0	0 0 0 1 0 0
10	0 0 1 1 1	0 0 0 0 1 0 0
11	0 1 0 0 0	0 0 0 0 1 0 1
12	0 0 1 0 0 0	0 0 0 0 1 1 1
13	0 0 0 0 1 1	0 0 0 0 0 1 0 0
14	1 1 0 1 0 0	0 0 0 0 0 1 1 1
15	1 1 0 1 0 1	0 0 0 0 1 1 0 0 0
16	1 0 1 0 1 0	0 0 0 0 0 1 0 1 1 1
17	1 0 1 0 1 1	0 0 0 0 0 1 1 0 0 0
18	0 1 0 0 1 1 1	0 0 0 0 0 0 1 0 0 0
19	0 0 0 1 1 0 0	0 0 0 0 1 1 0 0 1 1 1
20	0 0 0 1 0 0 0	0 0 0 0 1 1 0 1 0 0 0
21	0 0 1 0 1 1 1	0 0 0 0 1 1 0 1 1 0 0
22	0 0 0 0 0 1 1	0 0 0 0 0 1 1 0 1 1 1
23	0 0 0 0 1 0 0	0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0
24	0 1 0 1 0 0 0	0 0 0 0 0 0 1 0 1 1 1
25	0 1 0 1 0 1 1	0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0
26	0 0 1 0 0 1 1	0 0 0 0 1 1 0 0 1 0 1 0
27	0 1 0 0 1 0 0	0 0 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1
28	0 0 1 1 0 0 0	0 0 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0
29	0 0 0 0 0 0 1 0	0 0 0 0 1 1 0 0 1 1 0 1
30	0 0 0 0 0 0 1 1	0 0 0 0 0 1 1 0 1 0 0 0
31	0 0 0 1 1 0 1 0	0 0 0 0 0 1 1 0 1 0 0 1
32	0 0 0 1 1 0 1 1	0 0 0 0 0 1 1 0 1 0 1 0
33	0 0 0 1 0 0 1 0	0 0 0 0 0 1 1 0 1 0 1 1
34	0 0 0 1 0 0 1 1	0 0 0 0 1 1 0 1 0 0 1 0
35	0 0 0 1 0 1 0 0	0 0 0 0 1 1 0 1 0 0 1 1
36	0 0 0 1 0 1 0 1	0 0 0 0 1 1 0 1 0 1 0 0
37	0 0 0 1 0 1 1 0	0 0 0 0 1 1 0 1 0 1 0 1
38	0 0 0 1 0 1 1 1	0 0 0 0 1 1 0 1 0 1 1 0
39	0 0 1 0 1 0 0 0	0 0 0 0 1 1 0 1 0 1 1 1
40	0 0 1 0 1 0 0 1	0 0 0 0 0 1 1 0 1 1 0 0
41	0 0 1 0 1 0 1 0	0 0 0 0 0 1 1 0 1 1 0 1
42	0 0 1 0 1 0 1 1	0 0 0 0 1 1 0 1 1 0 1 0
43	0 0 1 0 1 1 0 0	0 0 0 0 1 1 0 1 1 0 1 1
44	0 0 1 0 1 1 0 1	0 0 0 0 0 1 0 1 0 1 0 0
45	0 0 0 0 0 1 0 0	0 0 0 0 0 1 0 1 0 1 0 1
46	0 0 0 0 0 1 0 1	0 0 0 0 0 1 0 1 0 1 1 0
47	0 0 0 0 1 0 1 0	0 0 0 0 0 1 0 1 0 1 1 1
48	0 0 0 0 1 0 1 1	0 0 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0
49	0 1 0 1 0 0 1 0	0 0 0 0 0 1 1 0 0 1 0 1
50	0 1 0 1 0 0 1 1	0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 1 0
51	0 1 0 1 0 1 0 0	0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 1 1
52	0 1 0 1 0 1 0 1	0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0
53	0 0 1 0 0 1 0 0	0 0 0 0 0 0 1 1 0 1 1 1
54	0 0 1 0 0 1 0 1	0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0
55	0 1 0 1 1 0 0 0	0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 1 1
56	0 1 0 1 1 0 0 1	0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0
57	0 1 0 1 1 0 1 0	0 0 0 0 0 1 0 1 1 0 0 0
58	0 1 0 1 1 0 1 1	0 0 0 0 0 1 0 1 1 0 0 1
59	0 1 0 0 1 0 1 0	0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 1 1
60	0 1 0 0 1 0 1 1	0 0 0 0 0 0 1 0 1 1 0 0
61	0 0 1 1 0 0 1 0	0 0 0 0 0 1 0 1 1 0 1 0
62	0 0 1 1 0 0 1 1	0 0 0 0 0 1 1 0 0 1 1 0
63	0 0 1 1 0 1 0 0	0 0 0 0 0 1 1 0 0 1 1 1

Abschnitts-Codeworte (MUC = Make up Code)

Lauflänge	weiß	schwarz
64	1 1 0 1 1	0 0 0 0 0 0 1 1 1 1
128	1 0 0 1 0	0 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 0
192	0 1 0 1 1 1	0 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1
, 256	0 1 1 0 1 1 1	0 0 0 0 0 1 0 1 1 0 1 1
320	0 0 1 1 0 1 1 0	0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 1 1
384	0 0 1 1 0 1 1 1	0 0 0 0 0 0 1 1 0 1 0 0
448	0 1 1 0 0 1 0 0	0 0 0 0 0 0 1 1 0 1 0 1
512	0 1 1 0 0 1 0 1	0 0 0 0 0 0 1 1 0 1 1 0 0
576	0 1 1 0 1 0 0 0	0 0 0 0 0 0 1 1 0 1 1 0 1
640	0 1 1 0 0 1 1 1	0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 1 0
704	0 1 1 0 0 1 1 0 0	0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 1 1
768	0 1 1 0 0 1 1 0 1	0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 1 0 0
832	0 1 1 0 1 0 0 1 0	0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 1 0 1
896	0 1 1 0 1 0 0 1 1	0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 0 1 0
960	0 1 1 0 1 0 1 0 0	0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 0 1 1
1024	0 1 1 0 1 0 1 0 1	0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 1 0 0
1088	0 1 1 0 1 0 1 1 0	0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 1 0 1
1152	0 1 1 0 1 0 1 1 1	0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 0
1216	0 1 1 0 1 1 0 0 0	0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1
1280	0 1 1 0 1 1 0 0 1	0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 1 0
1344	0 1 1 0 1 1 0 1 0	0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 1 1
1408	0 1 1 0 1 1 0 1 1	0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 1 0 0
1471	0 1 0 0 1 1 0 0 0	0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 1 0 1
1536	0 1 0 0 1 1 0 0 1	0 0 0 0 0 0 1 0 1 1 0 1 0
1600	0 1 0 0 1 1 0 1 0	0 0 0 0 0 0 1 0 1 1 0 1 1
1664	0 1 1 0 0 0	0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0
1728	0 1 0 0 1 1 0 1 1	0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 1 0 1

Abschnitts-Codeworte für Ergänzungsmerkmale

Lauflänge	weiß und schwarz gemeinsam !!
1792	0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0
1856	0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0
1920	0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 1
1984	0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0
2048	0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 1
2112	0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0
2176	0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 1
2240	0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 1 0
2304	0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 1 1
2368	0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 0
2432	0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 1
2496	0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 0
2560	0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1

	EOL (End of Line)-Codewort
	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1

Beispiel ternäre Quelle
p(a) = 0.6
p(b) = 0.3
p(c) = 0.1

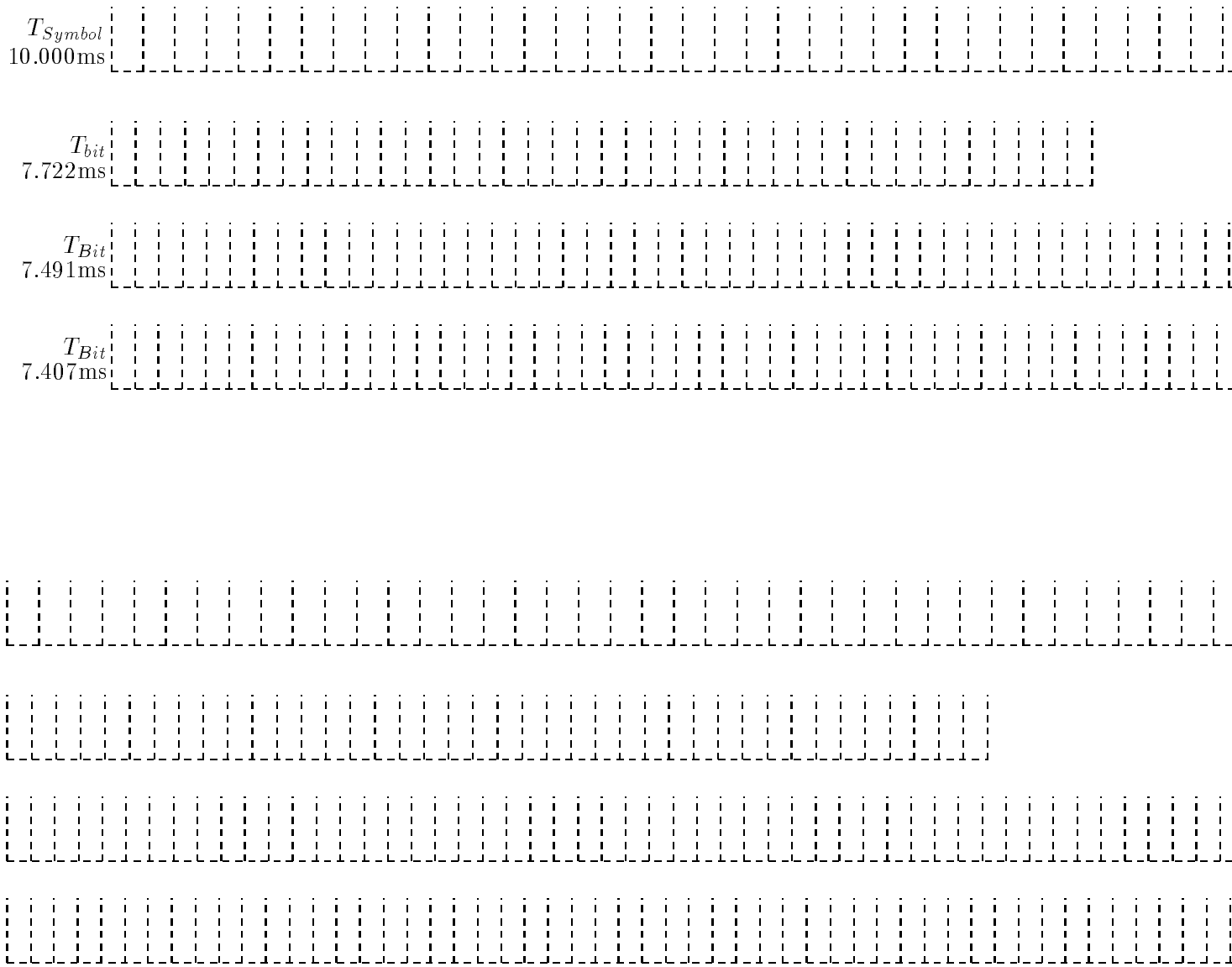
Symboldauer 10ms = 100 Baud = 100 Symbole/sec

Informationsfluß der Quelle 129.5 bit/s = 7.722ms maximale Bitdauer

Kanalkapazität 135 Bit/s = 7.407ms minimale Bitdauer

quellencodiert mit n=2

dann Infofluß = 133.5 Bit/s = 7.491ms maximale Bitdauer



4.2 Kanalcodierung

Aufgabe der Kanalcodierung ist es, die Wörter einer Nachrichtenquelle so umzucodieren, daß Codewörter entstehen, die sich möglichst auch dann noch unterscheiden, wenn einzelne Codesymbole verfälscht werden. Hier wird also gezielt Redundanz hinzugefügt, um eine Fehlererkennung bzw. Fehlerkorrektur zu ermöglichen.

Die Störungen im Binärkanal werden durch die Bitfehlerwahrscheinlichkeit p beschrieben. Damit läßt sich dann auch die Auswirkung auf ein Codewort mit n_c–Stellen beschreiben.

Die Wahrscheinlichkeit für richtige Übertragung (also 0 Fehler) ergibt sich zu $(1-p)^{n_c}$.

Die Wahrscheinlichkeit für 1 Fehler bei der Übertragung ergibt sich zu $p \cdot (1-p)^{n_c-1}$.

Die Wahrscheinlichkeit für 2 Fehler bei der Übertragung ergibt sich zu $p^2 \cdot (1-p)^{n_c-2}$.

usw.

Allgemein gilt für die Wahrscheinlichkeit von f Fehlern bei einem Codewort mit n_c–Stellen

$$p_f = p^f \cdot (1-p)^{n_c-f}$$

Damit ist auch eine Wortfehlerrate berechenbar.

$$p_{f,n_c} = \binom{n_c}{f} \cdot p^f \cdot (1-p)^{n_c-f}$$

$\binom{n_c}{f}$ ist die Anzahl der Möglichkeiten, f–Fehler auf n_c Bit zu verteilen. Multipliziert mit der Wahrscheinlichkeit für f–Fehler in einem Wort ergibt sich die Wahrscheinlichkeit, daß ein n–stelliges Bitmuster bei der Übertragung mit genau f–Fehlern empfangen wird.

Hammingdistanz h
ist die Anzahl der Stellen, in denen sich zwei gleichlange Codewörter eines Alphabets unterscheiden.

Die **Distanz d** (Minimalabstand)
eines Codes ist die kleinste aller Hammingdistanzen der Codewörter.

$$d = Min(h)$$

Die Distanz ist ein Maß für die Leistungsfähigkeit eines Codes.

Bei einem Code mit der Distanz d können empfangsseitig alle diejenigen fehlerhaften Wörter als fehlerhaft erkannt werden, die $d-1$ oder weniger fehlerhafte Symbole enthalten.
Für die Anzahl e der **mindestens** erkennbaren fehlerhaften Symbole gilt somit:

$$e = d - 1$$

Ein Code mit einer ungeraden Distanz d kann alle fehlerhaften Wörter korrigieren, die nicht mehr als $t = \frac{d-1}{2}$ fehlerhafte Codesymbole enthalten. t ist die Anzahl der **mindestens** korrigierbaren fehlerhaften Codesymbole pro Codewort. Bei den meisten Codes gibt es aber auch noch Codewörter, bei deren Übertragung eine größere Zahl von fehlerhaften Codesymbolen prinzipiell korrigierbar ist.

Ein Code mit einer geraden Distanz d kann alle die fehlerhaften Wörter korrigieren, die nicht mehr als $t = \frac{d}{2} - 1$ fehlerhafte Symbole enthalten.

Beispiele für unterschiedliche Blockcodes und deren Verhalten gegenüber Übertragungsfehler.

4 Symbole A, B, C, D sind in einen Blockcode umzusetzen und dieser Code ist auf Fehlererkennungs– bzw. Fehlerkorrekturmöglichkeiten zu untersuchen. ($p = 0.1$)

- 4 Symbole sind redundanzfrei mit $n_c = 2$ zu codieren.

A	0	0
B	0	1
C	1	0
D	1	1

Die einzelnen Hamming–Distanzen ergeben sich zu

$h_{AB} =$ $h_{AC} =$ $h_{AD} =$

$h_{BC} =$ $h_{BD} =$ $h_{CD} =$

Damit wird die Distanz des Codes $d =$

Für die Fehlerwahrscheinlichkeiten pro Codewort ergeben sich

$p_1 =$

$p_2 =$

Die Wortfehlerraten ergeben sich dann zu

$p_{1,2} =$

$p_{2,2} =$

- Benutzt man eine Codewortlänge von $n_c = 3$, dann ergäbe sich folgende Codierungsmöglichkeit.

A	0	0	0
B	0	1	1
C	1	0	1
D	1	1	0

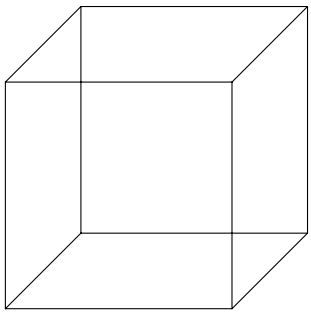
Die einzelnen Hamming–Distanzen ergeben sich zu

$h_{AB} =$ $h_{AC} =$ $h_{AD} =$

$h_{BC} =$ $h_{BD} =$ $h_{CD} =$

Damit wird die Distanz des Codes $d =$

Stellt man diesen Code als *3–dimensionalen Hyperkubus* dar, so sieht man, daß die gültigen Codeworte so auf die Ecken verteilt sind, daß ein maximaler Abstand erreicht wurde.



Für die Fehlerwahrscheinlichkeiten pro Codewort ergeben sich

$p_1 =$

$p_2 =$

$p_3 =$

Die Wortfehlerraten ergeben sich dann zu

$p_{1,3} =$

$p_{2,3} =$

$p_{3,3} =$

Die Auswirkungen auf das Codewort für $A = 0\ 0\ 0$ gestalten sich folgendermaßen

1 Fehler ergäbe

2 Fehler ergäbe

3 Fehler ergäbe

Das bedeutet ein Fehler wird erkannt, zwei Fehler ergeben wieder ein gültiges Codewort, werden also nicht erkannt, und 3 Fehler ergeben ein ungültiges Codewort, werden also auch erkannt.

- Für $n_c = 4$ ergäbe sich folgende Codierungsmöglichkeit

A	0	0	0	0
B	0	0	1	1
C	1	1	1	1
D	1	1	0	0

Die einzelnen Hamming–Distanzen ergeben sich zu

$h_{AB} =$ $h_{AC} =$ $h_{AD} =$

$h_{BC} =$ $h_{BD} =$ $h_{CD} =$

Damit wird die Distanz des Codes $d =$

Für die Fehlerwahrscheinlichkeiten pro Codewort ergeben sich

$p_1 =$

$p_2 =$

$p_3 =$

$p_4 =$

Die Wortfehlerraten ergeben sich dann zu

$p_{1,4} =$

$p_{2,4} =$

$p_{3,4} =$

$p_{4,4} =$

Die Auswirkungen auf das Codewort für $A = 0\ 0\ 0\ 0$ gestalten sich folgendermaßen

1 Fehler ergäbe	0001	0010	0100	1000		
2 Fehler ergäbe	0011	0101	1001	1010	1100	0110
3 Fehler ergäbe	0111	1011	1101	1110		
4 Fehler ergäbe	1111					

$e = d - 1 =$

- Für $n_c = 5$ ergäbe sich folgende Codierungsmöglichkeit

A	0	0	0	0	0
B	0	1	0	1	1
C	1	0	1	0	1
D	1	1	1	1	0

Die einzelnen Hamming–Distanzen ergeben sich zu

$h_{AB} =$ $h_{AC} =$ $h_{AD} =$

$h_{BC} =$ $h_{BD} =$ $h_{CD} =$

Damit wird die Distanz des Codes $d =$

Für die Fehlerwahrscheinlichkeiten pro Codewort ergeben sich

$p_1 =$

$p_2 =$

$p_3 =$

$p_4 =$

$p_5 =$

Die Wortfehlerraten ergeben sich dann zu

$p_{1,5} =$

$p_{2,5} =$

$p_{3,5} =$

$p_{4,5} =$

$p_{5,5} =$

Die Auswirkungen auf das Codewort für $A = 0\ 0\ 0\ 0\ 0$ gestalten sich folgendermaßen

1 Fehler ergäbe	00001	00010	00100	01000	10000					
2 Fehler ergäbe	00011	00101	01001	10001	10010	10100	11000	01100	00110	01010
3 Fehler ergäbe	00111	01011	10011	10101	11001	11010	11100	01110	01101	10110
4 Fehler ergäbe	01111	10111	11011	11101	11110					
5 Fehler ergäbe	11111									

$e = d - 1 =$

$t = \frac{d-1}{2} =$

Damit müßten also alle fehlerhaften Wörter mit einem falschen Codewortsymbol korrigierbar sein.

Wird ein Codewort als falsch erkannt, dann wird es mit allen gültigen Codewörtern verglichen und schließlich zu dem Codewort dekodiert, zu dem die geringste Hammingdistanz besteht. Diese Decodierung nennt man Maximum–Likelihood–Decodierung.

Maximum–Likelihood–Decodierung :
Decodierung einer gegebenfalls fehlerhaften Codesymbolfolge y in dasjenige Wort x, für das die bedingte Wahrscheinlichkeit $p(y|x)$ maximal ist.

Um den Codeaufbau zu systematisieren, zerlegt man bei einem Blockcode die Codewortlänge n_c in zwei Teile, nämlich in einen Nachrichten– (Informations–) anteil mit m–Symbolen und einen Kontroll– (Redundanz–) anteil mit k–Symbolen. Damit gilt

$$n_c = m + k$$

Bei k Kontrollsymbolen sind $2^k - 1$ verschiedene Fehlermuster korrigierbar. Sollen mindestens die Fehlermuster, die einen einzigen Fehler enthalten, korrigiert werden, so gibt es n_c verschiedene Fehlermuster, was zu folgenden Beziehungen führt

$$n_c \leq 2^k - 1$$

oder mit $n_c = m + k$

$$m \leq 2^k - k - 1$$

Sollen mit einem Code t Fehler pro Codewort sicher korrigiert werden, so muß er $\sum_{i=1}^{t} \binom{n_c}{i}$ verschiedene Fehlermuster korrigieren können, *d.h.* es muß gelten

$$\sum_{i=1}^{t} \binom{n_c}{i} \leq 2^k - 1$$

Einige Definitionen und Vereinbarungen:

Parität (Parity) :
Bei einer vorgegebenen Anzahl von Binärelementen der Rest, der sich ergibt, wenn die Anzahl der mit 1 belegten Codeelemente durch zwei geteilt wird. Die Parität kann gerade (0) oder ungerade (1) sein. (NTG 0104)

Gewicht
eines binären Codewortes : Die Anzahl der mit 1 belegten Stellen eines Codewortes.

Paritätsbit :
Codeelement einer von k Prüfstellen eines binären Codewortes, das zum Zweck der Fehlererkennung oder Fehlerkorrektur so gewählt wird, daß es zusammen mit bestimmten anderen Codeelementen des Codewortes eine vereinbarte Parität ergibt.

Algebraische Körper mit endlich vielen Elementen werden **Galois–Felder GF(n)** genannt. (n = Anzahl der Elemente). Sie sind definiert durch die Angabe ihrer Elemente und je einer Additions– und einer Multiplikationstabelle.

Galois–Feld GF(2)

Der binäre Körper besitzt die zwei Elemente $0, 1$ und die folgenden Rechenoperationen:

Modulo–2–Addition

+	0	1
0	0	1
1	1	0

Und–Funktion (Multiplikation)

*	0	1
0	0	0
1	0	1

Beliebige Codes mit einer Anzahl M_c von n_c–stelligen Codewörtern und einer minimalen Hamming–Distanz d werden als **[$\mathbf{n_c}$, $\mathbf{M_c}$, $\mathbf{d}$]–Codes** bezeichnet.

Bei linearen Codes ist auch die Anzahl der Codewörter eine Potenz von 2, so daß direkt ihre Anzahl Informationsbit m angegeben werden kann.
Lineare Codes werden daher als **($\mathbf{n_c}$, $\mathbf{m}$, $\mathbf{d}$)–Codes** bezeichnet.

Können in einem Code die Codewörter derart gewählt werden, daß die ersten m Bit in den Codewörtern direkt die Informationsbit darstellen, so ist der Code **systematisch.**

Lineare Codes können immer in systematischer Form dargestellt werden. Die redundanten Bit eines systematischen Codes werden Kontrollbit genannt. Sie bestimmen die Fehlererkennungs– oder Fehlerkorrekturfähigkeiten des Codes.

Beispiele für systematische Codekonstruktion

- **k = 1 Parity–Bit**

	m_1	m_2	k_1
A	0	0	0
B	0	1	1
C	1	0	1
D	1	1	0

mit $k_1 = m_1 + m_2$ in GF(2)!)

Die einzelnen Hamming–Distanzen ergeben sich zu

$h_{AB} =$ $h_{AC} =$ $h_{AD} =$
$h_{BC} =$ $h_{BD} =$ $h_{CD} =$

Durch Hinzufügen eines Parity–Bits erhöht sich die Distanz eines redundanzfreien Codes auf 2.
Damit kann 1 Fehler mit Sicherheit erkannt werden.
Fehlerkorrektur ist nicht möglich.

- **k > 1 Hamming–Codes**
Durch das geschickte Hinzufügen der Kontroll–Bits wird die Distanz des Codes größer und damit auch die Fehlererkennungs– und Fehlerkorrekturmöglichkeiten. Wichtig sind linear unabhängige Paritätsgleichungen.

Bei Beispiel $n_c = 5$ auf Seite 43

	m_1	m_2	k_1	k_2	k_3
A	0	0	0	0	0
B	0	1	0	1	1
C	1	0	1	0	1
D	1	1	1	1	0

mit den Paritätsgleichungen

$$k_1 = m_1$$
$$k_2 = m_2$$
$$k_3 = m_1 + m_2$$

ergibt sich eine Distanz des Codes von 3.

Um nicht immer eine vollständige Codetabelle vorrätig haben zu müssen, beschreibt man solche systematischen Codes mit einer Generatormatrix, Kontrollmatrix und Syndrom(vektor).

Die Generatormatrix ergibt sich folgendermaßen

$$[G] = [E^m \; G'] = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Damit ergibt sich jedes zu **übertragende Codewort v** aus dem **ursprünglichen Codewort c** durch Multiplikation mit der Generatormatrix G.

$$v = c \cdot [G]$$

Um auf der Empfangsseite kontrollieren zu können, ob das empfangene Codewort richtig übertragen wurde, multipliziert man das empfangene Codewort mit der transponierten Kontrollmatrix und erhält als Ergebnis das **Syndrom s** (auch Korrektor genannt).

Kontrollmatrix

$$[H] = [H' \; E^k] = [G'^T \; E^k] = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Syndrom

$$s = v_{empfangen} \cdot [H]^T$$

Ist dieses Syndrom ungleich Null, dann war die Übertragung erkennbar gestört. Erzeugt man sich mit den möglichen korrigierbaren Fehlerworten eine *Syndromtabelle*, so kann man damit das empfangene verfälschte Codewort korrigieren.

Bei obigen Beispiel ist aufgrund der Distanz 3 des Codes ein Fehler korrigierbar, damit ergeben sich als mögliche korrigierbare Fehlerworte und zugehöriges Syndrom

Fehlerwort $\cdot [H]^T$	Syndrom
$00001 \cdot [H]^T$	001
$00010 \cdot [H]^T$	010
$00100 \cdot [H]^T$	100
$01000 \cdot [H]^T$	011
$10000 \cdot [H]^T$	101

Zyklische Codes

Zyklische Codes haben die Eigenschaft, daß jede zyklische Vertauschung (Rotation) im Codewort wieder ein Codewort ergibt. Sie sind eine Unterklasse der linearen Codes.

Zyklische Codes lassen sich sehr gut mit Hilfe von Polynomen in endlichen Körpern beschreiben.

$$v(z) = v_0 + v_1 \cdot z^1 + v_2 \cdot z^2 + v_3 \cdot z^3 + \cdots + v_{n_c-1} \cdot z^{n_c-1}$$

Ein zyklischer (n_c, m, d)–Code ist durch ein Generatorpolynom $g(z)$ vom Grad k definiert.

$$g(z) = g_0 + g_1 \cdot z^1 + g_2 \cdot z^2 + g_3 \cdot z^3 + \cdots + g_k \cdot z^k$$

Jedes als Polynom dargestellte Codewort v läßt sich ohne Rest durch $g(z)$ teilen. Der Grad des Generatorpolynoms gibt die Anzahl Kontrollbit im Codewort an. Sämtliche Polynome vom Grad kleiner n_c, die durch $g(z)$ ohne Rest teilbar sind, bilden den Satz von Codewörtern des Codes.

Ein zyklischer Code ist durch die Angabe von n_c und seinem Generatorpolynom $g(z)$ vollständig bestimmt.

Codierungsgleichung:

$$v(z) = c(z) \cdot g(z)$$

Ein Codewort entsteht, indem das Polynom der m–Informationsbit mit dem Generatorpolynom multipliziert wird. (Rechenregeln GF(2) !)

Auf der Empfangsseite kann durch Division des empfangen Codewortes durch das Generatorpolynom $g(z)$ festgestellt werden, ob erkennbar Fehler bei der Übertragung passiert sind oder nicht. Ergibt die Division einen Rest, dann sind Übertragungsfehler aufgetreten.

Mit Hilfe eines Kontrollpolynoms $h(z)$ kann wieder ein Fehlersyndrom–Polynom $s(z)$ und daraus das entsprechende Fehlerpolynom $e(z)$ berechnet werden.

Beispiel :

(7,4,3)–Code definiert durch das Generatorpolynom $g(z) = 1 + z + z^3$

Die ursprünglichen Codeworte bestehen aus $m = 4$ Infobits

$$c(z) = c_0 + c_1 \cdot z + c_2 \cdot z^2 + c_3 \cdot z^3$$

damit ergeben sich alle möglichen zu übertragenden Codeworte $v(z) = c(z) \cdot g(z)$

$v(z) = (c_0 + c_1 z + c_2 z^2 + c_3 z^3) \cdot (1 + z + z^3)$

$v(z) = c_0 + c_0 z + c_0 z^3 + c_1 z + c_1 z^2 + c_1 z^4 + c_2 z^2 + c_2 z^3 + c_2 z^5 + c_3 z^3 + c_3 z^4 + c_3 z^6$

$v(z) = c_0 + (c_0 + c_1) z + (c_1 + c_2) z^2 + (c_0 + c_2 + c_3) z^3 + (c_1 + c_3) z^4 + c_2 z^5 + c_3 z^6$

$v(z) = v_0 + v_1 z^1 + v_2 z^2 + v_3 z^3 + \cdots + v_{n-1} \cdot z^{n-1}$

Damit läßt sich folgende Codeworttabelle aller gültigen Codeworte v aufstellen.

Codeworte c				*Codeworte v*							
c_0	c_1	c_2	c_3	v_0	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	Nr
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	2
0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	3
1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	4
0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	5
1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	6
0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	7
1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	8
0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	9
1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	10
0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	11
1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	12
0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	13
1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14
0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	15
1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	16

Normierte Prüfpolynome für die Datenübertragung

Zusammenfassen eines Informationsblock beliebiger Länge. Diesem wird ein Prüfblock angehängt.
Dieser Prüfblock entsteht durch fortlaufende binäre Division der Infobits durch ein Prüfpolynom.

Übertragungsblock = Informationsblock + Prüfblock

Im Empfänger werden die Infobits wieder durch das Prüfpolynom dividiert und der so entstehende Prüfblock mit dem übertragenen Prüfblock verglichen. Der Vergleich ergibt, ob ein Übertragungsfehler vorgelegen hat oder nicht.
Bei Übertragungsfehler wird der gesamte Übertragungsblock noch einmal angefordert (reine Fehlererkennung). (ARQ Automatic Repeat Request)

Genormte Prüfpolynome sind

8–Bit–Prüfpolynom : CRC–8 $1 + z^2 + z^3 + z^4 + z^8$

12–Bit–Prüfpolynom : CRC–12 $1 + z + z^2 + z^3 + z^{11} + z^{12}$

16–Bit–Prüfpolynom : CRC–16 $1 + z^2 + z^{15} + z^{16}$

32–Bit–Prüfpolynom : CRC–32 $1 + z^1 + z^2 + z^4 + z^5 + z^7 + z^8 + z^{10} + z^{11} + z^{12} + z^{16} + z^{22} + z^{23} + z^{26} + z^{32}$

16–Bit–Prüfpolynom : CRC–ITU-T $1 + z^5 + z^{12} + z^{16}$

CRC Cyclic redundancy check (Zyklische Blockprüfung)
SDLC Synchronous Data Link Control
HDLC High–Level Data Link Control

Büschelstörung ist eine zusammenhängende Fehlersequenz der Länge b.

Büschelkorrigierende Codes
sind in der Lage innerhalb der Spanne b–Bit eine beliebige Anzahl Fehler, außerhalb aber keine Fehler zu korrigieren.

Bose–Chaudhuri–Hocquengham (BCH)–Codes
BCH–Codes sind eine der wichtigsten Klassen fehlerkorrigierender Codes, die überall dort große praktische Bedeutung besitzen, wo die erwartete Anzahl Übertragungsfehler pro Block relativ gering sind. Die Konstruktion von BCH–Codes beruht auf Eigenschaften gewisser Polynomwurzeln im $GF(2^m)$ und ist mathematisch ziemlich anspruchsvoll, ihre technische Realisierung gestaltet sich aber meistens relativ einfach.

Verwendet wird ein (63,44,8)–BCH–Code bei der digitalen Übertragung von Hörfunk über Satellit.
Der Informationsblock aus 44 bit setzt sich zusammen aus den 11 höchstwertigen Bits der 14–Bit– Codeworte von vier Tonkanälen (2 Stereoprogrammen). Die 19 Prüfbits entstehen aus der Multiplikation des Infoblocks mit dem Generatorpolynom. Aufgrund der Distanz von 8 sind 3 Fehler korrigierbar.

Reed–Solomon–Code
Der Reed–Solomon–Code ist ein spezieller BCH–Code für mehrwertige Codewortstellen. Dieser Code ist also für Nachrichten von Interesse, die von sich aus schon in jeweils x–Binärstellen gruppiert sind wie z.B. Zeichen oder Bytes oder n–stellige Codeworte. Verwendet werden Reed–Solomon–Codes bei der digitalen Tonsignalaufzeichnung bei der Compact Disc. Um das gute Fehlerkorrekturverhalten noch zu verbessern, werden dabei zwei Reed–Solomon–Codes kreuzweise ineinander verschachtelt.

Golay–Code
Der Golay–Code kann 3 Fehler auf 23 Bit korrigieren und 6 Fehler erkennen. Sein Generatorpolynom lautet $g(z) = 1 + z + z^5 + z^6 + z^7 + z^9 + z^{11}$ $(n_c = 23,\ m = 12,\ k = 11,\ d = 7)$

1. Eine Nachrichtenquelle gibt alle 5ms eines von neun Nachrichtensymbolen mit den folgenden Wahrscheinlichkeiten ab. p(A)=0.01 , p(B)=0.05 , p(C)=0.17 , p(D)=0.07 , p(E)=0.35 , p(F)=0.19 , p(G)=0.02 , p(H)=0.11 , p(I)=0.03.
   Konstruieren Sie einen Optimalcode. Bestimmen Sie dessen Effizienz und vergleichen Sie dessen Informationsfluß mit einer Blockcodierung.
   Berechnen Sie für die durch die Quellencodierung entstandene binäre Quelle die Wahrscheinlichkeiten und die Entropie.

2. Zeichnen Sie das Pascalsche Dreieck bis n=16.

3. Ein symmetrischer Binärkanal hat eine Bitfehlerrate p = 1E-7.
   Wie groß ist die Wortfehlerrate für ein 8 Bit Wort und 0 , 1 , 2 , 3 , 4 , 5 , 6 , 7 , 8 Fehler ?

4. Bestimmen Sie für eine Codewortlänge $n_c = 1 \ldots 128$ die Anzahl der nötigen Kontrollbits um 1 Fehler sicher korrigieren zu können.

5. Bestimmen Sie für eine Codewortlänge $n_c = 1 \ldots 128$ die Anzahl der nötigen Kontrollbits um 2 Fehler sicher korrigieren zu können.

6. Erstellen Sie eine Tabelle für korrigierbare Fehler t = 1 ... 10 und dafür nötige Distanz des Codes.
   Wieviele Fehler können jeweils entdeckt werden ?

7. Gegeben ist folgende Generatormatriz.

$$[G] = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

   Geben Sie alle möglichen Codeworte an. Wie groß ist die Distanz des Codes ?
   Nehmen Sie ein gültiges Codewort und bestimmen Sie das Fehlersyndrom für 1, 2, 3 Fehler.
   Stellen Sie alle 1– und 2–Fehlerworte da.
   Welche Fehler sind korrigierbar? Stellen Sie eine Syndromtabelle auf.
   Wie gross ist die Restfehlerwahrscheinlichkeit bei einer Bitfehlerrate von 1E-7?

8. Bewerten Sie den Gray–Code und den BCD–Code nach Distanz und Redundanz.

9. Wieviele Speicherstellen (Bits) bräuchte ein (31,21,5)–Code um alle möglichen Codeworte abzulegen? Wieviele Speicherstellen braucht die Generatormatrix ?

10. Berechnen Sie den Informationsfluß für eine Seite DIN A4 weiß mit einem senkrechten schwarzen 2 mm breiten Strich 10cm vom linken Rand entfernt für uncodierte und MHC-codierte Übertragung (EOL vernachlässigen).
    Wie lange wäre die Übertragungsdauer bei beiden Möglichkeiten bei einem Telefax-Gerät der Gruppe 3 bei optimaler Auflösung und höchstmöglicher Geschwindigkeit gemäß V.29 mit 9600 Bit/s. Berechnen Sie für die durch die MHC entstandene neue binäre Quelle die Wahrscheinlichkeiten und die Entropie.

11. Berechnen Sie den Informationsfluß für eine Seite DIN A4 mit aufeinanderfolgenden weißen und schwarzen Pixeln pro Zeile einmal uncodiert und einmal mit Telefax MHC codiert (EOL vernachlässigen).
    Wie lange wäre die Übertragungsdauer bei beiden Möglichkeiten bei einem Telefax-Gerät der Gruppe 3 bei optimaler Auflösung und höchstmöglicher Geschwindigkeit gemäß V.29 mit 9600 Bit/s. Berechnen Sie für die durch die MHC entstandene neue binäre Quelle die Wahrscheinlichkeiten und die Entropie.

12. Gegeben ist folgendes Generatorpolynom $g(z) = 1 + z + z^4$.
    Erzeugen Sie damit einen 1–Fehlerkorrigierenden Code mit maximaler Anzahl Informationsbits.
    Erzeugen Sie 2 Codewörter, übertragen Sie diese und entscheiden Sie dann auf richtige Übertragung.

4.3 Leitungscodierung

4.3.1 analoge – digitale Übertragung

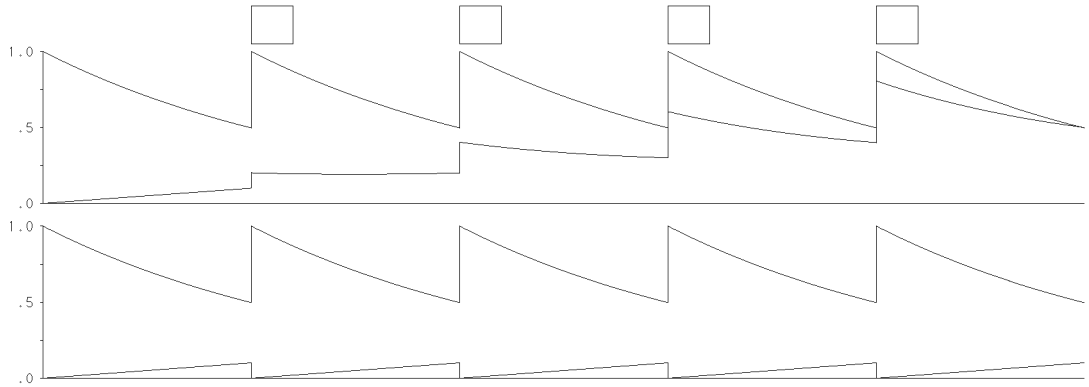


Abbildung 4.1: S und N für analoge und digitale Übertragung

4.3.2 Formate

Beurteilungskriterien für Formate

- Taktinformation
- Gleichanteilsfreiheit
- Spektrale Eigenschaften

4.3.2.1 binäre Leitungscodes

- **NRZ–Code** (Non Return to Zero) (auch NRZ–L)[d]
  Während gesamter Bitdauer konstanter Signalwert. Hoher Gleichanteil, niedriger Taktgehalt bei langen Null bzw Einsfolgen. Einsatz: digitale Logikschaltungen, Datenverabeitungsgeräte, Telex, LWL–Systeme, Übertragung Videotextzeilen auf Fernsehzeilen.
- Differenzcodierung **NRZ–M** bzw **NRZ–S**
  NRZ–M[e] Pegelwechsel bei 1, entsprechend NRZ–S[f] Pegelwechsel bei 0. Vorteil: Polaritätsvertauschung verursacht keinen Fehler, Polaritätswechsel oft besser detektierbar als Amplitude. (Verwendung bei RDS[g])
- **RZ**–Code (Return to Zero)
  In Bitmitte Rückfall auf Signalpegel für 0. Nachteile wie NRZ, zusätzlich doppelte Taktfrequenz.
- **Biphase–Codes**
  hoher Taktgehalt, Gleichanteilsfrei
  - **Biphase–L** (auch Diphase, Dipulse, Split–Phase, Wal 1, Walsh 1, Manchester Code)
    Null und Eins werden als Phasensprung codiert. Null wird 1.Bithälfte +A, 2.Bithälfte –A, und Eins entprechend umgekehrt umgesetzt. Gleichanteilsfrei, Taktinformation pro Bit enthalten. Ethernet–Code (LAN), VPS[h], RDS

[d] L steht für Level, d.h. Signalamplitude
[e] M steht für Mark, die logische '1'
[f] S steht für Space, die logische '0'
[g] Radio Daten System bei UKW Rundfunk
[h] Video Programming System

  - **Biphase–M** (auch Diphase, conditioned Diphase, coded Diphase)
    Eins bedeutet Phasensprung in Bitmitte, Null Pegel konstant über Bitdauer. Die dadurch entstehenden Varianten werden so gewählt, daß am Bitanfang stets ein Sprung entsteht. Polaritätsvertauschung unkritisch, einfache Fehlererkennungsmöglichkeit durch Kontrolle garantierter Phasensprünge.
  - **Biphase–S**
    Null bedeutet Phasensprung, also umgekehrt zu Biphase–M
  - **Differential Manchester**
    Sprung in Bitmitte, jedoch für Eins kein Sprung am Bitanfang bzw für Null Sprung am Bitanfang. Verwendung im Token–Ring LAN.

- **CMI–Code** (Coded Mark Inversion)
  Eins wird alternierend +A, –A umgesetzt, Null wird unabhängig von Eins mit 1.Bithälfte –A, 2.Bithälfte +A codiert. Gleichanteilsfrei, gute Taktinfo, Polaritätsvertauschung unkritisch. PCM–Code ab 140 MBit/s und LWL hohe Bitraten (unipolare Ausführung!).

- **Miller–Codes**
  günstige spektrale Eigenschaften

  - **Miller–Code** (auch Delay–Modulation)
    Eins mit Phasensprung in Bitmitte, Null konstanter Pegel über Bitdauer. Sprung am Bitanfang genau dann, wenn zu codierendes Bit und Vorgängerbit beide Null. Schmales Spektrum, hohe Taktinfo(nie mehr als einen Sprung pro Bit, aber mindestens ein Sprung pro zwei Bit), nicht gleichanteilsfrei!
  - **Miller+CMI–Code**
    Gleichanteilsfreier Miller–Code. Eins konstanter Pegel über Bitdauer, Null Phasensprung in Bitmitte. Eins alterniert wie bei CMI, Null so gewählt, daß kein Sprung am Bitanfang.
  - **modifizierter Miller–Code**
    Gleichanteilsfreier Miller–Code. Codeverletzung so, daß rds [i] maximal 3 wird. Die Nullen werden abwechselnd als 0_A und 0_B bezeichnet. Zwischen 0_A und 0_B wird nach Miller–Code codiert. Zwischen 0_B und 0_A werden die Einsen zu Paaren zusammengefaßt und alternierend mit +A und –A umgesetzt. Vorzeichen des ersten Paares wird so gewählt, daß Sprung nach 0_B auftritt. Bei ungerader Zahl von Einsen wird die letzte Eins nach Miller–Code umgesetzt.

- **Top–Hat–Code** (auch Wal 2, Walsh 2)
  Dieser Code teilt die Bitdauer quasi in 4 Abschnitte auf. Die Eins wird umgesetzt als –A für das erste und letzte Viertel der Bitdauer, und +A für die beiden mittleren Bitviertel, die Null genau entgegensetzt. Damit ist jedes Symbol für sich gleichanteilsfrei, und es ergibt sich hohe Taktinfo, da jedes Bit 2 Sprünge, allerdings damit auch eine hohe nötige Bandbreite!.

4.3.2.2 ternäre Leitungscodes

- **AMI–Code** (Alternate Mark Inversion)
  Eins wird alternierend als +Amplitude, –Amplitude umgesetzt. Null bleibt Nullpegel. Pseudoternär, weil 3 physikalische Werte, aber nur 2 binäre Werte. Gleichanteilsfrei, einfache Fehlererkennung (Redundanz, weil Effizienz=0.63), falls eine Eins verfälscht wird, Taktinfo hängt von Anzahl vorkommender Einsen ab, geht also für lange Nullfolgen verloren. (Scrambling)

- **ASI–Code** (Alternate Space Inversion)
  Null wird alternierend als +Amplitude, –Amplitude umgesetzt. ISDN–S_0–Code

[i] running digital sum

- **HDB3–Code** (High Density Bipolar of Order 3)
  AMI–Code, der maximal 3 Nullwerte hintereinander zuläßt. Bei 4 Nullwerten hintereinander wird in Abhängigkeit der Anzahl Einsen seit letztem Verletzungsbit, entweder 000V (ungerade Anzahl) oder B00V (gerade Anzahl) codiert, damit Format gleichanteilsfrei bleibt. Ziel: Taktinfo erhöhen. PCM–Code für 2, 8, 34 MBit/s.

- **B6ZS–Code** (Bipolar 6 Zero Substitution)
  AMI-Code der 6 aufeinanderfolgende Nullen ersetzt durch
  $-1, 0, -1, +1, 0, +1$ falls letzter AMI–Puls positiv
  $+1, 0, +1, -1, 0, -1$ falls letzter AMI–Puls negativ.
  Gleichanteilsfrei, gute Taktinfo. PCM–Code für 6 MBit/s–Systeme (USA).

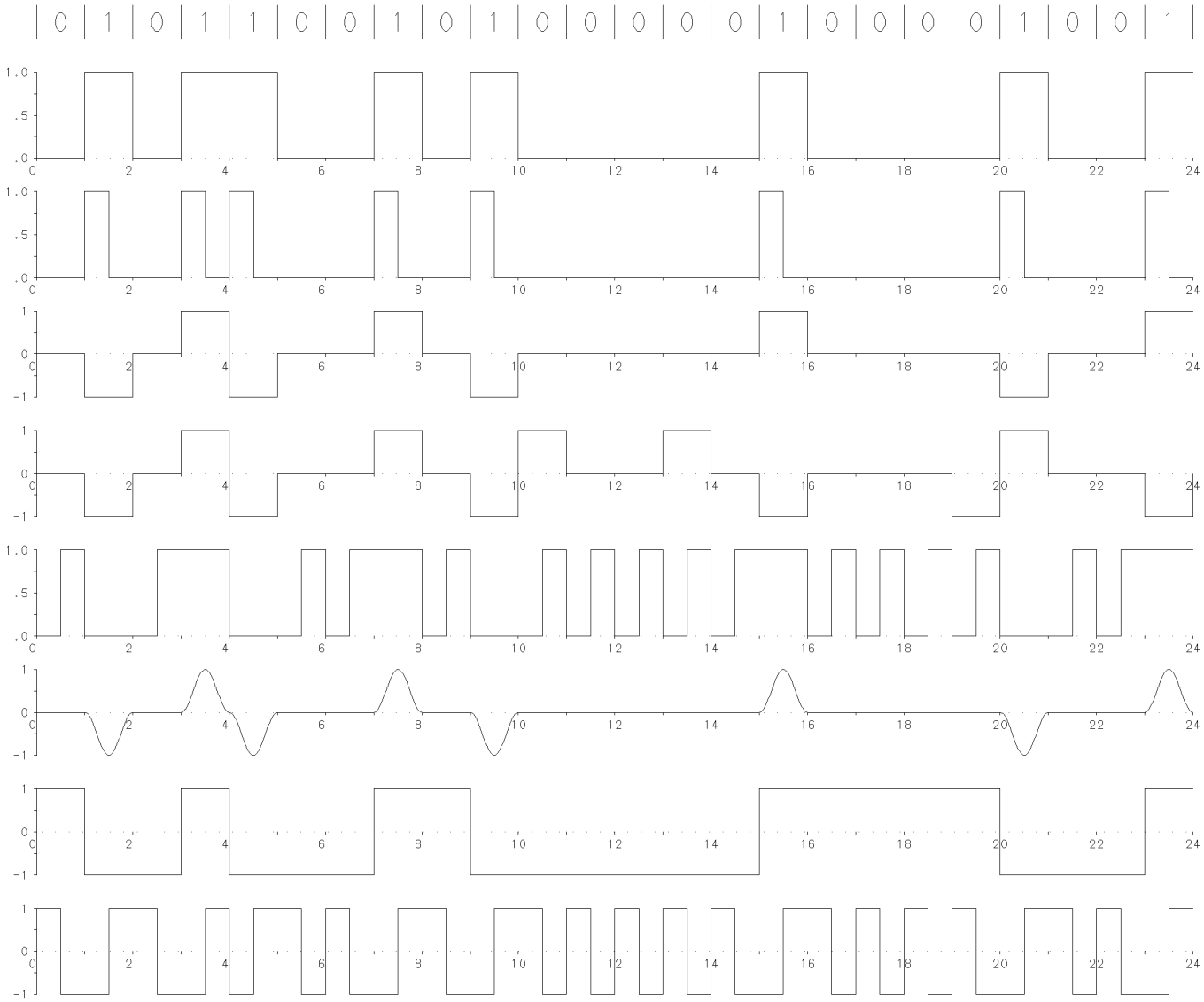


Abbildung 4.2: binäre und pseudo–ternäre Codes

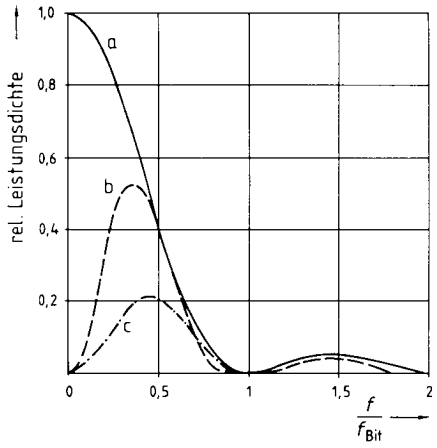


Bild 2.57 Spektrale Leistungsdichte verschiedener PCM-Signale: Kurve a NRZ-Signal, Kurve b NRZ-AMI Signal und Kurve c RZ-AMI Signal

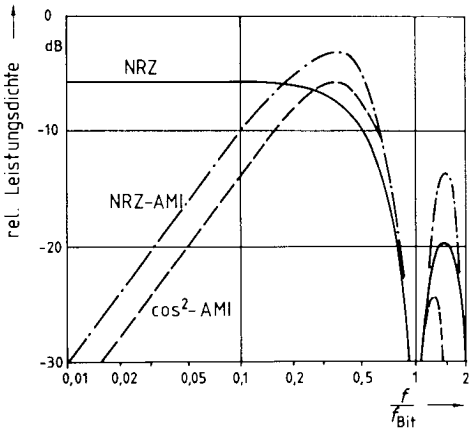


Bild 2.63 Spektrale Leistungsdichte des $\cos^2$-AMI-Signals im Vergleich zum NRZ- und NRZ-AMI-Signal

Abbildung 4.3: Spektrale Verteilung verschiedener Codes aus Quelle: [6] S.136,S.142

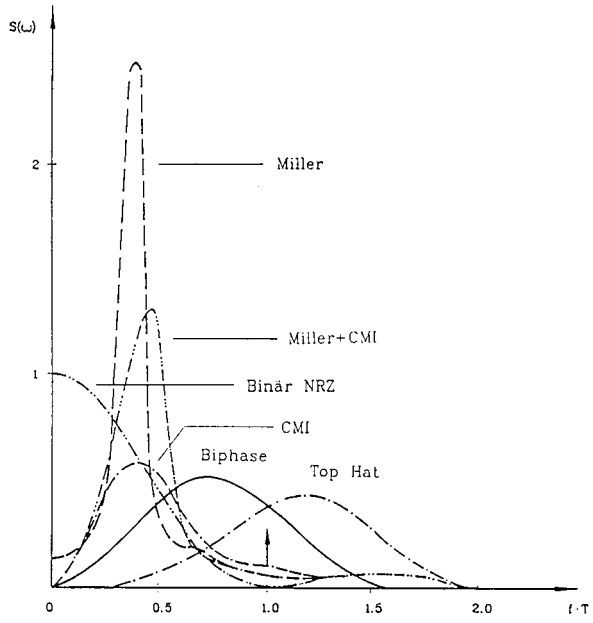


Bild 8.3: Leistungsdichtespektren einiger binärer Leitungscodes

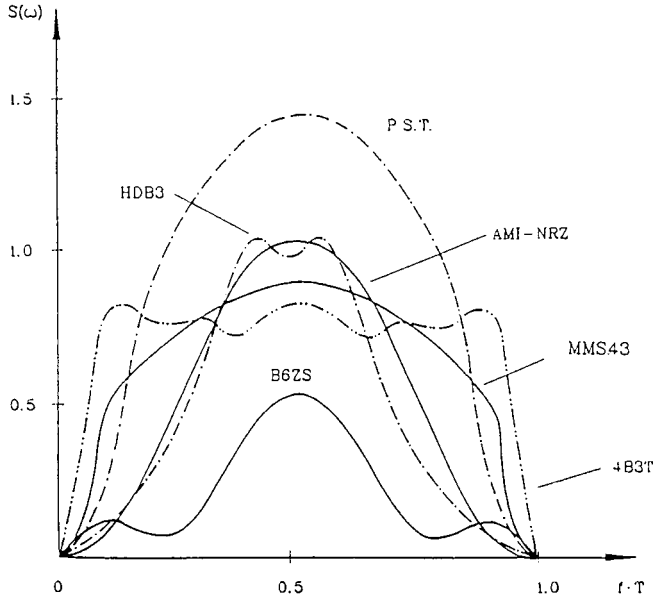
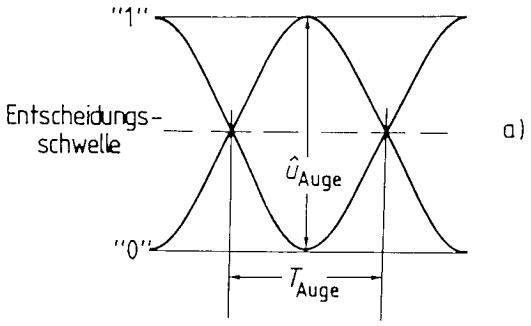


Bild 8.5: Leistungsdichtespektren einiger ternärer Leitungscodes

Abbildung 4.4: Spektrale Verteilung verschiedener Codes aus Quelle: [22] S.213, S.221



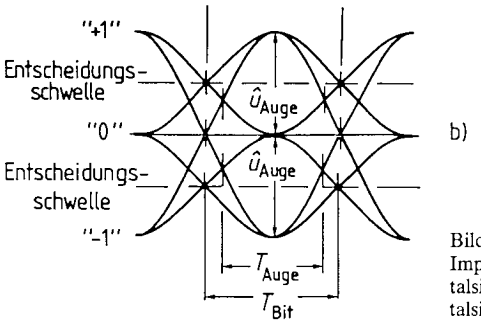
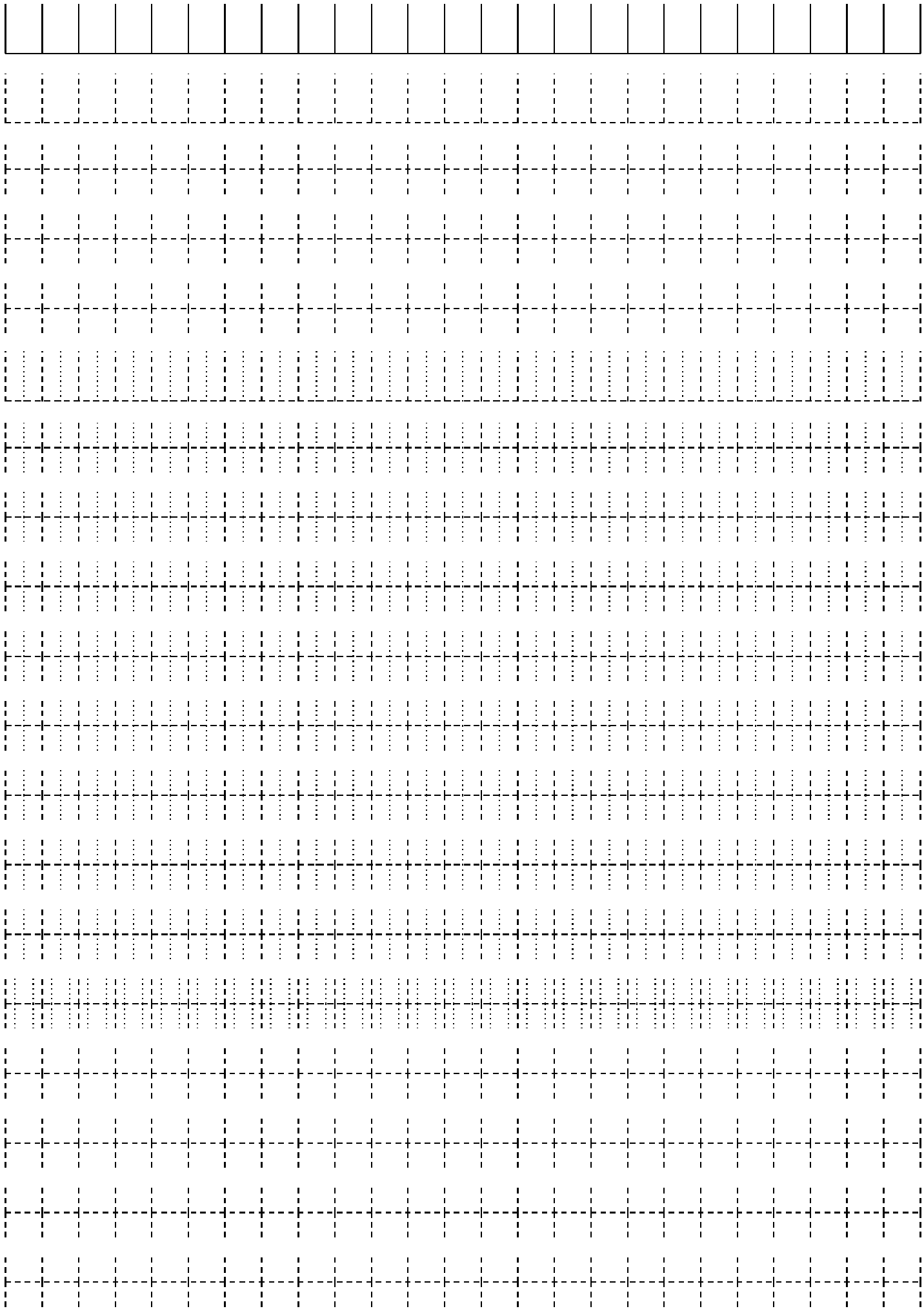


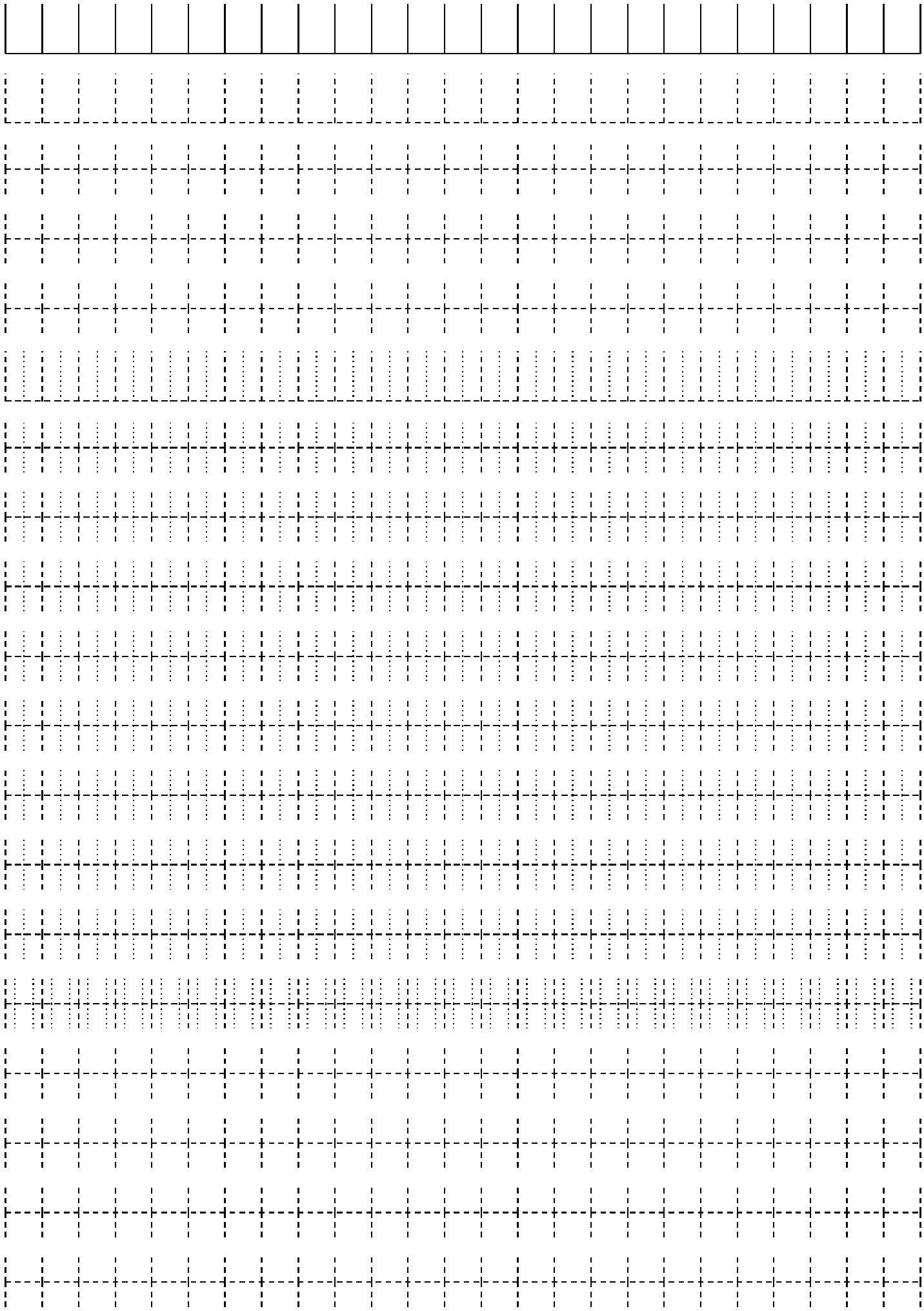
Bild 2.72 Augendiagramm mit $\cos^2$-Impulsen bei einem (a) binären Digitalsignal und (b) pseudoternären Digitalsignal

Abbildung 4.5: Augenmuster aus Quelle: [6] S.148

Beurteilung Übertragungsgüte
- BER[a]
- Augendiagramm

[a] Bit Error Rate





Kapitel 5

Modulation

Modulation ist die Veränderung von Signalparametern (z.B. Amplitude, Frequenz, Phase) eines Trägersignals in Abhängigkeit von einem modulierenden Signal.

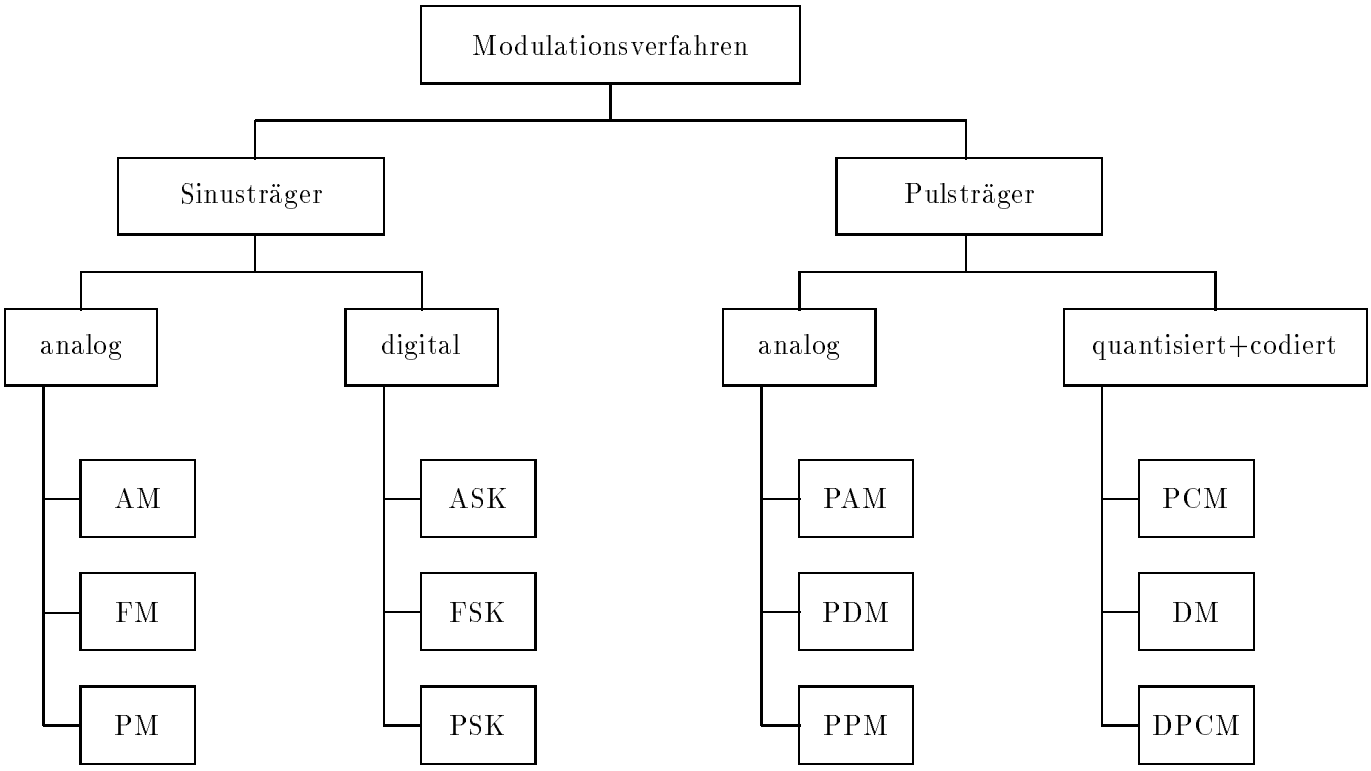
Kennzeichen der Modulation ist, daß neue Frequenzen entstehen.

Modulation dient zur Aufarbeitung von Nachrichten in eine Signalform, die die Übertragung der Nachrichten über eine größtmögliche Entfernung unter Wahrung des erforderlichen Störabstands gewährleistet, wobei die spezifischen Eigenschaften des Übertragungsmediums zu berücksichtigen sind.

Aufgaben:

1. Anpassung des Quellensignals $q(t)$ an die Eigenschaften des Übertragungskanals hinsichtlich Frequenzlage, Störungen, Verzerrungen und wirtschaftliche Ausnutzung. (Anpassung an die Physik)
2. Verbesserung der Störsicherheit bei der Übertragung
3. Übertragung von mehreren Quellensignalen über einen gemeinsamen Übertragungskanal. (Multiplex)

Man unterscheidet zwischen analogen (zeitkontinuierlichen) und digitalen (zeitdiskreten) Modulationsverfahren.



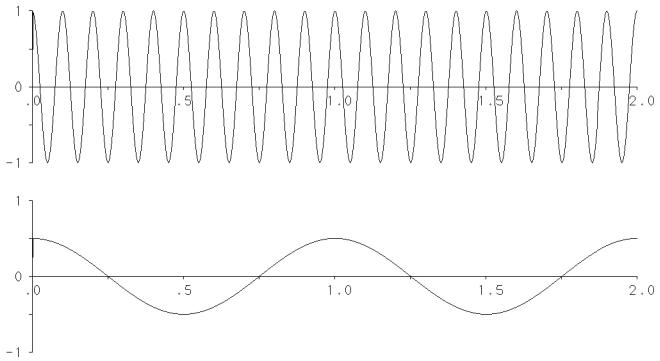
5.1 Amplitudenmodulation

Signalparameter ist die Amplitude.

