

Eine formale Modellierung von Verbindungsstrukturen in Kommunikationssystemen

Alexander B. Schmidt

**TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN
FAKULTÄT FÜR INFORMATIK**

Eine formale Modellierung von Verbindungsstrukturen in Kommunikationssystemen

Alexander B. Schmidt

**TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN
FAKULTÄT FÜR INFORMATIK**

Technische Universität München
Fakultät für Informatik
Lehrstuhl für Software & Systems Engineering

**Eine formale Modellierung von Verbindungsstrukturen
in Kommunikationssystemen**

Alexander B. Schmidt

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Informatik der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. Dr. h.c. Wilfried Brauer

Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr. Manfred Broy
2. Univ.-Prof. Dr. Jörg Eberspächer

Die Dissertation wurde am 20. November 2002 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Informatik am 2. Juni 2003 angenommen.

Zusammenfassung

Die Entwicklung der Kommunikationstechnologie ist hauptsächlich geprägt durch stets wachsende Übertragungskapazität, immer leistungsfähigere Endgeräte und zunehmend universelle Netze. Darstellung, Verarbeitung, Speicherung und Übertragung von bewegten Bildern, Ton- und sonstigen Daten sind dank moderner Hardware, effizienter Codierverfahren und offener Protokolle heute wesentlich einfacher zu bewerkstelligen als noch vor wenigen Jahren. Hohe Datenraten auf der „letzten Meile“ und neue Internet-Protokolle zur Echtzeitkommunikation über Datennetze erschließen zusätzliche Anwendungsgebiete und Entwicklerkreise. Als Folge davon ist ein deutlicher Impuls bei der Entwicklung und Verbreitung neuer Kommunikationsdienste und anderer, ebenfalls auf Multimediakommunikation basierender Softwaresysteme zu erwarten. Eine erleichterte Verfügbarkeit von Echtzeitkommunikation wird insbesondere die Entwicklung von Diensten fördern, die komplexe Verbindungsstrukturen benötigen, z. B. Sessions mit vielen wechselnden Teilnehmern, wechselnden Verbindungen und beliebigen Kombinationen aus Unicast, Multicast und m:n-Kanälen. Das Management von umfangreichen, hochgradig dynamischen Verbindungsstrukturen stellt einen erheblichen Teil der Komplexität solcher Dienste dar.

Derzeit steht jedoch weder eine Methodik noch ein Formalismus zur Verfügung, um die Funktionalität von Diensten bezüglich ihrer Verbindungsstrukturen unabhängig von der zugrundeliegenden Technologie zum Zwecke der Validierung, Verifikation und der Synthese zu beschreiben. Zwar sehen Multimediastandards und Dienstarchitekturen stets Konzepte zur Beschreibung von Verbindungsstrukturen vor, diese sind jedoch von eingeschränkter Universalität, enthalten keine Semantik zur Definition von Verhalten und sind schwer in Beschreibungstechniken zu integrieren. Die vorliegende Arbeit leistet hier einen Beitrag, indem sie nicht nur einen Formalismus zur abstrakten Beschreibung des statischen Zustands von Verbindungsstrukturen bereitstellt, sondern auch eine Methodik zur Angabe des dynamischen Verhaltens eines Dienstes bezüglich seiner Verbindungen und Sessions. Die Abstraktionen und Schnittstellen des Modells sind dabei so gewählt, daß das Vorgehen modular zu anderen Aspekten des Dienstverhaltens und vollständig dienst- und technologieunabhängig ist.

Zur Beschreibung der Verbindungsstrukturen werden Relationen zwischen Endpunkten und Kanälen verwendet, die eine kompakte Notation aller auftretenden Beziehungen erlauben. Charakteristisch für das Modell ist, daß Verbindungen als Hyperkanten mit mehreren Quellen und Senken dargestellt werden können. Auf diese Weise steht bei der Beschreibung der Topologie von Verbindungsstrukturen der gewünschte Informationsfluß aus Sicht des Dienstes im Vordergrund. Abbildungen auf den beschreibenden Relationen ermöglichen beliebige Operationen auf den Verbindungsstrukturen, deren Ausführung einem System von Berechtigungen unterliegt. Prädikate, Konsistenzbedingungen und die Spezifikation der Abhängigkeiten zwischen den Elementen vervollständigen das Modell.

Die Anwendung des Formalismus in zustandsbasierten Verhaltensspezifikationen von Diensten wird durch die Angabe von zwei Standardtransitionen mit festen Vor- und Nachbedingungen deutlich erleichtert. Dienstspezifische Transitionen werden daraus durch Einsetzen von Abbildungen einer vorgegebenen Signatur instantiiert. Es entsteht ein ausführbares Modell des verbindungsrelevanten Verhaltens von Kommunikationsdiensten, das für den Nachweis von Eigenschaften einer Spezifikation und bei entsprechender Erweiterung zur Synthese realer Systeme verwendet werden kann.

Vorwort

Die Systeme der Telekommunikation nehmen in der Welt der Informations- und Datenverarbeitung eine herausgehobene Stellung ein. Kaum eine andere Technologie vereint ähnlich hohe Anforderungen an Zuverlässigkeit, Performance und Kompatibilität mit den schwierigen Bedingungen eines hochverteilten, heterogen gewachsenen und öffentlichen Systems. Die enormen Investitionen in die Übertragungs- und Vermittlungsinfrastruktur sind nur dann durch Dienste refinanzierbar, wenn deren Entwicklungszyklus mit den ständig wachsenden Anforderungen des Marktes Schritt halten kann. Die Forschungsergebnisse aus Informatik, Mathematik sowie den Ingenieur- und Naturwissenschaften müssen dazu laufend in den Entwicklungsprozeß von Produkten und Diensten der Kommunikationstechnologie einfließen.

In diesem Sinne leistet die vorliegende Arbeit einen Beitrag dazu, indem sie einen zunehmend komplexeren Aspekt von Kommunikationssystemen ein wenig beherrschbarer macht: die Verbindungsstrukturen von Diensten, die uns in künftigen Systemen deutlich flexibler und vielseitiger begegnen werden, als dies heute möglich ist.

Entstanden ist diese Arbeit größtenteils während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Software & Systems Engineering der Fakultät für Informatik der Technischen Universität München. Dessen Leiter, Prof. Dr. Manfred Broy, möchte ich an dieser Stelle für das kreative Umfeld aus Forschungstätigkeit und Industriekooperationen und natürlich für die Betreuung und die Anregungen zu dieser Arbeit danken. Meinen damaligen Kollegen am Lehrstuhl, insbesondere Max Breitling, Ingolf Krüger, Jan Philipps, Alexander Pretschner, Chris Salzmann, Bernhard Schätz und Katharina Spies danke ich nicht nur für konkrete Unterstützung, sondern auch für eine stets anregende Arbeitsatmosphäre.

Viele Ideen zu dieser Arbeit entstammen der Kooperation mit dem Lehrstuhl für Kommunikationsnetze der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der TUM. Mein Dank gilt hier Prof. Dr. Jörg Eberspächer für die Übernahme des Zweitgutachtens sowie Wolfgang Kellerer und Peter Sties für deren Anregungen und Einsichten aus der Welt der „realen“ Kommunikationssysteme.

Die Schlußphase dieser Arbeit verlief parallel zu meiner Tätigkeit für BetaResearch. Hier möchte ich vor allem Ingo Barth für Durchsicht und Anregungen danken.

München, im November 2002

Alexander B. Schmidt

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Vorgehensweise	5
3	Dienste, Architekturen und Formalismen der Telekommunikation	7
3.1	Telefonie	7
3.1.1	Analoge Telefon- und erste Datennetze	7
3.1.2	ISDN	8
3.1.3	Das Intelligente Netz	9
3.1.4	Mobilfunknetze	10
3.1.5	Schnittstellen zur Netzinfrastruktur	11
3.2	Architekturen für Multimediadienste	12
3.2.1	Breitband-ISDN	12
3.2.2	Die TIN-Architektur	13
3.2.3	Multimediadienste über IP-Netze	15
3.2.4	T.120: Multimedia Conferencing	16
3.3	Formale Methoden in Kommunikationssystemen	17
3.3.1	Formale Spezifikationen	18
3.3.2	Abstrakte Modelle für Kommunikationssysteme	19
3.3.3	Abstrakte Verbindungsstrukturen in TINA	20
4	Dienste in verteilten Systemen	22
4.1	Geläufige Interpretationen von „Dienst“	22
4.1.1	Dienste der Telekommunikation	22
4.1.2	Dienste in Rechnernetzen	25
4.1.3	Die Besonderheit der Dienste des Internet	26
4.1.4	Eigenschaften der Interpretationen von „Dienst“	28
4.2	Eine alternative Deutung des Begriffs „Dienst“	29
4.2.1	Herleitung und Definition	30
4.2.2	Eigenschaften	31
4.2.3	Einbettung bestehender Dienste	32
5	Dekomposition und Abstraktion von Kommunikationsdiensten	33
5.1	Klassifizierung übertragener Daten	33
5.1.1	Kategorien von Signalisierungsdaten	34
5.1.2	Äquivalenz durch Dekomposition	35
5.2	Klassifizierung der Verarbeitung von Daten	36

5.3	Zusammenfassung der Klassifizierungen	38
5.4	Vereinfachung durch Abstraktion	39
6	Relationale Beschreibung von Verbindungsstrukturen	41
6.1	Eigenschaften des Modells	41
6.2	Einbettung in eine Gesamtarchitektur	43
6.3	Beschreibung durch relationale Strukturen	46
6.4	Verbindungen als Hypergraphen	49
6.4.1	Darstellung und Eigenschaften	50
6.4.2	Beschreibungsvarianten und Wohlgeformtheit	52
6.5	Beschreibung großer Systeme	55
6.5.1	Eigenschaften von Sessions	55
6.5.2	Sessions als Teilstrukturen	56
6.5.3	Strukturierung in mehrere Sessions	58
6.5.4	Weitere Eigenschaften von Sessions	60
6.6	Beispiele spezieller Teilmengen und Eigenschaften von Verbindungsgraphen .	61
6.7	Transformationen von Verbindungsgraphen	63
6.7.1	Relationen auf den Trägermengen	63
6.7.2	Homomorphismen	64
6.7.3	Strukturerhaltung im Sinne von Kommunikation	66
6.7.4	Exkurs: Ausdrucksstärke abstrakter Relationenalgebren	71
7	Dynamische Verbindungs- und Sessionstrukturen	72
7.1	Aufbau und Instantiierung von Standardtransitionen	72
7.2	Abbildungen zur Modifikation der Verbindungsstruktur	74
7.2.1	Auf- und Abbau von Verbindungen	75
7.2.2	Verschieben von Verbindungen	77
7.2.3	Duplizieren von Kanälen	79
7.2.4	Zusammenfassen von Kanälen	80
7.2.5	Aufspalten von Kanälen	81
7.3	Korrektur modifizierter Verbindungsstrukturen	86
7.4	Abbildungen zur Modifikationen der Sessionstruktur	87
7.4.1	Erzeugen von Sessions	89
7.4.2	Löschen von Sessions	89
7.4.3	Vereinigung von Sessions	90
7.4.4	Aufteilen von Sessions	91
7.4.5	Erweitern von Sessions	91
7.4.6	Reduktion von Sessions	92
8	Berechtigungen	93
8.1	Auswahl dienstunabhängiger Berechtigungen	93

8.2	Modellierung von Berechtigungen	94
8.2.1	Darstellung und Eigenschaften	94
8.2.2	Einbettung als Vorbedingung	96
8.2.3	Beispielkonstellationen	97
8.3	Grundmuster von Berechtigungen	99
8.3.1	Häufig vorkommende Berechtigungen	99
8.3.2	Häufig vorkommende Bedingungen und Teilmengen	101
9	Dynamische Berechtigungen	103
9.1	Allgemeine Berechtigungsanpassung in Transitionen der Verbindungsstruktur	103
9.2	Spezielle Berechtigungsanpassungen in Transitionen	105
9.2.1	Grundlage der speziellen Berechtigungsanpassungen	105
9.2.2	Spezielle Berechtigungsanpassungen in Transitionen der Verbindungsstruktur	107
9.2.3	Spezielle Berechtigungsanpassungen in Transitionen der Sessionstruktur	112
10	Spezifikation von Diensten	114
10.1	Zusammenfassung der Bausteine	114
10.1.1	Relationale Beschreibung des Systems	114
10.1.2	Dynamische Strukturen	116
10.2	Anwendung zur Spezifikation	118
10.2.1	Erweiterung der Transitionen	118
10.2.2	Notation	119
10.3	Beispiel: Unidirektionaler Hyperkanal mit Administrator-Endpunkt	120
10.3.1	Beschreibung des Zustandsübergangssystems	121
10.3.2	Spezifikation der Transitionen	122
11	Ausblick	127
	Literatur	128

1 Einleitung

Bereits Ende des 18. Jahrhunderts wurde entdeckt, wie durch Verbindung von Leidener Flaschen mit einem Elektrometer Spannungsimpulse sichtbar gemacht werden können. Da der erzielte Effekt unabhängig von der Länge des Drahtes war, wurde er daraufhin zur Konstruktion der ersten Telegrafen verwendet. Im Laufe des 19. Jahrhunderts folgten Erfindungen zur Übertragung von Buchstaben und Faksimiles und ab 1858 der Telegrafverkehr über den Atlantik.

Die Übertragung von Sprache geht auf eine Erfindung von Philipp Reis aus dem Jahr 1860 zurück, die es ermöglichte, „Töne aller Art durch den Strom in beliebiger Entfernung zu produzieren“. Nachdem Alexander Graham Bell 1876 sein Telefon in den USA zum Patent angemeldet hatte, wurde in Deutschland 1877 mit dem Aufbau eines landesweiten Telefonnetzes begonnen [36]. Im Laufe der Jahrzehnte entstand aus diesem zunächst von Hand, später dann elektromechanisch vermittelten Netz die vollständig digitalisierte und softwaregesteuerte Kommunikationsinfrastruktur, wie sie heute vorhanden ist. Parallel zum Ausbau des öffentlichen Telefonnetzes begann vor etwa vier Jahrzehnten das Zeitalter der digitalen Datenkommunikation. Seitdem ist die Verbindung entfernter Rechner nicht nur zu einem unverzichtbaren Verkehrsweg in Forschung, Verwaltung und Geschäftswelt geworden, sondern auch zu einem populären Alltagsmedium.

Seit der Digitalisierung von Übertragungs- und Vermittlungstechnik konvergieren die ursprünglich separaten, dienstspezifischen Netze zu universellen Kommunikationsnetzen für nahezu beliebige Anwendungen. Diese Digitalisierung, die auch Darstellung und Speicherung der kommunizierten Daten in den Endgeräten umfaßt, hat zur Folge, daß der Informatik eine Schlüsselrolle bei der Realisierung von Kommunikationsnetzen und ihren Anwendungen zukommt. Die technologische Vielfalt des Themas berührt viele theoretische wie praktische Gebiete der Informatik im weitesten Sinne. Insbesondere erfordert die außerordentlich hohe Komplexität von Kommunikationstechnologie den Einsatz von Methoden des Software- und System-Engineering.

Ein Teilgebiet des Software-Engineering befaßt sich mit der Bildung abstrakter, vereinfachender Modelle, die zur Analyse oder Synthese realer Systeme verwendet werden können. Insbesondere in den frühen Phasen eines Entwicklungsprojektes ist es hilfreich, das grundlegende Verhalten eines Systems anhand eines abstrakten Modells vorab zu verifizieren und zu simulieren. Im Idealfall kann dann das abstrakte Modell unter Erhaltung seiner Eigenschaften schematisch in eine konkrete Realisierung überführt werden. Je exakter eine solche Modellbildung ist, umso leichter fällt die Automatisierung dieser Prozesse.

In der vorliegenden Arbeit wird für das Verhalten von Kommunikationsdiensten bezüglich ihrer Verbindungsstrukturen ein Modell entwickelt und eine Spezifikationstechnik angegeben. Unter den vorgenommenen Abstraktionen sind damit alle Vorgänge von Diensten beschreibbar, die Auswirkungen auf die Topologie von Verbindungen und Sessions haben: Aufbau, Abbau, Zusammenlegen und Trennen von Verbindungen, Integration eines Berechtigungsschemas, Erweiterung, Zusammenlegen und Trennen von Sessions, Modifikation von Berechtigungen. Das Management dieser Funktionen stellt unabhängig von der zugrundeliegenden Technologie einen zunehmend großen Teil der Komplexität von Diensten dar. Trotzdem sind bislang keine Methodik und kein Formalismus vorhanden, um diesen Teil der Funktionalität von Kommunikationsdiensten abstrakt zu beschreiben und der Validierung, Verifikation oder Synthese zugänglich zu machen.

Moderne Dienstarchitekturen bieten zwar Abstraktionen und Schnittstellen für die genannten Vorgänge, jedoch fehlt darin stets eine exakte Semantik, die für Spezifikationen komplexer Operationen und zur Verifikation notwendig ist: Welche topologischen Bedingungen müssen vor und nach einer Änderung der Verbindungsstruktur gelten? Besitzt der Urheber einer solchen Änderung die notwendigen Berechtigungen? Welche Auswirkungen haben Änderungen an der Verbindungs- und Sessionstruktur auf die Berechtigungen? Welche Berechtigungen erhalten neu aufgenommene Endpunkte? Wie kann der Transfer von Berechtigungen beschrieben werden? Welche Invarianten müssen während einer Dienstnutzung bezüglich der Verbindungsstruktur gelten? Führt das Berechtigungsschema zu einem Deadlock? Diese und weitere Fragen können mit Hilfe des entstehenden Modells spezifiziert und verifiziert werden.

Das Modell basiert auf einer relationalen Beschreibung der Topologie von Verbindungsstrukturen, der Sessions und der Berechtigungen in Kommunikationsdiensten. Operationen auf diesen Objekten beschreiben das Verhalten der Dienste. Das gesamte statische und dynamische System wird anschließend in eine zustandsbasierte Beschreibungstechnik eingebettet und kann dadurch auf einfache Weise zur Spezifikation des Verhaltens eines Dienstes bezüglich seiner Verbindungsstrukturen verwendet werden. Wegen der sorgfältigen Abstraktion und Einbettung des Modells ist das Vorgehen vollständig dienst- und technologieunabhängig. Der formale und exakte Ansatz erleichtert Simulation und automatische Verifikation der Modelle.

Der Nutzen eines solchen Formalismus ist dann am größten, wenn die Flexibilität von Diensten hinsichtlich ihrer Verbindungsstruktur nicht mehr aufgrund technischer Einschränkungen (z. B. durch den begrenzten Funktionsumfang Intelligenter Netze) oder fehlender Anwendungen durch zu geringe Bandbreite limitiert ist. Große Konferenzen, dynamische Verbindungsstrukturen und flexible Kombinationen von Diensten sind vor allem bei Übertragung von Bild und Ton wichtig für künftige Anwendungen. Glücklicherweise befindet sich die Kommunikationstechnologie auf kommerzieller wie auf technologischer Seite an der Schwelle zu einer neuen Epoche, die viele derzeit vorhandene Einschränkungen überwinden wird. Zu den wichtigsten Faktoren aus technischer Sicht zählt die vollständige Digitalisierung aller Bereiche und die stets wachsende Gesamtbandbreite, die insbesondere auf der „letzten Meile“ vervielfacht wurde. Durch neueste Codiervverfahren sind erstmals individuelle Dienste mit qualitativ hochwertiger Echtzeitübertragung bewegter Bilder einer hohen Zahl von Endkunden zugänglich. In den Endgeräten erlaubt die aktuelle Hardwaregeneration die flexible, softwarebasierte Darstellung und Speicherung beliebiger Audio-, Video- und anderer Daten. Entwicklung und Einführung neuer Dienste sind damit von der Bereitstellung spezieller Endgeräte entlastet.

Neben den neu erschlossenen Möglichkeiten aufgrund höherer Verarbeitungs- und Übertragungsleistung beschleunigen auch die Fortschritte bei der Standardisierung die Entwicklung neuer Dienste. Dienstarchitekturen abstrahieren von der Heterogenität der technischen Infrastruktur und stellen einheitliche, abstrakte Konzepte für die Dienstentwicklung bereit. Andere Arbeiten zielen darauf ab, die bestehende Übertragungs- und Vermittlungsinfrastruktur durch Programmierschnittstellen von außen zugänglich zu machen. Externe Dienstleister können dann die Übertragungsdienste der Kommunikationsnetze von außerhalb ansteuern und in beliebige Anwendungen integrieren. Nicht zuletzt sind die vielfältigen Entwicklungen zu nennen, um das ursprünglich paketvermittelte Internet auch für echtzeitbasierte Kommunikationsdienste nutzbar zu machen.

Die standardisierte, einfache Verfügbarkeit von Echtzeitkommunikation wird einen eigenen Typ künftiger Softwaresysteme hervorbringen, in denen Kommunikation mit der Verarbeitung und Speicherung von Daten gemeinsam genutzt wird. Solche integrierten Systeme entstehen aus der Konvergenz „klassischer“ Softwaresysteme mit den verteilten Softwaresystemen eines

Kommunikationsdienstes. Erste Beispiele dafür sind Click-to-Dial-Anwendungen, die über ein Web-Interface Telefonverbindungen herstellen, etwa zu einer Hotline. Video-on-Demand-Dienste sind letztendlich Kombinationen aus Kundenverwaltungs- und Archivierungssystemen und Breitband-Übertragungsdiensten. Andere Einsatzgebiete sind Mischformen aus Informationsdiensten, Überwachungs- und Leittechnik, z. B. in U-Bahn-Netzen und Kreuzfahrtschiffen. Kennzeichnend für solche integrierten Systeme ist, daß die für Kommunikationsdienste charakteristischen Echtzeitverbindungen lediglich eine Funktionalität unter vielen anderen darstellen.

Die genannten technologischen Fortschritte, Standardisierungen und viele weitere Arbeiten auf dem Gebiet der Kommunikationstechnologie tragen dazu bei, Echtzeitkommunikation unabhängig von Netzbetreibern und der zugrundeliegenden Technologie in einem horizontalen Markt auf einfache, standardisierte Weise für beliebige Anwendungen nutzbar zu machen. Dadurch werden Dienstanbieter in die Lage versetzt, einzelne Teile der Wertschöpfungskette eines Dienstes mit geringerem technologisch-finanziellen Aufwand anzubieten, als dies früher möglich war. Dieser Umstand wird einen deutlichen Innovationsschub in der Dienstelandschaft auslösen, der auch Dienste mit komplexen oder hochgradig flexiblen Verbindungsstrukturen hervorbringen wird. Die Notwendigkeit einer klaren, anwendbaren, aber dennoch exakten Spezifikationsmethodik für diesen Anteil der Dienstfunktionalität ist dann deutlich sichtbar.

Insbesondere unter dem Aspekt der Flexibilität können derzeit verfügbare Kommunikationsdienste noch erheblich erweitert werden. Das Endziel ist, daß Dienste grundsätzlich nicht mehr eine feste Verbindungsstruktur vorgeben, (z. B. die bidirektionale n:n-Struktur von Telefonkonferenzen), sondern innerhalb ihrer Betriebsparameter dynamisch zu beliebigen Verbindungsstrukturen auch mit anderen Diensten kombinierbar sind. Beispielsweise könnte ein Video-on-Demand-Dienst vorübergehend in eine Videokonferenz eingebunden werden, oder eine einfache Punkt-zu-Punkt-Verbindung eines Dienstes wird zu einer großen Konferenz erweitert. Jedoch ist der Entwurf von Diensten mit wechselnden Sessions, Teilnehmern, Verbindungsstrukturen und Berechtigungen eine äußerst diffizile Aufgabe, die eine geeignete Strukturierung und Methodik erfordert.

Die graphenähnliche Struktur eines Kommunikationssystems bildet den Ansatzpunkt bei der folgenden Beschreibung von Verbindungsstrukturen. Die Grundelemente des Systems sind Endpunkte und Kanäle, die beliebige Datenquellen, -senken und die Kommunikationskanäle in abstrahierter Form repräsentieren. Statische Verbindungsstrukturen sind durch Angabe gerichteter Beziehungen zwischen den Endpunkten und Kanälen modelliert, wobei die Verwendung von Relationen eine besonders kompakte Notation dieser Beziehungen gestattet. Zur Beschreibung des dynamischen Verhaltens eines Dienstes bezüglich der Verbindungs- und Sessionstruktur ist das System um Abbildungen zwischen den Relationen erweitert. Setzt man Bild und Urbild dieser Abbildungen wiederum mit Hilfe von Relationen zu den Endpunkten in Beziehung, erhält man ein Berechtigungssystem für die Änderungen der Verbindungsstruktur. Die Sessions und weitere Konzepte, die bei der Interpretation als Kommunikationssystem hilfreich sind, ergeben sich durch Definition von Teilstrukturen und Prädikaten über diesen Relationen.

Die Fragmente dieses mathematischen Systemmodells sind jedoch nur die Bausteine der Spezifikation von statischen und dynamischen Eigenschaften eines Dienstes. Der praktische Nutzen mathematisch-formaler Modelle steigt beträchtlich, wenn diese so in eine Spezifikationstechnik eingebettet werden, daß dem Anwender ein überschaubarer, anwendungsspezifischer Satz von Werkzeugen zur Verfügung steht. Zu diesem Zweck sind die beschreibenden Relatio-

nen, Abbildungen und Berechtigungen in zwei Standardtransitionen für Operationen auf der Verbindungs- und auf der Sessionstruktur zusammengefaßt, die in Zustandsautomaten zur Beschreibung von Dienstverhalten verwendet werden können. In den Transitionen ist der Rahmen in Form von Platzhaltern für Abbildungen und universellen, konsistenzhaltenden Vor- und Nachbedingungen jeweils vorgegeben. Die Transitionen zur Beschreibung eines konkreten Dienstes werden daraus instantiiert. Die mathematisch exakte Vorgehensweise erleichtert die Implementierung der Zustandsmaschinen, z. B. zu Simulationszwecken, erheblich.

Eine Beschreibung von Dienstverhalten bezüglich der Verbindungs- und Sessionstruktur nach dem hier vorgestellten Verfahren umfaßt z. B. den Aufbau einer Session und die Erweiterung um zusätzliche Teilnehmer, bevor tatsächlich Verbindungen aufgebaut werden. Im Laufe einer Session können Teilnehmer hinzukommen, wegfallen, Verbindungen oder Administratorenrechte wechseln, bevor die Verbindungen und schließlich die Session wieder beendet werden. Jeder Zustandsübergang bedingt dabei – explizit oder implizit – Änderungen an der Berechtigungsstruktur. Dabei sind in jeder Spezifikation die vielfältigen Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Komponenten zu berücksichtigen. Die Standardtransitionen des Modells erleichtern die Spezifikation von Dienstverhalten unter den genannten Aspekten, indem sie zum einen die notwendigen Komponenten der Transitionen vorgeben, zum anderen aber alle generisch sinnvoll lösbaren Abhängigkeiten automatisch behandeln.

Die mathematisch-formale Natur des Modells eröffnet ein ganzes Spektrum weiterer Anwendungen, von der Beschreibung von Fehlerzuständen und Invarianten über die Verwendung einer Spezifikation für die Simulation und Verifikation von Diensteigenschaften bis zur Abbildung der abstrakten Modelle in reale Netze (Synthese). Jedes dieser Gebiete, vor allem aber die Erweiterung des Modells um zusätzliche Eigenschaften (z. B. Übertragungseigenschaften, Abrechnung), erfordert weitere Anstrengungen in Forschung und Entwicklung. Insgesamt bildet die vorliegende Arbeit die Grundlage, um den Teil der zunehmenden Komplexität moderner Dienste, der durch die Verbindungsstrukturen verursacht wird, formal zu untermauern und durch Einbindung in eine gängige Spezifikationstechnik greifbar zu machen.

2 Vorgehensweise

Die Identifikation der universellen Elemente von Kommunikationssystemen und deren Einbettung in ein Modell erfordert wegen der inhomogenen Ausgangssituation eine Reihe von Vorarbeiten. In **Kapitel 3** werden zunächst einige Hintergründe und Basistechnologien der heutigen Kommunikationslandschaft dargelegt. Die aufgeführten aktuellen Entwicklungen zum Thema Dienstarchitekturen zeigen, daß Standardisierung und Nutzungserweiterung vorhandener Infrastruktur einen der Hauptschwerpunkte in Forschung und Entwicklung bilden. Zur Abgrenzung des hier verfolgten Ansatzes werden einige verwandte Anwendungen formaler Methoden und abstrakter Modelle für Kommunikationssysteme exemplarisch dargestellt. Dabei zeigt sich auch, daß bisher kein geeigneter Ansatz existiert, der den zunehmend flexiblen und komplexen Verbindungsstrukturen moderner Multimediadienste gerecht wird.

In der Literatur und im allgemeinen Sprachgebrauch (sowie in den folgenden Kapiteln) werden Anwendungen von Kommunikationssystemen zumeist als „Dienst“ bezeichnet. Die Definition dieses Begriffs wird jedoch abhängig vom Kontext (z. B. Telekommunikation, Rechnernetze, Internet) sehr unterschiedlich angegeben. In einem Exkurs in **Kapitel 4** werden die Eigenschaften von Diensten aus den genannten Bereichen näher untersucht. Die jeweils universellen Eigenschaften der Verwendung des Begriffs „Dienst“ werden dann auf die Szenarien zukünftiger Kommunikationsnetze erweitert und zu einer allgemeingültigen Definition des Begriffes zusammengefügt. Diese zeigt, daß „Dienst“ keine Klasse von Systemen anhand ihrer Eigenschaften beschreibt, sondern eine auf Interaktion fokussierte Sichtweise auf Systeme ist, die orthogonal zur Struktursicht ist. Dienste sind dadurch nicht auf Kommunikationsdienste beschränkt.

Aus den Mischformen von Softwaresystemen und Kommunikationsdiensten werden in **Kapitel 5** die charakteristischen Elemente des zu entwickelnden Modells in zwei Schritten herausgearbeitet: Zunächst wird die bereits erwähnte Unterscheidung zwischen „klassischen“ verteilten Anwendungen und Kommunikationsdiensten anhand der kommunizierten Daten präzisiert. Dies ergibt eine Klasse von Daten, die transparent über Kommunikationskanäle übertragen werden und solche Daten, die Einfluß auf die Verbindungsstruktur von Diensten haben. Die letztgenannten Daten sind charakteristisch für Kommunikationssysteme und zentraler Bestandteil eines jeden Dienstes. Sie bilden den Kernpunkt des Modells. Die Behandlung dieser Daten wird anschließend in das Ebenenmodell aus Darstellung, Verarbeitung und Übertragung eingepaßt, wie es auch bei den klassischen Systemen in Gebrauch ist. Durch Abstraktion fallen die Ebenen Darstellung und Übertragung aus der Betrachtung heraus. Als abstrakt zu modellierendes System verbleibt die Verarbeitung derjenigen Daten, die Einfluß auf die Verbindungsstruktur haben.

In **Kapitel 6** wird jener abstrahierte Kern, der auf dienstunabhängige Weise für das Management der Verbindungsstrukturen zuständig ist, näher beleuchtet und innerhalb des Gesamtsystems eines Kommunikationsdienstes positioniert. Es folgt die eingehende Vorstellung des Formalismus, der zur Beschreibung der Verbindungsstruktur und aller weiteren Strukturen verwendet wird. Die Grundlage dafür sind Relationen, die eine besonders kompakte Notation auch für komplexe, graphenähnliche Strukturen ermöglichen. Charakteristisch für dieses Modell ist die Verwendung von Hyperkanten zur abstrakten Darstellung von Kommunikationskanälen. Hyperkanten bilden die logische Fortsetzung der vorhandenen Unterscheidung zwischen Unicast (1:1) und Multicast (1:n), indem sie *mehrere* Quellen *und* Senken enthalten können (m:n). Eine Reihe von Abbildungen, Teilstrukturen und Prädikaten, die für die Inter-

pretation von Graphen als Verbindungsstrukturen hilfreich sind, werden ebenfalls vorgestellt. Der viel verwendete Begriff der „Session“ erhält als Strukturierungsmittel großer (globaler) Verbindungssysteme eine formale Definition als Teiluntergraph.

Nachdem der statische Beschreibungsformalismus gegeben ist, werden in **Kapitel 7** die Mechanismen zur Beschreibung des dynamischen Verhaltens der Verbindungs- und der Sessionstruktur eingeführt. Alle Modifikationen werden durch Abbildungen auf den beschreibenden Relationen definiert, die später in Transitionen zwischen Zuständen eingebettet werden. Für die wichtigsten Modifikationen (Aufbau, Abbau Zusammenfassen von Kanälen, Erweiterung, Einschränkung von Sessions etc.) sind die Abbildungen jeweils angegeben.

Da die meisten Abbildungen für Modifikationen einen eingeschränkten Definitionsbereich besitzen, ist es notwendig, die Zulässigkeit von Abbildungen zu prüfen. Ebenso können Abbildungen aufgrund spezieller Ausgangssituationen zu inkonsistenten Zuständen führen, die es zu beheben gilt. Die Vor- und Nachbedingungen von Transitionen eignen sich auf besondere Weise für solche Maßnahmen. Da die Korrektur potentieller Inkonsistenzen generisch für beliebige Abbildungen möglich ist, wird das Konzept der Standardtransitionen eingeführt. Diese geben in zwei Varianten (zur Modifikation der Verbindungs- und der Sessionstruktur) den jeweils generischen Anteil in den Vor- und Nachbedingungen vor und werden nur noch mit dem dienstspezifischen Anteil instantiiert.

Die Standardtransitionen werden in den folgenden Kapiteln teils um weitere generische Konstrukte, teils um Platzhalter für dienstspezifische Konstrukte erweitert. In **Kapitel 8** folgt zunächst das generische Konzept der Berechtigungen. Diese kontrollieren die Änderungen einer Verbindungsstruktur und werden ebenfalls relational beschrieben. Da in komplexen Diensten oft auch die Berechtigungen selbst modifiziert werden müssen, folgt in **Kapitel 9** ein Konzept zur Modifikation von Berechtigungen in speziellen Nachbedingungen. In der Regel werden Berechtigungen für Berechtigungen schnell zu komplex, so daß ein Kompromiß zwischen Flexibilität und Handhabbarkeit gewählt wird. Anstelle der Prüfung von Meta-Berechtigungen zur Laufzeit ist vorgesehen, Änderungen an den Berechtigungen während der Spezifikation in den Transitionen vorzugeben. Dieser Kompromiß ist ausreichend für die meisten Vorgänge in Diensten (z. B. Vergabe von Startberechtigungen für neue Teilnehmer, Übergang der Administratorfunktion), vermeidet aber die zu hohe Komplexität von Meta-Berechtigungen.

Das abstrakte Modell zur Beschreibung der Verbindungsstrukturen von Kommunikationsdiensten ist damit vollständig. In **Kapitel 10** werden alle Bestandteile des Modells noch einmal zusammengefaßt und mit einer Notation für die Transitionen versehen. Die anschließende Beispielspezifikation für das Verhalten einer Verbindungsstruktur realisiert eine Session mit einem unidirektionalen 1:n-Kanal und einem wechselnden Administrator-Endpunkt. Ein derartiges netzrelevantes Verhalten kann beispielsweise zur Implementierung von Video-on-Demand-Diensten verwendet werden.

3 Dienste, Architekturen und Formalismen der Telekommunikation

Die Entwicklung von Systemen der Telekommunikation muß wegen der Heterogenität, des hohen Verbreitungsgrades und der enormen Investitionen stets auf eine evolutionäre, abwärtskompatible und interoperable Weise erfolgen. Neue Dienste und Standards können nur in den seltensten Fällen losgelöst von der vorhandenen Infrastruktur entwickelt und eingeführt werden. Das folgende Kapitel enthält daher in Abschnitt 3.1 beginnend bei der Telefonie und den Fernschreibnetzen einen Überblick über die wichtigsten Grundlagen der Telekommunikation. Moderne Multimediadienste erfordern eine deutlich umfangreichere technische Basis als einfache Telefoniedienste. Um hier die notwendige Interoperabilität zu erreichen, sind eine Reihe von Dienstarchitekturen mit unterschiedlicher Ausrichtung entwickelt worden, von denen einige in Abschnitt 3.2 vorgestellt werden.

Da im Hauptteil der vorliegenden Arbeit eine abstrakte Modellierung der Verbindungsstrukturen von Diensten vorgestellt wird, enthält Abschnitt 3.3 einen Abriß über formale Methoden in Kommunikationssystemen, über andere abstrakte Modellierungen und beschreibt die Beziehung zu Dienstarchitekturen stellvertretend an TINA. Es zeigt sich, daß Dienstarchitekturen eine Semantik für Verbindungsstrukturen und deren Operationen fehlt.

3.1 Telefonie

Telefoniedienste werden von allen Netzbetreibern weltweit in ähnlicher Form angeboten. Die Übertragung von Sprache bildet den Ausgangspunkt vieler weiterer Entwicklungen. Die folgenden Abschnitte geben einen Überblick über die Entwicklungslinie von der analogen Telefonie und den ersten Datennetzen bis zu Mobilfunknetzen und Standardschnittstellen von Vermittlungssystemen.

3.1.1 Analoge Telefon- und erste Datennetze

Der flächendeckend etablierte, leitungsvermittelte Telefonie-Dienst stellt zur Übertragung analog codierter Sprache während der gesamten Verbindungsdauer zwischen zwei Endpunkten eine Bandbreite von 3,4 kHz uneingeschränkt zur Verfügung. Die Signalisierung von Verbindungsauf- und abbauwünschen wird innerhalb des Nutzdatenbandes durch Impuls- oder Tonfolgen (erstmalig 1955 in den USA) von Vermittlungsstelle zu Vermittlungsstelle mitübertragen (Inband Signaling). In der Literatur wird der Telefonie-Dienst oft als POTS (Plain Old Telephony Service) und das zugrundeliegende Netz als PSTN (Public Switched Telephone Network) bezeichnet.

Das erste Fernschreibnetz zur elektromechanischen Textkommunikation mit 428 Zeichen pro Minute wurde in Form des TELEX-Dienstes bereits 1933 eingeführt. Aufgrund seiner Einfachheit und der weltweiten Verbreitung ist TELEX bis heute noch vereinzelt in Gebrauch. Mit dem Teletex-Dienst stand ab 1982 eine modernere und schnellere Variante (bis 2400 Bit/s) zur Verfügung. Dieser auch „Bürofernschreiben“ genannte Dienst basierte auf dem Datex-L-Netz und wurde 1996 eingestellt.

Die Eigenschaften des Telefonie-Dienstes zur Übertragung eines schmalen Frequenzbandes

werden mit Hilfe von Zusatzgeräten (Modems) bis heute auch zur Datenkommunikation genutzt. Jedoch wurde aufgrund der Einschränkungen alter, teilweise mechanisch vermittelter Telefonnetze bezüglich Fehlerrate und Verbindungsaufbauzeit die Notwendigkeit separater Netze zur Datenübertragung schnell offensichtlich. 1967 wurde mit Datex-L der erste reine Datendienst auf der Basis des TELEX-Netzes realisiert. Die Kapazität dieses leitungsvermittelten Übertragungsdienstes lag ursprünglich bei 300 Bit/s und wurde bis auf 9600 Bit/s erweitert. Da die Charakteristika von Datex-L im ISDN leicht abzubilden sind, wurde der Dienst 1996 eingestellt.

Der vermehrte Einsatz dialogorientierter Anwendungen hat im Jahre 1982 zur Einführung des paketvermittelten Dienstes (Datex-P) geführt. Die Paketvermittlung hob durch bessere Ausnutzung der vorhandenen Übertragungskapazität in vielen Anwendungen die Vorteile der strengen Echtzeitfähigkeit des leitungsvermittelten Datex-L mehr als auf. Eine Darstellung der Kommunikationslandschaft der achtziger Jahre ist in [35] zu finden.

3.1.2 ISDN

Seit Einführung der ersten Datennetze Datex-L und Datex-P nimmt das übertragene Datenvolumen und die wirtschaftliche Bedeutung der Datenkommunikation ständig zu. Der Betrieb separater Netze zur analogen Übertragung von Sprache einerseits und zur digitalen Datenkommunikation andererseits wurde jedoch mit wachsendem Netzausbau sehr aufwendig. Die seit den sechziger Jahren mögliche Digitalisierung von Sprache führte deswegen zur Idee eines *integrierten* Digitalnetzes. Dessen Idee besteht darin, für digitale Daten- und Sprachkommunikation dieselbe Leitungs- und Vermittlungsinfrastruktur zu verwenden. Die ersten Pilotprojekte zur Einführung des Integrated Digital Services Network (ISDN) [5, 13, 35] fanden in der Bundesrepublik ab 1987 statt.

Die Datenrate des ISDN wurde anhand der zur Übertragung von Sprache notwendigen Bandbreite festgelegt. Jeder der beiden Kanäle eines ISDN-Primäranschlusses überträgt 64 kBit pro Sekunde. Dies ergibt sich aus der Abtastung von 8000 Intervallen pro Sekunde mit einer Auflösung von jeweils 8 Bit. Nach dem Abtasttheorem ist daraus die in der Sprachtelefonie verwendete Bandbreite von 3,4 kHz selbst bei wiederholten Analog/Digitalumsetzungen rekonstruierbar. Für die Übertragung von Steuerdaten an das Netz (Benutzer-Netz-Signalisierung) ist ein Hilfskanal mit 16 kBit/s vorgesehen. In diesem Kanal werden hauptsächlich Signalisierungsbefehle zum Auf- oder Abbau von Verbindungen und zur Identifikation der Quell- und Zielrufnummer übertragen (Outband Signaling). Dadurch werden Signalisierungsdaten nicht mehr den Nutzdaten beigemischt. Die Interaktionsmöglichkeiten mit dem Netz sind deutlich vielfältiger als beim Analognetz. Flexible Nummernzuteilung, Kanalwechsel, -zusammenlegung, Gebühreninformation, Anklopfen und „Makeln“ sind Merkmale des ISDN. Der ständig verfügbare Hilfskanal kann auch für die kostenlose Übertragung kleiner Datenmengen (z. B. E-Mails) zwischen Endgeräten verwendet werden (Benutzer-Benutzer-Signalisierung).

Durch digitale Übertragung und Vermittlung sind die Verbindungsaufbauzeiten und Fehleraten im Vergleich zum analogen Telefonnetz deutlich verbessert worden. Die Vorteile des ISDN haben ältere Dienste mit eingeschränktem Anwendungsbereich (z. B. TELEX, Teletex, Temex) fast vollständig verdrängt. Das ISDN faßt so einen Großteil der vormaligen Daten- und Sprachdienste in einem einzigen Standard zusammen.

Die Übertragung zwischen den ISDN-Vermittlungsstellen geschieht im allgemeinen durch den synchronen Transfermodus (STM). Darin wird jeweils eine feste Anzahl von ISDN-Kanälen

im Zeitmultiplexverfahren zu einem Kanal mit dem Vielfachen der Bandbreite zusammengefaßt. Dieser ist mit einer weiteren Anzahl gleicher Kanäle wiederum Teil eines Kanals mit der vielfachen Bandbreite usw. Auf diese Weise entsteht eine international standardisierte, digitale Übertragungshierarchie. ISDN deckt die Kombination mehrerer Kanäle bis zu einer Bandbreite von etwa 2 MBit/s ab. Anwendungen mit höherem Datenaufkommen erfordern in der Regel eine flexiblere Bandbreitenvergabe als dies mit der Kombination leitungsvermittelter ISDN-Kanäle zu je 64 KBit/s möglich ist. Für derartige Zwecke ist das B-ISDN auf der Basis von ATM entwickelt worden (siehe Abschnitt 3.2.1).

Die Spezifikation des ISDN standardisiert die Schnittstelle zu einem Netz mit leitungsvermittelter Übertragungscharakteristik, das eine konstante Bandbreite über die gesamte Dauer der Verbindung hinweg garantiert. Neue Dienste können dann auf der Basis dieser Übertragungskanäle mit einer Kapazität von 64 KBit/s bis ca. 2 MBit/s entwickelt werden. Zu diesem Zweck umfaßt der ISDN-Standard eine Reihe von Spezifikationen, die seine Fähigkeiten aus der Sicht des Endteilnehmers beschreiben: Dienste, Netzkonzepte, Teilnehmernummerierungen, Schnittstellen zu Teilnehmern und Ortsvermittlungen, etc. Der ISDN-Standard bietet keinerlei Dienstzugang außerhalb dieser Teilnehmerschnittstelle. Jeder neue Dienst erfordert neue Protokolle zwischen den Vermittlungsstellen. Eine funktionale Trennung zwischen Diensten und Übertragungsnetzen ist nicht vorgesehen.

Die Einführung des ISDN war von Beginn an mit hohen Erwartungen an eine neue Dienstlandschaft versehen. Jedoch hat die Entwicklung von ISDN zur Universalplattform für Kommunikationsdienste nicht ganz so stattgefunden, wie ursprünglich geplant. Während die erweiterten Möglichkeiten der ISDN-Telefonie weithin Anklang finden (obwohl es auch kritische Stimmen gab, die in digitaler Vermittlungstechnik datenschutz- und verfassungsrechtliche Risiken sahen [14]), verlief die Einführung von ISDN als Datendienst problematisch. Zur Zeit der Entwicklung des ISDN Anfang der achtziger Jahre war die Verbreitung universeller Endgeräte und Protokolle in Form multimedialfähiger PCs und Internet-Standards nicht abzusehen. Aus diesem Grund wurden die Dienste für ISDN stets als gesamte Technologiekette vorgesehen, deren Spezifikationen von der Datencodierung bis zu den Endgerät reichen. Während dieses Vorgehen in der Telefonie bis heute zu hoher Kompatibilität führt, hat sich bei allen weniger häufig verwendeten Diensten die Notwendigkeit spezieller Endgeräte als hinderlich erwiesen. Beispiele für gescheiterte Dienste sind „ISDN-Fernskizzieren“ oder „ISDN-Festbildübermittlung“. Selbst das ISDN-Fax konnte sich nicht durchsetzen. Mittlerweile ist ISDN auch als Zugangsdienst zu Datennetzen (Internet) wegen der geringen Übertragungsgeschwindigkeit und der teuren Leitungsvermittlung unattraktiv im Vergleich zu Digital Subscriber Lines, die vorhandene Kupferlitzen bis zur nächsten Vermittlungsstelle deutlich besser ausnutzen.

3.1.3 Das Intelligente Netz

Seitdem Ende der sechziger Jahre die Vermittlung von Telefongesprächen nicht mehr mechanisch mit Hubdrehwählern und Impulswahl, sondern über speicherprogrammierte Steuerungen und später auch rechnergestützt abläuft, können Vermittlungsvorgänge in beliebiger Weise beeinflusst werden. Eine bekannte Anwendung davon sind Dienste, bei denen Präfixe von Rufnummern ein besonderes Verhalten des Netzes verursachen. Dazu gehören Nummern, die für den Anrufer gratis sind (0130- und 0800-Nummern) bzw. zusätzliche Gebühren verursachen (0180, 0190) oder Call-by-Call-Angebote für günstige Ferntarife, bei denen eine spezielle Nummer vorgewählt werden muß. Ebenso können bestimmte Nummern weitergeleitet oder abgelehnt werden, je nach Konfiguration der Zielrufnummer.

Zur Realisierung dieses Verhaltens muß jede Vermittlungsstelle eines Netzes jedem Nummernpräfix anhand einer umfangreichen Datenbasis die korrekte Bearbeitung zuordnen können. Jedoch ist die mehrfache Speicherung der gesamten Datenbasis in allen Vermittlungsstellen des Netzes äußerst schwierig, da beispielsweise zur Einführung eines neuen Nummernpräfix *alle* Vermittlungsstellen rekonfiguriert werden müßten. Die praktische Unmöglichkeit dieses Vorgehens hat zur Entwicklung der Intelligenten Netze (IN) geführt.

Die Kernidee besteht darin, alle Kontrollzustände, die bei der Bearbeitung von Rufen auftreten können, mit Möglichkeiten der externen Interaktion zu versehen [47, 34]. Dazu basieren alle Vermittlungsstellen auf einem standardisierten Zustandsmodell für Rufe. Die wichtigsten Zustände sind: Ruhezustand, Hörer abgehoben, Rufnummer übermittelt, Ruf weitergeleitet, Läuten, Verbindung aktiv, Verbindung beendet. (Das genaue Rufmodell ist mittlerweile in sog. Capability Sets standardisiert.) Die Funktion der Vermittlungsstellen (der *Service Switching Points*, SSP) ist darauf beschränkt, in den Zuständen das Vorliegen einer Sonderkondition lediglich zu erkennen, z. B. ein 0800-Präfix, und die rufbezogenen Daten sofort an einen zentralen *Service Control Point* (SCP) weiterzuleiten. Dieser verändert den Datensatz (tauscht bei 0800 beispielsweise die Kostenstelle aus) und leitet ihn zur weiteren Abarbeitung an den SSP zurück. Auf diese Weise können alle Daten und die Dienststeuerung zentral gehalten werden. Die Dienstarchitektur des Intelligenten Netzes ist für telefonieartige Dienste optimiert, denen ein zustandsbasiertes Rufmodell zugrundeliegt. Das Rufmodell geht dabei von einem leitungsvermittelten, Stück für Stück fortschreitenden Rufaufbau aus.

Der IN-Standard, der ab Mitte der achtziger Jahre zum Einsatz kam, sieht darüber hinaus eine Reihe weiterer Interaktionen und Sonderfunktionen vor. Über *Intelligent Peripherals* können etwa Ansagen eingespielt oder Spracherkennungsfunktionen zwischengeschaltet werden. Über Tonwahl oder die separate Signalisierung von ISDN sind auch während der Verbindung Interaktionen mit dem Service Control Point möglich. Die gesamte Signalisierung zwischen den Vermittlungsstellen und dem Service Control Point verläuft auf separaten Kanälen und über eine standardisierte Protokollsammlung (Signaling System No. 7). Die derzeit vorangetriebene Offenlegung der Programmierschnittstellen des IN ermöglicht die Einbindung von IN-Funktionalität in beliebige Applikationen sowie eine Auslagerung der Dienststeuerung aus dem SCP, beispielsweise in das Internet (siehe Abschnitt 3.1.5).

3.1.4 Mobilfunknetze

In Deutschland begann die Ära der Mobilfunkdienste 1958 mit der Einführung des handvermittelten öbL-A-Netzes („Öffentlicher beweglicher Landfunk“, auch als nöbL (nichtöffentlicher beweglicher Landfunk) für hoheitliche Aufgaben bis 1977 in Gebrauch). Auf öbL-B (1972–1994) folgte 1985 das ebenfalls analog arbeitende C-Netz, bei dem erstmals Teilnehmer ohne Kenntnis des Aufenthaltsortes gerufen werden konnten. Das C-Netz war bis Ende 2000 in Betrieb. Seit 1992 ist das D-Netz, kurze Zeit später das E-Netz verfügbar, die beide nach dem digitalen GSM-Standard arbeiten.

Die ersten Ansätze eines einheitlichen europäischen Standards für ein zelluläres Mobilfunknetz gehen auf das Jahr 1982 zurück. Die wichtigsten Anforderungen an GSM bestanden u. a. in hoher Sprachqualität, effektiver Nutzung des verfügbaren Spektrums, automatischem Handover zwischen den Zellen, internationalem Roaming und der Erweiterbarkeit für neue Dienste. Die ursprünglich vorgesehenen Basisdienste umfassen Telefonie, einen stets verfügbaren Notruf, Fax, Kurznachrichten und Datenübertragung. Dazu kommen netzinterne Funktionen und Leistungsmerkmale wie Rufweiterleitung, Rufsperrung, Anklopfen, Makeln, Mailboxen und Umsetzer zwischen verschiedenen Diensten.

Die Datendienste innerhalb des GSM-Netzes enthalten als Grundelement die leitungsvermittelte Übertragung von 9,6 KBit/s innerhalb eines sog. Slots, der auch zur Übertragung digital codierter und komprimierter Sprache verwendet wird. Dieser Übertragungsdienst wird auch als Träger für Informationsdienste über WAP oder für Modemfunktionen verwendet. Durch Reduktion von fehlerkorrigierender Redundanz und den Zusammenschluß von maximal vier Kanälen sind Bandbreiten bis zu 57 KBit/s erreichbar. In einer zweiten Phase wurde mittlerweile GPRS standardisiert, das auf bis zu vier Slots einen paketvermittelten, nach Datenmenge abgerechneten Übertragungsdienst bietet.

Die Zusatzinformationen, die für den Betrieb eines Funknetzes mit mobilen Teilnehmern notwendig sind, sind in Datenbanken gespeichert. Sie enthalten hauptsächlich für jeden Teilnehmer die Funkzelle, in die er momentan eingebucht ist, seine Identifikations- und Autorisierungsdaten sowie Daten zur Dienstkonfiguration. Diese Datenbanken sind zentralisiert und können über standardisierte Schnittstellen in die Realisierung von Diensten eingebunden werden. Die Dienstarchitektur des GSM-Standards (siehe [41]) entspricht somit dem Konzept der Intelligenten Netze (Kap. 3.1.3).

3.1.5 Schnittstellen zur Netzinfrastruktur

Lange Zeit waren die Vermittlungsanlagen der Telekommunikationsnetze geschlossene Systeme, deren Schnittstellen nach außen ausschließlich über die Endgeräte gegeben waren. Die Standardisierungen von ISDN und B-ISDN entsprechen exakt dieser Sichtweise. Auch im Intelligenten Netz bilden die Gruppen aus Service Switching Points und den zentralen Service Control Points geschlossene, teilweise auch herstellerabhängige Systeme. Mit dem Aufkommen des Internet wurden zunächst Schnittstellen zur Fernwartung und -konfiguration dieser Systeme über die IP-Protokollfamilie eingerichtet. Mittlerweile existiert eine Reihe von Projekten, um die Integration von Telefonnetzen mit dem Internet voranzutreiben.

Durch Öffnung der Schnittstellen von Vermittlungsanlagen des PSTN entstehen eine Reihe neuer Dienste. Ein Beispiel dafür sind Click-To-Dial-Applikationen, bei denen eine Telefonverbindung, etwa zwischen dem Kunden und dem Bestellservice eines Versandhauses, durch einen Klick auf dessen Website hergestellt werden kann. Eine Variation davon sind Click-To-Fax-Applikationen. Die Kombination aus Internet- und PSTN-Diensten zur Realisierung von Datendiensten mit Echtzeitübertragungen ist jedoch auch eine Zwischenlösung, solange reine VoIP-Dienste nicht flächendeckend möglich sind.

Die Standardisierung der Schnittstellen und Protokolle findet unter verschiedenen Anwendungsszenarien statt. Die folgenden Punkte geben einen Überblick über laufende Aktivitäten:

PINT. Das Akronym PINT steht für PSTN and Internet Interworking und ist der Name einer 1997 ins Leben gerufenen Working Group der Internet Engineering Taskforce (IETF) [38]. Das Ziel der Standardisierung sind Protokolle und Architekturen, mit deren Hilfe vom Internet aus die elementaren Dienste des PSTN (vor allem der Rufaufbau) kontrolliert werden können, ohne daß der Initiator Teil der Verbindung ist. Click-To-Dial- und Click-To-Fax-Applikationen stellen den Hauptanwendungsbereich von PINT dar.

