

- 1. Entwicklung der Kommunikationstechnik 2**
- 2. Ziele von Rechnernetzen 3**
- 3. Standardmodell der Kommunikation:  
Das ISO-7-Schichtenmodell für Offene Systeme 5**
  - 3.1. Blockschaltbild der Kommunikation im ISO-7-Schichtenmodell 6**
  - 3.2. Grober Aufbau des ISO-7-Schichtenmodells 7**
  - 3.3. Feiner Aufbau des ISO-7-Schichtenmodells 8**
  - 3.4. Aufgaben der Schichten des ISO-Modells 8**
  - 3.5. Terminologie und grundlegende Prinzipien im ISO-Modell 10**
  - 3.6. Was macht eine Schicht im ISO-Modell? 10**
  - 3.7. Hierarchie von Diensten im ISO-Modell 12**
  - 3.8. Indirekte Kommunikation im ISO-Modell (Partnerprotokolle) 13**
    - 3.8.1 Direkte und indirekte Kommunikation 14**
      - 3.8.1.1 Implementierung der direkten und indirekten Kommunikation im Internet 15
    - 3.8.2 Definition Dienst, Dienstzugangspunkt, Dienstelemente ) 17**
  - 3.9. Die 4 Arten von ISO-Dienstelementen 18**
  - 3.10. Die 3 Phasen der ISO-Kommunikation 19**
    - 3.10.1 Beispiel: Presentation.Connect = Verbindungsaufbaudienst der Schicht 6 20**
  - 3.11. Zusammenfassung ISO-7-Schichten-Modell 21**
- 4. Bitübertragungsschicht (ISO-Schicht 1) 24**
  - 4.1. Spezifikationen in der Bitübertragungsschicht 24**
    - 4.1.1 Mechanische Schnittstellen 25**
    - 4.1.2 Elektrische Schnittstellen auf den Leitungen 25**
    - 4.1.3 Funktionale Schnittstellen 25**
    - 4.1.4 Prozedurale Regeln 25**
    - 4.1.5 Beispiele für mechanische Spezifikationen: USB 26**
    - 4.1.6 Beispiel für eine elektrische Spezifikation: V.24 EIA RS-232 27**
  - 4.2. Asynchrone und synchrone Übertragung 27**
    - 4.2.1 Asynchrone Übertragung 28**
      - 4.2.1.1 Vorteile der asynchronen Übertragung 28
      - 4.2.1.2 Nachteile der asynchronen Übertragung 29
      - 4.2.1.3 Timing-Diagramm einer asynchronen Übertragung (V24/RS-232) 29
      - 4.2.1.4 Leitungscode für ein Zeichen 30
      - 4.2.1.5 Leitungscode für eine Zeichenfolge 30
      - 4.2.1.6 Effekt der auseinander laufenden Uhren bei asynchroner Übertragung 31
    - 4.2.2 Synchrone Übertragung 31**
      - 4.2.2.1 Timing-Diagramm einer synchronen Übertragung 32
      - 4.2.2.2 Beispiel für synchrone Übertragung: der Universal Serial Bus (USB) 32

