

I Grundlagen und übertragungsorientierte Schichten

1	Lernziele Teil I	3
2	Historie	5
2.1	Programmierbare Rechenautomaten	6
2.2	Mehrbenutzersysteme	7
2.3	Rechnerverbundsysteme	8
2.4	Frühe Rechnernetzarchitekturen	10
2.4.1	Sicherungsprotokoll HDLC	10
2.4.2	IBM SNA	13
2.4.3	Novell Netware	14
2.4.4	ARPANET	14
2.5	Zwischenfragen/Übungsaufgaben	16
2.5.1	Rechnerverbundsysteme	16
2.5.2	Frühe Rechnernetzarchitekturen	16
3	Übertragungsmedien und Medienzugriff	17
3.1	Medien	18
3.1.1	Ausgewählte Medien	18
3.1.2	Signale und nachrichtentechnische Kanäle	18
3.1.3	Übertragungsfehler: Erkennung und Korrektur	23
3.2	Mehrfachzugriff auf Medien	27
3.2.1	Zugriffskonkurrenz	27
3.2.2	Deterministische Zugriffsverfahren	28
3.2.3	Stochastische Zugriffsverfahren	34
3.3	Zwischenfragen/Übungsaufgaben	38
3.3.1	Signalausbreitung	38
3.3.2	Nyquist-Theorem	39
3.3.3	Medienzugriff	39
4	Rechnernetzarchitekturen und -Dienste	41
4.1	Ziele und Anwendungsfelder von Rechnernetzen	42
4.2	Dienste und Protokolle	43
4.3	Darstellung von Diensten und Protokollen	44
4.4	Rechnernetztopologien und -strukturen	47
4.5	Maßeinheiten in der Netzwerkpraxis	48
4.6	Zwischenfragen/Übungsaufgaben	49
4.6.1	Dienst/Protokoll	49
4.6.2	Topologien	49
4.6.3	Maßeinheiten	49
5	ISO-Architektur	51
5.1	Normung	52
5.2	OSI-Referenzmodell	53
5.3	OSI-Modell: Schichtenfunktionalität	57

5.3.1	Bitübertragungsschicht	58
5.3.2	Sicherungsschicht	58
5.3.3	Vermittlungsschicht	60
5.3.4	Transportschicht	60
5.3.5	Kommunikationssteuerungsschicht	61
5.3.6	Darstellungsschicht	62
5.3.7	Anwendungsschicht	63
5.3.8	Bewertung des OSI-Konzepts	64
5.4	Zwischenfragen/Übungsaufgaben	64
5.4.1	OSI-Schichtenarchitektur	64
5.4.2	Schichten im OSI-Referenzmodell	64
6	Internet-Architektur	67
6.1	Internet-Schichtenmodell	68
6.1.1	Internet: historische Entwicklung	69
6.1.2	Unterstützte Basisnetze	70
6.1.3	Internetzugang per PPP (Point-to-Point Protocol)	71
6.2	Vermittlungsschicht (IP)	72
6.2.1	Globales Wegewahlverfahren OSPF	74
6.2.2	Hierarchisches Wegewahlverfahren OSPF und BGP	76
6.2.3	Überlastüberwachung	77
6.2.4	Internet Protocol (IPv4) und logische Adressierung	78
6.2.5	Subnetzmasken und Subnetting	81
6.2.6	Adressierung in Intranet und Network Address Translation (NAT)	83
6.2.7	IP-Hilfsprotokolle	84
6.2.8	IP Multicast	85
6.2.9	IPsec: Layer3-Sicherheitsmechanismen	86
6.2.10	Mobile IP	87
6.2.11	Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP)	89
6.2.12	IPng und IPv6	89
6.3	Transportschicht (TCP/UDP)	91
6.3.1	Schnittstelle zur Anwendung, Sockets	91
6.3.2	Protokoll UDP (User Datagram Protocol)	92
6.3.3	Protokoll TCP (Transmission Control Protocol)	94
6.3.4	Adaptive Flusskontrolle	96
6.4	Protokollanalyatoren und Netzwerksimulatoren	98
6.4.1	Protokollanalysator Wireshark	98
6.4.2	NS-3 (Network Simulator)	99
6.5	Zwischenfragen/Übungsaufgaben	101
6.5.1	Routing	101
6.5.2	IP-Adressierung	101
6.5.3	Nutzerschnittstelle TCP/UDP	101
7	Rechnernetzapplikationen	103
7.1	Verteilte Systeme und Anwendungen	104
7.1.1	Verteilte Anwendungen	106
7.1.2	Verteiltes Filesystem	106
7.1.3	Datenkonsistenz	107
7.1.4	Ressourcenverbund und Funktionsverbund	109