Im allgemeinen gilt : $f_T \gg f_q$

Trägersignal beschreibbar mit $s_T\ (t) = \hat{s}_T\ \cdot \cos(\omega_T t)$

Quellensignal beschreibbar mit $q\ (t) = \hat{q} \cdot\ \cos(\omega_q t)$



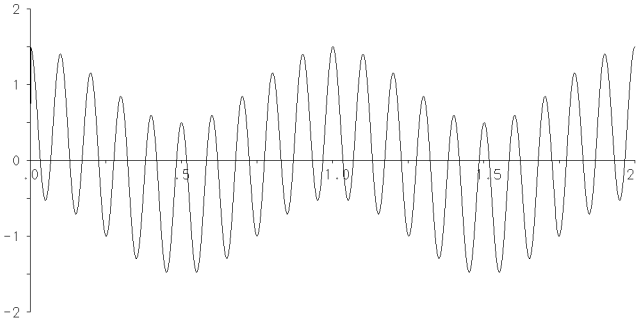


Abbildung 5.1: einfache Addition der beiden Signale z.B. über ohmschen Widerstand

Ergebnis: Überlagerung am linearen Element bringt nicht den gewünschten Effekt, weil

$$s_T\ (t) + q\ (t) = \hat{s}_T\ \cdot \cos(\omega_T t) + \hat{q} \cdot\ \cos(\omega_q t)$$

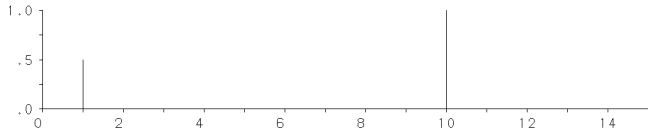


Abbildung 5.2: Spektrum der addierten Signale

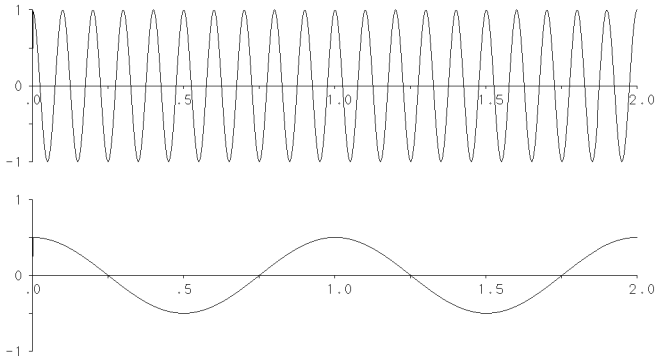
Die spektrale Darstellung des Summensignals zeigt, daß keine neuen Frequenzanteile entstanden sind.

neuer Ansatz : Ziel muß sein, die Trägeramplitude abhängig vom Quellensignal zu verändern.

$$s_{AM}\ (t) = [\hat{s}_T + q\ (t)] \cdot \cos(\omega_T t) = \hat{s}_T \cdot \cos(\omega_T t) + \hat{q} \cdot \cos(\omega_q t) \cdot \cos(\omega_T t)$$

$$s_{AM}\ (t) = \hat{s}_T \cdot \cos(\omega_T t) + \frac{1}{2}\hat{q} \cdot [\cos(\omega_T t - \omega_q t) + \cos(\omega_T t + \omega_q t)]$$

$$s_{AM}\ (t) = \hat{s}_T\ \cdot \left(\cos(\omega_T t) + \frac{1}{2}\ \frac{\hat{q}}{\hat{s}_T} \cdot \cos(\omega_T t - \omega_q t) + \frac{1}{2}\ \frac{\hat{q}}{\hat{s}_T} \cdot \cos(\omega_T t + \omega_q t)\right)$$



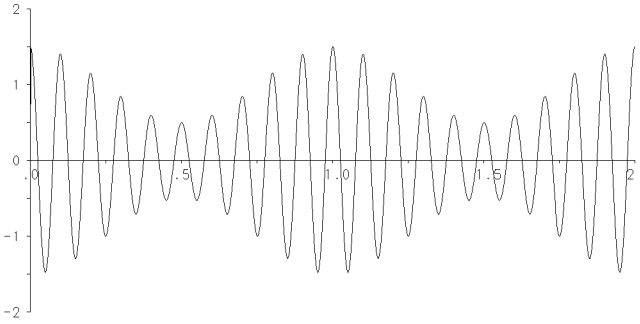


Abbildung 5.3: Multiplikation der beiden Signale

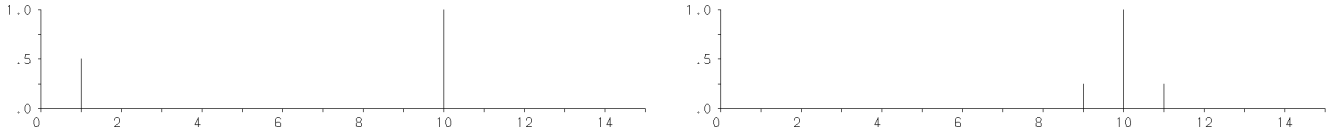


Abbildung 5.4: Spektrum vor der Modulation Spektrum nach der Modulation

Definition : Modulationsgrad

$$m = \frac{\hat{q}}{\hat{s}_T} \qquad \frac{\text{Quellensignalamplitude}}{\text{Trägeramplitude}}$$

Normalerweise gilt $0 < m < 1$ oder in Prozent $0\% < m < 100\%$, ein $m > 1$ bedeutet immer Verzerrungen.

$$s_{AM}(t) = \hat{s}_T \cdot [\cos(\omega_T t) + \tfrac{m}{2} \cdot \cos(\omega_T t - \omega_q t) + \tfrac{m}{2} \cdot \cos(\omega_T t + \omega_q t)]$$

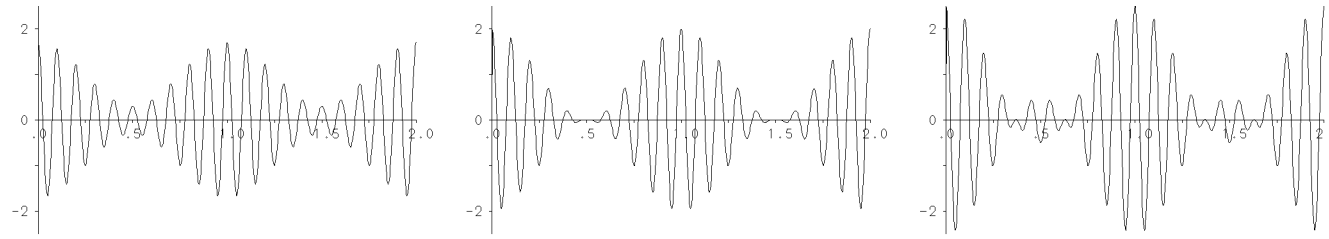
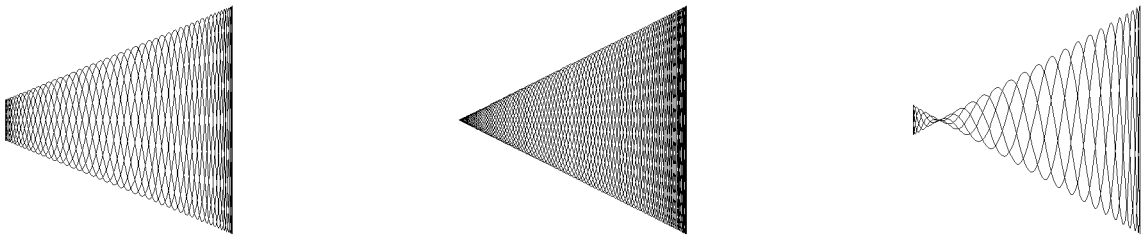


Abbildung 5.5: AM-Zeitsignal mit m=0.7, m=1, m=1.5

Meßtechnisch wird der Modulationsgrad bzw die Modulationsgüte mit dem Modulationstrapez beurteilt.



$$m = \frac{a-b}{a+b}$$

Abbildung 5.6: Modulationstrapez mit m=0.7, m=1, m=1.5

Zeigerdarstellung der AM: 3 Zeiger mit gleichem Drehsinn, aber unterschiedlicher Geschwindigkeit

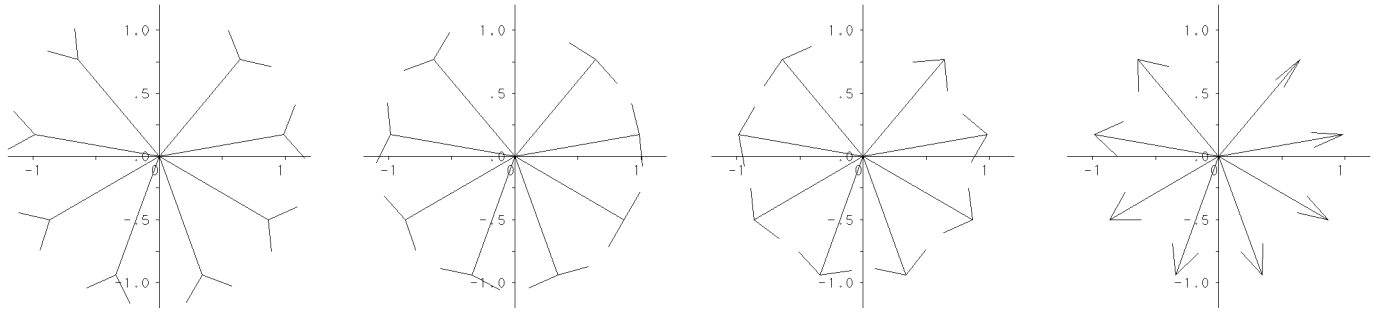


Abbildung 5.7: AM–Zeigeraddition für unterschiedliche Zeitpunkte

Vektorielle Addition führt zu resultierender Amplitude für den betrachteten Zeitpunkt t.

Darstellung der AM im Frequenzplan nach DIN 40900 (siehe auch S.63)
DIN40900 Teil 10 Kapitel 5: Frequenzpläne:
Auf einem Plan wird ein Frequenzspektrum durch Schaltzeichen auf einer horizontalen Frequenzachse dargestellt. Die Schaltzeichen zeigen die Funktionen der im Übertragungssystem verwendeten Frequenzen und Frequenzbänder und ihre Lage innerhalb des Spektrums.

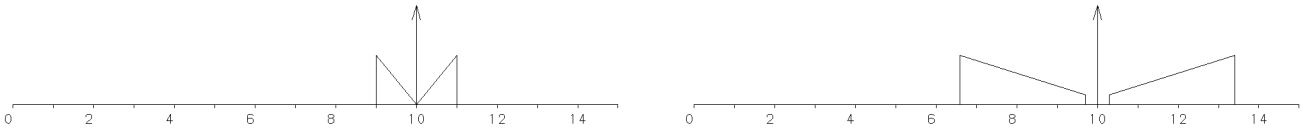


Abbildung 5.8: Darstellung AM nach DIN 40900

Ein Frequenzband wird als Dreieck dargestellt mit der Spitze des Dreiecks zu den ursprünglich niedrigen Frequenzen, damit erkennbar bleibt, was bei der Frequenzumsetzung mit dem Signal passiert. Man unterscheidet Regellage und Kehrlage!
Wichtig: Die Darstellung im Frequenzplan beinhaltet keine Amplitudenangabe !!!!!!

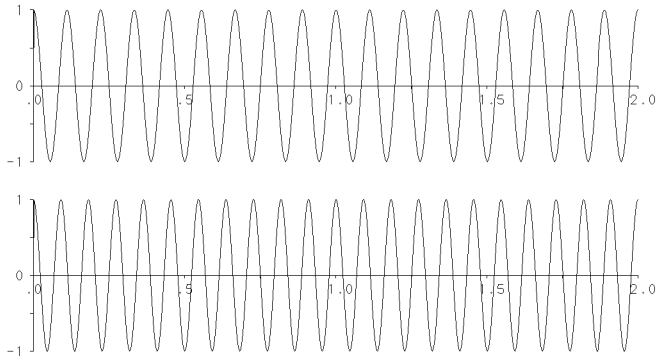
Leistung des AM-Sendesignals

$$P_{AM} = P_{\text{Traeger}} + 2 \cdot P_{\text{Seitenband}} = s_T^2 + 2 \cdot \left(\frac{m}{2} \cdot s_T\right)^2 = s_T^2 \cdot \left(1 + \frac{m^2}{2}\right)$$

Für einen Modulationsgrad von $m = 1$, beträgt die Leistung für den Träger $\frac{2}{3}$ der Gesamtleistung, jeweils $\frac{1}{6}$ der Gesamtleistung steckt in einem Seitenband.
Um den Informationsgehalt, der redundant in jedem der beiden Seitenbänder steckt, optimal übertragen zu können, bietet es sich deshalb förmlich an, nur ein Seitenband zu übertragen, um in dieses dann die gesamte Sendeleistung investieren zu können.

Man unterscheidet folgende AM – Modulationsarten.

AM mit Träger (exakt: Zweiseitenband–Amplitudenmodulation mit Träger DSB–AM)
AM ohne Träger (exakt: Zweiseitenband–Amplitudenmodulation mit unterdrücktem/ohne Träger)
SSB (Einseitenbandamplitudenmodulation ESB–AM, EM, SSB = Single Sideband)
RSB (Restseitenbandamplitudenmodulation RSB–AM, RM, VSB = Vestigial Sideband)
ISB (Independent Sideband Modulation)



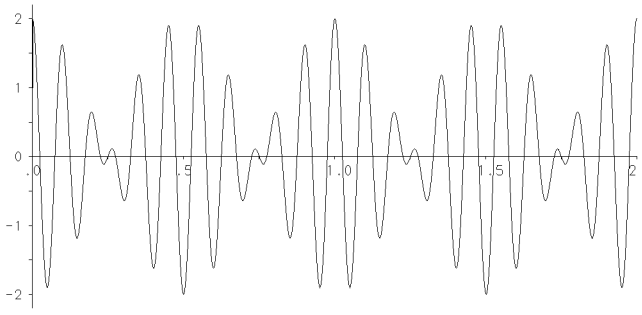
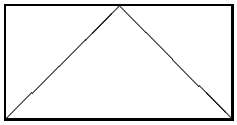


Abbildung 5.9: SSB als OSB bzw USB AM ohne Träger

Erzeugung einer AM:
Modulator Schaltzeichen nach DIN 40900



Die Herleitung der AM ergab, daß für die Erzeugung einer AM eine Multiplikation von Quellensignal und Trägersignal nötig ist. Die einfachste Modulationsschaltung ergibt sich mit der nichtlinearen Kennlinie einer Diode.
Die Diodenkennlinie ist durch eine Potenzreihe der Form
$I = c_0 + c_1 \cdot U + c_2 \cdot U^2 + c_3 \cdot U^3 + ...$ beschreibbar.

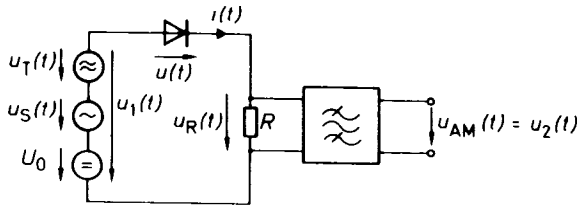


Abbildung 5.10: AM-Modulation mit Diode Quelle: [5] S.21

Zur Erzeugung einer AM mit unterdrücktem/ohne Träger ist der Gegentakt-Diodenmodulator oder Ringmodulator = Doppelgegentaktmodulator einsetzbar.

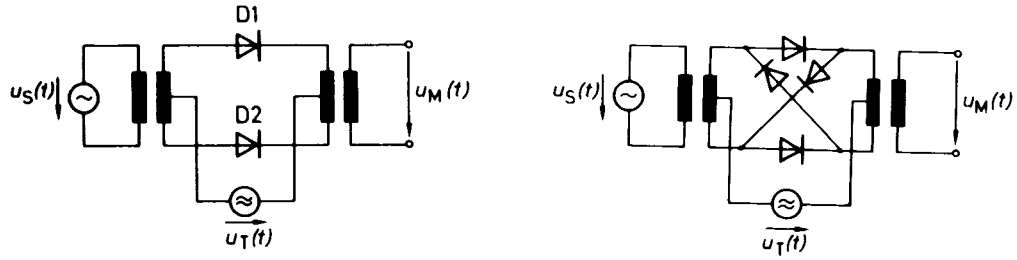


Abbildung 5.11: Gegentakt- und Ringmodulator Quelle: [5] S.26f

Modulatoren für SSB : Filtermethode, Phasenmethode, Pilottonmethode

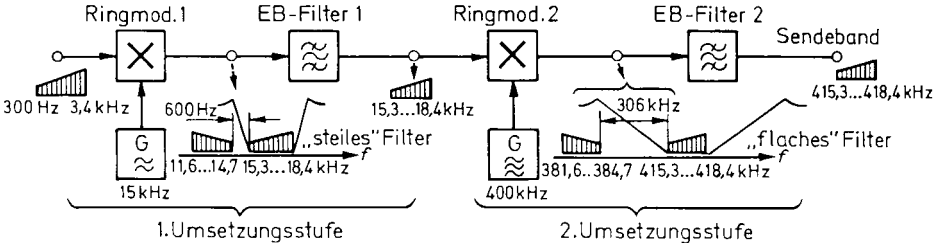


Abbildung 5.12: SSB mit Filtermethode Quelle: [8] S.117

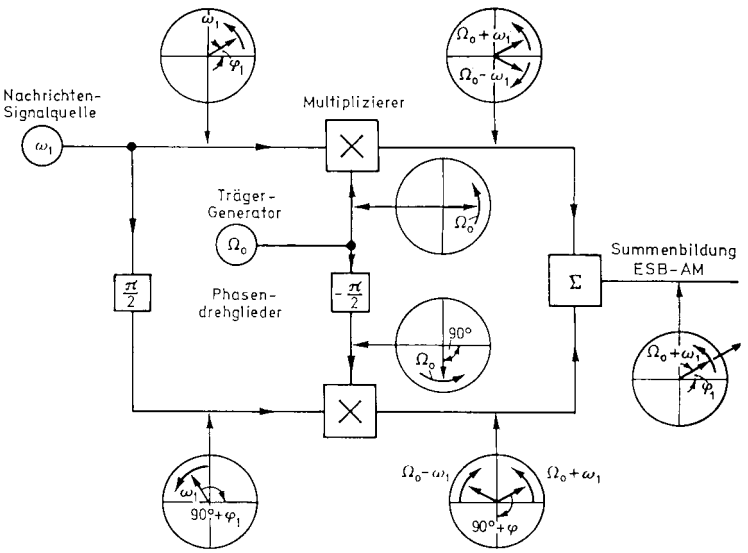


Bild B4-24. ESB nach der Phasenmethode

Abbildung 5.13: SSB mit Phasenmethode Quelle: [8] S.117

Abbildung 5.14: Hüllkurvendemodulation Quelle: [5] S.49

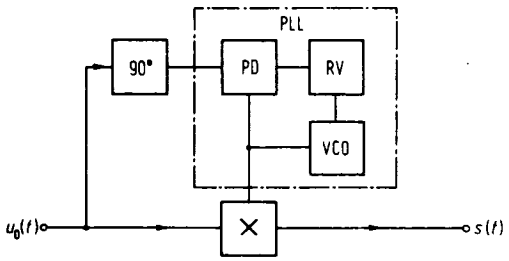


Bild 9. Synchrondemodulator. (RV Regelverstärker, PD Phasendetektor, VCO spannungsgesteuerter Oszillator)

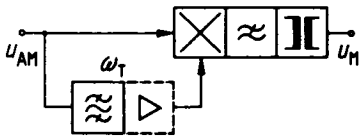


Bild 2.5-10. Kohärente Demodulation von AM

Abbildung 5.15: Synchrondemodulator, Produktdemodulator Quelle: [4] O6 [3] S.98

Vorteile AM :

einfache Modulations – und Demodulationschaltungen

Übertragungsbandbreite $B_{AM} = 2 \cdot f_{q\,\max}$

Nachteile AM :

Störanfällig gegen alles was die Amplitude beeinträchtigt (z.B. Zündfunken, atmosphärische Störungen, Rauschen, andere Sender)

schlechte Nutzung der verfügbaren Sendeleistung für Informationsübertragung

Vorteile SSB :

volle Ausnutzung der verfügbaren Sendeleistung für Nachricht

geringstmögliche Übertragungsbandbreite $B_{SSB} = B_q$

Nachteil SSB :

hoher Aufwand bei Demodulation, weil Träger im Empfänger hochgenau ($< 10\ Hz$) zugesetzt werden muß.

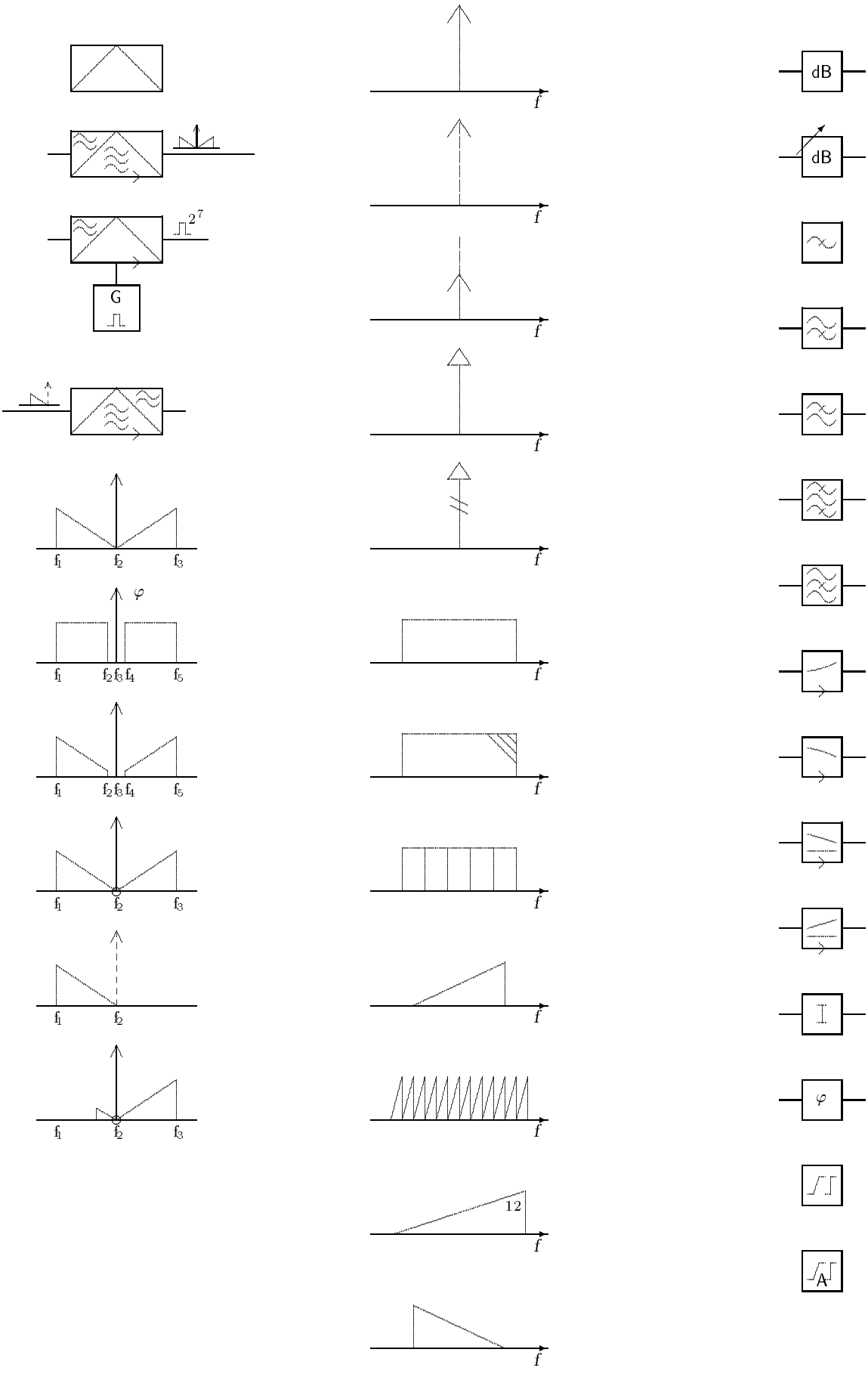


Abbildung 5.16: ausgewählte Schaltzeichen nach DIN 40900

5.2 Frequenzmodulation

Signalparameter ist die Frequenz, die in Abhängigkeit des modulierenden Signals verändert wird. Die Frequenzmodulation bildet zusammen mit der Phasenmodulation die Gruppe der Winkelmodulation.

Winkelmodulation ist eine Modulation, bei der der gesamte Phasenwinkel eines Trägersignals, abhängig vom Augenblickswert des modulierenden Quellensignals, verändert wird.

Um die Winkelmodulation beschreibbar zu machen, benötigt man die Begriffe
Momentanphase (Augenblicksphase) und
Momentanfrequenz (Augenblicksfrequenz).

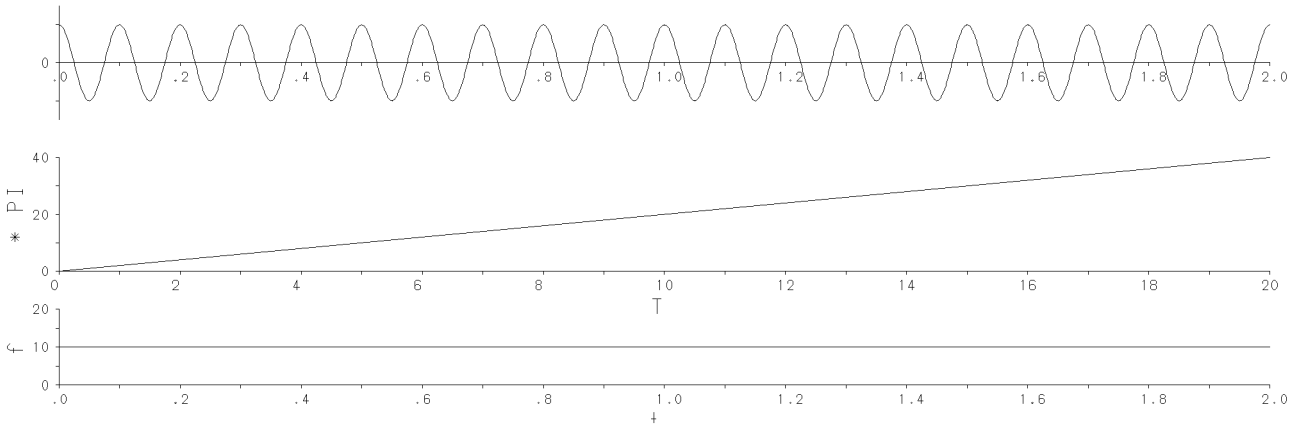


Abbildung 5.17: Zeitfunktion Cosinusschwingung mit Phasenverlauf und Frequenzverlauf

Bei konstanter Frequenz rotiert der Zeiger mit konstanter Winkelgeschwindigkeit ω, deshalb ergibt sich für die Phase als Funktion der Zeit $\varphi(t) = \omega \cdot t$.

Als Frequenz werden die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde, bzw Zeigerumdrehungen pro Sekunde bezeichnet, oder etwas anders formuliert

$$\frac{\text{einmal rum } (2\pi)}{\text{Zeitdauer dafür}} \qquad \text{also} \qquad \frac{\text{Winkel}}{\text{Zeit}}$$

Wenn die Phase für jeden Zeitpunkt (Augenblicksphase) bekannt ist, dann ergibt sich die Augenblicksfrequenz zu

$$f_A\ (t) = \frac{\omega_A\ (t)}{2\pi} = \frac{1}{2\pi}\frac{\Delta\varphi\ (t)}{\Delta\ t} = \frac{1}{2\pi}\frac{d\ \varphi\ (t)}{d\ t}$$

Die Frequenzabweichung $\Delta f\ (t)$ ist die Abweichung der Momentanfrequenz von der Trägerfrequenz.

$$f_A\ (t) = f_T + \Delta f\ (t)$$

Die Phasenabweichung $\Delta\varphi\ (t)$ ist die Abweichung der Momentanphase von der Trägerphase.

$$\varphi_A\ (t) = \omega_T t + \Delta\varphi\ (t)$$

Die Trägerschwingung wird beschrieben zu $s_T(t) = \hat{s}_T \cdot \cos(\omega_T t)$

Bei der Winkelmodulation ergibt sich für $\omega_T t = \varphi\ (t)$, wobei $\varphi(t) = \int_0^t \omega_A\ (t)dt$

Je nachdem, ob das Quellensignal in die Phasenabweichung oder Frequenzabweichung umgesetzt wird, unterscheidet man zwischen Phasenmodulation oder Frequenzmodulation.

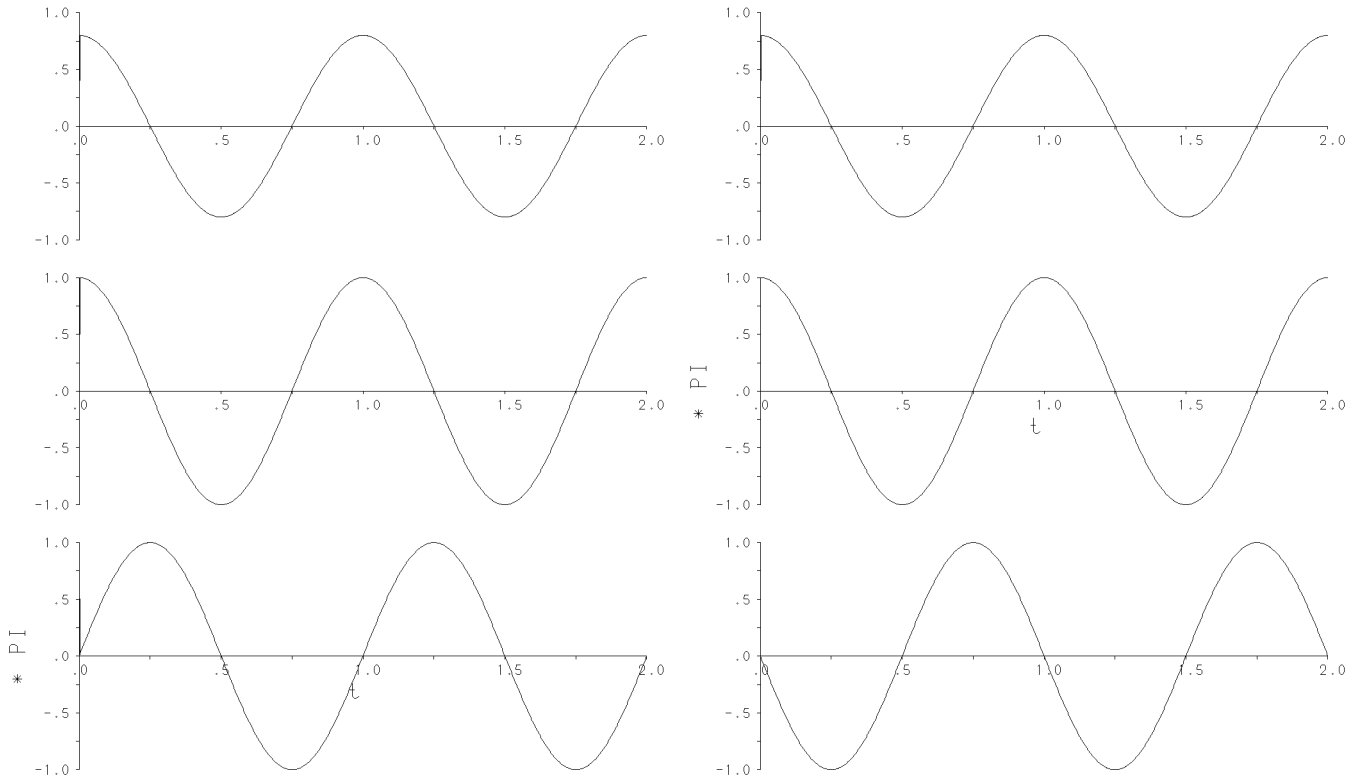


Abbildung 5.18: Frequenzmodulation Phasenmodulation

Bei der Frequenzmodulation soll das Quellensignal in der Frequenzänderung abgebildet werden.
$\Delta\omega\ (t) = k_{FM}\ \cdot \hat{q} \cdot\ \cos(\omega_q t)$ k_{FM} ist die Modulatorkonstante in Hz/V

Die Trägerschwingung soll in der Frequenz variiert werden $s_T\ (t) = \hat{s}_T\ \cdot\ \cos(\omega_T t)$.

Mit $\omega_T t = \varphi(t)$ und $\varphi\ (t) = \int\limits_0^t \omega_A(t)\ dt$

ergibt sich folgende Gleichung für das frequenzmodulierte Signal.

$$s_{FM}\ (t) = \hat{s}_T\ \cdot\ \cos\left(\int\limits_0^t \omega_A\ (t)\ dt\right)$$

Etwas umgeformt ergibt sich :

$$s_{\mathrm{FM}}\ (t) \quad = \quad \hat{s}_T\ \cdot\ \cos\left(\int\limits_0^t (\omega_T + k_{FM}\ \cdot \hat{q} \cdot\ \cos(\omega_q t))\, dt\right)$$

$$s_{FM}\ (t) \quad = \quad \hat{s}_T\ \cdot\ \cos\left(\omega_T t + \frac{k_{FM}\ \cdot\ q}{\omega_q} \cdot\ \sin(\omega_q t)\right)$$

Die maximale Frequenzabweichung bezeichnet man als Frequenzhub.

$$\boxed{\Delta f_{\max} = \frac{k_{FM}\ \cdot \hat{q}}{2\ \pi}} \qquad [\ \mathrm{kHz}\ ]$$

Der Modulationsindex ist definiert als

$$\boxed{\eta = \frac{\Delta f_{\max}}{f_q}} = \Delta\varphi_{\max}\ \ (\text{Phasenhub})\ [\ \text{dimensionslos bzw rad}\ ]$$

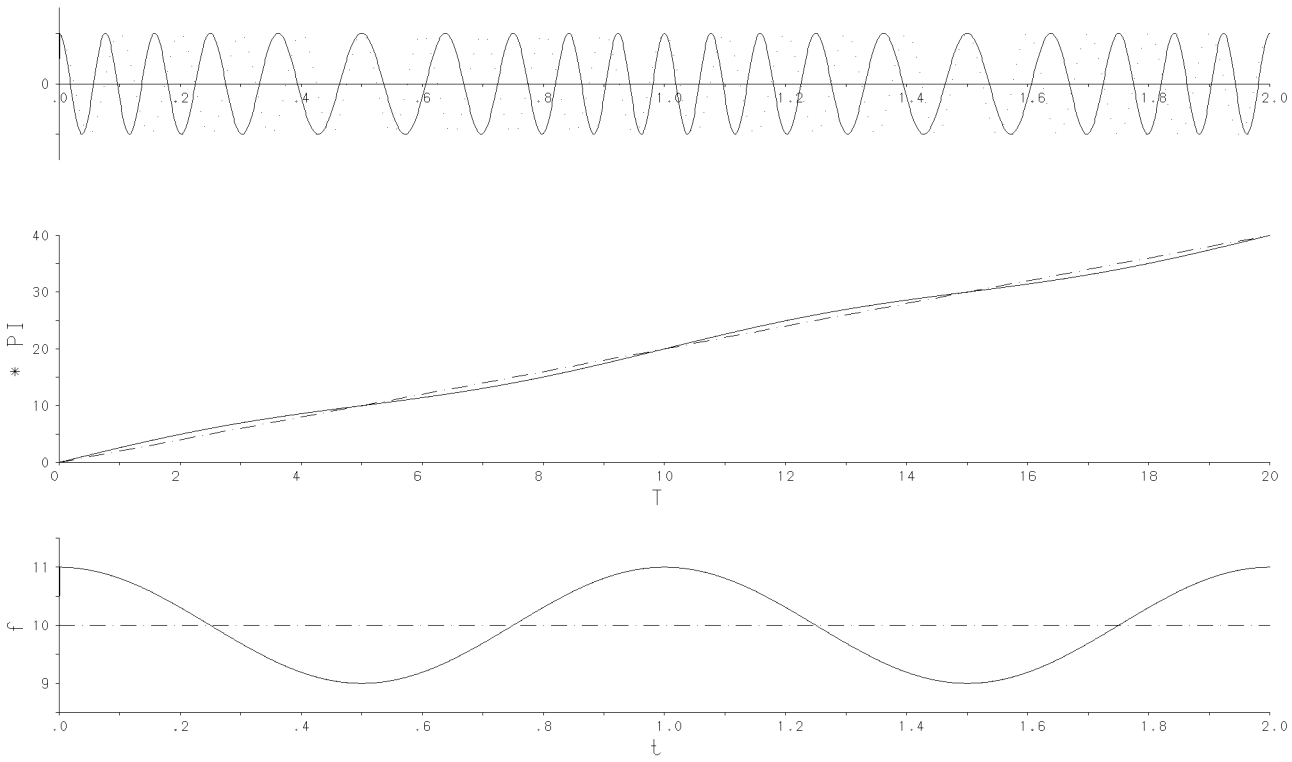


Abbildung 5.19: FM Zeitsignal mit Phasenverlauf und Frequenzverlauf

Das FM–Signal im Zeitbereich wird beschrieben mit

$$s_{FM}\,(t) = \hat{s}_T \;\cdot\; \cos\left[\omega_T t + \eta \;\cdot\; \sin(\omega_q t)\right]$$

Spektrum der FM

Um aus dem Zeitsignal die einzelnen Frequenzkomponenten entnehmen zu können, formt man die Gleichung mit einer Reihenentwicklung um zu

$$s_{FM}\,(t) = \hat{s}_T \;\cdot\; \cos\left[\omega_T t + \eta \;\cdot\; \sin(\omega_q t)\right] = \hat{s}_T \;\cdot\; \sum_{n\,=\,-\infty}^{+\infty} J_n(\eta) \cdot\; \cos(\omega_T t + n \;\cdot\; \omega_q t)$$

dabei bedeuten $J_n\,(\eta)$ die Besselfunktionen 1.Art n–ter Ordnung.
Werte dieser Besselfunktionen entnimmt man entweder aus Tabellen oder aus grafischen Darstellungen der Funktionsverläufe.
Man könnte sich die Werte auch nach folgender Formel berechnen.

$$J_n(\eta) = \frac{1}{0!n!}\left(\frac{\eta}{2}\right)^n - \frac{1}{1!(n+1)!}\left(\frac{\eta}{2}\right)^{n+2} + \frac{1}{2!(n+2)!}\left(\frac{\eta}{2}\right)^{n+4} - \ldots$$

Das frequenzmodulierte Signal ist somit als Summe unendlich vieler Teilschwingungen mit den Frequenzen $(\omega_T t \pm n \cdot \omega_q t)$ darstellbar. Die Amplituden dieser Teilschwingungen sind durch die Besselfunktionen in Abhängigkeit des Modulationsindexes bestimmt.

Es gilt:

$$J_{-n}(\eta) = (-1)^n \cdot\; J_{+n}(\eta)$$

Somit ergibt sich bei Modulation mit einer Cosinusschwingung ein diskretes Frequenzspektrum.

Beispiel :
Vorgabe $f_q = 10$ kHz $\qquad f_T = 100$ MHz $\qquad \Delta f_{\max} = 20$ kHz

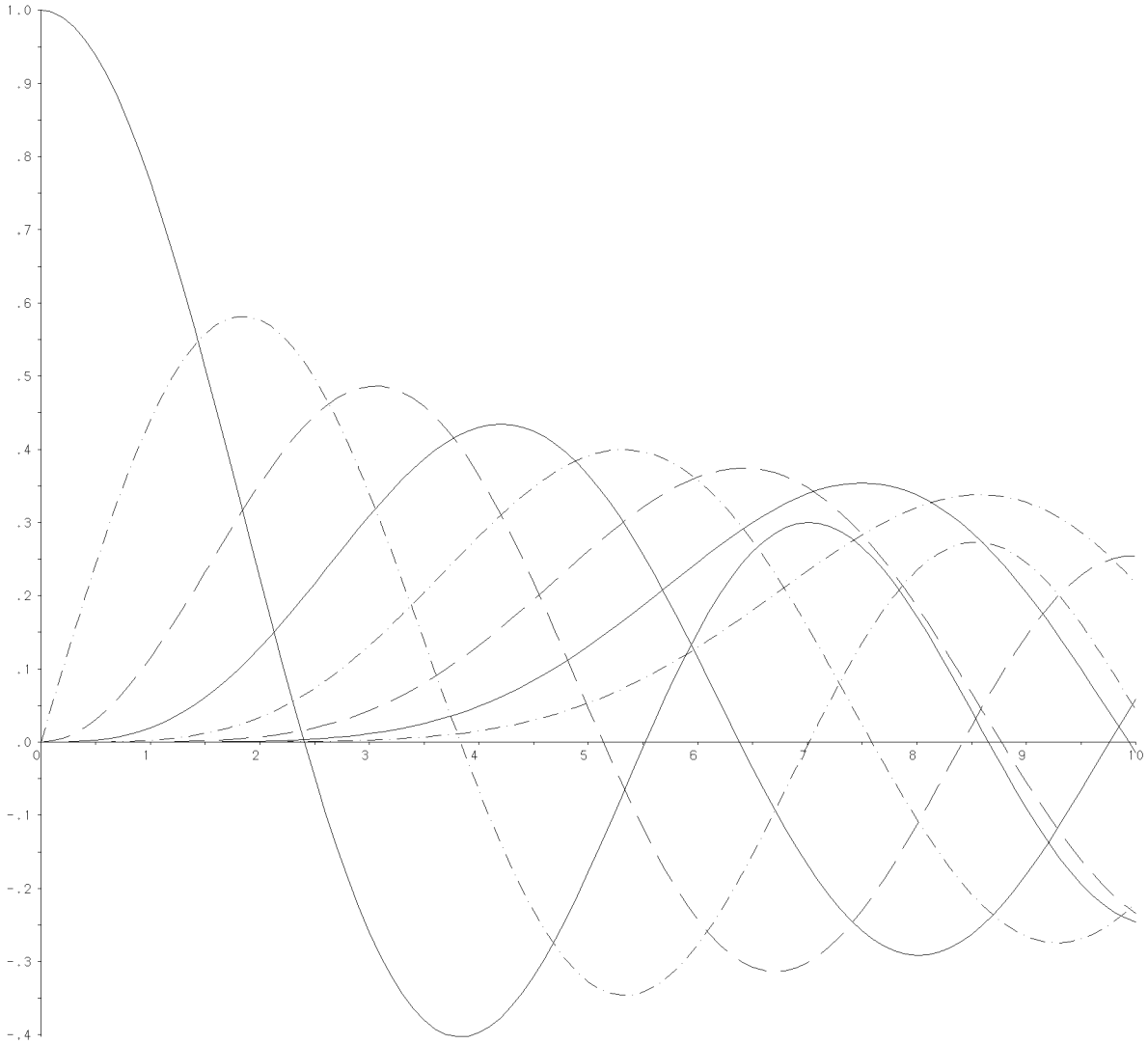


Abbildung 5.20: Besselfunktionen J_0 bis J_7 (10cm = 1.0 Besselamplitude)

$\eta =$

$J_0 =$

$J_1 =$ $J_{-1} =$

$J_2 =$ $J_{-2} =$

$J_3 =$ $J_{-3} =$

$J_4 =$ $J_{-4} =$

$J_5 =$ $J_{-5} =$

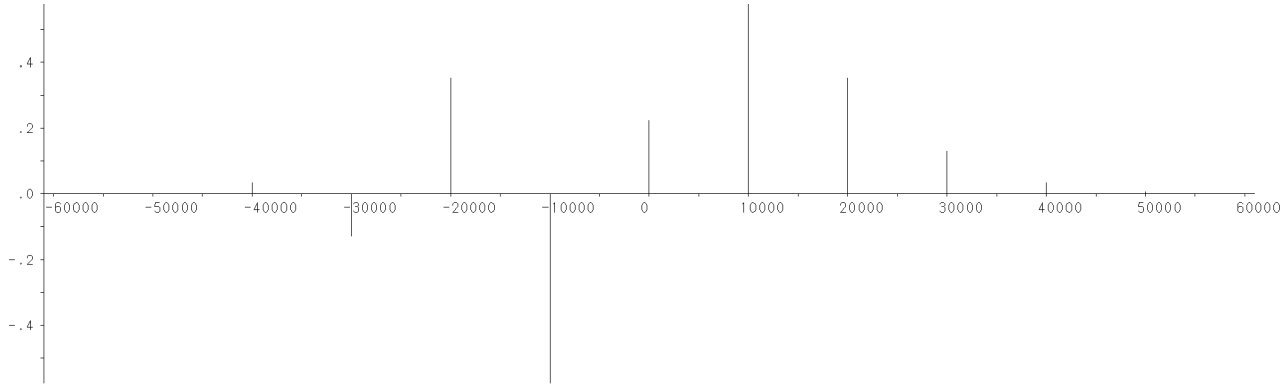


Abbildung 5.21: Spektrum zu Beispiel, Amplituden normiert auf s_T, Frequenz normiert auf f_T

Merke: Die Trägeramplitude beim modulierten Signal ist immer kleiner als beim unmodulierten Signal.

Bandbreite bei FM

Theoretisch ist das Spektrum der Frequenzmodulation nach beiden Seiten um die Trägerfrequenz unendlich ausgedehnt. Praktisch steht aber auch einem FM–Signal nur eine begrenzte Bandbreite zur Verfügung.

a) Schmalband – FM

Für $\eta << 1$ ist $J_2(\eta)$ sehr gering, so daß eigentlich nur die beiden ersten Seitenfrequenzen eine nennenswerte Amplitude besitzen.

Deshalb ergibt sich hier die nötige Bandbreite zu

$$B_{FM} = 2 \cdot f_q$$

b) Breitband – FM

Für $\eta > 1$ unterscheidet man zwei Fälle für die nötige Bandbreite.

Berücksichtigt man Seitenschwingungen, daß die Gesamtleistung zu 98% übertragen wird, erhält man als Bandbreite

$$B_{FM} = 2 \cdot f_q \cdot(\eta + 1) = 2 \cdot(\Delta f_{\max} + f_q)$$

Berücksichtigt man Seitenschwingungen, daß die Gesamtleistung zu 99% übertragen wird, erhält man als Bandbreite

$$B_{FM} = 2 \cdot f_q \cdot(\eta + 2) = 2 \cdot(\Delta f_{\max} + 2 \cdot f_q)$$

Für den Extremfall ergibt sich als Faustformel für $\Delta f_{\max} >> f_q$, d.h. $\eta >> 1$

$$B_{FM} = 2 \cdot \Delta f_{\max}$$

Beispiel für Bandbreite: UKW–Rundfunk

$f_q = 30\ Hz - 15\ kHz$ $\Delta f_{\max} = 75\ kHz$ $\eta =$

99% $B_{FM} = 2 \cdot f_q \cdot(\eta + 2) = 2 \cdot(\Delta f_{\max} + 2 \cdot f_q) =$

98% $B_{FM} = 2 \cdot f_q \cdot(\eta + 1) = 2 \cdot(\Delta f_{\max} + f_q) =$

Leistung bei FM

$P_{FM} = P_{\text{Traeger unmoduliert}}$

Die Leistung wird entsprechend η nur anders spektral verteilt.

FM Modulatoren :

Steuerbares Blindelement z.B. Kapazitätsdiode (Varaktordiode, Varicap) oder Verstimmung Resonanzkreis

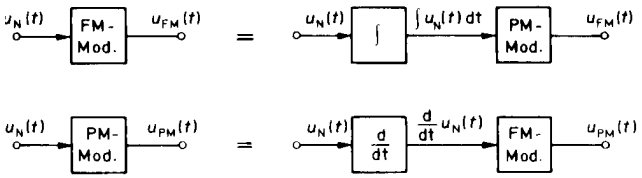


Abbildung 5.22: FM–PM–Modulation Quelle: [8] S.119

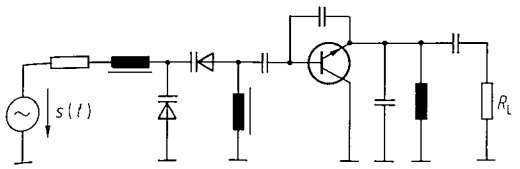


Bild 13. Frequenzmodulator mit zwei Kapazitätsdioden im Gegentakt

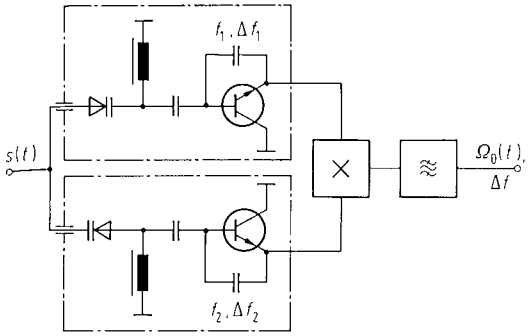


Bild 14. Gegentaktmodulator

Abbildung 5.23: FM–Modulationsschaltungen Quelle: [4] O-9

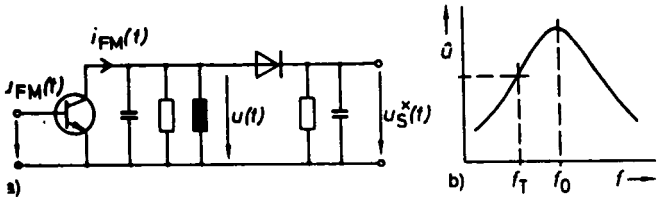


Bild 2.29 Flankendiskriminator zur FM-Demodulation: a) Schaltung und b) Diskriminatorkennlinie

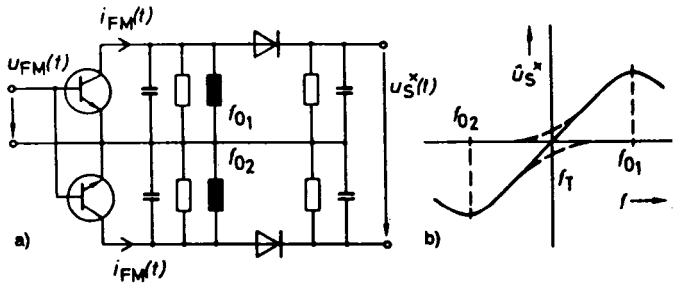


Bild 2.33 Verhältnisdiskriminator oder Ratiodetektor

Bild 2.30 Gegentakt-Flankendiskriminator, a) Schaltung und b) Diskriminatorkennlinie

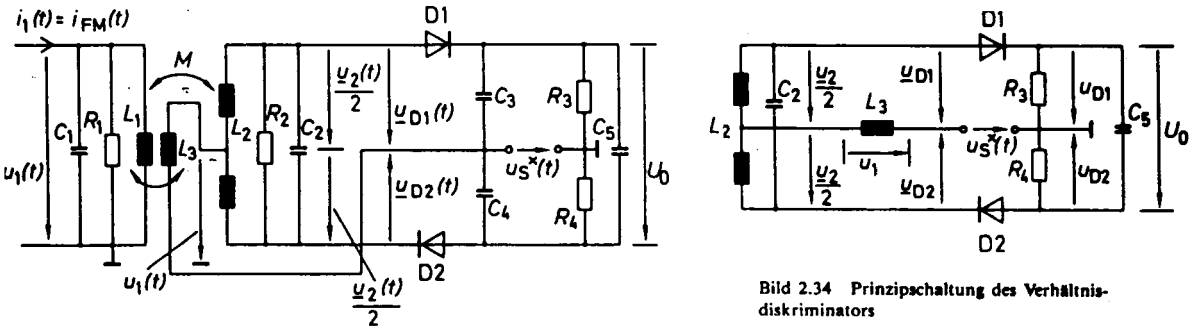


Bild 2.34 Prinzipschaltung des Verhältnisdiskriminators

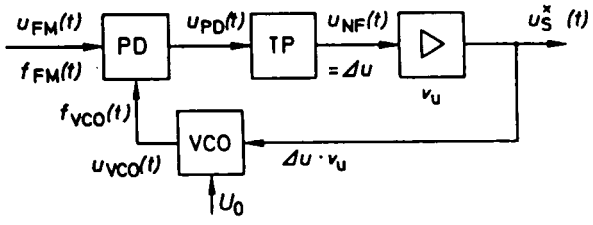


Bild 2.45 Prinzip des PLL-Demodulators

Abbildung 5.24: FM–Demodulationschaltungen Quelle: [5] S.114f,127

Beispiel für geschachtelte Modulationen: **UKW-Rundfunk**

Kanalrasterbreite war 300 kHz, Modulationsbandbreite 30 Hz bis 15 Khz, Spitzenhub 75 kHz.

Zur Erhöhung des Rauschabstands wird das NF-Signal vor der Modulation einer *Preemphase* ausgesetzt, indem es einem Preemphasenetzwerk mit einer Zeitkonstanten von 50 μs zugeführt wird. Empfangsmäßig muß diese Höhenanhebung natürlich in einem Deemphasenetzwerk wieder rückgängig gemacht werden.

Zu Beginn des UKW-Rundfunk (Start am 28.02.49 in Europa, 1.Sender Ismaning BR) wurde nur Mono übertragen.

Mit dem Aufkommen der Stereofonie ergaben sich folgende miteinander konkurrierende Forderungen:

- Stereosignal sollte übertragen werden, also unterschiedliche Information des linken und rechten Kanals.
- Übertragung sollte zur Mono–Übertragung kompatibel bleiben.

Lösung:
Erzeugen zweier Signale, nämlich Summensignal aus $\boxed{\text{links} + \text{rechts}}$ und Differenzsignal aus $\boxed{\text{links} - \text{rechts}}$. Das Summensignal ist das normale Mono–Signal und wird im ursprünglichen Frequenzband bis 15 kHz übertragen. Das Differenzsignal wird mit einem Hilfsträger von 38 kHz amplitudenmoduliert mit unterdrücktem Träger, so daß sich folgendes *Stereo–Multiplexsignal* ergibt.

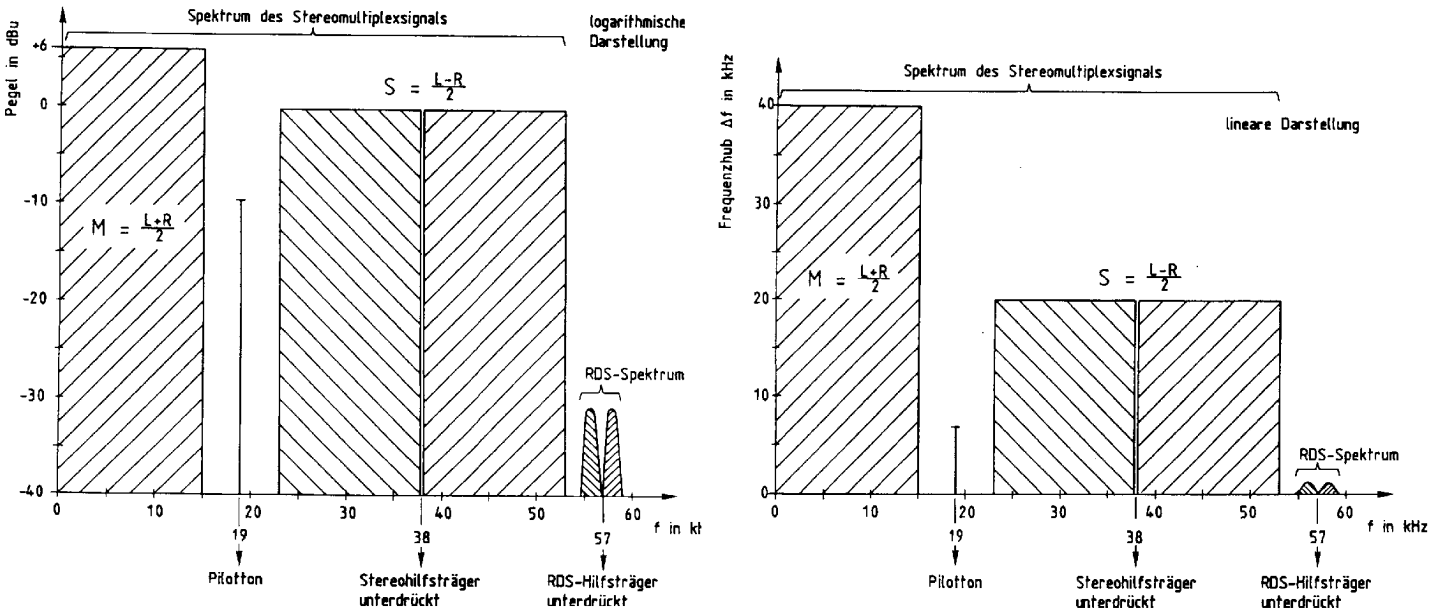
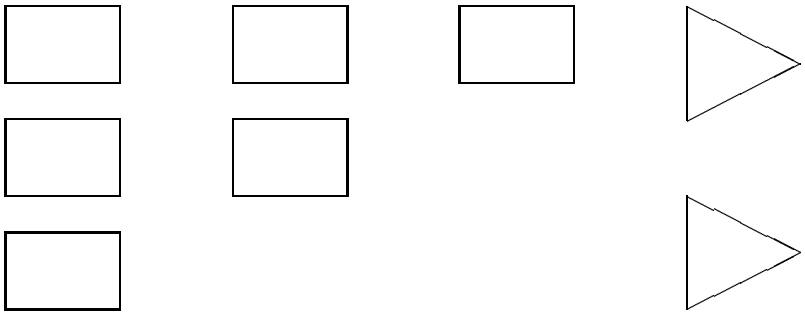


Abbildung 5.25: Spektrum vor FM–Modulation bei UKW Quelle:[10]

Im Empfänger kann durch relativ einfache Schaltungen die Information rechts und links wieder gewonnen werden.



Später wurden diesem Stereo–Multiplexsignal noch weitere Komponenten hinzugefügt.

Verkehrsfunk ARI (**A**utofahrer–**R**undfunk–**I**nformation seit 1974). ARI = SK + BK + DK

SK Senderkennung, zusätzliche Pilottonfrequenz bei 57 kHz, bringt die Info Verkehrsfunksender ja oder nein, also ARI–LED beim Auto–Empfänger ein oder aus.

BK Bereichskennung, Aufteilung Deutschlands in 6 Regionen A ... F, umgesetzt in Frequenzen zwischen 23 Hz und 54 Hz, auf den SK ZSB–AM.

DK Durchsagekennung, ZSB–AM mit 57 kHz–Träger mit 125 Hz, schaltet Autoradio entsprechend bei Verkehrsdurchsagen um bzw ein.

RDS (**R**adio **D**aten **S**ystem)

Seit 1.4.1988 werden zusätzlich auch noch digitale Daten auf einem Träger von 57 kHz aufmoduliert. ZSB–AM o.T. mit 90° Phase zu ARI–Signal. Taktfrequenz ist 1187.5 Hz.

Das binäre RDS–Datensignal wird differentialcodiert, dann biphasecodiert, dann pulsgeformt und bandbegrenzt und schließlich dem 57 kHz–Trägersignal aufmoduliert.

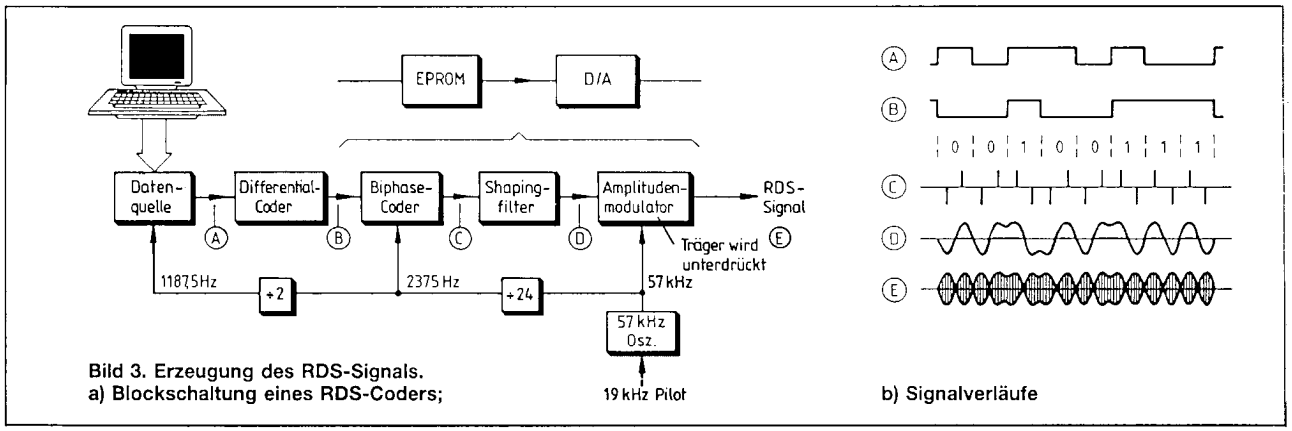


Abbildung 5.26: RDS–Signal Modulation Quelle:[11]

Übertragene Informationen

PI Programme Identification, Programmkettenkennung z.B. BR3

PS Programme Service name, Programmname bis zu 8 alphanumerische Zeichen z.B. Bayern 3

AF Alternate Frequencies, Tabelle der Sender, die gleichen PI–Code senden.

TP Trafic Programme, Verkehrsfunkkennung, 1 Bit ja/nein, entspricht SK

TA Trafic Announcement, Durchsagekennung, 1 Bit ja/nein, entspricht DK

Diese Infos waren bis 1992 realisiert, weil es statische Daten sind.

Inzwischen ist auch noch realisiert.

EON Enhanced Other Network, Information über andere Senderketten

Beim weiteren Ausbau sind folgende Informationen vorgesehen.

MS Music Speech, Musik/Sprachkennung

RT Radio Text, Radiotext für programmbegleitende Information

IH In–House application, Hausinterne Anwendungen

PTY Programme Type, Programmart (5 bit), z.B. E–Musik, U–musik, Sport

DI Decoder Identification, Decoder Identifikation, z.B. Kunstkopf–Stereofonie

CT Clock Time, Codiertes Zeitsignal

IN Programme Item Number, Programmbeitragskennung, entspricht in etwa VPS

Versuche laufen derzeit mit

TMC Traffic message channel, Verkehrsinfos,

Ähnlich Euro–Piep, City–Ruf, nun auch mit UKW–Funkrufempfänger *omniport*

RP Radio paging, Personenruf

Datenstruktur der RDS–Übertragung
Gruppen zu 104 Bit.
Jede Gruppe wird in 4 Blöcke a 26 Bit aufgeteilt.
Jeder Block besteht aus 16 Info–Bit und 10 Kontroll–Bit (CRC–Check).

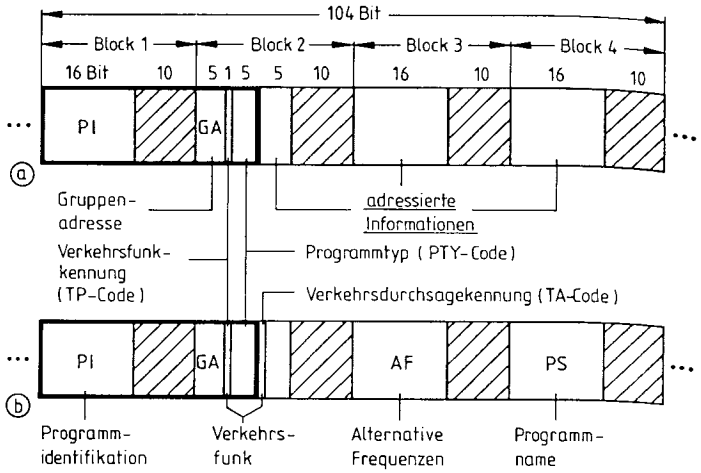
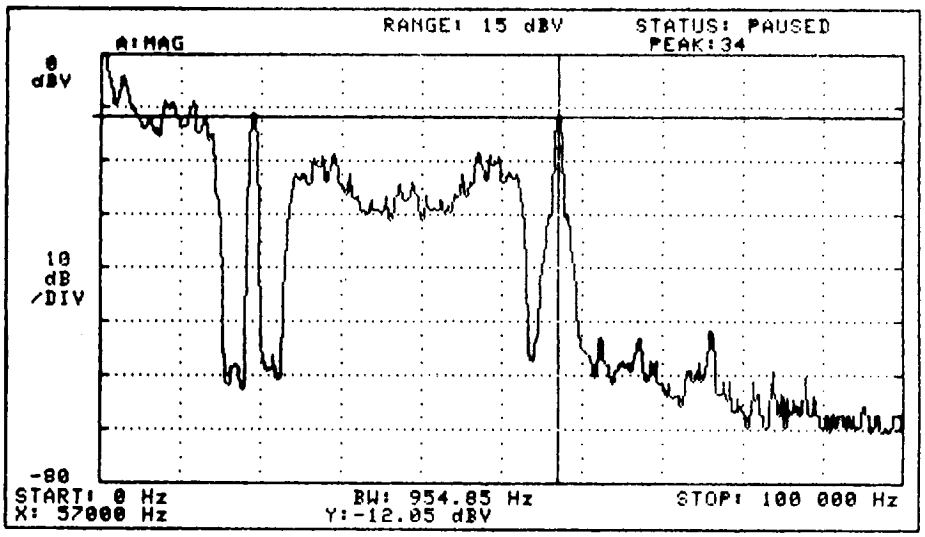
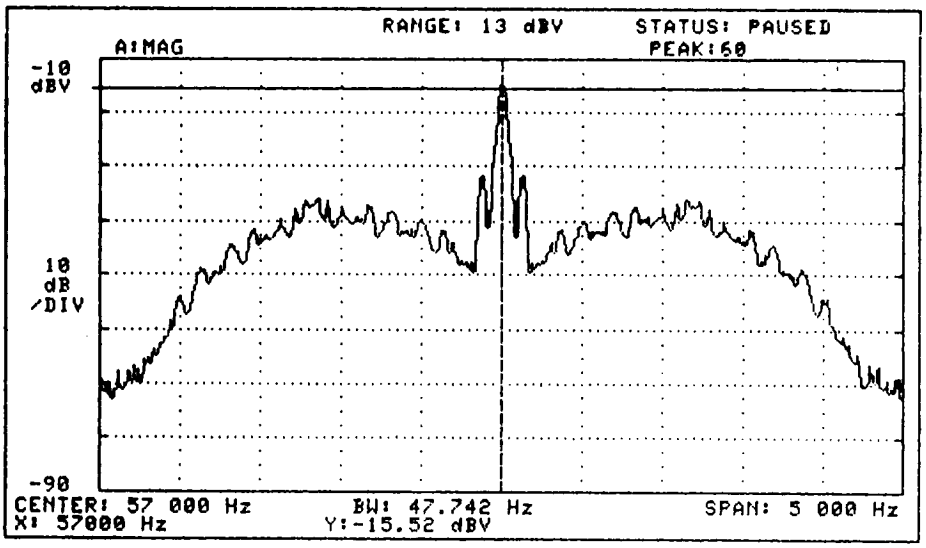


Bild 4. RDS-Datenformat. a) Gruppenstruktur (allgemein); b) Gruppentyp 0A

Abbildung 5.27: RDS Datenstruktur Quelle:[11]





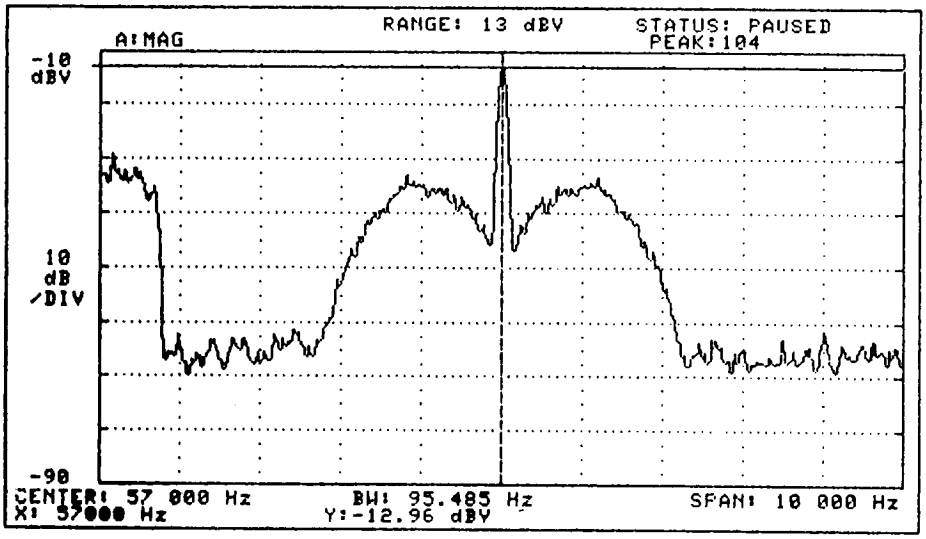
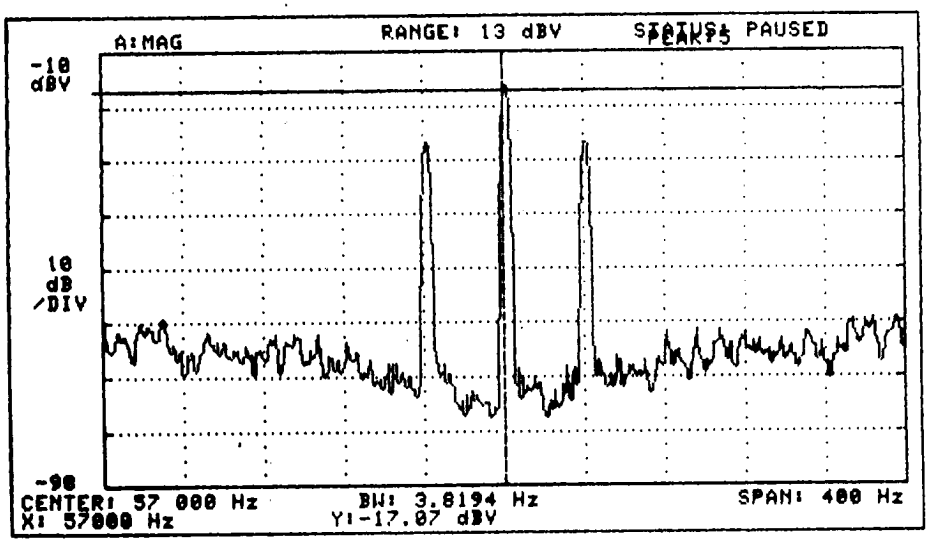


Abbildung 5.28: Spektrogramme des FM Modulationssignals bei UKW Rundfunk Quelle: Bayerischer Rundfunk Abteilung Meß– und Anlagentechnik Senderbetrieb Ismaning



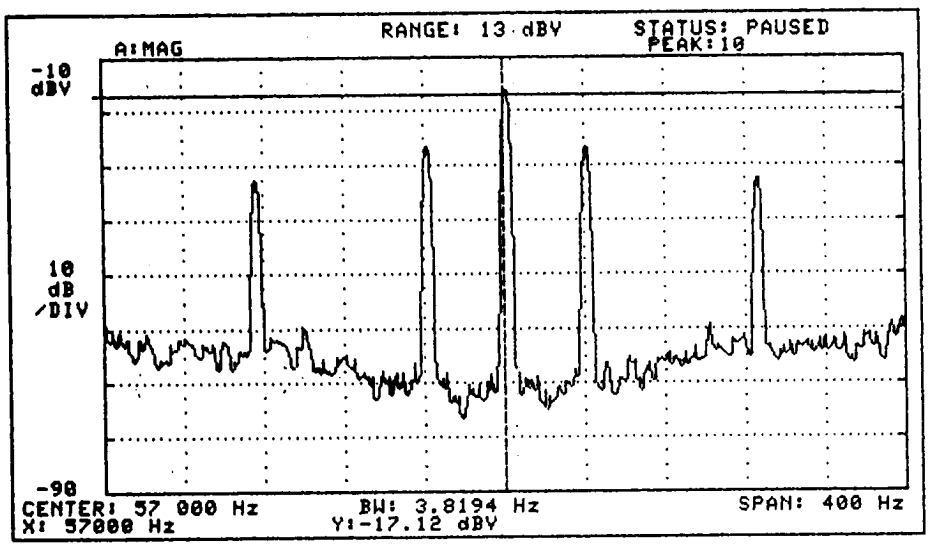


Abbildung 5.29: Spektrogramme ARI–Signal mit DK, SK, BK
Quelle: Bayerischer Rundfunk Abteilung Meß– und Anlagentechnik Senderbetrieb Ismaning

DAB (**D**igital **A**udio **B**roadcasting)

Nach Versuchsendungen auf Kanal 12 (223 ... 230 MHz) wurde am 17.10.1995 während der Medientage München, der Startknopf für das Pilotprojekt DAB Bayern gedrückt. (Sender Ismaning 1.DAB Sender in Bayern mit 400 W Sendeleistung. Sender Augsburg 2.DAB Sender in Bayern sendet seit 12.10.1993.)

Audio Signal mit Bandbreite bis 20KHz und S/N von mehr als 90dB benötigt für Stereo-Übertragung 1.411 MBit/s (2 Kanäle a 706 kBit/s mit f_a = 44.1 kHz 16 Bit PCM). Durch das Datenreduktionsverfahren **MUSICAM** (**M**asking Pattern **U**niversal **S**ubband **I**ntegrated **C**oding **A**nd **M**ultiplexing) wird die zu übertragende Datenrate auf 192 kBit/s reduziert. Das Verfahren arbeitet mit 32 Teilbänder a 750Hz und 8ms langen Signalabschnitten. Abhängig von *Verdeckungseffekten* findet eine Quellencodierung derart statt, daß sich jeweils unterschiedliche Bitzuweisungen für die einzelnen Teilbänder ergeben. Dadurch soll sich eine Audioqualität ergeben, die der einer CD ebenbürtig ist.

