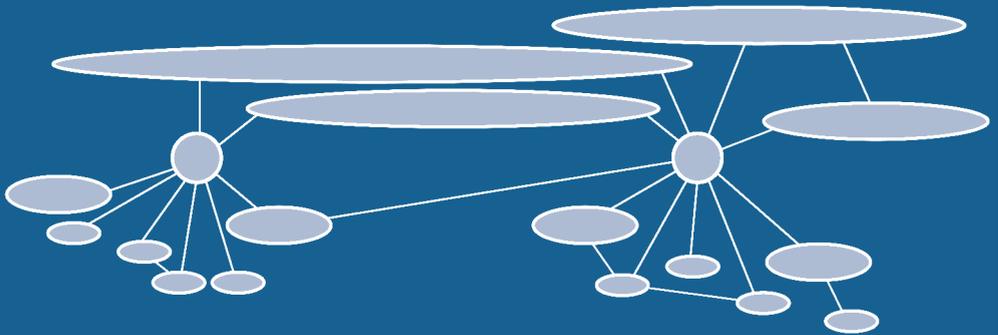


Rolf Herheuser

Planung von Vermittlungsnetzen

Eine Einführung



Rolf Herheuser

Planung von Vermittlungsnetzen

Eine Einführung

v/d/f

vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN: 978-3-7281-3698-5

DOI: 10.3218/3698-5

© 2008, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich

Das Werk einschliesslich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ausserhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt besonders für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Internet: www.vdf.ethz.ch

E-Mail: verlag@vdf.ethz.ch

Vorwort

Telekommunikationsanwendungen und -dienste sind im Alltag sichtbar, denn jeder benutzt sie. Übertragungsnetze sind weniger sichtbar, obwohl einige Übertragungseinrichtungen wie Antennen und Kabelanlagen auffallen. Vermittlungsnetze sind im Vergleich dazu im Alltag unsichtbar und sind doch für die Realisierung der Dienste unabdingbar.

Zielpublikum

Dieses Buch bietet eine nach grundlegenden Themen geordnete Einführung in das Gebiet der Vermittlungsnetze mit Hinweisen zur Planung solcher Netze. Das Buch kann z.B. im Selbststudium oder im Rahmen einer Lehrveranstaltung zu Telekommunikationsnetzen von Nutzen sein. Gewisse Grundlagenkenntnisse sind von Vorteil, wobei die allerwichtigsten Grundlagen in den Anhängen des Buchs kurz dargestellt werden.

Dieses Buch ist aus den Erfahrungen der Lehrtätigkeit des Verfassers entstanden. Es konzentriert sich auf Themen, die für ein tieferes Verständnis der Vorgänge in einem Telekommunikationsnetz die Grundlage bilden und in der Literatur oft nicht explizit dargestellt sind.

Aufbau und Inhalt

Der Inhalt des Buchs besteht aus drei Themenblöcken:

Kurz gefasste Leseempfehlung:

Zur Ergänzung der Vorkenntnisse lesen!

Anhänge A bis C:
Knappe Erläuterung der für den Hauptteil nützlichen Vorkenntnisse.

Anhänge D und E:
Auf diese Tabellen wird im Kapitel 5 verwiesen.

Unbedingt lesen!

Kapitel 1 bis 10: Hauptteil
Hier geht es um die eigentlichen Themen des Buchs, also um Aufgaben, Einrichtungen und Funktionen der Vermittlungsnetze.

Bei Interesse lesen!

Kapitel 11 bis 16:
Einige Technologien, bei denen die Themen des Hauptteils eine Rolle spielen.

Weiteres Übungsmaterial und Fehlerkorrekturen auf der Website www.utb.de bei den Angaben zu diesem Buch.

Der Hauptteil, Kapitel 1 bis 10, behandelt Themen der Vermittlungsnetze:

- Nach einem Überblick im Kap. 1 befassen sich zwei Kapitel mit dem Bau von Übertragungsnetzen und der Multiplexierung der Übertragungskanäle, beides Themen, die auch für das Verständnis der Vermittlungsnetze wichtig sind.
- Kap. 4 führt in die Paket- und Leitungsvermittlung und ihre Auswirkung auf den Nachrichtentransport ein.
- Die drei nächsten Kap. 5 bis 7 befassen sich mit Themen, die für die gute Verkehrsabwicklung eines Netzes wichtig sind: die Bestimmung der Anzahl oder der Bitrate der Kanäle und anderer Ressourcen des Netzes, die Wahl einer geeigneten Netzstruktur und die Vorsorge für den Fall, dass einzelne Netzeinrichtungen ausfallen.
- Die Kap. 8 und 9 betreffen die Adressierung und die Verkehrslenkung eines Netzes. Die vorangehenden Kapitel sind zu einem grossen Teil unabhängig von bestimmten Netztechnologien, während es in den beiden Kapiteln 8 und 9 sinnvoll schien, die Lösung der Adressierung und der Verkehrslenkung bei konkreten Netzen zu betrachten. Als Beispiele wurden das ISDN/Telefonnetz und das Internet herangezogen.
- Kap. 10 gibt einige Hinweise zur Rolle der Dienstqualität und zu Möglichkeiten, die Dienstqualität eines Netzes zumindest für bestimmte Benutzer zu erhöhen.

Die Kapitel 11 bis 16 behandeln als Anwendungsbeispiele einige in der Praxis verwendete Technologien, bei denen einige der Themen der Kap. 1 bis 10 vorkommen.

Die Anhänge A bis C befassen sich mit Grundlagen, die manchen Lesern bekannt sind. Sie können bei Bedarf zu Rate gezogen werden: Grundlagen der Signalübertragung, Grundlagen der Protokollmodelle und Grundlagen der Arbeitsweise programmgesteuerter Systeme.

Gestaltungsmerkmale dieses Buchs

Folgende Eigenschaften sollen den Nutzen des Buchs erhöhen:

- Mit etwa 270 Seiten ist es eine handliche Einführung.
- Die Themen sind ausführlich und aufeinander aufbauend behandelt.
- Viele Abbildungen illustrieren und ergänzen den Text; alle Abbildungen sind im Text erwähnt oder kommentiert.
- Zugunsten des handlichen Umfangs des Buchs und der Konzentration auf Verständlichkeit fehlen mathematische Begründungen und ins Einzelne gehende Protokollbeschreibungen.
- Einige ausgearbeitete Beispiele sind im Text enthalten.
- Fachausdrücke werden auf Deutsch und auf Englisch in einem erklärenden Zusammenhang eingeführt und im Index aufgeführt.

Im Hinblick auf Verständlichkeit und Lesbarkeit beschränkt sich das Buch auf bestimmte Themen. Im Zusammenhang mit Vermittlungsnetzen wurde z.B. auf folgende Themen verzichtet, zu denen es umfangreiche Einzeldarstellungen gibt: Netzmanagement, Schutz vor Angriffen (Security) und besondere Technologien wie ATM, Frame Relay und MPLS. Anwendungen, die zwar Vermittlungsnetze benutzen, aber nicht zu den Funktionen eines Vermittlungsnetzes gehören, wie z.B. Web-Technologien, gehören nicht zum Thema des Buchs; obwohl es sich auf Vermittlungstechnik konzentriert, berücksichtigt das Buch einige Eigenschaften der Übertragungstechnologien, die in Vermittlungsnetzen eine Rolle spielen, nicht jedoch die Übertragungstechnologien des Anschlussnetzes und der Mobilnetze. Ganz allgemein wurde versucht, eine gute Vorstellung von dem zu vermitteln, was sich in einem Netz abspielt, ohne es mathematisch zu begründen und ohne detaillierte Kenntnisse der Protokolle vorauszusetzen.

Verwendung der Fachausdrücke und der Abkürzungen

Der Gebrauch der Fachausdrücke wird in der Telekommunikation durch viele Hersteller, Netzbetreiber und Anwender geprägt, d.h. er ist uneinheitlich. Indem alle wichtigen Ausdrücke in einem erklärenden Zusammenhang eingeführt werden, will dieses Buch zum Verständnis der durch die Ausdrücke bezeichneten Begriffe und Vorstellungen beitragen. Die Ausdrücke sind an der betreffenden Stelle *kursiv* geschrieben; diese Stelle ist im Index angegeben. Über den Index findet sich zu einem deutschen oder englischen Ausdruck auch die Stelle, an der beide Ausdrücke angegeben sind.

In Fällen, in denen kein üblicher deutschsprachiger Ausdruck gefunden wurde, wird auch im Text ein üblicher englischsprachiger Ausdruck verwendet; er wird zum Teil in englischer Schreibweise eingeführt (z.B. routing domain) und dann oft nach deutscher Rechtschreibung und Grammatik geschrieben bzw. dekliniert (z.B. die Routing-Domain).

Abbildungen

Der Text des Buchs weist auf Abbildungen (Grafiken, Tabellen, Fotos) hin und kommentiert zum Teil ihren Inhalt. Nur die drei häufigsten Symbole der Grafiken werden nicht immer erläutert; sie haben gewöhnlich die folgende Bedeutung: Ein kleines Quadrat stellt ein Endgerät dar, ein Kreis stellt eine Vermittlungseinrichtung dar, und eine gerade Verbindungslinie zwischen diesen Elementen stellt eine Übertragungsstrecke, eine Leitung oder einen Kanal dar.

Die Abbildung auf der vorherigen Seite gibt eine Empfehlung für die Lektüre an! Viel Vergnügen beim Lesen!