Ein Verbindungsaufbauwunsch wird vom PINT-Client über das Internet unter Verwendung der Session Initiation/Description Protocols (SIP/SDP, siehe 3.2.3) innerhalb des PINT-Protokolls an ein PINT-Gateway übermittelt. Von dort aus wird über die Service Switching Points des Intelligenten Netzes der Verbindungsaufbau innerhalb des PSTN gestartet. Die

Protokolle des PINT erlauben somit keine echte Dienststeuerung innerhalb des Intelligenten Netzes, sondern übertragen nur Verbindungswünsche über das Internet. Darüber hinaus existieren bereits Ideen zur Standardisierung von Diensten, die in umgekehrter Richtung vom PSTN im Internet initiiert werden („TNIP“, SPIRIT) [17].

JAIN, Parlay. Eine echte Integration des PSTN in Applikationen ist erst mit der offenen Standardisierung der APIs der Vermittlungsstellen möglich. Auf diese Weise ist die volle Funktionalität des PSTN einer großen Zahl von Anwendungen zugänglich. Umgekehrt können Dienststeuerungen des Intelligenten Netzes aus den Service Control Points des PSTN heraus über das Internet an beliebige Stellen verlagert werden.

Die Offenlegung und Standardisierung von Schnittstellen zur Steuerung des PSTN verläuft in mehreren Ansätzen. Innerhalb der JAIN-Initiative von SUN [27] werden Java-Klassenbibliotheken zur Steuerung paketvermittelter Netze und zur Einbindung in Intelligente Netze (IN) standardisiert. Das Ziel ist ein industrieweiter, offener Standard, der Einrichtung und Interoperabilität von Diensten und Anwendungen auf der Java-Basis garantieren soll.

Die Parlay Group verfolgt dasselbe Ziel „*to create an explosion in the number of communications applications by specifying and promoting open Application Programming Interfaces that intimately link IT applications with the capabilities of the communications world.*“ [37].

3.2 Architekturen für Multimediadienste

Die Standardisierung der grundlegenden Übertragungs- und Vermittlungstechnik sowie des Zugangs aus Teilnehmersicht ist für die Entwicklung der Basisdienste von Kommunikationssystemen (z. B. Telefonie, Datendienste) ausreichend. Höhere Dienste mit komplexen Leistungsmerkmalen erfordern jedoch ein zugrundeliegendes Kommunikationssystem mit einer deutlich erweiterten Funktionalität, die über Schnittstellen zur Realisierung von Diensten verwendet werden kann. Die folgenden Abschnitte beschreiben einige Ansätze hierzu.

3.2.1 Breitband-ISDN

Das ISDN wurde um das zentrale Element des leitungsvermittelten Basiskanals mit 64 KBit/s herum konzipiert. Höhere Datenraten sind zwar durch Kombination von Kanälen bis zu einer Kapazität von etwa 2 MBit/s möglich, jedoch erfordern moderne Multimediaanwendungen nicht nur noch höhere Bandbreiten, sondern auch flexible Bandbreitenvergabe und Verbindungsstrukturen die mit ISDN nicht möglich sind. Zu diesem Zweck ist das Broadband ISDN (B-ISDN) als Weiterentwicklung des (Narrow) ISDN standardisiert worden, das den Zugang zu Bandbreiten von bis zu 600 MBit/s ermöglichen soll.

Die Anwendungen für höhere und hohe Datenraten sind hauptsächlich Videokonferenzen sowie Übermittlung und Verteilung von Fernsehbildern. Charakteristische Anforderung solcher Anwendungen ist eine hohe Flexibilität bei der Bandbreitenvergabe und der Verbindungsstruktur. Gegenüber dem ISDN bestehen die erweiterten Fähigkeiten des B-ISDN in der Vereinbarung von konstanten, variablen, verfügbaren oder auch unspezifizierten Bandbreiten. B-ISDN erlaubt zudem verbindungslose Dienste, asymmetrische Verbindungen mit unterschiedlichen Bandbreiten pro Richtung und Signalisierungskanäle mit unterschiedlichen Datenraten. Die Verbindungsstrukturen können als Unicast und Multicast ausgelegt sein.

Das breite Spektrum an Möglichkeiten aus Sicht der Benutzerschnittstelle erfordert zur Realisierung in Weitverkehrsnetzen sehr komplexe Protokolle. Das B-ISDN nutzt innerhalb der zugewiesenen Bandbreite in der digitalen Hierarchie mit dem ATM (Asynchroner Transfermodus) [3, 16] ein Protokoll, das die genannten Anforderungen erfüllt. Anders als bei ISDN ist B-ISDN fest mit dem Transportprotokoll ATM verbunden.

Die Teilnehmerschnittstelle des B-ISDN ist im Capability Set 1 dem Schmalband-ISDN ähnlich. Sie eröffnet dem Benutzer einen standardisierten Zugang zu ATM-Netzen mit hohen Übertragungsraten und den genannten Möglichkeiten einer flexiblen Bandbreitennutzung. Mit dem Capability Set 2 wurde eine Trennung der Vermittlung in eine Verbindungs- und eine Rufsteuerung vorgesehen (siehe [20, 61]). Erweiterungen in Richtung eines objektorientierten Rufmodells wurden u. a. im Rahmen des MAGIC-Projektes realisiert [40].

3.2.2 Die TIN-Architektur

Die kommerziellen Forderungen nach kürzeren Entwicklungszyklen moderner Dienste, höherer Investitionssicherheit und die Limitierungen vorhandener Dienstarchitekturen waren der Anlaß zur Gründung des *Telecommunications Information Networking Architecture Consortiums* (TINAC) im Jahr 1993. Innerhalb des Konsortiums aus Industrie und Wissenschaft sollte eine offene Universalarchitektur für Kommunikationssysteme entworfen werden, die Implementierung und Betrieb beliebiger Multimedienetze in heterogenen Netzen über den gesamten Lebenszyklus hinweg standardisiert. Zu den Entwurfszielen gehörten einfache Konstruktion, Realisierung, Einführung, Konfiguration und Management von Diensten unter größtmöglicher Interoperabilität und Wiederverwendung von Softwarekomponenten.

Der Kern der TIN-Architektur basiert auf den Prinzipien objektorientierter Analyse und Design. Dienste und Applikationen setzen als kommunizierende Objekte auf der TIN-Architektur auf, die Verteilung, Netztechnologie und Implementierungsdetails abstrahiert. Die gesamte Funktionalität der Architektur wird durch Objekte zur Verfügung gestellt und ist aus vier verschiedenen Perspektiven, von der Dienstimplementierung, der Abbildung auf heterogene Rechen- und Kommunikationssysteme und aus Sicht des Dienstmanagements in einer Sammlung von Dokumenten [55] beschrieben (ein einführender Überblick ist in [52, 60] zu finden):

- Die *Computing Architecture* beschreibt, wie über einer heterogenen und verteilten Kommunikations- und Recheninfrastruktur eine einheitliche *Distributed Processing Environment* (DPE) realisiert wird. Die DPE basiert auf einem objektorientierten Ansatz und bietet Diensten und anderen Anwendungen einen transparenten Zugriff auf die Ressourcen der Knotenpunkte des Netzes. Die Verteilung wird mit Hilfe von Middleware (CORBA, ODP) verdeckt.
- Die *Network Architecture* abstrahiert auf mehreren Ebenen von der Heterogenität der Kommunikationsnetze. Sie enthält Konzepte von der Abbildung realer Netze bis hin zum abstrakten Begriff der *Stream Flows*, die auf Dienstebene zur Beschreibung von Ende-zu-Ende-Kommunikation dienen.
- In der *Management Architecture* sind die für das Systemmanagement zugänglichen Eigenschaften von den Komponenten der DPE, den Diensten und den zugrundeliegenden Netzen festgelegt. Sie beschreibt außerdem Konzepte für Entwurf, Einrichtung, Konfiguration und Management von Multimedienetzen.

- Die *Service Architecture* enthält das grundlegende Modell für die Realisierung von Diensten. Dieses zentrale Element von TINA ist nachstehend näher erläutert.

Die Service Architecture von TINA [54] definiert Objekte, Domänen, Rollen der beteiligten Einheiten und ein grundlegendes Begriffsschema für Dienste. Das zentrale Element der Service Architecture ist das Konzept der Sessions, in denen alle an einem Dienst beteiligten Einheiten zusammengefaßt sind. TINA unterscheidet drei Arten von Sessions:

- *Access Session*: Hier findet auf dienstunabhängige Weise die Interaktion zwischen einem Dienstanutzer und Dienstbringer zur Anmeldung, Auswahl oder Suche eines Dienstes oder einer bereits laufenden Dienstanutzung statt. Die Access Session stellt stets den Ausgangspunkt der Beteiligung eines Dienstanutzers dar. Alle weiteren Instanzen zur Dienstanutzung werden von der Access Session erzeugt.
- *Service Session*: Sie beschreibt eine Instanz eines Dienstes mit allen Komponenten und Interaktionen, die an der Realisierung des Dienstes beteiligt sind. Die wichtigste Komponente der Service Session ist der *Service Session Manager*, der auch für die *Service Logic* (Dienststeuerung) verantwortlich ist. Der *Service Session Graph* bildet alle beteiligten Komponenten und Ressourcen einer Session und deren Beziehungen zueinander ab.
- *Communication Session*: Hierunter fallen alle Komponenten, die den abstrakten Begriff des *Stream Flows* auf der vorhandenen, heterogenen Netzinfrastruktur realisieren. Dazu gehört u. a. die Abbildung auf unterschiedliche Technologien innerhalb der Network Architecture, die Realisierung der vorgegebenen Dienstgüte und das Management der Teilstücke der Verbindungen über Netzgrenzen hinweg. Die Beziehung zwischen der Abbildung von Kommunikationsverbindungen in der Communication Session und der hier ausgeführten mathematischen, relationalen Modellierung wird in Kap. 3.3.2 näher beleuchtet.

Jede Session ist entsprechend dem Einflußbereich in eine *User Domain* und eine *Provider Domain* aufgeteilt. Zusätzlich definiert TINA die Rollen aller potentiell an einem Kommunikationsdienst beteiligten Einheiten (*Service Provider*, *Service Broker*, *Consumer*, *Retailer*, *Connectivity Provider*) und legt deren Schnittstellen untereinander in Form von *Reference Points* fest.

Das grundlegende Konzept der TIN-Architektur – die objektorientierte Modellierung von Kommunikationssystemen unter Abstraktion von Heterogenität und räumlicher Verteilung – ist Stärke und Schwäche des Ansatzes zugleich. Die Komplexität bei der Realisierung von Kommunikationsdiensten wird dadurch von den Diensten heraus in die Bereitstellung einer TINA-konformen Infrastruktur verlagert. Die Abstraktion der Verteilung erfordert jedoch *flächendeckende* Migrationen der vorhandenen Kommunikationsinfrastruktur, die kurzfristig nicht zu erwarten ist. Insbesondere ist die Frage der Realzeitperformance einer solchen verteilten Plattform derzeit nicht geklärt. Dasselbe gilt für die OSA-Architektur, die ebenfalls auf einem verteilten, objektorientierten Ansatz basiert [6].

Die Abstraktion der Funktionalität *einzelner*, lokaler Netzknotenpunkte ist mit den Objekten von TINA grundsätzlich auch ohne transparente Einbeziehung der Verteilung möglich. Hier gewinnt jedoch in der Kommunikationsindustrie ein Ansatz an Bedeutung, der dem objektorientierten TINA-Konzept entgegensteht [18]: Die Wiederverwendung und Erweiterung

textbasierter Protokolle des Internet zur Steuerung der Funktion von Netzknoten (dies ist nicht zu verwechseln mit den Protokollen zur Realisierung von Echtzeitübertragung in IP-Netzen). Hohe Verbreitung, Reifegrad und Verfügbarkeit sind die wichtigsten Vorteile dieses Ansatzes, der im nächsten Abschnitt eingehender vorgestellt wird.

3.2.3 Multimedienetze über IP-Netze

Seitdem Datennetze eine ähnliche hohe Verbreitung wie Telefonnetze erlangt haben und über ausreichende Übertragungskapazität verfügen, besteht die Forderung nach der Mitbenutzung von Datennetzen zur Sprachkommunikation. Das grundlegende Problem hierbei liegt in der unterschiedlichen Charakteristik des Verkehrsaufkommens. Die Übertragung von Sprache ist eng an Qualitätskriterien gebunden, die in paketvermittelten Datennetzen nicht immer garantiert werden können: geringe Verzögerungen bei der Übermittlung von Daten, die Verfügbarkeit einer Mindestbandbreite und weitgehend konstante Dienstgüte.

Die Nutzung eines Intranet oder auch des weltweiten Internet für echtzeitgebundene Dienste ist vor allem wegen der geringeren Übertragungskosten attraktiv. Die Internet Engineering Taskforce (IETF) hat deswegen eine Reihe von Protokollen initiiert, die auf der Basis des IP-Protokolls die Implementierung echtzeitgebundener Multimedienetze unterstützen:

Das Resource Reservation Protocol (RSVP) [63] ermöglicht die Reservierung und Aufrechterhaltung einer bestimmten Übertragungsqualität zwischen den Routern entlang des Pfades von der Datenquelle zur Datensinke. Alle echtzeitbasierten Daten können entlang dieses Pfades in das Realtime Transport Protocol (RTP) [43] eingebettet werden, das die Identifikation der Daten, Einhaltung der Zeitbedingungen und den oft benötigten Multicast von Datenströmen realisiert. In Verbindung mit dem Realtime Control Protocol (RTCP) ist die Flußsteuerung, die Überwachung der Dienstgüte und die Synchronisation zwischen Datenströmen möglich. Die Verfahren zur kontinuierlichen Codierung und Decodierung von Multimedienetzen (Streaming) werden durch das Realtime Streaming Protocol (RTSP) [44] beschrieben.

Auf der Basis dieser Protokolle, die lediglich den Transport echtzeitkritischer Daten über IP-Netze realisieren, sind weitere Standards zur Implementierung von Telefonie- und Multimedienetzen entwickelt worden. Die beiden wichtigsten Vertreter sind H.323 der ITU [23] und SIP der IETF, das im folgenden näher dargestellt wird.

SIP. Das Session Initiation Protocol [57] der Internet Engineering Taskforce enthält Protokollelemente, um Instanzen einer Dienstonutzung (Sessions) zwischen mehreren Endpunkten zu vereinbaren, aufzubauen und wieder zu beenden. Zu den einzelnen Funktionen, die dafür notwendig sind, zählen u. a.:

- ein Adressierungsschema für die Endpunkte eines Netzes. In SIP ist dies durch eine spezielle Form von URLs (Universal Resource Locator) gelöst, die einen Teilnehmer eindeutig identifizieren.
- die Vereinbarung einer gemeinsamen Menge unterstützter Funktionen und Formate. Dies ist in heterogenen Netzumgebungen unabdingbar, da nicht jeder Endpunkt/jeder Pfad über die gewünschten Funktionen/Formate verfügen muß. Diese Menge kann im Laufe einer Session verändert werden.
- die Beschreibung einer Session in Form der beteiligten Ressourcen, Teilnehmer und Medien. Dies geschieht durch eingebettete Beschreibungen der Sessions mit Hilfe des Session Description Protocol (SDP) [56].

- Signaling für den Auf- und Abbau von Sessions, Aufnahme neuer Teilnehmer, Ausschluß von Teilnehmern, Authentifizierung, Dienstkontrolle etc.

Das Session Initiation Protocol basiert größtenteils auf vorhandenen IP-Protokollen, wie z. B. SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) oder HTTP (Hypertext Transfer Protocol). Auf diese Weise ist eine schnelle Adaption auf Basis der installierten IP-Infrastruktur möglich. Das große Problem des TINA-Ansatzes mit seinen umfassenden Anforderungen an die verteilte Plattform wird dadurch vermieden. SIP ist darüber hinaus ein generisches Protokoll zur Beschreibung beliebiger Sessions, die nicht notwendigerweise Echtzeitkommunikation enthalten. Dadurch können auch Terminals mit sehr beschränkter Funktionalität als SIP-Clients fungieren.

Künftige Arbeiten am SIP-Standard umfassen u. a. Verfahren zur Abrechnung, Verwaltung von Teilnehmer-Präferenzen, automatische Konfiguration von SIP-Servern sowie Interoperabilität mit dem verwandten Standard H.323.

SDP, SAP. In Multimediadiensten, die zwischen mehreren Endpunkten unter Verwendung verschiedener Datenströme und -formate ablaufen, müssen die Eigenschaften einer geplanten Session zwischen allen beteiligten Einheiten ausgetauscht werden. Das Session Description Protocol (SDP) [56] standardisiert dazu ein Format zur Beschreibung der Komponenten eines Multimediadienstes. Eine solche Beschreibung enthält in der Regel eine Auswahl der folgenden Informationen:

- Identifikation der beteiligten Datenströme: Audio, Video, Daten, Whiteboard Sessions etc., sowie Format und benötigte Bandbreite. Die Kennzeichnung basiert auf einem Konzept ähnlich zu den im Internet verbreiteten MIME Types.
- Identifikation der Quellen und Senken von Datenströmen. Die Charakteristik der Ströme kann vom Typ Unicast, Broadcast oder Multicast sein.
- Die Zeitpunkte von Beginn und Ende einer Session. Dies ist besonders bei Sessions mit Broadcast-Charakteristik (Fernsehen, Radio) von Interesse.

Sessions von Multimediadiensten (z. B. Videokonferenzen) finden meist zwischen bekannten Teilnehmern statt, die beispielsweise durch die INVITE-Methode des SIP in eine Session eingebunden werden. Bei Sessions mit Broadcast-Charakteristik (TV-Übertragungen) sind der Datenquelle die Senken in der Regel nicht bekannt und werden auch nicht auf Initiative der Quelle hin in die Session aufgenommen. Stattdessen wird ein Verfahren benötigt, das laufende oder geplante Sessions potentiellen Teilnehmern bekannt macht. Ein solches Verfahren ist das Session Announcement Protocol (SAP) [45], das Beschreibungen von Sessions (z. B. in SDP) einbettet und über Broadcast verbreitet. Eine mögliche Anwendung des SAP sind z. B. Programmverzeichnisse, die ähnlich einer Programmzeitschrift Streaming-Übertragungen ankündigen.

3.2.4 T.120: Multimedia Conferencing

In vielen modernen Diensten findet die Kommunikation nicht mehr nur zwischen zwei Endpunkten entlang eines einzigen Kanals statt, sondern zwischen einer ganzen Gruppe von Teilnehmern. Die bekanntesten Vertreter dieses Diensttyps sind Telekonferenzdienste aller Art, aber auch Dienste zum gemeinsamen Bearbeiten von Dokumenten, Spiele zwischen mehreren Teilnehmern usw. Eine der grundlegenden Schwierigkeiten bei der Implementierung

derartiger *Multipoint Services* besteht in der Vielfalt von Netzwerktechnologien und Endgeräten/Applikationen. Um hier eine hohe Interoperabilität zu gewährleisten, wurden die Basiselemente von Multipoint Services von der ITU in einer Sammlung von Standards unter dem Oberbegriff T.120 [22] zusammengefaßt.

T.120 unterstützt die Entwicklung von Diensten unter anderem mit der netz- und plattformunabhängigen Bereitstellung von:

- Echtzeitübertragung über verschiedene Netztechnologien (u. a. PSTN, ISDN, H.323, LAN-Protokolle)
- diversen Übertragungscharakteristika (Unicast/Multicast, Echtzeit/Datagramme)
- Abbildungen beliebiger Verbindungstopologien (Stern, Bus, hierarchisch)
- Funktionen zum Management von Konferenzen (Conference Control): Setup, Invite, Join, Leave
- Ressourcen- und Token-Management zur gemeinsamen Benutzung limitierter Systemressourcen

Die Architektur des Standards besteht aus mehreren Ebenen. Zuerst sind die Abbildungen verschiedener netzspezifischer Transportprotokolle und Übertragungsklassen in ein gemeinsames Standard-Interface definiert (Network Specific Transport Protocols, T.123). Innerhalb dieser Ebene sind alle Verbindungen als 1:1-Kanäle für die fehlerkorrigierte, netzunabhängige Übertragung der applikationsspezifischen PDUs realisiert. Die nächsthöhere Ebene setzt daraus die für Unicast/Multicast notwendigen Topologien zusammen.

Die darüberliegende Ebene MCS (Multipoint Communication Services, T.122/125) bietet unabhängig von der konkreten Realisierung des T.123 Transportprotokolls eine logische Darstellung von Multipoint Services. Jeweils ein oder mehrere beteiligte Endpunkte (Terminals) sind einer *Multipoint Control Unit* (MCU) zugeordnet. Die MCUs bilden die Bausteine von Multipoint Services und können zu Stern- Bus- oder hierarchischen Strukturen zusammengefügt werden. Eine der MCUs stellt als *Top Provider* das zentrale Element einer Konferenz dar. Alle beteiligten Endpunkte bilden eine *Domain*. Innerhalb dieser Domains werden mit Hilfe des T.123 Transportprotokolls Kommunikationskanäle zwischen den Endpunkten zur Erfüllung des Dienstzwecks eingerichtet.

Aufbau, Management, Konfiguration und Beendigung eines Multipoint Communication Services obliegt der Ebene des T.124-Standards (Generic Conference Control, GCC). GCC bietet Funktionen zur Konfiguration von Diensten aus MCUs, indem es Primitive zur Bestimmung der gemeinsamen Kommunikationseigenschaften zwischen MCUs, zur Abfrage von Diensteeigenschaften, Zugangskontrolle und Ressourcen-Management bietet. Den Applikationen stehen die Funktionen von MCS und GCC direkt zur Verfügung.

Darüber hinaus sind weitere Protokolle, z. B. zur Übertragung von Standbildern (Still Imaging) und Dateien (Multipoint Binary File Transfer), standardisiert, die zur Realisierung von Multipoint Services von allgemeinem Interesse sind. Zusätzliche Erweiterungen um proprietäre Applikationsprotokolle sind dank der offenen Architektur von T.120 jederzeit möglich.

3.3 Formale Methoden in Kommunikationssystemen

Kommunikationssysteme zählen aufgrund der Anforderungen an Zuverlässigkeit, Geschwindigkeit und wegen der hohen Gesamtkomplexität zu den schwierigsten Softwaresystemen über-

haupt. Die Methoden der Softwaretechnik im weitesten Sinne sind daher mit dem gesamten Entwicklungsprozeß untrennbar verbunden. Gewisse Teilaspekte von Kommunikationssystemen mit dauerhaft schwierigen, konkreten Problemen haben sich im Laufe der Jahre zu Themenschwerpunkten bei der Anwendung formaler und semiformaler Methoden entwickelt. Entsprechend hoch ist hier die Zahl publizierter Arbeiten. Deutlich geringer ist die Zahl der Publikationen, die – ähnlich dem hier vorgestellten Ansatz – über das Prinzip der Abstraktion größere und übergreifende Komplexe von Kommunikationssystemen zum Zweck der Analyse und Synthese formal beschreiben.

In Abschnitt 3.3.1 werden einige Themenschwerpunkte mit grundlegenden Ansätzen formaler Methoden in Kommunikationssystemen vorgestellt. Abschnitt 3.3.2 beschreibt eine Reihe von Ansätzen, bei denen Abstraktion (im weitesten Sinne) zur Reduktion der Komplexität von Kommunikationssystemen im Vordergrund steht. Darüber hinaus profitiert der Entwicklungsprozeß von Telekommunikationssystemen mittelbar auch von vielen weiteren Forschungsaktivitäten in Gebieten des Software Engineering, die keinen direkten Bezug zur Telekommunikation haben und nachstehend auch nicht erwähnt sind.

Der letzte Abschnitt dieses Kapitels (3.3.3) beschreibt den Zusammenhang zwischen der hier vorgestellten abstrakten, relationalen Modellierung von Verbindungsstrukturen und deren Darstellung in modernen Dienstarchitekturen am Beispiel TINA.

3.3.1 Formale Spezifikationen

Die exakte Beschreibung von Protokollen zwischen kommunizierenden, asynchronen und parallelen Prozessen ist ein elementarer Vorgang beim Entwurf von Telekommunikationssystemen. Dazu gehört sowohl die Beschreibung der *Syntax* der Protokollelemente wie auch die Beschreibung des *Verhaltens* der Protokollautomaten. Seit Ende der siebziger Jahre sind hierzu spezielle Sprachen entwickelt und standardisiert worden, die den Begriff der *Formal Methods* begründeten. Die wichtigsten Vertreter solcher Sprachen sind MSCs [21], SDL, ESTELLE, LOTOS [59] und auch PROMELA [12]. Neben diesen Sprachen ist mit TTCN-3 (Testing and Test Control Notation) auch eine Sprache zur Spezifikation von Testfällen standardisiert worden [24]. In einer großen Anzahl von Publikationen sind Anwendungen dieser Sprachen, Generatoren, Übersetzer, Verifikation und Tests für viele Bereiche der Telekommunikation beschrieben. Umfassende Bibliographien hierzu sind in [28, 29] zu finden sowie in den Tagungsbänden der PSTV-Konferenzen (Protocol Specification, Testing and Verification) ab 1981 [39].

Ein hartnäckiges Problem von Kommunikationsdiensten sind Dienstmerkmale, die in Kombination mit anderen Dienstmerkmalen zu gegenseitiger Beeinflussung oder unerwünschtem und widersprüchlichem Verhalten führen (Feature Interaction). Beispielsweise kann ein Feature, das eingehende Anrufe bei besetztem Anschluß in eine Warteschlange einreicht, nicht gleichzeitig mit Rufweiterleitung aktiviert sein. Zu diesem Problem, das meist in wesentlich komplexerer Form als in diesem Beispiel auftritt, sind eine große Zahl von Ansätzen mit den verschiedensten Formalismen und Modellen publiziert worden. Grundsätzlich lassen sich Ansätze unterscheiden, die durch Re-Engineering bestehender Systeme potentielle Probleme aufdecken sollen und solche, die Feature Interaction während der Spezifikation mit Hilfe mathematischer/formaler Methoden zu vermeiden versuchen. Beiden Methoden sind jedoch durch das potentiell unvorhersehbare Verhalten des realen Netzes recht enge Grenzen gesetzt. Eine umfassende Zusammenstellung der hierzu vorhandenen Arbeiten ist in [11] zu finden.

3.3.2 Abstrakte Modelle für Kommunikationssysteme

Das Erstellen abstrakter Modelle ist eine grundlegende Technik des System und Software Engineering. Die Intention dabei ist, die für eine Aufgabe jeweils zentralen Aspekte eines Gesamtsystems in einen möglichst einfachen, konsistenten Formalismus abzubilden und diesen dann für Analyse oder Synthese zu verwenden. Im Umfeld von Kommunikationssystemen ist dieses Vorgehen an vielen Stellen zu finden, wie die folgenden Punkte zeigen.

Service Engineering. Die rasche Entwicklung von Diensten ist ein essentiell wichtiger Faktor für den wirtschaftlichen Erfolg eines Diensteanbieters. Aus diesem Grund sind eine Reihe von Techniken des *Service Engineering* entstanden, die für eine konkret vorhandene Infrastruktur die Entwicklung von Diensten unterstützen sollen. Die meisten dieser *Service Creation Environments* verwenden eine Form der Abstraktion (zumindest von Implementierungsdetails), die wegen der Bindung an die darunterliegende Technologie in der Regel jedoch nicht allgemeingültig ist.

Eine hohe Verbreitung haben Service Creation Environments für das Intelligente Netz [34, 47] gewonnen. Viele Hersteller von IT/IN-Komponenten bieten derartige Tools an, die für den beschränkten Umfang möglicher Dienste des IN graphische Oberflächen enthalten, in denen die SIBs (Service Independent Building Blocks) zu Diensten komponiert werden können. Solche Building Blocks umfassen z. B. vordefinierte Kontrollstrukturen für die Dienststeuerung, Funktionen zur Rufsteuerung, Abrechnung, Nummernumsetzung etc. Ein Übersetzer erzeugt aus der Beschreibung den Code des Dienstes. Oft gehören auch Werkzeuge für Validierung und Test der Dienste zur Entwicklungsumgebung.

Auch in Dienstarchitekturen für Multimediadienste sind Service Creation Environments zu finden. Das hierarchische, durchaus sorgfältige objektorientierte Paradigma, nach dem die TIN-Architektur (siehe 3.2.2) aufgebaut ist, kann durch weitere Abstraktion noch konkreter auf die Anforderungen des Service Engineering spezialisiert werden. Im TOSCA-Projekt (TINA Open Service Creation Architecture) [58] ist ein derartiger Ansatz verfolgt worden. Die aus Top-Down-Sicht der Dienstentwicklung wichtigsten Funktionen des gesamten TINA-Frameworks sind darin zu *Functional Blocks* zusammengefaßt.

Im Rahmen des europäischen ACTS-Programms (Advanced Communication Technologies & Services) sind im Teilprojekt SCREEN (Service Creation Engineering Environment) [46] Methoden und Werkzeuge zur Komposition von Diensten entwickelt worden. Kernthema des Projektes ist es, Richtlinien und „Best Practices“ für den gesamten Entwicklungsprozeß von Diensten in komponentenbasierte Architekturen (TINA) zu geben.

Stark abstrahierende Modelle. Die Idee einer vollständig abstrakten Beschreibung von Diensten ohne implementierungsspezifische Details ist z. B. in [50, 51] zu finden. Die Abstraktion erlaubt dabei, Dienste unter operativen und kommerziellen Gesichtspunkten zu analysieren, um so innerhalb der gegebenen technischen Parameter die bestmögliche Realisierung abzuleiten. Das Modell beschreibt drei zentrale Elemente von Diensten (Endpunkte, Kanäle und Kommunikationsbeziehungen) und deren Konfigurationen und Relationen untereinander. Abläufe von Diensten werden dann über Zustandsfolgen spezifiziert. Hinsichtlich der Beschreibung von Dienstverhalten durch Abfolgen von Verbindungen ist das Modell dem hier vorgestellten Ansatz ähnlich; es beinhaltet jedoch keine tiefere Semantik bei der Beschreibung der Kommunikationsbeziehungen.

Modelle für Verbindungsstrukturen. Bei näherer Betrachtung zeigt sich, daß Verbindungen zwar stets ein Teil des Modells von Dienstarchitekturen und Service Creation Environments

sind, diese aber nicht über Konzepte verfügen, die eine semantisch exakte, dienst- und netz-unabhängige Beschreibung von Dienstverhalten bezüglich der Verbindungsstruktur erlauben. Die möglichen Gründe dafür liegen in den einfachen Verbindungsarten derzeitiger Telefoniedienste, der geringen Verbreitung und Verfügbarkeit von Konferenzdiensten und der geringen Flexibilität der Verbindungsstruktur während einer Dienstnutzung. Die beiden letzten Punkte werden sich in naher Zukunft rasch ändern, so daß der Modellierung von Verbindungsstrukturen eine größere Bedeutung zukommt.

Das Modell einer Verbindung in Diensten für das (analoge wie digitale) Telefonnetz besteht seit den Anfangstagen der Telefonie aus einem von Vermittlungsstelle zu Vermittlungsstelle fortschreitenden Rufaufbau. Die Topologie der stets bidirektionalen Verbindungen kann durch Verzweigungen (*Call Legs*) erweitert werden. In dieses Modell fügen sich sowohl neue Übertragungstechniken als auch Dienstarchitekturen ein: Seit ISDN findet die Übermittlung der Nutzdaten und die Signalisierung zwischen den Vermittlungsstellen und Endpunkten in digitaler Form statt (siehe 3.1.2). Das Intelligente Netz (3.1.3) standardisiert die Eingriffsmöglichkeiten in den Vermittlungsprozeß und stellt Standardkomponenten als Endpunkte zur Verfügung (die *Intelligent Peripherals*, z. B. Mailboxen). Zusätzliche (drahtlose) Übertragungsformen und Offenlegung der Schnittstellen verändern das zugrundeliegende Modell nicht.

In der Distributed Feature Composition Architecture [26] werden in den Pfad entlang des fortschreitenden Rufaufbaus weitere Komponenten hintereinander eingefügt, die einzelne Features realisieren: Verzweigung, Weiterleiten bei Besetzt, Notunterbrechung, Rufablehnung etc. Aus der Reihenfolge der *Feature Boxes* ergibt sich das Gesamtverhalten.

In der Regel erfordern Multimediasdienste komplexere Verbindungsstrukturen als Telefoniedienste. Wegen der visuellen Repräsentation sind auch große Konferenzen überschaubar. Architekturen für Multimediasdienste verwenden daher ein deutlich flexibleres Konzept zur Modellierung von Verbindungsstrukturen. Das Basiselement ist entweder eine 1:1-Verbindung (Unicast) oder eine 1:n-Verbindung (Multicast).

3.3.3 Abstrakte Verbindungsstrukturen in TINA

Die TIN-Architektur bildet die Verbindungsstrukturen von Diensten in eine umfassende, hierarchische Architektur ab, die von der Modellierung aus Sicht eines Dienstes bis zur Abbildung in reale Netze mehrere Ebenen der Abstraktion vorsieht. Die folgenden Abschnitte beschreiben diese Architektur mit Schwerpunkt bei den verwendeten Modellierungskonzepten.

Alle Konzepte, die aus der Rolle eines *Connectivity Providers* heraus benötigt werden, um Übertragungskapazität TINA-konform anzubieten, sind in der *Network Resource Architecture* [53] zusammengefaßt. Die Funktionen, die zur Realisierung der Verbindungsstruktur eines Dienstes notwendig sind, werden in der *Connection Management Architecture* für jede Abstraktionsebene der Network Resource Architecture beschrieben. In jeder Ebene steht ein entsprechendes Modell für die beteiligten Einheiten, deren Beziehungen untereinander und weitere Konzepte zur Verfügung.

Aus physikalischer Sicht besteht das Netz, das TINA-Diensten die Übertragung von Multimediasdaten ermöglicht, aus einer Sammlung verschiedener Netztechnologien (ATM, SDH, Frame Relay usw.). Eine Ende-zu-Ende-Verbindung unter Berücksichtigung der einzelnen Subnetze und Domänen wird durch den *Physical Connection Graph* (PCG) beschrieben. Der *Communication Session Manager* abstrahiert den PCG zu einem *Logical Connection Graph*. Dessen Konzept zur Beschreibung von Verbindungen ist die *Stream Flow Connection* (SFC). Ein SFC beschreibt eine 1:1- oder 1:n-Verbindung zusammen mit der realisierten Dienstgüte zwischen

Stream Flow Endpoints (SFEP). Ein oder mehrere SFEPs mit unterschiedlichen Charakteristika (z. B. für Audio und Video) bilden das *Stream Interface* eines *Session Members*. Aus der Sicht eines Dienstes sind Verbindungsstrukturen noch in einer weiteren Stufe abstrahiert. Um auch n:n-Strukturen zu ermöglichen, werden Verbindungen mit Hilfe von *Stream Bindings* beschrieben. Ein Stream Binding beschreibt eine Verbindungsstruktur als Konstellation von Session Members, Stream Flow Connections, Stream Interfaces und Stream Flow Endpoints. Abb. 1 stellt die Beziehungen eines Stream Binding in Form eines Klassendiagramms dar (nach [53]):

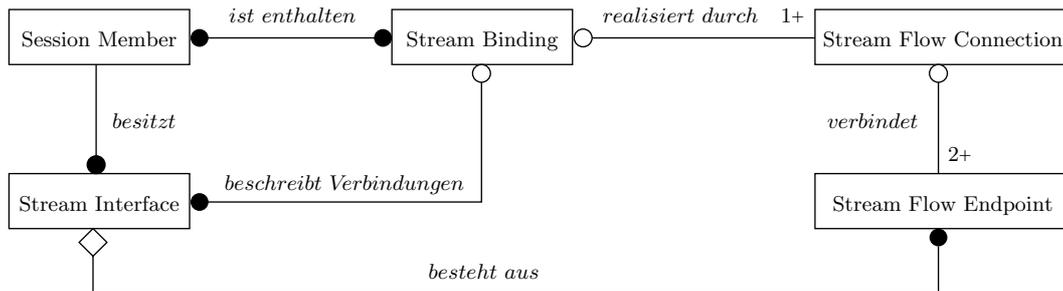


Abb. 1: Abstrakte Modellierung von Verbindungsstrukturen in der Connection Management Architecture von TINA.

Der Aufbau einer Verbindungsstruktur über die Hierarchieebenen hinweg geschieht folgendermaßen: Ein Dienst gibt innerhalb der Service Session die gewünschte Verbindungsstruktur in Form eines Stream Binding vor. Der Service Session Manager leitet daraus eine Menge von Stream Flow Connections ab, die mit Hilfe des Communication Session Managers auf der vorhandenen Netzinfrastruktur realisiert werden.

Zur konkreten Beschreibung eines Stream Binding sieht die Service Architecture zwei Möglichkeiten vor: In der einfachen Variante besteht ein Stream Binding schlicht aus einer Menge von Stream Flow Connections. Damit ist die grundlegende Struktur der realen Netzverbindungen bereits vorgegeben, und das Konzept des Stream Binding bietet aus Sicht des Dienstes keine weitere Abstraktion in Form verschiedener Varianten oder n:n-Verbindungen. Jedoch ist eine solche Beschreibung von Verbindungsstrukturen mit den Mitteln von TINA direkt zu realisieren. In der abstrakten Variante (*Participant oriented stream binding*) sollen die Verbindungsstrukturen nur zwischen Session Members ohne Rückgriff auf SFCs beschrieben werden. In beiden Ansätzen zur Beschreibung von Stream Bindings fehlt eine Semantik für die Operationen auf Verbindungsstrukturen. Exakt diese Lücke füllt die relationale Modellierung von Verbindungsstrukturen, wie sie in den verbleibenden Kapiteln vorgestellt wird.

4 Dienste in verteilten Systemen

Im Kontext von Kommunikation steht der Begriff „Dienst“ meist zusammenfassend für eine Konfiguration technischer Infrastruktur, die einen gewünschten Informationsaustausch gewährleistet. Weil sowohl Infrastruktur als auch Informationen sehr unterschiedlich sein können, ist die Zahl der möglichen Interpretationen von „Dienst“ groß. Es gibt Fernmeldedienste, Wetterdienste, Nachrichtendienste, „Schicht-N-Dienste“, Fernwirkdienste, Datendienste, Tauschdienste und viele andere Dienste mehr, die abgesehen von Informationsübermittlung in irgendeiner Form, wenig gemein haben. In diesem Kapitel, das einen Exkurs auf dem Weg zur abstrakten Formalisierung von Verbindungsstrukturen darstellt, werden gängige Interpretationen des Begriffes verglichen und daraus eine universelle Deutung abgeleitet.

In den folgenden Abschnitten werden zunächst drei Gebiete, in denen der Begriff „Dienst“ in Gebrauch ist, näher betrachtet: Telekommunikation, Rechnernetze und das Internet. Obwohl die zugrundeliegende Technik konvergiert, unterscheidet sich die Bedeutung von „Dienst“ stark. Im Bereich der Telekommunikation beispielsweise, ist der Begriff geprägt durch die Fernübertragung echtzeitgebundener Daten. Hingegen spielt bei den Diensten des Internet der Vorgang der Übertragung gegenüber Inhalt und Aufbereitung der Daten nur eine Nebenrolle. In der Terminologie der Rechnernetze wiederum werden Dienste unter dem Aspekt der Normierung und Kapselung von Übertragungsfunktionalität betrachtet.

Keine dieser Interpretationen von „Dienst“ ist zur Beschreibung der Anwendungen der künftig zu erwartenden, global vernetzten Kommunikations- und Rechnerwelt geeignet. Jede dieser Interpretationen enthält jedoch Aspekte, die in eine neue Deutung des Begriffes einfließen können, indem bereits heute erkennbare Trends bei der Interpretation von „Dienst“ extrapoliert werden. In der entstehenden Deutung sind „Dienste“ eine *Prozesssicht*, die orthogonal zur verbreiteten *Struktursicht* auf Systeme existiert.

4.1 Geläufige Interpretationen von „Dienst“

Die umgangssprachliche Bedeutung des Begriffes „Dienst“ (engl. *Service*) im alltäglichen wie technischen Sinne ist schnell erschlossen: Man versteht darunter eine Leistung, die einem Dienstanutzer von einem Dienstleister zur Verfügung gestellt wird. Welchen Umfang diese Dienstleistungen haben, in welcher Form sie erbracht werden und wer die Nutzer oder Erbringer sind, ist höchst unterschiedlich. Ob Dienste für elementare oder komplexe Vorgänge stehen, ob sie abstrakt nur die Sicht des Nutzers beschreiben oder konkret den Dienstleister und dessen Konstruktion miteinbeziehen und in welchen Bereichen der fortschreitenden Automatisierung der Welt sie existieren, bleibt jeweils offen.

In dem folgenden Streifzug durch die verschiedenen Arten von Diensten werden die spezifischen Eigenschaften und die jeweils universell verwendbaren Konzepte der Interpretationen herausgestellt, die die Basis für eine universellere Dienstdefinition bilden.

4.1.1 Dienste der Telekommunikation

Im Umfeld der Telekommunikation hat „Dienst“ als Oberbegriff der Anwendung von Kommunikationstechnik eine lange Tradition. Die Betreiber von Kommunikationsnetzen sind stets versucht, den vorhandenen Kommunikationsbedarf unterschiedlichster Art durch die Bereit-

stellung von Diensten – in der Regel kostenpflichtig – zu decken. Telefon und Fernschreiben sind seit über einem Jahrhundert die bekanntesten Vertreter unter diesen Diensten, obwohl viele Netzbetreiber auch weniger bekannte Dienste im Angebot haben: Datendienste, Fernwirk- und Fernmeßdienste, Satellitenübertragungen, Richtfunk, aber auch Verteildienste wie das Kabelfernsehnetz. Jeder dieser Dienste kann in verschiedenen Ausprägungen realisiert sein, sich aus einer Anzahl weiterer Dienste zusammensetzen oder technische Infrastruktur und Netze mit anderen Diensten teilen. Dienste können eine komplette Infrastruktur umfassen, andere Dienste nur erweitern oder den Zugang zu weiteren Diensten herstellen.

Alle Kennzeichen von Kommunikationsdiensten zusammen bilden einen vieldimensionalen Vektorraum. Einzelne Dienste belegen darin Unterräume, die durchaus orthogonal sein können. Eine durchgehend konsistente Einordnung von Diensten ist daher schwierig; deswegen klassifizieren die folgenden Abschnitte Dienste jeweils unter einem Teilaspekt.

Deutung mit zentralem Bezug zur Kommunikation. Der Begriff „Dienst“ steht in der Telekommunikationsindustrie für die verschiedenen Kommunikationsmöglichkeiten, die Dienstanutzern zur Verfügung gestellt werden können. Einer diesbezüglichen Definition zufolge, werden durch „Dienst“

„... sämtliche Kommunikationsdienste bezeichnet, die den Benutzern zur Kommunikation über öffentliche oder private Netze von Fernmeldeverwaltungen und privaten Dienst Anbietern zur Verfügung gestellt werden. Beispiele sind die Dienste Fernsprechen, [...] Videokonferenz, Bildschirmtext, Dialog- und Abrufdienste, Datenübertragung. Die Dienste werden charakterisiert durch ihre technischen, betrieblichen und benutzungsrechtlichen Dienstmerkmale. Diese beschreiben sämtliche Kommunikationsfunktionen und Protokolle, die zur Abwicklung der dem jeweiligen Dienst zugeordneten Kommunikationsmöglichkeiten erforderlich sind.“ [5]

Die ITU (als Nachfolgeorganisation der CCITT) gibt im Rahmen der Standardisierung des B-ISDN in der Empfehlung I.211 [20] eine Klassifizierung von Breitband-Diensten vor. Diese treten demnach in folgenden Varianten auf:

- Interaktive Dienste. Darunter fallen alle Arten der vom Benutzer initiierten Kommunikation zweier oder mehrerer Teilnehmer. Im einzelnen sind dies:
 - *Conversational Services*: Benutzerspezifische Kommunikation von Bild-, Ton- oder anderen Daten über zumeist bidirektionale Kanäle. Beispiele sind alle Arten von Konferenzen, Faxdienste, verteilte Dokumentbearbeitung etc.
 - *Messaging Services*: Unidirektionale Nachrichtenübermittlungsdienste von einem Absender zu einem Adressaten für alle Arten von Daten, meist ohne strenge Echtzeitbedingung. Einfache E-Mail-Dienste gehören ebenso in diese Kategorie wie „Video Mail Services“.
 - *Retrieval Services*: Personalisierbare Abrufdienste. Beliebige Daten (z. B. Audio-, Video- oder Textdokumente) werden auf Initiative des Empfängers zum Download bereitgestellt.
- Verteildienste. Kennzeichnend hierfür ist die Rundfunk- oder Broadcast-Charakteristik der Übertragung, die nicht vom Benutzer initiiert ist. Die ITU unterscheidet zusätzlich *Distribution services*

- *without user individual presentation control*: Hierzu zählt hauptsächlich die Ausstrahlung von TV- und Radioprogrammen. Derartige Dienste benötigen keinen Rückkanal.
- *with user individual presentation control*: Anwendungen hierfür sind laut ITU „full channel broadcast videography, remote education and training, tele-advertising, news retrieval, telesoftware“.

Die Verteildienste der zweiten Kategorie werden mit dem vollständigen Umstieg auf digitales Fernsehen (der in Deutschland 2010 abgeschlossen sein soll) erheblich an Bedeutung gewinnen. Die Standardisierung einer einheitlichen Programmierschnittstelle für interaktive TV-Applikationen ist unter dem Namen MHP (Multimedia Home Platform) [10] bereits verabschiedet und von den meisten europäischen Fernsehsendern aufgenommen worden.

Mehrwertdienste und Features. Die flächendeckende Bereitstellung von Diensten verursacht hohe Investitionen in eine landes- oder auch nur firmenweite Vermittlungs- und Übertragungsinfrastruktur. Die Betreiber der Anlagen sind daher stets versucht, den Funktionsumfang der installierten Netze zu erweitern oder neue Anreize zur Nutzung zu geben.

Beispielsweise unterscheiden sich Telefonanschlüsse in der grundlegenden Funktionsweise des Telefonierens nur wenig. Unterschiede bestehen erst in den Zusatz- und Komfortfunktionen des Fernsprechdienstes, für die in der Telefonie der Begriff Feature verwendet wird. Häufige Features sind:

- Einfache Features wie ständige Rufweiterleitung, Rufweiterleitung bei belegt, selektive Rufweiterleitung, auch in Verbindung mit Ansage- und Aufzeichnungsfunktionen.
- Konferenzschaltungen, Emergency break in und weitere Features, die während eines Gesprächs die Teilnehmer verändern. Dazu zählt auch „Makeln“.
- Jede sonstige Art der Funktionserweiterung, wie z.B. GENION. Bei diesem Feature eines Mobilfunkanbieters werden die Gesprächsgebühren abhängig von der aktuellen Funkzelle ermittelt.

Neben den reinen Übertragungsdiensten nahm in den achtziger Jahren die Bedeutung sogenannter Mehrwertdienste zu, bei denen die Übertragungsfunktion eines Dienstes nur Mittel zum Zweck ist. Mehrwertdienste beinhalten Speicher- und Verarbeitungsfunktionen. Einfache Zeitanagedienste, Telefonauskunft oder redaktionell bearbeitete Informationsdienste gehören hier dazu. Informationsdienste wie Bildschirmtext [15] (ab 1983, später in Datex-J umbenannt) und Videotext boten erstmals aktuelle Meldungen zur persönlichen Auswahl und erste Versuche mit Online-Shopping. Es hat immer wieder Versuche gegeben, mit der Standardisierung von Telekommunikationsdiensten auch in höhere Anwendungen vorzudringen (Bildtelefonie im ISDN, „Fernskizzieren“, usw.), diese sind jedoch allesamt ohne Bedeutung geblieben. Derartige Dienste unter dem Dach der Telekommunikation sind mittlerweile vom Internet verdrängt worden.

Zusammenfassung. Die Dienstdefinitionen der Telekommunikation, die aus der Keimzelle Fernschreiben und Telefonie entstammen, sind gekennzeichnet durch die stets vorhandene Fernübertragung und eine Ende-zu-Ende-Kompatibilität. Die Definitionen gehen meist auf die Ausprägungen von Charakteristik, Auslöser und Richtung des Informationsflusses ein. Sie stellen meist komplette Systeme dar, von der Übertragungscharakteristik über die Vermittlungsanlagen bis zu den Endgeräten. Die Systeme sind geschlossen und die Zahl der

Technologiehersteller, Betreiber und Dienstentwickler ist limitiert. Ein „Dienst“ umfaßt in diesem Sinne sowohl die Technologie als auch die Interaktion mit dem Benutzer.

4.1.2 Dienste in Rechnernetzen

Im Bereich der Computernetzwerke sind kommunizierende Systeme gemäß dem ISO-OSI-Referenzmodell von 1983 [8] von den physikalischen Eigenschaften des Übertragungsweges bis zur Anwendung aus Benutzersicht horizontal in sieben Schichten unterteilt. Jede Schicht stellt der nächsthöheren Schicht eine im Standard beschriebene, abstrakte Übertragungsleistung zur Verfügung (Abb. 2). Diese Übertragungsleistung wird als *Dienst* bezeichnet und kann über einen Dienstzugangspunkt angefordert werden.

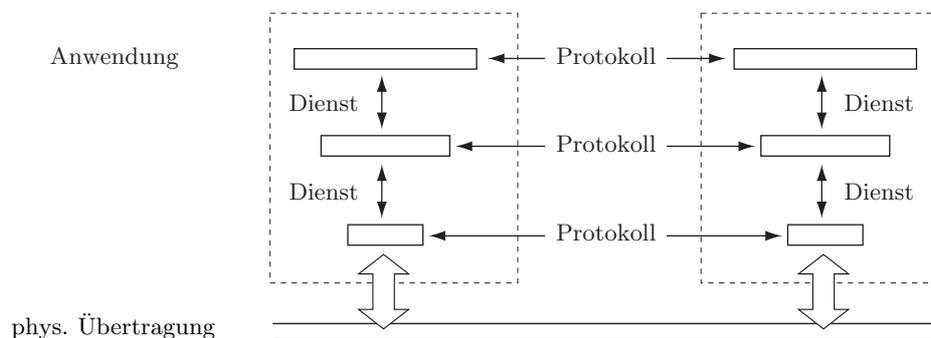


Abb. 2: Vereinfachtes ISO-OSI-Schichtenmodell. Die horizontale Kommunikation wird als *Protokoll* bezeichnet, während man in vertikaler Richtung von *Dienst* spricht.

Charakteristisch für das Schichtenmodell ist, daß Dienste einer Schicht jeweils von der Realisierung innerhalb der Schicht und den Diensten der darunterliegenden Schichten abstrahieren. Dadurch soll die Interoperabilität verschiedener Systeme sichergestellt und eine Abhängigkeit von Technologien vermieden werden. Dieses Prinzip von Abstraktion und Schnittstellen zwischen Schichten ist noch heute grundlegend für jede Art der Kommunikation. In seiner Reinform mit sieben Schichten und perfekter Einbettung der Protokolle von Schicht zu Schicht verliert das Referenzmodell und damit auch dessen Definition von „Dienst“ jedoch an Bedeutung. Die Gründe dafür liegen in den veränderten Rahmenbedingungen von Übertragungstechnologie und Anwendungen:

Die oberen Schichten (Anwendungs-, Darstellungs- und Sitzungsschicht) wie die unteren (Transport-, Vermittlungs-, Sicherungs- und Bitübertragungsschicht) treten in heutigen Systemen vermehrt als monolithische, ineinandergreifende Einheiten auf. In den unteren Schichten würden Geschwindigkeiten im Gigabit-Bereich einen hohen Aufwand in den Knotenpunkten für das Handling der Daten von Schicht zu Schicht verursachen. Zudem gestatten erheblich zuverlässigere Übertragungswege (z. B. Glasfaser), den Aufwand in der Sicherungsschicht zu reduzieren. In diesen Bereichen verwendete Protokolle erfordern stattdessen schnelle, in der Hardware durchführbare Vermittlung und einfaches Multiplexing, oft zum Preis eines insgesamt aufwendigeren Protokolls. Ein Repräsentant dieses Prinzips ist ATM [16].

Mit dem Dienst der Transportschicht steht den oberen Schichten eine vollständige und reihenfolgekorrigierte Übertragung aller Pakete zur Verfügung. Zur Datenkommunikation über möglicherweise unsichere, paketvermittelte Netze ist dies eine notwendige Voraussetzung, obwohl durch Bestätigungspakete und erneutes Senden zusätzliche Netzlast erzeugt wird. Bisher war eine zu 100% einwandfreie Übertragung zwischen Sender und Empfänger grundlegend für

die meisten Anwendungen der Datenkommunikation. Dementsprechend sind viele Transportprotokolle unter dieser Prämisse konstruiert worden. Dieses Prinzip trifft künftig auf eine ganze Klasse von Anwendungen, die noch dazu einen hohen Bandbreitenbedarf haben, nicht mehr zu.

In echtzeitbasierten Multimediasdiensten mit Bild- und Tonübertragung (für Videotelefonie, Video on Demand, etc.) ist es vorteilhafter, verlorene Pakete zu ignorieren, als sie neu anzufordern. Wichtig hierbei ist, daß die Entscheidung zwischen Ignorieren, Rekonstruieren oder Neuansforderung idealerweise von der Anwendung und nicht vom Netzprotokoll getroffen werden soll. Die Bedeutung dieses sog. Application Framing [7] nimmt mit der Verbreitung echtzeitbasierter Formate zu.

Zusammenfassung. Insgesamt hat das Referenzmodell wenig Einfluß auf die tatsächliche Realisierung moderner Systeme, ist aber aufgrund seiner Einfachheit gut geeignet, den Aufbau von Netzen zu erläutern. Der Begriff des Dienstes ist beschränkt auf die Interaktion zwischen zwei Schichten. Realisierungsaspekte sind kein Teil eines Dienstes, sondern Bestandteil der Protokolle innerhalb einer Schicht. Während die Definition von sieben Schichten zumindest in den oberen, anwendungsbezogenen Schichten problematisch ist, ist die Deutung von Dienst als Interaktion eine grundlegende Erkenntnis.

4.1.3 Die Besonderheit der Dienste des Internet

Seit einigen Jahren überwiegt die kommerzielle Bedeutung des Internet dessen ursprüngliche Funktion als wissenschaftliches und militärisches Rechnernetz. Dementsprechend stehen heute bei der Betrachtung des Internet nicht jene Dienste im Vordergrund, die es als Rechnernetz im klassischen Sinne des ISO-OSI-Schichtenmodells beinhaltet, sondern die unzähligen *Anwendungen* dieses Mediums. Eine standardisierte Nomenklatur, wie sie für Dienste in Telekommunikations- und Rechnernetzen zahlreich versucht wurde, hat sich dafür nicht durchsetzen können. Angesichts der zahlreichen Parallelen und ähnlicher Einsatzbereiche können Anwendungen des Internet jedoch auch als Dienste bezeichnet werden.

In diesem Abschnitt wird weniger auf die einzelnen Dienste des Internet eingegangen, sondern die Besonderheit der einfachen Dienstentwicklung hervorgehoben, die zur hohen Verbreitung und Vielfalt beigetragen hat (siehe auch [51]). Dieses Prinzip ist richtungsweisend für die Dienstentwicklung in der Telekommunikation.

