

## 2.2b OSI-Referenzmodell: Schicht 2 – HDLC, LLC, D-Kanal, D<sub>m</sub>-Kanal

### Inhalt:

- Aufgaben und Funktionen
- HDLC (LAPB)

### Varianten:

LLC (LANs), D-Kanal (ISDN), D<sub>m</sub>-Kanal (GSM), LAPF (Frame Relay), LAPM (Modems)

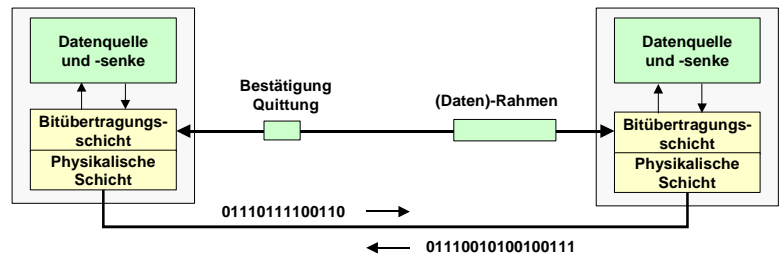


Bild: High-Level Data Link Control

Die Standards dieser Schicht leisten entweder eine zeichenorientierte oder eine bitorientierte Übertragung. Das heute zentrale Protokoll ist **HDLC** (High Level Data Link Control). Dies ist ein sehr flexibles, bitorientiertes Protokoll, das auf bestimmte Anwendungsfälle hin spezialisiert werden kann und mehrere Protokollvarianten hervorgebracht hat:

- **LAPB** (Link Access Procedure for Balanced Mode) wird im Paketvermittlungssystem X.25 eingesetzt.
- **LLC** (Logical Link Control) wird in lokalen Netzen verwendet.
- **LAPD** (Link Access Procedure for D-Channels) wird im D-Kanal (Signalisierung) von ISDN genutzt.
- **LAPD<sub>m</sub>** (Link Access Procedure for D-Channels, Modified) wird im D<sub>m</sub>-Kanal (Signalisierung) von GSM genutzt.

### Unterscheidung

Leitstation, Folgestation, Hybridstation

### Zwei verschiedene Konfigurationen des Übertragungsabschnittes

- Unsymmetrisch
- Symmetrisch

### Drei Modi für Datenübertragung

- Aufforderungsbetrieb (Normal Response Mode, NRM)
- Spontanbetrieb (Asynchronous Response Mode, ARM)
- Gleichberechtigter Spontanbetrieb (Asynchronous Balanced Mode, ABM)

Die Schicht 2 realisiert eine fehlerfreie Punkt-zu-Punkt-Übertragung ganzer Rahmen zwischen benachbarten Stationen. Dabei können entweder zwei Stationen **direkt** miteinander oder mehrere Stationen über ein **Bussystem** verbunden sein. Das Bussystem wirkt als **Broadcastnetz**, d. h. jede Station kann das Signal jeder anderen Station direkt, ohne das Durchlaufen von zwischengeschalteten Systemen empfangen.

### Unterschieden wird nach:

- Stationstyp,
- Verbindungskonfiguration,
- Datenübertragungsbetriebsart.

Bild: HDLC – High-Level Data Link Control

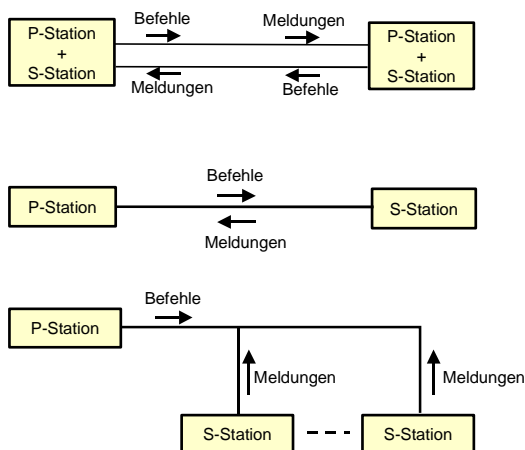


Bild: HDLC Stationsklassen

**Drei Stationstypen:** Station mit Leitkontrolle, Station mit Folgekontrolle und Hybridstation.

### Zwei Verbindungskonfigurationen:

- Die einseitig kontrollierte Verbindung (unbalanced configuration) wird im Punkt-zu-Punkt- und Mehrpunkt-Betrieb eingesetzt. Eine Station besitzt die Leitkontrolle. Die andere Station oder im Mehrpunktbetrieb die anderen Stationen verfügen über eine Folgekontrolle. Betriebsweisen: Halbduplex oder Vollduplex.
- Die beidseitig kombinierte Verbindung (balanced configuration) wird nur im Punkt-zu-Punkt-Betrieb als Hybridstation verwendet (Halbduplex- oder Vollduplex-Betrieb).

### Drei Datenübertragungsbetriebsarten:

- Der Normal Response Mode (NRM) ist ein Anrufmode, bei dem einseitig kontrollierte Kanäle verwendet werden. Die Folgestation kann nur nach Aufforderung durch die Leitstation Daten senden. Beispiel: Datenstationen an Rechner.
- Der Asynchronous Response Mode (ARM) ist ein Spontanmode, bei dem die Folgekontrolle aktiv werden kann und Datenübertragungen ausführen darf.
- Der Asynchronous Balanced Mode (ABM) wird nur in Punkt-zu-Punkt-Verbindungen zwischen zwei Hybridstationen eingesetzt, welche beide die Verbindung überwachen und voll gleichberechtigt aktiv werden können.

## HDLC-Stationstypen

Abhängig von der Kontrollverantwortlichkeit der Datenstation werden drei Typen von HDLC-Stationen definiert:

Primäre Station (Primary Station)	P-Station	Sie hat die volle Verantwortung für die Kontrolle und Überwachung der Datenverbindung. Sie ist zuständig für die Initialisierung, Beendigung der Datenverbindung, sowie für das Aufheben von möglichen Fehlersituationen.
Sekundäre Station (Secondary Station)	S-Station	Sie wird von einer P-Station kontrolliert. Beim Auftreten von Fehlern teilt sie dies der P-Station mit und überlässt es der P-Station, die Situation zu klären.
Kombinierte Station (Combined Station)	C-Station	Eine C-Station tritt nur in Kombination mit einer anderen C-Station auf. Beide Stationen kontrollieren die Datenverbindung gleichberechtigt, d.h. jede C-Station kann die Datenverbindung initialisieren, beenden und Fehlersituationen klären. Eine C-Station beinhaltet gewissermaßen gleichzeitig die Kontrollfunktionen einer P- und einer S-Station.

<b>Leitkontrolle</b> (in Leitstation) gibt Befehle an die Folgekontrolle
<b>Folgekontrolle</b> sendet Meldungen an die Leitkontrolle
<b>Befehle und Meldungen werden im HDLC-Rahmen übertragen</b>

## HDLC-Betriebsarten

Unter Berücksichtigung dieser 3 Stationstypen von werden folgende Klassen von HDLC-Prozeduren definiert:

**Balanced:** Datenverbindungen nach dieser Klasse sind zwischen zwei C-Stationen aufgebaut.

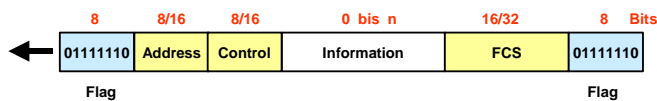
**Unbalanced:** Datenverbindungen existiert zwischen einer P-Station und einer oder mehreren S-Stationen.