Inhalt

Vorwort	5
Hauptteil	
1 Dienste und Netze	15
1.1 Themenabgrenzung	15
1.2 Das Netz, ein schillernder Begriff.....	15
1.3 Benutzer, Netzbetreiber, Hersteller.....	17
1.4 Normen und Standards in der Telekommunikation	18
1.4.1 Gerät oder Funktion?	18
1.4.2 Kompatibilität	18
1.4.3 Normen und Standards.....	18
1.4.4 Entstehung der Standards.....	20
1.4.5 Anwendung und Nutzen von Standards.....	20
1.4.6 Produkte für unterschiedliche Standards und Anwendungsfälle	21
1.4.7 Normen- und andere wichtige Organisationen	21
1.4.8 Beispiele langlebiger Netztechnologien	23
1.5 Dienstgüte	23
1.5.1 Begriff der Dienstgüte.....	23
1.5.2 Festlegung, Messung und Verwendung der Dienstgütemerkmale.....	24
1.5.3 Wichtige Merkmale der Dienstgüte	25
1.6 Bau und Erweiterung von Netzen	25
2 Bauten für Telekommunikationsnetze	27
2.1 Themenabgrenzung	27
2.2 Bauliche Einrichtungen des Weitverkehrsnetzes	28
2.2.1 Netzbeispiel	28
2.2.2 Bauten für Übertragungssysteme.....	29
2.2.3 Räumlichkeiten für Telekommunikationsausrüstungen.....	30
2.3 Bauliche Einrichtungen im Anschlussbereich.....	32
2.3.1 Zweck des Anschlussnetzes	32
2.3.2 Die Zweidrahtleitungen des Anschlussnetzes.....	32
2.4 Gebäudeverkabelung.....	34
3 Mehrfachausnutzung der Übertragungssysteme.....	35
3.1 Themenabgrenzung	35
3.2 Signalübertragung	35
3.2.1 Punkt-zu-Punkt-Verbindung	35
3.2.2 Vielfachzugriffskanal.....	37
3.3 Einige Multiplextechniken der Übertragungstechnik	37
3.3.1 Frequenzmultiplex und Wellenlängenmultiplex	37
3.3.2 Zeitmultiplex.....	38
3.3.2.1 Prinzip des Zeitmultiplex.....	38
3.3.2.2 Parameter der Zeitmultiplex-Systeme	40
3.3.2.3 Einfluss eines Zeitmultiplex-Systems auf die Signalübertragungsdauer.....	40
3.3.3 Multiplexierung multiplexierter Signale.....	41

3.4	Realisierung von Halbduplex- und Duplexkanälen	41
3.4.1	Begriff halbduplex/duplex	41
3.4.2	Realisierungsbeispiele für Duplexkanäle.....	42
4	Vermittlungstechniken	45
4.1	Themenabgrenzung	45
4.2	Transfermodi: Oktettstrom oder Pakete?	46
4.2.1	Begriff des Transfermodus.....	46
4.2.2	Vermittlung eines Oktettstroms (Leitungsmodus)	46
4.2.3	Paketvermittlung	48
4.3	Funktionsweise der Paketvermittlung	49
4.3.1	Weiterleitung der Pakete	49
4.3.1.1	Modell der Weiterleitungsfunktion eines Paketvermittlungsknotens	49
4.3.1.2	Zwei Beispiele zur Abschätzung der Übertragungsdauer	51
4.3.2	Verbindungsorientierte und verbindungslose Paketvermittlung	53
4.3.2.1	Verbindungsorientierung	53
4.3.2.2	Eindeutigkeitsbereich der Bezeichnungen	54
4.3.2.3	Verbindungslose Paketvermittlung	54
4.3.2.4	Verbindungsorientierte Paketvermittlung	55
4.3.3	Einige aktuelle Paketvermittlungstechnologien.....	60
4.3.4	Schnittstellen der Paketvermittlungsknoten.....	60
4.4	Funktionsweise der Leitungsvermittlung	61
4.4.1	Nutzkanäle und Signalisierkanäle.....	61
4.4.2	Zeitmultiplex-Vermittlung	62
4.4.3	Empfang und Senden des Synchronisationszeitschlitzes.....	64
4.4.4	Signalisierung	64
4.4.4.1	Signalisierprotokoll.....	64
4.4.4.2	Übertragung der Signalisiermeldungen	65
4.4.5	Eigenschaften leitungsvermittelter Verbindungen	65
4.4.6	Zwei Beispiele zur Abschätzung der Übertragungsdauer	66
4.4.7	Schnittstellen der Leitungsvermittlungsknoten	67
5	Dimensionierung.....	69
5.1	Themenabgrenzung	69
5.2	Ressourcen	69
5.2.1	Einige Ressourcen der Telekommunikationsnetze	69
5.2.2	Mass für die Intensität der Ressourcenbelegung	70
5.2.3	Was heisst Dimensionierung?	71
5.2.4	Behandlung der Belegungswünsche bei Ressourcenmangel	71
5.2.5	Annahmen für die Dimensionierung der Verlust- und Wartesysteme.....	71
5.3	Verlustsysteme	73
5.3.1	Einige Begriffe zu Verlustsystemen.....	73
5.3.2	Dimensionierung von Verlustsystemen.....	75
5.3.3	Weiterführende Beispiele.....	76
5.3.3.1	Verlust bei Verbindungen von Endgerät zu Endgerät	76
5.3.3.2	Auswirkung der Bündelgrösse.....	76
5.3.3.3	Überlaufbündel	77
5.3.3.4	Einfluss der Anzahl der Verkehrsquellen	79
5.4	Wartesysteme	79
5.4.1	Begriffe zu Wartesystemen und zum Verhalten der Wartesysteme.....	79
5.4.2	Berechnungsbeispiel zu Wartesystemen	81

5.5	Ermittlung des Angebots.....	83
6	Topologie der Vermittlungsnetze.....	85
6.1	Themenabgrenzung.....	85
6.2	Verkehrsflüsse.....	85
6.2.1	Beispiel: Schätzung des Verkehrsangebots bei Leitungsvermittlung.....	85
6.2.2	Beispiel: Schätzung des Durchsatzes bei Paketvermittlung.....	87
6.3	Häufig verwendete Netztopologien.....	88
6.3.1	Begriffe.....	88
6.3.2	Durch die Topologie bestimmte Netzeigenschaften.....	89
6.4	Grundformen praktisch verwendeter Netztopologien.....	89
6.4.1	Hierarchisches Netz.....	89
6.4.2	Regional dem Bedarf angepasste Netzhierarchie.....	90
6.4.3	Vermaschung mit Querbündeln.....	90
6.4.4	Flache obere Netzebene.....	92
6.4.5	Doppelter Anschluss eines Knotens an die höhere Netzebene.....	92
6.5	Einige Netzbeispiele.....	93
6.5.1	Leitungsvermittlungsnetz der Swisscom.....	93
6.5.2	IP-Netz von IP-PLUS.....	94
6.5.3	IP-Netz von Abilene.....	95
6.5.4	Vernetzung der Netze.....	95
7	Verfügbarkeit.....	97
7.1	Themenabgrenzung.....	97
7.2	Einige Begriffe der Zuverlässigkeitstheorie.....	98
7.3	Erhöhung der Verfügbarkeit (Übersicht).....	99
7.4	Massnahmen zur Verminderung der Ausfallrate.....	99
7.4.1	Verminderung der Häufigkeit der Frühausfälle.....	99
7.4.2	Verminderung der Häufigkeit der Zufallsausfälle.....	99
7.4.3	Verminderung des Risikos eines Verschleissausfalls.....	100
7.4.4	Vermeidung falscher Handhabung und Bedienung.....	100
7.4.5	Schutz gegen äussere Einwirkungen.....	100
7.4.6	Reparatur redundanter Komponenten.....	101
7.5	Massnahmen zur Verminderung der Ausfalldauer.....	101
7.5.1	Allgemeine Empfehlungen zur Verminderung der Ausfalldauer.....	101
7.5.2	Nichtanrechnung angekündigter Ausserbetriebnahmen.....	102
7.5.3	Nichtanrechnung kurzer Betriebsunterbrüche.....	102
7.6	Massnahmen bei programmgesteuerten Anlagen.....	102
7.6.1	Notwendigkeit guter Programmqualität.....	102
7.6.2	Erkennbarkeit durch Programmfehler bewirkter Ausfälle.....	102
7.6.3	Vorgehen beim Neustart eines programmgesteuerten Systems.....	103
7.6.4	Erkennungsmöglichkeiten für Ablauffehler eines Programms.....	104
7.7	Redundanz.....	105
7.7.1	Eigenschaften redundanter Ausrüstung.....	105
7.7.2	Veranschaulichung mit dem Zuverlässigkeitsblockdiagramm.....	106
7.7.3	Einige Beispiele zur Redundanz.....	107
7.7.3.1	Einfache Rechenbeispiele zu Zuverlässigkeitsblockdiagrammen.....	107
7.7.3.2	Erhöhung der Verfügbarkeit eines Rechnersystems.....	108
7.7.3.3	Erhöhung der Verfügbarkeit eines Übertragungswegs.....	109

8	Adressierung.....	111
8.1	Themenabgrenzung	111
8.2	Allgemeines zur Adressierung	113
8.2.1	Aufbau der Adressen.....	113
8.2.2	Adressverwaltung	114
8.2.3	Adressen und Adressräume mit festgelegter Verwendung.....	115
8.2.4	Beziehung zwischen Adressierung und Verkehrslenkung	115
8.2.5	Adressplanung.....	117
8.2.5.1	Festzulegende Grössen.....	117
8.2.5.2	Beispiele: Adressplanung mit dezimalen und mit binären Adressen	117
8.2.6	Beziehung zwischen Namen und Adressen	120
8.3	Adressierung beim Telefonnetz und beim ISDN	121
8.3.1	Aufbau der Adressen.....	121
8.3.2	Adressverwaltung	123
8.3.3	Adressen und Adressräume mit festgelegter Verwendung.....	123
8.3.4	Beziehung zwischen Adressierung und Verkehrslenkung	124
8.3.5	Adressplanung	124
8.3.6	Beziehung zwischen Namen und Adressen	124
8.4	Adressierung beim Internet-Protokoll Version 4	124
8.4.1	Aufbau der Adressen.....	124
8.4.2	Adressverwaltung	126
8.4.3	Adressen und Adressräume mit festgelegter Verwendung.....	127
8.4.4	Beziehung zwischen Adressierung und Verkehrslenkung	127
8.4.4.1	Adressierbare Schnittstellen	127
8.4.4.2	Netzmasken.....	128
8.4.4.3	Suche des passenden Eintrags der Routing-Tabelle.....	130
8.4.4.4	Default-Eintrag	131
8.4.5	Adressplanung	131
8.4.5.1	Classless Interdomain Routing	132
8.4.5.2	Private Adressen	133
8.4.5.3	Network Address (Port) Translation	133
8.4.5.4	Auflagen bei der Adresszuteilung.....	135
8.4.5.5	Günstige Zuordnung der Präfixe.....	135
8.4.6	Beziehung zwischen Namen und Adressen	137
8.4.6.1	Domain-Namen-System.....	137
8.4.6.2	Domain-Namen.....	137
8.4.6.3	Verwaltung der Domain-Namen	138
8.5	Adressierung beim Internet-Protokoll Version 6	138
8.5.1	Aufbau der Adressen.....	138
8.5.2	Adressverwaltung	140
8.5.3	Adressen und Adressräume mit festgelegter Verwendung.....	140
8.5.4	Beziehung zwischen Adressierung und Verkehrslenkung	142
8.5.5	Adressplanung	142
8.5.6	Beziehung zwischen Namen und Adressen	142
9	Routing	143
9.1	Themenabgrenzung.....	143
9.2	Übersicht	144
9.2.1	Wünschbare Eigenschaften der Routing-Verfahren.....	144
9.2.2	Einige Einteilungskriterien für Routing-Verfahren.....	144
9.2.2.1	Schrittweise oder weitspannende Wegesuche.....	144
9.2.2.2	Automatische Anpassung an Veränderungen des Netzzustands	145