Das Wort „Internet“ steht für den weltweiten Zusammenschluß unzähliger lokaler und regionaler Netze. Wie im Telefonnetz sind alle Teilnehmer über ein hierarchisches Adressierungsschema erreichbar. Obwohl Netze, Endgeräte und Übertragungsverfahren sehr unterschiedlich sind, steht mit dem Internet eine globale Kommunikationsplattform zur Verfügung, die hinsichtlich ihrer Verbreitung, Vielseitigkeit und Homogenität aus Anwendungssicht einzigartig ist. Heute sind die wichtigsten Dienste des Internet der Dateitransfer, E-Mail und der Informationsdienst WWW, um nur die Basisdienste zu nennen. Darüber hinaus sind viele weitere Kommunikationsdienste (Chat, News), Auskunftsdienste, Datenbankdienste und Tauschbörsen für beliebige Daten, wie z. B. Napster oder Gnutella, im Internet zu finden.

Nicht alle Dienste wurden für das Internet neu erfunden. Einiges ist in ähnlicher Funktionalität auch als Telekommunikationsdienst realisiert worden. Einfacher Dateitransfer beispielsweise, ist sowohl über die Protokolle des Internet (FTP) als auch per Datex oder ISDN möglich. Sogar höhere Anwendungen, wie die heute vom Internet her wohlbekannte elektronische Post (E-Mail), wurden als Telekommunikationsdienst entwickelt: Der TELEBOX

genannte Dienst der damaligen Deutschen Bundespost [35] nahm 1984 den Probetrieb auf und bot alle wesentlichen Merkmale heutiger E-Mail. Bildschirmtext [15] ermöglichte lange vor dem WWW interaktive Informationsdienste, Homebanking, Download von Software etc. Jedoch haben solche Dienste als Telekommunikationsdienste nie große Bedeutung erlangt, während im Internet die Zahl der Teilnehmer und die Vielfalt der Angebote zeitweise exponentiell gestiegen ist. Der Grund für diese Entwicklung, der auch für künftige Dienste der Telekommunikation von Bedeutung ist, liegt neben der leichten Verfügbarkeit von Technologie und billigen, universellen Endgeräten vor allem in der besonderen Art der Dienstentwicklung.

Die Einfachheit der Dienstentwicklung im Internet ist hauptsächlich eine Folge der vollständigen Trennung von Dienst und Netz. Die Seite der Übertragungsnetze ist gekennzeichnet durch hohe Investitionen in Zugangs- und Weitverkehrsnetze, die von den großen Betreibergesellschaften ausgeführt werden. Die Dienstentwicklung hingegen findet unabhängig davon auf der Basis der standardisierten IP-Protokollfamilie statt. Die dazu nötige Technologie benötigt keine nennenswerten Investitionen, ist schnell zu erlernen und vor allem jedermann zugänglich. Auch der Aufwand für die Installation neuer Dienste ist im Internet – verglichen mit Diensten für andere Netze – verhältnismäßig gering. Die Universalität von Endgeräten und Knotenpunkten eines Dienstes spielt dabei eine wichtige Rolle. Neue Dienste können blitzschnell per Software sowohl im Endgerät als auch in Knotenpunkten (z. B. Webservern) eingerichtet werden. Eventuell nötige Client-Software kann im Internet sofort zum Download bereitgestellt werden. Die zentrale Infrastruktur in Form von Workstations und Servern ist zudem vergleichsweise billig.

Die Vielfalt der dadurch möglichen Dienste ist beinahe beliebig. Jede denkbare Anwendung von Rechensystemen kann im Internet als Dienst realisiert werden, sofern die dort momentan vorherrschende Art der Datenübertragung ausreicht: paketvermittelte, wahlweise auch verbindungsorientierte (gesicherte) Übertragung ohne garantierte, vor allem aber mit höchst unterschiedlichen Bandbreiten und Laufzeiten. Diese technischen Randbedingungen sind jedoch ständig in Bewegung. Die Dienste des Internet sind ein Beispiel dafür, wie die einfache, billige Verfügbarkeit einer bestimmten Schwellentechnologie schlagartig zur Verbreitung der entsprechenden Dienste führt. Der Tauschdienst Napster beispielsweise, ist eine Konsequenz aus 56K-Modems/ISDN und der effizienten MP3-Codierung von Audiodaten.

Die genannten Übertragungseigenschaften des Internet haben bisher Anwendungen mit Echtzeitdaten (Sprache, Videobilder) verhindert. Sobald jedoch der Ausbau der Netze und Internetprotokolle für zumindest statistische Einhaltung von Bandbreiten- und Latenzzeitgarantien abgeschlossen ist (siehe Kap. 3.2.3), ist ein gänzlich anderes Szenario zu erwarten. Dann sind mit ähnlich einfacher Client-Software viele Dienste möglich, die sonst nur durch echte Telekommunikationsdienste mit dem entsprechenden Aufwand zu realisieren wären. Sobald der niederschweligen Art der Dienstentwicklung und -einrichtung des Internets auch echtzeittaugliche Breitbandverbindungen zugänglich sind, wird sich die Dynamik der Dienstentwicklung des Internet auf Dienste zur Telekommunikation übertragen.

Zusammenfassung. Im Umfeld des Internet hat der Begriff des Dienstes den übertragungstechnischen Schwerpunkt und den Aspekt des Gesamtsystems verloren. Die Deutung als Interaktion zwischen Schichten wird der Vielfalt der vorhandenen Dienste ebenfalls nicht gerecht. Stattdessen stellen Dienste des Internet eigentlich verteilte Anwendungen dar. Sobald auch Echtzeitkommunikation möglich ist, überschneiden sich die verteilten Anwendungen des Internet mit Diensten der Telekommunikation.

Darüber hinaus hat das Beispiel Internet gezeigt, wie schnell eine Technologie in bestehen-

de Anwendungen integriert werden kann und wie selbstverständlich dies nach einiger Zeit erscheint, wenn diese Technologie durch leichte Verfügbarkeit, billige, universelle Basistechnologie und einfache, offene Standards gekennzeichnet ist.

4.1.4 Eigenschaften der Interpretationen von „Dienst“

Insgesamt hat sich aus den letzten drei Abschnitten ein höchst uneinheitliches Bild von Diensten ergeben. Der Begriff wird in den benachbarten Domänen Telekommunikation, Rechnernetze und Internet auf unterschiedliche Weise verwendet. Umfang, Charakteristik, Anwendungsgebiet, Endgeräte und Bandbreitenbedarf der Dienste sind sehr vielfältig, ebenso wie deren technische Realisierung in Hardware, Software und Übertragungstechnik. Damit in einer konvergierenden Kommunikationswelt die verschiedenen Verwendungen von „Dienst“ nicht aufeinanderstoßen, ist eine universelle Deutung sinnvoll.

Bevor in Kap. 4.2 eine neue, universelle Deutung des Begriffs vorgeschlagen wird, werden in diesem Abschnitt einige Eigenschaften der genannten Interpretationen von „Dienst“ gegenübergestellt. Einerseits werden dadurch die Grundprinzipien eines neuen Dienstbegriffs erkennbar, andererseits werden auch Inkonsistenzen herausgestellt, die es künftig zu vermeiden gilt.

Reichweite des Begriffs. Eine wesentliche Unklarheit besteht in der Frage, in welchem Umfang zu einem Dienst neben der Interaktion auch das realisierende System gehört. Hier ist der Sprachgebrauch sehr unterschiedlich. Jedoch zeichnet sich entlang der Entwicklungsstufen von Diensten in dieser Frage ein Trend ab.

Vor der Digitalisierung des Telefonnetzes umfaßte der „Fernsprechdienst“ eine ganze Reihe technischer Gerätschaften, die sorgfältig aufeinander abgestimmt zu sein hatten, da sie unmittelbar mit der Realisierung des Dienstes verbunden waren: Angefangen bei der Impulswahl des Telefonapparates über die Hubdrehwähler im Amt bis zur darauf abgestimmten Übertragungscharakteristik der Leitungen und der Stromversorgung durch die „Ortsbatterie“. Ins ISO-OSI-Schichtenmodell übertragen hieße das: vom Physical Layer bis zum Application Layer sind alle sieben Schichten Teil der Dienstspezifikation zur Übertragung von Sprache. Analog gilt dies für die Bereitstellung von Telex-, Teletex- und anderen Diensten dieser Zeit. Solche Dienste stellen jeweils ein Gesamtsystem dar.

Die Entwicklung von Diensten für das ISDN findet bereits auf der Grundlage standardisierter, digitaler Kanäle mit einer Basiskapazität von 64 kBit/s statt. Diese kann für verschiedene Dienste (Telefonie, Datenübertragung, etc.) eingesetzt werden. Obwohl die Kanalcodierung und die Signalisierung immer noch durch das ISDN vorgegeben sind, ist die Abstraktion eines Dienstes von der Übertragungstechnik bereits wesentlich höher.

Bei den Diensten des Internet ist diese Abstraktion noch eine Stufe weiter vollzogen. Die Interpretation von „Dienst“ beginnt hier erst bei der Funktionalität oberhalb eines Vermittlungs- bzw. Transportprotokolls. Die meisten Dienste des Internet verwenden darüber hinaus ein Application Protocol zur weiteren Abstraktion: HTTP, HTTPS und FTP sind die bekanntesten Beispiele dafür. Die Dienste des Internet sind somit vollständig unabhängig von der Übertragungstechnik. Kenntnis über die Struktur des zugrundeliegenden Netzes ist zur Dienstentwicklung nicht notwendig.

Die genannten Beispiele verdeutlichen den Trend, dem die Interpretation der Bezeichnung Dienst unterliegt. Dieser verläuft von der früheren Bedeutung als technisches Gesamtsystem hin zur *Anwendung* eines universellen Kommunikationssystems. Die Bedeutung der Basistechnologie als klassifizierendes Element von Diensten wird durch deren zunehmende Universalität

stetig geringer (siehe Abb. 3). Eine universelle Interpretation des Begriffes „Dienst“ muß diese Tatsache berücksichtigen.

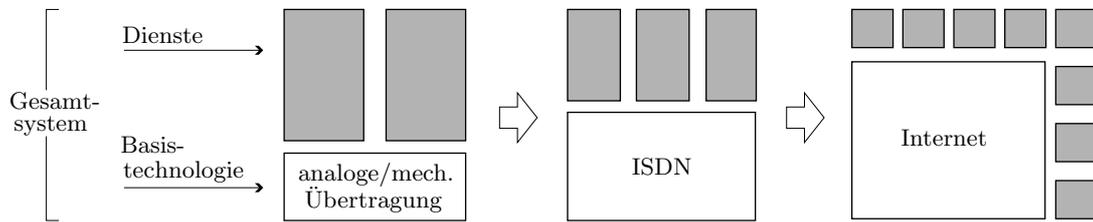


Abb. 3: Dienste werden im Verhältnis zur Basistechnologie zahlreicher und bezogen auf den Anteil am Gesamtsystem auch schlanker.

Dienste und Hierarchie. Die Kommunikationstechnologie umfaßt von der physikalisch-technischen Übertragung bis zur Anwendungsentwicklung eine Vielzahl funktionaler Ebenen. Die letzten Abschnitte haben gezeigt, daß in jeder Ebene die Bezeichnung „Dienst“ in Gebrauch ist: Es gibt gleichermaßen Dienste der Bitübertragungsschicht wie Fahrplanauskunftsdienste im Internet. Hierbei nutzen jeweils die oberen, anwendungsorientierten Dienste die Funktionen der unteren, übertragungsorientierten Dienste. Diese hierarchische Struktur ist eine grundlegende, wesentliche Eigenschaft von Diensten.

Technologieabhängigkeit von Diensten. Die Technologie von Rechen- und Kommunikationssystemen entwickelt sich ständig weiter, wobei die Grenzen zwischen beiden Welten immer mehr verschwinden. Dies hat zur Folge, daß Definitionen von Dienst, die auf einem bestimmten Szenario aufbauen, bei Änderung dieses Szenarios ihre Gültigkeit verlieren. Ein Beispiel dafür sind Dienstdefinitionen (z. B. aus der Telekommunikation), die von separaten Einheiten ausgehen, die erst durch explizite Inanspruchnahme eines Dienstes miteinander kommunizieren. In den permanent verbundenen und hochgradig vernetzten Systemen der Zukunft wird die Unterscheidung zwischen „lokal“ und „entfernt“ und damit auch von „Übertragung“ ihre Bedeutung verlieren. Die Koppelung der Bezeichnung „Dienst“ an die Existenz einer Kommunikationsverbindung führt dann nicht mehr zu einem signifikanten Kriterium. Das Beispiel eines Systems zur Telefonauskunft verdeutlicht diesen noch unbewußt vorhandenen Bezug zwischen „Dienst“ und „Übertragung“: Bei Zugang über das WWW ist man geneigt, von einem Auskunftsdienst zu sprechen, bei exakt derselben Funktionalität und graphischen Bedienoberfläche, die lokal von einer CD-ROM gespeist wird, jedoch nicht. Eine universelle Interpretation des Begriffes „Dienst“ sollte daher soweit wie möglich unabhängig von der zugrundeliegenden Technologie und räumlichen Entfernungen sein.

4.2 Eine alternative Deutung des Begriffes „Dienst“

Der Streifzug durch die verschiedenen Interpretationen des Begriffes „Dienst“ hat gezeigt, daß keine davon eine dauerhaft befriedigende Deutung liefert. Es ist daher eine universelle Deutung notwendig, die den technischen Sprachgebrauch dauerhaft und eindeutig erweitert. Aus den Eigenschaften von Diensten, die durch technologischen Wandel ständig in Bewegung sind, wird in diesem Kapitel durch Extrapolation dieser Eigenschaften ein Dienst als *Prozeßsicht* auf Systeme definiert, die orthogonal zur wohlbekanntem *Struktursicht* ist. Diese

Interpretation zieht eine Reihe von Konsequenzen nach sich, die im Anschluß erläutert sind. Bisher als „Dienst“ bezeichnete Systeme fügen sich nahtlos in die neue Deutung ein.

4.2.1 Herleitung und Definition

Aus den bisherigen Interpretationen von „Dienst“ sind die folgenden beiden Beobachtungen von zentraler Bedeutung:

1. Dienste enthalten immer eine Beschreibung von Interaktion mit dem Dienstinutzer.
2. Der Anteil konstruktiver Beschreibungen, d. h. *wie* eine Dienstleistung erbracht wird, in Diensten nimmt ab.

Der erste Punkt bildet ein Extrakt aus den verschiedenen Verwendungen von „Dienst“. Der zweite Punkt ist eine Beobachtung über die Zeit. Um eine neuartige Interpretation des Begriffs zu erhalten, werden diese Punkte folgendermaßen extrapoliert:

- 1'. Dienste enthalten *ausschließlich* die Beschreibung der Interaktion.
- 2'. Dienste enthalten *keine* konstruktive Beschreibungen der Realisierung mehr.

Damit sind Dienste keine Mischform mehr mit undefiniertem Anteil aus beiden Welten, sondern bilden eine eigenständige Prozeßsicht auf Systeme vom Standpunkt der Interaktion, die orthogonal zur konstruktiven Struktursicht der Systemarchitektur ist. Diese wiederum beschreibt ausschließlich Architektur und Realisierung und keine Interaktion. Beides zusammen ergibt das vollständige System.

Die formale Definition eines Begriffes, der explizit unabhängig von Technologien, Abstraktionsebenen und real existierenden Komponenten sein soll, ist naturgemäß schwierig. Insbesondere sind auf Komponenten bezogene Definitionen der Form „Ein Dienst ist ein...“ oder Rückgriffe auf Anwendungsdomänen („...zur Übertragung von Sprache...“) ungeeignet. Man muß sich deswegen mit einer Kurzdefinition begnügen und die Eigenschaften des Begriffes ausführlich auseinandersetzen. Die neue Definition lautet:

Definition: Dienst

Ein Dienst kennzeichnet die Interaktion zwischen Dienstinutzer und Diensterbringer.

Interaktion bezeichnet hier eine Abfolge von Informationsaustausch zu einem bestimmten Zweck, wobei die Form des Austausches und die Art der Informationen von Dienst zu Dienst verschieden sein kann. Folgende Beispiele verdeutlichen dies:

- Ein Auskunftsdienst ist gekennzeichnet durch den Austausch von Suchkriterien einer bestimmten Domäne und dem Suchergebnis.
- Ein Übertragungsdienst ist gekennzeichnet durch den Austausch von Übertragungsparametern und der Bereitstellung/Änderung von Übertragungskapazität.
- Ein Telekonferenzdienst ist gekennzeichnet durch das Wechselspiel zwischen der Angabe von Teilnehmeridentitäten, Konferenz- und Abrechnungseigenschaften und der Bereitstellung von Übertragungskapazität.

Der Focus des Begriffes Dienst liegt jeweils auf der Semantik der ausgetauschten Daten und nicht auf dem genauen Format des Austausches oder der zugrundeliegenden Realisierung. Dies unterscheidet einen Dienst in obigem Sinne von einem Protokoll, das zwar neben dem Format auch die Semantik der ausgetauschten Daten beschreiben kann, jedoch bereits eine Festlegung auf realisierende Systeme gemäß dieses Protokolls vorgibt.

In den obigen Beispielen ist lediglich die Interaktion aus der Prozeßsicht von Interesse. Sie beschreibt, *was* mit einem Dienst zu realisieren ist. Zur Klärung der Frage, *wie* etwas zu realisieren ist, muß man zur Struktursicht übergehen.

4.2.2 Eigenschaften

Aus der Definition von Diensten als Beschreibung der materielosen Interaktion ergeben sich einige Eigenschaften und Zusammenhänge zu anderen Systemsichten, die unter den folgenden Punkten erläutert werden.

Reichweite des Begriffs. Übertragen auf Abb. 3 bedeutet die bildliche Extrapolation obiger Eigenschaften, daß die Dienste flacher werden, bis letztendlich ihre Schichtdicke bei Null liegt. Dienste sind dann ausschließlich durch ihre Interaktion mit der Umgebung gekennzeichnet und enthalten keine Aspekte der Realisierung. Solche Dienste existieren in jeder Abstraktionsebene eines Systems.

Ohne den Anteil der realisierungsnahen Spezifikation von Systemen werden Dienste von den ausführenden Komponenten entkoppelt. Diese Abstraktion vom strukturellen Aufbau eines Systems jedoch ist nicht allein für Dienste im Sinne dieses Kapitels kennzeichnend. Auch bei der Black-Box-Sicht eines Systems, die nur Schnittstellen und Verhalten einer Komponente beschreibt, ist diese Abstraktion gegeben. Im Unterschied zu einem Dienst ist jedoch die Prozeßsicht einer Black-Box-Beschreibung zum einen auf die Interaktion mit genau dieser Box beschränkt, zum anderen fehlt einer reinen Schnittstellenbeschreibung die eine Interaktion kennzeichnende temporale Komponente. Dienste dagegen sollen vor allem Interaktionen beschreiben können, ohne an eine strukturelle Gliederung gebunden zu sein. Dienste können damit sowohl die Interaktion mit nur einer als auch mit mehreren oder nur einem Teil von Komponenten beschreiben.

Hierarchie. Die Eigenschaft der Hierarchie, also der Bildung übergeordneter Einheiten aus untergeordneten Einheiten, ist in jeder der bisherigen Verwendungen von Dienst enthalten. Viele Dienste werden unter Verwendung anderer Dienste realisiert. Ein Beispiel für eine Komposition von Diensten wäre ein Telekonferenzdienst, in dem die Teilnehmer unter Verwendung eines Auskunftsdienstes ausgewählt werden können. Die Konferenz selbst wird durch Inanspruchnahme mehrerer Übertragungsdienste realisiert.

Dies ist jedoch immer dann problematisch, wenn Dienste auch Fragmente ihrer möglicherweise inkompatiblen Systemstruktur enthalten. Komposition von Diensten hieße dann, Prozeß- und Struktursicht gleichzeitig komponieren zu müssen, was nicht immer sinnvoll möglich ist. Eine Komposition entweder aus Struktur- oder aus Prozeßsicht ist deutlich unproblematischer. Die Reduktion von Diensten auf die Beschreibung von Interaktion erhöht demnach ihre Kompositionalität.

Dienste sind dadurch ein system- und realisierungsübergreifendes Beschreibungsmittel. Informations- und Kommunikationsdienste (z. B. Internet und Telefonie im klassischen Sinne) können zu neuen Diensten komponiert werden, ohne einen Bruch oder Inkompatibilitäten in

angehängten Spezifikationen befürchten zu müssen. Diese Trennung in Struktur- und Prozeßsicht ist auch bei Systemen abseits der Telekommunikation vorteilhaft. Fahrzeugelektronik beispielsweise, enthält mittlerweile eine Vielzahl von Funktionen in verschiedenen Abstraktionsebenen von der Antriebssteuerung bis zu Navigationssystemen. Dinge wie Geschwindigkeit, Kraftstoffverbrauch, Positionsbestimmung, Außentemperatur, Wahl der Fahrstufe etc. werden an vielen Stellen im Fahrzeug erzeugt oder verwendet. Beliebige Steuerungssysteme könnten diese künftig in Form von Diensten nutzen, anstatt sie in Form von Komponenten einzubinden.

Durch die Kombination der Beschreibung von Interaktion mit dem Konzept der Hierarchie entsteht neben der strukturellen Hierarchie eine zweite, komplett orthogonale Hierarchie aus Prozeßsicht. Orthogonal bedeutet in diesem Zusammenhang, die eine Hierarchie ohne Beeinflussung der anderen ändern zu können.

4.2.3 Einbettung bestehender Dienste

Die meisten der im klassischen Sinne als „Dienst“ bezeichneten Systeme enthalten auch einen Teil, der die Interaktion mit der Umgebung beschreibt. Bezüglich dieses Teils fügen sich solche Dienste nahtlos in die alternative Definition als Interaktionsmuster ein.

Beispiel. Der gewöhnliche Dienst „Fernsprechen“

Unter der alternativen Definition von Dienst ist Fernsprechdienst gleich Fernsprechdienst, egal ob er über Hubdrehwähler, ISDN, GSM oder das Internet per VoIP (Voice over IP) abläuft und sich nur in einzelnen Leistungsmerkmalen (Features) unterscheidet. Der Großteil der Interaktion beim Telefonieren ist gleich. Die Beschreibungen der realisierenden Systeme sollten getrennt davon erfolgen.

Beispiel. Auskunftsdienste

Telefonverzeichnisse können aus Benutzersicht immer als „Dienst“ bezeichnet werden, egal ob sie lokal auf CD-ROM oder über das Internet implementiert sind. Bei einer zu 100% identischen Interaktion innerhalb eines HTML-Browsers ist eine Unterscheidung in „Programm“ und „Dienst“ nicht sinnvoll. Der Dienst besteht in der Formulierung von Anfragen und der Lieferung der Ergebnisse entsprechend einem zugrundeliegenden Modell (z. B. anhand eines relationalen Datenbankschemas). Die Realisierung besteht unabhängig davon in einer einfachen Anwendung lokaler oder verteilter Datenbanksysteme.

Beispiel. Komplexe Dienste

Anwendungen, die verschiedene Informationen miteinander kombinieren, wie z. B. eine Breitbandübertragung in Echtzeit mit einer Datenbankanbindung und einem Internetzugriff, können im ganzen als Dienst beschrieben werden, unabhängig von der Realisierung über Satellit, ATM, UMTS etc. Ziel muß es sein, den Dienst in den Vordergrund zu stellen und die verschiedenen Techniken zur Realisierung transparent anzupassen.

Beispiel. Dienste des ISO-OSI-Schichtenmodells

Dienste im Sinne des Schichtenmodells entsprechen bereits der Deutung als Interaktionsmuster. Eine Schicht stellt einen Dienst zur Verfügung, indem sie Dateneinheiten mit den umgebenden Schichten in bestimmter Weise austauscht. Die Realisierung innerhalb einer Schicht ist kein Bestandteil der Dienstbeschreibung, sondern wird durch eine Vielfalt unterschiedlicher Protokolle ausgeführt.

5 Dekomposition und Abstraktion von Kommunikationsdiensten

Der Rundumblick des letzten Kapitels auf vorhandene und künftige Dienste aller Art hat die Unschärfe des Begriffs zutage gefördert. Die gemeinsamen Eigenschaften von Diensten haben zu einer neuen Definition von „Dienst“ geführt, die sich als Prozeßsicht orthogonal zur Struktursicht auf Systeme herausgestellt hat. Dienste sind somit ein geeignetes Mittel, um beliebige Systeme rein aus Anwendungssicht zu benennen und zu klassifizieren.

Die Realisierung von Systemen, also auch von Dienststeuerungen, findet hingegen stets unter der klassischen Struktursicht statt. Hier werden die bewährten Mittel des System und Software Engineering angewendet: Modularisierung, Abstraktion, Komposition, Wiederverwendung, Modellbildung, usw. Die Kunst besteht dabei im Auffinden derjenigen Systemarchitektur, die bezüglich Komplexität, Universalität, Modularisierung, aber auch Modellierbarkeit, Nachweisbarkeit und Entwurfsunterstützung „energieminimal“ ist. Eine universelle Systemarchitektur für beliebige Kommunikationsdienste ist nicht realistisch, weil zu viele Gebiete beteiligt sind, für die alleine schon keine allgemeine Architektur oder ein Formalismus angegeben werden kann. Dies ist nur unter Verwendung von Abstraktion oder in einzelnen Teilsystemen möglich.

In der Einleitung ist die Verbindungsstruktur als zentrales Element aller Kommunikationsdienste herausgestellt worden. Bevor dafür eine formale Beschreibung entwickelt werden kann, muß der Begriff präzisiert werden. In diesem Kapitel wird dazu aus der komplexen, heterogenen Welt der Kommunikationssysteme durch Dekomposition und anschließende Abstraktion die Kommunikationsstruktur über einem abstrakten Netz als dienstunabhängiges Subsystem identifiziert.

Die Schnittführung erfolgt zunächst in Top-Down-Richtung anhand einer Klassifizierung der von Diensten übertragenen Daten in Nutzdaten und Signalisierungsdaten. Orthogonal dazu wird nach Darstellung, Verarbeitung und Übertragung dieser Daten klassifiziert, wie es auch in anderen verteilten Softwaresystemen (z. B. Standardsoftware) üblich ist. Insgesamt ergibt sich ein Matrixmodell, in dem Kommunikationsdienste eine Erweiterung verteilter Standardsoftware darstellen. Die Erweiterung besteht in der Existenz einer Kommunikationsstruktur. Daraus ergibt sich dann als Subsystem das Management dieser Kommunikationsstruktur und zusätzlich ein System von Berechtigungen.

5.1 Klassifizierung übertragener Daten

Jeder Kommunikationsdienst basiert in irgendeiner Form auf der Übertragung von Daten zwischen meist räumlich getrennten Systemen. Diese Daten können grundlegend in **Nutzdaten** und **Signalisierungsdaten** unterschieden werden. Während die Nutzdaten je nach Dienst Bild-, Ton- oder andere Informationen übertragen, enthalten die Signalisierungsdaten Informationen zur Steuerung des Dienstes und der Kommunikation (daher auch „Steuerdaten“ genannt).

Diese Unterscheidung manifestiert sich deutlich in den Anforderungen an die Übertragungsstrecke. Nutzdaten, besonders wenn sie bewegte Bilder enthalten, erfordern höhere Bandbreiten und für viele Dienste auch strenge Echtzeitbedingungen. Die Datenmenge zur Dienststeuerung hingegen ist in der Regel deutlich geringer. Aktionen zur Autorisierung, Konfiguration der Verbindungsstruktur, Ablaufsteuerung usw. fallen nur sporadisch an. Oft ist auch die Übertragung der Nutzdaten mit Kosten verbunden, während die Signalisierung nicht ins Gewicht fällt. Bei der Verwendung eines Telefons beispielsweise, findet die Dienststeuerung

in Form der Übertragung des Verbindungsauf- und -abbauwunsches und der Teilnehmeridentifikation nur zu Beginn und am Ende der Nutzung statt. In komfortableren Telefonnetzen bestehen auch während der Dienstnutzung weitere Möglichkeiten zur Dienststeuerung. Nicht in allen Diensten sind Nutz- und Steuerdaten exakt als solche gekennzeichnet. In der Telefonie beispielsweise, werden durch Tastentöne erzeugte Signalisierungsdaten nicht nur auf derselben Leitung, sondern auch im selben Datenstrom übertragen (*Inband Signaling*). Einen noch schwierigeren Fall bilden z. B. Sprachsteuerungen von Diensten, bei denen die übermittelten Informationen gleichzeitig Nutz- und Steuerdaten darstellen. In allen Diensten *muß* jedoch an irgendeiner Stelle die Filterung der Steuerdaten stattfinden. Für die weiteren Ausführungen wird deswegen davon ausgegangen, daß Nutz- und Steuerdaten grundsätzlich wohlunterscheidbar sind.

5.1.1 Kategorien von Signalisierungsdaten

Die Nutzung eines Dienstes ist gewöhnlich mit dem Austausch einer Abfolge von Signalisierungs- und Nutzdaten verbunden. Die Signalisierungsdaten zur Steuerung einer Dienstnutzung können in drei Kategorien eingeteilt werden:

1. Signalisierungsdaten, die administrative Vorgänge steuern. Dazu gehören Anmeldung, Abrechnung, Identifikation und Autorisierung, die Teil der meisten kostenpflichtigen Dienste sind.
2. Signalisierung zur Konfiguration und Ablaufsteuerung von Diensten. Die Steuerung der Wiedergabefunktionen eines Video-on-Demand-Dienstes oder die Konfiguration von Features beliebiger Dienste sind Beispiele solcher Signalisierung. Charakteristisch für diese Kategorie ist, daß diese Steuerdaten keinen Einfluß auf die Verbindungsstruktur des Dienstes nehmen.

Für diese ersten beiden Arten der Signalisierung ist kennzeichnend, daß sie zwar ein Übertragungsnetz voraussetzen, dieses aber nicht verändern. Die ganze Übertragungsinfrastruktur tritt nur als Übermittler der Signalisierungsdaten von einem Ende des Netzes zu einem anderen in Aktion. Die Signalisierung findet nur zwischen Endpunkten des Netzes statt. Die Daten selbst und das Netz werden durch die Übertragung nicht verändert. Aus diesem Grund wird eine derartige Signalisierung im folgenden als **netztransparent** bezeichnet. Die Nutzdaten eines Dienstes sind per Definition ebenfalls netztransparent. Im Gegensatz dazu gibt es

3. Signalisierungsdaten, die während einer Dienstnutzung Einfluß auf die Verbindungsstruktur nehmen. Hauptsächlich ist hier der Auf- und Abbau von Verbindungen oder das Hinzufügen und Entfernen von Teilnehmern zu bestehenden Verbindungen zu nennen.

Da diese dritte Art der Signalisierung direkt im Übertragungsnetz umgesetzt werden muß, wird sie als **netzrelevant** bezeichnet.

Eine ähnliche Klassifizierung ergibt sich aus der Unterscheidung zwischen *User-User*- und *User-Network*-Signalisierung, die z. B. in der zur Steuerung von Multimediadiensten standardisierten Protokollfamilie DSM-CC [9] verwendet wird.

Darüber hinaus dienen Signalisierungsdaten auch in tieferen Ebenen zur Übertragungssicherung und zur Flußsteuerung. Derartige netz- und protokollspezifische Daten werden hier jedoch nicht weiter betrachtet.

Zusammenfassend sind alle Daten, die während einer Dienstnutzung kommuniziert werden, auf diese beiden Kategorien reduzierbar: netztransparente und netzrelevante Daten (Abb. 4).

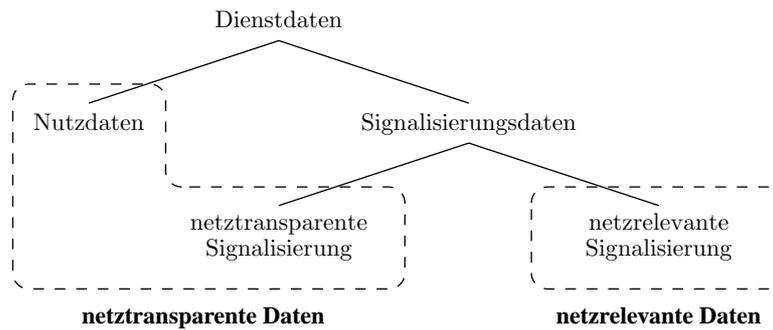


Abb. 4: Klassifizierung der Daten eines Dienstes

In dem obigen Modell repräsentieren die netztransparenten Daten die gesamte Vielfalt von Kommunikationsdiensten. Hierunter fallen sämtliche Audio-, Video- und andere Nutzdaten sowie sämtliche Ende-zu-Ende-Protokolle, die durch das Netz transparent übertragen werden. Für diese Vielfalt ist es nicht möglich, ein universelles, dienstunabhängiges Modell zu entwickeln und zu formalisieren.

Die weitere Modellbildung beschränkt sich daher auf die netzrelevanten Daten. Hier treten weitreichende Äquivalenzen zwischen den verschiedensten Diensten und Netzen zutage, so daß eine Formalisierung lohnt.

5.1.2 Äquivalenz durch Dekomposition

Viele Dienste mit eigentlich unterschiedlichen Anwendungen weisen bei Beschränkung der Betrachtung auf netzrelevante Dienstfunktionen Überschneidungen auf. Dienste wie Telefon und Fax beispielsweise, verwenden dieselbe netzrelevante Signalisierung zum Auf- und Abbau der Verbindung für unterschiedliche Nutzdaten (Sprache bzw. Daten). Netztransparente Signalisierung zwischen den Endgeräten findet beim Telefonieren nicht statt, während Faxgeräte ein standardisiertes Protokoll verwenden. Im Internet existiert mit der IP-Protokollfamilie nur eine einzige Art der netzrelevanten Signalisierung, die in vielen verschiedenen Diensten für den Aufbau von Verbindungen verwendet wird.

Die Überschneidungen reichen noch weiter, wenn man davon ausgeht, daß in künftigen Netzen Bandbreite und Echtzeitbedingungen frei wählbare Parameter sind. Die netzrelevante Signalisierung, beispielsweise für Hinzunahme und Ausschluß von Teilnehmern oder Verbindungen, wäre dann identisch für eine schmalbandige Telefon- wie für eine breitbandige Videokonferenz. Durch Abstraktion von den Ausprägungen netzrelevanter Signalisierungen der Übertragungsnetze erhalten technisch sehr unterschiedliche Dienste identische Basiselemente: Auf- und Abbau von Verbindungen, Konferenzen mit m:n-Struktur, Hinzunahme und Ausschluß von Teilnehmern, Definition von Sessions, usw. Auch die Berechtigungen dafür können universell behandelt werden.

Ein weiterer Effekt der Trennung von netzrelevanten und -transparenten Daten liegt in der Möglichkeit der separaten Verarbeitung. Der Anteil der Dienststeuerung zur Behandlung der netzrelevanten Daten ist dann unabhängig von der Dienststeuerung für die netztransparenten Daten. Es ergeben sich daraus weitreichende Kombinations- und Wiederverwendungsmöglichkeiten, wie folgendes Beispiel zeigt.

Beispiel: Verschmelzen von Dienstinstanzen

Ausgangspunkt seien zwei Breitbanddienste mit folgenden Eigenschaften:

- Ein Videokonferenzdienst habe viele netzrelevante Steuerungsmöglichkeiten zur flexiblen Gestaltung der Kommunikationsstruktur. Teilnehmer können beliebig eingebunden und ausgeschlossen werden und die Kommunikation sei in allen Richtungen steuerbar. Mehrere netztransparente Funktionen, z. B. zur Bildkomposition seien ebenfalls vorhanden.
- Bei einem Video-On-Demand-Dienst (VoD) bekommen ein oder mehrere Teilnehmer eine gewählte Videosequenz über Breitbandnetz zugespielt. Der Dienst bietet vielfältige netztransparente Funktionen, die unter anderem die Wiedergabe-Steuerung beinhalten. Die netzrelevanten Funktionen beschränken sich auf den Auf- und Abbau der Kanäle von der Datenquelle zu den Teilnehmern.

Während einer Videokonferenz wünschen einige Teilnehmer, einen Beitrag aus einem Filmarchiv zu sehen. Dieser soll einfach als zusätzliche Datenquelle in die Konferenzstruktur eingebunden werden. Der Konferenzmanager möchte dann durch Beeinflussung der Kommunikationsstruktur des Konferenzdienstes den Film nur an bestimmte Konferenzpartner ausstrahlen.

Wenn die Realisierung beider Dienste auf demselben Modell für Kommunikationsstrukturen basieren, können beide Instanzen des Modells dynamisch zu einer einzigen Instanz, die die kombinierte Konferenz repräsentiert, integriert werden. Die Kontrolle der Kommunikationsstruktur durch netzrelevante Steuerdaten geht von einem Dienst auf den anderen über. In obigem Beispiel gibt der des VoD-Dienst die netzrelevante Dienststeuerung an die des Konferenzdienstes ab. Der Videoserver fungiert nun als weiterer Verbindungsendpunkt, dessen Daten vom Konferenzadministrator mit Hilfe der Funktionen des abstrakten Netzes beliebig verteilt werden können.

Die Instanzen der netztransparenten Dienststeuerungen beider Dienste, z. B. zur Bildkomposition und Wiedergabesteuerung, bleiben separat.

□

Die im Beispiel angeführte Interoperabilität ist nicht auf Konferenz- und VoD-Dienste beschränkt. Bei einem universellen Modell für den netzrelevanten Teil von Diensten sind beliebige Kombinationen von Diensten zur Laufzeit denkbar. Die Voraussetzung dafür ist ein einheitliches Modell für Kommunikationsstrukturen und alle damit assoziierten Vorgänge. Die Realisierung solch hoher Interoperabilität ist natürlich wegen der Vielfalt der Netze und Betreiber technisch sehr aufwendig. Deswegen ist eine abstrakte, theoretische Betrachtung von umso größerer Bedeutung.

5.2 Klassifizierung der Verarbeitung von Daten

Dienste der Telekommunikation sind heutzutage als große, stark verteilte Softwaresysteme realisiert. In dieser Hinsicht unterscheiden sich Kommunikationsdienste nicht von klassischen, verteilten Softwaresystemen (wie etwa großen betrieblichen Informationssystemen). Der einzige signifikante Unterschied besteht in der stets vorhandenen Existenz von (in der Regel echtzeitfähigen) Kommunikationskanälen als eigenständige, mit einem Lebenszyklus versehene Objekte innerhalb des Systems. Aufgrund dieser Ähnlichkeit sollten sich Konzepte zur

Strukturierung und Ebenenbildung von den klassischen Softwaresystemen auf Systeme für Kommunikationsdienste übertragen lassen.

In den klassischen Business-Softwaresystemen die z. B. als Client/Server-Systeme realisiert sind, hat sich zur Strukturierung ein einfaches Ebenenmodell aus Darstellung/Eingabe, Verarbeitung/Interpretation und Übertragung bewährt. Dieses Ebenenmodell ist auf Systeme der Telekommunikation übertragbar. Die Anwendung auf die Gesamtheit aller netzrelevanten und -transparenten Daten, die in Kommunikationsdiensten kommuniziert werden, ergibt folgende Strukturierung:

1. Unter **Darstellung** und **Eingabe** fallen alle Verarbeitungsschritte, die die Konvertierung von Nutz- und Signalisierungsdaten in einem Endgerät von ihrer übertragungsgerechten, elektronischen Form in die zur Dienstnutzung gewünschte Form und zurück realisieren.

In den Endgeräten müssen nicht nur die Nutzdaten, also meist Audio- und Videodaten, in geeigneter Weise dargestellt oder gespeichert werden. In umfangreichen Diensten sollten auch Informationen über den augenblicklichen Dienststatus, die Kommunikationspartner, anfallende Kosten usw. den Teilnehmern zugänglich sein. Schnittstellen zur Interaktion mit der Umwelt wie GUIs, Mikrofone, Lautsprecher oder Kameras ermöglichen den Benutzern, mit einem Dienst in Verbindung zu treten. Der Begriff Endgerät steht hier für alle Arten von Datenquellen und -senken, also auch zentrale Elemente eines Dienstes (z. B. Videosever). Die Verarbeitung von Daten ist in Kommunikationsdiensten zumindest für die Signalisierungsdaten erforderlich. Ob eine Verarbeitung der Nutzdaten stattfindet, hängt in der Regel von der Art der Nutzdaten ab. Alle Vorgänge zur Verarbeitung werden in der nächsten Ebene zusammengefaßt:

2. Die **Verarbeitung** und **Interpretation** von Daten beinhaltet deren Aufbereitung und Extraktion hinsichtlich der für einen Dienst erforderlichen Vorgänge. Die durch Signalisierungsdaten ausgelösten Steuerprozesse des Dienstes finden innerhalb dieser Ebene statt.

Die Interpretation der Signalisierungsdaten betrifft hauptsächlich die Konfiguration der Verbindungsstruktur, die Abrechnung oder den Dienstablauf. Auch dienstspezifische Prozesse fallen hierunter. Dazu zählen beispielsweise die Transaktionen von E-Commerce- oder Datenbankdiensten. Die Interpretation echter multimedialer Nutzdaten spielt derzeit eine viel geringere Rolle. Bei reinen Übertragungsdiensten ist möglicherweise gar keine Verarbeitung von Nutzdaten vorgesehen, die über eine Konvertierung hinausgeht. Ein hohes Potential ist allerdings in der Extraktion von Signalisierungsinformation aus Sprach- oder Bilddaten über die derzeitig machbare Erkennung gesprochener Ziffern hinaus verborgen.

Grundlage aller Kommunikationsdienste ist die Möglichkeit zur Fernübermittlung von Information. Dazu dient die unterste Ebene:

3. Die **Übertragungs-** und **Vermittlungsebene** bietet Transportkapazitäten für Signalisierungs- und Nutzdaten in verschiedenen Bandbreiten und Echtzeitanforderungen.

Auch die netzrelevante Signalisierung zu Auf-/Abbau und Änderung der Kommunikationsstruktur muß in dieser Ebene bis zu den ausführenden Netzknoten gelangen. Dies gilt insbesondere dann, wenn der Initiator einer Verbindung daran nicht teilnimmt. Ein Beispiel für eine solche Konstellation ist ein Click-to-Dial-Dienst.

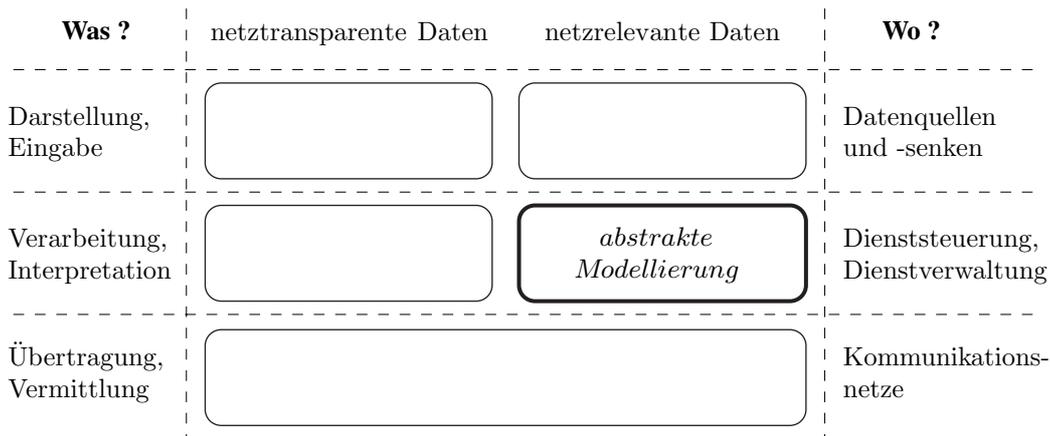


Abb. 5: Eine sehr allgemeine Aufgabenverteilung in Softwaresystemen, die sowohl für Systeme der Telekommunikation als auch für klassische Anwendungen verwendbar ist. Die abstrakte Modellierung von Kommunikationsdiensten ist im stark umrahmten Block angesiedelt.

5.3 Zusammenfassung der Klassifizierungen

In den letzten beiden Abschnitten wurden aus den vielen Aspekten großer Kommunikationssysteme die Art der Daten und deren Verarbeitung klassifiziert. Beide Arten von Daten, ob netzrelevant oder netztransparent, werden in Endgeräten dargestellt, gespeichert und in irgendeiner Form eingegeben, schließlich übertragen, verarbeitet und interpretiert. Die Überlagerung beider Klassifizierungen ergibt eine zweidimensionale Struktur, die in Abb. 5 dargestellt ist. Aus der näheren Betrachtung der entstehenden Quadranten ergeben sich Hinweise für die weitere Modellierung.

Die **linke Spalte** von Abb. 5 umfaßt die netztransparenten Daten. Diese bestehen laut Kap. 5.1 aus den Nutzdaten und solchen Signalisierungsdaten, die mit keiner Übertragung interagieren. Dies können Bild- und Tondaten genauso wie beliebige Daten in HTML- oder anderen anwendungsspezifischen Formaten sein. Die Hinzunahme einer Ebene zur Datenübertragung ermöglicht die Konstruktion verteilter Systeme, die heute als Client/Server- oder Peer-to-Peer-Systeme auftreten. Der Anteil netzrelevanter Daten ist wegen der einfachen Struktur paketvermittelter Kommunikation in solchen Systemen zu vernachlässigen. Kommunikationskanäle haben hier keine eigenständige Existenz. Speicherung, Anzeige, Verarbeitung und Verteilung netztransparenter Daten entspricht seit Jahrzehnten dem elementaren Zweck von Softwaresystemen.

Die vertikale Schichtung in Darstellung, Verarbeitung und Übertragung von Daten ergibt sich beinahe zwangsläufig und ist in den vielen Software-Architekturen z. B. in Form von Model-View-Controller-Entwurfsmustern zu finden. Die strikte Trennung der Schichten und die Offenlegung der Schnittstellen hat den Übergang von monolithischen zu offenen Systemen ermöglicht.

In Kommunikationsdiensten kommen wegen der selbständigen Existenz von Kommunikationsverbindungen die netzrelevanten Daten – und damit die gesamte **rechte Spalte** von Abb. 5 hinzu. Jedoch ist hier die konzeptionelle Trennung in Schichten und die Offenlegung der Schnittstellen *nach außen hin*, also zur unabhängigen Anwendungsentwicklung erst in den Anfängen (siehe Abschnitt 3.1.5). Der Betrieb aus einer Monopolstellung heraus mit vertikalen Märkten und langen Entwicklungszyklen hat hier zu einem Rückstand gegenüber den klassischen Softwaresystemen geführt.

Eine abstrakte Modellierung erleichtert die Strukturierung in Darstellung, Verarbeitung und Übertragung im netzrelevanten Teil von Kommunikationsdiensten. Sobald dieser Schritt vollzogen ist, präsentiert sich für die Verarbeitung der netzrelevanten Daten die Situation wie in Abb. 5 rechts: Zuerst stellen Kommunikationsnetze ihre Übertragungsleistung anhand der über Schnittstellen spezifizierten Parameter zur Verfügung. In den Endgeräten werden alle netzrelevanten Daten über Verbindungen, Teilnehmer etc. in geeigneter Weise dem Benutzer präsentiert. In der mittleren Ebene finden alle Funktionen zur Steuerung des netzrelevanten Dienstverhaltens statt, wozu auch die Verwaltung der Kommunikationsstruktur und der Berechtigungen zählt.

Jede dieser Aufgaben einer Schicht soll unabhängig von den anderen Schichten durchführbar sein. Dadurch kommen alle Vorteile modularer Entwicklung zur Geltung. Echtzeitverbindungen werden so zu einem weiteren Freiheitsgrad von Softwaresystemen, wie vor kurzem die Einbindung des Internets.

Während die Darstellung und Eingabe in den zunehmend universellen Endgeräten stattfindet und die Übertragung der Signalisierungs- und Nutzdaten Aufgabe der Kommunikationsnetze ist, eröffnet sich auf der Ebene der Verarbeitung netzrelevanter Daten ein weites Betätigungsfeld für künftige Dienstentwicklungen. Damit diese alle von einem einheitlichen Modell von Verbindungen und Berechtigungen und einer einheitlichen Semantik von Operationen darüber ausgehen können, wird dieser Bestandteil von Diensten im Laufe der nächsten Kapitel formalisiert.

5.4 Vereinfachung durch Abstraktion

Vor einer formalen Modellierung müssen in den meisten Fällen Abstraktionen am System vorgenommen werden, um einerseits die Komplexität zu reduzieren und andererseits die Universalität des Modells zu erhöhen. Dies gilt im besonderen für Systeme der Telekommunikation mit ihrem überaus großen Variationsreichtum. Dabei gilt es, eine Ebene zu finden, die abstrakt genug für eine formale Behandlung und konkret genug für technisch relevante Aussagen ist.

Kapitel 5.3 hat gezeigt, daß in Kommunikationsdiensten zusätzlich zu den Daten die auch in klassischen Softwaresystemen vorkommen, wegen der Existenz von Verbindungen die netzrelevanten Daten dargestellt, verarbeitet und übertragen werden müssen. Um von der Vielfalt dieser Daten zu einem formal handhabbaren System zu kommen, beschreibt der folgende Abschnitt die notwendigen Abstraktionen.

Zunächst können Dienste um alle Aspekte reduziert werden, die nicht unmittelbar mit dem Ablauf einer Dienstinstanz zu tun haben. Dies bedeutet eine

- Abstraktion um alle redaktionellen und administrativen Aspekte eines Dienstes (z. B. Datenaufbereitung, Anmeldung, Inkasso, Kundendatenbanken und -betreuung, etc.).

Bei Informationsdiensten können derartige Vorgänge durchaus den Großteil des Aufwandes ausmachen. Dennoch ist derartiges nicht spezifisch für die Entwicklung von Kommunikationsdiensten. Dadurch verbleibt eine Beschränkung der Betrachtung auf die aktuelle Sitzung, die Instanz eines Dienstes, wie sie vom Matrixmodell aus Abb. 5 repräsentiert wird.

Die Vielfalt aller beteiligten Endgeräte wird durch

- Reduktion aller Endgeräte zu Datenquellen und/oder Datensinken

vermindert. Ob z. B. eine Sprach-Mailbox, ein Modem oder ein Telefonhörer am Ende der Leitung stehen, hat dann keinen Einfluß auf die netzrelevante Dienststeuerung. Dies gilt auch für Features wie netzintegrierte Mailboxen. Ebenso sind z. B. der Videoserver eines VoD-Dienstes und der Ansageautomat eines Auskunftsdienstes genauso Datenquellen wie das Durchsagemikrofon einer U-Bahn-Leitstelle.

Eine Konsequenz der Beschränkung auf abstrakte Datenquellen und -senken ist die

- Abstraktion von allen Datenformaten und Protokollen, die zwischen Datenquellen und -senken ausgetauscht werden.

Dies entspricht genau der Abstraktion von den netztransparenten Daten des letzten Kapitels, die für den netzrelevanten, verbindungstechnischen Teil eines Dienstes nicht von Bedeutung sind.

Die umfangreichste Beschränkung bei der gesamten Modellierung besteht in der

- Abstraktion von den Eigenschaften der Übertragungsnetze.

Hierdurch ist es möglich, die Steuerung des netzrelevanten Dienstteils unabhängig von den zugrundeliegenden Netzprotokollen zu entwerfen. Dies betrifft vor allem die stark unterschiedliche Signalisierung zum Auf- und Abbau von Verbindungen. Nach der Abstraktion bleiben nur die grundlegenden Operationen auf den Netzen übrig: Auf- und Abbau von Verbindungen, Hinzunehmen und Ausschließen von Datenquellen und -senken, Zusammenlegen und Trennen von Verbindungen. Dies führt auf den Begriff des *abstrakten Netzes*.

Eine Folge der Abstraktion von der Übertragungstechnik ist die

- Abstraktion von den Übertragungsparametern wie Bandbreite, Zuverlässigkeit und Latenzzeit.

Obwohl diese Kriterien zu den signifikantesten Unterschieden zwischen Telekommunikationsdiensten gehören, stellen sie in der Dienststeuerung letztendlich Parameter dar. Ohne die speziellen Eigenschaften der Übertragungsnetze ist die Steuerung des netzrelevanten Teils eines Telefonkonferenzdienstes dieselbe wie die eines Videokonferenzdienstes. Beide bauen Verbindungen zwischen zwei oder mehreren Punkten mit bestimmten Parametern auf, modifizieren diese und lösen sie nach einiger Zeit wieder auf. Daraus folgt auch, daß die netzrelevante Dienststeuerung, also das Management der Verbindungen, unabhängig von der zugrundeliegenden Übertragungstechnik ist.

6 Relationale Beschreibung von Verbindungsstrukturen

Bis hierher sind Kommunikationsdienste durch die Dekomposition und Abstraktionen des letzten Kapitels auf die Verarbeitung netzrelevanter Daten reduziert worden. Darin bilden die Verbindungsstruktur und die assoziierten Konzepte für Sessions und Berechtigungen das zentrale Element. Die folgenden Abschnitte 6.1 und 6.2 beschreiben zunächst Eigenschaften und Anwendungen des formalen Modells und dessen Einbettung in eine Gesamtarchitektur, bevor in Abschnitt 6.3 Relationen als Beschreibungsformalismus vorgestellt werden.

Die Modellierung beginnt in Abschnitt 6.4 mit der Einführung von Hypergraphen. Eine Definition von Wohlgeformtheit ermöglicht deren Interpretation als Verbindungsstrukturen von Kommunikationssystemen. In Abschnitt 6.5 werden Teilstrukturen der Graphen zu einem Formalismus zur Strukturierung von Kommunikationssystemen in Sessions erweitert. Abschnitt 6.6 enthält einige Beispiele solcher Teilstrukturen und grundlegende Eigenschaften von Verbindungsgraphen. Abschnitt 6.7 beschreibt die Grundlagen der Abbildungen und Strukturhaltung von Verbindungsgraphen, die in den folgenden Kapiteln zur Definition von Transformationen verwendet werden.

6.1 Eigenschaften des Modells

Da die bisher vorgenommenen Abstraktionen sehr weitreichend sind, sollte noch einmal die Überlegung angestellt werden, ob diese dem Problem gerecht werden. Unstrittig ist nur, daß der verbleibende Kern aus Sessions, Verbindungen und Berechtigungen Teil eines jeden Kommunikationsdienstes ist. Zu zeigen ist, daß damit wirklich noch sinnvolle Eigenschaften modelliert werden können. In der Tat sind unter der Voraussetzung eines abstrakten Netzes und der Trennung von netzrelevanter und -transparenter Dienststeuerung die Anwendungsmöglichkeiten sehr vielfältig.

Zunächst bringt eine formale Modellierung des im letzten Kapitel herausgearbeiteten Kerns die Eigenschaften jeder Formalisierung mit sich:

- Ein mathematischer Formalismus erlaubt zunächst die Beschreibung des statischen Systems von Verbindungen: Wer ist mit wem über welche Kanäle verbunden?
- Zwischen zwei Zuständen können Zustandsübergänge definiert werden. Damit ist die Beschreibung der dynamischen Änderung des Systems von Verbindungen möglich.
- Über den Änderungen der Verbindungsstruktur kann ein System von Berechtigungen definiert werden.

