

Vorlesung Einführung in Rechnernetze

5. HDLC

Prof. Dr. Martina Zitterbart

Dipl.-Inform. Martin Florian, Markus Jung (M.Sc.), Matthias Flittner (M.Sc.)
[zitterbart | florian | m.jung | flittner]@kit.edu

Institut für Telematik, Prof. Zitterbart



© Peter Baumung

1. Einführung
2. Netzwerkarchitekturen
3. Physikalische Grundlagen
4. Protokollmechanismen
5. **Die Sicherungsschicht: HDLC**
6. Die Sicherungsschicht: Lokale Netze
7. Netzkopplung und Vermittlung
8. Die Transportschicht
9. Sicherheit
10. Anwendungssysteme

1. Basis-Szenario
2. Entwicklung von HDLC
3. Konfiguration und Betriebsarten
4. HDLC-Dateneinheiten
5. Protokollablauf
6. Zustandsübergangsdiagramm

■ Rückblick

- Kapitel 3: Physikalische Grundlagen
- Kapitel 4: Protokollmechanismen

■ In dieser Vorlesung

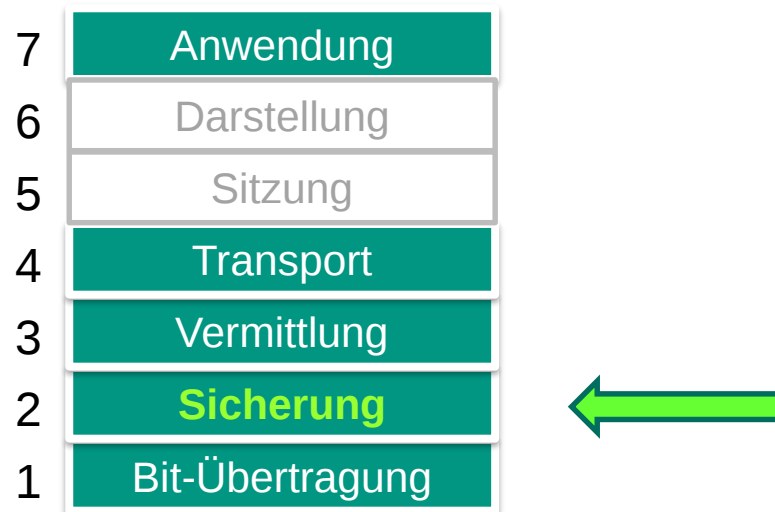
- Vorstellung eines kompletten Protokolls
- Berücksichtigt physikalische Grundlagen
- Beinhaltet Protokollmechanismen
- Stellt zuverlässigen Dienst zur Verfügung

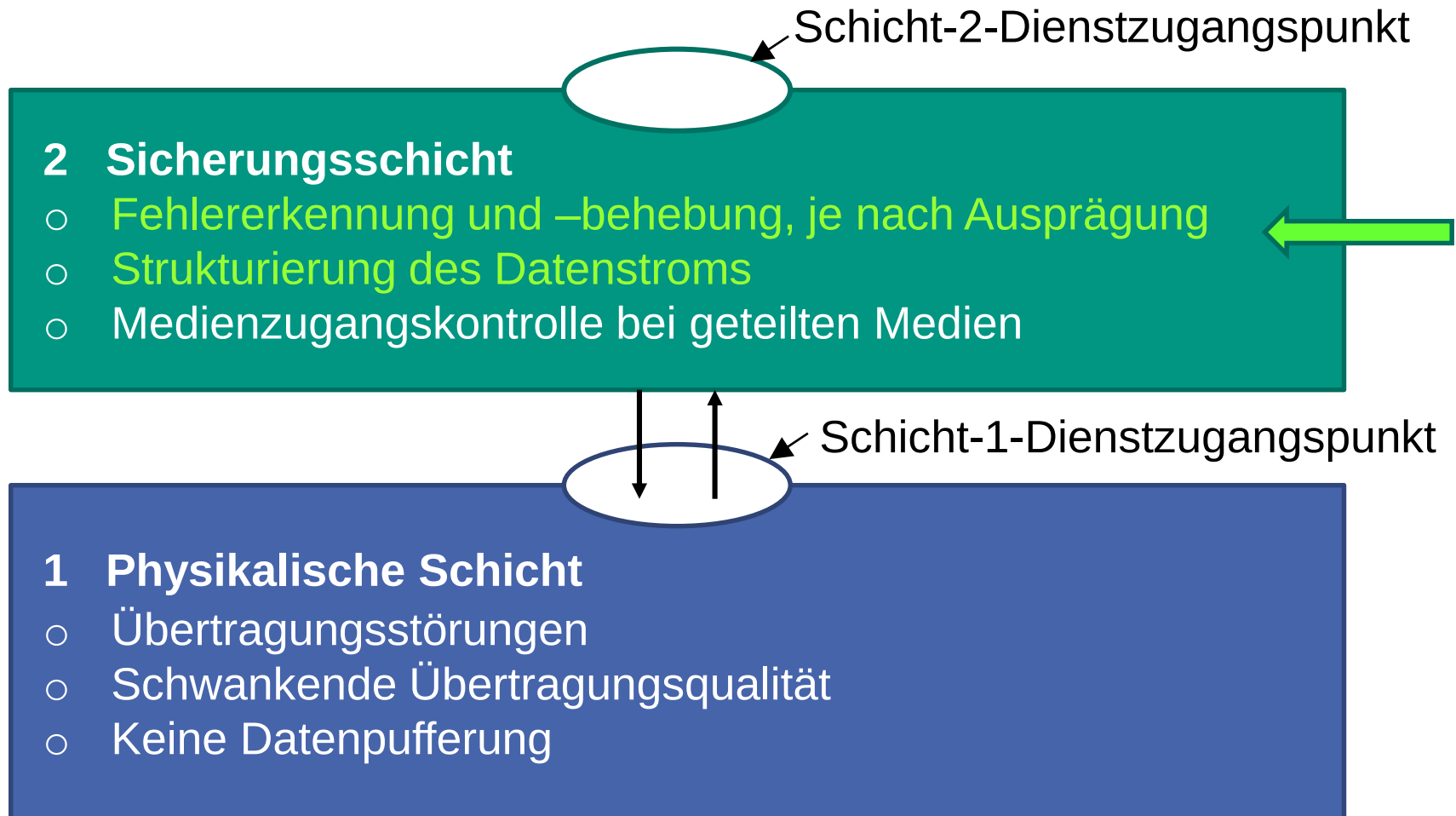
■ Konkretes Beispiel

- HDLC (*High-level Data Link Control*)

Einordnung

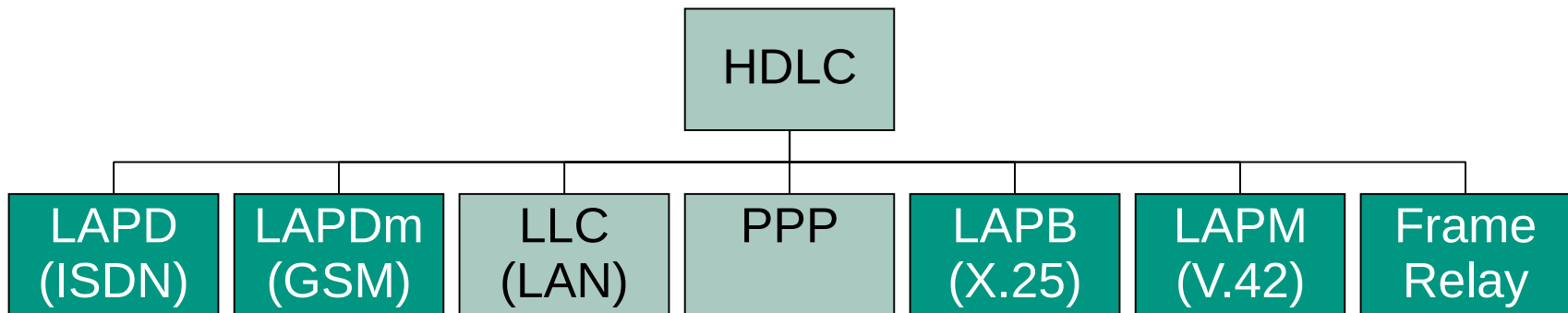
- Wir befinden uns auf Schicht 2 des OSI-Referenzmodells





■ HDLC bildet Basis vieler aktueller Sicherungsschicht-Protokolle

- LLC IEEE 802.2 Logical Link Control
z.B. benutzt von IEEE 802.3 (Ethernet)
- PPP Aufbau von Wählverbindungen
- LAPDm Mobilfunknetz GSM
- Viele weitere Derivate (teils nicht mehr verwendet)

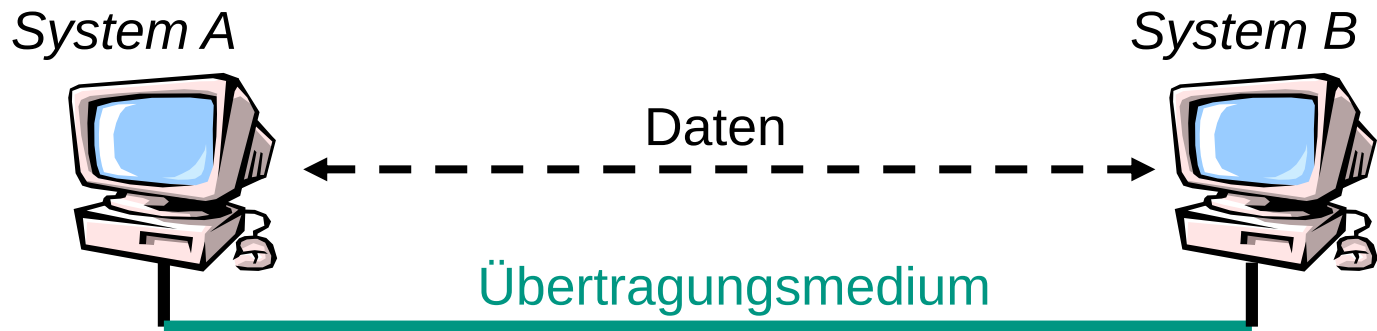


1. Einführung
2. Netzwerkarchitekturen
3. Physikalische Grundlagen
4. Protokollmechanismen
5. **Die Sicherungsschicht: HDLC**
6. Die Sicherungsschicht: Lokale Netze
7. Netzkopplung und Vermittlung
8. Die Transportschicht
9. Sicherheit
10. Anwendungssysteme

1. **Basis-Szenario**
2. Entwicklung von HDLC
3. Konfiguration und Betriebsarten
4. HDLC-Dateneinheiten
5. Protokollablauf
6. Zustandsübergangsdiagramm