Bild: HDLC-Kontrolle

### Synchrones, bitorientiertes Protokoll

- Punkt-Punkt-Verbindungen
- eingesetzt bei X.25; Frame Relay
- abgewandelt in lokalen Netzen (LLC), ISDN (LAPD), Mobilfunk (LAPDm)

### Grundlegendes Rahmenformat



Transparenz durch Bitstopfen (Bit Stuffing)

### Prüfsumme

- Cyclic Redundancy Check
- $G(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$

Bild: High-Level Data Link Control

## HDLC-Rahmenstruktur

Die HDLC-Prozeduren sind bitorientiert, d.h. die Informationsdaten können beliebig codiert sein (im Gegensatz zu zeichenorientierten Prozeduren, bei denen die Informationsdaten nach einem bestimmten Zeichenalphabet codiert sein müssen).

Die Grundstruktur der zu übertragenden Daten besteht in einem Block, der Rahmen (frame) genannt wird. Jeder Rahmen hat das gleiche Erscheinungsbild, unabhängig davon, ob allgemeine Daten, Quittierungen oder Anweisungen in ihm enthalten sind. Mehrere Rahmen können inhaltlich zusammengehören, sie bilden eine Rahmenfolge, die durch eine Nummerierung im Rahmen vom Empfänger überwachbar ist.

## HDLC-Rahmenstruktur

Blockbegrenzung (Flag)	Jeder HDLC-Rahmen ist begrenzt durch Flags mit Bitmuster "01111110". Ein einzelnes Flag kann gleichzeitig als Ende-Flag eines Rahmens und als Anfangsflag des nächsten dienen. <b>Eine Folge von Flags kennzeichnet den Ruhezustand der Übertragungsstrecke.</b> Treten sieben oder mehr Einsen auf, wird die Datenübertragung abgebrochen. Diese Situation wird als Abort Anweisung genutzt.
	Damit innerhalb des Rahmens jede Bitkombination möglich ist ( <b>Codetransparenz</b> ), werden vom Sender binäre Nullen immer dann eingefügt, wenn 5 aufeinanderfolgende Einsen im Rahmen enthalten sind (zero Insertion). Auf der Empfangsseite wird dann jede Null entfernt, welche unmittelbar nach 5 aufeinanderfolgenden Einsen folgt (zero deletion). Damit wird vermieden, dass zwischen zwei Flags ebenfalls sechs Einsen hintereinander auftreten, die irrtümlich als Flag interpretiert würden. Dieses Verfahren wird Bitstopfen genannt.
Adress- oder A-Feld (Address-Field)	Das Adressfeld wird nicht nur zur Unterscheidung zwischen verschiedenen Stationen benutzt, es dient auch der Unterscheidung zwischen Befehlen (commands) und Meldungen (responses). Ein HDLC-Rahmen ist ein Befehl, wenn er die Adresse der empfangenden Station beinhaltet. Er ist eine Meldung, wenn er die Adresse der sendenden Station beinhaltet. Eine Adresse, die nur aus Einsen besteht, ist eine Rundschreibadresse für alle Stationen (Broadcast). Es besteht die Möglichkeit, das A-Feld byteweise zu erweitern.

Kontroll- oder C-Feld (Control-Field)	Mit Hilfe dieses Feldes lassen sich drei Arten von HDLC-Rahmen unterscheiden: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Informations- oder I-Rahmen (<b>Information Frame</b>),</li> <li>• Nummerierte Kontrollrahmen oder S-Rahmen (<b>Supervisory Frame</b>),</li> <li>• Nicht nummerierte Kontrollrahmen oder U-Rahmen (<b>Unnumbered Frame</b>)</li> </ul>
	Das C-Feld beinhaltet Kontrollinformationen für die Überwachung und Kontrolle der Datenverbindung. Das C-Feld kann byteweise erweitert werden.
Informations- oder I-Feld (Information-Field)	Das I-Feld ist nur bei I-Rahmen und bei bestimmten U-Rahmen vorhanden. S-Rahmen beinhalten kein I-Feld.
	Das I-Feld darf beliebig lang sein. Eine Begrenzung dieses Feldes auf eine maximale Länge ist nicht von HDLC vorgeschrieben; sie kann, falls erforderlich, von den Anwendern selbst festgelegt werden.
Blockprüfungs- oder FCS-Feld (Frame Checking Sequence)	Das FCS-Feld beinhaltet 16 Kontrollbits, die eine Erkennung von Rahmen, die durch Übertragungsfehler gestört sind, ermöglichen. Die HDLC-Prozeduren arbeiten nach der ARQ-Methode, d.h. die Fehlerkorrektur erfolgt durch Wiederholung.

Das Adress- (Address) und Kontrollfeld (Control) bezeichnet man als Header Field des Rahmens.

Das Adress- und Kontrollfeld besteht im Basisrahmen jeweils aus einer 8 Bit Information. Bei Bedarf kann jedes Feld um 8 Bit, also ein Byte, erweitert werden. Im erweiterten Adressformat ist die Adresslänge ein Mehrfaches von 7 Bit. Die Bitposition 1 im jeweiligen Adressfeld kennzeichnet die Erweiterung; der Bitwert 0 bedeutet, dass ein weiteres Adressfeld folgt, der Bitwert 1 bedeutet, dass es sich um das letzte Adressfeld handelt. Die Adresse dient zur Adressierung der Empfängerstation bei Befehlen (commands) und zur Adressierung des Senders bei Meldungen (responses).

Eine Station, die als Leitkontrolle arbeitet, sendet nur Befehle, eine Folgekontrolle nur Meldungen und lediglich eine Hybridstation darf Befehle und Meldungen senden. Das Kontrollfeld bezeichnet das Rahmenformat und es enthält die Folgenummern.

Es werden Rahmen unterschieden, ob sie nummeriert oder unnummeriert übertragen werden. Nummerierte Rahmen sind Information, oder Supervisory-Rahmen, Rahmen die der Nachrichtenübertragung und der Befehlsübermittlung dienen.

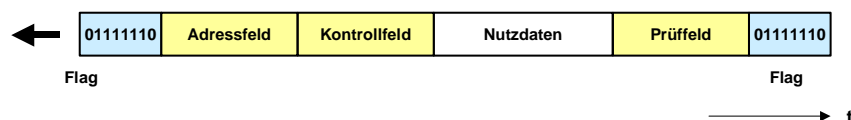
#### Fluss- und Fehlerkontrolle: Fenster-Verfahren mit ARQ-Mechanismus

Basisformat:	3 Bits	Folgenummernkontrolle mit Wertevorrat von 0 bis 7 (modulo 8)
Erweitertes Format:	7 Bits	Wertevorrat von 0 – 127 (modulo 128)

Das Informationsfeld (Information) ist für nummerierte Rahmen (information frames) vorbehalten. Die Feldlänge ist im HDLC-Standard nicht begrenzt. Die jeweiligen Applikationen definieren Obergrenzen der Informationsfeldlänge; oft muß die Länge ein Vielfaches von 8 Bit, einem Byte, sein.

Das Feld für die Blockprüfung FCS (Frame Checking Sequence) besteht aus 16 Bit. Das CRC-Codewort wird aus dem Inhalt des Adress-, Kontroll- und Informationsfeldes berechnet. optional kann das FCS-Feld auch mit einem 32 Bit langen Codewort ausgestattet sein.

