

# Kapitel 2

## Beschreibung des betrachteten Systemaufbaus

Albert Einstein *"The mere formulation of a problem  
is far more essential than its solution,  
which may be merely a matter of mathematical or experimental skills."*

In diesem Kapitel werden leitungsvermittelnde Kommunikationssysteme in einer allgemeinen, z.T. auf die für die folgende Untersuchung abstrahierten Weise beschrieben. Zugleich werden aber die Eigenschaften, welche einen Einfluss auf die Untersuchung haben, in einer umfassenden Art und Weise dargestellt. Durch die Konzentration auf die wesentlichen Eigenschaften leitungsvermittelnder Kommunikationssysteme ist es möglich, allgemeingültige Schlussfolgerungen für die Durchführung von Lasttests zu ziehen. Würde keine hinreichende Abstraktion durchgeführt werden, so wären Schlussfolgerungen nur für eine spezielle Art leitungsvermittelnder Kommunikationssystemen möglich.

Nach der Beschreibung der Eigenschaften leitungsvermittelnder Kommunikationssysteme werden aufgetretene Versagensfälle vorgestellt. Das Auftreten dieser Versagensfälle ist aufgrund verschiedener Randbedingungen beim Test der Systeme mit üblichen Verfahren schwer zu erreichen und folglich sind die Fehler auch schwer zu finden.

In dieser Arbeit wird der Lasttest von Kommunikationssystemen untersucht. Deshalb wird anschließend ein in der Industrie verwendeter Lastgenerator beschrieben. Als Lastgenerator wird ein Gerät bezeichnet, welches ein Kommunikationssystem durch verschiedene Anforderungen belastet.

### 2.1 Leitungsvermittelnde Kommunikationssysteme

Ein Kommunikationssystem kann z.B.

- ein Vermittlungssystem

- ein optisches Übertragungssystem oder
- ein Mobilfunksystem (z.B. GSM-System)

sein. Ein Kommunikationssystem besteht aus mehreren Netzelementen. Ein Netzelement ist

- bei einem Vermittlungssystem eine telefonische Vermittlungsanlage
- bei einem optischen Übertragungssystem eine optische Übertragungsanlage
- bei einem Mobilfunksystem eine Mobilvermittlungsanlage.

In Kommunikationsnetzen werden zwei Arten von Informationen übertragen:

- Nutzinformationen
- Vermittlungstechnische Informationen

In der vorliegenden Arbeit werden die vermittlungstechnischen Informationen betrachtet, d.h. die Informationen, welche für den Verbindungsaufbau und -abbau, Verbindungskontrolle sowie Managementfunktionen nötig sind. Die Nutzinformationen, welche zwischen den Verbindungsteilnehmern ausgetauscht werden, sind für diese Untersuchung nicht von Bedeutung.

Ein Kommunikationssystem ist ein verteiltes System. Dies bedeutet einerseits, dass die Zustandsinformationen in den verschiedenen Knoten des Netzes verteilt sind. Andererseits sind die Zustandsinformationen durch die Signallaufzeiten zwischen den einzelnen Knoten auch oft veraltet. Da sich der Netzzustand z.B. durch den Zusammenbruch einzelner Knoten jederzeit ändern kann, ist eine komplette und globale Sicht des Netzes im allgemeinen nicht möglich.

### 2.1.1 Netzgröße von Kommunikationssystemen

Kommunikationssysteme sind hierarchische oder nicht-hierarchische Netze. Es ist von der Art des Systems abhängig, ob ein Netzelement in einem hierarchischen Netz verwendet wird oder nicht. Übertragungssysteme mit einer hohen Übertragungsrate werden in Netzwerken wie z.B. dem WAN (Wide Area Network) in einem nichthierarchischen Netz verwendet. In dieser Arbeit wird ein nichthierarchisches, leitungsvermittelndes Kommunikationssystem betrachtet. Es besteht aus einer Netzebene mit mehreren Netzelementen, welche in Verbindung zu einem oder mehreren benachbarten Netzelementen stehen. Es handelt sich um ein offenes Netz, d.h. die Anzahl der Nachrichten im Netz variiert.