Für den Entwurf von Telekommunikationsdiensten ergibt sich daraus eine Reihe von Anwendungsmöglichkeiten:

- Die Spezifikation von Zustandsübergängen kann zusammen mit einem Transaktionskonzept zur Definition von Operationen auf der Verbindungsstruktur verwendet werden. Die so gekapselten Operationen haben eine exakte Semantik und können auf standardisierte Weise mit den Berechtigungen verbunden werden.

- Durch die Abbildung der Operationen auf verschiedene Netze oder Dienstarchitekturen entsteht eine technologieunabhängige Abstraktionsebene. Dadurch entstehen Bausteine für die Konstruktion von Diensten.
- Über dem Zustandsraum können für den netzrelevanten Teil von Diensten Strukturierungen wie „Sessions“ oder auch Namensräume definiert werden. Da in permanent vernetzten Systemen solche Dinge nicht mehr explizit gegeben sind, ist ein Konzept dafür notwendig.
- Wichtig für eine flexible Dienstlandschaft ist die Möglichkeit, Konferenzen und einzelne Verbindungen zusammenzufügen und zu trennen. Die entstehenden Auswirkungen auf die Verbindungs- und Berechtigungsstruktur können exakt spezifiziert werden.
- Der Formalismus erlaubt die Definition von irregulären Zuständen (z. B. ins Leere führende Verbindungen). Dienstoperationen können dahingehend geprüft werden, ob ihre transitive Hülle aus der Menge der regulären Zustände hinausführt.
- In permanent vernetzten Systemen ist zur Modellierung von Diensten ein Sicherheitskonzept notwendig, das die Sichtweite der Endpunkte auf andere Netzkomponenten repräsentiert.

Dienste mit einer komplexen Verbindungs- und Berechtigungsstruktur profitieren möglicherweise bereits von der Exaktheit der Beschreibung. Für Dienste mit einfachen Punkt-zu-Punkt-Verbindungen erscheint das Vorgehen auf den ersten Blick wenig problemgerecht. Es ist jedoch zu beachten, daß bei vollzogener Trennung zwischen netztransparenter und netzrelevanter Dienststeuerung, *ein* System der netzrelevanten Steuerung ausreicht, wenn es von einfachen zu komplexen Strukturen problemlos skaliert. In künftig flexiblen Dienstszenarien können große Konferenzen mit vielen Teilnehmern und Verbindungen aus dem Zusammenschluß mehrerer einfacher Sitzungen entstanden sein. Aus diesem Grund ist es notwendig, daß alle Dienste auf demselben Formalismus basieren.

Derzeit sind Endgeräte, Signalisierung und Übertragungstechnik zu stark verwoben, um diese Abstraktionen wirklich in einem modularen Entwurf von Diensten umzusetzen. Vor allem die Signalisierung von Netz- und Fehlerzuständen ist nur schwer auf ein abstraktes Niveau zu heben. Zudem basieren derzeitige Telefon-, Videokonferenz- und Datendienste auf stark unterschiedlicher Technologie, so daß beliebige Interoperabilität erheblichen Aufwand verursacht. Langfristig ist die strikte Trennung von netztransparenter und netzrelevanter Dienststeuerung auf der Basis eines abstrakten Universalnetzes jedoch durchaus realistisch.

Beispiel: Anwendungen des Modells.

Eine formale Beschreibung der Verbindungs- und Berechtigungsstruktur bewährt sich unter anderem in folgenden Szenarien:

- Durch eine formale Beschreibung können Berechtigungen für beliebige Verbindungsstrukturen flexibel vergeben werden.
- Berechtigungen können im Gegensatz zum starren Konzept eines Konferenzadministrators beliebig zwischen Teilnehmern übertragen werden.
- Neu hinzugekommene Teilnehmer müssen mit Startberechtigungen versehen werden. Diese können je nach Anwendung unterschiedlich spezifiziert werden.

- Widersprüche in einem Berechtigungssystem können im Formalismus aufgespürt werden. So muß z. B. stets sichergestellt sein, daß ein Satz von Dienstoperationen nicht zu einem Deadlock führen kann, in dem kein Teilnehmer mehr Änderungsrechte hat.
- Die Formalisierung ermöglicht Simulation und Verifikation des netzrelevanten Anteils der Dienststeuerung.
- Netzrelevante Dienststeuerungen können mit verschiedenen Parametern für Bandbreite, QoS, etc. für verschiedene Dienste instantiiert werden.

6.2 Einbettung in eine Gesamtarchitektur

Das zu modellierende System aus Verbindungen und Berechtigungen sollte sich nach Möglichkeit in ein universelles System für Dienste einfügen. Dieses beschreibt auf sehr abstraktem Niveau die beteiligten Komponenten und deren Zusammenspiel. Darin ist zum einen zu sehen, welche Position die Modellierung der Verbindungs- und Berechtigungsstruktur einnehmen kann. Zum anderen wird deutlich, wie die Universalität des Modells die Komposition von Diensten ermöglicht.

Unter den beteiligten Einheiten eines Dienstes sind für die genannte Modellierung besonders diejenigen von Interesse, die während der Laufzeit einer Dienstinstanz aktiv sind. Dazu gehören:

- eine Menge von Datenquellen- und -senken,
- ein abstraktes Netz, welches die echtzeitgebundenen Verbindungen realisiert
- und eine zentrale Dienststeuerung.

Die administrativen Tätigkeiten wie Authentifizierung, Abrechnung usw. werden gemäß den Abstraktionen aus Abschnitt 5.4 nicht betrachtet. In Abb. 6 ist ein solches Dienstszenario dargestellt. Die Datenquellen und -senken (symbolisiert durch Multimedia-PCs als universelle Endgeräte) sind auf nicht näher spezifizierte Weise über ein Netz verbunden. Eine zentrale Dienststeuerung kontrolliert Verbindungen und Funktionen des Dienstes.

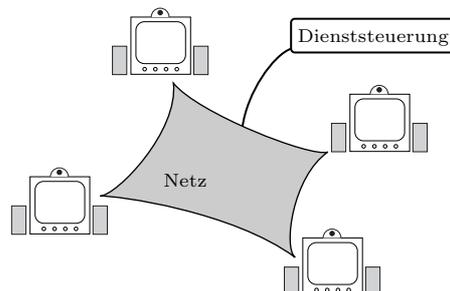


Abb. 6: Das einfachstmögliche Dienstszenario: Eine Anzahl Datenquellen und -senken kommunizieren über ein Netz. Die zentrale Dienststeuerung ist in das Netz eingebunden.

Einige Dienste haben neben der zentralen Dienststeuerung auch eine Datenquelle oder -senke, die immer beteiligt ist, z. B. der Videoserver eines Video-on-Demand-Dienstes. Reine Kommunikationsdienste bestehen zwischen wechselnden Quellen und Senken.

Die zentrale Dienststeuerung übernimmt die Aufgaben der Verarbeitungs- und Interpretationsschicht aus Abb. 5. Um die angestrebte Trennung der netzrelevanten von der netztransparenten Steuerung zu erreichen, müssen folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

- Unter allen kommunizierten Dienstdaten sind die Signalisierungsdaten immer eindeutig zu identifizieren.
- Die Signalisierungsdaten sind eindeutig in einen netzrelevanten und einen netztransparenten Teil zu trennen.

Im Beispiel eines Videokonferenzdienstes kommunizieren die Teilnehmer miteinander, während die Dienststeuerung die netzrelevanten Daten (für den Verbindungsauf- und -abbau) und gegebenenfalls vorhandene netztransparente Daten (z. B. zur Verwaltung, Regieführung, Bildschirmaufteilung) verarbeitet und entweder an das Netz oder die Endpunkte weiterleitet. Die meisten Dienstoperationen sind als Verschränkung eines netztransparenten und eines netzrelevanten Teils darstellbar:

Beispiel: Videokonferenzdienst.

Dienstoperation	netzrelevanter Teil	netztransparenter Teil
Konferenz starten	Session erzeugen, Verbindungen aufbauen	Regieeinheit erzeugen, Grundeinstellungen vornehmen
Neuen Teilnehmer aufnehmen	Verbindungsstruktur entsprechend ändern	Neuen Teilnehmer in die Regieführung aufnehmen
Teilnehmer auf Vollformat schalten	—	Entsprechende Signalisierung an die Clients

□

Bei reinen Kommunikationsdiensten ist neben Administration und Verwaltung die Verarbeitung netztransparenter Signalisierung wenig prägnant. Bei einem erweiterten Video-On-Demand-Dienst beispielsweise, bei dem auch mehrere Teilnehmer eine Videoquelle betrachten können, kann diese jedoch sehr vielfältig sein:

Beispiel: Erweiterter Video-On-Demand-Dienst (VoD).

Dienstoperation	netzrelevanter Teil	netztransparenter Teil
VoD-Dienst starten, Titel auswählen	—*	Dienstinstanz erzeugen
Übertragung starten	Session erzeugen, Verbindung aufbauen	Videoquelle starten
Schneller Bildsuchlauf	—	Abspielgeschwindigkeit erhöhen
Zweiten Teilnehmer anschießen	Datenstrom auf zwei Kanäle duplizieren	Verwaltungsstruktur entsprechend ändern

*Die netzrelevanten Vorgänge für geringe, gelegentliche Datenmengen können ignoriert werden.

□

Selbst bei komplexen Operationen eines Dienstes ist – sofern vorhanden – der netzrelevante Teil letztendlich immer zu identifizieren. In Abb. 7 ist die Dienststeuerung eines Breitband-Videokonferenzdienstes (BVC) detaillierter dargestellt. Dort übernimmt ein Filter symbolisch die Trennung von netzrelevanten und -transparenten Elementen. Alle netzrelevanten Signalisierungsdaten, also diejenigen bzgl. Status/Änderung der Verbindungsstruktur gehen von der BVC-spezifischen Dienststeuerung zu einer Instanz des universellen Modells, die Verbindungs- und Berechtigungsstruktur der Dienstinstanz repräsentiert. Änderungen an der Verbindungsstruktur und der Abgleich mit den Berechtigungen werden dienstunabhängig im Modell vorgenommen und in den beteiligten Netzen realisiert. Dadurch entstehen mehrere Effekte:

- Operationen auf der Verbindungsstruktur und die Berechtigungen dazu erhalten eine formale Semantik.
- Da die Modellierung dienstunabhängig ist, bildet sie eine hinreichend abstrakte, stets gleiche Schnittstelle zu den dienstspezifischen Teilen der Steuerung.
- Die Universalität des netzrelevanten Teils erlaubt es, *mehrere* Dienste mit unterschiedlicher netztransparenter Signalisierung in einer Dienstinstanz zu kombinieren.

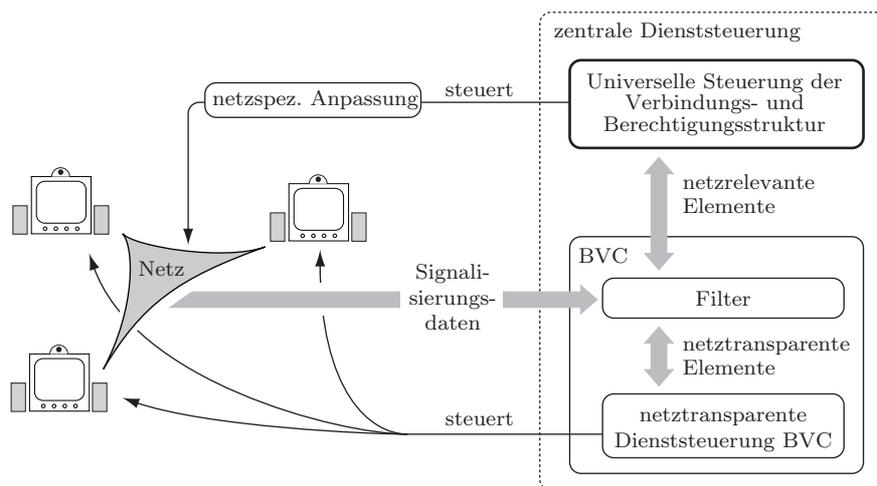


Abb. 7: Modellvorstellung: Netzrelevante und -transparente Signalisierungsdaten werden gemeinsam an die Dienststeuerung übertragen. Dort werden sie entsprechend getrennt. Die netzrelevanten Daten werden an eine *universelle* Steuereinheit übergeben, die netztransparente Steuerung ist dienstspezifisch.

Besonders der letzte Punkt ist von entscheidender Bedeutung, weil er die Grundlage beliebig flexibler Dienste bildet. In den vorangegangenen Beispielen ist zu erkennen, daß die netztransparenten Teile sehr unterschiedlich, die netzrelevanten Teile jedoch sehr ähnlich sind. Dadurch ist es möglich, die Verbindungs- und Berechtigungsmodelle zweier Dienstinstanzen zu einer einzigen Dienstinstanz zusammenzufassen, während die Verarbeitung der netztransparenten Signalisierung getrennt bleibt. Ob die Netzstruktur des einen Dienstes in der des anderen aufgeht oder umgekehrt, ist von Fall zu Fall unterschiedlich. Insbesondere wegen der Berechtigungen muß aber stets ein Dienst dominant sein. Damit eine derartige Kombination überhaupt möglich ist, müssen netztransparenter und -relevanter Teil der Steuerung unabhängig sein.

Beispiel: Zusammenfassung einer Videokonferenz- (BVC) und einer VoD-Instanz.

Während einer Videokonferenz soll zusätzliches Videomaterial eingespielt werden, welches über einen VoD-Dienst zur Verfügung steht. Der Videoserver soll in die bestehende Konferenzstruktur als weitere Datenquelle eingebunden werden. Folgendes muß gewährleistet sein:

- Der Videoserver soll als weitere Datenquelle in die BVC-Instanz integriert werden.
- Die netztransparente Signalisierung von BVC/VoD muß an die richtige Dienststeuerung weitergeleitet werden.

Das Schema des entstehenden Dienstes ist in Abb. 8 dargestellt. Gesetzt den Fall, zwei Konsumenten desselben VoD-Streams wollen sich über den Film per Videokonferenz unterhalten, ist es genauso möglich, den BVC-Dienst in den VoD-Dienst zu integrieren.

□

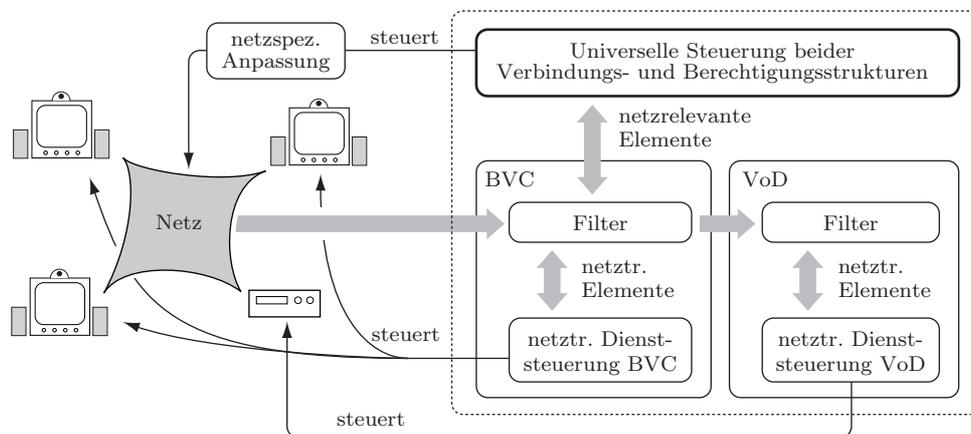


Abb. 8: Da im Modell die netzrelevante Dienststeuerung universell ist, müssen beim Zusammenschluß von Diensten nur die netztransparenten Dienststeuerungen gekoppelt werden.

Sobald Dienste auf einem einheitlichen Modell ihres netzrelevanten Teils basieren, sind beliebige Kombinationen ihrer netztransparenten Funktionen denkbar.

6.3 Beschreibung durch relationale Strukturen

Nachdem die Vorteile einer formalen Beschreibung von Verbindungsstrukturen ausführlich dargelegt wurden, stellt sich nun die Frage nach einem adäquaten Beschreibungsmittel. Die Grundelemente einer Verbindungsstruktur sind durch die Endpunkte und Kanäle zwischen den Endpunkten gegeben. Derartige Gebilde, die hauptsächlich aus Beziehungen zwischen Objekten bestehen, sind am einfachsten mit Punkten und Strichen auf einem Blatt Papier als zweidimensionale *Graphen* beschreibbar. Besonders der nichttechnische Teil von Telekommunikationssystemen besteht aus vielen Beziehungen: Wer kommuniziert mit wem, wer bezahlt welchen Kanal, wer hat welches Recht über welchen Kanal, etc.

Zum Rechnen mit Beziehungsgeflechten, vor allem zum automatisierten Rechnen, ist man in der formalen Darstellung weitgehend frei. Besonders kompakt und geeignet dazu sind

relationale Strukturen innerhalb einer Relationenalgebra [42]. Jede (hier nur zweistellige) Relation R über zwei Mengen M und N ist eine Menge von Paaren:

$$R \subseteq M \times N$$

Die Mengen können auch gleich sein, dann spricht man von homogenen Relationen, andernfalls von heterogenen. Jede Relation R stellt eine Art der Beziehung zwischen den Elementen der Grundmengen dar. Die Beziehung besteht, wenn das Paar $(a \in M, b \in N)$ in R enthalten ist. Im Moment besteht noch keine Festlegung darüber, was die Mengen darstellen oder welche Kardinalität sie besitzen. Die Elemente der Mengen könnten, zum Beispiel, wiederum für Beziehungen zwischen Mengen stehen.

Relationen sind durch die Angabe der Tupel vollständig beschrieben. Einfacher ist jedoch, das Enthaltensein der Tupel durch boolesche Matrizen auszudrücken:

$$(a, b) \in R \iff R_{a,b} = 1$$

Häufig vorkommende Relationen erhalten einen eigenen Buchstaben: Die Nullrelation O , die Allrelation L und die Identitätsrelation I :

$$O = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}; \quad L = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}; \quad I = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Homogene Relationen ergeben immer quadratische Matrizen. Bei der Verwendung von Matrizen oder Graphen zur Beschreibung von Relationen ist deren darstellbare Größe natürlich beschränkt. Dies muß insofern nicht nachteilig sein, als mit diesen Mitteln nur der für einen Sachverhalt besonders relevante Teil einer Relation dargestellt wird. Was für die nicht dargestellten Paare gelten soll, kann man per Definition festlegen. Auch für die Anzahl der Zeilen und Spalten für den darzustellenden Ausschnitt werden, falls nötig, Konventionen angegeben.

Zu einer gegebenen Relation R enthält das **Komplement** \bar{R} alle Paare, die nicht in R enthalten sind und ist definiert durch:

$$\bar{R} = \{(a, b) \mid (a, b) \notin R\}$$

Die **Transponierte** R^T einer Relation R kehrt die Richtung der Beziehung um. Bildlich gesprochen wird die Richtung aller Pfeile oder die Reihenfolge aller Tupel umgekehrt.

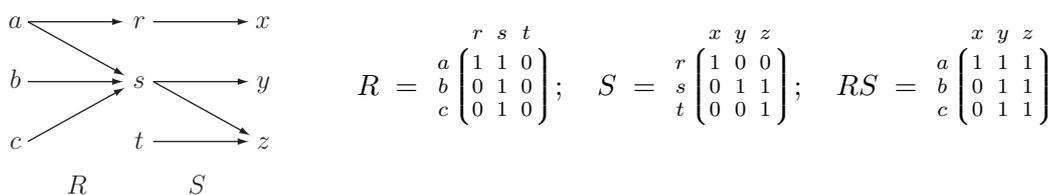
$$R^T = \{(a, b) \mid (b, a) \in R\}$$

Die **Komposition** oder das Hintereinanderschalten zweier Relationen R und S ist definiert als

$$R \circ S = RS = \{(a, b) \mid \exists c : (a, c) \in R \wedge (c, b) \in S\}$$

Bei der Verwendung der Matrixschreibweise ist die Hintereinanderschaltung durch die gewöhnliche binäre Matrizenmultiplikation gegeben. Die Verknüpfung ist assoziativ. Der Kürze halber wird der Operator \circ oft weggelassen. Die Verknüpfung zweier Relationen bedeutet bildlich, zuerst einen Schritt entlang R zu gehen und dann einen Schritt entlang S . Die transitive Hülle einer Relation R ist R^* .

Beispiel: Komposition.



□

Zu den obigen Operationen auf Relationen gibt es **Gesetze**. Hier einige wichtige Regeln:

$$R = \overline{\overline{R}}; \quad R = (R^T)^T; \quad \overline{R^T} = \overline{R}; \quad (RS)^T = S^T R^T$$

$$R \subseteq S \implies \overline{S} \subseteq \overline{R}$$

Eine **Teilmenge** einer Trägermenge M ist durch die Zeilen einer Relation R gegeben, die mit 1 besetzt sind. Im einfachsten Fall der homogenen Relationen gilt dabei $R \subseteq M \times M$. In Ausdrücken mit heterogenen Relationen ergibt sich der Typ von R zur Beschreibung einer Teilmenge durch die Zeile-mal-Spalte-Kompatibilität innerhalb des Ausdrucks. Enthält eine Teilmenge nur ein Element, spricht man auch von einem **Punkt**. In beiden Fällen gilt für Teilmengen und Punkte beschreibende Relationen $R = RL$. Die Matrizenschreibweise erlaubt auch die Verwendung von Vektoren.

Beispiel: Teilmengen.

Eine Teilmenge $R = \{b, c\} \subseteq \{a, b, c\}$ und ein Punkt $a \in \{a, b, c\}$ können ausgedrückt werden durch

$$R = \begin{matrix} & a & b & c \\ a & \rightarrow & & \\ b & \rightarrow & & \\ c & \rightarrow & & \end{matrix} \quad \text{oder} \quad R = \begin{matrix} & r & s & t & u \\ a & \rightarrow & & & \\ b & \rightarrow & & & \\ c & \rightarrow & & & \end{matrix}; \quad a = \begin{matrix} & r & s & t & u \\ a & \rightarrow & & & \\ b & \rightarrow & & & \\ c & \rightarrow & & & \end{matrix} \quad (\text{Punkt})$$

oder auch

$$R = \begin{matrix} a \\ b \\ c \end{matrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}; \quad a = \begin{matrix} a \\ b \\ c \end{matrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Für $a \in R$ gilt dann die Schreibweise

$$a \subseteq R$$

□

Die Multiplikation einer Relation R mit der Allrelation L ergibt ebenfalls Teilmengen, nämlich das Urbild RL und das Bild $R^T L$ der Relation. Die Multiplikation von rechts mit L macht dabei aus jeder Zeile mit mindestens einer 1 eine Zeile nur mit 1.

Beispiel: Bild, Urbild.

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \circledast \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (\text{Urbild})$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}^T \circledast \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (\text{Bild})$$

□

Die Operationen **Vereinigung** (\cup), **Schnitt** (\cap) und **ist enthalten** (\subseteq) gelten ganz regulär, genauso wie die diesbezüglichen Gesetze der Mengenlehre. Zur Beschreibung von Änderungen ist die **symmetrische Differenz** \oplus zwischen zwei Relationen R und S hilfreich:

$$R \oplus S = (\overline{R} \cap S) \cup (R \cap \overline{S})$$

Als einzige Besonderheit bei der Beschreibung von Verbindungsstrukturen seien diese Operatoren auch **zweistellig** auf Paare von Relationen anwendbar:

$$\begin{aligned} R_1, S_1 \cup R_2, S_2 &=_{\text{def}} R_1 \cup R_2, S_1 \cup S_2 \\ R_1, S_1 \cap R_2, S_2 &=_{\text{def}} R_1 \cap R_2, S_1 \cap S_2 \\ R_1, S_1 \oplus R_2, S_2 &=_{\text{def}} R_1 \oplus R_2, S_1 \oplus S_2 \\ R_1, S_1 \subseteq R_2, S_2 &\iff_{\text{def}} R_1 \subseteq R_2, S_1 \subseteq S_2 \end{aligned}$$

Durch diese Vereinbarung lassen sich viele Ausdrücke deutlich kürzer darstellen.

Während die **Distributivität** von \wp und \cup uneingeschränkt gilt

$$P(R \cup S) = PR \cup PS,$$

ist dies bei \wp und \cap nicht der Fall: In $PR \cap PS$ sind alle Wege mit gleichen Start- und Endpunkten enthalten – unabhängig von der Zwischenstation. Die Relation $P \wp (R \cap S)$ hingegen enthält davon nur die, die im *zweiten* Schritt und damit *ganz* identisch sind. Es gilt somit nur die **Subdistributivität**:

$$P(R \cap S) \subseteq PR \cap PS$$

Anmerkung. Bei der Beschäftigung mit Relationen besteht häufig die Gefahr, zwei Ebenen zu vermischen, die eigentlich nichts miteinander zu tun haben. Zunächst handelt es sich um eine abstrakte Relationenalgebra nur vom Umgang mit den Elementen einer Menge, die in diesem Fall *Relationen* heißen. Wie in anderen Algebren auch, gibt es ein- und mehrstellige Operationen ($\top, \overline{}, \cap, \cup, \wp$), für die einige Axiome und Rechenregeln gelten: Halbgruppe, Verbandseigenschaft, Schrödersche Umformungen etc. (siehe [42] und Kap. 6.7.4). Was hier hingegen verwendet und durch Matrizen visualisiert wird, ist ein *Modell* einer abstrakten Relationenalgebra. Jedes Element steht für eine beliebige Relation zwischen den Trägermengen. Diese Elemente sind sogar allgemeiner als Abbildungen, weil keine Eindeutigkeit gefordert ist. Die Operationen *auf* den Relationen sind – im Vergleich zu den Elementen der Trägermengen – Operationen höherer Ordnung. Weil ihre Notation nicht aufwendiger ist als die anderer Algebren, ist die Relationenalgebra so kompakt und ausdrucksstark. Möchte man Aussagen über die Elemente der Trägermenge treffen, muß man jedoch wieder auf Mengenschreibweise mit Quantoren zurückgreifen. Dies wird an einigen Stellen der Modellierung erforderlich sein.

6.4 Verbindungen als Hypergraphen

Die Dekomposition von Diensten aus Kap. 5 hat die netzrelevante Komponente eines Dienstes, deren Wirkungsbereich die Verbindungsstruktur im weitesten Sinne umfaßt, gegenüber der netztransparenten Komponente deutlich herausgestellt. Für eine formale Spezifikation des netzrelevanten Verhaltens benötigt der Begriff der Verbindung nun eine Entsprechung im mathematischen Modell. Die eben eingeführten Relationen sind wegen ihrer natürlichen Eigenschaft zur Beschreibung von Beziehungen ein äußerst vorteilhaftes Mittel zur Darstellung von Verbindungen zwischen mehreren Endpunkten.

Die hier gewählte Darstellung durch Hyperkanten mit mehreren Quellen und Senken ist eine Besonderheit, die jedoch bei der Interpretation als Kommunikationsverbindungen eine Reihe von Vorteilen bietet.

6.4.1 Darstellung und Eigenschaften

Zur Modellierung von Verbindungsstrukturen werden Graphen verwendet. Ein Graph ist durch Beziehungen zwischen zwei Mengen definiert. Eine Menge

\mathcal{V} für *Vertex*

enthalte die Knoten, eine Menge

\mathcal{C} für *Channel*

die Kanten eines Graphen. Die Knoten stehen für die **Endpunkte** eines Kommunikationssystems, während die Kanten die Kommunikationswege oder **Kanäle** zwischen den Endpunkten darstellen.

Zur besseren Unterscheidung werden die Elemente aus \mathcal{V} stets mit den Buchstaben $r, s, t, u \dots$ bezeichnet, die Elemente aus \mathcal{C} mit $a, b, c, d \dots$.

Eine **Verbindung** beschreibt die Beziehung zwischen einem Endpunkt und einem Kanal. Mit Relationen über diesen Mengen sind Kommunikationsstrukturen auf verschiedene Arten beschreibbar. Abb. 9 enthält ein einfaches Beispiel dafür.

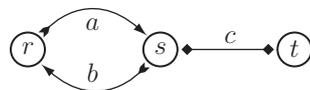


Abb. 9: Einfache Verbindungsstruktur

Im einfachsten Fall (wie in Abb. 9) sind die Kanäle durch uni- oder bidirektionale Pfeile zwischen zwei Endpunkten dargestellt. Die Endsymbole

►, ➤, und ◆

geben an, ob ein Endpunkt lesend, schreibend oder in beide Richtungen auf einen Kanal zugreift. Ist kein Endsymbol angegeben, ist die Richtung der Verbindung nicht wichtig.

In der Kommunikationstechnik treten Kanäle jedoch nicht nur zwischen zwei Endpunkten *Unicast*, sondern auch zwischen mehreren Endpunkten auf. In der Literatur werden 1:n-Verbindungen zwischen einer Quelle und mehreren Senken als *Multicast* bezeichnet, wenn die Empfänger dem Sender bekannt sind und als *Broadcast*, wenn sie unbestimmt sind. Broadcast und Multicast werden von den Netzen in der Regel anders realisiert als Unicast. Auf der Ebene der Modellierung gewinnt man durch diese Unterscheidung zusätzlich die Information, ob alle Senken dieselben Daten erhalten (Multicast, Broadcast) oder ob dies der Fall sein kann, aber nicht sein muß (mehrfacher Unicast). Für viele Dienste ist dies ein signifikantes Kriterium, so daß es sinnvoll ist, diese Unterscheidung in das Modell aufzunehmen.

Mit Hilfe von **Hyperkanälen** ist die Darstellung beider Varianten mit denselben Mitteln auf einfache Weise möglich (Abb. 10).



Abb. 10: Unterschiedliche Modellierung des scheinbar gleichen Informationsflusses

Auf den ersten Blick sind die Kommunikationsstrukturen in den linken und rechten Teilbildern von Abb. 10 jeweils identisch. Jedoch ist im Falle einzelner Pfeile diesen nicht anzusehen, ob r tatsächlich die gleiche Information an s, t, u sendet. Die Hyperkanäle können hingegen derart interpretiert werden, daß alle Datensinken stets den gleichen Datenstrom erhalten. Zu beiden Arten von Mehrpunktverbindungen gibt es Beispiele aus der Praxis. Kommunikationskanäle mit Unicast-Charakteristik sind alltäglich bei Telefonverbindungen. Multicast-Verbindungen werden z. B. in Telekonferenzen oder gemeinsamer Dokumentbearbeitung verwendet, während Broadcast charakteristisch für Radio- und Fernsehübertragungen ist.

Die Notwendigkeit der Unterscheidung zwischen mehrfachem Unicast und Multicast/Broadcast innerhalb eines Modells ist allgemein unstrittig, solange *eine* Quelle mit *mehreren* Senken verbunden ist. Dies ist insbesondere wegen der technisch einfachen Realisierbarkeit bzw. der Übertragungscharakteristik der Fall. In umgekehrter Richtung treten bei der Verbindung mehrerer Quellen mit einer Senke eine Reihe von Problemen bei der Komposition der Ströme auf (Überlagerungen, Bild-im-Bild etc.). Dasselbe gilt für Kanäle mit mehreren Quellen und Senken. Derartige Fragen sind jedoch aufgrund der Abstraktion von allen netztransparenten Vorgängen nicht Teil des Modells. Zudem besteht bei der Beschreibung von $n:1$ -Strukturen durch Relationen kein Unterschied zu $1:n$ -Strukturen. Auch die Beschreibung von $m:n$ -Strukturen ist auf elementare Weise möglich (Abb. 11).

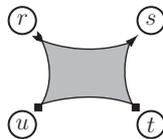


Abb. 11: Mit Hilfe von Relationen zwischen Endpunkten und Kanälen können $m:n$ -Strukturen auf dieselbe Weise wie $1:1$ -, $1:n$ - und $n:1$ -Strukturen beschrieben werden.

Um willkürliche Einschränkungen zu vermeiden, sind innerhalb des Modells Kanäle mit beliebiger $m:n$ -Struktur zulässig. Dies bietet folgende Vorteile:

- Die Unterscheidung der Übertragungscharakteristik zwischen mehrfachen $1:1$ -Verbindungen und $1:n$ -, $n:1$ - oder $m:n$ -Verbindungen bleibt im Modell erhalten.
- Bei der Spezifikation von Diensten, die z. B. die Charakteristik einer $m:n$ -Verbindung erfordern, kann von den unterschiedlichen Topologien bei der *Realisierung* der Verbindungen abstrahiert werden.

Hyperkanäle entsprechen damit auf sehr natürliche Weise den Anforderungen an eine technologieunabhängige Darstellung der Verbindungsstruktur von Diensten. Bei der Spezifikation eines Konferenzdienstes ist zunächst die Charakteristik der möglichen Verbindungsstrukturen wichtig und nicht die Varianten der Realisierung, zumal diese stark von den Fähigkeiten der zugrundeliegenden Netze abhängen.

Beispielsweise ist ein Konferenzdienst, in dem zwei Teilnehmer t, u unter Verwendung einer weiteren Datenquelle r (z. B. ein Videoserver) kommunizieren und die gesamte Kommunikation in einer Datenenke s aufzeichnen, auf die einfachste und eindeutigste Weise durch einen entsprechenden Hyperkanal charakterisiert (Abb. 12). Aus der Darstellung ist z. B. sofort ersichtlich, daß die zusätzliche Quelle r stets beiden Teilnehmern dieselben Daten liefert. Zudem treten in der abstrakten Dienstspezifikation keine Details der Realisierung und der Netzeigenschaften auf.

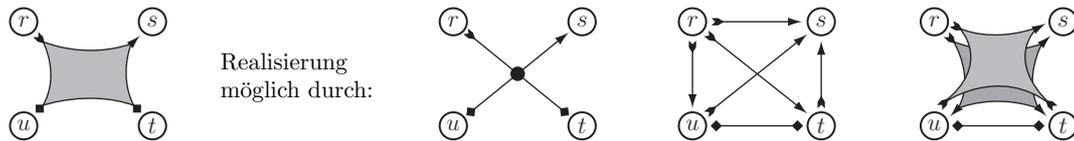


Abb. 12: Die Verwendung von Hyperkanten erlaubt die Abstraktion von der Realisierung in konkreten Netzen. Für eine technologieunabhängige Dienstmodellierung ist dies von großem Vorteil.

Sind hingegen in einem Dienst Einzelverbindungen explizit gewünscht, kann dies durch die Verwendung einfacher Pfeile dargestellt werden. Das Modell erlaubt zudem den Übergang von einer Darstellungsform zur anderen.

6.4.2 Beschreibungsvarianten und Wohlgeformtheit

Ein vollständiger Verbindungsgraph enthält eine Vielzahl von Informationen: Wer ist mit wem verbunden, wie viele Verbindungen gibt es zwischen zwei Endpunkten und in welcher Richtung laufen sie? Zur Beschreibung dieser Struktur sind Relationen zwischen den Endpunkten und Kanälen auf verschiedene Weisen anwendbar, die in ihrer Ausdrucksstärke unterschiedlich sind. Diese Eigenschaft kann man ausnutzen, um Sichtweisen aus unterschiedlichen Abstraktionsebenen auf das System zu ermöglichen.

Die Beispielstruktur aus Abb. 13 dient der Erläuterung der möglichen Varianten und der Übergänge von einer Variante zur nächsten.

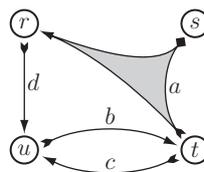


Abb. 13: Beispielstruktur

Die vollständigste Beschreibung ist durch Angabe der **Ein-** und **Ausgangsinzidenzen** der Kanäle gegeben. Die Eingangsinzidenz E setzt Kanäle mit den angrenzenden Endpunkten in Pfeilrichtung in Beziehung, die Ausgangsinzidenz A mit den Endpunkten entgegen der Pfeilrichtung. Beide Relationen sind vom Typ $\mathcal{C} \times \mathcal{V}$. Im Beispiel aus Abb. 13 ergibt sich:

$$E = \begin{matrix} & r & s & t & u \\ \begin{matrix} a \\ b \\ c \\ d \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}; \quad A = \begin{matrix} & r & s & t & u \\ \begin{matrix} a \\ b \\ c \\ d \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Definition: Verbindungsgraph

Der Verbindungsgraph G eines Kommunikationssystems ist vollständig durch die Angabe der Grundmengen \mathcal{C} , \mathcal{V} aller Kanäle und Endpunkte sowie der Ein- und Ausgangsinzidenzen E_G und A_G beschrieben:

$$G = (\mathcal{C}, \mathcal{V}, E_G, A_G)$$

Bei Eindeutigkeit wird der Index G von E_G , A_G oft weggelassen. Kalligraphische \mathcal{C} und \mathcal{V} kennzeichnen stets das Gesamtsystem.

Einzelne, ungerichtete Inzidenzen, z. B. zwischen Kanal a und Endpunkt s können wahlweise als Produkt, als Paar oder als Inzidenzmatrix angegeben werden:

$$as^T = \{(a, s)\} = \begin{matrix} a \\ b \\ c \\ d \end{matrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \circ \begin{matrix} r & s & t & u \\ (0 & 1 & 0 & 0) \end{matrix} = \begin{matrix} a \\ b \\ c \\ d \end{matrix} \begin{matrix} r & s & t & u \\ \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Die Angabe der Ein- und Ausgangsinzidenzen erlaubt die Beschreibung paralleler, gerichteter Kanäle und die Verwendung von Hyperkanälen.

In den Fällen, in denen weniger die Richtungsinformation, sondern eher die Beteiligung von Bedeutung ist, etwa bei der Abrechnung von Kanälen, ist es oft einfacher, nur mit der **Inzidenz** M zu rechnen:

$$M = A \cup E = \begin{matrix} r & s & t & u \\ a \\ b \\ c \\ d \end{matrix} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Die Inzidenz beschreibt lediglich die ungerichtete Nachbarschaft zwischen den Kanälen und Endpunkten.

Ist man nur an Aussagen interessiert, die die Richtungsinformation, aber nicht die Existenz paralleler Verbindungen berücksichtigen (etwa zur Vertraulichkeit von Konferenzen), ist die **Assoziierte** $B \subseteq \mathcal{V} \times \mathcal{V}$ des Graphen ausreichend:

$$B = A^T E = \begin{matrix} r & s & t & u \\ r \\ s \\ t \\ u \end{matrix} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Damit sind die Endpunkte unmittelbar in eine gerichtete Beziehung gesetzt, ohne daß den Kanälen eine eigene mathematische Existenz zukommt.

Obige Varianten werden im Laufe der Formalisierung an vielen Stellen Verwendung finden. Da die Verbindungsgraphen trotz ihrer eingängigen graphischen Darstellung nichts weiter sind als heterogene Relationen zwischen zwei Mengen, gibt es noch weitere Varianten.

Der *duale Graph* kehrt die Richtung der Beziehungen um, zu einer Beziehung von den Endpunkten zu den Kanälen:

$$E^T = \begin{matrix} a & b & c & d \\ r \\ s \\ t \\ u \end{matrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}; \quad A^T = \begin{matrix} a & b & c & d \\ r \\ s \\ t \\ u \end{matrix} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Der Vollständigkeit halber seien noch die symmetrische und irreflexive *Knotenadjazenz* Γ und die *Kantenadjazenz* K erwähnt:

$$\Gamma = \bar{I} \cap (B \cup B^T) = \begin{matrix} & r & s & t & u \\ \begin{matrix} r \\ s \\ t \\ u \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}; \quad K = \bar{I} \cap MM^T = \begin{matrix} & a & b & c & d \\ \begin{matrix} a \\ b \\ c \\ d \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Die Kantenadjazenz könnte z. B. bei Sicherheitsfragen von Bedeutung sein, denn sie besagt, welche Kommunikationskanäle in möglicherweise unsicheren Endpunkten zusammenlaufen.

Bei der Beschreibung von Verbindungsgraphen mit booleschen Matrizen wird aus Platzgründen meist nur ein Teil der Paare dargestellt. Es bedarf daher einer Vereinbarung zur raumsparenden Schreibweise die besagt, was für die nicht dargestellten Paare gelten soll.

Konvention: Abkürzende Schreibweise des Verbindungsgraphen in Matrizenform

Alle Relationen, die den Verbindungsgraphen beschreiben (E, A, M, B, K) seien in der Matrixschreibweise *vollständig* dargestellt, d. h. alle nicht explizit angegebenen Matrizenelemente haben den Wert 0.

Nicht alle Graphen beschreiben sinnvolle Kommunikationsstrukturen. Da das Modell sehr allgemein gehalten ist und sich explizit nur auf die netzrelevanten Vorgänge von Diensten bezieht, ist nur eine einzige Bedingung für die **Wohlgeformtheit** vorgesehen: Jeder Kanal muß zu mindestens einer Quelle und einer Senke verbunden sein. Demnach entsprechen folgende Graphen nicht der Wohlgeformtheit:

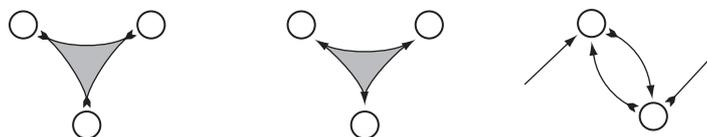


Abb. 14: Derartige Graphen werden als nicht wohlgeformt angesehen.

Definition: Wohlgeformtheit von Verbindungsgraphen

Ein Verbindungsgraph

$$G = (\mathcal{C}, \mathcal{V}, E_G, A_G)$$

ist wohlgeformt, wenn er keine partiellen Kanäle hat. Dies ist genau dann der Fall, wenn die Menge der auswärts verbundenen Kanäle gleich der Menge der einwärts verbundenen ist.

Die Formulierung als Prädikat wf (für wohlgeformt, well formed) lautet:

$$\text{wf}(G) \iff A_G L = E_G L$$

Für partielle Kanäle, die während des Verbindungsauf- und -abbaus zwar physikalisch auftreten könnten, ergibt sich wegen der beschriebenen Abstraktionen keine geeignete Entsprechung im Modell.

6.5 Beschreibung großer Systeme

Bisher wurden die Vorzüge der kompakten relationalen Verbindungsalgebra nur an kleinen Beispielen demonstriert. Das Prinzip jeder Beschreibungstechnik ist im Kleinen leichter vermittelbar, weil besonders bei graphischen Beschreibungen größerer Systeme mangelnde Übersichtlichkeit und überproportionaler Platzverbrauch Probleme bereiten. Jedoch sind Telekommunikationsnetze derart große und verteilte Systeme, daß sie im Ganzen effektiv überhaupt nicht beschrieben werden können. (Ein zusätzliches Problem ist, daß die Systeme, die den Zustand übermitteln, Teil des zu beschreibenden Zustands sind.) Auch in der Verbindungsalgebra ergeben selbst überschaubare Intranets riesige Matrizen. Es ist daher ein Mechanismus notwendig, der die Beschränkung auf relevante, faßbare Teilsysteme erlaubt. In der Telekommunikation wird dafür oft der Begriff „Session“ verwendet. In 6.5.1 werden zunächst die Eigenschaften einzelner Sessions angegeben, bevor in 6.5.2 das allgemeine Prinzip der Projektion von Graphen auf Teilstrukturen zur Definition von Sessions erweitert wird. Die Abschnitte 6.5.3 und 6.5.4 beschreiben die Strukturierung in mehrere Sessions und weitere Eigenschaften.

6.5.1 Eigenschaften von Sessions

Der Begriff *Session* wird in der Telekommunikation häufig verwendet. Den meisten Definitionen liegt zwar das Konzept eines „Rufes“ oder „Calls“ aus der Telefonwelt zugrunde; sie sind zuweilen aber recht unterschiedlich oder auf spezielle Diensttypen abgestimmt. Für die Aufnahme des Konzepts in eine dienstunabhängige Modellierung sind daher nur die universellen Eigenschaften von Interesse.

Zumeist bezeichnet eine Session die Instanz der Nutzung eines Dienstes oder auch die administrative Einheit aller an einer Dienstinstanz beteiligten Ressourcen. Innerhalb einer solchen Session sind Fragen nach Teilnehmern, Abrechnung, Berechtigungen, neuen oder gelöschten Kanälen relevant. Dabei impliziert das Wort „Session“ (Sitzung) eine gewisse Art der Zusammengehörigkeit, die zur Definition des Begriffes hilfreich ist. Von den dienstübergreifenden Merkmalen von Sessions bleiben nach den Abstraktionen des Abschnitts 5.4 folgende Punkte übrig:

1. Sessions enthalten eine Teilmenge der Ressourcen (Endpunkte und Kanäle) eines Kommunikationssystems.
2. Kanäle sind exklusiv einer Session zugeordnet.
3. Endpunkte können an mehreren Sessions gleichzeitig beteiligt sein.
4. Alle Endpunkte, die über einen Kanal kommunizieren, gehören mit diesem derselben Session an.

Darüber hinausgehende Eigenschaften von Sessions sind nicht mehr rein dienstunabhängig zu begründen. Abb. 15 verdeutlicht dieses Phänomen exemplarisch: Im dargestellten Graphen ist es ohne Rückgriff auf administrative, übertragungstechnische, dienst- oder gerätespezifische Eigenschaften nicht möglich, einer Variante den Vorzug zu geben. Beide Varianten können unter verschiedenen Kriterien sogar koexistieren.

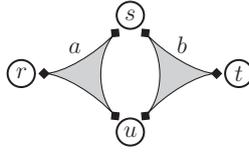


Abb. 15: Eine Session oder zwei?

Sessions sind somit nur ein Mittel zur Strukturierung der Elemente von Telekommunikationssystemen, das zunächst einmal von den Kriterien der Strukturierung unabhängig ist.

6.5.2 Sessions als Teilstrukturen

Oft ist es notwendig, aus einem Verbindungsgraphen Teilstrukturen herauszuheben, um diese isoliert betrachten zu können. Bei der Bildung von Teilstrukturen eines Graphen bestehen zwei Möglichkeiten. Die Auswahl einer Teilmenge C der Kanäle erzeugt einen *Untergraphen*. Alternativ dazu entsteht durch die Maskierung mit einer Endpunktemenge V^T ein *Teilgraph*. Durch das Ausblenden von Endpunkten können jedoch offene Kanäle entstehen, die die Wohlgeformtheit verletzen. Es ist daher sinnvoll, eine Teilmenge der Endpunkte stets mit einer geeigneten Teilmenge der Kanäle zu einem *Teiluntergraphen* zu kombinieren. Die Wohlgeformtheit ist genau dann gegeben, wenn mit jedem Kanal alle inzidierenden Endpunkte im Teiluntergraphen enthalten sind.

Konvention: Untergraph, Teiluntergraph

Aus einem Graphen $G = (\mathcal{C}, \mathcal{V}, E_G, A_G)$ ergibt sich ein durch $C \subseteq \mathcal{C}$ definierter Untergraph G_C zu

$$G_C = (C, V, E_G \cap C, A_G \cap C).$$

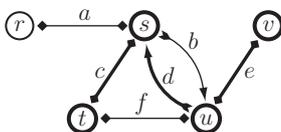
Durch $V \subseteq \mathcal{V}$ und $C \subseteq \mathcal{C}$ entsteht aus G ein Teiluntergraph $G_{C,V}$ als:

$$G_{C,V} = (C, V, E_G \cap C \cap V^T, A_G \cap C \cap V^T)$$

Zur Beschreibung der Teilmengen C und V müssen in obiger Definition Relationen vom Typ $C \times V$ gewählt werden.

Beispiel: Teiluntergraph.

Gesucht ist der Teiluntergraph $G_{C,V} = (C, V, E_{C,V}, A_{C,V})$, der durch Reduktion auf $C = \{c, d, e\}$ und $V = \{s, t, u, v\}$ mit $C \subseteq \mathcal{C}$ und $V \subseteq \mathcal{V}$ gegeben ist (in der Abbildung durch die stark umrahmten Elemente dargestellt).



$$E = \begin{matrix} & r & s & t & u & v \\ \begin{matrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \\ f \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}; \quad A = \begin{matrix} & r & s & t & u & v \\ \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

$$\begin{array}{c}
\downarrow \\
\begin{array}{c}
\textcircled{t} \xrightarrow{c} \textcircled{s} \\
\textcircled{u} \xrightarrow{d} \textcircled{s} \\
\textcircled{u} \xrightarrow{e} \textcircled{v}
\end{array}
\end{array}
\quad
\begin{array}{l}
C = \begin{array}{c} r \ s \ t \ u \ v \\ a \ \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ b \ \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ c \ \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ d \ \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ e \ \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ f \ \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{pmatrix} \end{pmatrix} \end{pmatrix} \end{pmatrix} \end{pmatrix} \end{pmatrix}; \quad V^\top = \begin{array}{c} r \ s \ t \ u \ v \\ \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \end{array} \\
E_{C,V} = E \cap (C \cap V^\top) = \begin{array}{c} s \ t \ u \ v \\ c \ \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ d \ \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ e \ \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix} \end{pmatrix} \end{pmatrix} \\
A_{C,V} = A \cap (C \cap V^\top) = \begin{array}{c} s \ t \ u \ v \\ c \ \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ d \ \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ e \ \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix} \end{pmatrix} \end{pmatrix}
\end{array}
\end{array}$$

□

Zur formalen Definition einer Session gemäß den Eigenschaften aus Kap. 6.5.1 ist das Konstrukt der Teiluntergraphen geeignet. Zunächst sei eine Session S gegeben durch zwei Teilmengen $C_S \subseteq \mathcal{C}$ und $V_S \subseteq \mathcal{V}$ als

$$S = G_{C_S, V_S}$$

Jedoch ist selbst in wohlgeformten Verbindungsgraphen ohne partielle Kanäle eine Nebenbedingung notwendig. Diese Nebenbedingung muß verhindern, daß durch ungünstige Wahl von C_S und V_S ein Teiluntergraph entsteht, der zwar lokal betrachtet ein wohlgeformter Verbindungsgraph ist, jedoch nicht global. Abb. 16 verdeutlicht das Problem.

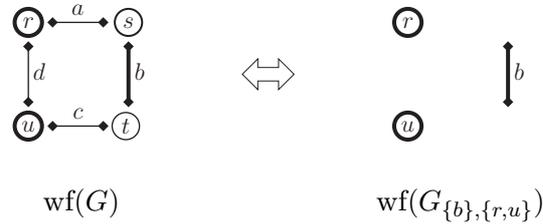


Abb. 16: Teiluntergraphen können wohlgeformt sein und dennoch keine korrekte Session ergeben.

Der Teiluntergraph aus Abb. 16 ist zwar wohlgeformt (b stellt lokal betrachtet einen unbenutzten Kanal dar); die Session, die er repräsentiert, steht aber im Widerspruch zum Gesamtsystem. Folgende Nebenbedingung verhindert dies, indem sie mit

$$(E_G \cup A_G)^\top C_S = M_G^\top C_S \subseteq V_S$$

festlegt, daß mit jedem Kanal aus C_S auch alle innerhalb G verbundenen Endpunkte Teil der Session sind. Dies führt auf folgende Definition zur Bildung von Sessions als Teilstrukturen in Kommunikationssystemen:

Definition: Sessions, Wohlgeformtheit

Der durch $C_S \subseteq \mathcal{C}$ und $V_S \subseteq \mathcal{V}$ definierte Teiluntergraph

$$S = G_{C_S, V_S} = (C_S, V_S, E_G \cap C_S \cap V_S^\top, A_G \cap C_S \cap V_S^\top) = (C_S, V_S, E_S, A_S)$$

des wohlgeformten Gesamtsystems

$$G = (\mathcal{C}, \mathcal{V}, E_G, A_G) \quad \text{mit } \text{wf}(G)$$

wird als *Session* bezeichnet, wenn folgendes Prädikat *wfs* (für wohlgeformte, well formed Session) gilt:

$$\text{wfs}(S) \iff M_G^T C_S \subseteq V_S$$

Da sich E_S und A_S aus C_S und V_S ergeben, steht oft auch nur $S = (C_S, V_S)$.

Den Sessions sind sonst keine weiteren Beschränkungen auferlegt, so sind beispielsweise

$$S_0 =_{\text{def}} (O, O)$$

$$S = (O, V_S)$$

$$S = G$$

jeweils wohlgeformte Sessions.

Zur Vereinfachung von Formeln und Ausdrücken über Sessions werden einige Kurzschreibweisen vereinbart. Gegeben sei eine Session $S = (C_S, V_S)$. Es gilt dann:

$$a \in S \iff a \in C_S$$

$$r \in S \iff r \in V_S$$

$$S_i \subseteq S_j \iff C_{S_i} \subseteq C_{S_j} \wedge V_{S_i} \subseteq V_{S_j}$$

usw.

6.5.3 Strukturierung in mehrere Sessions

Ein Kommunikationssystem enthält in der Regel mehrere Sessions gleichzeitig. Neben der Wohlgeformtheit der einzelnen Sessions ist wegen der Exklusivität der Kanäle (Eigenschaft 3 von Abschnitt 6.5.1) auch eine Bedingung über der Gesamtmenge von Sessions erforderlich. Für die Beschreibung der Bedingung für eine reguläre Aufteilung des Gesamtsystems in Sessions wird die Kurzform

$$S = (C_S, V_S)$$

verwendet. Es gilt somit die Beziehung

$$S \in \mathcal{P}(\mathcal{C}) \times \mathcal{P}(\mathcal{V})$$

wobei $\mathcal{P}(M)$ für die Potenzmenge einer Menge M steht. Die Menge \mathcal{S} aller theoretisch möglichen Sessions ist gegeben durch

$$\mathcal{S} = \{S \in \mathcal{P}(\mathcal{C}) \times \mathcal{P}(\mathcal{V}) \mid \text{wfs}(S)\}$$

Eine tatsächliche Aufteilung S des Gesamtsystems in n Sessions ist zunächst einfach eine Teilmenge von \mathcal{S} :

$$S = \{S_1, \dots, S_n\} \subseteq \mathcal{S}$$

Die Exklusivität der Kanäle fordert nun, daß die C_i paarweise disjunkt sind. Dies führt auf die folgende Definition.

Definition: Reguläre Strukturierung des Gesamtsystems in Sessions

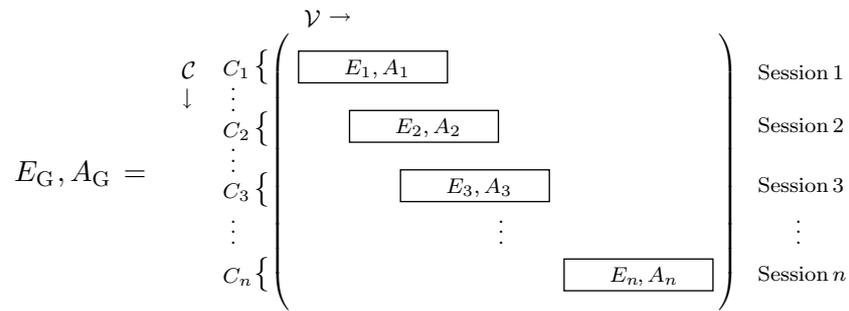
Eine gegebene Menge S von Sessions

$$S \subseteq \mathcal{S}$$

ist genau dann eine reguläre Strukturierung des Gesamtsystems G , wenn die C_{S_i} paarweise disjunkt sind. Das Prädikat reg lautet dazu:

$$\text{reg}(S) \iff C_S \cap C_{S'} = O \quad \text{für alle } S, S' \in S \text{ mit } S \neq S'$$

Bildlich dargestellt ergibt sich nach geeigneter Umordnung der Kanäle (und der nicht immer so perfekt möglichen Umordnung der Endpunkte) folgende Struktur des Gesamtsystems:



Wie bereits in Kap. 6.5.1 angedeutet, sind zumeist **mehrere reguläre Strukturierungen** in Sessions möglich, die alle aus dienstspezifischen, technologischen oder sonstigen Gründen ihre Berechtigung haben können. Formal gesehen bedeutet dies, daß eine Reihe regulär gebildeter Teilmengen

$$S_1, S_2, \dots, S_k \subseteq \mathcal{S}, \quad \text{jeweils mit } \text{reg}(S_i)$$

geben kann, ohne daß mathematisch eine Präferenz zu begründen wäre. Auch gilt die Bedingung für die Regularität nur innerhalb der S_i . Dies besagt, daß ein Kommunikationssystem aus mehreren Blickwinkeln in verschiedene Mengen von Sessions strukturiert sein kann, ohne daß deren Elemente übergreifend in irgendeiner Beziehung zueinander stehen müssen. Lediglich innerhalb einer Strukturierung muß die Aufteilung regulär sein.