Generatorpolynom CRC-16 (ITU):  $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$ .



Blockbegrenzung (Flag) ist eine ausgezeichnete Bitfolge (01111110)

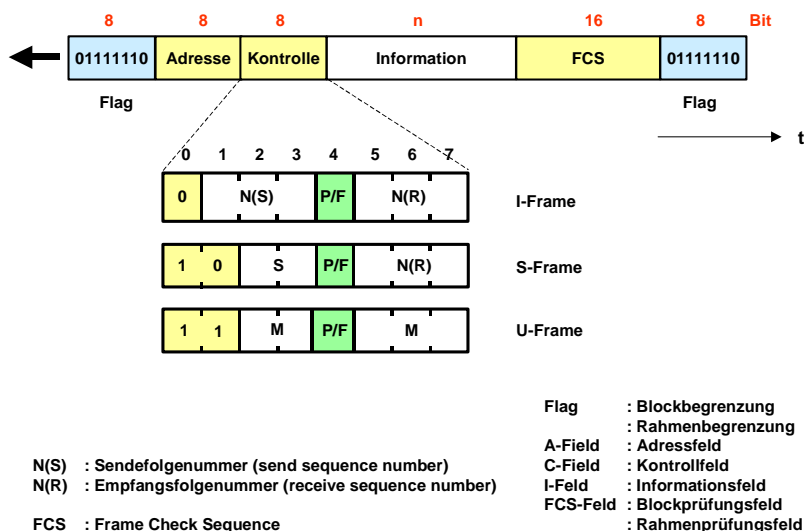
**Problem:** Zufälliges Auftreten von 01111110 im Datenübertragungs-Block

**Lösung: Bit Stuffing**

- Sender fügt zwischen den Flags nach 5 aufeinanderfolgenden Zeichen „1“ ein Zeichen „0“ ein.

- Empfänger entfernt zwischen den Flags nach 5 aufeinanderfolgenden Zeichen „1“ das darauffolgende Zeichen „0“.

Bild: Codetransparenz – Bit Stuffing

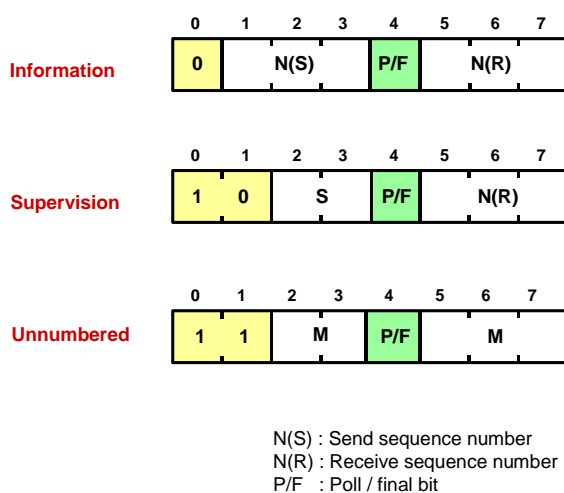


## HDLC-Rahmenarten

Bei den HDLC-Prozeduren sind drei Arten von Rahmen definiert: I-, S- und U-Rahmen.

Das 5. Bit des C-Feldes ist das Aufruf/Ende-Bit oder P/F-Bit (Polling/Final-Bit, Bit 4). Wenn dieses Bit gleich "1" ist, dann handelt es sich bei einem Befehl um ein Aufruf-Bit (P-Bit) und bei einer Meldung um ein Ende-Bit (F-Bit). Wenn dieses Bit gleich "0" ist, dann hat es keine besondere Bedeutung. Die Funktion dieses P/F-Bits hängt von der benutzten HDLC-Betriebsart ab.

Bild: High-Level Data Link Control



## Kontrollfeld

In dem Kontrollfeld eines S- und I-Rahmen werden zwei Formen von Kontrollanweisungen unterschieden: commands und responses. Rahmen, die von einer Leitkontrolle gesendet werden, enthalten commands; eine Folgestation sendet responses. Eine Hybridstation darf commands und responses senden.

Ein Information-Rahmen (I-Rahmen) enthält an der Bitposition 1 eine 0 im Kontrollfeld. Die Inhalte der Sendefolge-Nummer N(S) und der Empfangsfolge-Nummer N(R) geben die Nummer des nächsten zu sendenden Rahmen und die Nummer des nächsten zu empfangenden Rahmen an.

Ein Supervisory-Rahmen (S-Rahmen) enthält einen Befehl und eine Empfangsfolge-Nummer N(R) für Quittierungen und Wiederholungsaufforderungen. Kennung: 10 am Anfang des Feldes.

Bild: Kontrollfeld

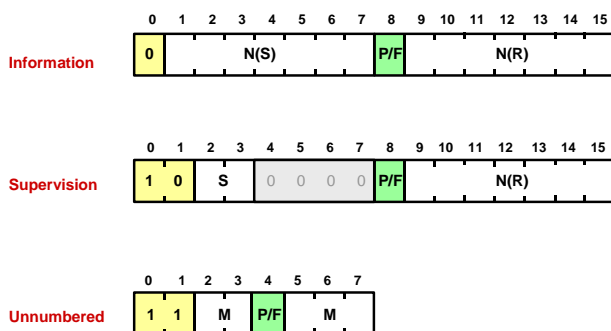


Bild: Erweitertes Kontrollfeld

Das P/F-Bit bedeutet in NRM und ARM:

P	Poll-Bit	Sendeaufforderung an eine Folgekontrolle
F	Final-Bit	Quittierung des Poll-Bits

Im ABM-Betrieb sind die beteiligten Stationen gleichberechtigt, so dass keine Sendeaufforderungen ergeben. Jede Anfrage mit einem Poll-Bit muss mit einem Final-Bit beantwortet werden.

### Informations- oder I-Rahmen (Information Frame)

Der I-Rahmen ist der einzige HDLC-Rahmen mit Nutzinformation in dem Informationsfeld.

Mit der Sendefolgennummer N(S) (Send sequence number) werden die I-Rahmen zyklisch von 0 bis 7 durchnummeriert (Modulo 8). Bei einer Erweiterung des C-Feldes um weitere 8 Bits kann der Modulo-Wert auf 128 erhöht werden, was eine Durchnummerierung der I-Rahmen von 0 bis 127 ermöglicht.

Für die Durchnummerierung der I-Rahmen besitzt die sendende Station eine Kontrollvariable, die Sendefolgevariable V(S) (Send state variable) genannt wird. Diese Variable V(S) ist bei Initialisierung der Verbindung gleich 0 gesetzt. Bevor ein I-Rahmen gesendet wird, wird der Wert von V(S) in das N(S)-Feld eingeschrieben und anschließend wird V(S) um 1 erhöht (Rechnung nach Modulo 8 bzw. 128). Somit wird automatisch gewährleistet, dass der nachfolgende I-Rahmen eine um 1 höhere N(S)-Nummer aufweist.

