

Erkennung von Wechselwirkungen zwischen Mehrwertdiensten durch Analyse ihrer Konfigurationen und Protokollabläufe

Von der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik
der Universität Stuttgart zur Erlangung der Würde
eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigte Abhandlung

vorgelegt von
Dirk Oliver Keck
geb. in Tübingen

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. mult. Paul J. Kühn
Mitberichter: Prof. Dr. rer. nat. Volker Claus
Tag der Einreichung: 31. Mai 2000
Tag der mündlichen Prüfung: 23. April 2002

Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung
der Universität Stuttgart

2002

Summary

The exchange of information has been a basic necessity for men during all the times. For more than 120 years, telephone networks have provided this possibility – to communicate with each other over long distances – to a significant fraction of the world population. The evolution of telephone networks from relatively simple, manually or electromechanically controlled systems towards flexible and complex programmability in the middle of the 1960es has created the opportunity for the introduction of an abundance of supplementary services. These enhance the basic telephone service by features like call redirection, call waiting, freephone and premium rate services.

Due to the complexity of the switching nodes' software and due to their large number, the introduction of new supplementary or value added services is difficult and risky for the network stability. On the other hand, rising demand and upcoming competition in the telecommunications markets require a superior value proposition from equipment vendors as well as from service providers and network operators, consisting of low rates and an outstanding service offering to the customer. Additionally, introduction of new services as well as maintenance of the existing ones should be as simple and efficient as possible. To meet all these requirements, the architectural concept of the Intelligent Network (IN) has been introduced. It supports the rapid and efficient introduction of new supplementary services by an architectural separation of call/connection and service control and by specific functionalities for service creation and management.

The increasing number of supplementary services soon led to the discovery of the problem, that these services tend not to operate totally independently from each other. At the beginning observed as a normal phenomenon, this *service and feature interaction problem* has become a real threat even for non-IN based networks at the end of the 1980es due to the steadily rising number of new supplementary services and service features. Currently, it is the key obstacle to one of the major targets of the Intelligent Network: the parallel independent development and rapid introduction of new services. Therefore, it has become an important research area for a number of industrial research centres as well as academic institutions.

The target of this thesis is twofold: the creation of a taxonomy for the problem of interactions between services including a classification based on their levels of emergence, and the application of this taxonomy as a base for the development and validation of a method for the identification of a significant class of interactions between services.

In Chapter 2, the technical environment for the realization of supplementary services in telecommunications networks is introduced. As a first step, a definition of the concept of a “service” in its different facets of usage is discussed. The focus of the chapter lies on the description of the Intelligent Network architectural concept. This concept creates the background for a method for the detection of a class of service interactions between

supplementary services presented later. An introduction of new concepts like TINA (Telecommunications Information Networking Architecture) and concepts for new interactive telecommunication services based on the Internet Protocol conclude the chapter.

The introduction of a taxonomy for the problem of interactions between supplementary services is the topic of Chapter 3. At first, the terms of *degree* and *order* of an interaction are defined. The degree denotes the number of service instances involved in an interaction, the order denotes the number of different services involved therein. Later, a proposal for the classification of service interactions according to their level of emergence is presented. In this scheme, the requirements level, the architectural level and the realization level are distinguished. Interactions emerging from these levels are caused by different mechanisms, but they can also be “inherited” from level to level. The chapter closes with a literature survey covering the most important methods for coping with service interactions, classified into a multidimensional scheme consisting of the approach taken, the methods used, the position during the service lifecycle and the system context for the services.

The foundation for the definition of a methodology for the detection of service interactions on the architectural level is a model of the system under investigation. This is the subject of Chapter 4. The aim is not to build a complete system model, but one that models precisely the aspects of the system relevant for service interactions and thus supports the detection of service interactions. By limiting the knowledge of the internal behaviour of the services to a minimum, the organisational boundary conditions of service creation are respected. Modelling takes place under several aspects (control flow, information flow, resource usage) and on different levels (service topology and configuration, single connection). This modelling style is specially tailored towards applicability of formal verification techniques (i.e., model checking). On the single connection level, the standardised formal description language LOTOS is used, modelling call and service processing on the distributed functional plane of the Intelligent Network conceptual model.

A multi staged method for the detection of possible interactions between supplementary services on the architectural level is presented in Chapter 5. The first stage of the methodology aims at reducing the number of call configurations to be analysed as much as possible. This is achieved by the application of simple criteria, like, e.g., topological and causal conditions. The reduced set of call configurations is then analysed in the second stage using more complex and costly methods. For a single call configuration, this is the thorough examination of the information flows and the resource usage, based on simple causal considerations on the sequence of connection setup. On the level of a single connection as part of such a call configuration, the detection of interactions is carried out by exhaustive state-space exploration, using a formal LOTOS model presented in Chapter 4, combined with the evaluation of formulae in temporal logic. In its methodological core, the method is also applicable for the detection of interactions in other systems, where different independent parts maintain a service provisioning relationship towards each other. Of course, this requires an appropriate adaptation of the system model.

In Appendix A, the concept of permutational symmetry, including an algorithm for the creation of permutationally symmetric call configurations used in Chapters 4 and 5 is introduced in more detail. Appendix B presents an introduction into formal specification and verification in LOTOS, including verification results of the formal system model used in this work. Appendix C finally presents the results of a interaction detection case study carried out with an exemplary set of twelve supplementary services.

Inhaltsverzeichnis

Summary	i
Inhaltsverzeichnis	iii
Abkürzungen	ix
Formelzeichen	xv
1 Einführung	1
1.1 Umfeld und Motivation	1
1.2 Überblick über die Arbeit	3
2 Grundlagen der Netztechnik	5
2.1 Begriff des Dienstes	5
2.1.1 Allgemeine Definition	5
2.1.2 Dienstbegriff des ISO/OSI-Basisreferenzmodells	6
2.1.3 Dienstbegriff des diensteintegrierenden Digitalnetzes ISDN	7
2.2 Signalisierung	9
2.2.1 Benutzersignalisierung	11
2.2.2 Zwischenamtssignalisierung	11
2.3 Das Intelligente Netz (IN)	13
2.3.1 Hintergrund	13
2.3.2 Grundidee	14
2.3.3 Architekturkonzept	14
2.3.4 Dienste-Abstraktionsebene	15
2.3.5 Globale Funktionale Abstraktionsebene	17
2.3.6 Verteilte Funktionale Abstraktionsebene	18
2.3.6.1 Gruppe der Vermittlungsfunktionen	19
2.3.6.2 Gruppe der Diensterbringungsfunktionen	21
2.3.6.3 Gruppe der unterstützenden Funktionen	22
2.3.6.4 Realisierung von Diensten	22
2.3.7 Physikalische Abstraktionsebene	30
2.3.8 Das IN-Anwendungsprotokoll	32
2.4 Neue Netzarchitekturen	33
2.4.1 Telecommunications Information Networking Architecture	33
2.4.1.1 Geschäftsmodell	33
2.4.1.2 Dienstarchitektur	35
2.4.1.3 Rechenumgebungsarchitektur	38
2.4.1.4 Netzarchitektur	39

2.4.1.5	Managementarchitektur	39
2.4.1.6	Einschätzung	39
2.4.2	Interaktive Dienste basierend auf dem Internet-Protokoll	39
2.4.2.1	Das Internet-Protokoll	39
2.4.2.2	Dienstekonzept des Internet	41
2.4.2.3	Interaktive Telekommunikationsdienste	42
3	Wechselwirkungen zwischen Mehrwertdiensten	45
3.1	Definitionen	45
3.1.1	Etablierte Wechselwirkungsdefinition	45
3.1.2	Definition von Grad und Ordnung einer Wechselwirkung	46
3.2	Differenzierung des Wechselwirkungsbegriffs	47
3.2.1	Motivation	47
3.2.2	Berücksichtigung von Entstehungsebenen	47
3.2.3	Wechselwirkungen auf der Anforderungsebene	49
3.2.3.1	Unzureichende Begriffe	49
3.2.3.2	Nicht gleichzeitig erfüllbare Anforderungen	51
3.2.4	Wechselwirkungen auf der Ebene der Systemarchitektur	51
3.2.4.1	Konflikte auf Grund des Ablaufverhaltens	51
3.2.4.2	Konflikte durch den Informationsfluss im System	52
3.2.4.3	Konflikte durch Verwendung von Ressourcen	53
3.2.5	Wechselwirkungen auf der Realisierungsebene	54
3.2.5.1	Physikalische Beschränkungen	54
3.2.5.2	Wechselwirkungen durch Zusammenwirken mit Altsystemen	55
3.3	Verfahren zum Umgang mit Wechselwirkungen	55
3.3.1	Zur Einordnung von Verfahren	55
3.3.1.1	Zielrichtung des Ansatzes	56
3.3.1.2	Verwendete Methodik	57
3.3.1.3	Position im Lebenszyklus eines Mehrwertdienstes	57
3.3.1.4	Systemkontext	59
3.3.2	Erkennung von Wechselwirkungen	60
3.3.2.1	Erkennung allgemeiner Wechselwirkungen	60
3.3.2.2	Erkennung unerwünschter Wechselwirkungen	62
3.3.3	Auflösung von Wechselwirkungen	65
3.3.3.1	Auflösung durch Einschränkung	65
3.3.3.2	Auflösung durch Integration	66
3.3.3.3	Auflösung durch Kooperation	67
3.3.4	Vermeidung von Wechselwirkungen	68
3.3.4.1	Vermeidung durch strukturelle Maßnahmen	68
3.3.4.2	Vermeidung durch die Vorgehensweise bei der Dienstentwicklung	68
3.3.5	Management der übergreifenden Aspekte	69
3.4	Ergebnisse, Bewertung und weiteres Vorgehen	69
4	Modellierung wechselwirkungsrelevanter Aspekte von Mehrwertdiensten	71
4.1	Einführung und Motivation	71
4.1.1	Betrachtungsebene	71
4.1.2	Methodik	72

4.1.3	Organisatorische Rahmenbedingungen	74
4.2	Topologische Modellierung	75
4.2.1	Begriffe und Definitionen	75
4.2.2	Bildung von Konfigurationen	76
4.2.3	Einschränkung der Anzahl von Konfigurationen	77
4.2.4	Verwendung des topologischen Modells als Rahmen für die weitere Modellierung	78
4.3	Ablaufverhalten	78
4.3.1	Formale Beschreibung des Ablaufverhaltens	79
4.3.1.1	Anforderungen	79
4.3.1.2	Auswahl der formalen Beschreibungstechnik	79
4.3.1.3	Modellierungsebene	80
4.3.1.4	Identifikation und Isolation relevanter Systemteile	80
4.3.1.5	Modellierung von Rufsteuerungsfunktion und Dienstzugangssteuerung in LOTOS	82
4.3.1.6	Modellierung der Dienststeuerfunktion in LOTOS	84
4.3.2	Verbindung zwischen Ablauf und topologischer Modellierung	87
4.4	Informationsfluss	88
4.4.1	Informationsfluss zwischen Mehrwertdienst und Basisdienst	88
4.4.2	Verifikation des Modells eines einzelnen Dienstes	92
4.4.3	Kombination mit der Ablaufinformation	94
4.4.3.1	Modellierung der Ablaufabhängigkeit des Informationsflusses	95
4.4.3.2	Verifikation der Ablaufabhängigkeit des Informationsflusses	95
4.4.3.3	Berücksichtigung der Abhängigkeit des Ablaufs vom Informationsfluss	97
4.4.4	Informationsfluss durch Verbindungspunkte mit Netz- oder Technologieübergängen	98
4.4.5	Verbindungsübergreifende Modellierung des Informationsflusses	99
4.5	Ressourcenverwendung	100
4.5.1	Modellierung einer Ressource	100
4.5.2	Verifikation der Ressourcenverwendung durch einen einzelnen Mehrwertdienst	101
4.6	Schlussbemerkung	102
5	Ein mehrstufiges Verfahren zur Erkennung von Wechselwirkungen	103
5.1	Einführung	103
5.2	Sammlung und Auswahl von Mehrwertdiensten	103
5.3	Konfigurationserzeugung und topologische Analyse	104
5.3.1	Erzeugung von Konfigurationen mit mehreren Mehrwertdienstinstanzen	105
5.3.2	Ausschluss von Symmetrie bei Instanzen desselben Mehrwertdienstes	107
5.3.3	Filterung nach den Einschränkungen	107
5.3.4	Anwendung von Kausalkriterien zur weiteren Filterung	108
5.3.5	Ausschlüsse auf Grund gemeinsamer Aktivierungsverbote	109
5.3.6	Ordnung nach Relevanz	110
5.3.7	Ergebnisse der Konfigurationserzeugung	110

5.4	Untersuchung einzelner Konfigurationen	112
5.4.1	Identifizierbare Wechselwirkungstypen	113
5.4.1.1	Ablaufverhalten	113
5.4.1.2	Informationsfluss	113
5.4.1.3	Verwendung von Ressourcen	114
5.4.2	Verbindungsübergreifende Untersuchung	114
5.4.2.1	Wechselwirkungen durch den Informationsfluss	114
5.4.2.2	Wechselwirkungen durch die Ressourcenverwendung	116
5.4.2.3	Einbeziehung kausaler Beziehungen in die Untersuchung	116
5.4.3	Untersuchung der einzelnen Verbindung	117
5.4.3.1	Identifikation der zu untersuchenden Verbindungen	118
5.4.3.2	Konfigurationen der Dienstvermittlung	118
5.4.3.3	Analysen auf der Basis des Erreichbarkeitsgraphen	120
5.5	Bezug und Abgrenzung zu anderen Arbeiten	124
5.6	Diskussion der Ergebnisse einer Fallstudie	124
5.7	Werkzeugunterstützung	125
6	Zusammenfassung und Ausblick	129
6.1	Zusammenfassung	129
6.2	Ausblick	131

ANHANG

A	Permutationssymmetrie	133
A.1	Definition (Permutationssymmetrie)	133
A.2	Algorithmus zur Erzeugung von Mengen permutationssymmetriefreier Vektoren	133
A.2.1	Analytische Vorgehensweise	133
A.2.2	Konstruktive Vorgehensweise	133
A.3	Quantitative Betrachtung	134
B	Formale Spezifikation und Verifikation mit LOTOS	137
B.1	Einführung in LOTOS	137
B.1.1	Basis-LOTOS	137
B.1.1.1	Prozesse	137
B.1.1.2	<i>Action-Prefix</i> -Operator	138
B.1.1.3	Operator für unabhängige Parallelität	139
B.1.1.4	Operator für abhängige Parallelität	139
B.1.1.5	Operator für die allgemeine Parallelität	140
B.1.1.6	Auswahl-Operator	140
B.1.1.7	Operator zur sequentiellen Komposition	140
B.1.1.8	Unterbrechungs-Operator	141
B.1.1.9	<i>Hiding</i> -Operator	141
B.1.1.10	Verhaltensrekursion	141
B.1.2	Vollständiges LOTOS	142
B.1.2.1	Parametrisierung von Prozessen	142
B.1.2.2	Strukturierung von Ereignissen	142

B.1.2.3	Formulierung von Bedingungen	144
B.2	LOTOS-Spezifikation eines Mehrwertdienstes	144
B.3	Verifikation einer formalen Spezifikation	147
B.3.1	Zustandsaufzählungstechniken	147
B.3.2	Allgemeine Korrektheitskriterien für einen Erreichbarkeitsgraphen	148
B.3.3	Spezifische Korrektheitskriterien für einen Erreichbarkeitsgraphen	149
B.3.3.1	Vorhandensein bzw. Fehlen bestimmter Ereignisfolgen .	149
B.3.3.2	In temporaler Logik formulierte Eigenschaften	149
B.4	Validierung des Basis-Spezifikationsmodells	150
B.4.1	Erreichbarkeitsanalyse für die verschiedenen Konfigurationen . .	150
B.4.2	Verhalten an den sichtbaren Schnittstellen	151
B.4.3	Erreichbarkeit von Erkennungspunkten	151
C	Fallstudie zur Erkennung von Wechselwirkungen	153
C.1	Einführung	153
C.2	Verifikation der Modelle der einzelnen Mehrwertdienste	154
C.3	Mehrwertdienstauswahl, Konfigurationserzeugung und topologische Analyse	155
C.3.1	Kombinationen zweiten Grades erster Ordnung	155
C.3.2	Kombinationen zweiten Grades zweiter Ordnung	155
C.4	Untersuchungen auf der Ebene der einzelnen Konfiguration	156
C.4.1	Verbindungsübergreifende Untersuchung	156
C.4.2	Untersuchung der einzelnen Verbindung	158
C.4.2.1	Wechselwirkungen auf Grund des Ablaufverhaltens . .	159
C.4.2.2	Wechselwirkungen auf Grund des Informationsflusses .	160
C.5	Zusammenfassung der Ergebnisse dieser Fallstudie	161
	Literaturverzeichnis	169
	Wissenschaftliche Veröffentlichungen	169
	Normen, Empfehlungen und vergleichbare Dokumente	185

Abkürzungen

Die mit einem hochstehenden Stern (*) bezeichneten deutschen Begriffsübersetzungen entstammen dem Begriffswerk der ITG-Fachgruppen 5.2.1 (Verkehrstheorie) und 5.2.2 (Architekturen und Systeme).

A	Annahmenverletzung
ACK	Acknowledgment (<i>Bestätigung</i>)
ACM	Address Complete Message
ACP	Action Point
AD	Adjunct
ADL	Autodial (<i>automatisches Wählen</i>)
AE	Anforderung empfangen
AIN	Advanced Intelligent Network
ANS	Answer (Message)
AOCS	Advanced Originating Call Screening (<i>weiterentwickelte Sperre für abgehende Rufe</i>)
AS	Anforderung senden
ASN.1	Abstract Syntax Notation One
BCM	Basic Call Manager (<i>Basisrufverwaltung</i>)
BCP	Basic Call Process (<i>Basisrufprozess</i>)
BCSM	Basic Call State Model (<i>Rufzustandsmodell</i>)
BCUSM	Basic Call Unrelated State Model (<i>nicht-rufbezogenes Zustandsmodell</i>)
B-ISDN	Broadband Integrated Services Digital Network (<i>breitbandiges dienstintegrierendes Digitalnetz*</i>)
CADP	CÆSAR/ALDÉBARAN Development Package
CCAF	Call Control Agent Function (<i>Rufsteuerungsagentenfunktion</i>)
CCBS	Completion of Calls to Busy Subscriber
CCC	Credit Card Calling (<i>Kreditkartenruf</i>)
CCF	Call Control Function (<i>Rufsteuerungsfunktion</i>)
CCIS	Common-Channel Interoffice Signalling
CCITT	Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique
CCS	Calculus of Communicating Systems
CCS	Customer Calling Services
CF	Call Forwarding (<i>Anrufumleitung</i>)
CFB	Call Forwarding on Busy (<i>Anrufumleitung im Belegtfall</i>)
CFNR	Call Forwarding on No Reply (<i>Anrufumleitung bei ausbleibender Meldung</i>)
CFU	Call Forwarding Unconditional (<i>Anrufumleitung</i>)

CID	Call Instance Data (<i>Rufinstanzdaten</i>)
CM	Call Manager (<i>Rufverwaltung</i>)
CP	Connection Point (<i>Verbindungspunkt</i>)
CPE	Customer Premises Equipment (<i>Teilnehmerendeinrichtung</i>)
CPG	Call Progress (Message)
CRACF	Call/connection related Radio Access Control Function (<i>rufbezogene Funkzugangssteu- erung</i>)
CS	Capability Set (<i>Satz von Fähigkeiten des IN</i>)
CS	Call Segment (<i>Rufabschnitt</i>)
CSA	Call Segment Association (<i>Rufabschnittsassoziation</i>)
CURACF	Call Unrelated Radio Access Control Function (<i>nicht-rufbezogene Funkzu- gangssteu- erung</i>)
CUSF	Call Unrelated Service Function (<i>nicht-rufbezogene Dienstfunktion</i>)
CUSP	Call Unrelated Service Point (<i>nicht-rufbezogener Dienstknoten</i>)
CVS	Connection View State (<i>Verbindungszustandssicht</i>)
CW	Call Waiting (<i>Anklopfen</i>)
CWO	Call Waiting at the Originating side (<i>Anklopfen auf der Seite des Anrufers</i>)
CWT	Call Waiting at the Terminating side (<i>Anklopfen auf der Seite des Angerufenen</i>)
DAI	Distributed Artificial Intelligence (<i>verteilte künstliche Intelligenz</i>)
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DC	Don't Care (<i>nicht berücksichtigt</i>)
DFP	Distributed Functional Plane (<i>Verteilte Funktionale Abstraktionsebene</i>)
DND	Do Not Disturb (<i>Anrufsperr</i>)
DP	Detection Point (<i>Erkennungspunkt</i>)
DPE	Distributed Processing Environment
DSDC	Direct Services Dialling Capabilites
DSS1	Digital Subscriber Signalling No. 1
EDP-R/N	Event Detection Point – Request/Notification (<i>Ereigniserkennungspunkt – Anforderung/Benachrichtigung</i>)
ESS	Electronic Switching System
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FE	Functional Entity (<i>Funktionale Einheit</i>)
FIM	Feature Interaction Manager (<i>Wechselwirkungsverwaltung</i>)
FPLMTS	Future Public Land Mobile Telecommunication System
FRE	Freephone (<i>entgeltfreier Anruf</i>)
GFP	Global Functional Plane (<i>Globale Funktionale Abstraktionsebene</i>)
GSM	Global System for Mobile communications
IAF	Intelligent Access Function (<i>Intelligente Zugangsfunktion</i>)
IAM	Initial Address Message
IE	Information Element (<i>Informationselement</i>)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IF	Information Flow (<i>Informationsfluss</i>)
IMT	International Mobile Telecommunications
IN	Influence (<i>beeinflusst Fortgang</i>)

IN	Intelligent Network (<i>Intelligentes Netz*</i>)
INAP	IN Application Part/Protocol (<i>IN-Anwenderteil/-Anwendungsprotokoll</i>)
INCM	IN Conceptual Model (<i>Konzeptionelles Modell des IN</i>)
INWATS	Inward Wide Area Telecommunications Service
IP	Intelligent Peripheral (<i>Intelligentes Peripheriegerät</i>)
IP	Internet Protocol (<i>Internet-Protokoll</i>)
IPng/IPv6	Internet Protocol Next Generation / IP Version 6
ISDN	Integrated Services Digital Network (<i>Diensteintegrierendes Digitalnetz*</i>)
ISDN-UP	ISDN User Part (<i>ISDN-Anwenderteil</i>)
ISO	International Standardisation Organisation
ISP	Intermediate Service Part
ISUP	ISDN User Part, auch als ISDN-UP bezeichnet (<i>ISDN-Anwenderteil</i>)
ITG	Informationstechnische Gesellschaft
ITU	International Telecommunication Union
LOTOS	Language Of Temporal Ordering Specification (<i>Sprache zur Spezifikation zeitlicher Abfolgen</i>)
LTCS	Long Term Capability Set
LTS	Labelled Transition System
MAP	Mobile Application Part (<i>Mobil-Anwenderteil</i>)
MSC	Message Sequence Chart
MTP	Message Transfer Part (<i>Nachrichtentransferteil</i>)
MWD	Mehrwertdienst
NAP	Network Access Point (<i>Netzzugangspunkt</i>)
NCP	Network Control Point
NS	Not Sent (<i>nicht gesendet</i>)
NU	Not Used (<i>nicht benutzt</i>)
NV	No Evaluation (<i>nicht ausgewertet</i>)
NX	Not Expected (<i>nicht erwartet</i>)
O-BCSM	Originating BCSM (<i>Rufzustandsmodell für abgehende Rufe</i>)
ODP	Open Distributed Processing
OMAP	Operations and Maintenance Application Part (<i>Betriebs- und Wartungsanwenderteil</i>)
OSI	Open Systems Interconnection
PCI	Protocol Control Information (<i>Protokollsteuerinformation</i>)
PDU	Protocol Data Unit (<i>Protokolldateneinheit*</i>)
PIA	Point In Association
PIC	Point In Call (<i>Rufzustand</i>)
POI	Point of Initiation (<i>Anfangspunkt</i>)
POR	Point of Return (<i>Rückkehrpunkt</i>)
PP	Physical Plane (<i>Physikalische Abstraktionsebene</i>)
PSTN	Public Switched Telephone Network (<i>Öffentliches Telefon-Wählnetz*</i>)
RCF	Radio Control Function (<i>Funksteuerung</i>)
RD	Read (<i>gelesen</i>)
RE	Rückmeldung empfangen
RFC	Request For Comments

ROA	Recognised Operation Agency (<i>anerkannte Betriebsgesellschaft</i>)
RPOA	Recognised Private Operation Agency (<i>anerkannte private Betriebsgesellschaft</i>)
RRB	Rerouting on Busy (<i>alternativer Anruf im Belegfall</i>)
RRNR	Rerouting on No Reply (<i>alternativer Anruf bei ausbleibender Meldung</i>)
RS	Rückmeldung senden
RTCP	Real-time Transport Control Protocol
RTP	Real-time Transport Protocol
RZM	Rufzustandsmodell
RZV	Rufzustandsvariable
S	Seiteneffekt
SAP	Service Access Point (<i>Dienstzugangspunkt*</i>)
SC	Sent, Created (<i>erzeugt und gesendet</i>)
SCCP	Signalling Connection Control Part (<i>Steuerungsteil für Signalisierverbindungen</i>)
SCE	Service Creation Environment (<i>Diensterstellungsumgebung</i>)
SCEF	Service Creation Environment Function (<i>Funktionalität der Diensterstellungsumgebung</i>)
SCEP	Service Creation Environment Point
SCF	Service Control Function (<i>Funktionalität der Dienststeuerung</i>)
SCP	Service Control Point (<i>Dienststeuerknoten*</i>)
SCUAF	Service Control User Agent Function (<i>Benutzeragentenfunktion für die Dienststeuerung</i>)
SDF	Service Data Function (<i>Dienstdatenfunktion</i>)
SDL	Specification and Description Language (<i>Spezifikations- und Beschreibungssprache</i>)
SDL-GR	SDL Graphical Representation
SDL-PR	SDL Phrase Representation
SDP	Service Data Point (<i>Dienstdatenknoten</i>)
SDU	Service Data Unit (<i>Dienstdateneinheit*</i>)
SF	Service Feature (<i>Dienstmerkmal</i>)
SIB	Service Independent Building block (<i>dienstunabhängiger Funktionsblock</i>)
SIHP	Service Interaction Handling Process
SLEE	Service Logic Execution Environment (<i>Dienstlogikausführungsumgebung</i>)
SLEM	Service Logic Execution Manager (<i>Dienstlogikausführungsverwaltung</i>)
SLP	Service Logic processing Program (<i>Dienstlogikverarbeitungsprogramm</i>)
SLPI	Service Logic processing Program Instance (<i>Dienstlogikverarbeitungsprogramminstanz</i>)
SLSIM	Service Logic Selection/Interaction Manager
SMAF	Service Management Agent Function (<i>Dienstmanagementagentenfunktion</i>)
SMAP	Service Management Agent Point
SMF	Service Management Function (<i>Dienstmanagementfunktion</i>)
SN	Service Node (<i>Dienstknoten</i>)
SNR	Sent, No Read (<i>gesendet ohne Leseerlaubnis</i>)
SP	Sent, Updated (<i>aktualisiert gesendet</i>)

SP	Service Plane (<i>Dienste-Abstraktionsebene</i>)
SPC	Stored Programme Control
SRF	Specialized Resource Function (<i>Funktion zur Bereitstellung nutzkanalbezogener Ressourcen</i>)
SRO	Sent, Read Only (<i>gesendet mit Leseerlaubnis</i>)
SRW	Sent, Read/Write (<i>gesendet mit Schreib-/Leseerlaubnis</i>)
SS7	Signalling System No. 7
SSD	Service Support Data (<i>Dienstunterstützungsdaten</i>)
SSF	Service Switching Function (<i>Dienstzugangssteuerung</i>)
SSM	Switching State Model (<i>Verbindungszustandsmodell</i>)
SSP	Service Switching Point (<i>Dienstzugangsknoten*</i>)
STP	Signalling Transfer Point (<i>Signalisiertransferpunkt</i>)
STR	State Transition Rules
SU	Sent, Unchanged (<i>unverändert gesendet</i>)
T-BCSM	Terminating BCSM (<i>Rufzustandsmodell für ankommende Rufe</i>)
TCAP	Transaction Capabilities Application Part (<i>Transaktionsabwicklungsteil</i>)
TCP	Transmission Control Protocol
TCS	Terminating Call Screening (<i>selektive Sperre für ankommende Rufe</i>)
TDP-R/N	Trigger Detection Point – Request/Notification (<i>Dienstauslöser-Erkennungspunkt – Anforderung/Benachrichtigung</i>)
TINA	Telecommunications Information Networking Architecture
TINA-C	TINA Consortium
TMN	Telecommunications Management Network (<i>Betriebsführungsnetz*</i>)
TUP	Telephone User Part (<i>Telefon-Anwenderteil</i>)
Ü	Überschreiben
UDP	User Datagram Protocol
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
UPT	Universal Personal Telecommunications
VSt	Vermittlungsstelle
XC	Expected Created (<i>vom Dienst erzeugt erwartet</i>)
XP	Expected Updated (<i>aktualisiert erwartet</i>)
XU	Expected Unchanged (<i>unverändert erwartet</i>)

Formelzeichen

Funktionen und Operatoren

$I(Z), I_i(Z)$	Instanz / Instanz i eines Mehrwertdienstes Z
$\mathcal{K}_{\overline{W}}(x)$	Korrektheitsfunktion für die Freiheit von Wechselwirkungen
$\mathcal{K}_{\overline{uW}}(x)$	Korrektheitsfunktion für die Freiheit von <i>unerwünschten</i> Wechselwirkungen
$S(n, i)$	Stirling-Zahlen der zweiten Art
$V_{all}(n, E)$	Menge aller Vektoren der Dimension n mit Elementen aus der Menge E
$V_{psf}(n, E)$	Menge aller <i>permutationssymmetriefreien</i> Vektoren der Dimension n mit Elementen aus der Menge E
\oplus	Kombination von Diensten (Basisdienst und Mehrwertdienste)
\models	Erfüllbarkeitsoperator („satisfies“)
$\not\models$	Negation des Erfüllbarkeitsoperators
\wedge	logische Konjunktion (boolescher UND-Operator)
\rightarrow	logische Implikation (als boolescher Operator), Abbildung (bei Mengen)
\mapsto	Zuordnung

Formelzeichen

B	Basisdienst
E	Menge der Endinstanzen im Rahmen der Topologie einer Kommunikationsbeziehung
e, e_i	Endinstanz / Endinstanz i im Rahmen der Topologie einer Kommunikationsbeziehung
i, j	Zählvariablen
k	Grad einer Wechselwirkung
k_n	Anzahl der möglichen verschiedenartigen Abbildungen von n unterschiedlichen Gegenständen auf bis zu n gleichartige Zellen
l	Ordnung einer Wechselwirkung
M_Z	Menge von Mehrwertdiensten (Zusatzdiensten)
m	Differenz zwischen Grad und Ordnung einer Wechselwirkung
N	Schicht im ISO/OSI-Basisreferenzmodell
n	allgemein zur Angabe einer Anzahl verwendetes Formelzeichen
$n_{eK,x}$	Anzahl der entarteten Konfigurationen mit maximal x -facher Überlappung
n_S	Anzahl der Standardkonfigurationen
n_{Smin}	Anzahl der Standardkonfigurationen mit minimaler Überlappung

n_{Smin}	Anzahl der Standardkonfigurationen mit nicht minimaler Überlappung
n_{tu}	Anzahl der topologisch unterschiedlichen Konfigurationen
t	Topologie einer Kommunikationsbeziehung
t_{CF}	Topologie einer Kommunikationsbeziehung für den Mehrwertdienst Anrufumleitung (engl. <i>Call Forwarding</i>)
V	Menge der Verbindungspunkte v im Rahmen der Topologie einer Kommunikationsbeziehung
v, v_i	Verbindungspunkt / Verbindungspunkt i im Rahmen der Topologie einer Kommunikationsbeziehung
Z, Z_i	Mehrwertdienst / Mehrwertdienst i
Φ, Φ_i	Logischer Ausdruck zur Beschreibung der Eigenschaften einer Kombination von Diensten

1 Einführung

1.1 Umfeld und Motivation

Von je her besteht ein Grundbedürfnis des Menschen darin, Informationen mit seinen Mitmenschen auszutauschen. Über größere Entfernungen hinweg war dies lange Zeit nur mit erheblicher zeitlicher Verzögerung möglich, beispielsweise durch Briefverkehr. Für sehr geringe Informationsmengen konnte dieser Nachteil bereits in der Antike durch die Verwendung von Feuer-, Rauch- oder Flaggenzeichen überwunden werden; seine Blüte erlangte diese Technik am Ende des 18. Jahrhunderts, wo mit Hilfe eines „Netzes“ – eigentlich eher mehrerer Linien – von optischen Telegraphen, die von Claude Chappe entwickelt worden waren, zwischen Paris und einigen anderen Städten Frankreichs Informationen mit einer Schrittgeschwindigkeit von etwa einem Zeichen je 30 Sekunden und einer Verzögerung von wenigen Minuten ausgetauscht werden konnten [119].

Die Benutzung leitungsgebundener und später auch nicht leitungsgebundener elektromagnetischer Wellen brachte den Durchbruch für die Informationsübermittlung zwischen entfernten Orten. Sie nahm 1833 mit dem Telegraphen von Friedrich Gauß und Wilhelm Weber ihren Anfang und konnte später durch die Möglichkeit zur elektrischen Übermittlung gesprochener Sprache anstelle bestimmter Codes (Johann Philipp Reis, 1861 und Alexander Graham Bell, 1876)¹ prinzipiell von jedermann eingesetzt werden [109]. Die schnelle Annahme der Erfindung des Fernsprechens bestätigte dies: Im Jahre 1878 wurde in New Haven (USA) von einer Privatgesellschaft die erste öffentliche Fernsprechanlage der Welt in Betrieb genommen. In Deutschland wurde 1881 in Berlin das erste öffentliche Fernsprechamt mit achtundvierzig Anschlüssen eröffnet; schon 1884 enthielt das Teilnehmerverzeichnis dort über 2000 Einträge [114].

Heute ist das Telefon als Kommunikationsmittel praktisch aus keinem Bereich des privaten und öffentlichen Lebens mehr wegzudenken, obwohl sie durch einige andere Informationsübermittlungsverfahren wie die Faksimile-Übermittlung (Telefax) oder den elektronischen Briefverkehr (*e-mail*) erhebliche Konkurrenz bekommen hat. 1998 gab es weltweit über 840 Millionen Festanschlüsse und über 319 Millionen Mobilfunkteilnehmer, was Anteilen von 14,3% bzw. 5,4% an der Weltbevölkerung entspricht; für Deutschland lagen diese Zahlen 1998 bei 56,7% bzw. 17,0%².

¹Reis' Erfindung, die fünfzehn Jahre vor Bells Telefon öffentlich vorgestellt worden war, befand sich in einem vergleichsweise unreifen Zustand, da die Sprache im Sender („Geber“) nicht analog in elektrische Spannungsschwankungen umgewandelt, sondern mit Hilfe der Schallwellen ein Stromkreis unterbrochen und geschlossen wurde. Dies hatte eine extrem schlechte Sprachverständlichkeit zur Folge. Bell arbeitete – ohne von Reis' Erfindung Kenntnis zu haben – mit einer analogen Umsetzung von Schallwellen in Stromstärkeschwankungen und erhielt am 7. März 1876 das Patent dafür. Die Sprachqualität war erheblich besser als bei Reis' Erfindung.

²Quelle: International Telecommunication Union (ITU), Telecommunication Indicators, Basic indicators (World) und Mobile cellular, 1998, <http://www.itu.int/ti/industryoverview>.

Bis in die jüngere Vergangenheit wurden die meisten Telefonnetze von staatlichen Organisationen oder Monopolunternehmen betrieben. Erst die Deregulierung der Telekommunikationsmärkte führte zur Entstehung konkurrierender Unternehmen, in Deutschland zunächst im Bereich des Mobilfunks, später auch im Festnetz, und in den USA durch die Zerschlagung des Bell-Monopols in einige regionale und überregionale Gesellschaften.

Zur Differenzierung verfügen konkurrierende Netzbetreiber im Wesentlichen über zwei Parameter: Preis und Qualität der angebotenen Dienstleistung. Während die Differenzierung über den Preis ihre natürliche Grenze langfristig bei den tatsächlichen Kosten des Netzbetriebs und aller dazugehörigen Leistungen findet, ist einer Differenzierung über die Qualität der angebotenen Dienstleistung nahezu keine Grenze gesetzt. Während die klassischen Qualitätsmerkmale wie Sprachverständlichkeit, Wähltonverzögerung und Blockierwahrscheinlichkeit in einem nach Stand der Technik ausgebauten Netz wenig Raum zur Verbesserung lassen, kann durch das Angebot eines erweiterten Funktionsumfangs in Form sogenannter Mehrwert- oder Zusatzdienste (engl. *supplementary service*) der durch Kunden und Teilnehmer wahrnehmbare Nutzen der angebotenen Dienstleistung erheblich gesteigert werden. Möglichkeiten zur Umleitung von Anrufen, zum Makeln und zum Anklopfen in bestehenden Gesprächen gehören mittlerweile ebenso zum gewohnten Funktionsumfang des Telefondienstes wie der Anrufbeantworter im Netz und die Übernahme des Gesprächsentgelts. Die Realisierung derartiger Mehrwertdienste wurden bereits von den ersten programmgesteuerten Vermittlungssystemen (NO. 1 ESS von AT&T, 1965) ermöglicht [232].

Aus diesen für den Telefondienst neuen Aspekten erwachsen neue Anforderungen an die Technik. Traditionell lag der Schwerpunkt bei der Gestaltung von Einrichtungen in den Kommunikationsnetzen – sowohl bei den elektromechanischen als auch später bei programmgesteuerten Vermittlungssystemen – in den Bereichen der Robustheit und Zuverlässigkeit. Flexible Erweiterbarkeit der Funktionalität gehörte nicht zu den primären Anforderungen, und so verwundert es kaum, dass die Einführung neuer Fähigkeiten – sogenannter Leistungsmerkmale (engl. *feature*) – aufwändig und zeitraubend war. Sie erforderte einen in der Regel tiefen Eingriff in die Software der Vermittlungseinrichtungen. Damit ging sie einher mit hohen Kosten, einer Gefährdung des Netzbetriebs durch möglicherweise unentdeckte Fehler und mit langen Einführungsverzögerungen für neue Mehrwertdienste wegen der üblicherweise nur einmal jährlich durchgeführten Softwareaktualisierungen im Netz. Der Bedarf nach schnellerer und weniger aufwändiger Bereitstellung neuer Mehrwertdienste konnte mit dieser Vorgehensweise immer schwieriger befriedigt werden. Dies gab schließlich den Anstoß für die Entwicklung flexiblerer Netz- und Systemarchitekturkonzepte wie dem Intelligenten Netz (IN) oder der *Telecommunications Information Networking Architecture* (TINA). Auch das Interesse an einer Ausweitung des Funktionsumfangs von Datennetzen, die auf dem *Internet*-Protokoll (IP) basieren, hin zur Bereitstellung von Echtzeitkommunikationsdiensten rührt zu einem erheblichen Teil von der Flexibilität und Offenheit dieser Technologie und der daraus zu erwartenden Vereinfachung der Einführung neuer Mehrwertdienste her.

Schon bald zeichnete sich ab, dass verschiedenartige Abhängigkeiten zwischen neu eingeführten Mehrwertdiensten und bereits vorhandenen existieren, die zur Sicherstellung einer korrekten Funktion entsprechend berücksichtigt werden müssen. Bereits 1982 beschreiben Gates *et al.* [93] zwei beispielhafte Situationen, in denen es ohne besondere Maßnahmen durch gleichzeitige Benutzung zweier Mehrwertdienste zu Schwierigkeiten kommt, und belegen ein solches Verhalten mit dem Begriff der *feature interaction* oder

Wechselwirkung zwischen Leistungsmerkmalen³. Da zur damaligen Zeit die Zahl solcher Mehrwertdienste insgesamt noch sehr gering war und deren Einführung in großen zeitlichen Abständen erfolgte⁴, wurde ein derartiges Verhalten noch nicht explizit als problematisch angesehen. Erst 1989 identifizieren Bowen *et al.* [26] wegen der beständig und immer schneller wachsenden Zahl solcher Mehrwertdienste deren wechselseitige Abhängigkeiten als Problem und prägen den Begriff des *feature interaction problem*. Dieses wird in jener Arbeit als eine Hauptursache der langen Entwicklungszyklen für derartige Dienste und als ein Schlüsselhindernis für die parallele Entwicklung und schnelle Einführung neuer Mehrwertdienste durch unabhängige Hersteller angesehen.

Schnell wurde dieses Thema als Arbeitsgebiet von Forschungszentren und akademischen Einrichtungen aufgegriffen. Bereits im Dezember 1992 wurde in St. Petersburg (Florida, USA) der erste internationale *Workshop on Feature Interactions in Telecommunications Systems*⁵ veranstaltet, dessen wichtigste Ergebnisse in zwei Themenheften des *IEEE Communications Magazine* [162] und des *IEEE Computer Magazine* [105] einer breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht wurden. Eine fortdauernde Reihe weiterer Workshops [23, 56, 65, 144] sowie weitere Themenhefte von Zeitschriften [21, 66, 164] wurden ebenfalls diesem Gebiet gewidmet.

Prinzipiell sind Wechselwirkungsprobleme in allen Systemen zu finden, die um unabhängig entwickelbare Zusatzfähigkeiten erweitert werden können, zwischen denen jedoch auf Grund ihrer Auswirkungen im System Abhängigkeiten bestehen [3]. Svensson und Andersson [207] beschreiben beispielsweise Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Funktionen eines komplexen Softwaresystems, das die Steuerung eines Mobilfunkgerätes realisiert. Die auftretenden Probleme sind den in Telekommunikationsnetzen beobachtbaren Wechselwirkungen sehr ähnlich.

1.2 Überblick über die Arbeit

Die vorliegende Arbeit verfolgt ein zweifaches Ziel: die Schaffung eines begrifflichen Rahmens für das Problem der Wechselwirkungen zwischen Mehrwertdiensten einschließlich einer Klassifizierung auf Grund ihrer unterschiedlichen Entstehungsebenen und die Anwendung dieser Klassifizierung als Basis für die Entwicklung und Validierung eines Verfahrens für die Erkennung einer bedeutenden Klasse von Wechselwirkungen.

In Kapitel 2 werden die technischen Grundlagen für eine Beschäftigung mit Mehrwertdiensten in Telekommunikationsnetzen gelegt. Dazu wird zunächst der Begriff des Dienstes in seinen verschiedenen Anwendungszusammenhängen diskutiert. Der Schwerpunkt dieses Kapitels liegt auf der Einführung des Architekturkonzeptes des Intelligenten Netzes, einer Plattform für die schnelle und kostengünstige Bereitstellung neuer Dienste in Telefonnetzen. Dieses Konzept bildet den Hintergrund für das im weiteren Verlauf der Arbeit eingeführte Verfahren zur Erkennung einer Klasse von Wechselwirkungen zwischen Diensten. Eine Einführung in neuere dienstorientierte Netzkonzepte wie TINA und

³Für eine genauere begriffliche Differenzierung wird auf Kapitel 3 verwiesen.

⁴Worrall [232] zählt vier grundlegende Mehrwertdienste auf, die im Rahmen der sogenannten *Customer Calling Services (CCS)* 1965 eingeführt wurden: *Call Waiting* (Anklopfen), *Call Forwarding* (Anrufumleitung), *Three-way Calling* (Dreierkonferenz) und *Speed Calling* (Kurzwahl). Diese wurden 1979 im Rahmen der *Customer Calling Services II (CCS II)* um die drei Mehrwertdienste *Call Answering* (Anrufbeantworter), *Custom Announcement* (Ansagedienst) und *Advance Calling* (Auftragsdienst) ergänzt, die alle auf einem neu eingeführten Sprachspeichersystem im Netz aufbauten.

⁵Zu dieser Veranstaltung erschien kein gedruckter Tagungsband; die dort präsentierten Dokumente stehen nur den Teilnehmern zur Verfügung.

Konzepte zur Bereitstellung interaktiver Telekommunikationsdienste basierend auf dem *Internet*-Protokoll runden diese Darstellung ab.

Die Schaffung eines begrifflichen Rahmens für die Problematik der Wechselwirkungen zwischen Mehrwertdiensten bildet das Thema von Kapitel 3. Dazu werden zunächst die Begriffe des *Grades* und der *Ordnung* einer Wechselwirkung eingeführt; der Grad bezeichnet dabei die Anzahl der an einer Wechselwirkung beteiligten Mehrwertdienstinstanzen, die Ordnung die Anzahl der verschiedenen beteiligten Mehrwertdienste. Anschließend wird ein Vorschlag zur Klassifizierung von Wechselwirkungen nach ihrer Entstehungsart gemacht. Dabei werden die Ebenen der Anforderungen, der Systemarchitektur und der Realisierung unterschieden. Die auf diesen Ebenen zustande kommenden Wechselwirkungen werden durch unterschiedliche Mechanismen verursacht. Eine Literaturstudie über wesentliche Verfahren zum Umgang mit Wechselwirkungen, die in ein mehrdimensionales Schema aus Zielrichtung des Ansatzes, verwendeter Methodik, Position im Dienstlebenszyklus und Systemkontext eingebettet werden, beschließt dieses Kapitel.

Grundlage für die Definition eines Verfahrens zur Erkennung von Wechselwirkungen zwischen Mehrwertdiensten auf der Ebene der Systemarchitektur ist ein Modell des zu untersuchenden Systems. Dies ist Gegenstand von Kapitel 4. Ziel ist nicht ein vollständiges Systemmodell, sondern eines, das gezielt die wechselwirkungsrelevanten Aspekte des Systems nachbildet und auf diese Weise die Erkennung von Wechselwirkungen unterstützt. Dabei wird den organisatorischen Rahmenbedingungen für die Untersuchung von Diensten auf Wechselwirkungen in besonderem Maße Rechnung getragen, indem die Betrachtung der Interna eines Mehrwertdienstes auf ein Minimum beschränkt wird.

Die Modellierung erfolgt unter mehreren Aspekten (Ablaufverhalten, Informationsfluss und Ressourcenverwendung) und auf mehreren Ebenen (Diensttopologie und -konfiguration, Einzelverbindung). Diese Art der Modellierung berücksichtigt in besonderer Weise die Anwendbarkeit formaler Verifikationstechniken. Auf der Ebene der Einzelverbindung kommt die formale Beschreibungssprache LOTOS zum Einsatz, mittels derer Ruf- und Dienstbearbeitung auf der Verteilten Funktionalen Abstraktionsebene des konzeptionellen Modells des Intelligenten Netzes beschrieben wird.

Ein mehrstufiges Verfahren zur Erkennung möglicher Wechselwirkungen zwischen Mehrwertdiensten auf der Ebene der Systemarchitektur wird in Kapitel 5 vorgestellt. In seiner ersten Phase beruht es darauf, die Anzahl zu untersuchender Rufkonfigurationen zunächst stark zu reduzieren. Dies wird durch Verwendung einfach anzuwendender Kriterien erreicht, wie z. B. topologische und kausale Überlegungen. Auf die auf diese Weise entstehende reduzierte Menge von Rufkonfigurationen können in einer zweiten Phase aufwändigere Verfahren angewendet werden. Für eine einzelne Rufkonfiguration ist dies beispielsweise eine genauere Betrachtung der Informationsflüsse und der Ressourcenverwendung. Für eine einzelne Verbindung als Bestandteil einer Rufkonfiguration erfolgt die Erkennung von Wechselwirkungen mit Hilfe formaler Verifikationstechniken auf der Basis des in Kapitel 4 erstellten LOTOS-Systemmodells. Eine Fallstudie in Anhang C ergänzt die Darstellung des vorgestellten Verfahrens.

In seinem methodischen Kern ist dieses Verfahren bei Anpassung der Systemmodellierung auch für die Erkennung von Wechselwirkungen in anderen Systemen einsetzbar, bei denen mehrere unabhängige Systemteile in einer Dienstleistungsbeziehung mit einem Basissystem stehen.

Kapitel 6 beschließt die Arbeit mit einer Zusammenfassung der erzielten Ergebnisse und einem Ausblick.

2 Grundlagen der Netztechnik

2.1 Begriff des Dienstes

Der Begriff des *Dienstes* besitzt zentrale Bedeutung für diese Arbeit. Da es sich um einen allgemeinen Begriff handelt, der auch in der Alltagssprache verschiedene Bedeutungen umfasst, ist eine Definition dieses Begriffs für seine weitere Verwendung unerlässlich. Nach einer allgemeinen und systemunabhängigen Definition werden in diesem Abschnitt bereits vorhandene Dienstbegriffe des ISO/OSI-Basisreferenzmodells für offene Kommunikationssysteme und des diensteintegrierenden Digitalnetzes ISDN näher untersucht.

2.1.1 Allgemeine Definition

Die Definition des Dienstes besitzt zwei unterschiedliche Facetten: Die *bedarfsorientierte* Dienstdefinition setzt den spezifischen Bedarf eines Dienstinutzers in den Vordergrund, der von einem Dienstleister aufgegriffen wird und in ein Dienstleistungsangebot zur Befriedigung dieses speziellen Bedarfs umgesetzt wird. Die Motivation für den Dienstinutzer liegt dabei in der Vereinfachung der eigentlich durchzuführenden Aufgabe durch Delegation einer abgrenzbaren untergeordneten Aufgabe. Für den Dienstleister liegt die Motivation in der Spezialisierung auf eine bestimmte Aufgabe und dem daraus möglicherweise resultierenden Rationalisierungseffekt bei mehrfacher Inanspruchnahme eines Dienstes durch mehrere Dienstinutzer. In dieser Sichtweise handelt es sich bei Dienstleistern und -nutzern in der Regel nicht um technische Systeme, sondern um Personen bzw. Organisationen.

Eine *technische* Dienstdefinition betont dagegen die Ausführungsform. Diese Definition kommt in technischen Systemen, insbesondere auch in Kommunikationsnetzen zum Einsatz. Das Vorhandensein eines Bedarfs für die erbrachte Dienstleistung wird dabei stillschweigend vorausgesetzt. Die technische Dienstdefinition besitzt zwei Aspekte: Der *strukturelle* Aspekt bezieht sich auf die Aufteilung von Funktionen zwischen Systemen bzw. innerhalb des Systems auf einen Dienstinutzer und einen Dienstleister. Diese Aufteilung ist in vielen Fällen nicht durch äußere Rahmenbedingungen vorgegeben, sondern eine individuelle Entscheidung im Rahmen des Systementwurfs. Der *ablaufbezogene* Aspekt ist auf den zeitlichen Ablauf der Funktionen eines Dienstes, also auf ein spezifisches Interaktionsmuster ausgerichtet [231]. Abb. 2.1 bringt beide Aspekte der technischen Dienstdefinition in elementarer Weise zum Ausdruck.

In der technischen Sichtweise handelt es sich bei Dienstleistern und -nutzern um technische Systeme bzw. Systemteile. Personen bzw. Organisationen können solche technischen Dienste in der Regel nur durch die Zuhilfenahme einer technischen Einrichtung (Mensch-Maschine-Schnittstelle) in Anspruch nehmen.

Die Strukturierung eines technischen Systems in Dienstleister und Dienstinutzer und der Ablauf der Interaktion zwischen diesen Instanzen bezieht sich immer nur auf einen Dienst. Dies hat die Konsequenz, dass ein Systemteil, der bezüglich des einen Dienstes

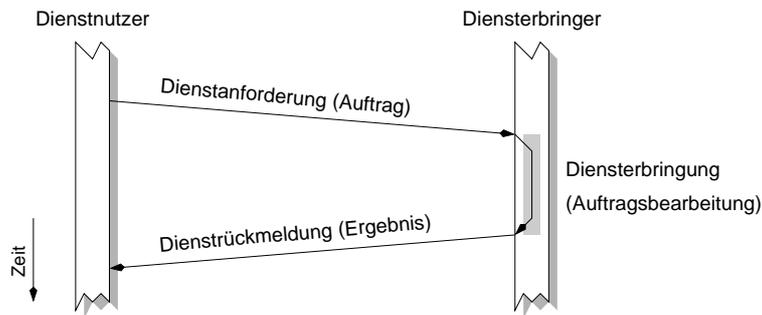


Abbildung 2.1: Struktureller und ablaufbezogener Aspekt der technischen Dienstdefinition

als Dienstanbieter auftritt, bezüglich eines anderen Dienstes auch als Dienstnutzer in Erscheinung treten kann, und umgekehrt. Diese Art der Abhängigkeit impliziert auch die Möglichkeit der Verschachtelung und Verkettung von Diensten.

2.1.2 Dienstbegriff des ISO/OSI-Basisreferenzmodells

Große Bedeutung konnte der Dienstbegriff im Rahmen der Strukturierung von Kommunikationsvorgängen in verteilten Systemen erlangen. Kommunikation in verteilten Systemen ist ein komplexer Vorgang, der eine Vielzahl von verschiedenartigen Funktionen und Mechanismen erfordert. Um diese Funktionen zu ordnen und zu strukturieren und damit eine Systematisierung zu erzielen, wurde Ende der 1970er Jahre das ISO/OSI-Basisreferenzmodell für offene Kommunikationssysteme erarbeitet und international standardisiert [246].

Dieses Modell beruht auf einem technischen Dienstkonzept aus einer Hierarchie von Diensten, die so gestaltet ist, dass in der Hierarchie höher gelegene Dienste unter Zuhilfenahme des Dienstleistungsangebotes von niedriger gelegenen Diensten einen funktional erweiterten Dienst anbieten. Dienste können über standardisierte Dienstzugangspunkte angesprochen werden. Dadurch entsteht eine Verschachtelung von Diensten. Der jeweilige Funktionsumfang einer Funktionsschicht ergibt sich dabei aus der Differenz der Funktionalität des aktuell betrachteten und des darunterliegenden Kommunikationsdienstes (Abb. 2.2).

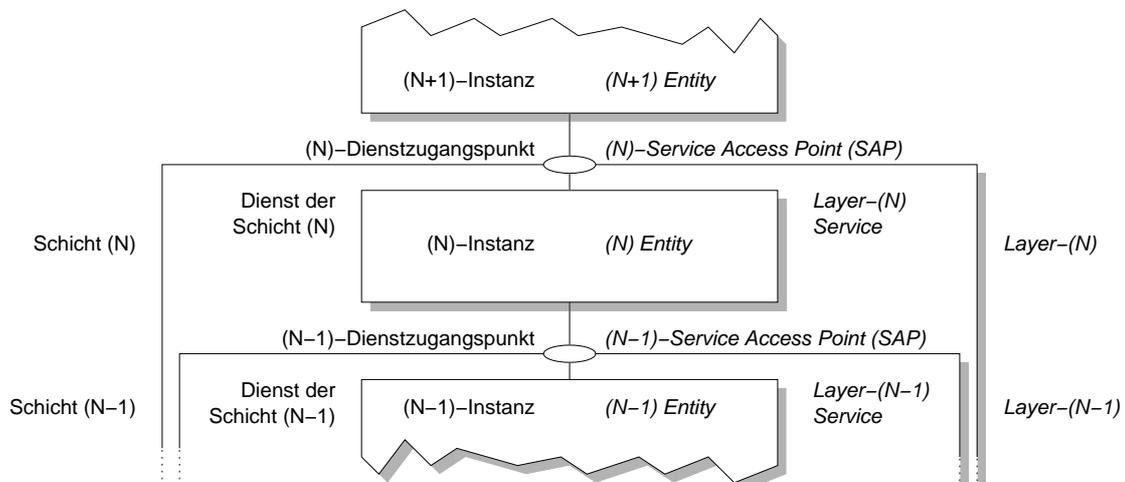


Abbildung 2.2: Dienste und Funktionsschichten im ISO/OSI-Basisreferenzmodell für offene Kommunikationssysteme

Während der Begriff der Funktionsschicht systemübergreifend ist, also beispielsweise alle in einem Netz verbundenen Systeme umfasst, bezeichnet man den Anteil eines einzelnen Systems an einer Funktionsschicht als Subsystem. Ein solches Subsystem kann mehrere Instanzen (engl. *entity*) beinhalten, die als logische Prozesse konkrete Funktionen der jeweiligen Schicht realisieren.

Eine Instanz der Schicht (N) stellt Instanzen der Schicht ($N + 1$) einen oder mehrere Dienstzugangspunkte zur Verfügung. Ein solcher Dienstzugangspunkt verknüpft eindeutig den Diensterbringer und den Dienstnutzer. Neben den Beziehungen einer (N)-Instanz zu Instanzen der Schichten ($N - 1$) und ($N + 1$), den angrenzenden Schichten (engl. *adjacent layer*), existiert außerdem eine Beziehung zu einer oder mehreren Instanzen der Schicht (N) in anderen Systemen, den sogenannten Partnerinstanzen (engl. *peer entity*). Bei dieser Beziehung handelt es sich jedoch nicht um eine Dienstleistungsbeziehung, sondern um eine Beziehung zwischen gleichberechtigten Instanzen. Im Rahmen dieser Beziehung erfolgt die Kommunikation nach den Regeln eines Protokolls durch den Austausch von Protokolldateneinheiten (engl. *Protocol Data Unit, PDU*).

Für das Verhalten einer (N)-Instanz gibt es folglich zwei unterschiedliche Beschreibungen, die jedoch miteinander in Beziehung stehen: die Beschreibung des Dienstes, den diese Instanz Instanzen der nächsthöheren Schicht ($N + 1$) zur Verfügung stellt, und die Beschreibung des Protokolls, mit dem die (N)-Instanz mit einer Partnerinstanz der gleichen Schicht in Verbindung tritt. Diese Aufteilung unterstreicht die Tatsache, dass für die Inanspruchnahme eines Dienstes im Idealfall keinerlei Kenntnisse über die in der darunterliegenden Schicht ($N - 1$) ablaufenden Vorgänge vorhanden sein müssen.

Strukturell repräsentiert bei zwei direkt übereinanderliegenden Instanzen die obere den Dienstnutzer und die untere (durch Bereitstellung des Dienstzugangspunktes) den Diensterbringer. In der ablaufbezogenen Betrachtungsweise benutzen diese beiden Instanzen festgelegte Sätze von Dienstelementen (engl. *service primitive*), mit deren Hilfe Dienstdateneinheiten (engl. *Service Data Unit, SDU*) zwischen Dienstnutzer und Diensterbringer übermittelt werden. Die Regeln zum Austausch von Dienstdateneinheiten über Dienstelemente zwischen direkt übereinanderliegenden Instanzen werden über ein Dienstprotokoll (engl. *adjacent layer protocol*) beschrieben.

Die praktisch in jedem Kommunikationsnetz vorkommenden grundsätzlichen Funktionen wurden für das ISO/OSI-Basisreferenzmodell auf insgesamt sieben aufeinander aufbauende Schichten aufgeteilt (Abb. 2.3). Die drei unteren Schichten bezeichnet man als die netzorientierten Schichten. Die *Bitübertragungsschicht* umfasst dabei elektrische, optische und mechanische Festlegungen für den Zugriff auf das physikalische Medium. Die *Sicherungsschicht* ermöglicht die gesicherte Verbindung zwischen zwei Systemen. Die *Vermittlungsschicht* verknüpft solche gesicherten Systemverbindungen zu Verbindungen zwischen Endsystemen. Die vier oberen Schichten sind i. d. R. in einem Netz nur in Endsystemen, nicht jedoch in Transitsystemen zu finden. Die *Transportschicht* erweitert Endsystemverbindungen zu Teilnehmerverbindungen. Die *Sitzungsschicht* stellt Mittel zur Eröffnung, Durchführung und Beendigung einer Kommunikationsbeziehung – Sitzung genannt – zur Verfügung. Die *Darstellungsschicht* ist dabei für die Datenrepräsentation verantwortlich. Die Funktionen der Informationsverarbeitung in einer Kommunikationsbeziehung sind der *Verarbeitungsschicht* zugeordnet.

2.1.3 Dienstbegriff des diensteintegrierenden Digitalnetzes ISDN

Das diensteintegrierende Digitalnetz ISDN (engl. *Integrated Services Digital Network*) wurde eingeführt, um von zum Teil unterschiedlichen Netzen angebotene Dienste wie



Abbildung 2.3: Schichten des ISO/OSI-Basisreferenzmodells für offene Kommunikationssysteme

Sprachübertragung (Telefonie), Übermittlung von Texten (Telex, Teletex) und Texten/Grafiken (Telefax), sowie Datenfernübertragung auf einem einheitlichen Netz zu realisieren und dadurch erheblichen Zuwachs an Benutzungskomfort und Wirtschaftlichkeit zu erzielen.

Dem ISDN liegt ein umfassendes Dienstkonzept zugrunde, das zunächst im Sinne eines bedarfsorientierten Dienstkonzepts zu verstehen ist. Als ein Dienst im ISDN-Sinne wird dabei ganz allgemein das Angebot eines Diensterbringers an seine Kunden zur Befriedigung einer speziellen Telekommunikationsanforderung verstanden. Da diese bedarfsorientierte Sichtweise jedoch für den Entwurf und die Strukturierung eines technischen Systems wenig Hilfestellung bietet, rückt für die Umsetzung der Aspekt des technischen, insbesondere des strukturellen Dienstbegriffs in den Vordergrund.

Die Vielfalt dieser möglichen Anforderungen bedingt eine komplexe Strukturierung des ISDN-Dienstkonzepts. Dabei wurden Grundsätze des ISO/OSI-Basisreferenzmodells angewendet. Prinzipiell werden die ISDN-Telekommunikationsdienste in Übermittlungsdienste (engl. *bearer service*) und in Teledienste (engl. *teleservice*) eingeteilt.

Übermittlungsdienste umfassen dabei die Fähigkeiten des Netzes für die Übertragung von Signalen zwischen verschiedenen Teilnehmer-Netz-Schnittstellen. Diese Fähigkeiten sind in den unteren drei Schichten des ISO/OSI-Basisreferenzmodells für offene Kommunikationssysteme angesiedelt und werden durch sogenannte *Übermittlungsdienstattribute* wie z. B. den Übertragungsmodus und die Informationstransferrate näher charakterisiert.

Teledienste umfassen die Fähigkeiten des Netzes inklusive der Teilnehmerendeinrichtungen zur Kommunikation zwischen Nutzern und beinhalten damit alle sieben Schichten des ISO/OSI-Basisreferenzmodells. Neben den oben bereits erwähnten Übermittlungsdienstattributen, die hier als Attribute der unteren Schichten (engl. *low layer attribute*) bezeichnet werden, müssen hier eine Reihe von weiteren Attributen angegeben werden, die Attribute der oberen Schichten (engl. *high layer attribute*). Diese beinhalten z. B. Informationen über den Typ der zu übermittelnden Benutzerinformation, beim Telefaxdienst über graphische Auflösung oder Charakteristik, also ob es sich beispielsweise um Strichzeichnungen oder um Fotografien handelt.

Die Klasse der Teledienste wird darüber hinaus in Unterklassen eingeteilt. *Dialogdienste* (engl. *interactive service*) stellen bidirektionale Dialogkommunikation bereit, bei der die Einhaltung von Echtzeitbedingungen erforderlich ist. *Verteildienste* (engl. *multicast/broadcast service*) beruhen auf unidirektionalem Nachrichtenfluss von einer Dienstzentrale zu einer beliebigen Anzahl von Empfängern. Die Präsentation der Information kann dabei möglicherweise benutzerindividuell gesteuert werden. *Speicherdienste* (engl. *mail service*) dienen der indirekten Kommunikation zwischen Benutzern durch Zwischen-

speicherung der Nachrichten, während *Abrufdienste* (engl. *retrieval service*) dem Abruf gespeicherter Informationen von Datenbanken bzw. Dienstzentralen dienen. Abb. 2.4 zeigt das eben beschriebene ISDN-Dienstkonzept im Überblick.

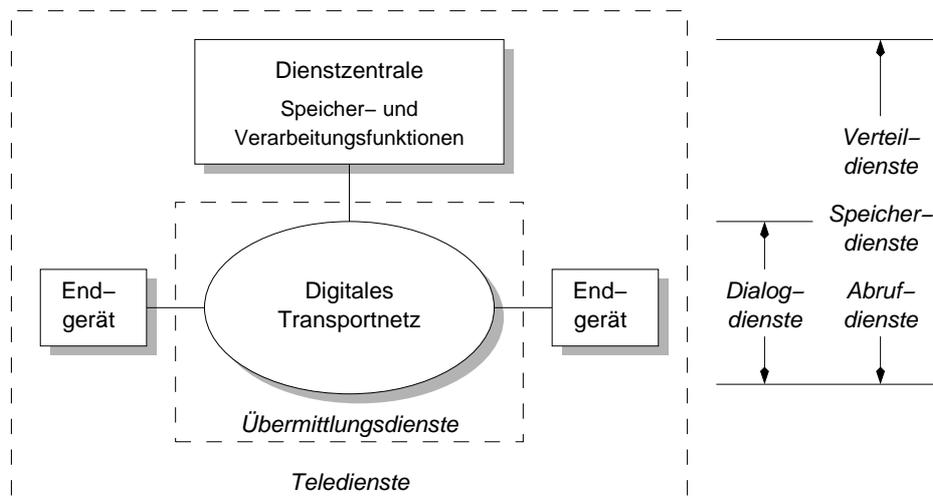


Abbildung 2.4: ISDN-Dienstkonzept

Als Ergänzung der Übermittlungs- und Teledienste werden *Mehrwertdienste* (engl. *supplementary service* oder auch *value added service*) eingeführt, die jeweils nur in Verbindung mit Übermittlungs- oder Telediensten – also nicht für sich alleine – eingesetzt werden können. Diese Mehrwertdienste werden in der Empfehlung I.250 der ITU-T [261] in Gruppen eingeteilt, die in Tabelle 2.1 dargestellt sind.

2.2 Signalisierung

Als *Signalisierung* oder *Zeichengabe* wird der Austausch von Steuerinformation zwischen Endeinrichtungen und Netz, zwischen mehreren Endeinrichtungen (Ende-zu-Ende-Signalisierung) bzw. zwischen Knoten eines Netzes zum Auf- und Abbau von Verbindungen, zur Inanspruchnahme von Mehrwertdiensten und zu Zwecken der Administration und des Netzbetriebs bezeichnet. Dabei werden – abhängig von der zur Verfügung stehenden Netzinfrastruktur – unterschiedliche Verfahren eingesetzt. In einem Kommunikationsnetz wird zwischen dem Zugangsnetz (engl. *access network*) und dem Kernnetz (engl. *core network*) unterschieden. Der Teilnehmerzugangsbereich umfasst dabei die Einrichtungen und Netzkomponenten, mittels derer Endeinrichtungen an Netzknoten angeschlossen sind. Der Kernnetzbereich beinhaltet alle Netzknoten und die sie verbindenden Kanäle, sofern diese nicht Bestandteil des Zugangsnetzes sind. Die Signalisierung im Teilnehmerzugangsbereich, also zwischen Endeinrichtungen und den diesen direkt zugeordneten Netzknoten, wird als *Benutzersignalisierung*, die im Kernnetz, also zwischen Netzknoten, als *Zwischenamtssignalisierung* bezeichnet.

Zum Zweck der Signalisierung steht eine Reihe definierter Signaltypen, das *Signalisieralphabet*, zur Verfügung. Im Falle einer Übertragung dieser Signale im Nutzkanal spricht man von *leitungsgebundener* oder *Inband-Signalisierung*. Traditionell findet man sie im Teilnehmerzugangsbereich des analogen Telefonnetzes, wo die Zustände des Endgerätes durch die Herstellung („abgehoben“) bzw. Unterbrechung („aufgelegt“) des Gleichstrom-Schleifenschlusses und die Wählziffern durch periodische Unterbrechungen desselben oder durch das Senden einer speziellen Frequenzkombination entsprechend der gewählten

Tabelle 2.1: Liste von Mehrwertdiensten nach ITU-T-Empfehlung I.250 [261]

<i>Empfehlung</i>	<i>Bezeichnung</i>	<i>Abkürzung</i>
I.251 Number Identification supplementary services		
I.251.1	Direct-Dialling-In	DDI
I.251.2	Multiple Subscriber Number	MSN
I.251.3	Calling Line Identification Presentation	CLIP
I.251.4	Calling Line Identification Restriction	CLIR
I.251.5	Connected Line Identification Presentation	COLP
I.251.6	Connected Line Identification Restriction	COLR
I.251.7	Malicious Call Identification	MCI
I.251.8	Sub-addressing	SUB
I.251.9	Calling Name Identification Presentation	CNIP
I.251.10	Calling Name Identification Restriction	CNIR
I.252 Call Offering supplementary services		
I.252.1	Call Transfer	CT
I.252.2	Call Forwarding Busy	CFB
I.252.3	Call Forwarding No Reply	CFNR
I.252.4	Call Forwarding Unconditional	CFU
I.252.5	Call Deflection	CD
I.252.6	Line Hunting	LH
I.252.7	Explicit Call Transfer	
I.253 Call Completion supplementary services		
I.253.1	Call Waiting	CW
I.253.2	Call Hold	HOLD
I.253.3	Completion of Calls to Busy Subscribers	CCBS
I.253.4	Completion of Calls on No Reply	CCNR
I.254 Multiparty supplementary services		
I.254.1	Conference Calling	CONF
I.254.2	Three Party Service	3PTY
I.254.5	Meet-me Conference	
I.255 Community of Interest supplementary services		
I.255.1	Closed User Group	CUG
I.255.2	Private Numbering Plan	PNP
I.255.3	Multi-level Precedence and Preemption	MLPP
I.255.4	Priority Service	
I.255.5	Outgoing Call Barring	
I.256 Charging supplementary services		
I.256.1	Credit Card Calling	CRED
I.256.2a	Advice of Charge: charging information at call set-up time	AOC-S
I.256.2b	Advice of Charge: charging information during the call	AOC-D
I.256.2c	Advice of Charge: charging information at end of the call	AOC-E
I.256.3	Reverse Charging	REV
I.257 Additional Information Transfer supplementary services		
I.257.1	User-to-User Signalling	UUS
I.258 Mobility and Modification supplementary services		
I.258.1	Terminal Portability	TP
I.258.2	In-call Modification	IM
I.259 Screening supplementary services		
I.259.1	Address screening	ADS

Ziffer signalisiert werden. Steht dafür ein separater Steuerkanal zur Verfügung, spricht man von *Zentralkanal-* oder *Außerband-Signalisierung*. Dieser eigene Kanal ermöglicht es, parallel zur bestehenden Nutzverbindung zu signalisieren. Er kann zur gleichzeitigen Steuerung mehrerer Nutzverbindungen benutzt werden. Im ISDN wird diese Art der Signalisierung sowohl für die Benutzersignalisierung als auch für die Zwischenamtssignalisierung angewandt.

2.2.1 Benutzersignalisierung

Die Benutzersignalisierung im ISDN erfolgt über den sogenannten *D-Kanal*. Dieser ist als eigene Zeitlage auf der im synchronen Zeitmultiplex betriebenen Teilnehmerzugangleitung ausgeführt. Mittels des D-Kanals können beim ISDN-Basisanschluss zwei und beim ISDN-Primärratenanschluss 30 Nutzkanäle gesteuert werden. Aufgabe der Bitübertragungsschicht ist im Wesentlichen die Bereitstellung der Pulsrahmenstruktur und die Realisierung eines Zugriffsprotokolls, da Endgeräte in Konfigurationen angeschlossen werden können, bei denen Medienzugriffskonflikte möglich sind (z. B. passiver Bus). Die Sicherungsschicht stellt ein komplexes Schicht-2-Verbindungskonzept zur Verfügung, das quitierte und unquitierte Übermittlungsdienste zur Übertragung von Datenpaketen unterstützt.

Darauf aufbauend sind in der Vermittlungsschicht die Funktionen lokalisiert, die zum eigentlichen Austausch der vermittlungstechnisch relevanten Information dienen. Die komplexen Protokolldateneinheiten der Schicht 3 folgen dabei einem einheitlichen flexiblen Aufbauprinzip, bestehend aus einem immer gleich zusammengesetzten Kopfteil mit einem Protokoll-Diskriminator, der das verwendete Schicht-3-Protokoll näher kennzeichnet, einer Rufreferenz (engl. *call reference*), die die Signalisiererverbindung identifiziert und einem Feld für den Nachrichtentyp. Darauf folgt eine beliebige Anzahl weiterer Informationselemente (engl. *Information Element, IE*).

2.2.2 Zwischenamtssignalisierung

Zur Zwischenamtssignalisierung im ISDN wird das CCITT Signalisiersystem Nr. 7 verwendet. Dieses System realisiert ein paketvermittelndes Datennetz, das vom Nutzkanalnetz unabhängig ist. Damit muss eine der Signalisierung dienende Verbindung nicht denselben Weg nehmen wie die dazugehörige Nutzkanalverbindung, was große Flexibilität bei der Gestaltung des Signalisierernetzes bringt und insbesondere die Realisierung komplexer Signalisierszenarien unterstützt, wie sie z. B. zur Aufenthaltsortsermittlung in Mobilfunknetzen oder zur Realisierung von Mehrwertdiensten im Intelligenten Netz erforderlich sind.

Die Protokollarchitektur des Signalisiersystems Nr. 7 ist in Abb. 2.5 skizziert. Die drei Ebenen (engl. *level*) des Nachrichtentransferteils (engl. *Message Transfer Part, MTP*) erbringen Funktionen, die in den netzorientierten OSI-Schichten angesiedelt sind. Auf dem MTP bauen der Telefon-Anwenderteil (engl. *Telephone User Part, TUP*)¹ und der ISDN-Anwenderteil (engl. *ISDN User Part, ISDN-UP* oder *ISUP*) direkt auf. Der Steuerungsteil für Signalisiererverbindungen (engl. *Signalling Connection Control Part, SCCP*) stellt verbindungslose und verbindungsorientierte Übermittlungsdienste zur Verfügung, die der

¹In modernen Netzen, wie dem der Deutschen Telekom AG, wird der Telefon-Anwenderteil nicht mehr verwendet, da durchgängig ISDN-Signalisierung zum Einsatz kommt.

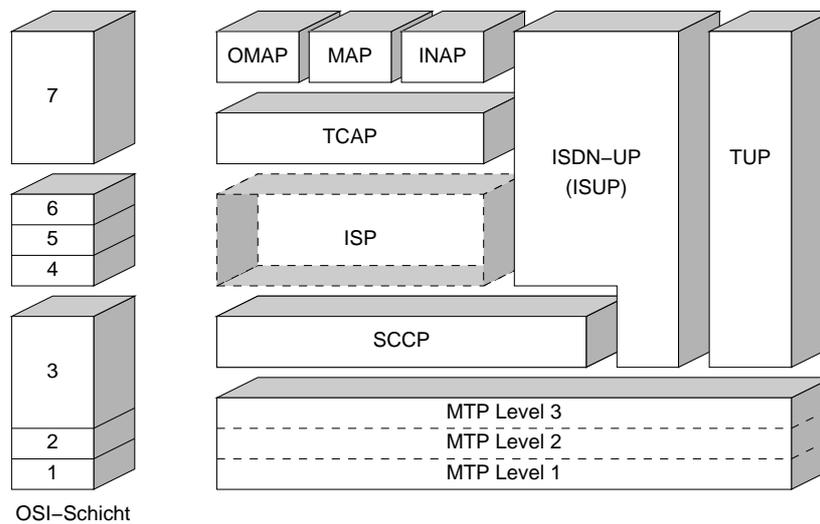


Abbildung 2.5: Protokollarchitektur des Signalisiersystems Nr. 7

OSI-Schicht 3 zuzuordnen sind². Der SCCP bildet die Basis für den Transaktionsabwicklungsteil (engl. *Transaction Capabilities Application Part*, *TCAP*). Der Funktionsumfang des dazwischen liegenden *Intermediate Service Part (ISP)* ist nicht definiert.

Der TCAP wurde in Anlehnung an das Basisreferenzmodell nach ISO/OSI entworfen und bietet einen allgemeinen, transaktionsorientierten Mechanismus für die Interprozesskommunikation an. Dazu werden Funktionen und Protokolle bereitgestellt, die eine nutzkanalunabhängige Kommunikation zwischen Knoten im Signalisiernetz ermöglichen, um auch Dienste unterstützen zu können, die über ISDN-Mehrwertdienste hinausgehen. Der TCAP besteht aus zwei Teilschichten. Die untere Teilschicht (*Transaction Sublayer*) stellt Mittel zum Austausch von Meldungen innerhalb von Transaktionen (im TCAP *Dialoge* genannt) bereit. Zwei Dialogarten stehen zur Verfügung, der unstrukturierte Dialog, der aus einer einfachen Anforderung ohne Antwort besteht, und der strukturierte Dialog, innerhalb dessen alle Meldungen mit einer global eindeutigen Dialogidentifikation versehen sind und damit einer Transaktion eindeutig zugeordnet werden können. Die obere Teilschicht (*Component Sublayer*) nutzt die Dienste der *Transaction Sublayer* zum Austausch von Komponenten zwischen TCAP-Nutzern. Diese Komponenten enthalten in der Regel entweder Anfragen für eine entfernte Operation oder Ergebnisse einer solchen Anfrage.

Verschiedene über dem TCAP liegende Anwenderteile machen von diesen Fähigkeiten Gebrauch, wie z. B. der Betriebs- und Wartungsanwenderteil (engl. *Operations and Maintenance Application Part*, *OMAP*), der Mobil-Anwenderteil (engl. *Mobile Application Part*, *MAP*) und der Anwenderteil für Intelligente Netze (engl. *Intelligent Network Application Part*, *INAP*).

Der ISDN-Anwenderteil ist historisch aus dem Telefon-Anwenderteil hervorgegangen und stellt alle Fähigkeiten zur Verfügung, die benötigt werden, um ISDN-Verbindungen unterschiedlicher Art auf- und abzubauen sowie zu unterhalten. Dies schließt auch die Fähigkeiten zur Abwicklung von Mehrwertdiensten und einen Mechanismus zur transparenten Signalisierung zwischen Endgeräten (Ende-zu-Ende-Signalisierung) mit ein.

²Der Beginn der Entwicklung des Signalisiersystems Nr. 7 geht auf die Zeit vor der Definition des ISO/OSI-Basisreferenzmodells zurück; daher ist eine Abbildung der Signalisiersystemebenen auf OSI-Schichten insbesondere in den unteren Funktionsschichten nicht ganz exakt möglich.

2.3 Das Intelligente Netz (IN)

2.3.1 Hintergrund

Die Evolution in der Telefonvermittlung von der elektromechanischen Technik hin zu programmgesteuerten Vermittlungssystemen (engl. *stored programme control, SPC*) hat eine Explosion der möglichen Funktionen zur Folge gehabt. Mit der Vernetzung der Steuerungen dieser Systeme über eine Zentralkansignalisierung (engl. *common-channel interface signalling, CCIS*) wurde 1976 begonnen. Das dadurch nach und nach entstandene, dem Nutzkanalnetz überlagerte Signalisiernetz ermöglichte vollkommen neue Mehrwertdienste, wie z. B. die Übertragung der Nummern der Anrufer zu den Angerufenen oder den Zugriff auf Datenbanken im Netz. Unter den ersten Anwendungen dieser Technik war der Mehrwertdienst *INWATS* (engl. *Inward Wide Area Telecommunications Service*) [201], der später „800 Service“ genannt wurde und Rufnummern zur Verfügung stellt, die für den Anrufer entgeltfrei sind. *INWATS* wurde schon in der traditionellen elektromechanischen Vermittlungstechnik angeboten, wo er durch ein spezielles Verkehrslenkschema verbunden mit einer Entgelterfassung im Ziel-Ortsvermittlungsknoten realisiert wurde. Diese Vorgehensweise hat sich als extrem inflexibel herausgestellt, da insbesondere die Fähigkeiten der Vermittlungsknoten zur Nummernumsetzung eingeschränkt waren. Basierend auf der neuen Technologie mit Datenbanken im Signalisiernetz wurde dieser Mehrwertdienst Ende der 1970er Jahre entwickelt und im Jahre 1982 öffentlich ins Netz eingebracht.