Beispielsweise ist die Existenz einer einzigen Session in Form des Gesamtsystems eine regulär gebildete Sessionstruktur:

$$S_G =_{\text{def}} \{(\mathcal{C}, \mathcal{V})\}$$

Kommunikationssysteme ohne Sessions sind ebenfalls möglich:

$$S_0 =_{\text{def}} \emptyset$$

Eine andere gültige Sessionstruktur wäre auch die nur aus Endpunkten und der leeren Session bestehende:

$$S = \{(O, \{v_1\}), (O, \{v_2\}), \dots, (O, \{v_n\}), S_0\} \quad \text{für } \mathcal{V} = \{v_1, \dots, v_n\}$$

Weitere Strukturierungen könnten z. B. entlang von Betreibergrenzen, Übertragungstechnologie oder Kostenstellen verlaufen. Die Modellierung innerhalb der Verbindungsalgebra ist davon unabhängig. In den folgenden Kapiteln sind jedoch die Sessions von Interesse, die sich aus der Sicht der *Benutzer* eines Kommunikationssystems als Instanz einer Dienstnutzung ergeben.

6.5.4 Weitere Eigenschaften von Sessions

Der Begriff der Session als Instanz der Dienstnutzung kann auch verwendet werden, um Eigenschaften von Diensten außerhalb der Modellierung des netzrelevanten Verhaltens festzulegen. In großen Telekommunikationssystemen tritt die Frage auf, wieweit die Kenntnis über die Existenz von Verbindungen reichen soll, um bei der Beschreibung von Bedingungen und Verhalten darauf Bezug nehmen zu können.

Endpunkte haben in der Regel Kenntnis über alle eigenen Verbindungen und bei bidirektionalen Kanälen auch über die Identität der entfernten Endpunkte. In Diensten mit mehreren Verbindungen, wie z. B. verteilten Spielen, haben Teilnehmer oft auch Kenntnis über andere Verbindungen, an denen sie nicht direkt beteiligt sind. Hingegen sollten den Teilnehmern einer Telekonferenz die parallele Beteiligung eines Teilnehmers an einer weiteren Konferenz verborgen bleiben. Die Grenzen der Sichtbarkeit von Ressourcen ist dem Verbindungsgraphen des Gesamtsystems nicht zu entnehmen. Je nach Art der Dienste, die der Verbindungsgraph aus Abb. 17 darstellt, sind beide Varianten denkbar.



Abb. 17: Eine Frage der Definition: Weiß r von der Existenz oder Nicht-Existenz von c ?

Mit den eben eingeführten Sessions steht ein Strukturierungsmittel zur Verfügung, das sich auch zur Festlegung einer Obergrenze für die Sichtbarkeit von Ressourcen eignet. Eine Variante wäre z. B.:

- Jedem Endpunkt stehe innerhalb einer Session i die Information über den Verbindungszustand aller in E_i und A_i beteiligten Endpunkte zur Verfügung.
- Die Endpunkte sind über Sessions hinweg sichtbar.

Eine ähnliche Frage tritt später bei der Einführung der Berechtigungen auf: Wie weit sollen Berechtigungen über andere Kanäle (existierende wie nicht existierende) reichen? Diese Frage ist nicht nur an die Sichtbarkeit von Kanälen gekoppelt, da das Erzeugen neuer Kanäle zwischen den stets sichtbaren Endpunkten davon unabhängig ist. Das Konzept der Session bietet sich auch dafür als Basislösung an. Berechtigungen zum Erzeugen und Löschen von Kanälen sind demnach ebenfalls an die Elemente innerhalb einer Session gekoppelt.

In dieser Form entspricht die Beschränkung von Berechtigungen auf Sessions allerdings noch nicht der Erfahrung im täglichen Umgang mit Kommunikationssystemen. Dort ist es jederzeit möglich, z. B. auf der zweiten Leitung eines ISDN-Anschlusses beliebige parallele Verbindungen zu Endpunkten außerhalb der bestehenden Session aufzubauen. Entscheidend hierbei ist jedoch, daß dadurch nicht die bestehende Session erweitert, sondern eine neue eröffnet wird. Im Kapitel über die Berechtigungen folgen genauere Ausführungen dazu.

6.6 Beispiele spezieller Teilmengen und Eigenschaften von Verbindungsgraphen

Bei der Beschreibung der statischen und dynamischen Eigenschaften von Verbindungsstrukturen treten gewisse Konstellationen und Teilmengen aus der Endpunkte- und Kanalmenge immer wieder auf. Die nächsten beiden Abschnitte enthalten einige Beispielausdrücke, die häufig vorkommende Teilmengen und Eigenschaften von Verbindungsgraphen beschreiben. Es seien $C \subseteq \mathcal{C}$ und $V \subseteq \mathcal{V}$ beliebige Teilmengen der Kanäle und Endpunkte sowie $v \in \mathcal{V}$ ein einzelner Endpunkt. Häufig vorkommende Nachbarschaftsbeziehungen sind in der relationalen Schreibweise sehr kompakt zu formulieren:

- $A^T C$: Menge der Quellen der Kanalmenge C
- $E^T C$: Menge der Senken der Kanalmenge C
- AV : Menge der Kanäle, die Quellen aus V enthalten
- EV : Menge der Kanäle, die Senken aus V enthalten
- ML : Menge der Kanäle mit mindestens einer Quelle oder Senke (belegte Kanäle)
- \overline{ML} : Menge der Kanäle ohne Quelle oder Senke (freie Kanäle)
- $M^T L$: Menge der Endpunkte mit mindestens einer Verbindung
- $B^T v$: Alle Senken der zu v als Quelle inzidierenden Kanäle
- Bv : Alle Quellen der zu v als Senke inzidierenden Kanäle

Weitere Mengen ergeben sich analog.

Beispiel: Teilmengen.

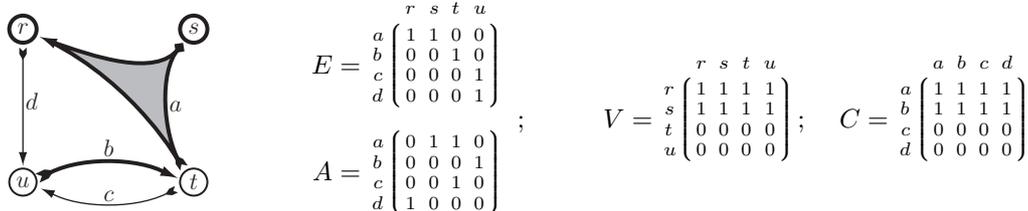


Abb. 18: Beispielstruktur mit Teilmengen $\{a, b\}$ und $\{r, s\}$.

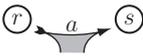
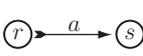
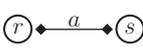
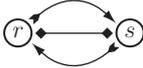
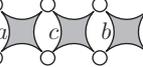
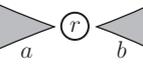
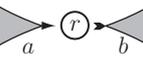
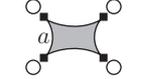
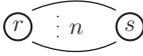
Im Beispiel aus Abb. 18 ergeben sich durch Verknüpfung der Relationen:

$$A^T C = \begin{matrix} & a & b & c & d \\ r & 0 & 0 & 0 & 0 \\ s & 1 & 1 & 1 & 1 \\ t & 1 & 1 & 1 & 1 \\ u & 1 & 1 & 1 & 1 \end{matrix}; E^T C = \begin{matrix} & a & b & c & d \\ r & 1 & 1 & 1 & 1 \\ s & 1 & 1 & 1 & 1 \\ t & 1 & 1 & 1 & 1 \\ u & 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix}; AV = \begin{matrix} & r & s & t & u \\ r & 1 & 1 & 1 & 1 \\ s & 0 & 0 & 0 & 0 \\ t & 0 & 0 & 0 & 0 \\ u & 1 & 1 & 1 & 1 \end{matrix}; EV = \begin{matrix} & a & b & c & d \\ a & 1 & 1 & 1 & 1 \\ b & 0 & 0 & 0 & 0 \\ c & 0 & 0 & 0 & 0 \\ d & 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix} \text{ usw.}$$

□

Wie in Kapitel 6.3 bereits angedeutet, besteht bei Angabe von Teilmengen einer der Grundmengen eine gewisse Wahlfreiheit für das zweite Element (die Bezeichnung der Spalten) der Relation.

Die kompakte Notation als Relationen eignet sich sehr gut, um Eigenschaften einer Verbindungsstruktur zu spezifizieren. Damit können später die netzrelevanten Eigenschaften oder das Verhalten eines Dienstes bestimmt werden. Die folgende Tabelle enthält einige Beispiele, die Verbindungsstrukturen näher spezifizieren:

Ein Endpunkt r ist zu s direkt verbunden	$rs^T \subseteq B$	
Ein Endpunkt r ist zu s über a verbunden	$a \subseteq Ar \cap Es$	
Nur Endpunkt r ist zu s über a verbunden	$A^T a = r \wedge E^T a = s$	
Es ist kein Informationsfluß von r nach s möglich	$rs^T \not\subseteq B^*$	
Endpunkte r und s sind exklusiv über a verbunden	$A^T = E^T a = r \cup s$	
Alle Kanäle zwischen r, s sind exklusiv	$A^T(Ar \cap Es) \subseteq (r \cup s) \wedge E^T(Ar \cap Es) \subseteq (r \cup s)$	
Zwei Kanäle a, b berühren sich nicht	$M^T a \cap M^T b = O$ $ab^T \not\subseteq K \cup K^T$	
Zwei Kanäle a, b berühren sich in Endpunkt r	$r \subseteq M^T a \cap M^T b$	
Endpunkt r ist Senke von a und Quelle von b	$r \subseteq E^T a \cap A^T b$	
Kanal a verbindet alle Endpunkte bidirektional	$A^T a = E^T a$	
r und s sind durch n Kanäle verbunden	$ Mr \cap Ms = n$	

Beliebige weitere Ausdrücke können zur Beschreibung der Eigenschaften von Verbindungsgraphen gebildet werden. Ähnliche Ausdrücke werden hauptsächlich bei der Spezifikation der Vor- und Nachbedingungen von Transitionen Verwendung finden.

6.7 Transformationen von Verbindungsgraphen

Wann immer Systeme in mathematischen Strukturen beschrieben sind, stellt sich die Frage, wie gewisse Instanzen der Beschreibung zu anderen Instanzen in Beziehung stehen. Solche Beziehungen sind in vielfältiger Weise verwendbar. Oft möchte man ein System auf eine andere Weise beschreiben, die irgendwelchen Anforderungen vielleicht besser gerecht wird als die ursprüngliche. In diesem Fall sollte man zwischen den Beschreibungen wechseln können. Oder man nutzt den Übergang von einem Status innerhalb der mathematischen Struktur zu einem anderen, um das Verhalten eines Systems zu beschreiben. Dies ist letztendlich auch das Prinzip formaler Spezifikationen. In beiden Fällen sind die Operationen, die den Übergang leisten und die Beziehung, in der die Instanzen dann stehen, von besonderem Interesse.

Relationen gestatten nicht nur die Beschreibung von Verbindungsstrukturen zwischen Endpunkten und Kanälen, sondern auch eine Beschreibung von Beziehungen zwischen den Relationen selbst. Diese kann man dafür verwenden, um z. B. die Grundmengen auszuwechseln oder durch Verknüpfung die Ein- und Ausgangsinzidenzen zu verändern. Dies wird später der Definition von Operationen auf der Verbindungsstruktur hilfreich sein. Die folgenden Abschnitte stellen einige Grundmuster davon vor.

Da bei Verwendung von Hypergraphen oft mehrere Möglichkeiten zur Verfügung stehen, die bis auf die in Kap. 6.4 beschriebenen Unterschiede denselben Kommunikationsfluß beschreiben, bedarf es einer Festlegung, wann Kommunikationsstrukturen bezüglich ihrer wer-mit-wem-Eigenschaft als „gleich“ angesehen werden. Die Graphentheorie bietet dafür den Begriff der Strukturhaltung, der jedoch bei Deutung von Graphen als Kommunikationsverbindungen zu allgemein und damit nicht zweckmäßig ist. Aus diesem Grund wird in Abschnitt 6.7.3 eine Strukturhaltung „im Sinne der Telekommunikation“ festgelegt. Die Herleitung dazu holt ein wenig aus und gelangt zu einem Punkt, der die Beschreibungsgrenze abstrakter Relationenalgebren markiert.

6.7.1 Relationen auf den Trägermengen

Die Verbindungsstruktur von Diensten ist in der Verbindungsalgebra durch die Angabe der Relationen E und A zwischen den Kanälen und den Endpunkten vollständig beschrieben. Möchte man die Verbindungsstruktur ändern, könnte man E und A durch \cup und \cap mit anderen Relationen verknüpfen. Eine andere Möglichkeit besteht darin, E und A unverändert zu lassen und dafür die Trägermengen in Beziehung zu anderen Trägermengen zu setzen. Dadurch entstehen die Ein- und Ausgangsinzidenzen E und A zwischen den neuen Trägermengen.

Zur Definition von Beziehungen zwischen den Trägermengen werden wiederum Relationen verwendet. Diese haben, je nachdem ob sie Relationen zwischen Kanal- oder Endpunktemengen bezeichnen, die Form $\Phi_C \subseteq C \times C'$ oder $\Phi_V \subseteq V \times V'$. Abb. 19 zeigt das Prinzip anhand der Eingangsinzidenz:

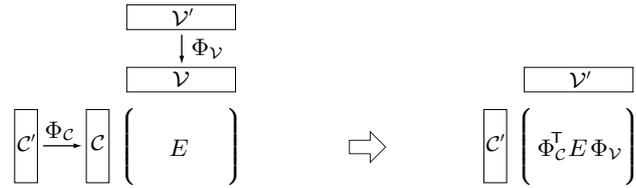


Abb. 19: Durch Relationen Φ zwischen den Grundmengen können diese ausgetauscht werden.

Aus einem gegebenen Verbindungsgraphen $G = (\mathcal{C}, \mathcal{V}, E, A)$ entsteht der von $\Phi_{\mathcal{C}}$ und $\Phi_{\mathcal{V}}$ modifizierte Graph G' durch

$$G' = (\mathcal{C}', \mathcal{V}', \Phi_{\mathcal{C}}^{\top} A \Phi_{\mathcal{V}}, \Phi_{\mathcal{C}}^{\top} E \Phi_{\mathcal{V}}),$$

der eine Beziehung zwischen \mathcal{C}' und \mathcal{V}' beschreibt. Je nach Beschaffenheit der Relationen Φ entstehen neue Graphen mit bestimmten Eigenschaften. Da man sich hier innerhalb einer *relationalen* anstelle einer *algebraischen* Struktur bewegt, hat man bei der Definition der Φ einen größeren Spielraum. Die Eindeutigkeit der Beziehungen Φ ist nicht gefordert. Dadurch können auch Elemente der Trägermengen zu mehreren Elementen der neuen Trägermengen in Beziehung stehen.

Um dies noch einmal zu verdeutlichen: Innerhalb der Relationenalgebra müssen die Operationen selbstverständlich eindeutig sein. Zwei Relationen werden immer zu einem eindeutigen Ergebnis verknüpft. Daß die Relationen darüber hinaus in dem hier gewählten Modell für Beziehungen zwischen Endpunkte- und Kanalmengen stehen, ist dafür ohne Belang. Daher ist auch unerheblich, ob diese Beziehungen eindeutig sind. So löst sich der vermeintliche Widerspruch auf, durch Angabe von *Relationen* eindeutige *Funktionen* zu erhalten.

Man kann natürlich auch Funktionen verwenden. Wenn eine Relation

$$\begin{array}{l}
\Phi \text{ total} \iff I \subseteq \Phi \Phi^{\top} \text{ und} \\
\Phi \text{ eindeutig} \iff \Phi^{\top} \Phi \subseteq I
\end{array}$$

ist, spricht man von einer *Abbildung*.

6.7.2 Homomorphismen

Bei der Darstellung einer m:n-Verbindungsstruktur von Diensten durch Hyperkanäle bestehen zumeist mehrere Möglichkeiten, von der Verwendung einzelner Pfeile bis zu einem einzigen Hyperkanal. Die Unterschiede werden – wie in Kap. 6.4 dargestellt – zur Modellierung des Informationsflusses verwendet. Da im Verlauf einer Dienstnutzung durchaus gewünscht sein kann, die Verbindungsstruktur von einer Form in eine andere zu transformieren, ist zu klären, wie ein solcher Übergang möglich ist. Dies führt zunächst auf die Frage, wann zwei Verbindungsstrukturen „im Prinzip“, also unabhängig von der Betrachtung des Informationsflusses identisch sind. Weiterhin muß ein Verbindungsgraph bestimmte Voraussetzungen für die Transformation erfüllen.

In der Graphentheorie sind durch Abbildungen zwischen den Trägermengen vielfältige Transformationen darstellbar. Ist eine Abbildung *strukturerhaltend*, ist sie ein *Homomorphismus*. Bei der Interpretation von Graphen als Kommunikationsstrukturen, hat die Homomorphie leider nur eine sehr geringe Aussagekraft, die als Bedingung für eine Transformationen nicht ausreicht. Bevor im nächsten Abschnitt eine strengere Strukturerhaltung eingeführt wird,

folgen hier erst einige generelle Betrachtungen über Graphenhomomorphismen im Zusammenhang mit Kommunikationsstrukturen.

Nach den Regeln der Graphentheorie lautet bei gegebenen $\Phi_C \in \mathcal{C} \times \mathcal{C}'$ und $\Phi_V \in \mathcal{V} \times \mathcal{V}'$ (die in diesem Fall Abbildungen sein müssen) die Bedingung für Homomorphie zwischen zwei Graphen $G = (\mathcal{C}, \mathcal{V}, A, E)$ und $G' = (\mathcal{C}', \mathcal{V}', A', E')$:

$$E \subseteq \Phi_C E' \Phi_V^T; \quad A \subseteq \Phi_C A' \Phi_V^T.$$

Diese Bedingung für Homomorphie ist verhältnismäßig schwach; sie besagt nur, daß die Beziehungen aus G im Graphen G' wiederzufinden sind, der natürlich beliebige weitere Kanäle aus \mathcal{C}' zwischen weiteren Endpunkten aus \mathcal{V}' enthalten kann.

Für die Modellierung von Kommunikationsverbindungen durch Graphen kann man eine Vereinfachung vornehmen. Da die Knotenmenge der Graphen im Gegensatz zur dynamisch wechselnden Kanalmenge die statischen Endpunkte von Kommunikationsverbindungen repräsentiert, genügen zumeist Abbildungen auf der Kanalmenge und $\Phi_V = I$. Die Bedingung für Homomorphie reduziert sich dadurch auf:

$$E \subseteq \Phi_C E'; \quad A \subseteq \Phi_C A'.$$

Möchte man beispielsweise einen Graphen G als Telekonferenz und Homomorphismen als Zustandsübergang der Verbindungsstruktur verstehen, ist diese Art der Strukturierung für die Praxis nicht sehr nützlich: Zwei Konferenzen sind demnach auch dann homomorph, wenn die eine beliebige Teilnehmer und Kanäle mehr hat als die andere.

Für die Modellierung von Diensten durch Operationen auf Graphen ist auch die Situation von Interesse, in der nicht zwei separate Graphen gegeben sind und man wissen möchte, ob sie durch Φ_C und Φ_V homomorph sind, sondern in der man den Graphen betrachtet, der durch Anwendung von Φ_C und Φ_V aus einem gegebenen Graphen entsteht. Der auf konstruktive Weise erhaltene Graph

$$G' = (\mathcal{V}', \mathcal{C}', \Phi_C^T E \Phi_V, \Phi_C^T A \Phi_V)$$

ist stets homomorph zu G (Beweis durch Einsetzen). G' enthält zudem keine Kanäle und Endpunkte mehr, die nicht auch ein Urbild in G haben. Trotzdem ist selbst dies bei der Interpretation als Telekommunikationssystem unpraktikabel. Es gilt (hier am Beispiel eines Kantenhomomorphismus) nämlich nur:

$$B = A^T E = A^T I E \subseteq A^T \Phi_C \Phi_V^T E = (\Phi_C^T A)^T (\Phi_V^T E) = B'$$

G' kann also wiederum mehr Verbindungen als G enthalten, was durch die Teilmengenbeziehung der Assoziierten B und B' in obiger Formel ausgedrückt wird. Dies ist im allgemeinen auch der Fall, wie Abb. 20 zeigt.

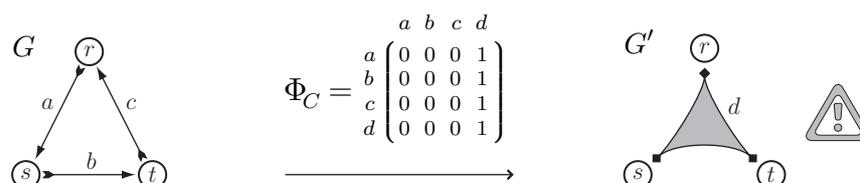


Abb. 20: Die Strukturierung durch Homomorphie, die in relationalen Strukturen gegeben ist, ist bei der Interpretation als Kommunikationsverbindung nicht ausreichend.

Dort gilt zwar die Bedingung zur Homomorphie

$$B = \begin{matrix} & r & s & t \\ r & \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ s & \\ t & \end{matrix} \subseteq B' = \begin{matrix} & r & s & t \\ r & \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \\ s & \\ t & \end{matrix}$$

aber weil z. B. $rt^T \in B'$ obwohl $rt^T \notin B$, möchte man dies sicher nicht als strukturerhaltend bezeichnen. Die gewünschte Strukturerhaltung hängt demnach von mehr ab, als nur von der Abbildung Φ .

In nächsten Kapitel werden Bedingungen über G angegeben, mit denen nicht nur Gleichheit von B und B' erreicht wird, sondern eine weitere Stufe der Ähnlichkeit mit der Überführbarkeit in beide Richtungen gegeben ist.

Der Darstellung von Φ durch boolesche Matrizen sind aus Gründen der Übersichtlichkeit gewisse Grenzen gesetzt. Meist ist es nur möglich, Ausschnitte der Relationen darzustellen. Daher gilt für die Verwendung in Ausdrücken folgende

Konvention: Schreibweise für Abbildungen über den Trägermengen.

- Solange eindeutig ist, ob $\Phi \subseteq \mathcal{C} \times \mathcal{C}'$ oder $\Phi \subseteq \mathcal{V} \times \mathcal{V}'$, kann die Angabe des Index in $\Phi_{\mathcal{C}}$ oder $\Phi_{\mathcal{V}}$ unterbleiben.
 - Mit dem Buchstaben Φ bezeichnete Relationen in Matrixschreibweise seien im nicht dargestellten Teil stets identisch mit I ; haben also in der Hauptdiagonalen stets den Wert 1 und sonst 0.
 - Die Verwendung von Ψ anstelle von Φ drückt aus, daß nicht dargestellte Elemente von Ψ mit 0 besetzt sind. Dadurch ist zusätzlich eine Beschränkung auf Teiluntergraphen möglich.
-

Durch diese Konventionen kann man sich bei großen Systemen auf die Darstellung des wesentlichen Ausschnitts beschränken. Für die E - und A -Relationen der Verbindungsgraphen wird später ein ähnliches Konzept verwendet.

6.7.3 Strukturerhaltung im Sinne von Kommunikation

Daß man eine relationale Struktur in einer anderen wiederfinden kann, ist für den rein mathematischen Begriff der Homomorphie des letzten Kapitels ausreichend. Bei der Interpretation der Kanten als Kommunikationskanäle ist jedoch eine andere, strengere Vorstellung von Strukturerhaltung passender. Eine denkbare Definition wäre, zwei Kommunikationsstrukturen dann als strukturgleich zu bezeichnen, wenn zwischen den Endpunkten der einen Struktur Kommunikation in dieselben Richtungen und mit denselben Nachbarn möglich ist, wie zwischen den Endpunkten der anderen Struktur.

Diese etwas strengere Strukturerhaltung, die hier *Kommunikationsgleichheit* heißen soll, deckt genau den Freiheitsgrad ab, den man bei der Realisierung von Verbindungen durch die Varianten bei der Kombination der Hyperkanäle hat. Eine Relation, die mit der Abstraktion von den einzelnen Inzidenzen genau diese Repräsentation der Nachbarschaftsbeziehungen leistet,

ist die Assoziierte B . Dadurch erhält man folgende Definition der Kommunikationsgleichheit zweier Verbindungsgraphen:

Definition: Kommunikationsgleichheit zweier Verbindungsgraphen

Zwei Verbindungsgraphen sind genau dann *kommunikationsgleich*, wenn

$$B = B', \text{ also } A^T E = A'^T E'$$

Diese Definition ermöglicht eine Aussage darüber, ob zwei Strukturen im Sinne der Kommunikation gleich genannt werden sollen oder nicht – unabhängig von der Festlegung eines Übergangs. Abb. 21 enthält einige Beispiele jeweils kommunikationsgleicher Graphen:

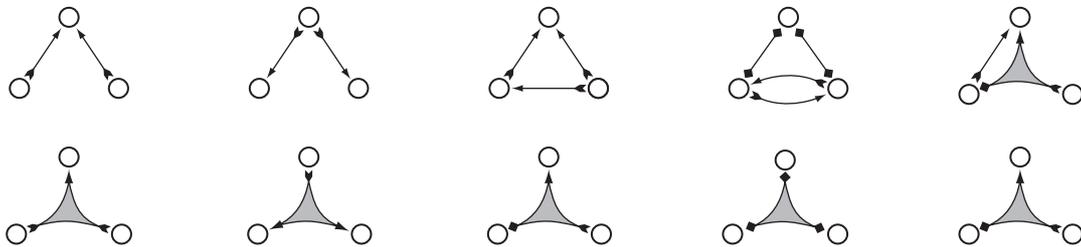


Abb. 21: Kommunikationsgleiche Alternativen verschiedener Graphen.

Bei der Betrachtung von Abb. 21 tritt die Frage nach dem *Übergang* von einer Form zur anderen auf. Zumindest in einer Richtung – in Abb. 21 von oben nach unten – sind die Abbildungen, die im letzten Kapitel vorgestellt wurden, verwendbar. Diese können verwendet werden, um mehrere Kanäle auf einen einzigen Hyperkanal abzubilden. In der Regel gilt dann aber nur $B \subseteq B'$ (siehe Abb. 20). Damit dieser Vorgang zu kommunikationsgleichen Bildern führt, also *kommunikationserhaltend* ist, sind einige Voraussetzungen zu definieren, bevor im nächsten Kapitel darauf basierende Operationen auf den Verbindungsgraphen eingeführt werden.

Es scheint, als könnten nur bestimmte Verbindungsstrukturen mittels einer Abbildung kommunikationserhaltend zusammengefaßt werden. In Abb. 21 ist dies jedesmal möglich. Von den Konferenzen aus Abb. 22 hingegen, ist keine unter Erhaltung der Kommunikationsmöglichkeiten zu einem einzigen Kanal zusammenfaßbar. Überall entstünden nach der Abbildung auf einen Kanal Verbindungen, die vorher nicht da waren:

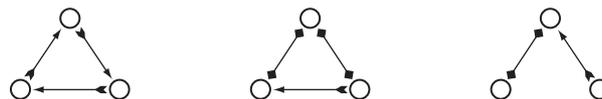


Abb. 22: Nicht kommunikationserhaltend zusammenfaßbare Konferenzen.

Nach genauem Hinsehen fällt auf, daß die Konferenzen aus Abb. 21 im Gegensatz zu denen aus Abb. 22 eine gemeinsame Eigenschaft haben: Es gilt, daß *jede* Senke direkt hört, daß *alle* Quellen senden. Oder anders: Jede Quelle sendet direkt an *alle* hörenden Senken. Eine

mengentheoretische Formulierung der Bedingung für das kommunikationserhaltende Zusammenfassen *aller* Kanäle eines Verbindungsgraphen in einen einzigen lautet:

$$\text{Für alle } r \in B^{\top}L \text{ gilt: } BL \subseteq Br \quad (1)$$

Hierbei beschreibt $B^{\top}L$ die Menge aller Senken, in der für jedes Element r gelten muß, daß die Menge *aller* Quellen (BL) in der Menge der Quellen an r (also Br) enthalten ist.

Anmerkung: Hier kann man mit Recht fragen, warum trotz der quantorenfreien Relationenalgebra doch wieder auf eine mengentheoretische, elementweise Formulierung zurückgegriffen werden muß. Der Grund dafür liegt in der Beschreibungsmächtigkeit abstrakter Relationenalgebren. In Abschnitt 6.7.4 folgt ein Exkurs dazu.

Für eine allgemeine Definition der Bedingung ist Formel (1) noch immer nicht ausreichend. Sie basiert auf der Annahme, daß stets *alle* Kanäle eines Graphen auf einen Hyperkanal abgebildet werden und gibt für diesen Fall eine Bedingung für die Kommunikationsgleichheit an. In größeren Verbindungsstrukturen kann es aber durchaus der Fall sein, daß nur ein Teil der Kanäle zu einem Hyperkanal zusammengefaßt werden soll und die Transformation dieses Teils für sich kommunikationserhaltend sein soll. Ausdruck (1) schließt aber stets den gesamten Graphen ein, ist also eine zu starke Bedingung. Die bereits eingeführten Definition von Teiluntergraphen erlaubt jedoch, die Bedingung auf den zu transformierenden Teil eines Graphen einzuschränken. Was dafür zu tun ist, soll an einem Beispiel erläutert werden.

Abb. 23 enthält mit G einen Graphen, der Bedingung (1) für eine kommunikationserhaltende Abbildung „jede Senke hört, was alle Quellen sagen“ offensichtlich erfüllt.

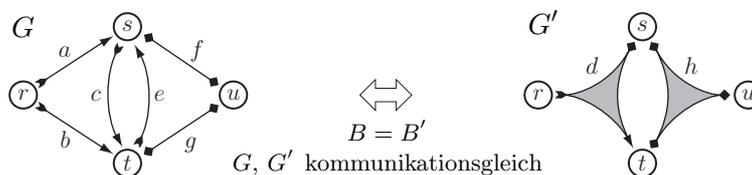


Abb. 23: Im ganzen betrachtet sind G und G' kommunikationsgleich, da jeweils dieselben Endpunkte untereinander erreichbar sind.

Die Abbildung Φ zu konstruieren, die anhand der Mechanismen des letzten Kapitels den Übergang von G nach G' realisiert, ist nicht weiter schwierig:

$$\Phi = \begin{matrix} & a & b & c & d & e & f & g & h \\ \begin{matrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \\ f \\ g \\ h \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Man sieht jedoch, daß die Kommunikationserhaltung in dieser Form als Prädikat über zwei Graphen ein Lokalisierungsprinzip verletzt. Zwar gilt die Kommunikationsgleichheit zwischen G und G' im Ganzen, jedoch nicht lokal für das rechte Kanalbündel e, f, g , das auf h abgebildet wird. Nur mit Hilfe des unbeteiligten Kanals g ist die Kommunikationserhaltung des gesamten Graphen zu erreichen.

Um zu einem universellen Begriff der Kommunikationserhaltung zu gelangen, wird deshalb zusätzlich gefordert, daß jedes Bündel von zusammengefaßten Kanälen *für sich* kommunikationserhaltend transformierbar sein muß. Formal sind diese Bündel über die Abbildung Φ zu identifizieren, die über den Kanälen Äquivalenzklassen induziert:

$$\Phi\Phi^T = \begin{matrix} & a & b & c & d & e & f & g & h \\ \begin{matrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \\ f \\ g \\ h \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Die Äquivalenzklasse eines beliebigen Kanals c bezüglich einer Abbildung Φ wird mit $[c]_\Phi$ bezeichnet, wobei gilt:

$$[c]_\Phi \subseteq \mathcal{C}$$

Die abkürzende Indexschreibweise („ E_C “) für Untergraphen wird auch verwendet, wenn die definierende Teilmenge C eines Untergraphen eine Äquivalenzklasse ist. Es beschreiben z. B.

$$\begin{aligned} E_{[c]_\Phi} &=_{\text{def}} E \cap [c]_\Phi, & A_{[c]_\Phi} &=_{\text{def}} A \cap [c]_\Phi \quad \text{und} \\ B_{[c]_\Phi} &=_{\text{def}} (A_{[c]_\Phi})^T E_{[c]_\Phi} \end{aligned}$$

den Untergraphen, der sich nach Beschränkung auf die Kanäle in der Äquivalenzklasse von c unter Φ ergibt.

Die Kommunikationsgleichheit bei einer Abbildung wird nun lokal für die Äquivalenzklassen aller Kanäle gefordert. Im obigen Fall ergibt sich, daß der von $[a]_\Phi$ erzeugte Untergraph dies erfüllt, der von $[e]_\Phi$ bestimmte Untergraph jedoch nicht, weil dieser nach der Abbildung im Gegensatz zu vorher eine Verbindung von s nach t ermöglicht. (Abb. 24).

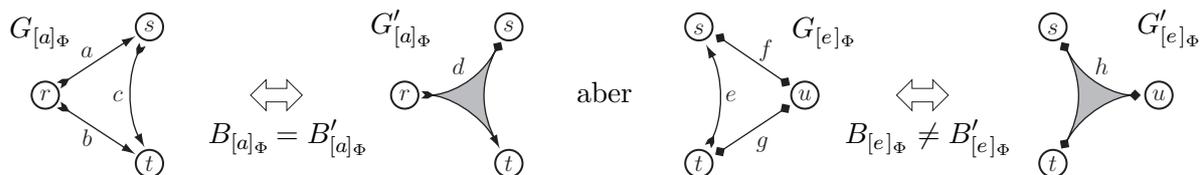


Abb. 24: Die Untergraphen mit den durch Φ induzierten Äquivalenzklassen aus Abb. 23 bilden nur teilweise kommunikationsgleiche Strukturen.

Durch eine leichte Modifikation der Abbildung Φ ist es aber dennoch möglich, G so nach G' abzubilden, daß jedes Kanalbündel für sich kommunikationsgleich bleibt. Dazu muß im Beispiel nur der Kanal c nicht mehr auf den linken, sondern auf den rechten Hyperkanal h abgebildet werden. In der so modifizierten Abbildung Φ' wird dann jedes der Kanalbündel $\{a, b\}$ und $\{c, e, f, g\}$ für sich kommunikationserhaltend in einen Hyperkanal überführt:

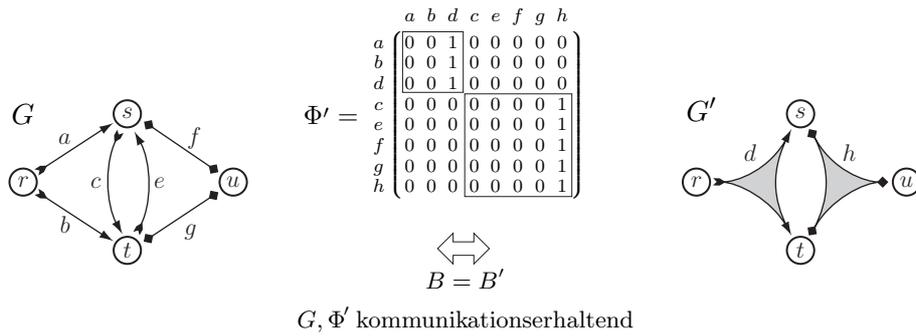


Abb. 25: Hier ist *jede* durch Φ' induzierte Äquivalenzklasse kommunikationsgleich. (Zur besseren Darstellung ist die Matrix umsortiert.)

Damit steht fest, daß Kommunikationserhaltung nicht nur ein Prädikat über zwei Graphen, sondern über einen Graphen *und* eine Abbildung ist. Daher kommt zu der bisherigen Definition der Kommunikationsgleichheit $B = B'$ eine weitere Definition hinzu, die Kommunikationsgleichheit für jeden durch die Äquivalenzklassen der Abbildung Φ induzierten Untergraphen fordert:

Definition: Lokale Kommunikationsgleichheit

Ein Verbindungsgraph

$$G = (\mathcal{C}, \mathcal{V}, E, A)$$

wird genau dann unter einer Abbildung $\Phi \subseteq \mathcal{C} \times \mathcal{C}$ in einen auch lokal kommunikationsgleichen Graphen

$$G' = (\mathcal{C}, \mathcal{V}, \Phi^T E, \Phi^T A)$$

überführt, wenn für alle $c \in \mathcal{C}$ gilt:

$$A_{[c]_\Phi}^T E_{[c]_\Phi} = (\Phi^T A)_{[c]_\Phi}^T (\Phi^T E)_{[c]_\Phi},$$

wobei der Index $[c]_\Phi$ jeweils den Untergraphen der Äquivalenzklasse von c unter Φ bildet. Die lokale Kommunikationsgleichheit von G (bzw. einer Teilstruktur S) unter Φ wird durch das Prädikat

$$c\text{-equal}(G, \Phi) \quad \text{bzw.} \quad c\text{-equal}(S, \Phi)$$

ausgedrückt.

Mit diesen beiden Definitionen stehen Prädikate zur Verfügung, die bei der Ausnutzung der durch die Verwendung von Hyperkanälen gewonnenen Ausdruckskraft hilfreich sind. Es ist jetzt festgelegt, wann zwei Graphen ohne Berücksichtigung der Besonderheit des Informationsflusses in Hyperkanälen als identisch angesehen werden und unter welchen Umständen eine Transformation möglich ist. Es hat sich auch gezeigt, daß die Mittel einer abstrakten Relationenalgebra nicht ausreichend zur Beschreibung dieser Sachverhalte sind.

6.7.4 Exkurs: Ausdrucksstärke abstrakter Relationenalgebren

Bis zur Definition der Kommunikationserhaltung waren Eigenschaften der Verbindungsgraphen stets relationenalgebraisch quantorenfrei formulierbar. Weil die Elemente einer Relationenalgebra – die Relationen – als Beziehungen zwischen den Grundmengen bereits höhere Konstrukte darstellen, sind Sachverhalte sehr kompakt aufzuschreiben. Trotzdem reicht dies an einigen Stellen nicht aus und man muß mit Quantoren auf die Elemente der Grundmengen zurückgreifen.

Der Grund dafür liegt darin, daß es neben den hier zur Beschreibung der Verbindungen verwendeten Relationen zwischen Knoten- und Kantenmengen auch völlig andere Modelle gibt, die folgenden Axiomen der Relationenalgebra entsprechen [42]:

Definition: Relationenalgebra

1. $(M, \cap, \cup, \overline{})$ bilden eine boolesche Algebra (Verband) mit Nullelement O , Universalelement L und Ordnung \subseteq ,
2. (M, \circ) bildet eine Halbgruppe mit Einselement I ,
3. es gelten für beliebige Relationen Q, R, S und die Transponierten Q^T, R^T, S^T die Schröderschen Umformungen

$$QR \subseteq S \iff Q^T \overline{S} \subseteq \overline{R} \iff \overline{S} R^T \subseteq \overline{Q}$$

und die Tarski-Regel

$$LRL = L \quad \text{für alle } R \neq O.$$

Die bisher betrachteten (hier der Einfachheit halber nur homogenen) Relationen zwischen Elementen einer Menge M erfüllen zusammen mit der üblichen Definition von \cap , \cup , $\overline{}$, T und \circ diese Axiome. Diese Eigenschaft können aber auch Strukturen haben, die nichts mit solchen Relationen in Form von Beziehungen zwischen Mengen zu tun haben, wie folgendes Beispiel zeigt.

Unter den gewöhnlichen, als Beziehung interpretierbaren Relationen zwischen den Elementen einer Menge M gibt es stets einige besondere, die eindeutig für ein bestimmtes Element aus M stehen. In zeichnerischer Darstellung sind das die Knoten oder „Punkte“, in Matrizenform jene Matrizen mit genau einer 1-Zeile. Diese sind charakterisiert durch:

$$x \text{ Punkt} \iff x = xL, \quad xx^T \subseteq I \quad \text{und} \quad x \neq O$$

Entscheidend ist nun, daß man Mengen von Relationen genannten Elementen angeben kann (sogar kleine, vierelementige), die zusammen mit Verknüpfungstabellen für die fünf Operatoren alle drei Axiome der Relationenalgebra erfüllen, aber es kein Element mit der Punkteigenschaft gibt. Es ist auch nicht möglich, diesen Elementen tatsächlich eine konkrete Relation als Beziehung über irgendeiner Grundmenge zuzuordnen. Wenn Punkte nicht in allen Modellen einer abstrakten Relationenalgebra existieren müssen, hat dies zur Folge, daß man nur mit den Mitteln der Relationenalgebra auch keine Eigenschaften über Punkte formulieren kann.

7 Dynamische Verbindungs- und Sessionstrukturen

In den letzten Kapiteln ist beschrieben worden, wie Inzidenzrelationen und Teilmengen über den Kanälen und Endpunkten zur Repräsentation der Verbindungen und Sessions von Telekommunikationsdiensten verwendet werden können. Der netzrelevante, statische Zustand von Diensten, der sich aus der Dekomposition und Abstraktion des Kapitels 5 ergibt, ist dadurch vollständig erfaßt. Dieses und die folgenden Kapitel beschreiben nun den dynamischen Anteil abstrakter Dienste, also die *Änderungen* zwischen diesen Zuständen.

Die relationale Modellierung der Verbindungen und Sessions impliziert zwei Grundtypen von Zustandsänderungen: Änderungen der Verbindungsstruktur und Änderungen der Sessionstruktur. Beide Arten der Zustandsänderung sollen jeweils mit Hilfe von Standardtransitionen beschrieben werden, die ein Schema aus Vor- und Nachbedingungen mit festgelegter Signatur und teilweise festgelegter Funktionalität aufweisen. Das dynamische Verhalten eines Dienstes wird dann spezifiziert, indem die Standardtransitionen mit entsprechenden Abbildungen instantiiert werden.

Die Elemente der Standardtransitionen werden Schritt für Schritt vorgestellt. Zunächst geht es in Abschnitt 7.1 allgemein um Aufbau und Syntax der Transitionen. Abschnitt 7.2 beschreibt, wie Modifikationen der Verbindungsstruktur als Signatur in Vor- und Nachbedingungen von Transitionen eingebettet und instantiiert werden können. Damit die Wohlgeformtheit des Verbindungsgraphen immer gewährleistet ist, wird in Abschnitt 7.3 ein universeller Korrekturmechanismus in die Standardtransition integriert.

Für Modifikation der Sessionstruktur wird in Abschnitt 7.4 eine eigene Standardtransition vorgestellt. Beide Transitionstypen werden dann in den anschließenden Kapiteln mit Abbildungen zur Behandlung von Berechtigungen vervollständigt.

7.1 Aufbau und Instantiierung von Standardtransitionen

Bevor über die nächsten Kapitel hinweg die Elemente der Standardtransitionen erarbeitet werden, ist zunächst anhand der spezifischen Anforderungen die günstigste Form zur Beschreibung einer Transition zu wählen.

Die variablen Elemente eines Systems spannen einen gewöhnlich vieldimensionalen Zustandsraum auf. Die Übergänge (Transitionen) von einem Punkt des Zustandsraumes zu einem anderen repräsentieren das dynamische Verhalten des Systems. Dieses ist durch eine Menge von Paaren darstellbar, jeweils bestehend aus einem Ausgangszustand und einem Folgezustand.

In den Beschreibungsformalismen, die auf solchen Zustandsübergangssystemen basieren, wird die Angabe dieser Paare soweit wie möglich vereinfacht. Eine Möglichkeit besteht darin, den für eine Transition erforderlichen Teil des Ausgangszustandes explizit in einer *Vorbedingung* und die hervorgerufene Änderung zum Folgezustand explizit in einer *Nachbedingung* zu formulieren. Die in AUTOFOCUS [19] implementierte Notation dafür lautet:

```
AUSGANGSZUSTAND
    Vorbedingung / Nachbedingung
FOLGEZUSTAND
```

Der Zustandsübergang ergibt sich folgendermaßen aus der Annotation der Transition: Gilt

im Ausgangszustand die Vorbedingung, geht das System in den von der Nachbedingung spezifizierten Folgezustand über.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist es für die Standardtransitionen zur Modifikationen der Verbindungs- und Sessionstruktur sinnvoll, die Vor- und Nachbedingungen als Konjunktion von Einzelbedingungen (vb_i bzw. nb_j) anzugeben:

AUSGANGSZUSTAND

$$vb_1 \wedge vb_2 \wedge \dots \wedge vb_n / nb_1 \wedge nb_2 \wedge \dots \wedge nb_m$$

FOLGEZUSTAND

Jede Einzelbedingung kann dann deutlich getrennt für einen bestimmten Aspekt der Transition stehen.

Eine anschauliche Möglichkeit zur Spezifikation von Transitionen entsteht durch die Verwendung von *zwei* Vektoren x, x' des Zustandsraumes, die jeweils eine Menge von Ausgangszuständen und eine Menge von Folgezuständen beschreiben. Die Transition ist dann durch den Übergang gegeben.

Das Ziel der nächsten Abschnitte besteht darin, zwei Standardtransitionen für zwei verschiedene Zustandsübergänge des Systems zu erarbeiten:

- Eine Standardtransition zur Modifikation der Verbindungsstruktur: \mathcal{T}^{EA}
- Eine Standardtransition zur Modifikation der Sessionstruktur: \mathcal{T}^{S}

Die Standardtransitionen enthalten in den Vor- und Nachbedingungen Signaturen für Abbildungen. Diese Signaturen beschreiben die Vorgänge eines Zustandsübergangs, die dienstunabhängig in den meisten Transitionen von Diensten notwendig sind: Prüfung von Berechtigungen, Prüfung der Zulässigkeit eines Übergangs, Abbildung der Verbindungs- bzw. Sessionstruktur, Veränderung der Berechtigungsstruktur *aufgrund* dieser Abbildung. Die einzelnen Elemente werden in den nächsten Kapiteln vorgestellt und schrittweise in die Standardtransitionen aufgenommen.

Eine *Instanz* einer Standardtransition wird erzeugt, indem die Signaturen mit konkreten, dienstspezifischen Abbildungen ausgefüllt werden. Anders ausgedrückt stellen die Standardtransitionen Funktionale dar, die eine Menge von Abbildungen, die die konkreten Vorgänge beschreiben, in eine Abbildung zwischen dem Ausgangszustand des Systems und dem Folgezustand überführen. Die Standardtransitionen legen somit eine vollständig dienstunabhängige Schnittstelle zur Definition von beliebigem netzrelevanten Dienstverhalten fest.

Die Abbildungen zur Instantiierung der Standardtransitionen sind in der Regel von sehr unterschiedlicher Komplexität. Beispielsweise kann in einer Transition zur Modifikation der Verbindungsstruktur, die keinen besonderen Definitionsbereich benötigt, die entsprechende Abbildung in der Vorbedingung durch die konstante Funktion TRUE belegt sein. Im Gegensatz dazu erfordern viele Transitionen realer Dienste komplexe Vorbedingungen mit vielen Parametern, die auch über den netzrelevanten Zustandsraum dieses Modells hinausgehen können. Abhängigkeiten einer Transition können etwa zu beliebigen Endpunkten, Kanälen, Konferenzadministratoren oder Zahlungsmodalitäten bestehen.

Um auch Abbildungen mit zusätzlichen Parametern in den Standardtransitionen verwenden zu können, ist eine *mehrstufige Parametrisierung* erforderlich (Currying) [2]. Die zusätzlichen Parameter einer Abbildung werden dazu vorher instantiiert, so daß eine Abbildung entsteht, die der Signatur in der Standardtransition entspricht. Dieses Vorgehen wird an vielen Stellen notwendig sein.

7.2 Abbildungen zur Modifikation der Verbindungsstruktur

Bisher ist die Verbindungsstruktur einer Session $S = (C_S, V_S, E_S, A_S)$ vollständig durch die Angabe der Inzidenzen $E_S \subseteq C_S \times V_S$ und $A_S \subseteq C_S \times V_S$ gegeben. Ein Übergang innerhalb dieses Zustandsraumes ist somit von folgender Funktionalität:

$$(C_S \times V_S) \times (C_S \times V_S) \longrightarrow (C_S \times V_S) \times (C_S \times V_S)$$

E_S und A_S gehen durch eine Abbildung dieser Signatur in einen Folgezustand E'_S und A'_S über. Bei der Interpretation des Graphen als Kommunikationssystem besitzen einige Abbildungen dieser Art einen eingeschränkten Definitionsbereich, unter dem die Ausführung der Abbildung sinnvoll ist. Beispielsweise müssen für eine Abbildung, die mehrere Kanäle unter Beibehaltung der Kommunikationsstruktur zusammenfaßt, die Bedingungen aus Abschnitt 6.7.3 erfüllt sein.

Ob der momentane Zustand des Systems innerhalb des Definitionsbereiches der Abbildung liegt, wird ausgedrückt durch eine Abbildung des Typs:

$$(C_S \times V_S) \times (C_S \times V_S) \longrightarrow \mathbb{B}$$

Diese beiden Signaturen bilden das Grundgerüst der Standardtransition mit minimalem Parametersatz zur Modifikation der Verbindungsstruktur. Dazu wird die Signatur zur Einschränkung des Definitionsbereichs in die Vorbedingung aufgenommen und die Signatur der Abbildung auf der Verbindungsstruktur in die Nachbedingung.

Definition: Abbildungen zur Modifikation der Verbindungsstruktur

Für einen durch $E_S, A_S \subseteq C_S \times V_S$ gegebenen Verbindungsgraphen einer Session S lauten die Signaturen von Abbildungen zur Modifikation der Verbindungsstruktur und zur Einschränkung des Definitionsbereiches wie folgt:

$$\mathsf{T}_{\text{pre}}^{\text{EA}} : (C_S \times V_S) \times (C_S \times V_S) \longrightarrow \mathbb{B} \quad [\text{Vorbedingung}]$$

$$\mathsf{T}^{\text{EA}} : (C_S \times V_S) \times (C_S \times V_S) \longrightarrow (C_S \times V_S) \times (C_S \times V_S) \quad [\text{Nachbedingung}]$$

Die vorläufige Standardtransition \mathcal{T}^{EA} , die im Laufe der Kapitel um weitere Vor- und Nachbedingungen erweitert wird, lautet somit:

\mathcal{T}^{EA} :

AUSGANGSZUSTAND

$$\mathsf{T}_{\text{pre}}^{\text{EA}}(E_S, A_S) / E'_S, A'_S = \mathsf{T}^{\text{EA}}(E_S, A_S)$$

FOLGEZUSTAND

Die Standardtransition wird instantiiert, indem für die Abbildungsvariablen $\mathsf{T}_{\text{pre}}^{\text{EA}}$ und T^{EA} Abbildungen t_{pre} und t des Typs $\mathsf{T}_{\text{pre}}^{\text{EA}}$ und T^{EA} eingesetzt werden. t_{pre} soll genau dann TRUE ergeben, wenn die Anwendung von t sinnvoll ist.

$$\mathsf{T}_{\text{pre}}^{\text{EA}} = t_{\text{pre}} \quad \text{mit} \quad t_{\text{pre}} : \mathsf{T}_{\text{pre}}^{\text{EA}}$$

$$\mathsf{T}^{\text{EA}} = t \quad \text{mit} \quad t : \mathsf{T}^{\text{EA}}$$

Die Bezeichner $T_{\text{pre}}^{\text{EA}}$ und T^{EA} stehen hier gleichzeitig als Signatur der Abbildungen und als Platzhalter in der Standardtransition. Die Instanz lautet dann:

AUSGANGSZUSTAND

$$t_{\text{pre}}(E_S, A_S) / E'_S, A'_S = t(E_S, A_S)$$

FOLGEZUSTAND

Zur Instantiierung von $T_{\text{pre}}^{\text{EA}}$ und T^{EA} sind auch solche Abbildungen verwendbar, die beliebige weitere, nicht näher spezifizierte Parameter W_{pre} und W erfordern.

$$t_{\text{pre}} : W_{\text{pre}} \longrightarrow (C_S \times V_S) \times (C_S \times V_S) \longrightarrow \mathbb{B}$$

$$t : W \longrightarrow (C_S \times V_S) \times (C_S \times V_S) \longrightarrow (C_S \times V_S) \times (C_S \times V_S)$$

Durch Currying gehen solche Abbildungen in die geforderte Signatur über und können somit zur Instantiierung der Standardtransitionen verwendet werden:

$$T_{\text{pre}}^{\text{EA}} = t_{\text{pre}}(W_{\text{pre}}) \quad \text{mit} \quad t_{\text{pre}}(W_{\text{pre}}) : T_{\text{pre}}^{\text{EA}}$$

$$T^{\text{EA}} = t(W) \quad \text{mit} \quad t(W) : T^{\text{EA}}$$

Für die meisten Operationen auf der Verbindungsstruktur ist diese Vorgehensweise notwendig. Dadurch können weitere Bedingungen auch über dem bestehenden oder einem erweiterten Zustandsraum integriert werden. Die Instanz der Standardtransition lautet dann:

AUSGANGSZUSTAND

$$t_{\text{pre}}(W_{\text{pre}})(E_S, A_S) / E'_S, A'_S = t(W)(E_S, A_S)$$

FOLGEZUSTAND

Die folgenden Abschnitte enthalten einige Beispiele für Abbildungspaare des Typs $T_{\text{pre}}^{\text{EA}}$ und T^{EA} . Vorweg soll noch die triviale Abbildung id mit der trivialen Vorbedingung id_{pre} Erwähnung finden, da sie später in einigen Transitionen benötigt wird:

$$\text{id}_{\text{pre}} : T_{\text{pre}}^{\text{EA}}$$

$$\text{id}_{\text{pre}} = \text{true}$$

$$\text{id} : T^{\text{EA}}$$

$$\text{id}(E_S, A_S) = E_S, A_S$$

7.2.1 Auf- und Abbau von Verbindungen

Der Auf- und Abbau von Verbindungen innerhalb einer Session wird modelliert, indem die betroffenen Verbindungen als Parameter in Form eines Differenzgraphen E^Δ , A^Δ übergeben werden.