Die Empfangsfolgennummer N(R) (Receive sequence number) dient als Quittung von I-Rahmen, welche in der betrachteten sendenden Station empfangen wurden. Für diesen Zweck besitzt die empfangende Station eine Empfangsfolgevariable V(R) (Receive state variable), die bei der Initialisierung der Verbindung gleich 0 gesetzt wird. Empfangene Rahmen, welche aufgrund der Prüfung des FCS-Feldes als gestört erkannt sind, werden verworfen. I-Rahmen, die keinen FCS-Fehler aufweisen, werden von der empfangenden Station bearbeitet. Ihre N(S)-Nummer wird zunächst mit dem Wert der Variablen V(R) verglichen. Bei Übereinstimmung wird der empfangene I-Rahmen angenommen und die Variable V(R) um 1 erhöht. Bei Nichtübereinstimmung zwischen N(S)-Nummer und V(R)-Wert liegt ein Fehler in der Reihenfolge der I-Rahmen (Sequenzfehler) vor.

Beim Senden eines I- oder S-Rahmens wird der Inhalt der Empfangsfolgevariable V(R) in das N(R)-Feld des zu sendenden Rahmens eingeschrieben. Wenn eine Station eine N(R)-Nummer gleich m sendet, teilt sie der Gegenstation dadurch mit, dass sie alle I-Rahmen mit den N(S)-Nummern kleiner als oder gleich (m-1) korrekt empfangen hat. Die Gegenstation kann dann mit Hilfe der empfangenen N(R)-Nummer die Kopien der gespeicherten I-Rahmen bis zur N(S)=(m-1) einschließlich löschen.

Um eine eindeutige Zuordnung zwischen empfangener N(R)-Nummer und gesendeter N(S)-Nummer zu gewährleisten, darf eine sendende Station bei Modulo 8 maximal 7 (bzw. bei Modulo 128 maximal 127) unquitierte I-Rahmen haben. Beim Erreichen dieses maximalen Wertes darf sie solange keinen weiteren I-Rahmen senden, bis eine Quittung empfangen wird, welche entweder korrekt empfangene I-Rahmen bestätigt und somit das Senden von neuen I-Rahmen wieder ermöglicht oder eine Wiederholung von I-Rahmen auslöst.

Diese Begrenzung durch den Modulo-Wert hat einen besonderen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit von HDLC-kontrollierten Datenverbindungen. Insbesondere bei Übertragungsstrecken mit großer Signallaufzeit wie Satellitenstrecken.

### Kontrollrahmen:

RR	00	Receive-Ready	Der RR-Rahmen wird benutzt um zu zeigen, dass weitere Informationsrahmen empfangen werden können, und um korrekt empfangene I-Rahmen zu bestätigen. Dieser Fall tritt dann ein, wenn die empfangende Station momentan keinen I-Rahmen absenden kann, dem diese Quittung mitgegeben werden könnte.
RNR	10	Receive-Not-Ready	Der RNR-Rahmen wird benutzt, um zu melden, dass keine weitere I-Rahmen empfangen werden können. Dieser Zustand der Nicht-Empfangsbereitschaft kann z. B. auftreten, wenn eine Station keinen freien Speicherplatz mehr für I-Rahmen hat.
REJ	01	Reject	Der REJ-Rahmen wird benutzt, um die Wiederholung von I-Rahmen anzufordern. Wenn eine Station einen REJ-Rahmen empfangen hat, wiederholt sie alle unquitierte I-Rahmen; anzufangen ist mit dem I-Rahmen, dessen N(S)-Nummer gleich der im REJ-Rahmen angegebenen N(R)-Nummer ist.
SREJ	11	Selective-Reject	Der SREJ-Rahmen wird benutzt, um die Wiederholung eines einzelnen I-Rahmens anzufordern. Die N(S)-Nummer des zu wiederholenden I-Rahmens ist durch die N(R)-Nummer des empfangenen SREJ-Rahmens angegeben. Diejenige Station, die einen SREJ-Rahmen empfangen hat, wiederholt nur den gewünschten I-Rahmen und nicht alle unquitierten wie im Fall von REJ-Rahmen. Wegen des höheren Aufwandes bei ihrer Implementierung, findet diese selektive Wiederholungsmethode bis jetzt kaum Anwendung. Es wird deshalb im Rahmen dieser Arbeit auf die Benutzung des SREJ-Rahmens verzichtet

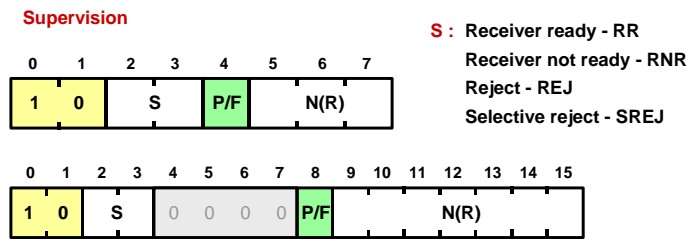


Bild: Supervisory HDLC Frames

### Nummerierte Kontrollrahmen, S-Rahmen (Supervisory Frame)

S-Rahmen beinhalten kein Informationsfeld. Das N(R)-Feld hat hier die gleiche Funktion wie jenes in I-Rahmen.

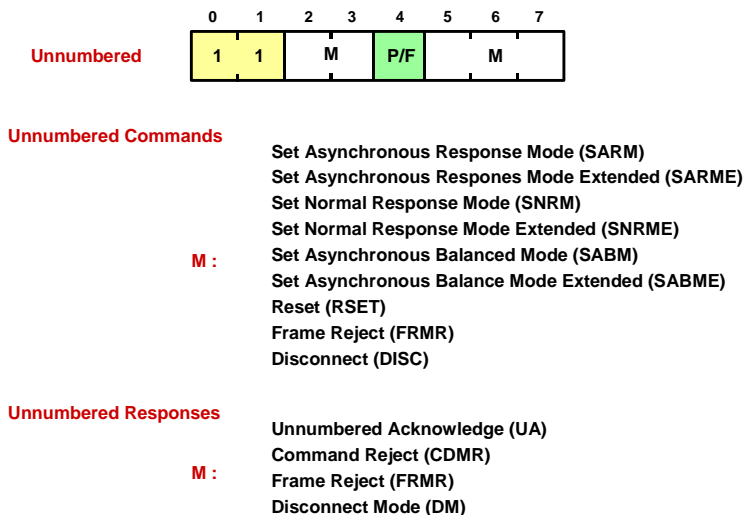
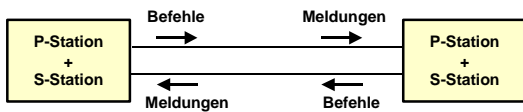


Bild: Unnumbered HDLC Frames

### Nicht nummerierte Kontrollrahmen oder U-Rahmen (Unnumbered Frame)

U-Rahmen beinhalten weder Sendefolgennummern N(S) noch Empfangsfolgennummern N(R), hiervon rührt auch ihr Name als "nicht nummerierter Kontrollrahmen". Sie erlauben Kontrollfunktionen wie Initialisierung, Beendigung der Datenverbindung und Zurücksetzen der Variablen V(S) bzw. V(R) im Falle des Auseinanderlaufens dieser Variablen durchzuführen.