7.2	Klassische Client/Server-Architekturen und Peer-to-Peer	110
7.3	Multimediakommunikation und Mobile Computing	111
7.4	Basisdienste im Internet	112
7.4.1	DNS (Domain Name Service)	112
7.4.2	Remote Login (per Telnet)	113
7.4.3	File Transfer (per FTP, File Transfer Protocol)	113
7.4.4	Email (per SMTP, Simple Mail Transfer Protocol)	113
7.4.5	WWW (World Wide Web)	115
7.5	Zwischenfragen/Übungsaufgaben	117
7.5.1	Allgemeine Problem von Netzapplikationen	117
7.5.2	Applikationen	117
8	Planung, Optimierung und Betriebssicherung von Rechnernetzen	119
8.1	Lebenszyklus von Rechnernetzwerken	120
8.2	Grob- und Feinplanung	122
8.3	Rechnernetzmanagement	124
8.4	Zwischenfragen/Übungsaufgaben	130
8.4.1	Netzwerkplanung	130
8.4.2	Netzwerkmanagement	130
9	Ausblick Teil I	131
10	Lösungen zu Zwischenfragen/Übungsaufgaben Teil I	133

II Netzwerktechnologien und Mobile Kommunikation. Netzkopplung und Verkabelung

11	Lernziele Teil II	149
11.1	Voraussetzungen Teil II	150
11.2	Lernziele und vermittelt Wissen	150
12	Drahtgebundene und drahtlose Netze	153
12.1	Kerntechnologien – Übersicht, Integration und Interoperabilität	154
12.1.1	ATM-Netze (Asynchronous Transfer Mode)	158
12.1.2	Multiprotocol Label Switching (MPLS)	161
12.1.3	Mobilfunknetze der 3. Generation. HSDPA, High-speed Downlink Packet Access	162
12.1.4	Drahtlose lokale und städtische Netze WLAN und WiMAX	163
12.2	Ethernet-Familie IEEE 802.3	163
12.2.1	Basistechnologien (IEEE 802.3)	163
12.2.2	10GbE, 40GbE, 100GbE (IEEE 802.3ae/an/ba/bg/bj/bm)	166
12.2.3	Standardisierungen in LAN durch IEEE 802 und ISO	170
12.3	Drahtlose lokale Netze IEEE802.11 – WLAN	172
12.3.1	Normenübersicht IEEE 802.11. Aktuelle Standards	172
12.3.2	Basistandard IEEE 802.11n	173
12.3.3	Projektierung und Optimierung von WLAN	180
12.4	Drahtlose städtische Netze IEEE802.16 – WiMAX	192
12.5	Automatisierungsnetze. Feldbusse	196
12.6	Sensornetze – WSN	199
12.6.1	Überblick drahtloser Sensor-Netzwerke	199