Definition: Hinzufügen von Verbindungen – add

$$\text{add}_{\text{pre}} : \mathbb{T}_{\text{pre}}^{\text{EA}}$$

$$\text{add}_{\text{pre}} = \text{true}$$

$$\text{add}((C_S \times V_S) \times (C_S \times V_S)) : \mathbb{T}^{\text{EA}}$$

$$\text{add}(E^\Delta, A^\Delta)(E_S, A_S) = E_S \cup E^\Delta, A_S \cup A^\Delta$$

Die in E^Δ und A^Δ enthaltenen Verbindungen werden dem Verbindungsgraphen der Session S hinzugefügt.

Zum Löschen kann die Kurzschreibweise mit dem nicht kommutativen Mengenminus verwendet werden:

Definition: Löschen von Verbindungen – rem

$$\text{rem}_{\text{pre}} : \mathbb{T}_{\text{pre}}^{\text{EA}}$$

$$\text{rem}_{\text{pre}} = \text{true}$$

$$\text{rem}((C_S \times V_S) \times (C_S \times V_S)) : \mathbb{T}^{\text{EA}}$$

$$\text{rem}(E^\Delta, A^\Delta)(E_S, A_S) = E_S \setminus E^\Delta, A_S \setminus A^\Delta$$

Die in E^Δ und A^Δ enthaltenen Verbindungen werden aus dem Verbindungsgraphen der Session S entfernt.

Beide Abbildungen benötigen keine spezielle Vorbedingung, obwohl durchaus Schwierigkeiten auftreten können. Zunächst ist offensichtlich, daß wegen

$$a \notin M \implies M \setminus \{a\} = M \quad \text{und}$$

$$a \in M \implies M \cup \{a\} = M$$

das Löschen nicht vorhandener oder das Hinzufügen existierender Kanalzugriffe nicht zu inkonsistenten Zuständen führt.

Beispiel: Hinzufügen und Löschen von Verbindungen.

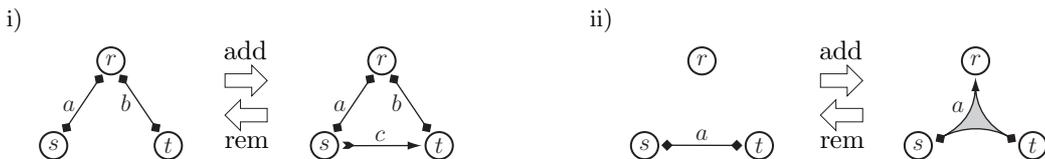


Abb. 26: Anwendungen der Abbildungen add und rem.

In den Verbindungsgraphen aus Abb. 26 ergibt sich der Folgezustand E'_S, A'_S jeweils in Pfeilrichtung:

$$\begin{aligned} E'_S, A'_S &= \text{add}(E^\Delta, A^\Delta)(E_S, A_S) && \text{bzw.} \\ E'_S, A'_S &= \text{rem}(E^\Delta, A^\Delta)(E_S, A_S) \end{aligned}$$

mit jeweils

$$\begin{aligned} \text{i)} \quad E^\Delta &= \begin{matrix} & r & s & t \\ a & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\ b & \\ c & \end{matrix}; \quad A^\Delta = \begin{matrix} & r & s & t \\ a & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \\ b & \\ c & \end{matrix} \\ \text{ii)} \quad E^\Delta &= \begin{matrix} & r & s & t \\ a & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ b & \\ c & \end{matrix}; \quad A^\Delta = O \end{aligned}$$

□

Es ohne weiteres möglich, für die obige Abbildung rem Parameter anzugeben, die nach Ausführung der Abbildung zu partiellen Kanälen ohne Quellen bzw. ohne Senken führen. Besonders beim Löschen eines einzelnen Kanalzugriffs kann es, wenn der Zugriff der letzte einer Richtung war, zu nicht wohlgeformten Verbindungsstrukturen kommen.

Es bestehen zwei grundlegende Varianten, dieses Problem zu lösen:

1. Durch die Vorbedingung jeder Abbildung wird sichergestellt, daß keine partiellen Kanäle auftreten.
2. Partielle Kanäle dürfen prinzipiell durch Abbildungen temporär entstehen, müssen jedoch korrigiert werden.

Da partielle Kanäle prinzipiell bei *jeder* Änderung der Verbindungsstruktur auftreten können und zudem nicht nur von der Abbildung und deren Parametern abhängen, sondern auch von der gegebenen Verbindungsstruktur, ist es sinnvoller, nach Variante 2 einen Korrekturmechanismus vorzusehen, der unabhängig von der Art der Abbildung und den Parametern ist. Mit der festen Signatur der Abbildungen des Typs T^{EA} ist es ohne weiteres möglich, einen solchen Korrekturmechanismus in einer weiteren Nachbedingung vorzusehen. Dies wird in Abschnitt 7.3 ausgeführt.

7.2.2 Verschieben von Verbindungen

Das Verschieben von Verbindungen einer Session kann unter der Signatur T^{EA} als eigenständiger Vorgang modelliert werden, der sich vom Abbau und Wiederaufbau einer Verbindung unterscheidet. Dies kann man ausnutzen, um bei der Abbildung des Modells in reale Netze die Abbildung mov von einer Sequenz aus add und rem zu unterscheiden. Beispielsweise könnten bei mov die Attribute der tatsächlichen Verbindung übernommen werden: Bandbreite, Abrechnungsmodus, etc.

Anwendungsbeispiele für das Verschieben von Verbindungen sind z. B. Konferenzen mit wechselnden Teilnehmern (Abb. 27) oder das Prinzip der *Service Mobility* bei dem die Dienstkonfiguration eines Teilnehmers überall auf der Welt identisch zur Verfügung steht.

Die Abbildungen des Typs $T_{\text{pre}}^{\text{EA}}$ und T^{EA} werden spezifiziert, indem jeweils *alle* Verbindungen (lesend bzw. schreibend) der ursprünglichen Endpunkte auf die zu verschiebenden Kanäle an die Zielpunkte weitergeleitet werden:

Definition: Verschieben von Verbindungen – mov

$$\text{mov}_{\text{pre}} : \mathbb{T}_{\text{pre}}^{\text{EA}}$$

$$\text{mov}_{\text{pre}} = \text{true}$$

$$\text{mov}(\mathcal{P}(V_S) \times \mathcal{P}(V_S) \times \mathcal{P}(C_S)) : \mathbb{T}^{\text{EA}}$$

$$\text{mov}(\{r_1, \dots, r_n\}, \{s_1, \dots, s_n\}, C_{\text{mv}})(E_S, A_S) = E_S^*, A_S^*$$

$$\begin{aligned} \text{mit } E_S^* &= (E_S \cap \overline{C_{\text{mv}}}) \cup (E_S \cap C_{\text{mv}}) \circ \left((I \setminus \bigcup_i r_i r_i^\top) \cup \bigcup_i r_i s_i^\top \right) \\ A_S^* &= (A_S \cap \overline{C_{\text{mv}}}) \cup (A_S \cap C_{\text{mv}}) \circ \left((I \setminus \bigcup_i r_i r_i^\top) \cup \bigcup_i r_i s_i^\top \right) \end{aligned}$$

Alle Verbindungen von den Endpunkten $\{r_1, \dots, r_n\}$ auf die Kanalmenge C_{mv} werden auf die Endpunkte $\{s_1, \dots, s_n\}$ mit $r_i \rightarrow s_i$ umgeleitet.

In der Abbildung mov wird der betroffene Untergraph $E_S \cap C_{\text{mv}}$ und $A_S \cap C_{\text{mv}}$ durch Multiplikation von den Endpunkten r_i auf die s_i abgebildet und mit dem komplementären Untergraphen vereinigt. Die Abbildungsmatrix unterscheidet sich an den Stellen

$$r_i \begin{pmatrix} r_i & s_i \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

von der Identität I .

Beispiel: Verschieben von Verbindungen zu Kanälen.

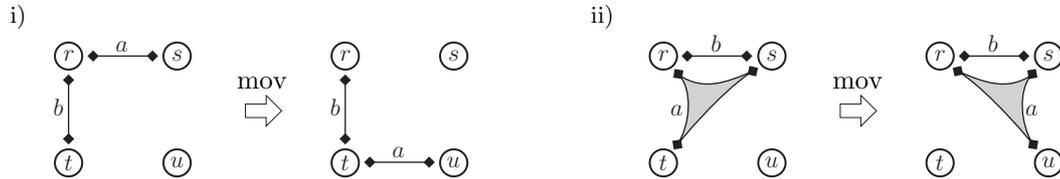


Abb. 27: Verschieben von Verbindungen durch die Abbildung mov.

In Abb. 27 i) lauten die Inzidenzen

$$E_S = \begin{matrix} & r & s & t & u \\ a & \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix} \quad \text{und} \quad A_S = \begin{matrix} & r & s & t & u \\ a & \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}.$$

Der Kanal a zwischen r und s soll nun verschoben werden, so daß er zwischen t und u verläuft. Die Anwendung der Abbildung lautet:

$$\begin{aligned} E'_S &= \text{mov}(\{r, s\}, \{t, u\}, \{a\})(E_S) \\ &= \begin{matrix} & r & s & t & u \\ a & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix} \cup \begin{matrix} & r & s & t & u \\ a & \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix} \circ \left(\left(\begin{matrix} r & s & t & u \\ \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix} \setminus \begin{matrix} r & s & t & u \\ \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix} \right) \cup \begin{matrix} r & s & t & u \\ \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix} \right) \\ &= \begin{matrix} & r & s & t & u \\ a & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix} \end{aligned}$$

Analog für A'_S und Abb. 27 ii).

□

7.2.3 Duplizieren von Kanälen

Nicht nur das Verschieben von Kanälen ist zum Zweck der Unterscheidung vom Abbau und Neuaufbau eines Kanals zwischen denselben Endpunkten als separate Operation sinnvoll. Auch beim Vervielfachen eines existierenden Kanals innerhalb einer Session kann die Abbildung in reale Netze anders interpretiert werden, als beim Aufbau eines neuen Kanals. Beispielsweise könnte der duplizierte Kanal dieselben Übertragungseigenschaften aufweisen wie das Original.

Folgendes Paar von Abbildungen des Typs $T_{\text{pre}}^{\text{EA}}$ und T^{EA} leistet die gewünschte Vervielfachung von Kanälen:

Definition: Duplizieren von Kanälen – dup

$$\text{dup}_{\text{pre}}(\mathcal{P}(C_S) \times \mathcal{P}(C_S)) : T_{\text{pre}}^{\text{EA}}$$

$$\text{dup}_{\text{pre}}(\{a_1, \dots, a_n\}, \{b_1, \dots, b_n\})(E_S, A_S) = \{b_1, \dots, b_n\} \subseteq \overline{M_S L}$$

$$\text{dup}(\mathcal{P}(C_S) \times \mathcal{P}(C_S)) : T^{\text{EA}}$$

$$\text{dup}(\{a_1, \dots, a_n\}, \{b_1, \dots, b_n\})(E_S, A_S) = (I \cup \bigcup_i b_i a_i^T) E_S, (I \cup \bigcup_i b_i a_i^T) A_S$$

Die Kanalmenge $\{a_1, \dots, a_n\} \subseteq C_S$ wird in die Kanalmenge $\{b_1, \dots, b_n\} \subseteq C_S$ durch $a_i \rightarrow b_i$ dupliziert.

Die Vorbedingung dup_{pre} stellt sicher, daß jeder Kanal b_i keine Verbindungen enthält. In der Abbildung dup werden mit Hilfe einer Abbildungsmatrix, die sich an den Stellen

$$b_i \begin{pmatrix} a_i \\ 1 \end{pmatrix}$$

von der Identität I unterscheidet, die Inzidenzen der a_i dupliziert.

Beispiel: Duplizieren von Kanälen.

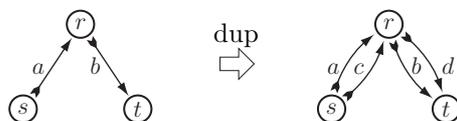


Abb. 28: Duplizieren von Kanälen durch die Abbildung dup .

In Abb. 28 lauten die Inzidenzen einer Session S :

$$E_S = \begin{matrix} & r & s & t \\ \begin{matrix} a \\ b \\ c \\ d \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix} \quad \text{und} \quad A_S = \begin{matrix} & r & s & t \\ \begin{matrix} a \\ b \\ c \\ d \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}.$$

Die Kanäle a und b sollen in identische Kanäle c, d dupliziert werden. Die Abbildung lautet:

$$\begin{aligned}
E'_S &= \text{dup}(\{a, b\}, \{c, d\})(E_S) = \begin{array}{c} a \quad b \quad c \quad d \\ a \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{array} \circledast \begin{array}{c} r \quad s \quad t \\ a \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{array} = \begin{array}{c} r \quad s \quad t \\ a \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \end{array} \\
A'_S &= \text{dup}(\{a, b\}, \{c, d\})(A_S) = \begin{array}{c} a \quad b \quad c \quad d \\ a \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{array} \circledast \begin{array}{c} a \quad b \quad c \quad d \\ a \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{array} = \begin{array}{c} a \quad b \quad c \quad d \\ a \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{array}
\end{aligned}$$

□

7.2.4 Zusammenfassen von Kanälen

Komplexe Verbindungen zwischen mehreren Endpunkten können innerhalb einer Session durch Hyperkanäle in verschiedenen Topologien realisiert werden. Die Unterscheidung wurde zur Modellierung des Informationsflusses verwendet. In diesem Abschnitt wird eine Abbildung formuliert, die den Übergang von einer Realisierung mit mehreren Kanälen zu einer mit weniger Kanälen leistet. Es werden also Kanäle zusammengefaßt, wobei die Kommunikationsstruktur erhalten bleiben soll. Ein solcher Übergang ist nur unter gewissen Bedingungen möglich, die in Abschnitt 6.7.3 eingehend behandelt worden sind.

Das folgende Paar von Abbildungen des Typs $T_{\text{pre}}^{\text{EA}}$ und T^{EA} faßt die Inzidenzen der Kanalmenge C_{mrg} in die Inzidenz des Kanals c zusammen:

Definition: Zusammenfassen (Verschmelzen) von Kanälen – mrg

$$\begin{aligned}
\text{mrg}_{\text{pre}}(\mathcal{P}(C_S) \times C_S) &: T_{\text{pre}}^{\text{EA}} \\
\text{mrg}_{\text{pre}}(C_{\text{mrg}}, c)(E_S, A_S) &= c \in \overline{M_S L} \wedge c\text{-equal}(S, \Phi_{\text{mrg}}) \\
\text{mrg}(\mathcal{P}(C_S) \times C_S) &: T^{\text{EA}} \\
\text{mrg}(C_{\text{mrg}}, c)(E_S, A_S) &= \Phi_{\text{mrg}} E_S, \Phi_{\text{mrg}} A_S \\
\text{mit } \Phi_{\text{mrg}} &= (I \setminus C_{\text{mrg}}) \cup c C_{\text{mrg}}^{\top}
\end{aligned}$$

Die ursprüngliche Kanalmenge C_{mrg} wird in einem Hyperkanal c zusammengefaßt.

Die Vorbedingung stellt sicher, daß c bisher nicht verbunden ist und die Kommunikationsstruktur durch Φ_{mrg} erhalten bleibt (siehe Kap. 6.7.3). Die Abbildung $\Phi_{\text{mrg}} \subseteq \mathcal{C} \times \mathcal{C}$ unterscheidet sich in den im Urbild C_{mrg} enthaltenen Zeilen und der vom Bild c gegebenen Spalte von der Identität I . Beispiel:

$$\Phi_{\text{mrg}} = \begin{array}{c} a \quad b \quad c \\ a \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \end{array} \quad \text{für } C_{\text{mrg}} = \{a, b\} \longrightarrow c$$

Die Zeilen der ursprünglichen Kanalmenge $\{a, b\}$ werden dadurch in die Zeile des Hyperkanals c abgebildet.

Beispiel: Zusammenfassen von Kanälen.

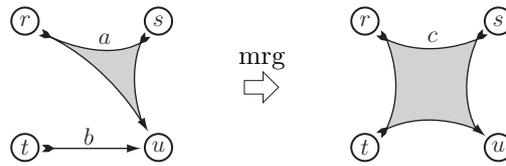


Abb. 29: Zusammenfassen von Kanälen durch die Abbildung mrg .

Die Kanalmenge $\{a, b\}$ in Abb. 29 soll in einen Hyperkanal c überführt werden. Die Ausgangsinzidenzen lauten:

$$E_S = \begin{matrix} & r & s & t & u \\ \begin{matrix} a \\ b \\ c \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix} \quad \text{und} \quad A_S = \begin{matrix} & r & s & t & u \\ \begin{matrix} a \\ b \\ c \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}.$$

Die Anwendung der Abbildung ergibt:

$$E'_S = \text{mrg}(\{a, b\}, c)(E_S) = \begin{matrix} & r & s & t \\ \begin{matrix} a \\ b \\ c \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix} \wp \begin{matrix} & r & s & t & u \\ \begin{matrix} a \\ b \\ c \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix} = \begin{matrix} & r & s & t & u \\ \begin{matrix} a \\ b \\ c \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

$$A'_S = \text{mrg}(\{a, b\}, c)(A_S) = \begin{matrix} & r & s & t & u \\ \begin{matrix} a \\ b \\ c \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix} \wp \begin{matrix} & r & s & t & u \\ \begin{matrix} a \\ b \\ c \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix} = \begin{matrix} & r & s & t & u \\ \begin{matrix} a \\ b \\ c \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

□

7.2.5 Aufspalten von Kanälen

Nachdem im letzten Kapitel das Zusammenfassen von Kanälen eingehend besprochen worden ist, handelt dieser Abschnitt von der entgegengesetzten Operation. Wie können aus Hyperkanälen bestehende Verbindungen aufgetrennt werden, so daß die Kommunikationsstruktur erhalten bleibt? Die Anwendungen einer solchen Operation sind vielfältig. Beispielsweise gibt es Vorgänge in Konferenzen, die nicht möglich sind, solange diese nur mit einem einzigen Hyperkanal realisiert sind. Weil die Hörer eines Hyperkanals jeweils alles hören, kann z. B. kein Teilnehmer nur von einer bestimmten Datenquelle getrennt werden während alle anderen Teilverbindungen erhalten bleiben (siehe Abb. 30). Oder eine Session soll in mehrere Teilsessions aufgeteilt werden, weshalb die Hyperkanäle möglicherweise zerlegt werden müssen, damit diese eindeutig einer Teilsession zugeordnet werden können. Wie schon bei der entgegengesetzten Operation sollte die Abbildung zur Trennung von Kanälen die Kommunikationsstruktur erhalten.

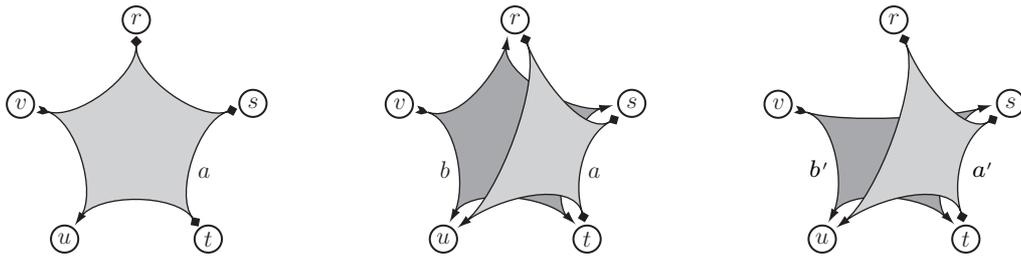


Abb. 30: Nur im mittleren Bild kann r unter Beibehaltung aller anderen Verbindungen aus dem Strom von v herausgenommen werden, so daß das rechte Bild entsteht.

Leider ist das Auftrennen oder *Faktorisieren* von Hyperkanälen ein wenig problematisch, weil Hypergraphen, die durch das Zusammenfassen von Kanälen mit beliebigen Abbildungen Φ entstanden sind, mehrere Urbilder haben können:

Beispiel: Problem der nicht eindeutigen Faktorisierungen.

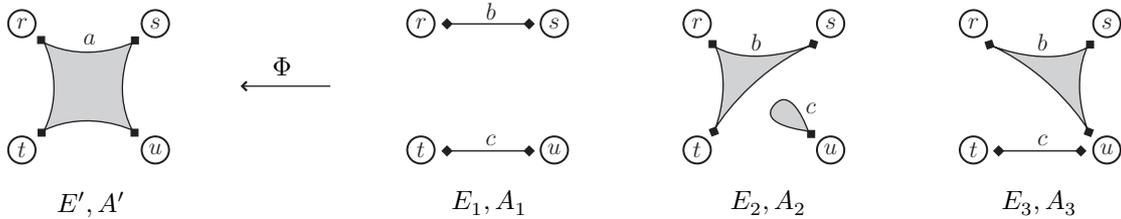


Abb. 31: Faktorisierungen zu beliebigen Abbildungen Φ sind in der Regel nicht eindeutig.

Jede der in Abb. 31 rechts dargestellten Verbindungsstrukturen geht unter der Abbildung

$$\Phi = \begin{matrix} & a & b & c \\ \begin{matrix} a \\ b \\ c \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix} \quad \text{mit} \quad E' = \Phi^T E_i \quad \text{und} \quad A' = \Phi^T A_i$$

in den Graphen mit E', A' über. Selbst wenn die Bedingung der Kommunikationsgleichheit $B = B'$ gelten soll, sind immer noch viele Varianten möglich – schon allein weil die Identität der Endpunkte für Φ nicht unterscheidbar ist.

Darüber hinaus bleibt stets die Vielfalt bezüglich der Symmetrie, wie E_2, A_2 und E_3, A_3 in Abb. 32 zeigen:

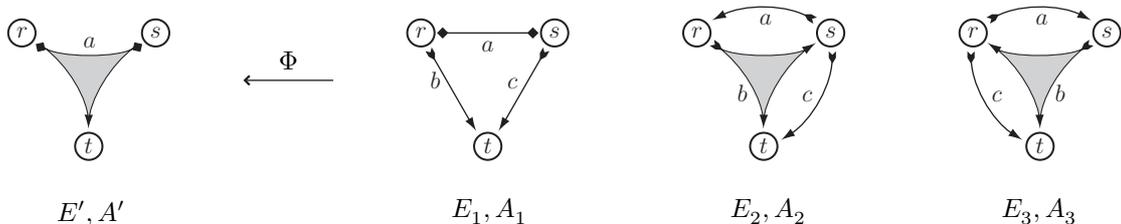


Abb. 32: Selbst kommunikationsgleiche Faktorisierungen sind im allgemeinen nicht eindeutig.

□

Um den wichtigen Vorgang des Aufspaltens von Hyperkanälen doch noch als konstruktiv-eindeutige Operation in die Modellbildung aufnehmen zu können, muß ein Weg gefunden werden, die Faktorisierung *eindeutig* zu gestalten.

Eine (bis auf Isomorphie) sicher eindeutige Faktorisierung bestünde darin, einen Hyperkanal bis zu einer Menge unidirektionaler 1:1-Kanäle zu zerlegen. Im schlimmsten Fall ist die Anzahl der entstehenden Kanäle proportional zum Quadrat der Zahl der Endpunkte. Dieses Vorgehen ist aber nicht nur deswegen unpraktisch. Oft möchte man nur einen Endpunkt aus einer Konferenz herauslösen oder eine Konferenz in zwei Konferenzen teilen. Eine Trennung, die so wenig neue Kanäle erzeugt wie möglich, ist daher wesentlich geeigneter. Mit welchen zusätzlichen Angaben dies eindeutig durchführbar ist, zeigen die nächsten Abschnitte.

Unter den Hyperkanälen, die sich aus beliebiger Kombination (modulo Wohlgeformtheit) lesender und schreibender Zugriffe (\blacktriangleright , \blacktriangleright und \blacklozenge) ergeben, nehmen die 1:n- und n:1-Kanäle eine Sonderstellung ein. Sie repräsentieren unidirektionale Informationsflüsse von einer Quelle zu mehreren Senken bzw. umgekehrt. Die jeweils n-fach vorkommenden Elemente können ohne (netzrelevante) Beeinflussung der übrigen Endpunkte dem Informationsfluß hinzugefügt und daraus entfernt werden. Dies qualifiziert die 1:n- und n:1-Strukturen als Grundelement der Faktorisierung.

Jede Verbindungsstruktur ist mit denselben Kommunikationseigenschaften als Kombination von 1:n- und n:1-Strukturen darstellbar. Aufgrund von Symmetrieeffekten bestehen dazu in der Regel mehrere Möglichkeiten, was z. B. an einer n:n-verbundenen Struktur mit drei Endpunkten leicht nachzuvollziehen ist. Ebenso gilt unter Umständen in keiner der Strukturen $n > 1$.

Das Aufspalten von Hyperkanälen basiert nun darauf, *eine* dieser 1:n- bzw. n:1-Strukturen zu identifizieren und den Hyperkanal um diese Verbindungen zu reduzieren. Der herauszulösende Hyperkanal ist dann eindeutig durch Angabe des 1-fach vorkommenden Knotens bestimmt, wenn n maximal ist.

Beispiel: Eigenschaften von 1:n- und n:1-Strukturen.

Zwei Teilnehmer t und u einer Videokonferenz kommunizieren bidirektional und nutzen während der Sitzung gemeinsam eine weitere Datenquelle r (z. B. Videoclips) und eine weitere Datensenke s (etwa eine Aufzeichnungseinheit). Die kompakteste Darstellung mittels Hyperkanälen ist jeweils in der oberen Reihe von Abb. 33 zu sehen.

In Fall i) ist gewünscht, eine der Datensenken s, t, u von der Übertragung des Videoclips von r zu trennen; in Fall ii) soll eine der Datenquellen r, t, u von der Aufzeichnungsmöglichkeit in s ausgeschlossen werden.

In Fall iii) sind s oder u von der Datenquelle t zu trennen und in iv) r und u von der Datensenke t .

Der jeweils 1-fach vorkommende Kanalzugriff ist in der Abbildung markiert, ggf. unter Angabe der Richtung.

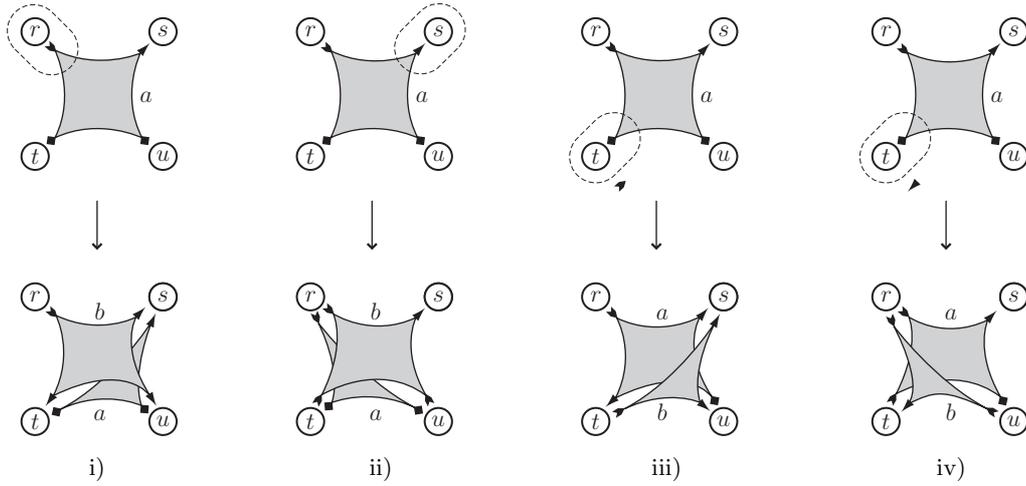


Abb. 33: Das Heraustrennen des maximal unidirektionalen Teilkanals b aus dem ursprünglichen Kanal a ist nach Angabe der Quelle oder Senke immer eindeutig.

Keiner der genannten Vorgänge ist in der Verbindungsstruktur, wie sie in der oberen Reihe skizziert ist, möglich, ohne andere Verbindungen zu beeinträchtigen. In Fall i) könnte man Teilnehmer t beispielsweise nur komplett von der Konferenz trennen, aber nicht nur von r . In der unteren Reihe mit jeweils kommunikationsgleicher Verbindungsstruktur hingegen, sind alle genannten Vorgänge mit der minimalen Zahl weiterer Verbindungen (nur einem weiteren Kanal b) möglich. □

Die nachfolgend definierten Operationen des Typs $T_{\text{pre}}^{\text{EA}}$ und T^{EA} teilen einen Hyperkanal einer Session S eindeutig in zwei Fragmente auf. Die Angabe des Kanals und einer Quelle bzw. Senke dieses Kanals ergibt eindeutig das entstehende 1:n- bzw. n:1-Fragment. Das verbleibende Fragment des ursprünglichen Hyperkanals ergibt sich aus der Bedingung identischer Kommunikationseigenschaften.

Das Herausfaktorieren der *letzten* Quelle oder Senke führt zu einer Umbenennung des Kanals.

Definition: Herauslösen einer Quelle – exsrc

$$\text{exsrc}_{\text{pre}}(V_S \times C_S \times C_S) : T_{\text{pre}}^{\text{EA}}$$

$$\text{exsrc}_{\text{pre}}(r, a, b)(E_S, A_S) = ra^{\top} \subseteq A_S \wedge b \in \overline{M_S L}$$

$$\text{exsrc}(V_S \times C_S \times C_S) : T^{\text{EA}}$$

$$\text{exsrc}(r, a, b)(E_S, A_S) = (I \cup ba^{\top})E_S \cap \overline{br^{\top}}, (A_S \cup br^{\top}) \cap \overline{ar^{\top}}$$

Herauslösen der 1:n-Struktur mit Quelle r aus dem Kanal a in den neuen Kanal b .

Die Vorbedingung stellt sicher, daß r eine Quelle von a ist und daß b zu den freien Kanälen gehört. In der Abbildung exsrc werden die Senken-Inzidenzen von a nach b dupliziert (mit Ausnahme derjenigen von b nach r). Quelle r wird Kanal a entzogen und Kanal b hinzugefügt. Das Herauslösen einer Senke ist identisch zum Herauslösen einer Quelle des inversen Graphen:

Definition: Herauslösen einer Senke – exsnk

$$\text{exsnk}_{\text{pre}}(V_S \times C_S \times C_S) : T_{\text{pre}}^{\text{EA}}$$

$$\text{exsnk}_{\text{pre}}(r, a, b)(E_S, A_S) = \text{exsrc}_{\text{pre}}(r, a, b)(A_S, E_S)$$

$$\text{exsnk}(V_S \times C_S \times C_S) : T^{\text{EA}}$$

$$\text{exsnk}(r, a, b)(E_S, A_S) = \text{exsrc}(r, a, b)(A_S, E_S)$$

Herauslösen der n:1-Struktur mit Senke r aus dem Kanal a in den neuen Kanal b .

Beispiel: Heraustrennen einer n:1-Struktur.

In der Session S aus Abb. 33 Fall iii) ist die Anforderung zu realisieren, alle Datenflüsse von der Quelle t unabhängig von den übrigen Verbindungen zu regeln. Dies ist in der gegebenen Struktur mit nur einem Hyperkanal nicht möglich, sondern nur nach Herauslösen des 1:n-Fragments mit Quelle t :

$$E'_S, A'_S = \text{exsrc}(t, a, b)(E_S, A_S)$$

$$E'_S = \left(\begin{array}{c} a \quad b \\ a \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \end{array} \ ; \ \begin{array}{c} r \quad s \quad t \quad u \\ a \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{array} \right) \cap \begin{array}{c} r \quad s \quad t \quad u \\ a \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \end{array} = \begin{array}{c} r \quad s \quad t \quad u \\ a \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \end{array}$$

$$A'_S = \left(\begin{array}{c} r \quad s \quad t \quad u \\ a \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{array} \cup \begin{array}{c} r \quad s \quad t \quad u \\ b \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \end{array} \right) \cap \begin{array}{c} r \quad s \quad t \quad u \\ a \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \end{array} = \begin{array}{c} r \quad s \quad t \quad u \\ b \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \end{array}$$

□

Sobald größere Fragmente als nur unidirektionale Hyperkanäle aus einer Konferenz herausgetrennt werden sollen, kann dies in mehreren Schritten geschehen. Der verbleibende Originalkanal wird weitere Male aufgetrennt. Die entstandenen Teilstücke können dann – sofern dies kommunikationserhaltend möglich ist – wieder zusammengefaßt werden. Dadurch entstehen Faktorisierungen in größere Teilstücke. In Abb. 34 ist ein Beispiel gezeigt, in dem das kommunikationserhaltende Zusammenfassen zweier herausfaktorisierte Teile möglich ist. Bei Bedarf können auch hierfür Abbildungen des Typs $T_{\text{pre}}^{\text{EA}}$ und T^{EA} definiert werden.

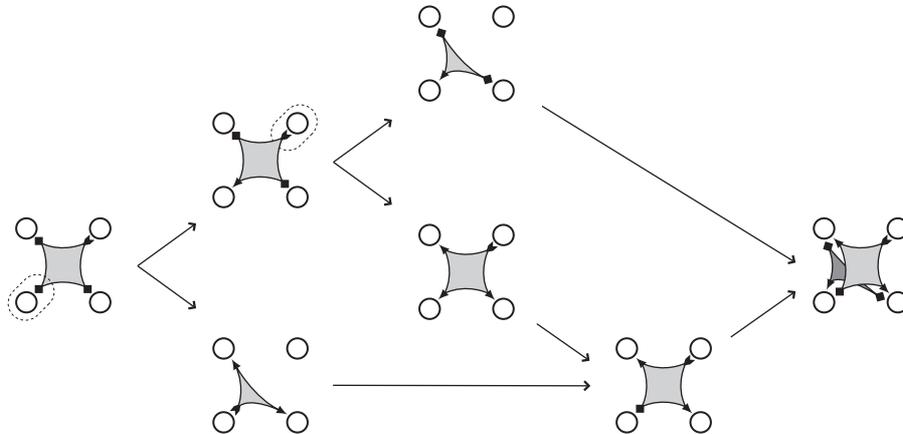


Abb. 34: Größere Teilstrukturen entstehen aus dem Herauslösen und Zusammenfassen mehrerer unidirektionaler Teilstrukturen, sofern diese kommunikationserhaltend ist.

7.3 Korrektur modifizierter Verbindungsstrukturen

In Abschnitt 7.2.1 über die Operation zum Auf- und Abbau von Kanälen ist bereits das Problem der partiellen Kanäle angesprochen worden. Prinzipiell besteht bei jeder Abbildung, die Inzidenzen zwischen Kanälen und Endpunkten hinzufügt oder löscht, das Problem der partiellen Kanäle. Bei der Spezifikation von Diensten muß auf jeden Fall sichergestellt sein, daß Modifikationen der Verbindungsstruktur nicht in Systemen mit partiellen Kanälen münden. Unglücklicherweise ist das Auftreten partieller Kanäle nicht nur von der Abbildung und deren Parametern abhängig, sondern auch von der gegebenen Verbindungsstruktur. Somit kann ein- und dieselbe Abbildung in einem Fall partielle Kanäle hervorrufen, in einem anderen aber nicht:

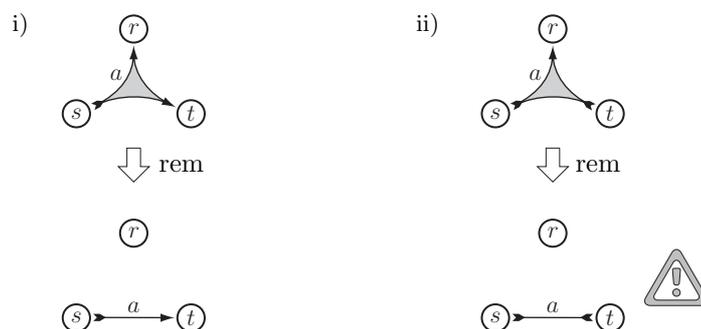


Abb. 35: Dieselbe Abbildung $-\text{rem}(ar^T, O)(E_S, A_S)$ – führt in Fall ii) zu einem partiellen Kanal, in Fall i) jedoch nicht.

Zur Vermeidung partieller Kanäle sind verschiedene Strategien denkbar. So könnte die Ausführung einer Abbildung über deren Vorbedingung verhindert werden, falls partielle Kanäle entstehen. Eine andere Möglichkeit wäre, in der Operation selbst eventuell auftretende Verletzungen der Wohlgeformtheit zu korrigieren. Beide Varianten haben den Nachteil, die Abbildungen zu verkomplizieren.

Die einfachste Strategie besteht darin, einen simplen, für jede Abbildung gleichen Korrekturmechanismus vorzusehen und diesen als weitere Nachbedingung in die Standardtransition zur Modifikation der Verbindungsstruktur aufzunehmen. Dadurch ist stets eine Grundkonsistenz gewährleistet.

Nach jeder Abbildung $t : T^{\text{EA}}$ auf der Verbindungsstruktur einer Session S , die E_S, A_S auf einen Zustand

$$E'_S, A'_S = t(E_S, A_S)$$

abbildet, ist die Menge der partiellen Kanäle gegeben durch:

$$\begin{aligned} E'_S L \setminus A'_S L & \quad \text{Kanäle ohne Quellen} \\ A'_S L \setminus E'_S L & \quad \text{Kanäle ohne Senken} \end{aligned}$$

Die automatische Korrektur sollte exakt diese partiellen Kanäle löschen. Folgende Abbildung corr (für *correction*) leistet das Gewünschte:

Definition: Abbildung zur universellen Korrektur partieller Kanäle

$$\text{corr} : (\mathcal{C} \times \mathcal{V}) \times (\mathcal{C} \times \mathcal{V}) \longrightarrow (\mathcal{C} \times \mathcal{V}) \times (\mathcal{C} \times \mathcal{V})$$

$$\text{corr}(E_S, A_S) = E_S \setminus (E_S L \setminus A_S L), \quad A_S \setminus (A_S L \setminus E_S L)$$

Die Abbildung corr entfernt alle partiellen Kanäle einer Session $S = (C_S, V_S, E_S, A_S)$.

Damit die Korrektur partieller Kanäle standardmäßig stattfindet, wird die Abbildung corr in die vorläufige Standardtransition zur Modifikation der Verbindungsstruktur aufgenommen. Diese lautet nun:

\mathcal{T}^{EA} :

AUSGANGSZUSTAND

$$\text{T}_{\text{pre}}^{\text{EA}}(E_S, A_S) / E'_S, A'_S = \text{corr}(\text{T}^{\text{EA}}(E_S, A_S))$$

FOLGEZUSTAND

7.4 Abbildungen zur Modifikationen der Sessionstruktur

Das Konzept der Sessions ist in Kap. 6.5 eingeführt worden, um das Gesamtsystem der Kommunikationsnetze zu beliebigen Zwecken in lokale, handhabbare Einheiten aufzuteilen zu können. Bisher wurden Sessions als gegeben betrachtet, ohne auf Erzeugung und Änderung einzugehen.

In diesem Abschnitt wird die Standardtransition \mathcal{T}^{S} zur Modifikation der Sessionstruktur vorgestellt. Zum Erzeugen von Sessions ist eine Operation notwendig, mit der Teilmengen aus \mathcal{C} und \mathcal{V} explizit als Session in die Sessionstruktur eingehen. Damit verbunden ist der Beginn der Existenz einer Verbindungsstruktur als Teil von E und A . Durch weitere Instantiierungen können Sessions in beliebiger Weise verändert werden, indem Kanäle und Endpunkte ihre zugeordnete Session (bzw. Sessions) wechseln oder mehrere Sessions zu einer einzigen verschmolzen und wieder aufgetrennt werden.

Für dynamische Sessions gibt es viele Anwendungen: Beispielsweise ist dadurch die Aufnahme weiterer Teilnehmer oder sonstiger Datenquellen und -senken in Telekonferenzen modellierbar, genauso wie Zusammenlegen und Isolieren von Konferenzen oder auch die Übergabe eines Kanals von einer Session zur anderen.

Die Standardtransition zur Modifikationen der Sessionstruktur wird auf demselben Wege abgeleitet wie die Standardtransition \mathcal{T}^{EA} des letzten Kapitels. Wichtig ist auch hier die Erhaltung der Systemkonsistenz.

Innerhalb des Gesamtsystems $G = (\mathcal{C}, \mathcal{V}, E_G, A_G)$ wurde in Abschnitt 6.5.2 eine Session S festgelegt durch Teilmengen $C_S \subseteq \mathcal{C}$ und $V_S \subseteq \mathcal{V}$. Das Gesamtsystem durfte dabei keine partiellen Kanäle enthalten ($\text{wf}(G)$) und jede Session hatte für jeden Kanal auch alle Endpunkte zu enthalten ($\text{wfs}(S)$). Aus der Menge \mathcal{S} aller wohlgeformten Sessions war das Gesamtsystem stets in eine Sessionstruktur $\mathbf{S} \in \mathcal{P}(\mathcal{S})$ eingeteilt, wobei kein Kanal in mehr als einer Session enthalten sein durfte ($\text{reg}(\mathbf{S})$).

Innerhalb dieses Zustandsraumes ist ein Übergang von einer Sessionstruktur zu einer anderen somit durch folgende Signatur beschrieben:

$$\mathcal{P}(\mathcal{S}) \longrightarrow \mathcal{P}(\mathcal{S})$$

S geht durch eine Abbildung dieser Signatur in einen Folgezustand S' über. Ähnlich den Abbildungen des Typs T^{EA} können auch hier für die Erhaltung der Wohlgeformtheit Einschränkungen des Definitionsbereichs bestehen. Diese werden ausgedrückt durch Abbildungen der Signatur

$$\mathcal{P}(\mathcal{S}) \longrightarrow \mathbb{B}$$

die ebenfalls bei Bedarf durch zusätzliche Parameter und Currying erweitert werden können. Diese beiden Signaturen bilden das Grundgerüst der Standardtransition zur Modifikation der Sessionstruktur. Dazu wird die Signatur zur Einschränkung des Definitionsbereichs in die Vorbedingung aufgenommen und die Signatur der Abbildung auf der Sessionstruktur in die Nachbedingung.

Definition: Vor- und Nachbedingung zur Modifikation der Sessionstruktur

Für ein Gesamtsystem $G = (\mathcal{C}, \mathcal{V}, E_G, A_G)$, das regulär in eine Menge wohlgeformter Sessions

$$S = \{S_1, \dots, S_n\} \subseteq \mathcal{S}, \quad S \in \mathcal{P}(\mathcal{S}) \quad \text{mit } \text{reg}(S)$$

aufgeteilt ist, lauten die Signaturen für die Vorbedingung und für die Abbildung der Sessionstruktur:

$$T_{\text{pre}}^S : \mathcal{P}(\mathcal{S}) \longrightarrow \mathbb{B} \quad \text{[Vorbedingung]}$$

$$T^S : \mathcal{P}(\mathcal{S}) \longrightarrow \mathcal{P}(\mathcal{S}) \quad \text{[Nachbedingung]}$$

Auch hier werden für die Signatur der Abbildungen und die Platzhalter in der Standardtransition dieselben Bezeichner T_{pre}^S und T^S verwendet.

In der Standardtransition \mathcal{T}^S wird in der Vorbedingung eine Abbildung des Typs T_{pre}^S verwendet, die genau dann erfüllt sein soll, wenn die Anwendung der Abbildung Typs T^S in der Nachbedingung sinnvoll ist. Die erste, vorläufige Version der Standardtransition lautet somit:

$\mathcal{T}^S :$

AUSGANGSZUSTAND

$$T_{\text{pre}}^S(S) / S' = T^S(S)$$

FOLGEZUSTAND

Die Standardtransition wird instantiiert, indem für die Abbildungsvariablen T_{pre}^S und T^S Abbildungen t und t_{pre} des Typs T_{pre}^S und T^S eingesetzt werden:

$$T_{\text{pre}}^S = t_{\text{pre}} \quad \text{mit} \quad t_{\text{pre}} : T_{\text{pre}}^S$$

$$T^S = t \quad \text{mit} \quad t : T^S$$

eingesetzt werden. Die Instanz der Standardtransition lautet dann:

AUSGANGSZUSTAND

$$t_{\text{pre}}(S) / S' = t(S)$$

FOLGEZUSTAND

Die Instantiierung von $T_{\text{pre}}^{\text{S}}$ und T^{S} ist auch durch Abbildungen mit beliebigen weiteren, nicht näher spezifizierten Parametern W_{pre} und W möglich, wenn diese vorweg instantiiert werden:

$$\begin{aligned} T_{\text{pre}}^{\text{S}} &= t_{\text{pre}}(W_{\text{pre}}) & \text{mit } t_{\text{pre}}(W_{\text{pre}}) : T_{\text{pre}}^{\text{S}} \\ T^{\text{S}} &= t(W) & \text{mit } t(W) : T^{\text{S}} \end{aligned}$$

Für die meisten Operationen auf der Verbindungsstruktur ist diese Vorgehensweise notwendig. Die Instanz der Standardtransition lautet dann:

AUSGANGSZUSTAND

$$t_{\text{pre}}(W_{\text{pre}})(\text{S}) / \text{S}' = t(W)(\text{S})$$

FOLGEZUSTAND

Die folgenden Abschnitte enthalten einige Beispiele für Abbildungspaare des Typs $T_{\text{pre}}^{\text{S}}$ und T^{S} , die das Erzeugen, Zusammenlegen und Aufteilen von Sessions ermöglichen.

7.4.1 Erzeugen von Sessions

In einem Kommunikationssystem ist in der Regel nur ein Teil der Kanäle und Endpunkte in Sessions eingebunden. Die übrigen Ressourcen sind frei bzw. unverbunden. Beim Erzeugen einer Session wird eine neue Session, bestehend aus einer Menge freier Kanäle und einer Menge von Endpunkten, in die Menge der vorhandenen Sessions $\text{S} \subseteq \mathcal{S}$ aufgenommen. Vor- und Nachbedingung einer solchen Operation lauten wie folgt:

Definition: Erzeugen einer Session – screate

$$\begin{aligned} \text{screate}_{\text{pre}}(\mathcal{C} \times \mathcal{V} \times \mathcal{P}(\mathcal{S})) &: T_{\text{pre}}^{\text{S}} \\ \text{screate}_{\text{pre}}(C, V, \text{S}) &= \text{reg}(\text{S} \cup \{(C, V)\}) \\ \text{screate}(\mathcal{C} \times \mathcal{V}) &: T^{\text{S}} \\ \text{screate}(C, V)(\text{S}) &= \text{S} \cup \{(C, V)\} \end{aligned}$$

Aus den freien Kanälen C und den Endpunkten V wird eine Session $S = (C_S, V_S)$ (Kurzschreibweise) gebildet und in die Sessionstruktur des Gesamtsystems eingefügt.

Erst mit der Aufnahme in die Sessionstruktur S geht eine wohlgeformte Teilstruktur über C und V in eine Session als Instanz der Dienstnutzung über. Je nach modelliertem Dienst können mit dieser netzrelevanten Operation weitere netztransparente Operationen assoziiert werden: Einrichten einer Kostenstelle, Start netztransparenter Dienstfunktionen, etc.

7.4.2 Löschen von Sessions

Mit dem Löschen einer Session $S \in \mathcal{S}$ wird die durch C_S und V_S bestimmte Teilstruktur aus der Menge der Sessions entfernt.

Definition: Löschen einer Session – sdel

$$\text{sdel}_{\text{pre}}(\mathcal{S} \times \mathcal{P}(\mathcal{S})) : \mathbb{T}_{\text{pre}}^{\mathcal{S}}$$

$$\text{sdel}_{\text{pre}}(S, \mathcal{S}) = S \in \mathcal{S} \wedge M_S = O$$

$$\text{sdel}(\mathcal{S}) : \mathbb{T}^{\mathcal{S}}$$

$$\text{sdel}(S)(\mathcal{S}) = \mathcal{S} \setminus \{S\}$$

Session S wird aus der Sessionstruktur \mathcal{S} entfernt.

Eine Session kann nur gelöscht werden, wenn sie keine Verbindungen mehr enthält. Die Anmerkungen zu screate gelten analog für sdel.

7.4.3 Vereinigung von Sessions

Die Vereinigung zweier Sessions S_{st} und S_{m} , die über Teilmengen $C_{S_{\text{st}}}, V_{S_{\text{st}}}$ und $C_{S_{\text{m}}}, V_{S_{\text{m}}}$ des Gesamtsystems definiert wurden, ergibt sich aus der Vereinigung dieser Teilmengen. Das Erweitern von Sessions durch andere Sessions ist unproblematisch, da die Wohlgeformtheit des Zusammenschlusses erhalten bleibt, wenn sie bereits für alle Teilsysteme galt.

Definition: Vereinigung zweier Sessions – smrg

$$\text{smrg}_{\text{pre}} : \mathbb{T}_{\text{pre}}^{\mathcal{S}}$$

$$\text{smrg}_{\text{pre}} = \text{true}$$

$$\text{smrg}(\mathcal{S} \times \mathcal{S}) : \mathbb{T}^{\mathcal{S}}$$

$$\text{smrg}(S_{\text{st}}, S_{\text{m}})(\mathcal{S}) = (\mathcal{S} \setminus \{S_{\text{st}}, S_{\text{m}}\}) \cup \{(C_{S_{\text{st}}} \cup C_{S_{\text{m}}}, V_{S_{\text{st}}} \cup V_{S_{\text{m}}})\}$$

Die Session S_{st} (Stammsession) wird um die Session S_{m} erweitert.

Wie in obiger Definition deutlich wird, ist die Vereinigung von Sessions eine *gerichtete Operation*, die eine Session in eine andere integriert. Die Dominanz einer Session bringt einige Vorteile bei der Interpretation der Sessions, bestehend aus wohlgeformten Teiluntergraphen, zu Instanzen der Dienstnutzung.

In Kap. 6.5.4 wurde bereits dargelegt, daß Sessions mit weiteren netzrelevanten und dienstunabhängigen Konzepten verknüpft werden können, z. B. mit der Sichtbarkeit von Ressourcen, der Reichweite von Berechtigungen, Verwaltung durch eine Art Sessionmanager usw. Mit der Vereinigung von Sessions findet auch eine irgendwie geartete Vereinigung der assoziierten Konzepte statt. Eine gerichtete Vereinigung ist deswegen günstig, weil in den meisten Fällen (besonders bei der Neuordnung von Berechtigungen) entscheidend ist, welche Session erhalten bleibt und welche darin aufgeht.

7.4.4 Aufteilen von Sessions

Das Aufteilen einer Session in mehrere Sessions entspricht der Umkehrung der vorigen Abbildung. Es ist lediglich sicherzustellen, daß wohlgeformte Sessions entstehen, die zu jedem Kanal jeweils alle inzidierenden Endpunkte enthalten. Die Regularität ist durch die Teilmengeneigenschaft gewährleistet. Im Gegensatz zu den Kanalmengen, die zwischen Sessions stets disjunkt sein müssen, kann man bei den Endpunkten etwas flexibler sein und eine Schnittmenge zulassen. Darin sind diejenigen Endpunkte enthalten, die in die separate Session übergehen sollen, jedoch auch in der ursprünglichen Session verbleiben, wenn sie dort mit einem Kanal verbunden sind.

Definition: Aufteilen einer Session – ssplit

$$\text{ssplit}_{\text{pre}}(\mathcal{S} \times \mathcal{C} \times \mathcal{V}) : \mathbb{T}_{\text{pre}}^{\mathcal{S}}$$

$$\text{ssplit}_{\text{pre}}(S, C, V) = C \subseteq C_S \wedge V \subseteq V_S \wedge \text{wfs}(C, V)$$

$$\text{ssplit}(\mathcal{S} \times \mathcal{C} \times \mathcal{V}) : \mathbb{T}^{\mathcal{S}}$$

$$\text{ssplit}(S, C, V)(\mathcal{S}) = (\mathcal{S} \setminus \{S\}) \cup \{(C, V), (C_S \cap \overline{C}, (V_S \cap \overline{V}) \cup (M_S^{\overline{C}}(C_S \cap \overline{C})))\}$$

Von der Session S aus einer gültigen Aufteilung des Gesamtsystems in Sessions \mathcal{S} wird unter Angabe der definierenden Teilmengen C und V eine eigene Session erzeugt und dem Gesamtsystem hinzugefügt.

Der Korrekturterm beschreibt die von in S verbleibenden Kanälen aus verbundenen Endpunkte. Weiterhin ist zu beachten, daß wfs die Wohlgeformtheit *innerhalb des Gesamtsystems* beschreibt (siehe 6.5.2). Dadurch ist es z. B. nicht möglich, einzelne Kanäle in eine neue Session zu übernehmen, wenn diese eine Verbindung enthalten.

Eine gerichtete Operation ist in diesem Fall nicht erforderlich, da die entstehenden Teilsessions voneinander unabhängig sind.

7.4.5 Erweitern von Sessions

Wenn Sessions um Endpunkte oder Kanäle erweitert werden sollen, ist darauf zu achten, daß die Kanalmengen aller Sessions disjunkt sind (Prädikat reg). Für diese Bedingung und die Aufnahme der Kanäle und Endpunkte in eine Session können die Operationen $\text{screate}_{\text{pre}}$ und $\text{screate}/\text{smrg}$ kombiniert werden:

Definition: Erweitern einer Session – sadd

$$\text{sadd}_{\text{pre}}(\mathcal{S} \times \mathcal{C} \times \mathcal{V} \times \mathcal{P}(\mathcal{S})) : \mathbb{T}_{\text{pre}}^{\mathcal{S}}$$

$$\text{sadd}_{\text{pre}}(S, C^*, V^*, \mathcal{S}) = \text{screate}_{\text{pre}}(C^*, V^*, S)$$

$$\text{sadd}(\mathcal{S} \times \mathcal{C} \times \mathcal{V}) : \mathbb{T}^{\mathcal{S}}$$

$$\text{sadd}(S, C^*, V^*)(\mathcal{S}) = \text{smrg}(S, (C^*, V^*))(\text{screate}(C^*, V^*)(\mathcal{S}))$$

Die Session S wird um die Kanäle C^* und die Endpunkte V^* erweitert.

Im Gegensatz zur Vereinigung von Sessions werden hier mit C^* und V^* weitere Elemente in die Session S aufgenommen, die bisher nicht unter einer Session zusammengefaßt waren.

7.4.6 Reduktion von Sessions

Bei der Reduktion von Sessions um Kanäle oder Endpunkte werden diese nicht wie bei ssplit in eine weitere Session überführt, sondern aus der gesamten Sessionstruktur entfernt, falls bei Endpunkten nicht noch eine weitere Beteiligung an einer Session besteht. Die Kombination der Abbildungen $\text{ssplit}_{\text{pre}}/\text{sdel}_{\text{pre}}$ und $\text{ssplit}/\text{sdel}$ leistet das Gewünschte:

Definition: Reduktion einer Session – srem

$$\text{srem}_{\text{pre}}(\mathcal{S} \times \mathcal{C} \times \mathcal{V} \times \mathcal{P}(\mathcal{S})) : \mathbb{T}_{\text{pre}}^{\mathcal{S}}$$

$$\text{srem}_{\text{pre}}(S, C^*, V^*, \mathcal{S}) = \text{ssplit}_{\text{pre}}(S, C^*, V^*) \wedge \text{sdel}_{\text{pre}}((C^*, V^*), \mathcal{S})$$

$$\text{srem}(\mathcal{S} \times \mathcal{C} \times \mathcal{V}) : \mathbb{T}^{\mathcal{S}}$$

$$\text{srem}(S, C^*, V^*)(\mathcal{S}) = \text{sdel}((C^*, V^*))(\text{ssplit}(S, C^*, V^*)(\mathcal{S}))$$

Die Session S wird um die Kanäle C^* und die Endpunkte V^* reduziert.