9.2.2.3	Beschaffung der Daten für die Berechnung der Wege.....	145
9.2.2.4	Nicht hierarchisches und hierarchisches Routing.....	146
9.3	Verteiltes Routing im Internet.....	146
9.3.1	Statisches und adaptives Routing im Internet.....	146
9.3.2	Einige Begriffe zu Routing-Protokollen.....	146
9.3.2.1	Metrik.....	146
9.3.2.2	Durchmesser eines Netzes.....	148
9.3.2.3	Routing-Domain, Autonomous System und Area.....	148
9.3.2.4	Anwendungsbereich der Routing-Protokolle und der Router.....	149
9.3.2.5	Route Summarization / Route Aggregation.....	150
9.3.2.6	Multiprotokoll-Routing.....	150
9.3.2.7	Redistribution oder Konversion der Routing-Daten.....	151
9.3.2.8	Distance-Vector-Routing und Link-State-Routing.....	151
9.4	Statisches Routing im ISDN bzw. im Telefonnetz.....	153
10	Einführungs- und Ausbaustrategien.....	155
10.1	Themenabgrenzung.....	155
10.2	Anschlussnetz.....	155
10.3	Ausbaustufung.....	156
10.4	Verteilung der Verkehrsziele.....	157
10.5	Netzweite Umstellungen.....	157
10.5.1	Ziele des Netzbetreibers.....	157
10.5.2	Ersatz oder Overlay.....	158
10.5.3	Umstellung eines Protokolls.....	159
10.5.3.1	Randbedingungen der Protokollumstellung.....	159
10.5.3.2	Umstellung des Protokolls der Vermittlungsschicht.....	160
10.5.3.3	Umstellung des Protokolls anderer Protokollschichten.....	162
Technologiebeispiele		
11	Plesiochrone Digitale Hierarchie (PDH).....	163
11.1	Parameter des Systems PCM-30.....	163
11.2	Schnittstellen der multiplexierten Signale.....	164
11.3	Schnittstellen der Zubringersignale.....	165
12	Synchrone Digitale Hierarchie (SDH).....	167
12.1	Wesentliche Vorteile von SDH im Vergleich zu PDH.....	167
12.2	SDH-Übertragungseinrichtungen.....	167
12.3	Ersatzschaltungen.....	169
12.4	SDH-Netzbeispiel.....	169
13	Lokale Netze (IEEE 802.3 und Ethernet).....	171
13.1	Themenabgrenzung.....	171
13.2	Der Protokollstapel bei IEEE 802.3 und Ethernet.....	171
13.3	Die Bitübertragungsschicht.....	173
13.4	Die MAC-Teilschicht.....	175
13.4.1	Halbduplex- und Duplexbetrieb.....	175
13.4.2	Rahmenformat.....	176

13.4.3	Adressierung	176
13.4.4	Mechanismen für Kollisionsvermeidung und Kollisionsauflösung.....	178
13.4.5	Begrenzung der Netzausdehnung bei Halbduplexbetrieb.....	181
13.4.6	Durchsatz des CSMA/CD-Protokolls	182
13.4.7	Echtzeitfähigkeit	183
13.5	Koppelemente	184
13.5.1	Zweck der Koppelemente in lokalen Netzen.....	184
13.5.2	Repeater	184
13.5.3	Brücke.....	185
13.5.3.1	Aufgaben, Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten	185
13.5.3.2	Transparent Bridges und Source Routing Bridges.....	186
13.5.3.3	Selbstlernende transparente Brücken.....	187
13.5.3.4	Vermeidung von Schlaufen: Spanning Tree Protocol (SPT)	189
13.5.3.5	Verbindung mit höherem Durchsatz: Link Aggregation.....	189
13.5.4	Switch (Layer-2-Switch).....	190
13.5.4.1	Aufgaben, Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten	190
13.5.4.2	Durchsatzanforderungen	191
13.5.4.3	Koppelnetztypen	192
13.5.5	Routing mit Schicht-3-Adressen und Angaben höherer Schichten	193
13.5.5.1	Routbare und nicht routbare Protokolle.....	193
13.5.5.2	Router.....	193
13.5.5.3	Layer-3-Switch	194
13.5.5.4	Layer-4-Switch	194
13.5.5.5	Layer-7-Switch	194
13.6	Adressierung und Konfiguration.....	195
13.6.1	Adressen verschiedener Geräte.....	195
13.6.2	Bei der Paketübertragung benötigte Adressierelemente	195
13.6.3	Ermittlung der MAC-Adresse.....	196
13.6.3.1	Address Resolution Protocol (ARP)	196
13.6.3.2	Ablauf der Adressermittlung innerhalb eines Subnetzes	197
13.6.3.3	Ursprungs- und Zielrechner in verschiedenen Subnetzen	198
13.6.3.4	Ablauf bei Subnetzen mit mehreren Routern	198
13.6.4	Konfigurationsdatenübertragung mit DHCP	198
13.7	Struktur lokaler Netze	199
13.7.1	Notwendigkeit der Strukturierung	199
13.7.2	Verkleinerung der Collision-Domains	199
13.7.3	Dediziertes Segment für stark belastete Geräte	200
13.7.4	Backbone	200
13.7.5	Virtuelle LANs.....	201
13.7.6	Vergößerung der Anschlusszahl und des Durchsatzes.....	203
13.7.7	Redundanz durch duplizierte Switches.....	203
13.7.8	Redundanz durch duplizierte Router	204
13.8	Beispiele lokaler Netze	204
13.8.1	Anforderungen und Entwurfsmöglichkeiten	204
13.8.2	Netzbeispiele ohne Redundanz.....	206
13.8.3	Netzbeispiel mit Redundanz	207
14	Lernen und Verlernen beim DV-Routing	209
14.1	Ausgangssituation	209
14.2	Austausch der Routing-Pakete	209
14.3	Lernen und Verlernen einer Route	210
14.4	Zeitlicher Ablauf des Lernens	210

14.5	Zeitlicher Ablauf des Verlernens	211
15	Vergleich Routing-Protokolle OSPF und BGP	213
15.1	Typ der Routenberechnung	213
15.2	Anwendungsbereich.....	213
15.3	Metrik.....	213
15.4	Einige Protokollfunktionen	213
15.5	Vermeidung von Schlaufen	214
15.6	Reduktion der Ressourcenbelastung	214
15.7	Policy Routing bei BGP.....	216
15.7.1	Policy Routing	216
15.7.2	Beispielnetz.....	217
15.7.3	Verhinderung unerwünschter Wege	217
16	Quality of Service: Dienstgüte nach Wunsch.....	219
16.1	Überblick.....	219
16.2	Wege für die Verbesserung der Dienstgüte	220
16.3	Differentiated Services: dienstspezifische Weiterleitung der Pakete	221
16.4	Integrated Services: reservierte Bandbreite	222

Anhänge

A	Übertragung von Bitfolgen	223
A.1	Prinzip der Nachrichtenübertragung	223
A.1.1	Themenabgrenzung.....	223
A.1.2	Analoge und digitale Grössen.....	223
A.1.3	Signale	224
A.1.4	Übertragungssysteme.....	224
A.1.4.1	Aufbau eines Übertragungssystems.....	224
A.1.4.2	Einige Eigenschaften des Übertragungskanals	225
A.2	Übertragung analoger/digitaler Grössen mit analogen/digitalen Signalen	226
A.2.1	Übertragung analoger Grössen mit analogen Signalen.....	226
A.2.2	Übertragung digitaler Grössen mit digitalen Signalen	226
A.2.2.1	Anzahl Bit: Einheiten und abgeleitete Einheiten	226
A.2.2.2	Codierung digitaler Grössen	227
A.2.2.3	Leitungscodierung	229
A.2.3	Übertragung analoger Grössen mit digitalen Signalen.....	232
A.2.4	Signalübertragung durch Modulation	234
B	Protokolle und Protokollstapel.....	235
B.1	Themenabgrenzung	235
B.2	Begriffe zur Kommunikation mit dem Paketmodus	235
B.3	Ein Beispiel zur Kommunikation mit Protokollen.....	239
B.3.1	Kommunizierende Anwendungen.....	239
B.3.2	Bitübertragungsschicht	239
B.3.3	Sicherungsschicht	240
B.3.4	Vermittlungsschicht	241
B.3.5	Transportschicht.....	242
B.3.6	Anwendungsschicht.....	243

B.4	Ähnliche Mechanismen mehrerer Schichten	244
B.5	Der Protokollstapel des Internets	247
C	Programmgesteuertes Senden/Empfangen	251
C.1	Themenabgrenzung	251
C.2	Arten der Steuerung	251
C.3	Komponenten eines programmgesteuerten Systems.....	251
C.4	Programm, Konfigurationsdaten, Laufzeitdaten.....	253
C.5	Arbeitsweise einer Programmsteuerung	254
C.6	Einfachstes Kommunikationssystem: Prozessor bedient Register.....	255
C.7	Entlastung des Prozessors / Vermeidung von Jitter	256
C.7.1	Sende- und Empfangspuffer	256
C.7.2	Grössere Send- und Empfangsregister.....	257
C.7.3	Datenaustausch über einen gemeinsamen Speicherbereich.....	258
C.7.4	Interruptsystem	259
C.7.5	Steigerung der Verarbeitungsleistung	259
C.8	Überlast und Überlastabwehr.....	260
D	Tabelle für Verlustsysteme	262
E	Tabelle für Wartesysteme.....	263
	Quellenangaben / Bildnachweis	264
	Index.....	266

Hauptteil

1 Dienste und Netze

1.1 Themenabgrenzung

Viele Angaben über Netze sind nicht einfach einzuordnen, zum Teil deshalb, weil mit „Netz“ nicht immer das Gleiche gemeint ist; um einige dieser Bedeutungen geht es zuerst. Dann werden kurz die an Telekommunikationsnetzen Interessierten vorgestellt: Benutzer, Netzbetreiber, Hersteller, Normenorganisationen. Am Ende dieses ersten Kapitels geht es um das, was Benutzer von einem Netz erwarten, um die Qualität der Dienste.

In diesem Kapitel und im ganzen Buch geht es gewöhnlich um Netze mit digitaler Übertragung und digitaler Vermittlung. (Digitale Übertragung: siehe Anhang A; digitale Vermittlung: siehe Kap. 4.)

1.2 Das Netz, ein schillernder Begriff

Für die weltweite Kommunikation stehen heute viele Möglichkeiten bereit: Der interessierte Benutzer wählt, wie er kommunizieren möchte (Sprache, Text, Daten, Bild), wählt ein passendes Endgerät und einen Netzbetreiber, an dessen Netz er sein Gerät anschließen lässt (Abb. 1.2-1 a)).

Das Netz enthält die Einrichtungen, mit denen die weltweite Kommunikation realisiert wird; diese Einrichtungen interessieren den Benutzer oft nicht im Einzelnen, daher ist das Netz hier einfach als „Wolke“ (und an anderen Stellen einfach als Oval) dargestellt. Da bestimmte Netze das Hauptthema dieses Buchs sind, wird der Inhalt der Wolke meistens genauer dargestellt, so wie in Abb. 1.2-1 b) und c). Der *Netzbetreiber* (*network operator*, *network provider*) ist das Unternehmen, das die Einrichtungen des Netzes beschafft, installiert und betreibt und seinen Kunden, den Benutzern, bestimmte Kommunikationsdienste anbietet.

