

Inhalt

Worum geht es in diesem Band?	7
[1994] Kommunikationssysteme 1	
- Theorie, Entwurf, Messtechnik	11
Aufgaben der Telekommunikation	15
1. Systemtheorie der Telekommunikation.....	21
1. 1. Struktur des Kommunikationssystems	22
1. 2. Das OSI-Referenzmodell	25
1. 3. Aufbau einer Kommunikationsschicht	33
1. 4. Klassifizierung und Funktionsweise von Kommunikationsdiensten	43
1. 5. Arbeitsweise der Instanz.....	55
1. 6. Übungsaufgaben.....	68
2. Bitübertragungsschicht.....	71
2. 1. Dienste der Bitübertragungsschicht	71
2. 2. Übertragungskanäle	75
2. 3. Digitale Übertragung.....	77
2. 4. Bitübertragungsprotokoll am Beispiel der seriellen Schnittstelle V.24.....	103
2. 5. Übungsaufgaben.....	118
3. Sicherungsschicht.....	121
3. 1. Fehlersicherung.....	123
3. 2. Dienste der Sicherungsschicht	137
3. 3. Sicherungsprotokolle.....	141
3. 4. Link Management.....	165
3. 5. Übungsaufgaben.....	188
4. Vermittlungsschicht	191
4. 1. Aufgaben eines Vermittlungsnetzes	191

Inhalt

4. 2. Vermittlungsverfahren.....	194
4. 3. Vermittlungsdienste	204
4. 4. Routing	209
4. 5. Protokollbeispiel : X.25-Paketvermittlung.....	215
4. 6. Übungsaufgaben.....	221
5. Transportschicht	223
5. 1. Dienste	223
5. 2. Transportprotokoll	225
6. Anwendungsbezogene Schichten	235
6. 1. Kommunikation von Anwendungsprozessen	235
6. 2. Anwendungsschicht	237
6. 3. Darstellungsschicht	238
6. 4. Kommunikationssteuerungsschicht.....	240
7. Entwurf von Kommunikationssystemen	247
7. 1. Entwurfsphasen.....	247
7. 2. SDL-Spezifikation.....	248
7. 3. Realisierung in Hardware / Software	288
7. 4. Softwarekonzepte	299
7. 5. Implementierung	319
8. Kommunikationsmesstechnik (KMT).....	341
8. 1. Übersicht und Einsatzgebiete	342
8. 2. Anforderungen an die Kommunikationsmesstechnik	344
8. 3. Messschnittstellen im Kommunikationssystem.....	346
8. 4. Messverfahren und -geräte.....	348
9. Anhang.....	381
9. 1. Standardisierungs- und Normungsgremien	381
9. 2. Liste von CCITT-Empfehlungen	382
9. 3. Liste sonstiger Normen.....	385
9. 4. SDL-Automatensymbole.....	386
9. 5. ASCII-Zeichensatz.....	391
9. 6. Lösungen zu den Übungsaufgaben	391
Glossar	401

[1994] Kommunikationssysteme 1 - Theorie, Entwurf, Messtechnik

Vorwort

Die Kommunikationstechnik hat sich in den letzten Jahren weltweit zu den am stärksten expandierenden technischen Aufgabengebieten entwickelt. Dieser Trend ist durch die rasante Entwicklung der Computer- und Softwaretechnik und durch den zunehmenden Bedarf nach Informationsaustausch zwischen den Rechnersystemen bedingt. Eine Vielzahl bestehender Telekommunikationsnetze sowie lokaler Rechnernetze machen dieses deutlich.

Die Komplexität heutiger Rechneranwendungen erfordert von den sie verbindenden Kommunikationsnetzen einen hohen Komplexitätsgrad, der nur durch den Einsatz von Rechnern und hochintegrierten Telekom-Bausteinen der Mikroelektronik realisiert werden kann. So ist es nicht verwunderlich, dass moderne Kommunikationssysteme in den Vermittlungsknoten und den Endgeräten durch Rechner mit entsprechender Kommunikationssoftware realisiert sind. Kommunikationssysteme und ihre Technik sind damit zum Bindeglied der klassischen Nachrichtentechnik und Informatik geworden. Als Konsequenz hieraus hat sich die Telekommunikation in den letzten Jahren zu einem eigenständigen Fachgebiet entwickelt, mit einer Systemtheorie, spezieller Terminologie, spezieller Entwurfsmethodik und softwaregestützten Entwicklungswerkzeugen sowie einer besonderen Messtechnik.