<b>4.2.3</b>	<b>Vergleich synchrone/asynchrone Übertragung am Beispiel USB</b>	<b>33</b>
4.2.3.1	Nachteile von USB-Geräten	34
<b>4.3.</b>	<b>Physikalische Medien zur Datenübertragung</b>	<b>34</b>
<b>4.3.1</b>	<b>Aufbau eines STP-Kabels, Beispiel USB 3.0</b>	<b>36</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Aufbau eines Koaxialkabels</b>	<b>36</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Glasfaserkabel</b>	<b>37</b>
4.3.3.1	Absorption in der Faser	38
4.3.3.2	Dispersion in der Faser	38
<b>4.3.4</b>	<b>Technologien bei Glasfasern</b>	<b>38</b>
4.3.4.1	Stufenindex-Faser	39
4.3.4.2	Gradientenindex-Faser	39
4.3.4.3	Monomode-Faser	40
<b>4.3.5</b>	<b>Vergleich der Glasfasertechnologien</b>	<b>41</b>
<b>4.4.</b>	<b>Modulation von Signalen</b>	<b>42</b>
<b>4.4.1</b>	<b>Beispiele zu Modulationsverfahren</b>	<b>43</b>
<b>4.5.</b>	<b>Codierung von Signalen</b>	<b>44</b>
<b>4.5.1</b>	<b>Non Return to Zero Codes (NRZ-Codes)</b>	<b>44</b>
4.5.1.1	NRZ-L-Code (L= Level)	45
4.5.1.2	NRZ-M-Code und NRZ-S-Code (M = Mark, S = Space)	45
<b>4.5.2</b>	<b>Biphase-Codes = Zweite Gruppe von Codes</b>	<b>46</b>
4.5.2.1	Biphase-L (= Manchester-Code)	47
4.5.2.2	Differential Manchester-Code	47
4.5.2.3	Biphase-M (= Miller-Code oder FM-Code)	48
4.5.2.4	Biphase-S	48
4.5.2.5	Modified Miller-Code (= Modified Delay „Modulation“, MFM-Code)	48
4.5.2.6	Bipolar-Code (= Alternate Mark Inversion)	49
4.5.2.7	Vorteile der Biphase-Codes	49
<b>4.5.3</b>	<b>Graphische Beispiele bei Leitungscodes</b>	<b>50</b>
<b>4.6.</b>	<b>Multiplexen von Signalen</b>	<b>51</b>
<b>4.6.1</b>	<b>Frequenzmultiplexen</b>	<b>52</b>
4.6.1.1	Grundidee des Frequenzmultiplexens	53
4.6.1.2	Prinzipielle Realisierung von Frequenzmultiplexen	54
<b>4.6.2</b>	<b>Zeitmultiplexen</b>	<b>55</b>
<b>4.6.3</b>	<b>Synchrones Zeitmultiplexen</b>	<b>55</b>
4.6.3.1	Beispiel: Festnetz-Telefonvermittlung und -übertragung	56
4.6.3.2	Prinzipielle Realisierung von synchronem Zeitmultiplexen	57
<b>4.6.4</b>	<b>Asynchrones Zeitmultiplexen</b>	<b>58</b>
4.6.4.1	Aufbau der Datenrahmen bei asynchronem Zeitmultiplex	59
<b>4.6.5</b>	<b>Vergleich zwischen synchronem und asynchronem Zeitmultiplexen</b>	<b>59</b>
<b>4.6.6</b>	<b>Mobilfunknetz als Beispiel für gleichzeitiges Zeit- und Frequenzmultiplexen</b>	<b>60</b>
<b>5.</b>	<b>Sicherungsschicht (ISO-Schicht 2)</b>	<b>62</b>
<b>5.1.</b>	<b>Aufgaben der Sicherungsschicht</b>	<b>62</b>
<b>5.2.</b>	<b>Ursachen von Übertragungsfehlern</b>	<b>63</b>