Im realen Betrieb eingesetzte nichthierarchische Kommunikationssysteme sind i.A. Kombinationen von Netzelementen in den Grundformen Maschennetz, Sternnetz und Ringnetz und können aus mehreren Tausend Netzelementen bestehen.



Abbildung 2.1: Optisches Übertragungssystem des Netzbetreibers Global Crossing (vgl. [22])

Abbildung 2.1 zeigt einen Ausschnitt des Übertragungssystems des amerikanischen Netzbetreibers Global Crossing. Bei der Durchführung von Tests beim Systementwickler derartiger Netzelemente werden Kommunikationssysteme aus Kostengründen nur in deutlich kleineren Netzkonfigurationen getestet. Abbildung 2.2 stellt eine mögliche Konfiguration dar. Sind alle Systeme dieser Konfiguration vollbestückt und kostet ein Netzelement ca. 500 000 €, so kostet ein derartiger Testaufbau aus fünf Netzelementen ca. 2,5 Millionen €.

### 2.1.2 Übertragungsmedium zwischen Netzelementen

Das Übertragungsmedium zwischen den Netzelementen ist von der Art des Kommunikationssystems abhängig. Bei Vermittlungssystemen werden als Übertragungsmedium Koaxialkabel oder Kabel mit Kupferdoppeladern verwendet. Bei optischen Übertragungssystemen werden Lichtwellenleiter verwendet. In leitungsvermittelnden Kommunikationssystemen können diese Kabel eine Länge von mehreren Tausend Kilometern haben.

Obwohl Mobilfunksysteme über die Funkschnittstelle kommunizieren, gehören auch sie zu den leitungsvermittelnden Kommunikationssystemen. Beim Test von

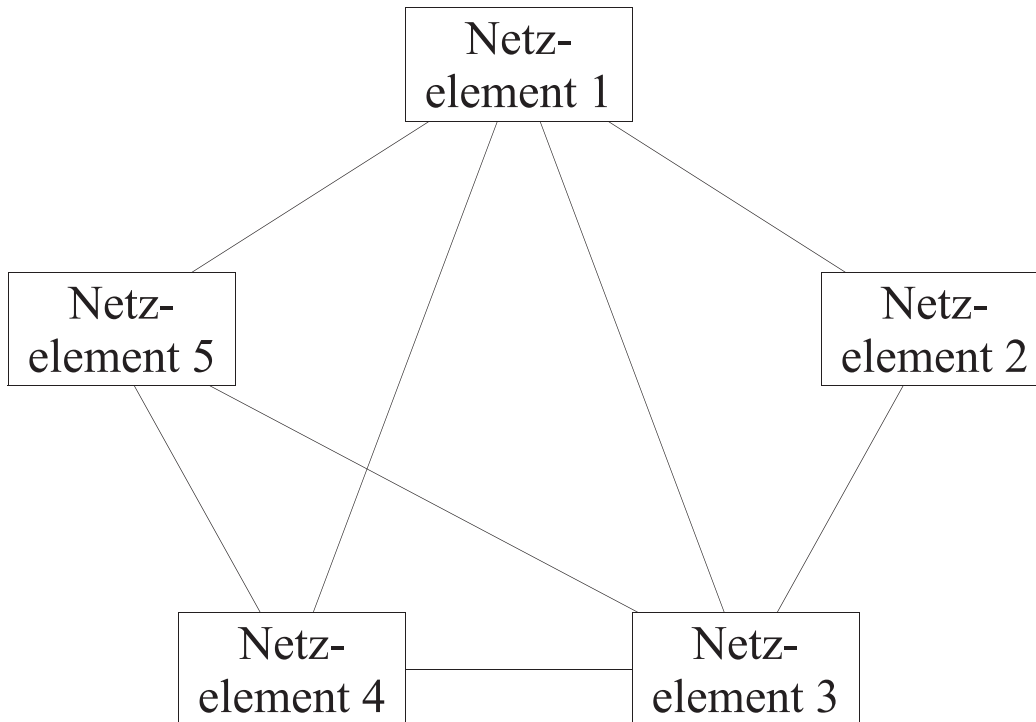


Abbildung 2.2: Topologie eines Kommunikationssystems für die Durchführung von Tests beim Systementwickler