In den Bell-Laboratorien wurde früh erkannt, dass diese datenbankgestützte Technologie erheblich mehr Potenzial für die Realisierung neuer Mehrwertdienste bietet, als durch den „800 Service“ ausgenutzt wird, und die Entwicklungsarbeiten wurden weiter vorangetrieben. Die dabei entstandene Architektur wurde unter dem Namen *Direct Services Dialling Capabilities (DSDC)* bekannt. Die Zerschlagung des Bell-Monopols in den USA 1984 hat diese Aktivitäten zunächst zu einem vorübergehenden Stillstand gebracht. Die Entwicklungsmannschaft für die *DSDC*-Architektur wurde aufgeteilt; einige Entwickler blieben in den AT&T-Bell-Laboratorien, während andere zu *Bell Communications Research (Bellcore)* – seit 1999 umbenannt in *Telcordia Technologies, Inc.* – wechselten, einem Labor, das als zentrale Forschungs- und Entwicklungsabteilung für die regionalen Bell-Telefongesellschaften gegründet worden war. Aus den Streitigkeiten zwischen den regionalen Bell-Telefongesellschaften und der AT&T-Muttergesellschaft um die Datenbanken für den rapide wachsenden „800 Service“ ergab sich die Notwendigkeit für die regionalen Gesellschaften, eigene Datenbanken einzurichten. Bellcore entwickelte dafür ein entsprechendes Konzept und favorisierte dafür die Bezeichnung „*Intelligent Network*“ [80].

Mitte der 1980er Jahre entwickelte Bellcore dann eine fortgeschrittene Version des IN, das sogenannte IN2. Diese Spezifikation war jedoch sehr komplex und führte dazu, dass einige der regionalen Bell-Gesellschaften eigene Varianten des IN-Konzepts entwickelten, was letztlich die Spezifikation des *Advanced Intelligent Network (AIN) Release 1.0* zur Folge hatte. Da dieses Konzept ebenfalls sehr ehrgeizig war, wurde eine Reihe von Zwischenschritten, *AIN 0.0*, *AIN 0.1* usw. spezifiziert.

Ende der 1980er Jahre, als das Signalisiersystem Nr. 7 international etabliert war und erste Andeutungen eines entstehenden Wettbewerbs im Telekommunikationsmarkt das Interesse der Telefonnetzbetreiber an neuen Dienstleistungen weckte und förderte, zeigten einige Netzbetreiber außerhalb der USA Interesse an der IN-Entwicklung. 1989 wurde ein Standardisierungsprojekt bei der CCITT ins Leben gerufen, mit dem Ziel, Empfehlungen für IN-Schnittstellen und -Protokolle zu entwickeln.

2.3.2 Grundidee

Wie bereits ausgeführt, liegt die Keimzelle des IN-Architekturkonzepts in einer Realisierung des „800 Service“ mit Hilfe von programmgesteuerten Vermittlungssystemen, des paketorientierten Signalisierernetzes und einer oder mehreren Datenbanken im Netz. Abb. 2.6 zeigt diese Realisierung schematisch. Wenn Teilnehmer A eine entgeltfreie Nummer wählt, wird dieser Ruf konventionell zu einem speziellen Vermittlungsknoten, dem *Action Point (ACP)* geführt. Dieser hat die Fähigkeit, mittels der gerufenen Nummer und der Ortsnetzkenzahl des Anrufers eine über das Signalisierernetz ansprechbare Datenbank im Netz, den *Network Control Point (NCP)* abfragen zu können (1). Sofern der über die Sonderrufnummer Angerufene in der Lage ist, den Ruf entgegenzunehmen, antwortet der NCP mit der entsprechenden – auf andere Weise nicht erreichbaren – Rufnummer (2). Der NCP wird bei jeder Änderung des Status des Angerufenen von diesem entsprechend benachrichtigt (3). Der Ruf wird schließlich zu der vom NCP zurückgemeldeten Rufnummer verbunden.

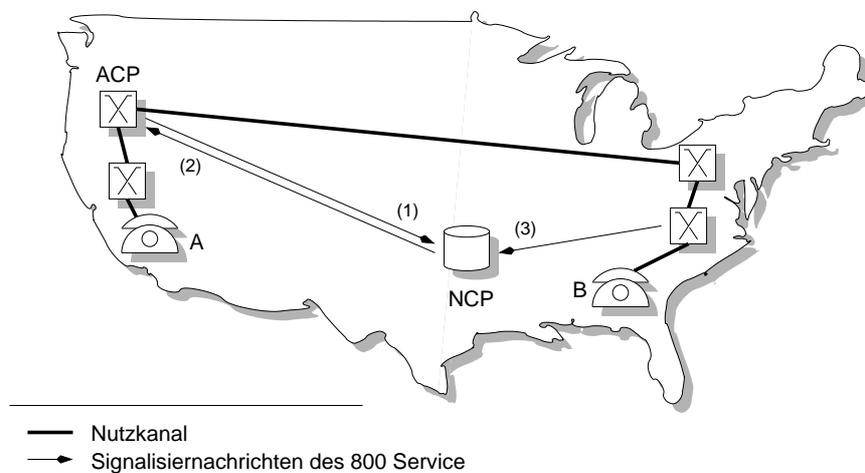


Abbildung 2.6: „800 Service“ der AT&T in den USA, realisiert mit Hilfe von Vorgängermechanismen des Intelligenten Netzes (nach [201])

In diesem System sind bereits die Kerngedanken des IN-Konzeptes enthalten, die *Öffnung* der Rufbearbeitung in einem Vermittlungsknoten (hier: im ACP) für Eingriffe von außen und die *Zentralisierung* der Dienstaufführung (hier: im NCP) mit dem Ziel der einfacheren Verwaltbarkeit. Die detaillierte Beschreibung des Architekturkonzeptes des Intelligenten Netzes ist Gegenstand der nachfolgenden Abschnitte.

2.3.3 Architekturkonzept

Im Folgenden sollen die historischen Entwicklungen des IN-Konzeptes in den Hintergrund treten und nur noch als Grundlage der Standardisierungsarbeiten der ITU-T (bis 1993 noch CCITT) Berücksichtigung finden. Für diese Standardisierungsaktivitäten wurde ein Block von einhundert Empfehlungsnummern der Q-Serie reserviert (Q.1200 bis Q.1299). Da sich die Standardisierung eines so umfangreichen Konzeptes über viele Jahre erstreckt, wurde ein in Phasen gegliederter Standardisierungsprozess gewählt [262], bei dem sogenannte *Capability Sets (CS)* das Ergebnis der Standardisierung jeder dieser Phasen beschreiben. Ein nachfolgendes CS ist dabei immer die Übermenge eines vorhergehenden CS und beinhaltet dessen Funktionen. Das endgültige Ziel ist die Formulierung eines vollständigen *Long Term Capability Set (LTCS)*.

Der Rahmen der Standardisierung ist das konzeptionelle Modell des Intelligenten Netzes (engl. *IN Conceptual Model, INCM*), das in Abb. 2.7 dargestellt ist. Dieses legt unterschiedliche Abstraktionsebenen für dasselbe System – das Intelligente Netz – fest.

- Die *Dienste-Abstraktionsebene* (engl. *Service Plane, SP*) ist auf den Dienst³ fokussiert, wie er sich dem Benutzer präsentiert. Es sind keinerlei Informationen über die tatsächliche Realisierung des Dienstes enthalten. Ein Dienst stellt sich als ein kommerzielles Produkt dar, das aus mindestens einem Dienstmerkmal (engl. *Service Feature, SF*) besteht. Diese Abstraktionsebene beruht auf einer bedarfsorientierten Dienstdefinition.
- In der *Globalen Funktionalen Abstraktionsebene* (engl. *Global Functional Plane, GFP*) wird das IN als ein monolithisches System betrachtet; der Schwerpunkt liegt auf der Zerlegung der Dienste in algorithmische Abläufe, die als Verkettung von dienstunabhängigen Funktionsblöcken (engl. *Service Independent Building Block, SIB*) modelliert werden. Dadurch kann ihre Funktionsweise genau beschrieben werden. Der Dienstbegriff dieser und der darunterliegenden Abstraktionsebenen baut auf einer technischen Dienstdefinition auf.
- Die *Verteilte Funktionale Abstraktionsebene* (engl. *Distributed Functional Plane, DFP*) trägt dem verteilten Charakter des IN Rechnung. Die Dienstleistung wird hier auf verschiedene Funktionale Einheiten (engl. *Functional Entities, FE*) aufgeteilt, die untereinander durch Informationsflüsse (engl. *Information Flows, IF*) verbunden sind.
- Die *Physikalische Abstraktionsebene* (engl. *Physical Plane, PP*) beschäftigt sich mit der Zuordnung der Funktionalen Einheiten zu Knoten im Netz und die Abbildung der erforderlichen Informationsflüsse auf reale Protokolldateneinheiten.

Der in Phasen gegliederte Standardisierungsprozess verbunden mit dem konzeptionellen Modell der vier Abstraktionsebenen hat die Struktur der IN-Empfehlungen geprägt, wie sie in Abb. 2.8 dargestellt ist. Zum Zeitpunkt des Verfassens der vorliegenden Arbeit waren neben den allgemeinen Empfehlungen die Empfehlungen des CS-1 – mit Ausnahme des nicht existierenden Q.1212 (grau gezeichnet) – und die Empfehlungen des CS-2 bis auf Q.1229 verfügbar. Die Empfehlungen des CS-3 befanden sich im Entwurfsstadium.

2.3.4 Dienste-Abstraktionsebene

IN-Mehrwertdienste werden entwickelt, um Anforderungen von Kunden oder Netzbetreibern zu erfüllen. Eine Dienstbeschreibung auf der Ebene der Dienste-Abstraktionsebene erfordert daher die Konzentration auf diejenigen Aspekte des Dienstes, die unabhängig von der konkreten Realisierungsweise wahrgenommen werden. Obwohl diese Beschreibung nicht formal und wenig präzise erfolgt, empfiehlt die ITU-T hier eine strukturierte Vorgehensweise. Diese zielt darauf, bei verschiedenartigen Diensten wiederkehrende Teilfunktionalitäten zu identifizieren, die dann unter Umständen in anderen Diensten wiederverwendet werden können. Diese Teilfunktionalitäten werden als *Dienstmerkmale* bezeichnet. Einfache Beispiele für solche Dienstmerkmale sind die *ursprungsortsabhängige*

³Der Gebrauch des Begriffs *Dienst* erfolgt im Kontext des Intelligenten Netzes in der Regel im Sinne eines Mehrwertdienstes (engl. *supplementary service*) der ISDN-Sprechweise, d. h. im Sinne eines Dienstes, der nur in Verbindung mit einem Basisdienst (Übertragungs- oder Teledienst) angeboten werden kann.

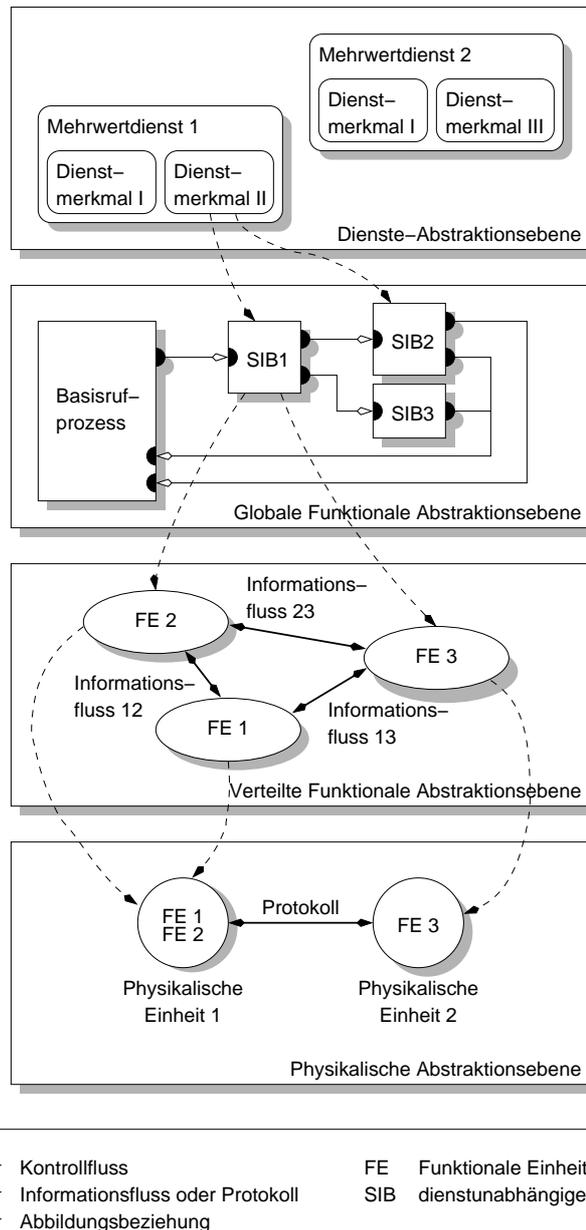


Abbildung 2.7: Das konzeptionelle Modell des Intelligenten Netzes nach Q.1201 [262].

Verkehrslenkung oder die *Authentisierung* eines Anrufers, die beide in verschiedenartigen Diensten verwendet werden.

Die in CS-1 beispielhaft definierten Dienste [266] werden charakterisiert durch die Eigenschaft, dass sich ein Dienst immer auf einen Teilnehmer bezieht und dass immer nur genau eine Dienststeuerung zu jedem Zeitpunkt die Steuerung der zu diesem Teilnehmer gehörenden Teile des Rufs übernehmen kann (engl. *single-ended, single point of control*). Die ITU-T-Empfehlung spricht bei derartigen Diensten von Diensten des Typs A, während alle anderen Dienste vom Typ B sind. Die in der Empfehlung beispielhaft aufgeführten Dienste wie Anrufumleitung, entgeltfreier Anruf und Kreditkartenruf stützen sich auf klassische Techniken wie Rufnummernumsetzung, Beeinflussung der Entgelterfassung und Beeinflussung des Verbindungsaufbaus.

In CS-2 ist die Art der Dienste zwar noch auf den Typ A beschränkt, der Einsatzbereich der Dienste wurde jedoch erheblich ausgedehnt [271]. Während aus Gründen der

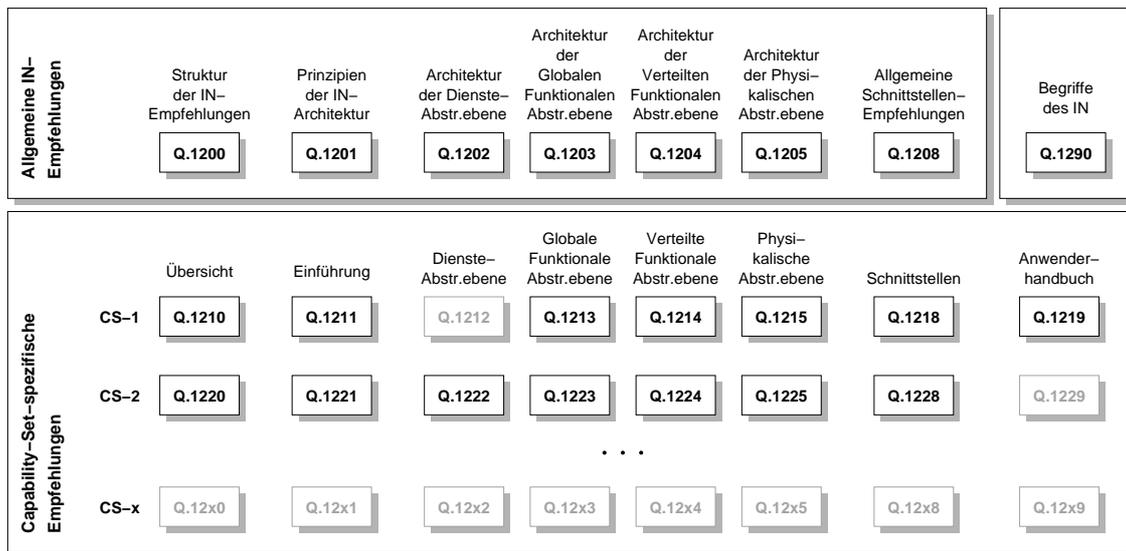


Abbildung 2.8: Struktur der IN-Empfehlungen der ITU-T. Zum Zeitpunkt des Verfassens dieser Arbeit nicht vorhandene Empfehlungen sind grau dargestellt.

Aufwärtskompatibilität Dienste des CS-1 nach wie vor unterstützt werden, werden nun auch Dienste zur Verwaltung (engl. *management services*) und zur Diensterstellung (engl. *service creation services*) definiert. Darüberhinaus ist eine wesentliche Erweiterung des CS-2 die zusätzliche Berücksichtigung von nicht rufbezogenen Diensten (engl. *call unrelated services*). Dies ermöglicht die Inanspruchnahme von Diensten auch ohne eine bestehende Rufbeziehung, was für die Realisierung von Diensten zur persönlichen Mobilität (Benutzerregistrierung und -authentisierung) unerlässlich ist.

2.3.5 Globale Funktionale Abstraktionsebene

Objekt der Betrachtung in der Globalen Funktionalen Abstraktionsebene ist der algorithmische Ablauf eines Dienstes, die sogenannte *Dienstlogik* (engl. *Service Logic*). Diese Beschreibung beruht auf *dienstunabhängigen Funktionsblöcken*, die (mit einer Ausnahme) genau einen definierten Eintrittspunkt und mindestens einen Austrittspunkt besitzen. Eine Verkettung dieser Funktionsblöcke definiert somit einen algorithmischen Ablauf.

Der oben als Ausnahme bezeichnete dienstunabhängige Funktionsblock modelliert einen normalen Ruf. Er wird als Basisrufprozess (engl. *Basic Call Process, BCP*) bezeichnet und stellt eine abstrahierte Sicht eines Rufes dar, der für Eingriffe von außen an definierten Stellen geöffnet ist. Im Gegensatz zu allen anderen dienstunabhängigen Funktionsblöcken markieren die Austrittspunkte dieses BCP-SIBs den Einstiegspunkt in den Ablauf einer Dienstlogik und werden deshalb als *Anfangspunkte* (engl. *Point of Initiation, POI*) bezeichnet. Der BCP-SIB besitzt im Gegensatz zu den übrigen SIBs mehrere definierte Eintrittspunkte, die als *Rückkehrpunkte* (engl. *Point of Return, POR*) bezeichnet werden.

Neben der algorithmischen Seite, die durch die SIBs beschrieben wird, sind auch Daten zur Beschreibung eines Dienstes erforderlich. Dies sind einerseits die *Dienstunterstützungsdaten* (engl. *Service Support Data, SSD*), die benutzer- und dienstspezifische Informationen enthalten, und andererseits die *Rufinstanzdaten* (engl. *Call Instance Data, CID*), die Informationen über den aktuell vom BCP repräsentierten Ruf enthalten. Abb. 2.9 zeigt das Zusammenwirken der eben beschriebenen Bestandteile der Globalen Funktionalen Abstraktionsebene an einem Beispiel in schematischer Weise.

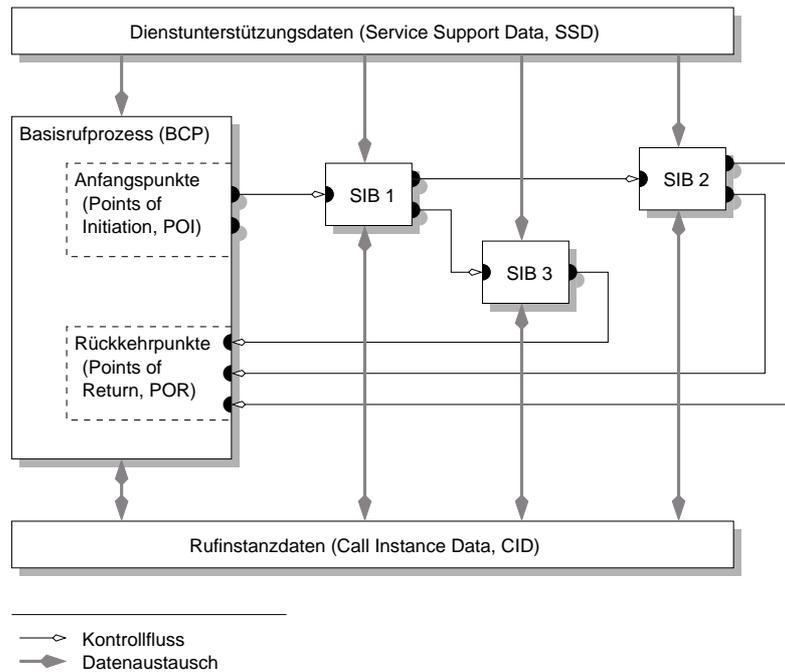


Abbildung 2.9: Zusammenspiel der Bestandteile der Globalen Funktionalen Abstraktionsebene

In CS-1 sind neben dem Basisrufprozess genau dreizehn dienstunabhängige Funktionsblöcke standardisiert [267], die jedoch sehr allgemein gehalten sind. Diese können durch die Dienstunterstützungsdaten in erheblichem Ausmaß parametrisiert und damit dem tatsächlichen Anwendungsfall angepasst werden.

In CS-2 wird das Konzept der Globalen Funktionalen Abstraktionsebene deutlich erweitert [272]. Auf der methodischen Seite werden übergeordnete Strukturen für die Gruppierung von dienstunabhängigen Funktionsblöcken und die Möglichkeit der parallelen Ausführung von Teilen der Dienstlogik eingeführt. Außerdem wird eine gegenüber dem CS-1 erweiterte Menge von neunzehn dienstunabhängigen Funktionsblöcken neben dem Basisrufprozess eingeführt. Auf der funktionalen Seite wird der Basisrufprozess durch einen nicht-basisrufbezogenen Prozess (engl. *Basic Call Unrelated Process*) ergänzt.

2.3.6 Verteilte Funktionale Abstraktionsebene

Das Telefonnetz ist ein hervorragendes Beispiel für ein verteiltes System. Die Verteilte Funktionale Abstraktionsebene trägt dieser Tatsache Rechnung, indem ihr Schwerpunkt auf der Zuordnung der verschiedenen zur Erbringung eines Dienstes erforderlichen Aktionen auf *Funktionale Einheiten* liegt. Diese tauschen untereinander Informationen mit Hilfe sogenannter *Informationsflüsse* über logische Kommunikationskanäle, die sogenannten *Beziehungen* (engl. *relationship*) aus (siehe Abb. 2.10). Charakterisierend für eine Funktionale Einheit ist die Nichtverteilbarkeit ihrer Funktion auf mehrere physikalisch getrennte Ausführungsorte.

In der ITU-T-Empfehlung zur Verteilten Funktionalen Abstraktionsebene Q.1204 [264] werden Funktionale Einheiten identifiziert, die in drei verschiedene Gruppen eingeteilt werden können: in die Gruppe der Vermittlungsfunktionen, in die Gruppe der Dienstleistungsfunktionen und in die Gruppe der unterstützenden Funktionen.

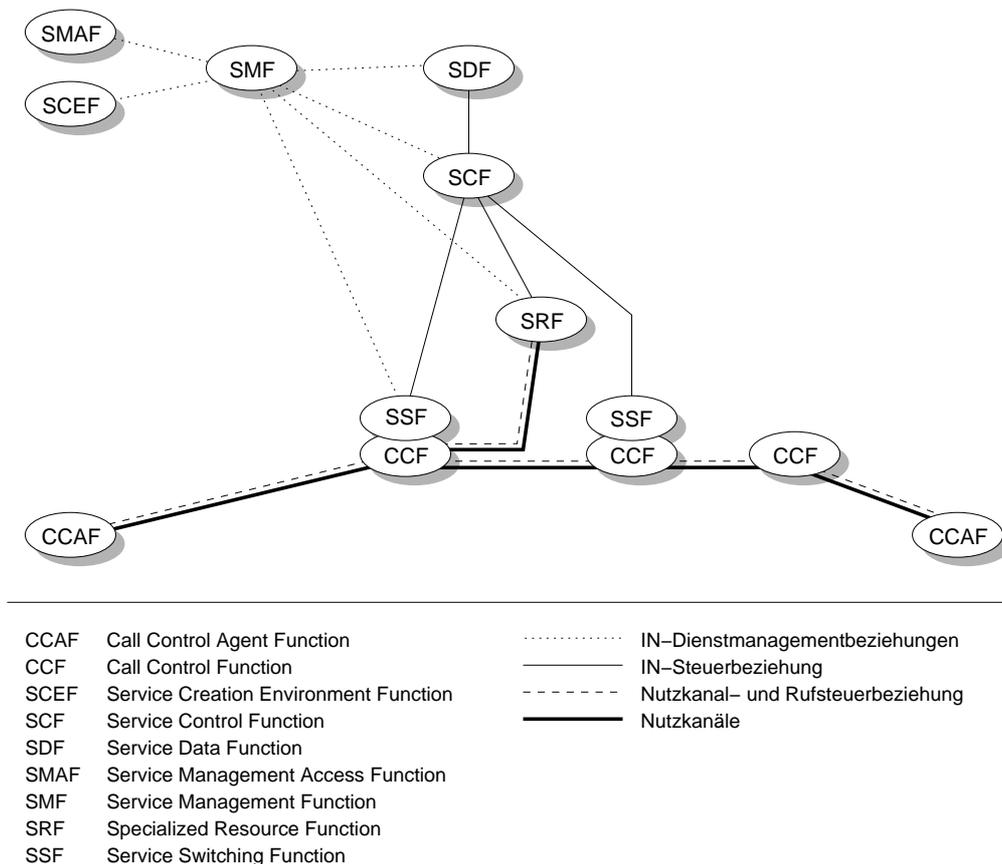


Abbildung 2.10: Verteilte Funktionale Abstraktionsebene nach ITU-T-Empfehlung Q.1204 [264]

2.3.6.1 Gruppe der Vermittlungsfunktionen

Funktionen, die im Verlauf eines normalen Rufes zum Einsatz kommen, also auch wenn kein IN-basierter Mehrwertdienst in Anspruch genommen wird, gehören zur Gruppe der Vermittlungsfunktionen. Auch die Funktionen, die nur Hilfsdienste erbringen, d. h. im Rahmen einer Diensterbringung durch die Diensterbringungsfunktionen gesteuert werden, wie z. B. die nutzkanalbezogenen Ressourcen, werden zu den Vermittlungsfunktionen gezählt.

Die Rufsteuerungsagentenfunktion (engl. *Call Control Agent Function*, *CCAF*) repräsentiert die Schnittstelle zwischen Benutzerendgerät und den Rufsteuerungsfunktionen des Netzes. Sie übermittelt Aktionen des Benutzerendgerätes an die Rufsteuerungsfunktion in einer von dieser verarbeitbaren geräteunabhängigen Weise, und übersetzt umgekehrt Meldungen der Rufsteuerungsfunktion in vom Benutzerendgerät interpretierbare Signale.

Die Rufsteuerungsfunktion (engl. *Call Control Function*, *CCF*) ist für den Aufbau, die Unterhaltung und den Abbau von Rufen verantwortlich. Damit stellt sie also die grundlegenden Vermittlungsfunktionen bereit, die in jedem System, egal ob IN-basiert oder konventionell, vorgefunden werden. Der CCF fällt die Aufgabe zu, die Vermittlungsfunktionen für andere Funktionale Einheiten zugänglich zu machen.

Die Dienstzugangssteuerung (engl. *Service Switching Function*, *SSF*) übernimmt die Vermittlerrolle zwischen CCF und der Dienststeuerung. Dies erfolgt einerseits dadurch, dass der Dienststeuerung das Erreichen bestimmter Zustände des Rufes mitgeteilt wird, und andererseits dadurch, dass als Reaktion auf die Anweisungen der Dienststeuerung bestimmte Aktionen angestoßen werden.

Die beiden Funktionalen Einheiten der Rufsteuerungsfunktion und der Dienstzugangssteuerung sind sehr eng miteinander verzahnt und besitzen keine standardisierte Schnittstelle untereinander, da diese von der ITU als vermittlungssystemintern betrachtet wird und ihre Spezifikation somit den Herstellern überlassen bleibt. Die Verzahnung ist so eng, dass in Q.1214 und in Q.1224 bei der Beschreibung der Funktionalität immer nur vom SSF/CCF-Modell die Rede ist, also eine isolierte Betrachtung der beiden Funktionalen Einheiten praktisch nicht erfolgt.

Die Funktion zur Bereitstellung nutzkanalbezogener Ressourcen (engl. *Specialized Resource Function, SRF*) stellt eine Reihe von nutzkanalbezogenen Fähigkeiten zur Verfügung, die zur Erbringung zahlreicher Dienste erforderlich sind. Sie wird durch die Diensterbringungsfunktionen gesteuert. Zu den Aufgaben der SRF gehört das Einspielen von Ansagetexten, die Aufnahme von Mehrfrequenzwahlsignalen, die Erkennung gesprochener Sprache, sowie die Bereitstellung von Brücken für Konferenzschaltungen und Medienkonversionsmechanismen (z. B. Text zu Sprache).

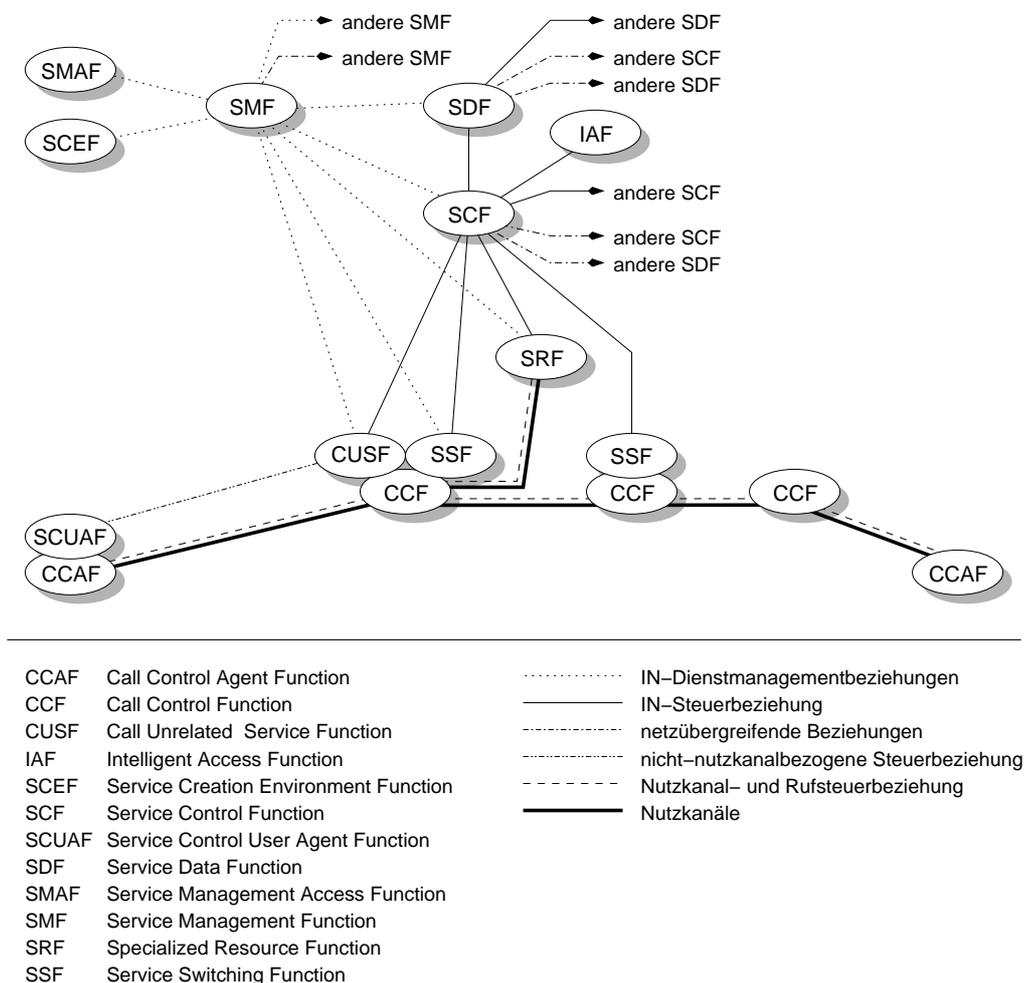


Abbildung 2.11: Verteilte Funktionale Abstraktionsebene des CS-2 nach ITU-T-Empfehlung Q.1224 [273]

In CS-2 wird diese Menge noch erweitert, um auch Informationsflüsse und Verarbeitungsvorgänge, die nicht im Zusammenhang eines Rufes stattfinden, erfassen zu können (siehe Abb. 2.11).

Die Benutzeragentenfunktion für die Dienststeuerung (engl. *Service Control User Agent Function, SCUAF*) repräsentiert den Zugang eines Benutzers zu nicht-rufbezogenen Diensten und entspricht damit der CCAF für rufbezogene Dienste.

Die nicht-rufbezogene Dienstfunktion (engl. *Call Unrelated Service Function, CUSF*) ist das Pendant zur SSF, wenn es um nicht-rufbezogene Dienste geht. Es existiert zu diesem Zweck ein eigenes nicht-rufbezogenes Zustandsmodell (engl. *Basic Call Unrelated State Model, BCUSM*), das aus Zuständen (engl. *Point in Association, PIA*) und Erkennungspunkten (engl. *Detection Point, DP*) besteht. Anstelle des Rufbegriffes wird der Begriff der Assoziation verwendet, die auch dann zwischen Benutzer und Netz besteht, wenn keine Rufbeziehung vorliegt. Das BCUSM unterstützt die Verarbeitung von Mehrwertdienstcodes (engl. *Supplementary Services Operation Codes*) des ISDN D-Kanal-Protokolls. Im Prinzip jedoch ist die Verwendung dieses Protokolles nicht zwingend.

Über diese Funktionen hinaus beschäftigt sich Teil 4 von Q.1224 mit Aspekten der Endgerätemobilität und wie sie sich auf die Funktionalen Einheiten des IN auswirken. Neben einer erweiterten Rufsteuerungsfunktion (*CCF+*) betreffen die Erweiterungen den Zugangsbereich. Dort tritt eine Kombination aus einer erweiterten Rufsteuerungsagentenfunktion (*CCAF+*) und einer Funksteuerung (engl. *Radio Control Function, RCF*) an die Stelle der CCAF des IN ohne Endgerätemobilitätsunterstützung. Eine rufbezogene (engl. *Call Related*) und eine nicht-rufbezogene Funkzugangssteuerung (engl. *Call Unrelated Radio Access Control Function, CRACF/CURACF*) sind dafür verantwortlich, die für die Endgerätemobilität spezifischen Ereignisse (z. B. für Frequenz- oder Codierungswechsel, Wechsel in einen anderen Funkzellenbereich) an die Dienststeuerung zu melden. Ziel dieses Teils ist die Demonstration der Realisierbarkeit eines vollständig IN-gestützten Mobiltelekommunikationsnetzes wie des IMT-2000 (*International Mobile Telecommunications 2000*) [37, 185, 51] bzw. UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*) in Europa, früher auch unter dem Begriff FPLMTS (*Future Public Land Mobile Telecommunication System*) bekannt.

2.3.6.2 Gruppe der Diensterbringungsfunktionen

Zur Gruppe der Diensterbringungsfunktionen werden diejenigen Funktionalen Einheiten gezählt, die durch ihre Steuerungsfunktion oder durch die Bereitstellung von Informationen die Rufbearbeitung durch die Vermittlungsfunktionen beeinflussen.

Die Dienststeuerfunktion (engl. *Service Control Function, SCF*) kann dabei als das Herzstück des IN aufgefasst werden. Sie dient als der zentrale Austauschpunkt im Rahmen einer Diensterbringungsbeziehung; sie nimmt die Nachrichten über das Auftreten bestimmter Ereignisse während der Rufbearbeitung entgegen, übernimmt die Anschaltung und Trennung von nutzkanalbezogenen Ressourcen und wertet gegebenenfalls deren Ergebnisse aus, und sie stellt Anfragen an die Dienstdatenfunktion (s. u.). Sie besteht im Wesentlichen aus zwei logischen Teilen, der Bibliothek für die Dienstlogikprogramme und einer Dienstlogikausführungsumgebung (engl. *Service Logic Execution Environment, SLEE*). Da in einer Ausführungsumgebung viele Dienstlogikprozesse gleichzeitig ablaufen und viele Rufbeziehungen dadurch gesteuert werden, ist die Hauptaufgabe dieser Umgebung die Verwaltung dieser parallel ablaufenden Dienstlogikprozesse und die Zuordnung der entsprechenden Informationsflüsse zu den richtigen Prozessen. Innerhalb des SLEE ist auch ein Funktionsblock zur Auswahl der Dienstlogikprozesse und zur Verwaltung der Interaktionen zwischen diesen vorgesehen; in CS-1 wird jedoch auf dessen Funktionalität nicht näher eingegangen. Auch in CS-2 wird diese Spezifikation kaum präzisiert.

Die Dienstdatenfunktion (engl. *Service Data Function, SDF*) ist die Datenbank im Netz, die dienstspezifische Datentabellen enthält. Wird beispielsweise ein Anrufumleitungs-

dienst als IN-Dienst realisiert, speichert die Dienstdatenfunktion die Umleitungszielrufnummer, die der Dienstkunde im Rahmen der Dienstaktivierung eingeben konnte.

Das CS-2 sieht eine besondere Funktionalität vor, die der Dienststeuerfunktion des IN eine Zugangsmöglichkeit zu Netzen oder Einrichtungen außerhalb des IN ermöglicht: die intelligente Zugangsfunktion (engl. *Intelligent Access Function, IAF*). Mit ihrer Hilfe kann beispielsweise der Zugriff auf außerhalb des IN stehende Datenbanken bereitgestellt werden. Darüber hinaus sind auch Schnittstellen zur Kopplung von Dienststeuer- und Dienstdatenfunktionen mit anderen Dienststeuer- und Dienstdatenfunktionen sowie mit Dienststeuer- und Dienstdatenfunktionen anderer Netze vorgesehen.

2.3.6.3 Gruppe der unterstützenden Funktionen

Zur Gruppe der unterstützenden Funktionen gehören die nicht unmittelbar an Vermittlung und Dienstleistung beteiligten Funktionalen Einheiten.

Die Funktion der Dienstleistungsumgebung (engl. *Service Creation Environment Function, SCEF*) unterstützt die Entwicklung und die Validierung neuer Dienstlogik. Diese neue Dienstlogik wird nach einer Validierung über die Dienstmanagementfunktion (engl. *Service Management Function, SMF*) in die entsprechenden Funktionalen Einheiten der Vermittlungs- und Dienstleistungsfunktionen eingebracht. Die Dienstmanagementagentenfunktion (engl. *Service Management Agent Function, SMAF*) stellt dabei die Benutzungsschnittstelle für die Dienstmanagementfunktion dar.

In CS-1 werden die Funktionen dieser drei Funktionalen Einheiten nicht näher spezifiziert. In CS-2 wird lediglich ein grobes Konzept zumindest für die SMF angegeben, das auch eine Schnittstelle zu anderen Dienstmanagementfunktionen und Dienstmanagementfunktionen anderer Netze vorsieht. Im gegenwärtigen Status der Standardisierung sind also die unterstützenden Funktionen praktisch noch nicht berücksichtigt.

2.3.6.4 Realisierung von Diensten

In diesem Abschnitt werden die an der Kernfunktionalität der Realisierung von Diensten in der Verteilten Funktionalen Abstraktionsebene beteiligten Funktionalen Einheiten der Rufsteuerungsfunktion (CCF), Dienstzugangssteuerung (SSF) und Dienststeuerfunktion (SCF) genauer betrachtet. Die übrigen Funktionen werden nicht detailliert berücksichtigt, da sie entweder zu den nicht maßgeblich den Dienstablauf beeinflussenden Funktionen⁴ oder zu den unterstützenden Funktionen gehören.

In den Abbildungen 2.12 und 2.17 sind die wesentlichen Funktionen von Rufsteuerung, Dienstzugangssteuerung und Dienststeuerfunktion und deren prinzipieller Aufbau schematisch dargestellt. Unterschiede zwischen CS-1 und CS-2 bestehen bis auf die Zuordnung von Teilen der Basisrufverwaltung zu SSF bzw. zu CCS keine. In den folgenden Unterabschnitten werden die wesentlichen Bestandteile dieser Funktionen in der Abfolge beschrieben, in der sie auch bei der Auslösung eines Dienstes beteiligt werden⁵.

2.3.6.4.1 Rufzustandsmodelle in der Rufsteuerung

Wie bereits in den Erläuterungen zur Globalen Funktionalen Abstraktionsebene ausgeführt, besteht das Kernkonzept für die Dienstleistung im IN in der Öffnung des normalen Ablaufs der Rufbearbeitung für Eingriffe von außen, also durch die Dienstlogik.

⁴Zu den nicht maßgeblich den Dienstablauf beeinflussenden Funktionen werden hier CCAF, SRF, SDF sowie die nicht rufbezogenen Funktionen des CS-2 gezählt.

⁵In den Abbildungen 2.12 und 2.17 entspricht dies einer Abfolge jeweils von unten nach oben.

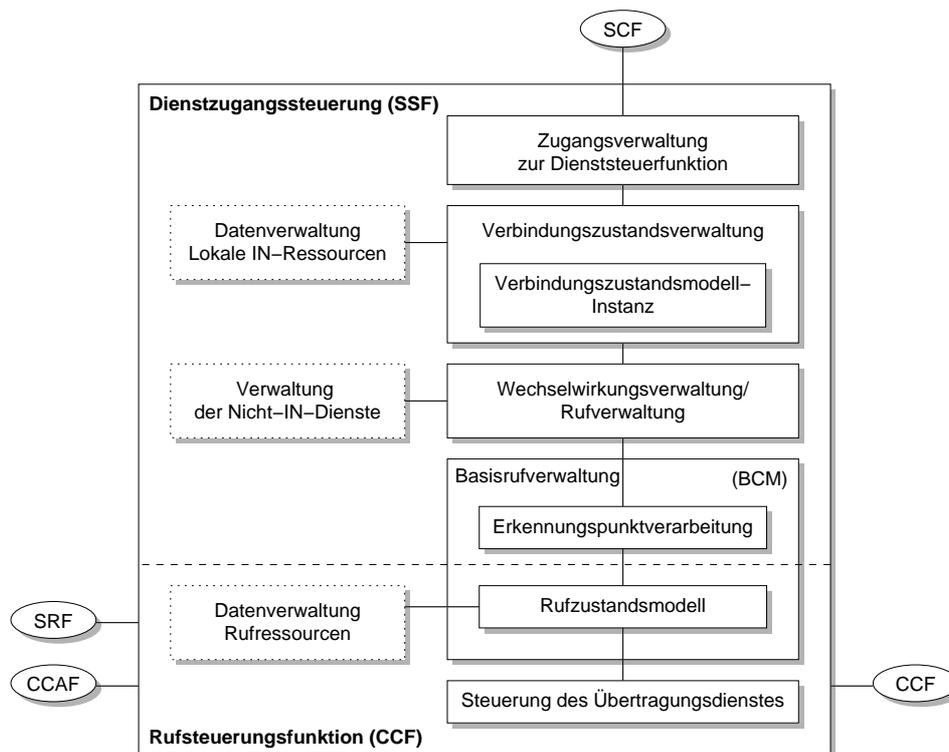


Abbildung 2.12: Kombiniertes Modell von Rufsteuerung und Dienstzugangssteuerung nach Q.1224

In der Verteilten Funktionalen Abstraktionsebene ist diese Modellierung um einiges komplexer, da hier berücksichtigt werden muss, dass die unterschiedlichen Funktionalen Einheiten auf Grund des verteilten Charakters des Gesamtsystems kein vollständiges Bild der Abläufe und Zustände mehr besitzen. Für die Öffnung eines Rufes, dessen Behandlung in der Regel über mehrere SSF/CCF-Instanzen hinweg verteilt ist, für Eingriffe von außen sind zwei Aspekte von besonderer Bedeutung: der Zustand einer Verbindung innerhalb dieses Rufes und die Konnektivität (Verbindungstopologie) dieses Rufes. Für ein einfaches Telefongespräch zwischen zwei Teilnehmern ist die Beschreibung der Konnektivität praktisch trivial. Deshalb soll an Hand eines solchen Rufes zunächst die Modellierung des Verbindungszustandes erläutert werden.

Im Gegensatz zur monolithischen Sichtweise des Rufes im BCP wird ein Ruf in Rufhälften (engl. *half call*) aufgeteilt, und zwar asymmetrisch in eine rufende und eine gerufene Hälfte, repräsentiert durch das Rufzustandsmodell für abgehende Rufe (engl. *Originating Basic Call State Model, O-BCSM*) und das Rufzustandsmodell für ankommende Rufe (engl. *Terminating Basic Call State Model, T-BCSM*).

Abbildungen 2.13 und 2.14 zeigen diese beiden Rufzustandsmodelle für CS-2. Die Zustände in diesen Modellen werden als Rufzustände (engl. *Point In Call, PIC*) bezeichnet und stimmen zum Teil mit von den Benutzern wahrnehmbaren Zuständen überein, sind teilweise jedoch auch vermittlungstechnisch motiviert. Die Zustandsübergänge (engl. *transition*) werden durch bestimmte Ereignisse angestoßen, die teilweise auf lokale, auf der Seite des jeweiligen Rufzustandsmodells auftretende Vorgänge, teilweise jedoch auch auf entfernte, d. h. auf der Seite eines verbundenen Rufzustandsmodells auftretende Vorgänge zurückgehen.

Die Rufzustandsmodelle für CS-1 sind ähnlich aufgebaut, besitzen jedoch einige Rufzustände und Erkennungspunkte weniger als die von CS-2. Sie sind hier aus Platzgründen nicht abgebildet.

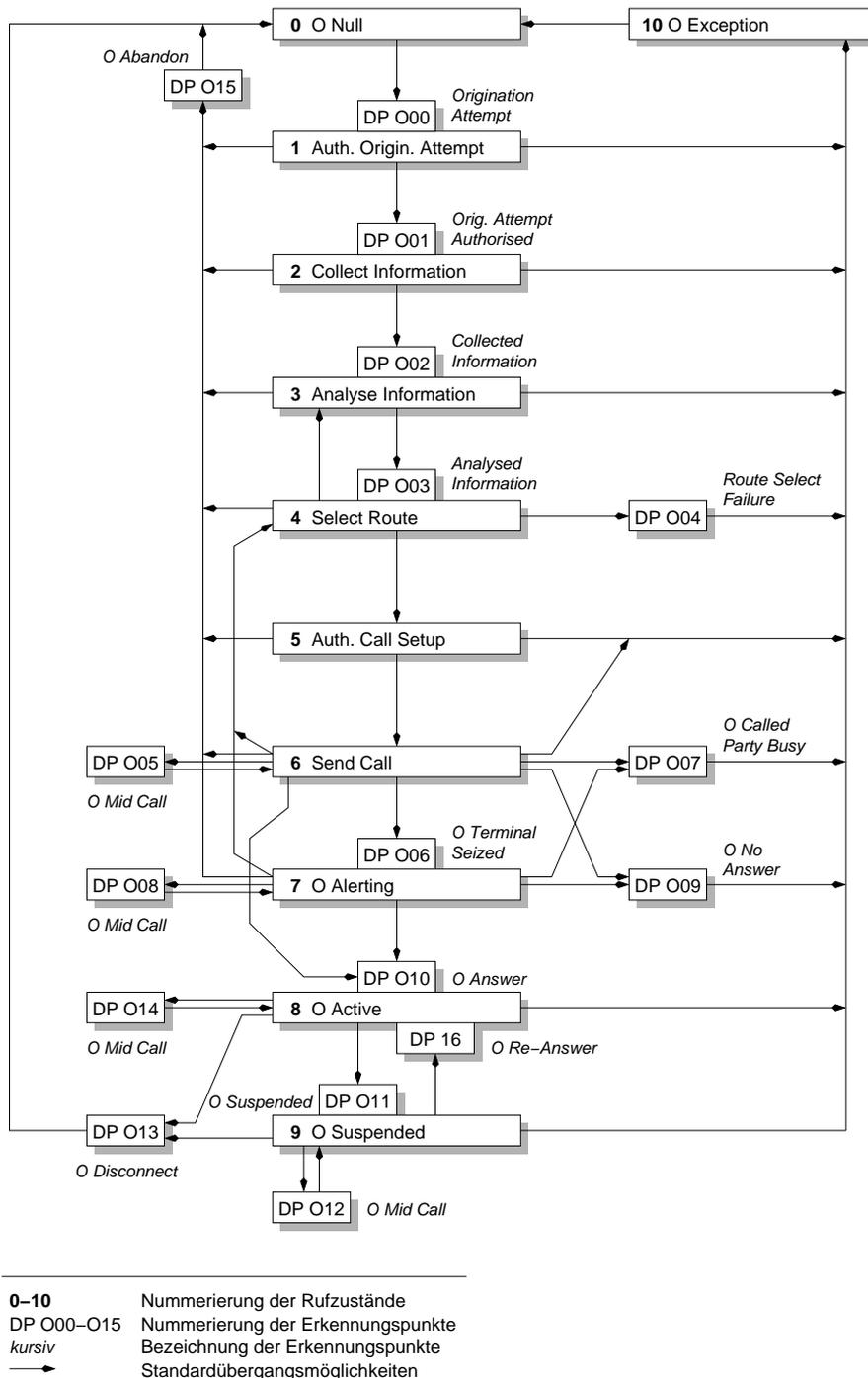


Abbildung 2.13: Rufzustandsmodell für abgehende Rufe (O-BCSM) des IN CS-2

2.3.6.4.2 Erkennungspunktverarbeitung in der Dienstzugangssteuerung

Im Vergleich zu einem gewöhnlichen Zustandsübergangsdiagramm fallen die Erkennungspunkte (engl. *Detection Point*, DP) in vielen der Zustandsübergänge auf. Diese Erkennungspunkte sind der Schlüssel zum Ablauf der Mehrwertdienstleistung in der Verteilten Funktionalen Abstraktionsebene. Es ist möglich, jeden dieser Erkennungspunkte auf verschiedene Arten zu aktivieren. Erfolgt diese Aktivierung als *Dienstaustlöser* (engl. *Trigger Detection Point*, TDP), so führt dies dazu, dass beim Erreichen des Erkennungspunktes die Dienststeuerfunktion über diese Dienstaustlösung informiert wird und dort die entsprechende Dienstlogik gestartet wird. Im Verlauf eines Mehrwertdienstes kann ein

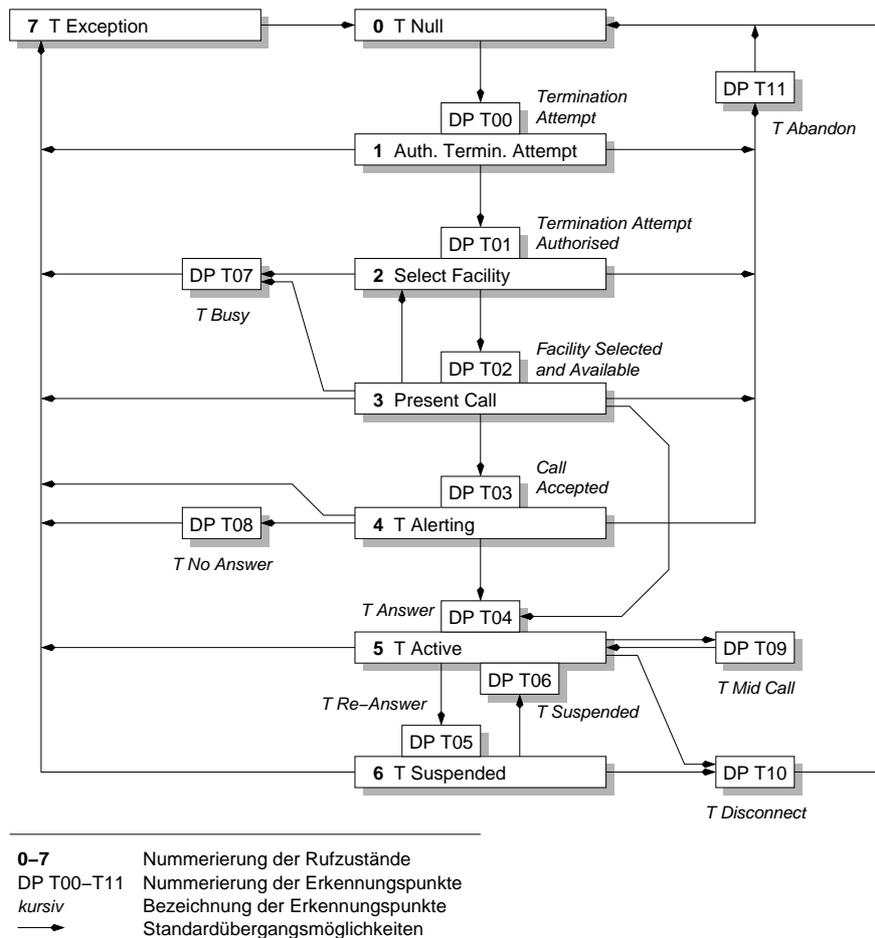


Abbildung 2.14: Rufzustandsmodell für ankommende Rufe (*T-BCSM*) des IN CS-2

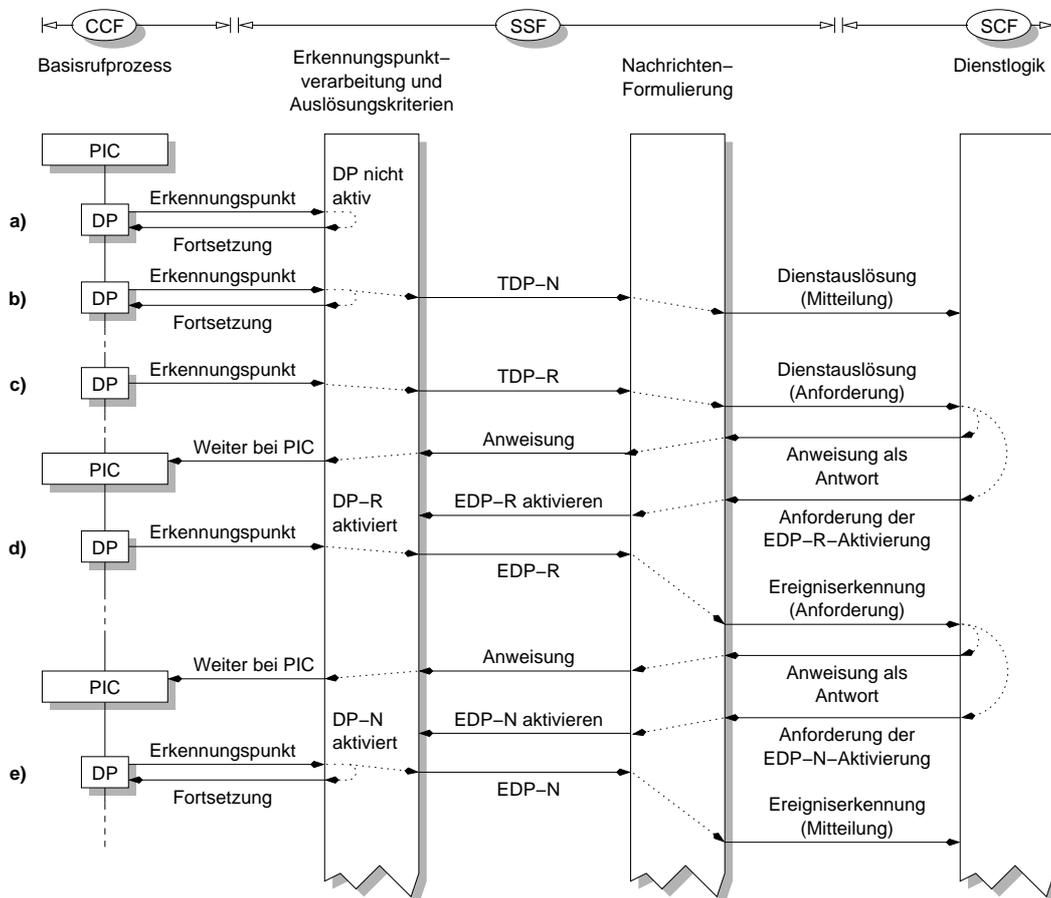
Erkennungspunkt auch als *Ereigniserkennungspunkt* (engl. *Event Detection Point, EDP*) eingesetzt werden. Dies ermöglicht es, einer bereits aktiven Dienstlogik während des Ablaufs eines Rufes das Erreichen bestimmter Zustände anzuzeigen. Die Aktivierung (und bei CS-2 auch die Deaktivierung) derartiger Ereigniserkennungspunkte kann während der Ausführung eines Dienstes durch diesen Dienst dynamisch nach Bedarf erfolgen.

Für beide Aktivierungsarten von Erkennungspunkten existieren je zwei Varianten, die *Anforderung* (engl. *Request*) und die *Mitteilung* (engl. *Notification*). Liegt eine Anforderung vor, so wird die weitere Abarbeitung des anfordernden Rufzustandsmodells so lange unterbrochen, bis eine Rückmeldung von der Dienststeuerfunktion erhalten wird, wie mit diesem Ruf weiter zu verfahren ist. Liegt dagegen lediglich eine Mitteilung vor, so wird nach der Meldung derselben die Rufbearbeitung ohne Unterbrechung oder Rückmeldung fortgesetzt.

Eine Reihe von Auslöskriterien (engl. *trigger criterion*) können einen Dienstauslöser darüber hinaus von der Erfüllung bestimmter Kriterien abhängig machen. Ein solches Kriterium kann beispielsweise der Beginn der gewählten Rufnummer mit einem bestimmten Präfix (z. B. 0800) sein.

Abb. 2.15, die der Empfehlung Q.1224 [273] entlehnt ist, illustriert die Funktionsweise dieser unterschiedlichen Erkennungspunktvarianten in Form von Beispielabläufen. Bei jedem Erreichen eines Erkennungspunktes tritt der Basisrufprozess mit der Erkennungspunktverarbeitung in Verbindung, die überprüft, ob und in welcher Weise der aufgetretene Erkennungspunkt aktiv ist. Ist dieser nicht aktiv (Fall a), wird die Rufbearbeitung

unmittelbar fortgesetzt. Ist er dagegen aktiv, wird je nach Aktivierungsart unterschiedlich vorgegangen: Im Falle der Aktivierung als Dienstauslöser zur Mitteilung (Fall b) wird die Rufbearbeitung unmittelbar fortgesetzt und mittels eines Dienstauslösers vom Mitteilungstyp eine Mehrwertdienstinstanz im Dienststeuerknoten aktiviert, der jedoch keine Rückwirkung auf die Rufbearbeitung haben kann. Im Falle der Dienstauslösung zur Anforderung (Fall c) wird die Rufbearbeitung unterbrochen und eine Mehrwertdienstinstanz aktiviert. Diese erteilt schließlich die Anweisung zur Fortsetzung der Rufbearbeitung und kann dadurch auf die Rufbearbeitung zurückwirken. Im hier dargestellten Beispiel aktiviert sie zusätzlich einen Ereigniserkennungspunkt zur Anforderung. Wird dieser im weiteren Ablauf erreicht (Fall d), so ist der Ablauf prinzipiell wie in (c), mit dem Unterschied, dass die zum Ereigniserkennungspunkt gehörige Dienstlogikinstanz bereits aktiv ist. Im Beispiel wird vor der Wiederaufnahme der Rufbearbeitung noch einen Ereigniserkennungspunkt zur Mitteilung aktiviert. Dessen Erreichen (Fall e) unterbricht die Rufverarbeitung nicht, sondern teilt der betroffenen und bereits aktiven Mehrwertdienstinstanz lediglich das aufgetretene Ereignis mit.



PIC Rufzustand
 DP Erkennungspunkt
 EDP-R Ereigniserkennungspunkt/Anforderung
 EDP-N Ereigniserkennungspunkt/Mitteilung
 TDP-R Dienstauslöser/Anforderung
 TDP-N Dienstauslöser/Mitteilung

Abbildung 2.15: Verarbeitung von verschiedenartigen Erkennungspunkten nach IN CS-2

2.3.6.4.3 Wechselwirkungs- und Rufverwaltung in der Dienstzugangssteuerung

Ganz im Gegensatz zu dem, was die Bezeichnung der Wechselwirkungsverwaltung (engl. *Feature Interaction Manager, FIM*) erwarten lässt, sind deren Fähigkeiten sehr beschränkt⁶. Sie bestehen lediglich darin, die Aktivierung von nicht IN-basierten Mehrwertdiensten zu unterdrücken, solange ein IN-Dienst aktiv ist und diese Unterdrückung fordert, sowie die gleichzeitige Aktivierung mehrerer IN-Dienste für eine Ruhhälfte zu verhindern, sofern bestimmte dienstspezifische Informationen (*ServiceCompatibilityID*) dies anzeigen. Die dazu erforderlichen Informationen – also *ServiceCompatibilityID* und die dazugehörige Ausschlussmatrix – werden durch den Netzbetreiber verwaltet.

Die Rufverwaltung (engl. *Call Manager, CM*) übernimmt Adressierungs- und Zuordnungsaufgaben in Fällen, in denen Ereignisse von mehreren Rufmodellen gleichzeitig ausgehen, überwacht die Unterbrechung und Wiederaufnahme der Rufmodellverarbeitung und stellt sicher, dass nur erlaubte Aktionen des IN-Verbindungszustandsmodells ausgeführt werden.

2.3.6.4.4 Verbindungszustandsverwaltung in der Dienstzugangssteuerung

Die Verbindungszustandsverwaltung (engl. *IN Switching Manager, IN-SM*) besitzt die Hauptaufgabe der Verwaltung der Verbindungszustandsmodelle (engl. *IN Switching State Model, IN-SSM*). Diese dienen dazu, ein über die Rufzustandsmodelle hinausgehendes Beschreibungsmittel für die Konnektivität eines Rufes zur Verfügung zu stellen, da nur so auch komplexere Ruftopologien wie umgeleitete Rufe oder der Wechsel zwischen zwei Verbindungen, wie z. B. beim Anklopfen oder Makeln, modelliert werden können. Die Verbindungszustandsmodelle werden bereits in Q.1214 [268] in nicht formalisierter Weise eingeführt. Dort werden jedoch einige relevante Detailfragen offen gelassen, so dass hier das vollständigere und aussagekräftigere Modell der Verbindungszustandsicht (engl. *Connection View State, CVS*) des CS-2 aus Q.1224 [273] vorgestellt wird.

Auf Grund ihres verteilten Charakters sind in der Regel mehrere Dienstzugangsfunktionen an normalen Rufbeziehungen im IN beteiligt, die jeweils nur eine Sicht auf einen Teil der Rufbeziehung haben. Der topologische Aspekt (die Konnektivität) dieser Sicht wird mit Hilfe der sogenannten Rufabschnittsassoziation (engl. *Call Segment Association, CSA*) beschrieben. Eine solche repräsentiert jedoch nicht die Konnektivität des gesamten Rufes, sondern lediglich das, was davon von einer Dienstzugangsfunktion als einem Teilnehmer zugeordnet wahrgenommen werden kann.

Eine Rufabschnittsassoziation besteht aus mindestens einem Rufabschnitt (engl. *Call Segment, CS*). Jeder Rufabschnitt ist dem Endpunkt eines logischen Rufes zugeordnet und besteht aus einem steuernden Zweig (engl. *controlling leg*) und aus mindestens einem passiven Zweig (engl. *passive leg*). Diese Zweige werden durch einen Verbindungspunkt (engl. *Connection Point*) miteinander verknüpft.

Die Seite des Rufabschnitts, die dem zugeordneten Teilnehmer zugewandt ist, wird durch den steuernden Zweig repräsentiert. Er kann unterschiedliche Zustände einnehmen. Der aktive Zustand (*joined*) repräsentiert die Tatsache, dass der Teilnehmer Kontrolle über den Ablauf eines Rufes hat. In einem normalen Ruf ist das der übliche Zustand während des Gesprächs bzw. auf der rufenden Seite während des Rufaufbaus. Weiterhin zeigt ein vorübergehender Zustand (*pending*) an, dass der Ruf zwar schon existiert, der Teilnehmer

⁶Ein wörtliches Zitat aus Q.1224 [273, Abschnitt 4.1] verdeutlicht dies: „*In particular, the FIM/CM can prevent multiple instances of IN and non-IN service logic instances from being invoked. The ability of the FIM/CM to arbitrate between multiple instances of IN and non-IN service logic instances is outside the scope of IN CS-2.*“

diesen jedoch noch nicht steuert. Dieser Zustand tritt z. B. dann auf, wenn ein Rufaufbauwunsch auf der gerufenen Seite eintrifft, aber noch nicht entgegengenommen wurde, er sich also im Zustand des Klingelns befindet.

Der Stellvertreter-Zustand (*surrogate*) kommt nicht in normalen Rufen zwischen zwei Teilnehmern vor, sondern markiert eine lediglich logische Beteiligung eines Teilnehmers, z. B. in Form einer Übernahme von Gesprächsentgelten. Tatsächlich hat er jedoch keine Kontrolle über den Ruf und ist auch nicht im Begriff, Kontrolle zu erlangen. Dieser Zustand tritt beispielsweise beim Mehrwertdienst einer Anrufumleitung beim umleitenden Teilnehmer auf. Der Zustand *shared* wird von einem steuernden Zweig immer dann eingenommen, wenn der steuernde Zweig eines anderen Rufsegments derselben Rufsegment-Assoziation im aktiven Zustand (*joined*) ist.

Der passive Zweig bzw. die passiven Zweige repräsentieren jeweils den fernen Teilnehmer gegenüber dem Netz. Auch sie können verschiedene Zustände einnehmen, jedoch nicht den Stellvertreter-Zustand (*surrogate*) und den Zustand *shared*. Jedem dieser passiven Zweige ist ein Rufzustandsmodell zugeordnet. Der Verbindungspunkt, der steuernde und passive Zweige innerhalb eines Rufsegments verbindet, repräsentiert die Nutzkanalverbindung.

Mit Hilfe der Rufzustandsmodelle und des Modells für die Konnektivität ist es möglich, eine große Anzahl von Zustandsänderungen nachzubilden, die im Rahmen der Erbringung von IN-Mehrwertdiensten erforderlich sind. Dies wird dadurch möglich, dass durch das Auftreten eines aktiven Erkennungspunktes diese Zustände an die Dienststeuerfunktion gemeldet werden und diese mit den entsprechenden und passenden Instruktionen für den Übergang in geeignete Folgezustände reagiert.

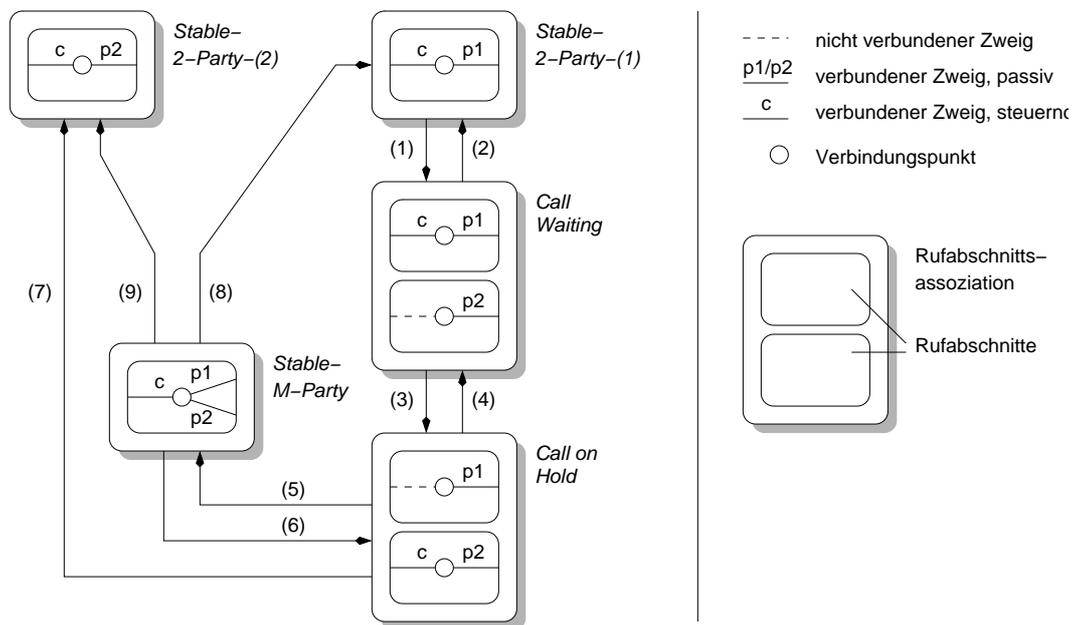


Abbildung 2.16: Verbindungszustandssicht nach Q.1224. Die Erläuterung der nummerierten Zustandsübergänge erfolgt im Text

Abb. 2.16 stellt die verschiedenen Zustände der Rufabschnitts-Assoziation für einen Teilnehmer mit dem Mehrwertdienst Anklopfen in vereinfachter und ausschnittthafter Weise dar. Dieser Mehrwertdienst ermöglicht es einem Teilnehmer, über das Vorliegen eines zweiten ankommenden Rufes während des Gesprächs benachrichtigt zu werden, dieses Gespräch entgegenzunehmen und gleichzeitig den bisherigen Ruf zu halten. Auch ei-

ne Dreierkonferenz mit dem ursprünglichen Gesprächspartner und dem neuen Anrufer lässt sich realisieren. Im Anfangszustand *Stable-2-Party-(1)* befindet sich der Teilnehmer im Gespräch. Durch einen nun ankommenden zweiten Ruf erfolgt der Übergang (1) in den Zustand *Call Waiting*, wo dem Teilnehmer signalisiert wird, dass ein ankommender Ruf für ihn vorliegt, ohne den bestehenden Ruf zu beeinflussen. Dieser ankommende Ruf ist zunächst noch nicht verbunden, was durch den nicht verbundenen Zweig im Zustand *shared* dargestellt wird. Der Teilnehmer kann entweder den neuen Ruf ablehnen (2), oder den neuen Ruf annehmen, indem er in den Zustand *Call on Hold* wechselt (3). In diesem Fall wird der erste Ruf gehalten, dessen steuernder Zweig ist also nicht verbunden und somit im Zustand *shared*. Von diesem Zustand aus kann wieder zum ersten Ruf zurückgewechselt werden (4), oder es kann eine Dreierkonferenz gebildet werden (5). Auflegen des ersten Anrufers (7) führt zu einem normalen Ruf (*Stable-2-Party-(2)*) mit dem zweiten Anrufer. Während der Dreierkonferenz, also im Zustand *Stable-M-Party*, führt das Auflegen des ersten (9) bzw. des zweiten Anrufers (8) wieder zurück zu einer normalen Rufbeziehung. Ein Aufbrechen der Dreierkonferenz (6) führt zurück in den Zustand *Call on Hold*.

Dieses Beispiel veranschaulicht das Funktionsprinzip der Verbindungszustandssicht als ein Modell zur Darstellung der möglichen Verbindungszustände eines Endteilnehmers. In der Empfehlung Q.1224 [273] nimmt diese Beschreibung über einhundert Druckseiten in Anspruch und wird darüber hinaus noch durch eine SDL-Beschreibung ergänzt. Trotzdem enthält es noch viele Freiheitsgrade, die für eine Implementierung ausgeräumt werden müssen.

2.3.6.4.5 Dienstlogikausführungsumgebung in der Dienststeuerfunktion

Die Dienststeuerfunktion stellt eine Plattform zur Verfügung, in deren Rahmen Mehrwertdienste – präziser Dienstlogikverarbeitungsprogramme (engl. *Service Logic processing Program, SLP*) – zum Ablauf gebracht werden. Dies findet im Rahmen einer Dienstlogikausführungsumgebung statt, die damit die bedeutendste Teilfunktionalität der Dienststeuerfunktion darstellt (Abb. 2.17).

Im Rahmen einer Dienstausführungsverwaltung (engl. *Service Logic Execution Manager, SLEM*) wird jeder ablaufende Dienst durch eine aktive Prozessinstanz (engl. *Service Logic processing Program Instance, SLPI*) repräsentiert. Alle Dienstlogikprogramme (engl. *Service Logic processing Program, SLP*) sind in einer Bibliothek organisiert, auf die mittels einer entsprechenden Verwaltung (engl. *SLP Manager*) zugegriffen werden kann. Die eigentliche Funktionalität wird dabei durch Routinen aus einer Bibliothek (engl. *Functional Routine Library*) bereitgestellt. Für Zugriffe auf Daten oder auf andere Funktionale Einheiten stehen ebenfalls entsprechende Teilfunktionalitäten zur Verfügung (engl. *SCF Data Access Manager* bzw. *Functional Entity Access Manager*)).

Die Verwaltung der Dienstinstanzenauswahl und Wechselwirkungen (engl. *Service Logic Selection/Interaction Manager, SLSIM*) übernimmt die Auswahl der Dienstlogikinstanz, die für ein anstehendes äußeres Ereignis zuständig ist. Prinzipiell sollen hier auch Wechselwirkungen zwischen Diensten aufgelöst werden, die auf denselben Ruf wirken. Hierzu sind jedoch lediglich die Mechanismen des wechselseitigen Ausschlusses und der Vorrangbeziehung vorgesehen. Eine Integration oder Kooperation mit der Wechselwirkungsverwaltung in der Dienstzugangssteuerung ist zumindest in CS-2 nicht definiert⁷.

⁷Zitat aus Q.1224 [273, Abschnitt 6.2.2.2]: „[...] SLSIM provides a means to manage service interactions by managing interactions among multiple SLPIs in the same SCF that are simultaneously active on

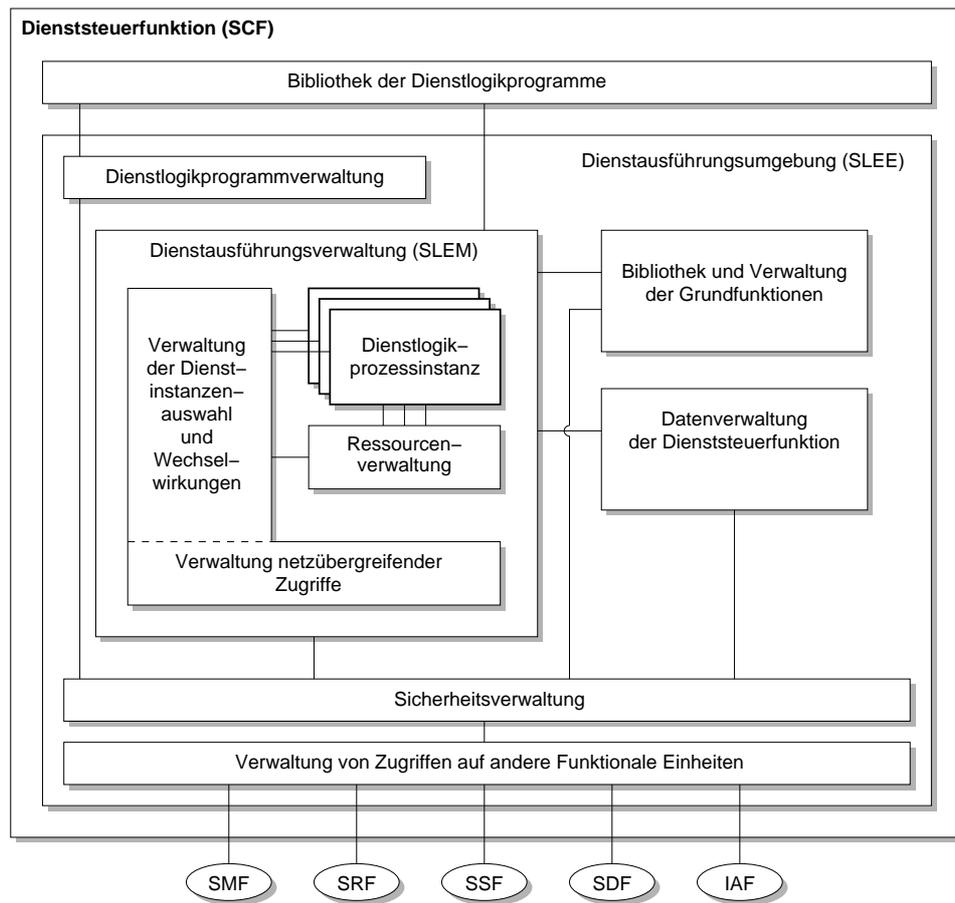


Abbildung 2.17: Leicht vereinfachtes Modell der Dienststeuerfunktion des CS-2 nach Q.1224 [273]

Die Sicherheitsverwaltung (engl. *Security Manager*) überprüft die Berechtigung der eingehenden Anforderungen, insbesondere ihre Authentizität und Integrität. Der Umfang der durchgeführten Überprüfungen ist dabei konfigurierbar.

Alle Interaktionen mit Funktionen außerhalb der Dienststeuerfunktion werden durch eine eigene Zugriffsverwaltung (engl. *Functional Entity Access Manager*) koordiniert. Ihre Funktion ist transparent für die Dienstlogikprozessinstanzen; es werden dort Funktionen wie die Korrelation von Anforderungen und Rückmeldungen und das Verketteten bzw. Trennen von zusammengehörigen Ereignissen durchgeführt.

2.3.7 Physikalische Abstraktionsebene

Während sich die Verteilte Funktionale Abstraktionsebene mit der verteilten Erbringung der IN-Funktionen befasst und damit die konzeptionellen Voraussetzungen für die Realisierung des IN in einem Kommunikationsnetz schafft, ist die Hauptaufgabe der Physikalischen Abstraktionsebene die Berücksichtigung der realen Bedingungen dafür. Sie legt die Zuordnung der Funktionalen Einheiten (FE) zu physikalischen Knoten im Netz mit den daraus entstehenden Konsequenzen für die zu verwendenden Protokolle fest. Das IN-Anwendungsprotokoll stellt auch einen Bestandteil der Physikalischen Abstraktionsebene dar, wird aber im nachfolgenden Abschnitt gesondert betrachtet.

a single call. The relationship between SLSIM and the feature interaction manager/call manager in the SSF/CCF is not defined in IN CS-2.

Die vorhandenen Knotentypen und die Funktionalen Einheiten, die in ihnen enthalten sein müssen oder können, sind in Abb. 2.18 in Form von durchgezogenen bzw. gestrichelten Ellipsen dargestellt. Knoten und Funktionale Einheiten, die der Betriebsführung (engl. *management*) zuzuordnen sind, sind in dieser Abbildung aus Übersichtlichkeitsgründen nicht eingezeichnet. Selbstverständlich sind nicht alle diese Knotentypen in jedem Netz vorhanden, sondern nur (mindestens) die, die zur Bereitstellung aller erforderlichen Funktionalen Einheiten genügen.

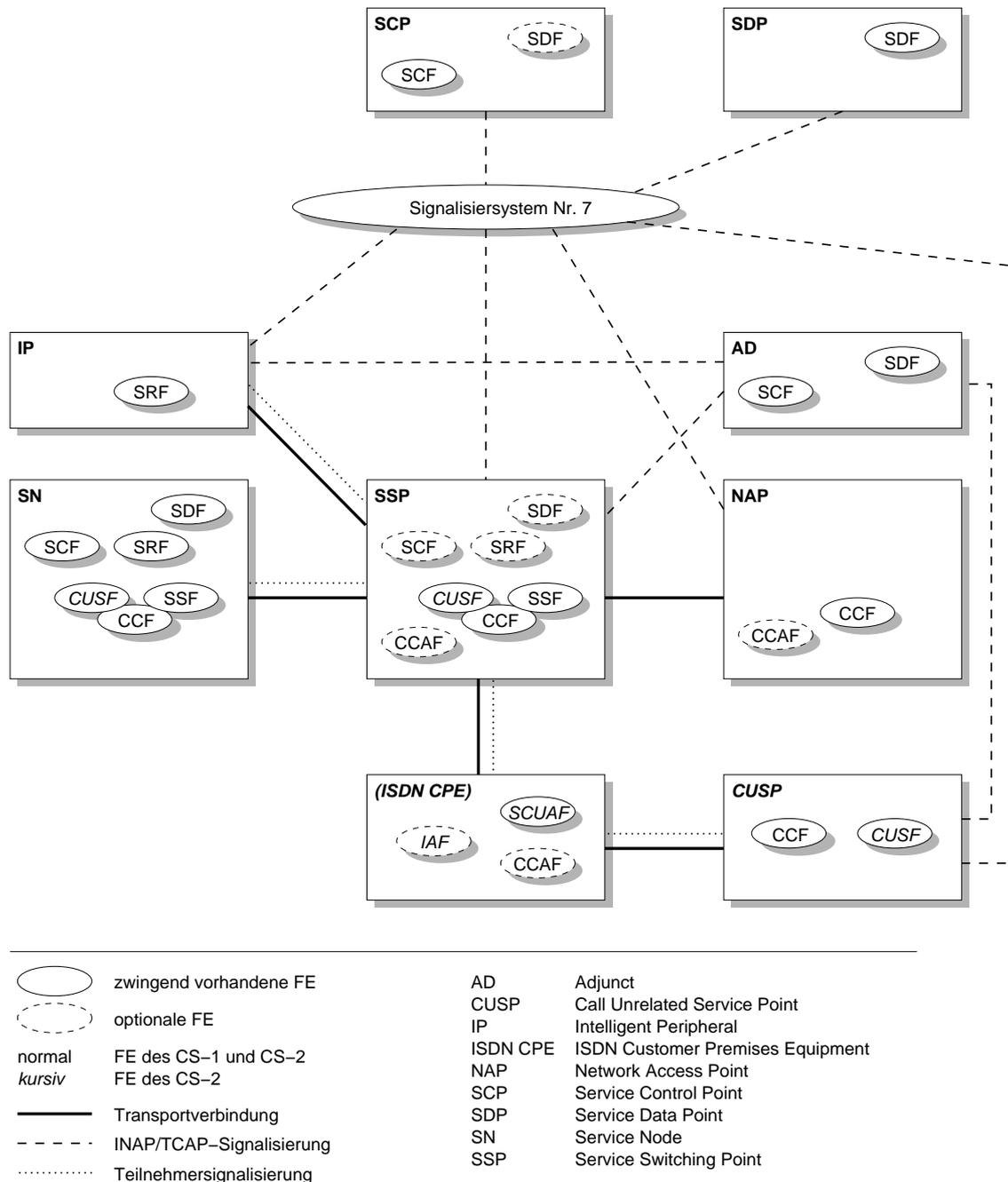


Abbildung 2.18: Physikalische Abstraktionsebene des CS-2 nach Q.1225 [276]

Die klassischen Elemente der Physikalischen Abstraktionsebene sind der Dienstzugangs-knoten (engl. *Service Switching Point, SSP*) und der Dienststeuerknoten (engl. *Service Control Point, SCP*), der mit dem Dienstzugangs-knoten über das Signalisierungsnetz verbunden ist. In der Variante der direkten Anbindung des Dienststeuerknotens an den Dienstzu-

gangsknoten ohne die Verwendung des Signalisierernetzes spricht man von einem *Adjunct (AD)*.