SNRM	Set Normal Response Mode	Mit SNRM wird die empfangende Station zu einer Folgekontrolle. Alle Zähler werden auf Null gesetzt und die Betriebsart NRM gestartet. Die Station bleibt in diesem Zustand, bis ein DISC oder SIM eintrifft.
SARM	Set Asynchronous Response Mode	Wahl der Betriebsart ARM. Die den Befehl SARM empfangende Station wird Folgekontrolle. Die Station bleibt in diesem Zustand, bis ein DISC eintrifft. Alle Zähler werden auf Null gesetzt
SABM	Set Asynchronous Balanced Mode	Wahl der Betriebsart ABM. Sende- und Empfangsstation bleibt in diesem Zustand, bis ein DISC eintrifft. Alle Zähler werden auf Null gesetzt.
SNRME	SNRM Extended	Wie SNRM mit erweitertem Kontrollfeld
SARME	SARM Extended	Wie SARM mit erweitertem Kontrollfeld
SABME	SABM Extended	Wie SABM mit erweitertem Kontrollfeld.
DISC	Disconnect	Der Befehl hebt den aktuellen Betriebszustand auf. Die Station geht in den Wartezustand.
DM	Disconnected Mode	Wartezustand mit logischer Verbindungstrennung nach SABM
FRMR	Frame Reject	Sendet der Gegenstation das Kontrollfeld eines ungültigen Rahmens zurück und bezeichnet den Fehler: Kontrollfeld ungültig, ungültige bzw. nicht bekannte Information im Kontrollfeld, Länge eines Informationsfelds zu groß, unzulässiger N(R) Wert.
UA	Unnumbered Acknowledgment	Bestätigung eines U-Rahmens
UI	Unnumbered Information	Austausch von Informationen zwischen den Stationen
RSET	Reset	N(S) und N(R) werden zurückgesetzt
SIM	Set Initialization Mode	Mit SIM werden in der Folgekontrolle systemspezifische Vorgänge eingeleitet und alle Zähler auf Null gesetzt.
RIM	Request Initialization Mode	Anforderung einer Initialisierung durch SIM.
RD	Request Disconnect	Mit RD fordert eine Folgestation ein DISC an
UP	Unnumbered Poll	Aufforderung zu einer Abfrage
XID	Exchange Identification	Austausch von Systemparameter und Statusinformationen
TEST	Test	Mit diesem Befehl wird ein Informationsfeld versendet und vom Empfänger zu Testzwecken zurückgereicht (nur für ABM)



## HDLC-Prozedurklassen II

### Symmetrische Konfiguration (Balanced)

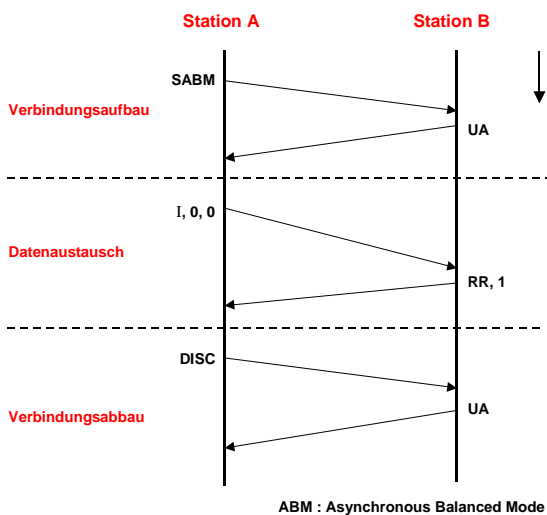
- totale Symmetrie zwischen den Stationen (kombinierte Stationen)
- nur Punkt-zu-Punkt-Verbindungen
- nur asynchroner Modus

Bild: Symmetrische HDLC Prozeduren

## Die Balanced Klasse von HDLC-Prozeduren

Die Balanced Klasse von HDLC-Prozeduren ist nur für Punkt-Punkt-Verbindungen geeignet. Die zwei kombinierten Stationen (oder C-Stationen) an beiden Enden der Verbindung können sowohl Befehle als auch Meldungen senden bzw. empfangen.

Weil beide Stationen bei der Kontrolle der Datenverbindung gleichberechtigt sind, d.h. jede die Verbindung initialisieren, rücksetzen oder beenden, und ferner zu jedem Zeitpunkt Rahmen senden kann, spricht man hier von dem asynchronen balanced mode of operation oder abgekürzt ABM-Betrieb



ABM : Asynchronous Balanced Mode

Bevor ein Datenaustausch auf Schicht 2 stattfinden kann, muss eine logische Verbindung aufgebaut werden.

Im Beispiel wird mit SABM (Set ABM) eine symmetrische Verbindung aufgebaut. Die Verbindungsaufbau wird abgeschlossen mit dem Response UA (Unnumbered Acknowledgement).

Danach erfolgt der Datenaustausch. Hier Informationsrahmen I(0,0) mit Send- und Empfangsnummer beide auf Null. Quittiert wird mit Receive Ready RR(1) als Angabe, dass der Empfänger im nächsten Informationsrahmen N(S)=1 erwartet.

Die Verbindung wird abgebaut mit dem Befehl DISC und die Quittung UA vom Empfänger.

Bild: Datenaustausch in der Betriebsart ABM

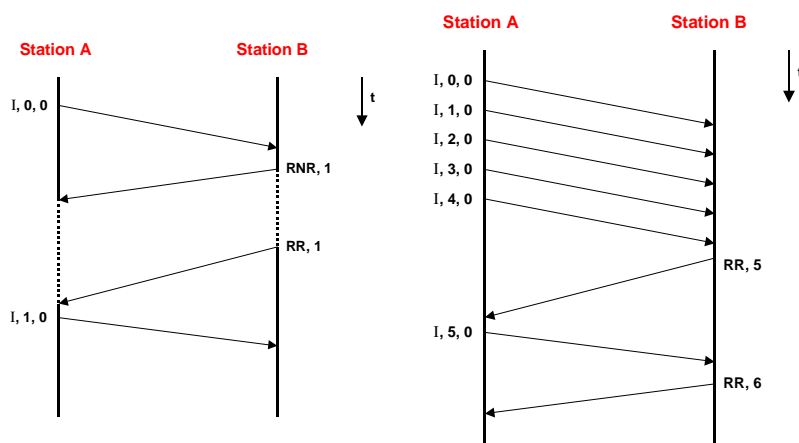


Bild a: Datenaustausch und Flusskontrolle

Bild b: Datenaustausch mit Vielfach-Quittierung

### Im Bild a:

Wird der Informationsrahmen I(0,0) mit RNR(1), Receive Not Ready, von Station B quitiert und damit wird der Sendestrom gleichzeitig angehalten, bis Station A beim Empfang von RR(1) erneut senden darf. Gesendet wird jetzt Informationsrahmen I(1,0).

### Im Bild b:

Werden eine Reihe von Informationsrahmen I(0,0) bis I(4,0) geschickt, die vom Empfangsstation B mit RR(5) gemeinsam quitiert wird. RR(5) bedeutet, dass Station B einen Informationsrahmen mit N(S)=5 erwartet.