12.6.2	Anwendungsfälle bei WSN-Entwurf. ZigBee, EnOcean	205
12.7	Zwischenfragen/Übungsaufgaben	208
12.7.1	Ethernet	208
12.7.2	WLAN.....	209
13	Mobile Kommunikation	211
13.1	Satellitenfunk	212
13.1.1	Architektur und wesentliche Charakteristiken	212
13.1.2	Satellitenbahnen und -bewegungsgesetze.....	214
13.1.3	Systembeispiele	215
13.2	Mobile Zellulernetze 1G-5G	217
13.2.1	OFDM-basierte Systeme	221
13.2.2	Fortgeschrittene Modulation FQAM und MIMO-Strukturen.....	221
13.2.3	4G und LTE: aktuelle Mobilfunknetze	223
13.2.4	Mobilfunknetze – MBWA.....	227
13.3	5G – Neue Generation des Mobilfunks	228
13.3.1	Anforderungen und Visionen zu 5G.....	228
13.3.2	Forschungslabor 5GLab@TU Dresden.....	232
13.3.3	Huawei und 5G	233
13.3.4	Architektur und Virtualisierung von Providerkernetzen	236
13.3.5	5G: neue Möglichkeiten laut Samsung	238
13.3.6	5G: Interoperabilität zu anderen Netzwerken.....	239
13.3.7	Interoperabilität mit 6LoWPAN	241
13.3.8	Standard IMT 2020: Einsatzszenarien.....	242
13.3.9	Optimierungsfaktoren und Nutzungsqualität	243
13.3.10	Kostenmodelle von 5G.....	245
13.3.11	DIDO: Ressourcenzuweisungsverfahren für künftiges WLAN innerhalb 5G	246
13.4	5G and Beyond. In Richtung von 6G	249
13.4.1	Herausforderungen an 5G and Beyond Mobilfunk	249
13.4.2	Allgemeine Architektur und Kanalplanung.....	254
13.4.3	5G-Strukturen und -Basisstationen	258
13.4.4	MIMO und Raummultiplex	259
13.4.5	RAT und Erhöhung der Spektraleffizienz	260
13.4.6	Anwendungsszenarien.....	263
13.4.7	Blockchain-basierte Applikationen und Hochverteilte Systeme.....	264
13.4.8	Funknetze neuer Generationen und NET-2030	272
13.4.9	Schlussfolgerungen.....	279
13.5	Zwischenfragen/Übungsaufgaben	280
13.5.1	Zellulare Mobilfunknetze.....	280
13.5.2	In Richtung 5G	281
13.5.3	Satellitenfunk und Ortungssysteme.....	281
14	Netzkopplung und Verkabelung	283
14.1	Aktive Netzkopplungsgeräte	284
14.1.1	Netzkopplung und Gateways.....	284
14.1.2	Switching	286
14.1.3	Routing	291
14.1.4	WLAN Access Points	294
14.1.5	Firewalls	295

14.2	Praktisch relevante Übertragungsmedien	297
14.3	Verkabelungstopologien	302
14.4	Bedarfsverkabelung	303
14.5	Strukturierte Verkabelung	307
14.6	Aktuelle Netzwerkklassen bzw. -kategorien	313
14.7	Methodik der Qualitätsmessung und Zertifizierung, Fehlerdiagnostik	318
14.8	Zwischenfragen/Übungsaufgaben	325
14.8.1	Geräte zur Netzkopplung	325
14.8.2	Switched Ethernet	325
14.8.3	Strukturierte Verkabelung	325
15	Ausblick Teil II	327
16	Lösungen zu Zwischenfragen/Übungsaufgaben Teil II	329