Ein Intelligentes Peripheriegerät (engl. *Intelligent Peripheral, IP*) stellt spezialisierte Ressourcen zur Verfügung, ein Dienstknoten (engl. *Service Node, SN*) darüber hinaus auch die Dienstleistungsfunktionen.

Die nicht-rufbezogenen Funktionalen Einheiten in CS-2 werden digitalen Endgeräten (engl. *ISDN Customer Premises Equipment, ISDN CPE*) bzw. den Knoten zugeordnet, in denen auch Dienstzugangssteuerung und Rufsteuerungsfunktion vorhanden sind. Ein nicht-rufbezogener Dienstknoten (engl. *Call Unrelated Service Point, CUSP*) ermöglicht IN-Zugang nur für nicht rufbezogene Ereignisse, d. h. eine Dienstzugangssteuerung ist nicht enthalten.

In CS-1 sind die unterstützenden Funktionen entweder vollständig im Dienstverwaltungsknoten (engl. *Service Management Point, SMP*) oder zusätzlich auf einem *Service Creation Environment Point (SCEP)* und einem *Service Management Agent Point (SMAP)* verteilt realisiert. In CS-2 wird dieses Konzept zugunsten einer Realisierung der Betriebsführungsfunktionen durch das *Telecommunications Management Network (TMN)* abgewandelt: Die unterstützenden Funktionen des IN werden dabei teilweise auf TMN-Funktionalitäten abgebildet und teilweise durch TMN-Funktionalitäten ersetzt.

2.3.8 Das IN-Anwendungsprotokoll

Das IN-Anwendungsprotokoll (engl. *Intelligent Network Application Protocol, INAP*) wird zur Kommunikation der physikalischen IN-Einheiten über das Signalisierernetz verwendet und bedient sich des IN-Anwenderteils (engl. *IN Application Part, INAP*), der im Signalisiersystem Nr. 7 auf den Transaktionsabwicklungsteil TCAP aufsetzt. Obwohl die reale Kommunikation selbstverständlich zwischen den Physikalischen Einheiten abläuft, sind die Protokolldefinitionen des INAP auf die Kommunikation zwischen Funktionalen Einheiten bezogen, um der Flexibilität in deren Zuordnung zu PEs nicht unnötige Beschränkungen aufzuerlegen.

Die ITU-T-Empfehlung Q.1208 [265] ordnet das Protokoll in den Kontext der Anwendungsprotokolle des ISO/OSI-Basisreferenzmodells ein. Die Empfehlung für das CS-1 Q.1218 [269] ist sehr komplex und enthält detaillierte Informationen über die Protokollstapel, die INAP unterstützen, sowie das komplette Vokabular von INAP – also Operationen und deren Parameter – formal beschrieben in der Syntax-Beschreibungssprache ASN.1 [248]. Ein Modell für die IN-Umgebung mit Beschreibungen von Prozeduren in Form endlicher Automaten sowie eine detaillierte informelle Beschreibung des Zwecks und der Funktionsweise aller Operationen vervollständigen die Empfehlung. Durch die umfangreichen Erweiterungen hat das in Q.1228 [277, 278, 279, 280, 281] spezifizierte INAP für CS-2 an Komplexität gegenüber dem CS-1 INAP erheblich zugenommen⁸.

Das *European Telecommunication Standards Institute (ETSI)* hat einen wesentlichen Beitrag zur Verfeinerung, Vereinfachung und Präzisierung dieser Empfehlung durch die Erarbeitung der Core-INAP-Empfehlungen geleistet, die sich auf die unbedingt erforderlichen Bestandteile der ITU-T-Empfehlungen beschränken, also den funktionalen Kern (engl. *core*) derselben herausarbeiten und damit auf zahlreiche Optionen verzichten. Der Core-INAP für CS-1 (ETS 300374 [243]) und der INAP für CS-2 (EN 301140 [242]) sind in ihrem Umfang etwas schlanker als die entsprechenden Dokumente der ITU-T.

⁸Nicht zuletzt schlägt sich dies auch im Umfang des aus über 800 Druckseiten bestehenden Werkes (gegenüber etwa 310 Seiten bei CS-1) nieder.

2.4 Neue Netzarchitekturen

2.4.1 Telecommunications Information Networking Architecture

Zahlreiche softwarebasierte Dienste verschiedenster Art werden die zukünftige Telekommunikationslandschaft dominieren, ausgehend von traditionellen sprachbasierten Diensten über Informationsdienste aller Art bis hin zu interaktiven multimedialen Diensten. Solche Dienste können in ganz unterschiedlichen Umgebungen und Infrastrukturen zur Verfügung stehen – wie dies z. B. derzeit beim Telefondienst und bei den Diensten des Internet der Fall ist – und durch explizit entwickelte Kopplungsmechanismen kombiniert werden. Derartige Kopplungsmechanismen stellen jedoch sowohl quantitativ als auch qualitativ einen erheblichen Aufwand dar. Sehr viel mächtiger ist ein Ansatz, der von vorne herein eine in sich geschlossene Architektur vorsieht, die das Nebeneinander und das Ineinandergreifen unterschiedlicher Dienste direkt berücksichtigt und unterstützt. Die *Telecommunications Information Networking Architecture (TINA)* verfolgt einen solchen Ansatz.

Das TINA-Konsortium (engl. *TINA-Consortium, TINA-C*)⁹ wurde 1992 gegründet. Zu seinen Mitgliedern gehören Hersteller von Telekommunikationseinrichtungen, Rechnerhersteller, sowie Netzbetreiber und große unabhängige nationale und internationale Forschungsinstitute. Die Erklärung zur Zusammenarbeit, die von den Konsortialmitgliedsorganisationen unterzeichnet wurde, war ursprünglich auf eine Laufzeit bis zum Ende des Jahres 1997 begrenzt. Zu diesem Zeitpunkt sollte ein Satz von Spezifikationen erstellt und validiert sein, der TINA umfassend beschreibt und damit als Grundlage für eine Implementierung dienen kann. Am Ende der Laufzeit wurde beschlossen, das Konsortium für eine zweite Phase (1998 bis 2000) weiter bestehen zu lassen. Schwerpunkt dieser Phase soll die Umsetzung der Arbeitsergebnisse der ersten Phase sein, um zu demonstrieren, wie TINA als eine Plattform für die Bereitstellung komplexer Dienste in einem Umfeld aus mehreren gekoppelten Telekommunikationsnetzen unterschiedlicher Technologien eingesetzt werden kann.

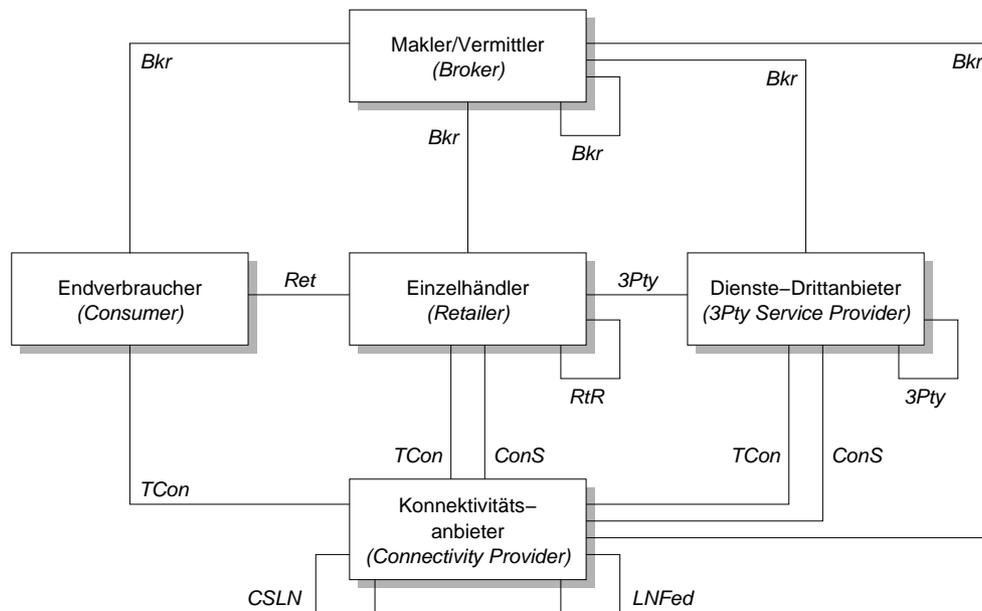
Das TINA-Architekturkonzept beruht auf vier grundlegenden Prinzipien, der *objektorientierten Analyse*, der *Verteilung*, der *Entkopplung von Softwarekomponenten* und der *Trennung von Zuständigkeitsbereichen* [289]. Diese Prinzipien machen es möglich, Interoperabilität, Portabilität, Wiederverwendbarkeit und Technologieunabhängigkeit von Softwarekomponenten zu gewährleisten und damit auch die enorme Aufgabe des Aufbaus und der Verwaltung eines solchen Systems auf verschiedene Beteiligte aufteilen zu können.

2.4.1.1 Geschäftsmodell

Die oben erwähnte Aufteilung auf unterschiedliche Beteiligte (engl. *stakeholder*) wird durch ein Geschäftsmodell (engl. *business model*) formalisiert, in dem charakterisiert wird, welche Personen oder Institutionen im Rahmen der Erbringung eines Dienstes Teilaufgaben übernehmen und in welcher Weise sie miteinander in Kontakt stehen. Die Beteiligten betreiben sogenannte Verwaltungsdomänen (engl. *administrative domain*). Die Aufgaben dieser Verwaltungsdomänen werden durch unterschiedliche Rollen im Geschäftsmodell (engl. *business roles*) beschrieben. In Abb. 2.19 wird dieses Geschäftsmodell im Überblick dargestellt.

Ein Beteiligter der eine Domäne in der Rolle des Endverbrauchers (engl. *Consumer*) betreibt, bedient sich der Dienste, die in einem TINA-System angeboten werden. Endver-

⁹<http://www.tinac.com>



—	Geschäftsbeziehung
Bkr	Makler/Vermittler zu allen anderen Rollen
ConS	Konnektivität zwischen Domänen
CSLN	Zusammenarbeit zwischen Konnektivitätsanbietern
LNFed	Zusammenarbeit zwischen Konnektivitätsanbietern
3Pty	Dienste-Drittanbieter zu Einzelhändler oder Dienste-Drittanbieter
Ret	Einzelhändler zu Endverbraucher
RtR	Einzelhändler zu Einzelhändler
TCon	Endgeräte-Konnektivität

Abbildung 2.19: Geschäftsmodell von TINA mit Rollen und Geschäftsbeziehungen

braucher bilden die wirtschaftliche Basis des Systems, indem sie Entgelte für die Nutzung der angebotenen Dienste entrichten. Die Anzahl der Endverbraucher-Domänen kann potenziell sehr groß werden und um einige Größenordnungen über der anderer Domänen liegen. Dabei kann die Größe der einzelnen Endverbraucher von Großunternehmen bis hin zu Einzelpersonen reichen; damit werden auch die Endgerätekonfigurationen von kleinen und kostengünstigen Geräten mit geringer Verarbeitungsleistung bis hin zu großen Firmennetzen reichen.

Verwaltungsdomänen in der Rolle des Einzelhändlers (engl. *Retailer*) dienen den Endverbrauchern als Zugang zum TINA-System. Ein Endverbraucher kann sich dabei auch mehrerer Einzelhändler bedienen. Einzelhändler haben die Möglichkeit, ihren Endverbrauchern neue Dienste anzubieten, die nicht mit anderen Einzelhändlern abgesprochen sein müssen. Zur Realisierung der angebotenen Dienste benötigt der Einzelhändler in der Regel die Unterstützung durch andere Beteiligte, typischerweise Makler, Dienste-Drittanbieter und Konnektivitätsanbieter (s. u.).

Makler/Vermittler (engl. *Broker*) haben die Aufgabe, Beteiligten dabei zu helfen, andere Beteiligte und/oder Dienste im System zu lokalisieren. Dienste-Drittanbieter (engl. *3rd Party Service Provider*) unterstützen Einzelhändler und/oder andere Dienste-Drittanbieter mit ihren Diensten. Ein solcher Drittanbieter kann dabei Dienstlogik und/oder Inhalte (engl. *Content*) anbieten.

Konnektivitätsanbieter (engl. *Connectivity Provider*) stellen das Netz zur Verfügung, über das einerseits die Transportverbindungen (Nutzkanal-Verbindungen), andererseits auch die

Steuerverbindungen (benutzt für die Kommunikation innerhalb der verteilten Rechenumgebung von TINA) geführt werden.

Die zwischen Verwaltungsdomänen in unterschiedlichen Rollen und zwischen mehreren Verwaltungsdomänen derselben Rolle bestehenden Geschäftsbeziehungen wurden zur Festlegung von Referenzpunkten herangezogen und sind Bestandteil des Geschäftsmodells. Zur Identifikation von Gemeinsamkeiten werden sie in Klassen eingeteilt. Für eine detaillierte Betrachtung dieser Referenzpunkte ist [291] heranzuziehen.

2.4.1.2 Dienstarchitektur

TINA baut auf vier weitgehend voneinander zu trennenden Teilarchitekturen auf, die in enger Verbindung zueinander stehen. Diese werden in diesem und den folgenden Unterabschnitten vorgestellt.

Schlüssel zum Verständnis des TINA-Konzepts ist die Dienstarchitektur (engl. *Service Architecture*)¹⁰; wegen ihrer zentralen Rolle soll sie auch hier vor den drei anderen Teilarchitekturen diskutiert werden. Ein Dienst in TINA ist eine verteilte Anwendung in Software, deren Gestaltung im Rahmen der Dienstarchitektur in einheitlicher Weise festgelegt wird. Das wichtigste Konzept dabei ist das Sitzungskonzept. Eine Sitzung (engl. *session*) ist dabei definiert als ein begrenzter Zeitraum, in dem Aktivitäten zum Erreichen eines bestimmten Zwecks stattfinden.

In TINA wird streng zwischen Zugang und Benutzung unterschieden. Der Zugang wird mit Hilfe einer Zugangssitzung (engl. *Access Session*) modelliert. Diese Sitzung ist für jede Kommunikationsbeziehung erforderlich. Damit auch preisgünstige und leistungsschwache Endgeräte unterstützt werden können, wird die im Rahmen der Zugangssitzung geforderte Funktionalität so gering wie möglich gehalten. Der vorgesehene Funktionsumfang umfasst lediglich Authentisierung, Autorisierung und Auswahl bzw. Einschränkung der Auswahl von Diensten.

Die Zugangssitzung umfasst immer zwei Domänen, also z. B. einen Endverbraucher und einen Einzelhändler. Die zu jeweils einer dieser Domänen gehörenden Teile einer Zugangssitzung werden als domänenbezogene Zugangssitzung (engl. *Domain Access Session*) bezeichnet; wenn diese logisch in eine Beziehung zueinander treten, entsteht die eigentliche Zugangssitzung (siehe Abb. 2.20). Zugangssitzungen treten in zwei Varianten auf. In der asymmetrischen Variante lässt sich eindeutig ein Zugangsbenutzer (engl. *Access User*) und ein Zugangsanbieter (engl. *Access Provider*) identifizieren; in anderen Fällen ist dies nicht möglich, und die beteiligten Domänen begegnen sich als logisch gleichgestellte Partner (engl. *Access Peer*). Dies geschieht beispielsweise, wenn zwei Einzelhändler-Domänen miteinander in Kontakt treten.

Alle darüber hinausgehenden Funktionen werden der Benutzung zugerechnet. Diese ist ihrerseits in die Dienstsitzung (engl. *Service Session*) und in die Kommunikationssitzung (engl. *Communication Session*) aufgeteilt. Die Dienstsitzung beinhaltet dabei Fähigkeiten zur Ausführung und Steuerung von Diensten. Sie bindet alle an einem Dienst beteiligten Domänen in einem logischen Kontext zusammen und kann sich daher über beliebig viele Domänen erstrecken. Sie ist in zwei unterscheidbare Teile aufgeteilt. Die Anbieter-Dienstsitzung (engl. *Provider Service Session*) repräsentiert den Kern des Dienstes und der Dienstlogik. Sie ist damit der Teil der Dienstsitzung, der die *innerhalb* einer Domäne

¹⁰Der Begriff der Dienstarchitektur wird hier dem Begriff der Dienstarchitektur vorgezogen, da letztere auch als die Architektur eines einzelnen Dienstes verstanden werden kann; die Dienstarchitektur bezeichnet dagegen die aus der Gesamtheit der Dienste gebildete Architektur.

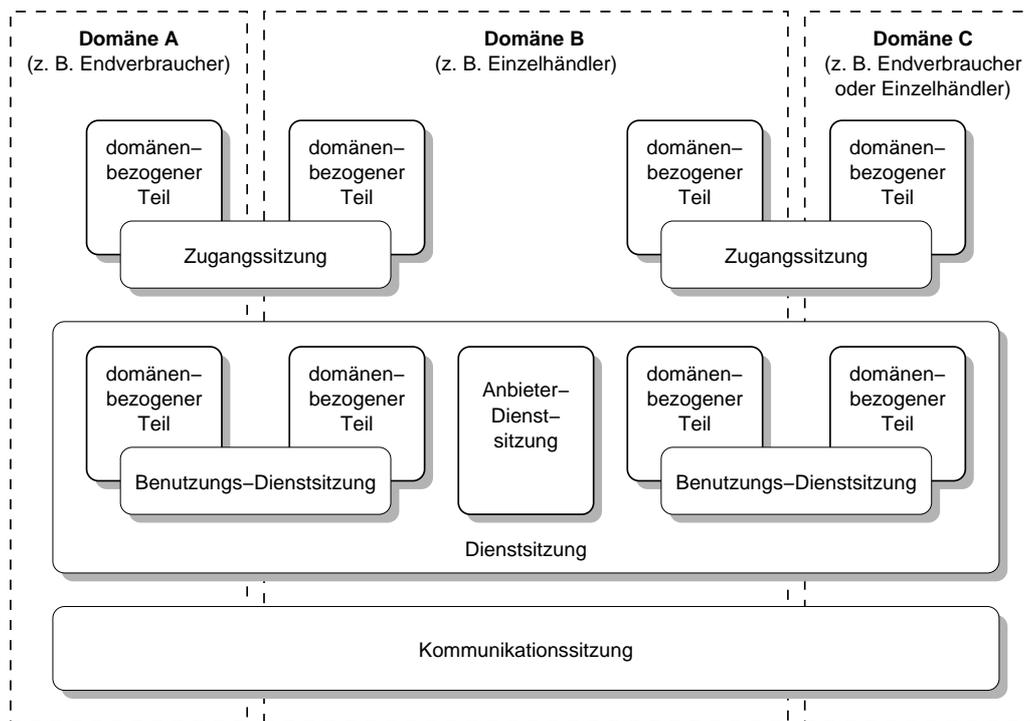


Abbildung 2.20: TINA-Sitzungen und ihr Bezug zu Verwaltungsdomänen des Geschäftsmodells [290]

relevanten Teile des Dienstes repräsentiert. Für die domänenübergreifenden Teile eines Dienstes sind die Benutzungs-Dienstsitzungen (engl. *Usage Service Session*) verantwortlich. Auf Grund ihres domänenübergreifenden Charakters sind sie – analog zur Zugangssitzung – in zwei logische Teile eingeteilt, nämlich in die domänenbezogenen Benutzungs-Dienstsitzungen, die nur logisch eine einzige Benutzungs-Dienstsitzung bilden. Auch hier wird wieder unterschieden zwischen dem unsymmetrischen Fall, der i. d. R. zwischen einem Teilnehmer (engl. *Usage Party*) und einem Anbieter (engl. *Usage Provider*) besteht, und dem symmetrischen Fall, der zwischen logisch gleichgestellten Partnern (engl. *Usage Peer*), i. d. R. Einzelhändler und Dienste-Drittanbieter, auftritt.

Die Kommunikationssitzung stellt eine allgemeine, auf die Erfordernisse von Diensten zugeschnittene Sicht auf die Kommunikationsressourcen des Netzes bereit, die es ermöglicht, Verbindungen aufzubauen, zu unterhalten und zu beenden. Eine Kommunikationssitzung ist zu jedem beliebigen Zeitpunkt genau einer Dienstsitzung zugeordnet, um Steuerungskonflikte zu vermeiden. Die Kommunikationssitzung repräsentiert die Kommunikationsressourcen des Netzes in abstrakter Weise und ermöglicht es so der Dienstsitzung, Verbindungen auf- und abzubauen, Verbindungstopologien zu manipulieren (z. B. bei Mehrpunktverbindungen) und Dienstgüteparameter zu vereinbaren bzw. zu verändern. Die Kommunikationssitzung wird in der Regel aus der Dienstsitzung heraus durch die Anbieter-Dienstsitzung und die dem Anbieter bzw. dem gleichgestellten Partner zugeordneten Teile der Benutzungs-Dienstsitzung gesteuert.

Die bisher vorgestellte Dienstarchitektur gibt einen Rahmen für die Aufteilung und Gliederung der Funktionalität eines TINA-Systems vor. Allerdings werden auf diesem hohen Abstraktionsniveau noch keinerlei Vorgaben dafür gemacht, auf welche Art und Weise diese Funktionalität erbracht werden soll. Zu diesem Zweck werden in den Richtlinien des *ODP Computational Viewpoint* [189] sogenannte Dienstkomponenten (engl. *Service Components*) eingeführt. Eine solche Dienstkomponente kann als ein abstraktes Objekt

Tabelle 2.2: Dienstkomponenten für die TINA-Dienstarchitektur.

Zugehörigkeit	Rolle	TINA-Dienstkomponente	Abkürzung
Zugangssitzung	Benutzer	User Application	as-UAP
		Provider Agent	PA
	Anbieter	Initial Agent	IA
		User Agent	UA
		Named User Agent	namedUA
		Anonymous User Agent	anonUA
	gl. Partner	Initial Agent	IA
		Peer Agent	PeerA
Dienstszung	Benutzer	User Application	ss-UAP
		Composer Usage Session Manager	CompUSM
	Anbieter	Service Factory	SF
		User Service Session Manager	USM
		Service Session Manager	SSM
	gl. Partner	Service Factory	SF
		Peer Usage Session Manager	PeerUSM
Kommunikationssitzung ^a	Benutzer	Terminal Communication Session Manager	TCSM
	Anbieter	Communication Session Manager	CSM

^aDie Rollen in der Kommunikationssitzung sind in der gegenwärtigen Version des Standards noch nicht umfassend spezifiziert.

angesehen werden, da sie Daten und Funktionalität kapselt und definierte Schnittstellen zu anderen Dienstkomponenten bereitstellt. Allerdings wird eine Dienstkomponente in der Regel durch mehrere Objekte oder Objektgruppen realisiert, die miteinander interagieren.

In Abb. 2.21 wird das schematische Zusammenspiel dieser Dienstkomponenten vor dem Hintergrund der TINA-Dienstarchitektur gezeigt; Tabelle 2.2 zeigt im Überblick, welche Dienstkomponenten für die Erbringung der Funktionalitäten der einzelnen Teilbereiche der Zugangssitzung, Dienst- und Kommunikationssitzung spezifiziert sind.

Im Verlauf einer Zugangssitzung stellt eine Benutzeranwendung (engl. *access session related User Application, as-UAP*) unter Zuhilfenahme des Anbieteragenten (engl. *Provider Agent, PA*) Kontakt mit dem Initiierungsagenten (engl. *Initial Agent, IA*) des Diensteanbieters auf, der dazu benutzt wird, eine Zugangssitzung in Gang zu setzen, die auf der Anbieterseite durch einen Benutzeragenten (engl. *User Agent, UA*) verwaltet wird. Im Rahmen des Zusammenspiels zwischen PA und UA werden Authentizität und Autorisierung der Beteiligten geprüft. Darüber hinaus werden über diese Beziehung die Erzeugung neuer und der Zugang zu bestehenden Dienstszungen gesteuert.

Auf Anfrage eines UA instanziiert eine Diensterzeugung (engl. *Service Factory, SF*) eine Dienstszungsverwaltungskomponente (engl. *Service Session Manager, SSM*) und je beteiligtem Benutzer eine benutzerbezogene Dienstszungsverwaltungskomponente (engl. *User Service Session Manager, USM*), die mit dem dienstszungsbezogenen Teil der Benutzeranwendung in Kontakt steht und dadurch die Steuerung der Sitzung ermöglicht. Die eigentliche Ende-zu-Ende-Konnektivität wird durch die Kommunikationssitzungsverwaltung (engl. *Communication Session Manager, CSM*) und deren Gegenstücke bei den Benutzern (engl. *Terminal Communication Session Manager, TCSM*) im Rahmen einer Kommunikationssitzung hergestellt. Diese Komponenten werden aus der Dienstszung heraus angesteuert.

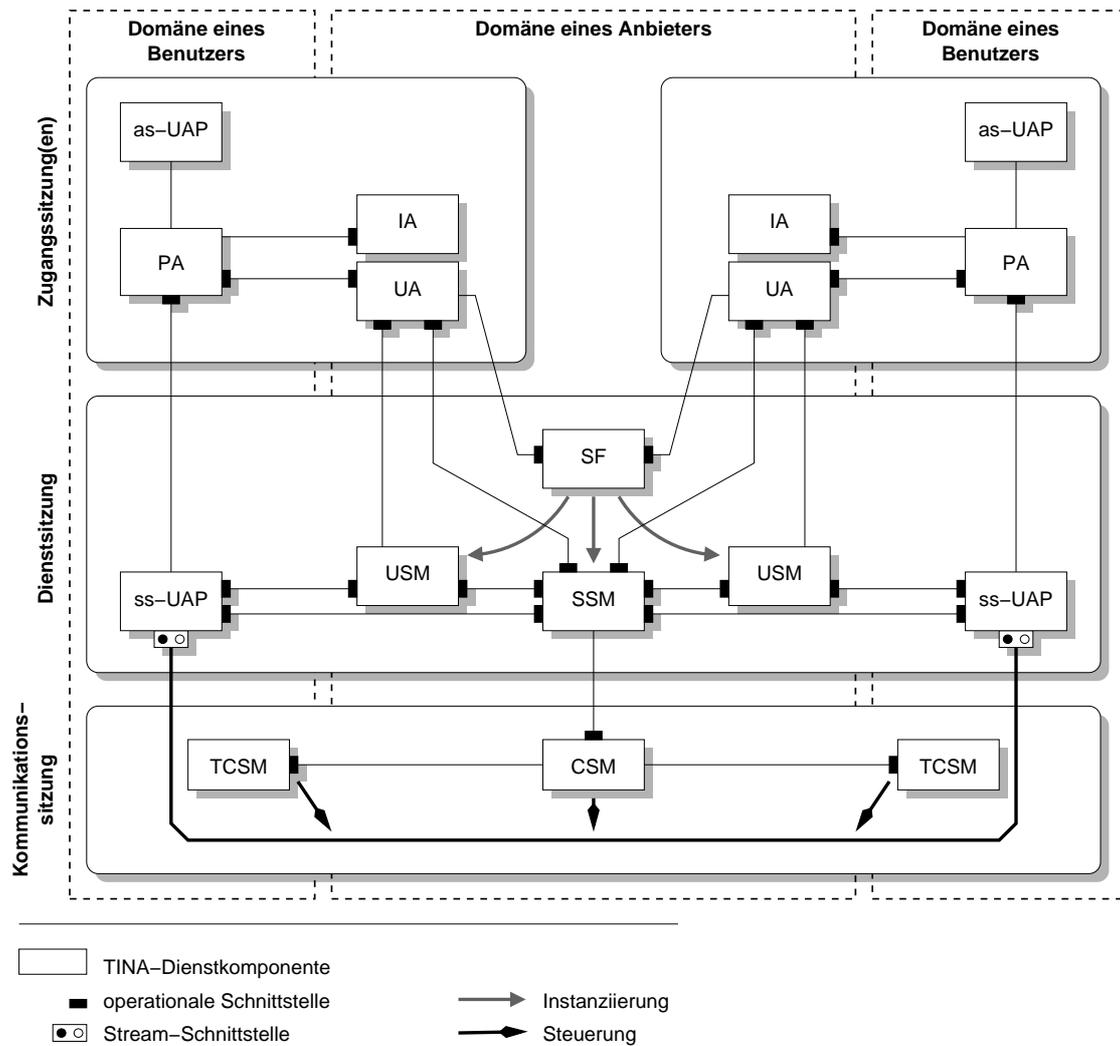


Abbildung 2.21: TINA-Sitzungen und ihre Zusammensetzung aus Dienstkomponenten. Die verwendeten Abkürzungen werden in Tabelle 2.2 erklärt. [290]

Die Entwicklung neuer Dienste für TINA baut auf der objektorientierten Entwurfsphilosophie von TINA auf. Alle beteiligten Dienstkomponenten besitzen eine genau festgelegte Funktionalität. Soll zusätzliche Funktionalität eingebaut werden, müssen neue Komponenten von den bereits existierenden abgeleitet werden. Diese Spezialisierung (engl. *specialization*) bedient sich des Mechanismus' der Vererbung (engl. *inheritance*), d. h. eine abgeleitete Komponente enthält zusätzlich zur kompletten Funktionalität der Elternkomponente neue Funktionen, die für den neuen Dienst spezifisch sind. Darüber hinaus kann auch das Zusammenfügen (engl. *composition*) von Komponenten zur Entwicklung neuer Dienste herangezogen werden. Dabei werden Dienstkomponenten aggregiert, um neue Funktionalität bereitzustellen.

2.4.1.3 Rechenumgebungsarchitektur

TINA baut als verteilte objektorientierte Systemarchitektur auf dem Vorhandensein einer verteilten Rechenumgebung (engl. *Distributed Processing Environment, DPE*) auf, die es den Objekten erlaubt, unabhängig von ihrem Ort Information untereinander auszutauschen. Alle für die Erbringung eines Dienstes relevanten Systemteile, Ressourcen und Elemente sind in dieser Rechenumgebungsarchitektur (engl. *Computational Architecture*)

als Objekte modelliert. Für Systemelemente, die physikalische bzw. logische Ressourcen repräsentieren, sind diese Objekte im DPE Stellvertreterrepräsentationen. Die eigentliche Interaktion zwischen diesen Stellvertretern und den realen Ressourcen ist nicht Bestandteil der TINA-Standardisierung, sondern systemabhängig. Die Objekte, aus denen die Dienstkomponenten in der Dienstarchitektur zusammengesetzt sind, bauen ebenfalls auf diesem DPE auf und können damit in einer virtuell einheitlichen Umgebung ablaufen. Dies macht den Informationsaustausch zwischen den Objekten für den Dienstentwickler praktisch transparent und vereinfacht damit die Entwicklung neuer Dienste.

2.4.1.4 Netzarchitektur

Zweck der Netzarchitektur (engl. *Network Architecture*) ist es, einen vollständigen Satz generischer Konzepte zur Verfügung zu stellen, mit dem Transportnetze in technologieunabhängiger Weise beschrieben werden können. Auf der „dienstzugewandten“ Seite wird eine abstrakte Sicht auf die Verbindungen im Netz bereitgestellt; auf der „netzzugewandten“ Seite werden allgemeine Elementbeschreibungen zur Verfügung gestellt, die für reale Technologien und Produkte nur noch angepasst werden müssen.

2.4.1.5 Managementarchitektur

Die Managementarchitektur (engl. *Management Architecture*) von TINA ist in zwei große Bereiche eingeteilt. Das Rechenumgebungsmanagement (engl. *Computing Management*) ist mit dem Management des DPE und der dazugehörigen System- und Netzressourcen befasst. Das Telekommunikationsmanagement (engl. *Telecommunications Management*) ist für die Betriebsführung des Transportnetzes und der dazugehörigen Dienste und Elemente zuständig. Für darüber hinaus gehende Informationen sei auf [288] verwiesen.

2.4.1.6 Einschätzung

Ziel von TINA ist es, eine offene Telekommunikationsarchitektur bereitzustellen, die es erlaubt, Dienste unabhängig von den zugrundeliegenden Technologien zu erbringen und damit gleichzeitig auch ein System zur Verfügung zu stellen, das in der Lage ist, bereits bestehende Kommunikationsnetze – die ja erhebliche und langfristige Infrastruktur-Investitionen darstellen – zu unterstützen und zu integrieren. Dieses ehrgeizige Ziel hat zu einem komplexen und umfangreichen Ansatz geführt, der wahrscheinlich in seinem vollen Ausmaß nie realisiert werden wird, jedoch sehr viele wertvolle und gut ausgearbeitete Konzepte enthält, die ihn trotzdem zu einem beachtenswerten Systemkonzept machen.

2.4.2 Interaktive Dienste basierend auf dem Internet-Protokoll

Durch die explosionsartige und mittlerweile beinahe flächendeckende Verbreitung von Kommunikationsnetzen, die auf dem Internet-Protokoll basieren, entstand der Gedanke, diese nicht nur zur Datenkommunikation, sondern auch für interaktive Telekommunikationsdienste wie die Sprach- oder Bewegtbildkommunikation einzusetzen. Die dazu eingeführten Konzepte sind Gegenstand dieses Abschnitts.

2.4.2.1 Das Internet-Protokoll

Das Internet-Protokoll (engl. *Internet Protocol, IP*) basiert auf einem verbindungslosen Paketvermittlungsverfahren, dessen Grundlagen in den 1960er Jahren gelegt wurden [10]. Ein Projekt zur Realisierung eines derartigen Verfahrens wurde 1969 von der amerikanischen Rüstungsforschungsorganisation DARPA (*Defense Advanced Research Projects*

Agency) ins Leben gerufen, um ein paketvermittelndes Forschungsnetz, das sogenannte *ARPANET*, basierend auf Mietleitungen einzurichten [287]. Die Verbreitung dieses Netzes und der dort verwendeten Protokolle begann mit der Entscheidung, alle vernetzten Rechner der DARPA an dieses neue Netz anzuschließen. Die Aufteilung des Netzes in ein militärisches Netz (MILNET) und ein Forschungsnetz (ARPANET), verbunden mit der Ermöglichung des Zugangs zu letzterem für zivile Forschungseinrichtungen und Universitäten sowie die Bereitstellung von Protokollimplementierungen zu geringen Kosten sorgten dafür, dass dieses Protokoll von immer mehr Forschungsgruppen angenommen und angewandt wurde und rasch weltweite Verbreitung fand [61].

Die Kopplung von Netzen (engl. *Internetworking*) ist das Grundprinzip, auf dem das Internet beruht und das ihm seinen Namen gegeben hat. Ziel war es, ein auf gekoppelten unabhängigen Netzen beruhendes Netz (engl. *network of networks*) ohne zentrale Instanz zu schaffen, welches dadurch eine besondere Überlebensfähigkeit¹¹ in Bezug auf Ausfall einzelner Knoten, Verbindungsleitungen oder ganzer Teilnetze besitzt.

Die Adressierung von Knoten im Internet spiegelt diese Struktur wieder. Die aus wenigen Hierarchieebenen aufgebauten, 32 bit breiten Adressen bestehen aus einem Teil, der das Netz identifiziert, und aus einem Teil, der einen bestimmten Knoten innerhalb dieses Netzes identifiziert. Der letztere Teil ist nur innerhalb des betreffenden Netzes von Interesse, außerhalb erfolgt die Verkehrslenkung der Nachrichtenpakete ausschließlich an Hand der Netzadresse.

Mit Hilfe dieser einfachen Prinzipien ist es gelungen, einen universell einsetzbaren Pakettransportdienst zu realisieren, der allen Arten von Anwendungen erlaubt, ohne Detailkenntnisse des Netzes Informationen mit anderen Anwendungen auf entfernten Knoten auszutauschen. Diese Einfachheit, Flexibilität und Universalität ist der Schlüssel zum überwältigenden Erfolg dieser Technologie.

Das Internet-Protokoll unterstützt die Vermittlung von Datagrammen zwischen Knoten im Netz. Datagramme des IP tragen außer den IP-Adressen der Quelle und des Ziels nur wenige Steuerinformationen. Die im Zusammenhang mit der Verwirklichung interaktiver Dienste wichtigste Information ist der Dienstyp (engl. *service type* oder *type of service*), der es prinzipiell erlaubt, acht verschiedene Prioritätsstufen zu spezifizieren. Darüber hinaus kann die Bevorzugung von niedriger Paketverzögerung, hohem Durchsatz oder hoher Verlässlichkeit (geringer Verlustwahrscheinlichkeit) ausgewählt werden. Diese Angaben sind jedoch nur dann von Wirkung, wenn die jeweils zugrundeliegende Netztechnologie unterhalb der IP-Schicht entsprechende Mechanismen bereitstellt und die Prioritätsstufen von allen beteiligten Netzen in der gleichen Weise interpretiert und durchgesetzt werden. Insbesondere stellt dieser Mechanismus keine Dienstgütegarantie dar.

Um innerhalb eines Knotens eine genauere Adressierung durchführen zu können, was in der Rechnerkommunikation in der Regel der Adressierung einer Prozessinstanz gleichkommt, wurde der zusätzliche Adressierungsmechanismus der *Ports* eingeführt, der im verbindungslosen *User Datagram Protocol (UDP)* und im verbindungsorientierten *Transmission Control Protocol (TCP)* zur Anwendung kommt.

Das verbindungslose UDP ergänzt ein IP-Datagramm im Wesentlichen um die Portnummern der Quelle und des Ziels¹². Das verbindungsorientierte TCP fügt zusätzlich

¹¹In der Zielsetzung der Überlebensfähigkeit (engl. *survivability*) kommt der ursprünglich militärische Charakter dieser Entwicklung zum Ausdruck. Ziel war es, ein Netz zu entwickeln, das durch Kriegshandlungen, insbesondere einen Angriff mit Nuklearwaffen, nicht vollständig außer Betrieb gesetzt werden kann [10, 287].

¹²Die zusätzlich hinzukommende Nachrichtenlänge und die Prüfsumme sind hier für die Funktion nicht weiter relevant.

noch weitere Informationselemente hinzu, die zur Realisierung eines gesicherten verbindungsorientierten Paketübertragungsprotokolls erforderlich sind. Eine virtuelle Verbindung wird dabei durch die Kombination von Quell- und Zieladresse und Quell- und Zielport eindeutig charakterisiert. Ein *Sliding-Window*-Mechanismus ist für die Datenflussregelung verantwortlich. Reihenfolgevertauschungen und Paketverluste werden durch Zwischenspeicherung bzw. Neuübertragung ausgeglichen. Für eine ausführliche Einführung in die Protokolle wird auf das hervorragende Werk von Comer [61] verwiesen.

Auf Grund seiner Flussregelungs- und Wiederholmechanismen ist TCP zur Unterstützung von Diensten mit Echtzeitanforderungen nur wenig geeignet. UDP bietet jedoch zu wenig Funktionalität, als dass es zu diesem Zweck sinnvoll einzusetzen wäre. Aus diesen Gründen wurde ein einfaches, auf UDP aufsetzendes Transportprotokoll entwickelt, das derartige Anforderungen besser erfüllt: das *Real-Time Transport Protocol (RTP)* [286]. RTP-Pakete besitzen Folgenummern und Zeitstempel, was es dem Empfänger ermöglicht, die tatsächliche zeitliche Abfolge beim Senden der Pakete beim Empfang zu rekonstruieren. Ein dazugehöriges Steuerprotokoll (engl. *Real-Time Transport Control Protocol, RTCP*) dient zur Steuerung von RTP-Verbindungen.

Das größte Hindernis für die Verwendung von IP-basierten Protokollen für die Bereitstellung von Kommunikationsdiensten mit Echtzeitanforderungen liegt in den unzureichenden Mitteln für die Gewährleistung einer garantierten Dienstgüte, die zusätzlich von einigen der darunterliegenden Netztechnologien nicht unterstützt werden können. Auch RTP stellt – trotz seines in dieser Hinsicht irreführenden Namens – keine derartigen Mechanismen bereit. Diese Problematik ist derzeit Gegenstand der Forschung; einen Überblick gibt die Arbeit von Guérin und Peris [108]. Eine weitere Einschränkung, die mittlerweile primär durch das starke Anwachsen der Anzahl von Netzknoten akut geworden ist, stellt die begrenzte Adresslänge von 32 bit dar, die hauptsächlich auf Grund ihrer Strukturierung und den Mangel an noch freien Adressen zum Engpass geworden ist. Die Weiterentwicklung zum *Next Generation Internet (IPng, IPv6)* [121] schafft hier jedoch Abhilfe, so dass dieses Problem prinzipiell als gelöst betrachtet werden kann.

2.4.2.2 Dienstkonzept des Internet

Durch die nicht vorhandene Trennung zwischen Nutzkanalnetz und Signalisiernetz sowie durch die fehlende Unterscheidung von Knoten im Netz und Knoten am Rande des Netzes durch Konzepte wie Teilnehmer- und Zwischenamtssignalisierung unterscheidet sich das Dienstkonzept des Internet signifikant von dem in konventionellen Wählverbindungsnetzen wie ISDN und IN üblichen Konzept.

Prinzipiell kann jeder adressierbare Knoten jeden Dienst erbringen. Die Inanspruchnahme eines Dienstes erfolgt dadurch, dass der dienstbringende Knoten durch den Dienstanutzer unter Verwendung eines diesem Dienst zugewiesenen *Ports* und des entsprechenden *Anwendungsprotokolls* für diesen Dienst angesprochen wird. Kenntnis über die zur Verfügung stehenden Erbringer eines Dienstes besitzt ein Knoten entweder *a priori* dadurch, dass ein Dienst von einem Knoten auf einem bestimmten, festgelegten Port angeboten wird oder dadurch, dass während der Konfiguration eines Knotens ein zuständiger Dienstbringer mit Adresse und Port explizit angegeben wurde. Dienstbringer können auch ohne dieses *a-priori*-Wissen identifiziert werden, und zwar durch Rundsenden einer entsprechenden Anfrage und Auswertung der Antwort darauf, oder durch Benutzung eines speziellen Lokalisierungsdienstes¹³.

¹³Die Adresse dieses Lokalisierungsdienstes muss dazu wiederum *a priori* bekannt sein oder durch Rundsenden in Erfahrung gebracht werden.

2.4.2.3 Interaktive Telekommunikationsdienste

Die Möglichkeit, in einem paketvermittelnden, auf dem IP basierenden Netz interaktive Kommunikationsdienste anbieten zu können, ist trotz der beschriebenen Einschränkungen bereits Realität. Für die Umsetzung derartiger Dienste hat sich die Empfehlung H.323 [259] der ITU-T zum von den wichtigsten Herstellern und Anbietern favorisierten Standard entwickelt. H.323 stellt einen Rahmen dar, in den bereits existierende Protokolle zur Kodierung und Dekodierung von Nutzdaten, zu deren Übertragung und zur Steuerung und Signalisierung eingebettet werden. Abb. 2.22 zeigt die Struktur der Protokolle in der Empfehlung H.323 am Beispiel der Protokollarchitektur eines Endgerätes.

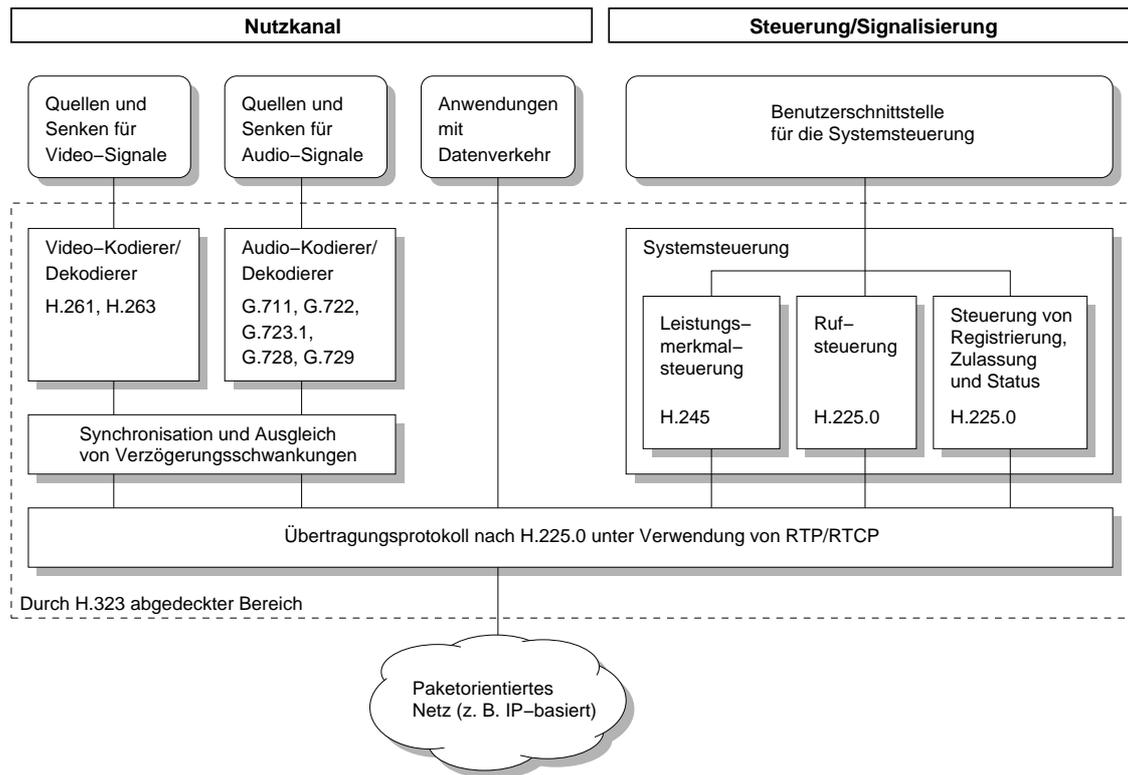


Abbildung 2.22: Architektur eines Endgerätes nach der ITU-T-Empfehlung H.323

Genau wie bei ISDN-Endgeräten ist eine Trennung zwischen den Nutzdaten und den Steuerungsinformationen zu erkennen, die jedoch zum Netz hin eingeschränkt wird, da hier auch Steuerinformation mit den Nutzdaten verbunden werden muss, nämlich beispielsweise die Zieladresse der Nutzdatenpakete. Da derartige Steuerinformation jedoch direkt aus der eigentlichen Steuerung hervorgeht und durch die verwendete Paketvermittlungstechnologie begründet ist, kann hier trotzdem auf der Nutzdatenebene von der Abstraktion eines durchgeschalteten Nutzdatenkanals ausgegangen werden. Dies ermöglicht eine klare logische Trennung zwischen Nutzkanal- und Steuerungsinfrastruktur, obwohl dasselbe paketvermittelnde Netz verwendet werden kann.

Neben den Endgeräten und den übrigen Einrichtungen der IP-Netzinfrastruktur, sind Teilnehmerzugangsserver (engl. *gatekeeper*) und Netzübergangseinrichtungen (engl. *gateway*) elementare Bestandteile einer H.323-Telekommunikationsinfrastruktur.

In Abb. 2.23 ist eine Telekommunikationsinfrastruktur mit zwei unabhängigen IP-Netzen und einem Übergang in ein leitungsvermittelndes Netz dargestellt. Die Teilnehmer in den IP-Netzen sind bei den jeweils zuständigen Teilnehmerzugangsservern registriert. Dabei

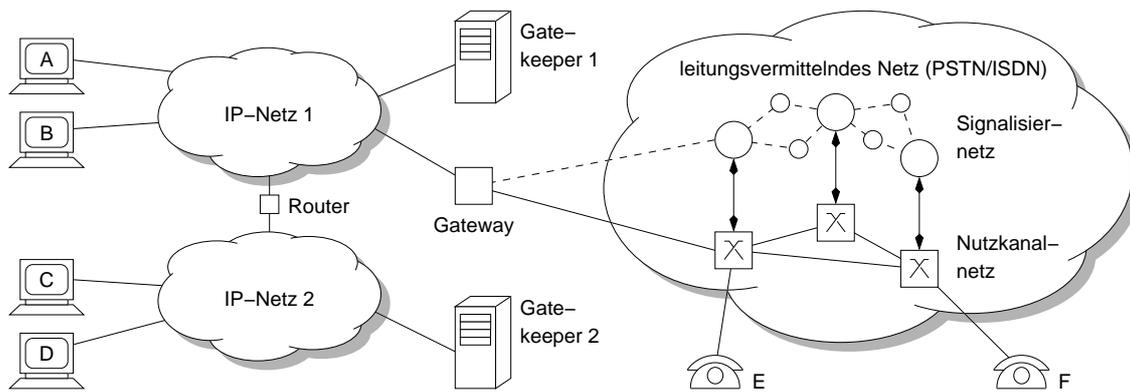


Abbildung 2.23: Beispiel für die Struktur von mit H.323-Knoten ausgestatteten Netzen. Teilnehmer A–D haben direkten Zugang zu einem IP-basierten Netz, Teilnehmer E und F haben Zugang zu einem leitungsvermittelnden Netz (PSTN/ISDN)

ist es auch möglich, inaktive, also nicht erreichbare Teilnehmer zu registrieren und dadurch entsprechende Maßnahmen (wie z. B. die Verbindung zu einem automatischen Anrufbeantworter) zu ergreifen.

Die Signalisierung für Rufe im IP-Netz erfolgt in der Regel, jedoch nicht zwingend, über die den jeweiligen Teilnehmern zugeordneten Teilnehmerzugangsserver, die unter anderem auch Alias-Adressen¹⁴ normalen IP-Adressen und umgekehrt zuordnen können.

Die Erbringung von Mehrwertdiensten ist im Gegensatz zu leitungsvermittelnden Netzen und dem IN durch die folgenden wesentlichen Unterschiede charakterisiert:

- ❑ Das Vorhandensein intelligenter Endgeräte ermöglicht im IP-basierten Netz die Realisierung komplexer Funktionalität.
- ❑ Teilnehmerzugangsserver sind in der Lage, den größten Teil der im leitungsvermittelnden Netz von den Vermittlungsstellen durchgeführten Aufgaben (z. B. die Verarbeitung der Wählinformation und die Entgelterfassung) zu übernehmen.
- ❑ Zusätzliche Serverknoten können die Funktion von Dienstknoten und Intelligen-ten Peripheriegeräten übernehmen und dabei gleichzeitig auch Steuerinformation verarbeiten – auf diese Weise wird die aufwändige Steuerung dieser durch Dienst-steuerknoten wie im IN vermieden.
- ❑ Durch die Verbindung der Teilnehmerzugangsknoten und der zusätzlichen Ser-verknoten über das IP-Netz steht darüberhinaus bereits eine Vernetzung dieser Diensterbringungsknoten und damit eine Möglichkeit zur Kooperation bereit.

Diese Möglichkeiten zur Realisierung von Mehrwertdiensten bieten erheblich mehr Flexibilität als die in leitungsvermittelnden Netzen vorgesehenen. Um jedoch netzübergreifende Dienste zu ermöglichen, ist hier noch einige Standardisierungsarbeit zu leisten.

¹⁴Solche Alias-Adressen können beispielsweise normale ISDN-Rufnummern nach E.164 sein, was die Zusammenarbeit zwischen leitungsvermittelnden und IP-basierten Netzen erheblich vereinfacht.

3 Wechselwirkungen zwischen Mehrwertdiensten

3.1 Definitionen

3.1.1 Etablierte Wechselwirkungsdefinition

Nach der in der Literatur etablierten nichtformalen Begriffsdefinition liegt eine Wechselwirkung zwischen Mehrwertdiensten genau dann vor, wenn sich mindestens eine Instanz eines dieser Mehrwertdienste im Zusammenwirken mit einer oder mehreren Instanzen der übrigen beteiligten Mehrwertdienste anders verhält als bei der alleinigen Aktivierung dieser Mehrwertdienstinstanz. Im Englischen wird dieses Phänomen als *service interaction* bezeichnet. Diese Definition bringt noch keine Bewertung des Verhaltensunterschiedes ein. Unterscheidet sich das Verhalten der Mehrwertdienstinstanz im Zusammenwirken in *unerwünschter* Weise von ihrem Einzelverhalten, so spricht man von einer unerwünschten Wechselwirkung (engl. *service interference*). Weicht es in gewünschter Weise vom Einzelverhalten ab, wird dies als *erwünschte* Wechselwirkung (engl. *service cooperation*) bezeichnet. Dabei ist zu betonen, dass die Mehrwertdienstinstanzen hier nicht für sich alleine zu betrachten sind, sondern immer nur in Verbindung mit einem Basisdienst. Dies ist auch in Abb. 3.1 dargestellt.

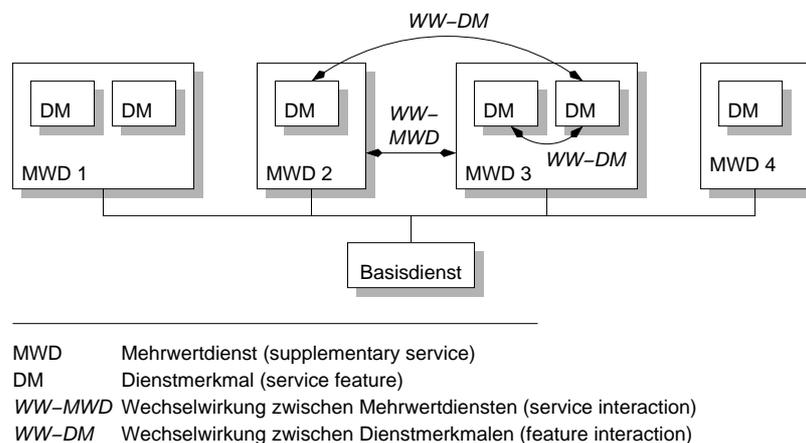


Abbildung 3.1: Zur Erläuterung der Begriffe der Wechselwirkungen zwischen Mehrwertdiensten und der Wechselwirkungen zwischen Dienstmerkmalen

Für Wechselwirkungen zwischen Dienstmerkmalen (engl. *service feature*) als den in sich abgeschlossenen Bestandteilen von Mehrwertdiensten haben sich die analog benutzbaren Begriffe der Wechselwirkung zwischen Dienstmerkmalen (engl. *feature interaction*), der unerwünschten Wechselwirkung (engl. *feature interference*) und der erwünschten Wechselwirkung (engl. *feature cooperation*) herausgebildet. Diese Begriffe werden in Situationen benutzt, in denen Instanzen verschiedener Dienstmerkmale bzw. verschiedene Instan-

zen desselben Dienstmerkmals sich gegenseitig beeinflussen. Dies kann auch im Rahmen desselben Mehrwertdienstes auftreten und ist daher begrifflich von den Wechselwirkungen zwischen Mehrwertdiensten abgrenzbar. In Abb. 3.1 wird dies durch die Mehrwertdienste MWD 2 und MWD 3 illustriert. Dabei muss jedoch die Unterscheidung zwischen Mehrwertdiensten und den daran beteiligten Dienstmerkmalen exakt getroffen sein. Die in der Literatur oft vorgefundene Unklarheit resultiert aus dem Fehlen eines dazu benötigten exakten Kriteriums für die Unterscheidung von Mehrwertdienst und Dienstmerkmal. Dies rührt daher, dass ein Dienstmerkmal in anderem Zusammenhang als eigener Mehrwertdienst in Erscheinung treten kann, genau so wie auch ein Mehrwertdienst häufig auch als Dienstmerkmal in einem anderen Mehrwertdienst einsetzbar ist.

3.1.2 Definition von Grad und Ordnung einer Wechselwirkung

Zur genaueren Beschreibung quantitativer Aspekte einer Wechselwirkung werden an dieser Stelle die Begriffe *Grad* und *Ordnung* eingeführt. B steht für einen Basisdienst und $M_Z = \{Z_1, Z_2, \dots\}$ für eine Menge von Mehrwertdiensten (Zusatzdiensten), die mit dem Basisdienst B kombiniert werden können. Der Operator \oplus bezeichnet die Kombination von Diensten (Basisdienst und Mehrwertdienste). Die Funktion der Korrektheit $\mathcal{K}_{\overline{W}}(x)$ soll den Wert *wahr* einnehmen, wenn die durch x beschriebene Kombination von Diensten korrekt im Sinne der Freiheit von Wechselwirkungen ist. $\mathcal{K}_{\underline{u}\overline{W}}(x)$ steht entsprechend für unerwünschte Wechselwirkungen. Ein System, das frei von Wechselwirkungen ist, ist natürlich auch frei von unerwünschten Wechselwirkungen, es gilt also

$$\mathcal{K}_{\overline{W}}(x) \rightarrow \mathcal{K}_{\underline{u}\overline{W}}(x).$$

$I(Z)$ steht für genau eine Instanz des Mehrwertdienstes $Z \in M_Z$. Mit Hilfe dieser Notationen lassen sich die Begriffe des Grades und der Ordnung einer Wechselwirkung folgendermaßen definieren:

Definition 3.1 (Grad einer Wechselwirkung): Eine Wechselwirkung des Grades k liegt vor, wenn für den Basisdienst in Kombination mit den k Mehrwertdienstinstanzen

$$\mathcal{K}_{\overline{W}}(B \oplus I_1(Z_{n_1}) \oplus \dots \oplus I_k(Z_{n_k})) = \textit{falsch},$$

jedoch

$$\mathcal{K}_{\overline{W}}(B \oplus I_1(Z_{n_1}) \oplus \dots \oplus I_{i-1}(Z_{n_{i-1}}) \oplus I_{i+1}(Z_{n_{i+1}}) \oplus \dots \oplus I_k(Z_{n_k})) = \textit{wahr}$$

für alle $i \in \{1, \dots, k\}$ und für alle $Z_{n_i} \in M_Z$, also für alle Fälle, bei denen genau eine beliebige dieser Mehrwertdienstinstanzen nicht vorhanden ist. Entsprechend gilt diese Definition auch für unerwünschte Wechselwirkungen; hier wird $\mathcal{K}_{\underline{u}\overline{W}}$ an Stelle von $\mathcal{K}_{\overline{W}}$ als Korrektheitsfunktion verwendet.

Als Grad einer Wechselwirkung bezeichnet man also die Anzahl von Mehrwertdienstinstanzen, die für diese Wechselwirkung mindestens erforderlich ist. Das Weglassen jeder einzelnen Mehrwertdienstinstanz führt dazu, dass die Wechselwirkung nicht mehr auftritt.

Definition 3.2 (Ordnung einer Wechselwirkung): Unter der Ordnung l einer Wechselwirkung des Grades k versteht man die Anzahl der an dieser Wechselwirkung beteiligten *unterschiedlichen* Mehrwertdienste, also

$$l = |\{Z_{n_1}, \dots, Z_{n_k}\}|.$$

Bei einer Wechselwirkung der Ordnung l und des Grades k ist also $k \geq l$. Die Mehrheit der in der Literatur, z. B. [41], aufgezählten Wechselwirkungen sind zweiter Ordnung und zweiten Grades, d. h. sie treten zwischen zwei verschiedenen Mehrwertdiensten auf, die je einmal instanziiert sind. Wechselwirkungen erster Ordnung und ersten Grades dürfen nicht auftreten, sie können lediglich als Fehler bei der Erstellung eines Einzeldienstes interpretiert werden.

Die obenstehenden kompakten Definitionen sollen nicht über die Problematik bei der Definition des Basisdienstes, der Mehrwertdienste und des Verknüpfungsoperators \oplus sowie besonders der Korrektheitsfunktionen $\mathcal{K}_{\overline{w}}$ und $\mathcal{K}_{\overline{u\overline{w}}}$ hinwegtäuschen, die eine Kernschwierigkeit der Erkennungsproblematik und der gesamten Wechselwirkungsproblematik darstellen.

3.2 Differenzierung des Wechselwirkungsbegriffs

3.2.1 Motivation

Der etablierte Wechselwirkungsbegriff auf der Basis der vorgestellten Definitionen ist in seiner Allgemeinheit geeignet, das Phänomen einer Klasse von Problemen zu beschreiben. Für eine eingehendere Beschäftigung mit dieser Problematik und insbesondere für den Versuch ihrer Beherrschung ist er jedoch zu wenig differenziert; insbesondere ist die durch diese Definition vorgegebene abstrakte Betrachtungsebene der tatsächlichen Vielschichtigkeit der Problematik nicht angemessen.

In diesem Abschnitt wird deshalb eine Differenzierung des Wechselwirkungsbegriffs vorgenommen. Dabei werden Klassen von Wechselwirkungen unterschieden, die sowohl hinsichtlich der Abstraktionsebene, auf der sie beobachtbar sind bzw. auf der ihre Ursachen zu finden sind, als auch hinsichtlich der prinzipiellen Mechanismen, auf die sie ursächlich zurückgehen, eingeteilt sind. Eine solche Untergliederung unterstützt die Diskussion und Einordnung von Verfahren zum Umgang mit Wechselwirkungen; darüber hinaus können bestimmte Methoden für einzelne dieser Klassen geeignet sein, andere wiederum nicht. Dies ermöglicht auch eine Differenzierung hinsichtlich der Methoden zum Umgang mit Wechselwirkungen.

3.2.2 Berücksichtigung von Entstehungsebenen

Es sind bereits einige Ansätze zur Differenzierung des Wechselwirkungsbegriffs bekannt: Die ursachenbezogene Sichtweise (engl. *causal view*) [42] ist eine weit verbreitete Taxonomie, mit der die Quellen einzelner Probleme und mögliche Lösungen dafür näher beschrieben werden können. Als die Hauptproblemquellen werden Einschränkungen in der Unterstützung durch das Netz, systemimmanente Probleme verteilter Systeme und die Verletzung von Anforderungen identifiziert. In der lebenszyklusbezogenen Sichtweise (engl. *lifecycle view*) [44] werden Wechselwirkungen danach eingestuft, in welcher Phase des Lebenszyklus' am besten mit ihnen umgegangen werden kann. Diese Phasen werden weiter unten in Tabelle 3.5 aufgeführt. Die konfigurationsbezogene Sichtweise (engl. *configuration view*) [42] identifiziert die logischen Instanzen, die in einen Wechselwirkungsfall verwickelt sind. Die Unterscheidung erfolgt hierbei durch die Anzahl von Benutzern und die Anzahl von Systemkomponenten, die in einer derartigen Situation beteiligt sind. Die organisationsbezogene Sichtweise (engl. *organisational view*) [44] ist auf die Verantwortlichkeit für einen Wechselwirkungsfall und dessen Konsequenzen innerhalb einer Organisation, also z. B. Hersteller, Netzbetreiber oder Dienstanbieter, fokussiert. Diese

vier Betrachtungsweisen haben sich als wertvoll für die Identifikation der unterschiedlichen Aspekte von Wechselwirkungen erwiesen; sie besitzen jedoch ihre Grenzen, da sie die auftretenden Probleme jeweils nur teilweise abdecken und in einigen Bereichen sehr ungenau werden.

Von Combes *et al.* [59] wurde deshalb ein Schema vorgeschlagen, in dessen Zentrum die *Entstehungsebene* der Probleme steht. Diese Schema kann genutzt werden, um festzustellen, auf welcher Ebene ein spezifisches Problem korrekterweise zu bearbeiten ist. An dieses Schema angelehnt ist die hier vorgestellte *entstehungsebenen-bezogene Sichtweise* (siehe Abb. 3.2). Die Differenzierung wird hinsichtlich der Entstehungsebene der Wechselwirkungen vorgenommen. Zusätzlich werden Mechanismen bzw. Ursachen identifiziert, die auf einer jeweiligen Entstehungsebene für die Entstehung von Wechselwirkungen verantwortlich sind.

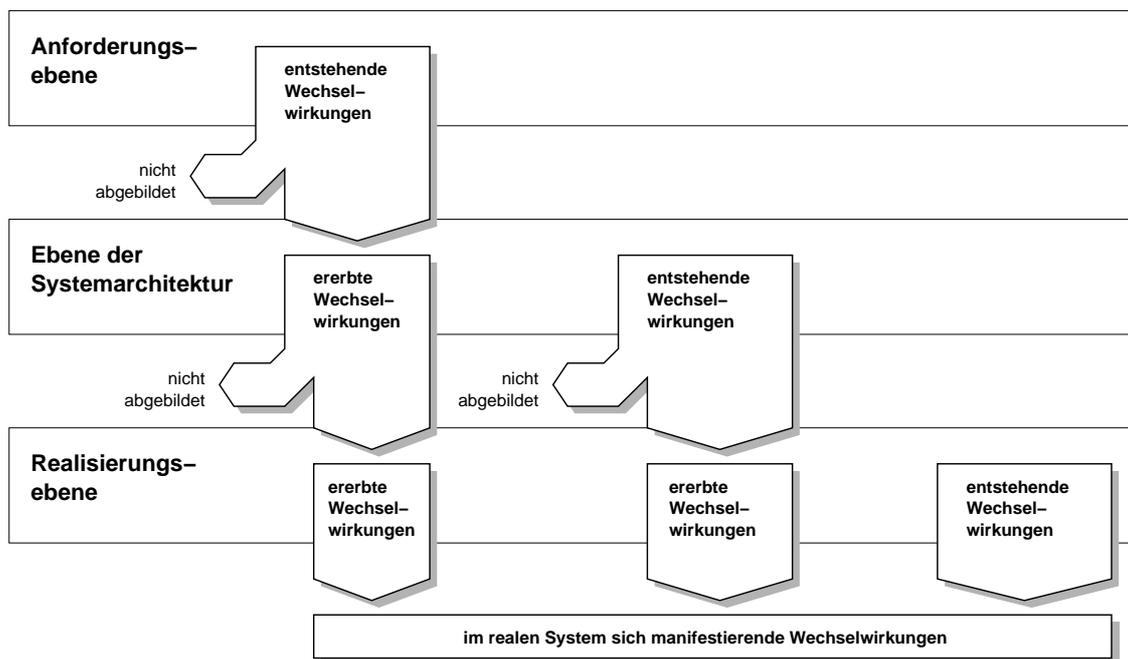


Abbildung 3.2: Entstehungsebenen-bezogene Sichtweise auf Wechselwirkungen

Wechselwirkungen in dieser Sichtweise werden ihrer Entstehung nach drei unterschiedlichen Ebenen zugeordnet: der *Anforderungsebene*, der *Ebene der Systemarchitektur* und der *Realisierungsebene*. Im IN lässt sich diese Sichtweise gut auf das konzeptionelle Modell abbilden, in anderen Technologien sind derartige Ebenen jedoch ebenso zu identifizieren.

Die oberste Ebene, die Anforderungsebene wird dazu benutzt, um Begriffen wie dem *Zweck* des Dienstes und der *Intention* aus der Benutzersicht gerecht zu werden. Auch das durch den Benutzer wahrgenommene Verhalten des Dienstes wird durch diese Ebene abgedeckt. Sie korrespondiert daher mit dem bedarfsorientierten Dienstbegriff. Die mittlere Ebene ist die Ebene der Systemarchitektur. Sie dient dazu, Mehrwertdienste, oder besser Konzepte für konkrete Mehrwertdienstrealisierungen, auf einer Ebene zu beschreiben, die die gegebene Netz- und Systemarchitektur berücksichtigt, jedoch gleichzeitig abstrakt genug ist, um sich nicht in Realisierungsdetails zu verlieren. Im konzeptionellen Modell des IN entspricht diese Ebene der Globalen und Verteilten Funktionalen Abstraktionsebene. Die unterste Ebene, die Realisierungsebene, sollte eigentlich der Physikalischen Abstraktionsebene des IN entsprechen. Allerdings gehen in die Real-

sierungsebene auch sämtliche Unregelmäßigkeiten realer Systemimplementierungen ein, wie z. B. physikalische Beschränkungen (Speicher, Bandbreite), Zusammenwirken mit vorhandenen Altsystemen und unterschiedlichen Signalisierprotokollen und -prozeduren. Da solche Aspekte jedoch nur unvollständig in der Physikalischen Abstraktionsebene des konzeptionellen Modells des IN abgedeckt werden, umfasst die Realisierungsebene weit mehr als nur die Physikalische Abstraktionsebene. Die beiden unteren Entstehungsebenen korrespondieren mit der technischen Dienstdefinition.

In der entstehungsebenen-bezogenen Sichtweise lassen sich einige Phänomene beobachten, die sich als relevant für die Ermittlung von Lösungen für das Wechselwirkungsproblem herausstellen werden. Jede der genannten drei Ebenen kann Ursache für Wechselwirkungen unterschiedlicher Art enthalten. In Abb. 3.2 wird dies durch Pfeile symbolisiert, die keinen Vorgänger in einer übergeordneten Ebene haben und damit die Entstehung von Wechselwirkungen bezeichnen. Wechselwirkungen können außerdem von einer höheren Ebene an eine darunterliegende Ebene „vererbt“¹ werden und sich dann in einer anderen Weise manifestieren. In einem solchen Fall ist es möglich, diese Wechselwirkung auf dieser niedrigeren Ebene in Angriff zu nehmen; dies ist jedoch nicht ratsam, da dies nur die Behandlung von Symptomen und nicht der Ursache der Wechselwirkung ist. Die Ursache ist nach wie vor auf der Ebene ihrer Entstehung zu suchen. Es kann weiterhin vorkommen, dass eine Vererbung einer Wechselwirkung von einer höheren zu einer niedrigeren Ebene in der Realität nicht vorkommt, wenn diese z. B. durch eine Mehrdeutigkeit in der Ausführungsreihenfolge entsteht, die auf einer tieferen Ebene durch eine deterministische Entwurfsentscheidung ersetzt wird. Solche Situationen sind besonders riskant, da eine Wechselwirkung im Prinzip immer noch vorhanden ist, jedoch durch eine unter Umständen in anderem Zusammenhang durchgeführte Entscheidung nicht manifest wird. Diese Beobachtungen führen zu wichtigen Folgerungen: Wechselwirkungen sollten immer auf der Ebene angegangen werden, auf der sie entstehen; dabei sollten Methoden gewählt werden, die dieser Entstehungsebene angemessen sind. Die Behandlung auf einer tieferen Ebene kann einerseits dazu führen, dass nicht zur Problemursache vorgedrungen wird, und andererseits, dass ein vorhandenes Problem unerkannt bleibt, da es auf Grund einer bestimmten Entwurfsentscheidung nicht auf diese Ebene vererbt wurde.

3.2.3 Wechselwirkungen auf der Anforderungsebene

3.2.3.1 Unzureichende Begriffe

Auf der Anforderungsebene ist die gegenwärtig am häufigsten verwendete Beschreibungsform für Mehrwertdienste die natürliche Sprache. Die Begriffswelt, die hier Verwendung findet, ist geprägt durch das Paradigma des klassischen Selbstwähltelefondienstes, wie er schon seit vielen Jahrzehnten weltweit verbreitet ist. Dort geprägte Begriffe finden sich in aktuellen Mehrwertdienstbeschreibungen immer wieder; einige davon sind in Tabelle 3.1 zur Illustration aufgeführt. Darüber hinaus werden teilweise auch zahlreiche implizit vorhandene Konzepte aus dem Bereich des klassischen Telefondienstes auf neue Mehrwertdienste „sinngemäß“ transferiert, ohne dass in jedem Falle genau klar wird, wie dieser Sinn im neuen Umfeld zu interpretieren ist.

Missverständnisse, Unvollständigkeiten und Widersprüche in Mehrwertdienstbeschreibungen, die derartige Begriffe verwenden, sind unvermeidbar. Die Beschreibung eines einzelnen Mehrwertdienstes ist auf diese Weise in der Regel noch klar zu verstehen – vor

¹Dieser Vererbungs-begriff hat keinen direkten Bezug zum Vererbungs-begriff, der beim objektorientierten Systementwurf verwendet wird.

Tabelle 3.1: Begriffe aus dem klassischen Telefondienst, wie sie in Q.1211 [266] verwendet werden

deutscher Begriff	englischer Begriff
Anrufer	<i>caller, calling party</i>
Angerufener	<i>callee, called party</i>
Ruf	<i>call</i>
Benutzer	<i>user</i>
Teilnehmer	<i>subscriber</i>
Ansage	<i>announcement</i>
abgehender / ankommender Ruf	<i>originating / terminating call</i>
besetzt	<i>busy</i>
frei	<i>free</i>
Rufnummer	<i>telephone number</i>
Gebührenübernahme	<i>reverse charging</i>
aufgeteiltes Gesprächsentgelt	<i>split charging</i>

dem Hintergrund des Wissens, dass der beschriebene Mehrwertdienst den klassischen Telefonbasisdienst erweitert. Das Verhalten dieses Dienstes im Zusammenwirken mit einem anderen Dienst geht dagegen aus einer solchen Beschreibung häufig nicht mehr eindeutig oder widerspruchsfrei hervor. Zur Illustration sollen hier die beiden Dienstdefinitionen für Anrufumleitung (engl. *call forwarding*) und Rückruf im Belegfall (engl. *completion of calls to busy subscriber*) vorgestellt werden, deren Definitionen wörtlich aus Q.1211 [266] zitiert sind:

„Completion of calls to busy subscriber (CCBS). This service allows a calling user encountering a busy destination to be informed when the busy destination becomes free, without having to make a new call attempt.“

„Call forwarding (CF). Call forwarding allows the called user to forward calls to another telephone number when this service is activated. With this service, all calls destined to the subscriber's number are redirected to the new telephone number. This service is under control of the subscriber and can be activated/deactivated by the subscriber. [...]“

Wendet man jede dieser Mehrwertdienstbeschreibungen für sich alleine auf den Basisdienst an, dann herrscht relative Klarheit darüber, wie sich der Mehrwertdienst verhalten wird. Denkt man dagegen über eine Kombination beider Dienste nach, ergeben sich schon auf dieser begrifflichen Ebene Unklarheiten. Beispielsweise ist nicht klar, ob mit der *busy destination* aus CCBS der *called user* oder das Ziel der Weiterleitung aus CF gemeint ist, oder ob gar die Zustände beider Teilnehmer relevant sein könnten. Außerdem wird nichts darüber ausgesagt, ob und in welchen Fällen überhaupt *busy* im Rahmen von CF auftreten kann; in Verbindung mit CCBS ist dies jedoch relevant.

Für die Beherrschung dieser Problematik ist es unabdingbar, neue, den Fähigkeiten der Netze angemessene Begriffe und Konzepte einzuführen und diese unmissverständlich zu definieren. Auch für vorhandene Begriffe müssen klare Definitionen eingeführt werden. Dies wird zu einer stärker formalisierteren Dienstbeschreibung führen und gleichzeitig einen wertvollen Beitrag zur Beherrschung der Wechselwirkungsproblematik auf der Anforderungsebene leisten.

3.2.3.2 *Nicht gleichzeitig erfüllbare Anforderungen*

Selbst wenn die Möglichkeit besteht, Anforderungen an Mehrwertdienste in formaler oder informeller Weise eindeutig zu beschreiben, wird man immer wieder beobachten können, dass solche Anforderungen nicht gleichzeitig erfüllbar sind. Dies kann sich auf unterschiedliche Weisen manifestieren:

- ❑ **Mehrdeutigkeit.** Zwei Dienste besitzen dieselben Aktivierungsvoraussetzungen, führen jedoch unterschiedliche Aktionen durch, die nicht gleichzeitig möglich sind. Es ist also offensichtlich mit Schwierigkeiten zu rechnen, wenn solche Dienste miteinander aktiv werden. (Beispiel: Sowohl der Mehrwertdienst der Anrufumleitung im Belegtfall (*Call Forwarding on Busy*) als auch das Anklopfen (*Call Waiting*) werden dadurch ausgelöst, dass ein besetzter Anschluss angerufen wird. Es kann jedoch lediglich entweder der eine oder der andere Mehrwertdienst für den ankommenden Ruf ausgeführt werden.)
- ❑ **Widersprüchliche Ziele.** Ein Dienst erfordert die Erfüllung einer bestimmten Bedingung, ein anderer Dienst stellt gleichzeitig sicher, dass diese Bedingung nie erfüllt sein kann; das Resultat ist meist ein verkürzter bzw. trivialer Ausführungspfad (z. B. sofortiger Rufabbruch). I. d. R. muss im Einzelfall diskutiert werden, ob ein solches Verhalten eine unerwünschte Wechselwirkung darstellt. (Beispiel: Unterdrückung der Anzeige der Rufnummer des Anrufers (*Calling Line Identification Restriction*) und Anzeige der Rufnummer des Anrufers (*Calling Line Identification Presentation*) enthalten einen Widerspruch, da der Anrufer seine Rufnummer nicht preisgeben möchte, während der Angerufene gleichzeitig diese Preisgabe fordert.)

Wechselwirkungen aus dieser Klasse sind nur schwer zu beherrschen. Ihre Identifikation alleine gibt keinerlei Hinweise auf eine Lösungsmöglichkeit, gleichzeitig ist eine allgemeine Lösung bei vielen dieser Probleme auch kaum denkbar. I. d. R. wird eine individuelle Entscheidung über Maßnahmen wie die Priorisierung bestimmter Dienste gegenüber anderen oder wechselseitigen Ausschluss nicht vermeidbar sein. Eine Aushandlung, die im Verzicht auf bestimmte Eigenschaften oder in einem akzeptablen Kompromiss enden könnte, stellt die komplexeste Maßnahme dar.

3.2.4 Wechselwirkungen auf der Ebene der Systemarchitektur

Während bei den gerade vorgestellten Wechselwirkungsmechanismen auf der Anforderungsebene die Entwurfsentscheidungen für die Realisierung von Diensten noch keine Berücksichtigung finden, werden diese auf der Ebene der Systemarchitektur zum Dreh- und Angelpunkt. Als Ursache für die Konflikte, die aus derartigen Entwurfsentscheidungen entstehen können, werden drei wichtige Bereiche identifiziert: das Ablaufverhalten eines Dienstes, der Informationsfluss im System und die Verwendung von Ressourcen.

3.2.4.1 *Konflikte auf Grund des Ablaufverhaltens*

Mehrwertdienste nehmen Einfluss auf den Ablauf einer Telekommunikationsbeziehung und können diesen möglicherweise auch verändern. In der Regel werden sowohl ihre Aktivierung als auch ihr eigentliches Ablaufverhalten gleichzeitig durch äußere Randbedingungen beeinflusst. Diese beiden Tatsachen in Verbindung mit dem Wissen, dass mehrere Dienste bzw. Dienstinstanzen zur gleichen Zeit aktiv sein können, führen zur Folgerung, dass dadurch auch Konflikte entstehen können.

Im IN beispielsweise wird Konflikten bei der Beeinflussung einer Instanz eines Rufzustandsmodells entgegengewirkt, indem ein Dienst solange eine sogenannte Steuerbeziehung (engl. *control relationship*) aufrechterhält, bis alle von ihm aktivierten Ereigniserkennungspunkte des Anforderungstyps (EDP-R) abgearbeitet sind. Während eine solche Steuerbeziehung besteht, kann kein anderer Dienst mittels eines Dienstauslösers des Anforderungstyps (TDP-R) ausgelöst werden. Hierdurch wird ein möglicher Konflikt unterdrückt, der durch den Eingriff weiterer Dienstinstanzen auf dasselbe Rufzustandsmodell entstehen könnte. Gleichzeitig wird jedoch ein neuer Konflikt dadurch geschaffen, dass nun eine gemeinsamen Aktivierung beider Dienste verhindert wird. Weitere Beispiele für Konflikte im Ablauf werden in Kapitel 5 vorgestellt.