5.1 Basis-Szenario für HDLC-Einsatz

■ Szenario

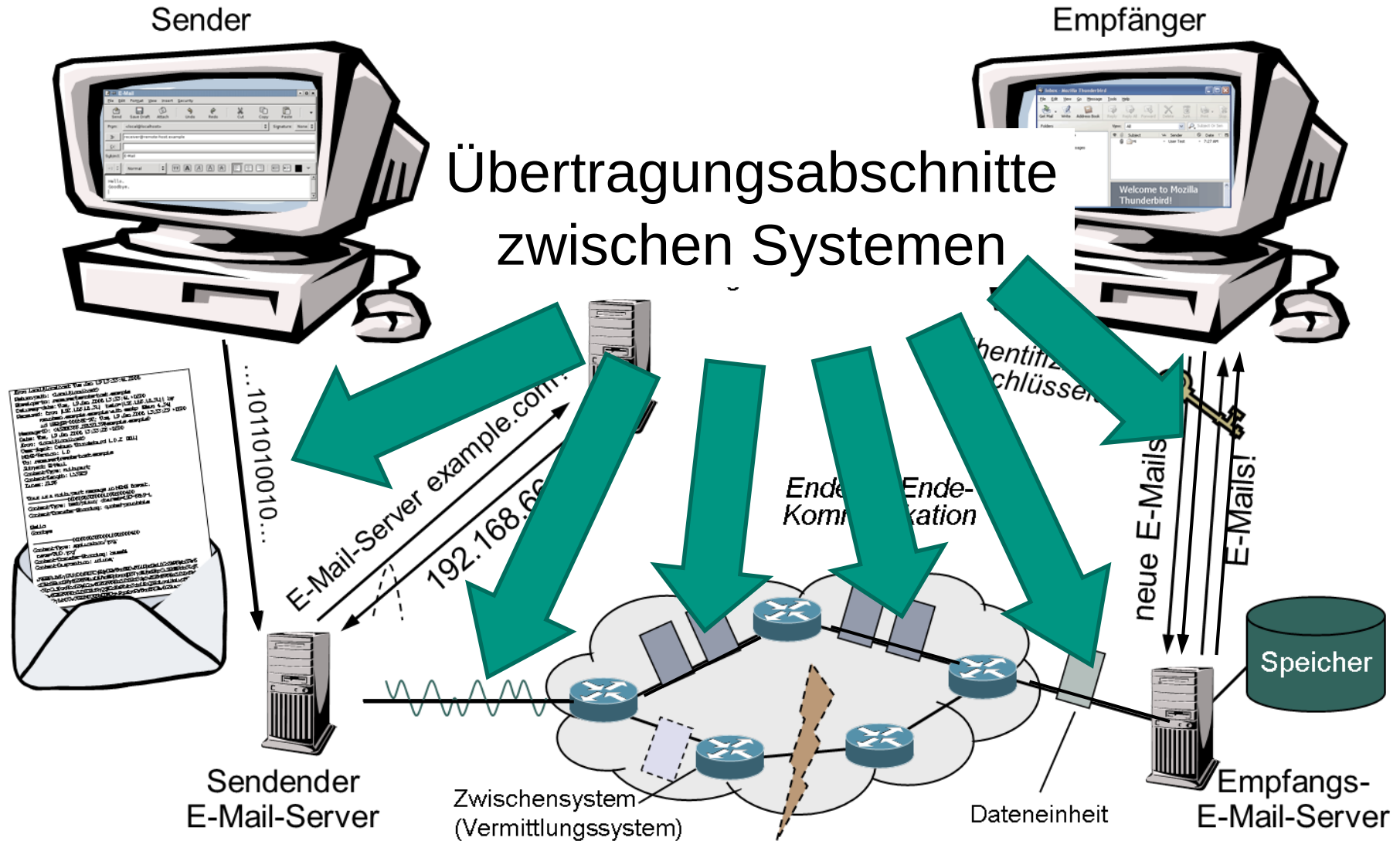


Systeme A und B sind über ein Übertragungsmedium direkt miteinander verbunden

■ Aufgabe der Sicherungsschicht

Zuverlässiger Datenaustausch auf dem Übertragungsabschnitt zwischen benachbarten Systemen A und B

Beispiele für zu sichernde Übertragungsabschnitte



Aufgaben der Sicherungsschicht

2 Sicherungsschicht

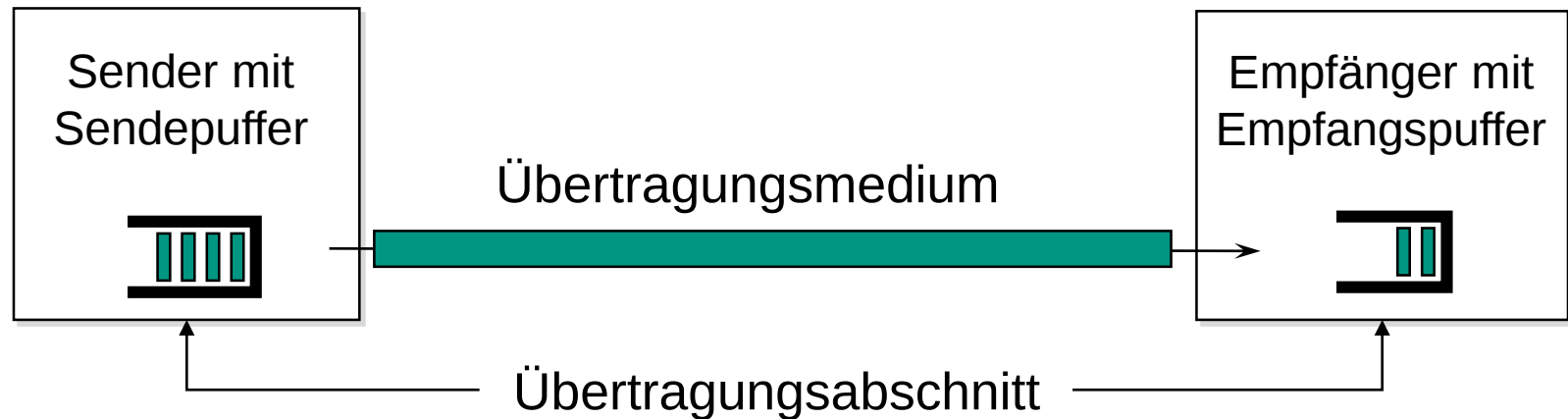
- Fehlererkennung und -behebung
 - Strukturierung des Datenstroms
 - Medienzugangskontrolle bei geteilten Medien
- ⇒ Sicherungsschicht bietet abstraktes Medium „gesicherter Kanal“

Schicht-1-Dienstzugangspunkt

1 Physikalische Schicht

- Übertragungsstörungen
- Schwankende Übertragungsqualität
- Keine Datenpufferung

■ Grundlegendes Modell



- Umfasst konzeptionell
 - Übertragungsmedium
 - Pufferspeicher in Sender- und Empfängersystem
- Übertragungsmedium nicht speichernd
 - ... *bei schnellen Netzen und/oder langen Übertragungsabschnitten befinden sich eine Menge Daten auf dem Medium*



■ Pingo-Link für diese Vorlesung:

→ <http://pingo.upb.de/6466>



<http://pingo.upb.de/>



1. Einführung
2. Netzwerkarchitekturen
3. Physikalische Grundlagen
4. Protokollmechanismen
5. Die Sicherungsschicht: HDLC
6. Die Sicherungsschicht: Lokale Netze
7. Netzkopplung und Vermittlung
8. Die Transportschicht
9. Sicherheit
10. Anwendungssysteme

1. Basis-Szenario
2. Entwicklung von HDLC
3. Konfiguration und Betriebsarten
4. HDLC-Dateneinheiten
5. Protokollablauf
6. Zustandsübergangsdiagramm

5.2 Entwicklung von HDLC

■ Zielsetzung

- Hohe Flexibilität
- Adaptierbarkeit für verschiedene Anwendungen und Konfigurationen
- Übertragung sowohl halb-duplex als auch voll duplex
- Hohe Zuverlässigkeit und Effizienz
- Punkt-zu-Punkt- sowie Punkt-zu-Mehrpunkt-Kommunikation

■ Entwicklung eines **bitorientierten Protokolls**

- Mitte bis Ende der 70er Jahre
- in ISO-Standard ISO/IEC 13239 spezifiziert



[ISO 2002]

- Bereitstellung eines zuverlässigen Dienstes
 - Fehlererkennung
 - CRC zur Erkennung von Bitfehlern
 - Sequenznummern zur Erkennung von Paketfehlern
 - Fehlerbehebung
 - Quittungen und Sendewiederholungen
 - Einsatz eines ARQ-Verfahrens
 - Flusskontrolle
 - Erhaltung der Übertragungsreihenfolge
 - Sequenznummern
 - Auf- und Abbau von Verbindungen

1. Einführung
2. Netzwerkarchitekturen
3. Physikalische Grundlagen
4. Protokollmechanismen
5. **Die Sicherungsschicht: HDLC**
6. Die Sicherungsschicht: Lokale Netze
7. Netzkopplung und Vermittlung
8. Die Transportschicht
9. Sicherheit
10. Anwendungssysteme

1. Basis-Szenario
2. Entwicklung von HDLC
3. Konfiguration und Betriebsarten
4. HDLC-Dateneinheiten
5. Protokollablauf
6. Zustandsübergangsdiagramm

5.3 Konfiguration und Betriebsarten

■ Stationstypen

■ Leitstation

- sendet Befehle an Folgestationen

■ Folgestationen

- senden Meldungen an Leitstation

■ Hybridstationen

- fungieren sowohl als Leit- als auch als Folgestation

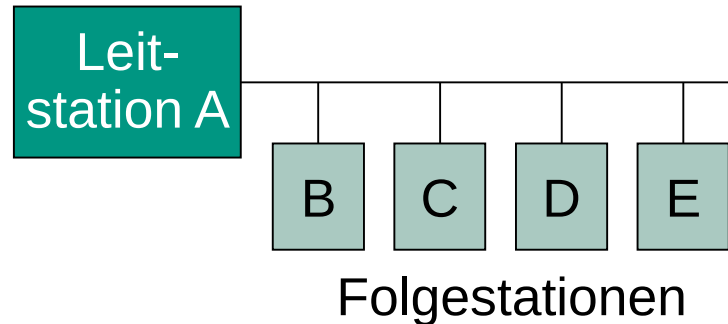
■ Verbindungskonfigurationen

■ Asymmetrisch

- Eine Leitstation mit einer Reihe von Folgestationen

■ Symmetrisch

- Nur für Punkt-zu-Punkt-Kommunikation mit Hybridstationen

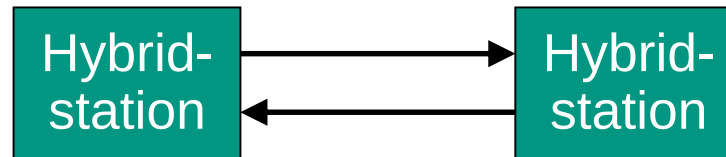


1) Aufforderungsbetrieb (*Normal Response Mode, NRM*)

- Leitstation ist zentrale Kontrollstelle
- Pollingbetrieb
- Folgestationen senden nur nach Sendeaufruf durch Leitstation
- Früher häufig verwendet

2) Spontanbetrieb (*Asynchronous Response Mode, ARM*)

- Leitstation ist zentrale Kontrollstelle
- Folgestation können übertragen falls die Leitung frei ist
- Sehr selten verwendet



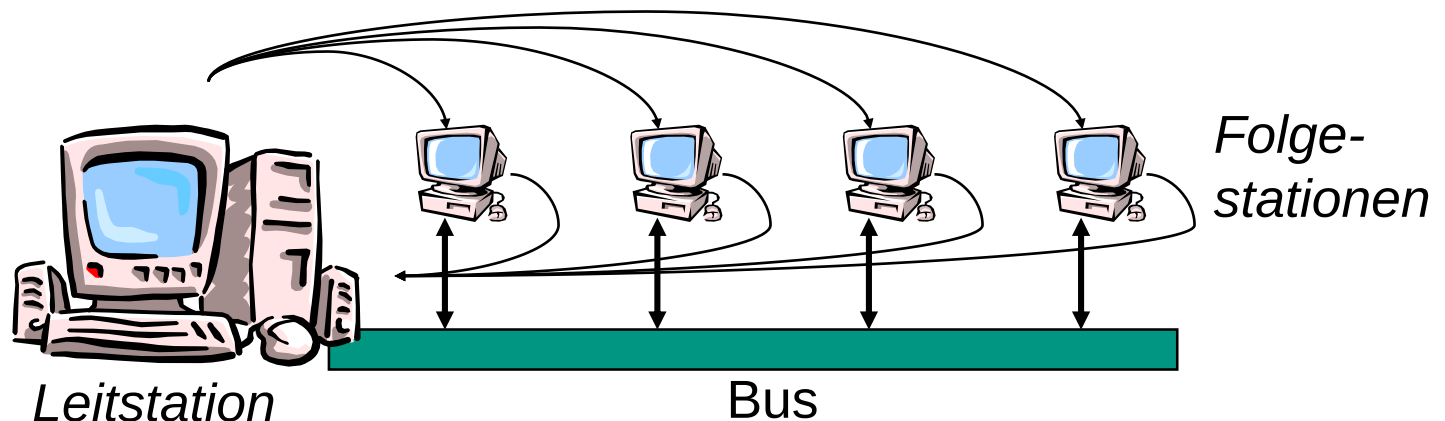
3) Gleichberechtigter Spontanbetrieb (*Asynchronous Balanced Mode*, ABM)