8 Berechtigungen

In den verteilten Systemen zur Realisierung von Kommunikationsdiensten spielen Berechtigungen eine wichtige Rolle. Ein Formalismus zur dienstunabhängigen Modellierung netzrelevanten Dienstverhaltens wäre ohne ein Berechtigungskonzept unvollständig. Über die letzten Kapitel hinweg wurde aus der Vielfalt der Kommunikationswelt die statische und dynamische Modellierung von Verbindungsstrukturen als abgeschlossener, dienst- und technologieunabhängiger Block herausgelöst und in ein formales Modell überführt. Auf den folgenden Seiten wird ein gleichermaßen dienst- und technologieunabhängiger Typ von Berechtigungen definiert und in das bisher vorhandene Modell aus Verbindungsgraphen, Sessions und Transitionen eingepaßt (Abschnitt 8.1 und 8.2). Abschnitt 8.3 enthält abschließend einige Beispiele solcher Berechtigungen.

8.1 Auswahl dienstunabhängiger Berechtigungen

Meist muß in verteilten Systemen die Berechtigung, eine Änderung vornehmen zu dürfen, geprüft werden. In Telekommunikationsdiensten regeln Berechtigungen Zugangsbeschränkungen, Änderungen der Dienstkonfiguration, Abrechnungsmodi, Kommunikationsbeziehungen, den Zugriff auf Ressourcen und zahlreiche weitere dienstspezifische Eigenschaften.

Durch den Übergang von Hardware und Analogtechnik zu Software und Digitaltechnik hat die Zahl der Funktionen und Features von Diensten bereits jetzt stark zugenommen. Die universellen Netze und multifunktionalen Endgeräte der Zukunft werden dies noch verstärken. Die zusätzlichen Freiheitsgrade und Sicherheitsrisiken die sich daraus ergeben, dürfen jedoch nur in wohlverstandenen und abgegrenzten Einheiten in Diensten verwendet werden. Sobald Dienstverhalten nicht mehr implizit leitungs- und schaltungstechnisch eingeschränkt ist, muß das korrekte Verhalten *explizit* durch die Vergabe von Berechtigungen sichergestellt werden. Dies ist umso wichtiger, je flexibler und offener das Dienstverhalten ist. Eine Methodik zur Dienstentwicklung sollte daher den Umgang mit Berechtigungen unterstützen.

Wie schon in den Kapiteln über statische und dynamische Verbindungsstrukturen gilt es auch hier, ein möglichst elementares, dienst- und technologieunabhängiges System von Berechtigungen in das Modell aufzunehmen. Gemäß der Dekomposition aus Kapitel 5 gliedert sich Dienstverhalten in zwei Bereiche: Netztransparente und netzrelevante Vorgänge. Beide kommen für die Modellierung von Berechtigungen zunächst in Frage.

Bei näherer Betrachtung zeigt sich jedoch, daß netztransparentes Dienstverhalten keine wirklich dienstunabhängigen Elemente enthält. Einerseits entstammen die Anwendungen grundverschiedenen Bereichen (von der Telemedizin bis zum Homeshopping), andererseits sind die Betreiber bei der Definition von Berechtigungen über Dienstinhalt und netztransparente Dienststeuerung weitgehend ungebunden. Hier sind bestenfalls innerhalb von Dienstklassen gemeinsame Konzepte zu erreichen, z. B. für Pay-TV, Online-Banking, Konferenz- oder Verteildienste. Eine allgemeine Methodik für netztransparente Berechtigungen ist daher schwer zu finden.

Für das netzrelevante Dienstverhalten hingegen, ergeben sich dienstunabhängige Berechtigungen direkt aus der Modellierung der letzten Kapitel. Dort wurde zuerst der *Zustand* von Verbindungen eines Dienstes durch Inzidenzrelationen zwischen Kanälen und Endpunkten beschrieben. Im darauffolgenden Kapitel wurden *Änderungen* dieses Zustandes spezifiziert

und in Transitionen eingebettet. Exakt diese Änderungen der Inzidenzrelationen werden nun mit Berechtigungen verknüpft.

Obwohl Berechtigungen über Änderungen der Verbindungsstruktur in vielen Diensten nur einen geringen (oder auch gar keinen) Teil der Funktionalität abdecken, ist es aus mehreren Gründen sinnvoll, sie in eine formale Spezifikationsmethodik aufzunehmen. Zunächst sind derartige Berechtigungen (z. B. in Konferenzdiensten) derzeit sehr unflexibel. Meist ist nur eine starre Struktur um einen Konferenzadministrator herum vorgesehen. Ein flexibles Modell, das alternative Strategien und wechselnde Berechtigungen erlaubt, erweitert die Möglichkeiten von Sessions mit mehreren Teilnehmern. Eine exakte Methodik für den Umgang mit Berechtigungen auf der Basis eines formalen Modells ist insbesondere bei großen Konferenzen mit komplexen Verbindungsstrukturen nützlich.

Für die einfachen Dienste (Telefonie) ist ein dienstunabhängiges Berechtigungskonzept zur Modifikation von Verbindungsstrukturen auch aus einem weiteren Grund notwendig: Sessions mit nur zwei Endpunkten unterscheiden sich nicht prinzipiell von Sessions mit mehreren Endpunkten. Große Sessions können aus einfachen Verbindungen hervorgegangen sein und umgekehrt. Ein Berechtigungskonzept sollte unabhängig von der Größe einer Session anwendbar sein und problemlos skalieren. Ein dienstunabhängiges Berechtigungskonzept ist zudem für die Kombination von Diensten wichtig. Wenn beispielsweise in die Session eines Konferenzdienstes ein VoD-Dienst vorübergehend eingebunden werden soll, ist es sinnvoll, daß beide Dienste auf demselben Berechtigungskonzept für das netzrelevante Verhalten basieren. Ein einheitliches Berechtigungskonzept unterstützt somit die dynamische Integration von Diensten.

8.2 Modellierung von Berechtigungen

Ein Berechtigungskonzept für die netzrelevanten Vorgänge von Diensten muß exakt zur bisherigen Modellierung der Verbindungsstrukturen passen. Jede Modifikation der Verbindungsstruktur, die mit einer Abbildung $t : T^{EA}$ beschrieben werden kann, muß zusammen mit einer gegebenen Verbindungs- und Berechtigungsstruktur entweder eine positive oder eine negative Prüfung erlauben. Die Berechtigungsprüfung wird dann als obligatorischer Bestandteil in die Standardtransition \mathcal{T}^{EA} integriert. (Für die Änderungen der Sessionstruktur ist kein Berechtigungskonzept vorgesehen.)

Die folgenden drei Abschnitte beschreiben den grundlegenden Formalismus der Berechtigungen, deren Einbettung in die Standardtransition und einige Beispielkonstellationen.

8.2.1 Darstellung und Eigenschaften

Berechtigungen P werden durch Relationen desselben Typs $\mathcal{C} \times \mathcal{V}$ dargestellt, der schon zur Darstellung der Inzidenzen Verwendung fand. Die Funktionsweise entspricht der einer Maske, die über die Inzidenzrelationen gelegt wird. Nur diejenigen Inzidenzen, die unter einer 1 in der Berechtigungsmatrix liegen, dürfen geändert werden. Für die Ein- und Ausgangsinzidenz E und A werden getrennte Berechtigungen P^E und P^A verwendet. Da die Richtung einer Änderung aus dem Zustand einer Inzidenz hervorgeht, genügt jeweils eine Berechtigung: Existiert ein Zugriff, bedeutet eine positive Berechtigung, den Zugriff löschen zu können; existiert er nicht, darf er damit hinzugefügt werden.

Die Träger dieser Berechtigungen sind die Endpunkte, denen innerhalb des Modells die Rolle der Teilnehmer und Ressourcen und damit der Urheber von Änderungen zukommt.

Definition: Berechtigungsrelationen, Berechtigungen

Jedem Knoten $r \in \mathcal{V}$ des Gesamtsystems $G = (\mathcal{C}, \mathcal{V}, E_G, A_G)$ sind zwei Relationen

$$P_{r,G}^E, P_{r,G}^A \subseteq \mathcal{C} \times \mathcal{V}$$

zugeordnet. Einem Urheber $r \in \mathcal{V}$ ist die Statusänderung eines Lesezugriffs

$$cs^\top \subseteq E_G$$

eines Endpunktes $s \in \mathcal{V}$ zu einem Kanal $c \in \mathcal{C}$ gestattet, falls

$$cs^\top \subseteq P_{r,G}^E.$$

Für die Schreibzugriffe aus A_G gilt obiges analog.

Wie bei den Inzidenzrelationen E_G und A_G existiert für alle $r \in \mathcal{V}$ jeweils ein globaler Berechtigungsgraph $P_{r,G}^E$ und $P_{r,G}^A$. Zur Bildung von Teilstrukturen davon werden dieselben Teiluntergraphen verwendet, die zur Definition der Sessions benutzt wurden. Die Berechtigungsgraphen der Endpunkte $r \in V_S$ einer Session $S = (C_S, V_S)$ werden gebildet durch:

$$\begin{aligned} P_{r,S}^E &= P_{r,G}^E \cap C_S \cap V_S^\top \\ P_{r,S}^A &= P_{r,G}^A \cap C_S \cap V_S^\top \end{aligned}$$

Jeder Endpunkt besitzt demnach nur Berechtigungen über die Verbindungen, an deren Session er beteiligt ist. Eine Session bildet dadurch den Gültigkeitshorizont der Berechtigungen eines Endpunktes.

Es gilt darüber hinaus auch für die Berechtigungsrelationen die Konvention aus Abschnitt 6.4.2, die für alle Relationen des Typs $\mathcal{C} \times \mathcal{V}$ bei Schreibweise in Matrizenform besagt, daß alle nicht explizit angegebenen Matrixelemente mit 0 besetzt sind.

In den folgenden Ausführungen werden zudem einige Abkürzungen verwendet. Ist der zugeordnete Endpunkt und die Session einer Berechtigungsrelation eindeutig oder nicht relevant, kann der Index entfallen:

$$P^E, P^A$$

Ist nur die Berechtigung über eine richtungslose Inzidenz aus M von Interesse, kann die Vereinigung der Berechtigungen für Lese- und Schreibverbindungen verwendet werden:

$$P_{r,S} = P_{r,S}^E \cup P_{r,S}^A$$

Aus den Inzidenzrelationen ergeben sich im Zusammenhang mit den Berechtigungen folgende wichtige Teilmengen:

$$\begin{aligned} P_{r,S}^E \cap E_S, P_{r,S}^A \cap A_S &: \text{ von } r \text{ in } S \text{ zu löschende Verbindungen} \\ P_{r,S}^E \cap \overline{E_S}, P_{r,S}^A \cap \overline{A_S} &: \text{ von } r \text{ in } S \text{ zu erzeugende Verbindungen} \end{aligned}$$

8.2.2 Einbettung als Vorbedingung

Die bisher vorliegende Standardtransition zur Modifikation der Verbindungsstruktur einer Session S lautet:

$$\begin{array}{l} \mathcal{T}^{\text{EA}} : \\ \text{AUSGANGSZUSTAND} \\ \quad \text{T}_{\text{pre}}^{\text{EA}}(E_S, A_S) / E'_S, A'_S = \text{corr}(\text{T}^{\text{EA}}(E_S, A_S)) \\ \text{FOLGEZUSTAND} \end{array}$$

In einer Instanz dieser Transition ist die gewünschte Änderung des Verbindungsgraphen in der Nachbedingung durch eine Abbildung

$$t : \text{T}^{\text{EA}}$$

definiert (siehe Kap. 7.2). Für die Berechtigungen relevant ist nun die symmetrischen Differenz \oplus zwischen dem Bild und dem Urbild von t . (Auf den Einfluß der Korrektur partieller Kanäle wird am Ende des Abschnitts eingegangen.) Die Berechtigungsprüfung ist daher als eine Abbildung definiert, die den Verbindungsgraphen zusammen mit einer Abbildung des Typs T^{EA} und einer Berechtigungsrelation in die Wahrheitswerte abbildet:

Definition: Prüfung von Berechtigungen

Ein Endpunkt $r \in V_S$ einer Session $S = (C_S, V_S, E_S, A_S)$ ist berechtigt, eine Transition auszuführen mit einer Abbildung $t : \text{T}^{\text{EA}}$ in der Nachbedingung, falls folgende Vorbedingung gilt:

$$\begin{array}{l} \text{perm}_{\text{pre}} : \text{T}^{\text{EA}} \longrightarrow (C_S \times V_S) \times (C_S \times V_S) \longrightarrow (C_S \times V_S) \times (C_S \times V_S) \longrightarrow \mathbb{B} \\ \text{perm}_{\text{pre}}(t)(E_S, A_S)(P_{r,S}^E, P_{r,S}^A) = (E_S, A_S \oplus t(E_S, A_S)) \subseteq P_{r,S}^E, P_{r,S}^A \end{array}$$

Die Berechtigungsprüfung wird nun als Vorbedingung in die Standardtransition zur Modifikation der Verbindungsstruktur eingefügt. Bei Anwendung der Transition wird r mit dem Urheber der Transition instantiiert. Die immer noch vorläufige Standardtransition lautet dadurch:

$$\begin{array}{l} \mathcal{T}^{\text{EA}} : \\ \text{AUSGANGSZUSTAND} \\ \quad \text{perm}_{\text{pre}}(\text{T}_{\text{pre}}^{\text{EA}}(E_S, A_S)(P_{r,S}^E, P_{r,S}^A) \wedge \text{T}_{\text{pre}}^{\text{EA}}(E_S, A_S) / \\ \quad \quad E'_S, A'_S = \text{corr}(\text{T}^{\text{EA}}(E_S, A_S)) \\ \text{FOLGEZUSTAND} \end{array}$$

Die Auswertung der Vorbedingung des Typs $\text{T}_{\text{pre}}^{\text{EA}}$ und die Korrektur partieller Kanäle bleiben von der Berechtigungsprüfung unberührt.

8.2.3 Beispielkonstellationen

Gegeben sei eine Session $S = (C_S, V_S, E_S, A_S)$ mit vier Endpunkten und einem Pool von vier unbenutzten Kanälen:

$$S = (\{a, b, c, d\}, \{r, s, t, u\}, O, O)$$

Jeder Endpunkt verfügt gemäß obiger Definition über zwei Berechtigungsrelationen. Der Ausgangszustand ist in der folgenden Abbildung gegeben:

$$\begin{array}{ccc}
 P_{r,S}^E, P_{r,S}^A & \textcircled{r} & \textcircled{u} & P_{u,S}^E, P_{u,S}^A \\
 & & & E_S = O \\
 P_{s,S}^E, P_{s,S}^A & \textcircled{s} & \textcircled{t} & P_{t,S}^E, P_{t,S}^A \\
 & & & A_S = O
 \end{array}$$

Abb. 36: Ausgangszustand der Session S

Die Session durchlaufe nun hintereinander zwei Veränderungen. Jeder Vorgang erfordert bestimmte Berechtigungen, über die der Urheber des Vorgangs verfügen muß.

Vorgang 1: Aufbau eines Hyperkanals a mit m:n-Verbindung zwischen r, s und t und einer zusätzlichen Quelle u mit Hilfe der Operation add (7.2.1) auf Veranlassung eines beliebigen $v \in V_S$.

Parameter für add :

$$\begin{aligned}
 E^\Delta &= ar^\top \cup as^\top \cup at^\top \\
 A^\Delta &= ar^\top \cup as^\top \cup at^\top \cup au^\top
 \end{aligned}$$

Ausgangszustand: siehe Abb. 36.

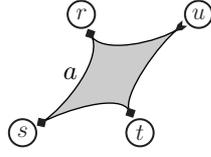
Vorbedingung der Operation add :

$$\text{add}_{\text{pre}} = \text{true}$$

Notwendige Berechtigung eines Urhebers $v \in V_S$:

$$\begin{aligned}
 \text{perm}_{\text{pre}}(\text{add}(E^\Delta, A^\Delta))(E_S, A_S)(P_{v,S}^E, P_{v,S}^A) &= \\
 &= (E_S, A_S \oplus \text{add}(E^\Delta, A^\Delta)(E_S, A_S)) \subseteq P_{v,S}^E, P_{v,S}^A = \\
 &= \begin{array}{cc}
 \begin{array}{cccc} & r & s & t & u \end{array} & \begin{array}{cccc} & r & s & t & u \end{array} \\
 \begin{array}{c} a \\ b \\ c \\ d \end{array} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, & \begin{array}{c} a \\ b \\ c \\ d \end{array} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \subseteq P_{v,S}^E, P_{v,S}^A
 \end{array}
 \end{aligned}$$

Die Berechtigung ist dann gegeben, wenn die $P_{v,S}^E, P_{v,S}^A$ des Urhebers v die Obermengeneigenenschaft erfüllen. Angenommen, dies ist der Fall, ergibt die Transition nachstehenden Folgezustand, der gleichzeitig Ausgangszustand der nächsten Transition ist:



$$E_S = \begin{matrix} & r & s & t & u \\ \begin{matrix} a \\ b \\ c \\ d \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}, \quad A_S = \begin{matrix} & r & s & t & u \\ \begin{matrix} a \\ b \\ c \\ d \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Abb. 37: Folgezustand von Vorgang 1, Ausgangszustand von Vorgang 2

Vorgang 2: Aufspalten des Hyperkanals a durch Heraustrennen des maximalen Hyperkanals b mit Quelle t durch die Operation exsrc (7.2.5), wiederum auf Veranlassung eines beliebigen $v \in V_S$.

Parameter für exsrc :

$$t, a, b$$

Ausgangszustand: siehe Abb. 37.

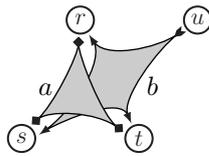
Vorbedingung der Operation exsrc :

$$\text{exsrc}_{\text{pre}}(t, a, b)(E_S, A_S) = at^T \subseteq A_S \wedge b \in \overline{M_S L} = \text{true}$$

Notwendige Berechtigung eines Urhebers $v \in V_S$:

$$\begin{aligned} \text{perm}_{\text{pre}}(\text{exsrc}(t, a, b))(E_S, A_S) (P_{v,S}^E, P_{v,S}^A) &= \\ &= (E_S, A_S \oplus \text{exsrc}(t, a, b)(E_S, A_S)) \subseteq P_{v,S}^E, P_{v,S}^A \\ &= \begin{matrix} & r & s & t & u \\ \begin{matrix} a \\ b \\ c \\ d \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}, \begin{matrix} & r & s & t & u \\ \begin{matrix} a \\ b \\ c \\ d \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix} \subseteq P_{v,S}^E, P_{v,S}^A \end{aligned}$$

Durch die Transition entsteht ein Folgezustand, der gleichzeitig Ausgangszustand einer potentiellen nächsten Transition ist:



$$E_S = \begin{matrix} & r & s & t & u \\ \begin{matrix} a \\ b \\ c \\ d \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}, \quad A_S = \begin{matrix} & r & s & t & u \\ \begin{matrix} a \\ b \\ c \\ d \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Abb. 38: Folgezustand von Vorgang 2

Ausgehend vom Zustand in Abb. 38 ermöglicht die Berechtigung des Vorgangs 2 auch die Umkehroperation, die in Form des Zusammenfassens der Kanäle a und b wieder zum Zustand in Abb. 37 führt.

□

Kanäle löschen ohne Berechtigung? Die automatische, universelle Korrektur partieller Kanäle in der Nachbedingung (corr , siehe Abschnitt 7.3) führt im Zusammenhang mit der Berechtigungsprüfung auf ein Problem, das in Abb. 39 dargestellt ist:

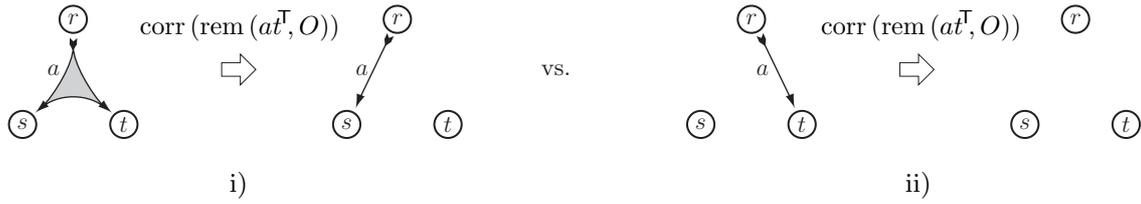


Abb. 39: Genügt in beiden Fällen dieselbe Berechtigung?

In beiden Fällen von Abb. 39 gelte

$$at^T \in P_u^E \quad \text{und} \quad ar^T \notin P_u^A$$

für einen beliebigen Urheber $u \in V$ einer Transition mit der Abbildung $\text{rem}(at^T, O)$. Während die Berechtigungsprüfung im Fall i) problemlos ist, führt die automatische Korrektur der Operation in Fall ii) auch zur Löschung von ar^T , obwohl $ar^T \notin P_u^A$.

Um zu vermeiden, daß Berechtigungen abhängig von der aktuellen Verbindungsstruktur unterschiedliche lokale Auswirkungen aufweisen, bezieht sich die Berechtigungsprüfung nur auf die unkorrigierte Änderung durch ein $t : T^{\text{EA}}$. Fall ii) ergibt somit trotzdem eine positive Berechtigungsprüfung.

8.3 Grundmuster von Berechtigungen

Die Einführung von Berechtigungsrelationen zwischen den Endpunkten und den Kanälen gestattet eine beliebige Flexibilität bei der Vergabe von Berechtigungen. Jedoch werden die wenigsten Dienste die volle Flexibilität nutzen. Stattdessen treten meist ähnliche Grundmuster auf, wie sie auch in heutigen Diensten existieren. Dazu gehört z. B. die Berechtigung eines Endpunktes, die Beteiligung an direkt inzidierenden Verbindungen jederzeit zu beenden. In den meisten Kommunikationsdiensten ist eine derartige Berechtigung erwünscht. Im folgenden Abschnitt sind einige dieser häufig anzutreffenden Grundmuster von Berechtigungen formuliert.

Unter den folgenden Punkten sind jeweils Vorgänge in einer Session $S = (C_S, V_S, E_S, A_S)$ beschrieben und die dafür notwendigen Berechtigungen für einen beliebigen initiierenden Endpunkt $r \in V_S$ angegeben. Als Mindestberechtigung muß ein Endpunkt über eine Obermenge (\supseteq) davon verfügen.

Der letzte Abschnitt enthält einige Beispiele für Teilmengen aus C_S und V_S , zu denen ein Endpunkt $r \in V_S$ durch seine Berechtigungen in besonderer Beziehung steht.

Hinweis:

„Kanal“ steht wie sonst auch für ein Element aus C_S , während „Verbindung“ eine Inzidenz zwischen C_S und V_S bezeichnet. Der Index S wird jeweils weggelassen.

8.3.1 Häufig vorkommende Berechtigungen

Zur Beschreibung von Berechtigungen ist in vielen Fällen die Grundmenge *aller* Berechtigungen zum Löschen bzw. Hinzufügen von Kanälen innerhalb der Session hilfreich. Diese gehen aus den vorhandenen bzw. nicht vorhandenen Inzidenzen E, A bzw. $\overline{E}, \overline{A}$ hervor. Einige grundlegende Vorgänge sind:

- a) Endpunkt r kann eigene Verbindungen beenden. Dazu decken die Berechtigungsmatrizen P_r^E und P_r^A mindestens die Spalte r^T der Inzidenzen E und A ab.

$$P_r^E \supseteq E \cap r^T; \quad P_r^A \supseteq A \cap r^T$$

- b) Endpunkt r kann alle Verbindungen direkt inzidierender Kanäle beenden (also auch alle Verbindungen zu weiteren Endpunkten). P_r^E und P_r^A decken die Kanäle (Zeilen) in E bzw. A ab, an denen r lesend oder schreibend (durch $M = E \cup A$) beteiligt ist.

$$P_r^E \supseteq E \cap (M \cap r^T)L; \quad P_r^A \supseteq A \cap (M \cap r^T)L$$

- c) Endpunkt r kann neue Verbindungen aufbauen. P_r^E und P_r^A umfassen dazu alle unbelegten Inzidenzen:

$$P_r^E \supseteq \overline{E}; \quad P_r^A \supseteq \overline{A}$$

Beim Hinzufügen von Verbindungen kann man zwischen neuen Kanälen und der Erweiterung bestehender Kanäle unterscheiden, je nachdem ob die Berechtigungsmatrizen die freien Kanäle aus \overline{ML} oder die belegten Kanäle aus ML abdecken:

- d) Endpunkt r kann *neue* Kanäle zwischen beliebigen Endpunkten errichten:

$$P_r^E \supseteq \overline{ML}; \quad P_r^A \supseteq \overline{ML}$$

- e) Endpunkt r kann weitere Verbindungen nur zu *bestehenden* Kanälen hinzufügen:

$$P_r^E \supseteq \overline{E} \cap ML; \quad P_r^A \cap \overline{A} \supseteq \overline{A} \cap ML$$

Wie leicht nachzuvollziehen ist, enthält $\overline{E} \cap ML$ die unbelegten Schreibzugriffe auf die belegten Kanäle (analog für A).

Mit der Bildung von Teil- und Untergraphen können die Berechtigungen auf bestimmte Endpunkte und Kanäle eingeschränkt werden. Es ergeben sich folgende Erweiterungen zu obigem Fall d):

- f) Endpunkt r darf neue Kanäle zwischen den Endpunkten einer Menge $V_r \subseteq V$ errichten:

$$P_r^E \supseteq \overline{ML} \cap V_r^T; \quad P_r^A \supseteq \overline{ML} \cap V_r^T$$

- g) Endpunkt r darf die Endpunkte einer Menge $V_r \subseteq V$ mit bestehenden Kanälen verbinden:

$$P_r^E \supseteq (\overline{E} \cap ML) \cap V_r^T; \quad P_r^A \supseteq (\overline{A} \cap ML) \cap V_r^T$$

- h) Endpunkt r darf bestimmte Endpunkte aus einer Menge $V_r \subseteq V$ mit bestimmten (neuen oder bestehenden) Kanälen aus einer Menge $C_r \subseteq C$ verbinden:

$$P_r^E \supseteq \overline{E} \cap C_r \cap V_r^T; \quad P_r^A \supseteq \overline{A} \cap C_r \cap V_r^T$$

Für die Menge $V_r \subseteq V$, die in den obigen Beispielen eine beliebige Auswahl von Endpunkten der Session spezifiziert, existieren ebenfalls häufig vorkommende Grundmuster:

- i) V_r enthalte nur Endpunkte mit mindestens einer Verbindung. Berechtigungen sind damit z. B. auf die aktiven Teilnehmer einer Konferenz einschränkbar:

$$V_r \subseteq M^T L$$

- j) V_r enthalte nur unverbundene Endpunkte. Damit sind Berechtigungen zur Ausdehnung von Kommunikationsbeziehungen formulierbar:

$$V_r \subseteq \overline{M^T L}$$

In den meisten Fällen existiert ein Administrator oder „Konferenzmanager“ r_{ad} , der alle Verbindungen beenden darf.

- k) Teilnehmer r_{ad} darf innerhalb der Session alle bestehenden Verbindungen beenden:

$$P_{r_{\text{ad}}}^E \supseteq E; P_{r_{\text{ad}}}^A \supseteq A$$

- l) Im Extremfall darf ein Administrator r_{ad} alles:

$$P_{r_{\text{ad}}}^A = L; P_{r_{\text{ad}}}^E = L$$

8.3.2 Häufig vorkommende Bedingungen und Teilmengen

Aus den Konstellationen für Berechtigungen sind ähnlich wie bei den Ein- und Ausgangsincidenzen Teilmengen konstruierbar, die häufig vorkommende Sachverhalte beschreiben. Es beschreibt beispielsweise innerhalb einer Session $S = (C, V, E, A)$

- a) die Menge der Endpunkte, denen r mindestens eine Lese- bzw. Schreibverbindung hinzufügen kann:

$$(P_r^E \cap \overline{E})^T L \quad \text{bzw.} \quad (P_r^A \cap \overline{A})^T L$$

- b) die Menge der Endpunkte, denen r Lese- bzw. Schreibverbindungen auf neue Kanäle hinzufügen kann:

$$(P_r^E \cap \overline{EL})^T L \quad \text{bzw.} \quad (P_r^A \cap \overline{AL})^T L$$

- c) die Menge der Endpunkte, denen r Lese- bzw. Schreibverbindungen auf bestehende Kanäle hinzufügen kann:

$$(P_r^E \cap \overline{E} \cap EL)^T L \quad \text{bzw.} \quad (P_r^A \cap \overline{A} \cap AL)^T L$$

- d) die Menge der Endpunkte, denen r Lese- bzw. Schreibverbindungen auf bestimmte Kanäle aus C_r hinzufügen kann:

$$(P_r^E \cap \overline{E} \cap C_r)^T L \quad \text{bzw.} \quad (P_r^A \cap \overline{A} \cap C_r)^T L$$

Viele weitere Teilmengen entstehen durch Kombination dieser Beispiele oder durch Verwendung der richtungsunabhängigen Bezeichner P_r und M . Für das Entfernen von Verbindungen lauten die Endpunktemengen nach der Schnittbildung mit E bzw. A analog.

Oftmals ist von besonderem Interesse, welche Verbindungen speziell von einem Endpunkt r aus möglich sind. Insbesondere beschreibt

e) die Menge der Endpunkte, zu denen r neue Kanäle einrichten kann:

$$(P_r^A \cap \bar{A})^\top (P_r^E \cap \bar{E}) r$$

f) die Menge der Endpunkte, von denen r neue Kanäle einrichten kann:

$$(P_r^E \cap \bar{E})^\top (P_r^A \cap \bar{A}) r$$

g) die Menge der Endpunkte, an deren Kommunikation über bestehenden Kanäle r durch Hinzufügen einer Schreib- oder Leseverbindung teilhaben kann:

$$E^\top (P_r^A \cap \bar{A}) r \quad \text{bzw.} \quad (P_r^E \cap \bar{E})^\top A r$$

Mit Hilfe dieser und weiterer Ausdrücke können die notwendigen Berechtigungen aller beteiligten Endpunkte für beliebige Transitionen exakt spezifiziert werden. Bisher wurde davon ausgegangen, daß diese Berechtigungen statisch vorhanden sind. Was noch fehlt ist ein Mechanismus zur *dynamischen Vergabe* von Berechtigungen während einer Dienstnutzung, der im nächsten Kapitel vorgestellt wird.

9 Dynamische Berechtigungen

Bisher sind Berechtigungen für das netzrelevante Verhalten von Diensten ausschließlich unter statischen Gesichtspunkten betrachtet worden. Die Spezifikation komplexerer Dienste erfordert an vielen Stellen eine Möglichkeit zur Änderung von Berechtigungen während der Dienstnutzung. Zum einen können diese aufgrund von Änderungen der Verbindungs- und Sessionstruktur notwendig sein. Beispielsweise sollten nach dem Aufbau einer Verbindung die Löschberechtigungen vergeben oder neue Teilnehmer einer Session mit Anfangsberechtigungen ausgestattet werden. Zum anderen können aus den unterschiedlichsten dienstspezifischen Gründen Übergänge von Berechtigungen notwendig sein, z. B. wenn der Job des Konferenzadministrators von einem Teilnehmer auf einen anderen übergeht.

Leider sind dynamische Berechtigungen ein wenig problematisch in Modellierung und Spezifikation. Ähnlich wie die Änderungen der Verbindungsstruktur, die über die Berechtigungen des letzten Kapitels abgesichert sind, müßten Änderungen der Berechtigungsstruktur durch Berechtigungen einer höheren Stufe kontrolliert werden. Obwohl diese auf ähnliche Weise durchaus zu beschreiben wären, ist die Handhabung von Berechtigungen zur Änderung von Berechtigungen schon allein wegen der quadratisch wachsenden Anzahl unpraktisch und fehleranfällig.

In den folgenden Abschnitten ist erläutert, wie die meisten Aspekte dynamischer Berechtigungen in das Modell aufgenommen werden können, *ohne* die Nachteile von Meta-Berechtigungen in Kauf nehmen zu müssen. Das Vorgehen beruht darauf, notwendige Änderungen der Berechtigungen bereits während der Spezifikation eines Dienstes in den Nachbedingungen der Transitionen fest vorzugeben.

Die Berechtigungsanpassungen sind in zwei Gruppen unterteilt: Allgemeine und spezielle Berechtigungsanpassungen. Während die allgemeine Berechtigungsanpassung fester Bestandteil aller Instanzen der Standardtransition ist, variieren die speziellen Berechtigungsanpassungen mit den dienstspezifischen Instantiierungen. Die Standardtransition zur Modifikation der Verbindungsstruktur wird in den Abschnitten 9.1 und 9.2 um allgemeine und spezielle Anpassungen erweitert, die Standardtransition zur Modifikation der Sessionstruktur in Abschnitt 9.2.3 nur mit speziellen Anpassungen.

9.1 Allgemeine Berechtigungsanpassung in Transitionen der Verbindungsstruktur

Zwischen dem Zustand der Verbindungsstruktur einer Session und einem System von Berechtigungen zur Regelung von Änderungen dieser Verbindungsstruktur ist stets eine gewisse Konsistenz notwendig. Berechtigungen zum Anlegen einer bestimmten Verbindung sind nur solange eine sinnvolle Größe, wie dieser Kanal nicht existiert. Umgekehrt gilt das gleiche für den Abbau einer Verbindung. Um die Konsistenz des Gesamtsystems zu erhalten, sind somit an den Übergängen von einem Zustand der Verbindungsstruktur zu einem anderen konsistenzerhaltende Anpassungen der Berechtigungen notwendig.

In der hier gewählten Modellierung, in der eine Berechtigung die *Änderung* einer Inzidenz ermöglicht, zeigt sich dieses Problem bei einem Zustandsübergang der Verbindungsstruktur zwar nicht in einer verletzten Konsistenz des Gesamtsystems, dafür aber in einer umgekehrten Bedeutung der Berechtigungen. Alle Endpunkte einer Session, die z. B. um Aufbau einer bestimmten Verbindung berechtigt sind, hätten ohne eine Anpassung mit der Existenz der

Verbindung automatisch die Berechtigung für den Abbau. Da ein solches Standardverhalten in den meisten Fällen unerwünscht ist, muß auch bei der hier gewählten Modellierung eine Anpassung der Berechtigungen erfolgen. Eine solche Anpassung sollte unabhängig von der aktuellen Änderung des Systems sein, so daß sie *automatisch* in *jeder* Instanz der Standardtransition zur Modifikation der Verbindungsstruktur ausgeführt werden kann. Der geeignete Mechanismus dafür ist eine weitere Nachbedingung als fester Bestandteil der Standardtransition.

Die Strategie für die allgemeine Anpassungen von Berechtigungen sollte so universell und einfach wie möglich sein, da die Grundkonsistenz des Systems durch Berechtigungen über Änderungen bereits gegeben ist. Bezüge auf bestimmte Endpunkte oder die Richtung einer Änderung sind dabei ungünstig. Außerdem ist für große Dienstinstanzen ein restriktiveres Standardverhalten ideal, das so wenig Berechtigungen wie möglich vergibt. Folgendes Verfahren erfüllt die Anforderungen an eine dienstunabhängige Berechtigungsanpassung auf sehr einfache Weise:

Definition: Strategie zur automatischen Anpassung von Berechtigungen

Nach einem Zustandsübergang der Verbindungsstruktur werden die Berechtigungen aller Endpunkte der Session über sämtliche veränderten Inzidenzen gelöscht.

Diese Strategie hat mehrere Vorteile: Nach einer Änderung hat zunächst kein Endpunkt die Berechtigung zu weiteren Änderungen der betroffenen Inzidenzen. Weiterhin werden immer nur Berechtigungen entfernt und nie hinzugefügt. Inkonsistenzen oder Zyklen können durch dieses Standardverhalten unabhängig von der Richtung der Änderung nicht auftreten.

Die Einbettung in die Standardtransition zur Modifikation der Verbindungsstruktur basiert auf der bisher vorliegenden Standardtransition:

\mathcal{T}^{EA} :

AUSGANGSZUSTAND

$$\text{perm}_{\text{pre}}(\text{T}_{\text{pre}}^{\text{EA}}(E_S, A_S)(P_{r,S}^E, P_{r,S}^A) \wedge \text{T}_{\text{pre}}^{\text{EA}}(E_S, A_S) /$$

$$E'_S, A'_S = \text{corr}(\text{T}^{\text{EA}}(E_S, A_S))$$

FOLGEZUSTAND

Die relevante Zustandsänderung ergibt sich aus der symmetrischen Differenz zwischen dem Zustand vor der Transition und nach Anwendung der Instantiierung $t : \text{T}^{\text{EA}}$ und der Korrektur der partiellen Kanäle:

$$E_S, A_S \oplus \text{corr}(t(E_S, A_S))$$

Während eine mögliche Korrektur der partiellen Kanäle für die Berechtigungsprüfung irrelevant war, müssen für die Anpassung der Berechtigungen *alle* Veränderungen berücksichtigt werden. Die Nachbedingung zur allgemeinen Anpassung der Berechtigungen aller Endpunkte einer Session lautet nun:

Definition: Abbildung zur allgemeinen Anpassung von Berechtigungen – pa_{aut}

Die Änderung der Verbindungsstruktur einer Session $S = (C_S, V_S, E_S, A_S)$, initiiert durch eine Abbildung $t : T^{\text{EA}}$ verursacht für jeden Endpunkt $r \in V_S$ folgende Anpassung der Berechtigungsstruktur:

$$\text{pa}_{\text{aut}} : T^{\text{EA}} \longrightarrow (C_S \times V_S) \times (C_S \times V_S) \longrightarrow (C_S \times V_S) \times (C_S \times V_S) \longrightarrow (C_S \times V_S) \times (C_S \times V_S)$$

$$\text{pa}_{\text{aut}}(t)(E_S, A_S)(P_{r,S}^E, P_{r,S}^A) = P_{r,S}^E, P_{r,S}^A \setminus (E_S, A_S \oplus \text{corr}(t(E_S, A_S)))$$

Jedem Endpunkt $r \in V_S$ wird dadurch die Berechtigung zur erneuten Änderung der soeben geänderten Inzidenzen entzogen.

Die Abbildung pa_{aut} wird als fester Bestandteil in die Nachbedingung der Standardtransition zur Modifikation der Verbindungsstruktur aufgenommen. Die (zum letzten Mal vorläufige) Standardtransition lautet nun:

T^{EA} :

AUSGANGSZUSTAND

$$\text{perm}_{\text{pre}}(T_{\text{pre}}^{\text{EA}})(E_S, A_S)(P_{r,S}^E, P_{r,S}^A) \wedge T_{\text{pre}}^{\text{EA}}(E_S, A_S) /$$

$$E'_S, A'_S = \text{corr}(T^{\text{EA}}(E_S, A_S)) \wedge$$

$$\bigwedge_{r \in V_S} P_{r,S}^E, P_{r,S}^A = \text{pa}_{\text{aut}}(T^{\text{EA}})(E_S, A_S)(P_{r,S}^E, P_{r,S}^A)$$

FOLGEZUSTAND

9.2 Spezielle Berechtigungsanpassungen in Transitionen

Im letzten Abschnitt 9.1 wurde eine Abbildung in der Nachbedingung von Standardtransitionen verwendet, um ein sicheres, stets gleiches Grundverhalten des Berechtigungssystems bei Änderungen der Verbindungsstruktur zu garantieren. In diesem Kapitel wird dasselbe Prinzip für *spezielle, dienstspezifische* Anpassungen von Berechtigungen verwendet. Beide Standardtransitionen werden dazu in der Nachbedingung mit einer Signatur versehen, die bei Instantiierung der Transition mit einer Abbildung ausgefüllt wird.

Während das Prinzip der speziellen Berechtigungsanpassungen recht einfach ist, sind seine Anwendungsmöglichkeiten sehr zahlreich. Der Definition des nächsten Abschnitts schließen sich daher zwei weitere Kapitel mit Anwendungen und Beispielen an.

9.2.1 Grundlage der speziellen Berechtigungsanpassungen

Bei vielen Aktionen innerhalb eines Dienstes, die eine Änderung in der Verbindungsstruktur verursachen, sind die Auswirkungen auf die Berechtigungsstruktur schon zur Dienstspezifikation bekannt: Wer soll über einen neuen Kanal verfügen oder Teilnehmer hinzunehmen können? Wie müssen Rechte eines Administrators ausgeweitet werden? Welche Auswirkungen hat das Zusammenlegen von Kanälen, usw.?

Für die meisten Modifikationen der Berechtigungsstruktur ist kennzeichnend, daß sie mit den Veränderungen der Verbindungsstruktur in Beziehung stehen. Die Anforderung eines Dienstes könnte beispielsweise lauten, daß nach einer Transition, die eine neue Verbindung anlegt, alle inzidierenden Endpunkte des Kanals berechtigt sein sollen, ihre Beteiligung wieder zu löschen, während nur der Initiator weitere Endpunkte hinzufügen kann. Nach einer löschenden Transition könnte notwendig sein, die Berechtigungen für den erneuten Aufbau zu verteilen. Die Vorgabe von Berechtigungsänderungen in Transitionen gestattet für die meisten Dienste einen hinreichend flexiblen Umgang mit dynamischen Berechtigungen, ohne daß ein universelles Berechtigungskonzept höherer Stufe notwendig ist.

Wie schon bei den Abbildungen zur Modifikation der Verbindungsstruktur ist nur die Grundsignatur vorgegeben, die ein Paar von Berechtigungen auf sich selbst abbildet. Konkrete Instantiierungen können durch Currying weitere Parameter verwenden. Die Signatur PA (von *permission adaptation*) dieser Abbildungen lautet wie folgt:

Definition: Signatur der Abbildung zur speziellen Anpassung von Berechtigungen – PA

$$PA : (\mathcal{C} \times \mathcal{V}) \times (\mathcal{C} \times \mathcal{V}) \longrightarrow (\mathcal{C} \times \mathcal{V}) \times (\mathcal{C} \times \mathcal{V})$$

Die Instantiierungen bilden jeweils ein Paar von Berechtigungen auf die modifizierten Berechtigungen ab.

Die Signatur PA wird in die Nachbedingung der Standardtransitionen zur Modifikation der Verbindungs- und Sessionstruktur aufgenommen:

\mathcal{T}^{EA} :

AUSGANGSZUSTAND

$$\begin{aligned} & \text{perm}_{\text{pre}}(\text{T}_{\text{pre}}^{\text{EA}}(E_S, A_S)(P_{r,S}^E, P_{r,S}^A) \wedge \text{T}_{\text{pre}}^{\text{EA}}(E_S, A_S) / \\ & E'_S, A'_S = \text{corr}(\text{T}^{\text{EA}}(E_S, A_S)) \wedge \\ & \bigwedge_{r \in V_S} P_{r,S}^E, P_{r,S}^A = \text{PA}(\text{pa}_{\text{aut}}(\text{T}^{\text{EA}}(E_S, A_S)(P_{r,S}^E, P_{r,S}^A))) \end{aligned}$$

FOLGEZUSTAND

Während in \mathcal{T}^{EA} die speziellen Modifikationen der Berechtigungsstruktur auf eine Session S beschränkt sind, umfassen sie in \mathcal{T}^{S} alle Endpunkte. Der Index S ist daher nicht notwendig:

\mathcal{T}^{S} :

AUSGANGSZUSTAND

$$\text{T}_{\text{pre}}^{\text{S}}(S) / S' = \text{T}^{\text{S}}(S) \wedge \bigwedge_{r \in \mathcal{V}} P_r^E, P_r^A = \text{PA}(P_r^E, P_r^A)$$

FOLGEZUSTAND

Die Standardtransitionen \mathcal{T}^{EA} und \mathcal{T}^{S} sind hiermit vollständig. (Im nächsten Kapitel werden noch einmal alle Bestandteile zusammengefaßt.)

Da die speziellen Berechtigungsanpassungen stets dienstspezifisch sind, werden auch hier oft weitere Parameter W benötigt. Die Instantiierung in der Standardtransition erfolgt wiederum durch Curryng:

$$PA = \text{pa}(W) \quad \text{mit} \quad \text{pa}(W) : PA$$

Die Parameter in W können beispielsweise den Ausgangszustand der Verbindungsstruktur und die Instanz aus T^{EA} enthalten, so daß der geänderte und korrigierte Zustand als Grundlage der dienstspezifischen Berechtigungsanpassung dienen kann. In der Regel werden Berechtigungen entweder entzogen oder gewährt. Soll beides in einer dienstspezifischen Anpassung geschehen, ist auf Disjunktheit der Wertebereiche zu achten.

9.2.2 Spezielle Berechtigungsanpassungen in Transitionen der Verbindungsstruktur

Die häufig vorkommenden Änderungen dienstspezifischer Berechtigungsanpassungen sind grob in drei Kategorien einzuteilen:

- konstante Anpassungen
- endpunktabhängige Anpassungen
- selektive Anpassungen

Jede Kategorie repräsentiert einen typischen Anwendungsbereich. Bevor in den nächsten Abschnitten Beispiele dazu folgen, müssen noch einige Bezeichner vereinbart werden.

Eine Instanz der Signatur PA bildet die Berechtigungsrelationen eines jeden Endpunktes der Session unter Verwendung weiterer Parameter W auf einen Folgezustand ab. In den meisten Fällen genügt die Änderung der Verbindungsstruktur als Parameter W . Wie schon bei der Berechtigungsprüfung ist diese durch ein $t : T^{\text{EA}}$, die Ausgangsstruktur E_S, A_S und die Anwendung von corr gegeben. Der Endzustand dieses Vorgangs ist gegeben durch

$$E', A' = \text{corr}(t(E_S, A_S))$$

Von besonderem Interesse sind hier die gerichteten Änderungen, für die folgende *Hilfsvariable* vergeben werden:

$$\begin{aligned} E_S^+, A_S^+ &=_{\text{def}} E', A' \setminus E_S, A_S && \text{neue Verbindungen} \\ E_S^-, A_S^- &=_{\text{def}} E_S, A_S \setminus E', A' && \text{entfallende Verbindungen} \end{aligned}$$

Darüber hinaus seien für ein erleichtertes Verständnis der Formeln in den folgenden Beispielen zwei wichtige Konzepte hier noch einmal wiederholt:

- Unterschied Verbindung/Kanal: Kanäle repräsentieren als Objekte der Menge \mathcal{C} die Übertragungswege eines Netzes. Nur die Inzidenz zwischen einem Kanal und einem Endpunkt wird als Verbindung bezeichnet.
- Multiplikation mit L : Die Multiplikation einer Inzidenz $(E, A, M \subseteq \mathcal{C} \times \mathcal{V})$ mit L ergibt die Menge der verbundenen Kanäle. Beispiel:

$$\begin{array}{c} \begin{matrix} r & s & t \\ a & \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\ b \\ c \end{matrix} \end{array} L = \begin{array}{c} \begin{matrix} r & s & t \\ a & \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \\ b \\ c \end{matrix} \end{array}$$

Die einfachste Kategorie besteht aus **konstanten Anpassungen**, die auf zwei Vorgänge beschränkt sind: Ausgehend von der Änderung der Verbindungsstruktur kommen für alle Endpunkte einer Session dieselben Berechtigungen hinzu, bzw. es werden dieselben Berechtigungen entzogen. Bei Mischformen ist auf Widerspruchsfreiheit zu achten.

Beispiele: Konstante, spezielle Anpassungen von Berechtigungen.

(B1) Jeder Endpunkt soll berechtigt werden, nach einer Transition mit der Abbildung t alle neu hinzugekommenen Verbindungen der Session zu beenden.

Dazu erhält jeder Endpunkt r der Session S für jede neue Inzidenz aus A^+ und E^+ einen positiven Eintrag in seinen Berechtigungsmatrizen. Dazu gelte

$$\text{pa}_1(t)(E_S, A_S) : \text{PA}$$

mit

$$\text{pa}_1(t)(E_S, A_S)(P_{r,S}^E, P_{r,S}^A) = P_{r,S}^E \cup E^+, P_{r,S}^A \cup A^+$$

(B2) Jeder Endpunkt soll berechtigt werden, nach einer Transition mit der Abbildung t neu hinzugekommene und die bereits bestehenden Verbindungen eines Kanals zu beenden.

In diesem Fall bildet die Gesamtmenge aller möglichen Löschberechtigungen E'_S (bzw. A'_S) die Ausgangsbasis, die eingeschränkt wird auf die von der Änderung betroffene Kanalmenge E^+L (bzw. A^+L):

$$\text{pa}_2(t)(E_S, A_S) : \text{PA}$$

$$\text{pa}_2(t)(E_S, A_S)(P_{r,S}^E, P_{r,S}^A) = P_{r,S}^E \cup (E^+L \cap E'_S), P_{r,S}^A \cup (A^+L \cap A'_S)$$

□

Die dienstspezifischen Anpassungen von Berechtigungen nach dem Beenden von Verbindungen verlaufen analog. Jedoch sind sinnvolle Beispiele dafür weniger zahlreich, da mit dem Beenden einer Verbindung nur in Ausnahmefällen neue Berechtigungen entstehen.

In vielen Fällen ist es nicht ausreichend, an allen Endpunkten der Session dieselben Anpassungen vorzunehmen. Die nächste Kategorie dienstspezifischer Anpassungen umfaßt daher **endpunktabhängige Anpassungen**. Hierzu wird über die gebundene Variable r auf die Identität eines Endpunktes Bezug genommen.

Beispiele: Endpunktabhängige, spezielle Anpassungen von Berechtigungen.

(B3) Jeder Endpunkt soll berechtigt werden, nach einer Transition mit der Abbildung t neu zu sich selbst hinzugekommene Verbindungen zu beenden.

Jeder Endpunkt r einer Session S erhält für jedes Element aus E^+ und A^+ das in der Spalte r^\top liegt, einen positiven Eintrag in den Berechtigungsmatrizen:

$$\text{pa}_3(t)(E_S, A_S) : \text{PA}$$

$$\text{pa}_3(t)(E_S, A_S)(P_{r,S}^E, P_{r,S}^A) = P_{r,S}^E \cup (E^+ \cap r^\top), P_{r,S}^A \cup (A^+ \cap r^\top)$$

(B4) Jeder Endpunkt soll berechtigt werden, nach einer Transition mit der Abbildung t neu hinzugekommene und bereits bestehende Verbindungen zu sich selbst zu beenden.

Hier erhält ein Endpunkt im Gegensatz zu B3 auch dann die Löschberechtigung über eigene Verbindungen zu einem Kanal, wenn diesem an anderer Stelle Verbindungen hinzugefügt werden.

$$\begin{aligned} \text{pa}_4(t)(E_S, A_S) &: \text{PA} \\ \text{pa}_4(t)(E_S, A_S)(P_{r,S}^E, P_{r,S}^A) &= P_{r,S}^E \cup (E^+ L \cap E'_S \cap r^{\top}), P_{r,S}^A \cup (A^+ L \cap A'_S \cap r^{\top}) \end{aligned} \quad \square$$

Anpassungen können natürlich auch hier an den Wegfall von Verbindungen gebunden sein. Im nächsten Beispiel kommt es nicht nur auf die Änderung, sondern auch auf den vorherigen Zustand der Inzidenzen an:

- (B5) Alle Endpunkte, die nach einer Transition mit der Abbildung t ihre letzte Inzidenz (lesend oder schreibend) zu einem Kanal verlieren, sollen alle Berechtigungen abgeben, die sie noch über andere Inzidenzen dieses Kanals besitzen. Ein solches Verhalten ist z. B. dann sinnvoll, wenn ein Teilnehmer nach einer Transition gar keine Verbindung mehr zu einem Konferenzkanal hat.

Dieser Fall tritt auf, wenn nur eine Inzidenz (lesend oder schreibend) vorhanden war und diese aufgegeben wird oder wenn beide Inzidenzen vorhanden sind und beide aufgegeben werden.

Der Ausdruck zur Beschreibung dieses Sachverhalts kann in einem Karnaugh-Veitch-Diagramm leicht verdeutlicht werden. Der (boolesche) Zustand der Inzidenzen eines Endpunktes sei durch e, a gegeben, deren Änderung durch e^-, a^- . Obige Bedingung (im Diagramm durch 1 gekennzeichnet) ergibt sich dann zu:

$$\begin{array}{c} \overline{a^-} \\ \overline{a} \\ \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 1 & 1 & 1 \\ \hline 0 & 1 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 1 & 0 & 0 \\ \hline \end{array} \Big| \begin{array}{l} e \\ e^- \end{array} \end{array} = \overline{(a \cap \overline{a^-}) \cup (e \cap \overline{e^-}) \cup (\overline{a} \cap \overline{e^-})} \\ = (\overline{a} \cup a^-) \cap (\overline{e} \cup e^-) \cap (a \cup e)$$

Nach Übertragung in die Relationenschreibweise sind dadurch die Stellen der Inzidenzmatrizen spezifiziert, an denen die *letzte* Verbindung eines Kanals aufgegeben wird. Zur Anpassung werden im Falle eines davon betroffenen Endpunktes (Schnitt mit r^{\top}) alle anderen Berechtigungen (Multiplikation mit L) zu diesen Kanälen gelöscht:

$$\begin{aligned} \text{pa}_5(t)(E_S, A_S) &: \text{PA} \\ \text{pa}_5(t)(E_S, A_S)(P_{r,S}^E, P_{r,S}^A) &= P_{r,S}^E \setminus E^*, P_{r,S}^A \setminus A^* \end{aligned}$$

wobei

$$E^* = A^* = (((\overline{A_S} \cup A^-) \cap (\overline{E_S} \cup E^-) \cap (A_S \cup E_S)) \cap r^{\top}) L$$

□

In allen bisherigen Beispielen betreffen dienstspezifische Anpassungen der Berechtigungen jeweils *alle* Endpunkte $r \in V_S$ einer Session. Oftmals ist es notwendig, den Wirkungsbereich einer beliebigen Abbildung $P \rightarrow P^*$ mit einer **selektiven Anpassung** auf bestimmte Endpunkte $V_E \subseteq V_S$ zu beschränken. Dies kann beispielsweise durch eine Fallunterscheidung geschehen:

$$\text{pa}(t)(E_S, A_S)(P_{r,S}^E, P_{r,S}^A) = \begin{cases} P_{r,S}^{*E}, P_{r,S}^{*A} & \text{falls } r \in V_E \\ P_{r,S}^E, P_{r,S}^A & \text{sonst} \end{cases}$$

Beispiel: Selektive, spezielle Anpassung von Berechtigungen.

(B6) Nur Endpunkte mit mindestens einer Verbindung innerhalb der Session sollen nach einer Transition mit der Abbildung t neu hinzugekommene Verbindungen beenden können.