3.2.4.2 Konflikte durch den Informationsfluss im System

In einem verteilten System wie einem Telekommunikationsnetz werden Informationen im Rahmen von Protokollen zwischen Einheiten im System ausgetauscht. Dies hat eine im zeitlichen und räumlichen Verlauf veränderliche Verfügbarkeit von Informationen im System als Folge. Darüber hinaus erfolgt eine Informationsverarbeitung innerhalb der Einheiten des Systems, so dass vorhandene Informationen entfernt oder verändert werden, bzw. auch neue Informationen entstehen können. Ist eine solche informationsverarbeitende Einheit nur eine Zwischeninstanz im Fluss der Informationen, so ergeben sich Einschränkungen für die Verfügbarkeit bestimmter Informationen im System.

Ein geeignetes Beispiel zur Illustration ist eine Verkettung von mehreren Anrufumleitungen [245]. Teilnehmer A ruft dabei Teilnehmer B, der an Teilnehmer C umleitet. Dieser leitet wiederum an Teilnehmer D weiter, usw. Die dabei während der Rufaufbauphase ausgetauschten Nachrichten sind in Abb. 3.3 dargestellt. Die Adressinformation, die dabei bezüglich des rufenden Teilnehmers im Rahmen der Rufaufbaunachrichten (*IAM*, *Initial Address Message*) vorhanden ist, ist in Tabelle 3.2 dargestellt. Die zurücklaufenden *Call-Progress-Nachrichten* (*CPG*) enthalten jeweils die Nummer des umleitenden Teilnehmers. Mit der *Answer-Nachricht* (*ANS*) wird schließlich auch die Nummer des gerufenen Teilnehmers übergeben.

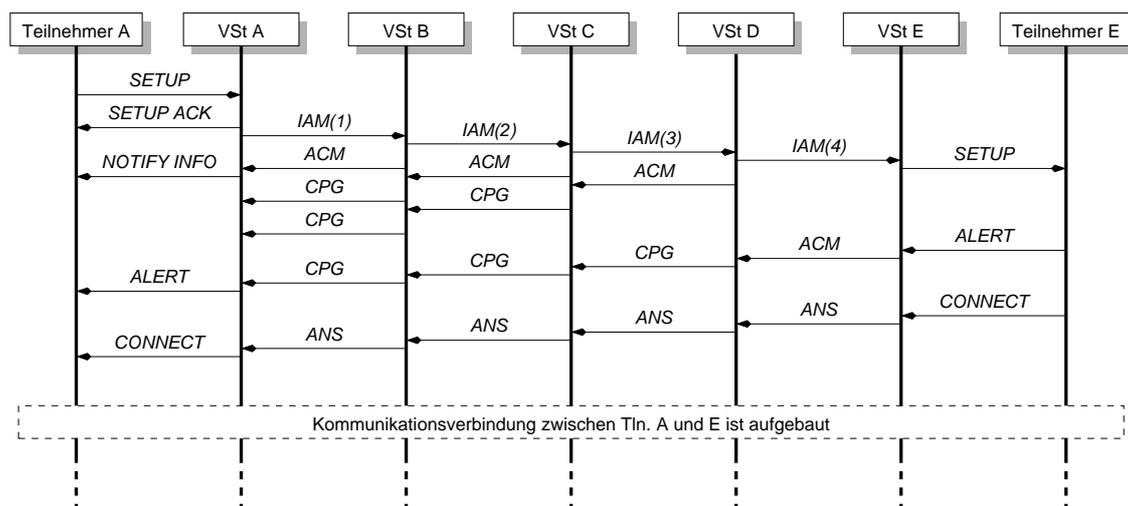


Abbildung 3.3: Verbindungsaufbau mit dreifacher Rufumleitung nach [245]. Die nummerierten *IAM*-Nachrichten enthalten die in Tabelle 3.2 dargestellten Informationen

Bis zum dritten Schritt, also nach zwei Rufumleitungen, lassen sich noch alle Beteiligten identifizieren, da jeweils der erste Umleitende als *Original Called Address* und der

Tabelle 3.2: Informationsfluss bei verketteter Rufumleitung (siehe auch Abb. 3.3)

Information in IAM	IAM(1)	IAM(2)	IAM(3)	IAM(4)
Called Party Address	B	C	D	E
Redirecting Address	–	B	C	D
Original Called Address	–	B	B	B
Redirection Counter	–	1	2	3

letzte als *Redirecting Address* übermittelt werden. Die Protokoll-Instanzen des im vierten Schritt gerufenen Teilnehmers E haben keine Möglichkeit mehr, irgendetwas über die Beteiligung von Teilnehmer C aus der Protokollnachricht zu entnehmen. Sie erfahren lediglich auf Grund des Wertes des *Redirection Counter*, dass ein weiterer, unbekannter Teilnehmer involviert gewesen sein muss. Im fünften Schritt bleibt die Beteiligung von C und D, im sechsten Schritt die von C, D und E im Dunkeln.

3.2.4.3 Konflikte durch Verwendung von Ressourcen

In einem Telekommunikationsnetz gibt es immer Einrichtungen, die hinsichtlich ihrer Verwendung gewissen Einschränkungen unterliegen. Dies können sowohl physikalisch vorhandene Einrichtungen, wie z. B. Konferenzbrücken zur Kopplung der Sprachkanäle bei Konferenzschaltungen oder Gebührenimpulsgeneratoren zur Erzeugung beim Teilnehmer anzeigbarer Entgeltinformation, als auch abstrakte (virtuelle) Einrichtungen sein, wie z. B. die Instanzen von Rufzustandsmodellen, die in der Rufsteuerungsfunktion angelegt werden. Derartige reale oder abstrakte Systemteile werden im Folgenden als *Ressourcen* bezeichnet.

Im System vorhandene Ressourcen lassen sich nach mehreren Kriterien klassifizieren. Das Kriterium der *logischen Zuordnung* einer Ressource gibt an, für welche Teile des Systems jeweils eine eigene Instanz bzw. eigene Instanzen der Ressource vorhanden sind. Das Kriterium der *Zugriffsart* auf eine Ressource beschreibt, ob der Zugriff auf eine Ressource exklusiv durch den Systemteil erfolgt, dem diese zugeordnet ist, oder ob ein Zugriff durch mehrere Systemteile möglich ist. Solche Zugriffe können nacheinander (sequentiell) oder gleichzeitig (parallel) erfolgen. Das Kriterium der *Verwaltung* einer Ressource informiert darüber, ob eine Ressource verwaltet wird, d. h. reserviert oder gesperrt werden kann, oder ob sie nicht verwaltet ist.

Der Zugriff auf solche Ressourcen ist eine häufige Quelle für Wechselwirkungen, so z. B. der Zugriff mehrerer Teile des Systems auf eine Ressource, die exklusiven Zugriff durch einen Systemteil erfordert, oder der gleichzeitige (parallele) Zugriff auf eine Ressource, die nur sequentielle Zugriffe erlaubt. In einem gewachsenen System wie dem IN gibt es eine Reihe von unverwalteten Ressourcen, die solche Konflikte verursachen können.

Als Beispiel für eine abstrakte Ressource sei hier der *ankommende Sprachkanal* eines Teilnehmers angeführt. Diese Ressource ist einem bestimmten Benutzer zugeordnet. Sie ist nicht verwaltet, d. h. ein Dienst kann ohne vorherige Anmeldung auf sie zugreifen, um beispielsweise eine Ansage oder einen Signalton einzuspielen. Mehrfacher Zugriff auf diese Ressource ist möglich, allerdings nur sequentiell; bei gleichzeitigem Zugriff ist das Verhalten (die Verständlichkeit der Sprache oder die Erkennbarkeit eines Signals) nicht vorhersagbar. Abb. 3.4 stellt ein einfaches Beispiel dafür vor: Sind die beiden Mehrwertdienste Anklopfen (*Call Waiting*) und vorabbezahltes Gespräch (*Prepaid Service*) mit einer Ansage zur Warnung vor dem baldigen Ablauf des Gesprächsguthabens gleichzeitig

für Teilnehmer A aktiviert, kann prinzipiell die Ansage des letztgenannten Mehrwertdienstes vom Anklopfton, also der akustischen Mitteilung eines ankommenden zweiten Gespräches überdeckt werden, oder umgekehrt.

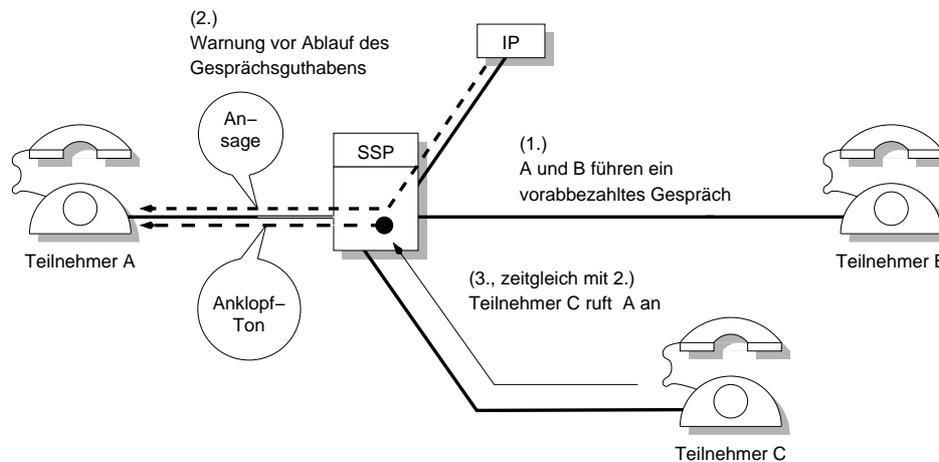


Abbildung 3.4: Beispiel für einen gleichzeitigen Zugriff auf die Ressource des *ankommenden Sprachkanals* von Teilnehmer A. Nur die Nutzkanäle sowie die daran beteiligten Netzknoten, nicht jedoch Signalisierungsbeziehungen sind dargestellt.

3.2.5 Wechselwirkungen auf der Realisierungsebene

Letztlich liegt der Zweck jeder Systemspezifikation darin, im Rahmen ihrer Implementierung durch reale Systeme verwirklicht zu werden. Dabei weichen alle Idealisierungen des Konzepts realen Randbedingungen.

Derartige Randbedingungen entstehen beispielsweise dadurch, dass als ganze Zahlen definierte Variablen in der Realisierung einen beschränkten Wertebereich erhalten, dass reale oder virtuelle Speicherbereiche endliche Größe besitzen und damit zur Neige gehen können, und dass jeder Nachrichtentransfer und jede Verarbeitung in signifikantem Ausmaß Rechenleistung, Bearbeitungszeit, Übertragungsbandbreite und Übertragungszeit benötigt. Derartige physikalische Rahmenbedingungen schaffen ganz offensichtlich Abhängigkeiten zwischen Diensten. Diese Abhängigkeiten treten auf höherer Ebene nicht zu Tage, können jedoch ebenfalls Quelle für Wechselwirkungen in realen Systemen sein.

3.2.5.1 Physikalische Beschränkungen

Durch physikalische Beschränkungen zustandekommende Wechselwirkungen sind schwer zu beherrschen, da ein strukturiertes Vorgehen auf Grund des in der Regel geringen Strukturierungsgrades von gewachsenen Systemen erschwert wird. Darüber hinaus sind die Grenzen dafür meist nicht eindeutig zu definieren, was als Wechselwirkung zwischen Diensten bezeichnet werden kann, und was noch als normales und zu erwartendes Verhalten hingenommen werden muss. Ein solcher Grenzfall ist z. B. dann erreicht, wenn durch einen *Televoting*-Dienst ein Dienststeuerknoten sehr stark belastet wird und dadurch andere Dienstanfragen deutlich länger benötigen oder im Rahmen einer Überlastkontrolle abgewiesen werden.

Von Kimbler und Velthuisen [148] wird ein Fall physikalischer Beschränkung beschrieben, auf Grund dessen eine Wechselwirkung zwischen den Mehrwertdiensten Anklopfen (engl. *Call Waiting*) und Dreierkonferenz (engl. *Three Way Calling*) auftritt. Ursache dafür ist, dass von jedem Teilnehmer in einer Vermittlungsstelle des untersuchten Netzes

maximal eine Konferenzbrücke benutzt werden darf. Da jedoch jeder dieser beiden Dienste jeweils eine eigene Konferenzbrücke benötigt, ist jeweils ein Dienst nicht aktivierbar, während der andere aktiv ist.

Ein zweites Beispiel führen Cameron *et al.* [42] an. Um die Belastung der Dienststeuernoten zu regulieren, kann die Anzahl erlaubter Anfragen pro Ruf und Teilnehmer begrenzt werden. Dadurch kann der Fall entstehen, dass bei mehreren aufeinanderfolgenden Diensten² diese Anzahl überschritten wird und Dienste nicht mehr zur Ausführung kommen, was zu Schwierigkeiten führt.

3.2.5.2 Wechselwirkungen durch Zusammenwirken mit Altsystemen

Systeme im Umfeld der Telekommunikation unterliegen zwar einem schnellen technologischen Fortschritt, haben jedoch als Infrastrukturinvestitionen lange Betriebs- und Abschreibungszeiten. Dies führt dazu, dass ein Netz in der Regel nicht „aus einem Guss“ aufgebaut ist, sondern aus einer Vielzahl von Systemen unterschiedlicher Generationen gewachsen ist. Diese unter Umständen schlecht dokumentierten und ursprünglich für spezifische Anwendungsszenarien vorgesehenen Systeme können häufig nur unter Schwierigkeiten an neu entwickelte Dienste angepasst werden und stellen damit eine Quelle für Wechselwirkungen dar.

Grégoire und Ferguson [100] berichten von einem Fall dieser Art, bei dem die Anzeige der Nummer des Anrufers technisch nicht realisierbar war, wenn ein Kreditkartenruf getätigt wird, der mit Hilfe eines Dienstknotens mit vermutlich³ eingeschränkter Signalisierung über den Nutzkanal mit Hilfe von Mehrfrequenzwahlsignalen realisiert wurde.

3.3 Verfahren zum Umgang mit Wechselwirkungen

Nach der Definition und Differenzierung des Wechselwirkungsbegriffs erfolgt nun die Vorstellung eines begrifflichen Rahmenwerks zur Einordnung von Verfahren zum Umgang mit Wechselwirkungen und die Beschreibung einiger wichtiger Verfahren aus der Literatur.

3.3.1 Zur Einordnung von Verfahren

Für die Einordnung von Verfahren, die sich mit der Beherrschung der Wechselwirkungsproblematik befassen, leistet ein allgemein verwendbares Klassifizierungsschema einen wertvollen Beitrag, indem es erlaubt, die zahlreichen existierenden verschiedenen Ansätze und Arbeiten zu gliedern und zu strukturieren. Die entstehungsebenen-bezogene Sichtweise, die weiter oben eingeführt wurde, bringt zwar wertvolle Einsichten in die verschiedenartigen Entstehungsmechanismen und die daraus resultierende Komplexität der Problematik, trägt jedoch zur Strukturierung der Lösungsansätze nur wenig bei.

Die in diesem Bereich am häufigsten anzutreffende Taxonomie nach Cameron und Velthuijsen [44] ist angelehnt an die im Rahmen der Theorie von Betriebssystemen zum Umgang mit Verklemmungen (engl. *deadlock*) üblichen Bezeichnungen von *detection*, *recovery*, *avoidance* und *prevention* [208]. Sie unterteilt die Verfahren zum Umgang mit Wechselwirkungen nach Ansätzen zur Erkennung (engl. *detection*), zur

²Beispielsweise zunächst das Verhindern eines unerwünschten Rufziels, danach eine Kurzwahl-Rufnummernumsetzung und schließlich ein gebührenfreier Anruf (*Freephone*).

³Diese Vermutung des Autors ist nicht explizit in der zitierten Arbeit erwähnt, aber auf Grund der üblichen Realisierung eines solchen Dienstes wahrscheinlich.

Auflösung (engl. *resolution*) und zur Vermeidung (engl. *avoidance*). Bouma und Velt-huijsen [23, Einführung] verfeinern diese Einteilung, indem sie unterscheiden, ob die Methode während des Entwurfs des Dienstes (*off-line*) oder erst während seines Ablaufs (*on-line*) zum Einsatz kommt. Diese Taxonomie hat sich bereits bewährt, es zeigt sich allerdings auch, dass sie für eine aussagekräftige Einteilung der Vielzahl von bereits vorgeschlagenen Ansätzen nicht fein genug ist. Aus diesem Grund wird in den nun folgenden Abschnitten eine Verfeinerung vorgestellt, mit deren Hilfe eine genaue Klassifizierung von Ansätzen möglich ist.

3.3.1.1 Zielrichtung des Ansatzes

Tabelle 3.3 verfeinert die eben vorgestellte Einteilung nach der Zielrichtung des Ansatzes zur Beherrschung des Problems.

Tabelle 3.3: Einordnung nach der Zielrichtung des gewählten Ansatzes

Erkennung (<i>detection</i>)
allgemeine Wechselwirkung
unerwünschte Wechselwirkung
Auflösung (<i>resolution</i>)
Einschränkung
allgemein
situationsangepasst
Integration
Kooperation
dienstspezifisch vorgesehen
ohne spezielle Dienstkenntnis
Vorbeugung, Vermeidung (<i>prevention, avoidance</i>)
Maßnahmen der Systemstrukturierung
Maßnahmen im Entwicklungsprozess
Management des Problems (<i>management</i>)

Unter der *Erkennung* versteht man die Feststellung des Vorhandenseins von Wechselwirkungen. Dabei werden Ansätze, die vorhandene Wechselwirkungen unabhängig von ihrer Erwünschtheit oder Unerwünschtheit identifizieren, unterschieden von solchen, die nur unerwünschte Wechselwirkungen aufdecken. Letztere benötigen ein Konzept für die Festlegung der *Erwünschtheit* einer Wechselwirkung.

Üblicherweise sollte die *Auflösung* von Wechselwirkungen – sofern diese unerwünscht sind – die Konsequenz aus ihrer Erkennung sein. Der einfachste Ansatz hierzu besteht in einer *Einschränkung*, d. h. es wird generell vermieden, dass beide Mehrwertdienste in eine Situation kommen, in der sie miteinander wechselwirken können. Hierbei gibt es zwei Alternativen: Die *allgemeine* Einschränkung wird durch ein statisches Regelwerk charakterisiert, das die Aktivierung eines Dienstes dann verbietet, wenn der entsprechende andere Dienst aktiv ist. Das Regelwerk einer *situationsangepassten* Einschränkung berücksichtigt zusätzlich den Zustand, in dem die Dienste aktiviert werden⁴. Die *Integration* der wechselwirkenden Mehrwertdienste in einen Dienst mit umfangreicherer

⁴Ein Beispiel hierfür ist das Problem der Schleifenbildung durch Anrufumleitung. Eine allgemeine Einschränkung begrenzt die Anzahl der verketteten Weiterleitungsschritte hart, im Extremfalle so, dass mehrfache Weiterleitung prinzipiell unterbunden wird, während eine situationsangepasste Einschränkung beispielsweise tatsächlich nachprüfen könnte, ob eine Schleife vorliegt.

Funktionalität ist eine weitere Möglichkeit, die Probleme in den Griff zu bekommen. Die *Kooperation* der wechselwirkenden Mehrwertdienste ist die komplexeste, gleichzeitig jedoch auch langfristig vielversprechendste Lösungsmöglichkeit. Die betroffenen Dienste ändern ihr Verhalten bzw. passen es an, um eine Wechselwirkung aufzulösen. Dabei kennt bei der *dienstspezifisch vorgesehenen* Kooperation jeder der Dienste seinen Wechselwirkungspartner, und einer oder beide Dienste sind mit dienstspezifischen Mechanismen zur Auflösung der speziellen Wechselwirkung ausgerüstet. Dies muss dann für alle möglichen Wechselwirkungspartner erfolgen. Bei der Kooperation *ohne spezielle Dienstkenntnis* verfügen die Dienste über allgemeingültige Mechanismen zur Auflösung von Wechselwirkungen, d. h. sie benötigen keine speziellen Kenntnisse über ihre Wechselwirkungspartner.

3.3.1.2 *Verwendete Methodik*

Es existieren zwei verschiedene methodische Ansätze zum Umgang mit der Wechselwirkungs-Problematik. Tabelle 3.4 stellt diese Ansätze im Überblick dar.

Tabelle 3.4: Einordnung nach der verwendeten Methodik

entwurfsorientierte Methoden
Entwurf der Dienstmerkmale und Mehrwertdienste
Steuerung der Ausführung
Gestaltung der Ablaufumgebung
Systementwurf und -architektur
analytische Methoden
formale Techniken
informelle Methoden
experimentelle Techniken

Unter die *entwurfsorientierten Methoden* fällt die geeignete Gestaltung der Mehrwertdienste und Dienstmerkmale, deren Ablaufsteuerung, sowie die Gestaltung der Ablaufumgebung. Außerdem lassen sich auch Verfahren des Systementwurfs und der Gestaltung der Systemarchitektur zu diesem Ansatz zählen. Unter die *analytischen Methoden* fallen Ansätze, bei denen Dienste und Dienstmerkmale sowie das umgebende System als gegeben vorausgesetzt werden und formale Techniken, informelle Methoden und experimentelle Techniken Anwendung finden.

3.3.1.3 *Position im Lebenszyklus eines Mehrwertdienstes*

Für eine detaillierte Einteilung vorhandener Ansätze nach der Position im Lebenszyklus eines Mehrwertdienstes ist die bereits erwähnte Unterteilung in *off-line* und *on-line* zwar geeignet, aber bei Weitem zu vereinfachend. Daher wird hier eine wesentlich detailliertere Untergliederung benutzt, die auf dem vom ETSI vorgeschlagenen Referenzmodell [244] beruht (Tabelle 3.5). Da diese Einteilung jedoch nicht orthogonal zu der Einordnung nach dem gewählten Ansatz ist, kann sie nicht sinnvoll zur Einteilung der Diskussion vorhandener Ansätze herangezogen werden. Ihr besonderer Wert liegt in der Eignung als begriffliche Grundlage für einen Prozess zur Handhabung von Wechselwirkungen, wie er z. B. von Kimbler *et al.* [145] vorgeschlagen wird.

Der Lebenszyklus eines jeden Mehrwertdienstes beginnt mit einer Phase, während der noch *kein ablauffähiger Dienst* vorliegt. In dieser Phase findet nach der hier nicht

Tabelle 3.5: Einordnung nach der Position im Dienstlebenszyklus. Kursiv gedruckt sind die jeweils gebräuchlichen englischen Begriffe.

<p>Dienst nicht ablauffähig (<i>off-line</i>) Spezifikation (<i>specification</i>) Anforderungen aus Benutzersicht (<i>user level requirements</i>) Ebene der Systemarchitektur (<i>architectural level</i>) Implementierungsebene (<i>implementation specification</i>) Implementierung (<i>implementation</i>)</p> <p>Dienst ablauffähig, aber noch nicht allgemein verfügbar (<i>on-line, not yet publicly available</i>) Test (<i>testing</i>) Auslieferung, Installation (<i>deployment</i>)</p> <p>Dienst ablauffähig und allgemein verfügbar (<i>on-line, publicly available</i>) Bereitstellung (<i>provisioning</i>) Registrierung von Benutzern (<i>registration</i>) Aktivierung (<i>activation</i>) Aufruf der Dienstlogik (<i>invocation</i>) Ablauf der Dienstlogik (<i>course of execution</i>) Deaktivierung (<i>deactivation</i>) Deregistrierung von Benutzern (<i>deregistration</i>) Beendigung der Bereitstellung (<i>withdrawal</i>)</p> <p>Entfernung des Dienstes aus dem Wirkbetrieb (<i>feature removal</i>)</p>

berücksichtigten Entscheidung für die Einführung eines neuen Dienstes die *Spezifikation* desselben statt, und zwar in zunehmender Verfeinerung. Die *Spezifikation der Anforderungen aus Benutzersicht* markiert die erste Phase, bei der festgelegt wird, wie sich ein neuer Dienst gegenüber seinen Benutzern verhält. Sie entspricht näherungsweise der Anforderungsebene in der entstehungsebenen-bezogenen Sichtweise. Wesentlich mehr Komplexität umfasst die *Spezifikation auf der Ebene der Systemarchitektur*, bei der auch die zur Verwaltung des Dienstes und seiner Abonnenten erforderlichen Funktionen mitberücksichtigt werden. Endergebnis dieser Phase ist eine *Spezifikation auf der Implementierungsebene*, die als Implementierungsgrundlage dient. Die *Implementierung* selbst entspricht der Realisierungsebene in der entstehungsebenen-bezogenen Sichtweise und markiert den Übergang in die Phase, in der bereits ein ablauffähiger Dienst vorliegt, dieser jedoch noch nicht allgemein, d. h. für Benutzer, verfügbar ist.

Liegt ein *ablauffähiger Dienst* vor, der *noch nicht allgemein verfügbar* ist, muss dieser sorgfältig und methodisch *getestet* werden. Sind die Tests erfolgreich abgeschlossen, wird diese Phase mit der *Auslieferung* des Dienstes ins Netz abgeschlossen, der Wirkbetrieb kann beginnen.

Mit seiner *Bereitstellung* ist der Mehrwertdienst allgemein verfügbar, und es beginnt die *Registrierung von Benutzern*, die diesen Dienst verwenden wollen. Bevor der eigentliche Dienst jedoch benutzt werden kann, ist eine explizite oder implizite *Aktivierung* erforderlich⁵. Der eigentliche Ablauf des Dienstes beginnt mit dem *Aufruf der Dienstlogik*. Möchte ein Benutzer einen Dienst zeitweise nicht in Anspruch nehmen, so *deaktiviert* er diesen, möchte er generell von der Benutzung des Dienstes absehen, fordert er seine *Deregistrierung* an, was zur Entfernung seiner Registrierungsdaten führt. Die *Beendigung der Bereitstellung* schließt die Phase der allgemeinen Verfügbarkeit eines Dienstes ab. Es

⁵Bei einem einfachen Dienst wie der Rufumleitung entspricht die Registrierung der Einrichtung der Möglichkeit zur Aktivierung des Dienstes, die eigentliche Aktivierung erfolgt durch den Benutzer unter Eingabe der Umleitungszielrufnummer.

muss darauf hingewiesen werden, dass dieses lineare Lebenszyklusmodell eine Vereinfachung der Realität darstellt, da dort zusätzlich einige Rückschleifen möglich sind, z. B. in der Spezifikations- und Implementierungsphase, oder auch in der aktiven Phase, wenn neue Versionen eines Dienstes eingebracht werden.

Mit der vollständigen *Entfernung* eines Mehrwertdienstes aus dem Netz ist sein Lebenszyklus abgeschlossen. Auf den ersten Blick scheint diese Phase wenig bedeutsam für den Umgang mit der Wechselwirkungs-Problematik zu sein; bei genauerem Hinsehen jedoch zeigt sich erhebliche Relevanz, da einige Verfahren zum Umgang mit Wechselwirkungen Veränderungen am System oder an anderen Diensten erfordern, wie z. B. Integration oder dienstspezifisch vorgesehene Kooperation, und diese Veränderungen bei Entfernung eines Dienstes wieder rückgängig gemacht werden sollten⁶.

3.3.1.4 Systemkontext

Tabelle 3.6 ordnet Ansätze nach dem Systemkontext. Der größte Anteil der Arbeiten auf dem Gebiet der Wechselwirkungen zwischen Diensten wurde im Kontext der Schmalbandsysteme durchgeführt, und zwar für konventionelle Vermittlungssysteme und für Systeme, die auf dem Architekturkonzept des IN beruhen. Obwohl der Umfang und die Vielfalt von Mehrwertdiensten in privaten Vermittlungssystemen erheblich größer ist als in öffentlichen Systemen, befassen sich vergleichsweise wenige Arbeiten mit Wechselwirkungen in diesem Umfeld.

Auf dem Gebiet der Breitbandsysteme gibt es deutlich weniger Arbeiten als im Bereich der Schmalbandsysteme, nicht zuletzt wohl deshalb, weil diese Systeme noch wenig verbreitet sind und Mehrwertdienste in diesen Systemen augenblicklich noch sehr viel weniger Bedeutung besitzen als in Schmalbandsystemen. Bei den vorhandenen Arbeiten lassen sich jedoch zwei Richtungen identifizieren, und zwar die Beschäftigung mit neuen Ansätzen und Architekturen, in denen Wechselwirkungen durch die Systemstrukturierung nach Möglichkeit von vorne herein vermieden werden, und die Auseinandersetzung mit bereits bestehenden Multimedia-Systemen und den dort vorhandenen Basis- und Mehrwertdiensten.

Tabelle 3.6: Einordnung nach dem Systemkontext

<p>Schmalbandsysteme, Telefon konventionelle Vermittlungssysteme IN-Systeme private Vermittlungssysteme</p> <p>Breitbandsysteme neue Ansätze / zukünftige Systeme Breitband-ISDN</p>

In den nun folgenden Abschnitten 3.3.2 bis 3.3.5, die entsprechend der Einteilung aus Tabelle 3.3 gegliedert sind, werden exemplarisch einige wesentliche Ansätze auf dem Gebiet der Beschäftigung mit Wechselwirkungen zwischen Diensten kategorisiert und in ihren Grundzügen vorgestellt. Ziel dieser Darstellung ist es nicht, einen vollständigen Überblick über den Stand der Forschung auf diesem Gebiet vorzustellen; zu diesem Zweck wird der

⁶Dies ist ein sehr problematischer Vorgang, da unter Umständen andere Dienste bereits auf diese Veränderungen aufgebaut haben, diese Zusammenhänge jedoch nicht offensichtlich oder dokumentiert sind.

Leser auf [137] sowie die Übersichtsarbeiten von Bredereke [30], Velthuijsen [227] verwiesen. Stattdessen soll ein Einblick in besonders interessante Ansätze gegeben werden, die die vorgestellten Begriffe illustrieren.

3.3.2 Erkennung von Wechselwirkungen

3.3.2.1 Erkennung allgemeiner Wechselwirkungen

Die zentrale Problemstellung für die Erkennung allgemeiner Wechselwirkungen, d. h. ohne die Bewertung, ob diese nun unerwünscht oder beabsichtigt sind, besteht in der Ermittlung von Kriterien für das Vorhandensein einer Wechselwirkung.

3.3.2.1.1 Formale Methoden

Seit den 1970er Jahren haben formale Beschreibungstechniken und Methoden stetig wachsendes Interesse erfahren, wenn es darum geht, Vorgänge in verteilten Systemen zu modellieren und zu analysieren. Einen besonderen Impuls hat diese Entwicklung durch die hohen Qualitätsanforderungen in sicherheitskritischen oder hochverfügbaren Systemen erfahren, zu denen auch Telekommunikationsnetze zählen. So ist es kaum verwunderlich, dass sich ein großer Anteil aller Arbeiten auf dem Gebiet der Erkennung von Wechselwirkungen der Hilfe formaler Methoden bedient.

Bevor jedoch Wechselwirkungen mit Hilfe formaler Methoden erkannt werden können, ist die Formulierung einer geeigneten formalen Systembeschreibung erforderlich. In der formalen Betrachtungsweise aus Abschnitt 3.1.2 entspricht dies der Repräsentation des Basisdienstes B , der Menge der Mehrwertdienste M_Z sowie des zu ihrer Kombination erforderlichen Operators \oplus . Dazu sind einige Hürden nicht zu unterschätzender Komplexität zu überwinden. Zunächst muss die Wahl einer *angemessenen Abstraktionsebene* erfolgen, auf der dann die *Erstellung eines Modells* des Systems stattfindet. Mit dieser Grundproblematik beschäftigen sich zahlreiche Arbeiten, wie z. B. Nyström und Jonsson [180], Fekete [81] und Faci *et al.* [78] für die Modellierung von Mehrwertdiensten im Telefonnetz, und Mac an Airchinnigh *et al.* [166], Stefani [204] für Dienste in objektorientierten Systemen und Architekturen.

Die Beschäftigung mit dem eigentlichen Problem der Wechselwirkungen zwischen Mehrwertdiensten entspricht in der formalen Betrachtungsweise des Abschnitts 3.1.2 der Definition der Korrektheitsfunktionen $\mathcal{K}_{\overline{w}}$ bzw. $\mathcal{K}_{\overline{uw}}$. Zur Beschäftigung mit dieser Problematik ist die *Identifikation von passenden Kriterien* unerlässlich, an Hand derer das Vorliegen einer Wechselwirkung festgestellt werden kann. Diese reichen von den allgemeinen sowie speziell für dieses Problem identifizierten Korrektheitskriterien hin zur Erfüllbarkeit von dienstspezifisch formulierten Aussagen.

Verifikation unter Verwendung allgemeiner Kriterien. In den Verfahren, die allgemeine Kriterien zur Verifikation verwenden und die von Bredereke [29, 30] als „*general-property approaches*“ bezeichnet werden, wird das Vorhandensein von Wechselwirkungen an Hand von Eigenschaften wie der Existenz von Verklemmungen und Zyklen ohne Fortschritt, Mehrdeutigkeiten, Transitionen zu inkonsistenten Zuständen, usw. aufgedeckt. Die zentrale Rolle in diesen Ansätzen wird vom formalen Modell der Dienste und ihrer Umgebung eingenommen; einen wesentlichen Beitrag zum Erfolg solcher Ansätze leistet die Auswahl, Optimierung und Werkzeugunterstützung der verwendeten Verifikationstechniken.

Die prozessalgebraische Spezifikationssprache LOTOS wird von Stepien und Logrippo [205] eingesetzt, um das Verhalten von Telefondienst und Mehrwertdiensten gegenüber

den Benutzern zu beschreiben und zu verifizieren. Turner führt zu diesem Zweck eine eigene Sprache ein [217, 218, 219], die sich jedoch in LOTOS überführen lässt. Auch hier ist das nach Außen erkennbare Verhalten der Dienste Gegenstand der Beschreibung.

Zustandsautomatenbasierte Beschreibungen bauen in vielen Fällen auf relativ einfachen Abbildungen von Zuständen, die aus Benutzersicht beim Dienst durchlaufen werden, in endliche Automaten auf, die dann beispielsweise in Form von Zustandsübergangsregeln (engl. *State Transition Rules, STR*) [112, 113, 122, 123, 132, 182] dargestellt werden. Neue Mehrwertdienste werden durch das Hinzufügen neuer Zustandsübergangsregeln in Form bedingter Transitionen, realisiert.

Auf einer ähnlichen Abstraktionsstufe bewegt sich der auf der Verwendung von Petri-Netzen beruhende Ansatz von Nakamura *et al.* [177, 178, 179], bei dem der Schwerpunkt jedoch auf einer Optimierung der Verifikation durch die Anpassung des Verfahrens der Erreichbarkeitsanalyse liegt.

Einige weitere Ansätze, basierend auf verschiedenen Spezifikationsmethoden, wie erweiterten endlichen Automaten [141] oder *Supervisory Control Theory* [54, 209], einer Methode zur Beschreibung ereignisbasierter Systeme [193], sind ebenfalls auf der Ebene des für Benutzer wahrnehmbaren Verhaltens angesiedelt.

Die Fokussierung auf beobachtbare Ereignisse oder elementare Zustandsübergangsmo- delle ermöglicht es diesen Verfahren, Wechselwirkungen auf der Anforderungsebene der entstehungsebenen-bezogenen Sichtweise zu erkennen. Um Wechselwirkungen auf dar- unterliegenden Ebenen – insbesondere auf der Ebene der Systemarchitektur – erkennen zu können, ist ein formales Modell erforderlich, das diese Ebene beschreibt. Im Be- reich der Wechselwirkungen zwischen Diensten im Intelligenten Netz gibt es hierfür Ansätze von Choi *et al.* [57], basierend auf Petri-Netzen oder von Brederke *et al.* [28, 33] in der Sprache ESTELLE. Aus Komplexitätsgründen wurden dort die verwen- deten Modelle gegenüber der Verteilten Funktionalen Abstraktionsebene des IN jedoch erheblich vereinfacht; beispielsweise wurde auf eine Nachbildung des relativ komplexen Erkennungspunkt-Mechanismus vollständig verzichtet. Die Konsequenz derartiger Maß- nahmen besteht darin, dass durch den größeren Abstand des Modells zur realen Architek- tur die Übertragung der aus dem Modell gewonnenen Erkenntnisse schwieriger wird.

Verifikation unter Verwendung problemspezifischer Kriterien. Eine Reihe von Arbei- ten führen Kriterien für die Präsenz von Wechselwirkungen auf Spezifikationsebene ein, wie z. B. Zugriffskonflikte auf Ressourcen oder Schreib-/Lesekonflikte auf systemweiten Variablen; derartige Kriterien sagen jedoch nichts über die Unerwünschtheit einer darauf beruhenden Wechselwirkung aus.

Braithwaite und Atlee [27] führen eine eigene Architektur zur Modellierung von Mehr- wertdiensten ein, die an Prinzipien des IN angelehnt ist. Auf der Basis dieser abstrakten Systemarchitektur können Wechselwirkungen erkannt werden, die auf Steuerungskon- flikten, d. h. widersprüchlichen Reaktionen auf dieselben Eingangssignale, auf Modifika- tionen von Information oder auf Zugriffskonflikte bezüglich bestimmter Ressourcen be- ruhen. Darüber hinaus können frei wählbare Zusicherungen (engl. *assertions*) überprüft werden. Zur Beschreibung der endlichen Automaten wird eine eigene, tabellenartige No- tation eingesetzt. In Folgeveröffentlichungen [9, 188] wird dieses Verfahren verfeinert und auf eine größere Anzahl von Mehrwertdiensten angewendet.

Lin, Liu *et al.* [161] stellen einen zustandsautomatenbasierten Ansatz auf der Ebene der Verteilten Funktionalen Abstraktionsebene des IN vor. Auf Grund seines hohen Detaillie- rungsgrades beschränkt sich dieser Ansatz auf eine sehr eng umrissene Klasse von Wech- selwirkungen zwischen IN- und Nicht-IN-Mehrwertdiensten der gleichen Rufhälfte, die

den Ablauf der Rufbearbeitung mit Ausnahme der Möglichkeit eines vorzeitigen Rufabbruchs nicht verändern können. Als Beschreibungstechnik dient keine Spezifikationsprache, sondern eine speziell entwickelte relationale Notation. Die Identifikation von Wechselwirkungen erfolgt durch Suche in den dadurch beschriebenen Ausführungssequenzen nach bestimmten Mustern von Schreib-/Lesevorgängen auf Rufvariablen. Der Rufabbruch wird durch eine spezielle boolesche Rufvariable nachgebildet.

Erfüllbarkeit von Anforderungen. In Ansätzen, die Dienste auf der Anforderungsebene beschreiben, werden die dazu erforderlichen Anforderungen mit Hilfe temporaler, modaler oder prädikativer Logik formuliert. Diese logischen Terme werden dann auf ihre Konsistenz, d. h. auf ihre Erfüllbarkeit hin überprüft. Capellmann *et al.* [48] bezeichnen einen derartigen Ansatz als „*satisfiability approach*“.

Blom, Jonsson *et al.* [16] benutzen temporale Logik zur Beschreibung von Basisdienst und Mehrwertdiensten. Die Kombination der Beschreibung des Basisdienstes mit der eines einzelnen Mehrwertdienstes muss konsistent, also frei von Widersprüchen sein. Unter dieser Voraussetzung weisen formale Widersprüche bei der Kombination von Basisdienst mit mehreren Mehrwertdiensten auf Wechselwirkungen hin [15]. Dies wird durch Verwendung der logischen Programmiersprache PROLOG oder in anderen Ansätzen – z. B. von Rochefort und Hoover [198] – durch Theorembeweissysteme unterstützt.

Die hier vorgestellten Ansätze zur Erfüllbarkeit von Anforderungen beschränken sich auf das durch die Benutzer beobachtbare Systemverhalten und sind damit der Anforderungsebene zuzuordnen.

3.3.2.1.2 Informelle Ansätze

Die bei der Modellierung so komplexer Systeme wie einem Telekommunikationsnetz und den darin enthaltenen Diensten auftretenden Schwierigkeiten und die daraus i. d. R. folgenden Probleme bei der Analyse legen nahe, auch die Wirksamkeit von informellen, d. h. nicht auf der Verwendung von formalen Methoden begründeten Herangehensweisen an die Wechselwirkungs-Problematik zu untersuchen.

In diesen Bereich fallen die Ansätze aus der Verarbeitung natürlicher Sprache [53] oder der Künstlichen Intelligenz [63] für die Anforderungsebene; für die Ebene der Systemarchitektur stellt die Sortierung und Kategorisierung von Diensten nach bestimmten, potenziell wechselwirkungsrelevanten Kriterien (Kimbler, Kuisch *et al.* [146]) ein derartiges informelles Verfahren dar.

3.3.2.2 Erkennung unerwünschter Wechselwirkungen

Unerwünschte Wechselwirkungen stellen eine Untermenge aller Wechselwirkungen zwischen Mehrwertdiensten dar. Neben der Erkennung der Tatsache, dass eine Wechselwirkung vorliegt, muss nun auch festgestellt werden, ob diese unerwünscht ist. Aus diesem Grund müssen in der Regel bestehende Verfahren zur Erkennung von Wechselwirkungen um Bedingungen für die Unerwünschtheit einer Wechselwirkung oder um Ausschlusskriterien für erwünschte Wechselwirkungen erweitert werden. Neben einer Vielzahl von formalen Methoden kommen hier auch experimentelle Techniken wie der Test sowie informelle Vorgehensweisen zum Einsatz.

3.3.2.2.1 Formale Methoden

Ansätze mit formalen Methoden müssen Möglichkeiten enthalten, Erwünschtheit bzw. Unerwünschtheit einer Wechselwirkung zu spezifizieren. Dies kann mit Hilfe zweier Spe-

zifikationen erfolgen, einer verhaltensorientierten, die die Dienste und ihre Umgebung beschreibt, und einer eigenschaftsorientierten, die die durch die verhaltensorientierte Spezifikation zu erfüllenden Eigenschaften beschreibt. Beide Spezifikationen sind zwar logisch getrennt, müssen aber nicht unbedingt mit verschiedenen Spezifikationstechniken erfolgen. Brederke [29, 30] bezeichnet einen derartigen Ansatz als „*specified-property approach*“, Capellmann *et al.* [48] benutzen die Bezeichnung „*satisfaction-on-a-model*“. Eine weitere Art von Ansätzen, die keine spezielle eigenschaftsorientierte Spezifikation beinhalten, stützen sich auf allgemeine, systemweit gültige Kriterien, um die Abwesenheit unerwünschter Wechselwirkungen nachzuweisen.

Grundsätzlich bauen Ansätze dieser Art nach Combes und Pickin [60] auf der Grundannahme auf, dass bei einer unerwünschten Wechselwirkung vom Grad k Instanzen bestimmter Mehrwertdienste $Z_{n_i} \in M_Z, i \in \{1, \dots, k\}$ einzeln kombiniert mit einem Basisdienst B die Eigenschaften $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_k$ – die als Ausdrücke zur Beschreibung dieser Eigenschaften in einer geeigneten Sprache formuliert werden müssen – erfüllen, also

$$B \oplus I_i(Z_{n_i}) \models \Phi_i \quad \text{für alle } i \in \{1, \dots, k\},$$

dies jedoch nicht für die Kombination der Mehrwertdienstinstanzen gilt, also

$$B \oplus I_1(Z_{n_1}) \oplus \dots \oplus I_k(Z_{n_k}) \not\models \Phi_1 \wedge \dots \wedge \Phi_k.$$

Ansätze mit zwei unterschiedlichen Spezifikationstechniken. Für die Beschreibung eines Systemverhaltens erweisen sich häufig prozessalgebraische oder automatenbasierte Spezifikationssprachen als besonders geeignet, während sich Eigenschaften mit Hilfe von temporaler oder modaler Logik besonders gut zum Ausdruck bringen lassen. Einige verbreitete Werkzeuge erlauben es, das Vorhandensein von auf diese Weise beschriebenen Eigenschaften in einem System mit wenig Aufwand nachzuweisen.

Calder (geb. Thomas) [210] beschreibt ein Telekommunikationssystem in LOTOS auf der Anforderungsebene. Es wird also das vom Benutzer beobachtbare Dienstverhalten untersucht. Die Systemeigenschaften werden unter Zuhilfenahme modaler Logik formuliert. Diese werden dann für den durch Erreichbarkeitsanalyse gewonnenen Systemerreichbarkeitsgraphen nachgewiesen oder widerlegt.

Capellmann *et al.* [49, 50] verwenden Petri-Netze zur Beschreibung von Basisdienst und Mehrwertdiensten im IN auf der Ebene der Systemarchitektur. Die dabei von den einzelnen Diensten zu erfüllenden Eigenschaften enthalten konkrete Informationen über die Funktion des Dienstes und werden in temporaler Logik formuliert.

Ein Ansatz auf vergleichbarer Abstraktionsebene basierend auf der Spezifikationssprache SDL [284] wird von Aggoun und Combes [1] vorgestellt. Die zu erfüllenden Eigenschaften werden in Form von Beobachterprozessen beschrieben, die durch Ereignisse beeinflusst werden und dadurch in Endzustände gelangen, die den Erfolg oder das Auftreten von Fehlern markieren. Es werden verschiedene Möglichkeiten vorgestellt, solche Beobachterprozesse zu spezifizieren, z. B. *Message Sequence Charts (MSC)* [285] oder SDL.

Ansätze mit einer Spezifikation. Die Verwendung verschiedener Spezifikationstechniken für die verhaltensorientierte und die eigenschaftsorientierte Spezifikation ist nicht zwingend erforderlich, einige Ansätze benutzen dafür auch dieselbe Spezifikationstechnik. Allerdings kann man auch dort häufig eine strikte logische Trennung zwischen beiden Spezifikationen beobachten.

Bei einer ganzen Reihe von Ansätzen in LOTOS auf der Ebene der vom Benutzer beobachtbaren Ereignisse (Anforderungsebene) werden die zu erfüllenden Bedingungen ebenfalls in LOTOS spezifiziert, so z. B. bei Boumezbeur und Logrippo [25], Faci [76], Faci

und Logrippo [77], wo parallel zu der Dienstspezifikation ablaufende Prozesse die zu erfüllenden Bedingungen enthalten und überwachen. Stepien und Logrippo [206] formulieren diese Bedingungen als Bestandteil von mit Hilfe abstrakter Datentypen formulierten booleschen Funktionen; unerwünschte Wechselwirkungen werden durch gezielte Suche nach Zuständen entdeckt, in denen diese Funktionen den Wert *wahr* annehmen. Diese Datentypen sind in einen parallel zur Dienstspezifikation ablaufenden Prozess eingebettet.

Einige Ansätze bewegen sich auch auf der Ebene der Verteilten Funktionalen Abstraktionsebene des IN, so z. B. auch der bereits zuvor vorgestellte Ansatz von Aggoun und Combes [1], wo SDL als eine mögliche Alternative zur Spezifikation der Beobachterprozesse genannt wurde und damit eine durchgehende Spezifikationstechnik zum Einsatz kam. Lin und Lin [160] arbeiten ebenfalls auf dieser Ebene und verwenden die Sprache PROMELA [118] zur Systemspezifikation und die in dieser Sprache enthaltenen Zusicherungen zur Formulierung von Bedingungen. Wechselwirkungen manifestieren sich als Bedingungsverletzungen bei der Erreichbarkeitsanalyse.

Verwendung systemweit definierter Eigenschaften. Eine dritte Gattung von Ansätzen verwendet keine explizite Spezifikation von Eigenschaften, die durch die einzelnen Dienste erfüllt werden müssen, sondern beruht auf systemweit definierten und allgemeingültig formulierten Eigenschaften, die durch jeden Dienst erfüllt werden müssen. Zu betonen ist hierbei, dass im Gegensatz zur Verifikation unter Verwendung problemspezifischer Kriterien im Abschnitt zur Erkennung allgemeiner Wechselwirkungen (Abschnitt 3.3.2.1) solche Eigenschaften hier *nicht* alle, sondern nur unerwünschte Wechselwirkungen betreffen.

Dahl und Najm [62] haben eine Reihe von Kriterien definiert, wie man bei der Kombination von Mehrwertdienstspezifikationen in LOTOS unerwünschte Wechselwirkungen erkennen kann. Diese Kriterien sind jedoch sehr stark spezifikationstechnischer Natur und für die Erkennung von Wechselwirkungen in realen Systemarchitekturen wenig geeignet.

Ansätze, bei denen allgemeine Kriterien für unerwünschte Wechselwirkungen auf vorhandene Spezifikationen angewendet werden können, sind jedoch nicht bekannt. Stünden solche Kriterien zur Verfügung, würde sich die Erkennung unerwünschter Wechselwirkungen auf die Spezifikation von Basisdienst und Mehrwertdiensten und die darauffolgende Anwendung dieser Kriterien beschränken. Dies bedeutete jedoch, dass in der Verhaltensspezifikation eines Mehrwertdienstes das *erwünschte* Verhalten mit allen anderen denkbaren Mehrwertdiensten enthalten wäre. Das ist jedoch nur unter der Voraussetzung möglich, dass alle möglichen Verhaltensweisen anderer Mehrwertdienste im Voraus bekannt sind. Ein System wie das IN bietet jedoch so viele Freiheitsgrade für die möglichen Funktionen eines Mehrwertdienstes, dass diese Voraussetzung nicht gegeben ist.

3.3.2.2 Experimentelle Techniken

Unter die experimentellen Techniken fallen alle Simulationsumgebungen für Dienste (z. B. [58, Abschnitt 5.4.5]) sowie der Test in realen und simulierten Umgebungen. Tsang und Magill [211, 212] stellen eine Wechselwirkungsverwaltung (engl. *Feature Interaction Manager, FIM*) vor, der unerwünschte Wechselwirkungen zwischen Diensten an Hand einer Datenbasis von erlaubten Ereignissequenzen bei ihrer Ausführung erkennen kann. Diese Erkennung wird in einer simulierten IN-Umgebung eingesetzt und findet auf der Ebene der Systemarchitektur statt.

3.3.2.2.3 *Informelle Ansätze*

Informelle Ansätze erfordern keine formale Beschreibung von Basisdienst und Mehrwertdiensten. Kuisch *et al.* [155] beschreiben ein Verfahren, bei dem ein nicht formal spezifizierter Dienst an Hand einiger einfach zu prüfender informeller Kriterien auf unerwünschte Wechselwirkungen hin untersucht werden kann. Soweit aus jener Arbeit hervorgeht, können diese Überprüfungen auf statische Art und Weise mit den Dienstbeschreibungen durchgeführt werden.

3.3.3 **Auflösung von Wechselwirkungen**

Sind Wechselwirkungen zwischen Mehrwertdiensten erkannt und als unerwünscht eingestuft, sollten Gegenmaßnahmen ergriffen werden. Dafür hat sich der Begriff der Auflösung (engl. *resolution*) eingebürgert [23, *Introduction*]. Für die Auflösung ist eine begriffliche Trennung zwischen erwünschten und unerwünschten Wechselwirkungen ohne Bedeutung, da prinzipiell die Beseitigung jeder Wechselwirkung denkbar ist.

3.3.3.1 *Auflösung durch Einschränkung*

In einem Umfeld mit einer überschaubaren und nahezu feststehenden Anzahl bekannter Mehrwertdienste ist die Einschränkung eine einfach und effektiv anzuwendende Maßnahme, um Probleme bei der gemeinsamen Aktivierung von Mehrwertdiensten aufzulösen. Für die verschiedenen Mehrwertdienste des ISDN (siehe Tab. 2.1 und [261]) beispielsweise ist ein Abschnitt über den Umgang mit Wechselwirkungen mit anderen Mehrwertdiensten fester Bestandteil der Spezifikation; über explizite Vorrangsregeln oder wechselseitige Ausschlusskriterien werden diese aufgelöst⁷.

3.3.3.1.1 *Allgemeine Einschränkung*

Die am einfachsten zu realisierende Auflösung von Wechselwirkungen besteht darin, Mehrwertdienstkombinationen, bei denen das Auftreten einer Wechselwirkungen beobachtet wurde oder zu befürchten ist, generell zu verhindern. Dies erfolgt durch relativ einfache Maßnahmen wie das Verbot einer gemeinsamen Aktivierung durch den Benutzer oder das Ausfiltern von Dienstauslösern auf Grund von Prioritäten. Beispiele für derartige Verfahren werden von Homayoon und Singh [120] und von Schessel [200] vorgestellt.

3.3.3.1.2 *Situationsabhängige Einschränkung*

Deutlich mehr Flexibilität als die allgemeine Einschränkung bietet die situationsabhängige Einschränkung, da die Entscheidung für oder gegen bestimmte Aktionen von Mehrwertdiensten auf Grund der tatsächlich vorgefundenen Situation erfolgt. Die Möglichkeiten der Aktivierung oder Auslösung eines Mehrwertdienstes bleiben davon unberührt.

⁷Die dabei eingesetzten Mechanismen fallen hauptsächlich in den Bereich der allgemeinen Einschränkung, z. B. bei gemeinsamen Aktivierungsverboten. Mechanismen, die mit Hilfe von Indikatoren (*ISUP Service Interaction Indicators*) arbeiten, können teilweise auch der situationsabhängigen Einschränkung zugerechnet werden.

Ansätze für die Dienstspezifikation. In einer Reihe von Ansätzen werden nach einer Erkennung von Wechselwirkungen Maßnahmen für die Modifikation der Mehrwertdienstspezifikation abgeleitet. Bei Blom *et al.* [16], Boström und Engstedt [20], Chen *et al.* [54] und Khoumsi [141] wird die Spezifikation dazu um Teile ergänzt, die einen wechselseitigen Ausschluss oder eine Priorisierung der in Konflikt geratenen Dienstteile vorsehen. Bredereke [28, 32] erreicht dies durch Vorrangbeziehungen zwischen Transitionen der Spezifikation; in Fällen, in denen dies nicht ausreicht, wird die Spezifikation ergänzt.

Einsatz einer Wechselwirkungsverwaltung. Bereits die Empfehlung Q.1214 [268] der ITU-T für das CS-1 des IN sieht das Konzept einer Wechselwirkungsverwaltung zur Auflösung von Konflikten zwischen Mehrwertdiensten vor, und zwar sowohl für Konflikte zwischen IN-Mehrwertdiensten als auch zwischen IN- und ISDN-Mehrwertdiensten. Über die konkrete Funktionsweise einer solchen Verwaltung wird jedoch nichts ausgesagt⁸. Die Einflussmöglichkeit der Wechselwirkungsverwaltung muss auf Grund ihrer Zuordnung zur Dienstzugangssteuerung auf den Bereich einer Rufhälfte beschränkt bleiben. Dies schränkt die Möglichkeiten zur Auflösung von Wechselwirkungen prinzipiell auf Mehrwertdienste ein, die auf dieselbe Rufhälfte einwirken. Cain [39] schlägt eine Realisierungsmöglichkeit einer Wechselwirkungsverwaltung für die Lösung von Konflikten zwischen IN-Mehrwertdiensten vor. Diese basiert auf einer Datenbasis, die für jeden möglichen Problemfall eine entsprechende Auflösung bereithält.

Eine Reihe von Ansätzen geht von einer Wechselwirkungsverwaltung aus, die so gestaltet ist, dass sie alle im Rahmen der Bearbeitung einer Rufbeziehung aktiven Mehrwertdienste koordinieren kann, z. B. Fritsche [87, 88], Ogino [181] und Makarevitch [169, 170]. Durch diesen umfassenden Einflussbereich kann prinzipiell nahezu jede Wechselwirkung aufgelöst werden; die Schwierigkeit wird jedoch in die Realisierung und Parametrisierung der Wechselwirkungsverwaltung verlagert. Tsang und Magill [212] schlagen zu diesem Zweck ein Verfahren vor, bei dem die Wechselwirkungsverwaltung während einer Konfigurationsphase reale und überprüfte Ereignisfolgen der Mehrwertdienste in einer Datenbank für erlaubte Ereignisfolgen ablegt und während des späteren Betriebs die tatsächlich auftretenden Ereignisfolgen mit den gespeicherten vergleicht. Abweichungen führen in der Regel zur Deaktivierung eines Dienstes oder zum kontrollierten Rufabbau. Vorteil des Verfahrens ist die Möglichkeit zur Konfiguration während des Tests der einzelnen Mehrwertdienste nahezu ohne zusätzlichen Aufwand.

3.3.3.2 Auflösung durch Integration

Durch Integration mehrerer Mehrwertdienste werden diese zu einem einzigen Dienst verschmolzen, was auf Grund der engeren Kopplung mehr Möglichkeiten schafft, zwischen den integrierten Diensten auftretende Probleme geeignet zu behandeln. Typische Ansätze stellen Inoue *et al.* [122], Kakuda *et al.* [128, 129] und Ohta und Harada [182] vor. Es handelt sich dabei um automatenbasierte Dienstspezifikationsansätze, bei denen Probleme dadurch behoben werden, dass Zustandsübergänge eindeutig gemacht werden, die durch die Beteiligung mehrerer Mehrwertdienste mehrdeutig geworden sind. Bei Bedarf werden auch neue Zustandsübergänge eingeführt, was eine faktische Integration der beteiligten Mehrwertdienste in einen einzigen neuen Mehrwertdienst darstellt.

Die Grenze zwischen derartigen Ansätzen und der situationsabhängigen Einschränkung basierend auf der Dienstspezifikation ist fließend; Unterscheidungskriterium ist der Grad

⁸Zitat aus Q.1214 [268, Abschnitt 4.2.1]: „The ability of the FIM/CM to arbitrate between multiple instances of IN and non-IN service logic instances is for further study.“

der Integration oder Abgrenzung des zusätzlich spezifizierten Verhaltens bezüglich der beteiligten Dienste und die daraus resultierende Enge der dadurch hergestellten Verbindung zwischen den Diensten.

3.3.3.3 Auflösung durch Kooperation

Kooperation zwischen Mehrwertdiensten ist das langfristig und bei größeren Anzahlen solcher Dienste am erfolgversprechendste Konzept. Kooperation stellt allerdings auch die höchsten Anforderungen an eine unterstützende Architektur. Es muss unterschieden werden, ob die Kooperation auf der genauen gegenseitigen Kenntnis der kooperierenden Mehrwertdienste aufbaut (Kooperation einander bekannter Dienste) oder ob die Kooperation dadurch ermöglicht wird, dass Mehrwertdienste in einem generischen Rahmenwerk von Möglichkeiten und Fähigkeiten entworfen werden und auf diese Weise in die Lage versetzt werden, mit anderen – demselben Rahmenwerk angehörigen – Diensten zu kooperieren, ohne dass diese bei der Dienstentwicklung explizit bekannt sein mussten oder berücksichtigt wurden (Kooperation einander unbekannter Dienste). Besonders die letztere Spielart der Kooperation besitzt das größte Potenzial, Probleme mit Wechselwirkungen zwischen Diensten zu lösen, ohne das wesentliche Ziel einer schnellen und unabhängigen Erstellung neuer Mehrwertdienste in Frage zu stellen.

3.3.3.3.1 Kooperation einander bekannter Mehrwertdienste

Die Kooperation einander bekannter Mehrwertdienste beruht darauf, dass die wechselwirkenden Dienste einander bekannt sind und spezifische Möglichkeiten zur Auflösung von Wechselwirkungen beim Entwurf vorgesehen wurden.

Iraqi und Erradi [124] schlagen dazu – über einschränkende Mechanismen hinaus – die Verwendung eines Protokolls zwischen betroffenen Mehrwertdiensten in verschiedenen Dienststeuerknoten vor. Ein solches Protokoll wird für die kooperierenden Mehrwertdienste maßgeschneidert, weshalb nur einander bekannte Dienste auf diese Art zusammenarbeiten können. Prehofer [190] stellt einen Ansatz vor, bei dem schon beim Entwurf von Mehrwertdiensten die kooperative Zusammenarbeit mit anderen Mehrwertdiensten berücksichtigt wird. Utas [220, 221] präsentiert die Fähigkeiten für eine Kooperation von vermittlungstellenbasierten und IN-basierten Mehrwertdiensten in realen Mobilfunkvermittlungssystemen. Dazu gehört beispielsweise auch, dass bestimmte Nachrichten der Benutzersignalisierung von unterschiedlichen Mehrwertdiensten gemeinschaftlich parametrisiert werden. Utas weist jedoch auch nachdrücklich auf die Einschränkungen der Kooperationsmöglichkeiten hin, die hauptsächlich auf die Verwendung vorgefundener Signalisierungsprotokolle zurückzuführen sind.

3.3.3.3.2 Kooperation einander unbekannter Mehrwertdienste

Die Möglichkeit, Wechselwirkungen zwischen Mehrwertdiensten auflösen zu können, ohne dass *spezifische* Kenntnisse über andere Mehrwertdienste bei der Erstellung eines neuen Dienstes erforderlich sind, stellt eine vielversprechende langfristige Lösungsalternative für dieses Problem dar.

Aushandlungsprozesse basierend auf Methoden der verteilten künstlichen Intelligenz (engl. *Distributed Artificial Intelligence, DAI*) stellen eine interessante Möglichkeit dar, um bei Konflikten auf der Anforderungsebene zu gangbaren Kompromissen zu gelangen. In einer Reihe von Veröffentlichungen stellen Griffeth und Velthuisen [106, 107, 226] einen agentenbasierten indirekten Aushandlungsansatz vor, der auch im Rahmen einer

prototypischen Demonstrationsplattform – der TOURING MACHINE [8] – validiert werden konnte.

Die Kooperation einander unbekannter Mehrwertdienste stellt umfangreiche Anforderungen an deren Kooperationsmöglichkeiten. Zusätzlich muss auch eine Dienstarchitektur bereitstehen, die dieses intensive Zusammenspiel unterstützt. Beide Fähigkeiten sind in den CS-1 und 2 des IN nicht zu finden. Daher werden solche Möglichkeiten im IN erhebliche Erweiterungen auf der Seite der Dienstarchitektur erfordern (wie z. B. von Gbaguidi *et al.* [94] vorgeschlagen), oder auf neue Architekturkonzepte (wie z. B. TINA) angewiesen sein.

3.3.4 Vermeidung von Wechselwirkungen

Erst im Rahmen zukünftiger, neu entworfener Systeme ist es denkbar, durch eine geeignete Gestaltung der Systemarchitektur mögliche Angriffspunkte für Wechselwirkungen auszumerzen. Dies reduziert dann die praktische Bedeutung der Erkennung von Wechselwirkungen immer weiter, da an ihre Stelle die *Vermeidung* tritt.

3.3.4.1 Vermeidung durch strukturelle Maßnahmen

Durch eine Strukturierung des zugrundeliegenden Systems und die Einführung geeigneter Mechanismen können bestimmte Wechselwirkungen vermieden werden.

Van der Linden [224] strukturiert die Mehrwertdienste in einem festen Rahmenwerk derart, dass sie bis auf eine exakt definierte enge Schnittstelle keine Verbindungen zur Außenwelt besitzen. Durch eine zusätzliche standardisierte formale Beschreibung des Mehrwertdienstes werden Wechselwirkungsmöglichkeiten weiter reduziert.

Zibman *et al.* [237, 238] begegnen dem Wechselwirkungsproblem durch eine strikte Trennung von Zuständigkeiten von einzelnen Dienstbestandteilen in einer agentenbasierten Umgebung. Auch Weiss *et al.* [230] präsentieren ein agentenbasiertes System, bei dem die Trennung von Funktionen wesentlichen Anteil an der Vermeidung von Wechselwirkungen hat.

Zur Vermeidung von Wechselwirkungen auf der Ebene der Systemarchitektur wurde vom Autor dieser Arbeit [135] ein Ansatz vorgestellt, der darauf beruht, Mehrwertdiensten vollständige Informationen über den Zustand einer Rufbeziehung zur Verfügung zu stellen und dadurch einer Klasse von Wechselwirkungen zuvor zu kommen, die durch unvollständige Informationen entstehen.

Allen Ansätzen dieser Kategorie ist gemeinsam, dass der Kommunikationsbedarf zwischen den Systemteilen erheblich ansteigt und die Komplexität der Dienstrealisierungen deutlich höher liegt. Der Lohn dafür – die Vermeidung vieler Wechselwirkungen – kann jedoch diesen Zusatzaufwand rechtfertigen. Müssen aber vorhandene Altsysteme integriert werden, was im Bereich der Kommunikationsnetze die Regel ist, scheiden solche Ansätze auf Grund der erforderlichen umfangreichen Eingriffe in die vorhandene Infrastruktur aus oder sind nur in stark eingeschränktem Umfang realisierbar.

3.3.4.2 Vermeidung durch die Vorgehensweise bei der Dienstentwicklung

Ein derartiger Ansatz ist charakterisiert durch einen streng formalisierten und durchgehend werkzeugunterstützten Dienstentwurfsprozess, der durch ein präzises Regelwerk das Auftreten von Wechselwirkungen verhindert. Ansätze, die dies in reiner Form realisieren, sind dem Autor nicht bekannt. Der im vorangehenden Abschnitt vorgestellte Ansatz von van der Linden [224] trägt jedoch einige Kennzeichen eines solchen Vorgehens.

3.3.5 Management der übergreifenden Aspekte

Die zahlreichen zu lösenden Teilaufgaben bei Erkennung, Auflösung und Vermeidung von Wechselwirkungen sowie der rein quantitative Umfang durch die Vielzahl von Mehrwertdiensten legen den Schluss nahe, dass auch bei erfolgter Bewältigung der Einzelprobleme die Definition eines übergreifenden Prozesses für das Management der übergreifenden Aspekte alles andere als trivial ist. Diese Thematik war deshalb ein wesentlicher Aspekt im Rahmen eines umfangreichen Projekts der EURESCOM⁹ mit dem Titel „*Handling Service Interactions in the Service Life Cycle*“, dessen wesentliche Ergebnisse in [143, 145] veröffentlicht wurden.

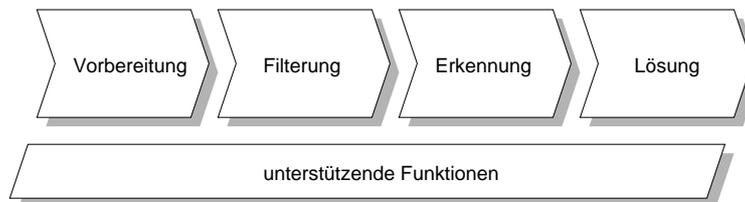


Abbildung 3.5: Prozess zur Handhabung von Wechselwirkungen nach [143, 145]

Es wurde ein Prozess zur Handhabung von Wechselwirkungen (engl. *Service Interaction Handling Process, SIHP*) definiert (siehe Abb. 3.5), der im Wesentlichen aus vier Phasen besteht: Die *Vorbereitungsphase* enthält die geeignete Beschreibung der zu untersuchenden Mehrwertdienste und die Planung des Untersuchungsablaufs. Die eigentliche Untersuchung ist in zwei Phasen gegliedert: Auf Grund einfach anzuwendender Kriterien wird in einer *Filterungsphase* die Anzahl der genauer und mit höherem Aufwand zu untersuchenden Wechselwirkungsszenarien vorausgewählt; die eigentliche detaillierte Untersuchung auf Wechselwirkungen ist Aufgabe der anschließenden *Erkennungsphase*. Schließlich folgt die *Lösungsphase*, in der über die Behandlung der ermittelten Wechselwirkungen (z. B. durch Auflösung) entschieden wird. Die *unterstützenden Funktionen* sind für die Verwaltung und Übergabe der untersuchten Mehrwertdienstbeschreibungen verantwortlich. Darüber hinaus werden dort auch Analyseergebnisse vorhergehender Untersuchungen gesammelt, so dass die mehrfache Durchführung identischer Untersuchungen verhindert werden kann.

Cameron *et al.* [45, 46] stellen eine werkzeugunterstützte Methodik für die Diensterstellung einschließlich einer Analyse auf Wechselwirkungen vor. Dabei steht die Werkzeugunterstützung im Vordergrund, dem Problem ansteigender Komplexität von Schritt zu Schritt wird durch schrittweise Abstraktion der Dienstbeschreibung begegnet. Die Handhabung des Gesamtprozesses stellt damit ebenfalls einen Schwerpunkt jener Arbeit dar.

3.4 Ergebnisse, Bewertung und weiteres Vorgehen

Wechselwirkungen zwischen Mehrwertdiensten entstehen auf unterschiedlichen Ebenen in einem System und besitzen deshalb auch verschiedenartigste Eigenschaften. Darüber hinaus besteht in realen Systemen die Schwierigkeit, dass Wechselwirkungen nicht zwangsläufig unerwünscht, sondern in zahlreichen Fällen sogar beabsichtigt sind. Die Entstehungsprinzipien bleiben von dieser Tatsache jedoch unberührt.

⁹European Institute for Research and Strategic Studies in Telecommunications, D-69118 Heidelberg, <http://www.eurescom.de>

In diesem Kapitel wurden einige Ansätze zum Umgang mit diesem Problem vorgestellt und klassifiziert. Ein Schwerpunkt wurde dabei auf die für existierende Systeme wie das IN anwendbaren Verfahren gelegt. Die Erkennung von Wechselwirkungen hat hier besonders hohen Stellenwert, da sie den Schlüssel zur Lösung des Problems darstellt. Formale Methoden besitzen dabei wegen ihrer umfangreichen Möglichkeiten zum Nachweis von Korrektheitseigenschaften hohes Potenzial. Die Mehrzahl aller publizierten Ansätze nutzt dieses Potenzial auf der Anforderungsebene, wo an Hand eines Systemmodells, dessen Schwerpunkt die Darstellung des durch den Benutzer wahrnehmbaren Systemverhaltens ist, Eigenschaften wie die Widerspruchsfreiheit oder die Eindeutigkeit nachgewiesen werden. Nur wenige Ansätze begeben sich auf die Ebene der Systemarchitektur, um die dort relevanten Eigenschaften wie die Korrektheit des Informationsflusses oder der Ressourcenverwendung nachzuweisen. Lediglich der Aspekt des Dienstablaufs (Verklemmungen, Mehrdeutigkeiten, etc.) wird durch solche Ansätze häufiger abgedeckt.

Zur Lösung des Wechselwirkungsproblems muss die Erkennung durch geeignete Auflösungsverfahren ergänzt werden. Berücksichtigt man die wichtige Anforderung der unabhängigen Entwickelbarkeit neuer Dienste, bleiben nur Ansätze übrig, bei denen die Auflösung von Wechselwirkungen außerhalb der Dienste durch Einschränkung, z. B. in einem *Feature Interaction Manager*, erfolgt. Langfristig vielversprechende Mechanismen wie die Kooperation einander unbekannter Dienste sind in bestehenden Systemen nicht ohne große Veränderungen realisierbar; es bleibt neu entworfenen Architekturen vorbehalten, derartige Mechanismen vorzusehen.

Die Vermeidung von Wechselwirkungen enthält ebenfalls für existierende Systeme nur wenig Potenzial zur Lösung des Problems, da hierzu ebenfalls Mechanismen erforderlich würden, die in vorhandenen Systemen tiefgreifende Änderungen nach sich zögen.

Die Beschäftigung mit der Wechselwirkungsproblematik in der Praxis hat gezeigt, dass auch die Verwaltung der Menge von Mehrwertdiensten und der identifizierten Wechselwirkungen auf Grund der kombinatorischen Komplexität aufwändig ist und durch definierte Prozesse und geeignete Werkzeuge unterstützt werden muss. Diesem Problem wurde in Untersuchungen zum Management der übergreifenden Aspekte Rechnung getragen.

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit liegt der Schwerpunkt auf Wechselwirkungen in Systemen, die nach dem Architekturkonzept des IN aufgebaut sind. Da dort die Möglichkeiten zur Auflösung oder gar zur Vermeidung sehr eingeschränkt vorhanden sind, liegt der Schlüssel in einer *frühzeitigen Erkennung* derartiger Probleme.

Während der Einsatz formaler Techniken zur Erkennung von Wechselwirkungen auf der Anforderungsebene bereits intensiv untersucht ist, gibt es wenig Ansätze, die mit ähnlicher Methodik auf der Ebene der Systemarchitektur mit relativ feiner Granularität vorgehen. Wie von Lin und Lin [160], Lin, Liu *et al.* [161] als auch in eigener Arbeit [136] gezeigt werden konnte, lassen sich jedoch gerade dort bei Verwendung geeigneter Kriterien zur Verifikation und damit zur Erkennung von Wechselwirkungen vielversprechende Ergebnisse erzielen. Dies zu belegen wird Gegenstand der folgenden beiden Kapitel sein.

4 Modellierung

wechselwirkungsrelevanter Aspekte von Mehrwertdiensten auf der Ebene der Systemarchitektur

4.1 Einführung und Motivation

Die Grundmechanismen, durch die auf der Ebene der Systemarchitektur Wechselwirkungen zwischen Mehrwertdiensten zustandekommen können, wurden bereits in Abschnitt 3.2.4 vorgestellt: Ablaufverhalten, Informationsfluss und Verwendung von Ressourcen. In diesem Kapitel wird ein Modell entwickelt, das diese Aspekte im Rahmen eines realen Kommunikationssystems, hier des IN, abdeckt. Für die Aspekte des Informationsflusses und der Ressourcenverwendung werden auch die übergreifenden Zusammenhänge mit dem Ablaufverhalten dargestellt. In Kapitel 5 wird auf diesem Modell aufbauend ein Ansatz zur Erkennung von Wechselwirkungen vorgestellt.

4.1.1 Betrachtungsebene

Bereits in Kapitel 3 wurde gefolgert, dass in Kommunikationssystemen mit Mehrwertdiensten wegen der unterschiedlichen Entstehungsebenen von Wechselwirkungen ein Ansatz, der *eine* durchgehende analytische Methodik für deren Erkennung verwendet, nur wenig Erfolg verspricht. Den jeweiligen Entstehungsebenen angepasste Verfahren sind deshalb zu bevorzugen.

Auf der *Anforderungsebene* sind dies Methoden der Definition von Anforderungen (engl. *requirement engineering*), mit deren Hilfe sowohl die Konsistenz der Anforderungen an einen einzelnen Mehrwertdienst sichergestellt als auch das Vorhandensein von Wechselwirkungen mit anderen Diensten auf dieser Ebene erkannt werden können.

Auf der *Ebene der Systemarchitektur* sind die zum Einsatz kommenden Methoden dem Instrumentarium des Entwurfs verteilter Systeme zuzuordnen. Hier nehmen formale Beschreibungstechniken und entsprechende Verifikationsmethoden eine bedeutende Position im zur Verfügung stehenden Instrumentarium ein.

Auf der *Realisierungsebene* sind dem Gebrauch formaler Methoden enge Grenzen gesetzt, da die betrachteten Systeme in der Regel über Jahre und Jahrzehnte gewachsen sind und ein Weg von der tatsächlichen Realisierung des Systems zurück zur Anwendung analytischer Methoden – also ein *reverse engineering* – sehr häufig an den realen Rahmenbedingungen (zu hohe, gewachsene Komplexität, begrenzte Entwicklungszeit, enge Budgetgrenzen, Mangel an geeignetem Personal) scheitern.

Bei Neuentwicklungen oder Systemüberarbeitungen kann eine Beherrschung der Wechselwirkungsproblematik auf der Realisierungsebene durch eine Systemrealisierung we-

sentlich unterstützt werden, die einer *a priori* definierten (abstrakten) Systemarchitektur genau folgt und dadurch realisierungsspezifische – d. h. nicht in der Architektur begründete – Eigenheiten möglichst vollständig ausschließt¹.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit Wechselwirkungen zwischen Mehrwertdiensten auf der Ebene der Systemarchitektur. Die Anforderungen an einen Mehrwertdienst aus Benutzersicht werden nicht explizit beachtet; die vorgenommene Modellierung umfasst auch nicht die konkrete Implementierung des Systems, weshalb Wechselwirkungen auf der Realisierungsebene außerhalb des hier abgedeckten Bereichs liegen.

4.1.2 Methodik

Der durchgehende Einsatz einer formalen Verifikationsmethode setzt die formale Modellierung des gesamten Systems voraus. Die Komplexität eines solchen Modells kann jedoch sehr hoch werden, wenn die Funktionalität in einem angemessenen Detaillierungsgrad wiedergegeben werden soll. Dies erschwert den Einsatz formaler Verifikationstechniken i. d. R. sehr oder vereitelt ihn gänzlich. Als Auswege aus diesem Dilemma können im Wesentlichen drei unterschiedliche Ansätze beschrrieben werden.

- **Angepasstes Modell:** Dieser Ansatz besteht in der Erstellung eines angepassten Modells, das von der Architektur und der internen Funktionsweise der realen Systeme (Aufteilung in funktionale Einheiten, verwendete Protokolle) signifikant abweicht, den Erfordernissen der Modellierung und der späteren Analyse jedoch besser entspricht. Beispiele für derartige Ansätze sind [9, 27, 28, 32, 33, 188].
- **Angepasste Analysemethode:** Ein solcher Ansatz beruht auf der Erstellung eines vollständigen Modells und Anpassung bzw. Verbesserung der zu dessen Beschreibung und Analyse eingesetzten Methoden. Dies schließt i. d. R. den Gebrauch von standardisierten Beschreibungstechniken und verbreiteten Werkzeugpaketen aus. Beispiele für derartige Ansätze sind [177, 178, 179].
- **Isolation und Kombination von Teilaspekten:** Es werden bestimmte Aspekte eines vorhandenen Systems isoliert und separat modelliert. Dabei können für die verschiedenen Aspekte eine jeweils angemessene Granularität der Modellierung gewählt und diesem Teilmodell angemessene Methoden eingesetzt werden. Die Grenzen der mit einer Methode handhabbaren Modellkomplexität werden dabei berücksichtigt. Eine Kombination der Ergebnisse einzelner Aspekte ermöglicht dann die Gewinnung neuer Erkenntnisse, die über die der Einzelergebnisse hinausgehen. Beispiele für solche Ansätze sind [161] und auch die in dieser Arbeit vorgestellte Verfahrensweise.

Für die Analyse umfangreicher Systeme kommt aus Komplexitätsgründen und wegen der fehlenden Verfügbarkeit angepasster analytischer Methoden in üblichen Werkzeugpaketen nur der Ansatz der Isolation und Kombination von Teilaspekten in Frage. Sind Aspekte unabhängig voneinander, so kann auch deren Analyse getrennt erfolgen; durch eine Zusammenführung der Ergebnisse entstehen keine neuen Erkenntnisse. Besteht Abhängigkeit zwischen Aspekten, ist die Situation komplexer. Die Beschaffenheit der

¹Utas berichtet von den hauptsächlich positiven Erfahrungen aus einem derartigen Umbau einer Mobilfunk-Rufbearbeitungssoftware [222, 223], bei dem ein festgelegter Satz von Entwurfsmustern zu deren Gestaltung eingesetzt wurde. Die dadurch geschaffenen klaren Schnittstellen tragen zur Vermeidung unerwünschter Wechselwirkungen bei.

Abhängigkeit bedingt in diesen Fällen die Verwendbarkeit und Relevanz der Analyseergebnisse. Ein gezieltes Zusammenführen von Ergebnissen der einzelnen Aspekte kann in solchen Fällen zu erweiterten Erkenntnissen führen. Der besondere Vorteil eines solchen Ansatzes liegt in der Nachvollziehbarkeit der einzelnen Vorgehensschritte, da kein monolithischer Werkzeugapparat auf ein umfangreiches Systemmodell angewendet wird, sondern vergleichsweise überschaubare Verfahren auf abgegrenzte Teilaspekte. Dies erleichtert in der Praxis auch die Validierung des Systemmodells. Ein Nachteil ist, dass Korrektheit im Sinne der formalen Verifikation nur für die einzelnen, formal modellierten Teilaspekte sichergestellt werden kann. Für die Kombination von Teilaspekten ist diese Korrektheit nur dort gewährleistet, wo ein mathematischer Beweis durchgeführt werden kann. Eine argumentative Herleitung ohne Beweis bietet diese letzte Sicherheit nicht. Nachteilig ist auch der höhere Verwaltungsaufwand für die Koordination der einzelnen Vorgehensschritte und der Informationsverlust, der beim Übergang von feinerer zu größerer Granularität zwangsläufig erfolgt.