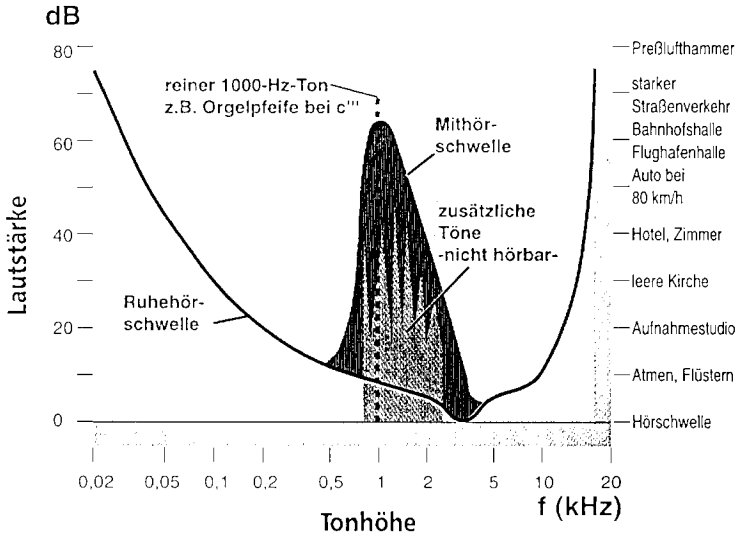


Abbildung 5.30: Verdeckungseffekte Quelle:[20]

Jeweils 6 dieser Programme werden zu einem Übertragungsblock zusammengefaßt. Dieser Übertragungsblock wird mittels COFDM (**C**oded **O**rthogonal **F**requency **D**ivison **M**ultiplex) übertragen. Dafür wird eine Übertragungsbandbreite von 1.5MHz und 1536 Trägerfrequenzen benötigt. Die dabei stattfindende Kanalcodierung mit einem Faltungscode erlaubt es, je nach Wichtigkeit unterschiedlich zu schützen (unequal error protection). Durch die Verteilung der Information auf viele einzelne dicht benachbarte Träger, die zur besseren Spektrumsausnutzung orthogonal angeordnet sind, soll hauptsächlich der mobile Empfang störungsfreier werden. Quellen- und Kanalcodierung sollen ein hohes Maß an Korrektur von Übertragungsfehlern erlauben. Durch empfangsseitige Erkennung und Verschleierung von nicht korrigierbaren Fehlern auch bei extremen Kanalstörungen sollen kaum Störsignale an den Radiohörer weitergegeben werden.

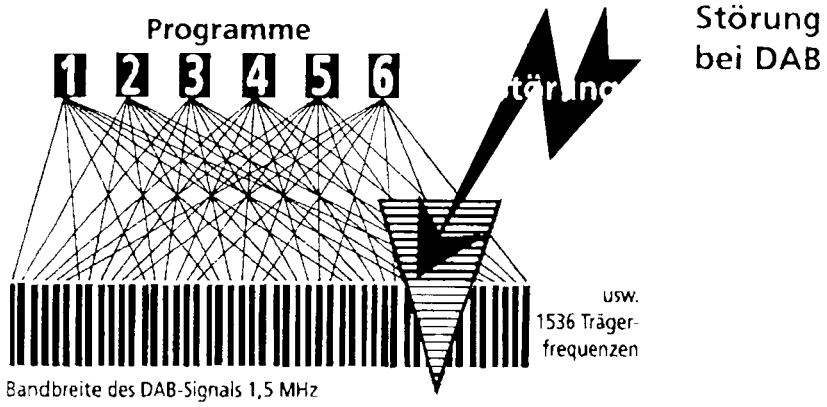


Abbildung 5.31: Quelle:[20]

1. Berechnen Sie die Mischprodukte an einer nichtlinearen Kennlinie einer Diode, die angenähert durch folgende Potenzreihe beschrieben werden kann.
   $i_d = I_0 + c_1 \cdot U + c_2 \cdot U^2 + c_3 \cdot U^3 + c_4 \cdot U^4$.
   Stellen Sie das Ergebnis spektral dar.
   $f_T = 15$ kHz, $f_q = 0.3 \ldots 3.4$ kHz.

   $$U = U_0 + U_T \cdot cos(\omega_T \cdot t) + U_q \cdot cos(\omega_q \cdot t)$$

2. 10 kW Sendeleistung stehen Ihnen zur Verfügung.
   Berechnen Sie die Aufteilung dieser Leistung auf die einzelnen Spektralkomponenten für
   AM mit $m = 0.5$;
   AM mit $m = 0.9$;
   AM mit $m = 1$;
   FM mit $\eta = 1$;
   FM mit $\eta = 2.4$.
   Wie groß ist die jeweils benötigte Bandbreite ?

3. Sie haben an einem FM Modulator einen Frequenzhub von 3 kHz eingestellt.
   Zeichnen Sie das Spektrum für folgende Modulationsfrequenzen $f_q = 300Hz$; $f_q = 3.4kHz$; $f_q = 15kHz$.
   Wie groß muß die Übertragungsbandbreite sein ?

4. Was ist Modulation und wozu dient sie ?

5. Erläutern Sie die Begriffe Amplitudenmodulation, Modulationsgrad, AM o.T., SSB, Schwebung.

6. Was ist Hüllkurvendemodulation ?

7. Vor- und Nachteile von AM ?

8. Erläutern Sie die Begriffe Frequenzmodulation, Modulationsindex, Frequenzhub.

9. Vor- und Nachteile der FM ?

10. Beschreiben Sie das Spektrum bei FM.

11. Konstruieren Sie den resultierenden Drehzeiger aus den einzelnen spektralen Komponenten für $t = 0$ und $t = 30\ \mu s$ eines FM-Signals mit $\eta = 1$, $f_q = 1$ kHz, $f_T = 10$ kHz.

12. Welche Bandbreite benötigt ein FM-Signal mit einem Frequenzhub von 10 kHz und einem modulierenden Signal mit einem Spektrum von 5 ... 20 kHz ?

13. Nach welchem Prinzip funktioniert ein Diskriminator ?

14. Was ist Preemphase ?

15. Wie wird Stereo übertragen ?

16. Wie funktioniert ARI (technisch betrachtet) ?

17. Wie wird das RDS-Signal übertragen ?

18. Welche Taktfrequenzen besitzt das RDS-Signal ?

19. Wie groß ist die Netto–Datenrate bei RDS ?

20. Wie verteilt sich der Hub auf die einzelnen Frequenzkomponenten beim UKW-Rundfunk z.B. für Bayern 3 oder Antenne Bayern ?

21. Was ist DAB ?

22. In welchem Frequenzbereich wird terrestrischer digitaler Rundfunk getestet ?

23. Was ist MUSICAM ?

24. Was ist COFDM ?

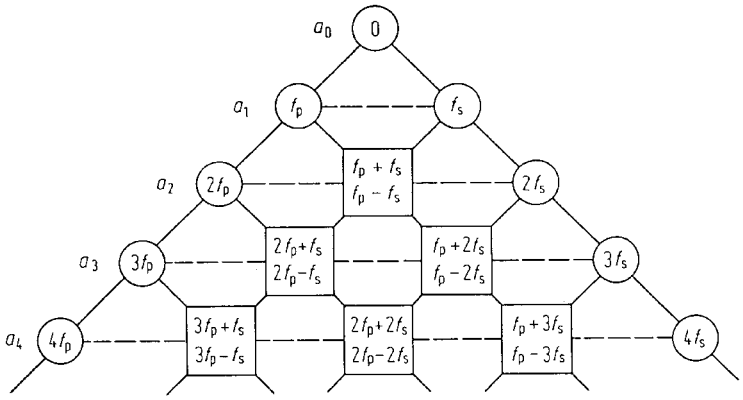


Bild 3. Frequenzenpyramide der bei Mischung von f_p und f_s auftretenden Kombinationsfrequenzen

Abbildung 5.32: Mischprodukte an nichtlinearer Kennlinie Quelle:[31]

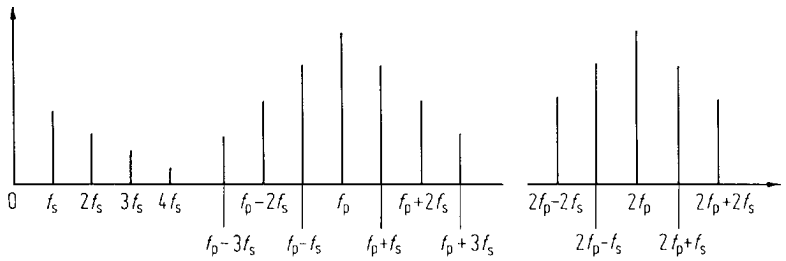


Bild 4. Frequenzspektrum bei einer Frequenzumsetzung für $f_p \gg f_s$ und $\hat{x}_s \approx \hat{x}_p$

Abbildung 5.33: Frequenzspektrum der Mischprodukte an nichtlinearer Kennlinie Quelle:[31]

5.3 Modulation Sinusträger durch digitales Signal

5.3.1 ASK (Amplitude Shift Keying, Amplitudenumtastung)

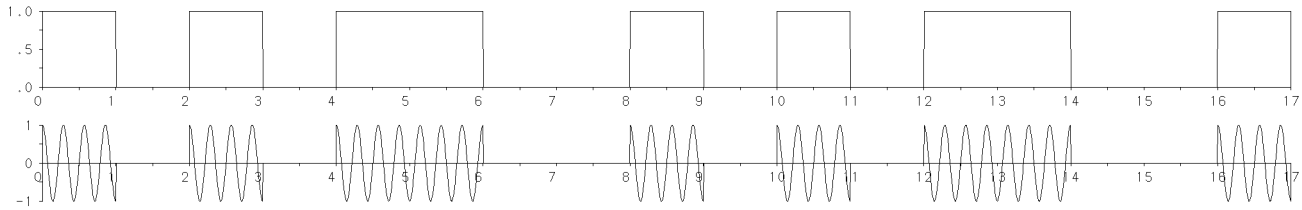


Abbildung 5.34: Digitalsignal und zugehöriges ASK–Signal

$$u_{ASK}\ (t) = \hat{u}_T\ \cdot\ c(t) \cdot\ \cos(\omega_T t)$$

Gebräuchlich nur noch in Ausnahmefällen, hätte allerdings geringsten Bandbreitenbedarf bei Einseitenbandübertragung mit Partial–Response–Impulsformung.

5.3.2 FSK (Frequency Shift Keying, Frequenzumtastung)

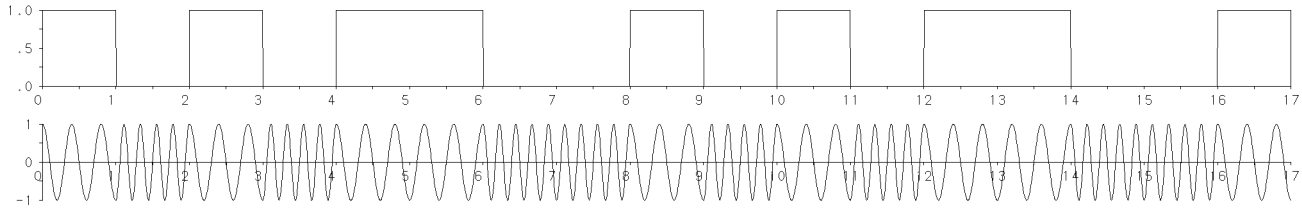


Abbildung 5.35: Digitalsignal und zugehöriges FSK–Signal

$$u_{FSK}\ (t) = \hat{u}_T\ \cdot\ \cos\left[(\omega_T \pm \Delta\omega_T) \cdot\ t\right]$$

Nur bei einem kleinen Modulationsindex $0.5 < \eta < 0.8$ günstig, weil dann das Spektrum sehr schmal und die Leistung gleichmäßig verteilt ist.

V.21 (Modem mit 300 bit/s zur Benutzung im öffentlichen Fernsprechwählnetz)

Symbol	Kanal 1	Kanal 2
0	1180 Hz	1850 Hz
1	980 Hz	1650 Hz

V.23 (600/1200–Baud–Modem zur Benutzung im öffentlichen Fernsprechwählnetz)

Symbol	600 Baud	1200 Baud	"Hilfskanal" 75 Baud
0	1700 Hz	2100 Hz	450 Hz
1	1300 Hz	1300 Hz	390 Hz

5.3.3 PSK (Phase Shift Keying, Phasenumtastung)

Gebräuchlichste Modulationsart, weil guter Kompromiß zwischen Übertragungsqualität und Bandbreitenbedarf.

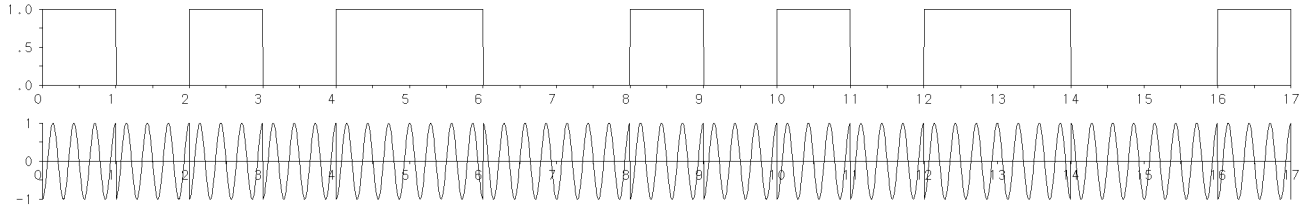


Abbildung 5.36: Digitalsignal und zugehöriges PSK–Signal

$$u_{PSK}(t) = \hat{u}_T \cdot \cos(\omega_T t + c(t) \cdot \pi)$$

Digitale Information wird in der Phase des Trägers während eines Übertragungsabschnitts dargestellt.

Grundsätzlich werden zwei Verfahren angewandt:

- **Bezugscodierung** Trägerphase wird in Bezug auf Phase des ungetasteten Trägers ausgewertet
- **Differenzcodierung** Phasenunterschied des Trägers bei zwei aufeinanderfolgenden Übertragungsschritten wird ausgewertet(auch DPSK[a]).

2–PSK (Zweiphasenumtastung)

Binäre Phasenumtastung, also Phasensprünge 180°

Bit	Phase	V.26bis
0	0°	90°
1	180°	270°

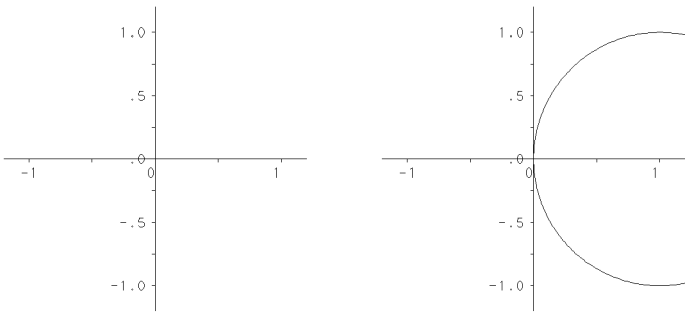


Abbildung 5.37: Signalzustandsdiagramm (Zeiger–, Phasenzustandsdiagramm)

Entscheidungsbereich ist eine Halbebene im Phasenzustandsraum, Fehler entstehen erst bei Phasenfehlern ±90° oder bei Störamplituden größer $\sin(90°) \cdot u_T = 1 \cdot u_T$

Benötigte Übertragungsbandbreite $B = 1.4 \cdot f_{\text{Bit}}$ (bei roll–off von $r = 0.4$)

[a] differentielle PSK

4–PSK (Vierphasenumtastung)

Quaternäre Modulation, Bitfolgen von 2 Bit werden zu einem Dibit zusammengefaßt.

Dibit	Version A	Version B
0 0	0°	45°
0 1	90°	135°
1 1	180°	225°
1 0	270°	315°

Vorteil Version B: Bei Differenzcodierung ergeben sich auch bei langen Nullfolgen im Signal immer noch Phasensprünge im Trägersignal, die eine Taktableitung im Empfänger ermöglichen.

In ITU–T–Empfehlung V.27ter[b] wird Version A als Differenzcodierung (2400 bit/s, $f_T = 1800$ Hz) benutzt.

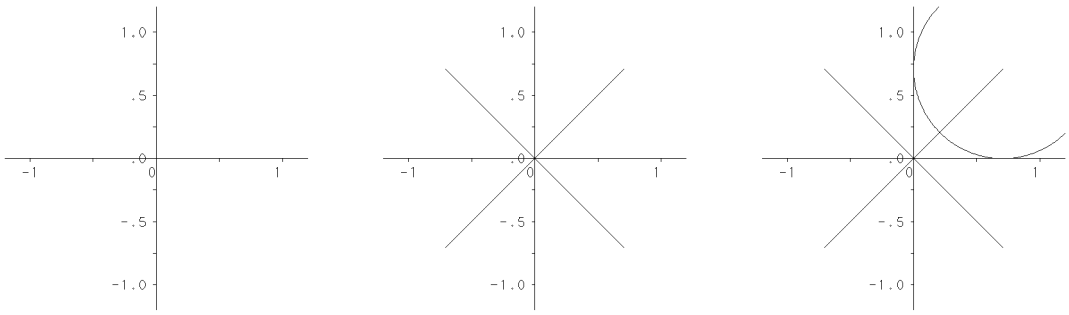


Abbildung 5.38: Signalzustandsdiagramme bei 4–PSK

Entscheidungsbereich ist ein Quadrant der komplexen Ebene, Fehler entstehen erst bei Phasenfehlern $\pm 45°$ oder Störamplituden größer $\sin(45°) \cdot u_T = 0.7 \cdot u_T$

4–PSK wird auch als QAM (**Q**uadratur–**A**mplituden–**M**odulation) bezeichnet, weil man sie aus der Summe zweier um 90° phasenverschobener Träger gleicher Frequenz, die jeweils mit einem bipolaren Rechtecksignal amplitudenmoduliert werden, erzeugen kann.

Benötigte Übertragungsbandbreite $B = \frac{1.4}{2} \cdot f_{\text{Bit}} = 0.7 \cdot f_{\text{Bit}}$ (incl. roll–off)

[b] Modem mit einer Übertragungsgeschwindigkeit von 4800/2400 bit/s zur Benutzung im öffentlichen Fernsprechwählnetz

8–PSK (Achtphasenumtastung)

Oktärne Modulation ,Bitfolgen von 3 Bit werden zu einem Tribit zusammengefaßt.[c]

Tribit	$\Delta\varphi$
0 0 1	0°
0 0 0	45°
0 1 0	90°
0 1 1	135°
1 1 1	180°
1 1 0	225°
1 0 0	270°
1 0 1	315°

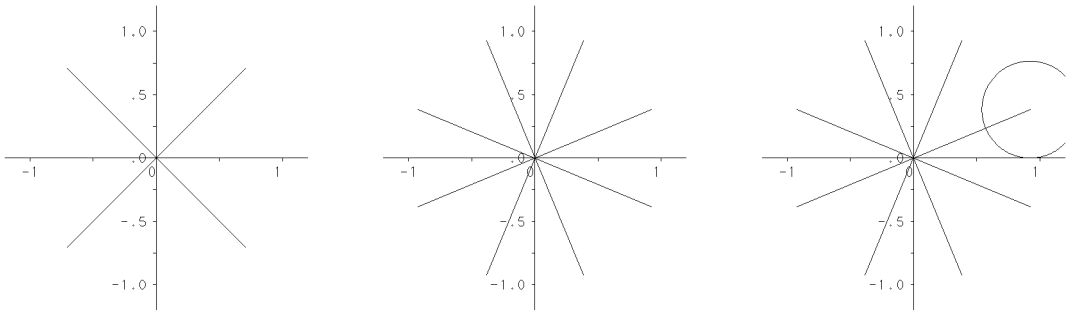


Abbildung 5.39: Signalzustandsdiagramme bei 8–PSK

Entscheidungsbereich ist nur noch ein halber Quadrant, Fehler entstehen bei Phasenfehlern $\pm 22.5°$ oder Störamplituden größer $\sin(22.5) \cdot u_T = 0.38 \cdot u_T$

Benötigte Übertragungsbandbreite $B = \frac{1.4}{3} \cdot f_{\text{Bit}} = 0.47 \cdot f_{\text{Bit}}$ (incl. roll–off)

16–PSK (Sechzehnphasenumtastung)

Diese ist ungebräuchlich, weil der Störabstand zu gering ist $u_{St} = sin(\frac{180°}{16}) \cdot \ u_T = 0.195 \ \cdot u_T$.
Stattdessen wird 16–QAM verwendet.

[c] nach ITU–T–Empfehlung V.27ter (4800Bit/s)

16–QAM (Sechzehnstufige Quadraturamplitudenmodulation)

Zusätzlich zur Phase wird auch die Amplitude mitcodiert. Es ergeben sich 3 unterschiedliche Amplitudenzustände und 12 verschiedene Phasenzustände.

Die Störamplitude ergibt sich in diesem Fall zu

$u_{St} = \frac{\sqrt{2}}{2 \cdot (a-1)} \cdot u_{T\max}$ (a Anzahl unterschiedlicher Amplituden längs einer Achse)

$u_{St} = \frac{\sqrt{2}}{2 \cdot (4-1)} \cdot u_{T\max} = 0.235 \cdot u_{T\max}$

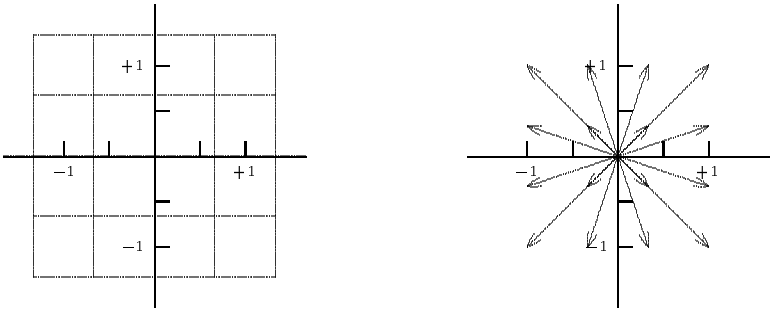


Abbildung 5.40: Signalzustandsdiagramm bei 16-QAM

Benötigte Übertragungsbandbreite $B = \frac{1.4}{4} \cdot f_{\text{Bit}} = 0.35 \cdot f_{\text{Bit}}$

ITU–T–Empfehlung V.29 (9600 bit/s, $f_T = 1700\ Hz$) verwendet aus praktischen Gründen eine Kombination aus 8 PSK und 4 ASK. Die Quadbits werden folgendermaßen umgesetzt.
Das 1.Bit Q1 wird zur Bestimmung der Amplitude des Signalelements benutzt, die folgenden Bits zur Umsetzung der Phase.

Q2	Q3	Q4	Phase
0	0	1	0°
0	0	0	45°
0	1	0	90°
0	1	1	135°
1	1	1	180°
1	1	0	225°
1	0	0	270°
1	0	1	315°

Q1	rel.Amplitude	bei Phase
0	3	0°, 90°, 180°, 270°
1	5	
0	$\sqrt{2}$	45°, 135°, 225°, 315°
1	$3 \cdot \sqrt{2}$	

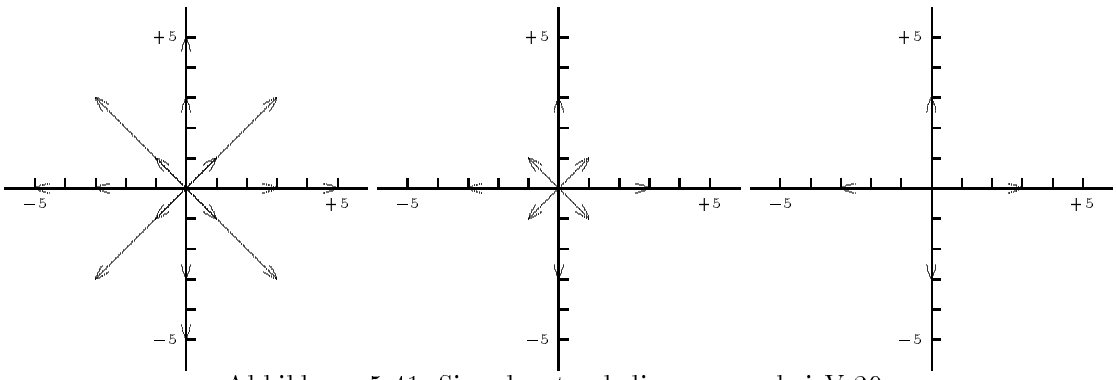


Abbildung 5.41: Signalzustandsdiagramme bei V.29

Bei 9600 Bit/s werden alle 16 Möglichkeiten benutzt, bei Rückfall auf 7200 Bit/s wird Q1 = 0 gesetzt, d.h. nur noch 8–PSK, bei Rückfall auf 4800 Bit/s nur noch 4–PSK (Schrittgeschwindigkeit damit immer 2400 Baud).

5.4 Pulsmodulation

Trägersignal ist pulsförmig. Gemäß Abtastheorem kann ein bandbegrenztes Signal vollständig aus einer Folge äquidistanter Abtastwerte rekonstruiert werden, wenn die Abtastfrequenz mehr als doppelt so groß ist wie die höchste vorkommende Frequenz im abzutastenden Signal.

$$f_a > 2 \cdot f_{q\,\max}$$

Wird das Abtasttheorem verletzt, so treten Verzerrungen auf, was als Aliasing bezeichnet wird. Man spricht in diesem Fall auch von Unterabtastung.

5.4.1 Wertkontinuierliche Pulsmodulationsverfahren

Bei diesen Verfahren wird ein Signalparameter wertkontinuierlich zur Größe des Abtastwertes verändert.

5.4.1.1 PAM (Puls-Amplituden-Modulation)

Die Amplitude des Trägerpulses wird proportional zu den Abtastwerten des modulierenden Quellensignals verändert.

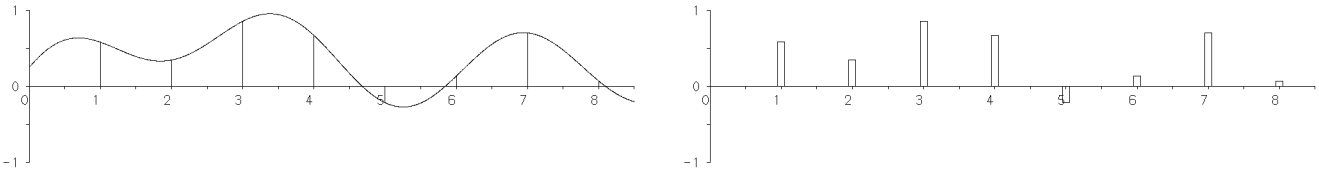


Abbildung 5.42: abgetastetes Signal und zugehörige PAM

5.4.1.2 PPM (Puls-Phasen-Modulation)

Signalparameter ist hier die Phase des pulsförmigen Signals.

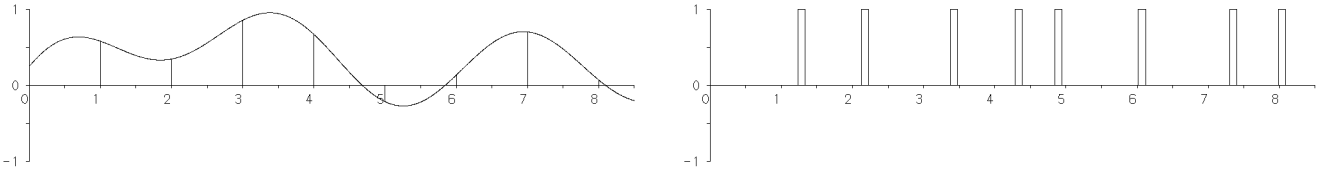


Abbildung 5.43: abgetastetes Signal und zugehörige PPM

5.4.1.3 PDM (Puls-Dauer-Modulation)

Hier wird die Größe des Abtastwertes in der Pulsdauer des Trägers abgebildet.

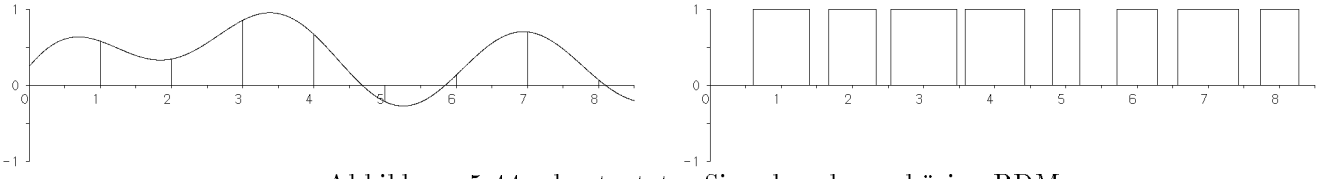
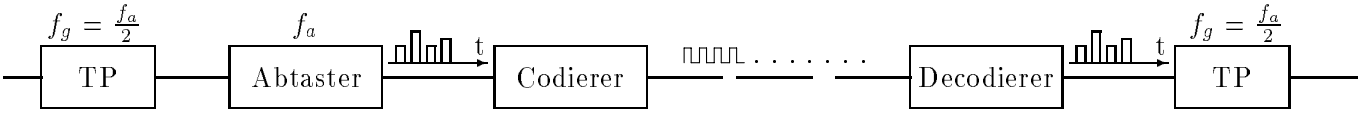


Abbildung 5.44: abgetastetes Signal und zugehörige PDM

5.4.2 PCM (Puls-Code-Modulation)

Ebenso wie bei den anderen Pulsmodulationsverfahren wird das zu übertragende Signal abgetastet, dann aber wird das wertkontinuierliche Signal diskretisiert und in ein binäres Codewort umgesetzt. Das zu übertragende analoge Signal wird digitalisiert.

Prinzipblockschaltbild zur PCM



Der Abtaster (meistens eine sample–hold–Schaltung) entnimmt dem abzutastenden Signal einen Abtastwert und speichert ihn kurzzeitig bis zum nächsten Sample, um dem Codierer Zeit zum Umwandeln zu geben. Durch die Abtastung wird das Signal zeitdiskret, und durch die Umwandlung in ein Codewort wird es auch noch wertdiskret. Diese Umwandlung der kontinuierlichen Amplitude in eine wertdiskrete Amplitude nennt man Quantisierung. Dazu wird der maximal mögliche Amplitudenbereich in *Quantisierungsintervalle* aufgeteilt. Bei gleichmäßiger Quantisierung ergibt sich das Quantisierungsintervall zu

$$\Delta u = \frac{2 \cdot U_{s,\max}}{M_c} = \frac{\text{Quantisierungsbereich}}{\text{Codewortumfang}}$$

Im allgemeinen werden Blockcodes verwendet, so daß $M_c = 2^{n_c}$.

Beispiel : $n_c = 3$ $M_c =$

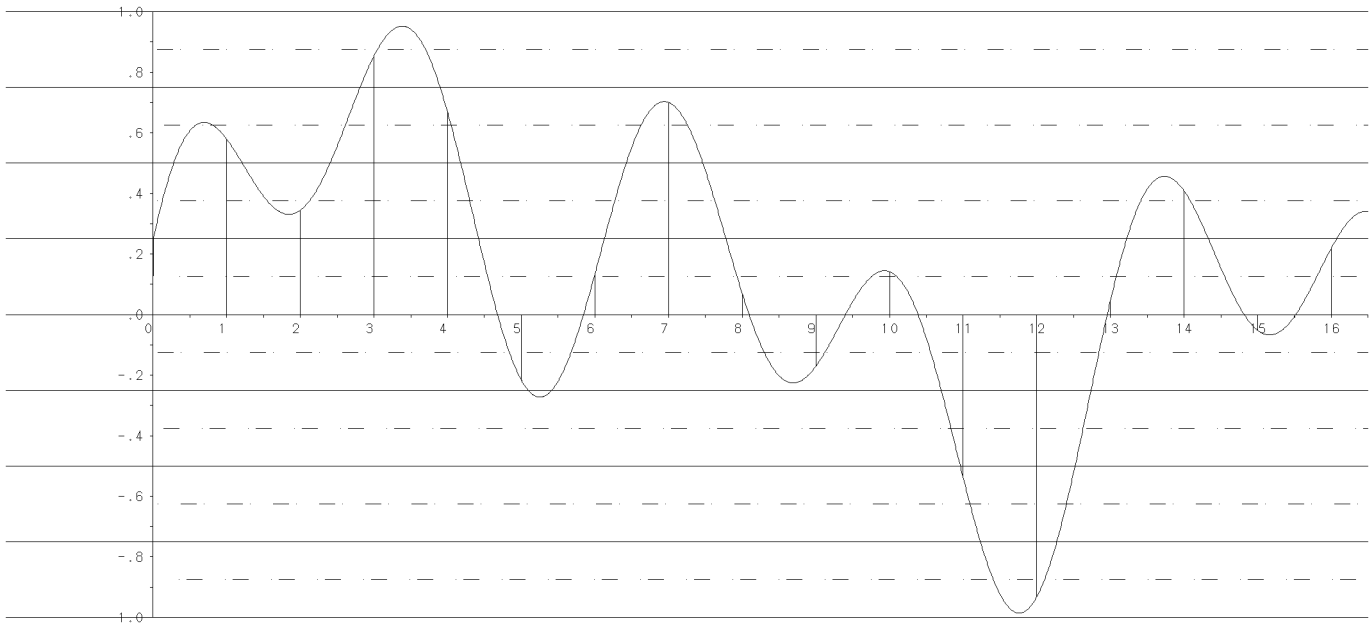
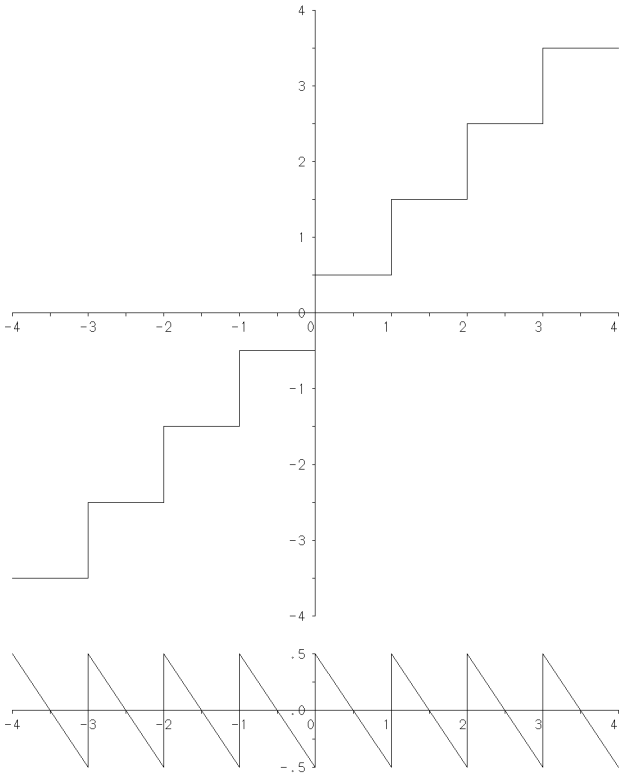


Abbildung 5.45: Umsetzung Abtastwerte in digitale Worte

Die *Quantisierungswerte*, d.h. die Werte die später wieder aus dem Codewort rekonstruiert werden, liegen jeweils in Intervallmitte. In den seltensten Fällen wird die Abtastamplitude aber genau in der Mitte eines Quantisierungsintervalls liegen.Bei der Rekonstruktion aus dem Codewort entsteht also ein Fehler, der **Quantisierungsfehler**. In der **Quantisierungskennlinie** kann man sehen wie das wertkontinuierliche Signal in ein wertdiskretes Signal umgesetzt wird. Dafür wird auf der x–Achse das wertkontinuierliche Signal aufgetragen, auf der y–Achse der jeweilige zugehörige Quantisierungswert.



Durchläuft man kontinuierlich und vollständig den Quantisierungsbereich z.B. mit einer Dreiecksfunktion, so ergibt sich als Quantisierungsfehlerspannung eine Sägezahnspannung mit der Amplitude $\frac{\Delta u}{2}$.
Daraus kann man die *Quantisierungsgeräuschleistung* berechnen zu

$$P_Q = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} u_Q\ (t)^2\ \cdot \frac{1}{R}\ dt = \frac{(\Delta u)^2}{12} \cdot \frac{1}{R}$$

Abbildung 5.46: Quantisierungskennlinie mit Fehlerspannung

Auf äquivalente Weise kann die Leistung des zurückgewonnen Signals berechnet werden zu

$$\begin{aligned} P_{S,q} &= \frac{1}{M_c} \left[2 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \Delta u \right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{3}{2} \cdot \Delta u \right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{5}{2} \cdot \Delta u \right)^2 + \ldots + 2 \cdot \left(\frac{M_c - 1}{2} \cdot \Delta u \right)^2 \right] \cdot \frac{1}{R} \\ &= \frac{(\Delta u)^2}{2 \cdot M_c} \cdot \left[1^2 + 3^2 + 5^2 + \ldots + (M_c - 1)^2 \right] \cdot \frac{1}{R} \\ &= \frac{(M_c^2 - 1)}{12} \cdot (\Delta u)^2 \cdot \frac{1}{R} \end{aligned}$$

Daraus ergibt sich ein Signal–zu–Quantisierungsgeräusch–Leistungsverhältnis von

$$\frac{P_{S,q}}{P_Q} = M_c^2 - 1$$

Der Signal/Quantiserungsgeräuschabstand S_Q zu

$$S_Q = 10 \cdot log \left(\frac{P_{S,q}}{P_Q} \right) = 10 \cdot log(M_c^2 - 1) \qquad \text{[dB]}$$

für $M_c \gg 1$

$$S_Q = 20 \cdot \log(M_c) = 20 \cdot \log(s_c^{n_c}) = n_c \cdot 20 \cdot \log(2) = n_c \ \cdot\ 6 \text{ dB}$$

Diese Beziehung gilt genau genommen nur für ein gleichverteiltes Signal (Dreieck, Sägezahn)

Für ein sinusförmiges Signal gilt:

$$S_Q = 10 \cdot \log(\frac{3}{2} \cdot M_c^2) = n_c \ \cdot\ 6 \text{ dB} + 1.8 \text{ dB}$$

Bei Sprach– oder Musikübertragung sind die Amplitudenwerte aber sicher nicht gleich verteilt. Damit wird sich der Fehler einer Quantisierungsstufe bei leisen Stellen (kleinen Signalamplituden) wesentlich stärker bemerkbar machen, weil dort der Fehler prozentual größer ist. Anschaulich könnte man dieses Verhältnis definieren zu

$$S_Q = 20 \cdot \log \frac{\text{Anzahl ausgenutzter Quantisierungsintervalle}(in\ U_{SS})}{\text{Quantisierungsintervall}}$$

Trägt man diesen S_Q über U_s für unterschiedliche n_c auf

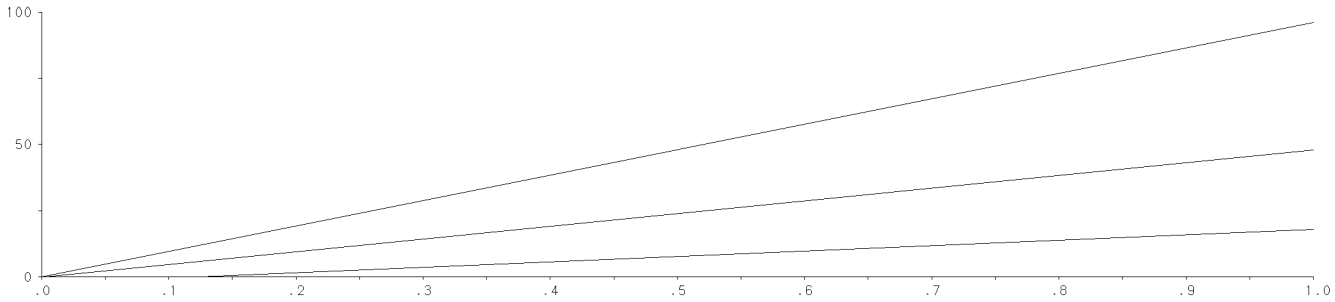


Abbildung 5.47: S_Q für unterschiedliche n_c normiert auf U_{max}

Lösungsidee:
Mehr Bits, Anzahl der Quantisierungsintervalle erhöhen, bringt gleichmäßige Verbesserung, also auch da, wo es eigentlich nicht so nötig wäre.
Um die leisen Töne mit besserem S_Q zu übertragen, verwendet man deshalb eine ungleichmäßige (nichtlineare) Quantisierung.

Das zugehörige Verfahren wird Kompandierung genannt.

Abbildung 5.48: Kompressor– und Expanderkennlinie

In einem **Komp**ressor wird das Signal in der Dynamik eingeschränkt, übertragen und dann in einem Exp**ander** (mit einer inversen Kennlinie zum Kompressor) wieder auf die ursprüngliche Dynamik gebracht.
(Ähnlich arbeitet z.B. auch Dolby, allerdings pegel– und frequenzabhängig)

Ziel ist ein möglichst konstantes Verhältnis $\frac{\text{Signalspannung}}{\text{Quantisierungsfehlerspannung}}$.

Das bedeutet eine von der Aussteuerung $x = \frac{U_s}{U_{s,\max}}$ abhängige Steigung der Kompressorkennlinie

$$\text{Steigung } = \frac{dy}{dx} = \frac{1}{k} \cdot \frac{1}{x}$$

daraus ergibt sich für $y = f(x)$

$$y = \frac{1}{k} \int \frac{1}{x} dx = \frac{1}{k} \cdot \ln(x) + C$$

Die ideale Kennlinie hätte einen logarithmischen Verlauf. Das Problem beim logarithmischen Verlauf ist, daß dieser nicht durch den Nullpunkt geht (unsymmetrische Kennlinie !?).

Von ITU–T wurden deshalb zwei mathematische Verfahren vorgeschlagen und zum internationalen Standard erhoben. Für Europa gilt das *A–Gesetz*, für Nordamerika das *μ–Gesetz*.

A–Gesetz: (ITU–T G.711)

- $y = sign(x) \cdot \frac{1+ln(A \cdot x)}{1+ln(A)}$ logarithmische Funktion erst ab Amplitudenwerten $|x| \geq \frac{1}{A}$
- $y = sign(x) \cdot \frac{A \cdot x}{1+ln(A)}$ für $0 \leq |x| \leq \frac{1}{A}$ durch den Nullpunkt verlaufende Gerade, die bei $|x| = \frac{1}{A}$ in die gewünschte logarithmische Kennlinie übergeht. A wurde zu 87.6 festgelegt.

Die störungsmindernde Wirkung der Kompandierung läßt sich durch den *Kompandergewinn* g_k ausdrücken.

$$g_k = 20 \cdot \log\left(\frac{A}{1+\ln(A)}\right) = 24 \text{ dB}$$

Kompandergewinn ist der Faktor, um den sich der Quantisierungsverzerrungsabstand gegenüber linearer Quantisierung maximal verbessern kann.

Technisch realisiert wurde dieses A–Gesetz in der 13–Segment–Kennlinie (manchmal auch als 7–Segment–Kennlinie bezeichnet). Der kontinuierliche Verlauf wird durch 13 Geradenstücke angenähert. Es handelt sich dabei um eine symmetrische Kennlinie mit je sechs Segmenten im positiven und negativen Bereich und einem über den Nullpunkt durchgehenden gemeinsamen Segment, das im Bereich $|x| \leq \frac{1}{64}$ identisch ist mit dem Geradenstück der A–Kennlinie. Die Knickpunkte der Geradenstücke liegen jeweils bei der Halbierung der Aussteuerbereiche. Die Steigungen benachbarter Segmente verhalten sich wie zwei zu eins. Für das innerste Segment ergibt sich die Anzahl Quantisierungsintervalle zu $\frac{M_c}{8}$ für die anderen Segmente jeweils $\frac{M_c}{16}$.

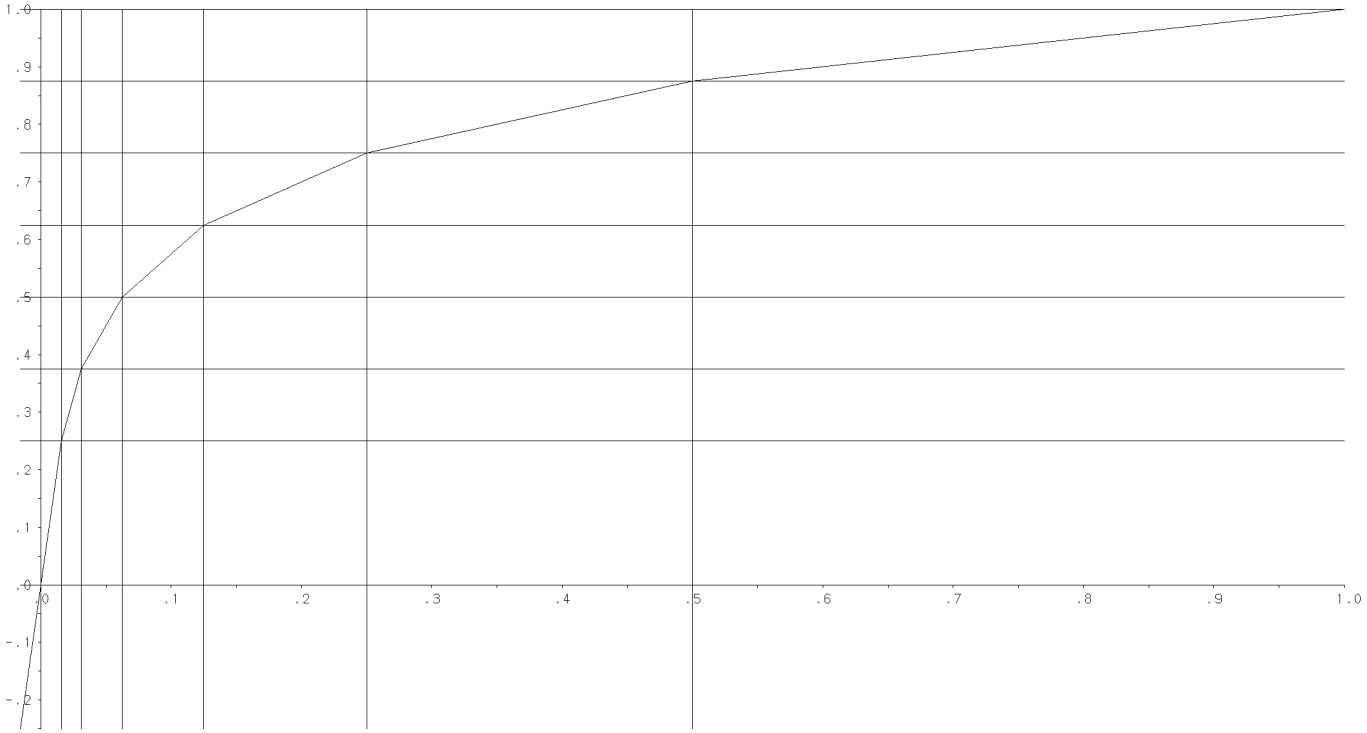


Abbildung 5.49: 13–Segment–Kennlinie, positiver Teil

Nach G.711 wird für die Codierung nach der A–Kennlinie ein symmetrischer Binärcode verwendet. Die bei kleinen Amplituden dadurch bedingte hohe Nulldichte der Codewörter wird durch eine Bitinversion der geraden Bits reduziert. Bei der μ–Kennlinie wird ein symmetrischer invertierter Binärcode verwendet, damit ergibt sich eine hohe Einsdichte bei kleinen Amplituden. G.711 regelt die Umrechnungen der beiden Codierungen ineinander. Die Kompressorkennlinie für das μ–Gesetz $y = sign(x) \cdot \frac{ln(1+\mu \cdot |x|)}{ln(1+\mu)}$ (mit $\mu = 255$) wird als *15–Segment–Kennlinie* technisch umgesetzt. Damit ergeben sich nur bei kleinen Amplituden geringfügige Unterschiede zwischen A– und μ–Law.

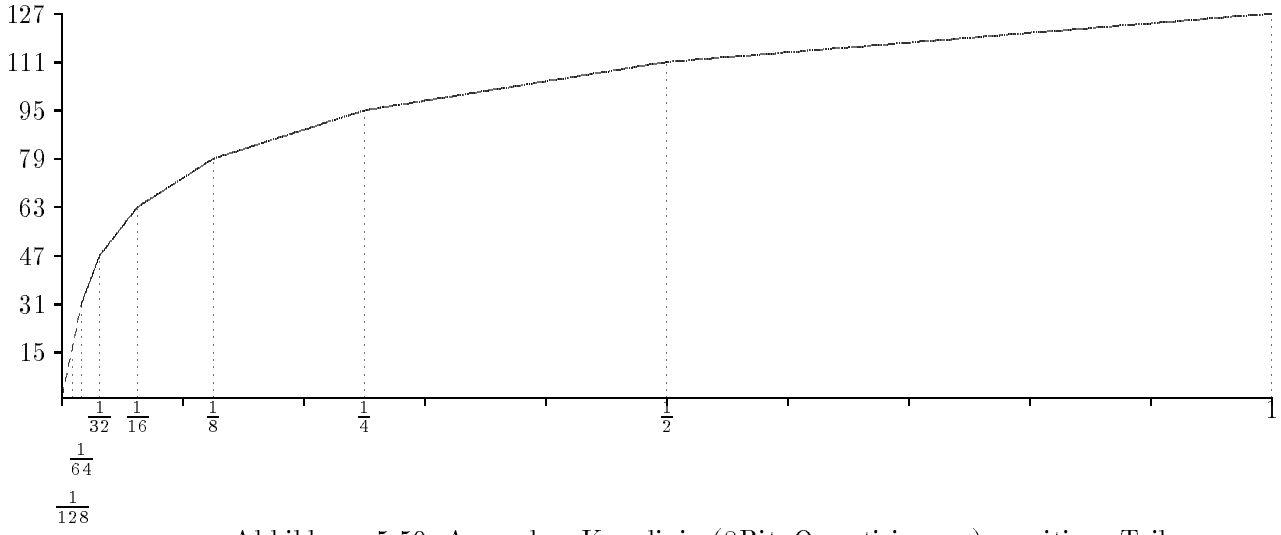


Abbildung 5.50: A– und μ–Kennlinie (8Bit–Quantisierung), positiver Teil

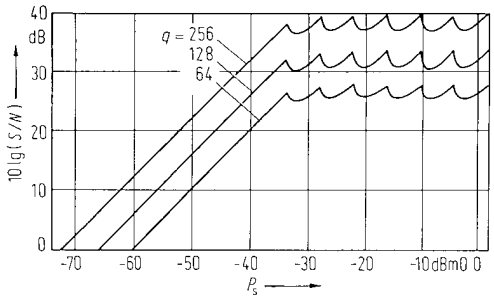


Bild 11. Quantisierungsverzerrungsabstand bei Aussteuerung mit Sinussignalen und nichtlinearer PCM-Codierung

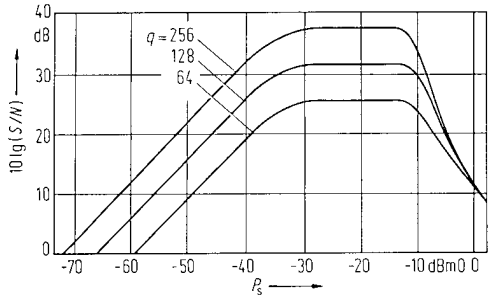


Bild 13. Quantisierungsverzerrungsabstand bei Aussteuerung mit Sprachsignalen und nichtlinearer PCM-Codierung

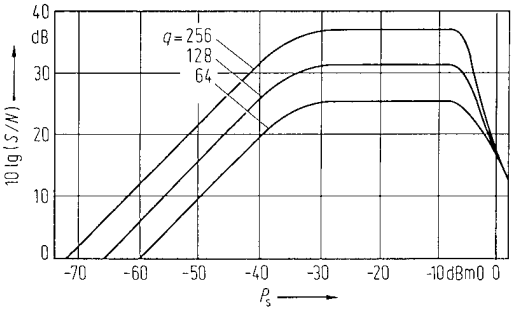


Bild 12. Quantisierungsverzerrungsabstand bei Aussteuerung mit weißem Rauschen und nichtlinearer PCM-Codierung

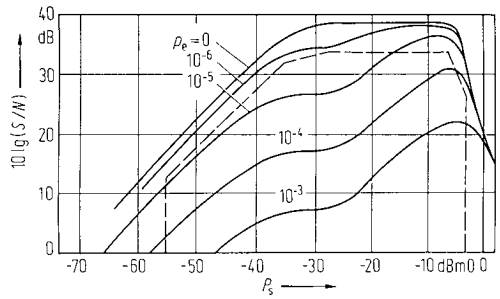


Bild 14. Quantisierungsverzerrungsabstand bei Aussteuerung mit weißem Rauschen und nichtlinearer PCM-Codierung für $q = 256$ (--- CCITT-Empfehlung G 712)

Abbildung 5.51: Quantisierungsverzerrungabstände für unterschiedliche Signale Quelle:[4] O35,O36

1. Das Quellensignal auf beiliegendem Blatt soll in 16 Quantisierungsstufen quantisiert und mit einem symmetrischen Binärcode codiert werden.
   a) Wie groß ist die Codewortlänge ?
   b) Wie wird das Signal quantisiert ?
   c) Tragen Sie die Codeworte in die dafür vorgesehene Spalte ein.
   d) Zeichnen Sie das Abtastwertsignal(Sample & Hold) ein
   e) Geben Sie die Reihenfolge der gesendeten Codeworte an.
   f) Tragen Sie das Sendesignal als NRZ–Signal in die dafür vorgesehene Zeile ein.
   g) Zeichnen Sie den zeitlichen Verlauf des rekonstruierten Signals ein.
   h) Skizzieren Sie die Abweichung $\varepsilon_a(t)$ des rekonstruierten Signals vom ursprünglichen Signal.
   i) Zeichnen Sie das PCM–Sendesignal im RZ–AMI–Code, im HDB3–Code, im CMI–Code.
   j) Welche Bitrate ergibt sich bei einer Abtastfrequenz von 8 kHz ?

2. Zeichnen Sie den positiven Teil der 13-Segment-Kennlinie für $n_c = 5$ und codieren Sie mit dem Graycode (größte Amplitudenstufe 10000).

3. Zeichnen Sie die Quantisierungsfehlerspannung für $n_c = 5$ bei linearer und ungleichmäßiger Quantisierung (13–Segment) für ein Dreiecksignal mit der Amplitude $U_{q\,\max} = 4$ V.

4. Erläutern Sie die wesentlichen Schritte bei der PCM.

5. Welche Probleme ergeben sich aus der Quantisierung ?

6. Welche Vorteile hat digitale Übertragung ?

7. Wie hängen Bitrate und Übertragungsbandbreite zusammen bei binärer Übertragung im Basisband ?

8. Erläutern Sie die Begriffe RZ, NRZ, AMI, HDB–3, CMI, Biphase–Codierung.

9. Welche Formateigenschaften sind wichtig ?

10. Welche Vor- und Nachteile bestehen zwischen 2, 4, 8–PSK ?

11. Was ist 16-QAM ?

12. Vergleichen Sie 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM mit 16PSK, 32PSK und 64PSK hinsichtlich Größe der möglichen Störamplituden ?

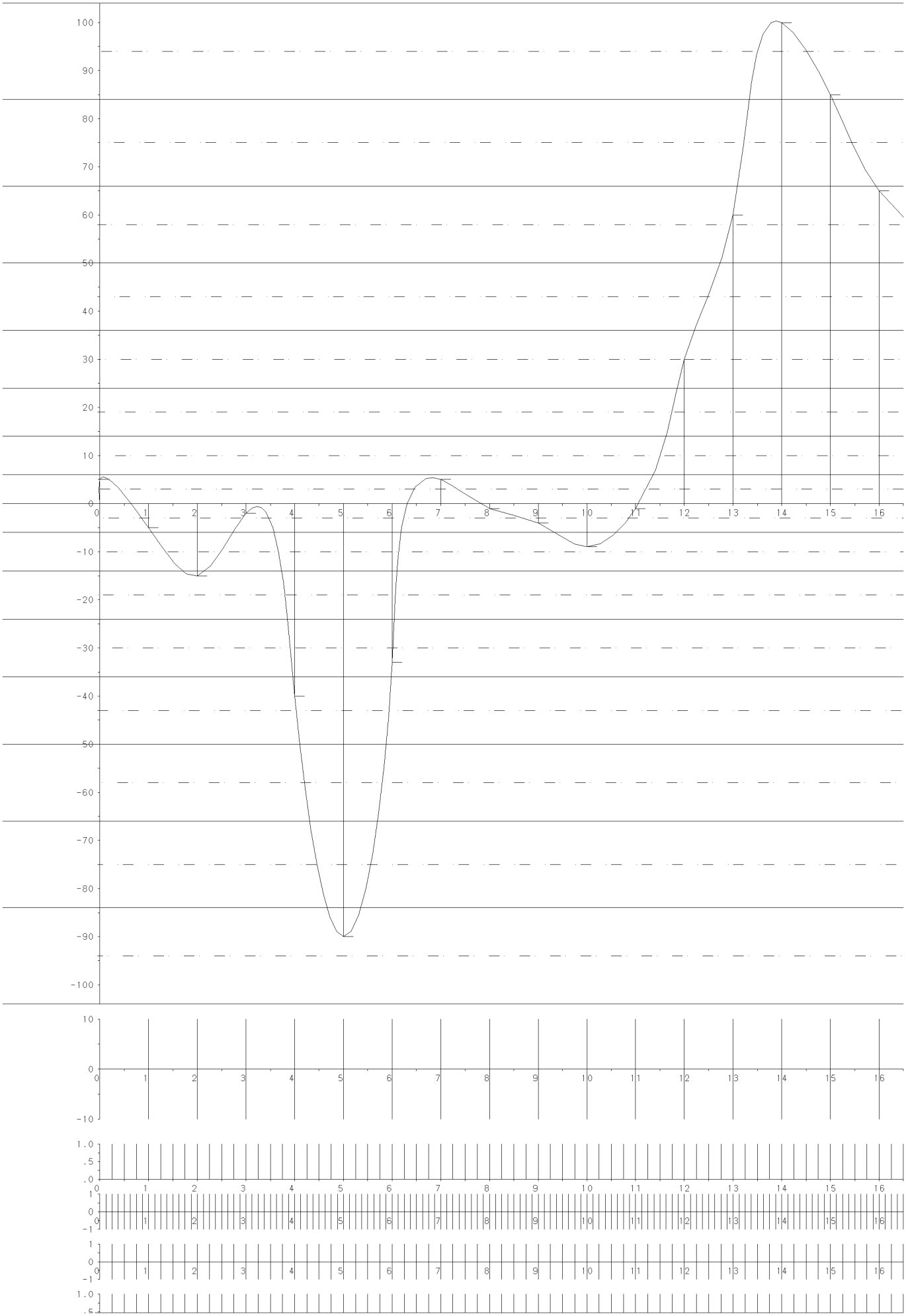
13. Wie viele verschiedene Amplitudenzustände und Phasenzustände hat die 64-QAM? Wie groß ist die benötigte Bandbreite bezogen auf die Bitrate.

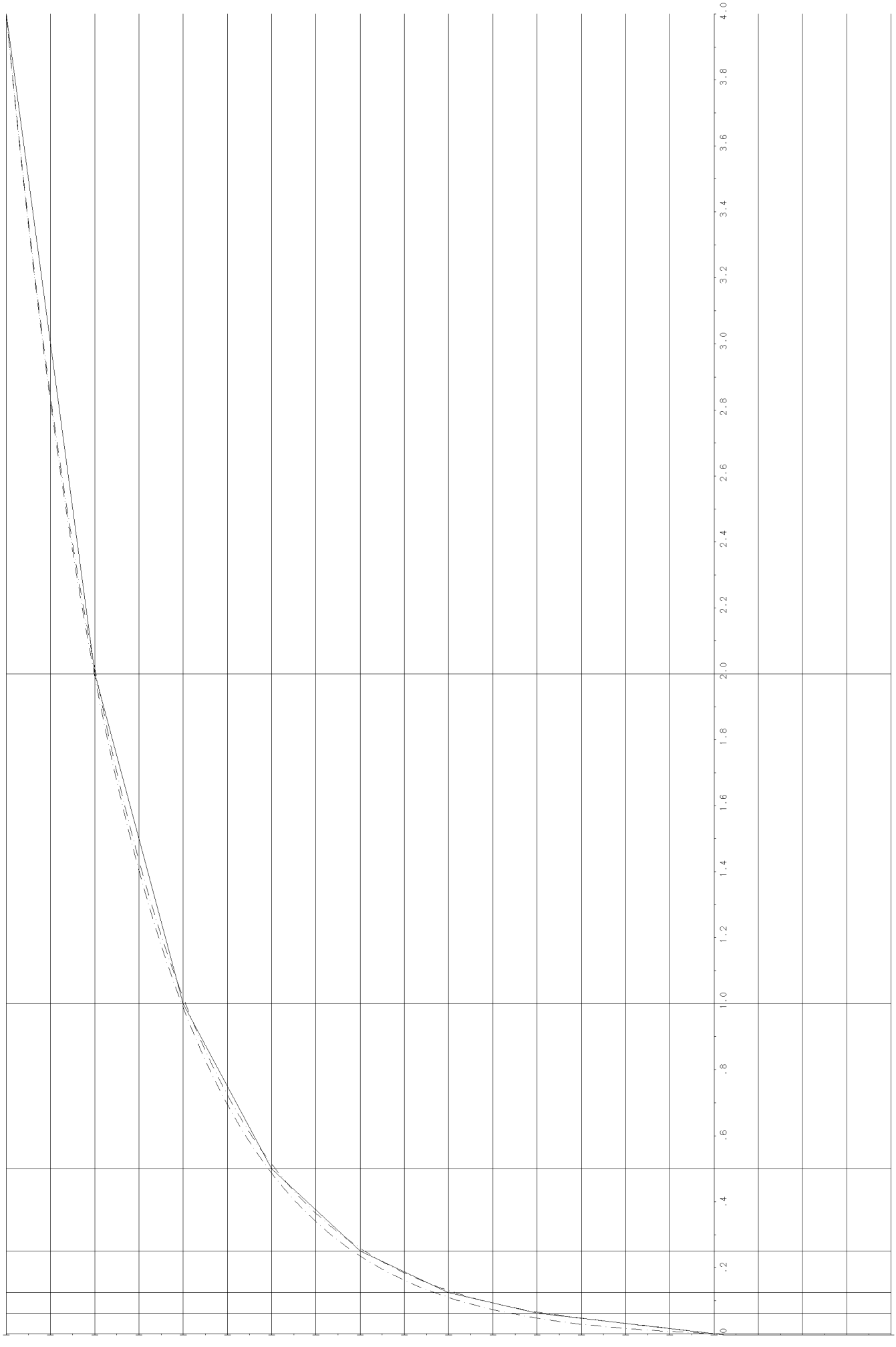
14. Warum benutzt man bei der Übertragung digitaler Signale $\cos^2$–Impulse anstatt Rechteck–Impulse ?

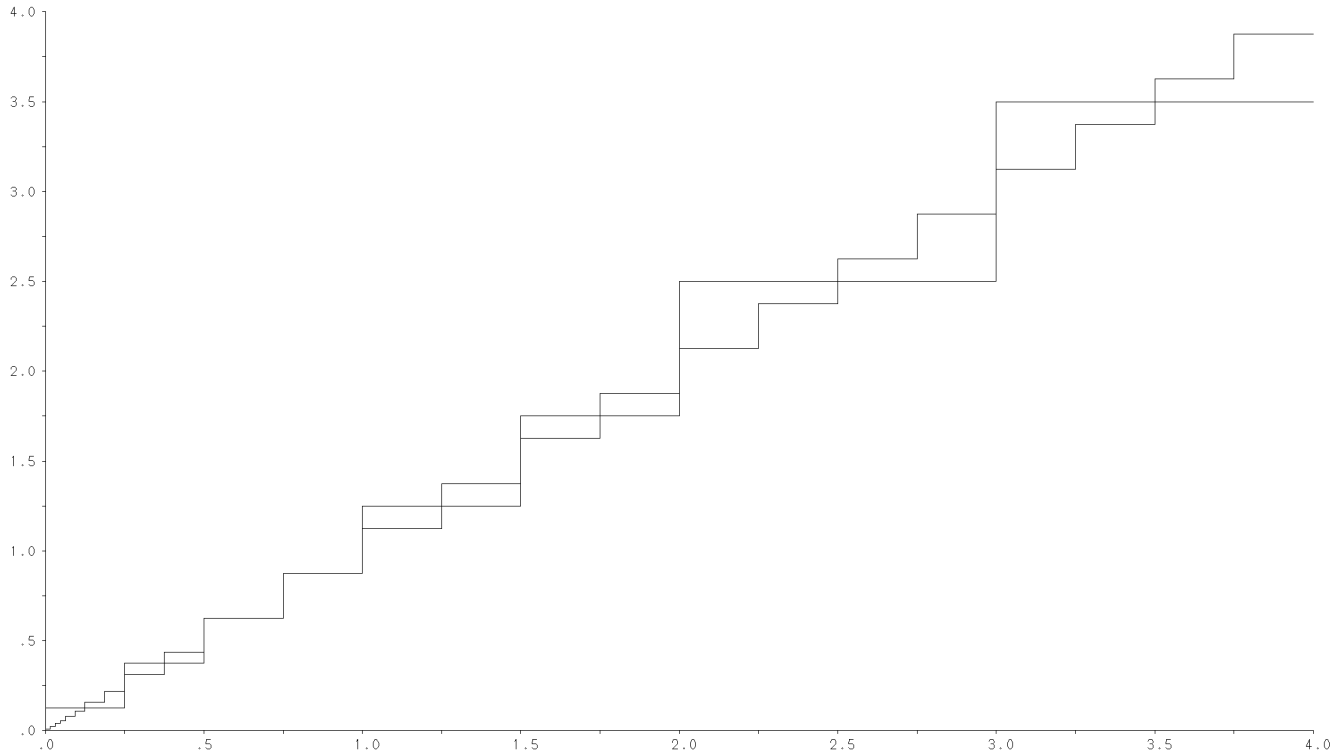
15. Skizzieren Sie das Spektrum bei ASK.

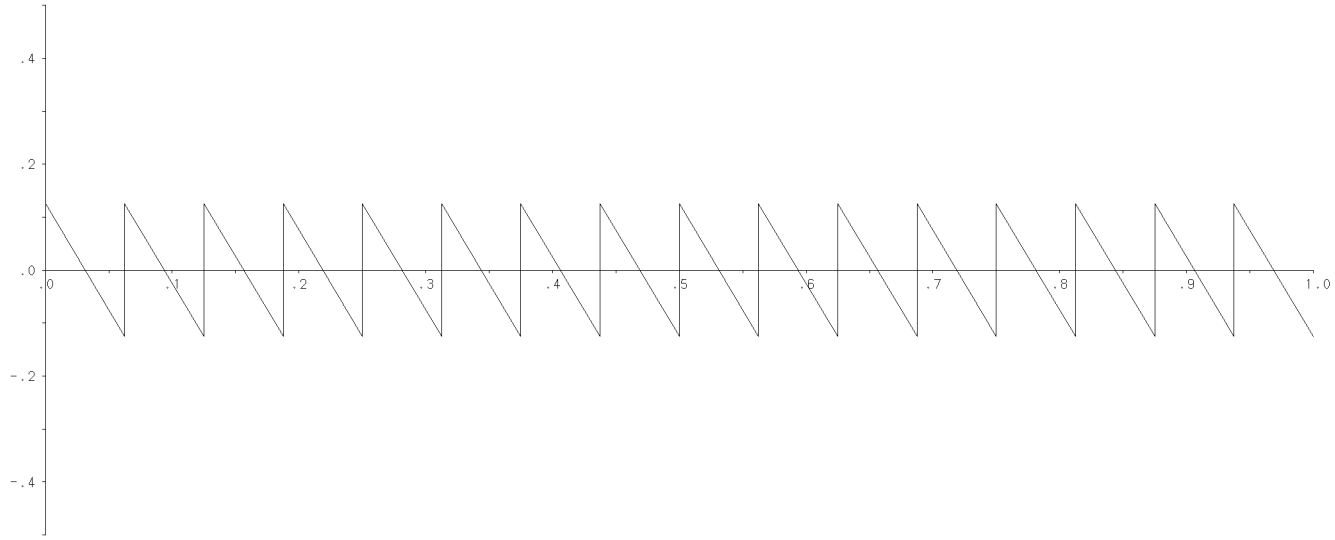
16. Skizzieren Sie das Spektrum bei FSK.

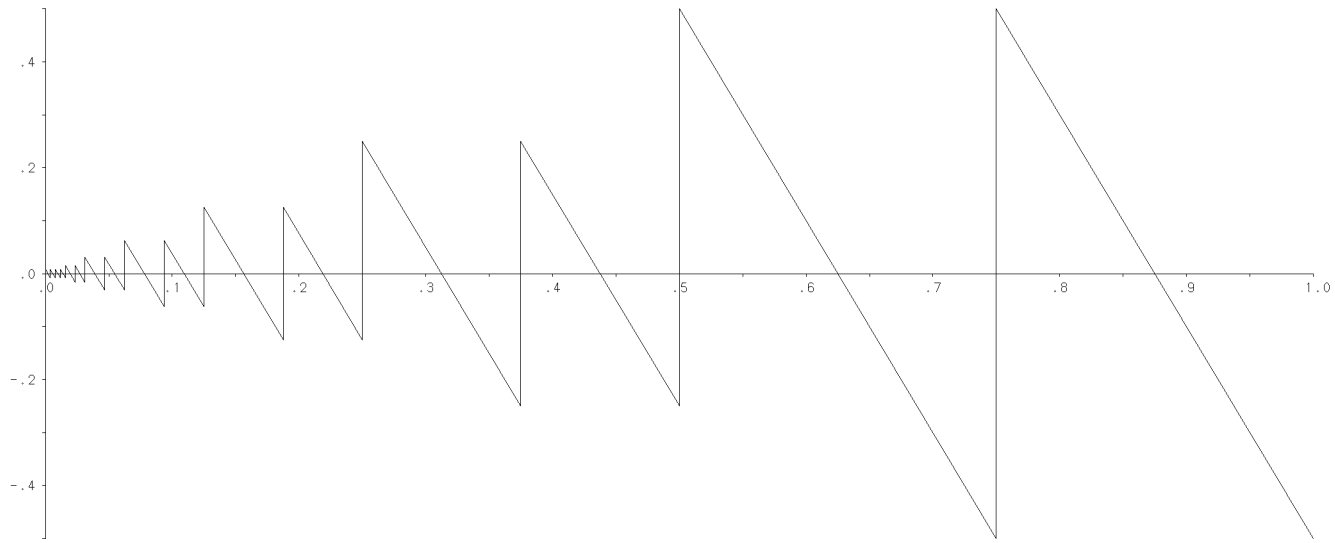
17. Skizzieren Sie das Spektrum bei 2-PSK.