<b>5.3. Fehlercharakteristik bei Übertragungsfehlern</b>	<b>65</b>
<b>5.4. Fehlererkennung</b>	<b>65</b>
5.4.1 Fehlererkennung durch Paritätsbit	66
5.4.2 Fehlererkennung durch Prüfsumme (Cycling Redundancy Check, CRC)	68
5.4.2.1 Algorithmus für die CRC-Berechnung	69
5.4.2.2 Erstes Beispiel für CRC-Berechnung	70
5.4.2.3 Zweites Beispiel für CRC-Berechnung	71
5.4.2.4 Beispiele für CRC-Generatorpolynome	72
5.4.2.5 Potential der Fehlererkennung durch CRC-16- und CRC-CCITT-Polynome	72
5.4.2.6 Implementierung der CRC-Berechnung	72
<b>5.5. Bit Stuffing und Rahmenbegrenzer</b>	<b>72</b>
5.5.1 Beispiel für Nutzdatentransfer mit 6 Einsen am Stück	73
5.5.2 Weitere Beispiele für Bit Stuffing	74
5.5.3 Realisierung des Bitstopfens	75
<b>5.6. Typisches Rahmenformat der Schicht 2</b>	<b>76</b>
5.6.1 Sprachregelung bei Schicht 1, 2 und 3	76
5.6.2 Das Steuerfeld eines ISO-Schicht 2-Rahmens („Control“)	76
<b>5.7. Bestätigungen (Acknowledges)</b>	<b>78</b>
5.7.1 Zwei Fälle von Datenverlust	78
5.7.2 Bestätigung mit Zeitschranke (timeout) auf der Senderseite	79
5.7.3 Bestätigung mit Zeitschranke und Sequenznummern auf der Sender- und Empfängerseite	80
5.7.3.1 Beispiel für das Erkennen von Duplikaten	81
5.7.3.2 Beispiel für eine Sammelquittung	82
<b>5.8. Fehlererhebung durch Rahmenwiederholung</b>	<b>83</b>
5.8.1 Fehlerbehebung mit „go-back-n“ und ohne Pufferung beim Empfänger	83
5.8.2 Fehlerbehebung mit „go-back-n“ und mit Pufferung beim Empfänger	85
5.8.3 Fehlerbehebung durch „selective repeat“	86
5.8.4 Aktive Fehlerkontrolle	87
<b>5.9. Flusssteuerung</b>	<b>89</b>
5.9.1 Stop & Wait-Protokoll	89
5.9.2 Sequenznummern als Ersatz für Acknowledges	90
5.9.3 Flusssteuerung im Internet	90
5.9.4 Stop-and-Wait-Protokoll zur Flusssteuerung zwischen benachbarten Rechnern	90
5.9.5 Flusssteuerung mit Schiebefenster	91
5.9.5.1 Ablauf beim Schiebefenster	92
5.9.5.2 Verhalten von Frontpointer und Backpointer bei Sender und Empfänger	93
5.9.5.3 Beispielablauf für ein Schiebefensterprotokoll mit $r=8$ und $w=3$	95
5.9.5.4 Wahl von Fenstergröße $w$ und Puffergröße $r$ beim Empfänger	96
<b>6. Lokale Netze (LANs)</b>	<b>99</b>

- 6.1. Was ist ein LAN? 99**
- 6.2. Merkmale eines lokalen Netzes 99**
- 6.3. Die Sicherungsschicht im LAN nach IEEE 802 101**
- 6.4. Der Medienzugang bei LANs durch Schicht 2a (MAC Layer) 102**
  - 6.4.1 Wie werden Kollisionen geregelt? 102**
  - 6.4.2 Beispiele für gemeinsam genutzte Übertragungsmedien 103**
  - 6.4.3 Gemeinsames Übertragungsmedium mit Kollisionserkennung (CSMA/CD) 105**
  - 6.4.4 Gemeinsames Übertragungsmedium mit Kollisionsverhinderung 106**
    - 6.4.4.1 Beispiel Switched Ethernet 106
    - 6.4.4.2 Beispiel USB 106
- 6.5. Die Datensicherung bei LANs durch Schicht 2b (Logical Link Control) 107**
  - 6.5.1 LLC Typ 1: Unbestätigter und verbindungsloser Dienst 107**
  - 6.5.2 LLC Typ 2: Bestätigter Verbindungsorientierter Dienst 107**
  - 6.5.3 LLC Typ 3: Bestätigter verbindungsloser Dienst 108**
  - 6.5.4 Weitere Beispiele von Schicht 2b-Protokollen (nicht ISO und nicht IEEE) 108**
- 6.6. Beispiele für Schicht 2-Rahmenformate 109**
  - 6.6.1 USB-Rahmenformat für Datenpakete 109**
  - 6.6.2 CSMA/CD-Rahmenformat 110**
    - 6.6.2.1 Schicksal der weltweit eindeutigen MAC-Adressen 112
  - 6.6.3 1 Gb/s-Ethernet-Rahmenformat gemäß IEEE 802.3 112**
    - 6.6.3.1 Varianten von 1 Gb/s-/10 Gb/s-Ethernet mit Switch 114
- 6.7. VLANs 115**
- 6.8. Repeater, Bridge, Switch, Gateway, Router, Hub und Firewall 115**
- 6.9. Adressauflösung im LAN 117**
  - 6.9.1 Address Resolution Protocol ARP 117**
  - 6.9.2 Reverse ARP 118**
- 6.10. Verdrahtung lokaler Netze 119**
- 7. Echtzeitzugang ins Internet 120**
  - 7.1. Multimedia-Anforderungen 121**
  - 7.2. Internet-Anwendungen mit und ohne Echtzeit 122**
  - 7.3. Echtzeitzugang über das Telefonnetz 123**
    - 7.3.1 Konfiguration bei (DSL)-Modem-Zugang 124**
  - 7.4. Alternative Echtzeitzugangstechnologien 124**
    - 7.4.1 HFC (Hybrid Fiber Coax) 125**
    - 7.4.2 FTTC (Fiber to the Curb) 127**
    - 7.4.3 FTTH (Fiber to the Home) 129**
  - 7.5. Echtzeitzugang über xDSL (Digital Subscriber Line) 129**
    - 7.5.1 Shannon-Theorem 130**
      - 7.5.1.1 Kanalkapazität  $K$  als Funktion der Leitungslänge eines Kupferkabels 132