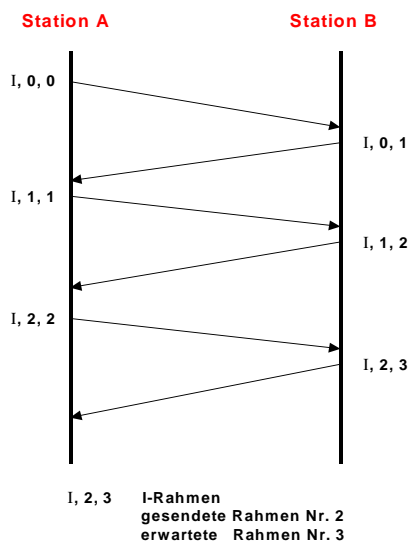


Bild a: Datenaustausch mit Fenster  $W=1$

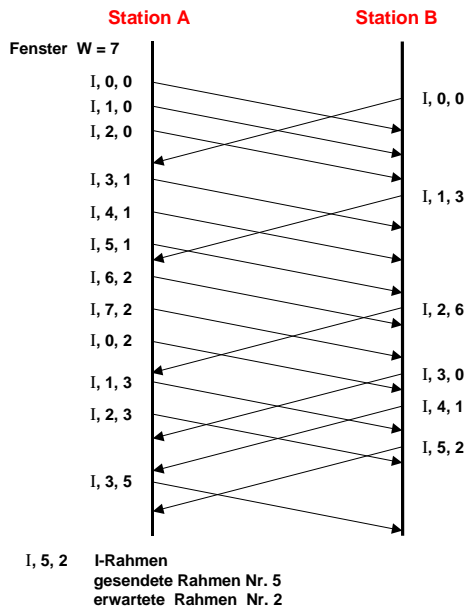


Bild b: Datenaustausch mit Fenster  $W=7$

#### Im Bild a

werden Informationsrahmen gleichzeitig in beiden Richtungen ausgetauscht. Dadurch können sie direkt zur Quittierung herangezogen werden. Zum Beispiel  $I(0,0)$  von Station A wird mit  $I(0,1)$  von Station B quittiert. Darauf sendet Station A den Informationsrahmen  $I(1,1)$  mit  $N(S)=1$  und  $N(R)=1$ , d.h. Station A erwartet  $I(1,x)$  von Station B.

#### Im Bild b

in diesem Szenario ist nun das Fenster  $W=7$  anstatt  $W=1$  und somit muss nicht jeder Informationsrahmen quittiert werden, bevor weiter gesendet werden darf. Der Ablauf ist auf dem ersten Blick komplizierter.

### Automatische Fehlerkorrektur

Informationsrahmen, die sich aufgrund der Prüfung des FCS-Feldes als gestört erweisen (FCS-Fehler), werden einfach von der empfangenden Station verworfen. Wie diese I-Rahmen danach von der sendenden Station wiederholt werden können, wird im folgenden beschrieben.

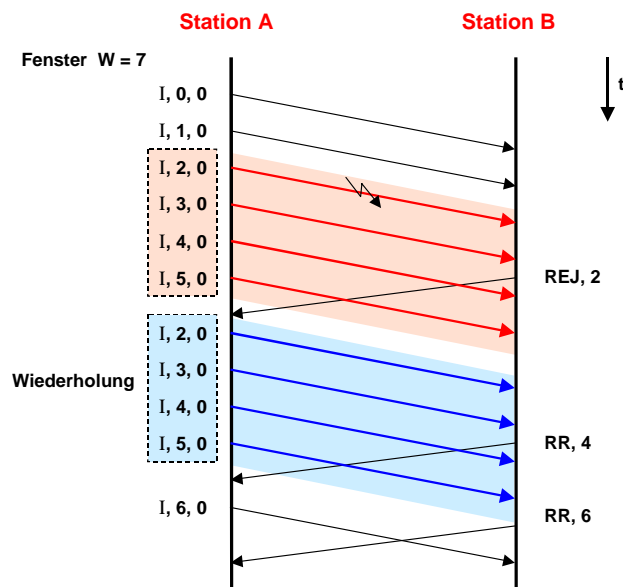


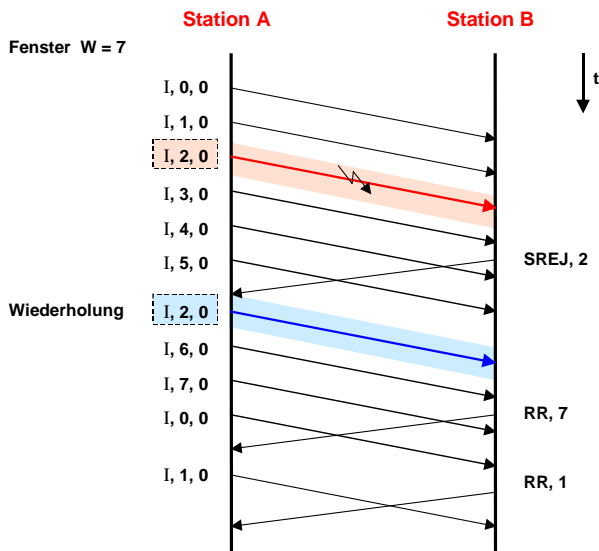
Bild: Datenaustausch mit Fehlerkorrektur: REJ

### Wiederholung durch REJ-Rahmen

Sobald eine Station einen Fehler in der Reihenfolge der I-Rahmen entdeckt hat (Sequence-Fehler), kann sie einen REJ-Rahmen senden. Die  $N(R)$ -Nummer des REJ-Rahmens ist dabei gleich dem Wert der Empfangsfolgevariablen  $V(R)$ . Ein Sequence-Fehler tritt dann auf, wenn ein I-Rahmen empfangen wird, der sich zwar durch die FCS-Prüfung als fehlerfrei erweist, dessen Sendefolgennummer  $N(S)$  aber nicht mit dem Wert der Variablen  $V(R)$  übereinstimmt.

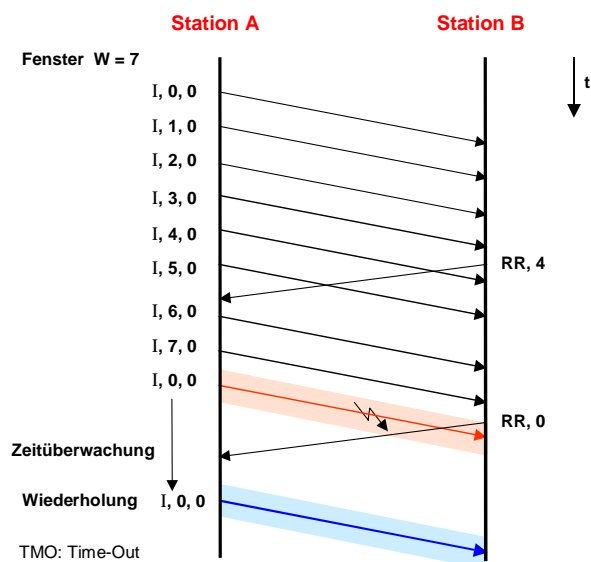
Beim Empfang des REJ-Rahmens wiederholt dann die Gegenstation alle unquitierten I-Rahmen, angefangen mit dem I-Rahmen, dessen  $N(S)$ -Nummer gleich der im REJ-Rahmen angegebenen  $N(R)$ -Nummer ist. Danach wird eine mögliche Wiederholung wegen des Empfangs eines Rahmens mit gesetztem P/F-Bit unterdrückt, um eine nochmalige Übertragung derselben I-Rahmen zu vermeiden (doppelte Wiederholung). Bis zum korrekten Empfang des gewünschten I-Rahmens darf kein weiterer REJ-Rahmen gesendet werden.





Einzelne Rahmen werden mit Selective Reject (SREJ) nochmals angefordert.

Bild : Datenaustausch mit Fehlerkorrektur: SREJ



### Wiederholung durch Zeitüberwachung

Der letzte einer Serie von I-Rahmen kann nicht mit Hilfe von REJ-Rahmen wiederholt werden, weil nach diesem I-Rahmen kein weiterer folgt und deshalb kein Sequence-Fehler auftreten kann. Auch ein durch einen REJ-Rahmen wiederholter I-Rahmen kann im Falle von nochmaliger Störung nicht mehr mit Hilfe eines REJ-Rahmens wiederholt werden. Zur Sicherung gegen solche Fälle wird eine Zeitüberwachung bei der sendenden Station herangezogen.