- Nur für Punkt-zu-Punkt-Kommunikation
- Stationen sind vollkommen gleichberechtigt
- Kein Polling

■ Eigenschaften

- Leitstation hat zentrale Kontrolle
- Folgestationen sind vom Design her weniger komplex
- Jegliche Kommunikation erfolgt über Leitstation
 - Keine direkte Kommunikation zwischen Folgestationen
 - Leitstation fragt Folgestationen gemäß Abfragetabelle („*Polling Table*“) ab
 - Folgestationen antworten nur nach Aufforderung
- Logische Struktur (Leit- und Folgestationen)
 - Physikalische Struktur dadurch nicht festgelegt (z.B. Stern, Bus)

■ Schema



■ Eigenschaften

- Folgestation darf ohne explizite Aufforderung senden
- Gut geeignet, falls
 - Leit- und Folgestation „frei“ (ohne Pollingstrategie) miteinander kommunizieren möchten
- Bei Punkt-zu-Mehrpunkt-Kommunikation
 - Nur eine der Folgestationen kann zu einem Zeitpunkt aktiv sein
- Leitstation hat nach wie vor die Kontrolle über die Datenübertragung
 - ... dies ist ein wesentlicher Unterschied zum gleichberechtigten Spontanbetrieb, wo beide Stationen absolut gleichberechtigt sind

Gleichberechtigter Spontanbetrieb

- Eigenschaften
 - Exklusiv genutzte Punkt-zu-Punkt Kommunikationskanäle zwischen zwei Hybridstationen
 - Beide Stationen senden ohne explizite Aufforderung
 - Medienzugriff muss nicht koordiniert werden
- Anwendungsbeispiel
 - Twisted Pair Sternverkabelung bei Ethernet

... zum gleichberechtigten Spontanbetrieb

- Aus D. E. Carlson: *“Bit-Oriented Data Link Control Procedures”*
IEEE Transactions on Communications, Vol. 28, No. 4, April 1980



[Carl80]

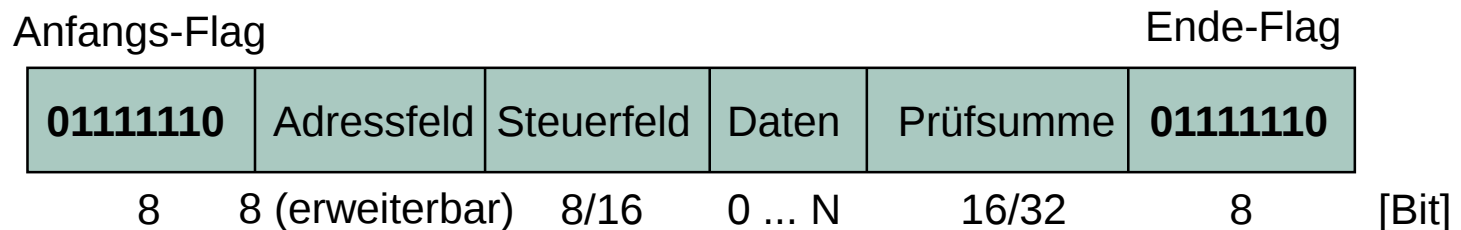
- Gleichberechtigter Spontanbetrieb ursprünglich nicht enthalten, aber:
 - „political considerations provided some of the motivation for inclusion of the asynchronous balanced mode (ABM). The NRM and ARM modes had been defined first, and were pretty well fixed in place, and generally accepted internationally, when it was observed that they did not quite satisfy all of the „requirements“.“
 - „the overall control of the data flow and responsibility for system error recovery resided in only one of the stations – the designated primary station. For many applications this was considered to be unacceptable. For example, when interconnecting governments, corporations, independent systems, etc., the thought of being the „secondary“ to another, dependent upon another for one’s operation and livelihood, was generally unacceptable.“
- Nicht nur technische Gründe spielen manchmal eine Rolle bei grundlegenden Entwurfsentscheidungen

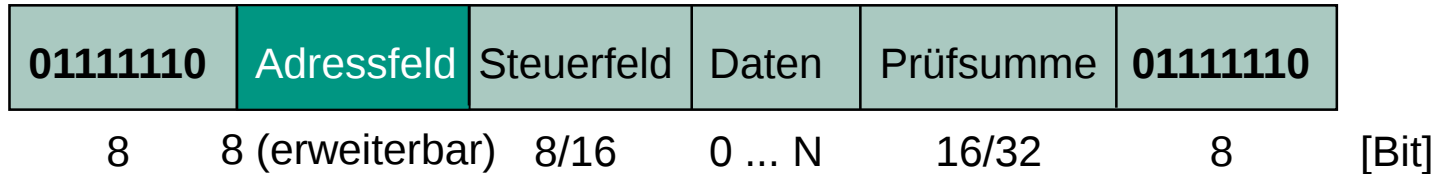
1. Einführung
2. Netzwerkarchitekturen
3. Physikalische Grundlagen
4. Protokollmechanismen
5. **Die Sicherungsschicht: HDLC**
6. Die Sicherungsschicht: Lokale Netze
7. Netzkopplung und Vermittlung
8. Die Transportschicht
9. Sicherheit
10. Anwendungssysteme

1. Basis-Szenario
2. Entwicklung von HDLC
3. Konfiguration und Betriebsarten
4. HDLC-Dateneinheiten
5. Protokollablauf
6. Zustandsübergangsdiagramm

5.4 HDLC-Dateneinheiten

- Ziel: Festlegung des Formats der Dateneinheiten
 - Erinnerung: Protokolle umfassen Regeln *und* Formate
- Format von **HDLC-Dateneinheiten** (auch *HDLC-Rahmen* oder *HDLC Frame*)
 - Bestandteile ergeben sich direkt aus den Aufgaben
 - Wo beginnt / endet eine Dateneinheit?
 - Wie können Fehler erkannt und behoben werden?
 - Für wen ist / von wem stammt die Dateneinheit?
 - Wie können die Regeln für den Ablauf umgesetzt werden?
 - **Flags** kennzeichnen Anfang und Ende
 - Ende-Flag kann gleichzeitig Anfangs-Flag der folgenden Dateneinheit sein
 - **Daten** werden transparent übertragen
 - Transparenz: jede beliebige Bitfolge kann übertragen werden
- Optional: erweiterte (größere) Felder





■ Basis-Adressfeld

- 8 Bit zur Kodierung der Adresse
- Bei Befehlen (Leitstation)
 - Adressierung der Empfängerstation
- Bei Meldungen (Folgestation)
 - Adressierung der Sendestation

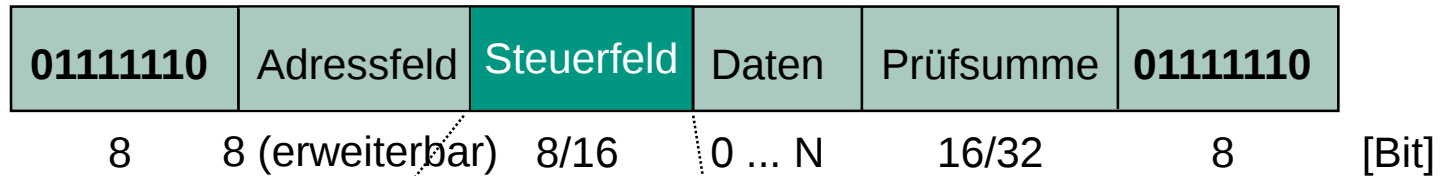
■ Erweitertes Adressfeld

- Größe des Adressfelds kann ein Vielfaches von 7 Bit sein
- Gekennzeichnet durch eine „0“ an der Bitposition 1
 - Größe der Adresse Vielfaches von 7 Bit
- Letztes Adressfeld enthält „1“ an der Bitposition 1

■ Broadcast-Adresse

- Alle Adressbits werden auf „1“ gesetzt
- Dateneinheiten werden von allen Stationen empfangen

- Aufgabe: identifiziert den Zweck der Dateneinheit



Darstellung für 8 bit

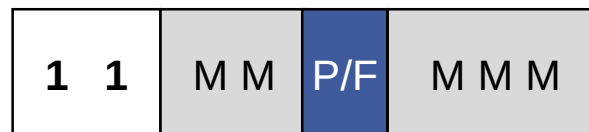
I-Dateneinheit
[Information]



S-Dateneinheit
[Supervisory]



U-Dateneinheit
[Unnumbered]



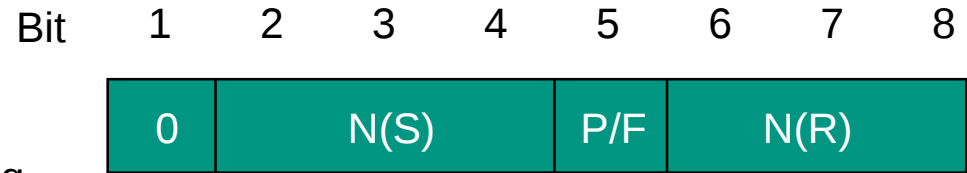
Legende

N(S)	Sende-Sequenznummer
N(R)	Empfangs-Sequenznummer
P	Poll-Bit bei Befehlen
F	Final-Bit bei Meldungen
S, M	Funktionsbits

I-Dateneinheiten

Datenübertragung

- Bei gesetztem Poll-Bit:
Empfänger muss mit Quittung reagieren
- Sequenznummer N(R) quittiert
korrekten Empfang aller
Dateneinheiten bis N(R)−1



S-Dateneinheiten

Steuerung des Datenflusses

- z.B. Sendeaufruf, Bestätigung
empfangener Daten, ...
- Kodierung der Befehle bzw.
Meldungen durch S-Bits
(Supervisory Funktionsbits)



U-Dateneinheiten

Steuerung der Verbindung

- keine Empfangsfolgenummern
- Kodierung durch M-Bits
(Modifier Funktionsbits)



Markierungsbit P/F (Poll/Final)

- Unterschiedliche Benutzung in Befehlen und Meldungen sowie in den verschiedenen Betriebsarten
 - PF=1 in Befehlen (Poll)
 - Anforderung einer Meldung bzw. einer Folge von Meldungen
 - PF=1 in Meldungen (Final)
 - Bestätigung des Empfangs eines Befehls mit PF=1, d.h. Meldungen als Antwort auf Befehle mit PF=1

Markierungsbit P/F (Poll/Final)

- Normal Response Mode (NRM)
 - Folgestation darf nach Senden einer Meldung mit PF=1 als Antwort auf Befehl mit PF=1 keine weiteren Dateneinheiten ohne Erlaubnis durch die Leitstation senden