- 7.5.2 Warum ist die xDSL-Technik wirtschaftlich interessant? 132
- 7.5.3 Aufbau eines xDSL-Zugangs 133
- 7.5.4 Die verschiedenen Typen von xDSL 134
- 7.5.5 Leistungsparameter der xDSL-Techniken 135
- 7.5.6 Internet-Zugang über Sprachband-Modem oder ISDN 136
- 7.5.7 Internet-Zugang über ADSL mit Splitter 137
- 7.5.8 Aufteilung der Übertragungsfrequenzen bei CAP-Modulation 138
- 7.5.9 ADSL-Übertragungskette 139
- 7.5.10 Warum hat ADSL asymmetrische Datenraten? 140
- 7.5.11 QAM-Modulation 141
  - 7.5.11.1 Vectoring 144
- 7.5.12 CAP-Modulation 144
- 7.5.13 DMT-Modulation 145
  - 7.5.13.1 Automatische Bitraten-Adaption bei DMT 147
  - 7.5.13.2 Übertragungsverhalten von Telefonkabeln ohne Störungen 148
  - 7.5.13.3 Übertragungsverhalten von Telefonkabeln mit Störungen 149
- 7.5.14 HDSL - „High“ Data Rate Digital Subscriber Line 150
- 7.5.15 SDSL - Symmetric Digital Subscriber Line 151
- 7.5.16 VDSL - Very High Data Rate Digital Subscriber Line 152
- 7.5.17 Die xDSL-Familie im Überblick 153
- 7.6. Point-to-Point Echtzeit-Protokoll (PPP) der ISO-Schicht 2b 155
  - 7.6.1 Funktion von PPP 156
  - 7.6.2 Protokollphasen von PPP 157
- 8. Echtzeit-Übertragung im Internet 157
  - 8.1. PCM-Verfahren zur Echtzeit-Übertragung 158
    - 8.1.1 Systemparameter von PCM-Zeitmultiplexsystemen 159
    - 8.1.2 Aufbau eines typischen T1-PCM-Rahmens 160
    - 8.1.3 T1-PCM-System (USA und Japan) 161
    - 8.1.4 E1-PCM-System (Welt ohne USA und Japan) 161
      - 8.1.4.1 Aufbau der Datenrahmen bei E1 162
    - 8.1.5 PCM-Hierarchien 163
      - 8.1.5.1 T1-Hierarchie 163
      - 8.1.5.2 E1-Hierarchie 164
  - 8.2. Sonet/SDH zur Echtzeit-Übertragung 165
    - 8.2.1 Warum gibt es SONET/SDH? 165
    - 8.2.2 Ziele von SONET/SDH 166
    - 8.2.3 Eigenschaften von SONET/SDH 166
    - 8.2.4 Aufbau eines SONET/SDH-Pfades 168
    - 8.2.5 SONET/SDH als ISO-Schicht 1 und 2 168
    - 8.2.6 Subschichten von SONET/SDH 169
    - 8.2.7 SONET/SDH-Rahmenaufbau 170
      - 8.2.7.1 Feinstruktur des SONET/SDH-Rahmenaufbaus 172
      - 8.2.7.2 Lage des SPE zwischen zwei aufeinanderfolgenden Rahmen 174
      - 8.2.7.3 Abschnitts-, Leitungs- und Pfadinformation 176
    - 8.2.8 SONET/SDH-Multiplexen 177
    - 8.2.9 Aufbau eines STS-N-Rahmens 178
    - 8.2.10 Beispiel für eine Multiplexhierarchie bei SONET/SDH 179
    - 8.2.11 Multiplexraten bei SONET/SDH 180