Mobilfunksystemen sind diese sog. „Basisstationen“ meist nur wenige Meter voneinander entfernt. Es werden jedoch ebenso Tests durchgeführt, bei welchen die Entfernungen zwischen den Basisstationen einen Abstand von mehreren Kilometern haben und die daraus resultierenden Funkzellen den realen Zellengrößen entsprechen.

Zur Beschreibung eines Kommunikationssystems ist es jedoch nicht nur von Bedeutung, ob eine physikalische Verbindung zwischen zwei Systemen existiert. Aufgrund physikalischer Restriktionen ist ebenso die Leitungskapazität von großer Bedeutung. Die Leitungskapazität einer Verbindung gibt an, wieviele dynamische Verbindungen gleichzeitig über diese physikalische Verbindung geführt werden können. Bei der Vermittlungstechnik wird durch die Leitungskapazität angegeben, wieviele 64 kbit-Kanäle zwischen zwei Knoten für ISDN-Verbindungen zur Verfügung stehen.

### 2.1.3 Dynamische Verbindungen zwischen Netzelementen

Die Leitungsvermittlung ist eine Vermittlungstechnik, bei der zwischen Sender und Empfänger eine physikalische Leitung über ein Netzelement oder mehrere Netzelemente geschaltet wird. Eine Quelle fordert vom Netz die Herstellung einer durchgängigen Verbindung zu einer gewünschten Senke an. Anschliessend kön-

nen hierüber Nachrichten bis zur Freigabe der Verbindung ausgetauscht werden. Die Leitungsvermittlung wird auch als Durchschaltevermittlung (engl.: circuit switching) bezeichnet. Es können sowohl unidirektionale als auch bidirektionale Verbindungen geschaltet werden. Für die Datenaustauschphase ist bei der Leitungsvermittlung eine feste Punkt-zu-Punkt Verbindung zwischen dem Sender und Empfänger geschaltet. Sie dient der Echtzeitübertragung z.B. von Sprache, Daten oder Video. Die Verbindungen haben eine garantierte Dienstgüte bezüglich Datenrate und Verzögerung. Diese Eigenschaften hängen von der Leitung selbst und nicht von der Netzbelastung ab.

Beim Verbindungsaufbau wird ein fester Leitungsweg gesucht. Dieser wird für die gesamte Dauer der Verbindung reserviert und ausschließlich für die Kommunikation zwischen den beteiligten Partnern genutzt. Die Verbindung steht nach dem Verbindungsaufbau bis zum Verbindungsabbau mit ihrer vollen Übertragungsbandbreite zur Verfügung. Das bedeutet, dass bei der Leitungsvermittlung die nicht benötigte Bandbreite ungenutzt verloren geht. Bei der Leitungsvermittlung fordert ein Sender die Herstellung einer durchgängigen Verbindung zu einem bestimmten Empfänger an und kann nach erfolgreichem Verbindungsaufbau hierüber Daten bis zum Abbau der Verbindung austauschen. Bereits beim Verbindungsaufbau werden Reservierungen vorgenommen. Eine Verbindung über mehrere Netzelemente wird sukzessive, ausgehend vom anfordernden Netzelement, aufgebaut. Der Verbindungsabbau nach Ablauf der Datenaustauschphase kann sowohl vom Sender als auch vom Empfänger initiiert werden.

Der Startknoten einer Verbindung wird auch als A-Seite, der Zielknoten einer Verbindung wird bei Vermittlungssystemen i.A. als B-Seite, bei Übertragungssystemen i.A. als Z-Seite bezeichnet. Im Folgenden wird der Zielknoten einer Verbindung, unabhängig von der Art des Kommunikationssystems, als Z-Seite bezeichnet.