- Asynchronous Response Mode (ARM) und Asynchronous Balanced Mode (ABM)
 - Auf einen Befehl mit PF=1 muss vorrangig durch eine oder mehrere Meldungen mit PF=1 geantwortet werden; jedoch sind weitere Meldungen mit PF=0 möglich

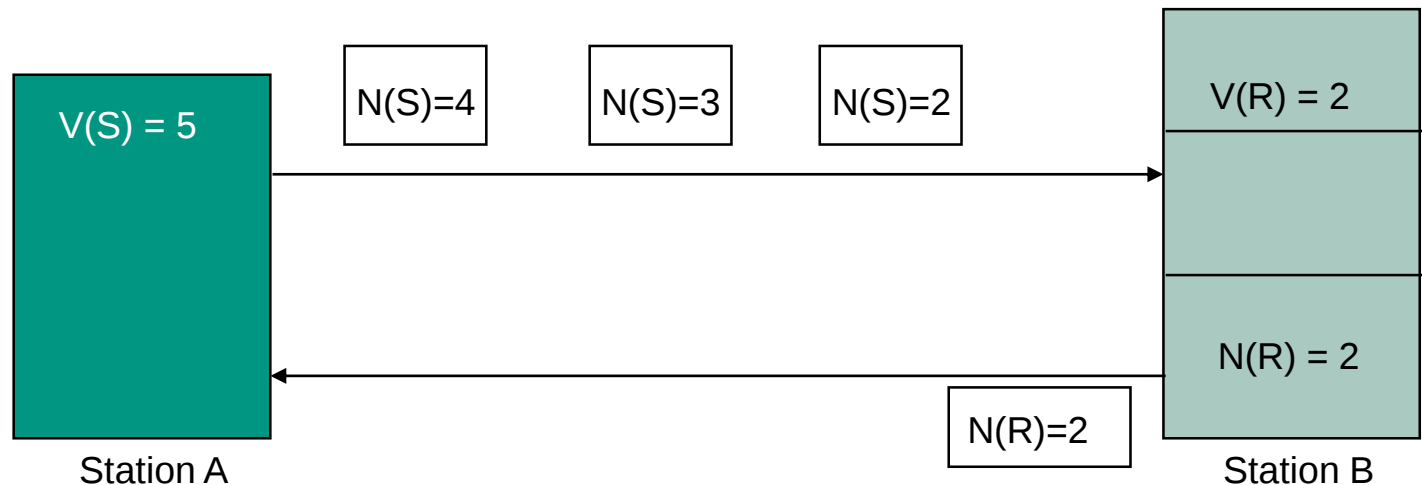
■ Sende-Sequenznummern $N(S)$

- Sendefolge-Zähler $V(S)$ gibt laufende Nummer der als nächstes zu sendenden I-Dateneinheit einer Station an
- $N(S)$ der I-Dateneinheit ergibt sich direkt aus $V(S)$
- $V(S)$ wird nach dem Senden einer I-Dateneinheit um 1 erhöht

■ Empfangs-Sequenznummern $N(R)$

- Empfangsfolge-Zähler $V(R)$ erhält laufende Nummer der Sendefolge-Nummer $N(S)$ der als nächstes erwarteten I-Dateneinheit
- $N(R)$ kann einer I- oder S-Dateneinheit mitgegeben werden
 - damit werden alle I-Dateneinheiten mit $N(S) < N(R)$ als korrekt empfangen bestätigt $\Rightarrow$ Kumulative Quittung

■ Beispiel



■ Ziel

- Übertragung von Daten soll unabhängig von einem verwendeten Code (hier: Flag) sein

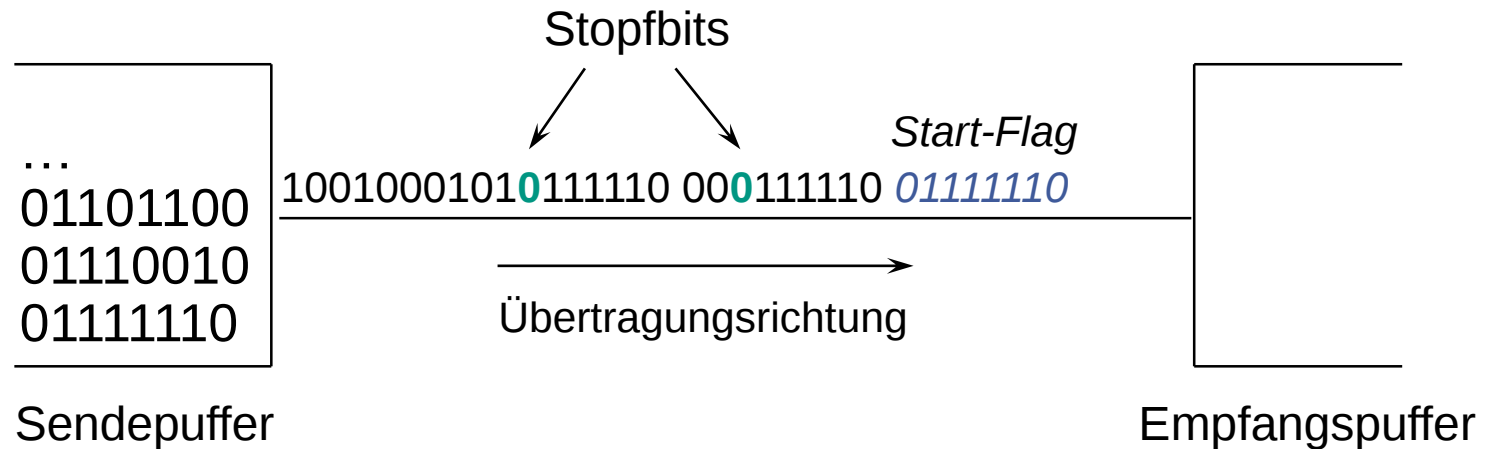
■ Problem

- Flag (01111110) ist speziell verwendete Bitfolge, also ein solcher Code
- Was passiert, wenn Flag innerhalb der Dateneinheit auftritt?

■ Vorgehensweise: Bitstopfen (bit stuffing)

- Sender fügt zwischen den Flags nach 5 aufeinanderfolgenden Binärzeichen „1“ ein Binärzeichen „0“ ein
- Empfänger entfernt nach 5 aufeinanderfolgenden Binärzeichen „1“ ein folgendes Binärzeichen „0“
- Bitstopfen erfolgt beim Aussenden des Bitstroms
 - Berechnung Prüfsumme vor Bitstopfen
- „Inverses“ Bitstopfen erfolgt beim Empfangen des Bitstroms
 - Überprüfung Prüfsumme nach „inversem“ Bitstopfen

Bitstopfen: Beispiel



Anmerkungen

- Bitorientierung: Stopfen bei jedem Auftreten von 5 „1“, unabhängig von Bytegrenzen
- Datentransparenz: Verfahren ermöglicht Übertragung beliebiger Bitströme
- Anzahl der übertragenen Bits abhängig vom Inhalt der Dateneinheit (nicht nur deren Länge!)

■ Verfahren

■ 16 Bit (CRC-CCITT) $G(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$

■ 32 Bit (CRC-32) $G(x) = x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$

■ Berechnet über Adressfeld, Steuerfeld und Daten

■ Berechnung für verbesserte Robustheit

■ Beim Sender

- Schieberegister zu Anfang mit Einsen gefüllt
- Invertieren berechneter Rest (Einer-Komplement) vor Übertragung

■ Beim Empfänger

- Schieberegister mit Einsen gefüllt
- Division von Adressfeld, Steuerfeld, Daten, Prüfsumme und 16 angehängten Nullen durch Generatorpolynom
- Bei erfolgreicher Übertragung ergibt sich Bitmuster „0001 1101 0000 1111“ statt „0000 0000 0000 0000“

<http://pingo.upb.de/>



Beispiel Prüfsumme (Sender)

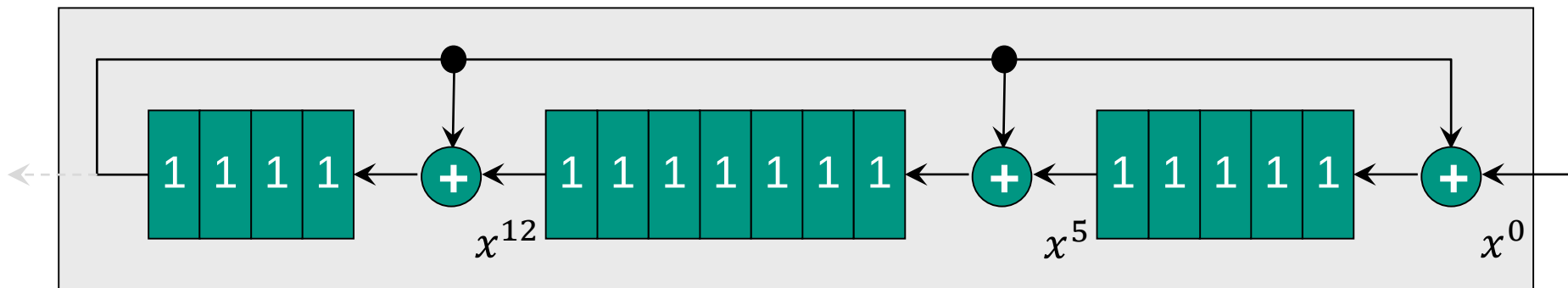
■ Generatorpolynom: $G(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$
 $G(x) = 1\ 0001\ 0000\ 0010\ 0001$
Grad von $G(x) = 16$

■ Daten: $M(x) = 1001\ 0110\ 1111\ 0000$

■ Prüfsummen-Berechnung beim Sender

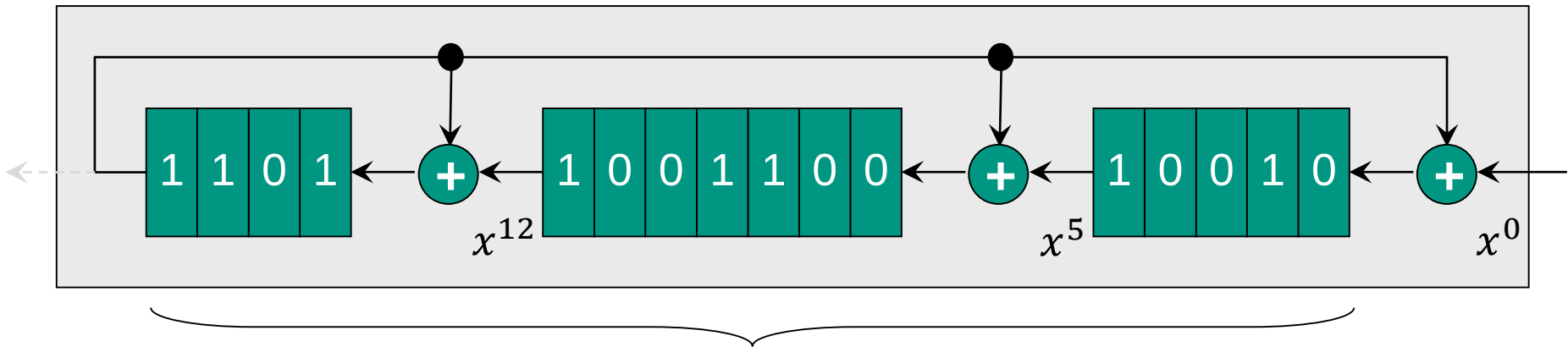
- Schieberegister zu $G(x)$ mit Einsen initialisieren
 - Beachten beim Vergleich mit „manueller Berechnung“!
- $M(x)$ mit 16 angehängten Nullen durch das Schieberegister schieben