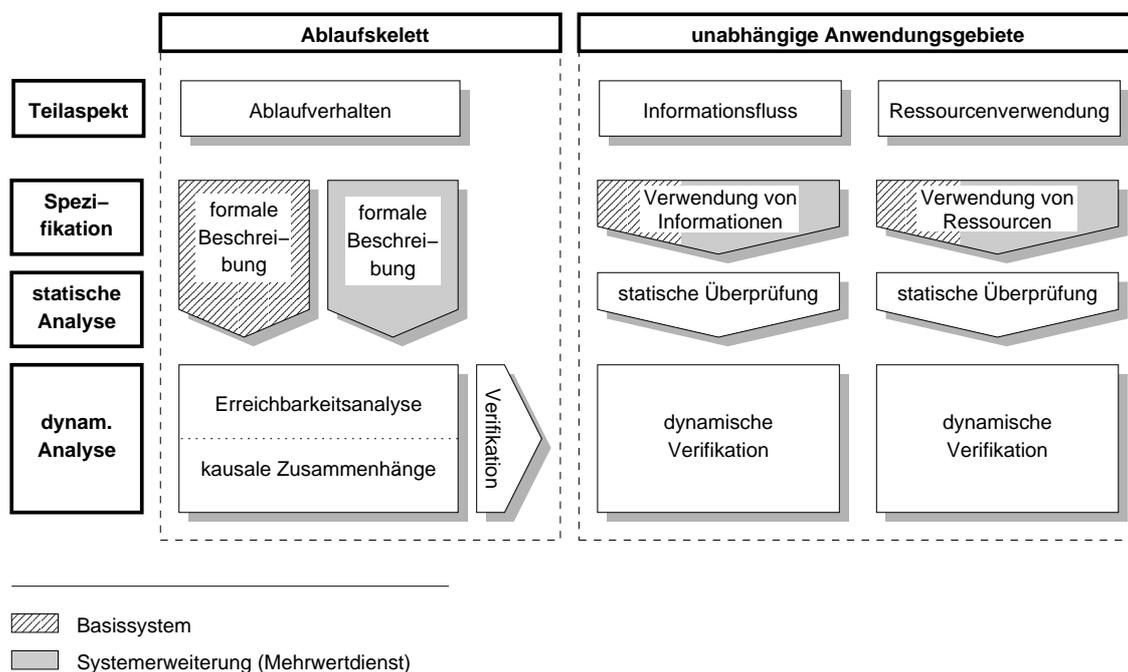


Abbildung 4.1: Übersicht über die Gesamtmethodik zur Modellierung und Verifikation eines einzelnen Mehrwertdienstes

Abb. 4.1 bietet eine Übersicht über die Vorgehensweise für die Systemmodellierung und -verifikation, soweit sie Gegenstand dieses Kapitels ist. Als für die Modellierung relevante Teilaspekte wurden die bereits in Abschnitt 3.2.4 identifizierten Bereiche Ablauf, Informationsfluss und Ressourcenverwendung gewählt. Die Verbindungstopologie, die den Rahmen für diese Aspekte bildet, wird in diesem Bild nicht dargestellt. Die Abhängigkeit sowohl des Informationsflusses als auch der Ressourcenverwendung vom Ablauf legt eine Aufteilung in eine Untersuchung des Ablaufs als Skelett des Systems und eine voneinander getrennte Modellierung der unabhängigen Anwendungsgebiete – hier Informationsfluss und Ressourcenverwendung – nahe.

Die Ablaufmodellierung bildet den komplexesten Teil des Systemmodells. Die formale Beschreibung und deren anschließende Verifikation erlauben eine vollständige Ermittlung aller in einem System möglichen Ausführungspfade und stellen auf diese Weise ein mächtiges Untersuchungswerkzeug zur Verfügung. Sie erfordern jedoch ein formales

Modell für das Basissystem mit definierten Schnittstellen zu einer oder mehreren ebenfalls formal modellierten Systemerweiterungen, also Mehrwertdiensten. Durch die Verwendung einer formalen Beschreibungstechnik und entsprechender Programmwerkzeuge ist eine *statische* Analyse der Beschreibungskorrektheit bereits weitgehend impliziert. Diese beruht auf der Untersuchung von Aspekten, die sich direkt aus den Spezifikationsdokumenten entnehmen lassen. Die *dynamische* Analyse baut auf einer Erreichbarkeitsanalyse auf. Eine Verifikation stellt das erwartungsgemäße Verhalten des Zusammenspiels zwischen Systemerweiterungen und Basissystem sicher und ist daher Voraussetzung für die Anwendung der Analyseergebnisse auf die übrigen Anwendungsgebiete. Wegen der Begrenzungen der Verifikationsverfahren auf Basis der Erreichbarkeitsanalyse bleibt das formale Modell des Ablaufs auf den Bereich einer einzelnen Verbindung beschränkt. Für verbindungsübergreifende Aspekte stehen lediglich wesentlich gröbere kausale Überlegungen basierend auf der Verbindungstopologie zur Verfügung.

Die Modellierung des Informationsflusses baut auf einem einfachen Konzept für Austausch und Verwendung von Information in Form von Informationselementen im Rahmen elementarer Interaktionen zwischen Basissystem und Systemerweiterungen auf. Sie ist zum größten Teil abhängig vom Mehrwertdienst, beinhaltet jedoch auch eine Verknüpfung zum Basissystem, weshalb dieser Schritt in Abb. 4.1 je einen dem Basissystem und der Systemerweiterung zugehörigen Bereich besitzt, wobei der letztere deutlich umfangreicher ist. Die statische Verifikation des Modells erfolgt durch Anwendung einfach überprüfbarer Kriterien. Die dynamische Verifikation erfordert eine Kombination mit den Ergebnissen des Ablauf-Teilaspektes. Dazu werden die elementaren Interaktionen, die den Informationsfluss ausmachen, in das Ablaufskelett eingefügt. Überprüft werden Kriterien, die im Wesentlichen auf der Korrektheit oder Fehlerhaftigkeit bestimmter Reihenfolgen von Interaktionen beruhen. Die eben für den Teilaspekt des Informationsflusses beschriebene Vorgehensweise wird analog auch für die Ressourcenverwendung eingesetzt.

Der zweite wesentliche Schritt, der beim Beschreiten eines Isolationsansatzes erforderlich ist, stellt die Integration und Aufbereitung der Ergebnisse aus den Untersuchungen der Teilaspekte des Systems dar. Für die praktische Verwendbarkeit einer derartigen Methodik ist dies eine wichtige Voraussetzung.

4.1.3 Organisatorische Rahmenbedingungen

Systemarchitekturen, die die Ergänzung eines Basisdienstes durch Mehrwertdienste unterstützen, werden mit dem Ziel gestaltet, dass diese Mehrwertdienste unabhängig voneinander von unterschiedlichen Organisationen entwickelt werden können. Dadurch ergeben sich wichtige Konsequenzen:

- Die Untersuchung von Mehrwertdiensten auf ihre Wechselwirkungen kann i. d. R. nicht durch den Dienstentwickler selbst erfolgen, da dieser nicht über Beschreibungen aller Mehrwertdienste verfügt. Stattdessen muss sie von dritter Stelle, also einem Dienstintegrator (engl. *service integrator*) oder sogar von einem unabhängigen Vermittler² (engl. *service mediator*) durchgeführt werden [145].
- Die Untersuchungen sollten ohne die Kenntnis von internen Realisierungsdetails der Mehrwertdienste, d. h. nur durch Wissen über das Verhalten des Dienstes an

²Der Vermittler kommt dann zum Einsatz, wenn Dienste unterschiedlicher Dienstanbieter betroffen sind und daher ein Ausgleich ihrer Interessen erforderlich ist.

seinen Schnittstellen möglich sein. Dadurch wird die Herausgabe von u. U. vertraulichen Details der Dienstrealisierung vermieden; die Ableitung eines gewissen Maßes an Information aus dem Schnittstellenverhalten wird sich jedoch kaum vermeiden lassen.

Eine Mehrwertdienstbeschreibung sollte also nur das wechselwirkungsrelevante Verhalten an den Schnittstellen der Mehrwertdienste enthalten und auf diese Weise eine Untersuchung auf Wechselwirkungen ohne Kenntnis von Dienstinterna ermöglichen.

4.2 Topologische Modellierung

Telekommunikationsdienste zeichnen sich durch eine charakteristische Struktur der Verbindungen zwischen den verschiedenen, an einem Mehrwertdienst beteiligten Parteien aus. Diese *Verbindungstopologie* stellt einen nützlichen Rahmen für die Beschreibung dieser Dienste dar. Ausgangspunkt ist die Beziehung zwischen zwei Parteien im Rahmen einer einfachen Verbindung, wie sie beispielsweise durch den Basisdienst in einem Telefonnetz unterstützt wird. Komplexere Mehrwertdienste erweitern diesen Basisdienst jedoch und erzeugen Topologien, die über diese Beziehung zwischen zwei Kommunikationspartnern hinausgehen: die dabei vorkommenden Grundstrukturen sind *Verkettungen* von Verbindungen, bei denen die nicht an den Endpunkten befindlichen Parteien nicht an der Kommunikation teilnehmen³ und *Verzweigungen* von Verbindungen, bei denen mehr als zwei Kommunikationspartner aktiv an einer Kommunikationsbeziehung teilnehmen können⁴. Auch Verbindungen zwischen mehr als zwei Parteien sind prinzipiell beschreibbar, obwohl diese in heute im Einsatz befindlichen Netzen noch nicht ohne technische Zusatzeinrichtungen (z. B. sogenannte Konferenzbrücken) bereitstellbar sind.

4.2.1 Begriffe und Definitionen

Um über topologische Eigenschaften von Kommunikationsbeziehungen Aussagen machen zu können, werden zunächst zwei grundlegende Begriffe eingeführt und definiert, die *Endinstanz* und der *Verbindungspunkt*. Diese Begriffe sind unabhängig von der verwendeten Kommunikationstechnologie.

Definition 4.1 (Endinstanz): Eine *Endinstanz* e ist eine Instanz eines möglichen Endpunktes in einer Kommunikationsbeziehung. Bei klassischen Telefondiensten wird sie typischerweise durch die Teilnehmer repräsentiert, und zwar auch durch solche, die nicht als aktive Kommunikationspartner im Rahmen einer Rufbeziehung beteiligt sind⁵. Es ist auch möglich, dass besondere Netzknoten als Endinstanzen in Erscheinung treten.

Definition 4.2 (Verbindungspunkt): Ein *Verbindungspunkt* v stellt eine direkte Beziehung zwischen zwei oder mehr als zwei Endinstanzen her. Die Beziehung zwischen einem Verbindungspunkt und einer Endinstanz wird als *Verbindungszweig* bezeichnet.

Definition 4.3 (Topologie einer Kommunikationsbeziehung): Die *Topologie einer Kommunikationsbeziehung* t lässt sich als Tupel aus der Menge der Endinstanzen $E = \{e_1, \dots, e_n\}$ und der Menge der Verbindungspunkte $V = \{v_1, \dots, v_m\}$ darstellen.

³Derartige Verbindungstopologien treten typischerweise bei Diensten wie der Anrufumleitung auf.

⁴Derartige Verbindungstopologien treten bei Diensten wie Makeln oder Dreierkonferenz auf.

⁵Solche Teilnehmer werden als Stellvertreter (engl. *surrogate*) bezeichnet. Ein Beispiel dafür ist der umleitende Teilnehmer beim Mehrwertdienst der Anrufumleitung, der nicht als kommunizierender Partner beteiligt ist.

In Abb. 4.2 werden diese Begriffe im Rahmen des Mehrwertdienstes einer Anrufumleitung illustriert. Der erste Teilnehmer – repräsentiert durch die Endinstanz e_1 – ruft einen zweiten Teilnehmer e_2 , der wiederum den Ruf an einen dritten Teilnehmer e_3 weiterleitet.

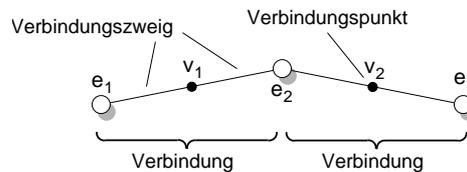


Abbildung 4.2: Beispiel für die Topologie einer Kommunikationsbeziehung an Hand des topologischen Modells einer Anrufumleitung.

Mit den oben definierten Begriffen lässt sich diese Topologie t_{CF} der Anrufumleitung (engl. *call forwarding*, *CF*) darstellen als

$$t_{CF} = (E, V)$$

mit

$$E = \{e_1, e_2, e_3\} \quad \text{und} \quad V = \{v_1, v_2\},$$

wobei die Verbindungspunkte v_1, v_2 durch die von ihnen verbundenen Endinstanzen beschrieben werden, also

$$v_1 = \{e_1, e_2\} \quad \text{und} \quad v_2 = \{e_2, e_3\}.$$

Typische Telefondienste lassen sich durch genau eine derartige Topologie beschreiben (wie die als Beispiel benutzte Anrufumleitung). Prinzipiell können Dienste jedoch auch mehrere unterschiedliche Topologien zu ihrer Beschreibung erfordern, die entweder mögliche Varianten des Dienstablaufes oder aber mögliche aufeinanderfolgende Phasen der Kommunikationsbeziehung beschreiben.

Es muss an dieser Stelle betont werden, dass zu einer detaillierten Beschreibung einer Verbindungstopologie die Endinstanzen und Verbindungspunkte noch zusätzliche Attribute erfordern, wie z. B. die Information, welcher Verbindungszweig die rufende und welcher die gerufene Seite einer Verbindung repräsentiert. Diese zusätzlichen Attribute sind i. d. R. abhängig von den Netztechnologie, die den beschriebenen Telekommunikationsdiensten zu Grunde liegen.

4.2.2 Bildung von Konfigurationen

Eine formale Endinstanz dient als ein Platzhalter innerhalb der Verbindungstopologie einer Kommunikationsbeziehung, der mit konkreten Endinstanzen belegt werden kann. Belegt man alle formalen Endinstanzen der Topologie einer Kommunikationsbeziehung mit konkreten Endinstanzen, erhält man eine *Konfiguration*.

Geht man im Beispiel der Anrufumleitung mit ihren drei Endinstanzen von einer Menge von nur zehn möglichen konkreten Endinstanzen, d. h. hier also zehn unterschiedlichen Teilnehmern aus, die prinzipiell jeder der formalen Endinstanzen zugeordnet werden können, so lassen sich daraus bereits $10^3 = 1000$ unterschiedliche Konfigurationen bilden, wenn man voraussetzt, dass eine konkrete Endinstanz auch gleichzeitig die Rollen mehrerer formaler Endinstanzen ausfüllen darf und dass die zehn konkreten Endinstanzen *gleichartig* (also gegenseitig austauschbar) sind. Diese Gleichartigkeit führt jedoch auch dazu, dass viele Konfigurationen topologisch gleichwertig sind. Allgemein werden zwei

Konfigurationen als *topologisch gleichwertig* betrachtet, wenn für alle möglichen Paare von formalen Endinstanzen gilt: sind die einem Paar von formalen Endinstanzen zugeordneten konkreten Endinstanzen der einen Konfiguration gleich, gilt dies auch für die der anderen Konfiguration, und entsprechend auch für Ungleichheit. Diese Eigenschaft bezeichnet man auch als *Permutationssymmetrie*, siehe auch die Definition in Anhang A. Zwei Konfigurationen sind als *topologisch unterschiedlich* genau dann definiert, wenn sie nicht topologisch gleichwertig sind. Es gibt beispielsweise für die hier betrachtete Verbindungstopologie $10 \cdot 9 \cdot 8 = 720$ Konfigurationen, bei denen allen formalen Endinstanzen unterschiedliche konkrete Endinstanzen zugeordnet werden. All diese 720 Konfigurationen sind permutationssymmetrisch, also topologisch gleichwertig. Reduziert man die Anzahl von Konfigurationen so, dass nur noch topologisch unterschiedliche betrachtet werden, bleiben im hier betrachteten Beispiel lediglich 5 Konfigurationen übrig. Diese sind zur Illustration in Abb. 4.3 aufgeführt. Mehr zu dieser Thematik ist in Anhang A zu finden.

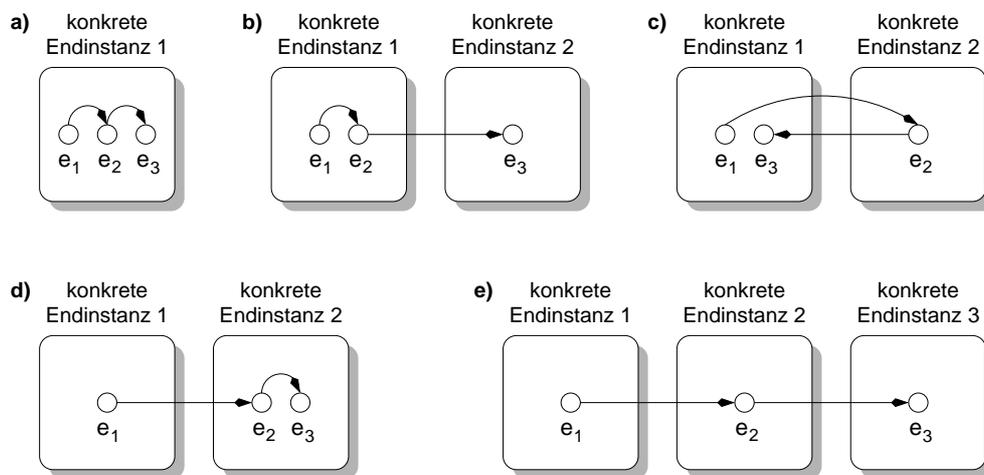


Abbildung 4.3: Topologisch unterschiedliche Konfigurationen für die Topologie der Anrufumleitung mit 3 formalen Endinstanzen

4.2.3 Einschränkung der Anzahl von Konfigurationen

Prinzipiell lassen sich die ermittelten topologisch unterschiedlichen Konfigurationen in die in Abb. 4.4 dargestellte Hierarchie einteilen.

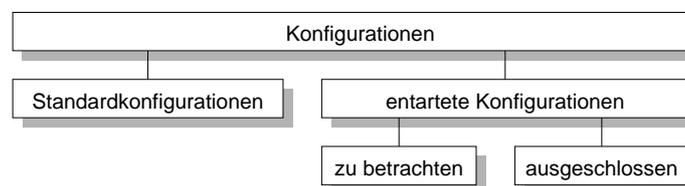


Abbildung 4.4: Hierarchie topologisch unterschiedlicher Konfigurationen

Eine *Standardkonfiguration* ist dadurch gekennzeichnet, dass keine konkrete Endinstanz zwei oder mehr formalen Endinstanzen gleichzeitig zugeordnet ist. Mehrere topologisch unterschiedliche Standardkonfigurationen für einen Dienst sind folglich nicht möglich, sondern jeweils nur genau eine. Für das Beispiel in Abb. 4.3 ist dies die Konfiguration (e). Alle übrigen Konfigurationen sind *entartet*, d. h. es gibt mindestens eine konkrete

Endinstanz, die zwei oder mehr formalen Endinstanzen gleichzeitig zugeordnet ist. Bestimmte derartige entartete Konfigurationen können mittels expliziter Zusatzbedingungen *ausgeschlossen* werden, was die Gesamtanzahl zu betrachtender Konfigurationen reduziert.

4.2.4 Verwendung des topologischen Modells als Rahmen für die weitere Modellierung

Das topologische Modell stellt eine Beschreibung für den vom Wirken einer Mehrwertdienstinstanz betroffenen Bereich dar. Umgekehrt heißt dies auch, dass außerhalb dieses Bereiches keine durch diese Mehrwertdienstinstanz verursachten Einflüsse vorliegen – dies allerdings lediglich unter der Grundannahme, dass im betrachteten System nur diese einzige Mehrwertdienstinstanz aktiv ist. Auf diese Weise bildet das topologische Modell für einen Mehrwertdienst einen natürlichen Rahmen für die weiteren Modellierungsschritte.

Eine herausragende Stellung unter diesen weiteren Schritten nimmt die Modellierung des Ablaufs des Mehrwertdienstes (in Verbindung mit dem zu Grunde liegenden Basisdienst) ein. Für eine einzelne Verbindung kann hier ein detailliertes formales Modell auf der Ebene der von den beteiligten Funktionseinheiten ausgetauschten Informationsflüssen erstellt werden, das gleichzeitig eine formale Verifikation aufbauend auf einer Erreichbarkeitsanalyse erlaubt. Die Kombination mehrerer Verbindungen führt bei der Verifikation zu einem extremen Anstieg der Zustandsraumgröße, weshalb hier lediglich ein deutlich größeres, nicht formales Modell verwendet wird (Abschnitt 4.3).

Die Modellierung des Informationsflusses erfolgt selektiv, da lediglich die Beeinflussung von Rufvariablen durch die Mehrwertdienste betrachtet wird (Abschnitt 4.4). Ähnlich wird auch bei der Modellierung von Ressourcen vorgegangen (Abschnitt 4.5). Eine große Aussagekraft für die Erkennung von Wechselwirkungen zwischen Mehrwertdiensten bekommen die beiden letztgenannten Bereiche durch die Verbindung mit dem formalen Modell des Ablaufs.

4.3 Ablaufverhalten

Mehrwertdienste stellen funktionale Erweiterungen eines Basisdienstes dar. Eine wesentliche Eigenschaft von Mehrwertdiensten besteht in ihrer Fähigkeit, den Ablauf des Basisdienstes zu beeinflussen. Im Intelligenten Netz reichen diese Fähigkeiten von der einfachen Unterbrechung und anschließenden Wiederaufnahme der Rufbearbeitung bis hin zur Fortsetzung der Rufbearbeitung an anderer Stelle, also der Möglichkeit zum Überspringen bzw. Wiederholen bestimmter Phasen. Im CS-1 [268, Annex B] werden die derartigen Möglichkeiten in der formalen Beschreibungssprache SDL-GR dargestellt, allerdings in einer sehr wenig detaillierten Weise. Die Empfehlungen zum CS-2 dokumentieren diese Möglichkeiten genauer, sowohl in Zustandsübergangsdiagrammen für Rufzustandsmodelle und in Tabellenform [273] als auch in SDL-GR [274].

Die Möglichkeit, den Ablauf der Rufzustandsmodelle zu ändern, erlaubt es einem Mehrwertdienst, erheblichen Einfluss darauf zu nehmen, ob und wann bestimmte Erkennungspunkte erreicht werden. Dies kann natürlich auch die Ausführung anderer Dienste betreffen. Um Wechselwirkungen dieser Art erkennen zu können, ist Wissen über alle möglichen Ausführungspfade eines Dienstes erforderlich. Die naheliegende Möglichkeit, dies durch die Aufzeichnung von Spuren (engl. *trace*) der Ausführung der Dienste im

realen oder simulierten System zu erreichen, ist wegen des dazu zu investierenden Aufwandes (ausführbare Implementierung des Dienstes, systematisches und vollständiges Ermitteln und Durchspielen aller möglichen Ausführungsalternativen) nicht praktikabel. Ein Modell des Gesamtsystems in einer formalen Beschreibungssprache und die Anwendung von Verfahren der formalen Verifikation könnte zwar prinzipiell dasselbe Ergebnis erzielen, scheitert jedoch in der Regel auf Grund des bei problemangemessener Granularität großen Umfanges und der dadurch nicht mehr durchführbaren Verifikation. In diesem Abschnitt wird daher ein formales *Teilmodell* für die Ruf- und Dienstbearbeitung für den beschränkten Bereich eines Paares aus rufender und gerufener Endinstanz mit Rufzustandsmodellen basierend auf dem CS-2 des Intelligenten Netzes [273] entwickelt.

4.3.1 Formale Beschreibung des Ablaufverhaltens

4.3.1.1 Anforderungen

Die Verwendung formaler Beschreibungstechniken zur Modellierung von Systemen hat sich im vergangenen Jahrzehnt aus der Theorie heraus zu einer praktisch eingesetzten Arbeitstechnik im Repertoire ingenieurwissenschaftlicher Methoden entwickelt. Diese Entwicklung wurde hauptsächlich durch die Verbreitung leistungsstarker Arbeitsplatzrechner und komfortabler Entwicklungsumgebungen getrieben.

Die formale Beschreibung von Mehrwertdiensten und ihres zugrundeliegenden Basisdienstes mit dem Ziel der Verwendbarkeit für die Verifikation muss einige Voraussetzungen erfüllen: Sie muss modular und erweiterbar aufgebaut sein, um problemlos neue Mehrwertdienste realisieren und hinzufügen zu können. Die Struktur der Spezifikation soll der Struktur des modellierten realen Systems entsprechen, um Validierbarkeit und Nachvollziehbarkeit und damit letztendlich auch die Akzeptanz zu gewährleisten. Der Detaillierungsgrad muss einerseits hoch genug sein, um das interessierende Verhalten des realen Systems ausreichend genau nachzubilden, andererseits jedoch auch gering genug sein, um die Verifizierbarkeit sicherstellen zu können.

Besonderes Augenmerk muss für die hier diskutierte Anwendung auf der Art und Weise liegen, wie ein neuer Dienst in den Rahmen dieses Systemmodells eingegliedert werden kann, da dies letztlich über die praktische Verwendbarkeit des Modells entscheidet.

4.3.1.2 Auswahl der formalen Beschreibungstechnik

Von den ursprünglich drei im Umfeld der Standardisierungsarbeiten des ISO/OSI-Basisreferenzmodells entstandenen standardisierten Beschreibungssprachen ESTELLE [249], LOTOS [247] und SDL [284] hat lediglich die letztgenannte weitreichende Verbreitung in der industriellen Praxis gefunden. Dies ist hauptsächlich auf die vorhandene grafische Notation SDL-GR zurückzuführen, die der textuellen Repräsentation SDL-PR bezüglich des beschriebenen Verhaltens eines Systems gleichwertig ist, dieses jedoch in intuitiv verständlicher und anschaulicher Weise darzustellen vermag. Die Sprache beruht auf dem Konzept des erweiterten endlichen Automaten, welches im technischen Bereich etabliert ist. Insbesondere ist eine Umsetzung in ausführbare Programme relativ einfach und ohne Umwege realisierbar, was die besondere Eignung für die schnelle Realisierung von Prototypen (engl. *rapid prototyping*) bedingt. Umfangreiche kommerzielle Werkzeugpakete⁶ stehen zu diesem Zweck zur Verfügung. Für den Einsatz formaler Verifikationstechniken ist SDL jedoch durch einige Eigenschaften wie die fehlende formale

⁶z. B. *SDT (SDL Design Toolkit)* der schwedischen Firma Telelogic AB, <http://www.telelogic.com>, oder *ObjectGEODE* der französischen Firma Verilog S.A., <http://www.verilog.fr>. (Die Firma Verilog wurde im Dezember 1999 von Telelogic übernommen.)

Semantik [35] und sehr große Zustandsräume (verursacht durch prinzipiell beliebig lange Signalwarteschlangen der einzelnen Prozesse) weniger geeignet.

Die Sprache ESTELLE beruht ebenfalls auf erweiterten endlichen Automaten. Ihr Standard ISO 9074 [249] wurde jedoch 1997 zurückgezogen; mittlerweile besitzt diese Sprache nur noch im akademischen Bereich nennenswerte Verbreitung.

Durch ihre feste theoretische Verankerung in der Prozessalgebra (R. Milners *Calculus of Communicating Systems* [175, 176]) und die Verfügbarkeit leistungsfähiger Entwicklungswerkzeuge⁷ bietet die Sprache LOTOS in Bereichen Vorteile, wo die Verifikation von Systemen im Vordergrund steht. Im Gegensatz zu den Sprachen SDL und ESTELLE, bei denen das interne Verhalten von Prozessen mittels erweiterter endlicher Automaten modelliert wird, beschreibt LOTOS nur das von außen beobachtbare Verhalten von Prozessen und erreicht dadurch einen höheren Abstraktionsgrad. Durch Verknüpfung und Verschachtelung von Prozessen lassen sich auch komplexe Systeme beschreiben. Gravierende Nachteile sind die gewöhnungsbedürftige Syntax, der etwas umständliche Umgang mit Daten und eine Tendenz zur Unübersichtlichkeit der Spezifikation bei größeren Systemen. Gegenwärtig wird an einer Erweiterung der Sprache E-LOTOS (Extended LOTOS) gearbeitet, die hauptsächlich diese Nachteile ausräumen soll [92].

Die besondere Eignung von LOTOS für die Verifikation von Systemen und die Fähigkeit dieser Sprache, von internen Abläufen von Systemteilen zu abstrahieren und nur das nach außen sichtbare Verhalten zu beschreiben, haben die Entscheidung für diese Sprache zur Modellierung des Ablaufverhaltens eines Systems maßgeblich beeinflusst. Eine kurze Einführung in die Grundkonzepte von LOTOS ist im Anhang B.1 zu finden.

4.3.1.3 Modellierungsebene

Die Ebene der Systemarchitektur, auf der die hier durchgeführten Untersuchungen gründen, erstreckt sich über die Globale und die Verteilte Funktionale Abstraktionsebene im konzeptionellen Modell des IN (siehe Abb. 2.7).

Die Globale Funktionale Abstraktionsebene bietet eine Plattform zur Beschreibung des Wechselspiels eines einzelnen Dienstes mit einer als monolithisch angesehenen Rufbearbeitung. Es stehen keine Beschreibungsmittel zur Verfügung, die es erlauben, weitere Dienstinstanzen mit derselben Rufbearbeitung zu kombinieren.

Die Verteilte Funktionale Abstraktionsebene macht derartige Mechanismen transparent, indem dort der Hauptmechanismus für die Wechselbeziehung zwischen Rufbearbeitung und Dienst bzw. Diensten beschrieben wird, der in den Erkennungspunkten (engl. *detection point*) besteht, die als Dienstauslöser und zur Ereigniserkennung herangezogen werden. Dieser Mechanismus spielt eine entscheidende Rolle für die Wirkung eines Dienstes auf den Ablauf der Rufbearbeitung und ist daher die adäquate Beschreibungsebene für dieses Verhalten. In dieser Arbeit wird daher die Verteilte Funktionale Abstraktionsebene als Modellierungsebene gewählt.

4.3.1.4 Identifikation und Isolation relevanter Systemteile

Der bestimmende Mechanismus für das Zusammenwirken von Basisdienst und Mehrwertdiensten ist das Wechselspiel zwischen dem Auftreten von Erkennungspunkten, der darauf folgenden Reaktion des Mehrwertdienstes und schließlich der Umsetzung der

⁷z.B. das CADP (CESAR/ALDÉBARAN Development Package) [82] vom französischen Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique (INRIA), <http://www.inria.fr>.

durch den Dienst erfolgenden Anweisungen zur Fortsetzung des Basisdienstes. Die Identifikation und Abgrenzung der daran beteiligten Funktionsblöcke ist die wesentliche Vorbedingung für deren anschließende Modellierung. Dabei ist besonders die Unterscheidung von Instanzen, die funktional an der Erbringung von Diensten beteiligt sind von solchen, die lediglich der statischen Auswahl von Funktionalität dienen, bedeutsam für die Erstellung eines möglichst schlanken funktionalen Modells. Während erstere für das Systemverhalten bestimmend sind, können letztere auch durch Konfigurationseinstellungen nachgebildet werden, was letztlich das Systemmodell ohne Einbußen an Präzision kompakt hält.

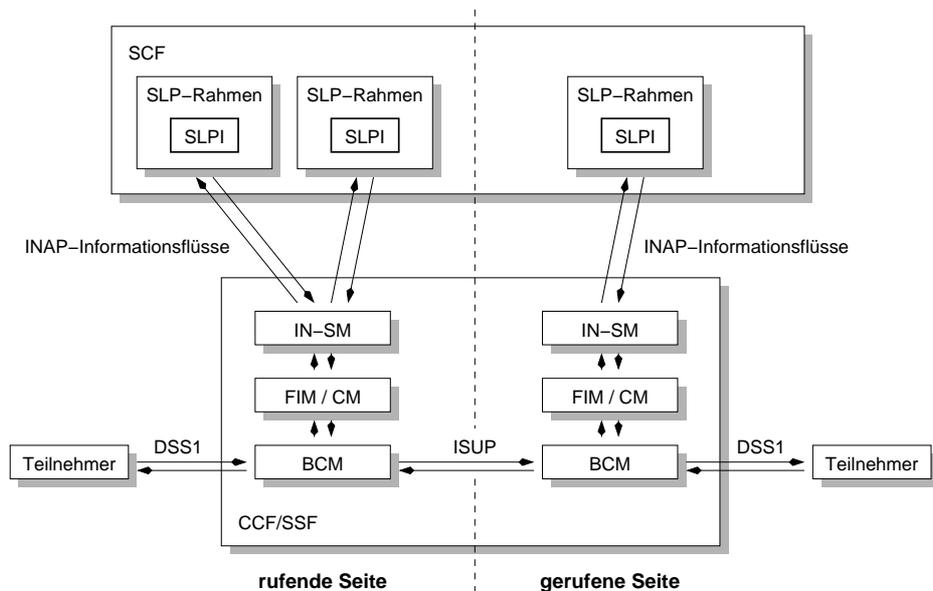
Im Intelligenten Netz auf der Verteilten Funktionalen Abstraktionsebene beruht der Kern der Dienstfunktionalität auf dem Wechselspiel zwischen Rufsteuerungsfunktion/Dienstzugangssteuerung (*CCF/SSF*) und Dienststeuerfunktion (*SCF*). Die dabei auftretenden Informationsflüsse lassen sich direkt auf INAP-Operationen der Physikalischen Abstraktionsebene abbilden.

Die wesentlichen funktionalen Gruppen von Rufsteuerungsfunktion und Dienstzugangssteuerung wurden bereits in Abschnitt 2.3.6 eingeführt (siehe auch Abb. 2.12). Dabei stellen die Steuerung des Übertragungsdienstes (*bearer control*) und die Zugangsverwaltung zur Dienststeuerungsfunktion (*SCF Access Manager*) lediglich Schnittstellenfunktionen zur Verfügung, sind also für die eigentliche Funktionalität und damit für ein funktionales Systemmodell vernachlässigbar. Die übrigen funktionalen Gruppen, also Basisrufverwaltung (*BCM*), Wechselwirkungs- und Rufverwaltung (*FIM/CM*) sowie Verbindungszustandsverwaltung (*IN-SM*) können Einfluss auf den Ablauf der Rufbearbeitung nehmen, erbringen damit echte Dienstfunktionalität und müssen bei der Modellierung des Rufsteuerungs- und Dienstzugangssteuerungskomplexes berücksichtigt werden.

Die funktionalen Gruppen im Modell der Dienststeuerfunktion des CS-2 (siehe auch Abb. 2.17) erfüllen überwiegend Aufgaben wie Auswahl, Adressierung und Zugriff. Von den Gruppen innerhalb der Dienstlogikausführungsverwaltung (*Service Logic Execution Manager, SLEM*) sind lediglich die Dienstlogikprozessinstanzen (*Service Logic Program Instances, SLPI*) für die Erbringung von Dienstfunktionalität relevant. Die übrigen Funktionsblöcke erbringen ebenfalls Auswahl- und Zugriffsfunktionen. Auch die Funktionsblöcke außerhalb der Dienstausführungsverwaltung haben lediglich die Aufgabe, Datenzugriffe zu verwalten (Datenverwaltung der Dienststeuerfunktion), Zugriffe auf andere Funktionale Einheiten zu ermöglichen, die Einbringung und Verwaltung von Grundfunktionen und Dienstlogik zu realisieren und sicheren wechselseitigen Zugriff über das Netz zu gewährleisten (Sicherheitsverwaltung). Sie können damit für die Modellierung der Kernfunktionalität vernachlässigt werden.

Neben der Kommunikation zwischen Dienstzugangssteuerung und Dienststeuerfunktion ist auch der Informationsaustausch zwischen der Rufsteuerungsfunktion und dem zugeordneten Teilnehmer sowie der Austausch zwischen mehreren Rufsteuerungsfunktionsinstanzen relevant. Die dabei vorkommenden Informationsflüsse werden in der Physikalischen Abstraktionsebene durch die vom Teilnehmersignalisierungsprotokoll DSS1 (*Digital Subscriber Signalling No. 1*) [283] und dem Zwischenamtssignalisierungsprotokoll ISUP [282] bereitgestellten Mechanismen realisiert.

Die vorgestellten modellierungsrelevanten Systemteile in der Übersicht führen zu einem schematischen Systemmodell, wie es in Abb. 4.5 für eine einzelne Verbindung dargestellt ist. Auf die rufende Seite wirken in dieser Abbildung zwei Mehrwertdienste, auf die gerufene Seite einer.



BCM	Basic Call Model	ISUP	ISDN User Part
CCF	Call Control Function	SCF	Service Control Function
DSS1	Digital Subscriber Signalling 1	SLP	Service Logic processing Program
FIM / CM	Feature Interaction Manager / Call Manager	SLPI	SLP Instance
INAP	Intelligent Network Application Part	SSF	Service Switching Function
IN-SM	IN Switching Manager		

Abbildung 4.5: Für die Analyse des Ablaufs innerhalb einer Verbindung angepasstes vereinfachtes Systemmodell

4.3.1.5 Modellierung von Rufsteuerungsfunktion und Dienstzugangssteuerung in LOTOS

4.3.1.5.1 Die Basisrufverwaltung

Den wesentlichen Bestandteil der Basisrufverwaltung bilden die Rufzustandsmodelle, die aufgeteilt sind in je eines für abgehende und eines für ankommende Rufe. Rufzustände und Erkennungspunkte sind die Grundbausteine eines Rufzustandsmodells. Die Übergänge in diesem Modell werden durch Ereignisse auf der Seite des zugeordneten Teilnehmers und auf der Seite des zugeordneten Rufzustandsmodells angestoßen. Darüber hinaus können Anstöße auch durch netzbedingte Ereignisse erfolgen, die nicht durch die Benutzer beeinflussbar sind. Schließlich ist natürlich auch die Einflussnahme von Diensten zu berücksichtigen.

Die Beschreibung der Rufzustandsmodelle als Zustandsübergangsdiagramme legt die Benutzung eines *zustandsorientierten Spezifikationsstils* [228] nahe. Hier werden die Zustände und Zustandsübergänge des zu modellierenden Systems in sehr unmittelbarer Weise in LOTOS-Prozesse und direkt oder indirekt rekursive Prozessaufrufe abgebildet. Jeder Prozess repräsentiert dabei einen Zustand, jeder darin auftretende rekursive Prozessaufruf den Übergang in einen anderen Zustand. Die Struktur des modellierten Automaten bleibt bei der Verwendung eines derartigen Spezifikationsstils klar erkennbar.

Bei den Erkennungspunkten wird zwischen Dienstauslösung und Ereigniserkennung unterschieden. Auf eine explizite Unterscheidung zwischen Anforderung und Mitteilung wird verzichtet, da diese den Umfang des Systemmodells bedeutend erhöhen würde. Ei-

ne Mitteilung kann jedoch problemlos⁸ durch eine Anforderung mit sofortiger neutraler Reaktion, also unveränderter Fortsetzung der Ausführung, nachgebildet werden.

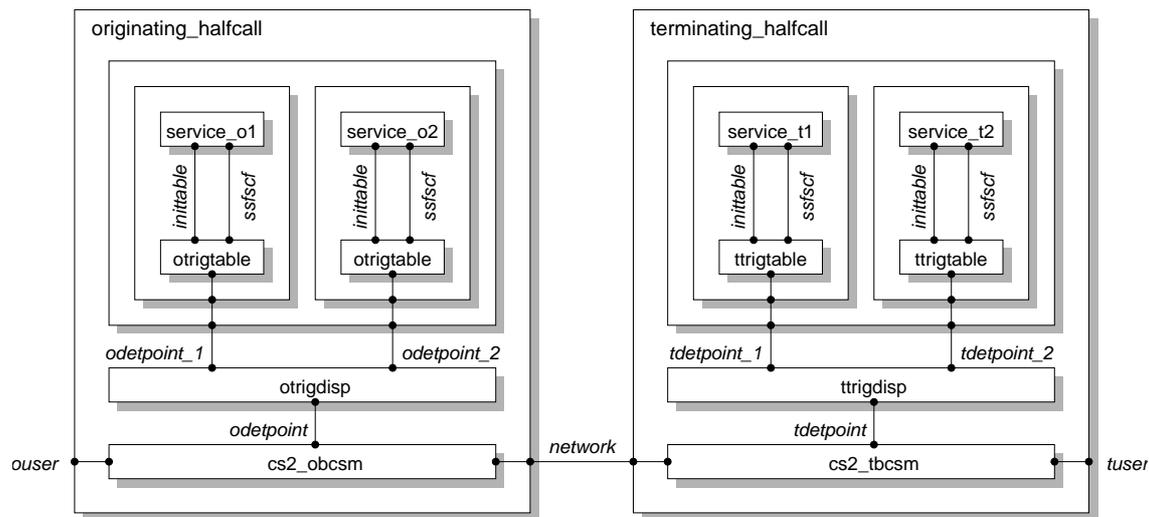


Abbildung 4.6: Systemmodell in LOTOS

Die beschriebenen Funktionen werden in dem in Abb. 4.6 dargestellten Systemmodell von den LOTOS-Prozessen *cs2_obcsm/cs2_tbcsm*, *otrigdisp/ttrigdisp* und teilweise von *otrigtable/ttrigtable* erbracht. Die Spezifikation des Basisdienstes ohne Mehrwertdienste umfasst etwa 3000 LOTOS-Zeilen⁹.

4.3.1.5.2 Die Wechselwirkungs- und Rufverwaltung

Die Funktionen der Wechselwirkungs- und Rufverwaltung (*Feature Interaction Manager/Call Manager, FIM/CM*) liegen im Bereich der Koordination und Auswahl von Ereignissen, in der Auswahl und Adressierung von Dienstlogikinstanzen und in der Einschränkung der Aktivierung von unerwünscht wechselwirkenden Diensten mit Hilfe extern verwaltbarer Ausschlusstabellen. Die konkrete Realisierung solcher Mechanismen wird in Q.1224 [273] nur grob skizziert. Die Modellierung eines FIM/CM ist in dieser Form für ein Systemmodell, das der Erkennung von Wechselwirkungen zwischen Diensten dienen soll, kaum sinnvoll, da der durch ihn realisierte Mechanismus einer allgemeinen Einschränkung (siehe Tab. 3.3) erst durch eine voran gegangene Wechselwirkungserkennung konfiguriert wird; dessen Realisierung stellt damit praktisch eine Auswahl bzw. einen Ausschluss bestimmter Dienstkombinationen dar, was Ergebnisse des eigentlichen Erkennungsprozesses vorwegnimmt. Auch die Ereignisauswahlmechanismen werden vorzugsweise auf Grund der Ergebnisse einer Wechselwirkungserkennung konfiguriert, es ergibt sich also dieselbe Problematik.

Aus diesen Gründen wurde bei der Modellierung dieser Funktion ein Weg eingeschlagen, der der spezifischen Aufgabe der Erkennung von Wechselwirkungen angepasst ist und die Möglichkeiten der Kombination von Diensten auch in unterschiedlichen Ausführungsreihenfolgen zulässt. Die Dienste können dabei in vorher festgelegter oder in

⁸Lediglich das Zeitverhalten wird durch diese Art der Nachbildung von Mitteilungen verändert, was jedoch im LOTOS-Modell nicht untersucht wird. Die in einem realen System darüber hinaus aus dieser Erkennungspunktstruktur abgeleitete Information der Steuer- und Beobachtungsbeziehungen (*control* und *monitor relationship*) wird hier nicht nachgebildet, da sie die Aktivierung mehrerer Dienste verhindern und auf diese Weise die Existenz möglicher Wechselwirkungen verschleiern kann.

⁹Die Zählung erfolgte vor dem Einsatz des Präprozessors (siehe Anhang B).

beliebiger Reihenfolge ausgelöst werden, was der Erkennung von reihenfolgeabhängigen Problemen dienlich ist. Die geforderte Vorrangbeziehung zwischen Ereigniserkennung und Dienstauslösung bleibt dabei erhalten. Diese Funktionen werden in Abb. 4.6 teilweise von den Prozessen otrigdisp/ttrigdisp und teilweise von otrigtable/ttrigtable erbracht.

4.3.1.5.3 Die Verbindungszustandsverwaltung

Die Verbindungszustandssicht (*Connection State Model, CSM*) ist eine den Rufzustandsmodellen übergeordnete Sichtweise. Sie modelliert die Konnektivität eines Rufes und ist insbesondere zur Beschreibung von Konfigurationen sehr nützlich, in denen ein Teilnehmer gleichzeitig Rufbeziehungen zu mehreren anderen Teilnehmern unterhält, also z. B. ein gerade aktiver Ruf und ein wartender Ruf beim Dienstmerkmal Anklopfen.

Eine Integration dieses Modells in die LOTOS-Beschreibung ist prinzipiell möglich, erfordert jedoch eine erhebliche Verfeinerung des in Q.1224 [273] beschriebenen Modells der Verbindungszustandssicht, um auf eine den Rufzustandsmodellen vergleichbare Granularität zu kommen. Die Möglichkeit zum Einsatz von Zustandsaufzählungstechniken geht bei einem derartigen Modell allerdings verloren. Ursache dafür ist die „Explosion“ des Zustandsraumes, die durch die nur lose gekoppelte parallele Komposition von verbundenen Instanzen von Rufzustandsmodellen in Szenarien wie dem Dienstmerkmal Anklopfen entsteht, was die Anzahl der erreichbaren Zustände annähernd potenziert. Auch durch zwischengeschaltete Minimierungsschritte ist hier nur wenig zu erreichen, da diese Explosion wegen einer realen Vergrößerung des Zustandsraumes und nicht durch künstlich entstandene redundante Zwischenzustände zustandekommt.

Aus diesem Grund beschränkt sich die formale Modellierung auf die Ebene der einzelnen Verbindung, also auf gekoppelte Instanzen von Rufzustandsmodellen. Die verbindungsübergreifenden Aspekte werden durch eine im Wesentlichen statische Betrachtung im Rahmen der topologischen Modellierung abgedeckt. In dem in Abb. 4.6 dargestellten Systemmodell sind daher keine Funktionen der Verbindungszustandsverwaltung dargestellt.

4.3.1.6 Modellierung der Dienststeuerfunktion in LOTOS

Mit dem Modell der Rufsteuerungsfunktion und Dienstzugangssteuerung steht ein Modell für den Basisdienst zur Verfügung. Für die Ablaufmodellierung ist von Interesse, wie dieser Basisdienst durch Mehrwertdienste beeinflusst wird. Es wurde bereits dargelegt, dass diese Beeinflussung im Wesentlichen durch die Dienstlogik-Instanzen (SLPI) erfolgt; die übrigen Funktionsblöcke dienen Auswahl- und Zugriffsfunktionen. Daher lässt sich die Modellierung der Dienststeuerfunktion auf die Modellierung einer Sammlung von Mehrwertdiensten reduzieren. Die organisatorischen Rahmenbedingungen begrenzen den Detaillierungsgrad des Modells eines Mehrwertdienstes auf die zwischen ihm und dem Basisdienst beobachtbaren Abläufe; interne Realisierungseinheiten werden nicht nachgebildet.

4.3.1.6.1 Modellierung eines einzelnen Dienstes

Eine Dienstlogikinstanz beeinflusst genau eine Ruhhälfte, was beim Intelligenten Netz als das Prinzip der Einseitigkeit bezeichnet wird (engl. *single sided*). Die funktionale Kopplung zwischen Dienstlogikinstanz und der durch diese beeinflussten Ruhhälfte wird durch die Erkennungspunkte hergestellt. Für die Modellierung des Ablaufaspektes eines Mehrwertdienstes sind die wesentlichen benötigten Informationen der dienstaussendende

Erkennungspunkt, die während des Ablaufes dieses Dienstes durch ihn gesetzten Ereigniserkennungspunkte und die jeweils bei der Rückkehr von der Erkennungspunktbearbeitung möglichen Alternativen für die Fortsetzung der Rufbearbeitung. Der inhaltliche Aspekt, also die eigentlich durchgeführte Funktion des Mehrwertdienstes, ist bei dieser Modellierung kaum erkennbar, was jedoch auf Grund der organisatorischen Rahmenbedingungen einer Wechselwirkungserkennung ausgesprochen wünschenswert ist.

In Tabelle 4.1 wird das Modell für den einfachen Dienst des entgeltfreien Anrufs (*Free-phone*) vorgestellt. Dabei wird jedoch aus Gründen der Übersicht nicht die Beschreibung in LOTOS präsentiert, sondern die in diese Beschreibung einfließenden Informationen in tabellarischer Form. Der entsprechende Ausschnitt aus der LOTOS-Spezifikation ist in Anhang B.2 dargestellt.

Tabelle 4.1: Informationen einer Ablaufbeschreibung für den exemplarischen Dienst des entgeltfreien Anrufs (*Freephone*). Die Nummerierung der Erkennungspunkte bezieht sich auf das Rufzustandsmodell für abgehende Rufe in Abb. 2.13 auf Seite 24.

Originating Service <i>Freephone</i> (FRE)			
Initialisierungsphase			
<i>Erkennungspunkt</i>	<i>Initialisierung</i>		
DP O_{02}	Als Dienstauslöser vom Anforderungstyp (TDP-R) gesetzt		
Aktive Phase			
<i>Erkennungspunkt</i>	<i>Auslöser</i>	<i>mögliche Ereignissequenzen</i>	<i>Label</i>
DP O_{02}	InitialDP	RequestReportBCSMEvent ($O_{02,03,04,07,09,10,13,15}$)	1
		CollectInformation	2
		ReleaseCall	3
	EventReportBCSM	AnalyseInformation	4
		RequestReportBCSMEvent ($O_{02,03,04,07,09,10,13,15}$)	5
DP O_{03}	EventReportBCSM	ApplyCharging Connect	1
DP O_{04}	EventReportBCSM	Continue	1
DP O_{07}	EventReportBCSM	Continue	1
DP O_{09}	EventReportBCSM	Continue	1
DP O_{10}	EventReportBCSM	Continue	1
DP O_{13}	EventReportBCSM	Continue	1
DP O_{15}	EventReportBCSM	Continue	1

Der entgeltfreie Anruf wird durch den Erkennungspunkt O_{02} (*Collected Information*) auf der rufenden Seite ausgelöst. Dies erfolgt mit Hilfe der INAP-Operation für dienstauslösenden Erkennungspunkt (*InitialDP*). Für den weiteren Verlauf des Dienstes werden zunächst einige Ereigniserkennungspunkte aktiviert (*RequestReportBCSMEvent*) und dann mit der Eingabe fehlender Rufnummernziffern fortgefahren (*CollectInformation*). Alternativ kann eine Berechtigungsprüfung für die Benutzung des Dienstes auch ergeben, dass diese nicht besteht; in diesem Fall wird der Ruf abgebrochen (*ReleaseCall*). Bei Bedarf kann die Rufnummerneingabe mehrmals (im Beispiel dreimal) ergänzt werden, bis schließlich die Rufnummer vollständig ist und mit dem Rufaufbau fortgefahren werden kann (*Analyse Information*). Beim Erreichen des Erkennungspunktes O_{03} (*Analysed Information*) ist dieser Prozess abgeschlossen; der Ruf wird mit der entsprechenden Anpassung der Entgelterfassung (*ApplyCharging*) aufgebaut (*Connect*). Bevor die Verbindung hergestellt wird, wird dieses Ereignis der Dienststeuerung mitgeteilt und der Anfangszeit-

punkt für die Entgelterfassung registriert (*EventReportBCSM – Continue* bei O_{10}). Die verschiedenen Möglichkeiten des Rufabbaus oder -abbruchs werden mittels der Ereigniserkennungspunkte O_{04} , O_{07} , O_{09} , O_{13} und O_{15} überwacht (*EventReportBCSM – Continue*). Das *Label*-Feld in Tabelle 4.1 wird dazu verwendet, um gleichlautende Schlussergebnisse der möglichen Ereignissequenzen desselben Erkennungspunktes unterscheiden zu können, wie dies z. B. bei *AnalyseInformation(3)* und *AnalyseInformation(5)* auftritt. Die hier beschriebenen Ausführungsalternativen können direkt dem in Abb. 4.7 dargestellten reduzierten Erreichbarkeitsgraphen¹⁰ entnommen werden.

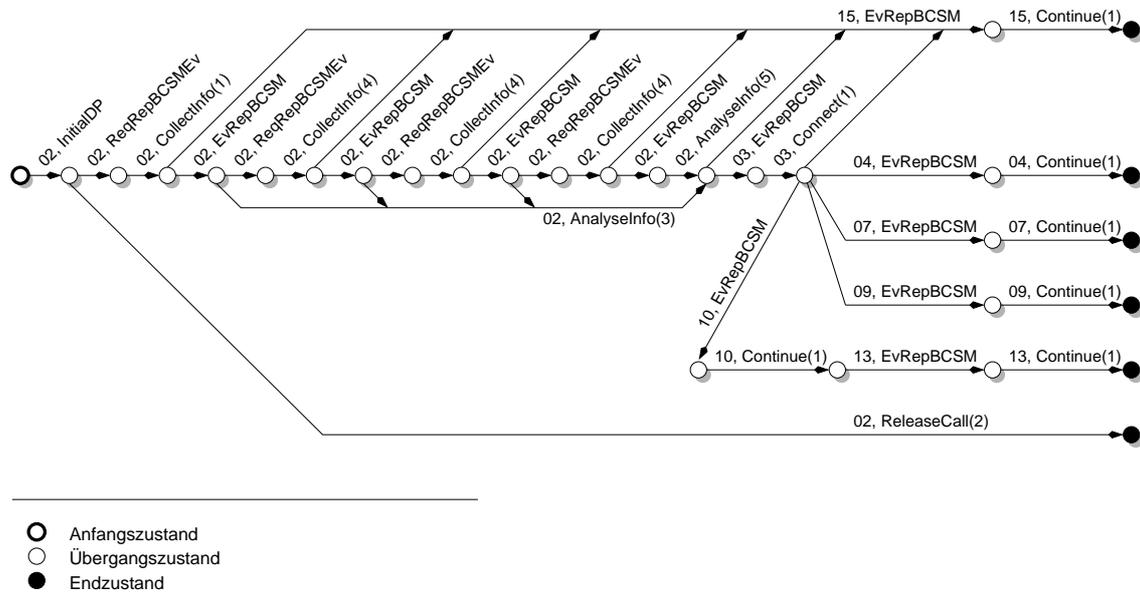


Abbildung 4.7: Aus einem Erreichbarkeitsgraphen für das Gesamtsystem durch Reduktion gewonnener Graph für den Dienst des entgeltfreien Anrufs (*Freephone*). Die Übergänge sind mit der jeweiligen Nummer des Erkennungspunktes und der Ereignisbezeichnung beschriftet.

4.3.1.6.2 Verifikation des Modells eines einzelnen Mehrwertdienstes

Die Verifikation des Modells eines einzelnen Mehrwertdienstes bezüglich seines Ablaufverhaltens stellt die erwartungsgemäße und korrekte Funktion des Dienstes für sich alleine sicher. Prinzipiell sind die folgenden Kriterien zu überprüfen (siehe Anhang B.3):

- ❑ **Allgemeine Korrektheitskriterien:** Kriterien wie die Freiheit von Verklemmungen (engl. *deadlock*) und die Abwesenheit von Zyklen ohne Fortschritt (engl. *livelock*) müssen nachgewiesen werden. Bei der Verwendung geeigneter Werkzeuge ist der Nachweis derartiger Eigenschaften problemlos möglich, vorausgesetzt, das System erlaubt die Erstellung eines vollständigen Erreichbarkeitsgraphen, was in dem hier vorgestellten Modell der Fall ist.
- ❑ **Anwendungsdomänenspezifische Korrektheitskriterien:** Solche Kriterien müssen von jedem Mehrwertdienst für sich alleine erfüllt werden, egal zu welchem Zweck dieser eingesetzt wird. Wird ein solches Kriterium von einem alleine

¹⁰Der Erreichbarkeitsgraph wurde so reduziert, dass die Sicherheitsäquivalenz (engl. *safety equivalence*) [83] bezüglich der sichtbaren Ereignisse erhalten bleibt. Steht der *Freephone*-Dienst an Stelle von *service_o1* in Abb. 4.6, dann sind die sichtbaren Ereignisse die, die am Gate *ssfscf* zwischen den Prozessen *service_o1* und *otrigtable* beobachtet werden können.

verwendeten Mehrwertdienst nicht erfüllt, so weist dies auf einen Fehler beim Dienstentwurf hin. Zwei identifizierte und zu überprüfende Kriterien sind:

- Die Erreichbarkeit des Ausgangszustandes aus jedem anderen Systemzustand heraus. Diese Eigenschaft kann beispielsweise mittels eines Werkzeugs nachgewiesen werden, das in der Lage ist, Ausdrücke temporaler Logik (z. B. μ -Kalkül [84]) auszuwerten.
- Die tatsächliche Benutzung aller verwendeter Erkennungspunkte; d. h. jedesmal, wenn ein dienstauslösender Erkennungspunkt auftritt, muss es mindestens einen Ausführungspfad zu jedem anderen vom Dienst benutzten Erkennungspunkt geben. Falls das nicht der Fall ist, ist dies ein deutlicher Hinweis auf einen Entwurfsfehler, da Erkennungspunkte gesetzt werden, die nie Verwendung finden. Eine solche Eigenschaft kann ebenfalls unter Verwendung temporaler Logik oder mit Hilfe eines Werkzeugs verifiziert werden, das in der Lage ist, Ausführungspfade in einem System zu identifizieren, die bestimmte Bedingungen erfüllen (bestimmte Ereignissequenzen sind enthalten oder nicht). Alternativ kann auch ein minimierter Graph, bei dem nur die interessierenden Ereignisse sichtbar sind, manuell inspiziert werden.

Der in Abb. 4.7 dargestellte Graph wurde durch Erreichbarkeitsanalyse und anschließende Minimierung unter Verwendung des in Tabelle 4.1 beschriebenen Dienstes gebildet. Ein derartiger minimierter Graph kann auf Grund seiner Übersichtlichkeit auch zur manuellen Plausibilitätskontrolle der Dienstfunktion herangezogen werden.

- **Dienstspezifische Kriterien:** Diese müssen individuell für jeden Mehrwertdienst formuliert werden, was Detailkenntnis über die Aufgabe des Dienstes erfordert. Dies widerspricht der in diesem Ansatz auf Grund der organisatorischen Rahmenbedingungen eingeschlagenen Vorgehensweise, die ohne Berücksichtigung interner Dienstdetails auskommt. Derartige Kriterien liegen daher außerhalb des in dieser Arbeit betrachteten Bereiches.

Durch die erfolgreiche Verifikation des Ablaufverhaltens jedes einzelnen Mehrwertdienstes an Hand der hier eingeführten Kriterien kann Gewissheit darüber gewonnen werden, dass bei der Analyse ihres Zusammenspiels mit anderen Mehrwertdiensten festgestellte Unregelmäßigkeiten tatsächlich nur aus diesem Zusammenspiel heraus resultieren, also beim einzelnen Dienst nicht vorkommen. Aus diesem Grund ist die Durchführung einer Verifikation der einzelnen Mehrwertdienste eine *notwendige* Vorbedingung für die Durchführung einer Untersuchung von Mehrwertdiensten auf Wechselwirkungen.

4.3.2 Verbindung zwischen Ablauf und topologischer Modellierung

Für komplexere Konfigurationen muss die Modellierung des Ablaufs verbindungsübergreifend auf erheblich weniger detaillierte Weise erfolgen. Dabei ist der wesentliche Effekt der Verknüpfung von Verbindungen innerhalb einer Kommunikationsbeziehung durch den kausalen Zusammenhang für die Existenz dieser Verbindungen gegeben. Jede Kommunikationsbeziehung, die genau einen Dienst umfasst, nimmt ihren Anfang in genau einer Verbindung, der *initiierenden Verbindung*. Ausgehend von dieser Verbindung findet danach durch Auslösung des Dienstes möglicherweise der Aufbau einer oder mehrerer weiterer Verbindungen statt, die auf Grund ihrer Abhängigkeit von der

initiiierenden Verbindung als *abhängige Verbindungen* bezeichnet werden. In bestimmten Szenarien kann darüber hinaus auch die Modellierung einer Vorbedingung in Form einer *vorhandenen Verbindung* vorliegen, die für die Aktivierung eines Dienstes kausal erforderlich ist:



Die Modellierung solcher Verbindungen ist jedoch nur in Fällen nötig, in denen eine Beeinflussung (durch Informationsfluss oder Ressourcenverwendung) zwischen dieser Verbindung und initiiierenden bzw. abhängigen Verbindungen besteht.

Mit Hilfe dieses einfachen Modells können eingeschränkte Aussagen über die Abfolge bestimmter Ereignisse getroffen werden; eine so detaillierte und präzise Untersuchung wie bei der formalen Modellierung der einzelnen Verbindung ist allerdings nicht möglich.

4.4 Informationsfluss

Gemäß der in Abschnitt 2.1 eingeführten technischen Dienstdefinition tritt im Rahmen einer Dienstleistungsbeziehung ein Dienstnutzer mit einem Dienstbringer in Interaktion. Diese Interaktion ist durch den asynchronen Austausch von Informationen charakterisiert. Die Abfolge der im Rahmen dieser Interaktion vorkommenden Ereignisse war Gegenstand des vorhergehenden Abschnitts. Der inhaltliche Aspekt dieser Abfolge, also der eigentliche Informationsaustausch, ist Gegenstand der Betrachtungen in diesem Abschnitt.

4.4.1 Informationsfluss zwischen Mehrwertdienst und Basisdienst

Das einer Dienstleistungsbeziehung zu Grunde liegende Modell ist in Abb. 4.8 dargestellt. Der Basisdienst wird als erweiterter endlicher Automat modelliert, dessen Zustand attribuiert ist, also Zustandsvariablen besitzt. Er stellt hier den Dienstnutzer dar. Eine Anfrage an den Dienstbringer, hier eine Instanz eines Mehrwertdienstes, enthält Informationen über den Zustand des Dienstnutzers und davon abhängig den Wert von Zustandsvariablen. Der Dienstbringer wird ebenfalls als Instanz eines erweiterten endlichen Automaten modelliert, der jedoch lediglich auf Anfragen des Dienstnutzers unter Verwendung der erhaltenen Zustandsinformation und Zustandsvariablen reagiert. Die Zustandsvariablenwerte werden dabei in Informationselementen im Rahmen von Informationsflüssen übergeben. Der Erbringer ist prinzipiell in der Lage, derartige Informationen auch zu speichern. Die Rückmeldung des Dienstbringers kann den Dienstnutzer dazu veranlassen, in einen anderen Zustand überzugehen, Attribute (Zustandsvariablen) zu ändern oder zu aktualisieren, und bisher nicht genutzte Zustandsvariablen zu initialisieren.

Im Rahmen einer solchen Dienstleistungsbeziehung besteht eine *elementare Interaktion* aus einem Paar aus Anfrage und Rückmeldung. Sie läuft zwischen Dienstnutzer und Dienstbringer, also zwischen dem Bereich des Basisdienstes und des Mehrwertdienstes, ab und besteht aus den folgenden Schritten:

AS (*Anforderung senden*): Gewinnung des Wertes der Informationselemente aus den aktuellen Zustandsinformationen des Dienstnutzers und Senden einer Anforderung mit diesen Informationselementen an den Dienstbringer;

AE (*Anforderung empfangen*): Empfang und Auswertung dieser Anforderung mit ihren Informationselementen beim Dienstbringer;

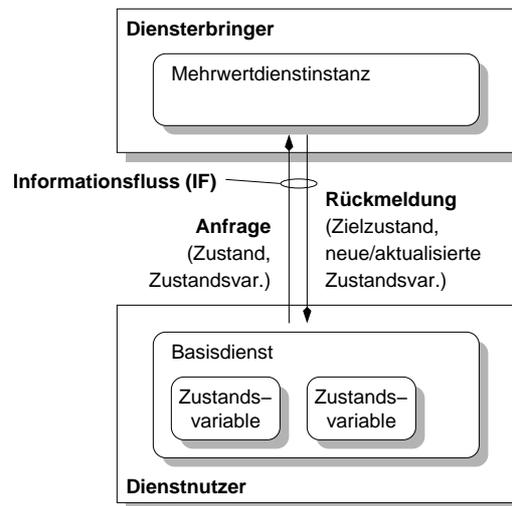


Abbildung 4.8: Modell einer einzelnen Mehrwertdienstinstanz und ihres Informationsaustausches mit dem Basisdienst

RS (*Rückmeldung senden*): Erzeugung einer Rückmeldung beim Dienstbringer; dazu müssen Werte für Informationselemente aus den vorher empfangenen Informationselementen und zusätzlichen, dem Dienstbringer zur Verfügung stehenden Informationen gewonnen werden. Schließlich wird die Rückmeldung mit diesen Informationselementen an den Dienstanwender gesendet;

RE (*Rückmeldung empfangen*): Empfang und Auswertung dieser Rückmeldung mit ihren Informationselementen beim Dienstanwender; entsprechende Beeinflussung der Zustandsinformationen.

Neben diesem Grundtyp der elementaren Interaktion treten auch Varianten auf, die nur eine Anforderung (Schritte AS und AE) bzw. nur eine Rückmeldung (Schritte RS und RE) umfassen. Die vollständige Interaktion besteht typischerweise aus mehreren dieser elementaren Interaktionen. Abb. 4.9 verdeutlicht in einem Signalisier-Zeit-Diagramm den Grundtyp (a) und die Varianten (b, c) der elementaren Interaktion.

Für die Verifikation der Funktion eines einzelnen Mehrwertdienstes und die Erkennung von Wechselwirkungen zwischen Mehrwertdiensten auf Grund des Informationsflusses sind jedoch bezüglich dieses Verhaltens genauere Informationen erforderlich. Diese bleiben jedoch wegen der organisatorischen Rahmenbedingungen auf einer hohen Abstraktionsebene, auf der nur sehr wenig Details über Dienstinterna preisgegeben werden müssen. Im Rahmen der *Anforderung* auf der Seite des *Dienstanwenders* (also des Basisdienstes) wird für jedes Informationselement dessen Verwendungsmöglichkeit durch den betrachteten Mehrwertdienst festgelegt. Wird das betrachtete Informationselement gesendet, bekommt der empfangende Mehrwertdienst entweder die Erlaubnis, den Wert des Informationselements zu lesen oder ihn zu lesen und zu verändern, d. h. später einen aktualisierten Wert für dieses Informationselement zurückzusenden. Es besteht auch die Möglichkeit, die Leseerlaubnis für ein gesendetes Informationselement zu verweigern. Diese Einteilung ist feiner als eine einfache Feststellung, ob ein Informationselement gesendet wird oder nicht. Sie erlaubt es, Einschränkungen für einen Mehrwertdienst zu formulieren und ihre Einhaltung zu überwachen. Damit unterstützt sie auch eine Verifikation des einzelnen Mehrwertdienstes.

Auf der Seite des *Dienstbringers* wird ein gesendetes Informationselement entweder nicht ausgewertet, oder es kann gelesen werden. Eine Beeinflussung durch den Wert eines

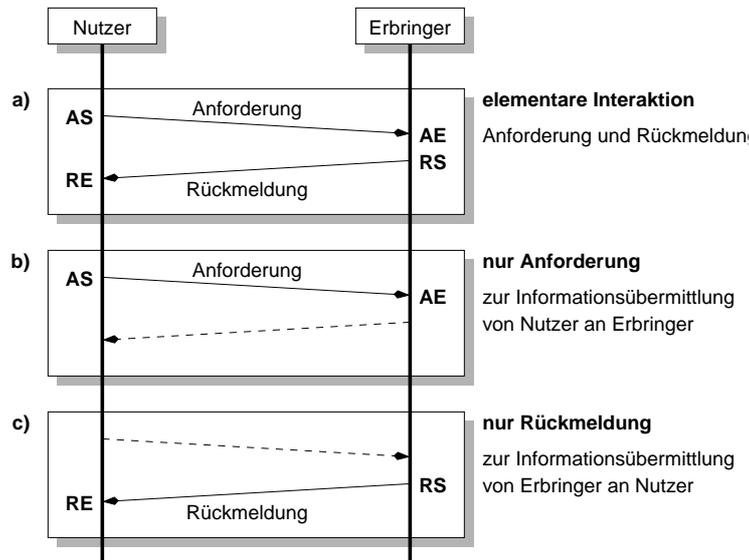


Abbildung 4.9: Die elementare Interaktion und ihre Abwandlungen.

Informationselements wird hier begrifflich vom einfachen Lesen getrennt, da zusätzlich Auswirkungen auf den Ablauf des Mehrwertdienstes vorliegen. Abgesehen von diesen Möglichkeiten kann ein Informationselement unter Umständen auch überhaupt nicht benutzt werden.

Für die *Rückmeldung* stehen dem *Diensterbringer* (also der Mehrwertdienstinstanz als Sender der Rückmeldung) mehrere Alternativen zur Verfügung: Ein Informationselement wird nicht gesendet, es wird unverändert bezüglich eines vorher empfangenen Wertes gesendet, oder es wird aktualisiert, also ein vorher empfangener Wert verändert. Als vierte Möglichkeit kann ein Informationselement auch vom Dienst erzeugt worden sein, bevor es gesendet wird.

Diesen Alternativen setzt der *Dienstnutzer* (also der Basisdienst als Empfänger der Rückmeldung) bestimmte Erwartungen entgegen. Ist der Empfang eines Informationselementes nicht gänzlich verboten, so besteht eine Möglichkeit darin, es beim Empfang nicht zu berücksichtigen. Alternativ kann es unverändert oder aktualisiert erwartet werden. Schließlich kann auch ein vom Dienst erzeugtes Informationselement erwartet werden.

Tabelle 4.2 fasst die hier aufgezählten Alternativen für den Umgang mit einem Informationselement in kompakter Form zusammen und versieht sie mit Abkürzungen, die auch im weiteren Verlauf dieser Arbeit verwendet werden. Die Zweiteilung der Anforderung und der Rückmeldung jeweils in ein Sende- und ein Empfangsereignis begründet sich aus der Tatsache, dass im praktischen Einsatz dieses Erkennungsverfahrens die Mehrwertdienstbeschreibungen unabhängig von der in der Regel vorhandenen und abgeschlossenen Basisdienstbeschreibung entstehen. Durch eine einfache Überprüfung lässt sich feststellen, ob ein neu definierter Mehrwertdienst prinzipiell in den durch den Basisdienst vorgegebenen Rahmen für den Informationsfluss passt. Dabei kann auch die Benutzung von Informationselementen, die auf Grund der verwendeten Protokolle vorhanden sein müssen, explizit nicht erlaubt werden (*IE gesendet ohne Leseerlaubnis*).

Im Intelligenten Netz werden Werte von Rufzustandsvariablen zwischen den dienstnutzenden und dienstbringenden funktionalen Einheiten – also Dienstzugangssteuerung und Dienststeuerfunktion – in Gestalt von Informationsflüssen ausgetauscht, die durch INAP-Operationen in der Physikalischen Abstraktionsebene realisiert werden. Zwischen

Tabelle 4.2: Grundoperationen auf Informationselementen (IE) in der elementaren Interaktion. Die Bereiche AS und RE werden dabei durch das zugrundeliegende System (Dienstnutzer), AE und RS durch den Dienstbringer definiert.

Schritt	Grundoperation auf dem Informationselement (IE)	Abk.	
AS	IE nicht gesendet	<i>not sent</i>	NS
	IE gesendet ohne Leseerlaubnis	<i>sent, no read</i>	SNR
	IE gesendet mit Leseerlaubnis	<i>sent, read only</i>	SRO
	IE gesendet mit Schreib-/Leseerlaubnis	<i>sent, read/write</i>	SRW
AE	IE nicht benutzt	<i>not used</i>	NU
	IE nicht ausgewertet	<i>no evaluation</i>	NV
	IE gelesen	<i>read</i>	RD
	IE beeinflusst Fortgang	<i>influence</i>	IN
RS	IE nicht gesendet	<i>not sent</i>	NS
	IE wird unverändert gesendet	<i>sent, unchanged</i>	SU
	IE wird aktualisiert gesendet	<i>sent, updated</i>	SP
	IE wird erzeugt	<i>sent, created</i>	SC
RE	IE nicht erwartet (verboten)	<i>not expected</i>	NX
	IE nicht berücksichtigt	<i>don't care</i>	DC
	IE unverändert erwartet	<i>expected unchanged</i>	XU
	IE aktualisiert (verändert) erwartet	<i>expected updated</i>	XP
	IE vom Dienst erzeugt erwartet	<i>expected created</i>	XC

den an der Rufbearbeitung beteiligten SSF/CCF-Instanzen bestehen ebenfalls Informationsflüsse, die sich in der Physikalischen Abstraktionsebene durch ISUP-Nachrichten beschreiben lassen. Die verteilt ablaufende Rufbearbeitung mit ihren Rufzustandsvariablen wird für jeweils eine einzelne Verbindung durch diese Informationsflüsse synchronisiert. Das Ziel dieser Synchronisation besteht darin, dass die Werte der Zustandsvariablen in den verteilten, an einer Verbindung beteiligten Instanzen dann die entsprechenden Informationen enthalten, wenn diese benötigt werden. Diese verteilten Zustandsvariablen, deren eigentliche Bestimmung es ist, konsistente Werte zu enthalten und die deshalb durch Informationsflüsse miteinander verbunden werden, können daher auch als *virtuelle Rufzustandsvariablen* bezeichnet werden. Abb. 4.10 veranschaulicht dieses Konzept. Es erlaubt die Ausdehnung des beschriebenen Konzepts der Beeinflussung von Rufzustandsvariablen auch auf diese virtuellen Rufzustandsvariablen.

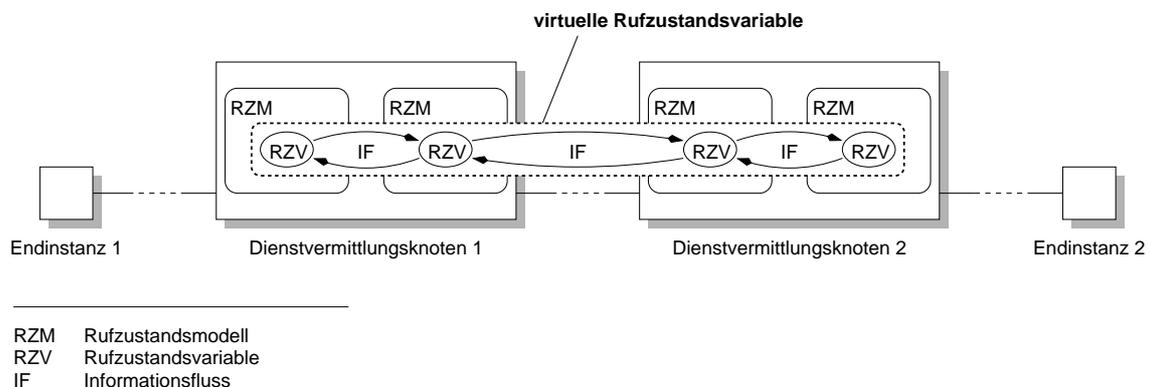


Abbildung 4.10: Konzept der virtuellen Rufzustandsvariablen

In verbindungsübergreifenden Konfigurationen und beim Vorliegen von Technologieübergängen innerhalb einer Verbindung müssen die Informationsflüsse zwischen den

beteiligten Instanzen etwas genauer betrachtet werden, da sie dort für die Synchronisation der Rufzustandsinformationen in unterschiedlichen Verbindungen oder Technologien verantwortlich sind. In solchen Fällen ist das vereinfachende Konzept der virtuellen Rufzustandsvariablen nur für die Rufzustandsvariablen einsetzbar, die über diesen Übergang hinweg ausgetauscht werden, d. h. für die die Synchronisation trotzdem gewährleistet ist. Informationen, die einem Dienstbringer auf Grund seiner Konfiguration persistent zur Verfügung stehen, können als feste Bestandteile des Dienstbringers angesehen werden und brauchen daher hier nicht modelliert zu werden, da sie unter dieselben organisatorischen Rahmenbedingungen fallen wie interne Dienstablaufdetails.

Die zu betrachtenden Informationselemente, die die Inhalte der Rufzustandsvariablen widerspiegeln, werden unter Verwendung der Spezifikation der Informationsflussinhalte aus Q.1224 [275] ausgewählt. Aus den über einhundert dort beschriebenen, zwischen Dienstzugangsfunktion und Dienststeuerfunktion ausgetauschten Informationselementen werden hier einige beispielhaft herausgegriffen, die sich zur Erläuterung der Informationsflussmodellierung besonders eignen.

- ❑ *BillingChargingCharacteristics* ist ein netzbetreiberspezifisches Informationselement, das von der Dienststeuerfunktion zur Dienstzugangsfunktion fließt, um dort die Entgeltdatenerfassung zu parametrisieren.
- ❑ *BusyCause*, *ReleaseCause*, *FailureCause* sind Informationselemente, die die Ursache für einen Verbindungsabbau oder für das Nichtzustandekommen einer Verbindung charakterisieren.
- ❑ *CalledPartyNumber* identifiziert die gerufene Endinstanz.
- ❑ *CallingPartyNumber* identifiziert die rufende Endinstanz oder den Ursprung des Rufes.
- ❑ *DialledDigits* enthält die Ziffern, die von der rufenden Endinstanz (im Falle einer Dienstzugangsfunktion in der Teilnehmervermittlungsstelle) oder von einer logisch vorhergegangenen Vermittlungsstelle übermittelt worden sind.
- ❑ *RedirectingPartyID*, *RedirectInformation* enthält die Rufnummer der letzten weiterleitenden Endinstanz sowie Informationen über die Anzahl der bereits durchgeführten Weiterleitungsvorgänge.

In Tabelle 4.3 wird für den bereits im Rahmen der Ablaufmodellierung beschriebenen Mehrwertdienst des entgeltfreien Anrufes (*Freephone*) dargestellt, welche Grundoperationen in Zusammenhang mit den vorgestellten Informationselementen für die verschiedenen Ausführungspfade zur Anwendung kommen.

4.4.2 Verifikation des Modells eines einzelnen Dienstes

Zur Verifikation jeder einzelnen elementaren Interaktion muss die Konsistenz der Informationen aus Tabelle 4.3 für jedes Informationselement sichergestellt werden. Überprüft wird dabei für jedes Informationselement die Plausibilität der folgenden Kombinationen:

- ❑ **Anforderung senden/empfangen (AS/AE).** Die von der Rufbearbeitung vorgesehenen Einschränkungen z. B. bezüglich des Lesens oder Schreibens dürfen von Mehrwertdiensten nicht überschritten werden.

Tabelle 4.3: Beispiel für die Benutzung einiger Informationselemente/Rufzustandsvariablen beim Dienst des entgeltfreien Anrufs (*Freephone*). Die Art der Darstellung wurde von [161] inspiriert. Leere Felder entsprechen AS.NS (IE nicht gesendet), AE.NU (IE nicht benutzt), RS.NS (IE nicht gesendet) und RE.DC (IE nicht berücksichtigt).

Erkennungspunkt	Informationsfluss (INAP-Nachricht)	Schritt	Informationselement								
			BillingChargingCharacteristics	BusyCause	ReleaseCause	FailureCause	CalledPartyNumber	CallingPartyNumber	DialledDigits	RedirectingPartyID	RedirectInformation
O ₀₂	→ InitialDP	AS AE					SRW RD	SRO RD	SRO IN	SRO NV	SRO NV
	← CollectInformation (1)	RS RE									
	← ReleaseCall (2)	RS RE									
	→ EventReportBCSM	AS AE							SRO IN		
	← AnalyseInformation (3)	RS RE					SP XP				
	← CollectInformation (4)	RS RE									
O ₀₃	→ EventReportBCSM	AS AE					SRW RD		SRO RD		
	← Connect (1)	RS RE					SP XP				
O ₀₄	→ EventReportBCSM	AS AE				SRO RD	SRO RD				
	← Continue (1)	RS RE									
O ₀₇	→ EventReportBCSM	AS AE		SRO RD			SRO RD			SRO RD	SRO RD
	← Continue (1)	RS RE									
O ₀₉	→ EventReportBCSM	AS AE					SRO RD			SRO RD	SRO RD
	← Continue (1)	RS RE									
O ₁₀	→ EventReportBCSM	AS AE					SRO RD			SRO RD	SRO RD
	← Continue (1)	RS RE	SC XC								
O ₁₃	→ EventReportBCSM	AS AE			SRO RD		SRO RD				
	← Continue (1)	RS RE									
O ₁₅	→ EventReportBCSM	AS AE					SRO RD				
	← Continue (1)	RS RE									

→ Informationsfluss vom Basisdienst zum Mehrwertdienst

← Informationsfluss vom Mehrwertdienst zum Basisdienst

- **Rückmeldung senden/empfangen (RS/RE).** Die vom Mehrwertdienst durchgeführten Aktionen z. B. bezüglich einer Veränderung eines Informationselements müssen auf der Seite der Rufbearbeitung vorgesehen sein.

- ❑ **Anforderung senden/Rückmeldung senden (AS/RS)**. Die von der Rufbearbeitung vorgesehenen Einschränkungen dürfen auch durch die Rückmeldungen eines Mehrwertdienstes nicht gebrochen werden.
- ❑ **Anforderung empfangen/Rückmeldung senden (AE/RS)**. Die beim Empfang eines Informationselements mehrwertdienstspezifisch festgelegten Verwendungseinschränkungen dürfen beim Senden nicht überschritten werden.