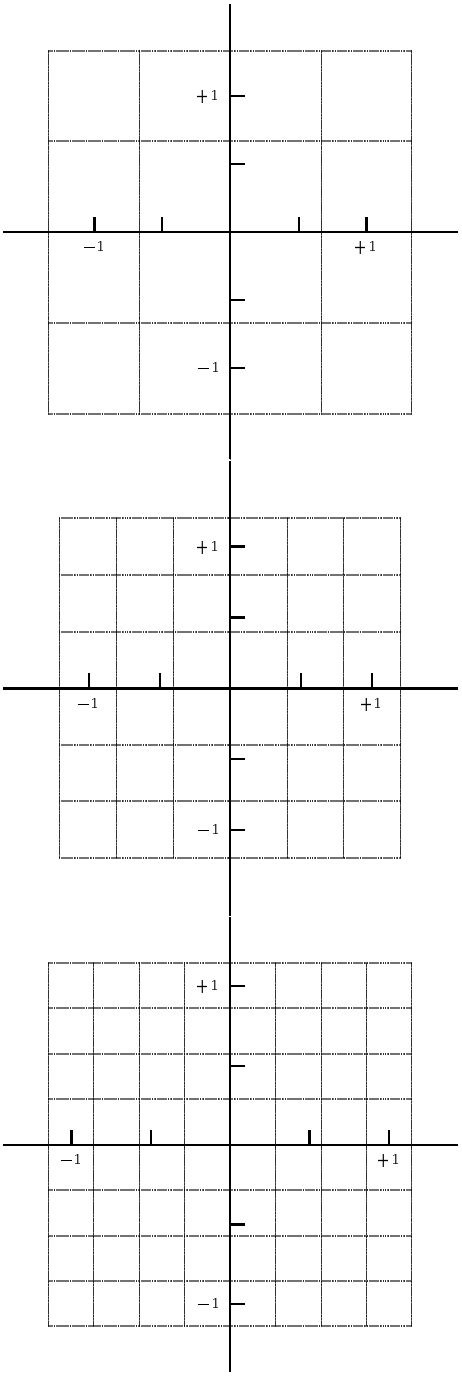

100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-80
-90
-100
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16
10
0
-10
1.0
.5
.0
1
0
-1

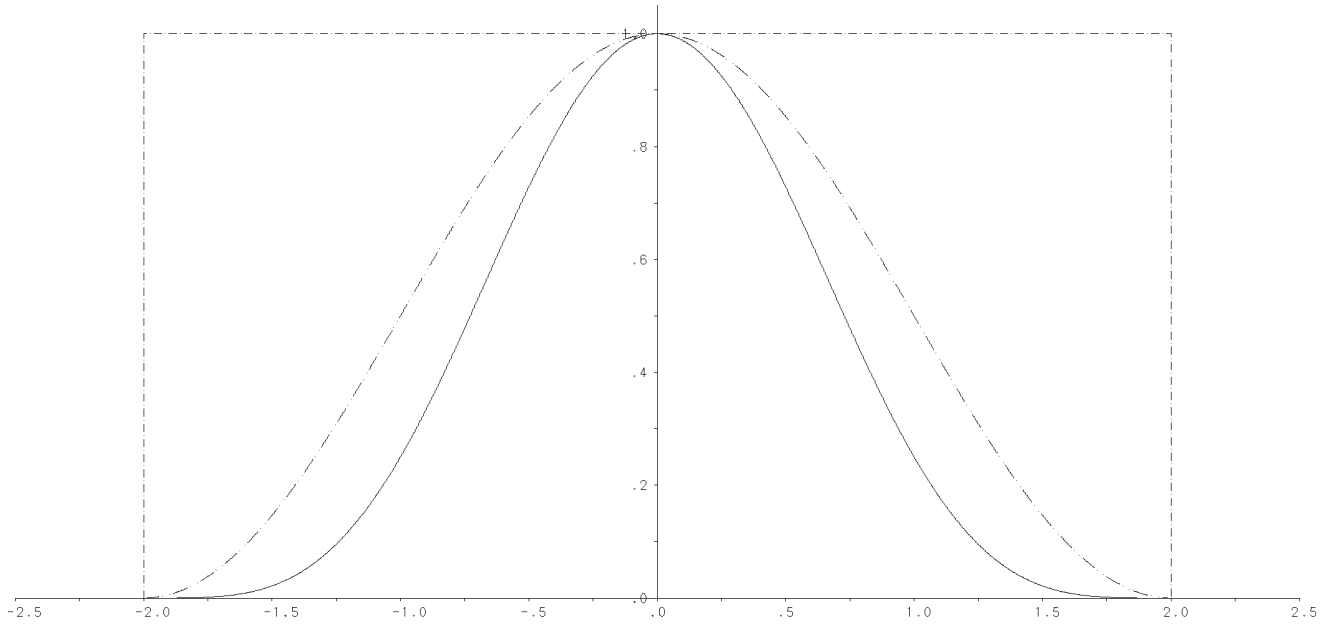

4.0
3.8
3.6
3.4
3.2
3.0
2.8
2.6
2.4
2.2
2.0
1.8
1.6
1.4
1.2
1.0
.8
.6
.4
.2
0

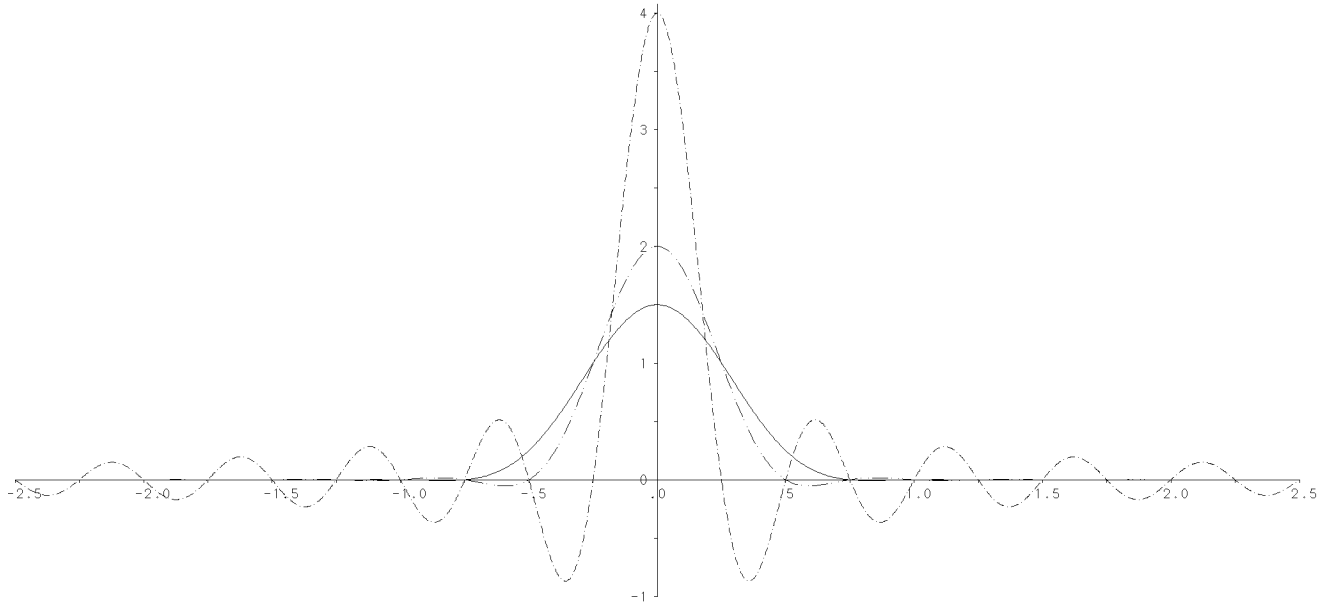

4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
.5
0
.0
.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0

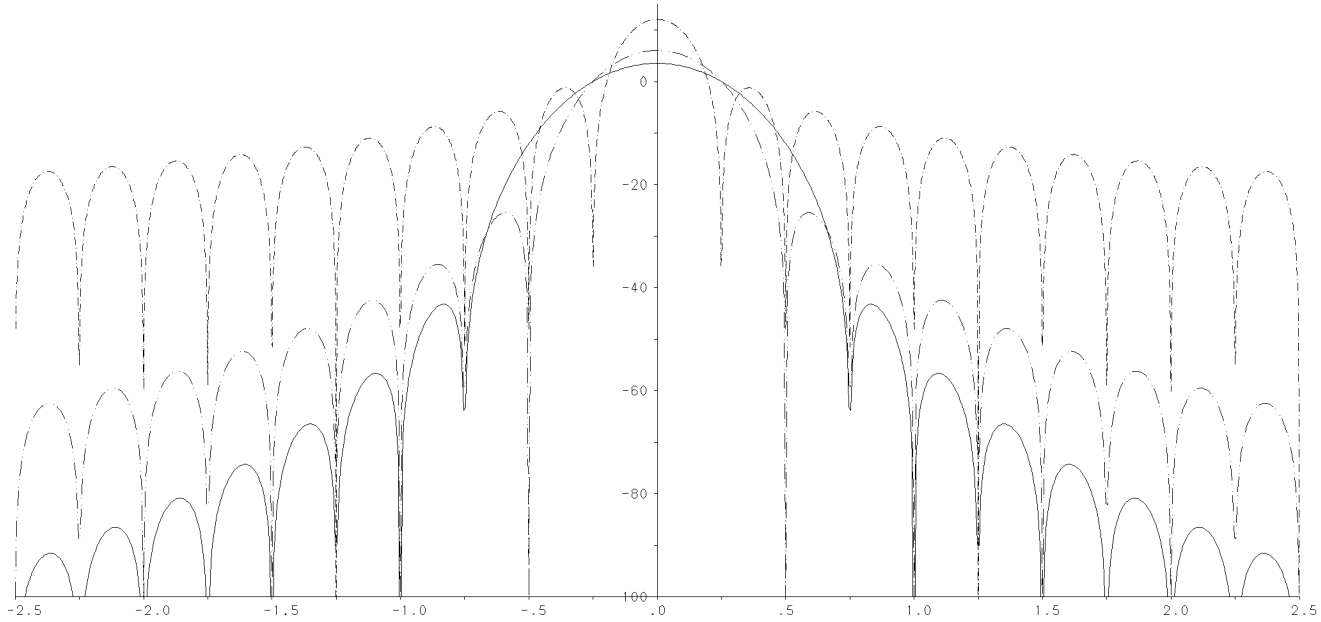

.4
.2
0
-.2
-.4
.0
.1
.2
.3
.4
.5
.6
.7
.8
.9
1.0

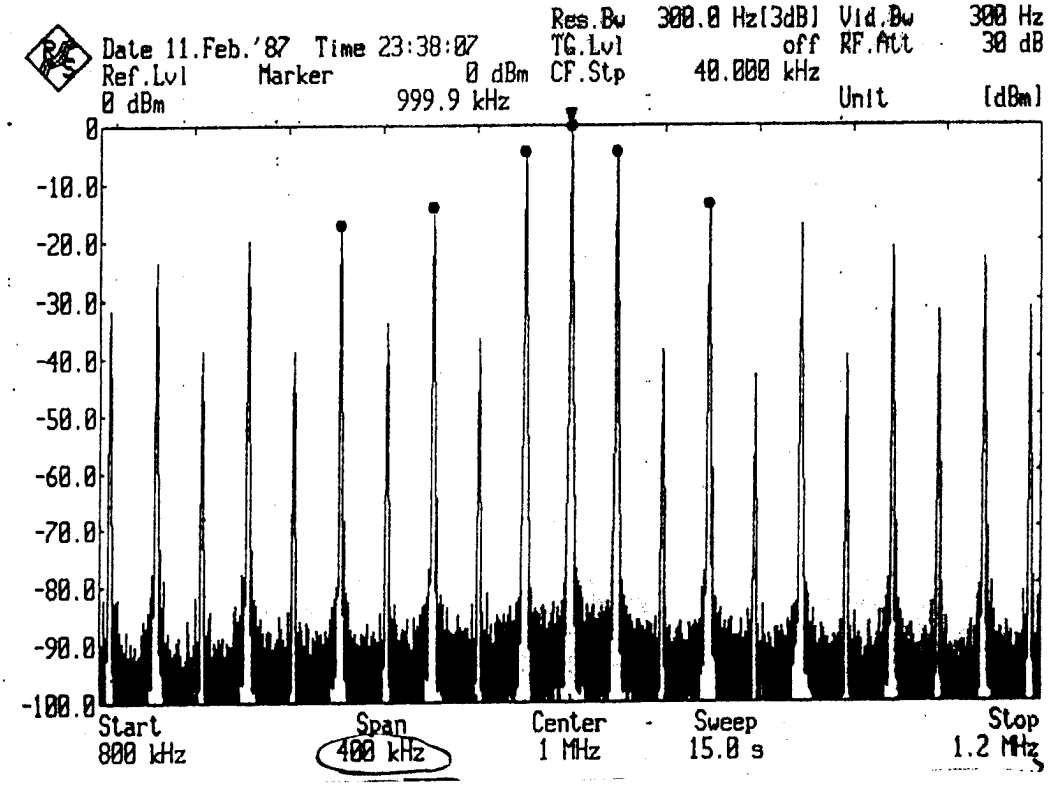

.4
.2
0
-.2
-.4
.0
.1
.2
.3
.4
.5
.6
.7
.8
.9
1.0

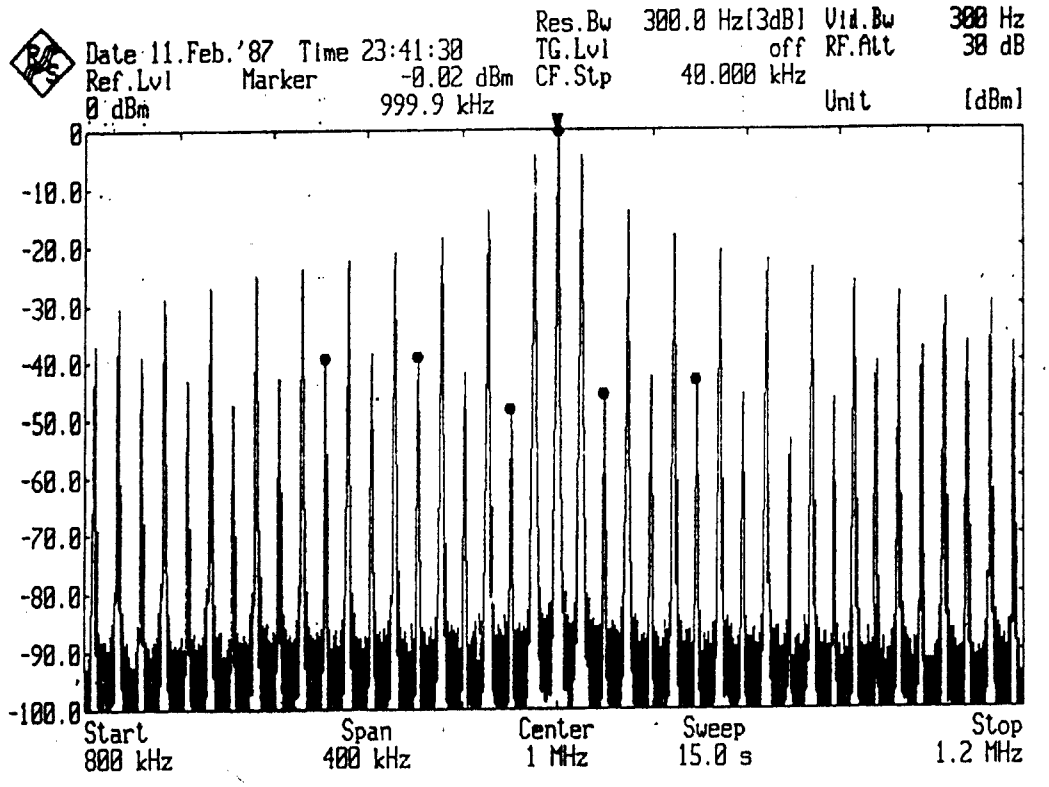

+1
−1
+1
−1
+1
−1
+1
−1
+1
−1
+1
−1

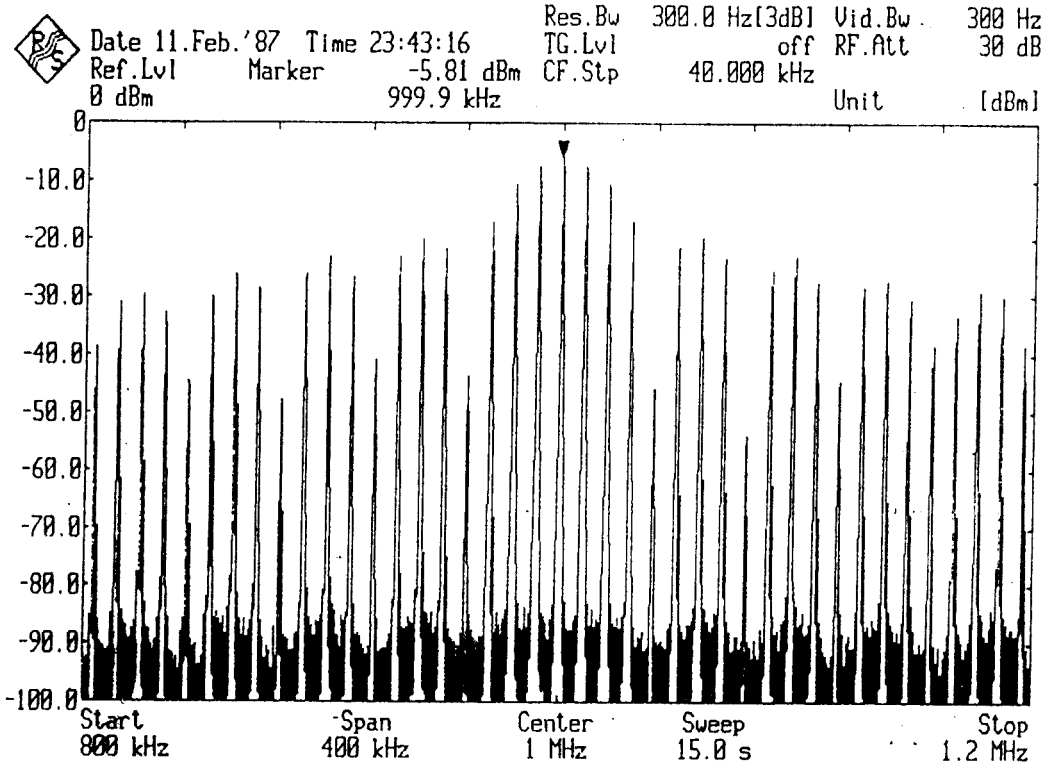

1.0
.8
.6
.4
.2
0
-2.5
-2.0
-1.5
-1.0
-.5
.0
.5
1.0
1.5
2.0
2.5

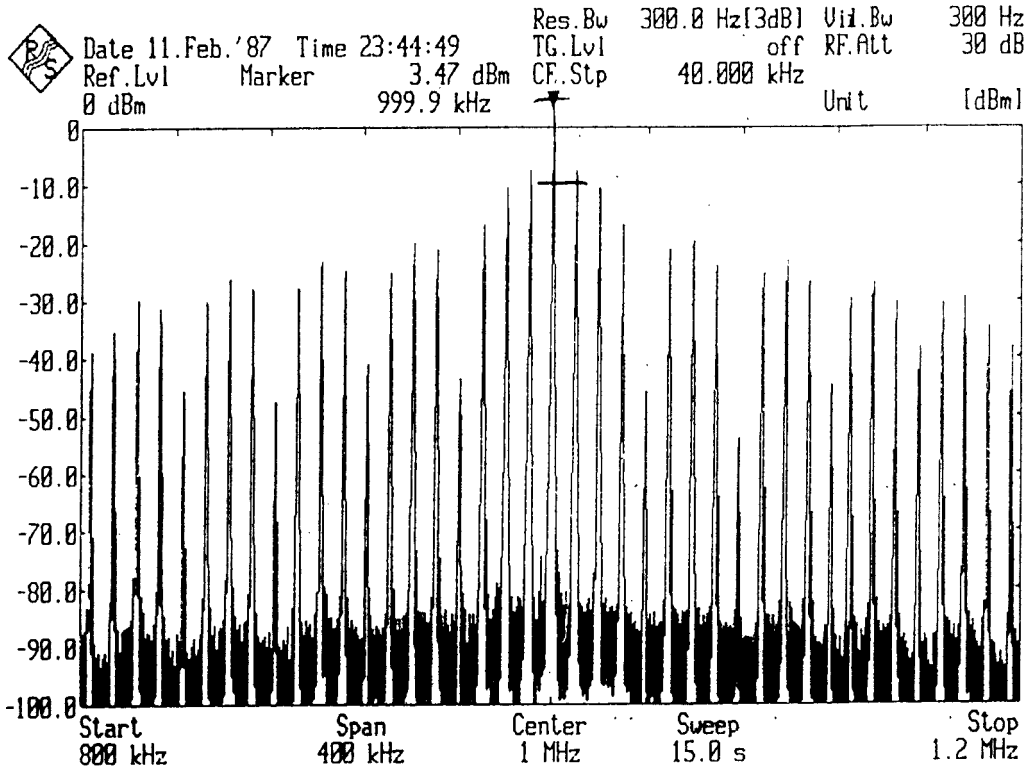

4
3
2
1
0
-1
-2.5
-2.0
-1.5
-1.0
-.5
.0
.5
1.0
1.5
2.0
2.5

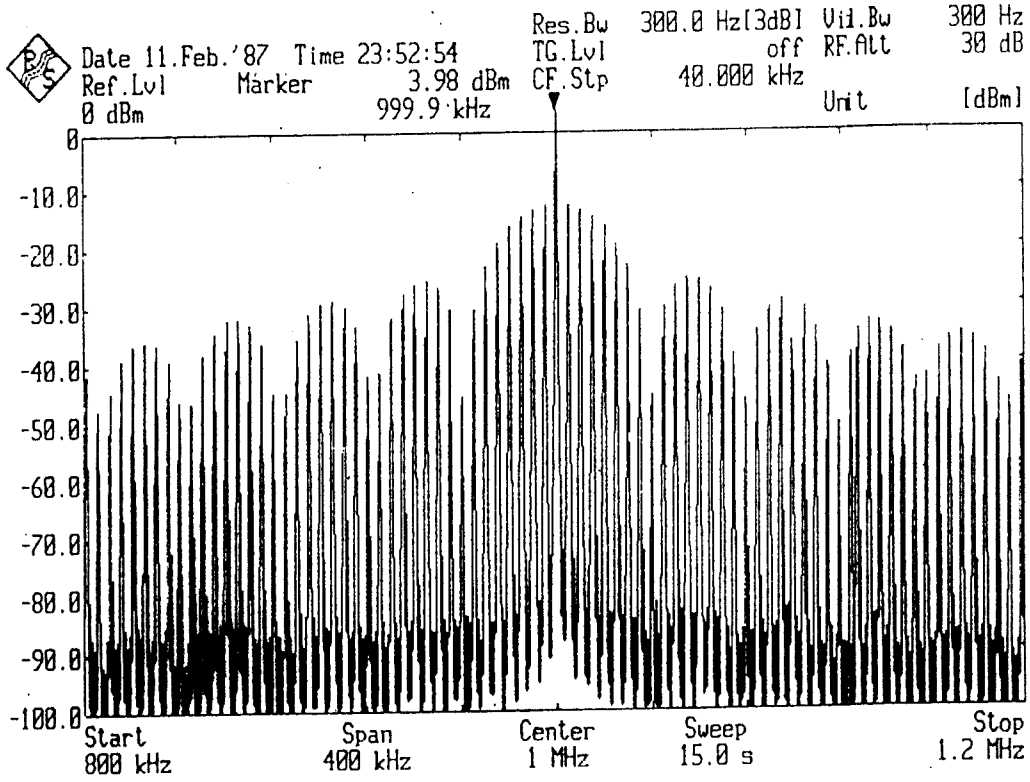

0
-20
-40
-60
-80
-100
-2.5
-2.0
-1.5
-1.0
-.5
.0
.5
1.0
1.5
2.0
2.5

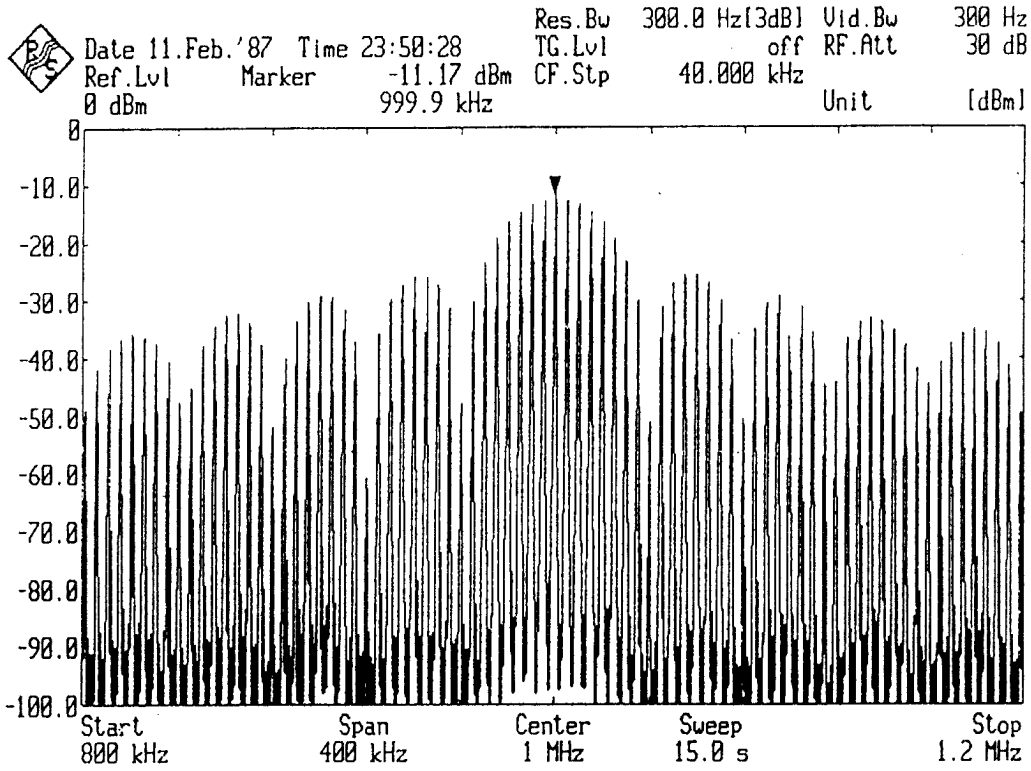

Date 11.Feb.'87 Time 23:38:07
Ref.Lvl
0 dBm
Marker
0 dBm
999.9 kHz
Res.Bw 300.0 Hz[3dB]
TG.Lvl
off
CF.Stp
40.000 kHz
Vid.Bw 300 Hz
RF.Att 30 dB
Unit [dBm]
0
-10.0
-20.0
-30.0
-40.0
-50.0
-60.0
-70.0
-80.0
-90.0
-100.0
Start
800 kHz
Span
400 kHz
Center
1 MHz
Sweep
15.0 s
Stop
1.2 MHz

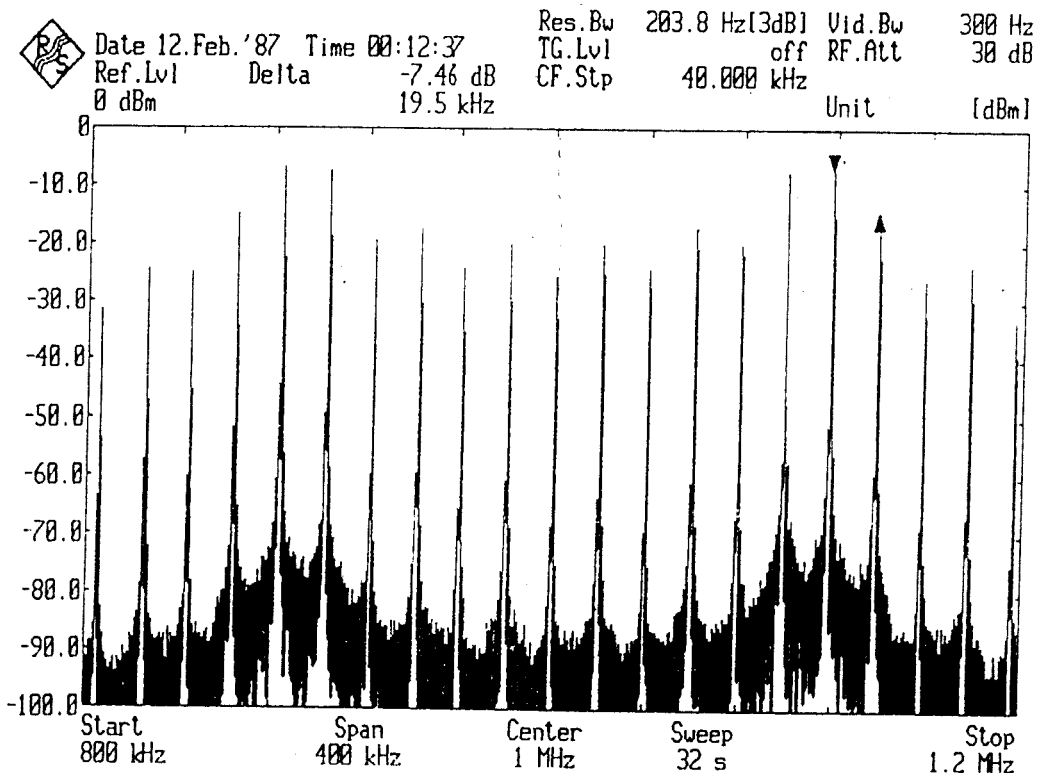

Date 11.Feb.'87 Time 23:41:30
Ref.Lvl
0 dBm
Marker
-0.02 dBm
999.9 kHz
Res.Bw 300.0 Hz[3dB]
TG.Lvl
off
CF.Stp
40.000 kHz
Vid.Bw 300 Hz
RF.Att 30 dB
Unit [dBm]
0
-10.0
-20.0
-30.0
-40.0
-50.0
-60.0
-70.0
-80.0
-90.0
-100.0
Start
800 kHz
Span
400 kHz
Center
1 MHz
Sweep
15.0 s
Stop
1.2 MHz

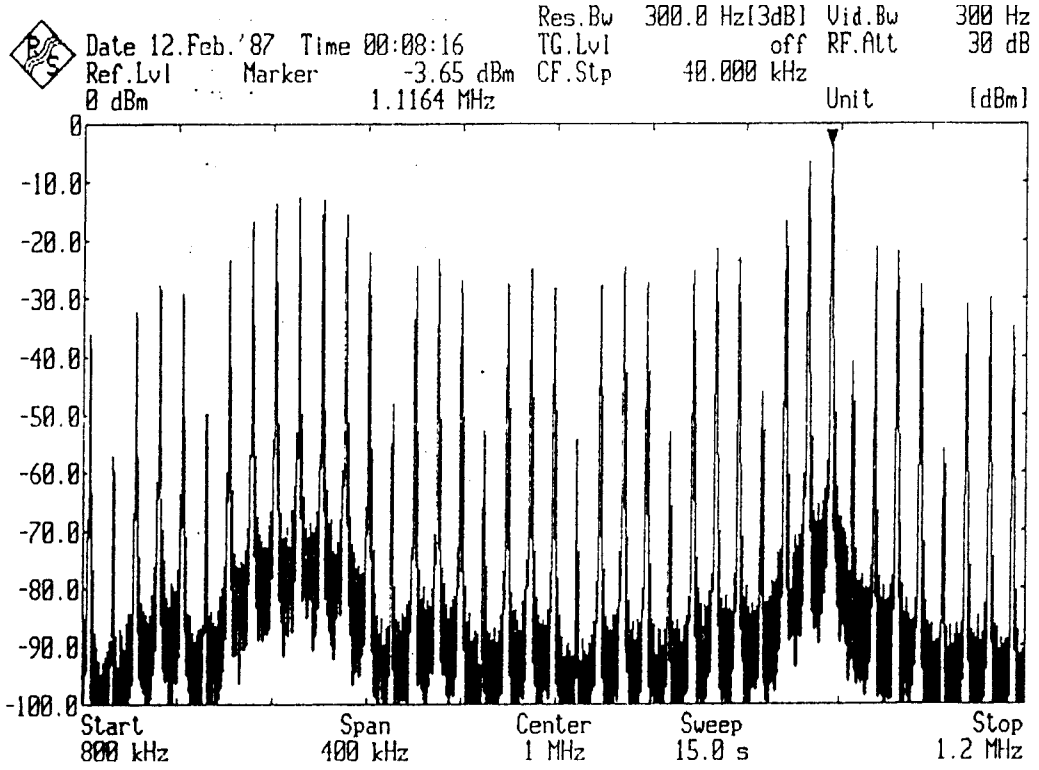

Res.Bw 300.0 Hz[3dB] Vid.Bw 300 Hz
Date 11.Feb.'87 Time 23:43:16 TG.Lvl off RF.Att 30 dB
Ref.Lvl Marker -5.81 dBm CF.Stp 40.000 kHz
0 dBm 999.9 kHz Unit [dBm]
0
-10.0
-20.0
-30.0
-40.0
-50.0
-60.0
-70.0
-80.0
-90.0
-100.0
Start Span Center Sweep Stop
800 kHz 400 kHz 1 MHz 15.0 s 1.2 MHz

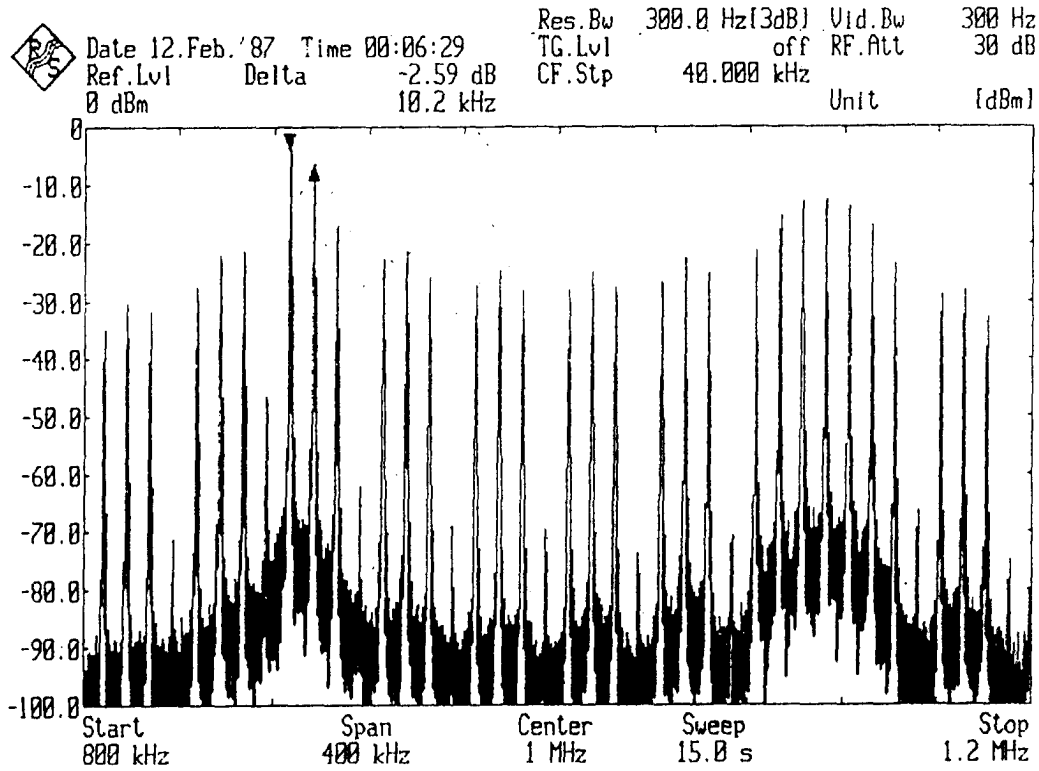

Res.Bw 300.0 Hz[3dB] Vid.Bw 300 Hz
Date 11.Feb.'87 Time 23:44:49 TG.Lvl off RF.Att 30 dB
Ref.Lvl Marker 3.47 dBm CF.Stp 40.000 kHz
0 dBm 999.9 kHz Unit [dBm]
0
-10.0
-20.0
-30.0
-40.0
-50.0
-60.0
-70.0
-80.0
-90.0
-100.0
Start Span Center Sweep Stop
800 kHz 400 kHz 1 MHz 15.0 s 1.2 MHz

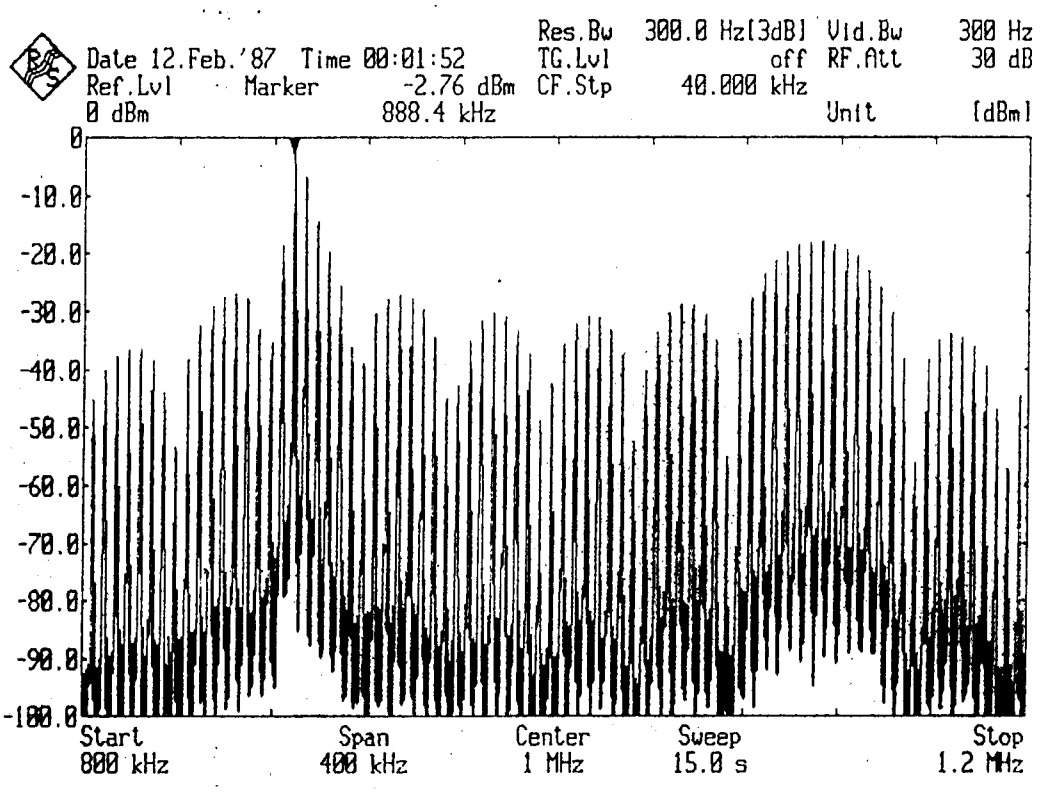

Date 11.Feb.'87 Time 23:52:54
Ref.Lvl
0 dBm
Marker
3.98 dBm
999.9 kHz
Res.Bw 300.0 Hz[3dB]
TG.Lvl
off
CF.Stp
40.000 kHz
Vid.Bw 300 Hz
RF.Att 30 dB
Unit [dBm]
0
-10.0
-20.0
-30.0
-40.0
-50.0
-60.0
-70.0
-80.0
-90.0
-100.0
Start 800 kHz
Span 400 kHz
Center 1 MHz
Sweep 15.0 s
Stop 1.2 MHz

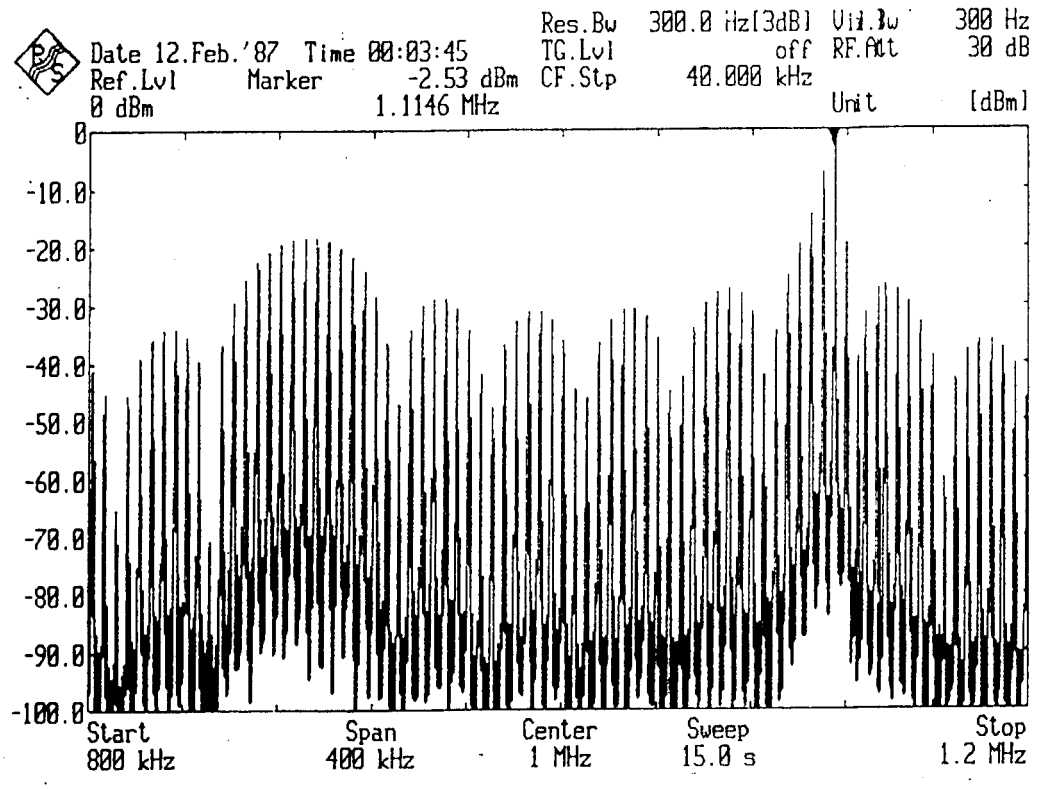

Date 11.Feb.'87 Time 23:50:28
Ref.Lvl
0 dBm
Marker
-11.17 dBm
999.9 kHz
Res.Bw 300.0 Hz[3dB]
TG.Lvl
off
CF.Stp
40.000 kHz
Vid.Bw 300 Hz
RF.Att 30 dB
Unit [dBm]
0
-10.0
-20.0
-30.0
-40.0
-50.0
-60.0
-70.0
-80.0
-90.0
-100.0
Start 800 kHz
Span 400 kHz
Center 1 MHz
Sweep 15.0 s
Stop 1.2 MHz

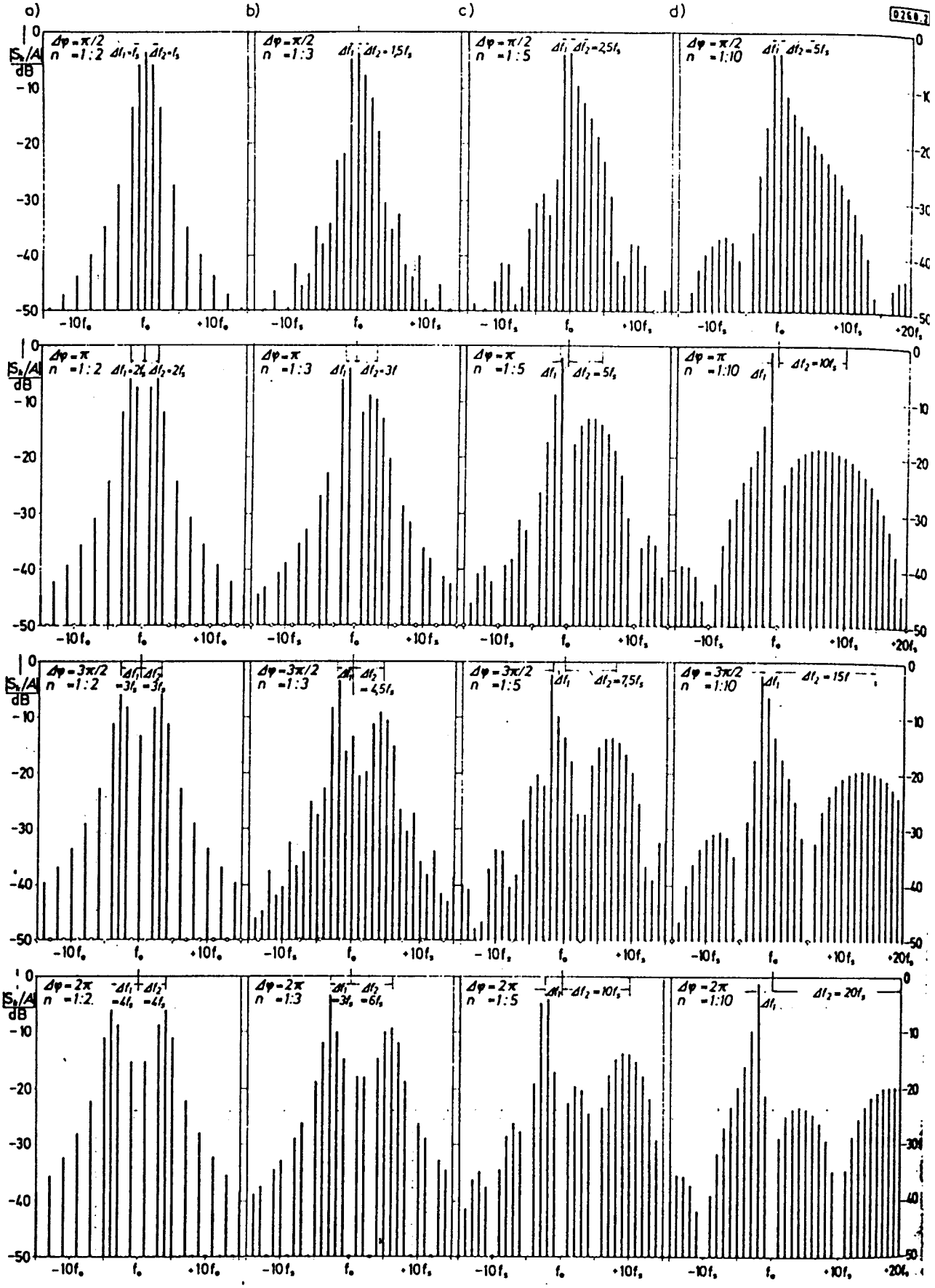

Date 12.Feb.'87 Time 00:12:37
Ref.Lvl
0 dBm
Delta
-7.46 dB
19.5 kHz
Res.Bw 203.8 Hz[3dB]
TG.Lvl off
CF.Stp 40.000 kHz
Vid.Bw 300 Hz
RF.Att 30 dB
Unit [dBm]
0
-10.0
-20.0
-30.0
-40.0
-50.0
-60.0
-70.0
-80.0
-90.0
-100.0
Start 800 kHz
Span 400 kHz
Center 1 MHz
Sweep 32 s
Stop 1.2 MHz


Res.Bw 300.0 Hz[3dB] Vid.Bw 300 Hz
Date 12.Feb.'87 Time 00:08:16 TG.Lvl off RF.Att 30 dB
Ref.Lvl Marker -3.65 dBm CF.Stp 40.000 kHz
0 dBm 1.1164 MHz Unit [dBm]
0
-10.0
-20.0
-30.0
-40.0
-50.0
-60.0
-70.0
-80.0
-90.0
-100.0
Start 800 kHz
Span 400 kHz
Center 1 MHz
Sweep 15.0 s
Stop 1.2 MHz


Res.Bw 300.0 Hz[3dB] Vid.Bw 300 Hz
Date 12.Feb.'87 Time 00:06:29 TG.Lvl off RF.Att 30 dB
Ref.Lvl Delta -2.59 dB CF.Stp 40.000 kHz
0 dBm 10.2 kHz Unit [dBm]
0
-10.0
-20.0
-30.0
-40.0
-50.0
-60.0
-70.0
-80.0
-90.0
-100.0
Start 800 kHz
Span 400 kHz
Center 1 MHz
Sweep 15.0 s
Stop 1.2 MHz


Date 12.Feb.'87 Time 00:01:52
Ref.Lvl
0 dBm
Marker
888.4 kHz
-2.76 dBm
Res.Bw 300.0 Hz[3dB]
TG.Lvl
off
CF.Stp
40.000 kHz
Vid.Bw 300 Hz
RF.Att 30 dB
Unit [dBm]
0
-10.0
-20.0
-30.0
-40.0
-50.0
-60.0
-70.0
-80.0
-90.0
-100.0
Start 800 kHz
Span 400 kHz
Center 1 MHz
Sweep 15.0 s
Stop 1.2 MHz


Date 12.Feb.'87 Time 00:03:45
Ref.Lvl
0 dBm
Marker
1.1146 MHz
-2.53 dBm
Res.Bw 300.0 Hz[3dB]
TG.Lvl
off
CF.Stp
40.000 kHz
Vid.Bw 300 Hz
RF.Att 30 dB
Unit [dBm]
0
-10.0
-20.0
-30.0
-40.0
-50.0
-60.0
-70.0
-80.0
-90.0
-100.0
Start 800 kHz
Span 400 kHz
Center 1 MHz
Sweep 15.0 s
Stop 1.2 MHz


a)
b)
c)
d)
$\Delta\varphi = \pi/2$ $n = 1:2$ $\Delta f_1 = f_s$ $\Delta f_2 = f_s$
$\Delta\varphi = \pi/2$ $n = 1:3$ Δf_1 $\Delta f_2 = 1{,}5 f_s$
$\Delta\varphi = \pi/2$ $n = 1:5$ Δf_1 $\Delta f_2 = 2{,}5 f_s$
$\Delta\varphi = \pi/2$ $n = 1:10$ Δf_1 $\Delta f_2 = 5 f_s$
$\Delta\varphi = \pi$ $n = 1:2$ $\Delta f_1 = 2 f_s$ $\Delta f_2 = 2 f_s$
$\Delta\varphi = \pi$ $n = 1:3$ Δf_1 $\Delta f_2 = 3 f$
$\Delta\varphi = \pi$ $n = 1:5$ Δf_1 $\Delta f_2 = 5 f_s$
$\Delta\varphi = \pi$ $n = 1:10$ Δf_1 $\Delta f_2 = 10 f_s$
$\Delta\varphi = 3\pi/2$ $n = 1:2$ Δf_1 Δf_2 $= 3 f_s$ $= 3 f_s$
$\Delta\varphi = 3\pi/2$ $n = 1:3$ Δf_1 Δf_2 $= 4{,}5 f_s$
$\Delta\varphi = 3\pi/2$ $n = 1:5$ Δf_1 $\Delta f_2 = 7{,}5 f_s$
$\Delta\varphi = 3\pi/2$ $n = 1:10$ Δf_1 $\Delta f_2 = 15 f$
$\Delta\varphi = 2\pi$ $n = 1:2$ Δf_1 Δf_2 $= 4 f_s$ $= 4 f_s$
$\Delta\varphi = 2\pi$ $n = 1:3$ Δf_1 Δf_2 $= 3 f_s$ $= 6 f_s$
$\Delta\varphi = 2\pi$ $n = 1:5$ Δf_1 $\Delta f_2 = 10 f_s$
$\Delta\varphi = 2\pi$ $n = 1:10$ Δf_1 $\Delta f_2 = 20 f_s$
$|S_k/A|$ dB
0
-10
-20
-30
-40
-50
$-10 f_s$
f_s
$+10 f_s$
$+20 f_s$

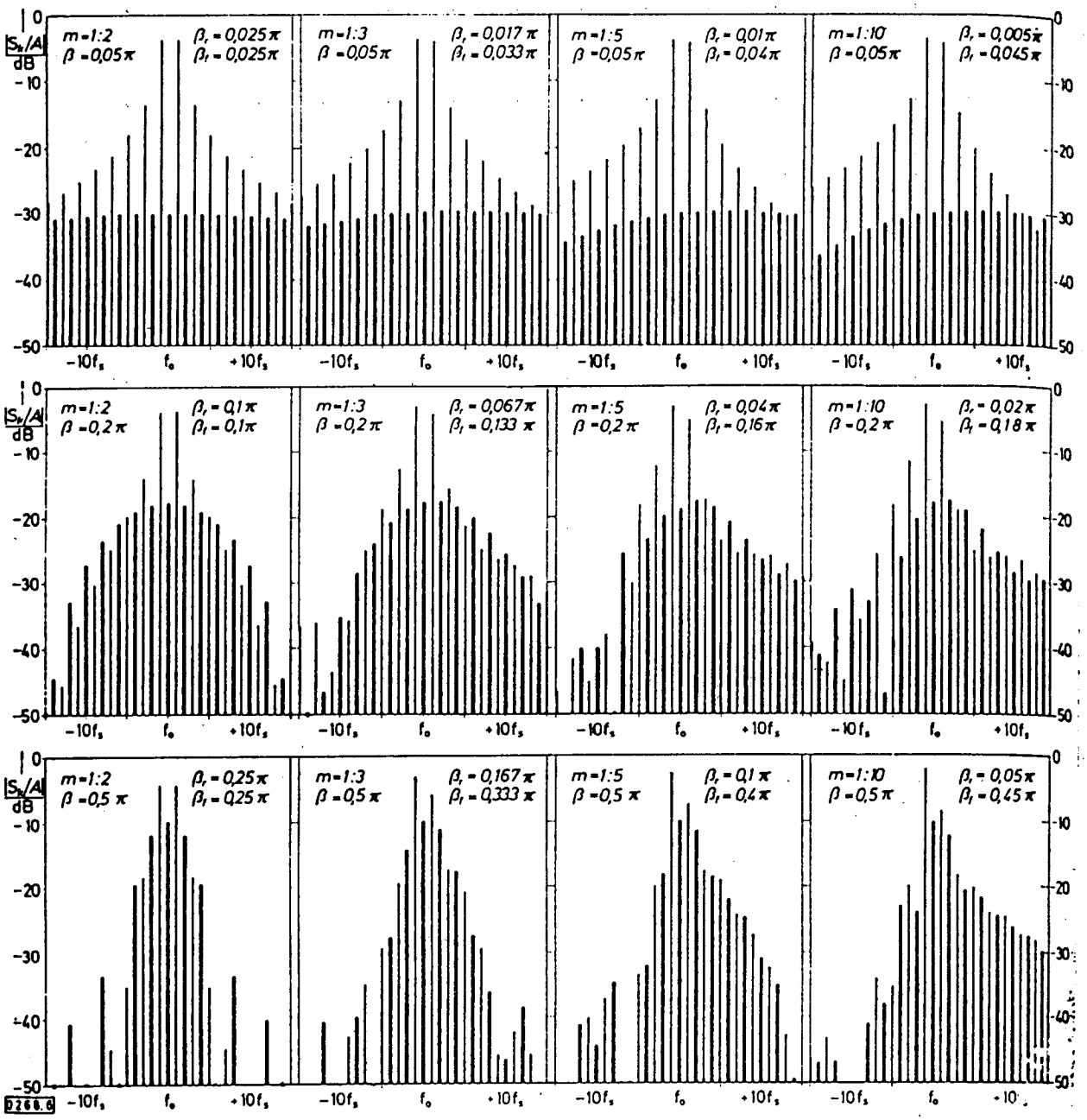


Bild 6.
Spektren bei weicher Phasenumtastung zwischen $\varphi = +\pi/2$ und $-\pi/2$. Tastverhältnis $n = 1:2$; Phasenübergangswinkel $\beta = \beta_r + \beta_f = 0{,}05\,\pi,\ 0{,}2\,\pi,\ 0{,}5\,\pi$; Flankenwinkelverhältnis $m = \beta_r/(\beta_r + \beta_f) = 1:2,\ 1:3,\ 1:5,\ 1:10$.

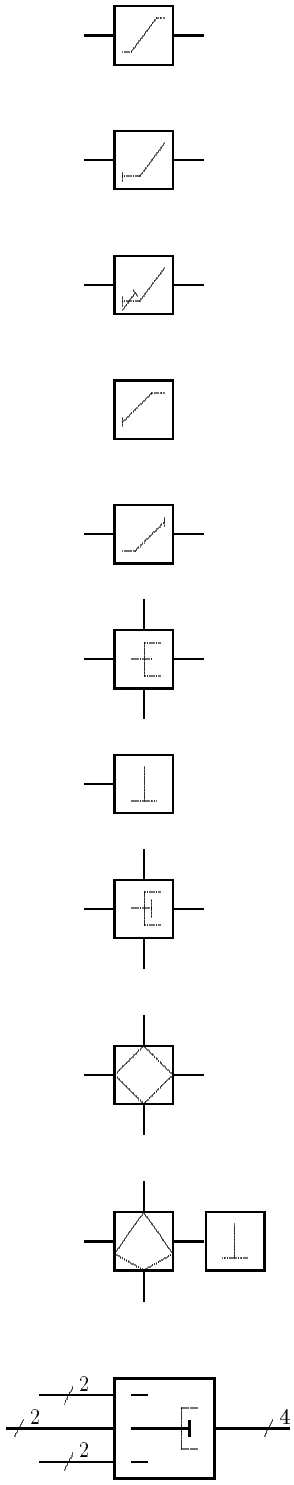
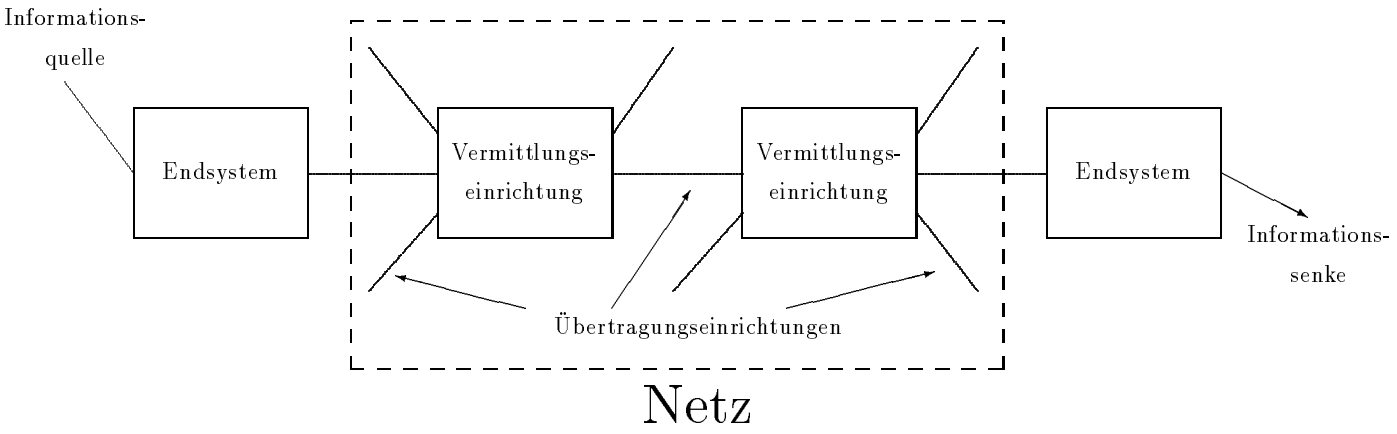


Abbildung 5.52: ausgewählte Schaltzeichen für die Fernmeldetechnik nach DIN 40900

Kapitel 6

Fernsprechsysteme



6.1 Bandbreite bei Fernsprechsystemen

Eigenschaften des Gehörs

Außenohr + Ohrkanal + Kopfform = richtungsabhängiges Filter

Dies dient zusammen mit dem beidohrigen Hören zum dreidimensionalen Richtungshörvermögen.

Mittelohr Dynamikregelung, Impedanzanpassung an Innenohr

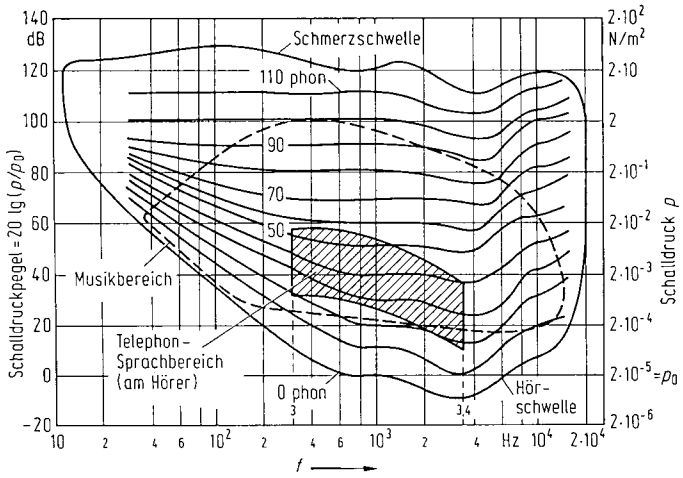
Innenohr mechanische Kurzzeitspektralanalyse (24 000 Haarzellen), deren Ergebnisse über Energiedetektoren in Nervensignale umgesetzt werden.

Der Frequenz– und Dynamikbereich, in dem die Schallsignale gehört werden können, sowie der psychophysikalisch ermittelte Zusammenhang zwischen Schalldruck und subjektivem Lautstärkeempfinden wird in der Hörflächendarstellung zusammengefaßt.

Die Bandbreite des Gehörs reicht von 16 Hz bis 20 kHz. (Frequenzen unter 16 Hz Infraschall, Frequenzen 16 Hz – 30 Hz werden mehr über das Zwerchfell, als über das Ohr aufgenommen.)
Dynamikbereich überstreicht ca. 120 dB.

Im günstigsten Fall werden Frequenzunterschiede von 2 Hz und Schalldruckänderungen von 0.5 dB wahrgenommen. Bei zwei benachbarten Tönen wird der schwächere Ton durch den stärkeren Ton verdeckt, d.h. die Hörschwelle wird durch den stärkeren Ton angehoben. Diese Eigenschaften der Verdeckung spielen insbesondere für die Verständlichkeit von gestörter Sprache eine Rolle. Um Musiksignale originalgetreu übertragen zu können, braucht man einen Frequenzbereich von 40 Hz bis 15 kHz (UKW !) und einen Dynamikbereich von ca.

Schalldruckpegel :
$L = 20 * log\frac{p}{p_0}$



für 1 kHz gilt :
L_N in Phon entspricht L in dB

Alle *subjektiv* gleichlauten Sinustöne haben gleichen L_N

Abbildung 6.1: Frequenz– und Pegelabhängigkeit des Höreindrucks Quelle:[4] D28

90 dB. Für eine klanggetreue Wiedergabe würden 80 Hz bis 12 kHz benötigt, für eine natürliche Übertragung von Sprachsignalen 200 Hz bis 6 kHz. Bei Beschränkung auf das Kriterium Verständlichkeit benötigt man nur 300 Hz bis 3.4 kHz.

Was ist Verständlichkeit ?
Gebräuchlichstes Maß ist die Silbenverständlichkeit. Sie gibt an, welcher Anteil einer Anzahl ausgesuchter, sinnloser Silben (Logatome) unter vorgegebenen Versuchsbedingungen richtig verstanden wird. Sprachkanäle sollen mindestens 80% Silbenverständlichkeit erreichen, dem entspricht 90% Wortverständlichkeit und 97% Satzverständlichkeit. Empirisch ermittelt wurden die beiden Grenzfrequenzen 300 Hz und 3.4 kHz.

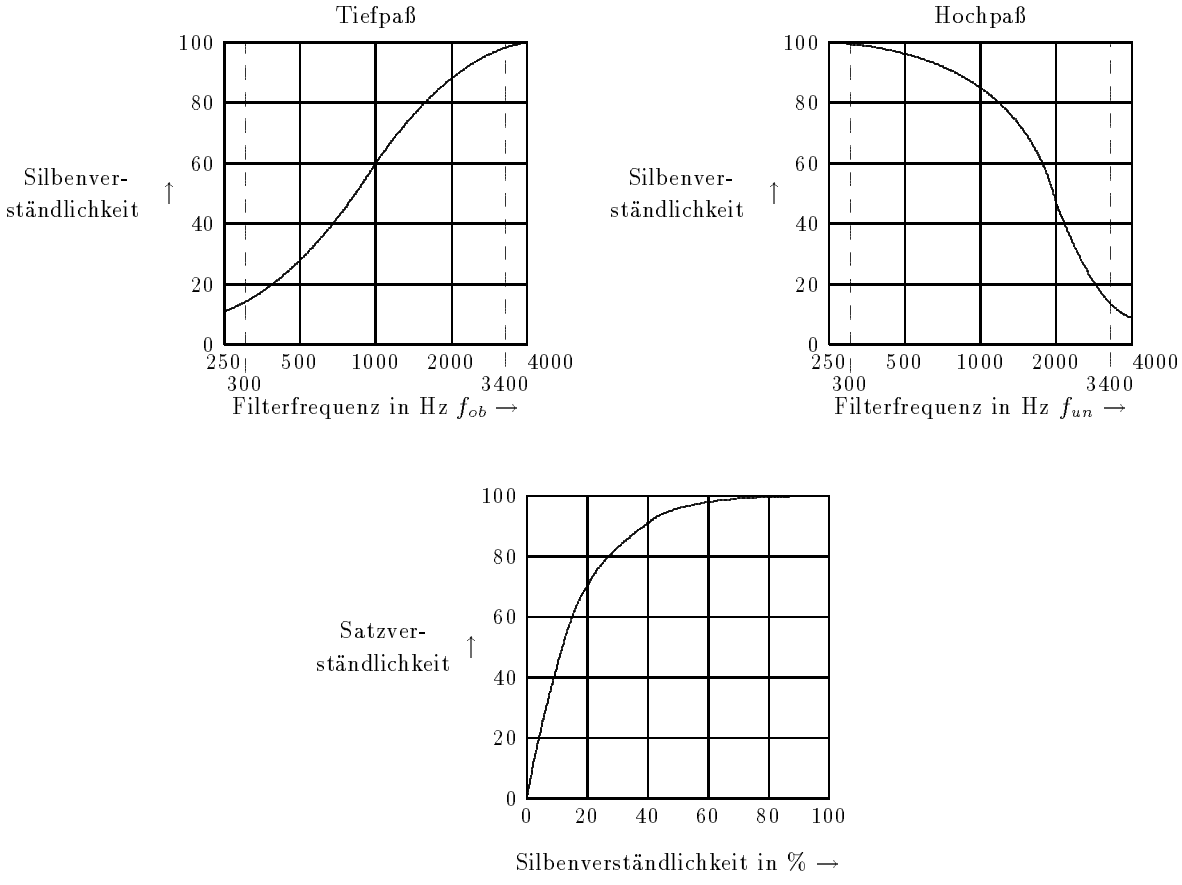
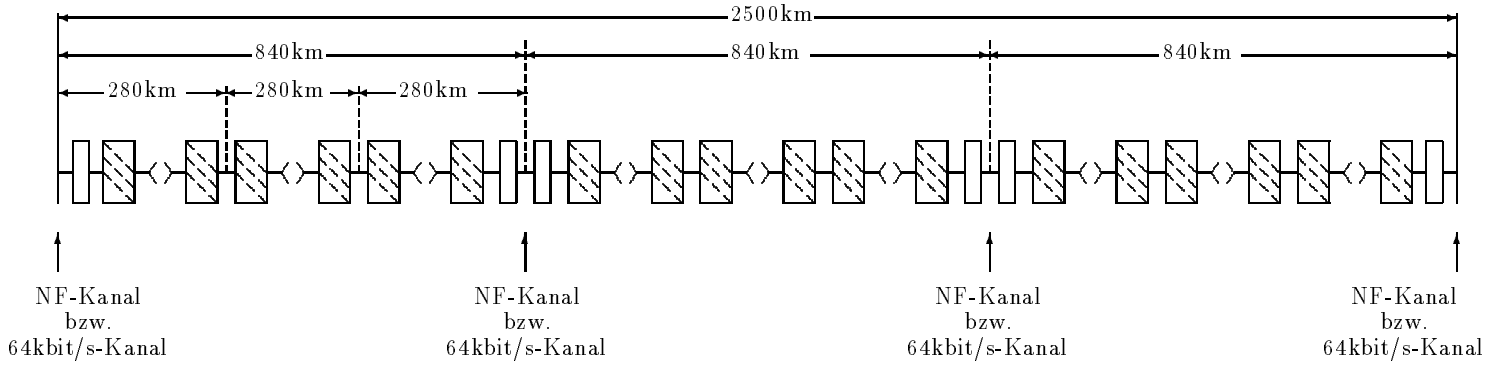


Abbildung 6.2: Einfluß Bandbreite auf Verständlichkeit

6.2 Übertragungsanforderungen

Die folgenden Angaben gelten nach Normung ITU–T für einen fiktiven Bezugskreis von 2500 km Länge.



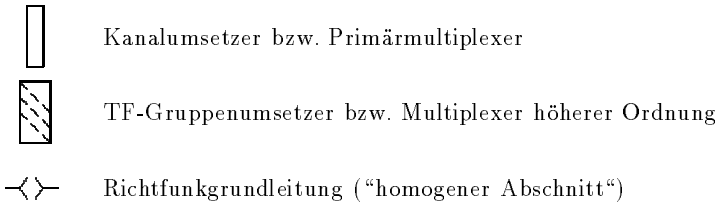


Abbildung 6.3: Hypothetischer Bezugskreis für Richtfunksysteme ITU–R

6.2.1 Dämpfungsverzerrungen a(f)

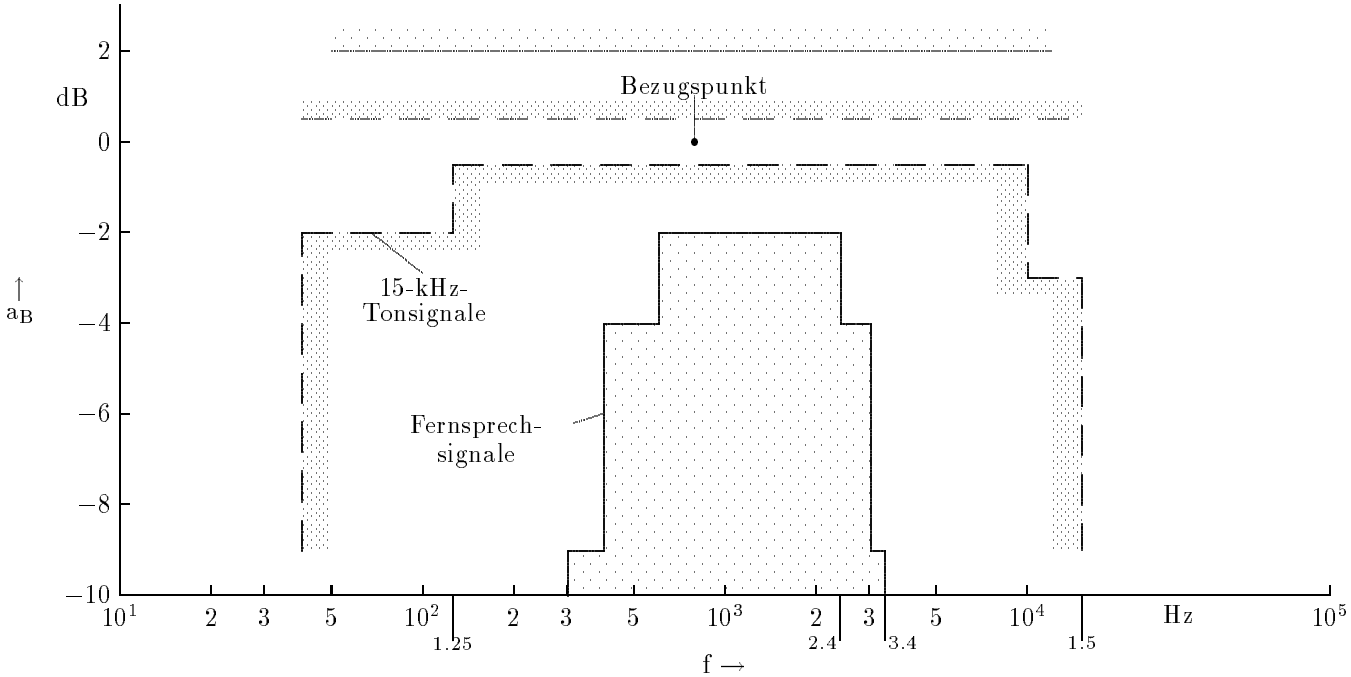


Abbildung 6.4: Toleranzschema

Bezugspunkt ist 800 Hz !!