1001 0110 1111 0000 0000 0000 0000 0000



Beispiel Prüfsumme (Sender)

- Einer-Komplement des Rests bilden (invertieren) und als Prüfsumme mit übertragen (durch aufaddieren auf $M(x)$ mit angehängten Nullen)



+	1001 0110 1111 0000 0000 0000 0000 0000	$M(x) + 16 \text{ "0"}$
	0010 0110 0110 1101	Prüfsumme

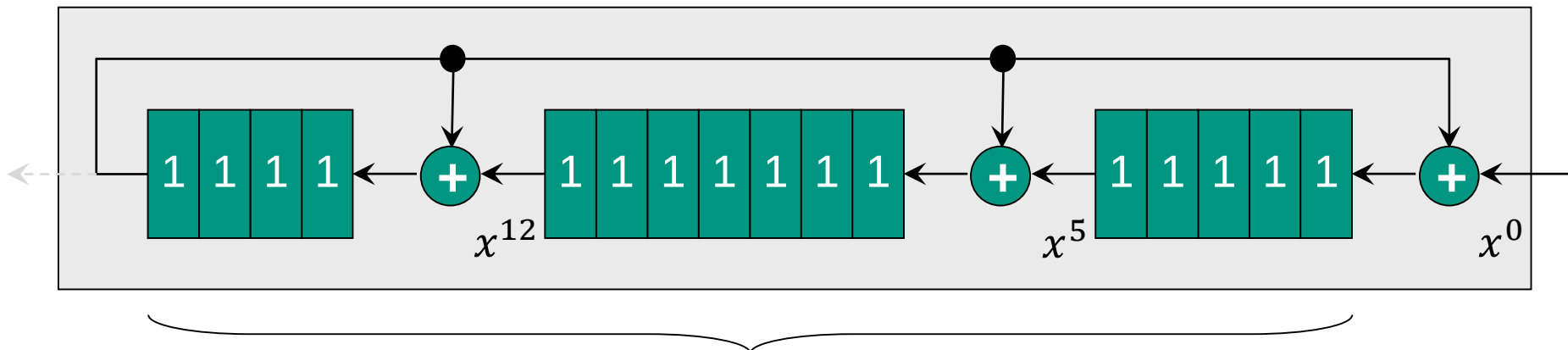
1001 0110 1111 0000 0010 0110 0110 1101

wird übertragen

Beispiel Prüfsumme (Empfänger)

- Prüfsumme überprüfen beim Empfänger
 - Schieberegister mit Einsen initialisieren
 - An empfangene Daten (mit Prüfsumme) 16 Nullen anhängen
 - Durch Schieberegister schieben
 - Rest 0001 1101 0000 1111 zeigt erfolgreiche Übertragung an

1001 0110 1111 0000 0010 0110 0110 1101 0000 0000 0000 0000



Rest nach Berechnung: **0001 1101 0000 1111**

→ Übertragung (mit hoher Wahrscheinlichkeit) fehlerfrei

1. Einführung
2. Netzwerkarchitekturen
3. Physikalische Grundlagen
4. Protokollmechanismen
5. **Die Sicherungsschicht: HDLC**
6. Die Sicherungsschicht: Lokale Netze
7. Netzkopplung und Vermittlung
8. Die Transportschicht
9. Sicherheit
10. Anwendungssysteme

1. Basis-Szenario
2. Entwicklung von HDLC
3. Konfiguration und Betriebsarten
4. HDLC-Dateneinheiten
5. **Protokollablauf**
6. Zustandsübergangsdiagramm

5.5 Protokollablauf

- Gliederung in
 - Verbindungsaufbau
 - Verbindungsabbau
 - Datentransfer

- Verbindungsmanagement
 - Vor jedem Datentransfer muss eine logische Verbindung etabliert werden
 - Was kennzeichnet eine logische Verbindung?
 - Was ist der Unterschied zwischen einer logischen Verbindung und einer physikalischen Verbindung?
 - Während des Datentransfers muss Verbindungskontext aktuell gehalten werden

- Trennung ist typisch für alle Protokolle, die ihren Dienstnehmern einen zuverlässigen Dienst anbieten

<http://pingo.upb.de/>



■ Aufgabe

- Auf- und Abbau von Verbindungen, Behandlung von Sonderfällen

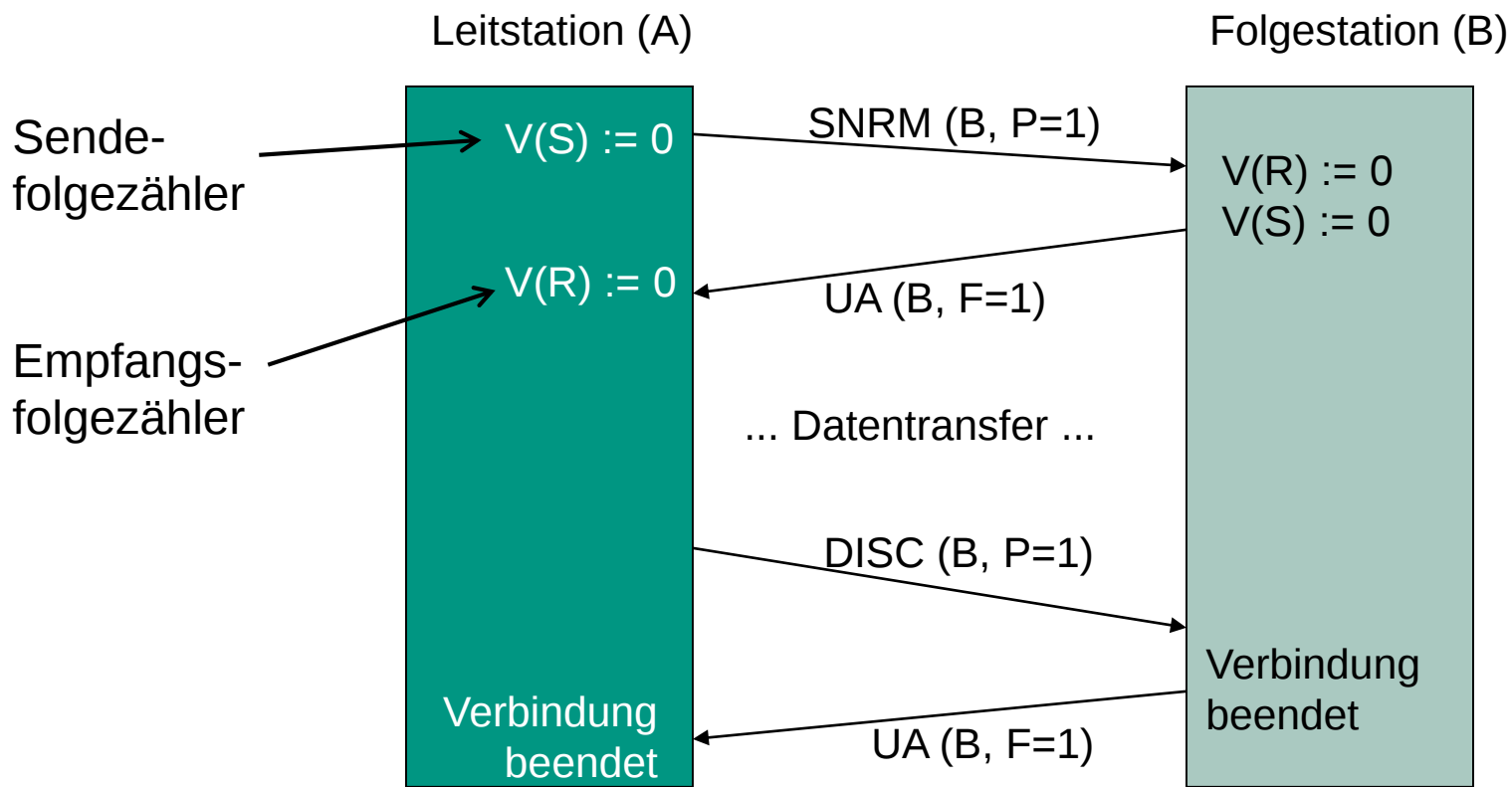
■ Befehle

- **SNRM** (Set Normal Response Mode), **SARM** (Set Asynchronous Response Mode), **SABM** (Set Asynchronous Balanced Mode), ...
 - Starten einer bestimmten Betriebsart
 - Wirkung: Rücksetzen von V(S) und V(R) in den beteiligten Stationen
- **DISC** (Disconnect)
 - Hebt alten Betriebszustand auf und geht in Wartezustand über ohne Datenaustausch

- **UP** (Unnumbered Poll)
 - Anforderung von Meldungen der Folgestation(en) durch Leitstation
 - **UI** (Unnumbered Information)
 - Es können Daten ohne Erhöhung der Sequenznummer gesendet werden
 - Beispiel: Zustandsinformation, Kenngrößen des Übermittlungsabschnitts
 - **UA** (Unnumbered Acknowledge)
 - Bestätigung des Erhalts der obigen U-Befehle durch die Folgestation
-
- **Zu beachten**
 - Unterschiedliche Bedeutung der Steuerfunktionen in Befehlen und Meldungen

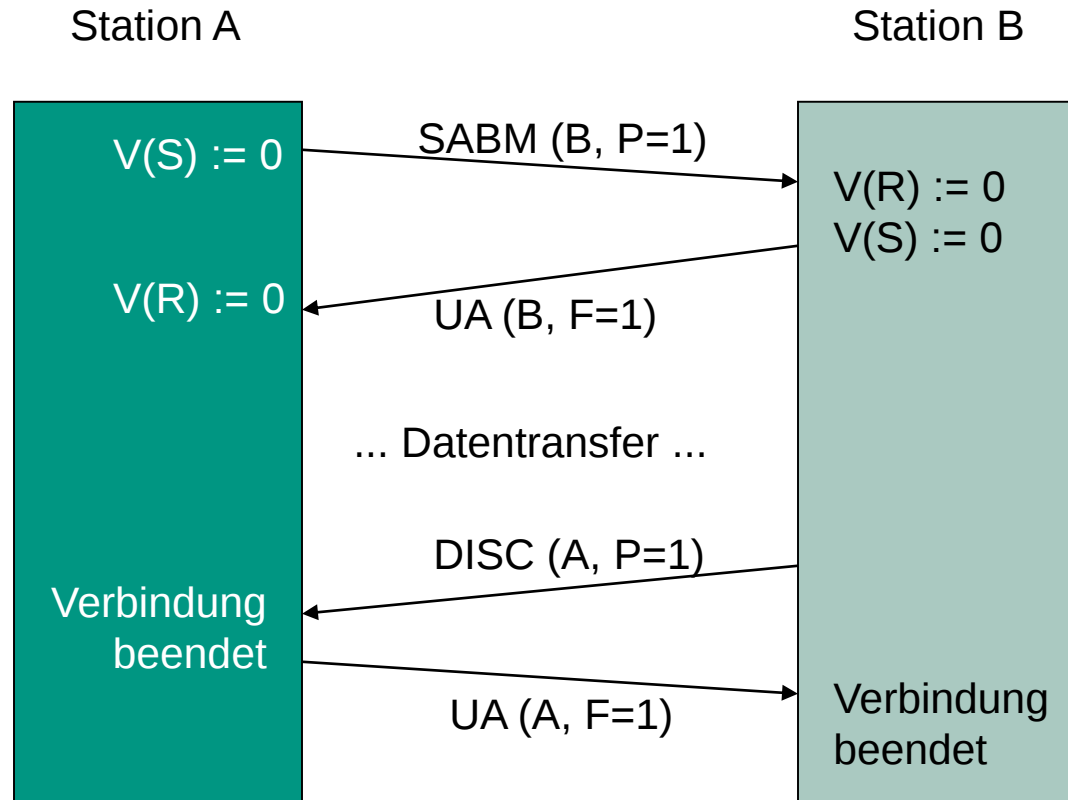
Verbindungsauf- und -abbau

- Verwendung von U-Dateneinheiten für die Signalisierung des Verbindungsaufbaus
 - Normal Response Mode (NRM)