Ein *Dienst* ermöglicht dem Benutzer eine bestimmte Möglichkeit der Kommunikation über ein Telekommunikationsnetz, z.B. die Möglichkeit, Sprache in einer Übertragungsrichtung zu übertragen, oder die Möglichkeit, ein Gespräch zu führen, d.h. Sprache gleichzeitig in beiden Übertragungsrichtungen zu übertragen, oder die Möglichkeit, Dateien zu übertragen. Allein schon für die Übertragung elektronisch bearbeitbarer Texte bieten sich mehrere Dienste an, z.B. die elektronische Post, die Übertragung von Textdokumenten durch Dateiübertragung oder als Anlage zur elektronischen Post und das *World Wide Web* (also die Abfrage eines so genannten *Web-Servers* und die Übertragung von Dokumenten mit verknüpften Texten, Bildern und anderen Medien vom Server zum Rechner des Benutzers).

Bei manchen Diensten sind neben Benutzerendgerät und Netz noch weitere Einrichtungen nötig, um einen Dienst anzubieten, z.B. im Fall der elektronischen Post ein Server, auf dem die elektronische Post zwischengespeichert werden kann; solche Einrichtungen werden vom *Dienstanbieter* (*Service Provider*) betrieben.

Der Benutzer (*user*) kann ein privater Benutzer oder ein Unternehmen sein; auch das Endgerät (*terminal*) gilt in der Telekommunikation als Benutzer des Netzes. Manche Benutzer betreiben nicht nur ein Endgerät, sondern mehrere Telekommunikationseinrichtungen (*customer premises equipment*). Der aktive Teil des Endgeräts, das den Dienst benutzt, ist eine *Anwendung*; sie ist heute in vielen Fällen als Programm (Software) realisiert oder besteht aus der Aktivität der Benutzer im Rahmen ihrer Arbeitsaufgabe.

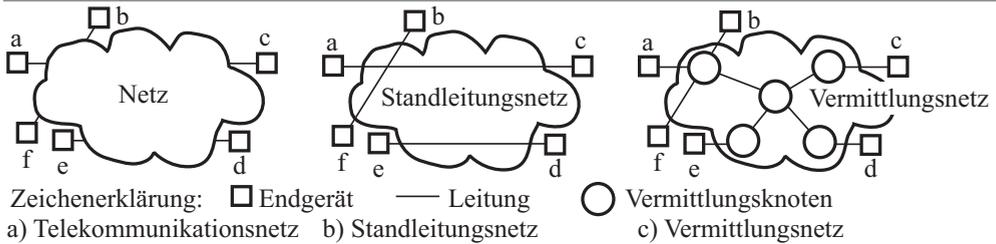


Abb. 1.2-1 Telekommunikationsnetze

Der Begriff *Telekommunikationsnetz* oder einfach *Netz* (*telecommunication network, network*) ist vieldeutig. Einige Unterschiede werden hier angegeben:

Standleitungsnetz/Vermittlungsnetz: Abb. 1.2-1 b) realisiert die Kommunikation durch fest verbundene Leitungen, ein Netz von *Standleitungen* (*private line*); Standleitungen werden auf Wunsch des Benutzers vom Betriebspersonal des Netzbetreibers eingerichtet. Abb. 1.2-1 c) zeigt dagegen ein *Vermittlungsnetz*, also ein Netz, in dem *Vermittlungsknoten* die Kommunikation zwischen beliebigen Endgeräten soduzagen momentan auf Wunsch der Benutzer ermöglichen. Vermittlungsnetze sind das Hauptthema dieses Buchs.

Technologie: Prinzipien der Arbeitsweise technischer Geräte der betreffenden *Technologie*, die es ermöglichen, dass eine grosse Gruppe von Geräten und Einrichtungen grundsätzlich zusammenarbeiten kann. Beispiele verschiedener Technologien von Telekommunikationsnetzen, hier ohne genauere Beschreibung: analoges Telefonnetz, *ISDN* (*Integrated Services Digital Network*), Ethernet, Internet mit dem Protokoll der Version 4, Internet mit dem Protokoll der Version 6, analoges Fernsehen, digitales Fernsehen, Rundfunk mit FM, Rundfunk mit Digital Audio Broadcasting.

Die Kommunikation zwischen Netzen unterschiedlicher Technologie kann zu aufwendigen Lösungen führen.

Öffentliches Netz / privates Netz / virtuelles privates Netz: Fast jedes Unternehmen betreibt heute ein eigenes Netz, zumindest ein Netz für die Informatik mit Arbeitsplatzrechnern und Servern. Ein solches Netz ist in dem Sinn ein *privates Netz*, als es nur den Mitarbeitern des betreffenden Unternehmens zur Verfügung steht (Abb. 1.2-2). Im Gegensatz dazu steht ein *öffentliches Netz* wie das Telefonnetz oder das Internet allen Benutzern offen. Ein anderer Ausdruck für ein privates Netz ist *Unternehmensnetz* (*enterprise network*).

Standleitungsnetze sind wegen ihres eingeschränkten Benutzerkreises private Netze. Auch Vermittlungsnetze können als private Netze betrieben werden. Ein privates Netz kann mit einem öffentlichen Netz verbunden sein (Netz H in Abb. 1.2-2) und bei Bedarf die Kommunikation seiner Benutzer mit Benutzern des öffentlichen Netzes ermöglichen; es kann aber auch vom öffentlichen Netz isoliert sein (I in Abb. 1.2-2). Wenn ein Unternehmen an mehreren Standorten ein privates Netz betreibt, können solche Netze über Standleitungen oder über ein öffentliches Vermittlungsnetz kommunizieren (G1 und G2 in Abb. 1.2-2).

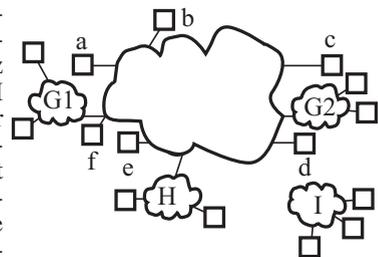


Abb. 1.2-2 Private Netze

Fast jeder kleine Betrieb verwendet eine ganz verschieden benannte Anlage: *Teilnehmervermittlungsanlage* (*TVA*), *TK-Anlage*, *Nebenstellenanlage*, *private automatic branch exchange* (*PBX, PABX*); sie ist der Vermittlungsknoten eines privaten Netzes, dient vor allem dem Telefonverkehr und ist mit dem öffentlichen Netz verbunden.

Die Kommunikation zwischen mehreren Standorten eines Unternehmens soll oft über ein öffentliches Vermittlungsnetz realisiert und trotzdem auf die Kommunikation zwischen den Netzen des Unternehmens beschränkt werden; in Abb. 1.2-2 soll also die Kommunikation zwischen G1 und G2 möglich und zwischen G1 und a oder H unmöglich sein; ein solches privates Netz heisst *virtuelles privates Netz* (*virtual private network, VPN*).

Netz je Netzbetreiber: Im Sprachgebrauch werden die Netzeinrichtungen jedes Netzbetreibers als Netz bezeichnet, so dass z.B. das „weltweite Telefonnetz“ aus den Netzen vieler Länder und (nach der Liberalisierung der Telekommunikation) den Netzen mehrerer Betreiber je Land besteht. Ähnlich besteht das weltweite Internet aus den Netzen vieler Betreiber.

Zwei Beispiele für die Charakterisierung von Netzen:

- Das Informatiknetz der meisten Unternehmen ist heute ein privates Paketvermittlungsnetz mit den Technologien des Internets und der lokalen Netze. Das Informatiknetz eines kleineren Unternehmens ist gewöhnlich mit dem weltweiten Internet über das Netz eines regional oder landesweit tätigen Netzbetreibers verbunden, der seinen Kunden den Zugang zum weltweiten Internet und Diensten des Internets ermöglicht (*Internet-Anbieter, Internet Service Provider, ISP*) verbunden. Das Netz des ISP ist mit den Netzen anderer Betreiber so verbunden, dass weltweit alle Benutzer der Netze mit Internet-Technologie erreicht werden können.
- Ein Festnetzanschluss eines privaten Haushalts ist üblicherweise am öffentlichen leitungsvermittelten Telefonnetz eines bestimmten landesweit oder regional tätigen Betreibers angeschlossen, wobei der Anschluss mit analoger oder ISDN-Technologie ausgerüstet sein kann. Das Netz des Betreibers ist mit den Netzen anderer Betreiber so verbunden, dass Telefonbenutzer weltweit erreicht werden können.

Beim Bau eines Netzes hat ein Unternehmen daher die Auswahl zwischen Netzen unterschiedlicher Technologie und kann oft bei derselben Technologie zwischen mehreren Netzbetreibern wählen.

1.3 Benutzer, Netzbetreiber, Hersteller

Neben den Benutzern und den Netzbetreibern bilden die Hersteller der Endgeräte und der Netzeinrichtungen die dritte grosse und wirtschaftlich bedeutende Gruppe der an Telekommunikation Interessierten.

Benutzer, Netzbetreiber und Hersteller haben verschiedene Ziele, z.B.:

- Die Netzbetreiber möchten unter den für sie geeigneten Diensten und Netzbetreibern auswählen können. Sie möchten Dienste mit ausreichender Qualität (siehe Abschnitt 1.5) und zu angemessenen Preisen benutzen. Sie benötigen Endgeräte und Dienste, die mit den Netzen verschiedener Betreiber und mit den Endgeräten anderer Benutzer reibungslos zusammenarbeiten (siehe Abschnitt 1.4).
- Netzbetreiber beschaffen Telekommunikationsgeräte, installieren, verbinden und konfigurieren das Netz und betreiben es. Die Netzbetreiber möchten als Unternehmen wirtschaftlich erfolgreich sein. Dazu möchten sie einerseits gefragte Dienste in guter Qualität kostengünstig anbieten können, um ihr Netz für Kunden attraktiv zu halten. Andererseits möchten sie aus leistungsfähigen Produkten mehrerer Hersteller auswählen können (siehe Abschnitt 1.4), um die Investitionskosten für ihr Netz gering zu halten. Zur Reduktion der Investitionskosten und zur Qualität der angebotenen Dienste trägt auch die angemessene Menge der beschafften Ausrüstungen und der richtige Aufbau des Netzes bei (siehe vor allem Kap. 5, 6 und 7).
- Die Hersteller sehen sich vielfältigen Wünschen der Endgerätebenutzer und der Netzbetreiber gegenüber. Sie möchten im Allgemeinen eine beschränkte Anzahl von Gerätetypen für einen grossen Markt anbieten (siehe Abschnitt 1.4), wobei sie sich durch günstige oder besonders fortschrittliche oder technisch besonders spezialisierte Produkte auszeichnen können.

Die Erfüllung einiger Wünsche aller genannten Interessengruppen wird durch die Arbeit der Standardisierungsorganisationen (siehe Abschnitt 1.4) und durch Gesetzgeber bzw. Regulierungsbehörden (Österreich [RegAT], Schweiz [RegCH], Deutschland [RegDE] und Liechtenstein [RegLI]) gefördert. Das Thema der Regulierung, also der staatlichen Regelungen der Telekommunikation, wird hier nicht weiter diskutiert.)