Δa zwischen Stereo–Kanälen

< 0.8 dB	125 Hz	$< f <$	10 kHz
< 1.5 dB	40 Hz	$< f <$	125 Hz
< 1.5 dB	10 kHz	$< f <$	14 kHz
< 3.0 dB	14 kHz	$< f <$	15 kHz

6.2.2 Gruppenlaufzeitverzerrungen

Grenzwerte maximaler Abweichung Δt_g von der minimalen Gruppenlaufzeit. Fernsprechkanal

300 Hz 60 ms

3.4 kHz 30 ms

6.2.3 absolute Laufzeit

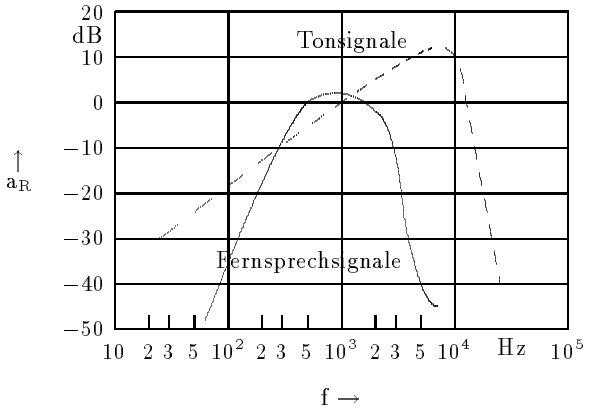
Stört Sprachfluß beim Gespräch, maximal 400 ms in einer Richtung für internationale Verbindungen zugelassen. Echokompensationsmaßnahmen ab 150 ms.

6.2.4 Nichtlineare Verzerrungen

Hörbarkeit von und Störung durch nichtlineare Verzerrungen sind u.a. stark von der Signalbandbreite abhängig. Vergleich Bandbreite in kHz gegen Gesamtklirrfaktor in %.

kHz	hörbar	unangenehm
15	0.7	2.6
10	1.0	4.0
5	1.2	8.0
3	1.4	18 ... 20

6.2.5 Störabstand

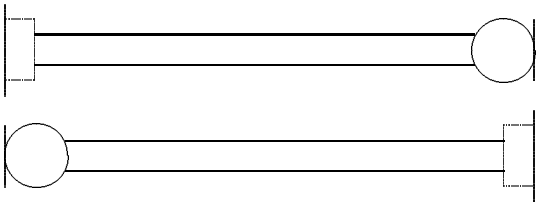


Weil die Empfindlichkeit des Gehörs sehr frequenzabhängig ist, wirken sich Störgeräusche in verschiedenen Frequenzbereichen unterschiedlich aus. Deshalb mißt man die Störleistung mit Filterkurven bewertet, als *Geräuschleistung*. Für Tonübertragung sollte der Störabstand > 56 dB, für Telefon > 50 dB sein.

Störabstand in dB	40	30	20
Silbenverständlichkeit in %	-2	-5	-15

Abbildung 6.5: Psophometerkurven

6.3 Funktionsprinzip Telefon analog



Telefonverbindung zwischen 2 Teilnehmern
einfachster Fall: Vierdraht–Verbindung

Abbildung 6.6: Telefon Vierdrahtverbindung

Draht sparen ——> Zweidraht mit Gabel und Nachbildung

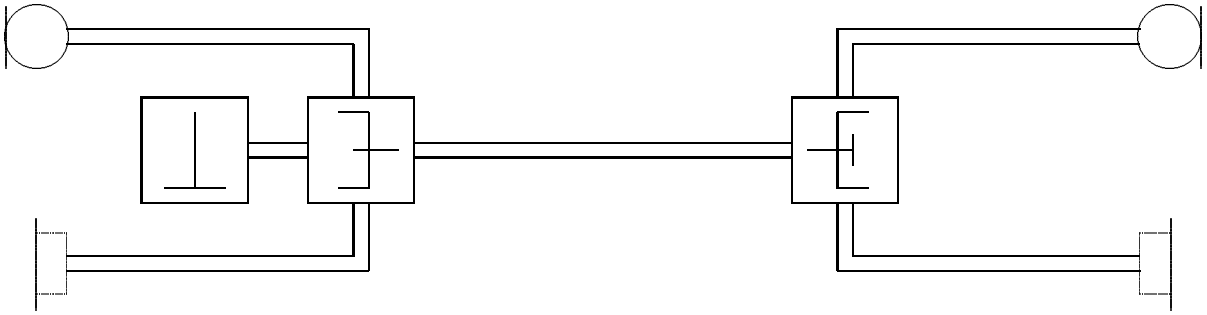
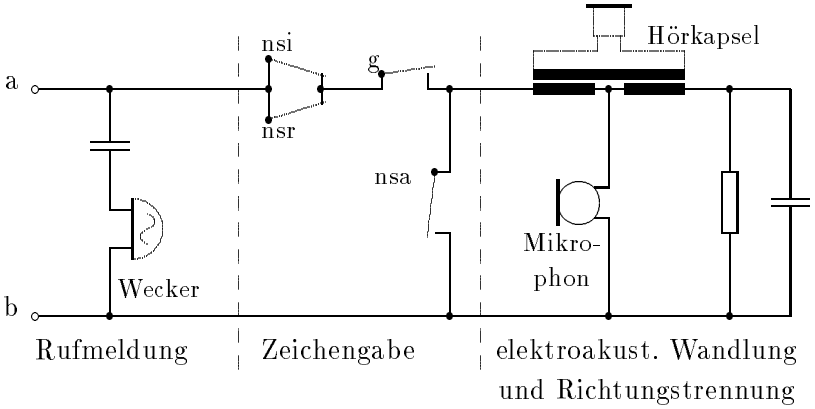


Abbildung 6.7: Telefon Zweidrahtverbindung



Zeichengabe und Signalisierung:
Wählimpulse,
Wählton,
Besetztton,
Rufton

Abbildung 6.8: Funktionsprinzip Telefonapparat IWV

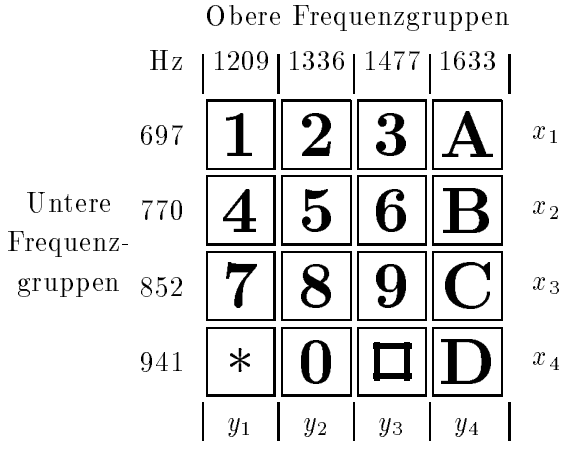


Abbildung 6.9: MFV, Frequenzzuordnung

6.4 Netzstruktur der Telekom

Hierarchisch gegliederte Sternstruktur, durch Querverbindungen vermascht

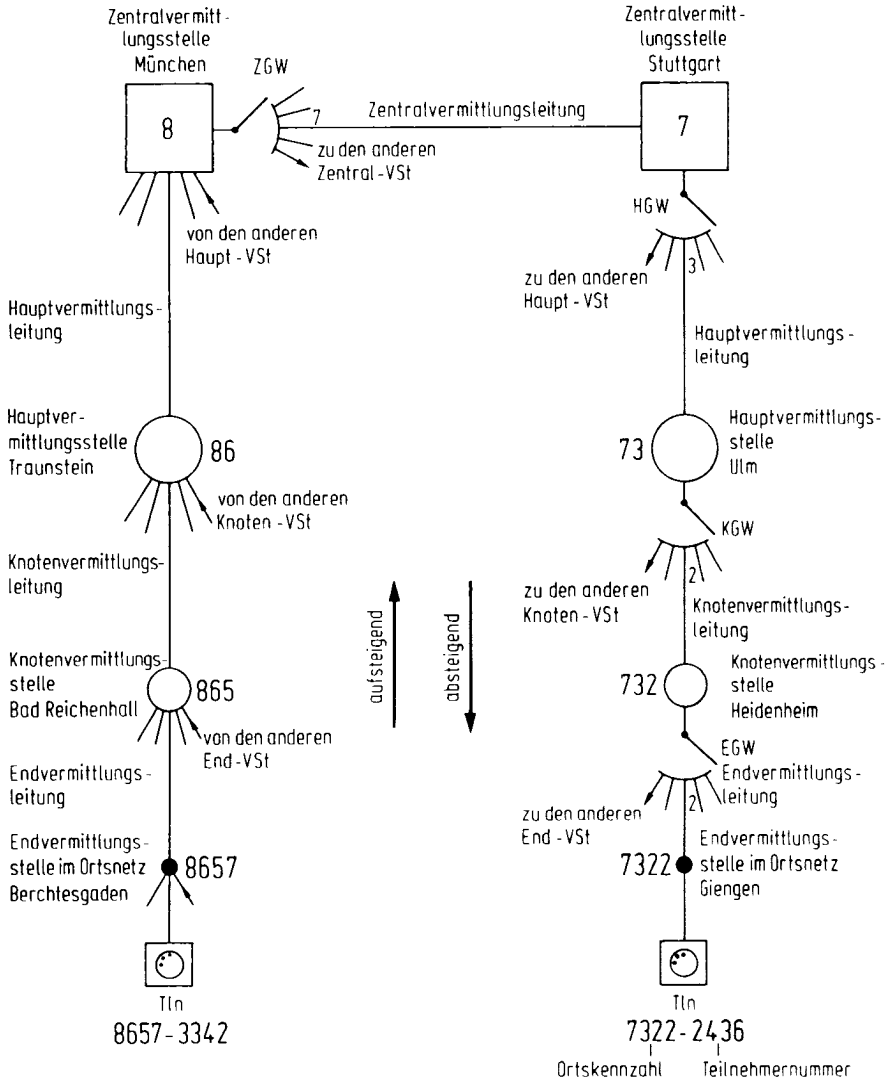


Bild 1.14. Hierarchische Gliederung des Fernwahlnetzes in der Bundesrepublik Deutschland (Ausschnitt).
Tln Teilnehmer, VSt Vermittlungsstelle, ZGW Zentral-VSt-Gruppenwähler, HGW Haupt-VSt-Gruppenwähler, KGW Knoten-VSt-Gruppenwähler, EGW End-VSt-Gruppenwähler

Abbildung 6.10: Netzstruktur Telefonnetz Quelle:[16] S.19

z.Zt.noch 8 ZVSt

2	Düsseldorf	3	Berlin	4	Hamburg	5	Hannover
6	Frankfurt	7	Stuttgart	8	München	9	Nürnberg

zukünftig nur noch 3 Hierarchiestufen mit 22 Weitvermittlungsstellen (WVSt) mit neuer Methode der Verkehrslenkung DNHR (**D**ynamisches **N**icht**h**ierarchisches **R**outing).

6.5 Vermittlungsverfahren (Verbindungsaufbau)

6.5.1 Durchschaltevermittlung (Leitungsvermittlung) (circuit–switched)

Für die gesamte Dauer einer Nachrichtenverbindung wird ein Übertragungsweg den beteiligten Endstellen exclusiv zur Verfügung gestellt, unabhängig davon, ob Nachrichten übertragen werden oder nicht.

6.5.2 Speichervermittlung (Paketvermittlung) (packet–switched)

Die Sendungen werden in der Vermittlungstelle zwischengespeichert, mit Zielinformation versehen und dann von Vermittlungsstelle zu Vermittlungsstelle bis zur Endstelle weitergereicht. Ein Durchschalten von Übertragungswegen findet nicht statt, damit steht der physikalische Übertragungskanal während Pausen des Nachrichtenflusses anderen Nachrichtenverbindungen zur Verfügung.(z.B. Datex–P)

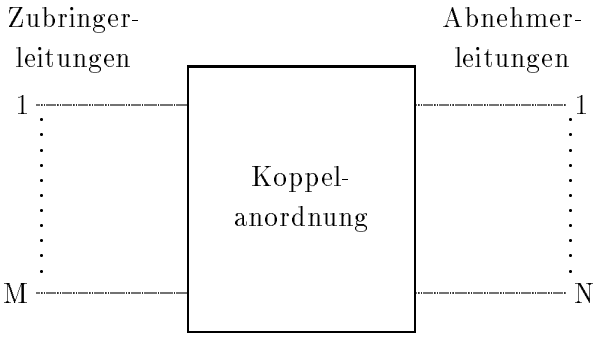


Abbildung 6.11: Schema Koppelanordnung

Koppelanordnungen:

Raumvielfach
z.B. Wähler, mechanisches Prinzip:
Leitungsweg wird mittels Schaltern eingestellt, vorwiegend EMD–Wähler (**E**delmetall–**M**otor–**D**rehwähler), durch Impulswahl werden Schrittmotore angesteuert
oder matrixförmige Kontaktfelder, Leitungen werden über Reed–Relais bzw Halbleiterschalter verbunden.

Zeitvielfach
zeitliches Verschalten der Zubringer– und Abnehmerleitungen

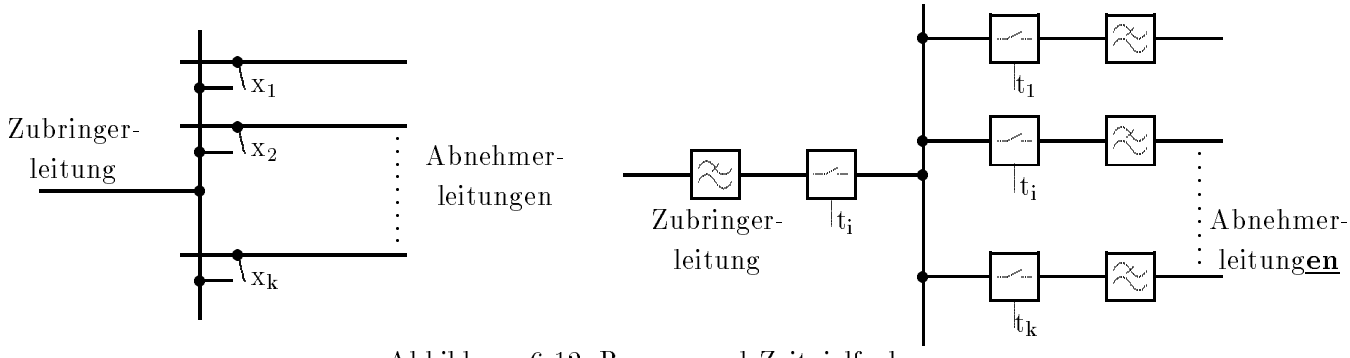


Abbildung 6.12: Raum– und Zeitvielfach

6.6 Übertragungsverfahren bei der Telekom

a) Ortsebene: noch vorwiegend analog 2–Draht, teilweise schon OPAL, DAL [a]
b) Fernebene: entweder TF oder PCM

6.6.1 Frequenzmultiplexverfahren, FDM

Trägerfrequenzverfahren, als (FDM **F**requency **D**ivision **M**ultiplex)
SSB–Verfahren, frequenzmäßiges Verschachteln der einzelnen Telefoniekanäle im 4kHz–Raster.

Es werden 3 Telefonie–Kanäle (300Hz - 3.4kHz) zu einer Vorgruppe, und 4 Vorgruppen zu einer Primärgruppe zusammengefaßt. Übertragung dieser Primärgruppe in Getrenntlage oder Gleichlage über Z12– bzw V12–System

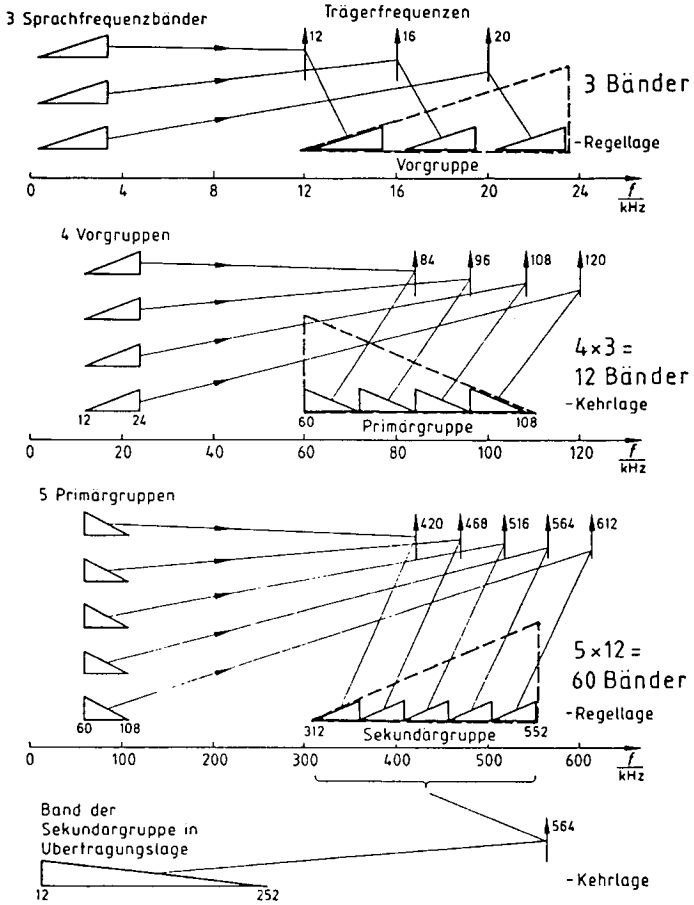


Abb. 2.3.36. Durch Trägerfrequenzsysteme lassen sich mehrere Sprechkanäle über eine Leitung übertragen; durch Einseitenband-Amplitudenmodulation werden die Sprachbänder in verschiedene Frequenzlagen gebracht. Durch Zusammenfassen mehrerer Kanäle zu Vor- und Primärgruppen und Modulation mit der entsprechenden Trägerfrequenz kann man z.B. 60 Duplexkanäle im Frequenzband von 12 bis ca. 600 kHz über eine Leitung übertragen

Abbildung 6.13: TF–Hierarchie Quelle:[15] S.288

[a] OPAL = **OP**tische Anschluß**L**eitung, DAL = **D**rahtlose **A**nschluß**L**eitung

TF Hierarchie	Frequenzbereich	Lage	Anzahl Telefoniekanäle
Primärgruppe	60 - 108 kHz	Kehrlage(B-Band)	12
Sekundärgruppe	312 - 552 kHz	Regellage	60
Tertiärgruppe	812 - 2 044 kHz	Kehrlage	300
Quartärgruppe	8 516 - 12 388 kHz	Regellage	900
Quintärgruppe	22 812 - 39 884 kHz	Kehrlage	3600

Je nach Zusammenfassen dieser Grundfrequenzgruppen ergeben sich folgende realisierte TF–Systeme

Z12, V12	6 ... 108 kHz
V60	12 ... 252 kHz
V120	12 ... 552 kHz
V300	64 ... 1 296 kHz
V900	316 ... 4 188 kHz
V2700	316 ... 12 388 kHz
V3600	596 ... 17 668 kHz
V10800	4 332 ... 59 684 kHz

TF–System	Medium	Verstärkerabstand
Z12	symm. Kabel	20 km (0.9mm), 35 km (1.4mm)
V60	symm. Kabel	18.6 km (1.2mm)
V120	symm. Kabel	18.6 km (1.3mm)
V300	Klein–Koax(1.2/4.4)	8km
V960	Koax	4km (1.2/4.4) 9.3km(2.6/9.5)
V2700	Koax	4.65km
V10800	Koax	1.55 km

Wegen des großen Wartungsaufwands wurden die TF–Komponenten zum überwiegenden Teil im Netz der Telekom AG zum 01.01.1996 außer Betrieb genommen.

6.6.2 Zeitmultiplexverfahren, TDM

(TDM **T**ime **D**ivision **M**ultiplex) Zeitliches Verschachteln der Telefonkanäle. Das Telefonsignal wird mit 8 kHz abgetastet und mit 8 Bit nach der 13–Segment–Kennlinie (siehe Seite 87) kodiert. Die Bitrate pro Telefonkanal ergibt sich somit zu 64 kBit/s. Im PCM30–Grundsystem werden 30 Telefonkanäle zusammengepackt. Es ergibt sich damit eine Datenrate von 2.048 MBit/s (30 Telefonkanäle + 2 andere Kanäle).

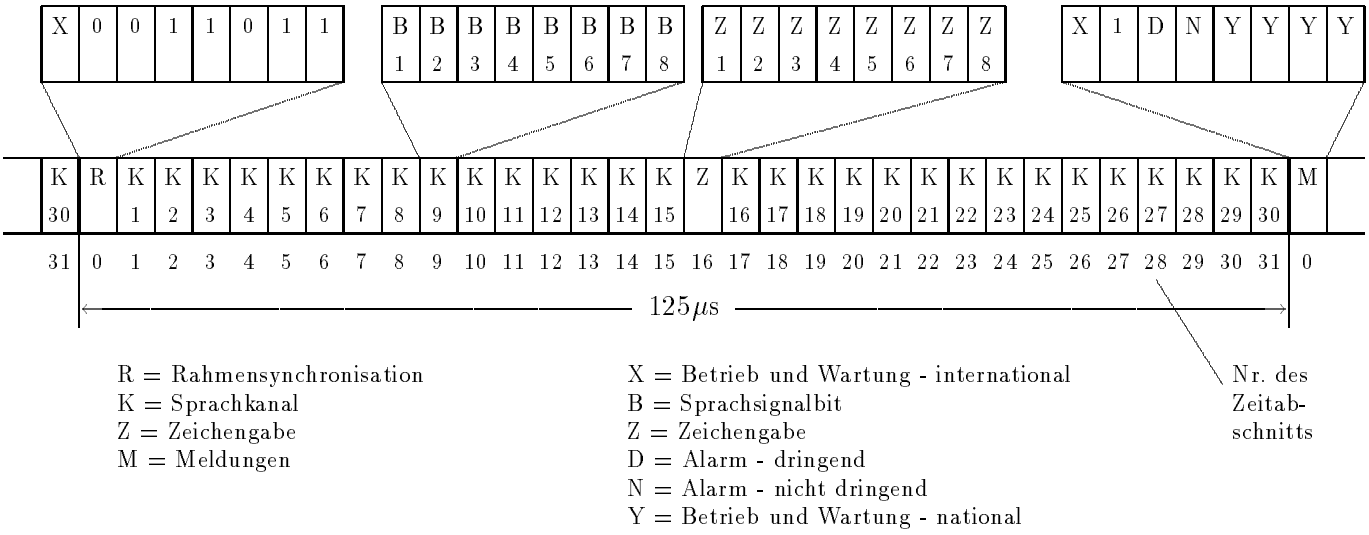


Abbildung 6.14: PCM30 Rahmen

Aus diesem PCM30 Grundsystem wird in Europa durch Zeitmuliplexen das Digital–Multiplex Hierarchie–System aufgebaut.

Hierarchiestufe	MBit/s	Telefonkanäle	Verstärkerabstand	Kabel
1. PCM30X	2.048	30	ca. 1.8 km	symm.
2. DSMX[b]2/8	8.448	120	ca. 4 km	Koax
3. DSMX 8/34	34.368	480	ca. 9 km	Koax
4. DSMX 34/140	139.264	1920	ca. 4.5 km	Koax, LWL
5. DSMX 140/565	564.992	7680	ca. 1.6 km	Koax, LWL

Diese PCM–Hierarchie ist ein *plesiochrones* Netz (PDH[c]) (hochgenaue, aber voneinander unabhängige Taktgeneratoren), deshalb werden von Hierarchiestufe zu Hierarchiestufe neben Rahmenkennungsbit auch noch Stopf– und Füllbits hinzugefügt.

In Nordamerika ist das PCM24-System im Einsatz. Hier werden in einem Frame (125 μs) 24 Telefonkanäle zusammengefasst. Die Datenrate ergibt sich hier zu (8 Bit * 24) + 1 (S-Bit) = 193 Bits/frame, insgesamt also 1.544 MBit/s. Hier wird jeweils nur ein Bit pro Rahmen zur Synchronisierung genutzt. Daneben wird aber in jedem 6.Kanal das 8.Bit fuer supervisory benutzt, was die Datenrate fuer Modemübertragungen auf 56 kBit/s begrenzt.

Hierarchiestufe	MBit/s	Telefonkanäle
1. DS1	1.544	24
2. DS2	6.312	96
3. DS3	44.736	672
4. DS4	274.176	4032

Häufig wird DS1 auch T1 genannt, die europäische Hierarchie E1 usw.

[b] DSMX = **D**igitalsignal–**M**ultiple**x**gerät
[c] **P**lesiochrone **D**igitale **H**ierachie

Die plesiochronen Netze werden für weltweite Übertragung in ein synchrones digitales Netz eingepaßt. Die neue SDH[d]–Technik stützt sich im wesentlichen auf optische Komponenten und Rifu–Komponenten. Pro Level dieser Hierachie gibt es *Container*, die als STM[e] bezeichnet werden. Nordamerika ist mit dem SONET[f] einen etwas anderen Weg gegangen.

SDH-Level	Container	Bitrate MBit/s
1	STM–1	155.52
4	STM–4	622.08
16	STM–16	2 488.32
64	STM–64	9 953 280

OC-N Level	STS-N	Bitrate Mbit/s
1	STS–1	51.84
3	STS–3	155.52
12	STS–12	622.08
24	STS–24	1 244.16
48	STS–48	2 488.32
192	STS–192	9 953.28

Die Frame Strukturen fuer STS und STM sind auch sehr aehnlich. STS-N N x 90 Spalten mit 9 Zeilen. STM-N N x 270 Spalten mit 9 Zeilen.

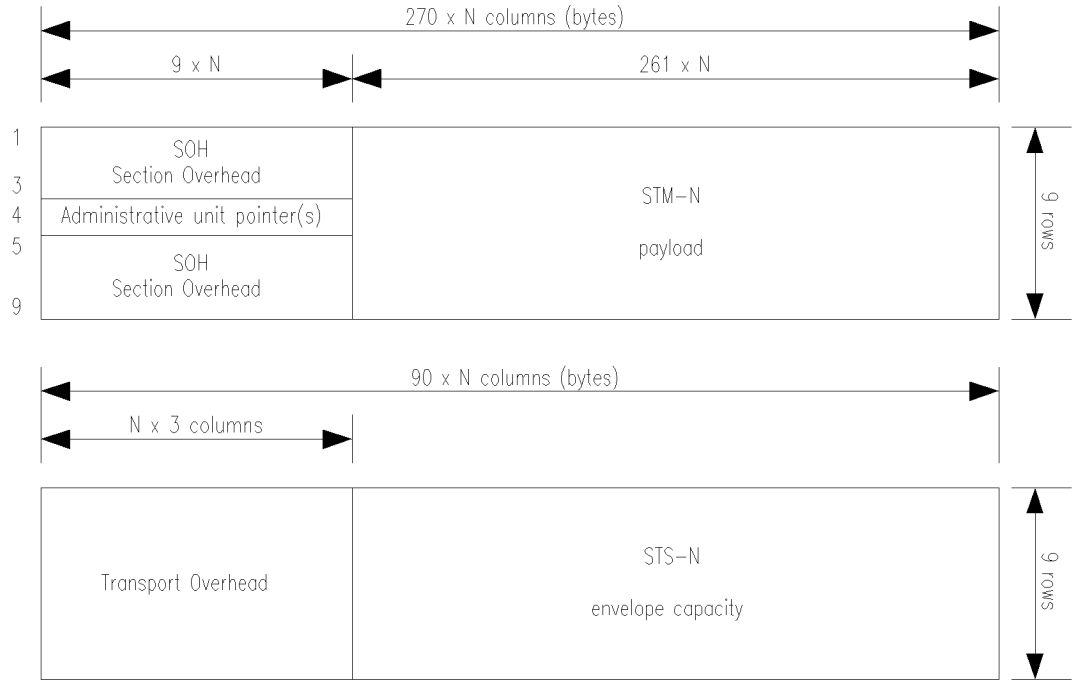


Abbildung 6.15: STM-N Rahmen und STS-N Rahmen

[d] **S**ynchrone **D**igitale **H**ierachie
[e] **S**ynchronous **T**ransport **M**odule
[f] **S**ynchronous **O**ptical **N**etwork

6.7 Übertragungsmedien

6.7.1 Symmetrische Zweidrahtleitung

Standard–Kabel von OVSt[g] zum Teilnehmer.Die maximale Länge beträgt 8km, weil die Dämpfung aufgrund Skineffekt mit der Frequenz stark ansteigt. Nutzung für analoge Systeme nur bis ca. 500 kHz (V120) möglich. Für digitale Systeme bis zur 1.Hierarchistufe PCM30–System Einsatz möglich.
Weiteres Problem: Nebensprechen nimmt mit steigender Frequenz zu.

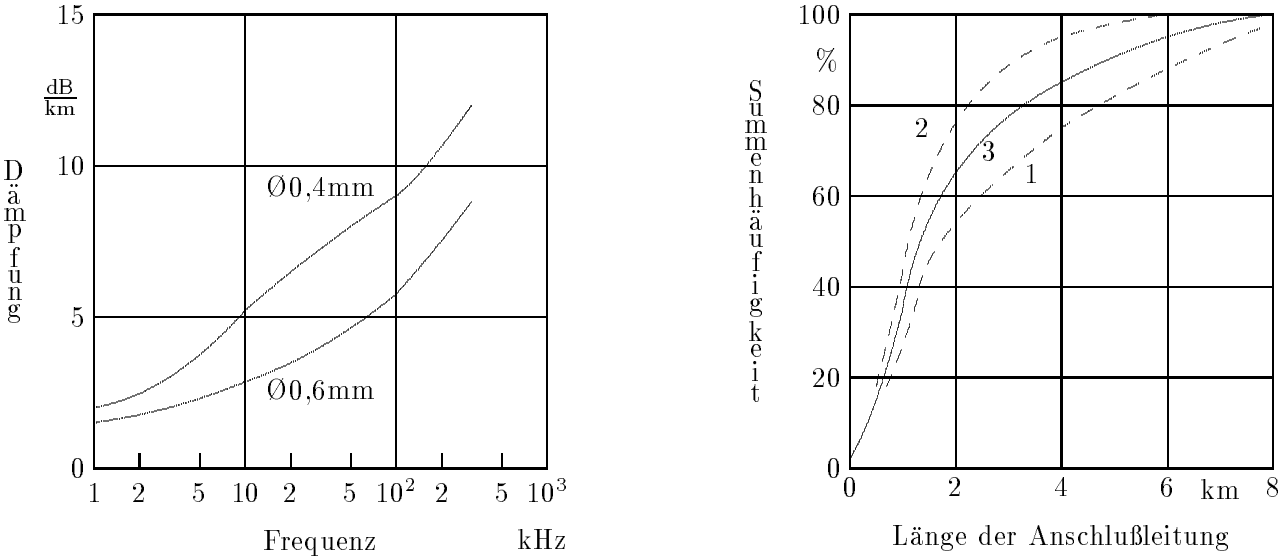


Abbildung 6.16: Dämpfungsverlauf und Anschlußlängen Zweidrahtleitungen

6.7.2 Koaxialkabel

Verbindungskabel zwischen einzelnen VStn. Dämpfung wesentlich geringer als bei symm. Zweidrahtleitungen, aber aufgrund Skineffekt ebenfalls mit der Frequenz ansteigende Dämpfung. Das heißt, je größer die Bandbreite des übertragenden Signals, umso kürzer die überbrückbaren Entfernungen.

Weiteres Problem: Frequenzabhängige Verstärkungsregelung, auch mit Preemphase nicht ganz lösbar. Weil bei Koaxialkabeln Nebensprechen im Gegensatz zu symm.Leitungen ab ca. 60 kHz besser wird, erst für Systeme ab V300 benutzt.

[g] Ortsvermittlungsstelle

6.7.3 Richtfunkverbindungen

Funkverbindungen im GHz–Bereich (gesamter Bereich 200 MHz bis 40 GHz, realisierte Systeme 2 GHz bis 38 GHz). Mögliche Funkfeldlängen reichen von 10km bis 60 km, abhängig von der geforderten Verfügbarkeit (Witterungseinflüsse), Bandbreite und Antennengröße.

10 GHz	46.5 km	ITU–R Empfehlungen 391,392
11 GHz	35 km	realisierte Betriebs Rifu–Systeme
15 GHz	20 km	
19 GHz	15 km	

Inzwischen werden für das SDH–Konzept auch Rifu–Systeme im Bereich bis 13GHz eingesetzt. Die überbrückbaren Reichweiten bewegen sich etwa zwischen 30 km bis 50 km. Als Modulationsverfahren werden hier 64QAM, 128QAM und TCM verwendet.

Nach Zuweisung der neuen Wettbewerbsfrequenzen 7 GHz, 23 GHz, 26 GHz und 38GHz ergibt sich auch für den nichtöffentlichen Bereich eine Rifu–Nische. Je nach geforderter Verfügbarkeit und Güte (BER !) sind Reichweiten von ca. 10 km bis 25 km möglich.

Bezeichnung der Systeme:

- analoge Systeme : z.B. FM 1800–TV/6200
  FM = Frequenzmoduliert, 1800 Fernsprechkanäle bzw 1 Fernsehkanal, 6.2 GHz Trägerfrequenz
- digitale Systeme : z.B. DRS 140/11200
  DRS = **D**igitales **R**ichtfunk **S**ystem, 140 MBit/s, Trägerfrequenz 11.2 GHz
  benutzte Modulationsverfahren 4 PSK, 8 PSK, 16 QAM, 64 QAM, 128 QAM, TCM, FSK

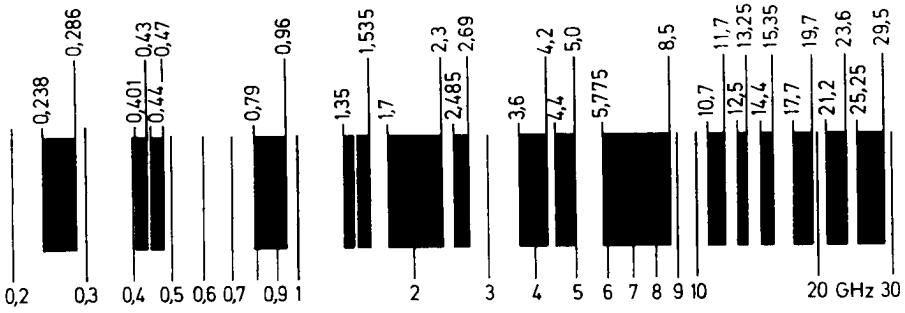


Bild F 2-6. Frequenzübersicht für den Richtfunk in der Bundesrepublik Deutschland

Abbildung 6.17: Rifu Frequenzübersicht Quelle:[8] S.1133

Frequenzbereich in GHz	2		4		6	15	2		4	6	4	6
Antennentyp	Rotationsparabol						Muschel				Horn-parabol	
Durchmesser in m	1,75	3	1,75	3	3	0,6	3	4	3	3	–	–
Halbwertswinkel in Grad	±3,4	±1,7	±1,8	±1,0	±0,65	±1,0	±1,75	±1,25	±1,0	±0,5	±1,1	±0,5
Gewinn in dB	29	35	35	39	43	35	32	34	40	43,9	40	43,4

Tabelle F 2-2. Halbwertswinkel und Gewinn gebräuchlicher Rifu-Antennen

Abbildung 6.18: Rifu Antennendaten Quelle:[8] S.1133

6.7.4 LWL–Kabel

Vorteile:

- große Bandbreite bei geringer frequenzunabhängiger Dämpfung
  damit größere Feldlängen, als bei Koax möglich z.B. 565 MBit/s über 35 km
  Systeme mit 2.4 GBit/s (Genf–Lausanne 1991) schon installiert und in Nutzbetrieb übergegangen
- Potentialtrennung, keine Erdungsprobleme
- unempfindlich gegen EMV
- abhörsicher

Nachteile/Probleme:

- überwiegend nur einfache Intensitätsmodulation
- Regeneration des Signals wieder über elektrische Ebene
- Phänomen der Dispersion, solange Dämpfung keine Rolle spielt

Derzeit wird im Bundesgebiet mit Übertragungsstrecken bis 2.4 GBit/s gearbeitet, im Testbetrieb werden schon einige 10 GBit/s Strecken ausprobiert.
Standard ist eine Monomode–Faser mit $125/50\mu$m.
Die zulässige Streckendämpfung beträgt 0.38 dB/km zusätzlich Spleißdämpfung.
Die mittlere Streckenlänge beträgt 30 km bis 50 km.

1. Was ist ein psophometrisches Filter ?
2. Wie kam es zum Sprachfrequenzbereich beim Telefon ?
3. Was ist eine Gabelschaltung und wozu dient sie ?
4. Auf welche Weise wird beim analogen Telefon die Wählinformation übertragen ?
5. Welche Vermittlungsarten gibt es ?
6. Was ist ein PCM-30 System ?
7. Wozu dient das Augendiagramm ?
8. Was bedeutet 2400 Baud ?
9. Was ist Leitungscodierung ?
10. Was bedeutet 20 Phon ?
11. Welche NF-Bandbreiten sind für Fernsprechen, Hörfunk, Fernsehen genormt ?
12. Wie wird Verständlichkeit gemessen?
13. Was kann das Gehör ? (Technische Daten)
14. Was beeinflußt die Silbenverständlichkeit ?
15. Wie funktioniert der analoge Telefonapparat ?
16. Was ist MFV ?
17. Wie ist das Fernsprechnetz in der BRD organisiert ?
18. Was bedeutet SDH ?
19. Welche Multiplexverfahren werden im Fernsprechübertragungsnetz(e) der BRD eingesetzt ?
20. Welche Codes werden für Fernsprechübertragungen eingesetzt und warum ?
21. Was bedeutet plesiochron, synchron, isochron, anisochron, asynchron, mesochron ?
22. Was ist bit-stuffing ?
23. Wie wird die Qualität einer digitalen Übertragungsstrecke angegeben ?
24. Was bedeutet FM960-TV/4000 ?
25. Was bedeutet DRS 34/1900 ?
26. Was ist Nebensprechen ?
27. Was ist IWV ?

Kapitel 7

ISDN

7.1 Entwicklungsstufen zum ISDN

ISDN steht für
Integrated **S**ervices **D**igital **N**etwork.

Es ist ein integrierendes digitales Netz für unterschiedliche Dienste. Damit sollen die derzeitig noch separat geführten Dienste Telex, Teletex, Datex–P, Datex–L[a] auf eine einheitliche Datenstruktur von 64 kBit/s zusammengeführt werden.

[a] seit 30.09.97 eingestellt

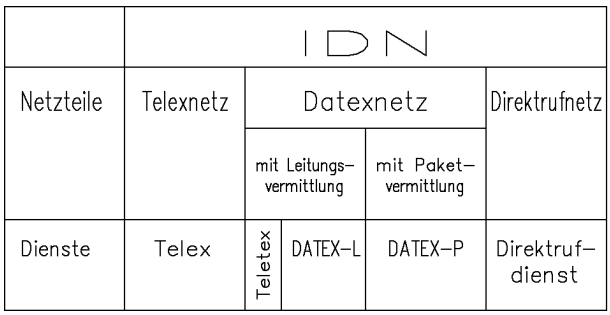


Abbildung 7.1: Dienste und Netze des IDN Quelle:[26]

Ermöglicht wurde dieses Netz durch die zunehmende Digitalisierung der Fernsprechwege.
Anfangs war alles analog. Im Niederfrequenzbereich (NF) bis zur Ortsvermittlungsstelle (OVSt) dann auf der Fernebene Nutzung von TF–Systemen.

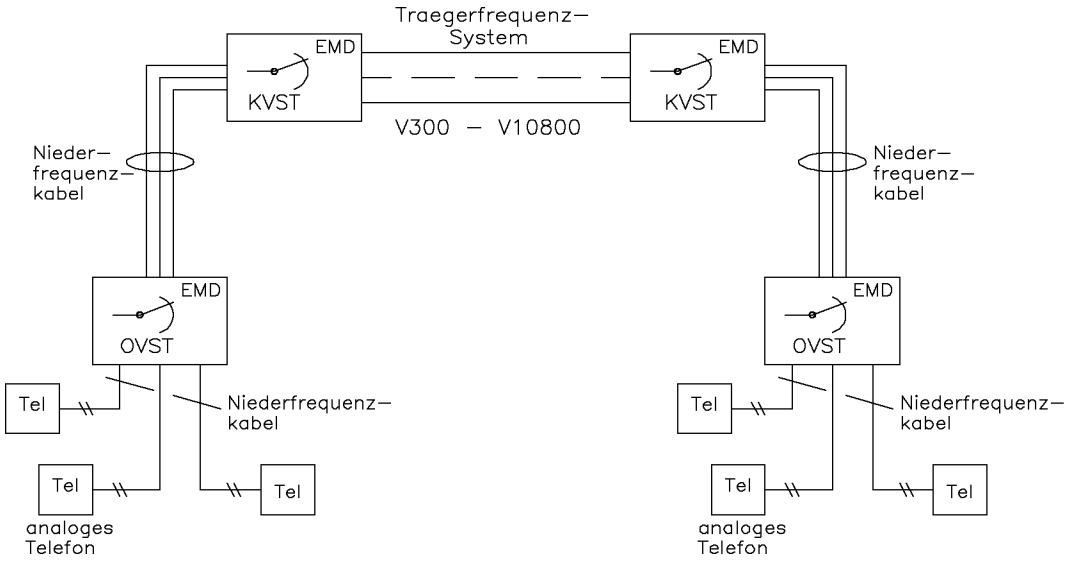


Abbildung 7.2: *Am Anfang war alles analog* Quelle:[26]

1.Schritt Übertragung auf Fernebene digital, PCM480 seit 1975, PCM7680 seit 1985

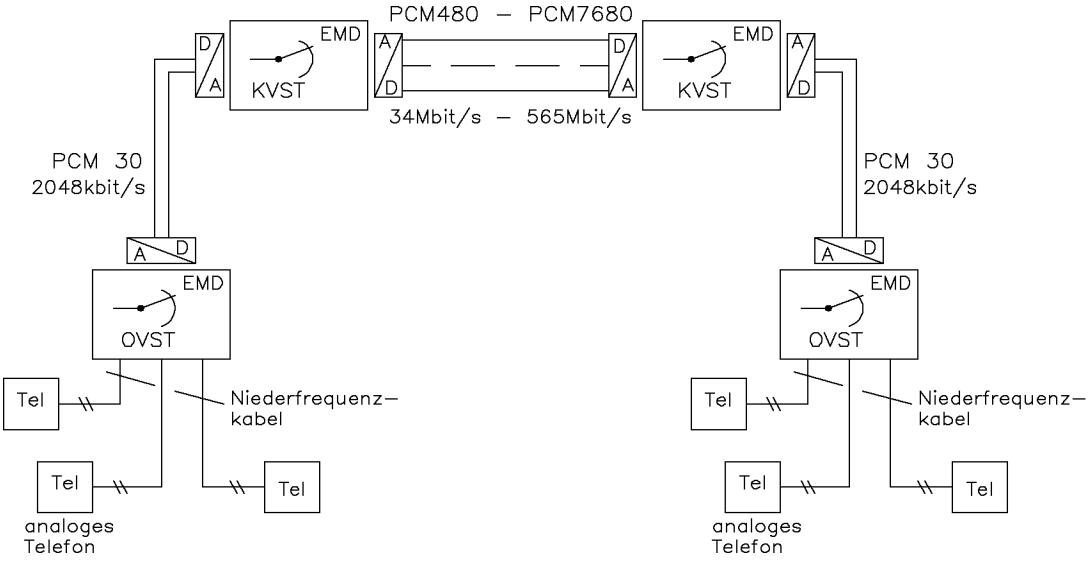


Abbildung 7.3: Digitalisierung der Übertragungswege Quelle:[26]

2.Schritt auch die Vermittlungen wurden digitalisiert.
EMD–Vermittlungstechnik wird ersetzt durch digitale 64 kBit/s durchschaltende Vermittlungstechnik. Dabei entsteht eine Vermittlungstechnik für den Fern– und Ortsdienst. (DIVF und DIVO). Einführung ab 1984.

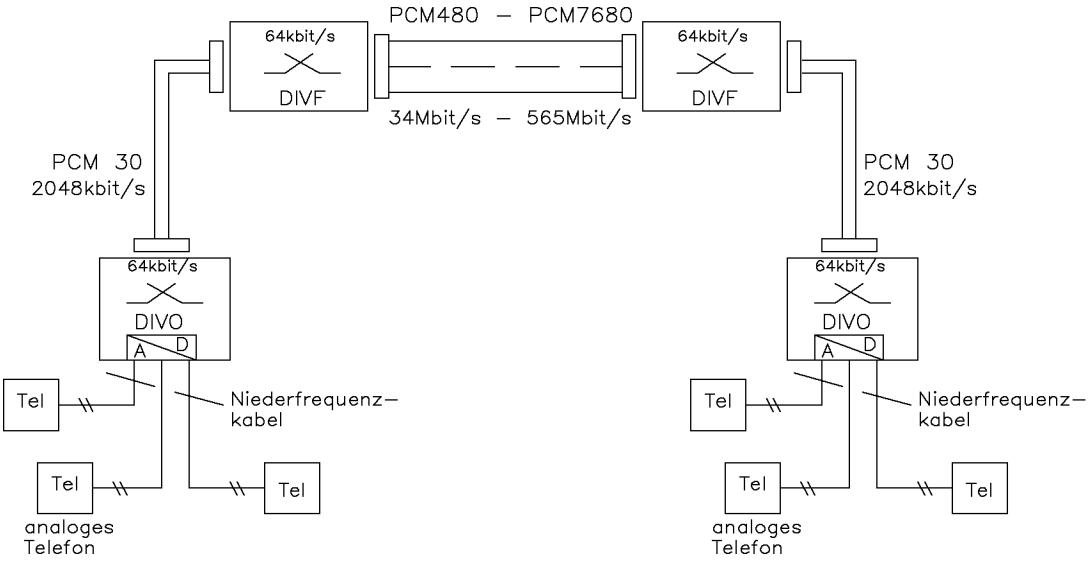


Abbildung 7.4: Digitalisierung der Vermittlungseinrichtungen Quelle:[26]

3.Schritt Zeichengabe über *zentralen Zeichengabekanal* TUP (Telefon User Part) Schicht 4[a]
Einführung seit 1988

[a] auch ITU–T Zeichengabesystem Nr.7

4.Schritt Digitalisierung bis zum Teilnehmer ISDN–UP bzw IS–UP (Integrated Services User Part)

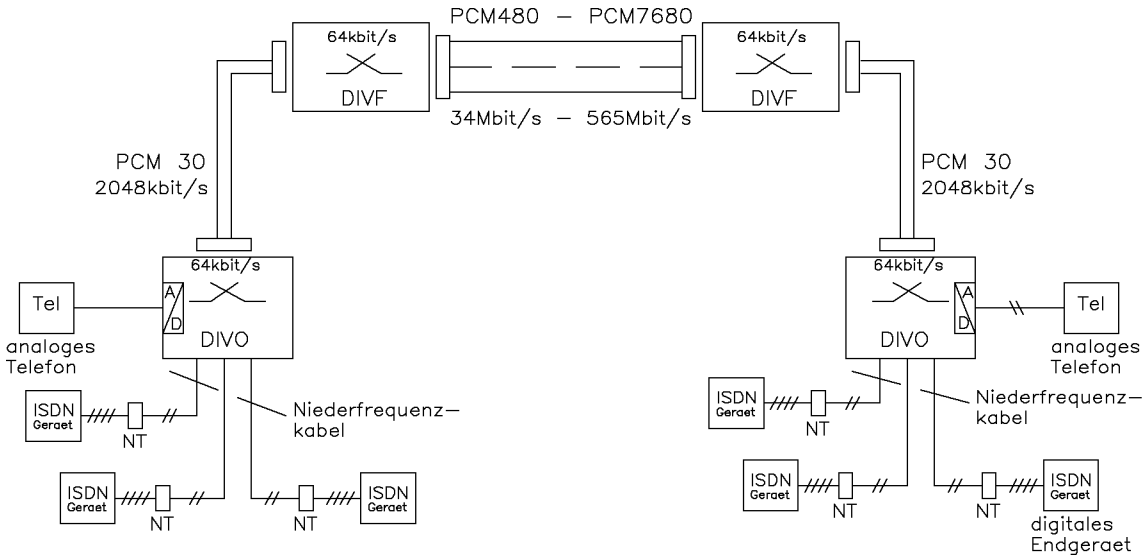


Abbildung 7.5: Das volldigitale Netz im ISDN Quelle:[26]

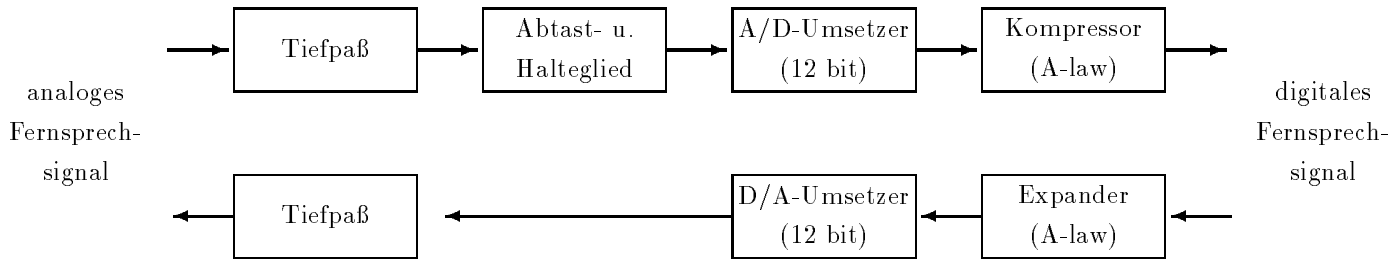


Abbildung 7.6: Die 13–Segmentkennlinie jetzt im Endgerät

7.2 ISDN–Angebot der Telekom AG

Die Telekom bietet ISDN mit nationalem Protokoll 1TR6 seit 1989 an. Mit diesem Protokoll arbeiteten ca. 250 000 Anwender mit insgesamt 1 Million ISDN–B–Kanäle.(Stand Okt.1993) [b c d e f]

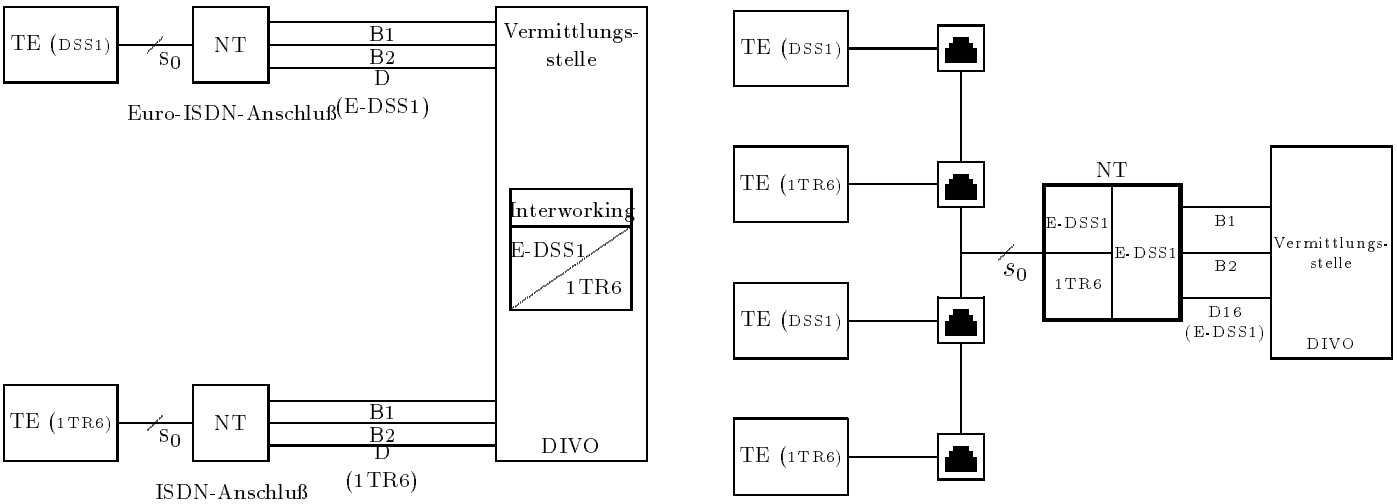


Abbildung 7.7: ISDN–Anschlußmöglichkeiten

26 Netzbetreiber aus 20 europäischen Ländern haben sich in einem Memorandum of Understanding (MoU) auf die Einführung eines gemeinsamen europäischen ISDN geeinigt, das *Euro–ISDN*.
Ab 01.12.1993 wurde Euro–ISDN als Regelbetrieb im Bereich der Telekom eingeführt werden.

Umstellung der Vermittlungsstellen der Telekom auf Euro–ISDN Sept.1993 bis Mai 1994 (incl. neue Bundesländer). Der Aufwand für Umstellung beschränkte sich für Telekom nur auf Einspielen einer neuen Software für die Vermittlungsstellen. Vollstaendige Digitalisierung der Ortsebene bis Ende 97 erreicht.

Unterschiede nationales Protokoll 1TR6 zu Euro–ISDN Protokoll E–DSS1[g]: D–Netz–Kanal–Protokolle.
Unterschiede in Zeichengabeverfahren, Fehlerbehandlung, Kompatibilitätsprüfung.

Die Telekom wird voraussichtlich bis ins Jahr 2005 beide Protokolle 1TR6 und E–DSS1 anbieten. Allerdings soll das nationale ISDN (1TR6) spätestens am 31.12.2005 eingestellt werden. Der Kunde entscheidet, welchen Standard er nutzen will. Einstellung des Protokolls individuell für jeden Anschluß in der Vermittlungsstelle, Veränderungen im Netzabschluß sind nicht erforderlich. Problem: 1TR6–Endeinrichtung arbeitet nicht an Euro–ISDN–Anschluß und umgekehrt. Lösung: bilingualer Basisanschluß
Dieser Anschluß versteht beide Protokolle. Allerdings muß dafür ein modifizierter Netzabschluß (kostet auch extra) beim Kunden installiert werden.
Weiterer Pferdefuß: Beide Standards nur mit Einschränkungen gemeinsam nutzbar .
1TR6–Endgeräte können Aktivierung und Deaktivierung der Anrufweiterschaltung I und II nicht mehr durchführen. Auch Angebote wie Dreierkonferenz, Trennen und Makeln waren für 1TR6–Endgeräte bis Mitte 1994 nicht nutzbar, weil erst ab dann diese Merkmale im Euro–ISDN realisiert wurde.

Bilinguale Primärmultiplexanschlüsse hat es nicht gegeben.

Seit 1994 wirbt die Telekom nur noch für Euro–ISDN.

---

[b] Ende 1994: 1.8Mio B–Kanäle mit ca. 500 000 Basisanschlüssen und 27 000 Primärmultiplexanschlüssen
[c] 31.Okt.1995: 2.7Mio B–Kanäle mit 822 548 Basisanschlüssen und 35 096 Primärmultiplexanschlüssen
[d] 28.Feb.1996: 3.276Mio B–Kanäle mit 1.058Mio Basisanschlüssen und 38 667 Primärmultiplexanschlüssen
[e] 30.Sep.1997: 7.116Mio B–Kanäle mit 2.729Mio Basisanschlüssen und 55 225 Primärmultiplexanschlüssen
[f] 30.Juni 1998: 8.921Mio B–Kanäle mit 3.479Mio Basisanschlüssen und 65 404 Primärmultiplexanschlüssen
[g] DSS1 Digital Subscriber Signalling System No 1

Das ISDN–Angebot

Unterschieden wird generell zwischen Mindestangebot und zusätzlichem Angebot.

Mindestangebot Dienste:

- 64 kBit/s transparente Übermittlung (ohne Einschränkungen)
- 3.1 kHz a/b–Übermittlung
- Sprachübermittlung

zusätzliche Dienste:

- Telefon 3.1 kHz
- Telefon 7 kHz
- Bildtelefon
- Telefax Gruppe 4
- T-Online (Datex-J, Bildschirmtext) 64 kBit/s
- paketorientierte Datenübermittlung (DATEX–P) (seit 1.2.95)
  - D–16–Kanal (X.25D) mit maximal 9600 Bit/s (nur über Basisanschluß) P10I–D, PMBS/D[h]
  - B–Kanal (X.25B) mit 64 kBit/s (über Basis– und Primärmultiplex–Anschluß)P10I–B, PMBS/B

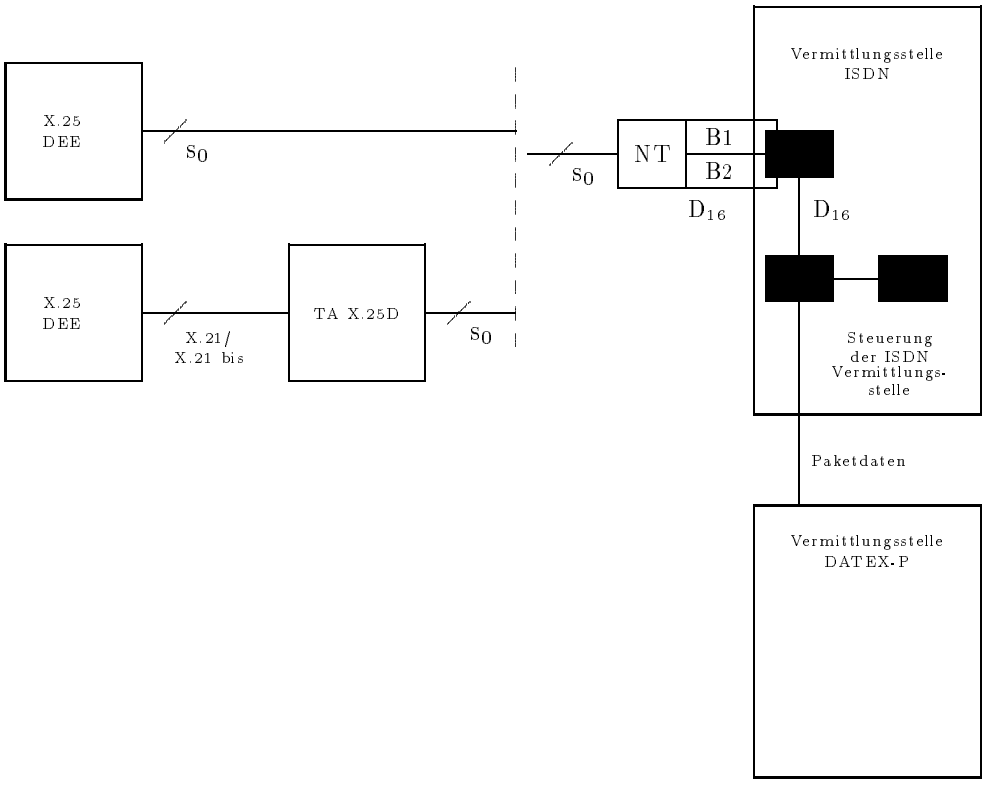


Abbildung 7.8: Datex–P im D–und B–Kanal bei Euro–ISDN

[h] Packet Mode Bearer Service D-channel

Mindestangebot Leistungsmerkmale:

- Mehrfachrufnummer
- Durchwahl
- Übermittlung der Rufnummer A–Teilnehmer zu B–Teilnehmer
- Unterdrückung der Übermittlung der Rufnummer A–Teilnehmer zu B–Teilnehmer
- Umstecken von Endgeräten am Mehrgeräteanschluß

zusätzliches Angebot Leistungsmerkmale:

- Anrufweiterschaltung (ständig, besetzt, nicht melden) (pro MSN, pro Dienst)
- geschlossene Benutzergruppe
- Übermittlung Rufnummer B–Teilnehmer zum A–Teilnehmer
- Unterdrückung der Übermittlung Rufnummer B–Teilnehmer zum A–Teilnehmer
- Subadressierung (maximal 20 Oktetts, nur in eine Richtung)
- Teilnehmer–zu–Teilnehmer–Zeichengabe (UUS1) (32 Oktetts während Verbindungsaufbau oder -abbau in beide Richtungen, nur für Komfort-Anlagenanschluss)
- Anklopfen
- Übermittlung von Tarifeinheiten (während, am Ende)
- Halten einer Verbindung (Rückfrage, Makeln, Dreierkonferenz)
- Identifizieren böswilliger Anrufer
- Dreier–Konferenz (seit 1.5.95)
- Anrufweiterschaltung von Nebenstellen einer ISDN–TK–Anlage
- Mehrfachabstützung für große TK–Anlagen
- Zielorientierte Leitweglenkung für TK–Anlagen
- Automatischer Rückruf bei Besetzt (ab 01.07.96, seit Feb 97 realisiert)
- Anrufweiterschaltung während der Rufphase (seit April 98)
- Übermittlung von kundenspezifischen Zeichengabeinformationen während der Verbindung (UUS3, seit Nov 96, bis zu 128 Oktetts pro Nachricht und 16 Nachrichten pro 10 Sekunden)
- Konferenz mit bis zu 10 Teilnehmern (seit Nov 96, auch am Anlagenanschluss)

später sollen noch zusätzlich kommen

- Verbindung weitervermitteln
- Umlegen im inhouse–Bereich
- busy on busy

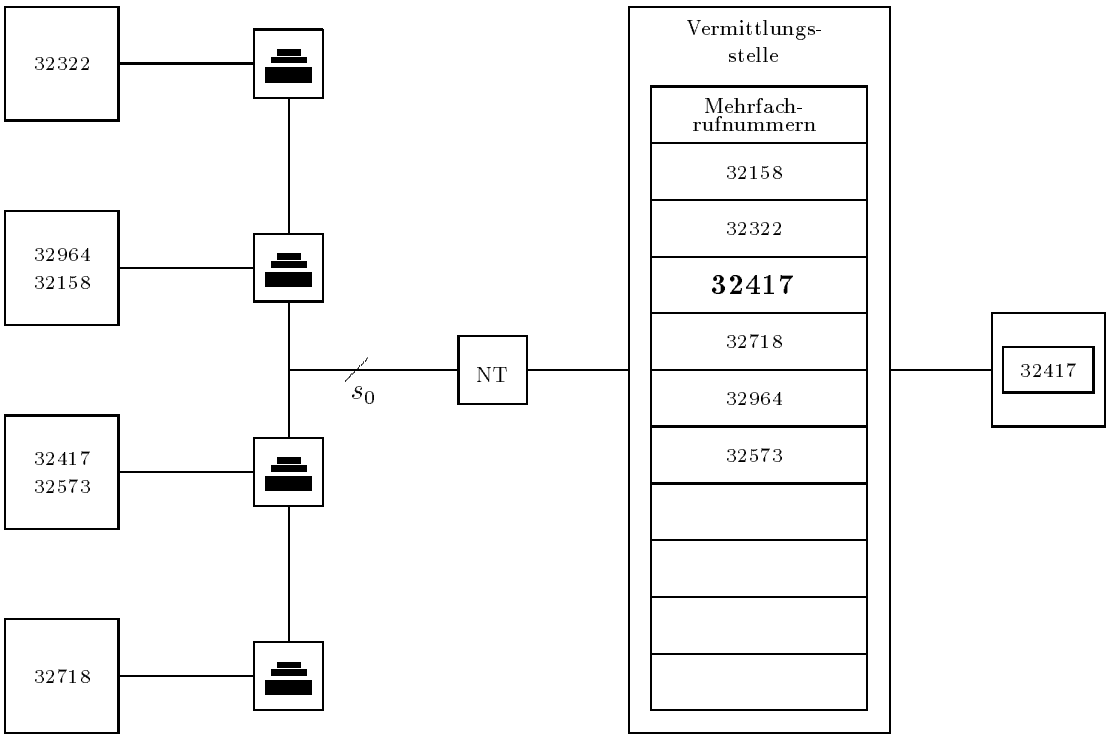


Abbildung 7.9: Die MSN Mehrfachrufnummer

Bei der Vermarktung wird unterschieden zwischen einem Basisanschluß (2 B–Kanäle) und einem Primärmultiplexanschluß (30 B–Kanäle)

Der Basisanschluß kann als Mehrgeräteanschluß oder als Anlagenanschluß beantragt werden.

Der Primärmultiplexanschluß ist natürlich ein Anlagenanschluß.

Je nach bereitgestellten Leistungsmerkmalen unterscheidet man

- Einfachanschluß
- Standardanschluß
- Komfortanschluß

ETSI Kurzbezeichnungen und Internationale Bezeichnungen der ISDN-Leistungsmerkmale

AOCD	Advice Of Charge during the call	Übermittlung der Tarifeinheiten während der Verbindung
AOCE	Advice Of Charge at the End of the call	Übermittlung der Tarifeinheiten am Ende der Verbindung
BB	Busy on Busy	Besetzt bei Besetzt
CCBS	Completion of Calls to Busy Subscriber	Automatischer Rückruf bei Besetzt
CCNR	Completion of Calls on No Reply	Rückruf bei Nichtmelden
CFB	Call Forwarding Busy	Anrufweiterschaltung bei Besetzt (AWSB)
CFNR	Call Forwarding No Reply	Anrufweiterschaltung bei Nichtmelden (AWSN)
CFU	Call Forwarding Unconditional	Anrufweiterschaltung, ständig (AWSS)
CD	Call Deflection	Anrufweiterschaltung während Rufphase
CD PR	Call Deflection Partial rerouted	Anrufweiterschaltung nebenstellenindividuell
CLIP	Calling Line Identification	Übermittlung der Rufnummer des A-Teilnehmers zum B-Teilnehmer
CLIR	Calling Line Identifaction Restriction	Unterdrückung der Übermittlung der Rufnummer des A-Teilnehmers zum B-Teilnehmer
COLP	Connected Line Identification Presentation	Übermittlung der Rufnummer des B-Teilnehmers zum A-Teilnehmer
COLR	Connected Line Identification Restriction	Unterdrückung der Übermittlung der Rufnummer des B-Teilnehmers zum A-Teilnehmer
CONF	Conference	Grosse Konferenz mit bis zu 10 Teilnehmern
CUG	Closed User Group	Geschlossene Benutzergruppe (GBG)
CW	Call Waiting	Anklopfen
DDI	Direct Dialling In	Durchwahl
HOLD	Call Hold	Halten einer Verbindung
MCID	Malicious Call Identification	Identifizierung böswilliger Anrufer
MSN	Multiple Subscriber Number	Mehrfachrufnummer
RC	Remote Control	
SCF	Selective Call Forwarding	Selektive Anrufweiterschaltung
SUB	Subadressing	Subadressierung
TP	Terminal Portability	Umstecken von Endgeräten am Mehrgeräteschluß
UUS	User-to-User-Signalling	Teilnehmer-zu-Teilnehmer-Zeichengabe
3PTY	Three Party Service	Dreierkonferenz

7.3 Schnittstellen bei ISDN

Bezugspunkte beim ISDN–Teilnehmeranschluß gemäß ITU–T I.410 und I.411

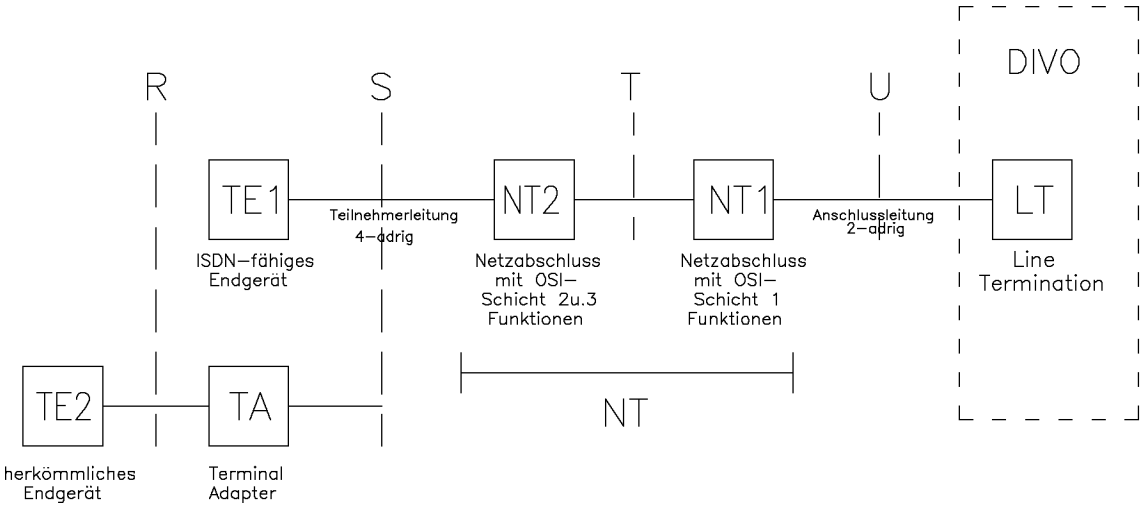
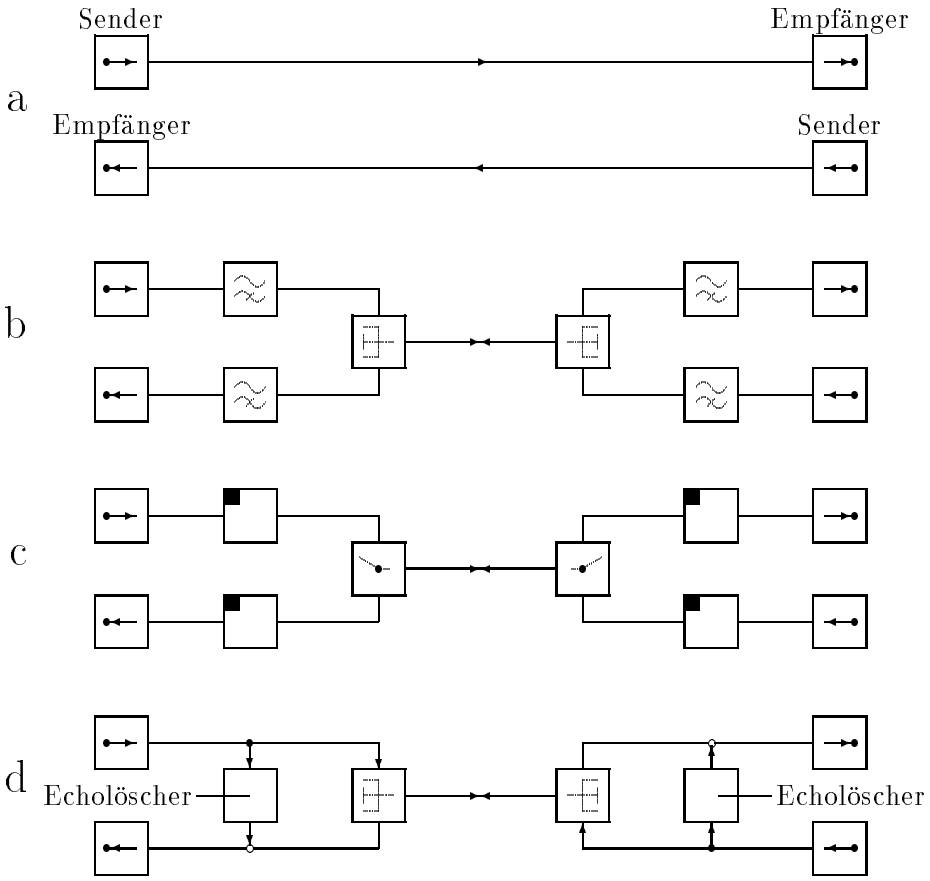


Abbildung 7.10: ISDN–Bezugskonfiguration Quelle:[26]

Übertragungstechnik beim ISDN–Basisanschluß



a) Vierdrahtübertragung (ohne Leitungsmuliplex)
b) Frequenzgetrenntlageverfahren
c) Zeitgetrenntlageverfahren, Ping–Pong, Burst, Time Compression Multiplex
d) Gleichlageverfahren mit Echokompensation

Abbildung 7.11: Möglichkeiten der digitalen Übertragung zur Vermittlungsstelle

7.4 U_{k0}–Schnittstelle

Von der DIVO (Digitale Ortsvermittlungsstelle) zum Teilnehmer (NT) wird die herkömmliche 2–Draht–Leitung benutzt. Über diese U_{k0}–Schnittstelle (ITU–T I.430) muß eine Brutto–Bitrate von 160 kBit/s übertragen werden. Weil nur 2 Drähte zur Verfügung stehen, müßen die 2 Signalrichtungen in einer Gabelschaltung wieder getrennt werden. Das benutzte Verfahren nennt sich 2–Draht–Gleichlageverfahren mit Echokompensation.