Verbindungsauf- und -abbau

■ Asynchronous Balanced Mode (ABM)



Zuständig für Ablaufsteuerung während des Datentransfers

■ RR-Dateneinheit (*Receive Ready*)

Station gibt Empfangsbereitschaft für I-Dateneinheit bekannt
(Befehl oder Meldung)

- Schon empfangene I-Dateneinheiten durch N(R) bestätigt
- Leitstation erteilt durch RR-Befehl Sendeaufruf an Folgestation

■ RNR-Dateneinheiten (*Receive Not Ready*)

Station gibt bekannt, dass sie zur Zeit keine
I-Dateneinheiten empfangen kann

- Aufhebung dieses Zustands durch RR, REJ, UA oder SABM

S-Dateneinheiten (Fortsetzung)

■ REJ-Dateneinheiten (*Reject*)

Anforderung der Wiederholung von I-Dateneinheiten bei Fehler

- Bestätigung I-Dateneinheiten mit $N(S) \leq N(R) - 1$
- Anforderung der Dateneinheiten mit $N(S) \geq N(R)$
- Ablaufunterbrechung der normalen Datenübertragung
 - Wird beim Empfang der I-Dateneinheiten mit $N(S) = N(R)$ der REJ-Dateneinheiten wieder aufgehoben

■ SREJ-Dateneinheiten (*Selective Reject*)

Gezielte Wiederholung der I-Dateneinheit mit $N(S) = N(R)$ der SREJ-Dateneinheit

- z.B. bei Bitfehler in I-Dateneinheit

Beispiel 1: NRM ohne Piggyback ACKs

Liste für mögliche
Übertragungswdh.

0

$V(S)=1,$
 $V(R)=0$

$V(R)=1$

1

2
1

Wiederholung
Dateneinheit 1

2

⋮

Sender

Empfänger

I [N(S)=0, N(R)=0, P=1]

RR [N(R)=1, F=1]

I [N(S)=1, N(R)=0]

I [N(S)=2, N(R)=0, P=1]

REJ [N(R)=1, F=1]

I [N(S)=1, N(R)=0]

I [N(S)=2, N(R)=0, P=1]

RR [N(R)=2]

RR [N(R)=3, F=1]

⋮

$N(S)=V(R)$
 $V(S)=0, V(R)=1$

$N(S) \neq V(R)$

$N(S)=V(R)$
 $V(S)=0, V(R)=2$

$N(S)=V(R)$
 $V(S)=0, V(R)=3$

Dateneinheit 0
übertragen,
akzeptiert und
bestätigt

**Dateneinheit 1
beschädigt**

Dateneinheit 2
zurückgewiesen

Dateneinheit 1
wiederholt,
akzeptiert und
bestätigt

Dateneinheit 2
wiederholt,
akzeptiert und
bestätigt

Beispiel 2: ABM mit Piggyback ACKs

Liste für mögliche Übertragungswdh.

0

$V(S)=1, V(R)=3$

1
0

$V(S)=2, V(R)=3$

$V(S)=2, V(R)=4$

⋮

$V(S)=2, V(R)=5$

$V(S)=3, V(R)=5$

$V(S)=3, V(R)=6$

$V(S)=4, V(R)=6$

$V(S)=5, V(R)=6$

$V(S)=5, V(R)=7$

Station A

Station B

(Liste für mögliche Ü-Wdhg. hätte hier auch Station B)

I [N(S)=0, N(R)=3]

I [N(S)=3, N(R)=0]

I [N(S)=4, N(R)=0]

I [N(S)=5, N(R)=0]

I [N(S)=6, N(R)=1]

I [N(S)=3, N(R)=6]

$V(S)=4, V(R)=0$

$V(S)=5, V(R)=0$

$V(S)=6, V(R)=0$

$V(S)=6, V(R)=1$

$V(S)=7, V(R)=1$

$V(S)=7, V(R)=2$

$V(S)=0, V(R)=2$

$V(S)=0, V(R)=3$

$V(S)=0, V(R)=4$

D 3,4,5 von B
gesendet

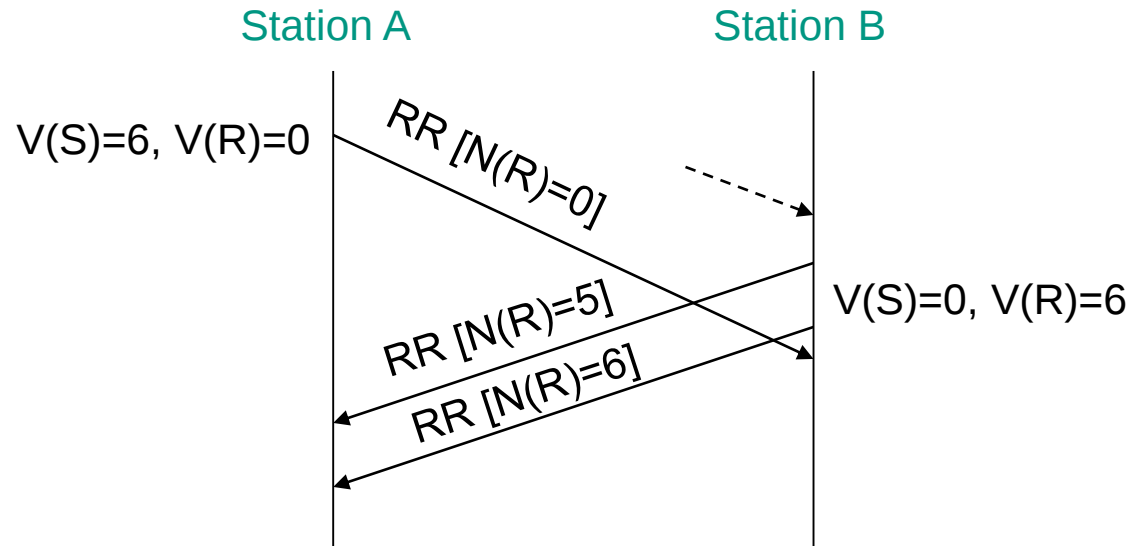
D 0 von A
empfangen und
per Piggyback
bestätigt

D 7 von B
gesendet,
nächste D
trüge wieder
Seq.nr. 0

D 5 von B empfangen
und per Piggyback
zeitgleich mit Versand
von eigener D 3 bestätigt

D = Dateneinheit

Beispiel 2: ABM mit Piggyback ACKs

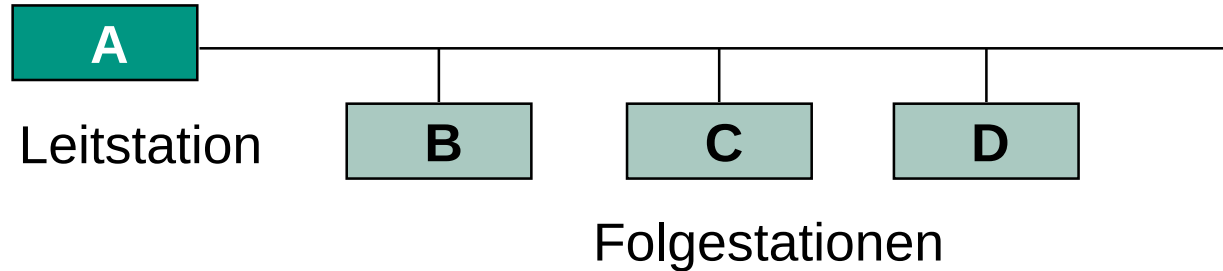


■ Flusskontrolle

- Übertragung pausiert, sobald $V(S) = \text{letztes } N(R) \text{ empfangen} + K$
 - mit $K = \text{maximale Fenstergröße}$
 - hier: 7, aufgrund 3 Bit breiter Sequenznummer (modulo 8)
- Wird jeweils nur in einer Richtung angewendet
 - Unabhängig von anderer Richtung
- S- und U-Dateneinheiten fließen unabhängig von der Flusskontrolle

Beispiel 3: Mehrere Folgestationen

■ Beispielkonfiguration



■ Folgendes Beispiel stellt Ablauf von HDLC bei ungestörtem Betrieb dar

■ Verwendete Notation: X, Y sr, Z

- X Adresse des Ziels bzw. Senders
- Y Kurzbezeichnung Befehl / Meldung
- s aktueller Wert der Sendefolgennummer
- r aktueller Wert der Empfangsfolgennummer
- Z Poll (P)- oder Final (F)-Bit auf 1
 - Keine Erwähnung, wenn PF nicht gesetzt

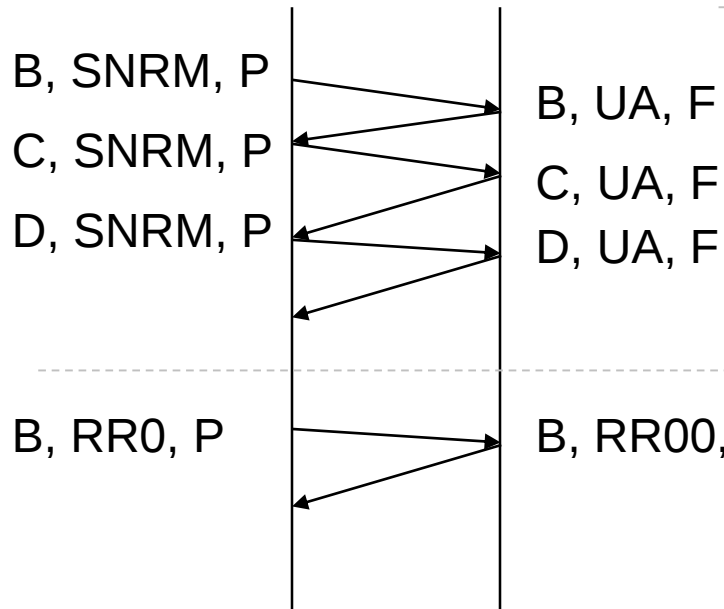
} falls vorhanden

■ Beispiel

- X, Y sr, Z → A, SNRM, P

Beispiel 3: Mehrere Folgestationen

Leit-
station Folge-
stationen



■ Zu Anfang:
Disconnected Mode

■ B,SNRM,P und B,UA,F

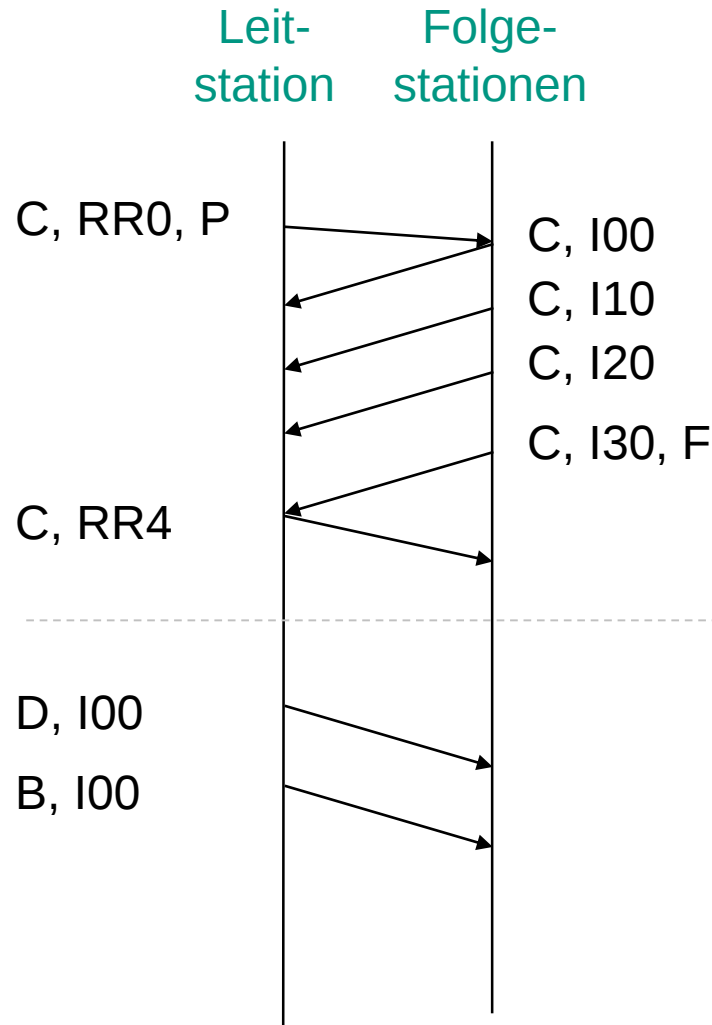
■ Aktivierung der Folgestationen
B,C,D durch Leitstation A