Bei den beiden ersten Kombinationen (AS/AE, RS/RE) genügt dazu eine einfache statische Verifikation, da die beiden Aktionen des Sendens und des Empfangens nicht trennbar zusammengehören. Die dabei erlaubten oder verbotenen Kombinationen sind in Tabelle 4.4 (a) und (b) dargestellt und können durch einfache Überlegungen nachvollzogen werden. Bei den beiden letzten Kombinationen (AS/RS, AE/RS) kann durch eine statische Betrachtung alleine nicht mehr in jedem Falle entschieden werden, ob die in der Mehrwertdienstbeschreibung enthaltenen Operationskombinationen erlaubt sind. Dies rührt daher, dass die Anforderung und die Rückmeldung nicht mehr unmittelbar zusammenhängen.

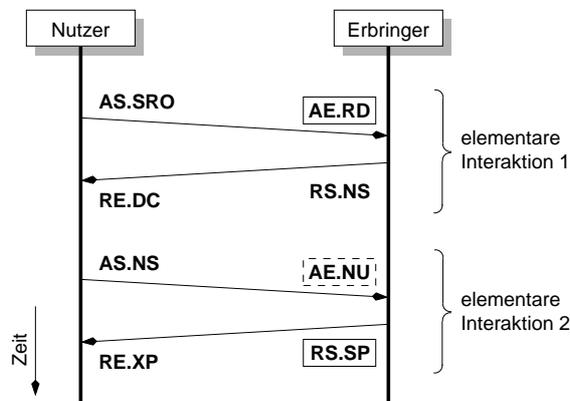


Abbildung 4.11: Illustration für die Erfordernis von Ablaufinformation bei der Verifikation der Kombination AE/RS

Das in Abb. 4.11 dargestellte Beispiel verdeutlicht dies: Betrachtet man lediglich die elementare Interaktion 2, so erscheint der Zusammenhang zwischen AE.NU und RS.SP fehlerhaft, weil die Nichtbenutzung des Informationselements eine aktualisierte Rücksendung eigentlich ausschließt. Betrachtet man dagegen den gesamten Ablauf, hier also eine Abfolge von zwei elementaren Interaktionen, zeigt sich, dass die zu erwartende Operation AE.RD (oder AE.IN) in der vorhergehenden elementaren Interaktion stattgefunden hat und die Mehrwertdienstspezifikation korrekt ist.

Die statische Verifikation alleine ist dann nicht in der Lage, alle Fälle zu verifizieren. Eine vollständige Verifikation kann – wie hier gezeigt – nur unter Berücksichtigung der Ausführungspfade des Dienstes erfolgen und erfordert daher eine Kombination von Ablauf und Informationsfluss.

4.4.3 Kombination mit der Ablaufinformation

Die Modellierung des Informationsflusses beruht auf dem Grundprinzip der Zuordnung bestimmter Aktionen zu bestimmten Ereignissen während des Ablaufs eines Mehrwertdienstes. An Hand von bestimmten Kombinationen dieser Ereignisse sollen später Wechselwirkungen zwischen Mehrwertdiensten erkannt werden können. Um sicherzustellen,

Tabelle 4.4: Statische Überprüfungskriterien für Kombinationen von Operationen auf Informationselementen**a) Anfrage senden/empfangen (AS/AE)**

	AE.NU	AE.NV	AE.RD	AE.IN
AS.NS	•	×	×	×
AS.SNR	•	•	×	×
AS.SRO	•	•	•	•
AS.SRW	•	•	•	•

b) Rückmeldung senden/empfangen (RS/RE)

	RE.NX	RE.DC	RE.XU	RE.XP	RE.XC
RS.NS	•	×	×	×	×
RS.SU	×	•	•	×	×
RS.SP	×	•	×	•	×
RS.SC	×	•	×	×	•

-
- erlaubte Kombination von Operationen
 - × verbotene Kombination von Operationen

dass ein einzelner Mehrwertdienst keine derartigen Ereigniskombinationen besitzt, ist eine Verifikation der einzelnen Mehrwertdienste erforderlich.

Es wurde bereits gezeigt, dass die Möglichkeiten zur Verifikation des Informationsflusses für sich alleine genommen extrem beschränkt sind. Zieht man jedoch die formale Spezifikation des Ablaufs hinzu und verwendet man den daraus ableitbaren Erreichbarkeitsgraphen, so ist eine erheblich umfassendere Verifikation des einzelnen Mehrwertdienstes möglich. Dies ist Gegenstand dieses Abschnitts.

Zwischen Informationsfluss und Ablauf lassen sich zwei grundsätzlich verschiedene Abhängigkeiten feststellen: Einerseits wird durch den Ablauf die zeitliche Abfolge von Grundoperationen auf Informationselementen und damit natürlich auch der Ablauf des Informationsflusses zwischen Dienstanutzer und Dienstbringer festgelegt. Dies wird als die *Ablaufabhängigkeit des Informationsflusses* bezeichnet. Andererseits kann der Informationsfluss auch auf den Ablauf wirken, indem bestimmte Entscheidungen während des Ablaufs von bestimmten Werten oder dem Vorhandensein bzw. Nichtvorhandensein bestimmter Informationen abhängig gemacht werden. Ein derartiger Zusammenhang wird als die *Abhängigkeit des Ablaufs vom Informationsfluss* bezeichnet.

4.4.3.1 Modellierung der Ablaufabhängigkeit des Informationsflusses

Die in Abschnitt 4.3 vorgestellte Modellierung des Ablaufs eines Dienstes bietet die Möglichkeit zur vollständigen Ermittlung aller erreichbaren Zustände innerhalb einer Verbindung unter Mitwirkung eines Mehrwertdienstes. Die Kombination dieses formalen Modells mit der Beschreibung des Informationsflusses, also dem Wissen, welche Information bei welchem Ereignis während der Rufbearbeitung in welcher Art benutzt werden, führt zu der Möglichkeit, alle tatsächlich auftretenden Abfolgen von Benutzungen für alle Informationselemente zu ermitteln. Die aus dem Erreichbarkeitsgraphen ermittelbare Abfolge dieser Ereignisse erlaubt dann den Rückschluss auf tatsächlich vorkommende Operationsablaufreihenfolgen.

4.4.3.2 Verifikation der Ablaufabhängigkeit des Informationsflusses

Die Berücksichtigung aller möglichen Ausführungspfade zur Verifikation des Informationsflussmodells ermöglicht es, die Zusammenhänge der Interaktionen zwischen Dienstanutzer und Dienstbringer im Rahmen eines Dienstes zu verifizieren, die durch die statischen Kriterien aus Abschnitt 4.4 alleine nicht überprüfbar sind. Dies ist das Zusammen-

spiel zwischen dem Senden bzw. dem Empfang der Anforderung (AS/AE) und Senden der Rückmeldung (RS) beim Dienstbringer in den Fällen, in denen eine elementare Interaktion mehrmals im Verlauf des Mehrwertdienstablaufes auftritt. Dies ist bei zahlreichen Mehrwertdiensten der Fall.

Für die Kombination der Aktionen des Sendens einer Anforderung (AS) und des Sendens einer Rückmeldung (RS) kann folgende Bedingung aufgestellt werden.

Bedingung 1. Es darf keinen Pfad geben, auf dem die Aktion RS.SP (Senden einer aktualisierten Rückmeldung) ausgeführt wird, ohne dass AS.SRW (Senden einer Anforderung mit Schreib-/Leseerlaubnis) vorangegangen ist und zwischenzeitlich kein AS.SRO (Senden einer Anforderung mit Nur-Leseerlaubnis) oder AS.SNR (Senden einer Anforderung ohne Leseerlaubnis) erfolgt ist.

Diese Bedingung bringt zum Ausdruck, dass das Aktualisieren eines Informationselements vorher prinzipiell vom Dienstanutzer autorisiert werden muss.

Weitere Bedingungen werden für diese Kombination AS/RS nicht aufgestellt, da sie auf Grund der in Tabelle 4.4 (a) dargestellten Zusammenhänge zwischen den Aktionen beim Senden und beim Empfang einer Anforderung auch mittels der nachfolgenden Bedingungen zwischen Aktionen beim Empfang einer Anforderung (AE) und beim Senden einer Rückmeldung (RS) abgedeckt werden können:

Bedingung 2. Es darf keinen Pfad geben, in dem eine Rückmeldeaktion des Typs RS.SU (Senden einer Rückmeldung mit unveränderter Information) oder RS.SP (Senden einer Rückmeldung mit aktualisierter Information) vorkommt, ohne dass eine Anforderungsaktion des Typs AE.RD (Empfang einer Anforderung mit Leseerlaubnis) oder AE.IN (Empfang einer Anforderung mit Ablaufänderung und damit implizierter Leseerlaubnis) vorausgegangen ist.

Vor einer unveränderten oder aktualisierten Rücksendung eines Informationselements muss dieses also gelesen worden sein (wobei hier das Lesen auch eine mögliche Beeinflussung des Ablaufes mit einschließt).

Bedingung 3. Vor der Rückmeldeaktion des Typs RS.SC (Senden einer Rückmeldung mit erzeugter Information) darf keine der Anforderungsaktionen AE.RD (Empfang einer Anforderung mit Leseerlaubnis) oder AE.IN (Empfang einer Anforderung mit Ablaufänderung und damit implizierter Leseerlaubnis) vorkommen.

Dies bedeutet, dass von der Erzeugung eines Informationselements nicht gesprochen werden darf, wenn dieses Informationselement in einer vorhergegangenen Aktion empfangen wurde.

Die Erfüllung aller drei Bedingungen kann auf einfache Weise durch Gegenbeweise nachgewiesen werden. Dies erfolgt durch die Suche nach einem Ausführungspfad im Erreichbarkeitsgraphen, der eine Aktionssequenz enthält, die durch die Bedingung ausgeschlossen werden soll. Gibt es eine solche Sequenz, ist die Bedingung nicht erfüllt und damit die Fehlerhaftigkeit der Mehrwertdienstbeschreibung nachgewiesen.

Mit dieser Art der Verifikation können gleichermaßen Mehrwertdienste, die nur eine elementare Interaktion beinhalten und Dienste mit mehreren elementaren Interaktionen

überprüft werden, was eine statische Überprüfung dieser Bedingungen überflüssig macht. Dabei kann für jeden einzelnen Mehrwertdienst derselbe Erreichbarkeitsgraph verwendet werden, der auch bereits zur Verifikation des Ablaufs benutzt wurde. Dies hält den Rechenaufwand insgesamt in Grenzen.

4.4.3.3 Berücksichtigung der Abhängigkeit des Ablaufs vom Informationsfluss

Entscheidungen bezüglich des Ablaufs eines Dienstes können auf Grund des Vorhandenseins oder Nichtvorhandenseins optionaler Informationselemente oder auf Grund bestimmter Werte von Informationselementen gefällt werden. Diese mögliche Abhängigkeit des Ablaufs von Informationselementen ist jedoch Teil der internen Realisierung eines Dienstes. Derartige Informationen dürfen nicht in die Modellierung von Diensten einfließen, da dies den organisatorischen Rahmenbedingungen widerspricht.

Die prinzipielle Einschränkung, die durch den Verzicht auf die Modellierung eines derartigen Verhaltens entsteht, kann bedeutend sein: ein Dienst kann prinzipiell nahezu vollständig datengesteuert aufgebaut werden, d.h. er implementiert praktisch alle möglichen Aktionen, deren tatsächliche Auswahl jedoch auf Grund des Wertes bestimmter Informationselemente erst während des Ablaufs festgelegt wird. Abb. 4.12 illustriert dieses Problem an Hand eines einfachen Beispiels: Ohne Berücksichtigung der Abhängigkeit des Ablaufs vom Informationsfluss werden auch die Ablauffolgen 1.a – 2.a und 1.b – 2.b als ausführbar erkannt, obwohl diese auf Grund der Bedingungsüberprüfung real nicht möglich sind. Beide Bedingungen können offensichtlich nie gleichzeitig wahr sein, was durch ihre Datenabhängigkeit bedingt ist.

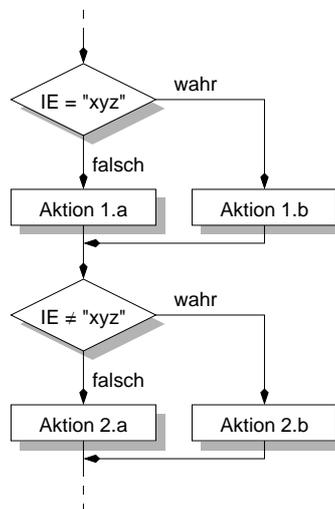


Abbildung 4.12: Beispiel für eine Abhängigkeit des Ablaufs vom Informationsfluss

In der Praxis führt ein derartiger Dienst zu einer Verlagerung des Modellierungsproblems in das Dienstinere. Sofern man das Modell für die Erkennung von Wechselwirkungen verwenden möchte, muss dort untersucht werden, in wieweit sich verschiedene Ausführungspfade beeinflussen. Die organisatorische Rahmenbedingung einer eingeschränkten Sicht auf die Dienstimplementierung ist dann allerdings nicht mehr einzuhalten.

4.4.4 Informationsfluss durch Verbindungspunkte mit Netz- oder Technologieübergängen

Das Konzept der Verbindungspunkte wurde im Rahmen der topologischen Modellierung eingeführt, um Verbindungen zwischen mehr als zwei Endinstanzen beschreiben zu können und um eine definierte Stelle zur Beschreibung von Netz- und Technologieübergängen zu besitzen. Während der erste Aspekt in aktuellen Dienstrealisierungen noch wenig Bedeutung besitzt¹¹, ist der zweite Aspekt von großer Wichtigkeit.

Im Regelfall, d. h. ohne Netz- oder Technologieübergang, verhalten sich Verbindungspunkte in Bezug auf die hindurchfließenden Informationselemente transparent. Eine explizite Berücksichtigung der Verbindungspunkte bei der Modellierung ist daher nicht erforderlich. Liegt jedoch ein Netz- oder Technologieübergang vor, gilt diese Annahme nicht mehr. In derartigen Fällen bestehen in Verbindungspunkten individuell für jedes Informationselement die folgenden Alternativen:

- **Transparente Übergabe.** Ein Informationselement passiert den Verbindungspunkt ohne Veränderung. Damit ist das Verhalten identisch zu dem eines Verbindungspunktes ohne Netz- oder Technologieübergang.
- **Transformierende Übergabe.** Ein Informationselement passiert den Verbindungspunkt zwar, die enthaltene Information wird jedoch verändert. Dabei können zwei Varianten unterschieden werden, nämlich
 - die **nichterhaltende Transformation**, bei der der ursprüngliche Wert des Informationselements verlorenght, und
 - die **erhaltende Transformation**, bei der der Wert des Informationselement in einem anderen Informationselement gespeichert wird.
- **Absorption.** Ein Informationselement passiert den Verbindungspunkt nicht, d. h. sein Wert wird nicht weitergereicht. Ein derartiges Verhalten ist häufig für alle Informationselemente, die nicht unbedingt für Aufbau, Unterhaltung und Abbau eines Rufes erforderlich sind, bei Übergängen zwischen Netzen verschiedener Betreiber vorgesehen.

Nichttransparente Übergänge innerhalb einer Verbindung haben wichtige Auswirkungen auf die Betrachtung des Informationsflusses im System. Nur bei einer in alle Richtungen transparenten Übergabe eines Informationselements kann das Modell der virtuellen Rufzustandsvariablen für ein bestimmtes Informationselement aufrecht erhalten werden. Bei Absorption oder nichterhaltender Transformation ist der Informationsfluss unterbrochen und damit die Annahme einer virtuellen Rufzustandsvariable nicht möglich. Lediglich bei erhaltender Transformation und in alle Richtungen eindeutiger Zuordnung der dabei beteiligten Informationselemente kann die Annahme einer virtuellen Rufzustandsvariablen aufrecht erhalten werden. Es muss lediglich berücksichtigt werden, dass dieselbe Information an verschiedenen Stellen durch unterschiedliche Informationselemente repräsentiert wird.

¹¹Die technische Realisierung derartiger Mehrfachverbindungen erfolgt i. d. R. unter Verwendung spezieller Endinstanzen

4.4.5 Verbindungsübergreifende Modellierung des Informationsflusses

Neben dem Informationsfluss innerhalb einer einzelnen Verbindung werden Informationen auch *zwischen* den Verbindungszweigen mehrerer Verbindungen ausgetauscht, an denen dieselbe Endinstanz beteiligt ist. Dieser Informationsaustausch erfolgt prinzipiell nach denselben Regeln wie der oben beschriebene Informationsaustausch durch Verbindungspunkte. Es bestehen also auch hier die Möglichkeiten, dass Informationselemente transparent übergeben werden, dass Transformationen stattfinden oder dass keine Übergabe, also eine Absorption erfolgt.

Die Ausgestaltung dieser Informationsflüsse ist teilweise durch den beteiligten Mehrwertdienst und teilweise durch die Standardisierung festgelegt. In einigen Fällen bestimmt auch der Netzbetreiber oder der Ausrüstungshersteller dieses Verhalten.

Eine Beschreibung für das Informationsflussverhalten in Verbindungspunkten und zwischen verschiedenen Verbindungszweigen innerhalb von Endinstanzen beinhaltet für jedes möglicherweise ankommende Informationselement, in welcher Art es weitergereicht wird. Diese Information wird es später bei der Erkennung von Wechselwirkungen zwischen Diensten (siehe Kapitel 5) erlauben, auch das Zusammenspiel entfernter Dienste zu beurteilen.

Diese Beschreibung erlaubt eine Beurteilung des maximalen Auswirkungsbereiches eines Informationselements, ähnlich dem im Rahmen einer Einzelverbindung eingeführten Konzepts der virtuellen Rufzustandsvariablen (siehe Abb. 4.10). Da jedoch hier keine exakten Ablaufinformationen vorliegen, sind die möglichen Aussagen auf notwendige Bedingungen beschränkt.

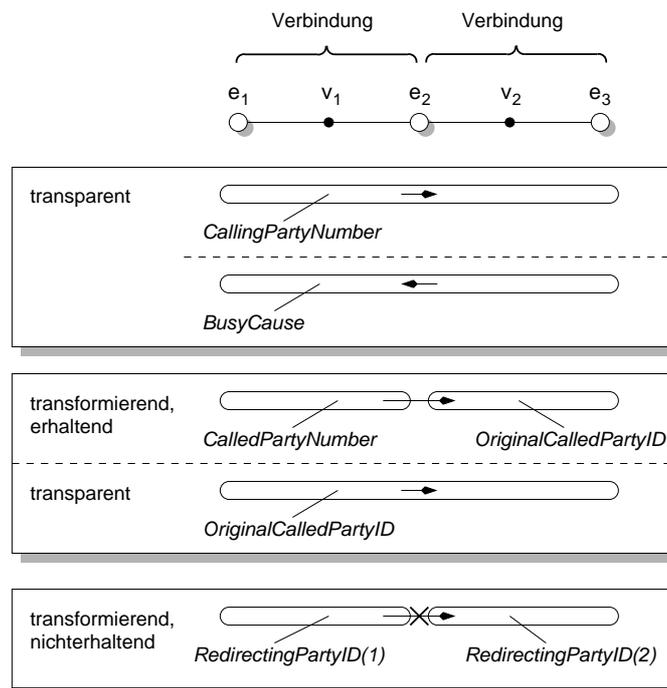


Abbildung 4.13: Verbindungsübergreifende Modellierung am Beispiel einer Anrufumleitung; die Verbindungspunkte v_1 und v_2 werden dabei als nichttransformierend und transparent angesehen

In Abb. 4.13 werden verschiedene Informationsflussalternativen mittels des Beispiels einer Anrufumleitung als einer *Verkettung* zweier Verbindungen illustriert. Dabei werden die Verbindungspunkte v_1 und v_2 als transparent angenommen, was für die Betrachtung von Diensten innerhalb desselben Netzes realistisch ist. Die Endinstanz e_2 stellt dabei

das Bindeglied zwischen den beiden beteiligten Verbindungen dar. Für den Informationsfluss innerhalb der Endinstanz e_2 , also zwischen deren beiden Verbindungszweigen, treten für unterschiedliche Informationselemente alle möglichen Arten der Übergabe auf: Die *CallingPartyNumber* wird in Vorwärtsrichtung transparent übergeben, der *BusyCause* in Rückwärtsrichtung. Falls die *OriginalCalledPartyID* im ersten Verbindungszweig nicht vorhanden ist, wird ihr Wert durch die *CalledPartyNumber* gesetzt (erhaltende Transformation). Falls sie jedoch vorhanden ist, wird sie transparent übergeben. Die *RedirectingPartyID* wird schließlich nichterhaltend transformiert, d. h. der ursprüngliche Wert geht unwiederbringlich verloren.

Betrachtet man den Informationsfluss zwischen Verbindungszweigen im Rahmen eines Mehrwertdienstes, der durch eine *Verzweigung* als wesentliche topologische Eigenschaft gekennzeichnet ist, wie z. B. die Dienste Anklopfen oder Makeln, so fällt auf, dass dieser Informationsfluss im Wesentlichen auf Absorption von Informationen beruht, also praktisch kein Informationsaustausch zwischen den beteiligten Verbindungszweigen stattfindet.

4.5 Ressourcenverwendung

Im Rahmen einer Dienstleistungsbeziehung können durch einen Mehrwertdienst bestimmte Ressourcen im System beansprucht werden. Möchte ein anderer Dienst dieselben Ressourceninstanzen ebenfalls nutzen, sind Konflikte unausweichlich. Ganz offensichtlich können derartige Konflikte auch zu Problemen beim Zusammenspiel der Dienste führen.

Zwischen den zur Modellierung des Informationsflusses angewendeten Verfahren und der Ressourcenmodellierung besteht ein enger Zusammenhang, da eine formale Parallele zwischen der Beeinflussung von Rufzustandsvariablen durch Anfragen und Rückmeldungen und der Beeinflussung von Ressourcen durch Reservierungen und Freigaben existiert. Die Prinzipien zur Modellierung von Ressourcen sind daher vergleichbar mit denen zur Modellierung des Informationsflusses. Aus diesem Grund kann der Ressourcenverwendungsteil wesentlich kürzer abgehandelt werden.

4.5.1 Modellierung einer Ressource

Unter der Abstraktion einer *Ressource* im hier verwendeten Sinne wird in ganz allgemeiner Weise ein realer oder virtueller Bestandteil eines Systems verstanden, der durch unterschiedliche Systemerweiterungen (also Mehrwertdienste) zeitweise oder ständig belegt werden kann, d. h. durch den wegen einer derartigen Belegung prinzipiell auch Konflikte zwischen diesen Systemerweiterungen auftreten können¹². Dieser Ressourcenbegriff darf nicht mit der in der Verteilten Funktionalen Abstraktionsebene des IN-Architekturkonzepts verwendeten nutzkanalbezogenen Ressource der SRF verwechselt werden.

Ressourcen werden durch das ihnen zu Grunde liegende Modell und ihre logische Zuordnung charakterisiert. Zugriffe, die nicht im Ressourcenmodell (siehe Abb. 4.14) vorgesehen sind, signalisieren Zugriffskonflikte. Ein Beispiel dafür wäre die Aktion *Belegen* im

¹²Es ist normalerweise Aufgabe einer Betriebsmittelverwaltung, solche Zugriffskonflikte zu verhindern bzw. zu regeln [208, 231]. Auf Grund des gewachsenen und stark verteilten Charakters der hier betrachteten Systeme fehlen derartige Mechanismen jedoch häufig.

Zustand *belegt*, die in den hier dargestellten Modellen nicht vorgesehen ist. Für das abgebildete einfachste Ressourcenmodell bedeutet dies, dass *Belegen* immer von *Freigeben* gefolgt werden muss, und umgekehrt. Ferner muss das *Belegen* der erste Vorgang sein. Die logische Zuordnung einer Ressource bestimmt, ob unterschiedliche Systemteile auf dieselbe Instanz einer Ressource zugreifen oder nicht. Übliche Zuordnungsrelationen sind dabei die Dienstinstanz, die Rufmodellinstanz, die Verbindung (Verbindungspunkt), die Endinstanz (Teilnehmer) oder die gesamte Rufbeziehung. Für die Modellierung des einzelnen Dienstes besitzt die Zuordnung dabei lediglich informativen Charakter, der erst dann zum Tragen kommt, wenn mehrere Dienste gleichzeitig auf einer Rufbeziehung aktiv werden: dann nämlich ist die Zuordnung mitentscheidend für die prinzipielle Möglichkeit von Konflikten.

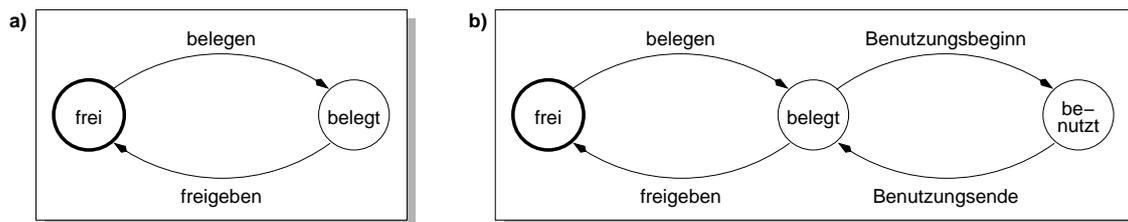


Abbildung 4.14: Einfachstes (a) und etwas komplexeres Ressourcenmodell mit Benutzungsmöglichkeit der Ressource (b). Die jeweiligen Anfangszustände sind dick gezeichnet.

Ressourcen, die einer Dienstinstanz exklusiv zugeordnet sind, stellen *per definitionem* keine Ursache für Wechselwirkungen dar. Im Rahmen der Verifikation des einzelnen Dienstes muss deshalb sichergestellt werden, dass nur solche Aktionen ausgeführt werden, die nicht zu Konflikten führen. Ressourcen, die von mehreren unabhängigen Rufbeziehungen, also im Rahmen mehrerer, nicht durch einen Mehrwertdienst verbundener Rufe, benutzt werden können, werden nicht explizit betrachtet, da daraus resultierende Schwierigkeiten der Realisierungsebene zugeordnet werden.

Eine häufig von Mehrwertdiensten genutzte Ressource ist der Sprachkanal eines Teilnehmers in empfangender Richtung, der zur Ansage von Mitteilungen oder zum Senden von Signaltönen genutzt werden kann. In sendender Richtung kann er durch Übertragung von Mehrfrequenzwahltonen zur Dateneingabe oder Auslösung bestimmter Aktionen herangezogen werden, was ebenfalls potenziell zu Ressourcenkonflikten führen kann, da zu jedem Zeitpunkt nur ein Signal übertragen werden kann.

4.5.2 Verifikation der Ressourcenverwendung durch einen einzelnen Mehrwertdienst

Eine statische Verifikation der Ressourcenmodellierung, also die Verifikation ohne Verwendung zusätzlicher Ablaufinformation, ist nur sehr eingeschränkt möglich und zudem wenig aussagekräftig. Im Prinzip beschränkt sie sich – natürlich abhängig vom Ressourcenmodell – auf die Überprüfung, ob Freigabe-Aktionen in der Beschreibung enthalten sind, falls es dort auch Belege-Aktionen gibt. Wesentlich sinnvoller ist eine solche Verifikation zusammen mit dem Ablauf, da derartige Überprüfungen dort ohne Zusatzaufwand realisiert werden.

Analog zur Kombination von Ablauf und Informationsfluss sind auch beim Zusammenspiel zwischen Ablauf und Ressourcenverwendung prinzipiell zwei Kausalzusammenhänge zu unterscheiden: Die *Ablaufabhängigkeit der Ressourcenverwendung* legt fest, wie die spezifizierten Ressourcen während der möglichen Ablaufsequenzen benutzt

werden. Die *Abhängigkeit des Ablaufs von der Ressourcenverwendung* steht für die Zusammenhänge, bei denen das Ressourcenmodell auf den Ablauf zurückwirkt. Eine derartige Rückwirkung existiert für die abgebildeten einfachen Ressourcenmodelle nicht, sondern lediglich für verwaltete Ressourcen, bei denen eine Ablehnung der Belegung erfolgen kann, was dann zu einem geänderten Ausführungspfad führt. Aus ähnlichen Gründen wie bei der Informationsabhängigkeit des Ablaufs wird dieser Kausalzusammenhang hier nicht näher betrachtet.

Nur wenn ein einzelner Dienst in jedem Falle korrekt mit seinen Ressourcen umgeht, können Probleme bei der Kombination von Diensten erkannt werden. Aus diesem Grunde muss für den Einzeldienst verifiziert werden, ob die Ressource korrekt eingesetzt wird, also ob bestimmte Korrektheitskriterien erfüllt werden. Für das einfache Ressourcenmodell sind derartige Kriterien, ob die erste Aktion *immer* „belegen“ und die letzte Aktion entsprechend *immer* „freigeben“ ist, oder dass „belegen“ und „freigeben“ sich immer abwechseln.

Auf Grund der formalen Parallelen zwischen der Modellierung des Informationsflusses und der Ressourcenverwendung kann zur Betrachtung von Ablauf in Kombination mit der Ressourcenverwendung dasselbe Instrumentarium wie bei der Kombination von Ablauf und Informationsfluss (siehe Abschnitt 4.4.3) zum Einsatz gebracht werden. Dies wird daher an dieser Stelle nicht weiter vertieft.

4.6 Schlussbemerkung

In diesem Kapitel wurde eine Modellierung für Mehrwertdienste vorgestellt, die die Aspekte von Ablauf, Informationsfluss und Ressourcenverwendung berücksichtigt und in einen durch die Verbindungstopologie gebildeten Zusammenhang einbettet. Als zu Grunde liegende Technologie für die Realisierung der Mehrwertdienste wurde das Intelligente Netz mit dem Funktionsumfang des CS-2 gewählt, prinzipiell lassen sich in ähnlicher Weise jedoch auch Mehrwertdienste in anderen Systemen mit getrennter Ruf- und Mehrwertdienststeuerung beschreiben.

Eine Verifikation der Mehrwertdienstbeschreibungen bildet die notwendige Voraussetzung für das im nachfolgenden Kapitel vorgestellte Erkennungsverfahren für Wechselwirkungen. Diese Verifikation stellt sicher, dass erkannte Probleme nicht aus der einzelnen Mehrwertdienstbeschreibung, sondern aus dem Zusammenspiel mehrerer Mehrwertdienstinstanzen entstehen.

5 Ein mehrstufiges Verfahren zur Erkennung von Wechselwirkungen

5.1 Einführung

Gegenstand dieses Kapitels ist ein mehrstufiges Verfahren zur Erkennung von Wechselwirkungen zwischen Mehrwertdiensten auf der Ebene der Systemarchitektur. Grundlage für die Darstellung sind Modelle von Mehrwertdiensten, die mittels der im vorhergegangenen Kapitel eingeführten Methodik entwickelt wurden.

Das vorgestellte mehrstufige Erkennungsverfahren beruht auf dem Grundprinzip, durch Anwendung relativ einfacher Kriterien die Anzahl zu untersuchender Mehrwertdienstkombinationen und -konfigurationen stark zu reduzieren. Zusätzlich ist eine Sortierung nach der Relevanz dieser Fälle möglich. Auf die reduzierte Menge von Fällen können dann gezielt aufwändigere Untersuchungsmethoden angewendet werden, die für die volle Anzahl von Fällen sehr teuer wären. Ein mögliches Rahmenwerk für eine derartige Vorgehensweise wurde von Kimbler *et al.* [145] im Rahmen eines EURESCOM-Projekts erarbeitet (siehe Abb. 3.5).

Das Verfahren greift dieses Rahmenwerk für die Erkennung von Wechselwirkungen auf der Ebene der Systemarchitektur auf. Die dabei gewählte Vorgehensweise wird durch Abb. 5.1 anschaulich gemacht, die die verschiedenen zum Einsatz gelangenden Methoden in die Dimensionen des Aufwands und der Anzahl der zu untersuchenden Fälle qualitativ einordnet. Die Hauptsäulen des Verfahrens sind Gegenstand der folgenden drei Abschnitte. Eine Einordnung und Bewertung des Ansatzes sowie eine Beschreibung der unterstützenden Programmwerkzeuge schließen dieses Kapitel ab.

5.2 Sammlung und Auswahl von Mehrwertdiensten

Ausgangspunkt der Analyse ist eine Sammlung von Mehrwertdienstbeschreibungen, die in der in Kapitel 4 dargestellten Art und Weise bezüglich ihres Ablaufverhaltens, ihrer Informationsflüsse und ihrer Ressourcenverwendung spezifiziert sind. Mit Hilfe einer solchen Sammlung werden dann zu analysierende Dienstkombinationen ermittelt. Dabei sind zwei typische Anwendungsfälle zu berücksichtigen:

- *Umfassende Ermittlung von Wechselwirkungen.* Eine Sammlung von Mehrwertdiensten wird hierbei auf ihre Wechselwirkungen hin untersucht.
- *Inkrementelle Ermittlung von Wechselwirkungen.* Einer bereits bestehenden und untersuchten Sammlung von Diensten wird ein neuer Dienst hinzugefügt; zu untersuchen sind nun die Fälle, bei denen dieser neue Dienst beteiligt ist.

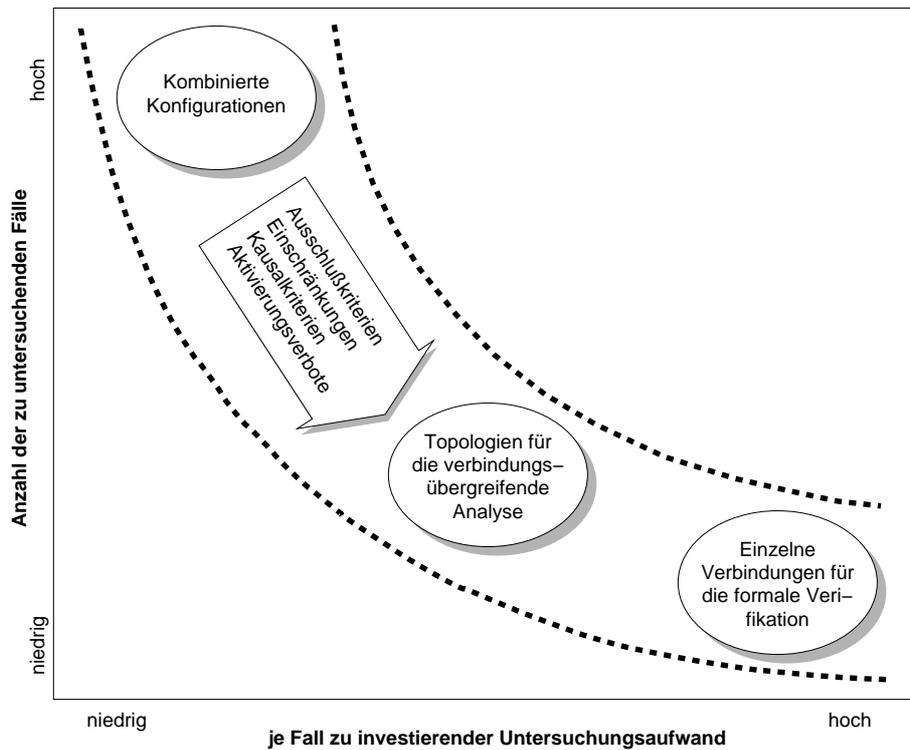


Abbildung 5.1: Einordnung der verwendeten Methoden nach Aufwand und Anzahl der zu betrachtenden Fälle.

Für die Untersuchung auf Wechselwirkungen zweiten Grades erster Ordnung und zweiten Grades zweiter Ordnung¹ ist die Anzahl der jeweils zu untersuchenden Kombinationen für beide Anwendungsfälle noch überschaubar. Für die umfassende Ermittlung sind bei insgesamt $|M_Z|$ Mehrwertdiensten $|M_Z|$ bzw. $|M_Z|(|M_Z| - 1)/2$ Kombinationen zu betrachten, für die inkrementelle Ermittlung nur eine bzw. $|M_Z| - 1$. Die Anzahl von Kombinationen höheren Grades unterliegt einer kombinatorischen Explosion, da die Anzahl von Möglichkeiten für Kombinationen von Mehrwertdienstinstanzen der Ordnung l und des Grades $(l + m)$, d. h. mit l verschiedenen Diensten und insgesamt $l + m$ beteiligten Dienstinstanzen, bei einer Sammlung von $|M_Z|$ Diensten allgemein

$$\binom{|M_Z|}{l} \binom{l+m-1}{m} = \frac{|M_Z|!}{(|M_Z| - l)! l!} \cdot \frac{(l+m-1)!}{(l-1)! m!} \quad (5.1)$$

beträgt². Tabelle 5.1 illustriert einige Werte für eine Sammlung von $|M_Z| = 10$ bzw. $|M_Z| = 20$ Diensten.

5.3 Konfigurationserzeugung und topologische Analyse

Nach der Erzeugung von Dienstkombinationen beruht die zweite Stufe auf der Erzeugung möglicher Konfigurationen, die mit jeder der in der ersten Stufe gebildeten Dienstkombinationen durchgeführt wird. Explizit formulierte Einschränkungen wie Forderungen nach

¹Dies sind Wechselwirkungen, bei denen zwei Instanzen eines einzigen Dienstes bzw. jeweils eine Instanz zweier unterschiedlicher Dienste beteiligt sind, siehe Abschnitt 3.1.2

²Der erste Faktor steht für die Anzahl von Möglichkeiten, l Dienste aus einer Grundgesamtheit von $|M_Z|$ Diensten zu entnehmen, der zweite Faktor, m zusätzliche Dienste mit Wiederholungen aus den l Diensten auszuwählen.

Tabelle 5.1: Beispiele für die Anzahl möglicher Kombinationen von Diensten bei Sammlungen von $|M_Z| = 10$ und $|M_Z| = 20$ Diensten (siehe Gleichung 5.1).

Ordnung l	Grad $l + m$								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Umfang der Dienstsammlung $ M_Z = 10$									
$l = 1$	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2	–	45	90	135	180	225	270	315	360
3	–	–	120	240	720	1.200	1.800	2.520	3.360
4	–	–	–	210	630	2.100	4.200	7.350	11.760
5	–	–	–	–	252	1.260	3.780	5.040	17.640
Umfang der Dienstsammlung $ M_Z = 20$									
$l = 1$	20	20	20	20	20	20	20	20	20
2	–	190	380	570	750	950	1.140	1.330	1.520
3	–	–	1.140	2.280	6.840	11.400	17.100	23.940	31.920
4	–	–	–	4.845	14.535	48.450	96.900	169.575	271.320
5	–	–	–	–	15.504	77.520	232.560	310.080	1.085.280

Unterschiedlichkeit bestimmter konkreter Endinstanzen und Elimination symmetrischer Fälle führen zum Ausschluss vieler Konfigurationen. Die Anwendung einfacher Kausal-kriterien bezüglich der Aktivierung von Diensten reduziert die Anzahl möglicher Konfi-gurationen noch weiter. Bestimmte explizit formulierte Verbote der gemeinsamen Akti- vierung von Diensten in derselben konkreten Endinstanz oder auf derselben Verbindung schließen zusätzlich mögliche Konfigurationen aus. Die Relevanz einer Konfiguration wird mittels eines einfach zu ermittelnden Kriteriums beurteilt, das sich anschaulich als das Vorhandensein von Verbindungsschleifen in der Konfiguration beschreiben lässt und das den geringeren Auftrittswahrscheinlichkeiten derartiger Konfigurationen Rechnung trägt.

5.3.1 Erzeugung von Konfigurationen mit mehreren Mehrwertdienstinstanzen

Ausgangspunkt für die Erzeugung von Konfigurationen mit mehreren Mehrwertdienst- instanzen ist jeweils eine der Kombinationen von Mehrwertdienstinstanzen, die in der ersten Stufe ermittelt wurden. Für jeden darin enthaltenen Dienst liegt ein Modell der entspre- chenden Topologie einer Kommunikationsbeziehung als Bestandteil der Mehrwertdienst- beschreibung wie in Kapitel 4 beschrieben vor.

Jede Instanz eines Mehrwertdienstes Z_i besitzt eine Menge von formalen Endinstanzen E_j . Zur Bildung von Konfigurationen müssen diese formalen Endinstanzen nun konkre- ten Endinstanzen zugewiesen werden. Konkrete Endinstanzen sind in disjunkte Gruppen eingeteilt. Dieses Konzept der Gruppen dient dazu, in heterogenen Netzen unsinnige Kon- figurationen auszuschließen: ist ein bestimmter Dienst beispielsweise nur für Teilnehmer der IP-basierten Telefonie zu aktivieren, so muss die entsprechende konkrete Endinstanz auch aus der Gruppe der IP-Telefonteilnehmer stammen. Jede formale Endinstanz be- zieht ihre konkreten Endinstanzen aus mindestens einer Gruppe; diese Zuordnung von Gruppen zu formalen Endinstanzen ist Bestandteil der Dienstbeschreibung. Jede einzelne Gruppe wird durch eine Menge völlig gleichberechtigter formaler Endinstanzen gebildet. Diese Mengen sind paarweise disjunkt, d. h. jede konkrete Endinstanz gehört genau einer derartigen Gruppe an. Werden nur Mehrwertdienste aus einer einzigen Technologie, z. B. des Intelligenten Netzes, betrachtet, so kann i. d. R. auf eine Unterscheidung in Gruppen verzichtet werden, da dann alle Endinstanzen derselben Gruppe angehören.

Der *erste Schritt* für die Erzeugung von kombinierten (k Mehrwertdienstinstanzen einschließenden) Konfigurationen besteht nun darin, für die untersuchte Kombination von k Dienstinstanzen alle möglichen verschiedenen Zuordnungen von formalen Endinstanzen zu jeweils einer der disjunkten Gruppen zu ermitteln, aus denen diese formale Endinstanz ihre konkreten Endinstanzen beziehen kann. Ergebnis dieses Schrittes sind i. d. R. mehrere aus k Dienstinstanzen bestehende *Gruppenkonfigurationen*, bei denen jeweils jeder einzelnen formalen Endinstanz genau eine dieser disjunkten Gruppen zugeordnet wurde.

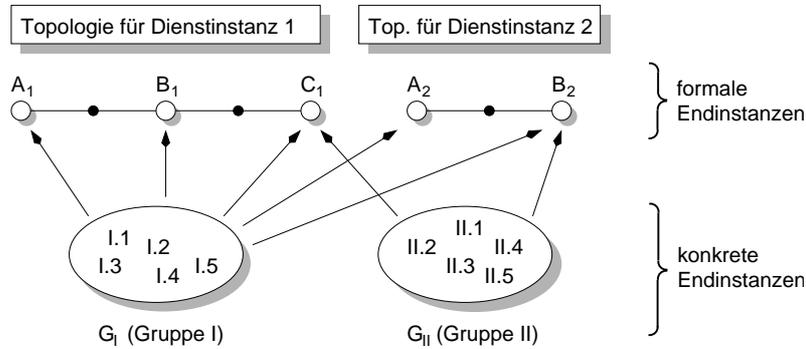


Abbildung 5.2: Beispiel für die Zuordnung von konkreten Endinstanzen, die in disjunkte Gruppen eingeteilt sind, zu den formalen Endinstanzen zweier Dienstinstanzen

Abb. 5.2 illustriert diese mögliche Zuordnung von Gruppen konkreter Endinstanzen zu formalen Endinstanzen an Hand eines Beispiels. Die den formalen Endinstanzen A_1 , B_1 und A_2 zuordenbaren konkreten Endinstanzen entstammen der Gruppe G_I , die für C_1 und B_2 entstammen wahlweise G_I oder G_{II} . Dies ist durch die Zuordnungspfeile angedeutet. Auf diese Weise entstehen vier verschiedene Gruppenkonfigurationen, nämlich

$$\begin{pmatrix} A_1 \in G_I \\ B_1 \in G_I \\ C_1 \in G_I \\ A_2 \in G_I \\ B_2 \in G_I \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} A_1 \in G_I \\ B_1 \in G_I \\ C_1 \in G_I \\ A_2 \in G_I \\ B_2 \in G_{II} \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} A_1 \in G_I \\ B_1 \in G_I \\ C_1 \in G_{II} \\ A_2 \in G_I \\ B_2 \in G_I \end{pmatrix} \quad \text{und} \quad \begin{pmatrix} A_1 \in G_I \\ B_1 \in G_I \\ C_1 \in G_{II} \\ A_2 \in G_I \\ B_2 \in G_{II} \end{pmatrix}.$$

Ausgangspunkt für den *zweiten Schritt* sind genau diese Gruppenkonfigurationen, bei denen jede einzelne formale Endinstanz ihre möglichen konkreten Endinstanzen aus jeweils genau einer dieser Gruppen von konkreten Endinstanzen bezieht. Zur Erzeugung kombinierter Konfigurationen wird für jede der vorkommenden Gruppen von Endinstanzen festgestellt, welche formalen Endinstanzen ihre konkreten Endinstanzen aus dieser Gruppe beziehen. Für diese werden nun die permutationssymmetriefreien Vektoren mit den jeweils in dieser Gruppe vorkommenden konkreten Endinstanzen nach dem in Anhang A beschriebenen Algorithmus gebildet. Wegen der Gleichwertigkeit der konkreten Endinstanzen einer Gruppe werden damit alle relevanten Konfigurationen abgedeckt. Die kombinierten Konfigurationen werden dann durch alle möglichen Kombinationen der Teilkonfigurationen der verschiedenen Gruppen gebildet.

Für das Beispiel aus Abb. 5.2 sieht die Durchführung dieses zweiten Schrittes, also der Zuordnung der konkreten Endinstanzen aus den jeweiligen Gruppen zu den formalen Endinstanzen folgendermaßen aus: Für die erste Gruppenkonfiguration erfolgt die Bildung aller permutationssymmetriefreien Vektoren für $(A_1, B_1, C_1, A_2, B_2)$ aus Elementen von G_I , was 52 Konfigurationen ergibt (siehe Tabelle A.2). Für die drei restlichen Gruppenkonfigurationen werden die Konfigurationen durch alle möglichen Kombinationen der

permutationssymmetriefreien Vektoren für (A_1, B_1, C_1, A_2) mit denen für (B_2) bzw. für (A_1, B_1, A_2, B_2) mit denen für (C_1) , also jeweils $15 \cdot 1 = 15$ Konfigurationen, bzw. für (A_1, B_1, A_2) mit denen für (C_1, B_2) , also $5 \cdot 2 = 10$ Konfigurationen, gebildet.

Das Ergebnis dieser beiden Schritte ist ein Satz von topologisch unterschiedlichen Konfigurationen, die mittels der betrachteten Kombinationen von k Dienstinstanzen gebildet werden können. Dieser Satz von Konfigurationen enthält auch unsinnige Konfigurationen. Er stellt den Ausgangspunkt für die nachfolgenden Schritte dar, deren Ziel in der Reduktion der zu untersuchenden Konfigurationen besteht.

5.3.2 Ausschluss von Symmetrie bei Instanzen desselben Mehrwertdienstes

Symmetrien treten in Kombinationen von Mehrwertdienstinstanzen auf, die mindestens zwei Instanzen desselben Mehrwertdienstes beinhalten. Deren Grad k ist also größer als deren Ordnung l .

Zwei verschiedene Konfigurationen, die aus einer solchen Dienstkombination erzeugt wurden, gelten bezüglich der übereinstimmenden Mehrwertdienstinstanzen als symmetrisch, wenn aus einer der Konfigurationen durch Tausch der konkreten Endinstanzen der sich jeweils entsprechenden formalen Endinstanzen aus dieser Konfiguration eine der anderen Konfiguration topologisch äquivalente Konfiguration entsteht, die zusätzlich auch dieselbe Gruppenkonfiguration besitzt.

Die beiden Konfigurationen im folgenden Beispiel bestehen aus zwei Instanzen desselben Mehrwertdienstes mit je drei formalen Endinstanzen A , B und C , denen vier konkrete Endinstanzen 1, 2, 3 und 4 zugeordnet werden:

$$\begin{pmatrix} A_1 = 1 \\ B_1 = 2 \\ C_1 = 3 \\ A_2 = 2 \\ B_2 = 3 \\ C_2 = 4 \end{pmatrix} \quad \text{und} \quad \begin{pmatrix} A_1 = 1 \\ B_1 = 2 \\ C_1 = 3 \\ A_2 = 4 \\ B_2 = 1 \\ C_2 = 2 \end{pmatrix}.$$

Sie sind symmetrisch, was sich durch paarweises Vertauschen der formalen Endinstanzen der linken Konfiguration (A_1 und A_2 , B_1 und B_2 , C_1 und C_2) und anschließende (zyklische) Permutation der konkreten Endinstanzen ($1 \mapsto 4$, $4 \mapsto 3$, $3 \mapsto 2$, $2 \mapsto 1$) leicht nachvollziehen lässt.

Sind zwei Konfigurationen symmetrisch, braucht nur eine davon untersucht zu werden, da die andere wegen der Gleichheit der Mehrwertdienste und der topologischen Äquivalenz identische Ergebnisse liefert. Die Anwendung dieser Bedingung liefert folglich den ersten Beitrag zu einer Reduktion der zu untersuchenden Fälle.

5.3.3 Filterung nach den Einschränkungen

Für bestimmte Dienste enthält die Dienstbeschreibung explizit formulierte Einschränkungen, die bestimmte entartete Konfigurationen (siehe Abschnitt 4.2) ausschließen, da sie nicht möglich bzw. nicht sinnvoll sind. Diese Kriterien kommen hier zum Einsatz. Bei der Definition und Anwendung derartiger Einschränkungen muss jedoch vorsichtig vorgegangen werden, da bestimmte entartete Konfigurationen zwar für einen Dienst alleine keinen Sinn machen, in Kombination mit einem weiteren Dienst jedoch

relevant und problematisch sein können. Dies findet dann statt, wenn nicht die Konfiguration, sondern nur ein einfaches Kennzeichen dieser Konfiguration vom Dienst ausgeschlossen wird³. Die Erkennung einer solchen Wechselwirkung kann also durch die „voreilige“ Definition einer Einschränkung verhindert werden.

5.3.4 Anwendung von Kausalkriterien zur weiteren Filterung

Nicht alle mit den bisher beschriebenen Mitteln erzeugten Konfigurationen sind prinzipiell möglich, da es technische Randbedingungen gibt, die für solche Konfigurationen erfüllt sein müssen, bisher aber noch nicht beachtet wurden. Die wesentlichen Randbedingungen wurden für Dienste des Intelligenzen Netzes bereits in [134] eingeführt und werden hier in allgemeinerer Formulierung dargestellt.

Offensichtlich ist die **Bedingung des Zusammenhangs der Konfiguration**, nach der eine Wechselwirkung nur dann stattfinden kann, wenn die betrachtete Konfiguration im Sinne eines Graphen zusammenhängend ist⁴, dessen Knoten durch die konkreten Endinstanzen und dessen Kanten durch die Verbindungen zwischen den zugeordneten formalen Endinstanzen gebildet werden. In Abb. 5.3 wird diese Bedingung durch die Teile (a) und (b) veranschaulicht.

Diese Bedingung ist jedoch nur schwach. Die Tatsache, dass es mindestens eine gemeinsame konkrete Endinstanz zwischen je zwei Mehrwertdienstinstanzen gibt, reicht nicht aus, um sicherzustellen, dass die Dienste auch tatsächlich gemeinsam aktiv werden können. Die dazu zu erfüllende, stärkere **Bedingung für die auslösende Endinstanz** lautet folgendermaßen: Werden für alle beteiligten Dienstinstanzen kausale Beziehungen aufgestellt, die angeben, welche weiteren Dienstinstanzen durch diese Dienstinstanz ausgelöst werden können, so muss es mindestens eine kausale Kette geben, die alle beteiligten Dienstinstanzen enthält; anderenfalls ist die Aktivierung aller Dienste zusammen prinzipiell nicht möglich, und diese Konfiguration also für die Praxis nicht relevant. In Abb. 5.3 (c) ist eine solche kausale Kette für zwei Dienstinstanzen veranschaulicht.

Auch diese Bedingung kann noch weiter präzisiert werden, da die kausale Verkettung auf Grund *einer* gemeinsamen Endinstanz zu schwach ist: da die Auslösung eines Dienstes im Rahmen einer Verbindung erfolgt, können ohne Einschränkung auch nur die Konfigurationen betrachtet werden, bei denen eine solche Kausalkette für Verbindungen existiert, die einen Dienstauslöser enthalten (*initiiierende Verbindungen*, siehe Abschnitt 4.2). Diese Bedingung wird als die **Bedingung für die auslösende Verbindung** bezeichnet und ist in Abb. 5.3 (d) visualisiert.

Da die Bedingung für die auslösende Verbindung die für die auslösende Endinstanz impliziert, und diese wiederum die Zusammenhangsbedingung, genügt es, auf die Menge der erzeugten Konfigurationen die Bedingung für die auslösende Verbindung anzuwenden.

Für den häufigsten Fall, die Betrachtung von Wechselwirkungen zweiten Grades (d. h. mit zwei Mehrwertdienstinstanzen) lässt sich die Bedingung für die auslösende Verbindung erheblich einfacher darstellen, da die kausalen Zusammenhänge nun nahezu trivial sind: es muss lediglich sichergestellt werden, dass die initiierende Verbindung einer der beiden Dienstinstanzen mit der initiierenden oder einer abhängigen Verbindung der anderen Dienstinstanz zusammenfällt.

³Ein Beispiel ist das Verbot einer Rufumleitung eines Teilnehmers auf sich selbst. Geschieht diese Überprüfung an Hand der gewählten Nummer, so kann eine gleichzeitig aktive Rufnummernumsetzung das Ergebnis verfälschen. Wurde diese entartete Konfiguration vorher ausgeschlossen, wird genau dieses Szenario jedoch nicht Bestandteil der zu analysierenden Konfigurationen sein.

⁴Dabei wird vorausgesetzt, dass die Subgraphen, die zu jeweils einer Dienstinstanz gehören, ebenfalls zusammenhängend sind.

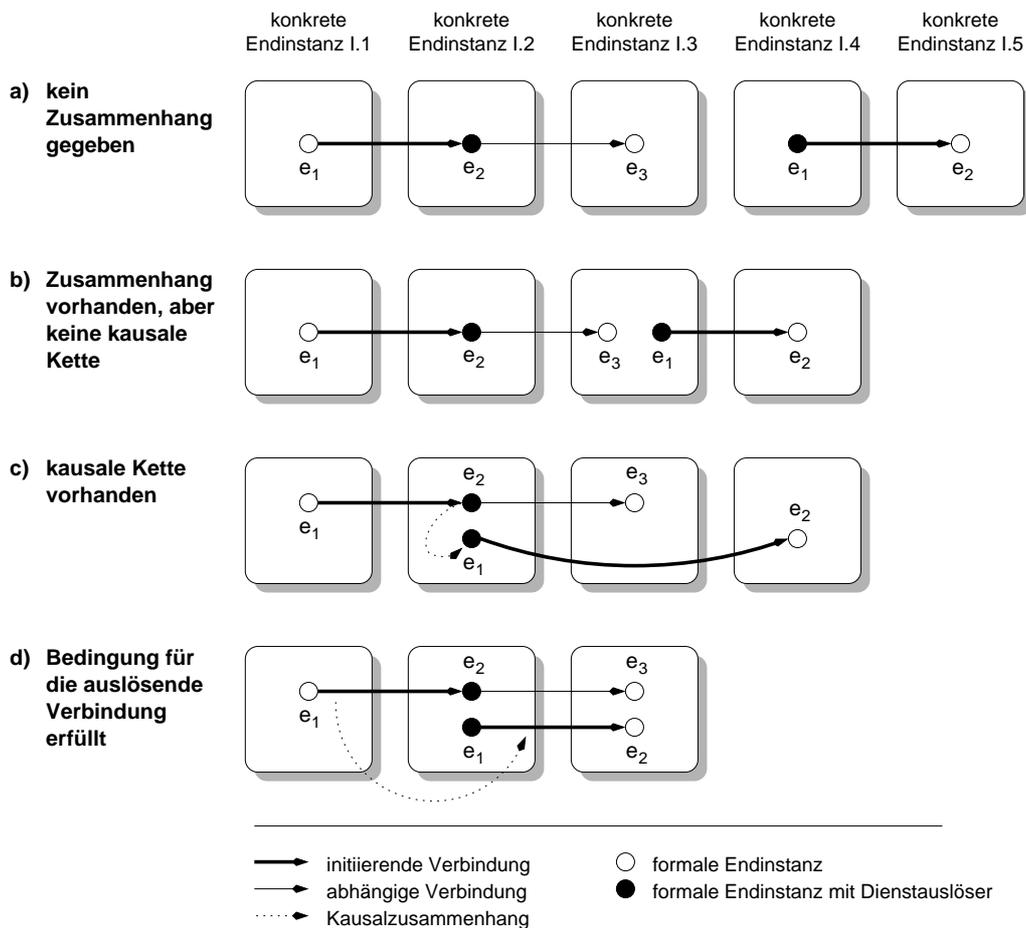


Abbildung 5.3: Anschauliche Darstellung der Anwendung von Kausalkriterien. Alle diese kombinierten Konfigurationen entstammen der Menge von 52 möglichen topologisch unterschiedlichen Konfigurationen.

Die Kausalkriterien leisten einen erheblichen Beitrag zur Reduktion der Anzahl zu betrachtender Konfigurationen; beispielsweise bleiben von den 52 theoretisch möglichen topologisch unterschiedlichen Konfigurationen aus Abb. 5.3 nur 2 Standardkonfigurationen und 7 entartete Konfigurationen, die die Bedingung für die auslösende Verbindung erfüllen. Mehr quantitative Ergebnisse der Anwendung dieser Bedingung sind den Tabellen 5.2 und 5.3 zu finden.

5.3.5 Ausschlüsse auf Grund gemeinsamer Aktivierungsverbote

Im Rahmen der Verwaltung von Teilnehmerprofilen in Kommunikationsnetzen liegen Informationen darüber vor, welche Dienste für einen Teilnehmer aktiviert sind. Unter Verwendung dieser Informationen ist es möglich, die gleichzeitige Aktivierung bestimmter Dienste für einen Teilnehmer (d. h. eine konkrete Endinstanz) zu unterbinden. Derartige Konfigurationen können dann auch von der Untersuchung auf Wechselwirkungen ausgeschlossen werden. Das auszuwertende Kriterium hierfür ist, ob dieselbe konkrete Endinstanz in einer kombinierten Konfiguration mehreren dienstaustösenden Endinstanzen zugeordnet ist und mindestens einer dieser Mehrwertdienste eine gemeinsame Aktivierung mit einem anderen dieser Mehrwertdienste ausschließt.

Derartige Bedingungen sind nicht Bestandteil der Modellierung eines einzelnen Dienstes, sondern müssen explizit vor der Durchführung der Untersuchung auf Wechselwirkungen für bestimmte Dienstkombinationen aufgestellt und berücksichtigt werden.

5.3.6 Ordnung nach Relevanz

Eine Quantifizierung der Relevanz einer Kombination von Mehrwertdienstinstanzen und der damit möglichen Konfigurationen ist nicht allgemeingültig möglich. Sie kann jedoch dann bedeutend sein, wenn eine vollständige Untersuchung aller Fälle aus Zeit- oder Aufwandsgründen nicht durchführbar ist. Kimbler [142] schlägt beispielsweise eine Anordnung vor, die sich an der Wahrscheinlichkeit orientiert, mit der bestimmte Dienste in Kombination in der Praxis aktiviert werden. Diese wird an Hand von Marktanalysen und Messungen im Netz festgestellt. In der vorliegenden Arbeit wird eine Bewertung der Relevanz bestimmter Kombinationen von Mehrwertdienstinstanzen (z. B. an Hand ihrer Auftretswahrscheinlichkeit) nur in sofern vorgenommen, dass zunächst eine Beschränkung auf die Untersuchung von Wechselwirkungen zweiten Grades erfolgt.

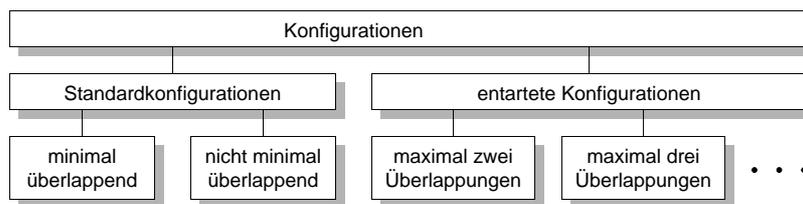


Abbildung 5.4: Hierarchie für die Einteilung kombinierter Konfigurationen

Für die Ordnung von Konfigurationen aus einer bestimmten Kombination wird die in Abschnitt 4.2 (Abb. 4.4) eingeführte Hierarchie von Konfigurationen als Ausgangspunkt gewählt. Jene Hierarchie bezieht sich jedoch auf einzelne Mehrwertdienstinstanzen, während hier Kombinationen von Mehrwertdienstinstanzen betrachtet werden.

Besonders hervorzuheben sind alle kombinierten Konfigurationen, die für jede einzelne Mehrwertdienstinstanz nur Standardkonfigurationen enthalten. Das bedeutet also, dass alle formalen Endinstanzen *einer* Dienstinstanz *unterschiedlichen* konkreten Endinstanzen zugeordnet sind. Hierbei lässt sich zusätzlich noch eine Unterscheidung der *Überlappung* zwischen den beteiligten Mehrwertdienstinstanzen vornehmen: *Minimale* Überlappung liegt vor, wenn nur die formalen Endinstanzen verschiedener Dienstinstanzen denselben konkreten Endinstanzen zugeordnet sind, die dies unbedingt zur Erfüllung der Bedingung für die auslösende Verbindung sein müssen. *Nicht minimale* Überlappung kennzeichnet die übrigen Fälle.

Entartete Konfigurationen enthalten für mindestens eine Mehrwertdienstinstanz eine entartete Konfiguration. Eine Unterteilung der entarteten Konfigurationen berücksichtigt noch das Maximum der *Anzahl von Überlappungen* innerhalb der Mehrwertdienstinstanzen (also der Zuordnung unterschiedlicher formaler Endinstanzen zu derselben konkreten Endinstanz). Für die kombinierten Konfigurationen ergibt sich also analog zur einzelnen Mehrwertdienstkonfiguration eine Hierarchie, die in Abb. 5.4 dargestellt ist.

5.3.7 Ergebnisse der Konfigurationserzeugung

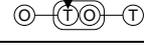
Ergebnis der Konfigurationserzeugung und der Anwendung einiger topologischen Kriterien ist eine Liste von Konfigurationen für jede betrachtete Kombination von Mehrwertdienstinstanzen. Diese enthält der Relevanz nach geordnet Standardkonfigurationen und entartete Konfigurationen. Diese Listen repräsentieren die Ausgangsdaten für die nachfolgenden Untersuchungsschritte, die sich jeweils nur auf einzelne Konfigurationen beziehen. Mit einem im Rahmen einer Diplomarbeit [194] entwickelten Werkzeug können Konfigurationen für Mehrwertdienste des Intelligenten Netzes automatisch erzeugt und

klassifiziert werden. Charakteristisch für diese Dienste ist das Auftreten weniger typischer Mehrwertdiensttopologien.

In Tabelle 5.2 werden quantitative Ergebnisse für die Erzeugung von Konfigurationen zweiten Grades erster Ordnung (also mit zwei Instanzen desselben Mehrwertdienstes) vorgestellt. Dazu wurden keine speziellen Mehrwertdienste, sondern einige typische Dienstopologien ausgewählt⁵. Die Anzahlen topologisch unterschiedlicher Konfigurationen n_{tu} wurden jeweils unter Berücksichtigung der Symmetrie ermittelt. Ist es erlaubt, denselben Dienst mehrfach bei derselben konkreten Endinstanz auszulösen, ergeben sich die Werte in den Zeilen ohne gemeinsames Aktivierungsverbot für die Anzahl der Standardkonfigurationen n_S und der entarteten Konfigurationen n_{eK} . Ein Verbot dieser mehrfachen Auslösung führt dazu, dass nur beim dritten Topologietyp noch Konfigurationen möglich sind, da nur dort ein zweites Rufzustandsmodell vom gleichen Typ wie das dienstaustlösende Rufzustandsmodell bei einer anderen formalen Endinstanz existiert.

Für Konfigurationen zweiten Grades zweiter Ordnung (also mit je einer Instanz zweier unterschiedlicher Mehrwertdienste) ergeben sich die in Tabelle 5.3 dargestellten Werte. Es wurden dabei keine gemeinsamen Aktivierungsverbote berücksichtigt. Auffallend ist die im Vergleich zu den Anzahlen topologisch unterschiedlichen Konfigurationen (n_{tu}) kleinen Zahlen von Standardkonfigurationen. Gerade diese sind für die Durchführung weiterer Untersuchungen besonders interessant.

Tabelle 5.2: Quantitative Ergebnisse von Konfigurationserzeugung und topologischer Analyse für Konfigurationen zweiten Grades erster Ordnung von Mehrwertdiensten des IN

		Topologie des beteiligten Mehrwertdienstes				
						
topologisch unterschiedlich	n_{tu}	11	11	117	117	117
ohne gemeinsames Aktivierungsverbot	n_S	1	1	4	4	4
	n_{eK}	1	1	20	16	16
mit gemeinsamen Aktivierungsverbot	n_S	0	0	2	0	0
	n_{eK}	0	0	8	0	0

 Verbindung mit rufender (O) und gerufener (T) Seite

 dto., dienstaustlösender Erkennungspunkt auf der *rufenden* Seite

 dto., dienstaustlösender Erkennungspunkt auf der *gerufenen* Seite

 Zusammenfassung mehrerer einer Endinstanz zugeordneter Verbindungszweige

n_{tu} Anzahl topologisch unterschiedlicher Konfigurationen

n_S Anzahl topologisch unterschiedlicher Standardkonfigurationen

n_{eK} Anzahl topologisch unterschiedlicher entarteter Konfigurationen

Ergebnisse der Konfigurationserzeugung und topologischen Analyse für eine Auswahl von zwölf realen Mehrwertdiensten sind in der Fallstudie in Anhang C zu finden. Dort wird auch eine Unterscheidung der Konfigurationen nach dem Grad der Überlappung vorgenommen.

⁵Dies könnten beispielsweise die Mehrwertdienste entgeltfreier Anruf, Anruf Sperre, Anrufumleitung, alternativer Anruf im Belegfall und Anklopfen auf der Seite des Angerufenen sein (siehe auch Anhang C).

Tabelle 5.3: Quantitative Ergebnisse von Konfigurationserzeugung und topologischer Analyse für Konfigurationen zweiten Grades zweiter Ordnung von Mehrwertdiensten des IN

Topologie des ersten Mehrwertdienstes								
15	15	52	52	52	n_{tu}		Topologie des zweiten Mehrwertdienstes	
1	1	2	2	2	n_S			
1	1	7	6	6	n_{eK}			
	15	52	52	52	n_{tu}			
	1	2	2	2	n_S			
	1	7	6	6	n_{eK}			
		203	203	203	n_{tu}			
		6	6	6	n_S			
		34	31	31	n_{eK}			
			203	203	n_{tu}			
			5	6	n_S			
			27	29	n_{eK}			
				203	n_{tu}			
				5	n_S			
				27	n_{eK}			

Zeichenerklärung siehe Tabelle 5.2

5.4 Untersuchung einzelner Konfigurationen

In Abschnitt 5.3 wurde dargestellt, auf welche Weise Konfigurationen mit mehreren Mehrwertdienstinstanzen erzeugt und mittels welcher Kriterien relevante Konfigurationen ausgewählt werden können. Die in diesem Abschnitt durchgeführten Untersuchungen beziehen sich auf jeweils *genau eine* dieser Konfigurationen. Dies bedeutet also, dass die hier beschriebenen Untersuchungen auf alle als relevant identifizierten Konfigurationen anzuwenden sind.

In Kapitel 4 wurden bereits die Grenzen für eine formale Systemmodellierung identifiziert: Das Ablaufverhalten einer einzelnen Verbindung mit ihren ausgelösten Mehrwertdienstinstanzen ist durchgehend formal beschreibbar und verifizierbar, während verbindungübergreifendes Verhalten hierfür zu komplex ist. Diese Unterscheidung ist für die Auswahl einer Untersuchungsmethodik für eine einzelne Konfiguration bedeutend. Bei Konfigurationen mit zwei oder mehr Mehrwertdienstinstanzen und Verbindungen mit zwei Endinstanzen lassen sich die folgenden grundsätzlichen Fälle unterscheiden:

1. *Mehrwertdienstinstanzen werden in mehr als einer Verbindung ausgelöst.* Dabei können die folgenden Unterfälle unterschieden werden:
 - (a) *In jeder Verbindung wird genau eine Mehrwertdienstinstanz ausgelöst.* In diesem Fall kann nur die verbindungübergreifende Untersuchung (siehe Abschnitt 5.4.2) zum Einsatz kommen, da eine Untersuchung einzelner Verbindungen keine Erkenntnisse bezüglich Wechselwirkungen bringt, da jeweils nur eine einzelne Dienstinstanz zu beobachten ist.
 - (b) *Es gibt zwar Verbindungen mit mehreren Mehrwertdienstinstanzen, aber nicht alle Dienstinstanzen werden in einer einzigen Verbindung ausgelöst.* Für der-

artige Konfigurationen ist ebenfalls nur die verbindungsübergreifende Untersuchung sinnvoll, da die Untersuchung der einzelnen Verbindungen jeweils nicht alle Dienstinstanzen umfassen kann und aus diesem Grund schon im Rahmen der i. d. R. bereits durchgeführten Untersuchung von Konfigurationen niedrigeren Grades abgedeckt wird.

2. *Alle Dienstinstanzen werden in einer einzigen Verbindung ausgelöst.* Hier führt die Untersuchung genau dieser einzelnen Verbindung (siehe Abschnitt 5.4.3) zu den gewünschten Ergebnissen.

Betrachtet man lediglich Konfigurationen zweiten Grades, so kann Fall 1.(b) nicht auftreten, da dann die Mehrwertdienstinstanzen *entweder* in mehreren Verbindungen *oder* in genau einer Verbindung ausgelöst werden. Nur bei Konfigurationen dritten und höheren Grades können alle drei verschiedenen Fälle auftreten.

5.4.1 Identifizierbare Wechselwirkungstypen

Bereits in Kapitel 3 wurden die drei Hauptentstehungsbereiche für Wechselwirkungen zwischen Mehrwertdiensten auf der Ebene der Systemarchitektur eingeführt: das *Ablaufverhalten*, der *Informationsfluss* und die *Verwendung von Ressourcen*. Die dabei auftretenden Wechselwirkungstypen werden nun eingeführt und beschrieben.

5.4.1.1 Ablaufverhalten

Mehrwertdienste besitzen die Fähigkeit, den Ablauf des Basisdienstes zu beeinflussen. Dies birgt immer dann Konfliktpotenzial, wenn eine Mehrwertdienstinstanz in Gegenwart mindestens einer anderen Mehrwertdienstinstanz davon Gebrauch macht.

Ein mögliches Problem entsteht dadurch, dass ein Mehrwertdienst durch einen Sprung in einen anderen Rufzustand anderweitig erreichbare Rufzustände, und damit auch die zugehörigen Erkennungspunkte faktisch überspringt. Dadurch kann die Auslösung eines anderen Mehrwertdienstes verhindert werden, oder die Erreichbarkeit eines bestimmten Ereigniserkennungspunktes für eine bereits aktive andere Mehrwertdienstinstanz beeinträchtigt werden. Diese Art der Wechselwirkung bezeichnet man als **Verhinderung** (engl. *disabling*). Ebenfalls durch diese Fähigkeit zu Sprüngen (hier: Rücksprüngen) innerhalb des Basisdienstes kann eine **Endlosschleife** (engl. *endless loop*) zustande kommen.

Beide Wechselwirkungstypen lassen sich zuverlässig nur im Rahmen eines formalen Modells erkennen, bei dem die vollständige Ablaufinformation vorliegt. Die kausalen Kriterien reichen im Regelfall dafür nicht aus. Aus diesem Grund kann die verbindungsübergreifende Untersuchung hier im Ggs. zur Untersuchung der einzelnen Verbindung nur wenig beitragen.

5.4.1.2 Informationsfluss

Mehrwertdienste können einerseits von Werten bestimmter Rufzustandsvariablen abhängig sein, andererseits auch die Fähigkeit besitzen, Rufzustandsvariablenwerte zu verändern. Dies gilt auch für virtuelle Rufzustandsvariablen. Die Kombination dieser Fähigkeiten ist eine häufige Ursache für Wechselwirkungen.

Setzt oder beschreibt eine Mehrwertdienstinstanz eine bestimmte Rufzustandsvariable und wird der Wert dieser Variablen zu einem späteren Zeitpunkt von einem anderen Mehrwertdienstinstanz gelesen, dann bezeichnet man dies als **Seiteneffekt** (engl. *side effect*) [161], da der Einfluss der ersten Instanz sich nicht auf die Beeinflussung des Basisdienstes

beschränkt, sondern gleichzeitig eine andere Mehrwertdienstinstanz ebenfalls betroffen ist. Seiteneffekte sind häufig auftretende Wechselwirkungen zwischen Mehrwertdienstinstanzen auf der Ebene der Systemarchitektur. Es muss an dieser Stelle hervorgehoben werden, dass diese Art der Wechselwirkung häufig erwünscht ist.

Liest oder benutzt eine Mehrwertdienstinstanz den Wert einer bestimmten Rufzustandsvariablen und wird dieser anschließend von einer anderen Mehrwertdienstinstanz überschrieben, so liegt eine **Annahmenverletzung** (engl. *invalidation of assumptions*) vor. Die potenzielle Problematik dieser Situation rührt daher, dass die erste Mehrwertdienstinstanz möglicherweise Schlüsse oder Entscheidungen auf einer Information aufbaut, die für den weiteren Rufverlauf nicht mehr gültig ist.

Setzen oder beschreiben zwei unabhängige Mehrwertdienstinstanzen dieselbe Rufzustandsvariable, so führt dieses **Überschreiben** (engl. *overwriting*) dazu, dass die durch die erste Mehrwertdienstinstanz gesetzte Information gelöscht oder zumindest verändert wird.

Die Feststellung, welche dieser Wechselwirkungstypen tatsächlich auftreten, ist zuverlässig nur unter Hinzunahme von genauer Ablaufinformation möglich, die hier nur für den Fall der Untersuchung einer Einzelverbindung in Form eines die Erreichbarkeitsanalyse ermöglichenden formalen Modells vorliegt. Fehlt diese, so kann durch die Überprüfung, ob entsprechende Schreib- oder Leseoperationen von den beteiligten Mehrwertdienstinstanzen ausgeführt werden, lediglich entschieden werden, ob diese Wechselwirkungen prinzipiell möglich sind. Auch die Unterscheidung zwischen *Seiteneffekt* und *Annahmenverletzung* kann ohne Information über die Reihenfolge der Ereignisse nicht getroffen werden.

5.4.1.3 *Verwendung von Ressourcen*

Wechselwirkungen bei der Verwendung von Ressourcen treten i. d. R. als **Zugriffskonflikte** auf, wenn mehrere Mehrwertdienstinstanzen auf dieselbe Ressource zugreifen. Wie bei den Wechselwirkungen auf Grund des Informationsflusses können auch hier Wechselwirkungen durch Zugriffskonflikte präzise nur erkannt werden, wenn Ablaufinformation vorliegt. Ohne genaue Ablaufinformation können nur potenzielle Zugriffskonflikte erkannt werden. Komplexere Wechselwirkungen, wie beispielsweise Verklemmungen auf Grund der Ressourcenverwendung z. B. durch wechselseitiges Warten beinhalten notwendigerweise auch einfache Zugriffskonflikte.

5.4.2 **Verbindungsübergreifende Untersuchung**

Gegenstand der verbindungsübergreifenden Untersuchung sind Konfigurationen, in denen Dienste im Rahmen mindestens zweier verschiedener Verbindungen ausgelöst werden. Die verbindungsübergreifende Untersuchung zeichnet sich dadurch aus, dass bis auf sehr einfache kausale Zusammenhänge Informationen über das tatsächliche Ablaufverhalten (also die exakte und detaillierte Ablaufreihenfolge) fehlen.

5.4.2.1 *Wechselwirkungen durch den Informationsfluss*

Die unabhängige Verwendung von Rufzustandsvariablen durch mehrere Mehrwertdienstinstanzen ist eine wesentliche Quelle für Wechselwirkungen der Typen des Seiteneffekts, der Annahmenverletzung und des Überschreibens. Für diese Typen von Wechselwirkungen müssen die folgenden beiden notwendigen Bedingungen erfüllt sein:

- ❑ **Bedingung für den Zusammenhang von Rufzustandsvariablen:** Für die betroffenen Rufzustandsvariablen muss eine Verbindung zwischen den Dienstinstanzen bestehen, d. h. es muss ein Weg existieren, auf dem Werte dieser Rufzustandsvariablen im Rahmen von Informationsflüssen in Form von Informationselementen von der einen zur anderen Dienstinstanz gelangen können.
- ❑ **Bedingung für die Kombination von Elementaroperationen:** Die betroffenen Mehrwertdienstinstanzen müssen Operationen auf diesen über Informationsflüsse gekoppelten Rufzustandsvariablen aus der ersten Bedingung (Bedingung für den Zusammenhang von Rufzustandsvariablen) ausführen, die zu Problemen führen können.

Die erste Bedingung identifiziert also einen Zusammenhang zwischen Rufzustandsvariablen in unterschiedlichen Endinstanzen, der dazu führt, dass diese dann als gekoppelte Rufzustandsvariablen angesehen werden können. Auf der Grundlage dieser gekoppelten Rufzustandsvariablen kann dann die zweite Bedingung zur Anwendung kommen. Gibt es Fälle, in denen beide Bedingungen erfüllt sind, dann sind die Möglichkeiten für eine Wechselwirkung auf Grund der Verwendung der betroffenen gekoppelten Rufzustandsvariablen vorhanden. Die Genauigkeit dieser Aussage kann im Rahmen der verbindungsübergreifenden Untersuchung nur gesteigert werden, indem kausale Beziehungen in die Untersuchung miteinbezogen werden.

Für den Einsatz der Bedingung für den Zusammenhang von Rufzustandsvariablen müssen zunächst Benutzungen von Rufzustandsvariablen identifiziert werden, die über Informationsflüsse gekoppelt werden. Dies erfolgt unter Zuhilfenahme der im Rahmen der verbindungsübergreifenden Modellierung (Abschnitt 4.4.5) ermittelten Informationen über den Informationsfluss durch Verbindungspunkte und zwischen den verschiedenen Verbindungen innerhalb von Endinstanzen. Dazu wird für jede durch eine Dienstinstanz benutzte Rufzustandsvariable ermittelt, ob zu Rufzustandsvariablen anderer Dienste solche Pfade durch entsprechende Informationsflüsse hergestellt werden. Falls dies zutrifft, werden die so verbundenen Rufzustandsvariablen auf problematische Operationskombinationen untersucht.

Stößt man bei der Pfadsuche auf Situationen in Verbindungspunkten oder Endinstanzen, in denen ein Informationselement nichterhaltend transformiert oder absorbiert wird, so muss untersucht werden, ob dieses nicht weitergegebene Informationselement von einem anderen Dienst benötigt wird. Ist dies der Fall, so liegt ein Hinweis auf eine mögliche Wechselwirkung vor. Im Falle eines Netzüberganges oder innerhalb einer Endinstanz ist diese Untersuchung i. d. R. einfach durchführbar, da der weitere Weg dieses Informationselements bekannt ist bzw. leicht ermittelt werden kann. Im Falle eines Technologieüberganges gestaltet sie sich schwieriger, da die Korrespondenzen zwischen den Informationselementen der Technologien diesseits und jenseits des Überganges bekannt sein müssen.

Ist ein Paar von Dienstinstanzen identifiziert, die bestimmte über einen Pfad verbundene Rufzustandsvariable benutzen, so muss nun ermittelt werden, ob diese Benutzungen Problempotenzial besitzen. Da Ablaufinformation fehlt, ist dabei die Reihenfolge der Benutzungen unbedeutend, es kommt nur auf deren Existenz an. Die Folgerung, die daraus gezogen werden kann, ist jedoch auch nur die der Möglichkeit einer Wechselwirkung. Tabelle 5.4 stellt die problematischen Operationskombinationen dar. Eine *Annahmenverletzung* oder ein *Seiteneffekt* kann überall dort entstehen, wo ein Lesevorgang (AE.RD/IN) durch einen und ein Schreibvorgang (RS.SP/SC) durch einen anderen Mehrwertdienst

ausgeführt werden. Ein *Überschreiben* erfordert Schreibvorgänge (RS.SU/SP/SC) durch beide Dienste, wobei auch das unveränderte Rücksenden zu Schwierigkeiten führen kann, wenn eine eventuelle Änderung überschrieben wird.