Die industrielle Praxis zeigt, dass Kommunikationssysteme fast ausnahmslos von Ingenieuren der Nachrichtentechnik und Technischen Informatik konzipiert und realisiert werden. Grundlegendes Wissen der Telekommunikation, ihrer Entwurfsverfahren und messtechnisches Wissen werden deshalb heute bei jedem Ingenieur dieser Fachdisziplin vorausgesetzt. Das vorliegende Buch soll dieses Wissen vermitteln.

Das Buch hat zwei Bände. Dieser **Band I** behandelt die Systemtheorie der Kommunikation und zeigt basierend hierauf systematisch die Schritte zum Entwerfen und Implementieren von Kommunikationssystemen auf. Besonderer Wert wird hierbei auf die Konstruktion der Systeme und das Automatenverhalten ihrer Grundbausteine gelegt. Ausführliche Programmierbeispiele zeigen, wie solche Grundbausteine realisiert werden.

Aufgaben der Telekommunikation

Kommunikation ist ein Vorgang zum Informations- oder Nachrichtenaustausch von Mensch zu Mensch. Der Mensch ist i.a. Erzeuger (Quelle) und Verarbeiter (Sinke) dieser Informationen, wenngleich in zunehmendem Maße als Verarbeiter auch Maschinen in Form von Rechnern an der Kommunikation beteiligt sind. Nach Art der an der Kommunikation beteiligten Quelle und Sinke sind Kommunikationsbeziehungen von Mensch zu Mensch, Mensch zu Maschine und Maschine zu Maschine möglich.

Die Information kann auf verschiedene Arten ausgetauscht werden: als gesprochenes Wort, als geschriebenes Wort, in bildhafter Form, und, wenn Maschinen an der Kommunikation beteiligt sind, als allgemeine Daten. Man unterscheidet grundsätzlich folgende Nachrichtenarten: Sprache, Text, Festbild, Bewegtbild und Daten. Wenn die Informationen über räumliche Entfernungen mit technischen Systemen transportiert werden, nennt man den Informationsaustausch *Telekommunikation*. Im Folgenden soll von dieser Art der Kommunikation gesprochen werden.

Nachrichtenübertragungstechnik

Nachrichtenübertragungssysteme sind technische Systeme, die dem Informationsaustausch zwischen der Quelle und der Sinke dienen. Die Systeme überbrücken die räumliche Entfernung zwischen der Quelle und der Sinke. Ihre wichtigste Aufgabe besteht darin, die Informationen bzw. Nachrichten in elektrische Signale umzuwandeln, diese dann in eine geeignete Form zur Übertragung umzuformen und schließlich die Übertragung zu steuern. Die Signalumformung bezeichnet man als Codierung. Die Codierung stellt die Nachricht als ein physikalisches Signal dar, das sich zur Übertragung über ein Übertragungsmedium (elektrische Leitung, Glasfaserleitung, Luft etc.) eignet.

In der klassischen Betrachtungsweise der Nachrichtenübertragungstechnik wird der gesamte Übertragungsvorgang modellhaft in mehrere Teilfunktionen zerlegt (Bild1). Die aus der Quelle austretende Nachricht wird auf der Sendeseite zunächst mit einem Wandler in ein elektrisches Signal umgeformt. In der Quellencodierung reduziert man Redundanz- und Irrele-

1. Systemtheorie der Telekommunikation

Kommunikation über ein Netz, u.U. auch ein weltweites Netz, erfordert, dass die hieran angeschlossenen Geräte bestimmten, für das betreffende Netz festgelegten Standards entsprechen. Die Geräte müssen einerseits kompatibel zu den Netzschnittstellen und andererseits auch untereinander kompatibel sein. Nationale und internationale Normungsgremien legen diese Standards fest. Im Bereich der privaten Kommunikationsnetze tritt nicht selten eine Standardisierung auch dadurch ein, dass Produkte durch namhafte Hersteller erfolgreich vermarktet werden und andere Hersteller sich dann an diesen, bestehenden Realisierungen orientieren.

Dadurch prägen die Produkte dann einen De-facto-Standard. In jedem Fall verstehen sich die Standards nach deren Veröffentlichung als Realisierungsempfehlungen an die Hersteller von Telekommunikationsprodukten und sind nicht zu verwechseln mit Normen. Anhang 9.1 stellt einige wichtige Standardisierungs- und Normungsgremien, die für die Telekommunikation tätig sind, zusammen.