Bild : Datenaustausch mit Fehlerkorrektur: Time-Out

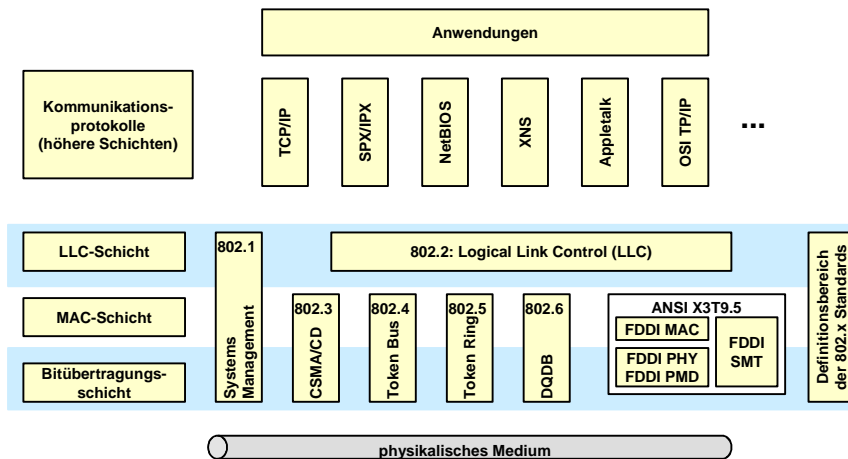
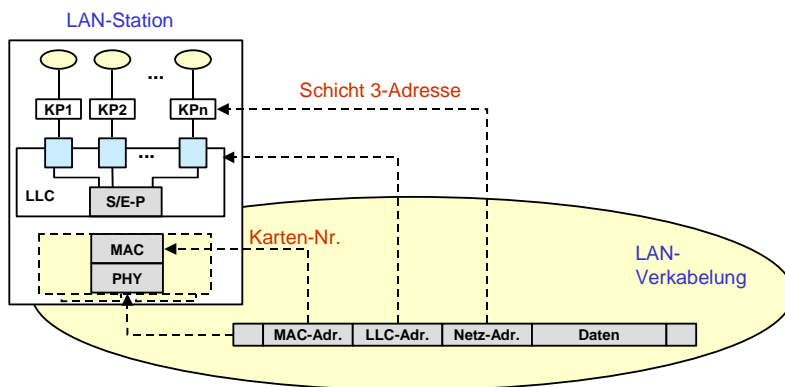


Bild: LAN Protokollstruktur

LANs nach den IEEE-Standards basieren auf ein logisches LAN-Modell. Mit Hilfe dieses Modells wird auf eine besondere Rolle der LLC-Schicht in LANs hingewiesen. Diese Schicht stellt eine Sicherungsschicht im LAN dar und realisiert die Unabhängigkeit der Kommunikationsprotokolle vom LAN-Typ. Diese Schicht kann auch als ein Multiplexer von Kommunikationsprotokollen interpretiert werden. Dabei wird versucht, deutlich zu zeigen, dass die Unterschiede zwischen einzelnen LAN-Typen vor allem in der LAN-Verkabelung, im Zugriffsverfahren und der Bitübertragung liegen, d.h. in der Art und Weise, wie die Daten im LAN-Medium transportiert werden.



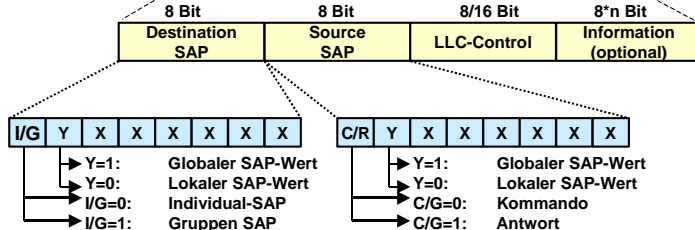
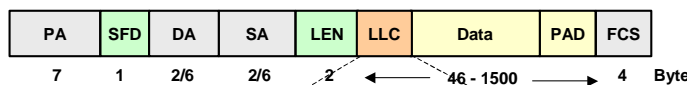
KP: Kommunikationsprotokoll

Bild: LAN-Adressierung

Zur Adressierung der Instanzen ist eine Adresse für jede Schicht notwendig:

- IEEE MAC-Adresse (48 Bit)
- LLC- Adresse
- Netzadresse

IEEE 802.3 frame



- PA : Preamble
- SDF : Start Delimiter of Frame
- DA : Destination Address
- SA : Source Address
- L : Length
- PAD : Padding Data
- FCS : Frame Check Sequence
- SAP: Service Access Point
- C/R: Command/Response
- XXXXXX: SAP-Angabe

Bild: LLC-Frame: Adressierungsfelder

Der Datenaustausch innerhalb der LLC-Schicht zwischen SAPs, die sich in unterschiedlichen Stationen befinden, wird mit Hilfe von festgelegten LLC-Frames realisiert.

Sie werden auch als Protokolldateneinheiten, LPDUs (PDU: Protocol Data Unit) der LLC-Schicht bezeichnet.

Die LLC-Schicht realisiert ein LAN-Sicherungsprotokoll.

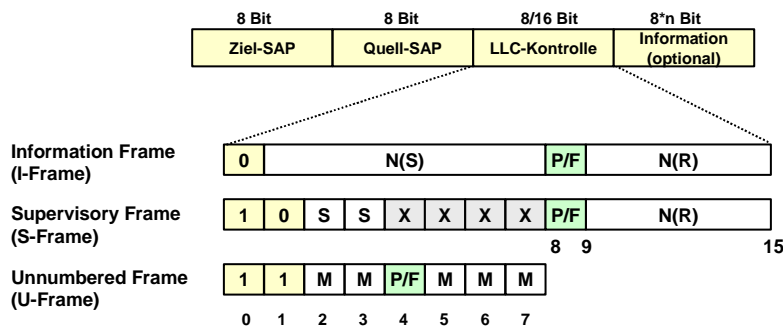
Das LAN-Sicherungsprotokoll nach IEEE 802.2 muss - im Vergleich zum HDLC - zusätzlich folgende Funktionen unterstützen:

- Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindungen (für Multicast und Broadcast),
- verbindungslose und verbindungsorientierte Dienste,
- Multiplex-Funktion.

Die Multiplex-Funktion bedeutet, dass mehrere virtuelle Verbindungen Quell-SAP / Ziel-SAP über ein Paar globaler Sende/Empfangs-Puffer realisiert werden müssen.

Ein LLC-Frame kann variabel lang sein und besteht aus der Quell- und Ziel-SAP-Adresse, einem Kontrollfeld (Control) und einem Informationsfeld (Info). Der Ziel-SAP kann sowohl eine Individual- als auch eine Gruppenadresse sein, um sowohl Punkt-zu-Punkt- als auch Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindungen realisieren zu können. Der Quell-SAP stellt immer eine Individualadresse dar. Für die Angabe, ob es sich um eine Gruppen- oder eine Individual-Adresse handelt, dient das Bit I/G (ähnlich wie bei der MAC-Adresse). Die SAP-Werte werden den einzelnen Kommunikationsprotokollen eindeutig zugeordnet. Diese Zuordnung kann global, d.h. weltweit eindeutig sein, oder sie wird vom Benutzer lokal vorgenommen.