1.4 Normen und Standards in der Telekommunikation

1.4.1 Gerät oder Funktion?

Telekommunikationsnetze und Endgeräte bestehen konkret aus Geräten, Einrichtungen, Einschüben, Netzkarten, Programmen und vielem anderen. Wenn es um die Zusammenarbeit solcher Geräte geht, sind Signale und ausgetauschte Daten wichtig, und die konkrete Ausführung der technischen Einrichtungen spielt keine Rolle. Gerade im Zusammenhang mit der Normierung soll die Gestaltung der Geräte den Herstellern überlassen bleiben. Die derart in Bezug auf die technische Ausführung nicht genau beschriebenen Teile, über deren Aufgabe beim Signal- und Datenaustausch etwas ausgesagt werden soll, werden in diesem Buch *Funktion*, *Funktionsblock*, *Funktionseinheit* oder so ähnlich genannt.

1.4.2 Kompatibilität

Zwei Geräte oder ihre Funktionen sind *kompatibel*, wenn sie ohne Einschränkung zusammenarbeiten.

Ein Gerät mit neuen Funktionen ist *abwärtskompatibel* (*downward compatible*, *backward compatible*), wenn es anstelle des älteren eingesetzt werden kann, wobei möglicherweise die neuen Funktionen nicht ausgenutzt werden. Die Berücksichtigung der Abwärtskompatibilität ist ein wichtiger Gesichtspunkt bei der Neuentwicklung eines Geräts. Ein nicht abwärtskompatibles Gerät kann vorerst nur mit der noch geringen Anzahl neuer Geräte zusammenarbeiten; möglicherweise kann es aber auch neue vielversprechende Ideen berücksichtigen.

Zwei Geräte (oder Funktionen) sind *einsatzkompatibel*, wenn ein Gerät anstelle des anderen und das andere anstelle des einen eingesetzt werden kann. Diese Eigenschaft ist wichtig, wenn ein Gerät durch ein ähnliches eines anderen Herstellers ersetzt werden soll oder wenn ein Netzbetreiber Geräte von mindestens zwei Herstellern einsetzen möchte, um nicht von nur einem Hersteller abzuhängen.

Die Hersteller unterscheiden erweiterte oder geänderte Geräte oder Funktionen durch eine Generations- oder Versionsbezeichnung; diese Kennzeichnung allein sagt nichts darüber aus, ob und in welcher Art Geräte mit unterschiedlicher Generation oder Version kompatibel sind und wie schwerwiegend eine Inkompatibilität ist.

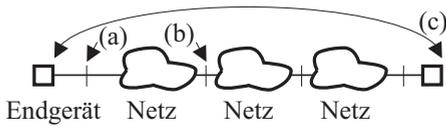
Ein Beispiel für Abwärts- und Einsatzkompatibilität:

- Fernsehgeräte verschiedener Hersteller sind in Bezug auf den Fernsehempfang einsatzkompatibel.
- Bei der Einführung des Farbfernsehens war das Farbfernseh-Sendesignal in Bezug auf die Schwarzweiss-Fernsehempfänger abwärtskompatibel: Die Schwarzweiss-Fernsehempfänger konnten weiterhin benutzt werden, natürlich ohne die neue Funktion der Farbwiedergabe.

Transparenz: Als transparent wird oft ein Mechanismus oder eine Funktion bezeichnet, die die Zusammenarbeit anderer Einrichtungen in bestimmter Hinsicht nicht verändert. Ganz wirkungslos wird eine transparente Einrichtung nicht sein: Eine Fensterscheibe ist in Bezug auf das durchdringende Licht transparent, sie isoliert jedoch gegen Temperaturunterschiede.

1.4.3 Normen und Standards

Durch Normierung werden Geräteeigenschaften und -verhaltensweisen, Vorgehensweisen und die Bedeutung von Ausdrücken festgelegt. Die Normierung fördert vor allem die Kompatibilität der Geräte (siehe auch Abschnitt 1.4.5). Einige Beispiele von Normierungen, die in der Telekommunikation eine Rolle spielen und zum Teil besonders für die Telekommunikation festgelegt wurden (Abb. 1.4-1):



- (d) +22 607 123 4567
- (e) jdeo@isp.com
- (f) Meter (m), Kilometer (km)
- (g) Sekunde (s), Millisekunde (ms), Stunde (h)
- (h) Hertz (Hz), Kilohertz (kHz), Megahertz (MHz)

Abb. 1.4-1 Beispiele möglicher Normierungen

- Signale und Protokolle, die zwischen Endgerät und Netz (a), zwischen Netzen verschiedener Netzbetreiber (b) und zwischen Endgeräten (c) ausgetauscht bzw. verwendet werden
- Schreibweisen für internationale Telefonnummern (d) und E-Mail-Adressen (e)
- Bezeichnung der Masseinheiten und ihrer Abkürzungen für Längenangaben (f), Zeitdauern (g), Frequenzen und Bandbreiten (h). (Masseinheiten für die Verkehrsmenge siehe Kap. 5, Masseinheiten für in Bit gemessene digitale Größen siehe Anhang A.2.2.1.) Bezeichnung der Bruchteile oder Vielfachen der Einheiten wie Mikro (μ) für 1/1000000, Milli (m) für 1/1000, Kilo (k) für das Tausendfache, Mega (M) für das Millionenfache und Giga (G) für das Milliardenfache

Die Ausdrücke *Norm* und *Standard* werden hier gleichbedeutend verwendet.

Normen werden im Allgemeinen von einer Normierungsorganisation erarbeitet, beschlossen und veröffentlicht; ob eine Norm verbindlich eingehalten werden muss oder dem Ermessen eines Herstellers oder eines Netzbetreibers überlassen bleibt, hängt von der Art der Norm und den je nach Land gültigen gesetzlichen Vorschriften ab. Normen über Schutzmassnahmen bei elektrischen Geräten werden wohl überall gesetzlich vorgeschrieben sein, während die Ausrüstung eines Geräts mit bestimmten Protokollen eher dem Hersteller überlassen bleibt.

Manchmal erreichen Eigenschaften der Geräte eines bedeutenden Herstellers oder im Lauf der Zeit üblich gewordene Vorgehensweisen eine ähnliche Bedeutung wie ein Standard einer Normenorganisation; sie heissen *De-facto-Standard* oder *Industriestandard*.

Jeder Hersteller wird die Eigenschaften seiner Geräte genau festlegen; einige Eigenschaften eines bestimmten Geräts werden durch Standards festgelegt, andere durch De-facto-Standards, und wiederum andere werden ohne Bezug zu Standards festgelegt (Abb. 1.4-2).

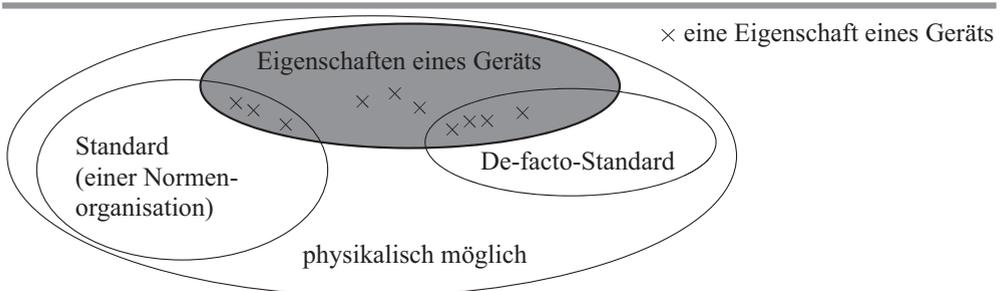


Abb. 1.4-2 Beziehung zwischen Standards und Geräteeigenschaften

Beispiel: Arbeitsplatzrechner: Die seriellen Schnittstelle für den Anschluss eines Modems folgt einem Standard; der Modem kann aber im Rechner eingebaut sein, so dass die serielle Schnittstelle nicht zugänglich ist und der Hersteller die entsprechenden Funktionen nach seinen Vorstellungen gestalten kann. – Der Anschluss ans 230-V-Netz entspricht wohl einem national gültigen Standard. – Die Regeln für die Bedienung der Anwendungsprogramme folgen einem De-facto-Standard des Herstellers des Betriebssystems, so dass alle Programme ähnlich bedient werden können. – Die genauen Abmessungen des Bildschirms sind wohl nicht standardisiert.

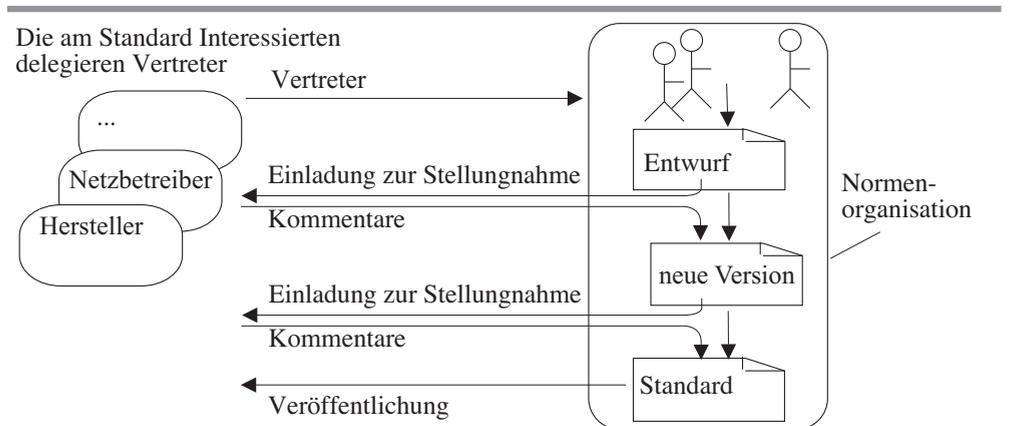
Für viele Eigenschaften oder Funktionen der in der Telekommunikation verwendeten Geräte gibt es mehr als einen Standard oder Varianten innerhalb desselben Standards.

Der Hersteller eines Geräts steht also bei der Entwicklung eines Geräts vor der Frage, ob und welche der vielen Standards er berücksichtigen kann. Bei dieser Entscheidung sind Überlegungen zur beabsichtigten Kompatibilität der Geräte wichtig (Abschnitt 1.4.2).