Tabelle 5.4: Problematische Operationskombinationen. Wegen der fehlenden Ablaufinformation ist die Reihenfolge nicht relevant. Die Tabelle ist aus diesem Grund symmetrisch besetzt.

		Elementaroperation der einen Mehrwertdienstinstanz							
		AE.NU	AE.NV	AE.RD	AE.IN	RS.NS	RS.SU	RS.SP	RS.SC
Elementaroperation der anderen Mwd. Instanz	AE.NU	–	–	–	–	–	–	–	–
	AE.NV	–	–	–	–	–	–	–	–
	AE.RD	–	–	–	–	–	–	A/S	A/S
	AE.IN	–	–	–	–	–	–	A/S	A/S
	RS.NS	–	–	–	–	–	–	–	–
	RS.SU	–	–	–	–	–	–	Ü	Ü
	RS.SP	–	–	A/S	A/S	–	Ü	Ü	Ü
	RS.SC	–	–	A/S	A/S	–	Ü	Ü	Ü

– kein Problempotenzial

A/S Annahmenverletzung oder Seiteneffekt je nach zeitlicher Reihenfolge möglich

Ü Überschreiben von Informationen möglich

Für die Identifikation von Wechselwirkungen durch den Informationsfluss reicht es aus, lediglich die minimal überlappenden Standardkonfigurationen zu betrachten. Bezüglich ihrer Verbindungsstruktur decken diese Konfigurationen nämlich die nicht minimal überlappenden und die entarteten Konfigurationen mit ab und führen daher für Wechselwirkungen, die auf Grund des Informationsflusses zustande kommen, nicht zu neuen Erkenntnissen.

5.4.2.2 Wechselwirkungen durch die Ressourcenverwendung

Das Fehlen von Ablaufinformation in der verbindungsübergreifenden Betrachtung begrenzt die Möglichkeiten zur Erkennung von Wechselwirkungen, die durch Konflikte bei der Ressourcenverwendung hervorgerufen werden, auf die Feststellung, ob durch unterschiedliche Dienste Belegungen derselben Ressource vorgenommen werden. Es ist also für jeden Dienst zu untersuchen, ob es andere Dienste gibt, die für dieselbe Ressourceninstanz Belegungsoperationen ausführen können. Wird ein solcher Fall identifiziert, weist dies auf eine mögliche Wechselwirkung hin.

Für Wechselwirkungen durch die Ressourcenverwendung sind neben den minimal überlappenden Standardkonfigurationen auch alle relevanten nicht minimal überlappende Standardkonfigurationen und entartete Konfigurationen von Bedeutung, da zahlreiche Ressourcen realen Endinstanzen zugeordnet sind und Zugriffskonflikte bei derartigen Ressourcen nur dann möglich sind, wenn dieselbe Ressource verwendet wird.

5.4.2.3 Einbeziehung kausaler Beziehungen in die Untersuchung

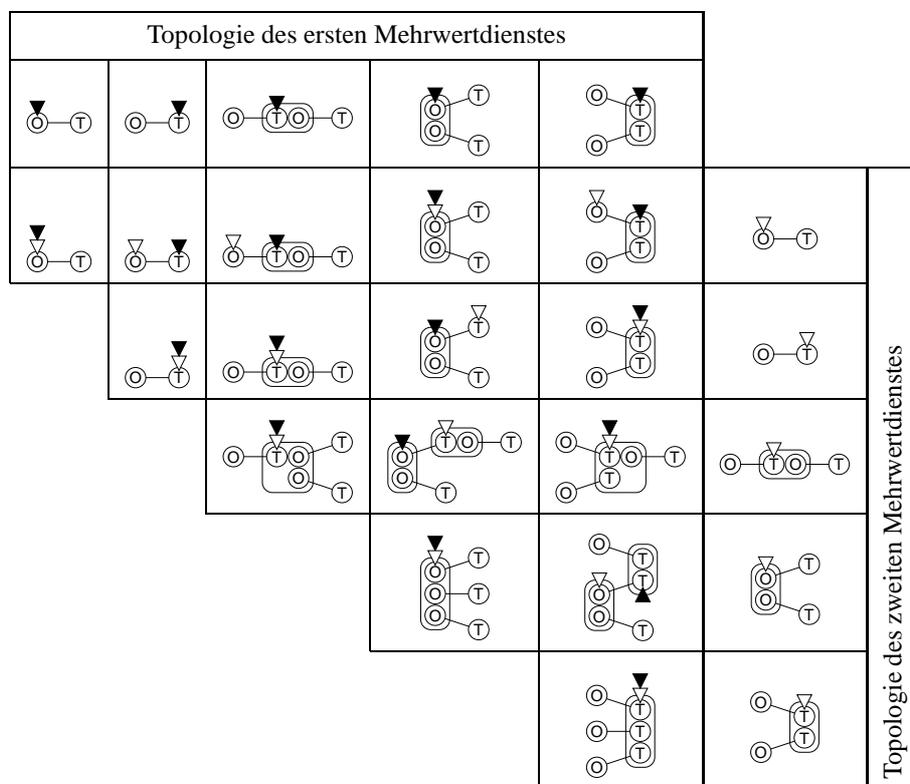
Durch die Einbeziehung kausaler Beziehungen zwischen den Verbindungen, also des Wissens, ob eine Verbindung initiiierend, abhängig oder vorhanden ist, kann in einigen Fällen eine Aussage über die Ablaufreihenfolge mehrerer Dienste gemacht werden. Dabei muss

allerdings darauf geachtet werden, dass die beteiligten Dienste keine Rücksprünge im Rufzustandsmodell besitzen, da in diesem Fall derartige Reihenfolgeaussagen häufig widerlegt werden können⁶. Aus diesem Grund ist diese Beurteilung nur schwer ohne die Verwendung eines formalen Modells automatisierbar.

5.4.3 Untersuchung der einzelnen Verbindung

Werden mehrere Mehrwertdienste innerhalb einer einzelnen Verbindung ausgelöst, so erfolgt die Untersuchung auf Wechselwirkungen mit Hilfe des formalen Modells für die einzelne Verbindung. Die dadurch verfügbaren präzisen Ablaufinformationen ermöglichen im Vergleich zur verbindungsübergreifenden Untersuchung eine wesentlich höhere Untersuchungsgenauigkeit.

Tabelle 5.5: Minimal überlappende kombinierte Konfigurationen, bei denen beide Dienstauslöser in derselben Verbindung liegen



▼ Lage des dienstaustlösenden Erkennungspunktes des ersten Mehrwertdienstes

▽ Lage des dienstaustlösenden Erkennungspunktes des zweiten Mehrwertdienstes

Sonst wie in Tabelle 5.2.

Standardkombinationen zweiten Grades, bei denen beide Mehrwertdienstinstanzen Erkennungspunkte in einer Verbindung besitzen, sind für die betrachteten Topologiebeispiele einfach zu ermitteln. Besitzt eine der beiden beteiligten Dienstopologien zwei formale

⁶Eine Aktion während der Rufaufbauphase in einer initiiierenden Verbindung muss aus Kausalitätsgründen bei einem Dienst ohne Rücksprungmöglichkeiten vor einer Aktion in der Rufaufbauphase einer abhängigen Verbindung erfolgen. Besitzt der Dienst derartige Rücksprungmöglichkeiten, ist diese Gewissheit nicht mehr gegeben.

Endinstanzen, dann gibt es genau eine solche Standardkombination, nämlich die, bei der diese zwei formalen Endinstanzen der initiierenden Verbindung der anderen Dienstopologie zugeordnet sind. Besitzen beide drei formale Endinstanzen, so gibt es zwei solche Standardtopologien; in beiden fallen die beiden initiierenden Verbindungen zusammen, einmal werden jedoch die beiden übrigbleibenden formalen Endinstanzen unterschiedlichen konkreten Endinstanzen, das andere Mal der selben konkreten Endinstanz zugeordnet.

Die minimal überlappenden kombinierten Konfigurationen, bei denen beide Dienstauslöser in derselben Verbindung liegen, sind zur Illustration in Tabelle 5.5 graphisch dargestellt.

5.4.3.1 Identifikation der zu untersuchenden Verbindungen

Gegenstand der Untersuchung einzelner Verbindungen sind Konfigurationen, in denen zwei oder mehr Dienste Erkennungspunkte im Rahmen einer einzelnen Verbindung nutzen. Beispiele für derartige Konfigurationen unter Beteiligung zweier Mehrwertdienste mit derselben oder mit unterschiedlichen Topologien werden in Tabelle 5.5 dargestellt. Da für die einzelne Verbindung das in Kapitel 4 beschriebene durchgehend formale Modell bereitsteht, kann für diesen Fall das Ablaufverhalten der im Rahmen der einzelnen Verbindung auftretenden Dienste exakt ermittelt werden. Zur genaueren Untersuchung werden jeweils die Verbindungen ausgewählt, die Erkennungspunkte beider Mehrwertdienste enthalten.

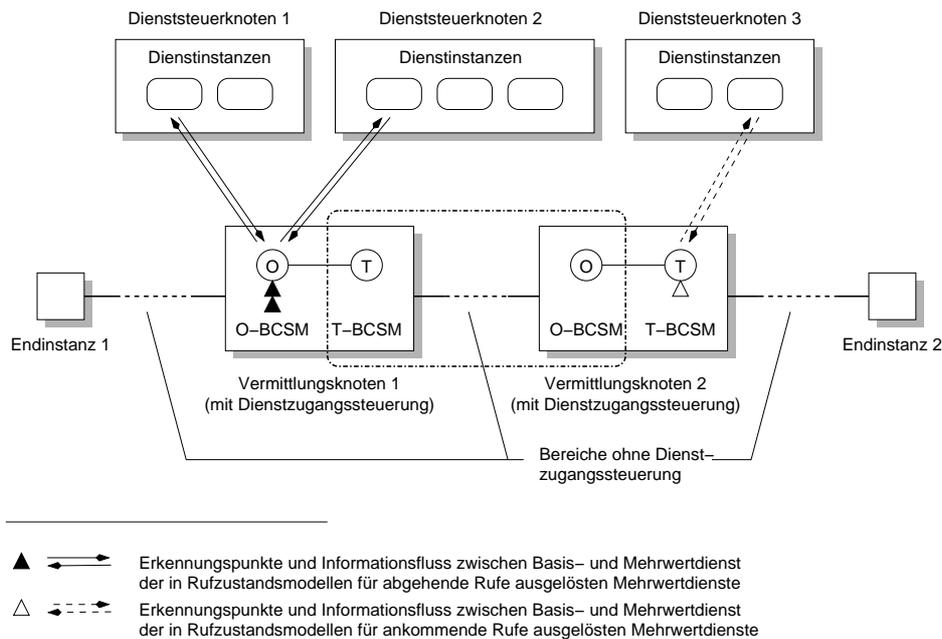


Abbildung 5.5: Dienstvermittlung im Rahmen einer Verbindung konzentriert/einseitig bzw. konzentriert/mehrseitig (gestrichelt bzw. unausgefüllt). Da der strichpunktirt umrandete Bereich für die Dienstverarbeitung funktionslos ist, geht der Dienstzugang von lediglich je einer Dienstzugangssteuerung für die rufende und gerufene Seite aus.

5.4.3.2 Konfigurationen der Dienstvermittlung

An der Herstellung einer Kommunikationsverbindung sind mindestens einer, in der Regel jedoch mehrere Vermittlungsknoten des Kommunikationsnetzes beteiligt. Mehrwertdien-

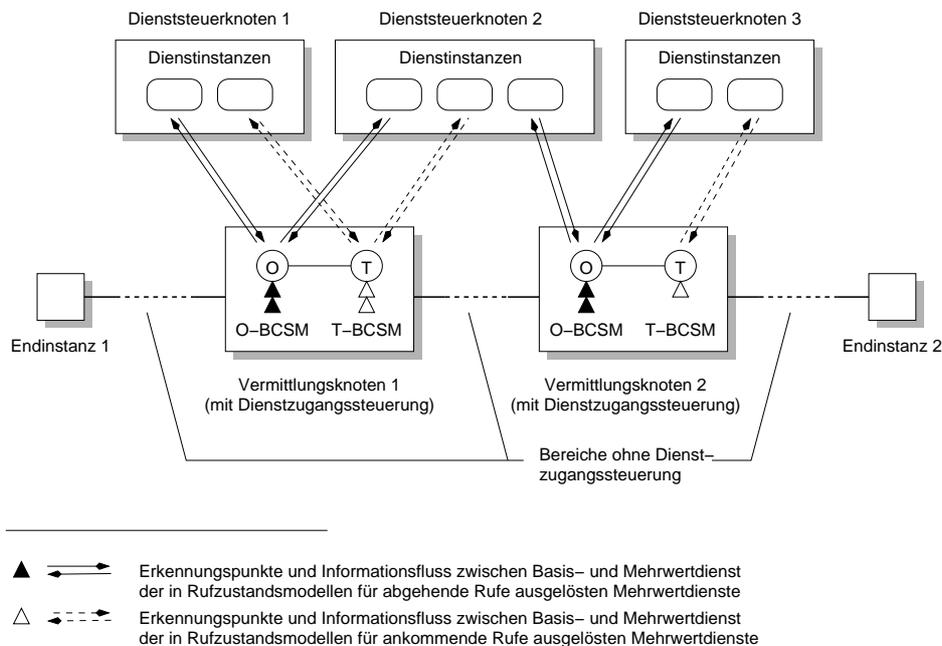


Abbildung 5.6: Dienstvermittlung im Rahmen einer Verbindung verkettet/einseitig bzw. verkettet/mehrseitig (gestrichelt bzw. unausgefüllt). Der Dienstzugriff kann jeweils von mehreren Dienstzugangssteuerungen für die rufende und die gerufene Seite ausgehen.

ste können prinzipiell in allen Knoten ausgelöst werden, die mit einer Dienstzugangssteuerung (*SSF*) ausgerüstet sind. Normalerweise werden alle Mehrwertdienste für die rufende bzw. für die gerufene Seite einer Verbindung jeweils von genau einer Dienstzugangssteuerung ausgelöst. Alle Erkennungspunkte für die Mehrwertdienste einer Seite sind also auf ein einziges Rufzustandsmodell der Verbindung konzentriert, weshalb dies als *konzentrierte Konfiguration* bezeichnet wird (Abb. 5.5). Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, dass Erkennungspunkte für dieselbe Seite in mehreren unterschiedlichen Dienstzugangssteuerungen genutzt werden können (Abb. 5.6), was als *verkettete Konfiguration* bezeichnet wird. Als *einseitige* bzw. *mehrseitige Nutzung* von Mehrwertdiensten wird das Vorhandensein von Mehrwertdiensten nur für eine Seite bzw. für beide Seiten der Verbindung bezeichnet (Abb. 5.5 und 5.6).

5.4.3.2.1 Konzentrierte Konfigurationen

In den konzentrierten Konfigurationen ist die Dienstvermittlung für jede Seite auf genau einen Dienstvermittlungsknoten in der Verbindung konzentriert. Für Dienste des Intelligenten Netzes bedeutet dies, dass die Erkennungspunkte einer Verbindung für die einseitige Nutzung in genau einem Rufzustandsmodell, im Falle der mehrseitigen Nutzung in je einem Rufzustandsmodell für die rufende und die gerufene Seite liegen.

Einseitige Nutzung. Die einseitige Nutzung von Diensten in einer konzentrierten Konfiguration ist der einfachste aller denkbaren Fälle. Hier liegen die Erkennungspunkte aller Dienste in *demselden* Rufzustandsmodell innerhalb *desselden* Dienstvermittlungsknotens. In derartigen Konfigurationen wirken mehrere Dienste tatsächlich auf dieselben Rufzustandsvariablen eines Rufzustandsmodells ein. In Abb. 5.5 ist eine derartige Konfiguration dargestellt. Die durchgezogenen Pfeile für sich alleine zeigen dabei eine einseitige Nutzung durch das rufende, die gestrichelten Pfeile für sich alleine durch das gerufene Rufzustandsmodell an.

Mehrseitige Nutzung. Eine konzentrierte mehrseitige Konfiguration ergibt sich durch gleichzeitige Betrachtung der durchgezogenen und gestrichelten Pfeile in Abb. 5.5. In einer solchen Konfiguration werden auf Grund der Beteiligung zweier gekoppelter Rufzustandsmodelle nicht mehr dieselben Rufzustandsvariablen beeinflusst, da die Rufzustandsmodelle durch unabhängige vermittlungstechnische Prozesse repräsentiert werden, die entweder im selben Vermittlungsknoten oder – wie in Abb. 5.5 dargestellt – in unterschiedlichen Knoten lokalisiert sind. Diese Prozesse sind durch Nachrichten miteinander synchronisiert. Auf diese Weise entstehen hier virtuelle Rufzustandsvariable.

5.4.3.2 Verkettete Konfigurationen

In der verketteten Konfiguration erfolgt die Dienstvermittlung innerhalb einer Verbindung für mindestens eine der beiden Seiten in mindestens zwei verschiedenen Knoten, also verteilt. Rufzustände werden hier also in jedem Falle durch virtuelle Rufzustandsvariablen repräsentiert, die sich über die Grenzen eines Dienstvermittlungsknotens hinaus erstrecken.

Einseitige Nutzung. Eine verkettete einseitige Konfiguration, bei der nur die rufende Seite Dienste nutzt, ist in Abb. 5.6 zu sehen, wenn nur die durchgezogenen Pfeile betrachtet werden. Es werden also nur durch Rufzustandsmodelle für abgehende Rufe Mehrwertdienste angesprochen. Die für jeweils einen Dienst erforderlichen Erkennungspunkte werden jedoch in jeweils einem eigenen Dienstvermittlungsknoten ausgelöst. Das hat – wie leicht einzusehen ist – Auswirkungen auf die möglichen Reihenfolgen, in denen Erkennungspunkte auftreten können⁷. Betrachtet man nur die gestrichelten Pfeile, so liegt eine verkettete Konfiguration vor, bei der Dienste nur durch die gerufene Seite genutzt werden.

Mehrseitige Nutzung. Werden durchgezogene und gestrichelte Pfeile in Abb. 5.6 als Bestandteile einer einzigen Konfiguration betrachtet, dann liegt der komplexeste Fall einer verketteten Konfiguration mit mehrseitiger Nutzung vor, d. h. mit Mehrwertdiensten auf sowohl der rufenden als auch auf der gerufenen Seite.

5.4.3.3 Analysen auf der Basis des Erreichbarkeitsgraphen

Für einzelne Verbindungen im Intelligenten Netz auf der Basis des CS-2 in konzentrierter und verketteter Konfiguration liegt die in Abschnitt 4.3.1 vorgestellte vollständige formale Beschreibung in der Spezifikationssprache LOTOS vor. Die im Rahmen der Betrachtung einer Einzelverbindung möglich gewordene Erreichbarkeitsanalyse an Hand eines formalen Modells liefert wertvolle Information über die Ausführung von Mehrwertdiensten, die für die verbindungsübergreifende Modellierung noch nicht verfügbar war: alle tatsächlich bei der Dienstauführung auftretenden Ausführungsspuren (engl. *trace*) in Form eines Erreichbarkeitsgraphen. Mit dieser Information ist nun feststellbar, ob bei der Verwendung bestimmter Informationselemente durch Dienste problematische Operationskombinationen tatsächlich auftreten oder ob durch die Verwendung derselben Ressourcen tatsächlich Zugriffskonflikte vorliegen. Damit liegt die mögliche Präzision der Aussagen für die Betrachtung der Einzelverbindung deutlich über der für die verbindungsübergreifende Untersuchung.

⁷Beispielsweise kann der Erkennungspunkt O_{03} (*Analysed_Information*) in demselben O-BCSM nur nach dem Erkennungspunkt O_{02} (*Collected_Information*) erreicht werden. In einer verketteten Konfiguration, in der der Rufaufbau von links nach rechts verläuft, tritt jedoch O_{02} im linken O-BCSM vor O_{03} im rechten BCSM auf, es kann allerdings auch O_{03} im linken vor O_{02} im rechten BCSM auftreten.

Im Folgenden werden die erkennbaren Wechselwirkungstypen der Bereiche des Ablaufverhaltens, des Informationsflusses und der Ressourcenverwendung vorgestellt. Ein aussagekräftiges Beispiel zu jedem dieser Typen befindet sich in Anhang C.

5.4.3.3.1 *Ablaufverhalten*

Durch die Art und Weise der Verwendung von Erkennungspunkten zur Dienstausslösung und Ereigniserkennung und durch die Möglichkeit, zwischen Rufzuständen zu springen, entstehen Quellen für Wechselwirkungen. Diese lassen sich prinzipiell mittels derselben Methoden auffinden, die auch zur Verifikation der Modelle einzelner Dienste⁸ zum Einsatz gekommen sind. Dabei spielen die allgemeinen Korrektheitskriterien wie Verklemmungsfreiheit und Abwesenheit von Zyklen ohne Fortschritt eine untergeordnete Rolle, da sie statt auf tatsächliche Wechselwirkungen eher auf Fehler bei der Modellierung hinweisen⁹.

Die Wechselwirkung der **Verhinderung** äußert sich dadurch, dass bestimmte Erkennungspunkte einer Mehrwertdienstinstanz in Anwesenheit einer anderen Mehrwertdienstinstanz nicht mehr erreichbar sind. Sie wird erkannt, indem die bereits zur Verifikation des einzelnen Dienstes verwendeten Kriterien zur Sicherstellung der Erreichbarkeit aller Erkennungspunkte im Rahmen einer Konfiguration mit mehreren Mehrwertdienstinstanzen nachgeprüft werden.

Endlosschleifen, die durch ein wechselseitiges Springen zwischen Rufzuständen entstehen können, sind über das Vorhandensein von Zyklen ohne Fortschritt im Erreichbarkeitsgraphen nachzuweisen, wenn dort lediglich die Ereignisse an den Benutzerschnittstellen sichtbar sind und die Mehrfachtriggerung von Diensten im formalen Modell gestattet ist.

5.4.3.3.2 *Informationsfluss*

Durch die Verfügbarkeit präziser Informationen über die möglichen Ausführungsspuren lassen sich auf der Einzelverbindungsebene viel genauere Aussagen als bei der verbindungsübergreifenden Untersuchung treffen. Dort konnte wegen der fehlenden Reihenfolgeinformation lediglich aus der Existenz bestimmter Kombinationen elementarer Operationen auf die prinzipielle Möglichkeit bestimmter Arten von Wechselwirkungen geschlossen werden (siehe Tabelle 5.4). Wechselwirkungen werden an Hand von Elementaroperationspaaren erkannt, deren beide Operationen unterschiedliche Mehrwertdienste betreffen. In Abb. 5.7 sind schematisch die möglichen Kombinationen von Operationen zweier Dienste zur Beeinflussung einer Rufzustandsvariable dargestellt. Dies schließt auch die Beeinflussung virtueller Rufzustandsvariablen ein:

- **AE/AE (Abb. 5.7 a)**. Beide Mehrwertdienstinstanzen erhalten den Wert einer Rufzustandsvariablen. Diese Kombination kann nicht zu Wechselwirkungen führen, da keine Wertänderung des Informationselementes erfolgt und deshalb keine Wirkung der einen Dienstinstanz auf die andere möglich ist.
- **AE/RS (Abb. 5.7 b)**. Ein Dienst empfängt den Wert eines Informationselements unmittelbar bevor ein anderer diesen möglicherweise verändert. Unter der Bedingung, dass die empfangende Mehrwertdienstinstanz den Wert des Informationselements genutzt hat (lesend oder zur Beeinflussung des Fortgangs) und die sendende

⁸siehe Abschnitt 4.3.1.6.2 auf Seite 86

⁹Auch eine Dienstkonfiguration, die nicht frei von Wechselwirkungen ist, besitzt auf der Ebene der Systemarchitektur üblicherweise keine Verklemmungen oder Zyklen ohne Fortschritt.

Mehrwertdienstinstanz diesen Wert verändert (aktualisiert oder erzeugt), liegt eine **Annahmenverletzung** vor.

- **RS/AE (Abb. 5.7 c).** Der Wert eines Informationselements wird von einer ersten Mehrwertdienstinstanz möglicherweise verändert, bevor er von einer zweiten Mehrwertdienstinstanz empfangen wird. Ein solcher **Seiteneffekt** kommt durch Beschreiben (aktualisiert oder erzeugt) und anschließendes Nutzen (lesend oder zur Beeinflussung des Fortgangs) des jeweiligen Informationselements zustande.
- **RS/RS (Abb. 5.7 d).** Der Wert eines Informationselements wird von beiden Mehrwertdienstinstanzen möglicherweise verändert. Dieses **Überschreiben** tritt dann auf, wenn die erste Mehrwertdienstinstanz ein Informationselement beschreibt (aktualisiert oder erzeugt) und die zweite Dienstinstanz diesen Wert dann überschreibt (durch den möglicherweise unveränderten, aktualisierten oder erzeugten Wert.).

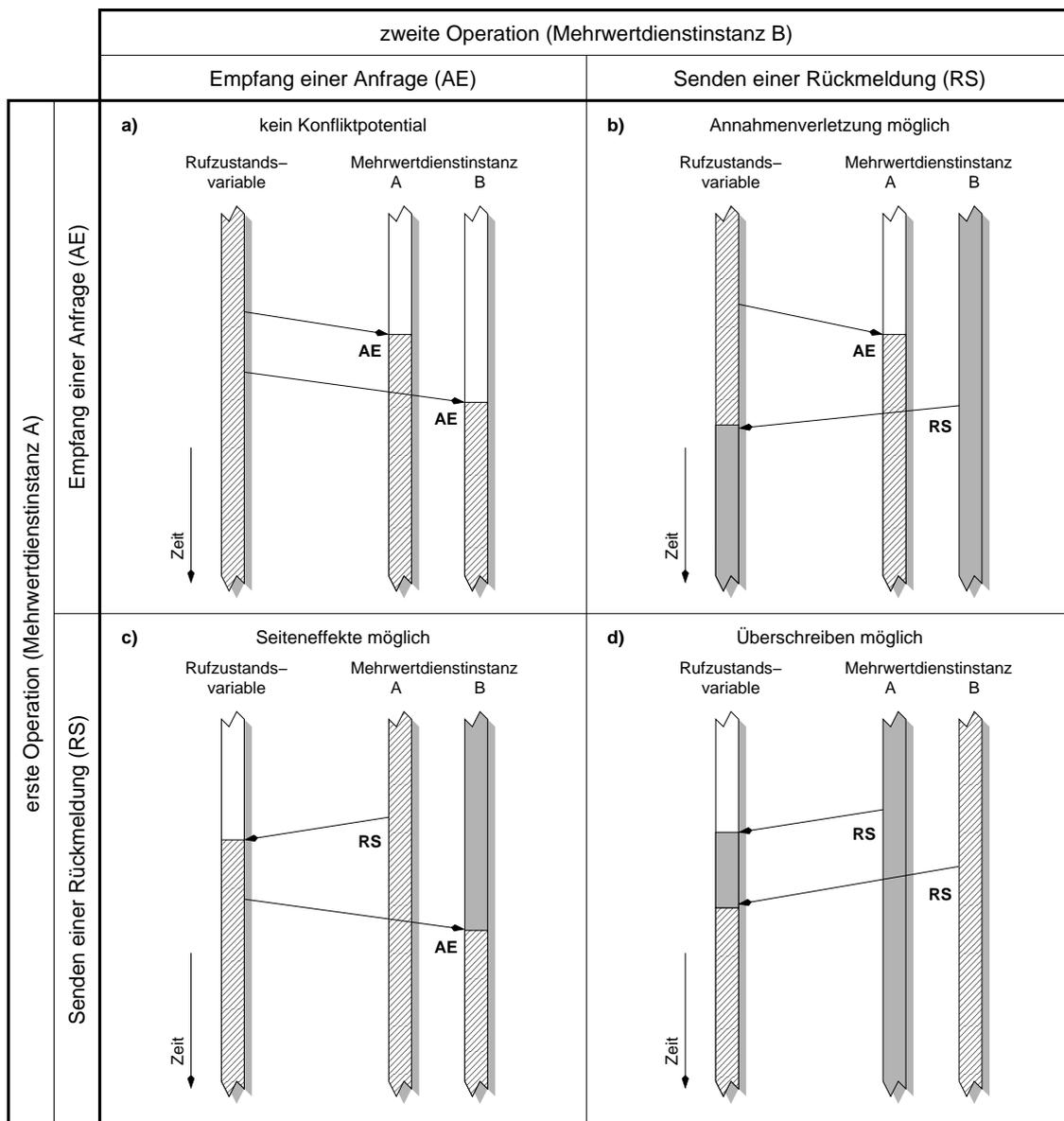


Abbildung 5.7: Veranschaulichung der Kombination von Operationen auf Informationselementen. Unterschiedliche Werte für ein Informationselement werden durch verschiedene Schraffuren angedeutet.

Tabelle 5.6 korrespondiert mit Abb. 5.7 und stellt diese Wechselwirkungstypen zusammengefasst dar. Es ist erkennbar, dass Tabelle 5.4 aus dieser Tabelle gewonnen werden kann, wenn die Reihenfolgeinformation nicht berücksichtigt wird, d. h. immer beide Reihenfolgen als möglich angesehen werden.

Das Vorliegen oder die Abwesenheit solcher Operationskombinationen wird durch Suche nach den Ereignisfolgen im Erreichbarkeitsgraphen nachgewiesen, die diesen Operationskombinationen entsprechen.

Tabelle 5.6: Problematische Operationskombinationen für die Betrachtung der Einzelverbindung (Ein formales Modell, d. h. Reihenfolgeinformation liegt vor).

		zweite Operation (Mehrwertdienstinstanz B)							
		AE.NU	AE.NV	AE.RD	AE.IN	RS.NS	RS.SU	RS.SP	RS.SC
erste Operation (Mehrwertdienstinstanz A)	AE.NU	–	–	–	–	–	–	–	–
	AE.NV	–	–	–	–	–	–	–	–
	AE.RD	–	–	–	–	–	–	A	A
	AE.IN	–	–	–	–	–	–	A	A
	RS.NS	–	–	–	–	–	–	–	–
	RS.SU	–	–	–	–	–	–	–	–
	RS.SP	–	–	S	S	–	Ü	Ü	Ü
	RS.SC	–	–	S	S	–	Ü	Ü	Ü

-
- kein Problempotenzial
 - S Seiteneffekt
 - A Annahmenverletzung
 - Ü Überschreiben von Informationen möglich

5.4.3.3 Ressourcenbenutzung

Die Modellierung des Verhaltens einer Ressource bezüglich ihrer Belegung bzw. Freigabe in Verbindung mit der verifizierten Funktion der einzelnen Dienste erlaubt es, mögliche **Zugriffskonflikte** aufzuspüren, die nur beim Zusammenspiel mehrerer Dienstinstanzen als Wechselwirkungen zwischen diesen auftreten. Dies erfolgt prinzipiell wie bei der Verifikation der einzelnen Dienste, indem an Hand des verwendeten Ressourcenmodells die Erfüllung der zum Modell gehörenden Kriterien überprüft wird.

Sind den im Rahmen der Einzelverbindung betrachteten Dienstinstanzen eine oder mehrere gemeinsame Ressourcen zugeordnet, muss mittels des vorliegenden Erreichbarkeitsgraphen ermittelt werden, ob ein Konflikt bei der Ressourcenbenutzung möglich ist. Dies geschieht dadurch, dass überprüft wird, ob Ereignisfolgen vorhanden sind, die zu einem Ressourcenverwendungskonflikt führen. Eine andere Möglichkeit besteht darin, nur die Ereignisse zu betrachten, die mit der untersuchten Ressource zusammenhängen und die Äquivalenz (genauer das Enthaltensein) dieses Erreichbarkeitsgraphen im Ressourcenmodell zu überprüfen.

Konflikte bei der Ressourcenverwendung können auch in Fällen erkannt werden, wo lediglich eine Dienstinstanz im Rahmen einer Verbindung eine Ressource verwendet. Die Ursache dafür ist die Einflussnahme auf den Ablauf des Dienstes durch die anderen beteiligten Dienstinstanzen. Derartige Zugriffskonflikte sind nicht zwangsläufig echte Wech-

selwirkungen zwischen Mehrwertdiensten, sondern können durch die Eigenschaften der Modellierung verursacht werden. Eine Prüfung im Einzelfall ist deshalb hier unerlässlich.

5.5 Bezug und Abgrenzung zu anderen Arbeiten

Das in diesem Kapitel vorgestellte Verfahren zur Erkennung von Wechselwirkungen zwischen Mehrwertdiensten auf der Ebene der Systemarchitektur lässt sich durch folgende wesentliche Eigenschaften charakterisieren:

- Die Arten der erkannten Wechselwirkungen sind in den Bereichen von Ablaufverhalten, Informationsfluss und Ressourcenverwendung präzise festgelegt. Dies bringt ein hohes Maß an Verlässlichkeit für die erhaltenen Ergebnisse und gleichzeitig Klarheit über die Grenzen der möglichen Aussagen.
- Das Verfahren unterscheidet *nicht* zwischen erwünschten und unerwünschten Wechselwirkungen, da eine solche Aussage ohne Kenntnisse um Absicht oder Zweck der verschiedenen Mehrwertdienste nicht möglich ist.
- Die System- und Mehrwertdienstmodellierung hält sich eng an die durch die Standardisierung (IN CS-2) vorgegebenen Mechanismen, insbesondere, was die Auslösung von Mehrwertdiensten und die Beeinflussung der Rufbearbeitung durch Mehrwertdienste betrifft. Um trotz der daraus resultierenden Komplexität des Modells die Möglichkeit zum Einsatz formaler Methoden nicht zu verlieren, werden Teilaspekte isoliert betrachtet und neue Ergebnisse durch die Zusammenführung von Ergebnissen aus diesen Betrachtungen gewonnen.
- Den organisatorischen Rahmenbedingungen (siehe Abschnitt 4.1.3) wird Rechnung getragen, indem nur das Verhalten der Mehrwertdienste an ihren Schnittstellen, nicht jedoch die internen Abläufe bekannt sein müssen.

Diese Eigenschaften, insbesondere die letzten beiden Punkte, grenzen das vorgestellte Verfahren von den meisten auf der Verwendung von formalen Methoden beruhenden Verfahren deutlich ab. Auf Grund ihres besonderen methodischen Bezugs zum hier vorgestellten Ansatz müssen jedoch zwei Arbeiten hervorgehoben werden: Lin, Liu *et al.* [161] haben die hier verwendete Formalisierung der Benutzung von Informationselementen erheblich beeinflusst, deren Potenzial allerdings erst in dieser Arbeit durch die Verbindung mit einem formal spezifizierten Ablaufmodell vollständig ausgeschöpft werden kann. Lin und Lin [160] haben mit ihrer Idee einer modularisierten und im Baukastensystem kombinierbaren Systemspezifikation, die auf die Anforderungen der formalen Verifikation hin optimiert ist, erheblich zur Handhabbarkeit und automatisierten Verifizierbarkeit einer großen Zahl von Mehrwertdiensten und Dienstkombinationen in dieser Arbeit beigetragen.

5.6 Diskussion der Ergebnisse einer Fallstudie

Im Rahmen einer Fallstudie mit zwölf Mehrwertdiensten, deren Ergebnisse in Anhang C ausführlicher präsentiert werden, wurde das in dieser Arbeit vorgestellte Verfahren evaluiert. Auf den ersten Blick fallen dabei die hohen Anteile von identifizierten Wechselwirkungen bei den formal verifizierten Betrachtungen einzelner Verbindungen bezüglich Ablauf und Informationsfluss auf, die jeweils nahezu 40% der betrachteten Konfigurationen betreffen. Ein ähnlich hoher Anteil ergibt sich bei der verbindungsübergreifenden

Untersuchung, wo allerdings nur notwendige Bedingungen für Wechselwirkungen identifiziert werden können.

Ein Vergleich mit den Ergebnissen der von Lin, Liu *et al.* [161] vorgestellten Studie, in der ähnliche Kriterien bei einer sehr beschränkten Klasse von Mehrwertdiensten Anwendung fanden, ergibt dort einen ähnlich hohen Anteil (47%) an wechselwirkungsbehafteten Konfigurationen. Diese hohen Anteile spiegeln nicht etwa die Unzulänglichkeit der Kriterien und Verfahren wieder, sondern vielmehr die im Intelligenten Netz tatsächlich vorhandene Enge der Kopplung zwischen den Mehrwertdiensten und dem gemeinsamen Basisdienst und damit auch zwischen den Mehrwertdiensten untereinander. Ein nennenswerter Anteil der identifizierten Wechselwirkungen ist dabei erwünscht und sogar für die korrekte Funktion des Mehrwertdienstes erforderlich, beispielsweise einige Verhinderungen von Erkennungspunkten oder Seiteneffekte im Informationsfluss.

Aus diesem Grund können die Ergebnisse der hier vorgestellten Erkennungsmethode nicht unmittelbar als Eingangsinformation für Verfahren zur Auflösung von Wechselwirkungen herangezogen werden. Dazu sind zunächst weitere Überlegungen bezüglich der Unerwünschtheit bestimmter Wechselwirkungen erforderlich. Das Verfahren verschafft dem Dienstentwickler oder -integrator vielmehr schnell Klarheit darüber, in welchen Aspekten und wie stark ein bestimmter Mehrwertdienst mit anderen verwoben ist und leistet auf diese Weise einen Beitrag zur Kontrolle der Wechselwirkungsproblematik.

5.7 Werkzeugunterstützung

Sowohl die Modellierung und Verifikation einzelner Mehrwertdienste und ihrer verschiedenen Aspekte (siehe Kapitel 4) als auch die Untersuchung von Kombinationen aus einer ganzen Sammlung von Mehrwertdiensten sind praktisch nur durchführbar, wenn sie durch leistungsfähige Werkzeuge unterstützt werden. Die im Rahmen dieser Arbeit eingesetzten, eigens entwickelten oder öffentlich verfügbaren Werkzeuge werden nun vorgestellt. Für die Konfigurationserzeugung und die topologische Analyse wurde ein Programmwerkzeug entwickelt [194], das die Erzeugung kombinierter Konfigurationen für Mehrwertdienste des Intelligenten Netzes inklusive des Ausschlusses von Symmetrien und der Anwendung von Kausalkriterien zur weiteren Filterung realisiert. Darüber hinaus sind im Rahmen dieses Werkzeugs Mechanismen zur verbindungsübergreifenden Untersuchung des Informationsflusses und der Ressourcenverwendung implementiert. Für Standardkonfigurationen können in eingeschränktem Maße Kausalbeziehungen in die Untersuchung einbezogen werden. Eine detailliertere Beschreibung des Aufbaus und der Möglichkeiten dieses Werkzeugs verbunden mit einer Fallstudie wurde bereits in [136] veröffentlicht. Die im Rahmen der Fallstudie im Anhang C dieser Arbeit in Abschnitt C.3 präsentierten Ergebnisse von Konfigurationserzeugung und topologischer Analyse wurden ebenfalls mit diesem Werkzeug ermittelt.

Für die Untersuchung auf der Ebene der einzelnen Verbindung mit Hilfe formaler Beschreibungs- und Verifikationstechniken kommen die LOTOS-Werkzeuge der *CÆSAR/ALDÉBARAN Development Package* (CADP) in den Versionen 97-b („Liège“) und 99-d-beta („Ottawa“) zum Einsatz. Neben den Werkzeugen zur Übersetzung der abstrakten Datentypen (*CÆSAR.ADT*) und zur Erzeugung von Erreichbarkeitsgraphen (*CÆSAR*) kommen für die durchzuführenden Verifikationsaufgaben Werkzeuge zur Analyse des Erreichbarkeitsgraphen z. B. auf Verklemmungen (*ALDÉBARAN* und *TERMINATOR*), zur Suche nach bestimmten Ereignissequenzen (*EXHIBITOR*) und zum Nachweis bestimmter in temporaler Logik formulierter Eigenschaften (*EVALUATOR*) zum Einsatz. Der Vergleich von Erreichbarkeitsgraphen bezüglich verschiedener Arten von Äquivalenz

wird durch das Werkzeug ALDÉBARAN unterstützt. Die mit Hilfe dieser Werkzeuge möglichen Verifikationen werden in Anhang B.3 beschrieben, soweit sie in dieser Arbeit Anwendung finden. Zur Automatisierung von Konfigurationen wurde die LOTOS-Spezifikation mit Hilfe eines Standardpräprozessors (CPP) bearbeitet; darüber hinaus kamen UNIX-Shell-Skripte und das Hilfswerkzeug MAKE zum Einsatz.

Als Alternative wurde im Rahmen einer Diplomarbeit [133] das Modell einer einzelnen Verbindung für das CS-1 des Intelligenten Netzes in SDL-92 [74, 183, 284] mit Hilfe der kommerziellen Entwicklungsumgebung *SDL Development Toolkit (SDT)* spezifiziert und untersucht. Während die Entwicklungsunterstützung für das Editieren und die Simulation einer Spezifikation erheblich mehr Möglichkeiten bietet als die LOTOS-Werkzeuge, ist die Mächtigkeit des Verifikationsteils erheblich geringer. Beim untersuchten Modell wurden für die Erreichbarkeitsanalyse trotz der Verwendung des effizienten *Supertrace*-Algorithmus nach Holzmann [118] schnell die Systemgrenzen erreicht, so dass lediglich eine zufällige Ausführung (engl. *random execution*) des Modells möglich war. Komplexere Verifikationstechniken (z. B. Minimierung, Nachweis von Ausdrücken in temporaler Logik) wurden nicht unterstützt. Im Bereich der Verifikation hat sich SDL also auf Grund der schwächeren Werkzeugunterstützung LOTOS gegenüber deutlich unterlegen gezeigt. Liegt der Schwerpunkt jedoch mehr auf der Simulation von Mehrwertdienstverhalten, bietet die SDL-basierte Entwicklung mehr Möglichkeiten (siehe auch [58, Kapitel 5]).

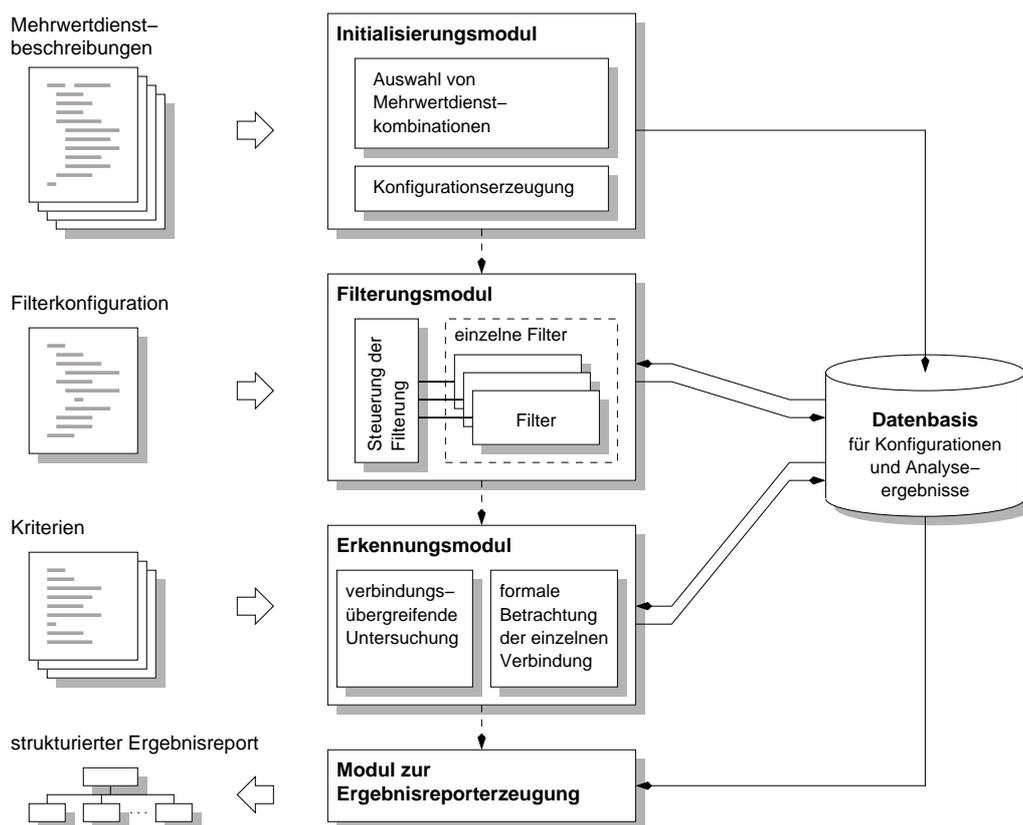


Abbildung 5.8: Erweiterung der modularen Werkzeugarchitektur nach [136]

Im Rahmen der in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen wurde auf eine enge Integration der verschiedenen eingesetzten Werkzeuge zu Gunsten von Flexibilität und Anpassungsfähigkeit zunächst verzichtet. Ein industrieller Einsatz eines solchen Verfahrens erfordert jedoch eine solche Integration, um Akzeptanz und Handhabbarkeit des Verfahrens zu gewährleisten. Die bereits in [136] vorgeschlagene modulare Werkzeugarchitektur

könnte zu diesem Zweck um der Filterung nachgeschaltete Module zur Durchführung der verbindungsübergreifenden Untersuchungen und der formalen Verifikation der einzelnen Verbindung und um ein Modul zur Erzeugung eines strukturierten Ergebnisreports aus den angefallenen Rohdaten ergänzt werden (siehe Abb. 5.8).

6 Zusammenfassung und Ausblick

6.1 Zusammenfassung

Die steigende Anzahl von Mehrwertdiensten in Telekommunikationsnetzen und die Erschließung neuer Anwendungsfelder für solche Dienste z. B. in den Bereichen von Sicherheit und elektronischem Handel (siehe dazu beispielsweise [99] oder [127]) erhöht in bedeutendem Maße die Notwendigkeit, frühzeitig kritische Bereiche beim Zusammenwirken dieser Dienste, also sogenannte Wechselwirkungen, zu erkennen, um über zu treffende Maßnahmen entscheiden zu können.

Nach einer Einführung in die netztechnischen Grundlagen wurde in dieser Arbeit zunächst ein begriffliches Rahmenwerk für den Umgang mit Wechselwirkungen zwischen Mehrwertdiensten geschaffen. Die Begriffe des Grades, also der Anzahl der an einer Wechselwirkung beteiligten Mehrwertdienstinstanzen, und der Ordnung, also der Anzahl der beteiligten unterschiedlichen Mehrwertdienste, erleichtern die Beschreibung von Wechselwirkungen. Die Berücksichtigung der Entstehungsebene von Wechselwirkungen unterstützt die Auswahl von geeigneten Methoden zum Umgang mit Wechselwirkungen. Als Entstehungsebenen wurden dabei die Anforderungsebene, auf der Zweck und Intention eines Mehrwertdienstes festgelegt werden, die Ebene der Systemarchitektur, auf der die Einbettung eines Mehrwertdienstes in eine abstrakte Systemarchitektur erfolgt, und die Realisierungsebene, auf der die realen Implementierungen betrachtet werden, identifiziert. Für die Übersicht über bereits bekannte Verfahren zum Umgang mit Wechselwirkungen hat sich eine Einteilung nach der Zielrichtung des Ansatzes (Erkennung, Auflösung, Vermeidung oder Management) als geeignet gezeigt.

Das in dieser Arbeit eingeführte Verfahren zur Erkennung von Wechselwirkungen zwischen Mehrwertdiensten durch Analyse ihrer Konfigurationen und Protokollabläufe erlaubt die Identifikation einer Klasse von Wechselwirkungen auf der Ebene der Systemarchitektur. Dabei liegen Untersuchungen des Ablaufverhaltens, des Informationsflusses und der Ressourcenverwendung im Rahmen aller möglichen Konfigurationen der untersuchten Mehrwertdienste zu Grunde. Die identifizierbaren Wechselwirkungen umfassen dabei beim Ablaufverhalten von Mehrwertdiensten die Verhinderung der Erreichbarkeit bestimmter Zustände und das Auftreten von Endlosschleifen, beim Informationsfluss zwischen solchen Diensten die Verletzung von Annahmen, die Entstehung von Seiteneffekten oder das Überschreiben von Informationen sowie bei der Ressourcenverwendung Konflikte beim Zugriff auf bestimmte, von unterschiedlichen Instanzen benutzbare Ressourcen. Eine Unterscheidung zwischen erwünschten und unerwünschten Wechselwirkungen wird dabei nicht getroffen, weil diese an Hand der identifizierten Effekte alleine nicht allgemein möglich ist.

Zwischen Mehrwertdienstinstanzen des Intelligenten Netzes, die im Rahmen einer Rufbeziehung aktiv werden, sind solche Wechselwirkungen ein häufig beobachtetes Phänomen. Aus diesem Grunde wurde das Architekturkonzept des IN basierend auf dem Funkti-

onsumfang des CS-2 herangezogen, um die Arbeitsweise des Erkennungsverfahrens vorzustellen und zu illustrieren. Es basiert auf der Verwendung informeller Kriterien und formaler Verifikationstechniken. Voraussetzung für den Einsatz des Verfahrens ist die Erstellung eines Systemmodells. Obwohl eine durchgehende Modellierung in einer formalen Beschreibungssprache prinzipiell möglich wäre, wurde hier wegen des dabei zu erwartenden und in experimentellen Voruntersuchungen auch bestätigten extremen Anstiegs der Zustandsraumgrößen (der sogenannten „Zustandsraumexplosion“) ein Ansatz der Isolation und Kombination von Teilaspekten gewählt. Diese Teilaspekte sind die bereits genannten Bereiche des Ablaufverhaltens, des Informationsflusses und der Ressourcenverwendung jeweils auf einer verbindungsübergreifenden Ebene und auf der Ebene der einzelnen Verbindung und werden jeweils für sich modelliert.

Ausgangspunkt für die Untersuchung von Mehrwertdienstkombinationen auf Wechselwirkungen ist die Auswahl der Mehrwertdienste selbst und die Ermittlung relevanter bzw. der Ausschluss irrelevanter Verbindungstopologien, die durch Instanzen dieser Mehrwertdienste gebildet werden können. Für diese Kombinationen und Verbindungstopologien wurden Verfahren zu ihrer Erzeugung und verschiedene Kriterien (Ausschluss von Symmetrien, Verwendung expliziter Einschränkungen, Kausalkriterien, topologische Charakteristika) zur Beurteilung ihrer Relevanz erarbeitet. Für diejenigen Verbindungstopologien, in denen die beteiligten Mehrwertdienstinstanzen dieselbe Verbindung betreffen, kann die formale Beschreibungssprache LOTOS und formale Verifikation basierend auf der Erreichbarkeitsanalyse und nachgeordnetem Nachweis von auf Wechselwirkungen hinweisenden Eigenschaften eingesetzt werden. Für alle anderen Topologien ist wegen der Nichtdurchführbarkeit einer Erreichbarkeitsanalyse die Untersuchung auf die Anwendung schwächerer informeller Kriterien beschränkt.

Das vorgestellte Verfahren unterstützt eine Strukturierung des komplexen Vorgehens bei der Untersuchung von Mehrwertdiensten auf Wechselwirkungen. Die Ordnung von Konfigurationen und Verbindungstopologien nach Relevanz und die vollständige Automatisierbarkeit erlauben es, einen schnellen Überblick über die „Gefahrenpotenziale“ in einem Satz von Mehrwertdiensten zu gewinnen, ohne dass dabei die formale Verifikation alle handhabbaren Dimensionen sprengt. Die organisatorischen Rahmenbedingungen werden dabei respektiert, da nur Information über das Verhalten der Dienste an ihren Schnittstellen eingesetzt wird. Systembedingte Genauigkeitseinbußen entstehen wegen der Isolation der Teilaspekte dadurch, dass keine Rückwirkung von Informationsfluss und Ressourcenverwendung auf den Ablauf modelliert werden kann.

An Hand einer zwölf verschiedene Mehrwertdienste umfassenden Fallstudie wurde die Funktionsweise des Verfahrens demonstriert. Dabei konnten in einem großen Anteil aller untersuchten Mehrwertdienstkombinationen Wechselwirkungen identifiziert werden. Ein Vergleich mit Ergebnissen anderer Forscher, die in Teilen vergleichbare Untersuchungen unter Anwendung anderer Methoden durchgeführt haben [161], konnte die aufgetretenen Größenordnungen bestätigen. Bedingt wird diese hohe Quote zum einen natürlich durch die Auswahl der Mehrwertdienste für die Fallstudie, zum anderen jedoch durch die enge Verzahnung der Mehrwertdienste im IN besonders auf Grund des Erkennungspunktmechanismus' und des Informationsflusses. Zahlreiche dieser Wechselwirkungen konnten bei einer nachträglich durchgeführten Ergebnisbeurteilung jedoch als zu erwarten bzw. erwünscht eingestuft werden.

Die Anwendbarkeit des Verfahrens ist nicht auf Mehrwertdienste des IN oder auf Telekommunikationssysteme allgemein beschränkt. Bei einer entsprechenden Anpassung des Systemmodells lässt es sich in seinem methodischen Kern auch zur Erkennung von Wech-

selwirkungen in andersartigen Systemen verwenden, in denen die beteiligten Instanzen in einer technischen Dienstleistungsbeziehung zueinander stehen und mehrere Instanzen Dienste für dieselbe „Basisdienst“-Instanz erbringen und somit auf diese Einfluss nehmen können.

6.2 Ausblick

In dieser Arbeit wurde der methodische Kern eines Verfahrens zur Erkennung von Wechselwirkungen zwischen Mehrwertdiensten erarbeitet. Zum produktiven Einsatz ist eine Integration in bereits existierende und verbreitete Vorgehensmodelle zur Diensterstellung erforderlich. Insbesondere sollte auf der Eingangsseite eine Integration in bestehende Dienstentwicklungsumgebungen erfolgen, was auch eine automatisierte Erzeugung der für das Verfahren erforderlichen Mehrwertdienstbeschreibungen umfasst. Diese ist auf Grund der in der Dienststellungsumgebung vorliegenden Information prinzipiell möglich. Auf der Ausgangsseite ist eine gute Aufbereitung und Strukturierung der Untersuchungsergebnisse für deren gewinnbringende Nutzung unabdingbar, um die große Menge an Detailergebnissen zu erschließen.

Die in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse bezüglich der Ursachen für Wechselwirkungen auf der Ebene der Systemarchitektur und die Erkenntnis, wie zahlreich derartige Wechselwirkungen im Architekturkonzept des IN bedingt durch die enge Verzahnung von Mehrwertdiensten und die daraus resultierenden Abhängigkeiten tatsächlich auftreten, legt die Schlussfolgerung nahe, dass die Erreichbarkeit des Zieles eines wirklich unabhängigen Entwurfs neuer Mehrwertdienste durch unterschiedliche Organisationen unter vollständiger Ausnutzung aller Fähigkeiten des IN-Architekturkonzepts sehr fragwürdig erscheint. Stattdessen wird die explizite Berücksichtigung der Abhängigkeiten z. B. durch Einschränkung oder Kooperation noch lange Zeit gängige Praxis für die Auflösung oder Vermeidung *unerwünschter* Wechselwirkungen auf der Ebene der Systemarchitektur bleiben. Dieses Vorgehen kann durch Rahmenwerke für die Dienstrealisierung erhebliche Unterstützung erfahren. Beispielsweise kann durch eine Zusammenfassung verschiedener Mehrwertdienste in Gruppen mit genau definierten Einflussmöglichkeiten auf den Basisdienst eine enge Kooperation zwischen den Diensten innerhalb dieser Gruppen unterstützen und gleichzeitig die Beziehungen zwischen diesen Gruppen weniger dynamisch, explizit und dadurch besser kontrollierbar gestalten. In Ansätzen wurde ein derartiges Konzept für eine Gruppe von verschiedenen Rufnummernumsetzungsdiensten zur Nummernportabilität von Lehmacher, Lautenschlager *et al.* [159] vorgeschlagen.

A Permutationssymmetrie

A.1 Definition (Permutationssymmetrie)

Sei E eine m -elementige Menge $E = \{e_1, \dots, e_m\}$. Zwei n -dimensionale Vektoren $\vec{a}, \vec{b} \in E^n$ heißen *permutationssymmetrisch*, wenn

$$\bigwedge_{i,j \in \{1, \dots, n\}} [a_i = a_j \rightarrow b_i = b_j] \quad \wedge \quad \bigwedge_{i,j \in \{1, \dots, n\}} [a_i \neq a_j \rightarrow b_i \neq b_j].$$

Anschaulich bedeutet dies, dass Elemente, die innerhalb des Vektors \vec{a} gleich sind auch innerhalb von \vec{b} gleich sind, und solche, die sich bei \vec{a} unterscheiden auch bei \vec{b} verschieden sind. Es existiert also eine *bijektive* Abbildung, mit deren Hilfe \vec{a} elementweise in \vec{b} überführt werden kann (und umgekehrt). Die von Nakamura [177] benutzte Definition ist der hier eingeführten Definition äquivalent.

A.2 Algorithmus zur Erzeugung von Mengen permutationssymmetriefreier Vektoren

A.2.1 Analytische Vorgehensweise

Es ist algorithmisch einfach, die Menge $V_{all}(n, E)$ aller möglichen n -dimensionalen Vektoren mit Elementen aus E zu bilden:

$$V_{all}(n, E) = \{(e_{i_1}, \dots, e_{i_n}) \mid i_1, \dots, i_n \in \{1, \dots, m\}\} \quad \text{für} \quad E = \{e_1, \dots, e_m\}.$$

Daraus kann eine Menge $V_{psf}(n, E)$ aller permutationssymmetriefreien Vektoren gebildet werden, indem zunächst alle Elemente aus $V_{all}(n, E)$ mit Hilfe des Kriteriums zur Identifikation von Permutationssymmetrie aus der Definition in Teilmengen eingeteilt werden, die jeweils nur permutationssymmetrische Vektoren enthalten und dann aus jeder dieser Teilmengen genau ein Vektor in die Menge $V_{psf}(n, E)$ übernommen wird.

Diese Vorgehensweise ist sehr ineffizient, da in der Regel

$$|V_{all}(n, E)| = m^n \gg |V_{psf}(n, E)|.$$

Aus diesem Grund wird im unmittelbar folgenden Abschnitt ein konstruktiver Algorithmus zur Erzeugung permutationssymmetriefreier Vektoren eingeführt.

A.2.2 Konstruktive Vorgehensweise

Weniger aufwändig als die analytische Vorgehensweise ist die direkte Erzeugung von $V_{psf}(n, E)$ mit Hilfe des folgenden rekursiven Algorithmus':

1. Ohne Beschränkung der Allgemeinheit kann festgestellt werden, dass ein Beispiel für eine Menge aller eindimensionaler permutationssymmetriefreier Vektoren durch

$$V_{psf}(1, E) = \{(e_1)\} \quad \text{für } E = \{e_1, \dots, e_m\}$$

gegeben ist.

2. Ist eine Menge $(n - 1)$ -dimensionaler permutationssymmetriefreier Vektoren $V_{psf}(n - 1, E)$ für $n \geq 2$ bekannt, so kann eine Menge n -dimensionaler permutationssymmetriefreier Vektoren $V_{psf}(n, E)$ auf die nachfolgend beschriebene Weise ermittelt werden.

Für jeden Vektor $\vec{e} = (e_1, \dots, e_{n-1}) \in V_{psf}(n - 1, E)$ werden folgende Schritte ausgeführt:

- Bilde die Menge E' aller in \vec{e} vorkommenden Elemente.
- $V_{psf}(n, E)$ enthält alle Vektoren $(e_1, \dots, e_{n-1}, e_{neu})$ mit $e_{neu} \in E'$.
- Ist $E \setminus E' \neq \{\}$, dann enthält $V_{psf}(n, E)$ auch genau einen Vektor $(e_1, \dots, e_{n-1}, e_{neu})$ mit $e_{neu} \in E \setminus E'$.

Tabelle A.1 illustriert diese Vorgehensweise für Mengen von 1- bis 4-dimensionalen permutationssymmetriefreien Vektoren. Die Bezeichnungen der Schritte beziehen sich dabei auf den gerade vorgestellten Algorithmus.

Tabelle A.1: Beispiel für die Erzeugung aller 1- bis 4-dimensionalen permutationssymmetriefreien Vektoren aus der Menge der Elemente $E = \{e_1, e_2, e_3, e_4\}$

$V_{psf}(1, E)$		$V_{psf}(2, E)$		$V_{psf}(3, E)$		$V_{psf}(4, E)$	
Schritt	Element	Schritt	Element	Schritt	Element	Schritt	Element
1	(e_1)	2.b	(e_1, e_1)	2.b	(e_1, e_1, e_1)	2.b	(e_1, e_1, e_1, e_1)
						2.c	(e_1, e_1, e_1, e_2)
						2.b	(e_1, e_1, e_2, e_1)
						2.b	(e_1, e_1, e_2, e_2)
						2.c	(e_1, e_1, e_2, e_3)
						2.c	(e_1, e_1, e_2, e_4)
		2.c	(e_1, e_2)	2.b	(e_1, e_2, e_1)	2.b	(e_1, e_2, e_1, e_1)
						2.b	(e_1, e_2, e_1, e_2)
						2.c	(e_1, e_2, e_1, e_3)
						2.b	(e_1, e_2, e_2, e_1)
						2.b	(e_1, e_2, e_2, e_2)
						2.c	(e_1, e_2, e_2, e_3)
		2.c	(e_1, e_2, e_3)	2.c	(e_1, e_2, e_3)	2.b	(e_1, e_2, e_3, e_1)
						2.b	(e_1, e_2, e_3, e_2)
						2.b	(e_1, e_2, e_3, e_3)
						2.c	(e_1, e_2, e_3, e_4)

A.3 Quantitative Betrachtung

In [134, 136] wurde bereits gezeigt, wieviele n -dimensionale permutationssymmetriefreie Vektoren sich bilden lassen, wenn die Menge der Vektorelemente E die Bedingung $|E| \geq n$ erfüllt. Bei der in dieser Arbeit diskutierten Anwendung ist dies die Regel, da die

Elemente üblicherweise in sehr großer Zahl vorhandene Teilnehmer an Telekommunikationsdiensten repräsentieren. Aus Vollständigkeitsgründen wird dies hier nochmals kurz dargestellt. Stehen für die n -dimensionalen Vektoren Elemente aus der m -elementigen Menge $E = \{e_1, \dots, e_m\}$ zur Verfügung, und werden die n Vektorelemente durch Elemente aus E belegt, entstehen prinzipiell m^n unterschiedliche Vektoren, also $|V_{all}(n, E)| = m^n$. Die Mächtigkeit einer Menge n -dimensionaler permutationssymmetriefreier Vektoren $|V_{psf}(n, E)|$ ist sehr viel geringer. Ist die Bedingung $m \geq n$ erfüllt, läßt sich das Problem umformulieren als die Aufgabe, die n Vektorelemente in bis zu n nichtunterscheidbare disjunkte Mengen abzubilden.

Die Anzahl dieser verschiedenen Abbildungen k_n kann mit Hilfe einer bekannten kombinatorischen Beziehung für die Anzahl der möglichen verschiedenartigen Aufteilungen von n unterschiedlichen Gegenständen auf genau i gleichartige Zellen, ohne daß eine Zelle leer bleibt, berechnet werden ($1 \leq i \leq n$) [197]:

$$S(n, i) = \frac{1}{i!} \left(\sum_{j=0}^i (-1)^j \binom{i}{j} (i-j)^n \right). \quad (\text{A.1})$$

Diese $S(n, i)$ sind die Stirling-Zahlen der zweiten Art. Die Anzahl aller möglichen Arten, n unterschiedliche Gegenstände auf bis zu n gleichartige Zellen aufzuteilen, ergibt sich folglich als

$$k_n = \sum_{i=1}^n S(n, i). \quad (\text{A.2})$$

Dies ist gleichzeitig auch die gesuchte Mächtigkeit einer Menge n -dimensionaler permutationssymmetriefreier Vektoren $V_{psf}(n, E)$ mit $|E| \geq n$.

Diese Beziehung kann auch etwas einfacher durch die nachfolgende rekursive Formel dargestellt werden [126]:

$$k_n = \begin{cases} \sum_{i=0}^{n-1} \binom{n-1}{i} k_{n-1-i} & \text{für } n \geq 1, \\ 1 & \text{für } n = 0. \end{cases} \quad (\text{A.3})$$

Tabelle A.2 stellt beispielhaft die Zahlenwerte für $k_n, n \in \{1, \dots, 16\}$ dar.

Tabelle A.2: Mächtigkeit der Mengen von n -dimensionalen permutationssymmetriefreien Vektoren

n	k_n
1	1
2	2
3	5
4	15
5	52
6	203

n	k_n
7	877
8	4.140
9	21.147
10	115.975
11	678.570
12	4.213.597

n	k_n
13	27.644.437
14	190.899.322
15	1.382.958.545
16	10.480.142.147

B Formale Spezifikation und Verifikation mit LOTOS

B.1 Einführung in LOTOS

Die Sprache LOTOS [247] entstand als Nebenprodukt der Standardisierung des ISO/OSI-Basisreferenzmodells für offene Kommunikationssysteme in der International Standardization Organization (ISO), da man festgestellt hat, dass zur Definition eines Standards präzise Beschreibungsmittel erforderlich sind. Ein kurzer Abriss der Entstehungsgeschichte findet sich in [165].

Diese Einführung soll kein Lehrbuch ersetzen, sondern als Hilfestellung für das Verständnis einer LOTOS-Spezifikation und als Grundlage für die Einschätzung der Möglichkeiten und Grenzen dieser Beschreibungssprache im Rahmen der in dieser Arbeit untersuchten Problemstellungen dienen. Sie ist sicher nicht ausreichend, um komplexere Spezifikationen selbst erstellen zu können, sollte jedoch das prinzipielle Verständnis einer vorgegebenen Spezifikation ermöglichen.

Für ausführlichere Einführungen sei auf das Buch von Hogrefe [116] und auf die Artikel von Logrippo, Faci *et al.* [165] und Quemada, Ferreira-Pires *et al.* [192] verwiesen. Zum Spezifikationsstil – in LOTOS ein bedeutender Aspekt – seien die Artikel von Quemada, Azcorra *et al.* [191] und Vissers, Scollo *et al.* [228] empfohlen.

B.1.1 Basis-LOTOS

Basis-LOTOS (*Basic LOTOS*) enthält alle erforderlichen Konstrukte, um das dynamische Verhalten von Prozessen und die zu ihrer Verknüpfung erforderlichen Operationen zu beschreiben. Der Umgang mit Daten, Datentypen und Datenstrukturen ist nicht Bestandteil von Basis-LOTOS.

B.1.1.1 Prozesse

Grundbaustein einer LOTOS-Spezifikation ist der Prozess (engl. *process*). Er besteht hauptsächlich aus einer Beschreibung der an seinen Schnittstellen möglichen Abfolgen von *Ereignissen*. Im Englischen werden diese möglichen Ereignisse als *Gates* bezeichnet, da sie die „Tore“ eines Prozesses zu seiner Umgebung darstellen. Ereignisse und Prozesse können mit Hilfe bestimmter Operatoren kombiniert werden, und zwar sequentiell, parallel oder alternativ. Nebenläufigkeit wird dabei durch die Verschachtelung (engl. *interleaving*) von als atomar betrachteten Ereignissen nachgebildet. Prozesse können wiederum aus kombinierten Prozessen und Ereignisabfolgen aufgebaut werden, dabei ist auch *Rekursion* möglich. Prozesse können ein definiertes Ende besitzen, das durch das Ereignis EXIT markiert wird, oder endlos fortgesetzt werden. Das Ereignis STOP symbolisiert einen Stillstand des Prozesses, also die absolute Inaktivität, nicht jedoch seine Beendigung.

B.1.1.2 Action-Prefix-Operator

Der elementarste Operator in LOTOS ist der sogenannte *Action Prefix*, der durch ein Semikolon (;) symbolisiert wird und lediglich besagt, dass ein bestimmtes Ereignis vor einem Prozess oder einem nachfolgenden Ereignis stattfindet.

$a; P$

besagt dabei, dass das Ereignis a vor Prozess P stattfindet.

$a; b; P$

besagt, dass a vor b und b vor Prozess P stattfindet.

In der nachfolgenden Spezifikation sind zwei Prozesse `one` und `two` spezifiziert. LOTOS-Schlüsselworte sind in der Spezifikation fett gedruckt. Eine solche Spezifikation besitzt neben einem Namen noch eine Reihe von Ereignissen (in eckigen Klammern). Auch die Prozessdefinitionen besitzen Ereignislisten (ebenfalls in eckigen Klammern). Diese Spezifikation macht lediglich vom *Action-Prefix-Operator* Gebrauch, daher besitzen die den beiden Prozessen entsprechenden Erreichbarkeitsgraphen, auch als *Labelled Transition Systems (LTS)* bezeichnet, streng lineare Struktur:

SPECIFICATION `example1 [u,v,w,x,y,z] : EXIT`

BEHAVIOUR

(behaviour expression *)*

WHERE PROCESS `one [a,b,c] : EXIT :=`

`a; b; c; EXIT`

ENDPROC

PROCESS `two [d,e,f] : EXIT :=`

`d; e; f; EXIT`

ENDPROC

ENDSPEC

Mit Hilfe dieser beiden Prozesse werden in den folgenden Abschnitten die in LOTOS zur Verfügung stehenden Sprachkonstrukte beschrieben, die es erlauben, Prozesse miteinander zu kombinieren. Werden diese beiden Prozesse jeweils für sich alleine als *behaviour expression* in obige Spezifikation eingefügt, also

`one [u,v,w]`

oder

`two [u,v,w]`

so werden die Ereignis-Platzhalter a, b, c bzw. d, e, f in den Prozessen durch die Ereignisse u, v, w des übergeordneten Prozesses – hier der Spezifikation – ersetzt. Bei der Erreichbarkeitsanalyse entsteht so das folgende, für beide Prozesse gleiche LTS (Der Kreis mit dickem Rand symbolisiert den Anfangs-, der ausgefüllte Kreis den Endzustand.):

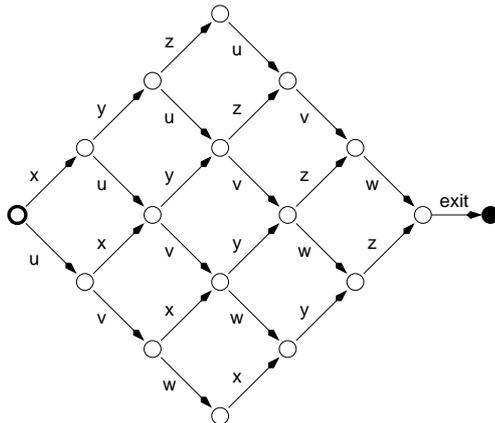


B.1.1.3 Operator für unabhängige Parallelität

Der Operator für unabhängige Parallelität ($|||$) erlaubt es, die unabhängige parallele Ausführung der zwei Prozesse zu beschreiben. Fügt man in der oben stehenden Spezifikation als *behaviour expression* das Konstrukt

one [u,v,w] $|||$ two [x,y,z]

ein, so entsteht der folgende Erreichbarkeitsgraph, der diesen unabhängigen parallelen Ablauf zum Ausdruck bringt:



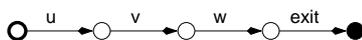
Es ist dabei deutlich zu erkennen, dass Ereignisse nicht wirklich parallel ausgeführt werden. Die Parallelität wird stattdessen durch Verschachtelung von Ereignissen nachgebildet. Praktisch bedeutet dies, dass die Reihenfolge der Ereignisse in den einzelnen Prozessen erhalten bleibt, diese jedoch in beliebiger Art und Weise ineinander verschachtelt werden können. Bemerkenswert ist die Größe des LTS von $4^2 + 1 = 17$ Zuständen gegenüber einer Größe von $4 + 1 = 5$ Zuständen beim einzelnen Prozess. Operatoren dieser Art leisten also einen erheblichen Beitrag zum Phänomen der „Zustandsraumexplosion“, da die Größe des von einem einzelnen der beiden Prozesse erzeugten LTS durch die unabhängig parallele Komposition praktisch quadriert wird.

B.1.1.4 Operator für abhängige Parallelität

Der Operator für abhängige Parallelität ($||$) erlaubt es, Prozesse so zu synchronisieren, dass nur die Ereignisse möglich sind, die von beiden Prozessen gleichzeitig erlaubt werden. Fügt man in die obenstehende Spezifikation das Konstrukt

one [u,v,w] $||$ two [u,v,w]

ein, so entsteht ein Erreichbarkeitsgraph, der wegen der Gleichartigkeit der beiden beteiligten Prozesse dem Erreichbarkeitsgraphen eines einzelnen Prozesses entspricht, also



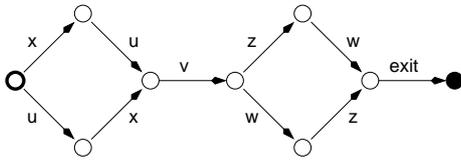
Für jeden der dargestellten Zustandsübergänge wird das entsprechende Ereignis in beiden Prozessen synchron ausgeführt.

B.1.1.5 Operator für die allgemeine Parallelität

Der in der Praxis am häufigsten eingesetzte Operator zur Beschreibung von Parallelität ist eine Verallgemeinerung dieser beiden Operatoren, der Operator für die allgemeine Parallelität ($| [\dots] |$). Er erlaubt es, Prozesse parallel so zusammenzufügen, dass die Kopplung nur über bestimmte Ereignisse erfolgt. Fügt man beispielsweise das Sprachkonstrukt

$$\text{one } [u, v, w] \mid [v] \mid \text{two } [x, v, z]$$

in die Spezifikation ein, so bedeutet dies, dass die beiden Prozesse nur über das Ereignis v miteinander gekoppelt sind. Die Ereignisse u und x sind unabhängig voneinander ausführbar. Über das Ereignis v , das in Prozess one dem Ereignis b und in two dem Ereignis e entspricht, synchronisieren sich die Prozesse. Der Rest, also die Ereignisse w und z , wird wieder unabhängig ausgeführt. Daraus ergibt sich der folgende Erreichbarkeitsgraph:



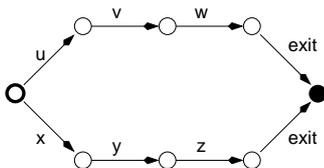
Neben diesen Operatoren zur Beschreibung von Parallelität und dem Semikolon als elementarem *Action Prefix* gibt es noch drei weitere Operatoren, die Möglichkeiten zur nicht-parallelten Komposition von Prozessen beschreiben.

B.1.1.6 Auswahl-Operator

Der Auswahl-Operator ($[]$) erlaubt es, alternativ entweder den einen Prozess oder den anderen Prozess zu durchlaufen. Verwendet man das Konstrukt

$$\text{one } [u, v, w] \mid [] \mid \text{two } [x, y, z]$$

so bedeutet dies die wahlweise Ausführung von einem der beiden Prozesse. Der entstehende Erreichbarkeitsgraph ist also:

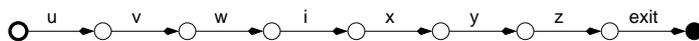


B.1.1.7 Operator zur sequentiellen Komposition

Der Operator zur sequentiellen Komposition ($>>$) erlaubt die Ausführung zweier Prozesse nacheinander.

$$\text{one } [u, v, w] >> \text{two } [x, y, z]$$

führt also zu dem Erreichbarkeitsgraphen



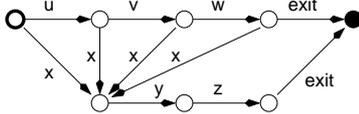
Der unbeobachtbare Übergang i wird als redundanter Übergang durch das verwendete Werkzeug CÆSAR eingefügt.

B.1.1.8 Unterbrechungs-Operator

Der Unterbrechungs-Operator ($[>$) gestattet es, die Ausführung eines unterbrechenden Prozesses an jeder Stelle des unterbrochenen Prozesses zu beginnen. Nach dieser Unterbrechung wird die Ausführung des unterbrochenen Prozesses *nicht* wieder aufgenommen. Das Konstrukt

```
one [u,v,w] [> two [x,y,z]
```

führt also zu dem Erreichbarkeitsgraphen

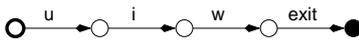


B.1.1.9 Hiding-Operator

Als letzter LOTOS-Operator wird der *Hiding*-Operator ($\text{hide } \dots \text{ in}$) eingeführt, der es erlaubt, nach außen sichtbare Ereignisse zu verbergen, d. h. unbeobachtbar zu machen. Aus dem Sprachkonstrukt

```
hide v in one [u,v,w]
```

entsteht also zu der Erreichbarkeitsgraph



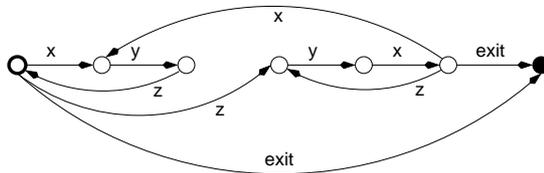
der dem eines Prozesses entspricht, der nur die nach außen sichtbaren Ereignisse u und w beinhaltet. Das Ereignis v wird durch den *Hiding*-Operator zum unbeobachtbaren Ereignis i gemacht.

B.1.1.10 Verhaltensrekursion

Es fällt auf, dass keiner der vorgestellten LOTOS-Operatoren eine Möglichkeit für die Wiederholung von Ereignisfolgen bietet. Derartiges Verhalten wird in dieser Spezifikationsprache mit Hilfe der Rekursion beschrieben, die sowohl *direkt* als auch *indirekt* erfolgen kann. Die nachfolgende Beispielspezifikation illustriert beide Varianten; die rekursiven Prozessaufrufe sind durch kursive Schreibmaschinenschrift hervorgehoben.

```
SPECIFICATION example2 [x,y,z] : EXIT
BEHAVIOUR
  p1 [x,y,z]
WHERE
  PROCESS p1 [a,b,c] : EXIT :=
    a; b; c; p1 [a,b,c]
    []
    p2 [a,b,c]
  ENDPROC
  PROCESS p2 [a,b,c] : EXIT :=
    c; b; a; ( p2 [a,b,c] [] p1 [a,b,c] )
    []
  EXIT
  ENDPROC
ENDSPEC
```

Die Verhaltensbeschreibung beginnt mit Prozess p_1 . Dort kann entweder eine Folge von Ereignissen durchlaufen werden und danach p_1 *direkt rekursiv* neu begonnen werden, oder es kann in p_2 gewechselt werden. Dort wird eine andere Ereignisfolge durchlaufen und dann entweder direkt rekursiv p_2 erneut durchlaufen oder *indirekt rekursiv* wieder zurück in p_1 gewechselt. Alternativ kann in p_2 auch direkt eine Beendigung des Ablaufes erfolgen. Der Erreichbarkeitsgraph, der sich durch dieses Spezifikationsbeispiel ergibt, sieht folgendermaßen aus:



Die vorgestellten Sprachkonstrukte aus Basis-LOTOS enthalten alle Sprachmittel zur Beschreibung beliebiger sequentieller und paralleler Aneinanderreihungen von Ereignissen. Das im folgenden Abschnitt vorgestellte vollständige LOTOS erweitert diese Sprachkonstrukte im Wesentlichen um Sprachmittel zum Umgang mit Daten, Datentypen und Datenstrukturen.

B.1.2 Vollständiges LOTOS

Vollständiges LOTOS (*Full LOTOS*, kurz: LOTOS) enthält zusätzliche Sprachmittel zur Definition, Deklaration und zum Gebrauch von Daten, Datentypen und Datenstrukturen in der Sprache für abstrakte Datentypen ACT ONE. Abstrakte Datentypen stellen die funktionalen Eigenschaften von Datenobjekten in den Vordergrund und vernachlässigen Details und Einschränkungen möglicher Implementierungen. An dieser Stelle soll nicht weiter auf die Möglichkeiten bei der Definition abstrakter Datentypen eingegangen werden – hierfür sind die Einführungen von Demeer und Roth [64] und Hogrefe [116] besser geeignet –, sondern es sollen die Anwendungen in einer LOTOS-Spezifikation kurz umrissen werden. Eine Reihe vordefinierter Datentypen für ganze und natürliche Zahlen sowie Wahrheitswerte erleichtern in der Praxis den Umgang mit Daten in LOTOS. Im Folgenden werden die Hauptanwendungsgebiete von Daten in LOTOS kurz eingeführt.