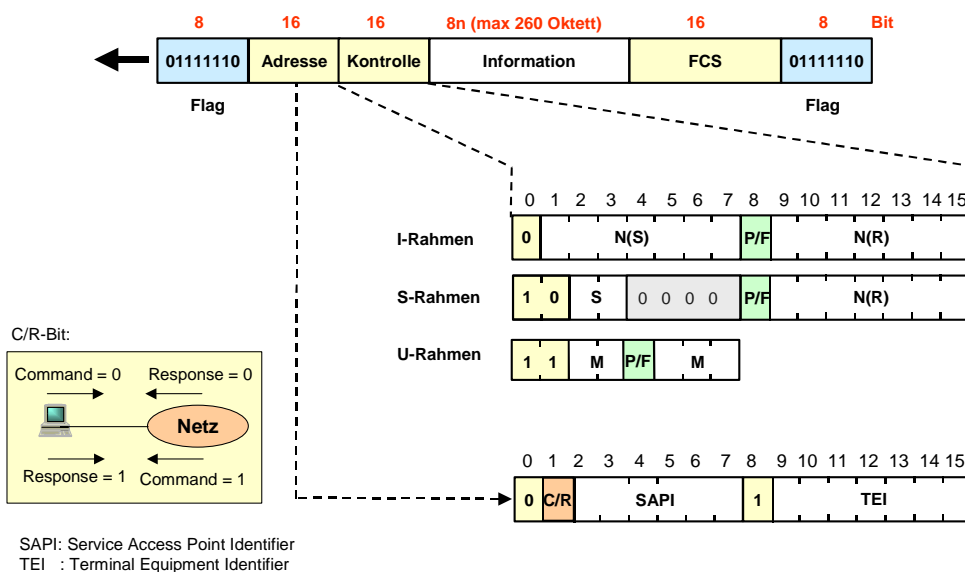
Mit dem Bit Y wird markiert, ob es sich um einen globalen oder einen lokalen SAP-Wert handelt. Dieses Bit entspricht dem G/L-Bit in der MAC-Adresse.



Das Kontrollfeld und der Ablauf des Protokolls ist wie bei HDLC.

LLC: Logical Link Control  
N (S): Sendefolgennummer  
N (R): Empfangsfolgennummer  
P/F: Poll/Final  
S: Supervisory Function Bits  
M: Modifier Function Bits

Bild: LLC-Frame: Kontrollfeld



Format und Ablauf des D-Kanal Protokolls ist die gleiche wie bei HDLC.

Bei der Adressierung benötigt man neben dem Service Access Point Identifier noch eine Hardware Adresse TEI (Terminal Equipment Identifier), um das richtige ISDN-Gerät aufwählen zu können. Eine ISDN-Basisanschluss kann bis zu 8 Geräte haben.

Bild: ISDN D-Kanal: LAPD-Rahmen

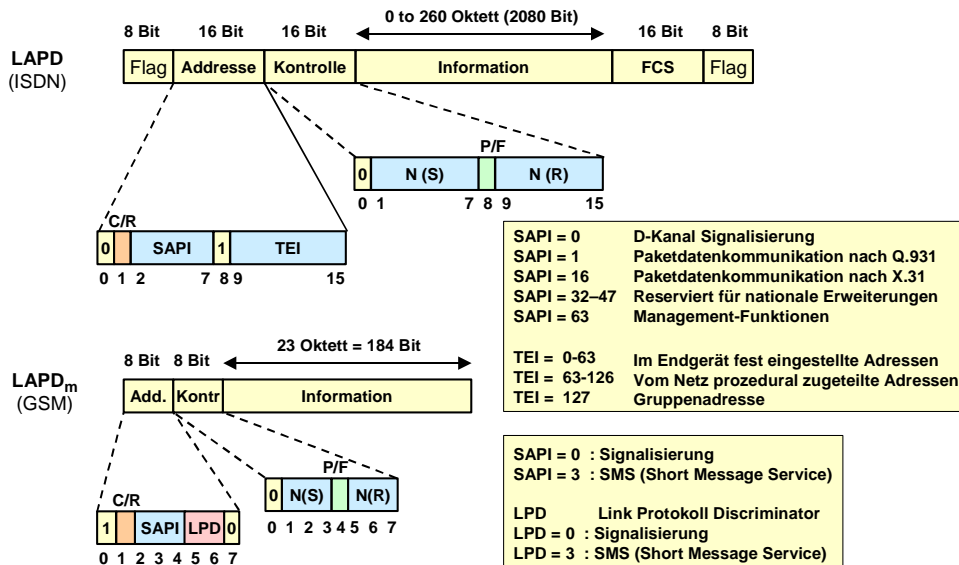


Bild: LAPD und LAPD<sub>m</sub> Rahmenstruktur

Beim D<sub>m</sub>-Kanal für GSM sind folgende Punkte anders als beim D-Kanal:

- Es wird kein Flag benötigt, weil die Funkschnittstelle Übertragungsbursts konstanter Länge verwendet.
- Adress- und Kontrollfeld sind 8 Bit, anstatt bei ISDN 16 Bit
- Informationsfeld ist maximal 21 Byte lang, anstatt bei ISDN 260 Byte.
- Keine Geräte-Adresse TEI ist notwendig.

Im Bild sind die Wertebereiche und spezielle Zuordnung vom SAPI und TEI zur Information angegeben.

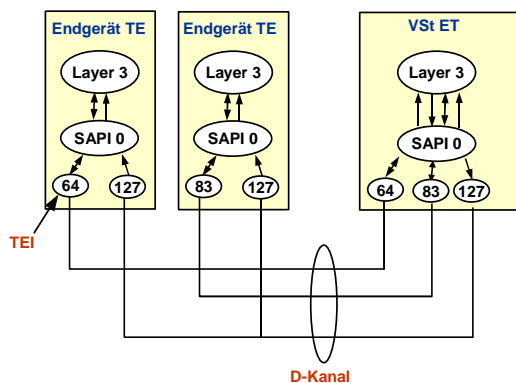


Bild: Adressierung von ISDN-Basisanschlüssen

Das Bild illustriert den Gebrauch von TEI und SAPI.

TEI=127 ist eine Gruppe-Adresse und ist für die Signalisierung vorgesehen.

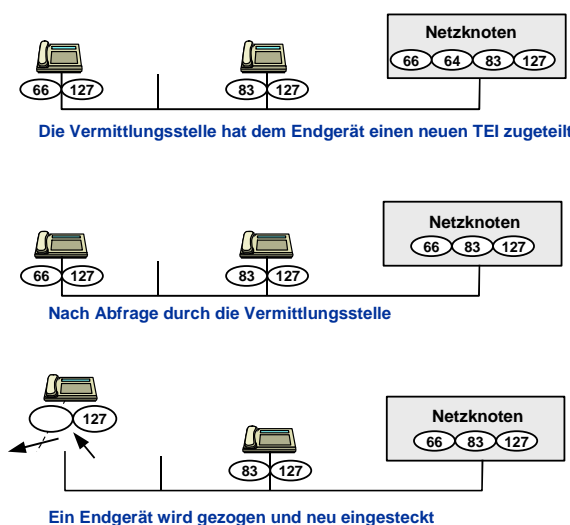


Bild: Vergabe von Endgeräte-Identitäten (TEI)