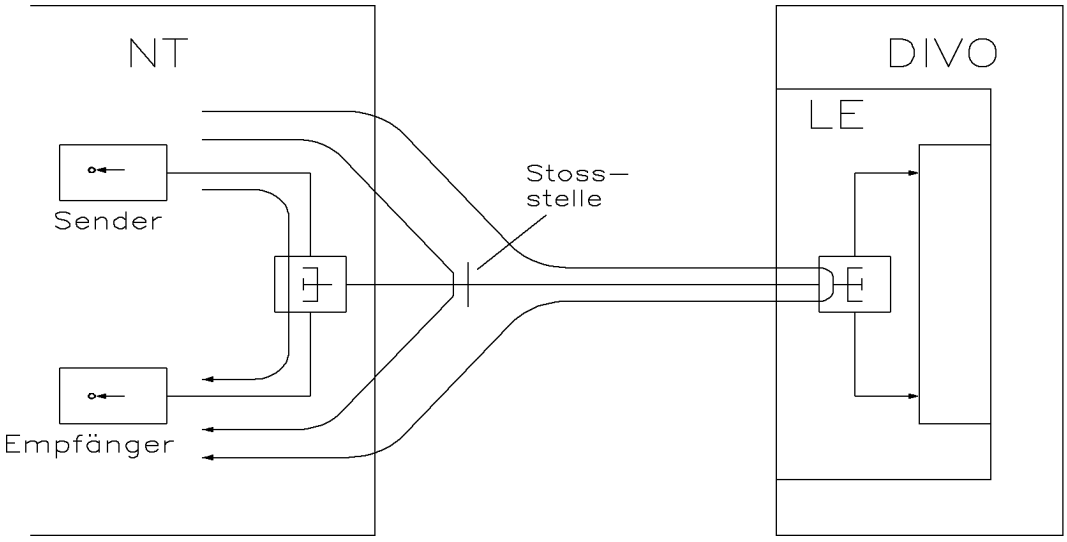


Abbildung 7.12: Übertragungsstörstellen beim Zweidrahtverfahren Quelle:[26]

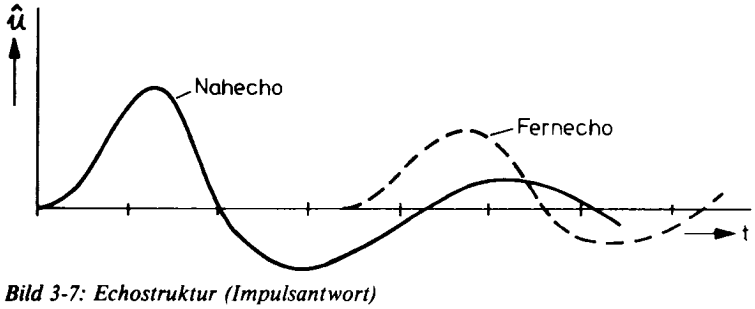


Bild 3-7: Echostruktur (Impulsantwort)

Abbildung 7.13: Echos auf der U_{k0}–Schnittstelle Quelle:[17] S.90

Der Echokompensator (ein adaptives Transversalfilter) vermindert die Störungen der über die Gabel ankommenden Sendesignale im Empfangszweig und anderer Echos.

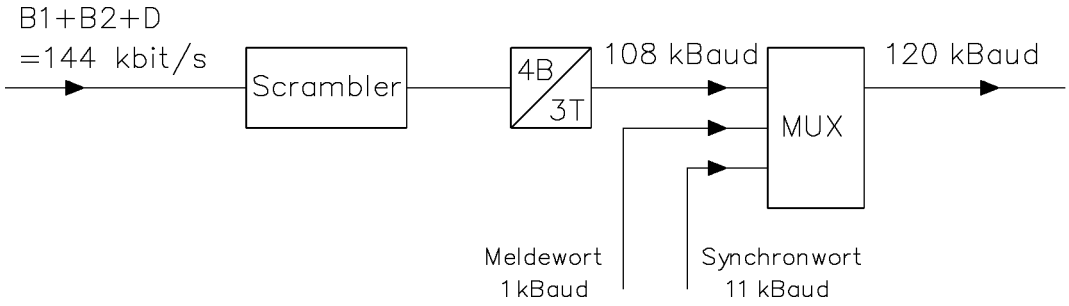


Abbildung 7.14: Datenumsetzung im NT Quelle:[26]

Um eine möglichst niedrige spektrale Verteilung der Leistung auf der Anschlußleitung zu erhalten wird eine 4B3T (MMS43[i])–Codierung genutzt, d.h. 4 Bit werden jeweils in ein dreischrittiges ternäres Leitungssignal umgesetzt. Damit ergibt sich aus der Bitrate von 160 kBit/s eine Schrittgeschwindigkeit von $\frac{3}{4} * 160 = 120$kBaud. Der benutzte Code ist redundant, weil $2^4 = 16$ Möglichkeiten auf eine Auswahl von $3^3 = 27$ Möglichkeiten abgebildet werden. Diese Redundanz wird zur Fehlerüberwachung und zur Formung des statistischen Leistungsdichtespektrums benutzt. Der MMS43–Code ist gleichanteilsfrei, hat einen guten Taktgehalt und eine spektrale Leistungsdichte, die annähernd gleichmäßig verteilt ist. Seine Effizienz beträgt 84%. Die rds (running digital sum) wird maximal 3 (nach jeweils einem Codewort betrachtet) und bleibt stets positiv. Als Leitungssignal wird eine $\cos^2$–Impulsform verwendet, damit die spektralen Eigenschaften zusätzlich verbessert werden. Insgesamt ergibt sich eine Schwerpunktfrequenz von ca. 40kHz. Überbrückbar sind damit bei 0.6mm–Teilnehmerleitungen bis 8km, bei 0.4mm–Teilnehmerleitungen immerhin noch 4.2km. (siehe auch Seite 115).

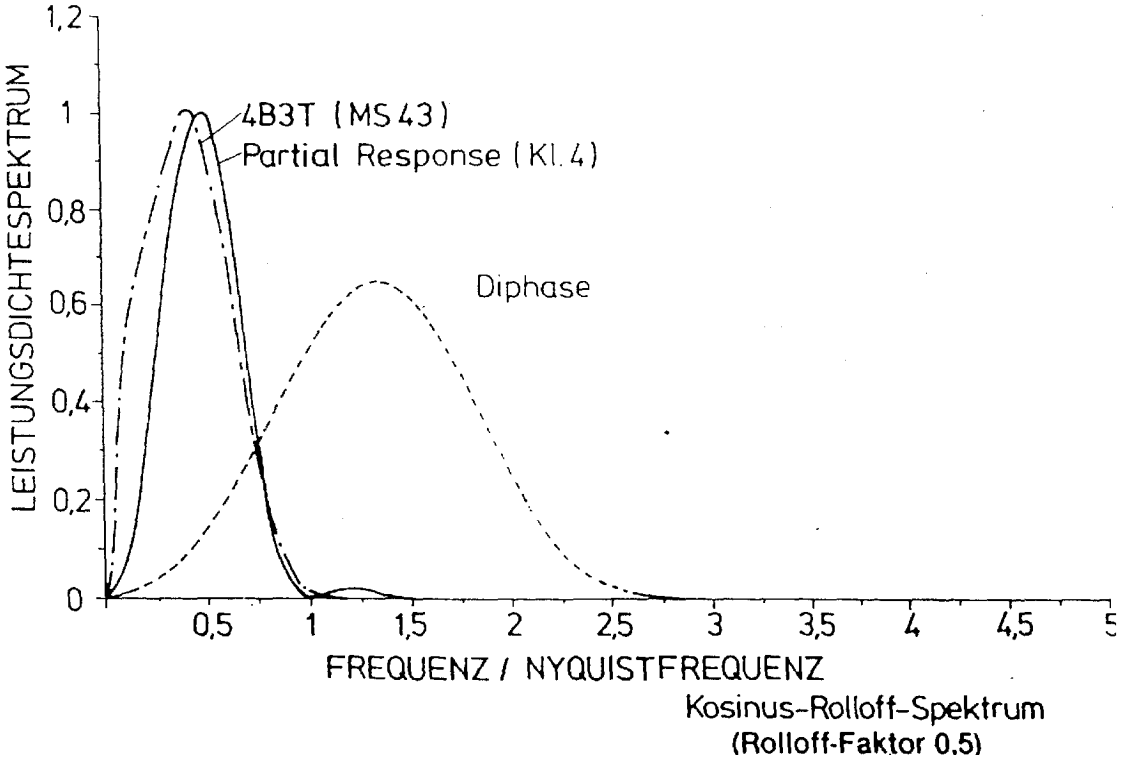


Abbildung 7.15: spektrale Leistungsdichte verschiedener Codes Quelle:[17] S.95

[i] Modified Monitored Sum 43

	S_1				S_2				S_3				S_4			
$t \rightarrow$				S				S				S				S
0001	0	-	+	**1**	0	-	+	**2**	0	-	+	**3**	0	-	+	**4**
0111	-	0	+	**1**	-	0	+	**2**	-	0	+	**3**	-	0	+	**4**
0100	-	+	0	**1**	-	+	0	**2**	-	+	0	**3**	-	+	0	**4**
0010	+	-	0	**1**	+	-	0	**2**	+	-	0	**3**	+	-	0	**4**
1011	+	0	-	**1**	+	0	-	**2**	+	0	-	**3**	+	0	-	**4**
1110	0	+	-	**1**	0	+	-	**2**	0	+	-	**3**	0	+	-	**4**
1001	+	-	+	**2**	+	-	+	**3**	+	-	+	**4**	-	-	-	**1**
0011	0	0	+	**2**	0	0	+	**3**	0	0	+	**4**	-	-	0	**2**
1101	0	+	0	**2**	0	+	0	**3**	0	+	0	**4**	-	0	-	**2**
1000	+	0	0	**2**	+	0	0	**3**	+	0	0	**4**	0	-	-	**2**
0110	-	+	+	**2**	-	+	+	**3**	-	-	+	**2**	-	-	+	**3**
1010	+	+	-	**2**	+	+	-	**3**	+	-	-	**2**	+	-	-	**3**
1111	+	+	0	**3**	0	0	-	**1**	0	0	-	**2**	0	0	-	**3**
0000	+	0	+	**3**	0	-	0	**1**	0	-	0	**2**	0	-	0	**3**
0101	0	+	+	**3**	-	0	0	**1**	-	0	0	**2**	-	0	0	**3**
1100	+	+	+	**4**	-	+	-	**1**	-	+	-	**2**	-	+	-	**3**

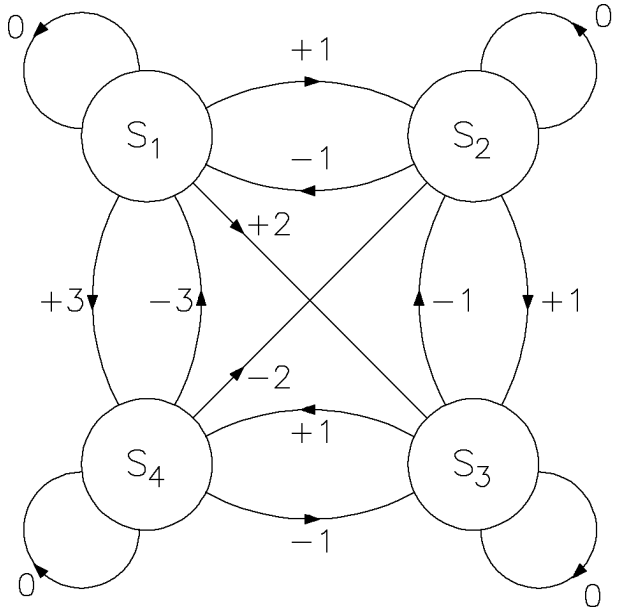
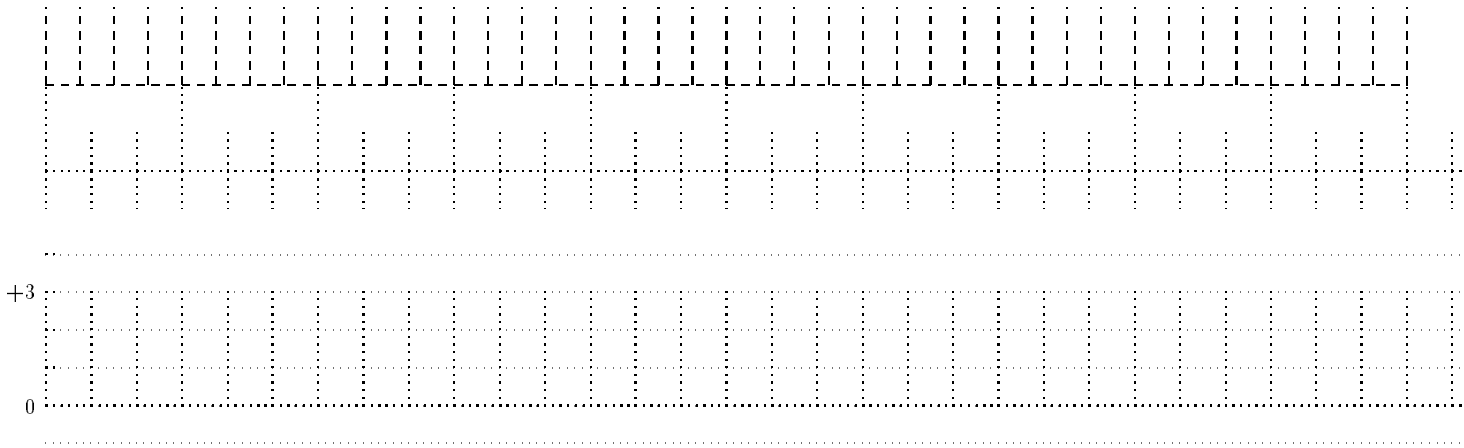


Abbildung 7.16: MMS43–Codetabellen und Zustandsübergänge



7.5 S_0–Schnittstelle

Jeder Basisanschluß enthält funktional zwei Basiskanäle mit jeweils 64 kBit/s und einen Steuerkreis mit 16 kBit/s. Es ergibt sich somit eine Nutzsignalbitrate von 144 kBit/s.

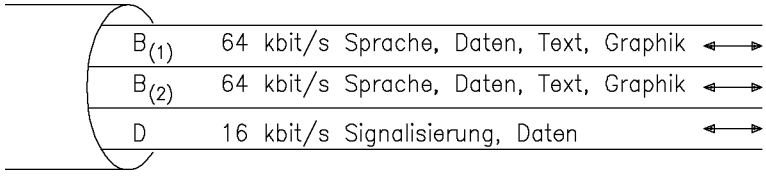


Abbildung 7.17: funktionelle Kanäle auf S_0 Quelle:[26]

Im Netzabschluß wird die Kanalcodierung wieder rückgängig gemacht und entprechend zu den Endgeräten eine 4–Draht–Schnittstelle zur Verfügung gestellt. Der Übertragungscode ist ein ASI–Code mit einer Bitrate von 192 kBit/s und einer Rahmenlänge von 48 Bit.

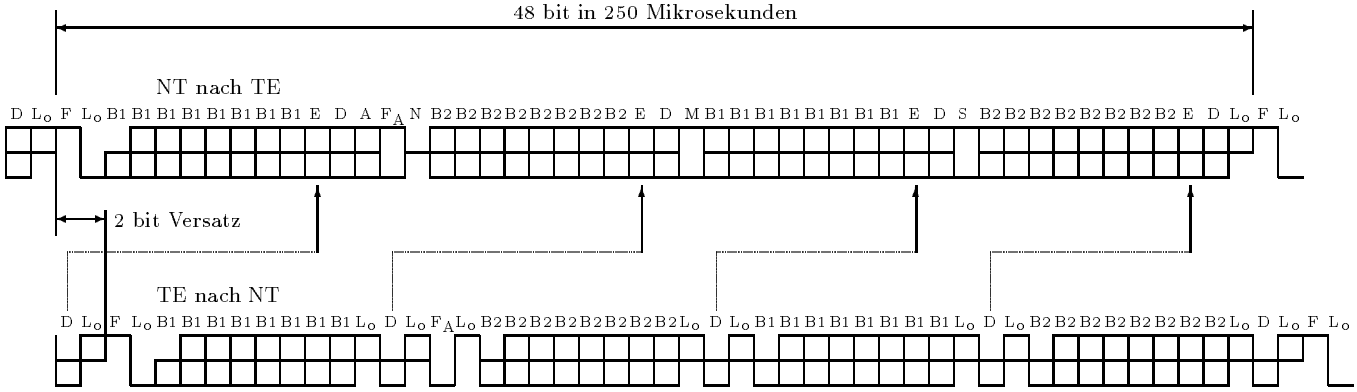


Abbildung 7.18: S_0–Rahmenstruktur für beide Übertragungsrichtungen

A=Aktivierungsprozedur, B1=B1–Kanal, B2=B2–Kanal, D=D–Kanal, E=D–Echo-Kanal, F=Rahmenkennungsbit, F_A= zusätzliches Rahmenkennungsbit (immer '0'), L=Paritätsbit, M=Multiframing (immer '0'), N=Anwendungskennung (immer '1'), S=Füllbit (immer '0').
Die Punkte L_o markieren die Teile des Rahmens mit Gleichanteilsfreiheit.

Die Rahmenstruktur zeigt, daß in beiden Richtungen jeweils durch bestimmte Bitpositionen ein Gleichspannungsausgleich möglich ist. Dies ist erforderlich, weil über die 40V–Gleichspannung, wie beim analogen Telefon, eine Gleichspannungsversorgung für angeschlossene Geräte möglich ist. Impulshöhe 750mV. Für die Richtung NT zu TE ist nur ein Ausgleichsbit nötig, für die Gegenrichtung muß nach jeder B– oder D–Kanalübertragung ein Ausgleich geschaffen werden.

Um bei der möglichen Busstruktur eine Kollision von Verbindungswünschen unterschiedlicher TEs zu erkennen, werden die für den Informationsaustausch wichtigen D–Kanal–Bits als E–(D–Kanal–Echo)–Bits den TEs wieder zugespielt. Erkennt ein TE einen Unterschied zwischen gesendeten D–Kanal–Bits und empfangenen E–Bits, dann muß sofort das Belegen des D–Kanals beendet werden. Dieses TE kann erst wieder versuchen den D–Kanal zu belegen, wenn es mehr als acht (oder zehn, je nach eingestellter Priorität) aufeinanderfolgende E–Bits mit Eins–Zustand erkannt hat. Bei der Kollision gilt Puls (also logisch Null) überschreibt kein Puls (also logisch Eins).

Die Rahmensynchronisation erfolgt durch eine Codeverletzung.

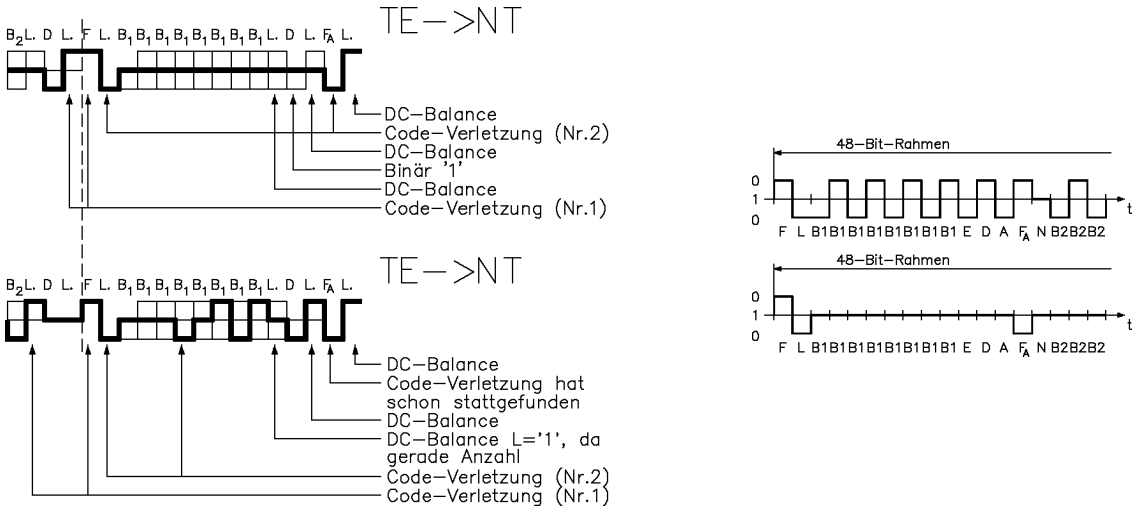


Abbildung 7.19: Rahmensynchronisation TE $--> $ NT und NT $-->$ TE Quelle:[26]

Bei den Betriebsarten unterscheidet man Punkt–zu–Punkt–Verbindung und Punkt–zu–Mehrpunkt–Verbindung, also Busstruktur. An einer Punkt–zu–Punkt–Verbindung wird im Regelfall eine TK–Anlage angeschlossen. Die unterschiedlich möglichen Leitungslängen bei der Busstruktur ergeben sich hauptsächlich aus der Laufzeit der Signale.

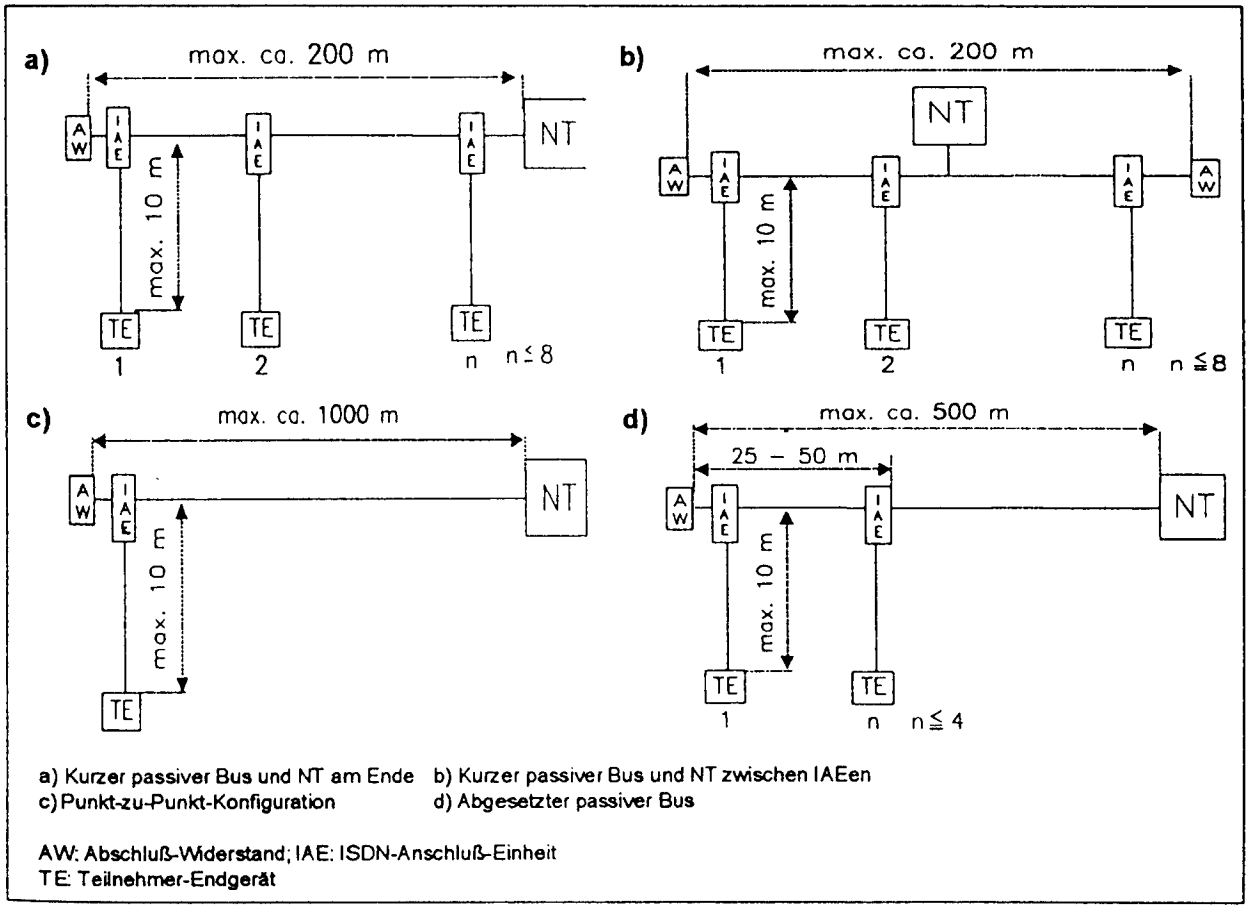


Abbildung 7.20: S_0–Bus–Konfigurationen Quelle:[24] S.65

1. Was ist U_{k0}?
2. Beschreiben Sie die S_0-Schnittstelle.
3. Was ist MMS43 ? Wo wird es verwendet und warum ?
4. Beschreiben Sie die Gliederung eines ISDN-Basisanschluß.
5. Was ist Zeitgetrenntlageverfahren, welche anderen Verfahren gibt es ?
6. Welche Dienste sind im IDN zusammengefaßt ?
7. Was bedeutet ISDN ?
8. Welche Möglichkeiten bietet der ISDN-Basisanschluß ?
9. Codieren Sie folgende Bitfolge für die U_{k0}- Übertragung
   11101001100000010011100111001000000000110
   Berechnen Sie jeweils die rds.
10. Codieren Sie die Bitfolge von voriger Aufgabe für die S_0-Schnittstelle.
11. Codieren Sie die Bitfolge von voriger Aufgabe mit HDB4-Code.
12. Codieren Sie die Bitfolge von voriger Aufgabe für eine 144 MBit/s-Übertragung.
13. Codieren Sie die Bitfolge von voriger Aufgabe für eine Übertragung mit RDS.
14. Wie groß ist die Schrittgeschwindigkeit auf der S_0-Schnittstelle, wie groß auf der U_{k0}-Schnittstelle ?
15. Was bedeutet 1TR6 und E-DSS1 ?
16. Was bedeutet Makeln ?
17. Was bedeutet Dreierkonferenz ?
18. Was bedeutet EAZ ?
19. Was bedeutet MSN bei ISDN ?

7.6 OSI-Modell

[j]

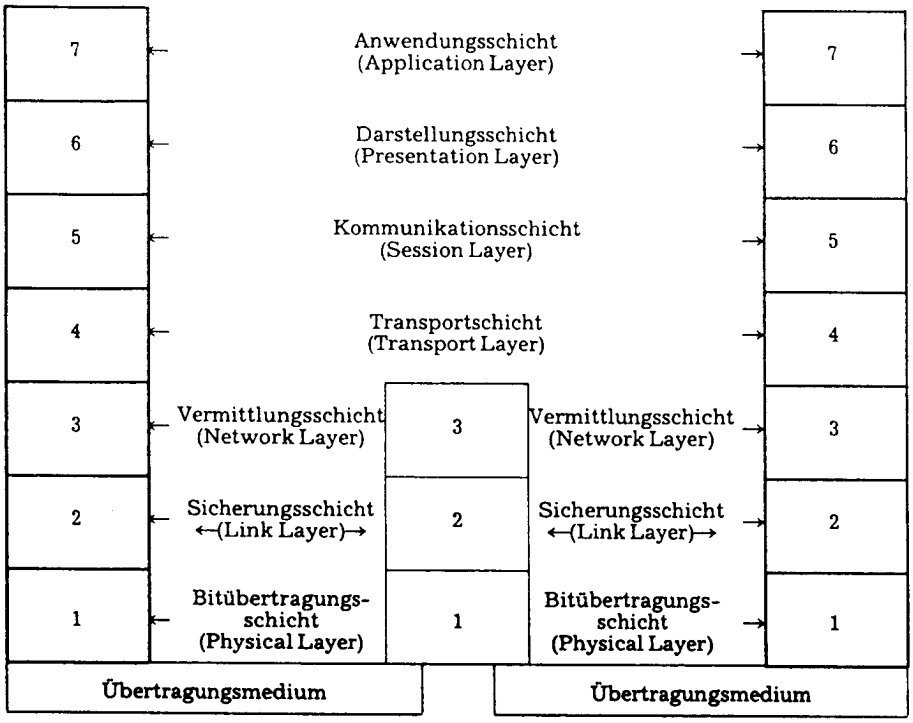


Bild E 1-12. Schichtenaufbau des OSI-Referenzmodells

Abbildung 7.21: OSI-Referenzmodell Quelle:[8] S.884

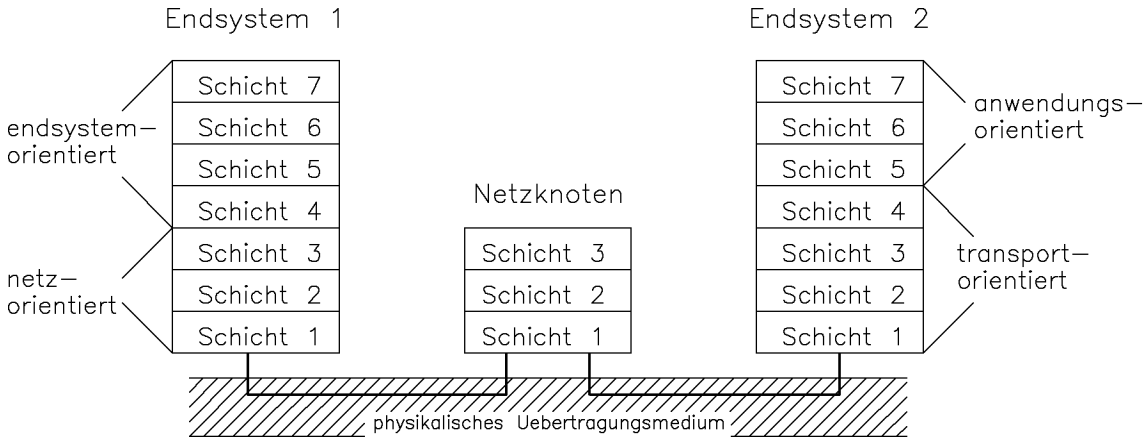


Abbildung 7.22: OSI-Referenzmodell Quelle:[26]

[j] OSI = Open Systems Interconnection 1983 von ISO entwickelt

1.7.2 Die Funktionen

In der Tabelle E 1-1 sind die den einzelnen Schichten zugeordneten Funktionen aufgeführt [21].

Schicht	Funktionen
Anwendung 7	Identifikation der Kommunikationspartner Beurteilung der momentanen Verfügbarkeit der Kommunikationspartner Berechtigungsprüfung für Kommunikation Wahl der Übermittlungsparameter (Dienstqualität, Priorität usw.) entsprechend Anwendung
Darstellung 6	Code- und Alphabetwandlung Formatanpassung Wahl der geeigneten Syntax entsprechend Anwendung
Sitzung 5	Aufbau und Aufrechterhaltung logischer Verbindungen (Zuordnung) zwischen bestimmten Verarbeitungseinheiten Verbindungsidentifikation Dialogsteuerung
Transport 4	Aufbau und Überwachung von Duplex-Übermittlungspfaden Anpassung an unterschiedliche Netzeigenschaften End-zu-End-Fehlerkontrolle Segmentierung und Blockbildung Adressübersetzungen
Netz 3	Verbindungslenkung Aufbau und Überwachung von Netzverbindungen Verbindungsmultiplexierung Netzabhängige Fehlerüberwachung Flußsteuerung, Verwaltung der Netzressourcen
Leitung 2	Leitungsaktivierung/-deaktivierung Übertragungssteuerung Übertragungsfehlerüberwachung Blocksynchronisation Wahl des geeigneten von mehreren physischen Übertragungspfaden
Physische Übertragung 1	Parallel/Serie-Wandlung Anpassung an die Physik unterschiedlicher Übertragungsmedien Synchronisation von Informationselementen (Bits) Zusammenschaltung von Abschnitten unterschiedlicher Übertragungsmedien Zustandsüberwachung und -signalisation

Abbildung 7.23: Funktion der Schichten im OSI-Referenzmodell Quelle:[8] S.886

Bild E 1-14 zeigt die Schichten und Protokolle des Referenzmodells am Beispiel der Schnittstelle für Paketvermittlung gemäß CCITT-Empfehlung X. 25.

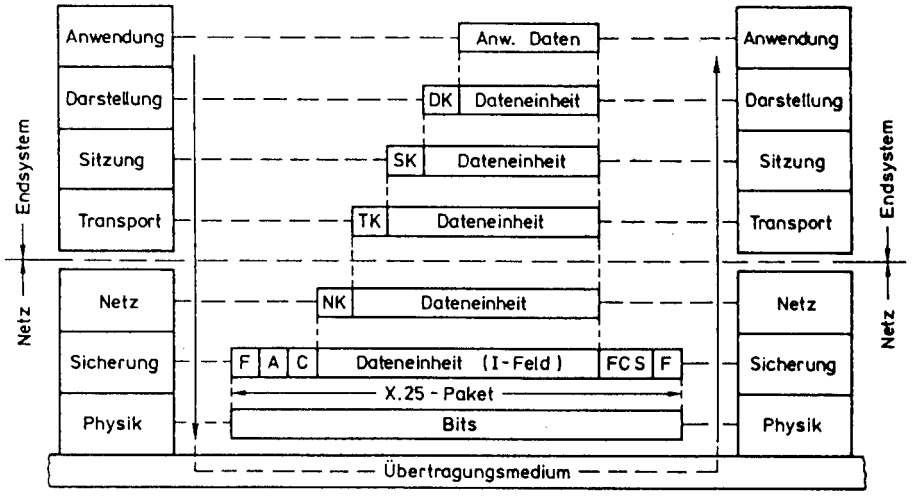


Bild E 1-14. Einbetten von Daten höherer Schichten in die unterlagerten Schichten am Beispiel der Schnittstelle X.25 für Paketvermittlung

DK Darstellungskopf
SK Sitzungskopf
TK Transportkopf
NK Netzkopf
F Blockbegrenzung (flag)
A Adreßfeld (address field)
C Steuerfeld (control field)
FCS Blockprüfzeichenfolge (frame check sequence)

Abbildung 7.24: Beispiel für OSI-Referenzmodell bei X.25 Datex-P Quelle:[8] S.885

7.6.1 Ziele des OSI-Modells

Spezifikation in X.200 und X.210

- Gleiche Funktionen werden zu einer Schicht (Layer) zusammengefaßt.
- Jede Schicht hat nur direkte Interaktion mit den beiden benachbarten Schichten.
- Zwischen den einzelnen Schichten soll die Interaktion möglichst gering sein.
- Die von einer Schicht für die nächst höhere Schicht zu erbringenden Aufgaben werden in dieser Schicht gegebenfalls unter Zuhilfenahme der jeweils niedrigeren Schicht realisert.
- Kommunikationsmodelle sind logische Modelle. Sie legen keine Implementierungen fest, sondern beschreiben lediglich die jeweiligen Funktionen und deren logische Zusammenhänge. Bei der Festlegung der einzelnen Schichten wird jedoch darauf geachtet, daß sie (hard- und softwaremäßig) jeweils einzeln implementiert werden können.
  ⇒ Damit kann jede Schicht hard– und softwaremäßig modifiziert werden, ohne daß dies Auswirkungen auf die anderen Schichten hat.

7.6.2 wichtige Begriffe:

offenes System *open system*	nur genormte, keine herstellerspezifischen Kommunikationsmechanismen besteht aus geordneter Menge von Teilsystemen (Baukastensystem)
Teilsystem *subsystem*	jedes Teilsystem kennt nur Eigenschaften der nächsten Nachbarn Teilsystem Schnittstelle nach oben und unten
Schicht *layer*	alle Teilsysteme gleicher Stufe der kommunizierenden Systeme System A System B System C ... N-Schicht N-Schicht N-Schicht ...
Instanz *entity*	selbstständige Software- oder Hardwarekomponente einer Schicht. eine oder mehrere Instanzen modellieren ein Teilsystem Die Modellierung einer Instanz legt aber keine Implementierung fest. entspricht dem Begriff *Prozess* in der Softwaretechnik. Aufgaben einer Instanz können sein: – Anbieten von Kommunikationsfunktionen an höhere Schicht – Kommunikation mit Partnerinstanz – interne Aufgaben in der Schicht, ohne Kommunikation nach oben oder unten
Partnerinstanzen *peer entity*	Instanzen derselben Schicht (peer = des gleichen Stands) können kommunizieren, müssen aber nicht

Dienst *service*	Eine Schicht bietet der jeweils darüberliegenden Schicht einen Dienst an Schicht G: Dienstbenutzer *service user* Dienst Schicht H: Diensterbringer *service provider* oberhalb einer Schicht ist nur der Dienst bekannt unabhängig davon, wie es zu dieser Dienstleistung kommt (information hidings)
Dienstzugangspunkt *service access point* SAP	Verbindungspunkt zwischen Instanzen übereinander liegender Teilsysteme Ein Dienstzugangspunkt wird über seine Adresse eindeutig festgelegt. Ein Dienstzugangspunkt kann jeweils nur von einer (N)–Instanz und einer (N+1)–Instanz bedient werden. ABER eine Instanz kann mehrere Dienstzugangspunkte bedienen. Jede N-Instanz hat über das Netz hinweg eindeutigen N-Namen. Implementierung von Dienstzugangspunkten ist genausowenig festgelegt, wie von Instanzen Bsp: – Speicheradresse von Nachrichtensystemen – Einsprungpunkte von Unterprogrammen
Verbindung *connection*	logische Kommunikationsbeziehungen zwischen Partnerinstanzen
Verbindungsendpunktname *connection endpoint identifier CEI*	eindeutige Adresse aus Adresse Dienstzugangspunkt (SAP) und Verbindungsendpunktsuffix Verbindungsendpunkte liegen jeweils nur innerhalb von Dienstzugangspunkten
Protokoll *protocol*	Regeln für den Informationsaustausch zwischen Partnerinstanzen.

7.6.3 Datenelemente

Datenelemente, die über einen Dienstzugangspunkt (SAP) zwischen zwei Schichten ausgetauscht werden, werden als Schnittstellendatenelemente IDU (Interface Data Units) bezeichnet.

Datenelemente, die zwischen Partnerinstanzen ausgetauscht werden, werden als Protokolldatenelemente PDU (Protocol Data Units) bezeichnet.

Typischerweise enthalten Datenelemente sowohl Steuer– als auch Nutzdaten.

Steuerdaten dienen zur Koordination der beteiligten Instanzen bei der Anforderung, Durchführung oder Erbringung eines Dienstes.

Nutzdaten können nur relativ gesehen werden. Steuerdaten einer höheren Schicht können Nutzdaten einer tieferen Schicht sein.

Damit könnte man schreiben:

Schnittstellendatenelemente	=	Schnittstellensteuerdaten	+	Schnittstellennutzdaten
IDU	=	ICI	+	ID
Interface Data Unit	=	Interface Control Information	+	Interface Data

Protokolldatenelemente	=	Protokollsteuerdaten	+	Protokollnutzdaten
PDU	=	PCI	+	UD
Protocol Data Unit	=	Protocol Control Information	+	User Data

Umfang Nutzdaten sind i.d.R. begrenzt, deshalb müssen PDUs oft aufgeteilt werden. Als Dienstdatenelemente SDU (Service Data Units) werden deshalb die abstrahierte Nutzdatengröße, die vom Dienst als Ganzes übermittelt wird, bezeichnet.

7.6.4 Dienstelemente

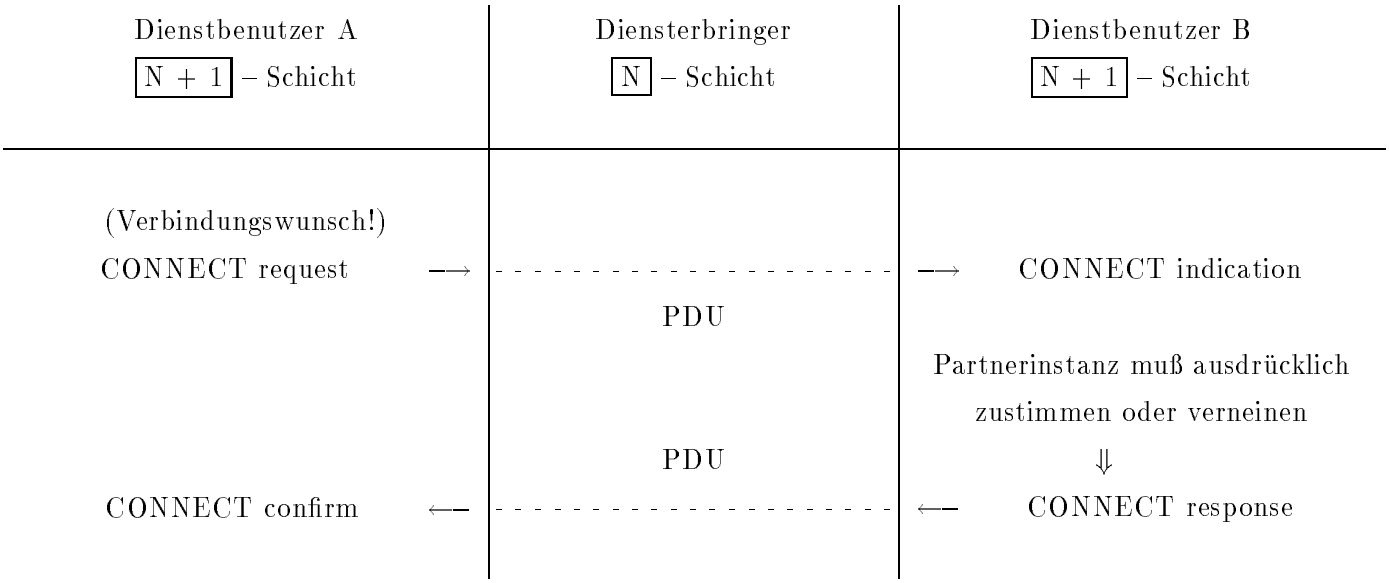
Modellierung von Diensten mit Definitionen von Dienstelementen (service primitives).

Zusammenspiel zwischen *service provider* und *service user* anhand abstrakter Nachrichten.

Man unterscheidet 4 Arten von Dienstelementen

Anforderung	request
Anzeige	indication
Antwort	response
Bestätigung	confirm

Beispiel Verbindungsaufbau



Beispiel quittierter Datenaustausch

Dienstbenutzer A [N + 1] – Schicht	Diensterbringer [N] – Schicht	Dienstbenutzer B [N + 1] – Schicht
(Datenaustausch)		
DATA request ⟶	PDU ⟶	DATA indication
		Partnerinstanz quittiert ⇓
DATA confirm ⟵	PDU ⟵	DATA response
		oder Quittierung mehrerer Dienstdatenelemente auf einmal mit neuem Dienstelement ⇓
DATA ACKNOWLEDGE indication ⟵	PDU ⟵	DATA ACKNOWLEDGE request

7.7 D-Kanal-Protokoll

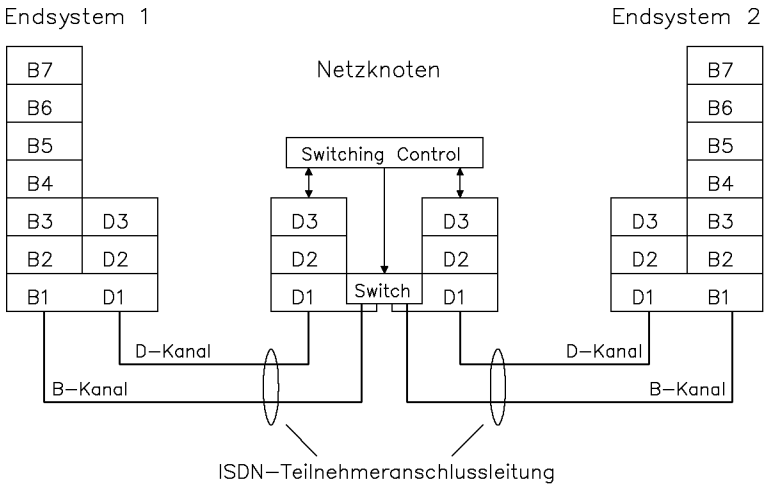


Abbildung 7.25: OSI-Referenzmodell bezogen auf D– und B–Kanal bei ISDN Quelle:[26]

Schicht	D-Kanal	B-Kanal (Dienstspezifische Protokollfestlegung)				
		Telefondienst	Teletexdienst	Telefax	Btx	Datenübermittlung leitungsvermittelt
7	nicht relevant	allgemeingültige Bedienprozeduren 1TR3 Teil3	Teletexendgeräteeigenschaften 1TR3 Teil13 ITU-T-Empf. T.61	Telefaxendgeräteeigenschaften 1TR3 Teil12 ITU-T-Empf. T400/500	Btx-Endgerätespezifikation 1TR3 Teil14	von DBP nicht vorgegeben
6	nicht relevant	1TR3 Teil10 ITU-T-Empf. G.711/G.722	Teletex Zeichenvorrat u. Codierung 1TR3 Teil4.7 ITU-T-Empf. T.61	Telefax-Codierung Dokumentenarchitektur 1TR3 Teil4.8 1TR3 Teil4.6 ITU-T-Empf. T.6/T.73	Presentation Protocol Syntax FTZ157D2E Kap.8	von DBP nicht vorgegeben
5	nicht relevant	nicht verwendet	Session-Protokoll für Telematikendeinrichtungen 1TR3 Teil 4.5 ITU-T-Empfehlung T.70		nicht verwendet	von DBP nicht vorgegeben
4	nicht relevant	nicht verwendet	Netzunabhängiger Transportdienst für Telematikdienste 11TR140 ITU-T-Empfehlung T.70			von DBP nicht vorgegeben
3	D-Kanalprotokoll 1TR6 Schicht 3 ETS 300 102	nicht verwendet	Vermittlungsprotokoll für Telematikendeinrichtungen 11TR130 ITU-T-Empfehlung T.70 leitungsvermittelnde Datennetze			von DBP nicht vorgegeben (T.70,T.90) (ISO 8208)
2	D-Kanalprotokoll 1TR6 ITU-T-Empf. I.440/I.441	nicht verwendet	HDLC-Protokoll für Telematikendein- 11TR120 ITU-T-Empfehlung T.70 und X.75			von DBP nicht vorgegeben (X.75)
1	Spezifikation der S_0 -Schnittstelle 1TR210 und 1TR230; ITU-T-Empfehlung I.430 Aktivierung und Deaktivierung des Basisanschlusses 1TR212, ITU-T-Empfehlung I.430 Speisekonzept für den Basisanschluß 1TR211; ITU-T-Empfehlung I.430 Installationskonzept 386 TR2 Prüfanforderungen 1TR212; ITU-T-Empfehlung I.603					

7.7.1 Schicht 1 Physical Layer

Funktionen

TE oder TA		NT
2 B-Kanäle, a 64kbits/s	⟷	
D-Kanal, a 16kbits/s	⟷	
Schrittakt	⟷	
Oktettakt	⟷	
Rahmensynchronisation	⟷	
D-Echokanal, a 16kbits/s	⟵	
Fernspeisung	⟵	
Aktivierung	⟷	
Deaktivierung	⟵	
Anschaltezustandsüberwachung	⟵	

Impulsform, Leitungseigenschaften i.d.R werden ungeschirmte, bündelverseilte Kupferadern mit 0.6mm Durchmesser benutzt. Bei einer effektiven Übertragungsgeschwindigkeit von 192kBit/s ergibt sich eine Schwerpunktfrequenz von 96kHz.

Gleichstromwiderstandsbelag	R'_o =	130 $\frac{\Omega}{km}$
Widerstandsbelag	R' =	100 $\frac{\Omega}{km}$
Induktivitätsbelag	L' =	680 $\frac{\mu H}{km}$
Kapazitätsbelag	C' =	120 $\frac{nF}{km}$
	C' =	30 $\frac{nF}{km}$
Signallaufzeit	τ' =	9 $\frac{\mu s}{km}$
	τ' =	5 $\frac{\mu s}{km}$
Wellendämpfung	α =	7.6 $\frac{dB}{km}$

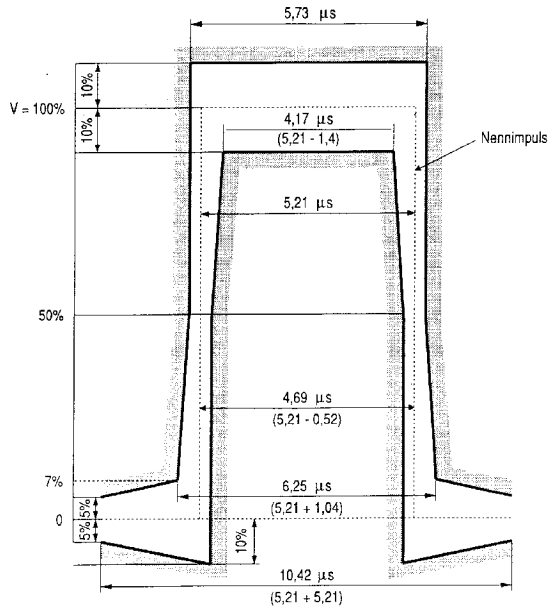


Abbildung 7.26: Leitungseigenschaften und Impulsmaske für S_0 Quelle: I430

Fernspeisung

Beim NTBA werden generell 2 Betriebszustände unterschieden.
- Normalbetrieb (Netzgerät im NTBA stellt mindestens 4.5W zur Verfügung)
- Notbetrieb (Leistungsaufnahme unter 380mW)

	Normalbetrieb		Notbetrieb	
	Ruhe	Betrieb	Ruhe	Betrieb
TE notspeiseberechtigt	< 100mW	< 1W	< 25mW	< 380mW
TE nicht notspeiseberechtigt	< 100mW	< 1W	0 mW	0 mW
NTBA Leistungsabgabe an S_0	> 4.5W	> 4.5W	> 45mW	> 410mW
NTBA Leistungsaufnahme an U_{k0}	< 50mW	< 350mW	< 120mW	< 800mW

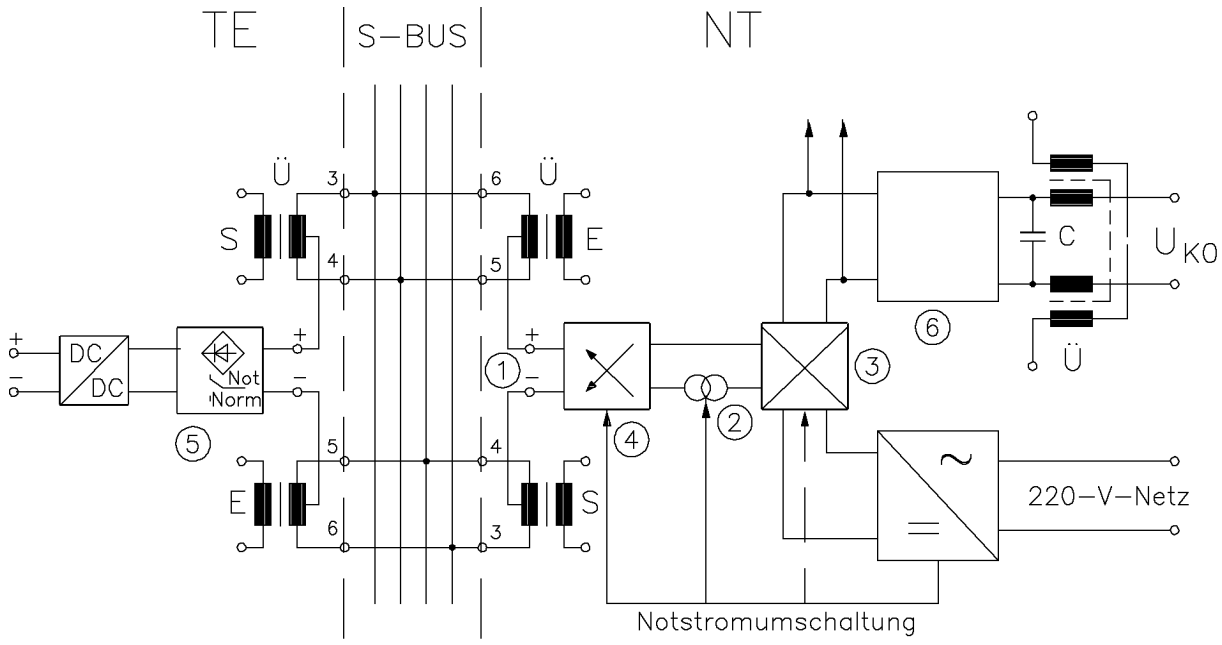
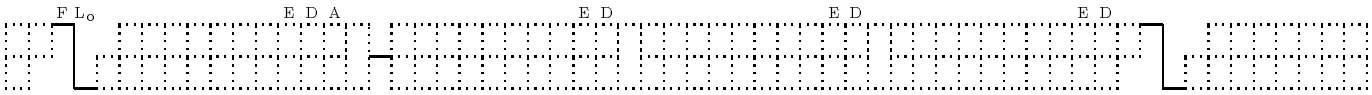
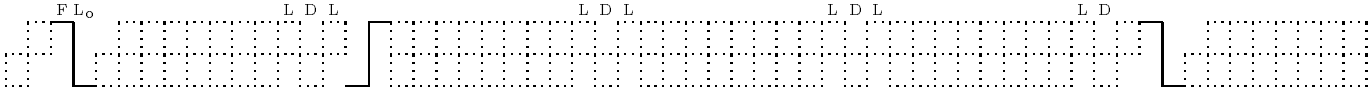


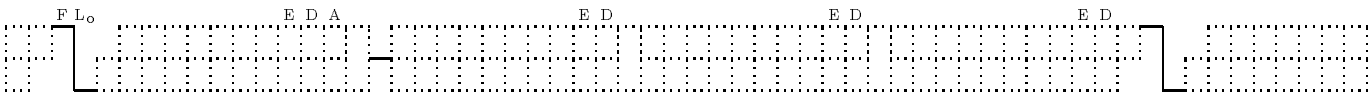
Abbildung 7.27: Spannungsversorgung auf dem S_0–Bus Quelle:[26]

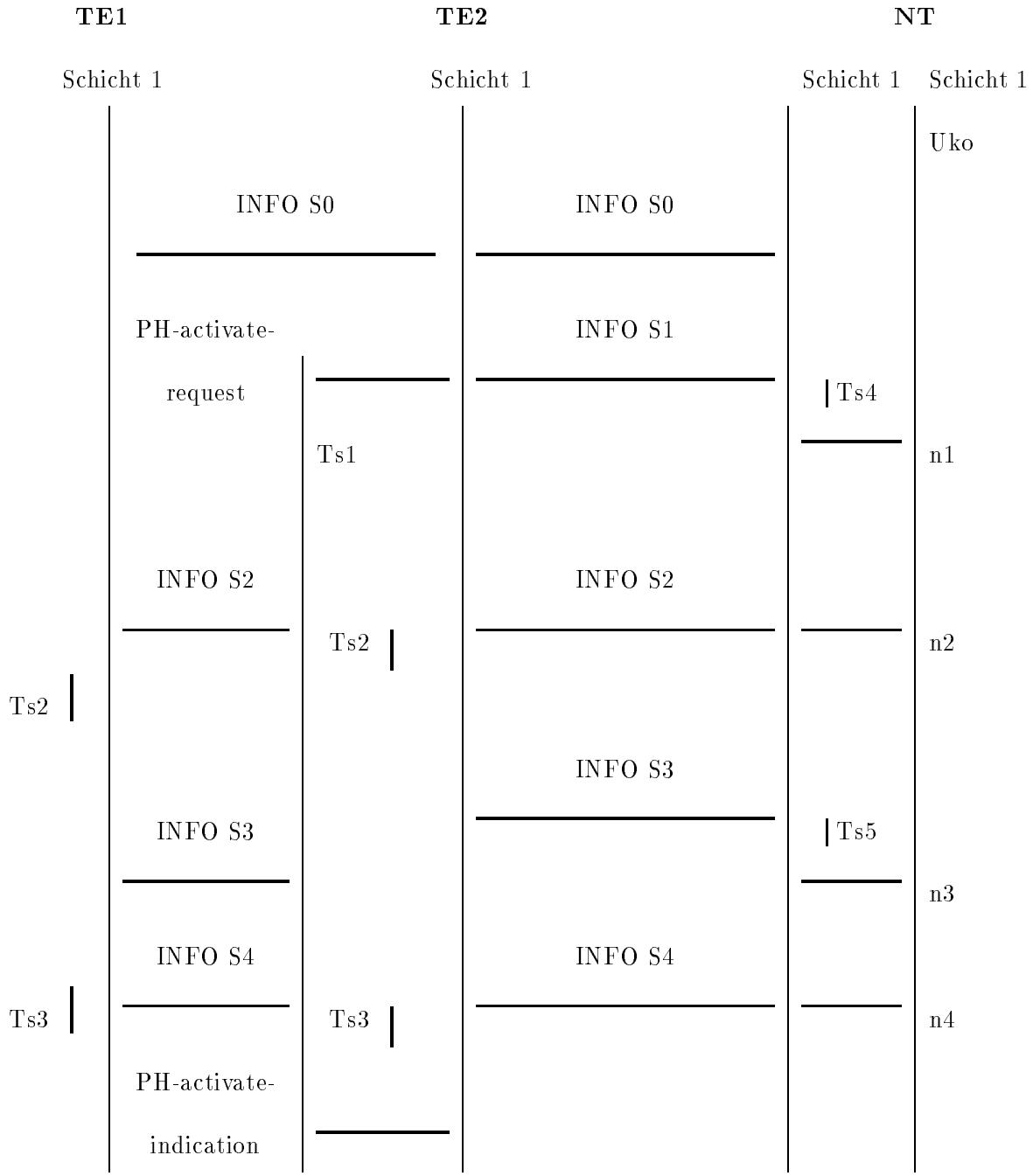
Aktivierung/Deaktivierung mit Signalelementen S0 bis S4

.









Dienstelemente

PH-DATA	Request	Indication
PH-ACTIVATE	Request	Indication
PH-DEACTIVATE	Request	Indication

Dienstelemente Schicht 1 ↔ D2-Schicht	Abkürzung	Bedeutung	TE	NT/ LT
PH-activate-request	PH-AR	Schicht 1 aktivieren	x	x
PH-awake-indication	PH-AWI	Meldung, daß die Aktivierung der Schicht 1 angestoßen wurde und diese noch nicht sendebereit ist	o	x
PH-activate-indication	PH-AI	Meldung, daß die Aktivierung der Schicht 1 in Senderichtung abgeschlossen ist	x	x
PH-deactivate-indication	PH-DI	Die Deaktivierung ist abgeschlossen	x	x
PH-data-request (data, priority)	PH-DAR	Nachrichtenaustausch	x	x
PH-data-indication (data)	PH-DAI	Nachrichtenaustausch	x	x
PH-rds-on-indication	PH-RDSI	Bestätigung, daß die Uko-Schnittstelle aktiviert ist	/	x
PH-loop-2-request	PH-L2R	Schicht 1 aktivieren und Prüfschleife 2 im NT schließen	/	x
PH-loop-4-request	PH-L4R	Schicht 1 aktivieren und Prüfschleife 4 im NT schließen	/	x
PH-loop-1-request	PH-L1R	Schicht 1 aktivieren und Prüfschleife 1 im LT schließen	/	x

Dienstelemente Schicht 1 ↔ Managementinstanz	Abkürzung	Bedeutung	TE	NT/ LT
MPH-error-indication	MPH-EI	Fehlerzustand festgestellt, z.B. Verlust des Rahmensynchronismus	o	o
MPH-activate-indication	MPH-AI	Die Aktivierung ist abgeschlossen, kann abgeleitet werden vom PH-AI	o	o
MPH-deactivate-request	MPH-DR	Die Deaktivierung wird angestoßen	/	x
MPH-deactivate-indication	MPH-DI	lokale Deaktivierungsquittung, kann abgeleitet werden vom PH-DI	o	o
MPH-information-indication (connected)	MPH-II(c)	Meldung, daß ein Endsystem an dem Bus angeschlossen ist	x	/
MPH-information-indication (disconnected)	MPH-II(d)	Meldung, daß ein Endsystem nicht an dem Bus angeschlossen ist	x	/
o = optional, / = nicht vorgesehen, x = vorgesehen				

SDL ist die Abkürzung für ITU–T Specification and Description Language. Sie ist in den Empfehlungen Z.100 bis Z.104 der ITU–T definiert. Ziel von SDL ist es, die eindeutige Spezifikation und Beschreibung des Verhaltens von fernmeldetechnischen Systemen. Es gibt zwei Formen: SDL/PR in Textform mit den Ähnlichkeiten einer Programmiersprache und SDL/GR in graphischer Form als Weiterentwicklung des Zustandsdiagramms.