Die Standardisierung eines Kommunikationssystems behandelt die drei Grundthemen: Struktur, Kommunikationsabläufe und Schnittstellen. Geräte, die innerhalb eines Systems kompatibel miteinander kommunizieren sollen, müssen ähnlich in ihrem funktionellen Aufbau ähnlich sein, d.h. ihre Struktur muss ähnlich sein. Kommunikationspartner können sich nur verständigen, wenn sie vorab Vereinbarungen über die zeitliche und logische Abfolge ihrer Kommunikation getroffen haben. Dementsprechend sind die Kommunikationsabläufe der Geräte zu standardisieren. Und schließlich ist einleuchtend, dass Verbindungsschnittstellen zwischen dem Netz und den Geräten festzulegen sind, damit die Signalübertragung kompatibel ist.

Die Festlegungen haben so zu erfolgen, dass mit den Standards nur ein gewisser Rahmen, nicht aber bereits eine ganz bestimmte Technik vorgeschrieben wird. Eine derartig tiefgreifende Standardisierung ist nicht gewünscht, da sie die Innovation in der Gerätetechnik hemmen würde. Sie ist auch nicht notwendig, wie wir sehen werden. Außerdem muss die Standardisierung immer so erfolgen, dass ein genügender Raum für spätere Erweiterungen bleibt; das Kommunikationssystem muss offen für Geräteerweiterungen bleiben.

2. Bitübertragungsschicht

Die Stationen eines Kommunikationssystems werden durch Übertragungsmedien wie elektrische Kabel, optische Kabel oder Funkstrecken miteinander verbunden. Sie allein gestatten den physikalischen Informationsaustausch zwischen den Stationen. Die zu übertragenden Informationseinheiten sind Bits, die je nach Art des Mediums in der Form von elektrischen, optischen oder Funk-Signalen auf dem Medium dargestellt werden müssen. Aufgabe der Bitübertragungsschicht als unterster Schicht des OSI-Referenzmodells ist es, die mechanischen, elektrischen und funktionellen Mittel für die Bit-Darstellung auf dem Übertragungsmedium bereitzustellen. Die Bitübertragungsschicht umfasst daher die Funktionen der digitalen Nachrichtenübertragungstechnik wie Kanalcodierung und Kanaldecodierung, Regeneration und ggf. Taktübertragung. Diese Funktionen werden zur Hauptsache als Hardware innerhalb spezieller Telekommunikationsbausteine realisiert; die Bausteinststeuerung und die Anpassung an höhere Schichten werden zum Teil in Software gelöst.

2. 1. Dienste der Bitübertragungsschicht

Die Hauptaufgabe der Bitübertragungsschicht ist die physikalische Bitdarstellung für das jeweilig benutzte Übertragungsmedium. Durch Bereitstellung entsprechender

3. Sicherungsschicht

Die Sicherungsschicht soll "Schwachpunkte" der Bitübertragungsschicht mindern. Durch die Instanzen der Sicherungsschicht soll den Netzwerkinstanzen ein höherer Kommunikationskomfort angeboten werden, als es mit der einfachen Bitübertragung möglich ist.

Die Bitübertragungsschicht überträgt einzelne Bits, ggf. auch Bytes. Sie liefert einen Dienst am physikalischen Dienstzugangspunkt, der eine Signal-darstellung für das jeweilig benutzte Übertragungsmedium liefert. Die Bitübertragung ist aufgrund der Kanalstörungen nicht fehlerfrei. Die höchste Resistenz gegen Störungen haben binäre Signale, die als physikalische Darstellungen von Null-Eins-Folgen daher am häufigsten vorkommen. Der Einfluss der Störungen besteht darin, dass der Empfänger gelegentlich eine Eins anstelle einer Null und eine Null anstelle einer Eins erkennt. Abhängig vom gewählten Medium, der Übertragungsgeschwindigkeit und der Störursachen muss mit einer bestimmten Fehlerwahrscheinlichkeit in der Bitübertragung gerechnet werden. Die Sicherungsschicht (engl. data link layer) hat nun die Aufgabe, mit Hilfe technischer Maßnahmen eine *Fehlersicherung* des Bitstromes gegen Bitfehler vorzunehmen. Die Sicherung des Bitstromes geschieht durch Blockbildung und Codierung. Die Funktion der Fehlersicherung bietet den N-Instanzen eine gesicherte Übertragung ihrer Datenblöcke an den DL-Dienstzugangspunkten.