■ ... ebenso für C, D

■ B,RR0,P und B,RR0,F

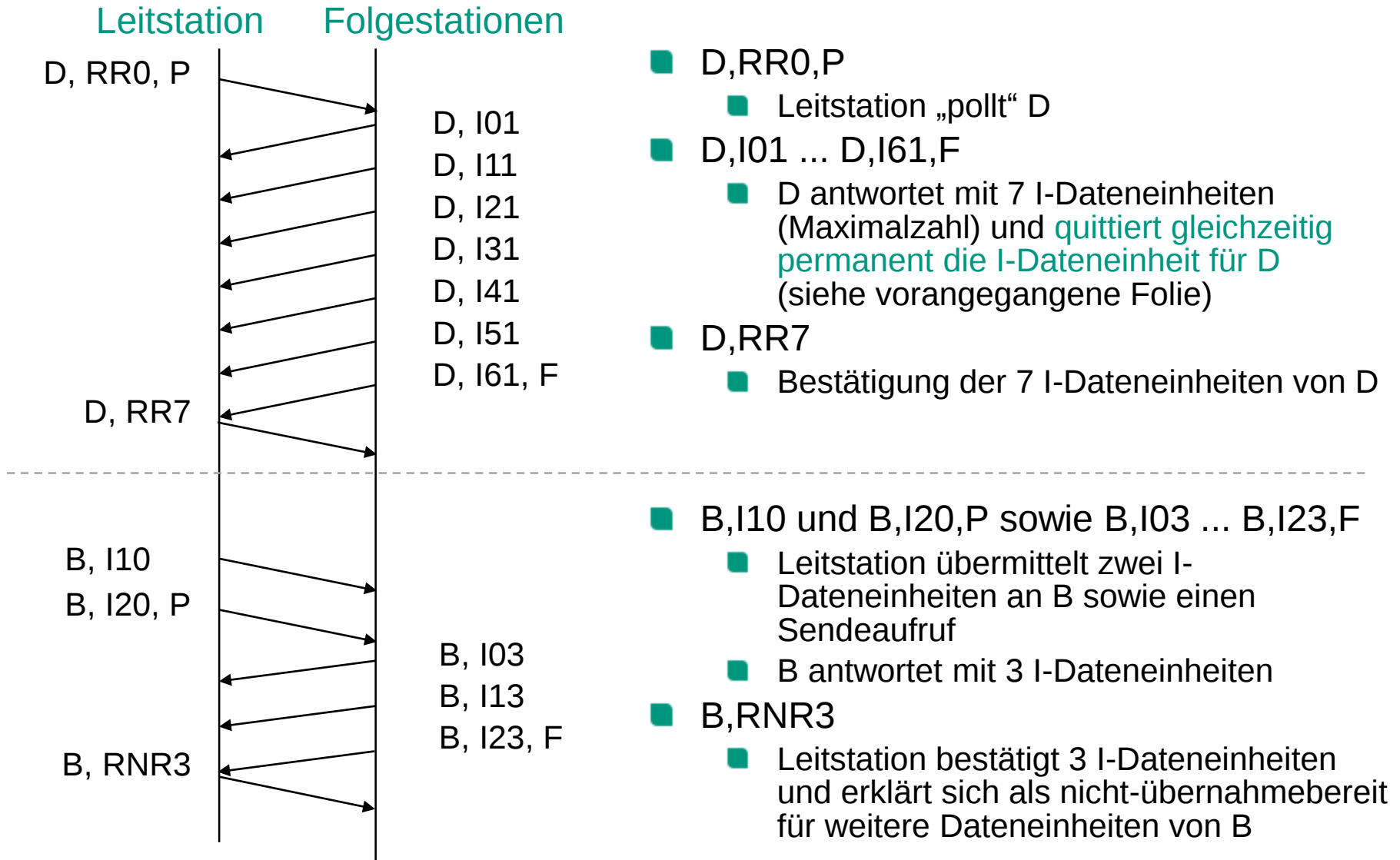
■ Sende-Aufruf der Station B
(Polling), kein Sendebedarf von B

Beispiel 3: Mehrere Folgestationen

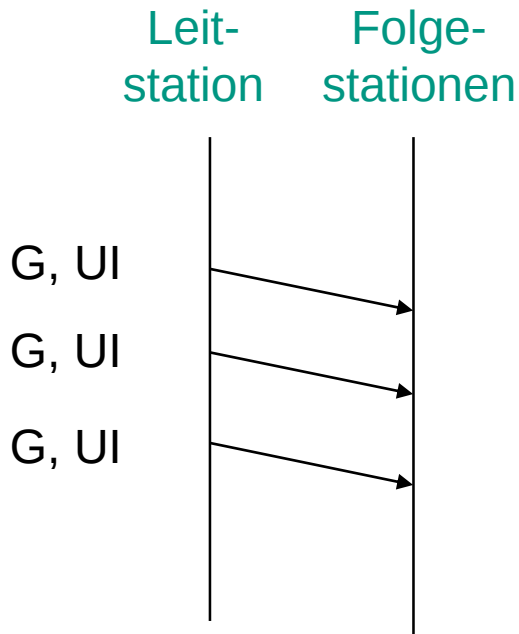


- C,RR0,P und C,I00 ... C,I30,F
 - Sende-Aufruf C, Station C überträgt 4 I-Dateneinheiten
 - C,RR4
 - Leitstation bestätigt Empfang der 4 I-Dateneinheiten, gibt aber keine Sendeerlaubnis für C
-
- D,I00 und B,I00
 - Empfangs-Aufruf und Übergabe I-Dateneinheit an D,B

Beispiel 3: Mehrere Folgestationen



Beispiel 3: Mehrere Folgestationen

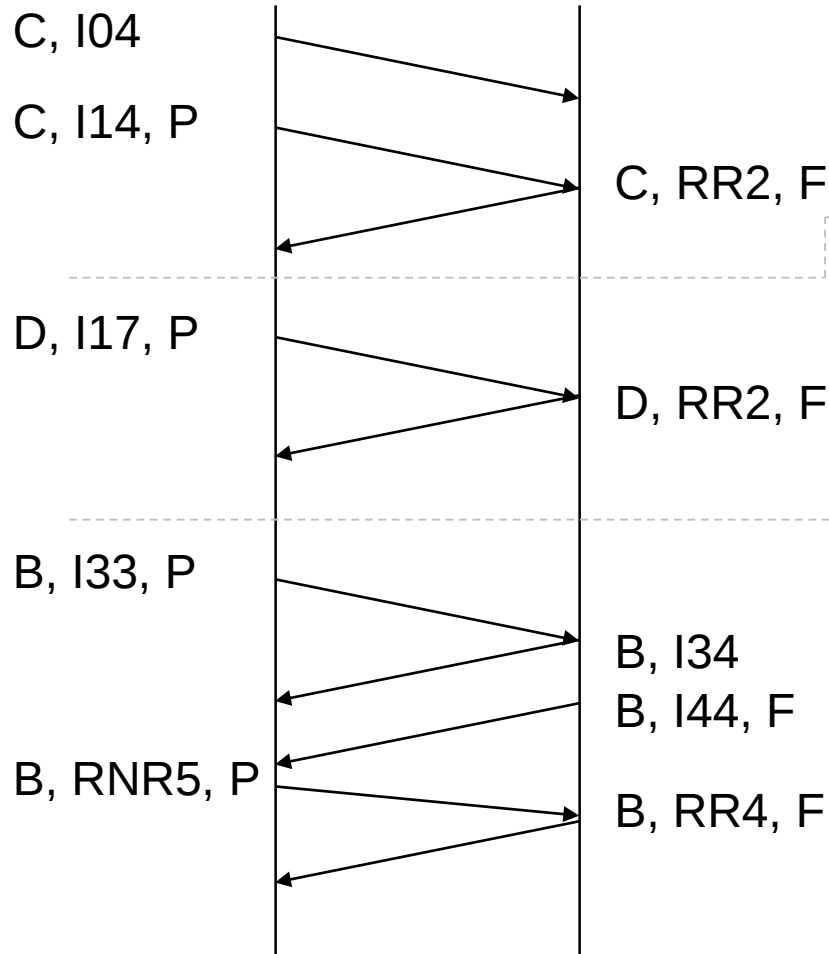


■ G,UI

- Rundrufe mit unnummerierter Information (UI) an alle Stationen über globale Adresse G

Beispiel 3: Mehrere Folgestationen

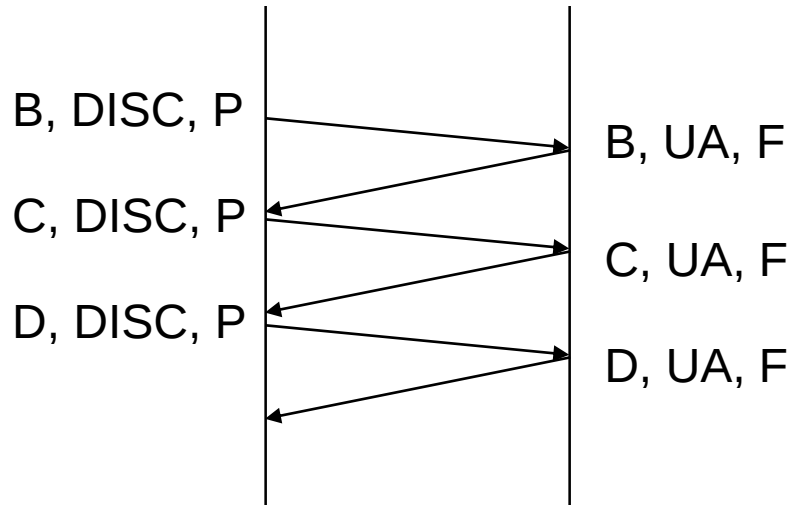
Leit-
station Folge-
stationen



- C,I04 und C,I14,P und C,RR2,F
 - Zwei I-Dateneinheiten an C
 - Station C bestätigt, lehnt aber Übernahme des Senderechts ab (kein Sendebedarf)
- D,I17,P und D,RR2,F
 - I-Dateneinheit an D
 - Station D bestätigt, lehnt aber Senderecht ab
- B,I33,P und B,I34 und B,I44,F
 - I-Dateneinheit an B
 - B bestätigt während Antwort mit zwei I-Dateneinheiten
- B,RNR5,P und B,RR4,F
 - Leitstation quittiert und hat kein Interesse an weiteren I-Dateneinheiten (RNR) von B