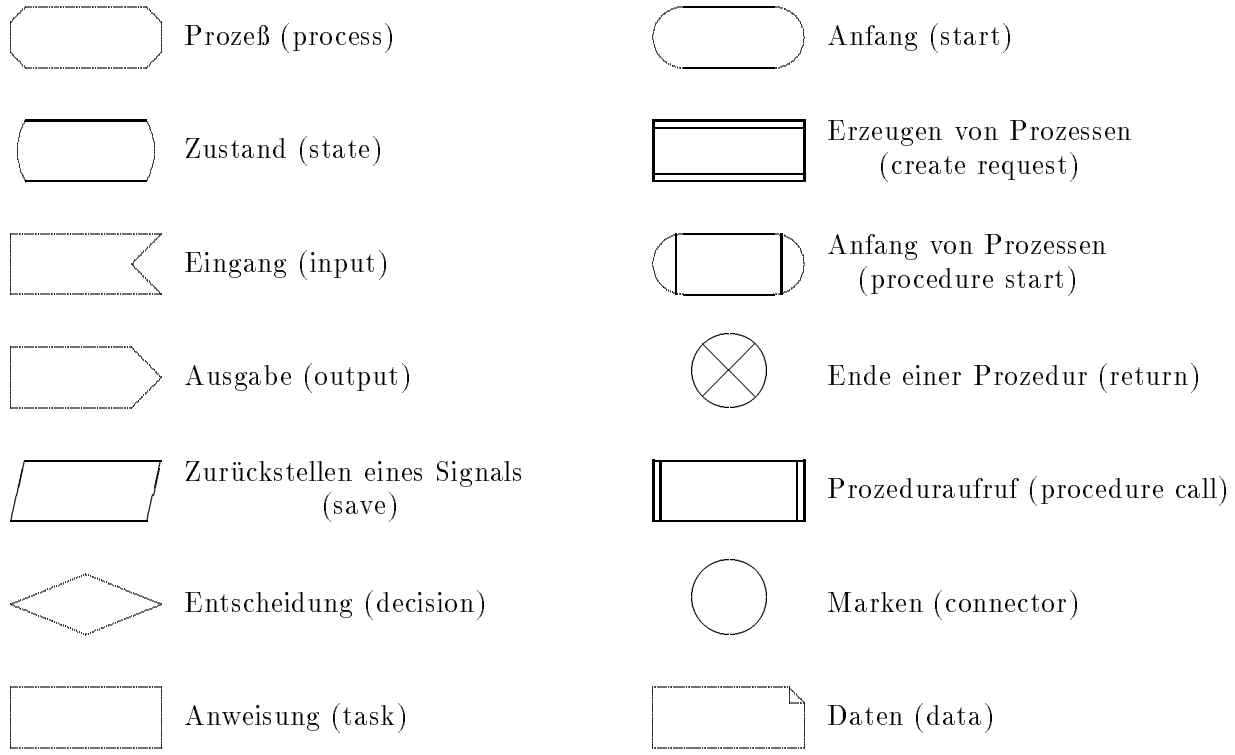


Abbildung 7.28: SDL–Diagramm Elemente

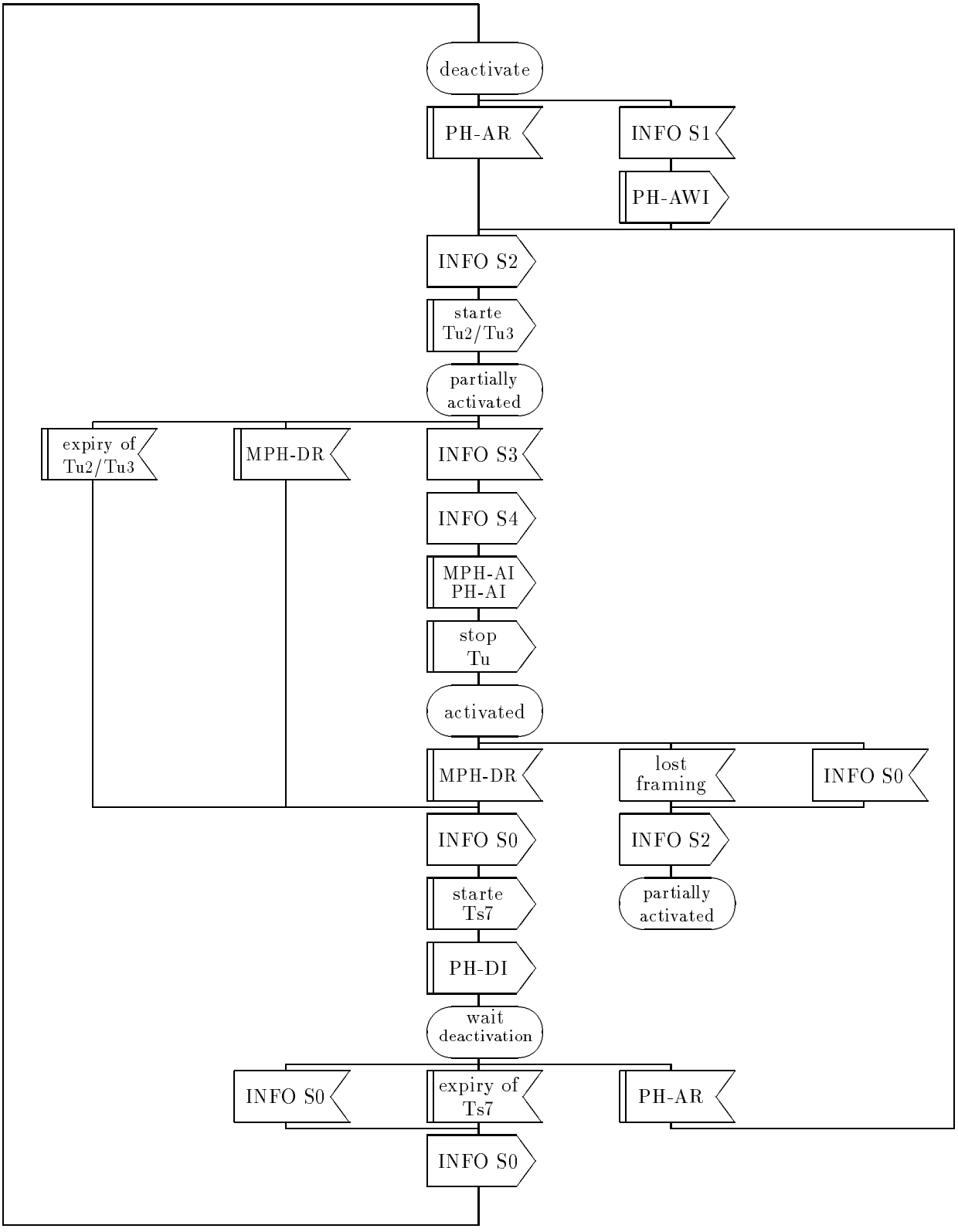


Abbildung 7.29: SDL–Diagramm zum Prozedurablauf Aktivierung/Deaktivierung im NT

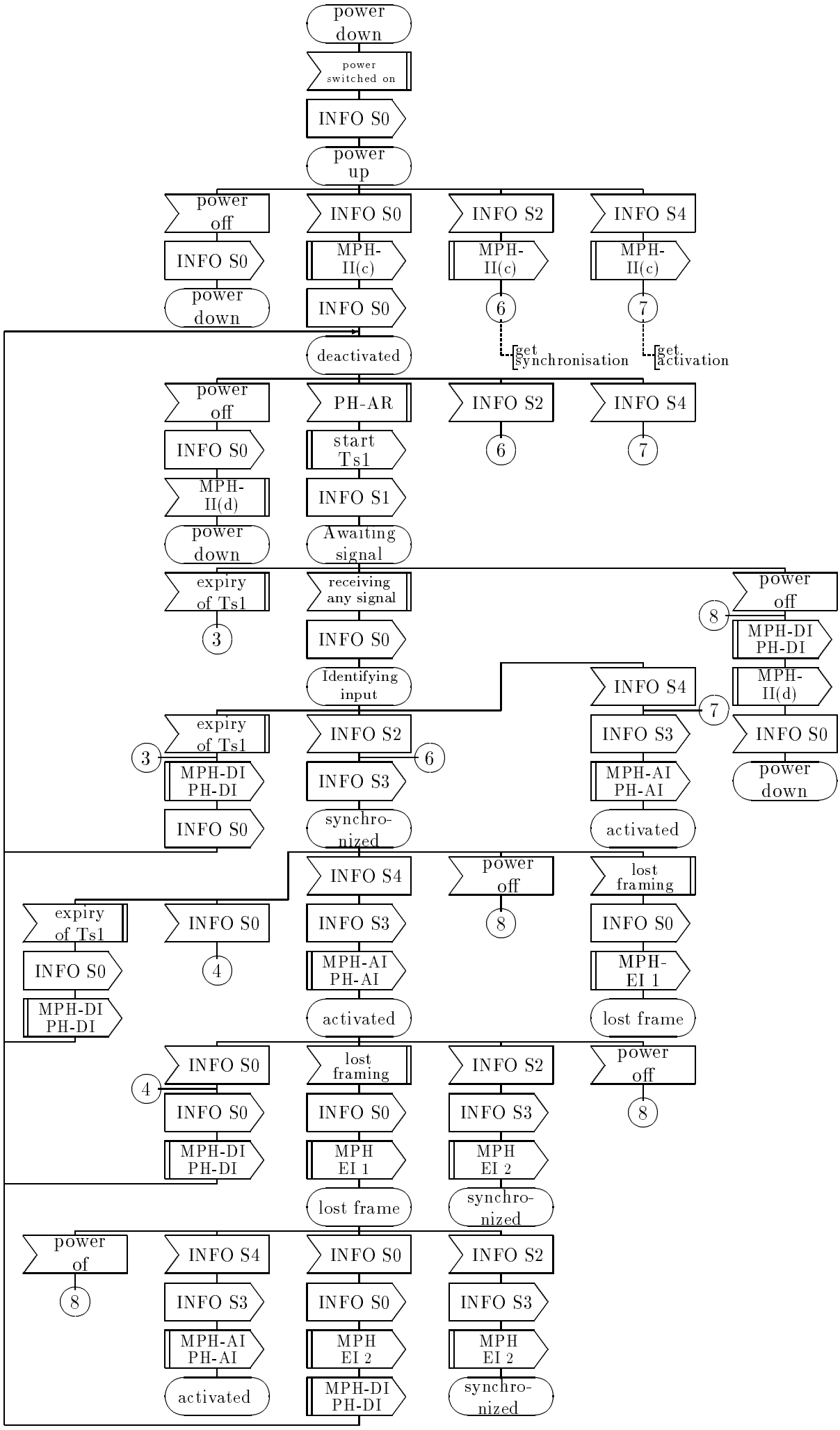


Abbildung 7.30: SDL–Diagramm zum Prozedurablauf Aktivierung/Deaktivierung im TE

7.7.2 Schicht 2 Data Link Layer

7.7.2.1 D2-Rahmen

Rahmenaufbau als LAPD[k]-Protokoll. Bitorientiertes Protokoll abgeleitet von HDLC[l]-Protokoll bei X.25 (LAPB[m]) (Q.920,Q.921 I.440,I.441)

LAPD-Funktionen für Schicht 2

- Rahmenbegrenzung
- Fehlerentdeckung, CRC-Check
- Koexistenz mehrerer logischer D2-Verbindungen für D3 oder Managementinstanz
- unquittierte Informationsübertragung
- quittierte Informationsübertragung mit Flußregelung

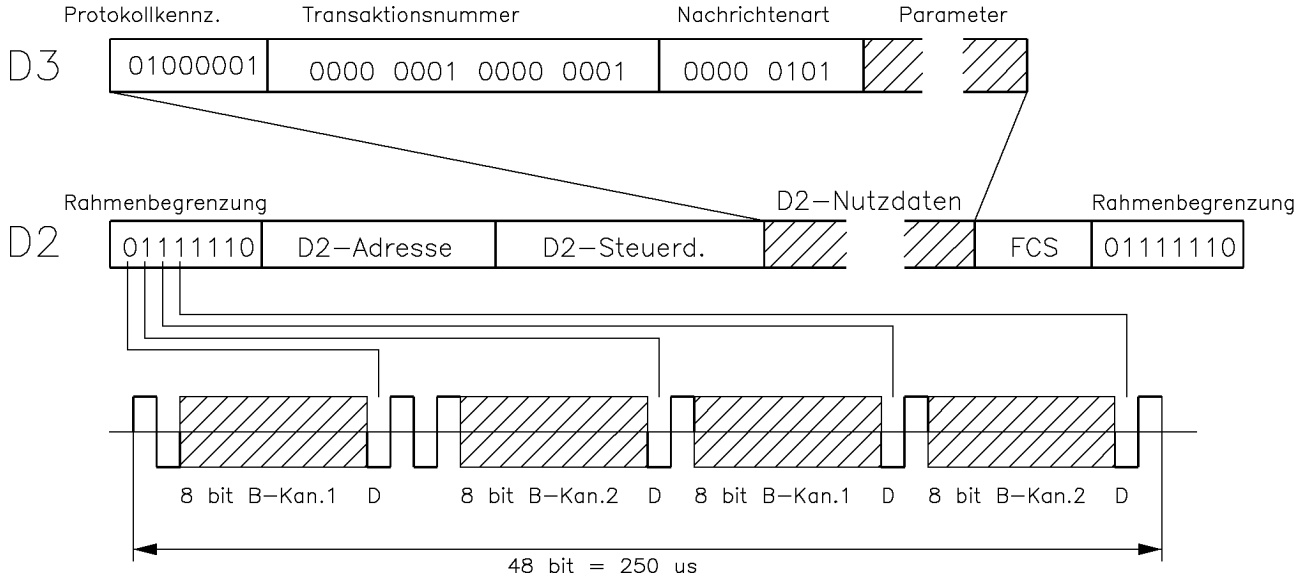


Abbildung 7.31: Datenstruktur D–Kanal bei S_0 Quelle:[26]

Format A nach Q.921

8 7 6 5 4 3 2 1	Oktett
Begin Flag	1
Adress-	2
feld	3
Steuerfeld	4
. . . . .	(5)
FCS a	N-2
FCS b	N-1
End Flag	N

Format B nach Q.921

8 7 6 5 4 3 2 1	Oktett
Begin Flag	1
Adress-	2
feld	3
Steuerfeld	4
. . . . .	(5)
Information	
. . .	
. . .	
. . .	
FCS a	N-2
FCS b	N-1
End Flag	N

[k] link access procedure on D-channel
[l] high level data link control
[m] link access procedure balanced

Bedeutung der einzelnen Rahmenelemente:

flag

Das opening flag und closing flag hat die Aufgabe Beginn und Ende des Rahmens eindeutig zu machen und damit die Synchronisation sicherzustellen. Deshalb muss es ein eindeutiges Bitmuster sein, das in der Übertragung nicht noch einmal vorkommen darf. Deshalb werden bei der Übertragung der Daten zwischen den flags, auf jede nacheinanderfolgende fünfte Eins eine Null eingefügt.

Adressfeld

Adressfeld deklariert eindeutig einen Verbindungsendpunkt (D2CI= D2 connection identifier)

8	7	6	5	4	3	2	1	
SAPI						C/R	EA 0	Oktett 2
TEI							EA 1	Oktett 3

SAPI (Service Access Point Identifier) 6 Bit, 64 Möglichkeiten, nur 4 in Q.921 (I.441) festgelegt

8	7	6	5	4	3	2	1		
32	16	8	4	2	1	CR	EA		
0	0	0	0	0	0	CR	0	0	Zeichengabe (s-SAPI)
0	0	0	0	0	1	CR	0	1	Zeichengabe für Paketkommunikation I.451
0	1	0	0	0	0	CR	0	16	Paketkommunikation X.25 (p-SAPI)
1	1	1	1	1	1	CR	0	63	D2-Schicht Managementfunktionen (z.B. TEI–Vergabe, m-SAPI)

TEI (Terminal Endpoint Identifier)

8	7	6	5	4	3	2	1		
64	32	16	8	4	2	1	EA		
0	0	0	0	0	0	0	1	0	TEI 0 bis 63 hardwaremäßig fest,
.	.	.	.	.	.	.	.	...	non automatic TEI
0	1	1	1	1	1	1	1	63	
1	0	0	0	0	0	0	1	64	TEI 64 bis 126 von NT(ET),
.	.	.	.	.	.	.	.	...	automatic TEI
1	1	1	1	1	1	0	1	126	
1	1	1	1	1	1	1	1	127	Gruppen-TEI, *broadcast*

C/R (Command/Response) Information darüber, wer Auslöser der Nachricht ist

Command	TE → NT	0
Command	NT → TE	1
Response	TE → NT	1
Response	NT → TE	0

Nach den Regeln der HDLC-Protokolle wird immer bei
Kommando: Adresse der Partnerinstanz benutzt
Antwort: Adresse eigene D2-Instanz

EA (Adresserweiterungsbit) ursprünglich

0	weiteres Adressfeld
1	Ende Adressfeld

momentan Adressfeld immer 2 Oktette, deshalb festgelegt
EA=0 für Oktett 2 und
EA=1 für Oktett 3

Steuerfeld

I–Format	Information	numerierte, quittierte Informationsübertragung
S–Format	Supervisory	Überwachungs- und Steuerrahmen
U–Format	Unnumbered	unnumerierte Rahmen

I – FORMAT

8	7	6	5	4	3	2	1	
N(S)							0	Oktett 4
N(R)							P	Oktett 5

Jeder D2–I–Rahmen enthält N(S) Sendefolgenummer und N(R) Empfangsfolgenummer. Im Empfänger wird die N(S) kontrolliert und mit N(R) quittiert. An das D2–I–Steuerfeld schließt sich im D2-Infofeld das D3-PDU an.

Jeder I–Rahmen muß sofort quittiert werden!!!

S – FORMAT

8	7	6	5	4	3	2	1	
0	0	0	0	S	S	0	1	Oktett 4
N(R)							PF	Oktett 5

3 PDUs definiert als Commands und Responses

S	S			
0	0	RR	Receive Ready	Anzeige Empfangsbereitschaft, Quittierung für empfangenen I–Rahmen, Annullierung Besetztzustand, mit P=1 Statusabfrage Partnerinstanz
0	1	RNR	Receive Not Ready	Anzeige Besetztzustand, mit P=1 Statusabfrage Partnerinstanz
1	0	REJ	Reject	Aufforderung zum Senden eines I–Rahmens ab Folgenummer N(R), mit P=1 Statusabfrage Partnerinstanz

U – FORMAT

8	7	6	5	4	3	2	1	
M	M	M	PF	M	M	1	1	Oktett 4

nur 1 Oktett, also keine Folgenummern, 7 PDUs definiert

Commands:

SABME (Set Asynchronous Balance Mode Extended)

8	7	6	5	4	3	2	1	
0	1	1	P	1	1	1	1	SABME

Aufbauanforderung einer D2–Schicht–Verbindung, muß umgehend mit UA quittiert werden. Dann Quittierungszustandsvariable V(A)=0, Sendezustandsvariable V(S)=0, Wiederholzähler = 0

DISC (Disconnect)

8	7	6	5	4	3	2	1	
0	1	0	P	0	0	1	1	DISC

Aufheben der D2-Verbindung.

UI (Unnumberd Information)

8	7	6	5	4	3	2	1	
0	0	0	P	0	0	1	1	UI

mit angehängtem Infofeld zur Übertragung von unquittierten Informationen.
- Zuordnung, Überprüfung, Entfernung, Identifizierung, Bestätigung von TEI.
- Broadcasting, Rundruf (z.B. D3-SETUP)

XID (Exchange Identification)

8	7	6	5	4	3	2	1	
1	0	1	PF	1	1	1	1	XID

wird nicht benutzt, wäre Command und Response,

Responses:

UA (Unnumbered Acknowledge)

8	7	6	5	4	3	2	1	
0	1	1	F	0	0	1	1	UA

Antwort auf U-Befehl. (SABME oder DISC)

DM (Disconnected Mode)

8	7	6	5	4	3	2	1	
0	0	0	F	1	1	1	1	DM

Anzeige der nicht vorhandenen Bereitschaft, eine quittierte D2-Verbindung aufzubauen.

FRMR (Frame Reject)

8	7	6	5	4	3	2	1	
1	0	0	F	0	1	1	1	FRMR

mit 5 Oktetts Infofeld. Meldung eines nicht behebbaren Rahmenfehlers mit Angabe Steuerfeld 2 Oktetts, N(S), N(R), mögliche Fehlerursache.

mögliche Ursachen

- FCS-Fehler
- ungültiges, nicht implementiertes Steuerfeld
- ungültige Folgenummer N(R)
- Datenblock hat Infofeld zu großer Länge
- Befehl oder Meldung nicht gültig, auswertbar
- unzulässiges Informationsfeld

P/F (Poll/Final)
Kommandos mit gesetztem P-Bit müssen sofort mit gesetztem F-Bit quittiert werden. Bei einer unquittierten Informationsübertragung (UI) ist das P/F-Bit stets Null.

FCS (Frame check sequence) Rahmenprüfzeichen

Das Generatorpolynom für den CRC-Check lautet
16-Bit-Prüfpolynom : CRC-ITU (V.41) $g(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$

Die Bildung des Rahmenprüfzeichens ergibt sich nach Q.921 zu

$$\frac{(\text{Polynom des Nachrichtenblocks}) \cdot x^{16} \; + \; x^k \cdot (x^{15} + x^{14} + x^{13} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^9 + x^8 + x^7 + x^6 + x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + x + 1)}{x^{16} + x^{12} + x^5 + 1}$$

mit k als Anzahl bits des Nachrichtenblocks.
Der Divisonsrest wird invertiert und als FCS in den Rahmen einfügt. (Invertierung ermöglicht Empfänger zu erkennen, ob während Übertragung fehlerhaft Nullen hinzugefügt oder abgeschnitten wurden. siehe [14] S.162)

Auf der Empfangsseite wird alles zwischen den flags nach obiger Formel behandelt, so daß sich bei fehlerfreier Übertragung als Rest in den Schieberegistern 0001 1101 0000 1111 ergibt.

Im Prinzip ergibt sich durch diesen CRC-Check ein zyklischer Hamming Code mit d=4, d.h. alle $1, 2, 3$–Bitfehler und die ungeraden Bitfehler werden erkannt, außerdem alle Bündelfehler bis zur Länge 16 Bits.

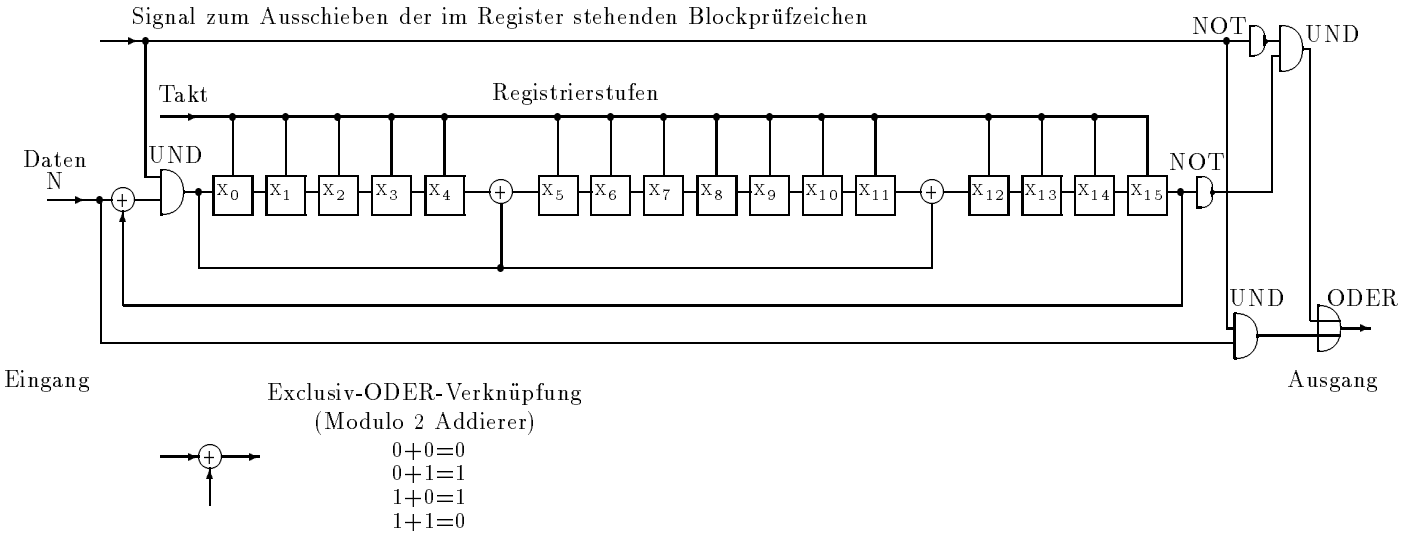
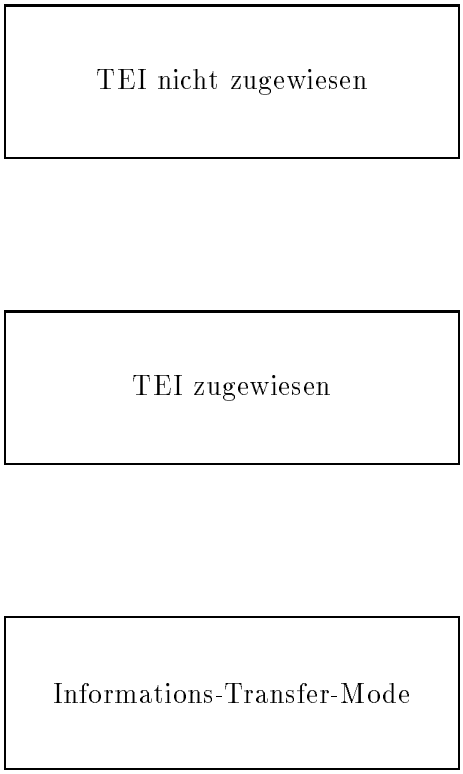


Abbildung 7.32: Schieberegisterschaltung zur FCS-Prüfung

7.7.2.2 TEI-Prozeduren



Bei Mehrgerätekonfigurationen eindeutige Identifizierung eines TE mit der TEI.
TEI-Vergabeprozedur mit UI-Rahmen

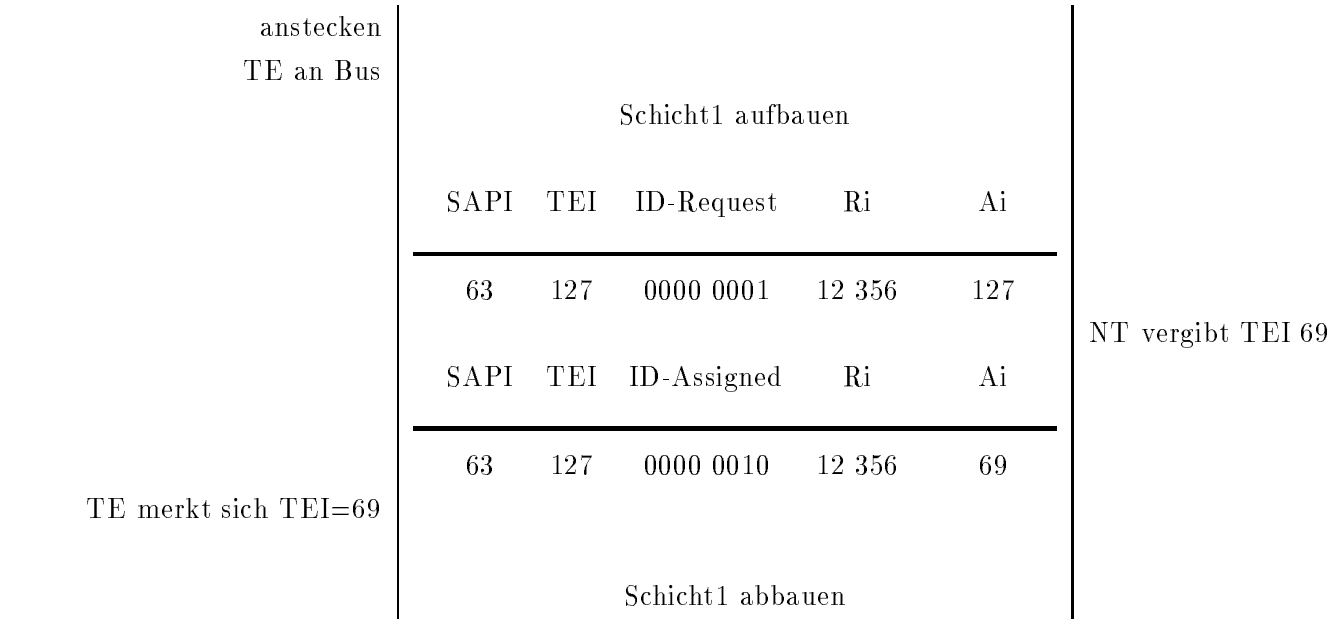
D2 - Rahmen									
				TEI Vergabe					
Flag	SAPI 63	TEI 127	UI	Management entity identfier	Reference number Ri	Message type	Action Indicator Ai + E-Bit	FCS	Flag
1	2	3	4	5	6+7	8	9	10+11	12

Mangement entity identifier ist immer 0000 1111.
Die Reference number Ri (Kennzahl) ist eine Zufallszahl, die im TE erzeugt wird.
Message Type siehe Tabelle
Action Indicator Ai beinhaltet entweder den zugewiesenen, zu überprüfenden oder zurückzunehmenden TEI–Wert.
Das E–Bit im Action Indicator markiert mit '0', daß noch weitere Ai-Felder folgen, mit '1', das Ende eines Ai-Feldes.

8	7	6	5	4	3	2	1
Ai							E

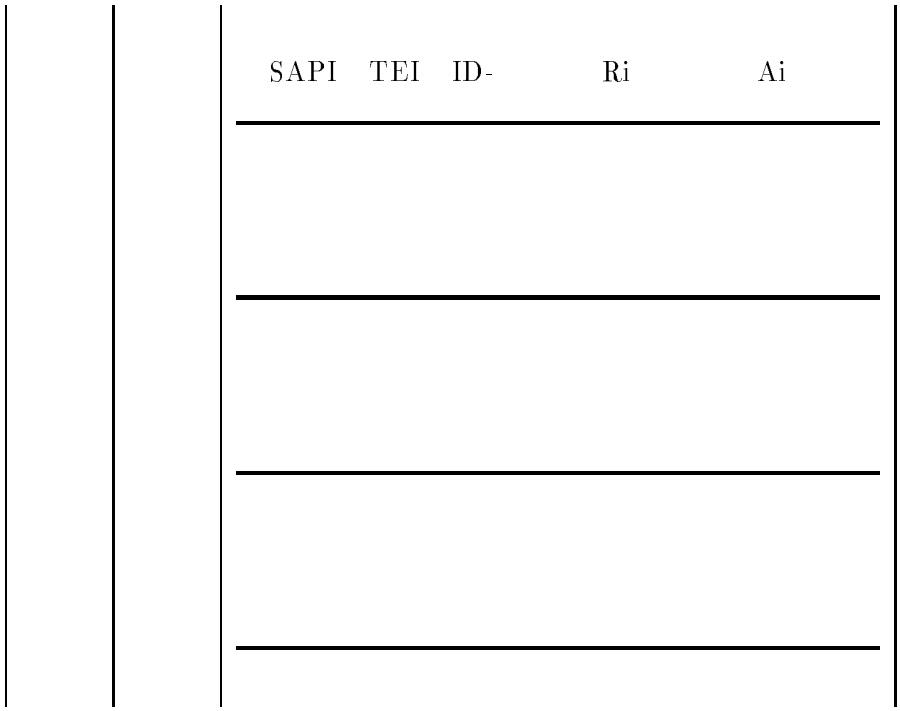
Richtung	Message name	Message Type	Reference Number Ri	Action Indicator Ai	Bedeutung
TE → NT	Identity Request	0000 0001	0...65535	127	beliebiger TEI-Wert wird akzeptiert
NT → TE	Identity Assigned	0000 0010	0...65535	64...126	zugewiesener TEI-Wert
NT → TE	Identity Denied	0000 0011	0...65535	127 64...126	kein TEI-Wert verfügbar oder, TEI-Wert verweigern
NT → TE	Identity Check Request	0000 0100	0	0...126 127	zu prüfender TEI-Wert oder, alle TEI-Werte überprüfen
TE → NT	Identity Check Response	0000 0101	0...65535	0...126	vorhandene TEI geprüft
NT → TE	Identity Remove	0000 0110	0	127 0...126	alle TEI-Werte zurückweisen oder, speziellen TEI-Wert zurückweisen
TE → NT	Identity Verify	0000 0111	0	0...126	zu überprüfender TEI-Wert

Beispiel einer automatischen TEI-Zuweisung bei Anstecken eines TE an den S_0-Bus eines ISDN-Basisanschluß. TE erzeugt Zufallszahl 12356



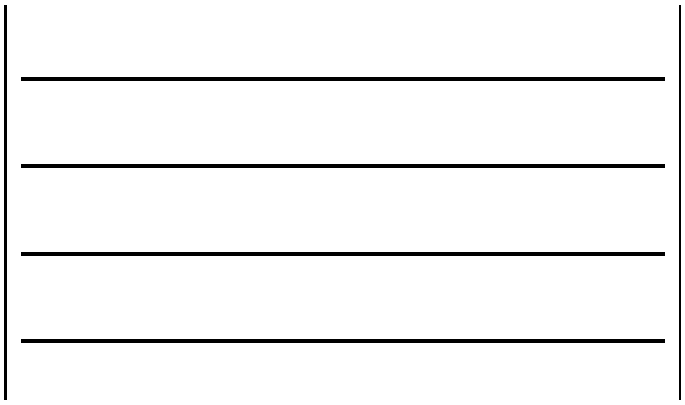

```
-> 0033 33:89 008  G  63 127  C UI    12356 TEI-Vergabe
        01 Identity Request ......FF      1 127=AI     TEI Wert akzeptiert ...
<- 0034 00:02 008  G  63 127  C UI    12356 TEI-Vergabe
        02 Identity Assigned .....8B      1 069=AI     TEI Wert zugewiesen ...
```

Überprüfung aller TEI–Werte von Vermittlung Timer T201=1s




```
<- 0137 00:03 008  G  63 127  C UI    00000 TEI-Vergabe
        04 Identity Check Request. FF      1 127=AI     alle TEI Werte pruefen .
-> 0138 00:02 008  G  63 127  C UI    65408 TEI-Vergabe
        05 Identity Check Response A7      1 083=AI     vorhandenen TEI pruefen.
-> 0139 00:00 008  G  63 127  C UI    00176 TEI-Vergabe
        05 Identity Check Response DB      1 109=AI     vorhandenen TEI pruefen.
-> 0140 00:01 008  G  63 127  C UI    65520 TEI-Vergabe
        05 Identity Check Response A9      1 084=AI     vorhandenen TEI pruefen.
```

Kontrolle von Vermittlung bei Kabelfehler



```
<- 0205 01:07 008  G  63 127  C UI    00000 TEI-Vergabe
        04 Identity Check Request. 85      1 066=AI     zu pruefender TEI Wert .
<- 0206 01:06 008  G  63 127  C UI    00000 TEI-Vergabe
        04 Identity Check Request. 85      1 066=AI     zu pruefender TEI Wert .
<- 0207 01:07 008  G  63 127  C UI    00000 TEI-Vergabe
        06 Identity Remove ....... 85      1 066=AI     TEI Wert zurueck .......
<- 0208 01:07 008  G  63 127  C UI    00000 TEI-Vergabe
        06 Identity Remove ....... 85      1 066=AI     TEI Wert zurueck .......
```

Versuch ein 9.Endgerät an den S_0-Bus anzuschließen. Timer T202=2s

```
-> 0247 01:89 008  G  63 127  C UI    61695 TEI-Vergabe
        01 Identity Request ...... FF      1 127=AI     TEI Wert akzeptiert ...
<- 0248 00:01 008  G  63 127  C UI    61695 TEI-Vergabe
        03 Identity Denied ....... FF      1 127=AI     kein TEI Wert verfuegbar
<- 0249 00:01 008  G  63 127  C UI    00000 TEI-Vergabe
        04 Identity Check Request. FF      1 127=AI     alle TEI Werte pruefen .
-> 0250 00:01 008  G  63 127  C UI    18212 TEI-Vergabe
        05 Identity Check Response 8D      1 070=AI     vorhandenen TEI pruefen.
-> 0251 00:00 008  G  63 127  C UI    13516 TEI-Vergabe
        05 Identity Check Response 91      1 072=AI     vorhandenen TEI pruefen.
-> 0252 00:01 008  G  63 127  C UI    57347 TEI-Vergabe
        05 Identity Check Response 93      1 073=AI     vorhandenen TEI pruefen.
-> 0253 00:01 008  G  63 127  C UI    00218 TEI-Vergabe
        05 Identity Check Response 8F      1 071=AI     vorhandenen TEI pruefen.
-> 0254 00:00 008  G  63 127  C UI    00186 TEI-Vergabe
        05 Identity Check Response 85      1 066=AI     vorhandenen TEI pruefen.
-> 0255 00:01 008  G  63 127  C UI    00250 TEI-Vergabe
        05 Identity Check Response 8B      1 069=AI     vorhandenen TEI pruefen.
-> 0256 00:01 008  G  63 127  C UI    00639 TEI-Vergabe
        05 Identity Check Response 95      1 074=AI     vorhandenen TEI pruefen.
-> 0257 00:00 008  G  63 127  C UI    18209 TEI-Vergabe
        05 Identity Check Response 81      1 064=AI     vorhandenen TEI pruefen.
```

7.7.2.3 Dienstelemente

D2–Dienstelemente (primitives) nach Q.920 mit Arten

unquittiert	D2-UNIT-DATA	Request	Indication		
quittiert	D2-DATA	Request	Indication		
	D2-ESTABLISH	Request	Indication		Confirm
	D2-RELEASE	Request	Indication		Confirm
unquittiert	MD2-UNIT-DATA	Request	Indication		
	MD2-ASSIGN	Request	Indication		
	MD2-REMOVE	Request			
	MD2-ERROR		Indication	Response	

Dienstelemente	Parameter-übergabe	Bemerkung
D3 $\longleftrightarrow$ D2		
D2-Establish-Request	-	D2-Verbindung einrichten
D2-Establish-Indication	-	D2-Verbindung eingerichtet
D2-Establish-Confirm	-	D2-Verbindung eingerichtet
D2-Release-Request	-	D2-Verbindung beenden
D2-Release-Indication	-	D2-Verbindung beendet
D2-Release-Confirm	-	D2-Verbindung beendet
D2-Unit-Data-Request	x	D3-Protokolldatenelement (D2-SDU) (nur ET)
D2-Unit-Data-Indication	x	D3-Protokolldatenelement (D2-SDU)
D2-Data-Request	x	D3-Protokolldatenelement zur Partnerinstanz (D2-SDU)
D2-Data-Indication	x	D3-Protokolldatenelement von Partnerinstanz (D2-SDU)
MD2 $\longleftrightarrow$ D2		
MD2-Assign-Request	x	TEI-Wert Übergabe an die D2-Instanz
MD2-Assign-Indication	x	TEI-Wert Anforderung
MD2-Remove-Request	x	Zurückweisung eines TEI-Wertes
MD2-Error-Indication	x	Fehlermeldung mit Angabe des Grundes
MD2-Error-Response	x	Fehlermeldung mit Angabe des Grundes
MD2-Unit-Data-Request	x	Nachrichtenaustausch zwischen MD2 $\leftrightarrow$ MD2
MD2-Unit-Data-Indication	x	Nachrichtenaustausch zwischen MD2 $\leftrightarrow$ MD2

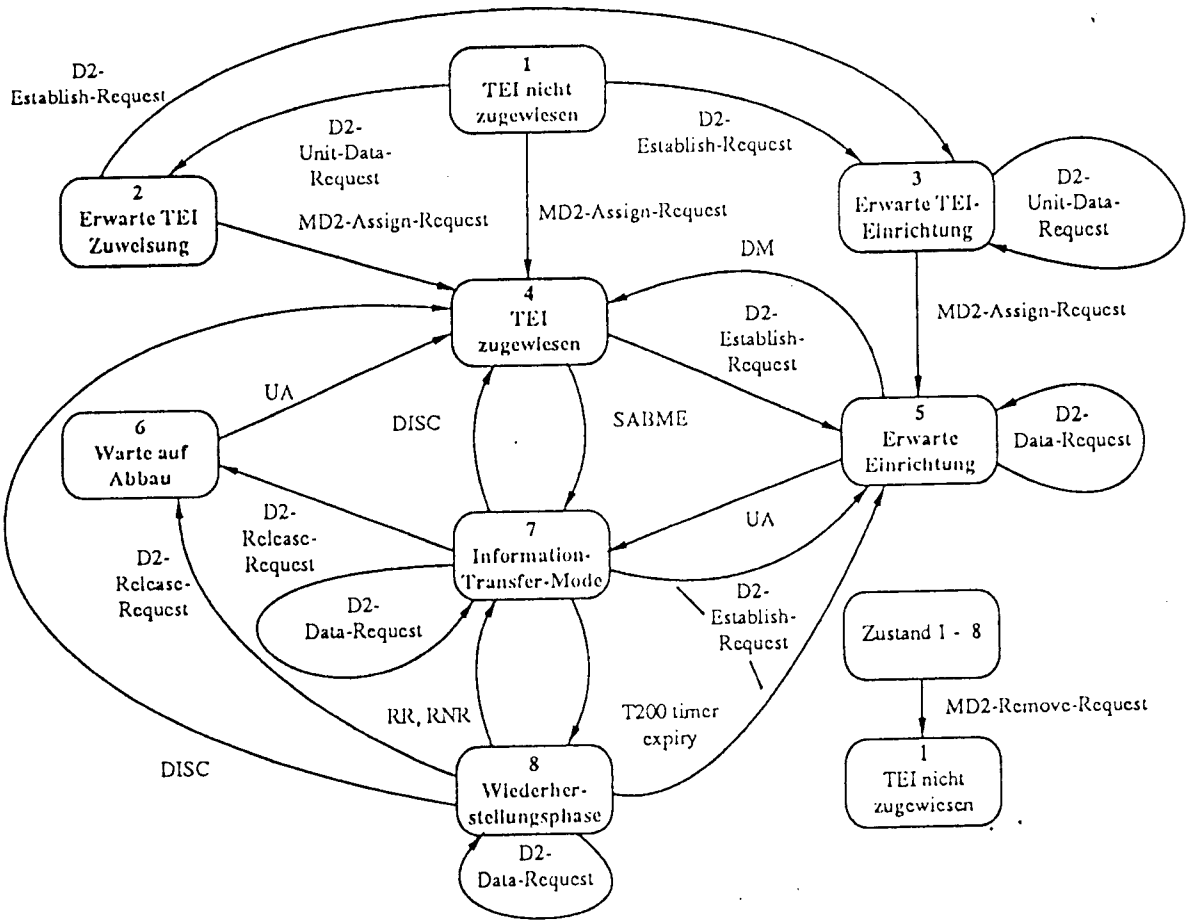


Bild 4.17 Überblick über die Zustände einer D2-Instanz

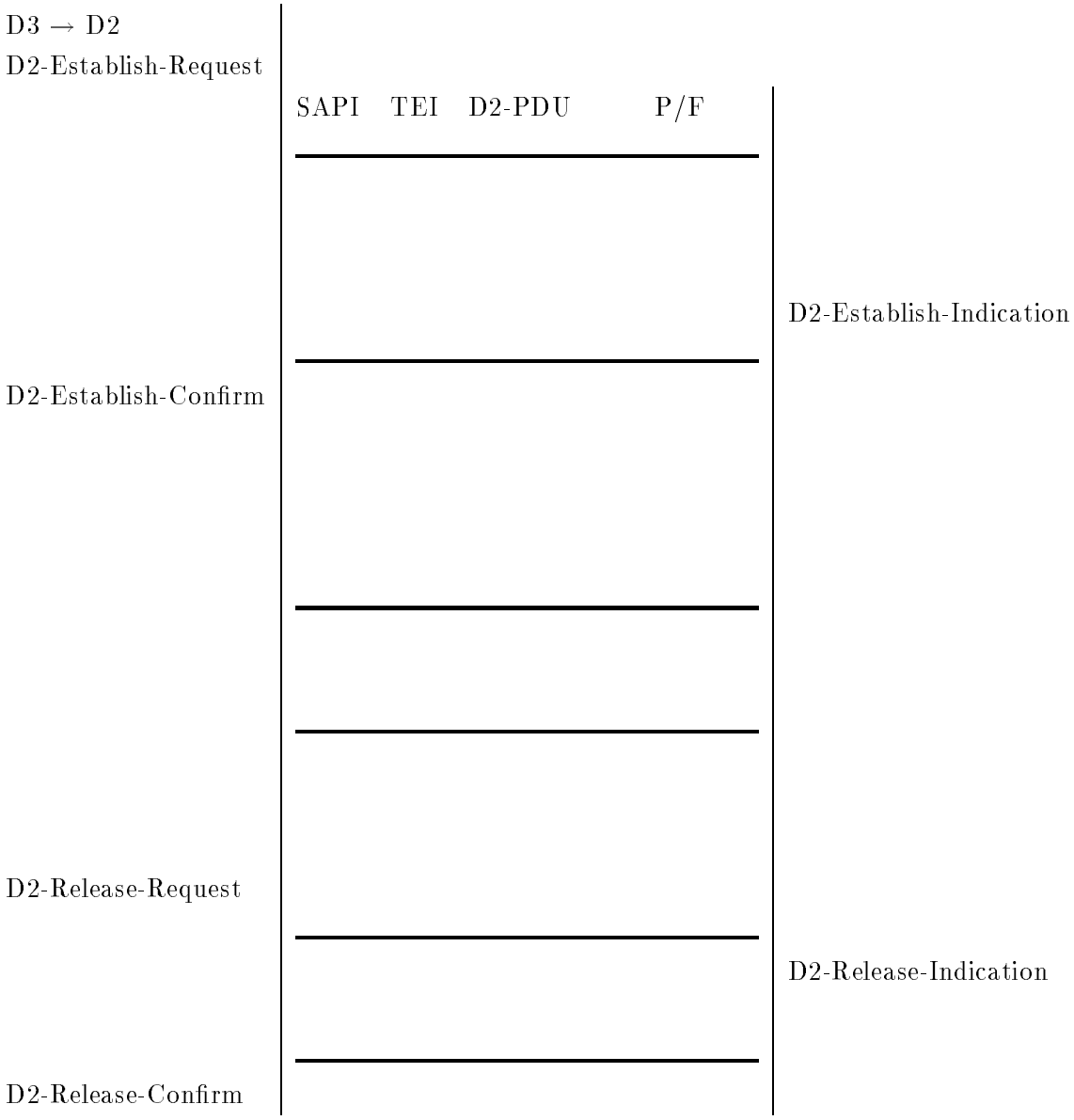
Folgende Aktionen können nach einem Ereignis auftreten:

- *keine Aktion, d.h. direkter Übergang in einen anderen Zustand;*
- *Übertragung eines Rahmens zur Partnerinstanz;*
- *Dienstelemente zu den*
  - Managementinstanzen,
  - D3-Instanzen;
- *Aktionen bezüglich der Überwachungszeiten,*
- *des Wiederholungszählers,*
- *der Zustandsvariablen und*
- *des P/F-Bit.*

Abbildung 7.33: Überblick über die Zustände einer D2-Instanz Quelle:[14]

Auf- und Abbau von D2-Verbindungen

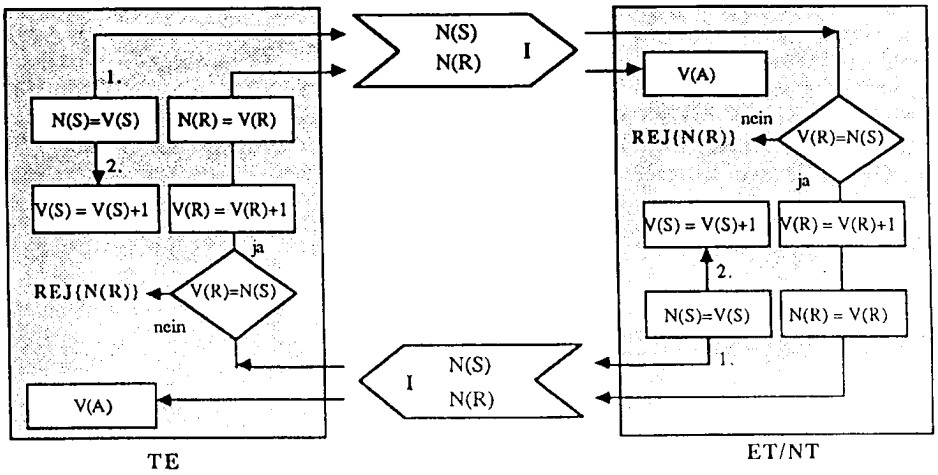
D2-Verbindungsaufbau ausgelöst durch Schicht 3 im TE (TEI=083) mit anschließendem Abbau



Timer T200=1s, T203=10s

```
-> 0169 15:66 003  G  00 083  C SABME     1
<- 0170 00:02 003  G  00 083  R UA        1

<- 0189 09:74 004  G  00 083  C RR        1 001
-> 0190 00:01 004  G  00 083  R RR        1 004

-> 0219 00:11 003  G  00 083  C DISC      1
<- 0220 00:01 003  G  00 083  R UA        1
```

quittierter Nachrichtenaustausch



V(S) Sendezustandsvariable (send state variable) V(R) Empfangszustandsvariable (receive state variable)
V(A) Quittierungszustandsvariable (acknowledge atate variable) N(S) Sendefolgenummer (send sequence number)
N(R) Empfangsfolgenummer (receive sequence number) V(S)-V(A) noch nicht quittierte I-Rahmen ($\leq k$)
kFenstergröße (im erweiterten Modus $k \leq 127$, max. Anzahl unquittierter Rahmen)

Bild 4.23 Quittierter D2-Informationsaustausch mittels I-Rahmen

Abbildung 7.34: Quelle:[14]

Beispiel D3-Datenübertragung vom TE (TEI=107)

D3 → D2						
D2-Data-Request	SAPI	TEI	D2-PDU	N(S)	N(R)	
						Empfang I-Rahmen,
						quittieren mit I-Rahmen
						Empfang I-Rahmen,
						quittieren mit RR-Rahmen
						Senden eines I-Rahmens
						mit falscher N(S)

7.7.3 Schicht 3 Network Layer

Aufgaben:

- Verarbeitung von Befehlen und Meldungen (Primitives) Schicht 2
- Generieren und Interpretieren von Schicht 3–Nachrichten für die Schicht 3 Kommunikation.
- Verwaltung von Zeitgebern und Referenznummern (Call Reference), die für die Verbindungssteuerung benötigt werden.
- Überpüfen, ob die vom Netz gebotenen Dienste mit den vom Teilnehmer gewünschten Anforderungen übereinstimmen (z.B. angeforderter Teledienst (Fernsprechen, Faksimile usw.), Kompatibilität des Endgerätes).

Schicht 3 Nachrichten immer im Infofeld eines D2-Rahmens. !!

Aufbau Schicht3 PDUs

8 7 6 5 4 3 2 1	Oktett
Protokollkennzeichen	1
Transaktions-	2
nummer	3
Nachrichtenart	4
Parameter	5
	...
	...
	max. 260

8 7 6 5 4 3 2 1	Octet
Protocol discriminator	1
0 0 0 0 | length of CR	2
call reference value	3
0 | message type	4
other information elements	5
as required	...
	...
	max. 260

nach ETS 300 102-1

Protokollkennzeichen (protocol discrminator)

0000 1000	08	ISDN Zeichengabe nach Q.931 DSS1
0100 0000	40	ISDN Zeichengabe 1TR3 N0-Tabelle Dienstmerkmale national
0100 0001	41	ISDN Zeichengabe 1TR3 N1-Tabelle Zeichengabe leitungsvermittelt

Transaktionsnummer (call reference)

8	7	6	5	4	3	2	1	
0	0	0	0	0	0	0	1	fest
M	Wert TAN							

Die Seite, von der die Transaktion begonnen wurde legt den Wert der Transaktionsnummer fest. Es gilt:

M=0 von Seite, die festgelegt hat (origination side),
M=1 von Gegenseite (destination side),

M wird auch Marker Bit genannt.

Nachrichtenart (message type)

abhängig von Protokollkennzeichen z.B. N0 bzw N1 bei 1TR6-Anschlüssen

Hex	Anzeige IDM	PD = 40 (N0)
61	REGIST_IND	REGISTer INDication
62	CANCEL_IND	CANCEL INDication
63	FAC_STATUS	FACility STATUS
64	STATUS_ACK	STATUS ACKnowledge
65	STATUS_REJ	STATUS REJect
66	FAC_INFO	FACility INFOrmation
67	INFO_ACK	INFOrmation ACKnowledge
68	INFO_REJ	INFOrmation REJect
69	OPEN	OPEN
6A	OPEN_ACK	OPEN ACKnowledgc
6B	OPEN_REJ	OPEN REJect
6C	SELECT_FAC	SELECT FACility
6D	SELECT_ACK	SELECT ACKnowledge
6E	READ_PRE	READ PREdecessor
6F	READ_SUC	READ SUCcessor
70	WRITE	WRITE
71	DATASET	DATASET
72	DELETE	DELETE
73	DELETE_ACK	DELETE ACKnowledge
74	ERROR	ERROR
75	CLOSE	CLOSE
77	CLOSE_ACK	CLOSE ACKnowledge

Hex	Anzeige IDM	PD = 41 (N1)
01	ALERT	ALERTing
02	CALL_SENT	CALL SENT
05	SETUP	SETUP
07	CONNECT	CONNECT
0D	SETUP_ACK	SETUP ACKnowledge
0F	CONN_ACK	CONN ACKnowledge
20	USER_INFO	USER INFOrmation
21	SUSP_REJ	SUSPend REJect
22	RESU_REJ	RESUme REJect
25	SUSPEND	SUSPEND
26	RESUME	RESUME
2D	SUSP_ACK	SUSPend ACKnowledge
2E	RESU_ACK	RESUme ACKnowledge
40	DETACH	DETACH
45	DISCONN	DISCONNect
4D	RELEASE	RELEASE
5A	REL_ACK	RELease ACKnowledge
60	FACILITY	FACILITY
63	STATUS	STATUS
64	FAC_REG	FACility REGister
65	FAC_REJ	FACility REJect
66	FAC_CANC	FACility CANCel
67	CANC_REJ	CANCel REJect
68	FAC_ACK	FACility ACKnowledge
69	CONG_CON	CONGestion CONtrol
6C	REG_ACK	REGister ACKnowledge
6D	INFO	INFOrmation
6E	CANC_ACK	CANCel ACKnowledge
6F	REG_REJ	REGister REJect

Hex	Anzeige IDM	PD = 08 DSS
	Call establishment messages	
01		Alerting
02		Call Proceeding
03		Progress
05		Setup
07		Connect
0D		Setup Acknowledge
0F		Connect Acknowledge
	Call information phase messages	
20		User Information
21		Suspend Reject
22		Resume Reject
24		Hold
25		Suspend
26		Resume
28		Hold Acknowledge
2D		Suspend Acknowledge
2E		Resume Acknowledge
30		Hold Reject
31		Retrieve
33		Retrieve Acknowledge
37		Retrieve Reject

Hex	Anzeige IDM	PD = 08 DSS
	Call clearing messages	
45		Disconnect
46		Restart
4D		Release
4E		Restart Acknowledge
5A		Release Complete
	Miscellaneous messages	
60		Segment
62		Facility
64		Register
6E		Notify
75		Status Enquiry
79		Congestion control
7B		Information
7D		Status

Parameter (information elements) (in 1TR3 auch W^n-Elemente)

Eigenschaften:

- unabhängig von Nachrichtenart
- in unterschiedlichen Kombinationen
- auch mehrfach in PDU verwendet
- abhängig von Nachrichtenart können bestimmte Parameter notwendig sein
- Unterscheidung zwischen Einzel–Oktett–Elemente und Mehr–Oktett–Elemente
- acht verschiedene Codegruppen (bei 1TR3 Codegruppe 0 und Codegruppe 6)

Einzel Oktett Element

8	7	6	5	4	3	2	1
1	Kennung			Inhalt			

Mehr Oktett Element

8	7	6	5	4	3	2	1
0	Kennung						
Länge							
Inhalt							
...							
...							

nach ETS 300 102-1

single octet information element format (type 1)

8	7	6	5	4	3	2	1
1	information element identifier			contents of information element			

single octet information element format (type 2)

8	7	6	5	4	3	2	1
1	information element identifier						

variable length information element format

8	7	6	5	4	3	2	1
0	information element identifier						
length of contents of information element (octets)							
contents of information element							
...							
...							

[n] weitere

Codegruppe 0 1TR6		
Hex	Anzeige IDM	Elementname - Bedeutung
04	Bearer Serv. ID	Bearer Service Identification
08	Cause	Cause (Grund für das Senden einer Nachricht)
0C	Connected Addr	Connected Address (Verbundene Rufnummer)
10	Call Identity	Call Identity (Identifizierung geparkter Verb.)
18	Channel ID	Channel Identification
20	NW Spec. Facil	Network Specific Facilities (Netzspezifisches LM)
28	Display	Display (Anzeigeinfo an eine Endeinrichtung)
2C	Keypad	Keypad (Wahlinfo für LMs in Stimulusprozedur)
6C	Orig. Addr	Origination Address Ursprungsadresse (Rufnummer)
6D	Orig. Subaddr	Origination Subaddress
70	Dest. Addr	Destination Address (Zielrufnummer)
71	Dest. Subaddr	Destination Subaddress
74	Redirect. Addr	Redirecting Address (Umgeleitete Rufnummer)
7C	Low Layer Comp	Low Layer Compatibility
7D	High Layer Comp	High Layer Compatibility
7E	User-To-U.-Info	User-To-User-information
9x	Shift Code x	Shift (Codesatzumschaltung)
A0	More Data Indic	More Data Indication
Bx		Congestion level (Flußsteuerung)

Codegruppe 6 1TR6		
Hex	Anzeige IDM	Elementname - Bedeutung
01	Service_Ind	Service Indicator (Dienstbezeichner)
02	Charging_Info	Charging Information (Gebühreneinheiten)
03	Date_and_Time	Date and Time (Datum und Uhrzeit)
04	Data	Data (Daten)
05	Facil_Select	Facil Select (Auswahl Leistungsmerkmal)
06	Status_of_Fac	Status of Facility (Leistungsmerkmalstatus)
07	Called_Status	Called Status (Status des gerufenen Teilnehmers)
08	Add_Trans_Attr	Additional Transmission Attributes
20	Name	Name (Name des Gegenteilnehmers)
21	Call_Category	Call Category (Übertragung der Anrufart)
22	Charge_Cur_Amo	Charge Currency Amount (Gebühr-Währungsbetrag)
23	Manufac_ID	Manufacturer ID (Herstellerkennung)
24	Pr_Netw_Sp_Fac	Private Network Specific Facilities
25	Conn_Party_Name	Connected Party Name (Name der verbundenen Tlns)
26	Redi_Party_Name	Redirecting Party Name (Name des umgeleitenen Tlns)
27	Orig_Party_Name	Origination Party Name (Name des Ursprungstlns)
28	St_of_Pr_NW_Fac	Status of Private Network Facilities
29	Private Display	Private Display (Anzeigeninfo für Endgeräte)
9x	Shift_0x	Shift (Codesatzumschaltung)

codeset 0 nach ETS 300 102-1		
Hex	Anzeige IDM	information elements
single octet information elements		
1x		reserved
9x		shift
A0		more data
A1		sending complete
Bx		congestion level
variable length information elements		
00		segmented message
04		bearer capability
08		cause
10		call identity
14		call state
18		channel identification
1C		facility
1E		progress indicator
20		network specific facilities
27		notification indicator
28		display
29		date/time
2C		keypad facility
34		signal
40		information rate
42		end-to-end transit delay
43		transit delay selection and indication
44		packet layer binary parameters
45		packet layer window size
46		packet size
47		minimum throughput class
6C		calling party number
6D		calling party subaddress
70		called party number
71		called party subaddress
74		redirecting number
78		transit network selection
79		restart indicator
7C		low layer compatibility
7D		high layer compatibility
7E		user-user
7F		escape for extension

```
                      SA      C           P                        A-Teilnehmer ruft, B-Teilnehmer hebt nicht ab
TE-NT        Laenge   PI TEI  R D2   NS   F NR  D3
-------------------------------------------------
Abheben Hoerer
-> 0002 00:03 003  G  00 083  C SABME     1
<- 0003 00:01 003  G  00 083  R UA        1

-> 0004 00:03 017  G  00 083  C INFO 000  0 000  N1 o004 SETUP
        6C Orig. Addr......(0) 02 81 7           ISDN-Ruf-Nr.
        9E Shift Code 6....(0) 00
        01 Service_Ind.....(6) 02 01 01          Fernsprechen ISDN 3.1 kHz
<- 0005 00:01 004  G  00 083  R RR        0 001

<- 0006 00:10 011  G  00 083  C INFO 000  0 001  N1 d004 SETUP_ACK
        18 Channel ID......(0) 01 89             B1 vorgeschrieben
-> 0007 00:00 004  G  00 083  R RR        0 001

Waehlton und Waehlen
-> 0008 06:45 013  G  00 083  C INFO 001  0 001  N1 o004 INFO
        70 Dest. Addr......(0) 03 81 47          ISDN-Ruf-Nr.
<- 0009 00:01 004  G  00 083  R RR        0 002

-> 0010 00:92 013  G  00 083  C INFO 002  0 001  N1 o004 INFO
        70 Dest. Addr......(0) 03 81 15          ISDN-Ruf-Nr.
<- 0011 00:01 004  G  00 083  R RR        0 003

Freiton
<- 0012 00:27 012  G  00 083  C INFO 001  0 003  N1 d004 ALERT
        9E Shift Code 6....(0) 00
        07 Called_Status...(6) 01 02             ISDN-Ruf erfolgt
-> 0013 00:01 004  G  00 083  R RR        0 002

<- 0014 09:75 004  G  00 083  C RR        1 003
-> 0015 00:00 004  G  00 083  R RR        1 002
<- 0016 09:81 004  G  00 083  C RR        1 003
-> 0017 00:00 004  G  00 083  R RR        1 002
               ...   ...
<- 0032 09:81 004  G  00 083  C RR        1 003
-> 0033 00:00 004  G  00 083  R RR        1 002
<- 0034 09:81 004  G  00 083  C RR        1 003
-> 0035 00:00 004  G  00 083  R RR        1 002

Besetztton
<- 0036 08:83 029  G  00 083  C INFO 002  0 003  N1 d004 DISCONN
        08 Cause...........(0) 02 BA CF          Max. Rufzeit ueberschritten
        9E Shift Code 6....(0) 00
        03 Date_and_Time...(6) 0E 21.04.96-20:52
-> 0037 00:00 004  G  00 083  R RR        0 003

<- 0038 09:82 004  G  00 083  C RR        1 003
-> 0039 00:00 004  G  00 083  R RR        1 003

Auflegen
-> 0040 03:72 010  G  00 083  C INFO 003  0 003  N1 o004 RELEASE
        08 Cause...........(0) 00
<- 0041 00:01 004  G  00 083  R RR        0 004

<- 0042 00:04 008  G  00 083  C INFO 003  0 004  N1 d004 REL_ACK
-> 0043 00:01 004  G  00 083  R RR        0 004

-> 0044 00:04 003  G  00 083  C DISC      1
<- 0045 00:01 003  G  00 083  R UA        1
```

A-Teilnehmer ruft, B-Teilnehmer (ISDN) hebt nicht ab, Protokoll auf A-Seite

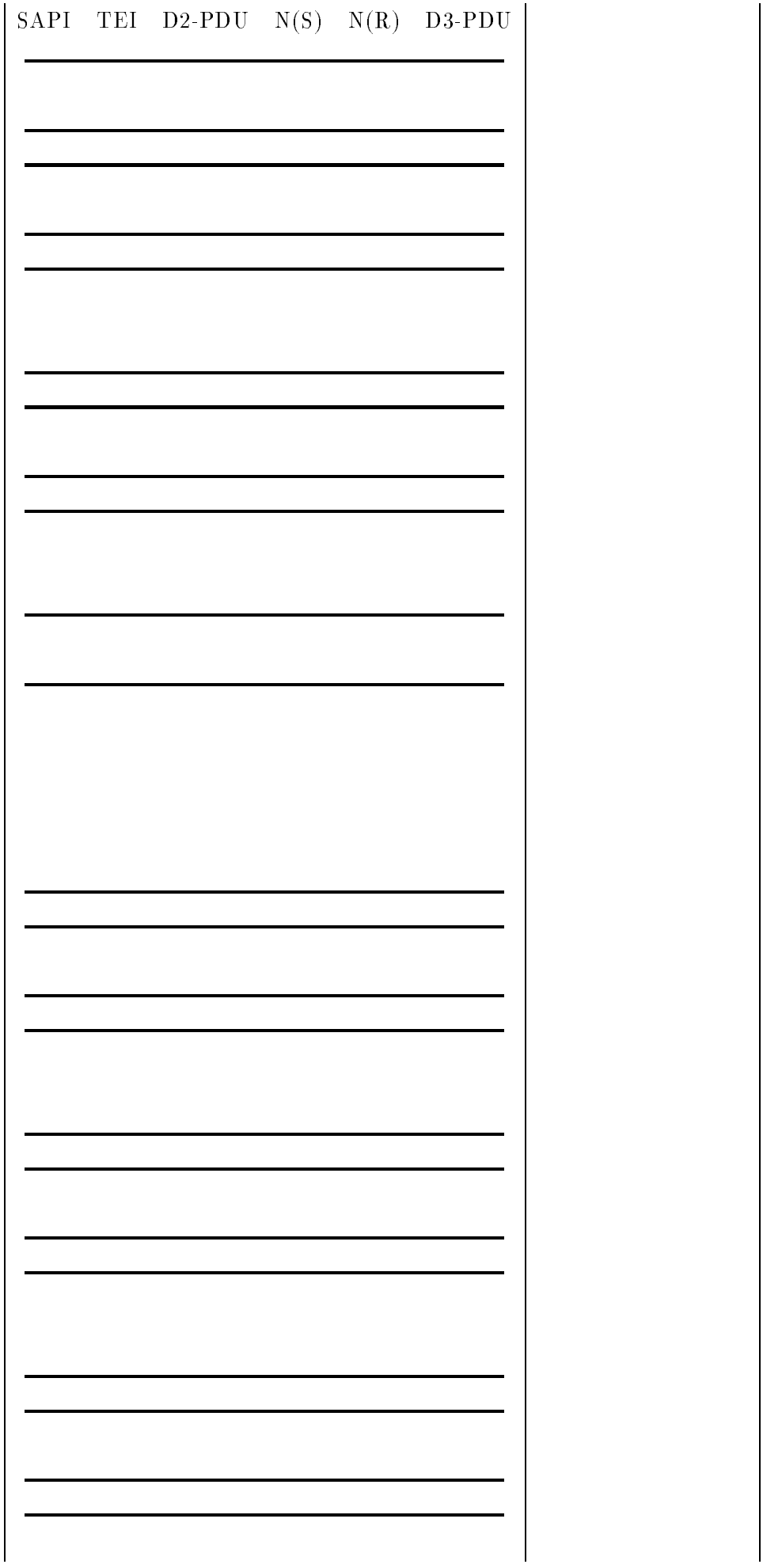
SAPI	TEI	D2-PDU	N(S)	N(R)	D3-PDU

Eingehender Ruf bei B ohne Rufannahme, 2 Endgeräte angeschlossen

```
<- 0001 602:58 023  G  00 127  C UI        0 000  N1 o007 SETUP
        18 Channel ID......(0) 01 8A              B2 vorgeschrieben
        6C Orig. Addr......(0) 0C A1 08341940147  ISDN-Ruf-Nr.
        70 Dest. Addr......(0) 02 81 5            ISDN-Ruf-Nr.
        9E Shift Code 6....(0) 00
        01 Service_Ind.....(6) 02 01 01           Fernsprechen ISDN 3.1kHz Bandbreite

-> 0002 00:11 003  G  00 083  C SABME     1
<- 0004 00:01 003  G  00 083  R UA        1

-> 0003 00:00 003  G  00 084  C SABME     1
<- 0005 00:01 003  G  00 084  R UA        1

-> 0006 00:02 012  G  00 083  C INFO 000  0 000  N1 d007 ALERT
        0C Connected Addr..(0) 02 81 9            ISDN-Ruf-Nr.
<- 0008 00:00 004  G  00 083  R RR        0 001

-> 0007 00:01 012  G  00 084  C INFO 000  0 000  N1 d007 ALERT
        0C Connected Addr..(0) 02 81 5            ISDN-Ruf-Nr.
<- 0009 00:01 004  G  00 084  R RR        0 001

<- 0010 01:32 023  G  00 127  C UI        0 001  N1 o007 SETUP
        18 Channel ID......(0) 01 8A              B2 vorgeschrieben
        6C Orig. Addr......(0) 0C A1 08341940147  ISDN-Ruf-Nr.
        70 Dest. Addr......(0) 02 81 5            ISDN-Ruf-Nr.
        9E Shift Code 6....(0) 00
        01 Service_Ind.....(6) 02 01 01           Fernsprechen

<- 0011 01:55 023  G  00 127  C UI        0 001  N1 o007 SETUP
        18 Channel ID......(0) 01 8A              B2 vorgeschrieben
        6C Orig. Addr......(0) 0C A1 08341940147  ISDN-Ruf-Nr.
        70 Dest. Addr......(0) 02 81 5            ISDN-Ruf-Nr.
        9E Shift Code 6....(0) 00
        01 Service_Ind.....(6) 02 01 01           Fernsprechen

<- 0012 06:83 004  G  00 083  C RR        1 001
-> 0013 00:00 004  G  00 083  R RR        1 000

<- 0014 00:10 004  G  00 084  C RR        1 001
-> 0015 00:00 004  G  00 084  R RR        1 000


<- 0016 09:83 004  G  00 083  C RR        1 001
-> 0017 00:00 004  G  00 083  R RR        1 000

<- 0018 00:10 004  G  00 084  C RR        1 001
-> 0019 00:00 004  G  00 084  R RR        1 000

                    ...    ...

<- 0052 09:71 004  G  00 083  C RR        1 001
-> 0053 00:00 004  G  00 083  R RR        1 000

<- 0054 00:09 004  G  00 084  C RR        1 001
-> 0055 00:01 004  G  00 084  R RR        1 000
```

```
<- 0056 08:75 029  G  00 084  C INFO 000  0 001  N1 o007 RELEASE
        08 Cause...........(0) 02 BA C4          Max. Rufzeit ueberschritten, OeN
        9E Shift Code 6....(0) 00
        03 Date_and_Time...(6) 0E 21.04.96-20:52
-> 0057 00:00 004  G  00 084  R RR        0 001

<- 0058 00:01 029  G  00 083  C INFO 000  0 001  N1 o007 RELEASE
        08 Cause...........(0) 02 BA C4          Max. Rufzeit ueberschritten, OeN
        9E Shift Code 6....(0) 00
        03 Date_and_Time...(6) 0E 21.04.96-20:52
-> 0059 00:01 004  G  00 083  R RR        0 001

-> 0060 00:04 008  G  00 084  C INFO 001  0 001  N1 d007 REL_ACK
<- 0061 00:01 004  G  00 084  R RR        0 002

-> 0062 00:00 008  G  00 083  C INFO 001  0 001  N1 d007 REL_ACK
<- 0063 00:02 004  G  00 083  R RR        0 002

-> 0064 00:01 003  G  00 084  C DISC      1
<- 0065 00:01 003  G  00 084  R UA        1

-> 0066 00:01 003  G  00 083  C DISC      1
<- 0067 00:01 003  G  00 083  R UA        1
```

A-Teilnehmer(ISDN) ruft, B-Teilnehmer hebt nicht ab, Protokoll auf B-Seite, 2 Endgeräte

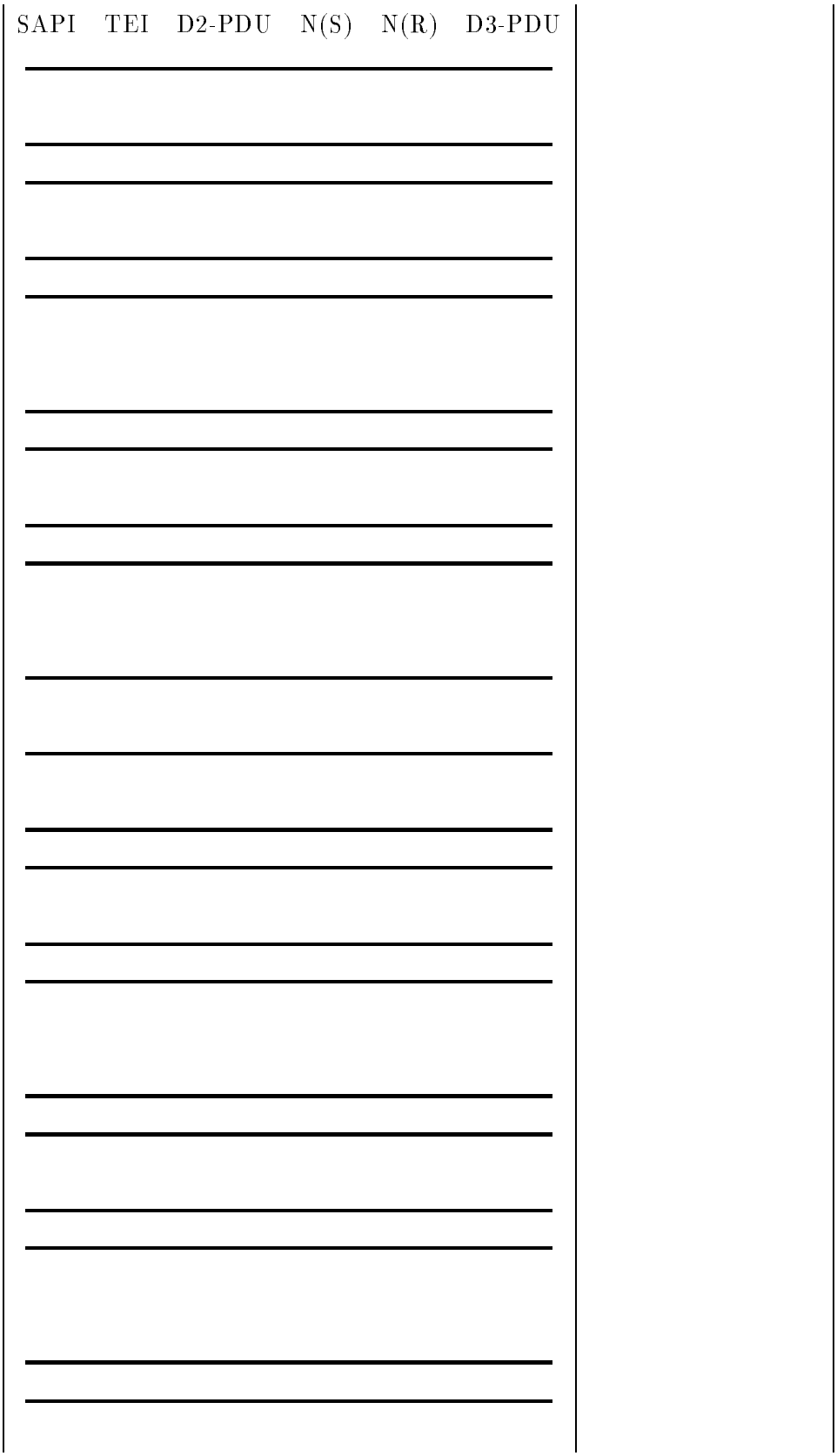


analoger A–Teilnehmer ruft, B–Teilnehmer hebt ab, Protokoll auf B-Seite

```
<- 0001 649:01 023  G  00 127  C UI        0      N1 o009 SETUP
        18 Channel ID......(0) 01 89              B1 vorgeschrieben
        70 Dest. Addr......(0) 02 81 0            ISDN-Ruf-Nr.
        9E Shift Code 6....(0) 00
        01 Service_Ind.....(6) 02 01 02           Fernsprechen analog

-> 0002 00:11 003  G  00 083  C SABME     1
<- 0004 00:01 003  G  00 083  R UA        1

-> 0003 00:00 003  G  00 084  C SABME     1
<- 0005 00:01 003  G  00 084  R UA        1

-> 0006 00:01 012  G  00 083  C INFO 000  0 000  N1 d009 ALERT
        0C Connected Addr..(0) 02 81 9            ISDN-Ruf-Nr.
<- 0008 00:00 004  G  00 083  R RR        0 001

-> 0007 00:01 012  G  00 084  C INFO 000  0 000  N1 d009 ALERT
        0C Connected Addr..(0) 02 81 5            ISDN-Ruf-Nr.
<- 0009 00:02 004  G  00 084  R RR        0 001

<- 0010 01:35 023  G  00 127  C UI        0      N1 o009 SETUP
        18 Channel ID......(0) 01 89              B1 vorgeschrieben
        70 Dest. Addr......(0) 02 81 0            ISDN-Ruf-Nr.
        9E Shift Code 6....(0) 00
        01 Service_Ind.....(6) 02 01 02           Fernsprechen analog

<- 0011 01:58 023  G  00 127  C UI        0      N1 o009 SETUP
        18 Channel ID......(0) 01 89              B1 vorgeschrieben
        70 Dest. Addr......(0) 02 81 0            ISDN-Ruf-Nr.
        9E Shift Code 6....(0) 00
        01 Service_Ind.....(6) 02 01 02           Fernsprechen analog

<- 0012 06:81 004  G  00 083  C RR        1 001
-> 0014 00:00 004  G  00 083  R RR        1 000

<- 0013 00:00 004  G  00 084  C RR        1 001
-> 0015 00:00 004  G  00 084  R RR        1 000

-> 0016 02:72 017  G  00 083  C INFO 001  0 000  N1 d009 CONNECT
        0C Connected Addr..(0) 02 81 9            ISDN-Ruf-Nr.
        9E Shift Code 6....(0) 00
        01 Service_Ind.....(6) 02 01 02           Fernsprechen
<- 0017 00:02 004  G  00 083  R RR        0 002

<- 0018 00:09 033  G  00 084  C INFO 000  0 001  N1 o009 RELEASE
        08 Cause...........(0) 02 BE C4           ankommender Ruf zurueckgewiesen, OeN
        0C Connected Addr..(0) 02 81 9            ISDN-Ruf-Nr.
        9E Shift Code 6....(0) 00
        03 Date_and_Time...(6) 0E 21.04.96-23:25
-> 0019 00:00 004  G  00 084  R RR        0 001

<- 0020 00:01 025  G  00 083  C INFO 000  0 002  N1 o009 CONN_ACK
        9E Shift Code 6....(0) 00
        03 Date_and_Time...(6) 0E 21.04.96-23:25
-> 0021 00:01 004  G  00 083  R RR        0 001
```

```
-> 0022 00:05 008  G  00 084  C INFO 001  0 001  N1 d009 REL_ACK
<- 0023 00:01 004  G  00 084  R RR        0 002

-> 0024 00:04 003  G  00 084  C DISC      1
<- 0025 00:01 003  G  00 084  R UA        1

<- 0026 09:66 004  G  00 083  C RR        1 002
-> 0027 00:00 004  G  00 083  R RR        1 001

<- 0028 09:81 004  G  00 083  C RR        1 002
-> 0029 00:00 004  G  00 083  R RR        1 001

Rufender Teilnehmer legt auf
<- 0030 02:20 027  G  00 083  C INFO 001  0 002  N1 o009 DISCONN
        08 Cause...........(0) 00                normales Ausloesen
        9E Shift Code 6....(0) 00
        03 Date_and_Time...(6) 0E 21.04.96-23:25
-> 0031 00:01 004  G  00 083  R RR        0 002

<- 0032 09:75 004  G  00 083  C RR        1 002
-> 0033 00:00 004  G  00 083  R RR        1 002

-> 0034 06:31 010  G  00 083  C INFO 002  0 002  N1 d009 RELEASE
        08 Cause...........(0) 00
<- 0035 00:02 004  G  00 083  R RR        0 003

<- 0036 00:04 008  G  00 083  C INFO 002  0 003  N1 o009 REL_ACK
-> 0037 00:00 004  G  00 083  R RR        0 003

-> 0038 00:04 003  G  00 083  C DISC      1
<- 0039 00:02 003  G  00 083  R UA        1
```

analoger A-Teilnehmer ruft, B-Teilnehmer hebt ab, Protokoll auf B-Seite, 2 Endgeräte