8.2.11.1 Höhere Datenraten für einen einzigen Sender 180

## **9. Stadtnetze (Metropolitan Area Networks, MANs) 181**

**9.1. Beispiele für ein MAN: FDDI und DQDB 181**

**9.2. FDDI (Fiber Distributed Data Interface) 181**

**9.2.1 Beispiel für eine FDDI-Topologie 183**

**9.2.2 FDDI als "Backbone" (veraltet) 184**

**9.3. Vergleich Ethernet-MAN und FDDI-MAN 184**

**9.3.1 Ethernet (mit Switch und ohne Zugangssteuerung) 184**

**9.3.2 FDDI (mit Token-Zugangssteuerung) 185**

## **10. Weitverkehrsnetze (Wide Area Networks, WANs) 186**

**10.1. Unterschied zwischen LANs, MANs und WANs 186**

## **11. Vermittlungsschicht (ISO-Schicht 3) 188**

**11.1. Position der Router im ISO-Modell 189**

**11.2. Aufgaben der ISO-Vermittlungsschicht 190**

**11.2.1 Zwei Arten der Datenübertragung in der ISO-Schicht 3 191**

11.2.1.1 Eigenschaften von ISO-Schicht-3-virtuellen Verbindungen 191

11.2.1.2 Eigenschaften von ISO-Schicht-3-Datagrammen 192

**11.2.2 Virtuelle Verbindungen und Datagramme auf den ISO-Schichten 3 und 4 193**

**11.2.3 Perfekte Kanäle bei virtuellen Verbindungen 194**

11.2.3.1 Aufbau einer virtuellen Verbindung in einem Beispiel-WAN 195

11.2.3.2 Verwaltung virtueller Verbindungen in einem Beispiel-ISO-WAN 196

**11.3. Routing-Algorithmen für virtuelle Verbindungen und Datagramme 199**

**11.3.1 Aufgabe von Routing-Algorithmen 199**

**11.3.2 Eigenschaften von Routing-Algorithmen 200**

**11.3.3 Klassifikation von Routing-Algorithmen 201**

**11.3.4 Statisches Routing 202**

11.3.4.1 Zusammenfassung statisches Routing 203

**11.3.5 Optimierungen von Routing-Algorithmen 203**

11.3.5.1 Mehrfachpfade (Multipath Routing) 203

11.3.5.2 Realisierung von Mehrfachpfaden 204

11.3.5.3 Hierarchische Wegewahl 206

11.3.5.4 Beispiel einer zweistufigen Hierarchie 208

**11.3.6 Adaptives Routing 209**

**11.3.7 Adaptives und verteiltes Routing 209**

11.3.7.1 Das „Distanz“-vektor-Verfahren 210

11.3.7.2 Beispiel für das „Distanz“-vektor-Verfahren 211

11.3.7.3 Einfaches Link-Zustandsverfahren 214

11.3.7.4 Volles Link-Zustandsverfahren (OSPF) 215

**11.4. Vermittlungsschicht des Internet (IP) 216**

**11.4.1 IPv4 und V6 217**

**11.4.2 Aufbau eines IPv4-Pakets (IP Header) 218**

11.4.2.1	Die Header-Felder von IPv4	219
11.4.2.2	DSCP (Differentiated Services Code Point)	220
11.4.2.3	ECN (Explicit Congestion Notification)	221
11.4.2.4	Ident und Fragment Offset	221
11.4.2.5	Beispiele für IPv4-Optionen	221
<b>11.4.3</b>	<b>Aufbau eines IPv6-Pakets</b>	<b>223</b>