Beispiel 3: Mehrere Folgestationen

Leit-
station Folge-
stationen



- B,DISC,P und B,UA,F
 - Alle I-Dateneinheiten quittiert
 - Leitstation beendet Verbindungen, setzt *Disconnect-Mode*
 - ... ebenso für C, D

1. Einführung
2. Netzwerkarchitekturen
3. Physikalische Grundlagen
4. Protokollmechanismen
5. **Die Sicherungsschicht: HDLC**
6. Die Sicherungsschicht: Lokale Netze
7. Netzkopplung und Vermittlung
8. Die Transportschicht
9. Sicherheit
10. Anwendungssysteme

1. Basis-Szenario
2. Entwicklung von HDLC
3. Konfiguration und Betriebsarten
4. HDLC-Dateneinheiten
5. Protokollablauf
6. Zustandsübergangsdiagramm

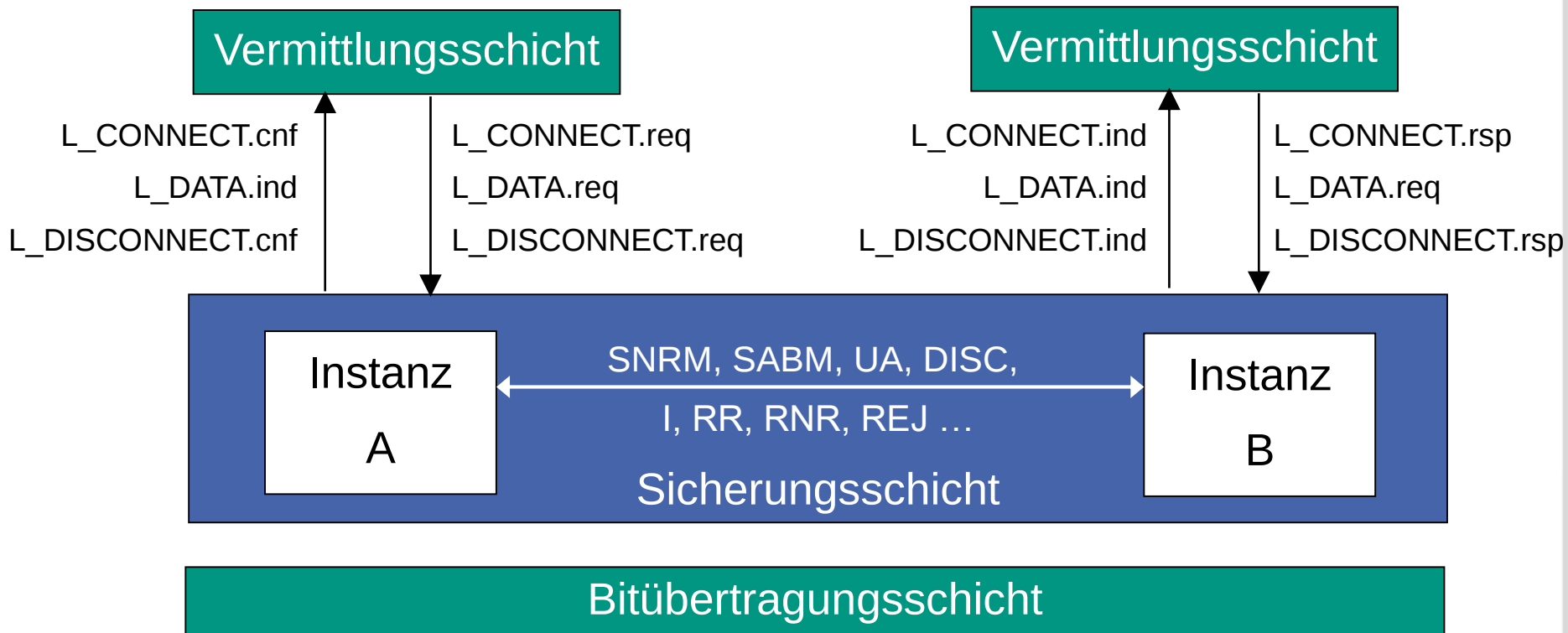
Zustandsübergangsdiagramm

- Endliche (Zustands-)Automaten
 - Können Verhalten des Protokolls vollständig beschreiben

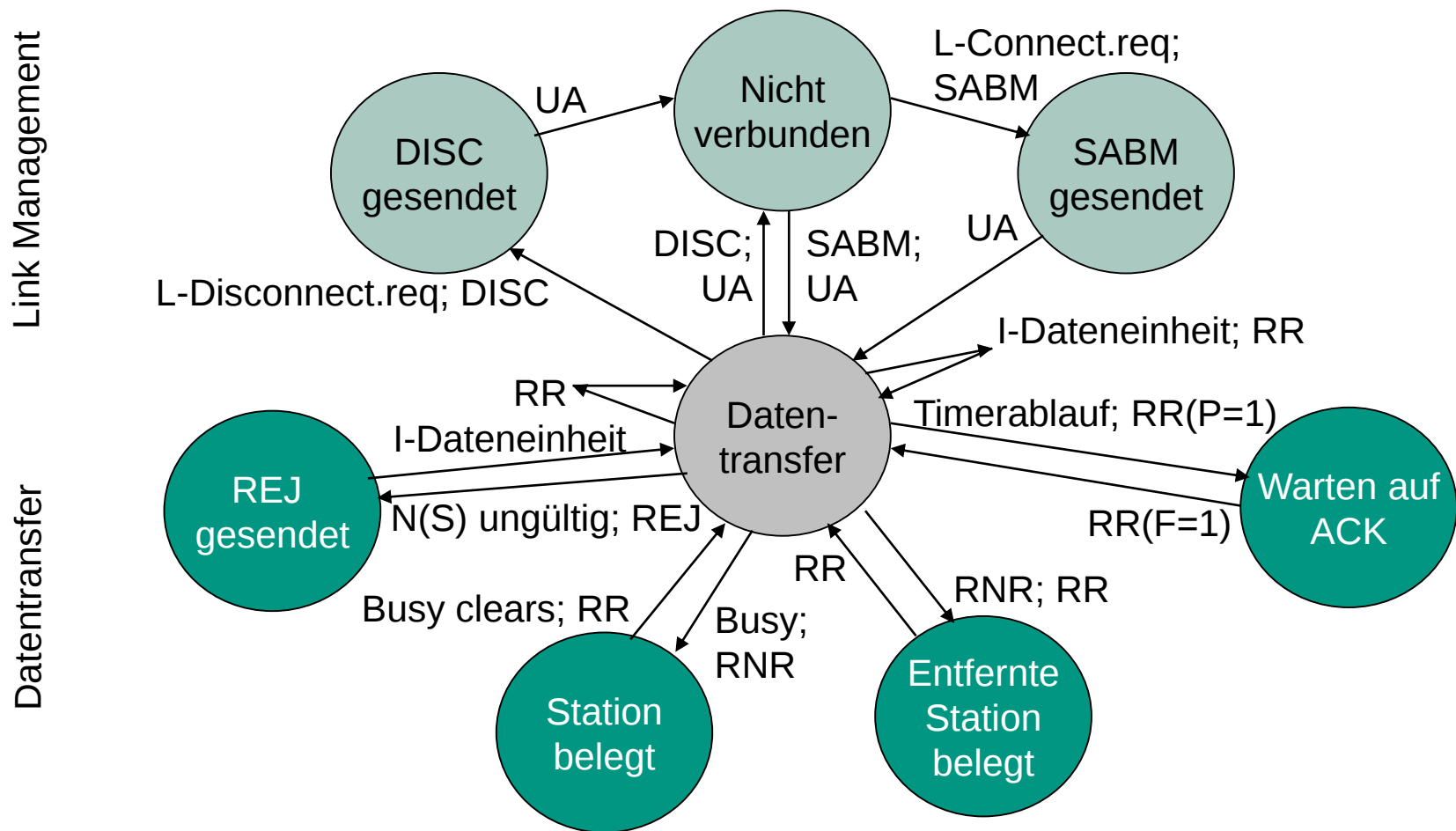
- Visualisierung: Zustandsübergangsdiagramme
 - Zustand
 - als Kreise notiert
 - Zustandsübergang
 - Pfeil vom aktuellen Zustand in den Nachfolgezustand
 - Beschriftung: Diensttypen Stimulus und Reaktion
 - Z.B. Stimulus; Reaktion1, Reaktion2
 - Spontanübergänge: Keine Angabe eines Stimulus

Beispiel: Zustandsübergangsdiagramm von HDLC

- Vereinfachter Überblick
 - Dienstprimitive und Dateneinheiten



Zustandsübergangsdiagramm (ABM)



Anmerkung: Fehlerfälle nicht berücksichtigt

Varianten von HDLC

- HDLC in vielen Umgebungen eingesetzt, jeweils angepasst
- Einige Varianten
 - Link Access Procedure Version B (LAP B)
 - Punkt-zu-Punkt Duplex Übertragungsabschnitte (z.B. X.25)
 - Asynchronous Balanced Mode (ABM) mit kombinierten Leit-/Folgestationen
 - Keine selektiven Rejects (SREJ)
 - Link Access Procedure Version M (LAP M)
 - Für den Einsatz mit Modems konzipiert
 - Akzeptiert asynchrone Daten, überträgt diese dann synchron
 - Link Access Procedure Version D (LAP-D)
 - Zwei Dienste werden angeboten: unzuverlässig und zuverlässig
 - Spezielle Adressinformation
 - Kein Master; Busstruktur
 - PPP-Framing [RFC 1662]
 - Zeichenorientiert, Flag 01111110
 - 16 oder 32-Bit-CRC
 - UI-Dateneinheiten, keine Kontrolldateneinheiten

- HDLC als konkretes Beispiel eines „einfachen“ Protokolls
 - Bestandteil der Sicherungsschicht
 - Beispiel zur Kombination von Protokollmechanismen als Bausteine eines Protokolls
 - Populäres Protokoll, zu dem viele Varianten existieren

- Zeigt die Komplexität eines scheinbar einfachen Problems

- 5.1 Erläutern Sie die Aufgaben der Sicherungsschicht.
- 5.2 Nennen Sie die unterschiedlichen Konfigurationen und Betriebsarten von HDLC, sowie den Ablauf letzterer.
- 5.3 Wie ist eine HDLC-Dateneinheit aufgebaut?
- 5.4 Was bedeutet Codetransparenz und wie wird diese Eigenschaft bei HDLC erreicht?
- 5.5 Welche unterschiedlichen HDLC-Dateneinheiten gibt es und wodurch werden diese identifiziert?
- 5.6 Was ist das P/F-Bit und wozu dient es?
- 5.7 Wie läuft im Normal Response Mode eine Datenübertragung samt Verbindungsaufbau und -abbau statt?
- 5.8 Was versteht man unter „Piggyback ACKs“?
- 5.9 Erläutern Sie, wie zwei Folgestationen über HDLC miteinander Daten austauschen können.



- [Carl80] D. E. Carlson; [Bit-Oriented Data Link Control Procedures](#); IEEE Transactions on Communications, Vol. 28, No. 4; April 1980
- [ISO02] ISO/IEC 13239:2002; [Information Technology – Telecommunications and information exchange between systems – High-level data link control \(HDLC\) procedures](#); Aug. 2002
- Fasst seit 1996 ältere Standard-Versionen zusammen und löst diese ab, z.B. DIN ISO 3309, 4335, 7809
- [Stal10] W. Stallings; [Data & Computer Communications](#); Prentice Hall; 2010
- Kapitel 7.3