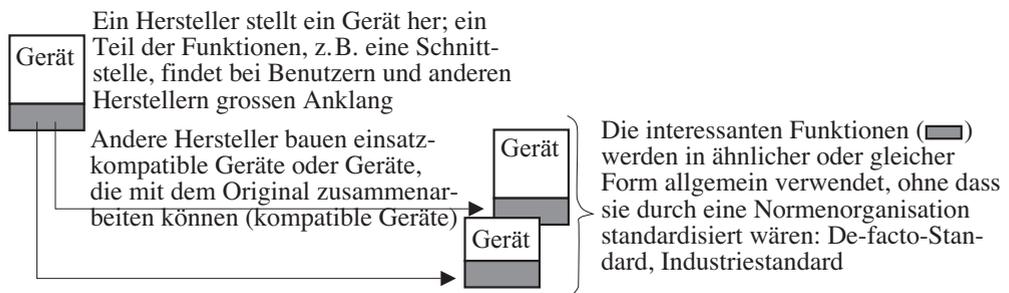
1.4.4 Entstehung der Standards

Die beiden im Abschnitt 1.4.1 genannten Typen von Standards könnten z.B. wie in Abb. 1.4-3 a) und b) entstehen. Jede Standardisierungsorganisation hat ihre eigene Vorgehensweise in Bezug auf ihre Standardisierungsthemen, die Mitarbeit der interessierten Kreise, die bis zur Standardisierung durchlaufenen Stadien eines Standards und die Veröffentlichung.

Manche Standards dokumentieren nur die zu standardisierenden Festlegungen (das ist ja auch ihr Zweck) und geben wenig Erläuterungen oder Begründungen dafür, warum eine Festlegung so und nicht anders getroffen worden ist; das Verständnis des Zusammenhangs und die Interpretation des Standards wird dadurch für den Benutzer der Standards nicht gerade erleichtert. Manchmal gibt es auch Standards mit ausführlichen Erläuterungen und Begründungen.



a) Entstehung einer Norm einer Standardisierungsorganisation



b) Entstehung eines De-facto-Standards

Abb. 1.4-3 Entstehung von Standards

1.4.5 Anwendung und Nutzen von Standards

Standardisierungsorganisationen bemühen sich, nur die für die Kompatibilität der Geräte notwendigen Funktionen zu standardisieren und nicht die übrigen Geräteeigenschaften. Sie lassen dadurch den Herstellern Spielraum für die Entwicklung neuer und dem Markt angepasster Produkte. Abb. 1.4-4 zeigt Möglichkeiten, wie standardisierte Schnittstellen und Funktionen bei Produkten berücksichtigt werden können, wenn die Schnittstellen standardisiert, aber nicht

zwingend zugänglich sein müssen. Der Hersteller kann je nach dem Bedarf seiner Kunden unterschiedliche Gerätetypen anbieten.

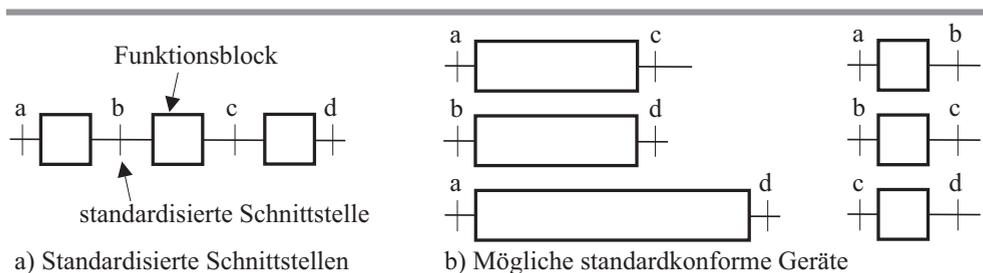


Abb. 1.4-4 Umsetzung eines Standards in verschiedenen Gerätetypen

Meistens ist es dem Hersteller überlassen, welche Standards er berücksichtigen will. In einem von Konkurrenz geprägten Markt werden Hersteller dazu neigen, die wichtigen Standards einzuhalten, um viele mögliche Kunden anzusprechen, d.h. um den Markt für ihre Geräte zu vergrößern. Eine Ausnahme bildet die Situation, in der keine Standards existieren oder diese noch in Arbeit sind: Um den Konkurrenzvorteil früh verfügbarer Geräte zu nutzen, nehmen Hersteller und Benutzer oft in Kauf, dass die Geräte nicht dem späteren Standard entsprechen.

Der Käufer und Benutzer von Geräten mit standardisierten Eigenschaften hat ebenfalls Vorteile: Er kann unter mehreren Gerätetypen wählen, er kann auf Geräte anderer Hersteller ausweichen, er kann ein Gerät mit dem günstigeren Preis auswählen, und der Gerätetyp ist vermutlich über längere Zeit erhältlich.

1.4.6 Produkte für unterschiedliche Standards und Anwendungsfälle

Im Hinblick auf die vielen Standards und die Wünsche ihrer Kunden können die Hersteller durch folgende Massnahmen sowohl versuchen, mit wenigen Gerätetypen auszukommen als auch ihren Kundenkreis zu vergrößern:

- Geräte können für unterschiedliche Einsatzfälle mit unterschiedlichen Baugruppen bestückt werden, so dass der Grundbaustein eines Geräts in allen Einsatzfällen verwendet werden kann.
- Die Funktionen von Geräten oder Baugruppen können durch einfache Schaltungsmassnahmen (z.B. Schalter) umgeschaltet werden.
- Funktionen können programmgesteuert realisiert werden, wobei die passenden Funktionen durch Bedieneingriffe mit der Einstellung entsprechender Daten aktiviert werden oder entsprechend der ausgerüsteten Hardware automatisch aktiv werden.
- Im Standard kann vorgesehen werden, dass sich Funktionen verschiedener Geräte automatisch aufeinander abstimmen, z.B. indem gekoppelte Geräte sich auf ein Protokoll und auf die Version eines Protokolls einigen.

Massnahmen, mit denen die Funktion eines Geräts umgeschaltet, ausgewählt oder angepasst werden kann, werden als *Konfiguration* bezeichnet. Die Möglichkeit, Geräte zu konfigurieren, ist angesichts der Vielfalt der in der Telekommunikation vorkommenden Betriebssituationen besonders wichtig.

1.4.7 Normen- und andere wichtige Organisationen

Jede Standardisierungsorganisation verwendet ein eigenes Bezeichnungssystem für ihre Standards und den Status ihrer Dokumente.

Die Standardisierungsorganisationen führen im Allgemeinen ein Verzeichnis mit der Angabe der Bezeichnung und des Status (z.B. Entwurf, beschlossener Standard, Version) ihrer Standards. Bei manchen Organisationen ist nicht immer klar erkennbar, ob ein Standard in Zukunft nachgeführt wird oder mangels Interesse nicht mehr bearbeitet wird. Nicht erkennbar ist vor allem auch, ob ein Standard in der Praxis noch verwendet wird oder überhaupt einmal verwen-

det worden ist; dies ist eine Sache der Hersteller und des Marktes und nicht der Standardisierungsorganisationen.

Hier eine Liste einiger wichtiger Standardisierungsorganisationen:

International Telecommunication Union (ITU), Telecommunication Standardization Sector (ITU-T) [ITU-T]:

- Die ITU ist eine Unterorganisation der UNO.
- Ein Teil der ITU, eben ITU-T, befasst sich mit der Standardisierung für die Telekommunikation.
- Die Standards heissen Empfehlungen (Recommendations); sie sind in so genannte Serien (nach Gebieten) gegliedert. Jeder Standard wird mit einem Buchstaben und einer Nummer gekennzeichnet, z.B. ist E.164 der Nummerierungsplan für Telefonnetze und ISDN. Der Buchstabe gibt das Gebiet der Normierung an, z.B. Übertragungstechnik, Vermittlungstechnik oder wie hier die Serie E „Netzbetrieb, Telefondienst und Bedienung“.
- Die Empfehlungen sind kostenpflichtig.

International Organization for Standardization (ISO) [ISO]:

- Die Mitglieder der ISO sind die nationalen Normierungsgremien.
- ISO standardisiert praktisch alles, von Schraubengewinden bis zu Geräten der Datenverarbeitung.
- Wichtige Standards, auch für Telekommunikationsanwendungen, betreffen z.B. die Zeichensätze für viele Schriftsysteme.
- Die Standards sind kostenpflichtig.

European Telecommunications Standards Institute (ETSI) [ETSI]:

- Ziel der Organisation sind Standards, die einen einheitlichen europäischen Markt fördern.
- Mitglieder sind Hersteller, Dienstanbieter, Netzbetreiber, Benutzerorganisationen, Forschungsorganisationen aus allen Ländern, die geografisch zu Europa gehören.
- Wichtige Standards: Anpassung der ISDN-Standards für Europa (Euro-ISDN) und Standards für Mobiltelefonie (GSM).
- Der Bezug einiger Standards pro Jahr ist gratis, der laufende Bezug von Standards ist kostenpflichtig.

Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) [IEEE]:

- US-amerikanische Berufsvereinigung von Ingenieuren mit weltweitem Mitgliederstamm.
- Erarbeitet Standardisierungsvorschläge, die oft von ISO übernommen werden. Beispiel: Standards IEEE 802.3 im Gebiet der lokalen Netze.
- Die Standards sind kostenpflichtig. Allerdings ist der wichtige Standard IEEE 802.3 [IEEE 802.3] gratis.

Internet Engineering Task Force (IETF) [IETF]:

- Internationales Gremium, das von Netzplanern, Ingenieuren, Forschern, Vertretern von Herstellerfirmen und anderen getragen wird.
- Bearbeitet technische und betriebliche Probleme des Internets und entwickelt entsprechende Standards; die Dokumente der IETF werden unter der Bezeichnung RFC und einer laufenden Nummer publiziert. Einige dieser RFC-Dokumente sind Standards; der Status jedes RFC-Dokuments ist bekannt (siehe [RFC]).
- Beispiele wichtiger Standards: die Protokolle des Internet-Protokollstapels (TCP/IP).
- Der Bezug der Standards ist gratis.

Standardisierung ausserhalb der etablierten Standardisierungsorganisationen:

- Es kommt immer wieder zu Zusammenschlüssen interessierter Kreise, die auf einem bestimmten Gebiet die Standardisierung in Gang setzen, durchführen oder die schon existierenden Standards erweitern wollen.
- Ein solcher Zusammenschluss heisst oft Forum. Beispiel: Das IP/MPLS-Forum [IPMPLS], das sich mit IP und MPLS befasst.
- Der Bezug der Dokumente bzw. Standards der Foren ist oft gratis.

Auch Netzbetreiber (und viele andere Interessengruppen) arbeiten zusammen und regeln die Zusammenarbeit ihrer Netze, zum Teil in Arbeitsgruppen, die dem Erfahrungsaustausch oder der Regelung der Zusammenarbeit dienen. Beispiele:

- „German Network Operators Group“ (DENO) [DENO]
- „The North American Network Operators' Group“ [NANOG]
- „Swiss Network Operators Group“ (SWINOG) [SWINOG]

1.4.8 Beispiele langlebiger Netztechnologien

Viele Netztechnologien werden viele Jahre lang ohne grosse Änderung oder mit Erweiterungen eingesetzt, so dass es sich lohnt, auch ältere Technologien zu verstehen. Die folgenden Technologien sind z.B. seit über 10 bis 20 Jahren in Betrieb (hier ohne Erläuterung der Technologien):

- Die Übertragungssysteme der plesiochronen und synchronen digitalen Hierarchie.
- Paketübertragungs- und Vermittlungstechnologien: Ethernet, TCP/IP, ATM, Frame Relay.
- Die Leitungsvermittlungstechnik des analogen Telefonnetzes und des ISDN.