III Verarbeitungsorientierte Schichten und Netzerkanwendungen

17	Lernziele Teil III	345
17.1	Voraussetzungen Teil III	346
17.2	Lernziele und vermittelt Wissen	346
18	Verarbeitungsorientierte Schichten	349
18.1	Verzahnung der Sitzungsschicht und Darstellungsschicht	350
18.1.1	Konvertierung und Anpassung von Formaten, Komprimierung und Codecs	350
18.1.2	Verschlüsselung und Datensicherheit	354
18.2	Verzahnung der Anwendungsschicht und Standarddienste	357
18.2.1	Teleconferencing und VoIP	358
18.2.2	Skype	360
18.2.3	Vitero: Online-Tutorien und Videokonferenzen an der HS OWL	362
18.3	Sicherheit in Netzen	365
18.3.1	Kryptoprotokolle	366
18.3.2	Einsatz von Firewalls	367
18.3.3	Collaborative Intrusion Detection Networks – CIDN	369
18.3.4	Kryptografisch abgesicherte Dienste und Protokollstacks	371
18.4	Zwischenfragen/Übungsaufgaben	371
18.4.1	Kommunikationssteuerung	371
18.4.2	Datenaustausch zwischen heterogenen Computersystemen	372
18.4.3	Datenkomprimierung und Codecs	372
18.4.4	Verschlüsselung	373
19	Netzerkanwendungen und mobile Apps	375
19.1	Webanwendungen	376
19.1.1	„Klassisches“ Web	376
19.1.2	Suchmaschinen und Webcrawler	377
19.1.3	Contentmanagment und Wikis, Web 2.0	379
19.1.4	Semantic Web und Web 3.0	381
19.2	Socket-basierte Anwendungen	382

19.2.1	Sockets: konzeptioneller Ablauf	383
19.2.2	Client-Server-Modell für Sockets.	384
19.2.3	Verbindungsorientierter Kommunikationsablauf	385
19.2.4	Verbindungsloser Kommunikationsablauf	387
19.2.5	Abgrenzung zur Middleware	387
19.3	Fernaufrufe: RPC und RMI. Middleware	388
19.4	Asynchrone Nachrichtenübermittlung: MQI	391
19.5	Weitere Techniken verteilter Anwendungen	392
19.6	Mobile Apps	393
19.7	Zwischenfragen/Übungsaufgaben	397
19.7.1	Netzwerkanwendungen und mobile Apps	397
19.7.2	Sockets und Fernaufrufe	399
19.7.3	WWW	399
20	Verteilte Systeme und Cloud Computing	401
20.1	Verteilte Systeme: Transparenz, Architekturen und Leistungsoptimierung	402
20.1.1	Transparenzprinzip	402
20.1.2	Kommunikationsarten in Verteilten Systemen	402
20.1.3	Skalierbarkeit und Verteilungsprinzipien	404
20.1.4	Wandel in Architekturen von Verteilten Systemen: Clustering und Clouds	405
20.1.5	P2P-Systeme	410
20.1.6	Leistungsoptimierung in Verteilten Systemen	411
20.2	Verteiltes Rechnen: Cluster und Grids	414
20.2.1	Verteiltes Rechnen: Einsatz und Leistungsmerkmale	414
20.2.2	Grids vs. Clustering	416
20.2.3	Beschleunigungsfaktoren	417
20.2.4	Allgemeine Architektur des Verteilten Rechnens	421
20.3	Webservices, SoA und IoS	423
20.3.1	Bausteine für die Webservices	423
20.3.2	Abgrenzung zur SOA	424
20.3.3	Zusammenhang „Webservices, Grids, MW und Virtuelle Organisation“	426
20.4	Cloud Computing und XaaS	426
20.5	Netzwerkmanagement und Monitoring	431
20.6	Virtualisierung in Rechnernetzen	436
20.6.1	Virtualisierung als Abstraktionsverfahren	436
20.6.2	Heterogene virtuelle Betriebssysteme	439
20.6.3	Servervirtualisierung. Dienste und dedizierte Server	441
20.6.4	Sandboxing	442
20.6.5	Gegenüberstellung von Virtualisierungsprodukten. Fortgeschrittene Virtualisierungskonzepte	443
20.6.6	SDN – Software-Defined Networking	446
20.7	Fortgeschrittene Konzepte. Internet der Dinge und Fog Computing. Industrie 4.0. Blockchain.	450
20.7.1	Begriffsklärung	450
20.7.2	Kooperation Fog-Cloud	452
20.7.3	Industrie 4.0 und Blockchain	455
20.7.4	Internet of Things (IoT): Architekturen und Basistechnologien	459
20.7.5	Smart Home: Protokolle, Plattformen und Erfahrungen	495