Fehlersicherung ist nicht die einzige Aufgabe der Sicherungsschicht. Weitere Aufgaben der Sicherungsschicht resultieren aus der Organisierung und Nutzung der zur Verfügung stehenden Übertragungswege bzw. Kanäle.

In den meisten Fällen sind Datenstationen über Zweidrahtleitungen miteinander verbunden. Im einfachsten Fall besteht das Datennetz lediglich aus zwei Stationen die über eine Zweidrahtleitung verbunden sind. Wenn nun beide Stationen gleichzeitig senden, würde es zu Kollisionen auf der Leitung kommen. Komplizierter werden die Verhältnisse, wenn drei oder mehr Datenstationen an einer gemeinsamen Zweidrahtleitung betrieben werden. Hier liegt der typische Bus-Betrieb eines lokalen Netzes vor. Es bedarf einer Hierarchie oder der gezielten Abstimmung unter den Stationen, wer, wann das Übertragungsmedium zum Senden benutzen darf, damit es nicht zu Kollisionen kommen kann. Diese Funktion der Datenstationen nennt man

6. Anwendungsbezogene Schichten

Die oberen Schichten 5,6 und 7 fasst man häufig unter dem Begriff anwendungsbezogene Schichten zusammen, im Gegensatz zu den unteren Schichten, den transportbezogenen Schichten. Der Grund hierfür liegt in der Abhängigkeit der oberen Schichten von den Anwendungsprozessen des Kommunikationssystems, während die unteren Schichten viel mehr von den Eigenschaften der Übertragungsnetze geprägt werden. Aus Gründen der Beschränkung wollen wir hier nur eine zusammenfassende Beschreibung der wichtigsten Funktionen dieser Schichten geben; eine umfassende Behandlung dieser Schichten mit ihren vielfältigen und teilweise sehr umfangreichen Protokollen würde den Rahmen dieses Buches sprengen und auch an seiner Zielsetzung vorbeigehen.

6.1. Kommunikation von Anwendungsprozessen

Ursache und Ausgangspunkt der Kommunikation sind Verarbeitungsprozesse innerhalb von Maschinen (Verarbeitungsprogramme auf Rechnern) oder auch die Verarbeitungsprozesse im Gehirn eines Menschen. Man nennt die Prozesse verallgemeinert Anwendungsprozesse. Kommunikation bedeutet, dass die Anwendungsprozesse Nachrichten (Daten) austauschen. Kommunikation hat zwei grundsätzliche Aufgabenbereiche: 1. Anpassung des Datenaustausches, 2. Transport der Daten über räumliche Entfernungen.

Die Notwendigkeit zur Anpassung des Datenaustausches tritt immer dann auf, wenn die Prozesse entweder unterschiedliche Nachrichtenarten verarbeiten und austauschen oder aber die Prozesse gleicher Art sind, aber ihre Daten in unterschiedlicher Form darstellen. Sind die Prozesse darüber hinaus auf räumlich getrennten Maschinen installiert, so muss neben der Anpassung auch der Transport der Daten organisiert werden. Letzteres ist Sache des Transportdienstes und die Funktion der Anpassung liegt in den Instanzen der anwendungsbezogenen Schichten.

Die Abgrenzung der beiden Aufgabenbereiche der Prozesskommunikation seien mit Bild 6.1 verdeutlicht. Man denke sich zunächst zwei unterschiedliche Anwendungsprozesse, z.B. zwei Textverarbeitungsprogramme unterschiedlicher Typen, die auf einem gemeinsamen Rechner ablaufen

7. Entwurf von Kommunikationssystemen

Grundlage der Systemtheorie der Kommunikationssysteme ist das OSI-Referenzmodell. Das Modell, seine Elemente und seine Terminologie sind der theoretische Ausgangspunkt für den Entwurf und die Realisierung eines Kommunikationssystems. Das Modell strukturiert die Aufgaben eines Kommunikationssystems in mehrere Teilfunktionen, definiert Schnittstellen zwischen diesen Aufgaben und legt die grundsätzliche Arbeitsweise eines Kommunikationssystems fest. Das Modell lässt jedoch bewusst die jeweilige, konkrete Realisierung eines Systems offen. Die Umsetzung von der modellhaften, abstrakten Beschreibung eines Kommunikationssystems in ein reales System in Hardware und Software hängt vom Anwendungszweck, von den eingesetzten Produkttechnologien und schließlich auch von den Möglichkeiten des Entwurfsverfahrens und der benutzten Entwurfswerkzeuge ab.