11.4.3.1	Bedeutung der ersten 40 Header-Bytes	225
<b>11.4.4</b>	<b>Quality of Service (QoS) in IPv6</b>	<b>225</b>
11.4.4.1	Traffic Class	226
11.4.4.2	Flow Label	226
<b>11.4.5</b>	<b>Adressierung in IPv4</b>	<b>226</b>
11.4.5.1	32 Bit IPv4-Adressen	227
11.4.5.2	Klassenbasierte IPv4-Adressen	229
11.4.5.3	Aufbau klassenbasierter IPv4-Adressen	230
<b>11.5</b>	<b>IP-Subnetze</b>	<b>231</b>
11.5.1	Vorteile von Subnetzen	232
<b>12.</b>	<b>Transportschicht (ISO-Schicht 4)</b>	<b>234</b>
12.1.	Die Internet-Transportschicht	234
12.2.	Die ISO-Transportschicht	234
12.2.1	Aufgaben der ISO-Transportschicht	234
12.2.2	Weitere Eigenschaften der ISO-Transportschicht	235
12.2.3	Funktionsaufrufe (API) der ISO-Transportschicht	237
12.3.	Transportprotokolle im Internet (TCP, UDP)	237
12.3.1	Datensicherung durch TCP	238
12.3.2	Von TCP erbrachte Dienste	238
12.3.3	Aufbau eines TCP-Pakets (TCP Header)	241
12.3.3.1	Unterschiede zwischen Push Flag und URG Flag	245
12.3.4	Optimierung der Datenübertragung durch TCP	246
12.3.5	Flusssteuerung (Flow Control) und Stausteuerung (congestion control) bei TCP	247
12.3.6	Slow Start	248
12.3.6.1	Beispiel für den zeitlichen Verlauf des Überlastungsfenster des Netzes (Slow Start)	251
12.3.7	Beispiel für den zeitlichen Verlauf des Empfänger-Schiebefensters	252
12.3.8	Adaptiver TCP-Time Out	255
12.4.	Berkeley Sockets/WinSockets als die Schnittstelle zu TCP und UDP	256
12.4.1	Die Berkeley/WinSocket Socket-API	257
12.4.1.1	Ablauf der Kommunikation zwischen Client und Server	257
12.4.1.2	int socket(int domain, int type, int protocol);	259
12.4.1.3	int bind(int sockfd <sub>1,Server</sub> , const struct sockaddr *my_addr, socklen_t addrlen);	261
12.4.1.4	int listen(int sockfd <sub>1,Server</sub> , int backlog);	262
12.4.1.5	int connect(int sockfd <sub>Client</sub> , const struct sockaddr *serv_addr, socklen_t addrlen);	263
12.4.1.6	int accept(int sockfd <sub>1,Server</sub> , struct sockaddr *cliaddr, socklen_t *addrlen);	264

- 12.4.1.7 int send(int {entweder sockfd<sub>Client</sub> für Client oder sockfd<sub>2,Server</sub> für Server}, const void \*buffer, size\_t length, int flags); 266
- 12.4.1.8 int recv(int {entweder sockfd<sub>Client</sub> für Client oder sockfd<sub>2,Server</sub> für Server}, void \*buffer, size\_t length, int flags); 267
- 12.4.1.9 int close(int {entweder sockfd<sub>Client</sub> für Client oder sockfd<sub>2,Server</sub> für Server}); 267
- 12.4.1.10 Zusammenfassung Berkeley-Sockets 268