Zur Langlebigkeit der Technologien tragen wohl bei:

- Die hohen Investitionen in Netzausrüstungen; die Netzbetreiber möchten sie nicht um kleinerer oder im Moment noch nicht gefragter Vorteile willen ersetzen.
- Das Funktionsprinzip der Netze; je mehr unterschiedliche Dienste eine Technologie unterstützen kann, desto weniger Grund besteht für die Einführung neuer Technologien.
- Die Fortschritte der Hardware- und Softwaretechnologie, die es ermöglichen, leistungsfähigere Netzkomponenten und vielseitigere Endgeräte bereitzustellen.

1.5 Dienstgüte

1.5.1 Begriff der Dienstgüte

Ein *Dienst* bietet dem Benutzer eine bestimmte Möglichkeit der Kommunikation über ein Telekommunikationsnetz an, z.B. die Möglichkeit, Sprache in einer Übertragungsrichtung zu übertragen, oder die Möglichkeit, ein Gespräch zu führen, d.h. Sprache gleichzeitig in beiden Übertragungsrichtungen zu übertragen, oder die Möglichkeit, Dateien zu übertragen.

Es liegt in der Natur eines Telekommunikationsnetzes mit vielen Benutzern und vielen Netzkomponenten, dass ein Dienst nicht immer gleich gut funktioniert. Zwischen der optimalen Diensterfüllung durch das Netz und der Nichterfüllung des Dienstes liegt ein breiter Spielraum der mehr oder weniger guten Erfüllung eines Dienstes. Um diese mehr oder weniger gute Erfüllung eines Dienstes messbar und vergleichbar zu machen, werden gewisse messbare Eigenschaften des Dienstes herangezogen und als Merkmale der *Dienstgüte* (*Quality of Service*) bezeichnet. Beispiele solcher Merkmale sind die Grösse der Verzögerung der übertragenen Sprache und der Anteil der im Netz verfälschten Pakete. Die Merkmale der Dienstgüte eignen sich zur Überwachung der Funktionen eines Netzes und zur Absprache zwischen Netzbetreiber und Netzbenutzer über den zulässigen Wertebereich der Merkmale.

1.5.2 Festlegung, Messung und Verwendung der Dienstgütemerkmale

Beim Umgang mit den Merkmalen der Dienstgüte sind mehrere Aspekte wichtig:

Bezugspunkt der Festlegung und Messung: Netze und Endgeräte beeinflussen die Dienstgüte; daher muss das zu beurteilende Netz logisch abgegrenzt werden und an seinen Grenzen für Messungen zugänglich sein. Im Fall der Abb. 1.5-1 sei die Dienstgüte des öffentlichen Netzes von Interesse, also des Netzes zwischen den UNI-Schnittstellen bzw. zwischen dem öffentlichen und den privaten Netzen.

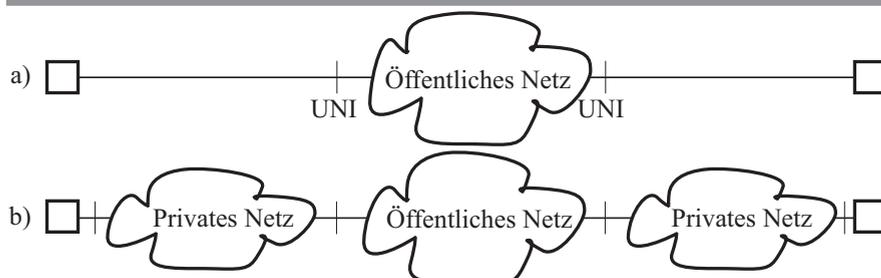


Abb. 1.5-1 Schnittstelle zwischen Netzbenutzer und Netz (User Network Interface, UNI)

Statistische Grössen: Alle Merkmale der Dienstgüte sind statistische Grössen, denn sie beziehen sich nie auf ein einzelnes zufälliges Ereignis, sondern sie sollen das Verhalten in einer so grossen Zahl von Fällen charakterisieren, dass wiederholte Messungen zu einem vergleichbaren Ergebnis führen.

Abhängigkeit von bestimmten Zeitabschnitten oder Situationen: Die Belastung und damit das Verhalten eines Netzes unterliegt oft periodischen Schwankungen. Es gibt einen typischen Belastungsverlauf je Tag, je Woche (siehe Abb. 1.5-2) und manchmal je Jahr. Es gibt ausserdem besondere Belastungssituationen, wenn z.B. das Netz gerade ausgebaut wird oder ein grösserer Ausfall vorkommt; im Beispiel der Abb. 1.5-2 steigt der Durchsatz im Lauf der Monate an; Ende November fand eine Entlastung durch einen gleichen zweiten Kanal statt. Die Dienstgüte interessiert im Allgemeinen zu den Zeiten der vorhersehbaren regelmässigen hohen Netzbelastung.

Durchsatz in Mbit/s (Kanal, der zwei Vermittlungsknoten des Internets verbindet)

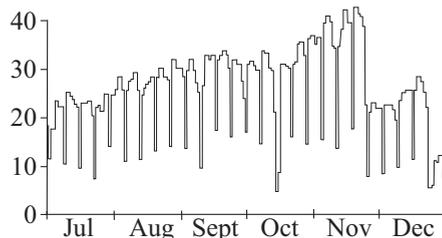


Abb. 1.5-2 Zeitdiagramm

Mittelwert oder Über- bzw. Unterschreitungswahrscheinlichkeit: Die Definition der zu verwendenden Dienstgütemerkmale muss sich nach der Anwendung bzw. dem Dienst richten; wenn z.B. der Durchsatz eines Netzes ab und zu für eine Minute abfällt, ändert sich die Übertragungsdauer einer längeren Datei kaum, aber interaktive Datenbankabfragen sind während dieser Zeit vielleicht kaum möglich. Für die Datenbankabfragen ist daher ein Merkmal, das die Anzahl der Minuten mit geringem Durchsatz misst, angemessener als der Mittelwert des Durchsatzes.

Sollwert und Istwert: Jedes Dienstgütemerkmal kann auf zwei Arten verwendet werden:

- Als Sollwert, also als Anforderung an das Netz, wie sie in einer Abmachung zwischen Netzbenutzer und Netzbetreiber verwendet werden kann.
- Als Istwert, d.h. als Messergebnis, das bei Bedarf mit früheren Messergebnissen oder mit dem Sollwert verglichen werden kann.

Manche Netzbetreiber schliessen mit ihren Kunden einen Vertrag über garantierte Werte bestimmter Merkmale der Dienstgüte ab, ein so genanntes *Service Level Agreement (SLA)*. Ein SLA definiert jedes Merkmal der Dienstgüte, das zugehörige Messverfahren sowie Massnahmen bei der Unterschreitung der garantierten Qualität und natürlich den Preis des

Dienstes, denn der Netzbetreiber leistet für die Einhaltung der abgemachten Dienstgüte mehr Aufwand.

Nicht bei jedem Dienst und nicht bei jedem Netzbetreiber sind SLAs möglich. Die Qualität, die sich bei Diensten ohne Qualitätsgarantie ergibt, heisst *best effort*.

1.5.3 Wichtige Merkmale der Dienstgüte

Abb. 1.5-3 gibt einerseits einige Merkmale der Dienstgüte und andererseits eine grobe Gewichtung der Anforderung für diese Merkmale an; es ist angenommen, dass alle Dienste auf digitaler Übertragung beruhen. Die Gewichtung kann bei mehr oder weniger hohen Ansprüchen anders beurteilt werden; sie hängt auch von der (hier nicht näher erläuterten) Realisierung ab: Wenn z.B. bei den letzten drei genannten Diensten das Netz eine höhere Bitfehler- oder Paketverlustrate hat, können die Endgeräte solche Fehler korrigieren, allerdings auf Kosten der Übertragungsdauer und des Durchsatzes.

Merkmals der Dienstgüte:	geringe Häufigkeit von Bitfehlern und Paketverlusten	kurze Übertragungsdauer	geringe Schwankungen der Übertragungsdauer	hoher Durchsatz
Dienst:				
Telefongespräche	x	xxx	xxx	x
Sprachübertragung (nicht interaktiv) (z.B. Radioprogramme)	xx	xxx	x	x
Bewegtbildübertragung (interaktiv) (z.B. Videokonferenz)	x	x	xxx	xxx
Bewegtbildübertragung (nicht interaktiv) (z.B. Fernsehprogramme)	xx	x	x	xxx
interaktive Textkommunikation	x	x	x	x
elektronische Post	xx	x	x	x
Dateiübertragung	xx	x	x	xx
Massendatenübertragung (z.B. zur Datensicherung)	xx	x	x	xxx

Merkmals soll wie folgt erfüllt sein: x mittel / xx gut / xxx sehr gut

Abb. 1.5-3 Einige Merkmale der Dienstgüte bei verschiedenen Diensten

1.6 Bau und Erweiterung von Netzen

Beim Neubau eines Netzes oder bei seiner Erweiterung muss ein Netzbetreiber die unten aufgeführten Arbeitsschritte in irgendeiner Form ausführen; manche Arbeiten müssen zeitlich aufeinander folgen, andere können je nach Umständen zeitlich überlappen. Hier werden einige der typischen Aufgaben genannt:

Zielsetzung: Hier wird festgestellt, was erreicht werden soll, z.B. welcher Dienst neu eingeführt, welcher Engpass behoben oder welche Technologie neu eingeführt werden soll.

Planung: Während der Planungszeit werden Entscheidungen über die folgenden Arbeitsschritte bezüglich Beschaffung, Bau, Installation, Konfiguration und Testbetrieb getroffen, z.B.: Wo werden Einrichtungen benötigt? Welche? Wie viele (Kap. 5)? Welche Topologie soll das Netz haben (Kap. 6)? Wie gross muss die Verfügbarkeit der Dienste sein und wie soll sie erreicht werden (Kap. 7)? Welches Adressschema wird verwendet und wie werden die Adressen verwaltet und zugeteilt (Kap. 8)? Welche Protokolle werden verwendet, z.B. für die Verkehrslenkung (Kap. 9)? Soll die Dienstgüte durch besondere Massnahmen erreicht werden (Kap. 10)?

Dieses Buch soll vor allem in das Verständnis einiger wichtiger Problemkreise einführen und Hinweise für die Planung geben.

Beschaffung und Bau: Der Hersteller und der Anbieter der gewünschten Ausrüstungen und Programme wird festgelegt. Nach der Bestellung vergeht eine gewisse Zeit bis zur Lieferung. Bis zum Lieferzeitpunkt müssen die baulichen Einrichtungen (siehe auch Kap. 2) bereitstehen.

Installation: Die Netzausrüstungen werden aufgestellt. Die Stromversorgung wird eingerichtet. Kabel zur Verbindung der Ausrüstungen werden angeschlossen. Programme werden geladen (siehe auch Anhang C).