20.7.6	Green IT: Energieeffiziente Konstruktionen und deren Nutzung in Rechenzentren . . .	506
20.8	Zwischenfragen/Übungsaufgaben	524
20.8.1	Verteilte Systeme	524
20.8.2	Netzwerkmanagement mittels SNMP	525
20.8.3	Client-Server-Modell und n-tier-Architekturen.	525
20.8.4	Cloud Computing	525
21	Zusammenfassung	527
22	Lösungen zu Zwischenfragen/Übungsaufgaben Teil III	531
23	Aufgaben zum Komplex I – Übertragungsorientierte Schichten	553
23.1	Dienstelemente für einen abstrakten Telefondienst	555
23.2	Funkübertragungskanal nach Nyquist-Theorem	555
23.3	Multiplexverfahren: Frequenzmultiplex vs. OFDM	555
23.4	Modulationsverfahren.	556
23.5	IP-Adressen und Klassenbildung	556
23.6	Distance Vector Routing	556
23.7	IP – Fragmentierung.	557
23.8	Netto/Brutto-Datenrate in der Schichtenarchitektur.	557
23.9	Internet-Schichtenarchitektur und Netto-/Brutto-Verhältnis	558
23.10	Fehlerbehandlung durch Paritätskontrolle.	558
23.11	Fehlerkorrigierende Codes	558
23.12	Cyclic Redundancy Check (CRC)	559
23.13	Protokolle der Sicherungsschicht	559
23.14	Überlaststeuerung.	560
23.15	Einsatz von IP: Adressen und Subnetze.	560
23.16	Hilfsprotokolle zum Einsatz von IP	561
23.17	Weiterentwicklung von IP: IPng	561
23.18	Quality of Service in der Transportschicht.	562
23.19	Ablauf- und Zustandsdiagramme für die Transportschicht	562
23.20	Übersicht der Netzwerkfunktionen und Kommunikationsschichten.	563
24	Aufgaben zum Komplex II – Netzwerktechnologien und Mobile Kommunikation. Netzkopplung und Verkabelung	565
24.1	Multiprotocol Label Switching (MPLS)	567
24.2	Ethernet und ALOHA: stochastische Medienzugriffsverfahren.	567
24.3	Netzwerktechnologien und WAN-Verbindungen.	567
24.4	Netztechnologievergleich	568
24.5	Kopplungselemente: Transparent Bridges	569
24.6	Strukturierte Verkabelung und Einsatz von Switches als Kopplungselemente (am Bsp. der Vernetzung eines Studentenwohnheims).	569
24.7	Firewall als Kopplungselement.	570
24.8	Satellitenfunk.	570
24.9	Klassen von Satellitensystemen	570
24.10	Frequenzspektrum und Funknetze.	571
24.11	Spektraleffizienz.	572
24.12	Antennentechnik und Funknetze	572
24.13	Freiraumdämpfung/EIRP	573

24.14	FSL-Modelle im Mobilfunk	574
24.15	Weitere Ausbreitungsaspekte in Funknetzen	574
25	Aufgaben zum Komplex III – Verarbeitungsorientierte Schichten und Netzerkanwendungen	575
25.1	Klassische Internetapplikationen	576
25.2	Cloud Computing	576
25.3	Multimediale Netzerkanwendungen und Mobilfunk	577
25.4	SNMP-Management	577
25.5	Architekturwandlung in modernen Verteilten Systemen	577
25.6	Videokonferenzen	579
25.7	Fortgeschrittene Sicherheit in Netzerken: Firewalls und CIDN	580
25.8	Kryptografische Absicherung in den Rechnerkanwendungen	580
25.9	Kryptoprotokolle	582
25.10	Backup und Cloud Backup	584
25.11	Virtualisierungsverfahren in Rechnerkanetzen	585
25.12	Entwicklungstrends in Rechnerkanetzen	586
	Serviceteil	
	Glossar zu den Teilen I-II-III	588
	Literatur	596