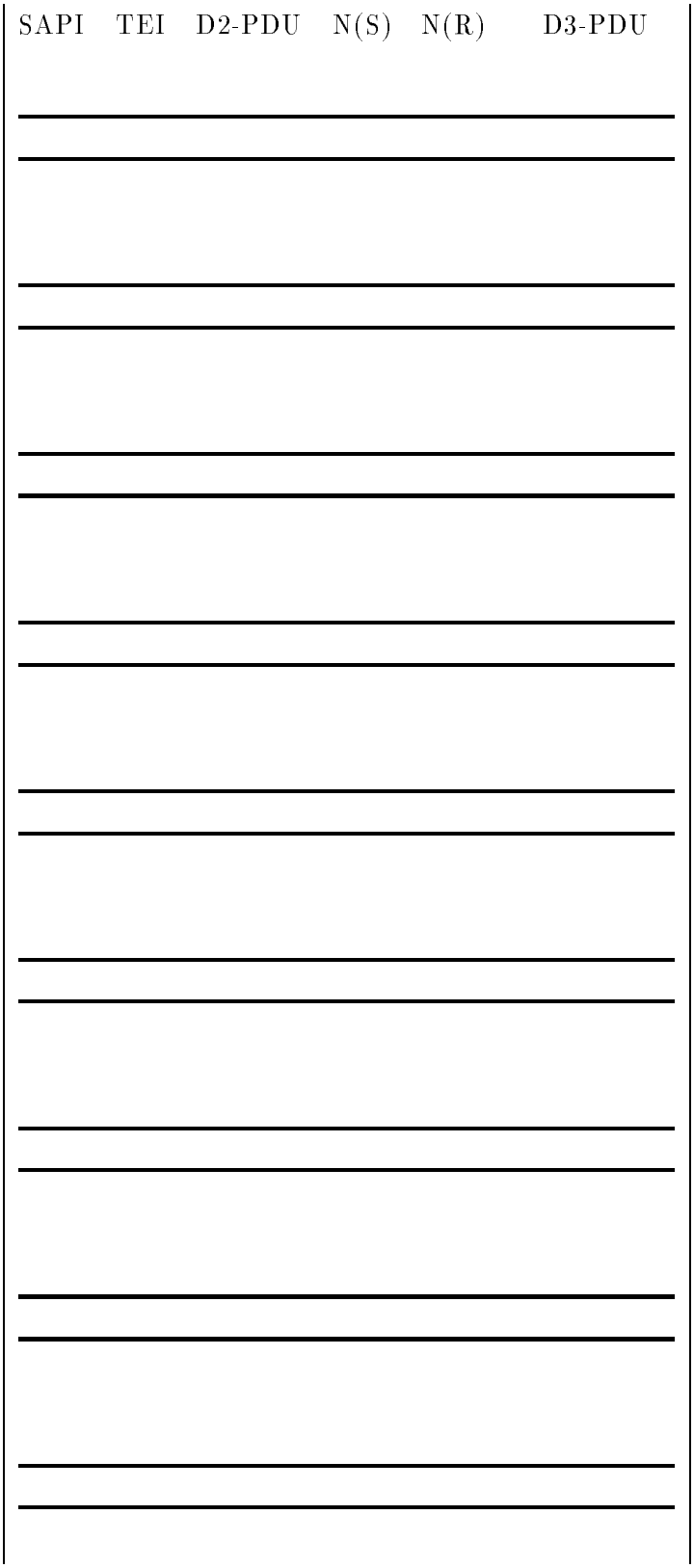


SAPI	TEI	D2-PDU	N(S)	N(R)	D3-PDU

A-Teilnehmer ruft, analoger B-Teilnehmer ist besetzt

```
-> 0002 00:02 003  G  00 083  C SABME     1
<- 0003 00:02 003  G  00 083  R UA        1

-> 0004 00:03 029  G  00 083  C INFO 000  0 000  N1 o064 SETUP
        6C Orig. Addr.......(0) 02 81 9           ISDN-Ruf-Nr.
        70 Dest. Addr.......(0) 0A 81 0891234567  ISDN-Ruf-Nr.
        9E Shift Code 6....(0) 00
        01 Service_Ind.....(6) 02 01 01           Fernsprechen 3.1kHz
<- 0005 00:01 004  G  00 083  R RR        0 001

<- 0006 00:10 011  G  00 083  C INFO 000  0 001  N1 d064 SETUP_ACK
        18 Channel ID......(0) 01 89              B1 vorgeschrieben
-> 0007 00:01 004  G  00 083  R RR        0 001

<- 0008 05:67 012  G  00 083  C INFO 001  0 001  N1 d064 ALERT
        9E Shift Code 6....(0) 00
        07 Called_Status...(6) 01 01              Keine Angabe moeglich
-> 0009 00:00 004  G  00 083  R RR        0 002

<- 0010 00:86 029  G  00 083  C INFO 002  0 001  N1 d064 DISCONN
        08 Cause...........(0) 02 BB C4           B-Teilnehmer belegt, OeN
        9E Shift Code 6....(0) 00
        03 Date_and_Time...(6) 0E 22.04.96-12:47
-> 0011 00:00 004  G  00 083  R RR        0 003

<- 0012 09:73 004  G  00 083  C RR        1 001
-> 0013 00:00 004  G  00 083  R RR        1 003

-> 0014 00:51 010  G  00 083  C INFO 001  0 003  N1 o064 RELEASE
        08 Cause...........(0) 00
<- 0015 00:02 004  G  00 083  R RR        0 002

<- 0016 00:04 008  G  00 083  C INFO 003  0 002  N1 d064 REL_ACK
-> 0017 00:01 004  G  00 083  R RR        0 004

-> 0018 00:04 003  G  00 083  C DISC      1
<- 0019 00:01 003  G  00 083  R UA        1
```

A-Teilnehmer ruft, B-Teilnehmer(analog) ist belegt, Protokoll auf A-Seite



Selbstanruf, dann weiterer Anruf

```
-> 0001 08:70 003  G  00 089  C SABME     1
<- 0002 00:02 003  G  00 089  R UA        1

-> 0003 00:03 026  G  00 089  C INFO 000  0 000  N1 o001 SETUP
        6C Orig. Addr......(0) 02 81 9           ISDN-Ruf-Nr.
        70 Dest. Addr......(0) 07 81 940147      ISDN-Ruf-Nr.
        9E Shift Code 6....(0) 00
        01 Service_Ind.....(6) 02 01 01          Fernsprechen 3.1kHz
<- 0004 00:01 004  G  00 089  R RR        0 001

<- 0005 00:20 011  G  00 089  C INFO 000  0 001  N1 d001 SETUP_ACK
        18 Channel ID......(0) 01 89             B1 vorgeschrieben
-> 0006 00:01 004  G  00 089  R RR        0 001

<- 0007 00:30 033  G  00 127  C UI        0      N1 o108 SETUP
        18 Channel ID......(0) 01 8A             B2 vorgeschrieben
        6C Orig. Addr......(0) 0C A1 08341940149 ISDN-Ruf-Nr.
        70 Dest. Addr......(0) 02 81 7           ISDN-Ruf-Nr.
        9E Shift Code 6....(0) 00
        01 Service_Ind.....(6) 02 01 01          Fernsprechen

-> 0008 00:10 012  G  00 089  C INFO 001  0 001  N1 d108 ALERT
        0C Connected Addr..(0) 02 81 9           ISDN-Ruf-Nr.
<- 0009 00:01 004  G  00 089  R RR        0 002

-> 0010 00:00 003  G  00 091  C SABME     1
<- 0011 00:03 003  G  00 091  R UA        1

-> 0012 00:02 012  G  00 091  C INFO 000  0 000  N1 d108 ALERT
        0C Connected Addr..(0) 02 81 7           ISDN-Ruf-Nr.
<- 0013 00:01 004  G  00 091  R RR        0 001

<- 0014 00:27 012  G  00 089  C INFO 001  0 002  N1 d001 ALERT
        9E Shift Code 6....(0) 00
        07 Called_Status...(6) 01 02             ISDN-Ruf erfolgt
-> 0015 00:00 004  G  00 089  R RR        0 002

<- 0016 01:09 033  G  00 127  C UI        0      N1 o108 SETUP
        18 Channel ID......(0) 01 8A             B2 vorgeschrieben
        6C Orig. Addr......(0) 0C A1 08341940149 ISDN-Ruf-Nr.
        70 Dest. Addr......(0) 02 81 7           ISDN-Ruf-Nr.
        9E Shift Code 6....(0) 00
        01 Service_Ind.....(6) 02 01 01          Fernsprechen

<- 0017 01:55 033  G  00 127  C UI        0      N1 o108 SETUP
        18 Channel ID......(0) 01 8A             B2 vorgeschrieben
        6C Orig. Addr......(0) 0C A1 08341940149 ISDN-Ruf-Nr.
        70 Dest. Addr......(0) 02 81 7           ISDN-Ruf-Nr.
        9E Shift Code 6....(0) 00
        01 Service_Ind.....(6) 02 01 01          Fernsprechen

-> 0018 00:59 017  G  00 091  C INFO 001  0 000  N1 d108 CONNECT
        0C Connected Addr..(0) 02 81 7           ISDN-Ruf-Nr.
        9E Shift Code 6....(0) 00
        01 Service_Ind.....(6) 02 01 01 Fernsprechen
<- 0019 00:02 004  G  00 091  R RR        0 002

<- 0020 00:10 027  G  00 089  C INFO 002  0 002  N1 o108 RELEASE
        08 Cause...........(0) 00
        9E Shift Code 6....(0) 00
        03 Date_and_Time...(6) 0E 31.03.96-13:52
-> 0021 00:00 004  G  00 089  R RR        0 003
```

```
<- 0022 00:03 025  G  00 091  C INFO 000  0 002  N1 o108 CONN_ACK
        9E Shift Code 6....(0) 00
        03 Date_and_Time...(6) 0E 31.03.96-13:52
-> 0023 00:00 004  G  00 091  R RR        0 001

-> 0024 00:03 008  G  00 089  C INFO 002  0 003  N1 d108 REL_ACK
<- 0025 00:02 004  G  00 089  R RR        0 003

<- 0026 00:03 030  G  00 089  C INFO 003  0 003  N1 d001 CONNECT
        9E Shift Code 6....(0) 00
        01 Service_Ind.....(6) 02 01 01          Fernsprechen
        9E Shift Code 6....(0) 00
        03 Date_and_Time...(6) 0E 31.03.96-13:52
-> 0027 00:00 004  G  00 089  R RR        0 004

<- 0028 00:02 013  G  00 089  C INFO 004  0 003  N1 d001 INFO
        9E Shift Code 6....(0) 00
        02 Charging_Info...(6) 02 01 1
-> 0029 00:00 004  G  00 089  R RR        0 005

<- 0030 09:70 004  G  00 091  C RR        1 002
-> 0031 00:01 004  G  00 091  R RR        1 001
<- 0032 00:10 004  G  00 089  C RR        1 003
-> 0033 00:01 004  G  00 089  R RR        1 005

<- 0034 09:71 004  G  00 091  C RR        1 002
-> 0035 00:00 004  G  00 091  R RR        1 001
<- 0036 00:08 004  G  00 089  C RR        1 003
-> 0037 00:00 004  G  00 089  R RR        1 005

<- 0038 01:95 032  G  00 127  C UI        0     N1 o121 SETUP
        18 Channel ID......(0) 01 88               kein B-Kanal vorgeschrieben
        6C Orig. Addr......(0) 0B A1 0834115576    ISDN-Ruf-Nr.
        70 Dest. Addr......(0) 02 81 7             ISDN-Ruf-Nr.
        9E Shift Code 6....(0) 00
        01 Service_Ind.....(6) 02 01 01             Fernsprechen

-> 0039 00:11 012  G  00 089  C INFO 003  0 005  N1 d121 ALERT
        0C Connected Addr..(0) 02 81 9               ISDN-Ruf-Nr.

-> 0040 00:01 012  G  00 091  C INFO 002  0 001  N1 d121 ALERT
        0C Connected Addr..(0) 02 81 7               ISDN-Ruf-Nr.
<- 0041 00:01 004  G  00 089  R RR        0 004
<- 0042 00:01 004  G  00 091  R RR        0 003

<- 0043 01:35 032  G  00 127  C UI        0      N1 o121 SETUP
        18 Channel ID......(0) 01 88                kein B-Kanal vorgeschrieben
        6C Orig. Addr......(0) 0B A1 0834115576     ISDN-Ruf-Nr.
        70 Dest. Addr......(0) 02 81 7              ISDN-Ruf-Nr.
        9E Shift Code 6....(0) 00
        01 Service_Ind.....(6) 02 01 01             Fernsprechen

<- 0044 01:56 032  G  00 127  C UI        0      N1 o121 SETUP
        18 Channel ID......(0) 01 88                kein B-Kanal vorgeschrieben
        6C Orig. Addr......(0) 0B A1 0834115576     ISDN-Ruf-Nr.
        70 Dest. Addr......(0) 02 81 7              ISDN-Ruf-Nr.
        9E Shift Code 6....(0) 00
        01 Service_Ind.....(6) 02 01 01             Fernsprechen

<- 0045 06:85 004  G  00 089  C RR        1 004
<- 0046 00:00 004  G  00 091  C RR        1 003
-> 0047 00:00 004  G  00 089  R RR        1 005
-> 0048 00:01 004  G  00 091  R RR        1 001
```

```
<- 0049 09:80 004  G  00 089  C RR        1 004
<- 0050 00:00 004  G  00 091  C RR        1 003
-> 0051 00:00 004  G  00 089  R RR        1 005
-> 0052 00:01 004  G  00 091  R RR        1 001

<- 0053 09:80 004  G  00 089  C RR        1 004
<- 0054 00:00 004  G  00 091  C RR        1 003
-> 0055 00:00 004  G  00 089  R RR        1 005
-> 0056 00:01 004  G  00 091  R RR        1 001

<- 0057 03:01 027  G  00 091  C INFO 001  0 003  N1 o121 RELEASE
        08 Cause...........(0) 00
        9E Shift Code 6....(0) 00
        03 Date_and_Time...(6) 0E 31.03.96-13:53
-> 0058 00:01 004  G  00 091  R RR        0 002

<- 0059 00:02 027  G  00 089  C INFO 005  0 004  N1 o121 RELEASE
        08 Cause...........(0) 00
        9E Shift Code 6....(0) 00
        03 Date_and_Time...(6) 0E 31.03.96-13:53
-> 0060 00:01 004  G  00 089  R RR        0 006

-> 0061 00:02 008  G  00 091  C INFO 003  0 002  N1 d121 REL_ACK
<- 0062 00:02 004  G  00 091  R RR        0 004

-> 0063 00:01 008  G  00 089  C INFO 004  0 006  N1 d121 REL_ACK
<- 0064 00:02 004  G  00 089  R RR        0 005

-> 0065 07:90 010  G  00 089  C INFO 005  0 006  N1 o001 DISCONN
        08 Cause...........(0) 00
<- 0066 00:01 004  G  00 089  R RR        0 006

<- 0067 00:15 032  G  00 089  C INFO 006  0 006  N1 d001 RELEASE
        08 Cause...........(0) 00
        9E Shift Code 6....(0) 00
        02 Charging_Info...(6) 02 01 1
        9E Shift Code 6....(0) 00
        03 Date_and_Time...(6) 0E 31.03.96-13:53
-> 0068 00:01 004  G  00 089  R RR        0 007

<- 0069 00:02 027  G  00 091  C INFO 002  0 004  N1 o108 DISCONN
        08 Cause...........(0) 00
        9E Shift Code 6....(0) 00
        03 Date_and_Time...(6) 0E 31.03.96-13:53
-> 0070 00:01 004  G  00 091  R RR        0 003

-> 0071 00:10 008  G  00 089  C INFO 006  0 007  N1 o001 REL_ACK
<- 0072 00:01 004  G  00 089  R RR        0 007

-> 0073 00:02 003  G  00 089  C DISC      1
<- 0074 00:01 003  G  00 089  R UA        1

-> 0075 01:82 010  G  00 091  C INFO 004  0 003  N1 d108 RELEASE
        08 Cause...........(0) 00
<- 0076 00:02 004  G  00 091  R RR        0 005

<- 0077 00:05 008  G  00 091  C INFO 003  0 005  N1 o108 REL_ACK
-> 0078 00:00 004  G  00 091  R RR        0 004

-> 0079 00:04 003  G  00 091  C DISC      1
<- 0080 00:02 003  G  00 091  R UA        1
```

Selbstanruf, zusätzlicher Ruf, A-Seite/B-Seite, 2 Endgeräte

	SAPI	TEI	D2-PDU	N(S)	N(R)	D3-PDU	TAN

SAPI	TEI	D2-PDU	N(S)	N(R)	D3-PDU	TAN

SAPI	TEI	D2-PDU	N(S)	N(R)	D3-PDU	TAN

A-Teilnehmer ruft an, Gebühreninfo während Gespräch, am Ende des Gesprächs

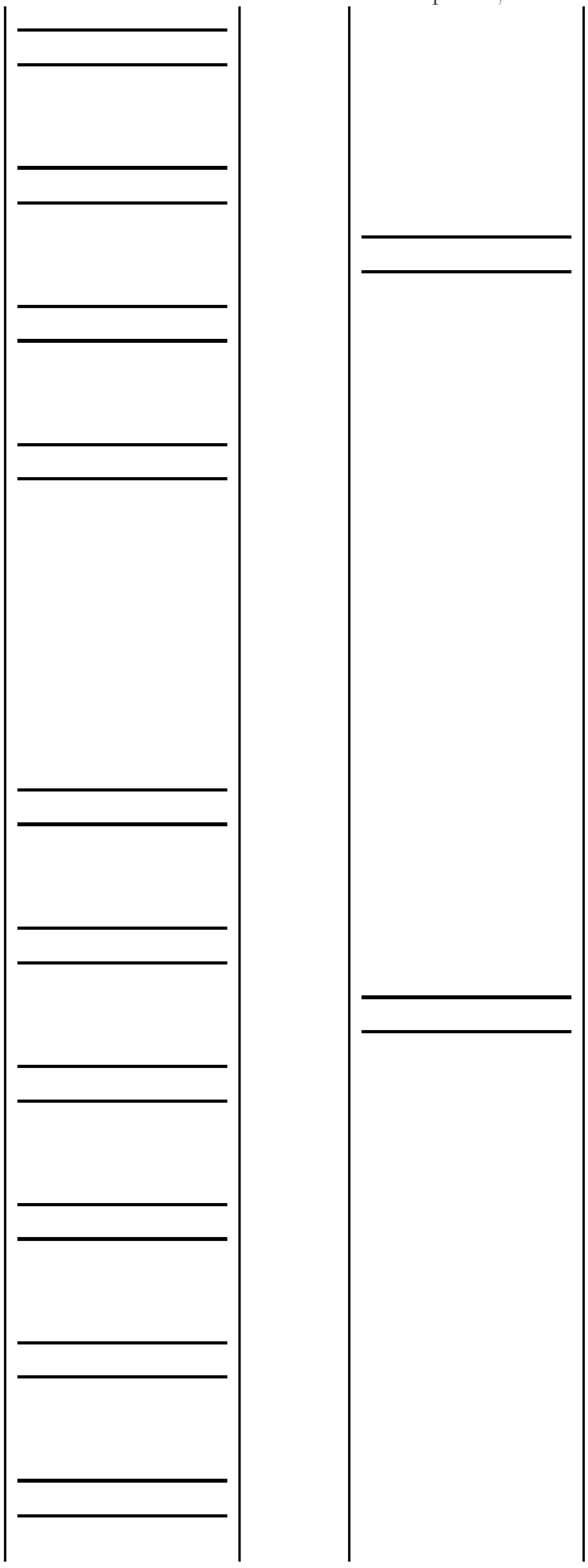
```
-> 0020 324:62 003  G  00 083  C SABME     1
<- 0021  00:02 003  G  00 083  R UA        1

-> 0022 00:03 030  G  00 083  C INFO 000  0 000  N1 o123 SETUP
        6C Orig. Addr......(0) 02 81 9           ISDN-Ruf-Nr.
        70 Dest. Addr......(0) 0B 81 0891234567  ISDN-Ruf-Nr.
        9E Shift Code 6....(0) 00
        01 Service_Ind.....(6) 02 01 01           Fernsprechen 3.1kHz
<- 0023 00:01 004  G  00 083  R RR        0 001

<- 0024 00:11 011  G  00 083  C INFO 000  0 001  N1 d123 SETUP_ACK
        18 Channel ID......(0) 01 89             B1 vorgeschrieben
-> 0025 00:00 004  G  00 083  R RR        0 001

<- 0026 00:96 012  G  00 083  C INFO 001  0 001  N1 d123 ALERT
        9E Shift Code 6....(0) 00
        07 Called_Status...(6) 01 02             ISDN-Ruf erfolgt
-> 0027 00:00 004  G  00 083  R RR        0 002

<- 0028 09:77 004  G  00 083  C RR        1 001
-> 0029 00:01 004  G  00 083  R RR        1 002

<- 0030 05:08 030  G  00 083  C INFO 002  0 001  N1 d123 CONNECT
        9E Shift Code 6....(0) 00
        01 Service_Ind.....(6) 02 01 01          Fernsprechen
        9E Shift Code 6....(0) 00
        03 Date_and_Time...(6) 0E 20.11.95-20:53
-> 0031 00:00 004  G  00 083  R RR        0 003

<- 0032 00:02 013  G  00 083  C INFO 003  0 001  N1 d123 INFO
        9E Shift Code 6....(0) 00
        02 Charging_Info...(6) 02 01 1

-> 0033 00:00 004  G  00 083  R RR        0 004
<- 0034 09:75 004  G  00 083  C RR        1 001
-> 0035 00:01 004  G  00 083  R RR        1 004
<- 0036 09:80 004  G  00 083  C RR        1 001
-> 0037 00:01 004  G  00 083  R RR        1 004
<- 0038 09:80 004  G  00 083  C RR        1 001
-> 0039 00:01 004  G  00 083  R RR        1 004
<- 0040 09:82 004  G  00 083  C RR        1 001
-> 0041 00:00 004  G  00 083  R RR        1 004
<- 0042 01:66 013  G  00 083  C INFO 004  0 001  N1 d123 INFO
        9E Shift Code 6....(0) 00
        02 Charging_Info...(6) 02 01 2
-> 0043 00:00 004  G  00 083  R RR        0 005
<- 0044 09:78 004  G  00 083  C RR        1 001
-> 0045 00:01 004  G  00 083  R RR        1 005

                    ... ...
```

```
<- 0170 09:80 004  G  00 083  C RR        1 001
-> 0171 00:00 004  G  00 083  R RR        1 017

<- 0172 01:63 014  G  00 083  C INFO 017  0 001  N1 d123 INFO
        9E Shift Code 6....(0) 00
        02 Charging_Info...(6) 03 01 15
-> 0173 00:00 004  G  00 083  R RR        0 018

-> 0174 09:51 010  G  00 083  C INFO 001  0 018  N1 o123 DISCONN
        08 Cause...........(0) 00
<- 0175 00:02 004  G  00 083  R RR        0 002

<- 0176 00:13 033  G  00 083  C INFO 018  0 002  N1 d123 RELEASE
        08 Cause...........(0) 00
        9E Shift Code 6....(0) 00
        02 Charging_Info...(6) 03 01 15
        9E Shift Code 6....(0) 00
        03 Date_and_Time...(6) 0E 20.11.95-21:03
-> 0177 00:00 004  G  00 083  R RR        0 019

-> 0178 00:16 008  G  00 083  C INFO 002  0 019  N1 o123 REL_ACK
<- 0179 00:01 004  G  00 083  R RR        0 003

-> 0180 00:02 003  G  00 083  C DISC      1
<- 0181 00:01 003  G  00 083  R UA        1
```

A–Teilnehmer ruft, Verbindung steht, Parken und Entparken des Gesprächs, Protokoll A-Seite und Auszug B-Seite

```
                        ...    ...
<- 0582 00:85 013  G  00 064  C INFO 004  0 001  N1 d008 INFO
        9E Shift Code 6....(0) 00
        02 Charging_Info...(6) 02 01 7
-> 0583 00:01 004  G  00 064  R RR        0 005

-> 0584 03:37 011  G  00 064  C INFO 001  0 005  N1 o008 SUSPEND
        10 Call Identity...(0) 01 7              Parkkennziffer
<- 0585 00:01 004  G  00 064  R RR        0 002

<- 0586 00:06 008  G  00 064  C INFO 005  0 002  N1 d008 SUSP_ACK
-> 0587 00:00 004  G  00 064  R RR        0 006

-> 0588 00:11 003  G  00 064  C DISC      1
<- 0589 00:02 003  G  00 064  R UA        1

-------------------------------------------------------------------------------
-> 0590 58:67 003  G  00 064  C SABME     1
<- 0591 00:01 003  G  00 064  R UA        1

-> 0594 00:00 016  G  00 064  C INFO 000  0 000  N1 o009 RESUME
        10 Call Identity...(0) 01 7
        9E Shift Code 6....(0) 00
        01 Service_Ind.....(6) 02 01 01 Fernsprechen
<- 0595 00:01 004  G  00 064  R RR        0 001

<- 0598 00:02 016  G  00 064  C INFO 000  0 001  N1 d009 RESU_ACK
        9E Shift Code 6....(0) 00
        02 Charging_Info...(6) 02 01 7
        18 Channel ID......(0) 01 89              B1 vorgeschrieben
-> 0599 00:00 004  G  00 064  R RR        0 001

<- 0600 00:02 014  G  00 064  C INFO 001  0 001  N1 d009 INFO
        9E Shift Code 6....(0) 00
        02 Charging_Info...(6) 03 01 10
-> 0601 00:01 004  G  00 064  R RR        0 002

<- 0606 09:02 004  G  00 064  C RR        1 001
-> 0607 00:00 004  G  00 064  R RR        1 002

<- 0608 09:41 014  G  00 064  C INFO 002  0 001  N1 d009 INFO
        9E Shift Code 6....(0) 00
        02 Charging_Info...(6) 03 01 11
-> 0609 00:00 004  G  00 064  R RR        0 003
                       ...   ...
-------------------------------------------------------------------------------
beim Partner (B-Teilnehmer) wirkt sich das so aus
                       ...   ...
<- 0024 09:80 004  G  00 064  C RR        1 002
-> 0025 00:01 004  G  00 064  R RR        1 001
<- 0026 02:04 012  G  00 064  C INFO 001  0 002  N1 o042 STATUS
        08 Cause...........(0) 02 F2 CF  F2= Transaktion beim Verbindungspartner unterbrochen
                                         CF= Entstehungsort unbekannt
-> 0027 00:01 004  G  00 064  R RR        0 002
                        ...    ...
<- 0032 09:80 004  G  00 064  C RR        1 002
-> 0033 00:00 004  G  00 064  R RR        1 002
                        ...    ...
<- 0034 02:08 012  G  00 064  C INFO 002  0 002  N1 o042 STATUS
        08 Cause...........(0) 02 F3 CF   F3= Transaktion beim Verbindungspartner wieder aufgenommen
-> 0035 00:01 004  G  00 064  R RR        0 003
                        ...    ...
```

Parken bzw Umstecken am Bus während eines Gesprächs, A– und B–Seite



Gerätewechsel am 1TR6–Anschluß

```
-> 0026 02:18 015  G  00 083  C INFO 001  0 001  N1 o010 FACILITY
        20 NW Spec. Facil..(0) 05 00 12 01 01 5
                                    12=Endsystemwechsel
                                       01 01 = Telefonie 3.1kHz
                                             5 EAZ
<- 0027 00:01 004  G  00 083  R RR        0 002

<- 0028 00:14 025  G  00 127  C UI        0      N1 o012 SETUP
        18 Channel ID......(0) 01 89             B1 vorgeschrieben
        20 NW Spec. Facil..(0) 04 00 17 01 01    Anzeige uebergebener Ruf, Telefonie
        70 Dest. Addr......(0) 02 81 5           ISDN-Ruf-Nr.
        9E Shift Code 6....(0) 00
        01 Service_Ind.....(6) 02 01 01          Fernsprechen 3.1KHz

-> 0029 00:12 003  G  00 084  C SABME     1
<- 0030 00:02 003  G  00 084  R UA        1

-> 0031 00:02 012  G  00 084  C INFO 000  0 000  N1 d012 ALERT
        0C Connected Addr..(0) 02 81 5           ISDN-Ruf-Nr.
<- 0032 00:01 004  G  00 084  R RR        0 001

<- 0033 00:07 014  G  00 083  C INFO 001  0 002  N1 d010 INFO
        20 NW Spec. Facil..(0) 04 00 12 00 00
                                    12=Endsystemwechsel
                                       00 00 = fuer alle Dienste
-> 0034 00:00 004  G  00 083  R RR        0 002

<- 0035 01:24 025  G  00 127  C UI        0      N1 o012 SETUP
        18 Channel ID......(0) 01 89             B1 vorgeschrieben
        20 NW Spec. Facil..(0) 04 00 17 01 01
        70 Dest. Addr......(0) 02 81 5           ISDN-Ruf-Nr.
        9E Shift Code 6....(0) 00
        01 Service_Ind.....(6) 02 01 01          Fernsprechen

<- 0036 01:55 025  G  00 127  C UI        0      N1 o012 SETUP
        18 Channel ID......(0) 01 89             B1 vorgeschrieben
        20 NW Spec. Facil..(0) 04 00 17 01 01
        70 Dest. Addr......(0) 02 81 5           ISDN-Ruf-Nr.
        9E Shift Code 6....(0) 00
        01 Service_Ind.....(6) 02 01 01          Fernsprechen

-> 0041 07:80 017  G  00 084  C INFO 001  0 000  N1 d012 CONNECT
        0C Connected Addr..(0) 02 81 5           ISDN-Ruf-Nr.
        9E Shift Code 6....(0) 00
        01 Service_Ind.....(6) 02 01 01          Fernsprechen
<- 0042 00:02 004  G  00 084  R RR        0 002

<- 0043 00:08 033  G  00 083  C INFO 002  0 002  N1 d010 DISCONN
        08 Cause...........(0) 00
        20 NW Spec. Facil..(0) 04 00 12 00 00
        9E Shift Code 6....(0) 00
        03 Date_and_Time...(6) 0E 20.11.95-22:20
-> 0044 00:01 004  G  00 083  R RR        0 003

-> 0045 00:03 008  G  00 083  C INFO 002  0 003  N1 o010 DETACH
<- 0046 00:02 004  G  00 083  R RR        0 003
```

```
<- 0047 00:07 025  G  00 084  C INFO 000  0 002  N1 o012 CONN_ACK
        9E Shift Code 6....(0) 00
        03 Date_and_Time...(6) 0E 20.11.95-22:20
-> 0048 00:01 004  G  00 084  R RR        0 001

<- 0049 00:02 013  G  00 083  C INFO 003  0 003  N1 d010 FAC_ACK
        9E Shift Code 6....(0) 00
        05 Facil_Select....(6) 02 12 01
-> 0050 00:00 004  G  00 083  R RR        0 004

-> 0055 00:69 010  G  00 083  C INFO 003  0 004  N1 o010 DISCONN
        08 Cause...........(0) 00
<- 0056 00:01 004  G  00 083  R RR        0 004

<- 0057 00:06 029  G  00 083  C INFO 004  0 004  N1 d010 RELEASE
        08 Cause...........(0) 02 F0 C4
                                  F0=A-seitiger Protokollfehler
                                     C4=Enstehungsort oeffentliches Netz
        9E Shift Code 6....(0) 00
        03 Date_and_Time...(6) 0E 20.11.95-22:20
-> 0058 00:00 004  G  00 083  R RR        0 005

-> 0059 00:06 008  G  00 083  C INFO 004  0 005  N1 o010 REL_ACK
<- 0060 00:01 004  G  00 083  R RR        0 005

-> 0061 00:01 003  G  00 083  C DISC      1
<- 0062 00:02 003  G  00 083  R UA        1

<- 0063 08:94 004  G  00 084  C RR        1 002
-> 0064 00:00 004  G  00 084  R RR        1 001
```

SAPI	TEI	D2-PDU	N(S)	N(R)	D3-PDU	TAN

AUL aktivieren und deaktivieren

```
-> 0075 19:53 003  G  00 083  C SABME     1
<- 0076 00:01 003  G  00 083  R UA        1

-> 0077 00:03 027  G  00 083  C INFO 000  0 000  N1 o003 FAC_REG
        20 NW Spec. Facil..(0) 11 00 02 01 00 81 094192018165
                                    02= Dienstmerkmal: Anrufumleitung
                                       01 00= Dienst: Telefonie
                                             81=Art der Adresse: ISDN-Rufnr
<- 0078 00:02 004  G  00 083  R RR        0 001

<- 0079 01:62 013  G  00 083  C INFO 000  0 001  N1 d003 REG_ACK
        9E Shift Code 6....(6) 00
        05 Facil_Select....(6) 02 02 01
-> 0080 00:01 004  G  00 083  R RR        0 001

-> 0081 00:03 003  G  00 083  C DISC      1
<- 0083 00:01 003  G  00 083  R UA        1

<- 0082 00:01 026  G  00 127  C UI        0      N0 o002 REGIST_IND
        20 NW Spec. Facil..(0) 11 00 02 01 00 81 094192018165

<- 0084 01:50 026  G  00 127  C UI        0      N0 o002 REGIST_IND
        20 NW Spec. Facil..(0) 11 00 02 01 00 81 094192018165

--------------------------------------------------------------------------------
-> 0085 89:51 003  G  00 088  C SABME     1
<- 0086 00:01 003  G  00 088  R UA        1

-> 0087 00:03 014  G  00 088  C INFO 000  0 000  N1 o001 FAC_CANC
        20 NW Spec. Facil..(0) 04 00 02 01 00
<- 0088 00:01 004  G  00 088  R RR        0 001

<- 0089 01:30 013  G  00 088  C INFO 000  0 001  N1 d001 CANC_ACK
        9E Shift Code 6....(6) 00
        05 Facil_Select....(6) 02 02 01
-> 0090 00:01 004  G  00 088  R RR        0 001

<- 0091 00:03 013  G  00 127  C UI        0      N0 o001 CANCEL_IND
        20 NW Spec. Facil..(0) 04 00 02 01 00

-> 0092 00:00 003  G  00 088  C DISC      1
<- 0093 00:01 003  G  00 088  R UA        1

<- 0094 01:56 013  G  00 127  C UI        0      N0 o001 CANCEL_IND
        20 NW Spec. Facil..(0) 04 00 02 01 00
```

AUL Anrufumleitung aktivieren, deaktivieren

		SAPI	TEI	D2-PDU	N(S)	N(R)	D3-PDU	TAN

		SAPI	TEI	D2-PDU	N(S)	N(R)	D3-PDU	TAN

1. Wie lange dauert das Versenden der Nachricht SABME auf dem S_0–Bus? Endgerät baut auf. Geben Sie das im D-Kanal gesendete Bitmuster an (TEI = 64).

2. Wie lange dauert das Versenden der Nachricht SETUP (TEI = 64) ? Einmal vom Endgerät, einmal von DIVO.

3. Geben Sie das Bitmuster für die Übertragung der Nachricht UA auf dem S_0–Bus an (TEI = 99).

4. Geben Sie das Bitmuster für die Übertragung der Nachricht DISC auf dem S_0–Bus an (TEI = 77).

5. Wie lange dauert die Übertragung der Bitmuster zur Kontrolle der D2-Schicht auf dem S_0–Bus bei einer aufgebauten B–Kanal–Verbindung (TEI = 72) Zaehlerstand 31 ?

6. Geben Sie das Bitmuster für die Anforderung einer TEI durch ein Endgerät mit automatischer TEI-Vergabe an $R_I = 65535$. Wie lange dauert die Übertragung?

7. Zwei identische Endgeräte TE1 (TEI 77, EAZ 6), TE2 (TEI 99, EAZ 3) wollen exakt gleichzeitig auf den D-Kanal zugreifen. Was passiert?

8. Wie ergab sich die Reihenfolge der Endgeräte bei dem Beispiel der TEI-Vergabe auf S.158?

9. Wie groß können die Laufzeitunterschiede auf dem S_0–Bus für 10m, 50m, 200m, 500m, 900m sein ? Wie groß kann jeweils die Dämpfung sein?

10. Was passiert beim Abheben des Handapparats eines ISDN-Telefons auf dem S_0–Bus an einem Basisanschluß?

11. Was ist von folgender Aussage zu halten? ISDN ist auch bei analogen Endgeräten besser, schneller, günstiger.

12. Welche Schichten im OSI–Modell sind endsystemorientiert, netzorientiert, transportorientiert, anwendungsorientiert ?

13. Wie kommunizieren Instanzen miteinander?

14. Was sind Dienstelemente? Was sind Datenelemente?

15. Welche Funktion hat das 14.Bit im S_0–Rahmen?

16. Welche Dienstelemente sind in der Schicht1 LAPD festgelegt für den normalen Fernsprechverkehr?

17. Geben Sie die Grundstruktur eines HDLC-Protokollrahmens an.

18. Berechnen Sie die Übertragungszeit für eine DINA4–Seite weiß mit einem senkrechten schwarzen 2 mm breiten Strich 10cm vom linken Rand entfernt (linksbuendig einlegen) für eine Fax–Gruppe3–Übertragung mit
    a) Basismerkmalen
    b) Basismerkmalen und MRC
    c) Basismerkmalen und Mindestzeilenlänge 0ms
    d) Basismerkmalen und MRC und Mindestzeilenlänge 0ms

Kapitel 8

TELEFAX

Historie Gruppe1 bis Gruppe4

Gruppe1 (ITU-T T.2(1968))
180 Zeilen pro Minute, vertikale Auflösung 3.85 Zeilen/mm,
analoge Übertragung mit FM mit weiß=1300Hz, schwarz=2100Hz,
ca. 6 Min pro Seite, ausgesondert,

Gruppe2 (ITU-T T.3(1976))
360 Zeilen pro Minute, vertikale Auflösung 3.85 Zeilen/mm,
analoge Übertragung mit RSB AM/PM f=2100Hz, weiß=maximaler Träger, schwarz=26dB weniger Träger, Phasenwechsel zusätzlich bei schwarz/weiß,
ca. 3 Min pro Seite, am Aussterben

Gruppe3 (ITU-T T.4(1980))
digitale Übertragung mit PSK, QAM
ca. 1 Min pro Seite

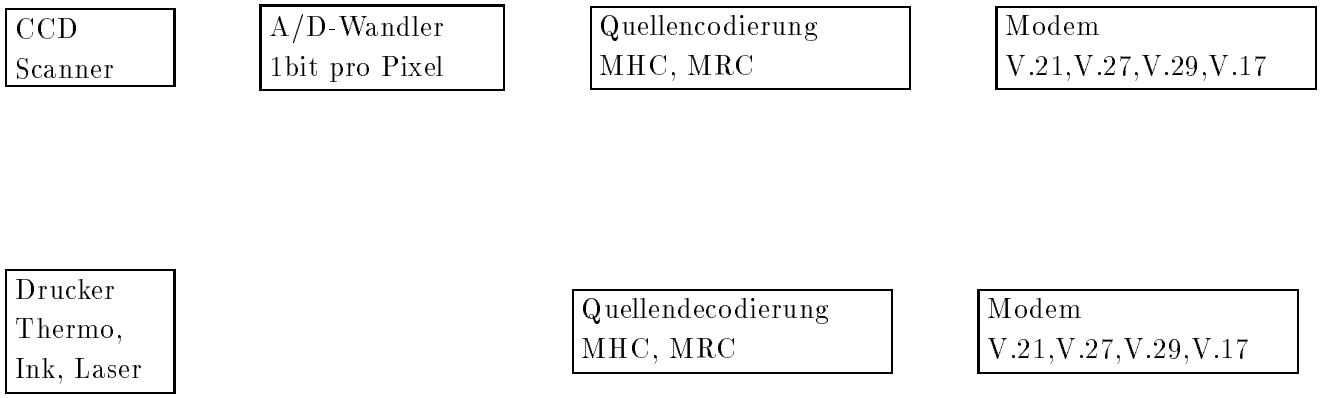
Gruppe4 (ITU-T T.500 Series (1984))
digital über ISDN
unterschiedliche Klassen, Bild bzw Textfax
ca. 4 - 6 Sec pro Seite

8.1 FAX Gruppe3

Spezifikation: nach ITU-T T.4(1980), (T.30)

	Basismerkmale	Ergänzungsmerkmale	
Auflösung horizontal	203dpi, 8Pixel/mm		
Auflösung vertikal	97.8dpi, 3.85Pixel/mm	195.6dpi, 7.7Pixel/mm	
Pixel pro Zeile	1728	2048	2432
Scan Breite	8.46in, 215mm	10in, 255mm	11.9in, 303mm
Bildübertragung mit	MHC	MRC	
Bildübertragung mit	V.27ter	V.29	V.17
Bitrate bit/s	4800, 2400	9600, 7200	14400, 12000
Signalisierung mit	V.21 (FSK)	V.27ter (PSK)	
Bitrate für Signalisierung bit/s	300	2400	
Mindestzeilenlänge in ms	20	0, 5, 10, 40	

Prinzipfunktionsschaltbild eines Faxgerätes.



8.1.1 Bildübertragung

Jede Zeile wird mit EOL | 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 | abgeschlossen.

Basismerkmal: 20ms Mindestübertragungsdauer pro Zeile.
Wenn Zeilendauer kleiner Mindestübertragungsdauer dann wird mit binär Null auf Mindestzeilenlänge aufgefüllt.

EOL	codierte Zeileninfo	EOL	codierte Zeileninfo	Füllbits	EOL

Seitenende wird mit 6xEOL als RTC (Return to control) signalisiert

codierte Zeileninfo	EOL	EOL	EOL	EOL	EOL	EOL

Eine einfache Fehlererkennung ergibt sich über die Kontrolle der Anzahl nötigen Pixel pro Zeile. Eine Seite wird dann als fehlerhaft quittiert, wenn 6 Zeilen hintereinander oder 10% aller Zeilen einer Sendervorlage als fehlerhaft übertragen erkannt werden.

Codierungsarten

MHC

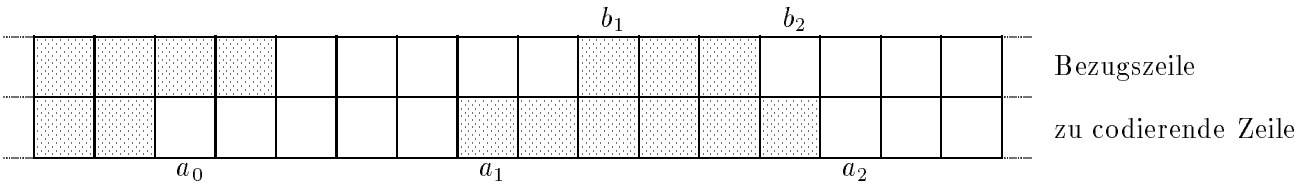
Eindimensionale Lauflängencodierung (siehe Kapitel 4.1).
Es werden Lauflängen weiß bzw schwarz codiert. Es ergeben sich damit 64 (TC) + 27 (MUC) = 91 Codewörter pro Farbe (Basismerkmale).

MRC[a]

Zweidimensionale Codierung.
Die Grundidee, die dahintersteht ist folgende: Bei Faxvorlagen ergeben sich meistens vertikale Strukturen, deshalb ist es oft günstig auf eine eindimensional codierte Zeile, in der folgenden Zeile nur noch die Veränderung in Bezug zur vorangegangenen Zeile zu codieren, und somit nochmal Zeit bzw Bits sparen zu können. Das Problem der Fehlerfortpflanzung wird bei Fax Gruppe3 so gelöst: Bei 100dpi Auflösung darf jeweils nur eine Zeile MR-codiert sein, bei 200dpi Auflösung jeweils drei aufeinanderfolgende Zeilen. Signalisiert wird eine MR-Zeile mit Markierungsbit nach EOL (1 = eindim, 0 = zweidim).
In der Empfehlung T.4 wird dafür ein Parameter K definiert.
In order to limit the disturbed area in the event of transmission errors, after each line coded one-dimensional, at most K-1 successive lines shall be coded two-dimensionallly. A one dimensionally coded line may be transmitted more freqeuntly than every K lines. After a one-dimensional line is transmitted, the next series of K-1 two-dimensional lines is intiated. The maximum value of K shall be set as follows:
Standard vertical resolution : K = 2
Optional higher vertical solution: K = 4
siehe Flußdiagramm auf S.199

	100dpi		200dpi	
Zeile 1	EOL+1	MHC	EOL+1	MHC
Zeile 2	EOL+0	MR	EOL+0	MR
Zeile 3	EOL+1	MHC	EOL+0	MR
Zeile 4	EOL+0	MR	EOL+0	MR
Zeile 5	EOL+1	MHC	EOL+1	MHC
Zeile 6	EOL+0	MR	EOL+0	MR

In den aufeinanderfolgenden Zeilen (Bezugszeile und zu codierende Zeile) werden *Farbwechselelemente* definiert.



a_0	Referenz- oder Bezugselement der zu codierenden Zeile. Am Beginn einer zu codierenden Zeile wird a_0 als ein gedachtes weißes Farbwechselelement direkt vor dem ersten Bildelement der Zeile festgelegt. Während des Codierens einer Zeile wird die Lage von a_0 durch den vorhergehenden Codierungsmodus definiert.
a_1	Das nächste Farbwechselelement rechts von a_0 auf der zu codierenden Zeile
a_2	Das nächste Farbwechselelement rechts von a_1 auf der zu codierenden Zeile
b_1	Das erste Farbwechselelement auf der Bezugszeile rechts von a_0 und mit entgegengesetzter Farbe zu a_0.
b_2	Das nächste Farbwechselelement rechts von b_1 auf der Bezugszeile

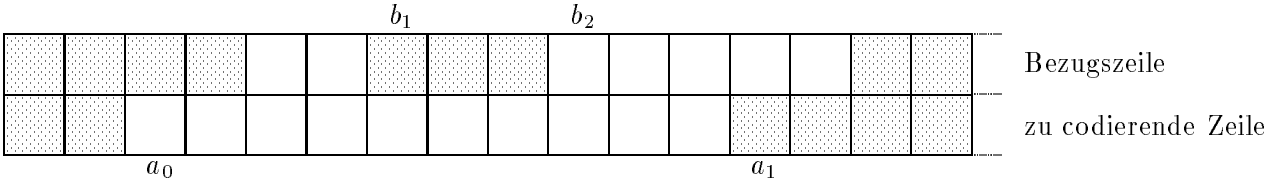
Für die Codierung werden die jeweiligen Codierabschnitte $b_1 - b_2$ und $a_1 - a_2$ verglichen.

[a] Modified READ Code, READ = Relative Element Address Designate

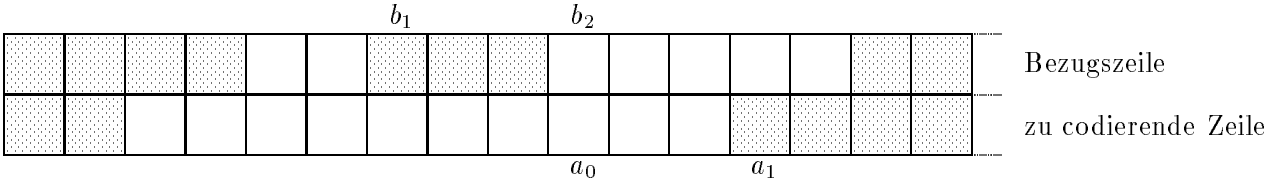
Es sind insgesamt 3 Codierungs-Moden vorgesehen.

a) Pass–Mode

b_2 liegt links von a_1, Codewort 0001,



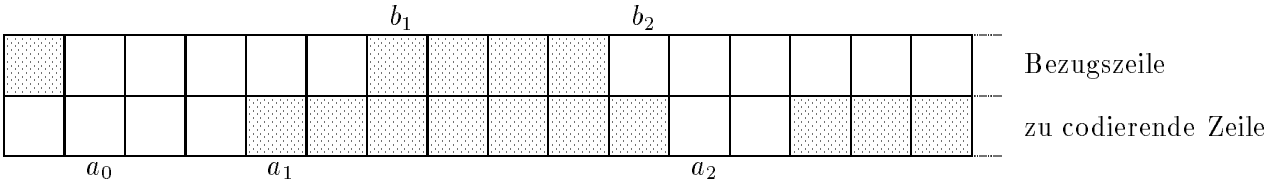
nach der Codierung wird a_0 direkt unter b_2 gelegt



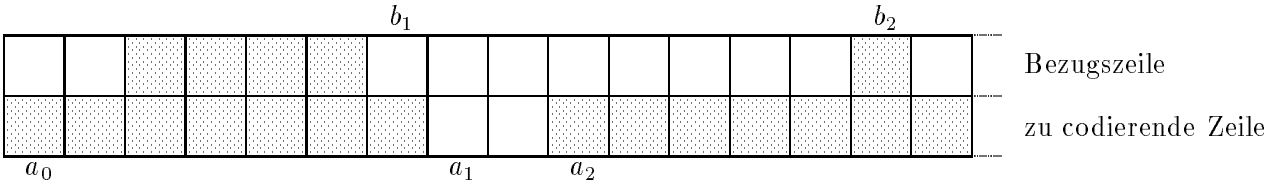
b) Vertikal–Mode

a_1 liegt maximal 3 Elemente links oder rechts von b_1. Die Lage wird dann folgendermaßen codiert.

Lage	Codewort
a_1 unter b_1	1
a_1 1 rechts von b_1	011
a_1 2 rechts von b_1	000 011
a_1 3 rechts von b_1	000 0011
a_1 1 links von b_1	010
a_1 2 links von b_1	000 010
a_1 3 links von b_1	000 0010

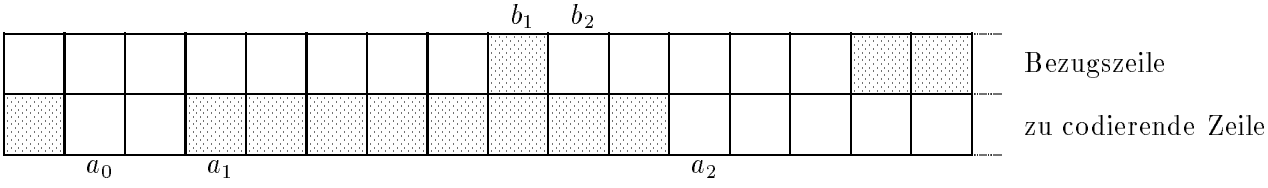


Nach der Codierung wird a_0 auf a_1 gelegt



c) Horizontal–Mode

a_1 liegt mehr als 3 Elemente links oder rechts von b_1. Dann werden die Lauflängen der Codierabschnitte MHC codiert mit Einleitungscode H = 001.
H + MHC(a_0 a_1) + MHC(a_1 a_2)



Nach der Codierung wird a_0 auf a_2 gelegt. Siehe auch Abb.8.1 auf 199.

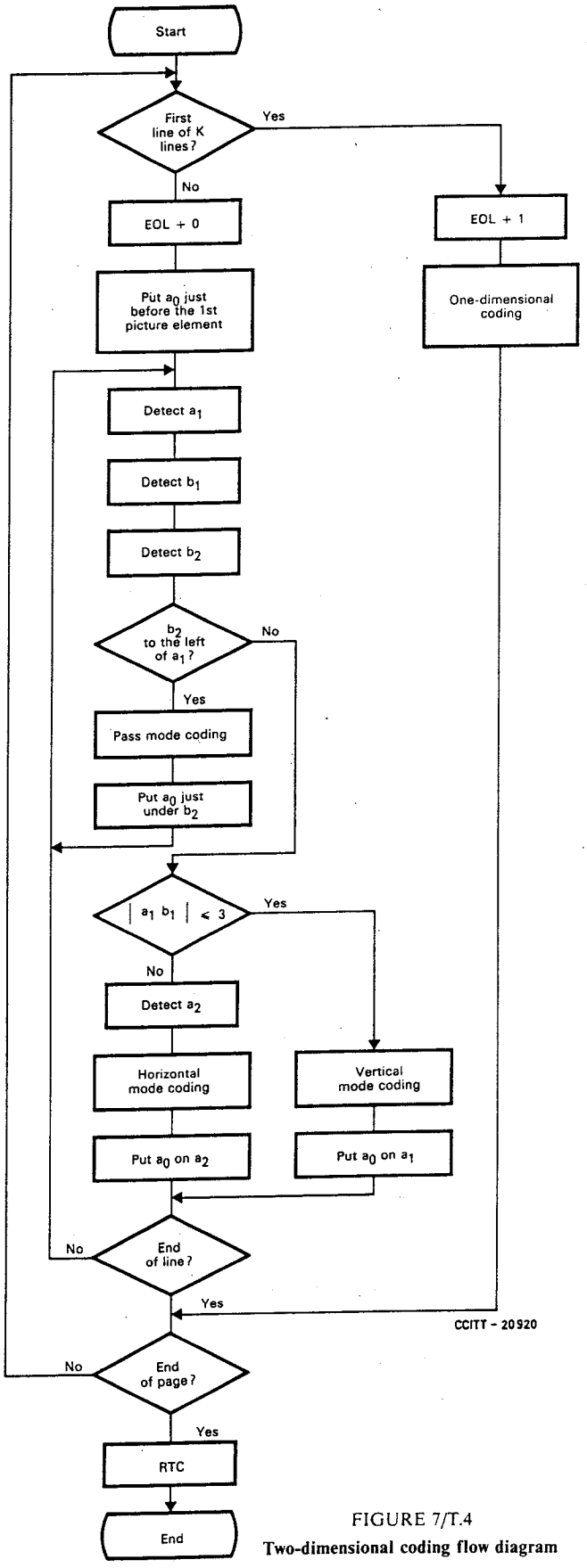


FIGURE 7/T.4
Two-dimensional coding flow diagram

Abbildung 8.1: Flußdiagramm für zweidimensionale Codierung nach ITU–T.4

zum Flußdiagramm: nach T.4 Punkt 4.2.1.3.4 gilt:
Processing the last picture element

The coding of the coding line continues until the position of the imaginary changing element situated just after the last actual element has been coded. This may be a_1 or a_2. Also, if b_1 and/or b_2 are not detected at any time during the coding of the line, they are positioned on the imaginary changing element situated just after the last actual picture element on the reference line.

8.1.2 Modem

V.27ter
4800 Bit/s oder 2400 Bit/s
1600 bzw 1200 Baud
8 bzw 4 PSK
(siehe Kapitel 5.3.3)
$f_T = 1800Hz$, $1 + x^{18} + x^{23}$

V.29
9600 Bit/s oder 7200 Bit/s (2400 Baud)
16 QAM bzw 8 PSK
(siehe Kapitel 5.3.3)
$f_T = 1700Hz$,

V.17[b]
14 400 Bit/s oder 12 000 Bit/s (2400 Baud)
128 bzw 64 QAM als TCM
128 QAM, 6 Bit pro Symbol + 1
64 QAM, 5 Bit pro Symbol + 1
32 QAM, 4 Bit pro Symbol + 1
16 QAM, 3 Bit pro Symbol + 1
$f_T = 1800Hz$,

[b] Genf 1991

8.1.3 Zeitlicher Ablauf, Protokoll

Die Faxübertragung wird in 5 Phasen aufgeteilt.

Phase A	Verbindungsaufbau
Phase B	Einleitungsphase zur Identifizierung und Auswahl der gewünschten Gerätefunktionen (Verständigungsprozedur)
Phase C	Dokumentenübertragung
Phase D	Schlußphase einschließlich Ende der Dokumentenübertragung + Bestätigung (Quittung)
Phase E	Verbindungsabbau

rufendes Fax		gerufenes Fax
Anwahl		
		automatisch abheben
		CED versenden
	CED (3sec 2100Hz)	
		DIS senden
	DIS mit FSK 300bit/s	
DIS dekodieren		
DCS senden		
	DCS mit FSK 300bit/s	
	Trainingssequenzen nach V.27/V.29/V.17 senden	
		Entzerrer, Synchronisation, Descrambler einstellen
TCF senden		
	TCF (1.5Sec Binärzeichen 0)	
		wenn Training + TCF ok
		CFR senden
	CFR x010 0001	
Dokument versenden		
	MHC bzw MRC	
EOP senden		
	EOP x111 0100	
		wenn ok,
		dann MCF senden
	MCF x011 0001	
Verbindungsabbau		
Disconnect		
	DCN x101 1111	
auflegen		auflegen

	CED	Called Station Identification		2100 Hz
	CFR	ConFirmation to Receive	x010 0001	1850 oder 1650 Hz 3s
	CNG	CalliNG tone		1100 Hz 500ms
	DCN	DisCoNnect	x100 0001	
FAX Steuerfeld	DCS	Digital Command Signal	x100 0001	
	DIS	Digital Identification Signal	0000 0001	
	EOP	End Of Procedure	x111 0100	
	MCF	Message ConFirmation	x011 0001	1850 oder 1650 Hz
	TCF	Training Check	..0000.. 1.5s	

Digitale Verständigung mit HDLC-Blockstruktur.

Präambel	Digitale Verständigung

Beispiel Parametermeldung als Antwort des gerufenen Faxes

NSF[c]-Block	CSI[d]-Block	DIS-Block

Block begrenzung	HDLC-Adreßfeld	HDLC-Steuerfeld	Fax-Steuerfeld FCF[e]	Fax-Parameterfeld FIF[f]	FCS	Block-begrenzung
0111 1110	1111 1111	1100 x[g]000	xxxx xxxx	n - Oktetts	xxxx xxxx xxxx xxxx	0111 1110

[c] Non Standard Facilities 0000 0100 + 2 Oktetts Parameter
[d] Called Subscriber Identification, also Rufnummer 0000 0010 + 20 Oktetts internat. Rufnummer
[e] Facsimile Control Field
[f] Facsimile Information Field
[g] 0=Block innerhalb dig. Verständigung, 1 = Abschlußblock innerhalb dig. Verständigung

Abbildung 8.2: Bit-Bedeutungen in DIS und DTC Quelle:[39]

Table 2.7.6.1. DIS and DTC Bit Settings

Bit Number	*DIS and DTC*	*DCS*
1	Transmitter – T.2 operation	
2	Receiver – T.2 operation	Receiver – T.2 operation
3	T.2 IOC = 176	T.2 IOC = 176
4	Transmitter – T.3 operation	
5	Receiver – T.3 operation	Receiver – T.3 operation
6	Reserved for future T.3 operation features	
7	Reserved for future T.3 operation features	
8	Reserved for future T.3 operation features	
9	Transmitter – T.4 operation	
10	Receiver – T.4 operation	Receiver – T.4 operation
11, 12 (0,0) (0,1) (1,0) (1,1)	Data signaling rate: V.27 (ter) fallback mode V.27 (ter) V.29 V.27 (ter) and V.29	Data signaling rate: 2400 bits/s V.27 (ter) 4800 bits/s V.27 (ter) 9600 bits/s V.29 7200 bits/s V.29
13	Reserved for new modulation system	
14	Reserved for new modulation system	
15	Vertical resolution = 7.7 lines/mm	Vertical resolution = 7.7 lines/mm
16	Two-dimensional coding capability	Two-dimensional coding capability
17, 18 (0,0) (0,1) (1,0) (1,1)	Recording width capabilities: 1728 picture elements along scan line length of 215 mm ± 1% 1728 picture elements along scan line length of 215 mm ± 1% and 2048 picture elements along scan line length of 255 mm ± 1% and 2432 picture elements along scan line length of 303 mm ± 1% 1728 picture elements along scan line length of 215 mm ± 1% and 2048 picture elements along scan line length of 255 mm ± 1% Invalid (*See* Note 7.)	Recording width: 1728 picture elements along scan line length of 215 mm ± 1% 2432 picture elements along scan line length of 303 mm ± 1% 2048 picture elements along scan line length of 255 mm ± 1% Invalid (*See* Note 7.)
19, 20 (0,0) (0,1) (1,0) (1,1)	Maximum recording length capability: A4 (297 mm) Unlimited A4 (297 mm) and B4 (364 mm) Invalid	Maximum recording length capability: A4 (297 mm) Unlimited B4 (364 mm) Invalid

Table 2.7.6.1. DIS and DTC Bit Settings (Continued.)

Bit Number	*DIS and DTC*	*DCS*
21, 22, 23 (0,0,0) (0,0,1) (0,1,0) (1,0,0) (0,1,1) (1,1,0) (1,0,1) (1,1,1)	Minimum scan line time capability at the receiver: 20 ms at 3.851/mm: T7.7-T3.85 40 ms at 3.851/mm: T7.7-T3.85 10 ms at 3.851/mm: T7.7-T3.85 5 ms at 3.851/mm: T7.7-T3.85 10 ms at 3.851/mm: T7.7-1/2 T3.85 20 ms at 3.851/mm: T7.7-1/2 T3.85 40 ms at 3.851/mm: T7.7-1/2 T3.85 0 ms at 3.851/mm: T7.7-T3.85	Minimum scan line time: 20 ms 40 ms 10 ms 5 ms 0 ms
24	Extend field	Extend field
25	2400 bits/s handshaking	2400 bits/s handshaking
26	Uncompressed mode	Uncompressed mode
27	Error correction mode	Error correction mode
28	Set to "0"	Frame size: 0 = 256 octets 1 = 64 octets
29	Error limiting mode	Error limiting mode
30	Reserved for Group 4 capability on PSTN	Reserved for Group 4 capability on PSTN
31	Unassigned	Unassigned
32	Extend field	Extend field
33 (0) (1)	Validity of bits 17, 18 Bits 17, 18 are valid Bits 17, 18 are invalid	Recording width: Recording width indicated by bits 17, 18 Recording bits indicated by this field bit information
34	Recording width capability: 1216 picture elements along scan line length of 151 mm ± 1%	Middle 1216 elements of 1728 picture elements
35	Recording width capability: 864 picture elements along scan line length of 107 mm ± 1%	Middle 864 elements of 1728 picture elements
36	Recording width capability: 1728 picture elements along scan line length of 151 mm ± 1%	Invalid
37	Recording width capability: 1728 picture elements along scan line length of 107 mm ± 1%	Invalid
38	Reserved for future recording width capability	
39	Reserved for future recording width capability	
40	Extend field	Extend field

Literaturverzeichnis

[1] Karlheinz Tröndle. *Grundlagen der Nachrichtentechnik I/II.* Hagen: FeU, 1984.

[2] Harald Schumny. *Signalübertragung.* Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg, 1987.

[3] Eberhard Herter / Wolfgang Lörcher. *Nachrichtentechnik: Übertragung, Vermittlung und Verarbeitung.* München, Wien: Hanser, 1987.

[4] Meinke-Gundlach. *Taschenbuch der Hochfrequenztechnik.* Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer, 1986. Hg. K.Lange und K.-H.Löcherer.

[5] Rudolf Mäusl. *Analoge Modulationsverfahren.* Heidelberg: Hüthig, 1988.

[6] Rudolf Mäusl. *Digitale Modulationsverfahren.* Heidelberg: Hüthig, 1988.

[7] Firoz Kaderali. *Kommunikationstechnik.* Hagen: FeU, 1988.

[8] Karl Bergmann. *Lehrbuch der Fernmeldetechnik.* Berlin: Schiele, 1986.

[9] Ulrich Freyer. *Nachrichten-Übertragungstechnik.* München, Wien: Hanser, 1988.

[10] Kurs RDS 15 Radio Daten System 29.10. - 31.10.90

[11] Franz Stollenwerk. "Datenübertragung im UKW-Rundfunk". Elektronik 7 / 31.03.1988

[12] Rudolf Mäusl. *repititorium Fernsehtechnik.* München: Rhode & Schwarz, 1990.

[13] Rudolf Mäusl. *Fernsehtechnik.* Heidelberg: Hüthig, 1991.

[14] Andreas Kanbach / Andreas Körber. *ISDN: die Technik.* Heidelberg: Hüthig, 3.Auflage 1999.

[15] Michael Schütz. *Das große Handbuch der Kommunikationstechnik.* Schondorf: Kriebel, Stuttgart: Frech, 1990.

[16] Peter R. Gerke. *Digitale Kommunikationsnetze.* Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, London, Paris: Springer, 1991.

[17] Peter Kahl (Hrsg). *ISDN: Das neue Fernmeldenetz der Deutschen Bundespost TELEKOM.* Heidelberg: v.Decker, 1990.

[18] Broder Wendland. *Grundlagen und Technik des Farbfernsehens I/II.* Hagen: FeU, 1988.

[19] Johannes Wilhelm. Nachrichtensysteme. Vorlesungsskript Universität der Bundeswehr München, 1984

[20] DAB
München: DAB-Plattform e.V., 1993.

[21] Euro-ISDN: Kommunikation ohne Barrieren für ein Europa ohne Grenzen
Telekom: 1992.

[22] Firoz Kaderali. *Digitale Kommunikationstechnik I.* Braunschweig: Vieweg, 1991.

[23] telekom praxis 2/94. *Internationale Fernmeldunion.* Berlin: Schiele, 1994.

[24] Anatol Badach. *ISDN-Anwendungen.* Bergheim: DATACOM, 1994.

[25] Otto Mildenberger. *Informationstheorie und Codierung.* Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg, 1990.

[26] Renate Schmidhuber. *Technik und Entwicklungsstand des ISDN.* FH Regensburg: Diplomarbeit 07.1992.

[27] Flemming Topsœ. *Informationstheorie.* Stuttgart: Teubner, 1974.

[28] Gordon Raisbeck. *Informationstheorie.* München-Wien: Oldenbourg, 1970.

[29] Bodo Morgenstern. *Elektronik III: Digitale Schaltungen und Systeme.* Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg, 1992.

[30] Werner Heise / Pasquale Quattrocchi. *Informations- und Codierungstheorie* . Berlin, Heidelberg, NewYork: Springer, 1989.

[31] Rainer Geissler / Werner Kammerloher / Hans Werner Schneider. *Berechnungs- und Entwurfsverfahren der Hochfrequenztechnik 1.* Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg, 1993.

[32] Rainer Geissler / Werner Kammerloher / Hans Werner Schneider. *Berechnungs- und Entwurfsverfahren der Hochfrequenztechnik 2.* Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg, 1994.

[33] W. Wesley Peterson. *Prüfbare und korrigierbare Codes.* München-Wien: Oldenbourg, 1967.

[34] Martin Bossert. *Kanalcodierung.* Stuttgart: Teubner, 1992.

[35] Karl Dirk Kammeyer. *Nachrichtenübertragung.* Stuttgart: Teubner, 1992.

[36] Richard W.Hamming. *Information und Codierung.* Weinheim, New York: VCH, 1987.

[37] Ralph-Hardo Schulz. *Codierungstheorie.* Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg, 1991.

[38] Hans Tzschach / Gerhard Haßlinger. *Codes für den störungssicheren Datentransfer.* München-Wien: Oldenbourg, 1993.

[39] Kenneth R.McConnell / Dennis Bodson / Richard Schaphorst. *FAX: Digital Facsimile Technology & Applications.* Norwood: Artech House, 1989.

[40] Johannes Huber. *Trelliscodierung.* Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1992.

[41] Jürgen Plate. *Das Telefon-Handbuch.* München: Pflaum, 1994.

[42] Jens Johann. *Modulationsverfahren.* Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1992.

[43] Hans Gommlich / Eberhardt Schuon. *Datenfernübertragung und ihre Meßtechnik.* Berlin: Schiele und Schön, 1995.

[44] Erwin Lertes. *Funkortung und Funknavigation.* Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg, 1995.

[45] Dieter Opielka. *Optische Nachrichtentechnik.* Braunschweig: Vieweg, 1995.

[46] Wolfgang Heinrich (Hrsg.). *Richtfunktechnik.* Heidelberg: R.v.Decker's, 1988.

[47] FTZ *FTZ Richtlinie FTZ 18 TR 53.* 1988.

[48] Otfried Georg. *Telekommunikationstechnik.* Berlin, Heidelberg: Springer, 1996.

[49] Roger l. Freeman. *Telecommunication System Engineering.* New York : Wiley, 1996.

[50] Herausgeber: Otto Mildenberger. *Informationstechnik kompakt.* Wiesbaden : Vieweg, 1999.

[51] Matthias Paetzold. *Mobilfunkkanaele*. Wiesbaden : Vieweg, 1999.

[52] Martin Meyer. *Kommunikationstechnik*. Wiesbaden : Vieweg, 1999.

[53] Dietmar Lochmann. *Digitale Nachrichtentechnik*. Berlin : Verlag Technik, 1997.

[54] Hans Wilhelm Barz. *Kommunikation und Computernetze*. Muenchen, Wien : Hanser, 1995.

[55] gerhard Hasslinger und Thomas Klein. *Breitband-ISDN und ATM-Netze*. Stuttgart, Leipzig : Teubner, 1999.