Konfiguration: Die Geräte werden konfiguriert (siehe Abschnitt 1.4.5).

Test: Die Geräte und die Zusammenarbeit der Geräte werden geprüft. Bei grösseren Vorhaben wird eine Testanlage betrieben oder es wird ein Testbetrieb durchgeführt: Ein Teil der neuen Einrichtungen wird, wenn möglich, mit wirklichen Benutzern eine Zeitlang betrieben.

Inbetriebnahme: Die Einrichtungen können von den vorgesehenen Benutzern verwendet werden.

Betrieb: Die Einrichtungen werden verwendet. Während des Betriebs ist es wichtig, die Funktionsfähigkeit des Netzes zu erhalten und Angaben für spätere Um- oder Ausbauten zu gewinnen:

- **Überwachung:** Die Funktion aller Einrichtungen wird je nach ihrer Wichtigkeit laufend geprüft und gemessen: Auftretende Fehler müssen erkannt werden, die von einem Ausfall betroffene Einrichtung muss lokalisiert und der Fehler behoben werden (siehe auch Kap. 7).
- **Adressen** (siehe Kap. 8) werden verwaltet. Die Belastung der Komponenten des Netzes wird erfasst, so dass Erfahrungswerte für die künftige Planung von Ausbauten vorhanden sind (siehe auch Kap. 5); Überlastungen müssen erkannt und die Verkehrslenkung (siehe auch Kap. 9) der Entwicklung des Verkehrs angepasst werden. Abkommen müssen mit den Betreibern benachbarter Netze geschlossen und der Verkehrsaustausch mit diesen Netzen geregelt werden.
- **Betriebliche Daten** werden erfasst für Statistiken, für die Abrechnung mit Benutzern und anderen Netzbetreibern, für die Kontrolle der Dienstgüte (siehe auch Abschnitt 1.5 und Kap. 16).

2 Bauten für Telekommunikationsnetze

2.1 Themenabgrenzung

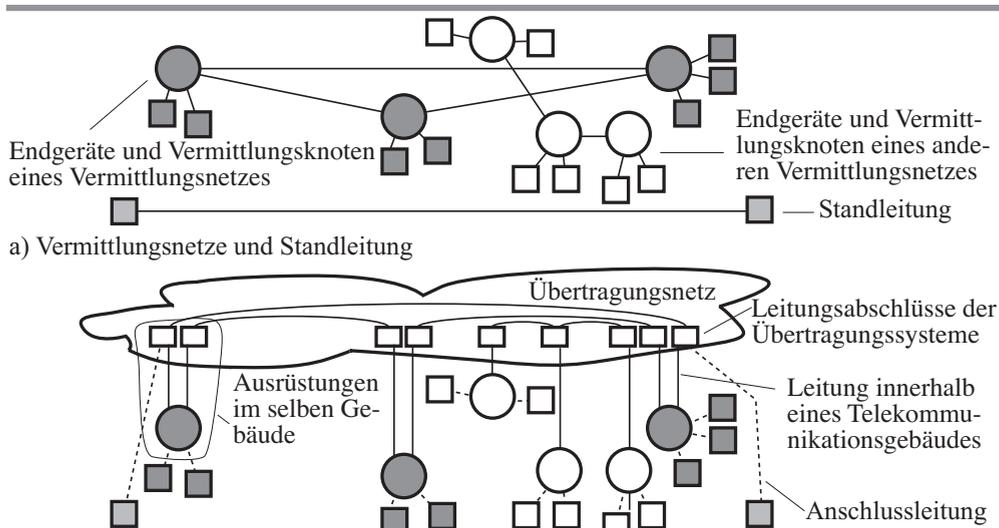
Die baulichen Anlagen eines Telekommunikationsnetzes umfassen einerseits alle Bauten für die Verlegung der Übertragungsleitungen und andererseits alle Bauten und Räumlichkeiten, in denen Ausrüstungen des Netzes untergebracht werden.

Wenn ein Netz neu angelegt oder in grossem Umfang erweitert werden soll, benötigen die baulichen Einrichtungen eine grosse Vorlaufzeit (von bis zu mehreren Jahren) bis zur Inbetriebnahme, also für die Festlegung der Standorte der benötigten Bauten und der Linienführung der Trassen für die Kabel der Übertragungssysteme, für die Klärung der rechtlichen Situation (Eigentumsrechte, Baugenehmigungen etc.) und für den eigentlichen Bau. Die baulichen Einrichtungen sind ein kostspieliger und daher auch langlebiger Teil eines Netzes, so dass sie so geplant werden sollen, dass sie zum grossen Teil weiterhin verwendet werden können, auch wenn die Ausrüstungen des Netzes im Lauf des Wandels der Technologie ersetzt werden.

Im Hinblick auf die baulichen Einrichtungen können Anschlussnetz und Weitverkehrsnetz unterschieden werden:

- *Anschlussnetz*: Es besteht aus den Einrichtungen zwischen den Räumlichkeiten der Netzbewerber und der ersten Übertragungseinrichtung oder dem ersten Vermittlungsknoten. In der Praxis umfasst das Gebiet des Anschlussnetzes einen Bereich von einigen Kilometern im Umkreis der Anschlussvermittlungsknoten.
- *Weitverkehrsnetz*: Es besteht aus den Vermittlungsknoten und den Übertragungssystemen, die weltweit die Einrichtungen des Anschlussnetzes miteinander verbinden.

Das Weitverkehrsnetz ist kein einheitliches Netz. Es gibt mehrere Vermittlungsnetze mit unterschiedlicher Technologie; Abb. 2.1-1 a) deutet zwei davon an. Auch Standleitungen mit mehr als lokaler Ausdehnung zählen zum Weitverkehrsnetz; Abb. 2.1-1 a) zeigt eine davon. In Abb. 2.1-1 b) werden verschiedene Vermittlungsnetze und Standleitungen mit Hilfe der Übertragungssysteme, also mit Hilfe des Übertragungsnetzes, realisiert. Das Übertragungsnetz bietet demnach eigenständige Dienste und dient zusätzlich als Infrastruktur für andere Netze.



b) Realisierung der Netze der Abb. a) mit Hilfe des Übertragungsnetzes
Abb. 2.1-1 Das Netz der Übertragungssysteme als gemeinsame Infrastruktur

Zweck dieses Kap. 2 ist die Nennung und kurze Charakterisierung einiger baulicher Anlagen der Telekommunikationsnetze.

2.2 Bauliche Einrichtungen des Weitverkehrsnetzes

2.2.1 Netzbeispiel

Die Aufgabe des Weitverkehrsnetzes wird vor allem durch Übertragungssysteme und Vermittlungsknoten erfüllt:

Übertragungssysteme transportieren Signale über die gewünschte Entfernung; bei leitergebundener Übertragung werden die an sich schon mit Isolation und Schutzhülle versehenen Leiter geschützt verlegt, um Beschädigungen durch äussere Einflüsse vorzubeugen. An den Endpunkten jedes Übertragungssystems sind Leitungsabschlüsse (Anhang A) für das Senden und Empfangen der Signale nötig. Zwei Endgeräte (oder zwei private Netze), die längere Zeit (Tage, Wochen oder Monate) verbunden werden sollen, können durch die geeignete Zusammenschaltung der Übertragungskanäle weltweit (*Standleitungen*) verbunden werden.

Endgeräte, die nach Bedarf kurzfristig (innerhalb von Sekunden) mit einem von Fall zu Fall ausgewählten anderen Endgerät kommunizieren sollen, werden an ein Vermittlungsnetz angeschlossen: Vermittlungsknoten wählen geeignete Kanäle der Übertragungssysteme zwischen Ursprung und Ziel einer Nachricht aus und verbinden sie.

Abb. 2.2-1 stellt ein einfaches Weitverkehrsnetz auf drei unterschiedliche Weisen dar, wobei schrittweise in diesem Abschnitt 2.2.1 und in den Abschnitten 2.2.2 und 2.2.3 verschiedene bauliche Einrichtungen erläutert werden.

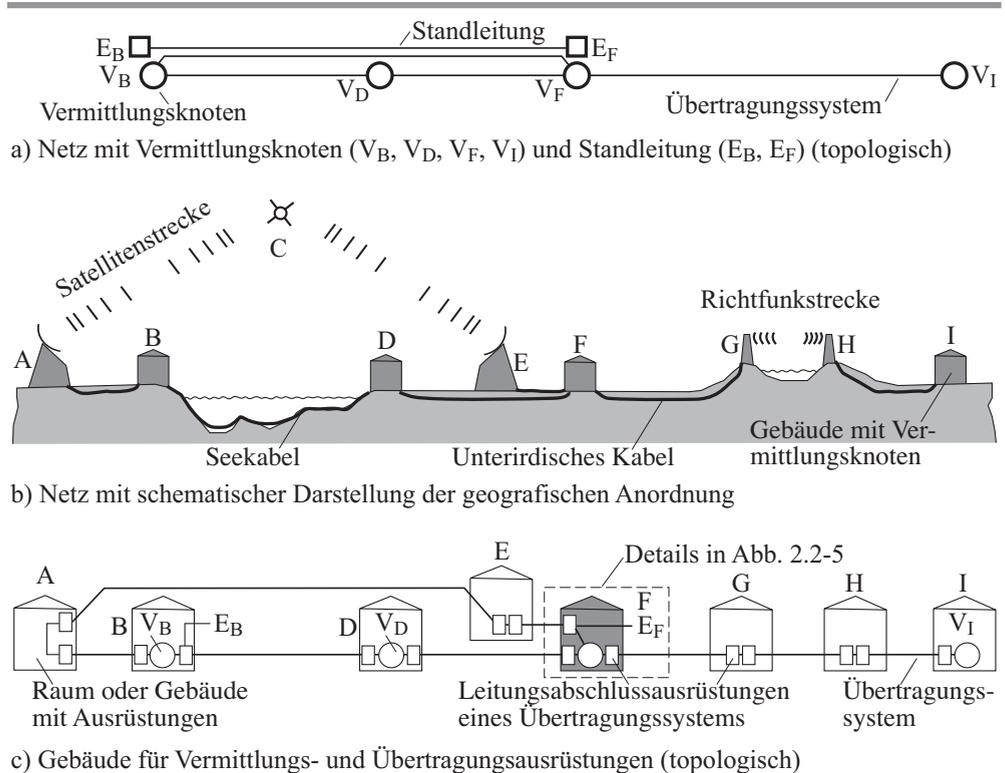


Abb. 2.2-1 Netz in unterschiedlichen Darstellungen

Abb. 2.2-1 a) zeigt ein einfaches Netz in topologischer Darstellung, d.h. ohne die Angabe der räumlichen Ausdehnung und der Lage der Komponenten des Netzes: Die vier Vermittlungsknoten V_B, V_D, V_F und V_I sind durch Übertragungssysteme verbunden und bilden ein Vermittlungsnetz. Die Endgeräte E_B und E_F sind über eine Standleitung verbunden.