Beim Verbindungsaufbau werden Teilstrecken auch dann reserviert, wenn eine Verbindung letztendlich nicht zustande kommt, weil für eine spätere Teilstrecke keine Leitungskapazität zur Verfügung steht. Ist dies der Fall, so wird die Verbindungsanfrage negativ beantwortet, und die bisher aufgebaute Teilstrecke wieder abgebaut. Es wird kein weiterer Versuch eines Verbindungsaufbaus automatisch initiiert. Der Verbindungsabbau kann sowohl von der A-Seite als auch von der Z-Seite initiiert werden. Die Verbindungen zwischen den einzelnen Knoten werden der Reihe nach abgebaut, die Ressourcen werden freigegeben.

#### **2.1.4 Kommunikation zwischen Netzelementen**

Die Kommunikation zwischen Netzelementen erfolgt über Nachrichten. Sie ist unabhängig von der Leitungskapazität. Existiert eine beliebige Route zwischen zwei Netzelementen eines Kommunikationssystems aufgrund physikalischer Verbindungen, so ist es möglich, zwischen diesen Netzelementen Nachrichten zu versenden. Die Bearbeitung von Nachrichten erfolgt in der Reihenfolge des Eintref-

fens der Nachrichten unter Beachtung der Priorität der Nachrichten. Dies bedeutet, dass Nachrichten niedriger Priorität erst dann bearbeitet werden, wenn keine Nachricht einer höheren Priorität im Netzelement unbearbeitet ist. Nachrichten mit der Information über Signalisierungsfehler haben eine höhere Priorität als z.B. Nachrichten des Bedienrechners. Diese Nachrichten können z.B. Umschaltungen der geschalteten Verbindungen nach sich ziehen, d.h. die Verbindungsdaten werden geändert, die Verbindung wird umgeschaltet.

### 2.1.5 Arten von Netzelementen

Vermittlungssysteme und optische Übertragungssysteme werden im Folgenden als typische Repräsentanten leitungsvermittelnder Kommunikationssysteme näher untersucht.

#### 2.1.5.1 Vermittlungssysteme

Vermittlungssysteme sind z.B. das analoge Vermittlungsnetz oder das ISDN-Netz. Im Folgenden werden nur Systeme mit Outbound-Signalisierung betrachtet. Diese Systeme haben eigene Übertragungswege, welche von den Nutzkanälen unabhängig sind. Diese werden als Zeichenkanäle bezeichnet und sind von der ITU-T als Zeichengabesystem Nr. 7 (engl.: Signalling System No. 7, SS7) in internationalen Empfehlungen beschrieben. Bei diesen Kommunikationssystemen werden i.A. Verbindungen mit kurzer Datenaustauschphase aufgebaut, an welchen meist nur zwei Teilnehmer beteiligt sind. Bei der Übermittlung von Sprache entspricht die Datenaustauschphase der Gesprächsdauer. Die durchschnittliche Dauer einer solchen Datenaustauschphase liegt bei 120 s (vgl. *Siegmund* in [61]). Weitere Aussagen zu Eigenschaften der Gesprächsdauer im realen Netz wurden auch von *Duffy et al.* in [16] gemacht. Durch die Art der Nutzung kommt es in jedem Vermittlungssystem zu sehr vielen Schaltvorgängen pro Tag. Der Schaltvorgang wird vom Gesprächsteilnehmer durch die Wahl der Telefonnummer initiiert. Der Aufbau der Verbindung und die Wahl der Route ist bei Vermittlungssystemen abhängig von der Rufnummer des gewünschten Anschlusses. Abbildung 2.3 beschreibt einen erfolgreichen Verbindungsaufbau einer ISDN-Verbindung.

Vermittlungssysteme haben die folgenden Eigenschaften:

- Die Verbindungen haben kurze Datenaustauschphasen.
- Es finden im Durchschnitt viele Verbindungsaufbauten und -abbauten pro Zeiteinheit statt.
- Zu Spitzenzeiten ist eine extrem hohe Anzahl von Verbindungsaufbauten und -abbauten möglich.
- Beim Ausfall einer Verbindung sind meist nur zwei Nutzer betroffen.