Dies ist eine Variation des ersten Beispiels, bei dem *jeder* Endpunkt von der Anpassung betroffen war. Endpunkte mit mindestens einer Verbindung sind in $M_S^{\top L}$ enthalten ($M'_S = E'_S \cup A'_S$).

$$\text{pa}_6(t)(E_S, A_S) : \text{PA}$$

$$\text{pa}_6(t)(E_S, A_S)(P_{r,S}^E, P_{r,S}^A) = \begin{cases} P_{r,S}^E \cup E^+, P_{r,S}^A \cup A^+ & \text{falls } r \in M_S^{\top L} \\ P_{r,S}^E, P_{r,S}^A & \text{sonst} \end{cases}$$

Die Anpassung der Berechtigungen über Lese- und Schreibzugriffe können auch unterschiedlich sein, z. B. getrennt für Knoten, die mindestens eine Lese- und solche, die mindestens eine Schreibbeteiligung besitzen ($r \in E_S^{\top L}$ bzw. $r \in A_S^{\top L}$).

□

In den bisherigen Beispielen ist nur von der Änderung der Verbindungsstruktur als Parameter und der gebundenen Variablen r Gebrauch gemacht worden. Für umfangreichere Anpassungen der Berechtigungen können in einer Instantiierung viele weitere dienstunabhängige Parameter für W verwendet werden. Dies entspricht einer Erweiterung des Zustandsraumes.

$$\text{PA} = \text{pa}(W) : \text{PA}$$

Denkbar sind unter anderem Parameter für

- den Urheberknoten r_u einer Veränderung. Oft haben die Initiatoren von Verbindungen einen besonderen Status.
- Kostenstellen $r_c^{\$}$ von Kanälen c . Oft hat derjenige, der bezahlt, erweiterte Berechtigungen.
- bestimmte Kanal- und Endpunktemengen, die während Transaktionen der Sessionstruktur entstehen.

Darüber hinaus könnten freie Variablen definiert werden, bei denen kein ursächlicher und dienstunabhängiger Zusammenhang zwischen einer Transition und der Belegung besteht. Damit können beliebige Kanäle und Endpunkte in den optionalen Anpassungen referenziert werden, beispielsweise

- Endpunkte, z. B. r_{ad} , mit Administrator- oder sonstigen statischen Eigenschaften innerhalb eines Dienstes.
- bestimmte Kanäle, die die Hauptverbindung einer Konferenz realisieren.

- Endpunktemengen mit verschiedenen Eigenschaften, die etwa bei den optionalen Anpassungen verschieden behandelt werden sollen.

Weiterhin können besondere Teilmengen (etwa aus Abschnitt 6.6) in selektiven Anpassungen verwendet werden, z. B.:

- Direkt von einer Verbindungsänderung betroffene Endpunkte: $E^{+\top}L$, $A^{+\top}L$ bzw. $E^{-\top}L$, $A^{-\top}L$.
- Endpunkte, die zu einem von einer Änderung betroffenen Kanal inzidieren: $E^{\top}E^+L$, $A^{\top}A^+L$ bzw. $E^{\top}E^-L$, $A^{\top}A^-L$.
- Mit Kombinationen daraus sind beliebige weitere Konstellationen konstruierbar.

Beispiele: Weitere spezielle Anpassungen von Berechtigungen.

(B7) Jeder inzidierende Endpunkt eines Kanals der durch einer Transition mit der Abbildung t um eine Verbindung erweitert wird, erhält die Löschrchte über alle neuen Verbindungen dieses Kanals.

Hierfür werden die Löschberechtigungen für neue Verbindungen auf solche Kanäle beschränkt, die zu r bzw. s inzidieren ($M'_S r$ bzw. $M'_S s$) und nur die ebenfalls dazu inzidierenden Endpunkte selektiert.

$$\begin{aligned} \text{pa}_7(t)(E_S, A_S) &: \text{PA} \\ \text{pa}_7(t)(E_S, A_S)(P_{r,S}^E, P_{s,S}^A) &= \\ &= \begin{cases} P_{r,S}^E \cup (M'_S r \cap E^+), P_{s,S}^A \cup (M'_S s \cap A^+) & \text{falls } r \in E_S^{\top}E^+L, s \in A_S^{\top}A^+L \\ P_{r,S}^E, P_{r,S}^A & \text{sonst} \end{cases} \end{aligned}$$

(B8) Ein Kanal soll nach einer Transition mit der Abbildung t exklusiv bleiben.

Nur die beteiligten Endpunkte sollen neue Endpunkte hinzufügen können. Hierzu sind zwei Anpassungen nötig – eine entzieht Berechtigungen, eine gewährt neue.

$$\begin{aligned} \text{pa}_8(t)(E_S, A_S) &: \text{PA} \\ \text{pa}_8(t)(E_S, A_S)(P_{r,S}^E, P_{s,S}^A) &= \begin{cases} P_{r,S}^E \setminus E^+L, P_{s,S}^A \setminus A^+L & \text{falls } r \in \overline{E^{\top}L}, s \in \overline{A^{\top}L} \\ P_{r,S}^E \cup E^+L, P_{s,S}^A \cup A^+L & \text{falls } r \in E^{\top}L, s \in A^{\top}L \\ P_{r,S}^E, P_{r,S}^A & \text{sonst} \end{cases} \end{aligned}$$

Hier beeinflussen sich Entzug und Gewährung von Berechtigungen nicht, da sie bei der Selektion der Endpunkte jeweils auf dem Komplement der Teilmengen arbeiten.

Im folgenden Beispiel wird eine freie Variable verwendet. Eine Variable wird als frei bezeichnet, wenn sie nicht an eine Zustandsänderung gebunden werden kann.

(B9) Ein besonders ausgezeichneter Endpunkt r^* soll nach einer Transition mit der Abbildung t mit Löschrchte über alle neuen Verbindungen ausgestattet werden.

Im Unterschied zu B2 muß hier r^* nicht an den neuen Zugriffen beteiligt sein.

$$\text{pa}_9(t, r^*)(E_S, A_S) \in \text{PA}$$

$$\text{pa}_9(t, r^*)(E_S, A_S)(P_{r,S}^E, P_{r,S}^A) = \begin{cases} P_{r,S}^E \cup E^+, P_{r,S}^A \cup A^+ & \text{falls } r = r^* \\ P_{r,S}^E, P_{r,S}^A & \text{sonst} \end{cases}$$

Der Endpunkt r^* kann beispielsweise als Administrator einer Konferenz interpretiert werden. □

Eine Kombination aus B7 und B9 wäre beispielsweise reihenfolgeabhängig, da r^* in $\overline{E^+TL}$ oder $\overline{A^+TL}$ enthalten sein kann. In diesen Fällen müssen dienstspezifische Berechtigungsanpassungen mit einer Reihenfolge versehen werden.

9.2.3 Spezielle Berechtigungsanpassungen in Transitionen der Sessionstruktur

Die Transitionen der Sessionstruktur unterscheiden sich hinsichtlich der speziellen Berechtigungsanpassungen von den Transitionen der Verbindungsstruktur. Zunächst ist kein generisches Berechtigungskonzept für diese Transitionen vorgesehen, da das Konzept einer Session als Teilstruktur des Gesamtsystems auf sehr unterschiedliche Weisen interpretiert werden kann (siehe Kap. 6.5.2). Diese Transitionen unterliegen somit keiner Berechtigungsprüfung; diese muß außerhalb des Modells bereitgestellt werden. Aus demselben Grund enthält die Transition \mathcal{T}^S im Gegensatz zu \mathcal{T}^{EA} keine allgemeine Berechtigungsanpassung.

Für spezielle Berechtigungsanpassungen in \mathcal{T}^S gibt es eine Reihe von Anwendungen. Es gelten jedoch einige Einschränkungen. Zunächst entfällt die Beschränkung des Wirkungsbereiches einer Abbildung auf eine Session, da Abbildungen über \mathcal{S} (theoretisch) die Gesamtheit aller Sessions betreffen können. Darüber hinaus bestehen bei Abbildungen der Form

$$\begin{aligned} t : \mathcal{P}(\mathcal{S}) &\longrightarrow \mathcal{P}(\mathcal{S}) \\ t(\mathcal{S}) &= \mathcal{S}' \end{aligned}$$

sehr viel mehr Freiheitsgrade als in Abbildungen der Verbindungsstruktur. Der Übergang von \mathcal{S} nach \mathcal{S}' läßt zudem deutlich weniger Rückschlüsse auf die Art der Abbildung zu.

Die speziellen Berechtigungsanpassungen in Transitionen der Sessionstruktur sind aus den genannten Gründen nicht im gleichen Maße generisch möglich, wie dies in den Transitionen der Verbindungsstruktur der Fall ist. Abbildung und Anpassungsfunktion hängen stärker voneinander ab. Die spezielle Anpassung in der Standardtransition basiert daher stets auf Abbildungen mit weiteren Parametern W , die durch Currying in die geforderte Signatur überführt werden:

$$\text{pa}(W) : \text{PA}$$

Für Transitionen, in denen keine spezielle Anpassung der Berechtigungen notwendig ist, kann die Identität verwendet werden.

$$\begin{aligned} \text{id} &: \text{PA} \\ \text{id}(P^E, P^A) &= P^E, P^A \end{aligned}$$

Beispiel: Spezielle Berechtigungsanpassung in \mathcal{T}^S

Das Erweitern einer Session ist eine sehr häufig benötigte Operation, in der neu hinzugekommene Endpunkte oder Verbindungen mit Anfangsberechtigungen versehen werden müssen. In einer Instanz von \mathcal{T}^S soll jeder Endpunkt $r \in V^*$, der neu in eine Session aufgenommen wird, mit Berechtigungen über den unbenutzten Kanälen in \overline{ML} dieser Session ausgestattet werden.

AUSGANGSZUSTAND

$$t_{\text{pre}}(S) / S' = t(S) \wedge \bigwedge_{r \in \mathcal{V}} P_r^E, P_r^A = \text{pa}(V^*)(P_r^E, P_r^A)$$

FOLGEZUSTAND

Die spezielle Berechtigungsanpassung geschieht in einer Abbildung der Form:

$\text{pa}(\mathcal{V}) : \text{PA}$

$$\text{pa}(V^*)(P_r^E, P_r^A) = \begin{cases} P_r^E \cup \overline{M_{S'_j}L}, & P_r^A \cup \overline{M_{S'_j}L} & \text{falls } r \in V^* \\ P_r^E, & P_r^A & \text{sonst} \end{cases}$$

P_r^E und P_r^A kennzeichnen die gesamte Berechtigungsrelation von r , die nicht wie in $P_{r,S}^E$ und $P_{r,S}^A$ auf eine Session S beschränkt ist.

10 Spezifikation von Diensten

In den bisherigen Kapiteln wurde nach sorgfältigen Abstraktionen die relationale Modellierung von Verbindungsstrukturen in einem Detaillierungsgrad dargelegt, der für ein formales System notwendig ist. Bevor in Kap. 10.3 ein Beispiel für eine Spezifikation eines netzrelevanten Dienstverhaltens gegeben wird, sind in den unter Kap. 10.1 alle Elemente des Formalismus noch einmal zusammengefaßt.

In Kap. 10.2 wird der reine Formalismus mit weiteren Konzepten angereichert, die die praktische Anwendung zur Spezifikation erleichtern. Dazu gehört die anwendungsspezifische Erweiterung des Zustandsraumes und Regeln zur Instantiierung und Notation der Transitionen.

10.1 Zusammenfassung der Bausteine

Der Formalismus zur Modellierung des netzrelevanten Verhaltens von Telekommunikationsdiensten wird von zwei Säulen getragen:

- einer *relationalen Beschreibung* der Bestandteile des Systems. Diese umfassen Verbindungsstrukturen, Sessions und Berechtigungen.
- einem System von Transitionen, das die Spezifikation von *dynamischen Strukturen* durch Zustandsübergänge der relational beschriebenen Bestandteile erlaubt.

Beide Elemente mit den verwendeten Bezeichnern und die bisher definierten Abbildungen werden in den folgenden beiden Abschnitten noch einmal aufgeführt.

10.1.1 Relationale Beschreibung des Systems

Das Kernstück der Modellierung des netzrelevanten Verhaltens von Kommunikationsdiensten bilden Relationen zwischen den Mengen

\mathcal{C} der Kanäle und
 \mathcal{V} der Endpunkte.

(Siehe Kap. 6.4.) Kommunikationsverbindungen werden stets durch zwei mit E und A bezeichneten Relationen des Typs $\mathcal{C} \times \mathcal{V}$ beschrieben:

$E \subseteq \mathcal{C} \times \mathcal{V}$ beschreiben Eingangsinzidenzen und
 $A \subseteq \mathcal{C} \times \mathcal{V}$ Ausgangsinzidenzen zwischen Kanal und Endpunkt.

Gilt für ein Paar $ar^T \subseteq E$ (oder $(a, r) \in E$), so ist Endpunkt r eine Datensenke des Kanals a . Ist $ar^T \subseteq A$, so ist r eine Datenquelle von a . In beiden Fällen besteht eine *Verbindung* zwischen Endpunkt und Kanal.

Die Beschreibung durch gerichtete Inzidenzen erlaubt Kanäle mit beliebigen Verbindungen (1:1, 1:n oder m:n) zu mehreren Endpunkten. Es gelten die Bedingungen für Wohlgeformtheit von *Verbindungsstrukturen* aus Kap. 6.4.2. Die Verwendung von Hyperkanälen erlaubt dabei

eine wesentlich bessere Beschreibung der tatsächlich gewünschten Verbindungsstruktur, ohne auf die zugrundeliegenden Topologien der Realisierung eingehen zu müssen.

Der imaginäre Verbindungsgraph G des Gesamtsystems, der im theoretischen Sinne das gesamte, weltweite Kommunikationsnetz umfaßt, ist gegeben durch

$$G = (\mathcal{C}, \mathcal{V}, E_G, A_G)$$

Dieses Gesamtsystem ist in der Regel in viele, lokale Teilsysteme aufgeteilt: die *Sessions*. Eine Session S (siehe Abschnitt 6.5) ist ein Teiluntergraph von G , der aus zwei Teilmengen gebildet wird:

$$\begin{aligned} C_S &\subseteq \mathcal{C} && \text{Kanäle der Session } S \text{ und} \\ V_S &\subseteq \mathcal{V} && \text{Endpunkte der Session } S \end{aligned}$$

Über diese beiden Teilmengen sind die Ausschnitte E_S und A_S als Teiluntergraphen von E_G und A_G festgelegt. Die vollständige Angabe einer Session S lautet:

$$\begin{aligned} S &= (C_S, V_S, E_S, A_S) \quad \text{mit} \\ E_S &\subseteq C_S \times V_S \\ A_S &\subseteq C_S \times V_S \end{aligned}$$

Eine Session muß dabei die Bedingungen der Wohlgeformtheit erfüllen (siehe 6.5.2). Erst innerhalb einer Session erhalten die Verbindungen und alle weiteren Konstrukte (z. B. Berechtigungen) eine Bedeutung. Die Menge aller wohlgeformten Sessions wird mit

$$\mathcal{S}$$

bezeichnet. Eine Teilmenge davon

$$\mathbf{S} \subseteq \mathcal{S}$$

beschreibt eine aktuelle Aufteilung des Gesamtsystems in Sessions, die ebenfalls bestimmten Bedingungen der Regularität unterliegt (siehe 6.5.3).

Neben den Verbindungsstrukturen und Sessions existiert mit den *Berechtigungen* ein weiteres dienstunabhängiges Konzept. Jedem Endpunkt $r \in \mathcal{V}$ sind zwei Berechtigungsrelationen

$$\begin{aligned} P_r^E &\subseteq \mathcal{C} \times \mathcal{V} && \text{und} \\ P_r^A &\subseteq \mathcal{C} \times \mathcal{V} \end{aligned}$$

zugeordnet. Die Berechtigungsrelationen werden identisch zu den Inzidenzen durch Bildung von Teiluntergraphen in Sessions S strukturiert:

$$\begin{aligned} P_{r,S}^E &\subseteq C_S \times V_S && \text{und} \\ P_{r,S}^A &\subseteq C_S \times V_S \end{aligned}$$

Einem Endpunkt als Urheber ist die Veränderung der Verbindungsstruktur gestattet, wenn die symmetrische Differenz zwischen Ausgangs- und Folgezustand von E_S und A_S Teilmenge seiner Berechtigungsrelationen $P_{r,S}^E$ und $P_{r,S}^A$ ist.

Berechtigungen über die Modifikation der Sessionstruktur sind nicht Teil der Modellierung.

10.1.2 Dynamische Strukturen

Die Beschreibung des netzrelevanten *Verhaltens* eines Dienstes ist durch Angabe von Zustandsübergängen innerhalb des oben beschriebenen Modells möglich. Prinzipiell können Abbildungen über Relationen auf sehr vielfältige Weise angegeben werden. Um die Spezifikation des Verhaltens von Verbindungsstrukturen jedoch so einfach wie möglich zu gestalten, wird eine bestimmte Form von Transitionen zur Angabe der Zustandsübergänge vorgegeben. Darin sind zudem einige Automatismen und konsistenzerhaltende Operationen als fixer Bestandteil eingebettet, so daß nur noch an wenigen Stellen eine anwendungsspezifische Instantiierung der Transition erfolgen muß.

Es sind zwei Standardtransitionen vorgegeben: Typ \mathcal{T}^{EA} zur Modifikation der Verbindungsstruktur und Typ \mathcal{T}^{S} zur Modifikation der Sessionstruktur. Die Standardtransitionen enthalten jeweils instantiierbare (*var*) und fixe (*fix*) Bestandteile.

Transition des Typs \mathcal{T}^{EA} :

AUSGANGSZUSTAND

$$\begin{aligned} & T_{\text{pre}} \wedge \text{perm}_{\text{pre}}(T_{\text{pre}}^{\text{EA}}(E_S, A_S)(P_{r,S}^{\text{E}}, P_{r,S}^{\text{A}}) \wedge T_{\text{pre}}^{\text{EA}}(E_S, A_S) / \\ & E'_S, A'_S = \text{corr}(T^{\text{EA}}(E_S, A_S)) \wedge \\ & \left(\bigwedge_{r \in V_S} P_{r,S}^{\text{E}}, P_{r,S}^{\text{A}} = \text{PA}(\text{pa}_{\text{aut}}((T^{\text{EA}})(E_S, A_S)(P_{r,S}^{\text{E}}, P_{r,S}^{\text{A}}))) \right) \wedge \\ & T_{\text{post}} \end{aligned}$$

FOLGEZUSTAND

Die Elemente in Vor- und Nachbedingung haben folgende Bedeutung:

Vorbedingung:

<i>var</i>	T_{pre} :	Freie Vorbedingung der Transition über dem gesamten Zustandsraum (siehe Abschnitt 10.2.1)
<i>fix</i>	perm_{pre} :	Prüfung der Berechtigung des Urheberendpunktes abhängig vom Ausgangszustand der Verbindungsstruktur und der vorgesehenen Abbildung T^{EA}
<i>var</i>	$T_{\text{pre}}^{\text{EA}}$:	Prüfung des Definitionsbereichs der vorgesehenen Abbildung

Nachbedingung:

<i>var</i>	T^{EA} :	Abbildung zur Modifikation der Verbindungsstruktur
<i>fix</i>	corr :	Korrektur potentiell auftretender Verletzungen der Wohlgeformtheit abhängig vom Resultat der Abbildung

<i>fix</i>	pa_{aut} :	Allgemeine Berechtigungsanpassung aller Endpunkte auf der Basis der durch die Abbildung erzeugten symmetrischen Differenz zwischen Ausgangs- und Folgezustand
<i>var</i>	PA:	Spezielle, transitionsspezifische Berechtigungsanpassung
<i>var</i>	T_{post} :	Freie Nachbedingung der Transition über dem erweiterten Zustandsraum (siehe Abschnitt 10.2.1)

□

Transition des Typs \mathcal{T}^S :

AUSGANGSZUSTAND

$$\text{T}_{\text{pre}} \wedge \text{T}_{\text{pre}}^S(S) / S' = \text{T}^S(S) \wedge \left(\bigwedge_{r \in \mathcal{V}} P_r^E, P_r^A = \text{PA}(P_r^E, P_r^A) \right) \wedge \text{T}_{\text{post}}$$

FOLGEZUSTAND

Die Elemente in Vor- und Nachbedingung haben folgende Bedeutung:

Vorbedingung:

<i>var</i>	T_{pre} :	Freie Vorbedingung der Transition über dem gesamten Zustandsraum (siehe Abschnitt 10.2.1)
<i>var</i>	T_{pre}^S :	Prüfung des Definitionsbereichs der vorgesehenen Abbildung

Nachbedingung:

<i>var</i>	T^S :	Abbildung zur Modifikation der Sessionstruktur
<i>var</i>	PA:	Spezielle, transitionsspezifische Berechtigungsanpassung
<i>var</i>	T_{post} :	Freie Nachbedingung der Transition über dem erweiterten Zustandsraum (siehe Abschnitt 10.2.1)

□

Eine Transition wird instantiiert, indem die mit *var* gekennzeichneten Bestandteile mit Abbildungen des entsprechenden Typs ausgefüllt werden.

In den Abschnitten 7.2.1 bis 7.2.5 sind einige Beispiele für häufig benötigte Abbildungen des Typs $\text{T}_{\text{pre}}^{\text{EA}}$ bzw. T^{EA} angegeben. Diese lauten:

add_{pre} , add :	Hinzufügen von Verbindungen
rem_{pre} , rem :	Löschen von Verbindungen
mov_{pre} , mov :	Verschieben von Verbindungen
dup_{pre} , dup :	Duplizieren von Kanälen
mrg_{pre} , mrg :	Zusammenfassen von Kanälen
$\text{exsrc}_{\text{pre}}$, exsrc :	Herauslösen einer Quelle eines Kanals
$\text{exsnk}_{\text{pre}}$, exsnk :	Herauslösen einer Senke eines Kanals

Auch von den Abbildungen des Typs T_{pre}^S und T^S sind die wichtigsten Fälle angegeben (Abschnitte 7.4.1 bis 7.4.6):

$\text{screate}_{\text{pre}}$, screate :	Erzeugen einer Session
sdel_{pre} , sdel :	Löschen einer Session
smrg_{pre} , smrg :	Vereinigung zweier Sessions
$\text{ssplit}_{\text{pre}}$, ssplit :	Aufteilen einer Session
sadd_{pre} , sadd :	Erweitern einer Session
srem_{pre} , srem :	Reduktion einer Session

Das Beispiel aus Kap. 10.3 ist mit diesen Abbildungen vollständig spezifizierbar.

10.2 Anwendung zur Spezifikation

Die im letzten Abschnitt zusammengefaßten Elemente der Verbindungsalgebra werden in diesem Abschnitt in eine Methodik zur Spezifikation des Verhaltens von Verbindungsstrukturen eingebettet. Diese umfaßt anwendungsspezifische Erweiterungen des Zustandsraumes und die Versorgung der Transitionen mit aktuellen Parametern sowie ein Schema zur übersichtlichen Notation der Transitionen.

10.2.1 Erweiterung der Transitionen

Folgende Variable, die die Verbindungsstruktur, die Aufteilung in Sessions und die Berechtigungen der Endpunkte beschreiben, bilden die universellen Basiselemente der Verbindungsalgebra:

$$\mathcal{C}, \mathcal{V}, E, A, \mathcal{S}$$

bzw. lokal innerhalb einer Session:

$$S, C_S, V_S, E_S, A_S, P_{r,S}^E, P_{r,S}^A$$

Mit den beiden Standardtransitionen besteht die Möglichkeit zur Beschreibung von Übergängen innerhalb dieses Zustandsraumes.

Für die meisten Anwendungen ist es notwendig, diesen Zustandsraum zu erweitern. Durch zusätzliche, anwendungsspezifische Variable können z. B. besondere Endpunkte (Administratoren), Kanäle, Gruppen oder Parameter bezeichnet werden. Die Elemente des erweiterten Zustandsraumes bilden mit den Basiselementen der Verbindungsalgebra den *gesamten* Zustandsraum.

Zur Formulierung von Zustandsübergängen dieser Variablen stehen die freien Vor- und Nachbedingungen der Standardtransitionen zur Verfügung. In diesen freien Bedingungen sind keine Zuweisungen an die Basiselemente der Verbindungsalgebra erlaubt. Umgekehrt dürfen außerhalb der freien Vor- und Nachbedingungen keine Zuweisungen an Variable des erweiterten Zustandsraumes vorkommen. Im Extremfall kann eine Transition nur zu Änderungen innerhalb des erweiterten Zustandsraumes führen, wenn alle weiteren Bedingungen mit der Identität instantiiert werden.

Eine Transition beschreibt eine Abbildung von einem Punkt des gesamten Zustandsraumes an einen anderen. Ist allein durch den Ausgangszustand der Folgezustand eindeutig bestimmt, wird die Transition als geschlossene Transition bezeichnet. In einigen Fällen ist es jedoch notwendig, die Abbildung einer Transition mit Hilfe von *Parametern* zu definieren. Diese Transitionen heißen offene Transitionen. Beispielsweise benötigt eine Transition zum Hinzufügen von Verbindungen Parameter, die die neuen Verbindungen enthalten. Ein Beispiel einer geschlossenen Transition liegt hingegen vor, wenn die hinzukommenden Verbindungen etwa stets dieselben sind. Generell gilt, daß Spezifikationen mit offenen Transitionen flexibler sind, also für mehrere Dienste einsetzbar sind. In der Notation für die Transitionen sind im Falle offener Transitionen die Parameter stets angegeben.

10.2.2 Notation

Die Zustände des Gesamtsystems können mit Kontrollzuständen versehen werden. Diese bilden bei graphischer Darstellung die Knoten des Zustandsautomaten. Jede Transition zwischen den Kontrollzuständen ist eine Instanz einer der beiden Standardtransitionen. Die Annotation der Transition verweist auf eine Instanz der im folgenden beschriebenen Notation in Tabellenform.

In den Kopfzeilen der beiden Standardtransitionen ist jeweils die Bezeichnung der Transition im Zustandsautomaten, Typ, Kurzbeschreibung und, im Falle offener Transitionen, die Definition der Eingabeparameter enthalten. Im Rumpf der Tabelle sind für die instantiiierbaren Elemente aus Vor- und Nachbedingung die Abbildungen angegeben:

Transition:	tr_i
Typ:	\mathcal{T}^{EA} (Modifikation der Verbindungsstruktur)
Zweck:	[Kurze Beschreibung der Transition]
Eingabe:	[Angabe der Eingabeparameter der Transition]
T_{pre}	= [Abbildung des Typs $\longrightarrow \mathbb{B}$]
$T_{\text{pre}}^{\text{EA}}$	= [Abbildung des Typs $T_{\text{pre}}^{\text{EA}}$]
T^{EA}	= [Abbildung des Typs T^{EA}]
PA	= [Abbildung des Typs PA]
T_{post}	= [Abbildung des Typs $\longrightarrow \mathbb{B}$]

Transition:	tr_i
Typ:	\mathcal{T}^{S} (Modifikation der Sessionstruktur)
Zweck:	[Kurze Beschreibung der Transition]
Eingabe:	[Angabe der Eingabeparameter der Transition]
T_{pre}	= [Abbildung des Typs $\longrightarrow \mathbb{B}$]
$T_{\text{pre}}^{\text{S}}$	= [Abbildung des Typs $T_{\text{pre}}^{\text{S}}$]
T^{S}	= [Abbildung des Typs T^{S}]
PA	= [Abbildung des Typs PA]
T_{post}	= [Abbildung des Typs $\longrightarrow \mathbb{B}$]

10.3 Beispiel: Unidirektionaler Hyperkanal mit Administrator-Endpunkt

In Kapitel 5 über die Dekomposition von Diensten ist dargelegt worden, daß Dienste, die in ihrem netztransparenten Verhalten sehr unterschiedlich sind, auf netzrelevanter Ebene durchaus sehr ähnlich sein können. Ein Grundmuster eines netzrelevanten Verhaltens kann somit für mehrere Dienste mit verschiedenen netztransparenten Funktionen verwendet werden.

Ein solches Grundmuster besteht beispielsweise in einer Verbindungsstruktur, die einen Hyperkanal von einer Datenquelle zu mehreren Datensinken enthält. Die Verteilung der Berechtigungen sieht für jede Datensinke die Kontrolle der eigenen Verbindung vor. Eine besonders ausgezeichnete Datensinke (dies könnte z. B. der Initiator der Session sein) besitzt erweiterte Berechtigungen.

Zu den Diensten, die ein derartiges netzrelevantes Verhalten voraussetzen, gehören z. B. Video-on-Demand-Dienste. In den folgenden Abschnitten wird dieses netzrelevante Verhalten mit den bisher erarbeiteten Mitteln spezifiziert.

10.3.1 Beschreibung des Zustandsübergangssystems

Die initiale Session wird stets aus einem Kanal, der Datenquelle und einer initialen Datensenke erzeugt. Die Session kann jederzeit um zusätzliche Datensenken erweitert oder reduziert werden. Die initiale Datensenke ist zu Beginn Träger der erweiterten Berechtigungen. Diese ermöglichen den Aufbau der Verbindungen zu einem 1:n-Kanal zwischen der Datenquelle und allen Datensenken. Sobald die Verbindungen aufgebaut sind, erhält jede Datensenke die Berechtigung, die eigene Verbindung zum 1:n-Kanal zu beenden. Der Träger der erweiterten Berechtigungen darf stets alle Verbindungen der Session beenden sowie neu in die Session aufgenommene Endpunkte als Datensenken verbinden. Er besitzt zudem als einziger Endpunkt Berechtigungen über die Verbindungen der Datenquelle. Diese hat selbst keinerlei Berechtigungen. Die erweiterten Berechtigungen können von einem Endpunkt auf einen anderen übergehen. Sobald der Kanal aufgebaut ist, muß die so ausgezeichnete Datensenke unter den verbundenen Endpunkten sein. Der Träger der erweiterten Berechtigungen kann somit die Session nicht vorzeitig verlassen.

Das soeben beschriebene netzrelevante Verhalten wird durch eine Zustandsmaschine mit drei Zuständen modelliert. Die Transitionen werden durch Instantiierungen aus den beiden Standardtransitionen zur Modifikation der Verbindungs- und der Sessionstruktur gewonnen. Folgendes Zustandsübergangsdiagramm repräsentiert das netzrelevante Verhalten:

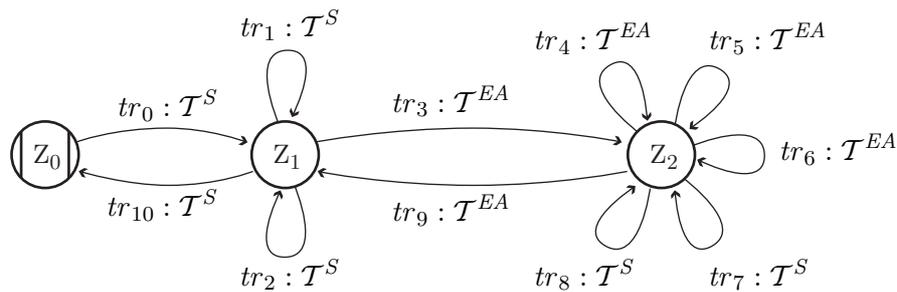


Abb. 40: Zustandsdiagramm des netzrelevanten Verhaltensmusters „unidirektionaler Hyperkanal mit Administrator-Endpunkt“.

Die Transitionen zwischen den Kontrollzuständen sind fortlaufend nummeriert. Die Annotationen weisen sie entweder als Instanz von \mathcal{T}^S bzw. \mathcal{T}^{EA} aus. Sie realisieren folgende Funktionen des netzrelevanten Verhaltens:

- tr_0 : Erzeugen der initialen Session aus Kanal, Datenquelle und Datensenke
- tr_1, tr_7 : Erweiterung der Session um zusätzliche Datensenken
- tr_2, tr_8 : Ausschluß von Datensenken aus der Session
- tr_3 : Verbinden der Datenquelle und aller Datensenken zu einem 1:n-Kanal
- tr_4 : Verbinden neu hinzugekommener Datenquellen zum 1:n-Kanal
- tr_5 : Löschen einzelner Verbindungen von Datensenken
- tr_6 : Übergang der erweiterten Berechtigungen
- tr_9 : Löschen aller Verbindungen
- tr_{10} : Löschen der Session

Kontrollzustand Z_0 bildet den Start- und Endzustand. In Z_1 und Z_2 existiert eine Instanz

der Session; in Z_2 besitzt der Kanal Verbindungen zu Endpunkten.

Mit der Einrichtung einer Session in Form einer Menge von Kanälen und Endpunkten entsteht ein lokaler Ausschnitt aus der globalen Verbindungsstruktur:

$$S = (C_S, V_S, E_S, A_S)$$

Da die gesamte Spezifikation auf eine Session beschränkt ist, unterbleibt teilweise die Indizierung mit S .

Zur Spezifikation eines bestimmten netzrelevanten Verhaltens werden weitere, anwendungsspezifische Attribute in den Zustandsraum aufgenommen. Diese sind:

- $q \in V_S$ Datenquelle
- $r_e \in V_S$ Endpunkt mit erweiterten Berechtigungen
- $c \in C_S$ unidirektionaler Kanal

10.3.2 Spezifikation der Transitionen

Die Instantiierungen der Standardtransitionen basieren alle auf den Abbildungen zur Modifikation der Verbindungs- oder Sessionstruktur, die in den Kapiteln 7.2.1 – 7.2.5 und 7.4.1 – 7.4.6 bereits vorgestellt wurden.

Transition:	tr_0	
Typ:	\mathcal{T}^S	(Modifikation der Sessionstruktur)
Zweck:	Erzeugen der initialen Session	
Eingabe:	q : Datenquelle, r_e : initiale Senke	
T_{pre}	=	true
T_{pre}^S	=	screate _{pre} ($c, \{q, r_e\}$) (s. 7.4.1)
T^S	=	screate($c, \{q, r_e\}$) „
PA	=	pa ₀ (s. u.)
T_{post}	=	true

In dieser Transition sind q und r_e als Eingaben vorgesehen. Der Auslöser von tr_0 muß also die Datenquelle und die initiale Senke angeben.

Die spezielle Anpassung der Berechtigungen in tr_0 soll gewährleisten, daß zunächst die initiale Datensenke r_e Träger der erweiterten Berechtigungen ist und Verbindungen zu einem unidirektionalen Kanal einrichten kann. Die Quelle erhält keinerlei Berechtigungen. Die Anpassungsabbildung dazu lautet:

$$pa_0(P_r^E, P_r^A) = \begin{cases} P_r^E \cup (c \cap \bar{q}), cq^T & \text{falls } r = r_e \\ O, O & \text{falls } r = q \\ P_r^E, P_r^A & \text{sonst} \end{cases}$$

Nach der Transition tr_0 besteht die Session aus $S = (\{c\}, \{q, r_e\})$.

□

Transition:	tr_1, tr_7	
Typ:	\mathcal{T}^S (Modifikation der Sessionstruktur)	
Zweck:	Erweiterung der Session um zusätzliche Datensenzen	
Eingabe:	V_+ : Menge der hinzukommenden Datensenzen	
T_{pre}	= true	
T_{pre}^S	= $\text{sadd}_{\text{pre}}(O, V_+)$	(s. 7.4.5)
T^S	= $\text{sadd}(O, V_+)$	„
PA	= $\text{pa}_1(V_+)$	(s. u.)
T_{post}	= true	

In der speziellen Berechtigungsanpassung werden die potentiellen Verbindungen der neuen Endpunkte aus V_+ zum Kanal c in die erweiterten Berechtigungen des initialen Endpunktes aufgenommen. Die hinzugekommenen Endpunkte erhalten anfangs keine Berechtigungen:

$$\text{pa}_1(V_+)(P_r^E, P_r^A) = \begin{cases} P_r^E \cup (c \cap V_+), P_r^A & \text{falls } r = r_e \\ O, O & \text{falls } r \in V_+ \\ P_r^E, P_r^A & \text{sonst} \end{cases}$$

Die spezielle Berechtigungsanpassung pa_1 basiert auf dem zusätzlichen Parameter V_+ , der kein Teil des gesamten Zustandsraumes ist.

□

Transition:	tr_2, tr_8	
Typ:	\mathcal{T}^S (Modifikation der Sessionstruktur)	
Zweck:	Ausschluß von Datensenzen aus der Session	
Eingabe:	V : Menge der wegfallenden Datensenzen	
T_{pre}	= $V \cap \{q, r_e\} = O$	
T_{pre}^S	= $\text{srem}_{\text{pre}}(O, V)$	(s. 7.4.6)
T^S	= $\text{srem}(O, V)$	„
PA	= id	(s. 9.2.3)
T_{post}	= true	

Die zusätzliche Vorbedingung stellt sicher, daß die Datenquelle q und der Träger der erweiterten Berechtigungen r_e stets in der Session verbleiben. Eine spezielle Berechtigungsanpassung

ist nicht notwendig, weil mit dem Herauslösen eines Endpunktes gleichzeitig der Berechtigungszeitraum der verbleibenden Endpunkte eingeschränkt wird. □

Transition:	tr_3, tr_4	
Typ:	\mathcal{T}^{EA} (Modifikation der Verbindungsstruktur)	
Zweck:	Aufbau aller Verbindungen zum Kanal c	
Eingabe:	—	
T_{pre}	= true	
$T_{\text{pre}}^{\text{EA}}$	= $\text{add}_{\text{pre}}(c \cap \overline{cq^{\top}}, cq^{\top})$	(s. 7.2.1)
T^{EA}	= $\text{add}(c \cap \overline{cq^{\top}}, cq^{\top})$	„
PA	= pa_3	(s. u.)
T_{post}	= true	

In der speziellen Berechtigungsanpassung erhält der initiale Endpunkt r_e die Löschberechtigung über alle Verbindungen zu c . Die übrigen Datensenzen erhalten nur eine Berechtigung, um die eigenen Eingangsverbindungen zu beenden:

$$\text{pa}_3(P_r^{\text{E}}, P_r^{\text{A}}) = \begin{cases} P_r^{\text{E}} \cup (c \cap \overline{cq^{\top}}), P_r^{\text{A}} \cup cq^{\top} & \text{falls } r = r_e \\ P_r^{\text{E}}, P_r^{\text{A}} & \text{falls } r = q \\ P_r^{\text{E}} \cup cr^{\top}, P_r^{\text{A}} & \text{sonst} \end{cases}$$

Durch diese Transition können auch einzelne Datensenzen mit dem Kanal c verbunden werden, die nachträglich im Zustand Z_2 durch die Transition tr_7 in die Session aufgenommen wurden. Im abstrakten Modell ist die mehrfache Aufnahme der bereits existierenden Inzidenzen in die Verbindungsrelation ohne Belang. □

Transition:	tr_5	
Typ:	\mathcal{T}^{EA} (Modifikation der Verbindungsstruktur)	
Zweck:	Löschen der Verbindungen einzelner Datensenzen	
Eingabe:	V_1 : Menge der Datensenzen	
T_{pre}	= $V_1 \cap \{q, r_e\} = O$	
$T_{\text{pre}}^{\text{EA}}$	= $\text{rem}_{\text{pre}}(E_S \cap c \cap V_1^{\top}, O)$	(s. 7.2.1)
T^{EA}	= $\text{rem}(E_S \cap c \cap V_1^{\top}, O)$	„
PA	= $\text{pa}_5(V_1)$	(s. u.)
T_{post}	= true	

Die Vorbedingung stellt sicher, daß weder die Datenquelle noch die Senke mit den erweiterten Berechtigungen ihre Verbindung zu c vorzeitig beenden.

Der Träger der erweiterten Berechtigungen r_e erhält in der speziellen Anpassung die Berechtigung zur Wiederaufnahme der gelöschten Verbindungen:

$$\text{pa}_5(V_1)(P_r^E, P_r^A) = \begin{cases} P_r^E \cup (E_S \cap c \cap V_1^T), P_r^A & \text{falls } r = r_e \\ P_r^E, P_r^A & \text{sonst} \end{cases}$$

Die Abbildung pa_5 ist mit dem zusätzlichen Parameter V_1 versehen, da dieser kein Teil des gesamten Zustandsraumes ist. □

Transition:	tr_6
Typ:	\mathcal{T}^{EA} (Modifikation der Verbindungsstruktur)
Zweck:	Übergang der erweiterten Berechtigungen
Eingabe:	s_e : neuer Träger der erweiterten Berechtigungen
T_{pre}	$= s_e \neq q$
$T_{\text{pre}}^{\text{EA}}$	$= \text{true}$
T^{EA}	$= \text{id}$ (s. 7.2)
PA	$= \text{pa}_6(s_e)$ (s. u.)
T_{post}	$= r'_e = s_e$

In dieser Transition findet keine Änderung der Verbindungsstruktur statt. In der speziellen, mit s_e parametrisierten Berechtigungsanpassung wird der Übergang der erweiterten Berechtigungen von r_e nach s_e realisiert:

$$\text{pa}_6(s_e)(P_{r,S}^E, P_{r,S}^A) = \begin{cases} P_{r,S}^E \cup (cL \cap q^T), P_{r,S}^A \cup cq^T & \text{falls } r = s_e \\ P_{r,S}^E \setminus (cL \cap q^T), P_{r,S}^A \setminus cq^T & \text{falls } r = r_e \\ P_{r,S}^E, P_{r,S}^A & \text{sonst} \end{cases}$$

□

Transition:	tr_9	
Typ:	\mathcal{T}^{EA} (Modifikation der Verbindungsstruktur)	
Zweck:	Löschen aller Verbindungen zum Kanal c	
Eingabe:	—	
T_{pre}	= true	
$T_{\text{pre}}^{\text{EA}}$	= $\text{rem}_{\text{pre}}(E_S \cap c, cq^\top)$	(s. 7.2.1)
T^{EA}	= $\text{rem}(E_S \cap c, cq^\top)$	„
PA	= pa_0	(s. u.)
T_{post}	= true	

Alle Verbindungen zum Kanal c werden gelöscht und die Session befindet sich wieder im unverbundenen Zustand Z_1 . Die spezielle Anpassung der Berechtigungen pa_0 stellt dieselbe Berechtigungsstruktur her wie in tr_0 .

□

Transition:	tr_{10}	
Typ:	\mathcal{T}^{S} (Modifikation der Sessionstruktur)	
Zweck:	Löschen der Session S	
Eingabe:	—	
T_{pre}	= true	
$T_{\text{pre}}^{\text{EA}}$	= $\text{sdel}_{\text{pre}}(S)$	(s. 7.4.2)
T^{EA}	= $\text{sdel}(S)$	„
PA	= id	(s. u.)
T_{post}	= true	

Die Session S wird aufgelöst. Die Vorbedingung sdel_{pre} stellt sicher, daß zuvor alle Verbindungen gelöscht wurden. Die Session als Bezugspunkt aller weiteren Konstrukte zur Beschreibung von Verbindungs- und Berechtigungsstrukturen ist somit nicht mehr gegeben.

□

11 Ausblick

Die formale Modellierung von Verbindungsstrukturen und assoziierter Konzepte wie Sessions und Berechtigungen stellt einen zwar universell verwendbaren, aber doch stark abstrahierten und idealisierten Ausschnitt des Gesamtsystems „Kommunikationsdienst“ dar. Dieser Ausschnitt ist in den verschiedensten Richtungen erweiterbar, teils unter weitgehender Erhaltung des dienstunabhängigen Ansatzes, teils unter bewußter Annäherung an vorhandene Technologien. Zu den naheliegenden Erweiterungen des Modells gehören unter anderem:

- Integration eines QoS-Schemas. In der bisherigen Modellierung wurde von allen Fragen des QoS abstrahiert. Für eine Abbildung auf reale Netztechnologien müssen die Kanäle um ein Schema für Bandbreite, Latenzzeiten, Jitter, Verbindungsaufbauzeiten etc. erweitert werden.
- Abrechnung. Kosten für Kanäle bzw. Datenmengen und deren Zuordnung zu Kostenstellen müssen in das Modell integriert werden. In Verbindung mit einer Semantik für die Operationen des Abrechnungsmodells können Dienste auf notwendige Invarianten hin (enthält eine Session immer einen Zahler?) untersucht werden.
- Implementierung eines dienstunabhängigen Kerns mit der Funktionalität der Standardtransitionen für Prototyping- oder Simulationsanwendungen. Auf diese Weise können Dienste mit komplexen, hochdynamischen Verbindungsstrukturen schnell anschaulich dargestellt/simuliert werden. Es sind dazu lediglich ein Zustandsautomat und die Abbildungen zur Instantiierung der Standardtransitionen zu implementieren.
- Abbildungen auf reale Netztechnologien. Spezifikationen des netzrelevanten Verhaltens nach dem vorliegenden Modell können dadurch direkt ausgeführt werden. Eine solche Abbildung, die zwangsläufig auch ein QoS-Schema enthalten muß, kann auf verschiedenen Ebenen der Protokollhierarchie realisiert werden. Die Kanäle stehen dann z. B. direkt für ATM-Verbindungen oder in höheren Protokollen z. B. für SIP/H.323-Verbindungen. Auch eine Abbildung auf den Service Session Graph der TIN-Architektur ist denkbar.

Für jede Abbildung müssen die Änderungen des abstrakten Verbindungsgraphen und die Berechtigungen in der Zieltechnologie umgesetzt werden. Dabei ist eine Vielzahl von Randbedingungen zu beachten, von der Adressierung, der Signalisierung bis zur Fehlerbehandlung.

In allen der genannten Bereiche besteht noch erheblicher Forschungsbedarf, bevor Kommunikationstechnologie in der interoperablen, technologieunabhängigen und abstrahierten Form zur Verfügung steht, die die Entwicklung von Diensten vereinfacht und beschleunigt.

Literatur

- [1] M. MAC AN AIRCHINNIGH, H.-J. KUGLER. Service Engineering versus Software Engineering – A Foundational Study. In: Towards a Pan-European Telecommunications Service Infrastructure – IS&N '94, LNCS 851. Springer-Verlag, Berlin, 1994.
- [2] F.L. BAUER, H. WÖSSNER. Algorithmische Sprache und Programmentwicklung. Springer, 1981.
- [3] U. BLACK. ATM: Foundation for Broadband Networks. Prentice Hall, 1995.
- [4] U. BLACK. Mobile and Wireless Networks. Prentice Hall, 1996.
- [5] P. BOCKER. ISDN – Digitale Netze für Sprach-, Daten-, Video- und Multimediakommunikation. Springer, 1997.
- [6] CASSIOPEIA. Open Services Architectural Framework for Integrated Service Engineering. Technischer Bericht, 1995. www.fokus.gmd.de/step/cassiopeia/documents/dtdel.ps
- [7] D. D. CLARK, D. L. TENNENHOUSE. Architectural Considerations for a New Generation of Protocols. 1990.
- [8] J. D. DAY, H. ZIMMERMANN. The OSI Reference Model. Proceedings of the IEEE, 71:1334–1340, 1983.
- [9] Information Technology – Generic coding of Moving Pictures and associated Audio Information – Part 6: Extension for Digital Storage Media Command and Control. Technischer Bericht, ISO/IEC 13818-6, 1996.
- [10] Multimedia Home Platform 1.1, Digital Video Broadcast (DVB), 2001. www.mhp.org/technical_essen/pdf_and_other_files/Ts102812.V1.1.1.zip
- [11] Feature Interaction Bibliography. www.docs.uu.se/docs/fi/bib/bib-all.html
- [12] G. HOLZMANN. Design and Validation of Computer Protocols. Prentice Hall, 1990.
- [13] P. R. GERKE. Digitale Kommunikationsnetze. Springer-Verlag, 1991.
- [14] H. KUBICEK AND P. BERGER. Was bringt uns die Telekommunikation? ISDN – 66 kritische Antworten. Campus Verlag, 1990.
- [15] H.-P. FÖRSTER. Bildschirmtext. Humboldt-Taschenbuchverlag, 1983.
- [16] R. HÄNDEL, M. HUBER, S. SCHRÖDER. ATM Networks. Addison Wesley, 1998.
- [17] B. HÖNEISEN. Convergence of Internet and Intelligent Networks: Interaction Services using PINT. PhD thesis, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, 1999.
- [18] J.-P. HUBAUX, C. GBAGUIDI, S. KOPPELHOEFER, J.-Y. LE BOUDEC. The Impact of the Internet on Telecommunication Architectures. Computer Networks and ISDN Systems, Special Issue on Internet Telephony, Februar 1999.

- [19] F. HUBER, B. SCHÄTZ, A.B. SCHMIDT, K. SPIES. AUTOFOCUS – A Tool for Distributed Systems Specification. In: B. JONSSON, J. PARROW (Hrsg.), Proceedings of the FTRTFT '96: Formal Techniques in Real Time and Fault Tolerant Systems. Springer-Verlag, 1996. LNCS 1135.
- [20] ISDN Service Capabilities: B-ISDN Service Aspects. International Telecommunication Union (ITU), Recommendation I.211, 1993.
- [21] Message Sequence Charts (MSC). International Telecommunication Union (ITU), Recommendation Z.120, 1994.
- [22] Data Protocols for Multimedia Conferencing. International Telecommunication Union (ITU), Recommendation T.120, 1998.
- [23] Packet-Based Multimedia Communications Systems. International Telecommunication Union (ITU), Recommendation H.323, 2000.
- [24] Testing and Test Control Notation, Version 3 (TTCN-3): Core Language. International Telecommunication Union (ITU), Recommendation Z.140, 2001.
- [25] M. JACKSON, P. ZAVE. Component-Based Approach to Telecommunication Software, 1998. www.research.att.com/~pamela/cbs.ps.gz.
- [26] M. JACKSON, P. ZAVE. Distributed Feature Composition: A virtual Architecture for Telecommunication Systems, 1998. www.research.att.com/~pamela/dfc.ps.gz
- [27] The JAIN APIs. java.sun.com/products/jain/.
- [28] K. TURNER. Online Formal Methods Publications. www.cs.stir.ac.uk/~kjt/research/pub-form.html
- [29] K. TURNER. LOTOS Bibliography. www.cs.stir.ac.uk/~kjt/research/well/bib.html
- [30] W. KELLERER, A.B. SCHMIDT, P. STIES. Strukturierte Softwareentwicklung für Informations- und Kommunikationsdienste. Technischer Bericht TUM-LKN.TR-0001, Technische Universität München, 2001.
- [31] S. KLEUKER. Using Formal Methods in the Development of Protocols for Multi-User Multimedia Systems. In: Formal Description Techniques – Theory, Application and Tools. Chapman & Hall, 1996.
- [32] L. LAMPORT. The temporal logic of actions. ACM Transactions on Programming Languages and Systems, 16(3):872–923, Mai 1994.
- [33] X. LOGEAN, J.-P. HUBAUX, S. ZNATY. A method to ease Creation of Telecommunications Services based on a Generic Component Model. Technischer Bericht. tcomwww.epfl.ch/~logean/publications/gcm.ps
- [34] T. MAGEDANZ, R. POPESCU-ZELETIN. Intelligent Networks. International Thomson Computer Press London, 1996.
- [35] K. MEISSNER. Arbeitsplatzrechner im Verbund. Hanser-Verlag, 1985.
- [36] G. MERGELSBERG. Das Telefon und seine Entwicklung. Sammler- und Interessengemeinschaft für das historische Fernmeldewesen e. V. Bad Homburg v. d. Höhe, 1996.

- [37] The Parlay Group. www.parlay.org.
- [38] PSTN and Internet Interworking (PINT). www.bell-labs.com/mailling-lists/pint/
- [39] Protocol Specification, Testing and Verification. www.informatik.uni-trier.de/~ley/db/conf/pstv/
- [40] R. KNIGHT. Service Description Framework and B-ISDN Service Descriptions. RACE Project R2044 MAGIC, 1993.
- [41] M. RAHNEMA. Overview of the GSM System and Protocol Architecture. IEEE Communications Magazine, April 1994.
- [42] G. SCHMIDT, T. STRÖHLEIN. Relationen und Graphen. Springer, 1989.
- [43] H. SCHULZRINNE, S. CASNER, R. FREDERICK, V. JACOBSON. RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications. www.cis.ohio-state.edu/htbin/rfc/rfc1889.html
- [44] H. SCHULZRINNE, A. RAO, R. LANPHIER. Real Time Streaming Protocol (RTSP). ds.internic.net/internet-drafts/draft-ietf-mmusic-rtsp-03.txt
- [45] H. SCHULZRINNE, J. ROSENBERG. IETF Protocols for IP Telephony. www.ipstel.org/info/references/papers/misc/Schu99xx-IETF.ps.gz
- [46] SCREEN – Service Creation Engineering Environment. www.aber.ac.uk/~dcswww/Telematics/SCREEN/
- [47] G. SIEGMUND (Hrsg.). Intelligente Netze: Technik, Dienste, Vermarktung. Hüthig-Verlag, 1999.
- [48] D. L. SPOHN. Data Network Design. McGraw Hill, 1993.
- [49] R. STERNBACH, M. OKUDA. Die Technik der U.S.S. Enterprise. Heel-Verlag, 1994.
- [50] P. STIES, W. KELLERER. A Generic and Implementation Independent Service Description Model. In: 21st International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS), Distributed Dynamic Multiservice Architecture Workshop (DDMA). IEEE Computer Society Press, 2001.
- [51] P. STIES, W. KELLERER. A Service Creation Model for Network Spanning Services. In: ITG-Fachbericht 171: Neue Kommunikationsanwendungen in modernen Netzen. Informationstechnische Gesellschaft im VDE, 2002.
- [52] Telecommunications Information Networking Architecture Consortium. Overall Concepts and Principles of TINA, 1995. www.tinac.com/specifications/documents/overall.pdf
- [53] Telecommunications Information Networking Architecture Consortium. TINA Network Resource Architecture, 1997. www.tinac.com/specifications/documents/nra_v3_public.pdf
- [54] Telecommunications Information Networking Architecture Consortium. TINA Service Architecture, 1997. www.tinac.com/specifications/documents/sa50-main.pdf
- [55] Telecommunications Information Networking Architecture Consortium. TINA 1.0 Deliverables and Specifications, 2001. www.tinac.com/specifications/specifications.htm

- [56] The Internet Engineering Task Force, IETF. RFC 2327: SDP – Session Description Protocol, 2000 (work in progress). www.ietf.org/html.charters/mmusic-charter.html
- [57] The Internet Engineering Task Force, IETF. RFC 2543: SIP – Session Initiation Protocol, 2000 (work in progress). www.ietf.org/html.charters/sip-charter.html
- [58] TOSCA – TINA Open Service Creation Architecture. www.fokus.gmd.de/ovma/tosca/entry.html
- [59] K. J. TURNER (Hrsg.). Using Formal Description Techniques – An Introduction to ESTELLE, LOTOS and SDL. John Wiley & Sons, 1993.
- [60] M. VAN SINDEREN, L. FERREIRA PIRES. The Application of TINA in Multimedia Services for the Electronic Super Highway. In: T. PLAGEMANN, V. GOEBEL (Hrsg.), Interactive Distributed Multimedia Systems and Telecommunication Services, 5th International Workshop, IDMS '98, Volume LNCS 1483. Springer, 1998.
- [61] I. VENIERIS, H. HUSSMANN (Hrsg.). Intelligent Broadband Networks. John Wiley & Sons, 1998.
- [62] P. ZAVE. Systematic Design of Call Coverage Features. Technischer Bericht, AT&T Labs, 1999.
- [63] L. ZHANG, R. BRADEN, D. ESTRIN, S. HERZOG, S. JAMIN. Resource ReSerVation Protocol (RSVP) – Version 1 Functional Specification. [ftp.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-rsvp-spec-16.ps](ftp://ftp.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-rsvp-spec-16.ps)