In den folgenden Abschnitten sollen die einzelnen Schritte des systematischen Entwurfs eines Kommunikationssystems bis hin zu seiner Realisierung besprochen werden. Im Vordergrund steht dabei die Entwicklungsmethodik, d.h. wie man dabei vorgeht und welche Mittel dabei einzusetzen sind. Die Methodik soll möglichst allgemeingültig dargestellt werden und wenn nötig, durch Teilbeispiele ergänzt werden. Im Band II soll dann das Erlernete angewendet werden, indem an einem konkreten vollständigen Entwicklungsbeispiel alle Entwicklungsphasen detailliert vorgeführt werden.

7. 1. Entwurfsphasen

Die Entwicklung eines Kommunikationssystems ist ein mehr oder weniger komplexes Projekt und gliedert sich, wie dies auch bei anderen Systemen ähnlicher Komplexität der Fall ist, in mehrere Phasen oder Entwicklungsschritte. Am Ende jeder Phase und vor Beginn der nachfolgenden Phase soll ein klar umrissenes Entwicklungszwischenergebnis vorliegen, um so möglichst frühzeitig Entwicklungsfehler zu erkennen. Grundgedanke einer phasenorientierten Vorgehensweise ist es, die gesamte Entwicklungsaufgabe in nacheinander durchgeführte Einzelaktivitäten zu zerlegen, die für sich genommen überschaubar und deshalb zu möglichst fehlerfreien Ergebnissen führen.

Einhergehend mit der zeitlichen Staffelung des Entwicklungsprojektes ist

8. Kommunikationstechnik (KMT)

Ein Kommunikationssystem besteht aus einer Vielzahl von technischen Komponenten, die untereinander kompatibel sein müssen, damit für die Anwender das Gesamtsystem gemäß ihren Anforderungen funktioniert. Die Systemkomponenten sind die Endsysteme, die Netzknoten bzw. Transitsysteme und die Übertragungsmedien.

Die Funktion des Gesamtsystems setzt die Funktion der einzelnen Komponenten voraus. Wir haben in den vorangegangenen Kapiteln den funktionellen Aufbau der einzelnen Komponenten des Kommunikationssystems beschrieben. Für die Funktion des Systems ist nicht die technische Realisierung einzelner Schnittstellen der Komponenten maßgebend, sondern einzig und allein, dass die beteiligten Geräte die Protokolle der verschiedenen Schichten einhalten. Beispielsweise erfordert die Funktionstüchtigkeit einer Dateneneinrichtung nicht nur, dass Schnittstellenbelegungen, Pegelbereiche und Bitraten in der physikalischen Schicht protokollgemäß eingehalten werden, sondern auch dass die Protokolle der Sicherungsschicht bis hin zur Anwendungsschicht exakt eingehalten werden.

Bedenkt man die Komplexität der Kommunikationssysteme aufgrund ihrer Vielfalt von Anwendungen, Vielfalt von Netzen, Vielfalt von Übertragungsmedien und auch, dass die Komponenten von unterschiedlichen Herstellern stammen, so wird deutlich, dass Kommunikationssysteme in der Praxis eine Vielzahl von Fehlern aufweisen können. Im günstigsten Fall wird ein Fehlverhalten einzelner Komponenten diese nur selbst in ihrer Funktion einschränken, schlimmstenfalls kann es aber auch zum Totalausfall der Komponenten oder gar zu Auswirkungen auf andere Komponenten bis hin zum Zusammenbruch eines Netzes führen. Die meisten Fehler in Kommunikationssystemen treten auf, weil 1. die Spezifikation von Protokollen fehlerhaft oder nicht eindeutig ist, 2. Verkehrslasten im späteren Betrieb auftreten, die nicht geplant sind, 3. Entwicklungsfehler in der Software oder bei der Entwicklung von integrierten Schaltkreisen gemacht werden, 4. Installationen falsch gemacht werden oder Betriebsparameter falsch eingerichtet werden, 5. Hardware-Komponenten im Verlauf des Betriebs ausfallen.

Fragt man nach der Reparierbarkeit der Fehler, so lässt sich sagen, dass die Fehler umso schwerwiegender, sind, je weiter sie in der obigen Reihenfolge