B.1.2.1 Parametrisierung von Prozessen

Es besteht die Möglichkeit, Datenparameter an Prozesse bei deren Aktivierung zu übergeben. Dies geschieht in Form einer in runden Klammern stehenden, durch Kommata getrennten Parameterliste. Diese Parameter existieren nur während des Ablaufes des Prozesses. Sollen sie darüber hinaus bestehen bleiben, müssen sie explizit an nachfolgende Prozesse weitergegeben werden. Dies gilt auch für direkt oder indirekt rekursive Aufrufe. Die dazu zur Verfügung stehenden Sprachmittel sind der parametrisierte Prozessaufruf selbst und die Übergabe als Rückgabewert über ein parametrisiertes EXIT-Ereignis verbunden mit einer anschließenden ACCEPT-Anweisung für den nachfolgenden Prozess oder Spezifikationsabschnitt. Ein Konzept für globale oder über einen Prozess hinaus gültige Variablen existiert nicht.

B.1.2.2 Strukturierung von Ereignissen

Damit in Basis-LOTOS ein bestimmtes Ereignis eintreten kann, an dem mehrere Prozesse beteiligt sind, müssen alle gekoppelten Prozesse gleichzeitig in der Lage sein, dieses

Ereignis abzuarbeiten. Man spricht dann davon, dass eine Interaktion zwischen zwei Prozessen stattfindet. In vollständigem LOTOS können Ereignisse über ihr schlichtes Vorhandensein hinaus eine beliebige Anzahl von Werten übergeben, sich an Hand von Werten synchronisieren oder Werte eines bestimmten Typs beliebig erzeugen. Abb. B.1 skizziert diese drei Interaktionstypen und ihre Bedeutungen.

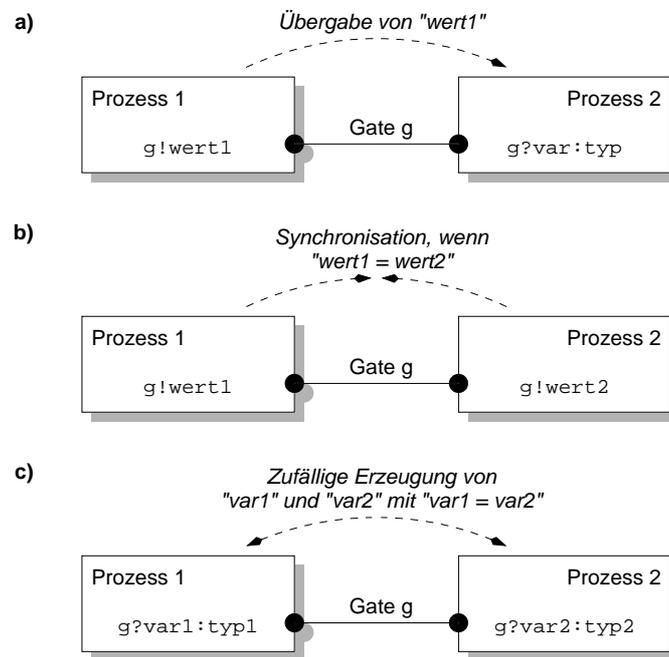


Abbildung B.1: Interaktionstypen nach Hogrefe [116]

- ❑ Bei einer **Wertübergabe** (Abb. B.1 a) wird ein Wert aus Prozess 1, z. B. der Wert einer Variablen oder Konstanten, einer Variable des Prozesses 2 zugewiesen. Diese Interaktion ist nur unter der Bedingung möglich, dass der Datentyp des Wertes auf der einen Seite mit dem Datentyp der Variable auf der anderen Seite übereinstimmt. In der Abbildung muss also `wert1` den Typ `typ` besitzen. Nach der Ausführung der Interaktion besitzt die Variable `var` den Wert von `wert1`.
- ❑ Eine **Synchronisation** (Abb. B.1 b) zeichnet sich dadurch aus, dass die Interaktion nur dann ausführbar ist, wenn die Werte von `wert1` und `wert2` übereinstimmen. Die Typgleichheit der beiden Werte wird dabei ebenfalls vorausgesetzt.
- ❑ Die **Werterzeugung** (Abb. B.1 c) übereinstimmender Werte für `var1` und `var2` kann als Generator für alle möglichen Werte dieser Variablen aufgefasst werden. Eine derartige Interaktion ist allerdings nur ausführbar, wenn die beiden Datentypen `typ1` und `typ2` übereinstimmen. Nach der Ausführung der Interaktion enthalten dann `var1` und `var2` gleiche Werte aus dem möglichen Wertebereich von `typ1` oder `typ2`.

Es ist möglich, dass ein Ereignis eine ganze Liste derartiger Attribute enthält. Die in Abb. B.1 vorgestellten Mechanismen werden dann auf alle Elemente dieser Liste angewendet, wobei alle Bedingungen zusammen erfüllt werden müssen. Damit ist beispielsweise auch eine bidirektionale Übergabe von Werten zwischen den Prozessen 1 und 2 gleichzeitig, also innerhalb einer Interaktion, möglich.

B.1.2.3 Formulierung von Bedingungen

Vollständiges LOTOS stellt zwei Sprachkonstrukte zur Verfügung, mit deren Hilfe bestimmte Bedingungen für Werte überprüft werden können. Sogenannte **Prädikate** können bei einem Ereignis sicherstellen, dass für bestimmte empfangene Parameter bestimmte Bedingungen erfüllt sind; andernfalls ist dieses Ereignis nicht ausführbar. Das Ereignis

$$g?n:\text{Nat}[n<4]$$

ist nur dann ausführbar, wenn der Wert der (empfangenen) Variablen n die in den eckigen Klammern angegebene Zusatzbedingung erfüllt.

Sogenannte **Wächter** (engl. *guards*) stellen sicher, dass in bestimmte Ereignisfolgen oder Prozessabschnitte nur dann eingetreten werden kann, wenn die dazugehörige Bedingung erfüllt ist. Der Wächter

$$[n<4] \rightarrow a; \mathbf{EXIT}$$

ermöglicht den Eintritt in die Ereignisfolge $a; \mathbf{EXIT}$ nur, wenn der Wert der Variablen n die dazugehörige in eckigen Klammern angegebene Bedingung ($n < 4$) erfüllt.

B.2 LOTOS-Spezifikation eines Mehrwertdienstes

Die nachfolgende LOTOS-Prozessspezifikation modelliert das Ablaufverhalten des als Beispiel in Kapitel 4 und im Rahmen der Fallstudie in Anhang C verwendeten Prozesses für den Mehrwertdienst des entgeltfreien Anrufs (*Freephone*). Die Einbettung dieses Prozesses in die Spezifikation einer Einzelverbindung erfolgt wie in Abb. B.2 schwarz hervorgehoben dargestellt.

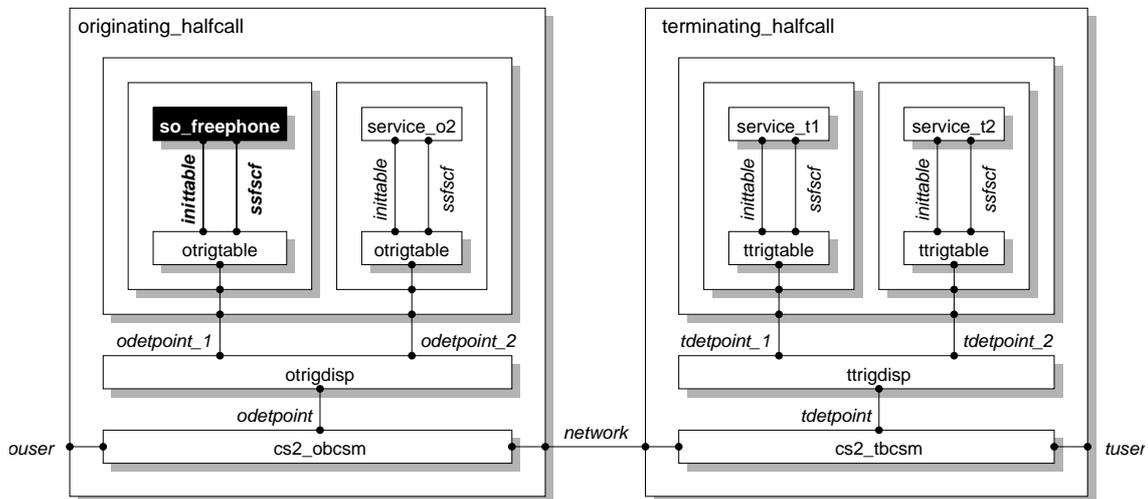


Abbildung B.2: Systemmodell in LOTOS mit dem Mehrwertdienst *Freephone* als erstem Mehrwertdienst auf der Seite abgehender Rufe.

Um die Spezifikation kompakt und möglichst redundanzarm zu gestalten, wurde ein Präprozessor (CPP) eingesetzt. Die vom Präprozessor ersetzten Makros, hier lediglich immer wieder vorkommende *Gate*-Listen, sind in der nachfolgenden Spezifikation kursiv dargestellt. LOTOS-Schlüsselwörter sind fett gedruckt.

Die Spezifikation beginnt mit einem Initialisierungsprozess (Zeile 20), mit dessen Hilfe der Dienstausrücker DP O_{02} für diesen Mehrwertdienst gesetzt wird, und geht dann

sofort in einen Prozess für den aktiven Modus über (Zeile 28), wo auf das Erreichen dieses dienstauslösenden Erkennungspunktes gewartet wird. Wird dieser erreicht (Zeile 32), so ergeben sich zwei Ausführungsalternativen: Es werden entweder einige Ereigniserkennungspunkte (O_{02} , O_{03} , O_{04} , O_{07} , O_{09} , O_{10} , O_{13} und O_{15}) gesetzt und mit der Rufnummerneingabe fortgefahren (Zeilen 34–36), oder der Ruf wird direkt beendet (Zeilen 38–39)¹. Diese Rufnummerneingabe kann dann noch bis zu drei weitere Male fortgesetzt werden, bis sie dann durch die Rufnummernanalyse (Zeilen 47 und 60) abgeschlossen wird.

Schließlich wird der Verbindungsaufbau eingeleitet (Zeile 70). Unmittelbar vor dem Durchschalten der Verbindung wird durch DP O_{10} noch Entgelterfassungsinformation registriert. Die übrigen Erkennungspunkte dienen der Registrierung der verschiedenen Beendigungs- und Abbruchmöglichkeiten.

```

PROCESS so_freephone [GL_OFEATURE] : EXIT :=

  (* FREEPHONE: Detection Point Structure
   * -----
   * TDP_R:   CollectedInformationDP   (dp_o02)
   * EDP_R:   AnalyzedInfoDP           (dp_o02)
   * EDP_R:   AnalyzedInfoDP           (dp_o03)
   * EDP_N:   RouteSelectFailureDP     (dp_o04)
   * EDP_N:   OCalledPartyBusyDP      (dp_o07)
10  * EDP_N:   ONoAnswerDP              (dp_o09)
   * EDP_R:   OAnswerDP                (dp_o10)
   * EDP_N:   ODisconnectDP            (dp_o13)
   * EDP_N:   OAbandonDP              (dp_o15)
   *)

15  ofeature_init [GL_OFEATURE]

WHERE

20  PROCESS ofeature_init [GL_OFEATURE] : EXIT :=

    (*      00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12 13 14 15 16 *)
    inittable!F !F !T !F ;
    ofeature_active [GL_OFEATURE](0)

25  ENDPROC

PROCESS ofeature_active [GL_OFEATURE] (state:Nat) : EXIT :=

30  (* ==== Processing of DP_002 (Collected Info DP) ===== *)

    ssfscf!dp_o02!INAP_InitialDP;
    (
      ssfscf!dp_o02!INAP_ReqRepBCSMEvt!0!F!F!T!T!T!F!F!T!F!T!T!F!F!T!F!T!F;
35  ssfscf!dp_o02!INAP_CollectInfo!1;
      ofeature_active [GL_OFEATURE](0)
      []
      ssfscf!dp_o02!INAP_ReleaseCall!2;
40  ofeature_active [GL_OFEATURE](0)
    )

    []

    [(state >= 0) and (state < 3)] ->
45  ssfscf!dp_o02!INAP_EventRepBCSM;
    (
      ssfscf!dp_o02!INAP_AnalyseInfo!3;
      ofeature_active [GL_OFEATURE](0)
    )
    []

```

¹Der Grund für diese Rufbeendigung kann eine fehlende Berechtigung zur Benutzung dieses Dienstes sein. Es muss jedoch betont werden, dass eine solche Information auf Grund der organisatorischen Rahmenbedingungen für die Durchführung des Wechselwirkungserkennungsverfahrens (siehe Abschnitt 4.1.3) unbedeutend ist.

```

50     ssfscf!dp_o02!INAP_ReqRepBCSMEvent!0!F!F!T!T!T!F!F!T!F!T!F!F!T!F!T!F;
     ssfscf!dp_o02!INAP_CollectInfo!4;
     ofeature_active [GL_OFEATURE](state+1)
   )
55  []

[state = 3] ->
  ssfscf!dp_o02!INAP_EventRepBCSM;
  (
60     ssfscf!dp_o02!INAP_AnalyseInfo!5;
     ofeature_active [GL_OFEATURE](0)
  )

  []

65  (* ==== Processing of DP_003 (Analysed Information DP) ===== *)

  ssfscf!dp_o03!INAP_EventRepBCSM;
  (
70     ssfscf!dp_o03!INAP_Connect!1;
     ofeature_active [GL_OFEATURE](0)
  )

  []

75  (* ==== Processing of DP_004 (Route Select Failure DP) ===== *)

  ssfscf!dp_o04!INAP_EventRepBCSM;
  (
80     ssfscf!dp_o04!INAP_Continue!1;
     ofeature_active [GL_OFEATURE](0)
  )

  []

85  (* ==== Processing of DP_007 (O Called Party Busy DP) ===== *)

  ssfscf!dp_o07!INAP_EventRepBCSM;
  (
90     ssfscf!dp_o07!INAP_Continue!1;
     ofeature_active [GL_OFEATURE](0)
  )

  []

95  (* ==== Processing of DP_009 (O No Answer DP) ===== *)

  ssfscf!dp_o09!INAP_EventRepBCSM;
  (
100    ssfscf!dp_o09!INAP_Continue!1;
     ofeature_active [GL_OFEATURE](0)
  )

  []

105 (* ==== Processing of DP_010 (O Answer DP) ===== *)

  ssfscf!dp_o10!INAP_EventRepBCSM;
  (
110    ssfscf!dp_o10!INAP_Continue!1;
     ofeature_active [GL_OFEATURE](0)
  )

  []

115 (* ==== Processing of DP_013 (O Disconnect DP) ===== *)

  ssfscf!dp_o13!INAP_EventRepBCSM;
  (
120    ssfscf!dp_o13!INAP_Continue!1;
     ofeature_active [GL_OFEATURE](0)
  )

```

```

    [ ]
125   (* ==== Processing of DP_O15 (O Abandon DP) ===== *)

    ssfscf!dp_o15!INAP_EventRepBCSM;
    (
130   ssfscf!dp_o15!INAP_Continue!1;
        ofeature_active [GL_OFEATURE](0)
    )

    ENDPROC
135
    ENDPROC

```

B.3 Verifikation einer formalen Spezifikation

In diesem Abschnitt werden die Verifikationsverfahren beschrieben, die im Rahmen dieser Arbeit zum Einsatz kommen.

B.3.1 Zustandsaufzählungstechniken

Zustandsaufzählungstechniken (engl. *state enumeration techniques*) beruhen auf der Ermittlung aller von einem System einnehmbarer Zustände und der Übergänge zwischen diesen. Dieser *Zustandsraum des Gesamtsystems* lässt sich als gerichteter Graph interpretieren, dessen Knoten durch die Zustände und dessen gerichtete Kanten durch die Übergänge zwischen diesen Zuständen gebildet werden. Der *Zustandsraum der erreichbaren Zustände des Gesamtsystems* ist im Allgemeinen genau derjenige Subgraph des Zustandsraumes des Gesamtsystems, der sich von einem bestimmten Startzustand aus durch Verfolgung aller gerichteter Kanten als transitive Hülle ermitteln lässt. Abb. B.3 zeigt beispielhaft einen solchen Graphen. Man erkennt, dass der Zustandsraum der erreichbaren Zustände vom gewählten Startzustand abhängt. Da jedoch bei den verbreiteten Spezifikationsprachen der Startzustand Bestandteil der Spezifikation ist, muss dieser nicht explizit für eine solche Ermittlung der erreichbaren Zustände gewählt werden.

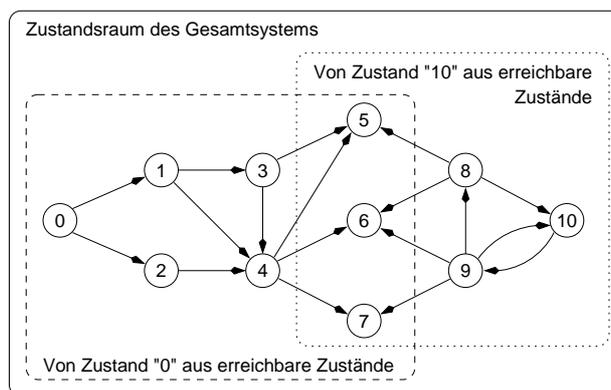


Abbildung B.3: Beispiel für den Zustandsraum eines Gesamtsystems und darin enthaltene Erreichbarkeits-Subgraphen

Die Ermittlung des Zustandsraumes des Gesamtsystems erfordert die Aufstellung aller prinzipiell denkbaren Zustände des Gesamtsystems und für jeden dieser Zustände die Ermittlung aller direkten Übergänge in andere Zustände. Da jedoch häufig die meisten dieser Zustände von einem bestimmten Startzustand aus *nicht* erreicht werden können, spielt deren Ermittlung für die Praxis keine Rolle und wird nach Kenntnis des Verfassers auch von keinem der verbreiteten Werkzeuge unterstützt.

Die *Erreichbarkeitsanalyse* wird zur Ermittlung des Zustandsraumes der erreichbaren Zustände eines Gesamtsystems (kurz: Erreichbarkeitsgraph) herangezogen. Die prinzipielle Funktionsweise des rekursiven Algorithmus ist sehr einfach: Alle vom Startzustand aus direkt erreichbaren Zustände werden ermittelt. Der Startzustand wird darauf in die anfangs leere Menge der bereits abgearbeiteten Zustände aufgenommen. Für jeden der direkt erreichbaren Zustände wird nun das gleiche wie anfangs für den Startzustand getan, sofern er nicht bereits in der Menge der bereits abgearbeiteten Zustände enthalten ist. Der Algorithmus terminiert, wenn es keine noch zu bearbeitenden Zustände mehr gibt.²

Zur Durchführung einer Erreichbarkeitsanalyse wird eine LOTOS-Spezifikation durch das in dieser Arbeit eingesetzte Werkzeug CÆSAR zunächst in ein Petri-Netz umgewandelt [91]. Dieses Petri-Netz wird dann der Erreichbarkeitsanalyse unterzogen. Die Markierung entspricht dabei dem Systemzustand, die jeweils schaltbereiten Transitionen den Zustandsübergängen. Das Ergebnis ist ein sogenanntes *Labelled Transition System (LTS)*, das ist ein Automat, bei dem die Zustände keine Bezeichnung haben, sondern nur die Übergänge bezeichnet sind. Ein Beispiel eines *LTS* wurde bereits in Abb. 4.7 dargestellt. Auf einen bestimmten Zustand kann nur indirekt geschlossen werden, also durch Nachvollziehen der Übergänge vom Startzustand aus, die in diesen Zustand geführt haben.

B.3.2 Allgemeine Korrektheitskriterien für einen Erreichbarkeitsgraphen

Unter einem allgemeinen Korrektheitskriterium versteht man eine Eigenschaft, die von jedem System erfüllt werden muss, das im informellen Sinne produktiv, also sinnvoll arbeitet. Die Erfüllung von allgemeinen Korrektheitskriterien darf jedoch nicht als hinreichende, sondern lediglich als notwendige Bedingung dafür angesehen werden.

- ❑ **Verklemmungsfreiheit.** Eine Verklemmung (engl. *deadlock*) manifestiert sich im Erreichbarkeitsgraphen durch einen Knoten, aus dem keine Kante hinausführt. Verklemmungen sind daher sehr einfach durch Inspektion jedes einzelnen Knoten des Erreichbarkeitsgraphen für sich alleine zu erkennen. In Abb. B.3 besitzt der Automat für die Zustände 5, 6 und 7 Verklemmungen.
- ❑ **Freiheit von Zyklen ohne Fortschritt.** Ein Zyklus ohne Fortschritt (engl. *livelock*) äußert sich für den äußeren Beobachter ähnlich wie eine Verklemmung, da er durch einen nicht verlässbaren Zyklus von unbeobachtbaren Übergängen³ gebildet wird. Im Beispiel in Abb. B.4 bilden die Zustände n , $n + 1$ und $n + 2$ einen Zyklus ohne Fortschritt, da ein Prozess aktiv beliebig lange ohne nach außen sichtbare Ereignisse zwischen diesen Zuständen wechseln kann.

Verklemmungsfreiheit und Freiheit von Zyklen ohne Fortschritt sind Beispiele für Sicherheitseigenschaften (engl. *safety property*) [83], d. h. Bedingungen, die in jedem Zustand eines Systems erfüllt sein müssen [7]. Sicherheitseigenschaften garantieren, dass etwas Unerwünschtes im System nicht passiert.

²Bei unendlich großen erreichbaren Zustandsräumen terminiert dieser Algorithmus nicht.

³Unbeobachtbare Übergänge sind Zustandsübergänge, die durch einen Beobachter des Systems (von außen) nicht direkt sichtbar und deshalb auch nicht beeinflussbar sind, also scheinbar spontan erfolgen. Sie werden auch als innere Übergänge bezeichnet. Im CCS werden sie mit τ , in LOTOS mit i bezeichnet.

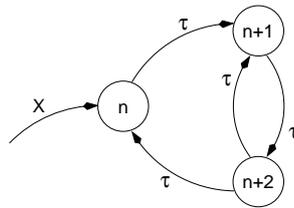


Abbildung B.4: Darstellung eines Zyklus' ohne Fortschritt (*livelock*)

B.3.3 Spezifische Korrektheitskriterien für einen Erreichbarkeitsgraphen

Neben den allgemeinen Korrektheitskriterien müssen zur Verifikation der formalen Beschreibungen für die einzelnen Mehrwertdienste und für die Erkennung von Wechselwirkungen zwischen diesen eine Reihe von speziellen Korrektheitskriterien überprüft werden. Das CADP-Werkzeugpaket bietet hierfür ebenfalls Unterstützung.

B.3.3.1 Vorhandensein bzw. Fehlen bestimmter Ereignisfolgen

Kriterien, die sich über das Vorhandensein oder den Ausschluss einer bestimmten Folge von Ereignissen formulieren lassen, sind sehr einfach mittels des Werkzeugs EXHIBITOR aus dem CADP nachzuprüfen, das einfache Breiten- und Tiefensuchalgorithmen auf dem Erreichbarkeitsgraphen realisiert.

Solche Folgen lassen sich auch mit Hilfe regulärer Ausdrücke für Ereignisbezeichnungen und Operatoren wie `<while>`, `<until>` oder Negation (`~`) für die Verknüpfung von Ereignissen beschreiben. Im Beispiel

```
<until> "A"
<while> ~ "B" <until> "C"
```

wird nach einer Ausführungssequenz gesucht, die das Ereignis A und später das Ereignis C enthält, ohne dass das Ereignis B dazwischen liegt.

B.3.3.2 In temporaler Logik formulierte Eigenschaften

Eine Reihe von Eigenschaften lässt sich nicht durch das einfache Konzept des Vorhandenseins oder Fehlens bestimmter Ereignissequenzen beschreiben. Zu diesem Zweck steht im CADP ein leistungsfähigeres Werkzeug, der EVALUATOR zur Verfügung, der in der Lage ist, in temporaler Logik (μ -Kalkül) [4, 75] formulierte Eigenschaften zu überprüfen. Ein einfaches Beispiel dafür ist der Ausdruck

```
ALL (
  [ "A" ]
  POT <"B"> TRUE
)
```

Er drückt aus, dass in jedem Falle nach dem Auftreten von Ereignis A auch die Möglichkeit des Auftretens von Ereignis B besteht. Eine solche Bedingung lässt sich nicht mittels der Suche nach Ereignissequenzen überprüfen.

Algorithmisch ist die Überprüfung derartiger Eigenschaften erheblich komplexer, so dass die Laufzeiten des EVALUATORS bei größeren Systemen (> 200.000 Zustände) deutlich über denen des EXHIBITORS liegen. Kriterien, die sich also auch über die Suche nach Ausführungssequenzen nachweisen lassen, sollten aus Effizienzgründen mit dem EXHIBITOR überprüft werden.

B.4 Validierung des Basis-Spezifikationsmodells

Unter der *Verifikation* versteht man den Nachweis bestimmter Eigenschaften im Rahmen eines Systems oder Systemmodells. Verläuft diese Verifikation erfolgreich, so besteht Gewissheit, dass das untersuchte System oder Systemmodell diese Eigenschaften besitzt. Die *Validierung* bedeutet die Überprüfung, ob ein System oder Systemmodell tatsächlich die Aufgaben erfüllt, die an es gestellt werden. Boehm [18] bringt diese Unterscheidung durch die folgenden Kurzdefinitionen auf den Punkt:

Verification: “Are we building the product right?”

Validation: “Are we building the right product?”

Im Folgenden werden einige der zur Validierung des hier verwendeten formalen Modells für den Basisdienst einer Einzelverbindung durchgeführten Schritte beschrieben.

B.4.1 Erreichbarkeitsanalyse für die verschiedenen Konfigurationen

Voraussetzung für die Validierung ist die Durchführung einer Erreichbarkeitsanalyse und die Ermittlung der Erreichbarkeitsgraphen für das Systemmodell.

In Tabelle B.1 sind Ergebnisse der Erreichbarkeitsanalyse durch die Werkzeuge CÆSAR/ALDÉBARAN dargestellt. Die Erreichbarkeitsanalysen wurden für eine konzentrierte und eine verkettete Konfiguration mit zwei Dienstvermittlungsknoten durchgeführt, ohne dass konkrete Dienste zum Einsatz kamen. Eine verkettete Konfiguration mit drei Dienstvermittlungsknoten war auf Grund der Zustandsraumexplosion nicht mehr durchführbar.

Tabelle B.1: Ergebnisse der Erreichbarkeitsanalyse von konzentrierten und verketteten Konfigurationen.

Konfigurationsart	konzentriert				verkettet (2 Knoten)		
	deterministisch		nichtdeterministisch		deterministisch		
Dienstreihenfolge	1	2		1	2		
Dienste je BCSM	1	2		1	2		
Fehlertransitionen möglich	alle		keine		alle	keine	
Zustände	6.843	13.615	55.737	33.297	7.633.751	14.398.269	
Transitionen	15.891	32.729	137.662	77.374	33.447.525	57.749.252	
Petri-Netz-Stellen	191	263	291	283	387	515	
Petri-Netz-Transitionen	470	648	1.066	983	939	1.137	
Größe LTS-Datei (<i>in Bytes</i>)	85.082	149.058	390.893	257.714	75.359.822	140.517.624	

Die Ergebnisse wurden mit CADP Version 97-b „Liège“, CÆSAR.ADT 4.6, CÆSAR 5.3 unter dem Betriebssystem LINUX (Intel Pentium) und 768 MByte Hauptspeicher ermittelt.

Besonders auffällig ist die extreme Vergrößerung der Zustandsräume in den verketteten Konfiguration mit 2 Knoten gegenüber den konzentrierten Konfigurationen. Hier wurden bei den verketteten Konfiguration die Grenzen von CÆSAR nahezu erreicht, die bei $2^{24} \approx 16$ Millionen Zuständen liegen. Derartige Zustandsraumexplosionsphänomene beschränken die Komplexität von Systemen, die mit Hilfe der Erreichbarkeitsanalyse untersucht werden können, in der Praxis ganz erheblich.

B.4.2 Verhalten an den sichtbaren Schnittstellen

Die wesentlichen Untersuchungen zur Validierung des Basisdienstes wurden durch Betrachtung des Systemverhaltens an den sichtbaren Schnittstellen durchgeführt. Hierbei wurde nicht der Weg der Formulierung und Verifikation von Eigenschaften in temporärer Logik besprochen, da sich auch hier wieder das Validierungsproblem gestellt hätte. Stattdessen wurde durch Verbergen aller nicht an den Schnittstellen beobachtbaren Ereignisse und anschließende Minimierung ein sehr einfaches LTS erzeugt, dessen Richtigkeit leicht durch konventionelle Inspektion nachvollziehbar war. In ähnlicher Weise wurde auch das Verhalten an den Dienstschnittstellen und an der Schnittstelle zwischen den beiden Rufhälften überprüft.

B.4.3 Erreichbarkeit von Erkennungspunkten

Eine weitere, im Rahmen der Validierung durchgeführte Untersuchung, ist die Feststellung der möglichen Abfolgen für die Erreichbarkeit von Erkennungspunkten. In Tabelle B.2 ist dargestellt, welche Erkennungspunkte in einem direkt benachbarten Paar von Rufzustandsmodellen einer Verbindung direkt nacheinander oder über dazwischenliegende Erkennungspunkte erreichbar sind. Die Tabellenzeile bezeichnet dabei den zuerst erreichbaren Erkennungspunkt, die Tabellenspalte den danach erreichten Erkennungspunkt. Die Ergebnisse dieser Tabelle wurden aus dem in der ersten Spalte von Tabelle B.1 aufgeführten Erreichbarkeitsgraphen gewonnen.

Die Erkennungspunktfolgen $O_{08} - O_{04}$, $O_{08} - O_{05}$, $O_{08} - O_{06}$ und $O_{08} - O_{07}$ müssten laut Rufzustandsmodell für abgehende Rufe (Abb. 2.13, O-BCSM) möglich sein, es wurde allerdings im hier spezifizierten Modell aus Gründen der Übersicht darauf verzichtet, während des stabilen Zustandes (*O_Alerting*) ein *Route Failure* zu unterstützen. Ebenfalls müsste $T_{02} - T_{07}$ laut Rufzustandsmodell für ankommende Rufe (Abb. 2.14, T-BCSM) möglich sein, es wurde jedoch ebenfalls im hier spezifizierten Modell darauf verzichtet, den Übergang *SS7 Failure* zu unterstützen.

Vergleicht man die Ergebnisse aus dieser Tabelle mit den Rufzustandsmodellen des CS-2, so unterstützt die erkennbare Übereinstimmung das Vertrauen in die Gültigkeit des Modells. Ähnliche Untersuchungen wurden auch für die verketteten Konfiguration mit zwei Knoten durchgeführt. Die dabei erhaltenen Ergebnisse zeigen ebenfalls Übereinstimmung mit den aus den Rufzustandsmodellen zu erwartenden Ereignisreihenfolgen. Aus Platzgründen wurde auf die Darstellung dieser Tabellen hier verzichtet.

Tabelle B.2: Mögliche Erkennungspunkt-Reihenfolgen in einem direkt benachbarten Paar von Rufzustandsmodellen einer Verbindung des CS-2

DP_A	DP_B																														
	O_{00}	O_{01}	O_{02}	O_{03}	O_{04}	O_{05}	O_{06}	O_{07}	O_{08}	O_{09}	O_{10}	O_{11}	O_{12}	O_{13}	O_{14}	O_{15}	O_{16}	T_{00}	T_{01}	T_{02}	T_{03}	T_{04}	T_{05}	T_{06}	T_{07}	T_{08}	T_{09}	T_{10}	T_{11}		
O_{00}	-	•	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o		
O_{01}	-	-	•	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
O_{02}	-	-	-	•	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
O_{03}	-	-	-	-	•	•	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
O_{04}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
O_{05}	-	-	-	-	o	•	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
O_{06}	-	-	-	-	•	•	o	o	•	•	•	o	o	o	o	o	o	o	o	o	•	o	o	o	•	o	o	•	o	o	
O_{07}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
O_{08}	-	-	-	-	-	-	-	-	•	•	•	o	o	o	o	•	o	-	-	•	•	o	o	-	•	o	o	•	o	o	
O_{09}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
O_{10}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•	o	•	•	-	o	-	-	-	•	•	•	-	-	•	•	-	-	-	
O_{11}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	o	•	•	o	-	•	-	-	-	-	•	•	-	-	•	•	-	-	-	
O_{12}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	o	•	•	o	-	•	-	-	-	-	•	•	-	-	•	•	-	-	-	
O_{13}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
O_{14}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•	o	•	•	-	o	-	-	-	•	•	•	-	-	•	•	-	-	-	
O_{15}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
O_{16}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•	o	•	•	-	o	-	-	-	-	•	•	-	-	•	•	-	-	-	
T_{00}	-	-	-	-	•	•	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
T_{01}	-	-	-	-	•	•	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
T_{02}	-	-	-	-	o	o	•	o	o	o	•	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
T_{03}	-	-	-	-	•	•	•	-	•	o	•	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
T_{04}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•	o	o	•	•	-	o	-	-	-	•	o	-	-	•	•	-	-	-	-	
T_{05}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•	•	o	•	•	-	o	-	-	-	o	•	-	-	o	•	-	-	-	-	
T_{06}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•	•	•	o	-	•	-	-	-	-	•	o	-	-	•	•	-	-	-	-	
T_{07}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
T_{08}	-	-	-	-	-	-	-	-	•	-	•	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
T_{09}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•	o	o	•	•	-	•	-	-	-	-	•	o	-	-	•	•	-	-	-	
T_{10}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
T_{11}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

-
- Erkennungspunkt DP_B nach DP_A nicht erreichbar
 - o Erkennungspunkt DP_B nach DP_A erreichbar
 - Erkennungspunkt DP_B nach DP_A direkt erreichbar (ohne dazwischenliegenden anderen Erkennungspunkt)

C Fallstudie zur Erkennung von Wechselwirkungen

C.1 Einführung

In diesem Anhang werden als Anwendungsbeispiel einige ausgewählte Ergebnisse einer Untersuchung von zwölf Mehrwertdiensten auf Wechselwirkungen nach dem in Kapitel 5 beschriebenen Verfahren vorgestellt. Aus Platzgründen sind die gezeigten Untersuchungsergebnisse auf Wechselwirkungen bezüglich des Ablaufverhaltens und der Verwendung *eines* Informationselementes (*CalledPartyNumber*) beschränkt. Eine Ausdehnung der Untersuchungen würde die Betrachtungen qualitativ nicht bereichern. Alle verwendeten Mehrwertdienste beruhen auf dem CS-2 des IN. Es wurden sechs Mehrwertdienste ausgewählt, die im Rufzustandsmodell für abgehende Rufe (*O-BCSM*) und sechs, die im Rufzustandsmodell für ankommende Rufe (*T-BCSM*) ausgelöst werden. Vier der im Rufzustandsmodell für abgehende Rufe ausgelösten Mehrwertdienste umfassen lediglich zwei formale Endinstanzen:

- **Weiterentwickelte Sperre für abgehende Rufe (*Advanced Originating Call Screening, AOCs*)**. Dieser Mehrwertdienst erlaubt es, den Anruf bestimmter Rufnummern aus einer konfigurierbaren „Schwarzen Liste“ zu verhindern. Die Weiterentwicklung hierbei besteht gegenüber einem konventionellen *OCS* darin, dass der Erkennungspunkt O_{10} (*O_Answer*) unmittelbar vor der Herstellung der Nutzverbindung als Dienstausröser verwendet wird, ein Erkennungspunkt, der in CS-1 noch nicht zur Verfügung stand.
- **Kreditkartenruf (*Credit Card Calling, CCC*)**. Dieser Mehrwertdienst erlaubt es einem Anrufer, das Gesprächsentgelt für einen Anruf einem Kreditkartenkonto anstelle des normalen Entgeltkontos des benutzten Anschlusses zu belasten. Mehrere Rufe sind möglich, ohne die Kreditkarteninformationen erneut eingeben zu müssen.
- **Entgeltfreier Anruf (*Freephone, FRE*)**. Dieser Mehrwertdienst erlaubt es einem Anrufer, durch Wahl einer besonderen Rufnummer ein Gespräch zu führen, dessen Entgelt von der angerufenen Seite übernommen wird.
- **Automatisches Wählen (*Autodial, ADL*)**. Dieser Mehrwertdienst ermöglicht die automatische Wahl einer bestimmten, vorher konfigurierten Rufnummer durch einfaches Abheben des Telefonhörers.

Die verbleibenden zwei im Rufzustandsmodell für abgehende Rufe ausgelösten Dienste umfassen jeweils drei formale Endinstanzen:

- **Alternativer Anruf im Belegtfall (*Rerouting on Busy, RRB*)**. Trifft ein Anruf auf einen belegten Teilnehmeranschluss, so wird eine andere, vorkonfigurierte Rufnummer angerufen.

- ❑ **Alternativer Anruf bei ausbleibender Meldung (*Rerouting on no Reply, RRNR*)**. Wie oben (*RRB*), jedoch bei ausbleibender Meldung innerhalb einer bestimmten Zeitspanne.

Zwei der im Rufzustandsmodell für ankommende Rufe ausgelösten Mehrwertdienste umfassen nur zwei formale Endinstanzen:

- ❑ **Anrufsperrung (*Do not disturb, DND*)**. Eingehende Anrufe werden nicht entgegengenommen, sondern abgewiesen.
- ❑ **Selektive Sperre für ankommende Rufe (*Terminating Call Screening, TCS*)**. Eingehende Anrufe werden nicht angenommen, wenn die Rufnummer des Anrufers Bestandteil einer konfigurierbaren Sperrliste ist.

Die verbleibenden vier dieser Mehrwertdienste besitzen jeweils drei formale Endinstanzen:

- ❑ **Anrufumleitung (*Call Forwarding Unconditional, CFU*)**. Ein ankommender Ruf wird ohne weitere Überprüfungen an einen anderen Anschluss umgeleitet.
- ❑ **Anrufumleitung im Belegtfall (*Call Forwarding on Busy, CFB*)**. Ein ankommender Ruf wird umgeleitet, falls der ursprünglich gerufene Anschluss belegt ist.
- ❑ **Anrufumleitung bei ausbleibender Meldung (*Call Forwarding on No Reply, CFNR*)**. Ein ankommender Ruf wird umgeleitet, falls am ursprünglich gerufenen Anschluss innerhalb einer bestimmten Zeitspanne keine Meldung erfolgt.
- ❑ **Anklopfen (*Call Waiting, CW*)**. Ein Anruf erfolgt bei einem Teilnehmer, der bereits an einem Gespräch beteiligt ist. Dieser angerufene Teilnehmer wird durch einen Signalton informiert und kann dann zwischen den beiden Gesprächen hin und her wechseln. Neben der anklopfenden Verbindung, in der dieser Mehrwertdienst ausgelöst wird, müssen auch die Erkennungspunkte in den Verbindungen betrachtet werden, in denen angeklopft wird, wofür es zwei Varianten gibt:
 - **Anklopfen auf der Seite des Anrufers (*Call Waiting at the Originating Side, CWO*)**. Ein Anruf erfolgt bei einem Teilnehmer, der bereits *als Anrufer* an einem Gespräch beteiligt ist. Die Verbindung, bei der angeklopft wird, wird in diesem Falle als „(CW-O)“ bezeichnet.
 - **Anklopfen auf der Seite des Angerufenen (*Call Waiting at the Terminating Side, CWT*)**. Wie oben, der Anruf erfolgt jedoch bei einem Teilnehmer, der bereits *als Angerufener* an einem Gespräch beteiligt ist. Die Verbindung, bei der angeklopft wird, wird in diesem Falle als „(CW-T)“ bezeichnet.

C.2 Verifikation der Modelle der einzelnen Mehrwertdienste

Für die Durchführung der Erkennung von Wechselwirkungen ist es wichtig, dass die einzelnen Mehrwertdienstmodelle zunächst bezüglich ihres Ablaufverhaltens, ihrer Informationsflüsse und ihrer Ressourcenverwendung verifiziert werden. Diese Verifikation ist *zwingend notwendig*, um Gewissheit zu erhalten, dass später erkannte Wechselwirkungen tatsächlich aus dem Zusammenspiel von Mehrwertdiensten und nicht aus dem Verhalten eines einzelnen Dienstes heraus entstanden sind. Mit der entsprechenden Werkzeugunterstützung, hier CADP-Werkzeugpaket, UNIX-Shell-Skripten und MAKE ist diese Verifikation vollständig automatisierbar.

C.3 Mehrwertdienstauswahl, Konfigurationserzeugung und topologische Analyse

Da in dieser Fallstudie alle Wechselwirkungen zweiten Grades als relevant betrachtet werden, unterlag die Mehrwertdienstauswahl keinen Beschränkungen, es wurde also von allen möglichen Kombinationen zweiten Grades und erster bzw. zweiter Ordnung ausgegangen. Bei einer Sammlung von dreizehn¹ Mehrwertdiensten gibt es 13 Kombinationen erster Ordnung und 78 Kombinationen zweiter Ordnung. Diese Kombinationen wurden mit einem im Rahmen einer Diplomarbeit [194] erstellten Programmwerkzeug ermittelt.

C.3.1 Kombinationen zweiten Grades erster Ordnung

Kombinationen zweiten Grades erster Ordnung werden durch die Verwendung von zwei Instanzen desselben Mehrwertdienstes gebildet. Zunächst wurden auf alle topologisch unterschiedlichen kombinierten Konfigurationen die Symmetrie- und Kausalkriterien angewendet. Unter der Voraussetzung, dass eine gleichzeitige Aktivierung von zwei Instanzen desselben Mehrwertdienstes durch dieselbe Endinstanz nicht erlaubt und auch wenig sinnvoll ist, gibt es für die insgesamt sechs Mehrwertdienste mit nur zwei formalen Endinstanzen keine weiter zu untersuchenden kombinierten Konfigurationen.

Unter den Mehrwertdiensten mit drei formalen Endinstanzen lassen sich kombinierte Konfigurationen identifizieren, in denen beide Dienstinstanzen nicht von der selben Endinstanz ausgelöst werden. Dazu müssen jedoch die den Dienstauslöser enthaltenden Rufzustandsmodelltypen (für abgehende bzw. ankommende Rufe) mehr als einer formalen Endinstanz zugeordnet sein, was lediglich bei den drei Anrufumleitungsdiensten (*CFU*, *CFB*, *CFNR*) und beim Anklopfen auf der Seite des Anrufers (*CWO*) der Fall ist, nicht jedoch beim Alternativen Anruf im Belegtfall oder bei ausbleibende Meldung (*RRB*, *RRNR*) oder beim Anklopfen auf der Seite des Angerufenen (*CWT*)

In Tabelle C.1 sind die Anzahlen möglicher Topologien zweiten Grades erster Ordnung aufgelistet, wobei all die Konfigurationen ausgeschlossen wurden, bei denen beide Dienstauslöser einer einzigen realen Endinstanz zugeordnet werden. Die Standardkonfigurationen mit minimaler Überlappung zeichnen sich dadurch aus, dass alle formalen Endinstanzen jeder einzelnen Mehrwertdienstinstanz verschiedenen realen Endinstanzen zugeordnet sind und dass nur die zur Erfüllung der Bedingung für die auslösende Verbindung unbedingt erforderlichen formalen Endinstanzen denselben konkreten Endinstanzen zugeordnet sind. Die Standardkonfigurationen mit nicht-minimaler Überlappung erfüllen die letztgenannte Bedingung nicht mehr. Die bei den entarteten Konfigurationen aufgeführte Zahl der Überlappung gibt an, wie viele formale Endinstanzen einer Mehrwertdienstinstanz maximal derselben konkreten Endinstanz zugeordnet sind.

C.3.2 Kombinationen zweiten Grades zweiter Ordnung

Kombinationen zweiten Grades zweiter Ordnung entstehen durch Verwendung je einer Instanz zweier verschiedener Mehrwertdienste im Rahmen einer Rufbeziehung. Tabelle C.2 stellt diese Ergebnisse quantitativ dar. Die bereits oben aufgeführten Erläuterungen für die Bedeutungen der verschiedenen Anzahlen gelten auch hier.

¹Die beiden Varianten *CWO* und *CWT* werden dabei jeweils als eigener Mehrwertdienst gezählt

Tabelle C.1: Anzahlen möglicher Topologien für Konfigurationen zweiten Grades und erster Ordnung. Konfigurationen, bei denen beide Dienstauslöser einer realen Endinstanz zugeordnet wurden, sind ausgeschlossen.

Z_1 und Z_2	$ E $	n_{Smin}	n_{Smin}	$n_{eK,2}$	$n_{eK,3}$
AOCS	2	–	–	–	–
CCC	2	–	–	–	–
FRE	2	–	–	–	–
ADL	2	–	–	–	–
RRB	3	–	–	–	–
RRNR	3	–	–	–	–
DND	2	–	–	–	–
TCS	2	–	–	–	–
CFU	3	1	1	8	–
CFB	3	1	1	8	–
CFNR	3	1	1	8	–
CWO	3	1	1	8	–
CWT	3	–	–	–	–

Z_1, Z_2	Mehrwertdienste (Zusatzdienste) 1 und 2
$ E $	Anzahl der formalen Endinstanzen
n_{Smin}	Anzahl der Standardkombinationen mit minimaler Überlappung
n_{Smin}	Anzahl der Standardkombinationen mit nicht minimaler Überlappung
$n_{eK,2}$	Anzahl der entarteten Konfigurationen mit maximal zweifacher Überlappung
$n_{eK,3}$	Anzahl der entarteten Konfigurationen mit maximal dreifacher Überlappung

C.4 Untersuchungen auf der Ebene der einzelnen Konfiguration

Da in der hier vorgestellten Fallstudie lediglich Wechselwirkungen zweiten Grades betrachtet werden, liegen die Dienstauslöser für die beiden beteiligten Dienste *entweder* in zwei verschiedenen Verbindungen *oder* in genau einer Verbindung. Der erste Fall wird durch die verbindungsübergreifende Untersuchung abgedeckt, der zweite durch die detaillierte Untersuchung der einzelnen Verbindung.

C.4.1 Verbindungsübergreifende Untersuchung

In Kapitel 5 wurde dargelegt, dass die Genauigkeit der möglichen Aussagen bei der verbindungsübergreifenden Untersuchung begrenzt auf die Auswertung von notwendigen Bedingungen für Wechselwirkungen ist. Zur Illustration werden die dort beschriebenen Bedingungen auf das Informationselement der *CalledPartyNumber* angewendet.

Tabelle C.3 stellt dar, welche Elementaroperationen durch die zwölf betrachteten Mehrwertdienste mit der Rufvariable *CalledPartyNumber* im Dienstverlauf vorkommen.

Unter Verwendung von Tabelle 5.4 und der Bedingung für die Kombination von Elementaroperationen kann nun schnell entschieden werden, für welche Dienstkombinationen Wechselwirkungen auf Grund dieser Elementaroperationen überhaupt möglich sind. Für die *CalledPartyNumber* zeigt Tabelle C.4 (Seite 162) die Ergebnisse dieses Schrittes.

Diese Daten berücksichtigen nicht die Pfade für die Rufvariable zwischen den einzelnen Verbindungen. Für jede einzelne der kombinierten Konfigurationen aus Tabelle C.2, bei der die Dienstauslöser in verschiedenen Verbindungen liegen, muss also noch überprüft werden, ob die betrachteten Rufvariablen durch einen möglichen Pfad verbunden sind.

Da sich die Darstellung dieser Ergebnisse einer kompakten tabellarischen Darstellung entzieht, soll hier ein Beispiel die Art der erhaltenen Ergebnisse erläutern. Dazu wird eine

Tabelle C.2: Anzahlen möglicher Topologien für Konfigurationen zweiten Grades und zweiter Ordnung

Z_1	Z_2	n_{Smin}	n_{Smin}	$n_{eK,2}$	$n_{eK,3}$
AOCS	CCC	1	-	1	-
	FRE	1	-	1	-
	ADL	1	-	1	-
	RRB	2	-	5	1
	RRNR	2	-	5	1
	DND	1	-	1	-
	TCS	1	-	1	-
	CFU	2	-	6	1
	CFB	2	-	6	1
	CFNR	2	-	6	1
	CWO	2	-	6	1
CWT	2	-	5	1	
CCC	FRE	1	-	1	-
	ADL	1	-	1	-
	RRB	2	-	5	1
	RRNR	2	-	5	1
	DND	1	-	1	-
	TCS	1	-	1	-
	CFU	2	-	6	1
	CFB	2	-	6	1
	CFNR	2	-	6	1
	CWO	2	-	6	1
	CWT	2	-	5	1
FRE	ADL	1	-	1	-
	RRB	2	-	5	1
	RRNR	2	-	5	1
	DND	1	-	1	-
	TCS	1	-	1	-
	CFU	2	-	6	1
	CFB	2	-	6	1
	CFNR	2	-	6	1
	CWO	2	-	6	1
	CWT	2	-	5	1
	ADL	RRB	2	-	5
RRNR		2	-	5	1
DND		1	-	1	-
TCS		1	-	1	-
CFU		2	-	6	1
CFB		2	-	6	1
CFNR		2	-	6	1
CWO		2	-	6	1
CWT		2	-	5	1

Z_1	Z_2	n_{Smin}	n_{Smin}	$n_{eK,2}$	$n_{eK,3}$
RRB	RRNR	3	2	22	5
	DND	2	-	5	1
	TCS	2	-	5	1
	CFU	3	3	26	5
	CFB	3	3	26	5
	CFNR	3	3	26	5
	CWO	3	3	26	5
	CWT	3	3	24	5
RRNR	DND	2	-	5	1
	TCS	2	-	5	1
	CFU	3	3	26	5
	CFB	3	3	26	5
	CFNR	3	3	26	5
	CWO	3	3	26	5
DND	TCS	1	-	1	-
	CFU	2	-	6	1
	CFB	2	-	6	1
	CFNR	2	-	6	1
	CWO	2	-	6	1
TCS	CWT	2	-	5	1
	CFU	2	-	6	1
	CFB	2	-	6	1
	CWO	2	-	6	1
	CWT	2	-	5	1
CFU	CFB	3	3	29	5
	CFNR	3	3	29	5
	CWO	3	3	29	5
	CWT	3	3	26	5
	CFB	CFNR	3	3	29
CWO		3	3	29	5
CWT		3	3	26	5
CFNR	CWO	3	3	29	5
	CWT	3	3	26	5
CWO	CWT	3	3	26	5

Z_1, Z_2	Mehrwertdienste (Zusatzdienste) 1 und 2
n_{Smin}	Anzahl der Standardkombinationen mit minimaler Überlappung
n_{Smin}	Anzahl der Standardkombinationen mit nicht minimaler Überlappung
$n_{eK,2}$	Anzahl der entarteten Konfigurationen mit maximal zweifacher Überlappung
$n_{eK,3}$	Anzahl der entarteten Konfigurationen mit maximal dreifacher Überlappung

der drei Standardkonfigurationen mit minimaler Überlappung der beiden Mehrwertdienste der Anrufumleitung (*CFU*) und der Anrufumleitung im Belegtfall (*CFB*) bezüglich der Verwendung der *CalledPartyNumber* näher untersucht. Gemäß Tabelle C.4 sind hier die Wechselwirkungen des Seiteneffekts, der Annahmenverletzung und des Überschreibens wegen der vorkommenden Elementaroperationen (Lesen, Erzeugen) prinzipiell möglich. Betrachtet man jedoch den tatsächlichen Informationsfluss (Abb. C.1), so zeigt sich, dass er in dieser speziellen Konfiguration zwischen den zu betrachtenden Verbindungen für das Informationselement der *CalledPartyNumber* auf Grund einer Absorption nicht besteht.

Tabelle C.3: Durch die verschiedenen Mehrwertdienste durchgeführten Elementaroperationen auf dem Informationselement der *CalledPartyNumber*

Dienst	Elementaroperationen auf der <i>CalledPartyNumber</i>							
	AE.NU	AE.NV	AE.RD	AE.IN	RS.NS	RS.SU	RS.SP	RS.SC
AOCS	–	–	–	•	◦	–	–	–
CCC	◦	–	–	–	◦	–	–	•
FRE	◦	–	•	–	◦	–	•	–
ADL	◦	–	–	–	–	–	–	•
RRB	–	–	•	–	–	–	•	–
RRNR	–	–	•	–	–	–	•	–
DND	◦	–	–	–	◦	–	–	–
TCS	◦	–	–	–	◦	–	–	–
CFU	◦	–	•	–	◦	–	–	•
CFB	◦	–	•	–	◦	–	–	•
CFNR	◦	–	•	–	◦	–	–	•
CWO	◦	–	–	–	◦	–	–	–
CWT	◦	–	–	–	◦	–	–	–

- Elementaroperation kommt im Mehrwertdienst nicht vor
- Elementaroperation kommt vor, kann jedoch keine Wechselwirkung verursachen
- Elementaroperation kommt vor und kann potenziell Wechselwirkungen verursachen

Statt dessen bestehen andere Zusammenhänge, z. B. die dargestellte erhaltende Transformation, bei der *OriginalCalledPartyID* der jeweilige Wert der *CalledPartyNumber* aus der vorhergehenden Verbindung zugewiesen wird. Sind die Elementaroperationen für die *OriginalCalledPartyID* bekannt, so können dort die üblichen Bedingungen für die verbindungsübergreifende Wechselwirkungserkennung angewendet werden. Für diese Art der Untersuchung der Zusammenhänge zwischen verschiedenen Informationslementen wurde jedoch bisher noch keine Werkzeugunterstützung realisiert.

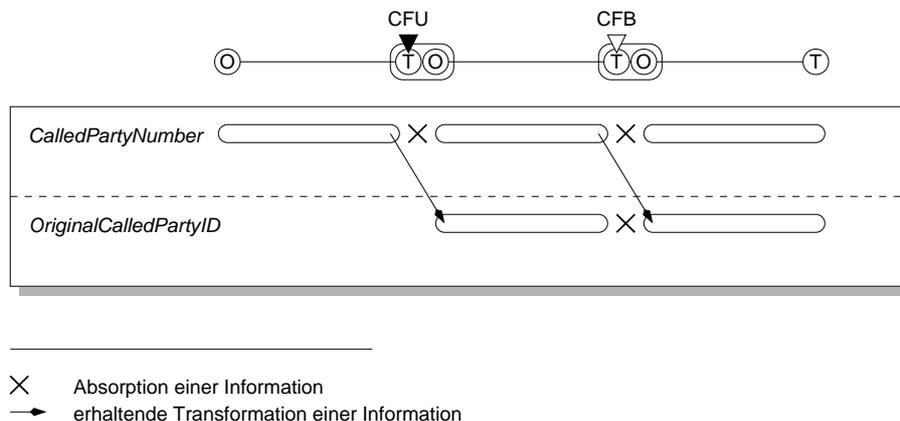


Abbildung C.1: Verbindungsübergreifende Betrachtung der Informationselemente *CalledPartyNumber* und *OriginalCalledPartyID* im Rahmen einer Konfiguration mit den Mehrwertdiensten der Anrufumleitung (*CFU*) und der Anrufumleitung im Belegtfall (*CFB*)

C.4.2 Untersuchung der einzelnen Verbindung

Der Schwerpunkt dieser Fallstudie liegt auf der Anwendung der formalen Beschreibung des Ablaufverhaltens und der Beschreibung des Informationsflusses zur Erkennung von Wechselwirkungen zwischen Mehrwertdiensten. Die Untersuchung des Ablaufverhaltens

ist im Rahmen einer einzelnen Verbindung auf Grund der vorhandenen formalen Spezifikation in LOTOS mit Hilfe der Erreichbarkeitsanalyse und der formalen Verifikation möglich. Eine solche Untersuchung bringt wesentliche Erkenntnisse bezüglich der Wechselwirkungen des Ablaufverhaltens und bildet gleichzeitig die Grundlage für Untersuchungen auf Wechselwirkungen auf Grund des Informationsflusses.

C.4.2.1 Wechselwirkungen auf Grund des Ablaufverhaltens

Die hier dargestellten Ergebnisse wurden mit Hilfe einer Erreichbarkeitsanalyse für konzentrierte Konfigurationen mit deterministischer Mehrwertdienstausschleifereihenfolge ermittelt. Es wurden nur Konfigurationen zweiter Ordnung, also mit zwei unterschiedlichen Mehrwertdienstinstanzen betrachtet. Abhängig von den beteiligten Mehrwertdiensten bewegt sich die Größe der entstehenden Zustandsräume zwischen 14.551 Zuständen und 35.215 Übergängen für die Mehrwertdienstkombination *ADL / DND* und 888.276 Zuständen und 2.095.924 Übergängen für die Kombination *FRE / CW*. Zustandsräume dieser Größenordnungen lassen sich mit Hilfe der benutzten Werkzeuge noch effizient erzeugen und untersuchen.

C.4.2.1.1 Einseitige konzentrierte Konfigurationen

Die hier untersuchten einseitigen konzentrierten Konfigurationen sind dadurch gekennzeichnet, dass beide Mehrwertdienstinstanzen im selben Rufzustandsmodell ausgelöst werden. Wird ein Erkennungspunkt von beiden Mehrwertdienstinstanzen genutzt, so ist die Auslöserreihenfolge deterministisch. Tabelle C.5 (Seite 163) stellt die Erreichbarkeit von Erkennungspunkten für im Rufzustandsmodell für abgehende Rufe, Tabelle C.6 (Seite 164) für im Rufzustandsmodell für ankommende Rufe ausgelöste Mehrwertdienste dar. In diesen Tabellen sind Dienstauslöser und Ereigniserkennungspunkte, die auf Grund einer Wechselwirkung nicht erreichbar sind, durch schwarz ausgefüllte Symbole (▲, ●) hervorgehoben. Die entsprechenden leeren Symbole (△, ○) bezeichnen Erkennungspunkte, für die sich keine Einschränkungen in der Erreichbarkeit ergeben.

C.4.2.1.2 Zweiseitige Konfigurationen

Die Konfigurationen, in denen je eine Mehrwertdienstinstanz im Rufzustandsmodell für abgehende und für ankommende Rufe ausgelöst wird, sind *per se* konzentriert, da jeweils nur eine Mehrwertdienstinstanz auf jeder Seite der Verbindung aktiv ist. Aus demselben Grund ist auch die Auslöserreihenfolge festgelegt.

Aus Platzgründen wurden die Ergebnisse für die Erreichbarkeit von Erkennungspunkten auf die Tabellen C.7 (Seite 165) für die Erkennungspunkte auf der rufenden Seite und C.8 (Seite 166) für die Erkennungspunkte auf der gerufenen Seite aufgeteilt. Auch in diesen Tabellen stehen die schwarz ausgefüllten Symbole für nicht erreichbare Erkennungspunkte und die leeren Symbole für Erkennungspunkte, für die sich keine Einschränkungen in der Erreichbarkeit ergeben.

C.4.2.1.3 Beispiele

In 11 von 42 Verbindungskonfigurationen mit zwei Mehrwertdienstinstanzen auf der rufenden Seite, in 25 von 42 mit zwei Mehrwertdienstinstanzen auf der gerufenen Seite und in 13 von 49 der zweiseitigen Verbindungskonfigurationen wurden Wechselwirkungen durch Verhinderung des Erreichens von Erkennungspunkten festgestellt. Zwei davon werden hier zur Illustration von zwei Arten dieser Wechselwirkung näher beschrieben.

Verhinderung durch Nichterreichbarkeit eines Dienstauslösers. Beim Zusammenspiel des Kreditkartenrufs *CCC* und des entgeltfreien Anrufs *FRE* tritt die Situation auf, dass der Dienstauslöser von *FRE* nicht erreicht werden kann. Alle Ereigniserkennungspunkte von *FRE* werden ebenfalls nicht erreicht (Tabelle C.5, Zeile 8).

Die Ursache für dieses Verhalten kann bei näherer Betrachtung des *CCC* identifiziert werden. Dieser Mehrwertdienst wird im Erkennungspunkt *Origination_Attempt_Authorized* (O_{01}) ausgelöst und springt nach mehrwertdienstintern durchgeführter Rufnummerneingabe in den Rufzustand *Analyse_Information*. Dadurch wird der Erkennungspunkt *Collected_Information* (O_{02}) übersprungen, durch den der Mehrwertdienst *FRE* ausgelöst wird. Da dadurch auch die durch *FRE* benutzten Ereigniserkennungspunkte nicht gesetzt werden können, werden diese folglich ebenfalls nicht erreicht.

Verhinderung durch Nichterreichen von Ereigniserkennungspunkten. Beim Zusammenspiel der weiterentwickelten Sperre für abgehende Rufe *AOCS* und des entgeltfreien Anrufs *FRE* ist der Erkennungspunkt *O_Disconnect* (O_{13}) nicht erreichbar, der von *FRE* als Ereigniserkennungspunkt genutzt wird (Tabelle C.5, Zeile 13).

Die Ursache für dieses Verhalten liegt darin, dass *AOCS* durch seine Auslösung im Erkennungspunkt *O_Answer* (O_{10}) verhindert, dass der Rufzustand *O_Active* und damit auch der Erkennungspunkt *O_Disconnect* (O_{13}) erreicht werden kann.

Endlosschleife. Das Vorhandensein einer Endlosschleife lässt sich durch Suche nach Zyklen ohne Fortschritt nachweisen, nachdem alle nicht an den Endpunkten der betrachteten Verbindung beobachtbaren Ereignisse verborgen werden. Unter den Konfigurationen der Fallstudie traten keine Endlosschleifen als Wechselwirkung auf; die Wirksamkeit der Schleifenerkennung konnte jedoch mit zwei eigens dafür konstruierten Mehrwertdienstbeschreibungen nachgewiesen werden.

C.4.2.2 Wechselwirkungen auf Grund des Informationsflusses

Unter Verwendung der Erreichbarkeitsgraphen und der Zuordnung zwischen Elementaroperationen auf einem Informationselement – hier *CalledPartyNumber* – zu Ereignissen im Erreichbarkeitsgraphen lassen sich Wechselwirkungen auf Grund des Informationsflusses ohne Schwierigkeiten identifizieren. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Tabelle C.9 (Seite 167) dargestellt.

Die Wechselwirkungsarten der Annahmenverletzung, des Seiteneffektes und des Überschreibens sind unterscheidbar mit Hilfe der in Kapitel 5 vorgestellten Kriterien. Wurde eine solche Wechselwirkung in einer Konfiguration entdeckt, ist dies durch einen ausgefüllten Kreis (●) markiert. Ein Strich (–) bezeichnet das Nichtvorliegen einer Wechselwirkung. Ein leerer Kreis (○) steht ebenfalls für das Nichtvorliegen einer Wechselwirkung, die jedoch auf Grund der Erfüllung der notwendigen Bedingungen für den Zusammenhang von Rufzustandsvariablen und die Kombination von Elementaroperationen prinzipiell möglich wären. Besonders hervorzuheben sind die durch ein Kreuz (×) markierten Konfigurationen, bei denen auf Grund der Verhinderung des Erreichens von Erkennungspunkten eine Wechselwirkung auf Grund des Informationsflusses – ungeachtet aller anderen Bedingungen – nicht auftritt.

An Hand der Kombination zwischen dem entgeltfreien Anruf *FRE* und der Anrufweiterleitung *CFU* (Tabelle C.9 b, Zeile 17), bei der sowohl die Annahmenverletzung als auch der Seiteneffekt und das Überschreiben beobachtet werden kann, sollen diese Wechselwirkungstypen nun kurz erläutert werden:

Annahmenverletzung. Eine Annahmenverletzung bezüglich einer Rufzustandsvariablen tritt immer dann auf, wenn eine Mehrwertdienstinstanz diese liest oder zur Beeinflussung des Fortgangs verwendet und anschließend eine andere Mehrwertdienstinstanz den Wert dieser Rufzustandsvariablen verändert. Im betrachteten Beispiel erfolgt ein Lesevorgang (AE.RD) durch *FRE* beispielsweise beim Erkennungspunkt *Collected_Information* (O_{02}) und ein späterer Schreibvorgang (RS.SP) durch *CFU* beim Erkennungspunkt *Termination_Attempt_Authorised* (T_{01}).

Seiteneffekt. Ein Seiteneffekt wird dadurch charakterisiert, dass eine Mehrwertdienstinstanz den Wert einer Rufzustandsvariablen verändert und eine andere Mehrwertdienstinstanz diesen veränderten Wert anschließend auswertet (lesend oder zur Beeinflussung des Fortganges). Im betrachteten Beispiel erfolgt die Veränderung (RS.SP) durch *FRE* beim Erkennungspunkt *Analysed_Information* (O_{03}). Die Auswertung (AE.RD) dieses veränderten Informationselements durch *CFU* erfolgt später beim Erkennungspunkt *Termination_Attempt_Authorised* (T_{01}).

Überschreiben. Die Wechselwirkung des Überschreibens entsteht dadurch, dass mehrere Mehrwertdienstinstanzen den Wert einer Rufzustandsvariablen verändern. Im betrachteten Beispiel erfolgt dies durch *FRE* beim Erkennungspunkt *Analysed_Information* (O_{03}) mit der Elementaroperation RS.SP und anschließend durch *CFU* beim Erkennungspunkt *Termination_Attempt_Authorised* (T_{01}) durch die gleiche Elementaroperation. Man beachte, dass jede der Operationen bereits schon an einer der anderen vorgestellten Wechselwirkungen beteiligt ist. Dieser Zusammenhang zwischen den verschiedenen Wechselwirkungstypen kann dadurch entstehen, dass verschiedene Elementaroperationen im Rahmen von elementaren Interaktionen fest aneinander gebunden sind.

C.5 Zusammenfassung der Ergebnisse dieser Fallstudie

In dieser Fallstudie wurde gezeigt, wie mittels der in Kapitel 4 vorgestellten Modellierung und des in Kapitel 5 eingeführten Erkennungsverfahrens Wechselwirkungen auf der Ebene der Systemarchitektur zwischen zwölf Mehrwertdiensten erkannt werden können. Es wurden dazu Untersuchungen auf Wechselwirkungen auf Grund des Ablaufverhaltens und auf Grund des Informationsflusses (bezüglich des Informationselements der *CalledPartyNumber*) durchgeführt.

Eine quantitative Auswertung der Ergebnisse ergibt folgende Ergebnisse: Die verbindungsübergreifende Betrachtung des Informationsflusses (für das Informationselement *CalledPartyNumber*) ergibt einen Anteil von 43% der betrachteten Konfigurationen, bei denen die notwendigen Bedingungen für das Vorliegen von Wechselwirkungen auf Grund des Informationsflusses erfüllt sind. Auf der Ebene der einzelnen Verbindung treten in 38% der Konfigurationen Wechselwirkungen auf Grund des Ablaufverhaltens und in 36% der Konfigurationen Wechselwirkungen auf Grund des Informationsflusses (für das Informationselement *CalledPartyNumber*) auf. 71% der Einzelverbindungskonfigurationen weisen mindestens eine dieser beiden Wechselwirkungstypen auf.

Tabelle C.4: Bei der verbindungsübergreifenden Untersuchung durch die Benutzungen des Informationselements *CalledPartyNumber* mögliche Wechselwirkung auf Grund des Informationsflusses

a) Konfigurationen zweiten Grades erster Ordnung

Z ₁ und Z ₂	A/S	Ü
AOCS	-	-
CCC	-	-
FRE	-	-
ADL	-	-
RRB	-	-
RRNR	-	-
CWO	-	-
DND	-	-
TCS	-	-
CFU	o	o
CFB	o	o
CFNR	o	o
CWT	-	-

b) Konfigurationen zweiten Grades zweiter Ordnung

Z ₁	Z ₂	A/S	Ü
AOCS	CCC	o	-
	FRE	o	-
	ADL	o	-
	RRB	o	-
	RRNR	o	-
	CWO	-	-
CCC	FRE	o	o
	ADL	-	o
	RRB	o	o
	RRNR	o	o
	CWO	-	-
FRE	ADL	o	o
	RRB	o	o
	RRNR	o	o
	CWO	-	-
ADL	RRB	o	o
	RRNR	o	o
	CWO	-	-
RRB	RRNR	o	o
	CWO	-	-
RRNR	CWO	-	-

Z ₁	Z ₂	A/S	Ü
DND	TCS	-	-
	CFU	-	-
	CFB	-	-
	CFNR	-	-
	CWT	-	-
TCS	CFU	-	-
	CFB	-	-
	CFNR	-	-
	CWT	-	-
CFU	CFB	o	o
	CFNR	o	o
	CWT	-	-
CFB	CFNR	o	o
	CWT	-	-
CFNR	CWT	-	-

Z ₁	Z ₂	A/S	Ü
AOCS	DND	-	-
	TCS	-	-
	CFU	o	-
	CFB	o	-
	CFNR	o	-
	CWT	-	-
CCC	DND	-	-
	TCS	-	-
	CFU	o	o
	CFB	o	o
	CFNR	o	o
	CWT	-	-
FRE	DND	-	-
	TCS	-	-
	CFU	o	o
	CFB	o	o
	CFNR	o	o
	CWT	-	-
ADL	DND	-	-
	TCS	-	-
	CFU	o	o
	CFB	o	o
	CFNR	o	o
	CWT	-	-
RRB	DND	-	-
	TCS	-	-
	CFU	o	o
	CFB	o	o
	CFNR	o	o
	CWT	-	-
RRNR	DND	-	-
	TCS	-	-
	CFU	o	o
	CFB	o	o
	CFNR	o	o
	CWT	-	-
CWO	DND	-	-
	TCS	-	-
	CFU	-	-
	CFB	-	-
	CFNR	-	-
	CWT	-	-

-
- Z₁, Z₂ Als erstes und als zweites ausgelöste Mehrwertdienste
A/S Annahmenverletzung oder Seiteneffekt
Ü Überschreiben
- notwendige Bedingung nicht erfüllt, d. h. keine Wechselwirkung möglich
o Wechselwirkung auf Grund der notwendigen Bedingung möglich

Tabelle C.5: Einseitige konzentrierte Konfigurationen zweiten Grades zweiter Ordnung auf der Seite abgehender Rufe

Z ₁	Z ₂	Erkennungspunkt																
		O ₀₀	O ₀₁	O ₀₂	O ₀₃	O ₀₄	O ₀₅	O ₀₆	O ₀₇	O ₀₈	O ₀₉	O ₁₀	O ₁₁	O ₁₂	O ₁₃	O ₁₄	O ₁₅	O ₁₆
AOCS	CCC	--	-Δ	-[Δ°]	--	○	--	--	○	--	○	Δ-	--	--	●	●	○	--
	FRE	--	--	--	○	○	--	--	○	--	○	Δ°	--	--	●	○	○	--
	ADL	-Δ	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Δ-	--	--	--	--	--	--
	RRB	--	--	--	--	--	--	--	Δ-	--	--	Δ-	--	--	--	--	--	--
	RRNR (CW-O)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Δ-	Δ-	--	--	●	●	--	--
CCC	AOCS	--	Δ-	--	--	○	--	--	○	--	○	-Δ	--	--	●	●	○	--
	FRE	--	Δ-	-[▲•]	●	●	--	--	●	--	●	●	--	--	●	○	●	--
	ADL	-Δ	▲	--	--	●	--	--	●	--	●	--	--	--	●	●	●	--
	RRB	--	Δ-	--	--	○	--	--	○	--	○	--	--	--	○	○	○	--
	RRNR (CW-O)	--	Δ-	--	--	○	--	--	○	--	○	--	--	--	○	○	○	--
FRE	AOCS	--	--	[Δ°]	○	○	--	--	○	--	○	○	Δ-	--	●	--	○	--
	CCC	--	-Δ	[▲•]	●	●	--	--	●	--	●	●	--	--	●	○	●	--
	ADL	-Δ	--	[▲•]	●	●	--	--	●	--	●	●	--	--	●	○	●	--
	RRB	--	--	[Δ°]	○	○	--	--	○	--	○	○	--	--	○	○	○	--
	RRNR (CW-O)	--	--	[Δ°]	○	○	--	--	○	--	○	○	--	--	○	○	○	--
ADL	AOCS	Δ-	--	--	--	--	--	--	--	--	-Δ	--	--	--	--	--	--	--
	CCC	Δ-	▲	--	--	●	--	--	●	--	●	●	--	--	●	●	●	--
	FRE	Δ-	--	-[▲•]	●	●	--	--	●	--	●	●	--	--	●	○	●	--
	RRB	Δ-	--	--	--	--	--	--	Δ-	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	RRNR (CW-O)	Δ-	--	--	--	--	--	--	--	--	Δ-	--	--	--	--	--	○	○
RRB	AOCS	--	-Δ	--	--	○	--	--	Δ-	--	○	-Δ	--	--	○	○	○	--
	CCC	--	--	-[Δ°]	○	○	--	--	Δ°	--	○	○	--	--	○	--	○	--
	FRE	--	--	-[Δ°]	○	○	--	--	Δ°	--	○	○	--	--	○	--	○	--
	ADL	-Δ	--	--	--	--	--	--	Δ-	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	RRNR (CW-O)	--	--	--	--	--	--	--	Δ-	--	Δ-	--	--	--	○	○	--	--
RRNR	AOCS	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Δ-	-Δ	--	--	--	--	--	--
	CCC	--	-Δ	--	--	○	--	--	○	--	Δ°	--	--	--	○	○	○	--
	FRE	--	--	-[Δ°]	○	○	--	--	○	--	Δ°	○	--	--	○	○	○	--
	ADL	-Δ	--	--	--	--	--	--	Δ-	--	Δ-	--	--	--	--	--	--	--
	RRNR (CW-O)	--	--	--	--	--	--	--	Δ-	--	Δ-	--	--	--	○	○	--	--
(CW-O)	AOCS	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-Δ	--	--	--	●	●	--	--
	CCC	--	-Δ	--	--	○	--	--	○	--	○	--	--	--	○	○	○	--
	FRE	--	--	-[Δ°]	○	○	--	--	○	--	○	○	--	--	○	○	○	--
	ADL	-Δ	--	--	--	--	--	--	○	--	○	--	--	--	○	○	--	--
	RRNR	--	--	--	--	--	--	--	Δ-	--	Δ-	--	--	--	○	○	--	--

Z₁, Z₂ Als erstes und als zweites ausgelöste Mehrwertdienste
 Δ, ▲ Erreichbarer und **nicht erreichbarer** dienstauslösender Erkennungspunkt (TDP)
 ○, ● Erreichbarer und **nicht erreichbarer** Ereigniserkennungspunkt (EDP)
 [...] Sowohl dienstauslösender Erkennungspunkt als auch Ereigniserkennungspunkt für denselben Mehrwertdienst vorhanden

Tabelle C.6: Einseitige konzentrierte Konfigurationen zweiten Grades zweiter Ordnung auf der Seite ankommender Rufe

Z ₁	Z ₂	Erkennungspunkt												
		T ₀₀	T ₀₁	T ₀₂	T ₀₃	T ₀₄	T ₀₅	T ₀₆	T ₀₇	T ₀₈	T ₀₉	T ₁₀	T ₁₁	
DND	TCS	Δ▲	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	CFU	Δ-	▲	---	---	---	---	---	•	•	---	•	•	
	CFB	Δ-	---	---	---	---	---	---	- [▲•]	•	---	•	•	
	CFNR	Δ-	---	---	---	---	---	---	•	- [▲•]	---	•	•	
	CW	Δ-	---	---	•	•	---	---	▲	•	•	•	•	
	(CW-T)	Δ-	---	---	---	---	---	---	---	---	•	•	•	
TCS	DND	Δ▲	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
	CFU	Δ-	▲	---	---	---	---	---	•	•	---	•	•	
	CFB	Δ-	---	---	---	---	---	---	- [▲•]	•	---	•	•	
	CFNR	Δ-	---	---	---	---	---	---	•	- [▲•]	---	•	•	
	CW	Δ-	---	---	•	•	---	---	▲	•	•	•	•	
	(CW-T)	Δ-	---	---	---	---	---	---	---	---	•	•	•	
CFU	DND	-Δ	▲	---	---	---	---	---	•	•	---	•	•	
	TCS	-Δ	▲	---	---	---	---	---	•	•	---	•	•	
	CFB	---	Δ-	---	---	---	---	---	○[Δ○]	○○	---	○○	○○	
	CFNR	---	Δ-	---	---	---	---	---	○○	○[Δ○]	---	○○	○○	
	CW	---	Δ-	---	○	○	---	---	○Δ	○○	-○	○○	○○	
	(CW-T)	---	Δ-	---	---	---	---	---	○-	○-	-○	○○	○-	
CFB	DND	-Δ	---	---	---	---	---	---	[▲•]-	•	---	•	•	
	TCS	-Δ	---	---	---	---	---	---	[▲•]-	•	---	•	•	
	CFU	---	-Δ	---	---	---	---	---	[Δ○]○	○○	---	○○	○○	
	CFNR	---	---	---	---	---	---	---	[Δ○]○	○[Δ○]	---	○○	○○	
	CW	---	---	---	•	•	---	---	[Δ○]▲	○○	-•	○○	○○	
	(CW-T)	---	---	---	---	---	---	---	[Δ○]-	○-	-○	○○	○-	
CFNR	DND	-Δ	---	---	---	---	---	---	•	[▲•]-	---	•	•	
	TCS	-Δ	---	---	---	---	---	---	•	[▲•]-	---	•	•	
	CFU	---	-Δ	---	---	---	---	---	○○	[Δ○]○	---	○○	○○	
	CFB	---	---	---	---	---	---	---	○[Δ○]	[Δ○]○	---	○○	○○	
	CW	---	---	---	○	○	---	---	○Δ	[Δ○]○	-○	○○	○○	
	(CW-T)	---	---	---	---	---	---	---	○-	[Δ○]-	-○	○○	○-	
CW	DND	-Δ	---	---	•	•	---	---	▲-	•	•	•	•	
	TCS	-Δ	---	---	•	•	---	---	▲-	•	•	•	•	
	CFU	---	-Δ	---	○	○	---	---	Δ○	○○	○-	○○	○○	
	CFB	---	---	---	○	○	---	---	Δ[▲•]	○○	○-	○○	○○	
	CFNR	---	---	---	○	○	---	---	Δ○	○[Δ○]	○-	○○	○○	
	(CW-T)	---	---	---	○	○	---	---	Δ-	○-	○○	○○	○-	
(CW-T)	DND	-Δ	---	---	---	---	---	---	---	---	•	•	---	
	TCS	-Δ	---	---	---	---	---	---	---	---	•	•	---	
	CFU	---	-Δ	---	---	---	---	---	-○	-○	○-	○○	○-	
	CFB	---	---	---	---	---	---	---	- [Δ○]	-○	○-	○○	○-	
	CFNR	---	---	---	---	---	---	---	-○	- [Δ○]	○-	○○	○-	
	(CW-T)	---	---	---	-○	-○	---	---	-Δ	-○	○•	○○	○-	

Z₁, Z₂ Als erstes und als zweites ausgelöste Mehrwertdienste
 Δ, ▲ Erreichbarer und **nicht erreichbarer** dienstauslösender Erkennungspunkt (TDP)
 ○, • Erreichbarer und **nicht erreichbarer** Ereigniserkennungspunkt (EDP)
 [...] Sowohl dienstauslösender Erkennungspunkt als auch Ereigniserkennungspunkt für denselben Mehrwertdienst vorhanden

Tabelle C.7: Zweiseitige konzentrierte Konfigurationen zweiten Grades zweiter Ordnung, Erkennungspunkte im Rufzustandsmodell für abgehende Rufe

Z ₁	Z ₂	Erkennungspunkt																
		O ₀₀	O ₀₁	O ₀₂	O ₀₃	O ₀₄	O ₀₅	O ₀₆	O ₀₇	O ₀₈	O ₀₉	O ₁₀	O ₁₁	O ₁₂	O ₁₃	O ₁₄	O ₁₅	O ₁₆
AOCS	DND	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	▲	-	-	-	-	-	-
	TCS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	▲	-	-	-	-	-	-
	CFU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Δ	-	-	-	-	-	-
	CFB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Δ	-	-	-	-	-	-
	CFNR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Δ	-	-	-	-	-	-
	CW (CW-T)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Δ	-	-	-	-	-	-
CCC	DND	-	Δ	-	-	○	-	-	●	-	●	-	-	-	●	●	○	-
	TCS	-	Δ	-	-	○	-	-	●	-	●	-	-	-	●	●	○	-
	CFU	-	Δ	-	-	○	-	-	○	-	○	-	-	-	○	○	○	-
	CFB	-	Δ	-	-	○	-	-	○	-	○	-	-	-	○	○	○	-
	CFNR	-	Δ	-	-	○	-	-	○	-	○	-	-	-	○	○	○	-
	CW (CW-T)	-	Δ	-	-	○	-	-	○	-	○	-	-	-	○	○	○	-
FRE	DND	-	-	[Δ○]	○	○	-	-	●	-	●	●	-	-	●	-	○	-
	TCS	-	-	[Δ○]	○	○	-	-	●	-	●	●	-	-	●	-	○	-
	CFU	-	-	[Δ○]	○	○	-	-	○	-	○	○	-	-	○	-	○	-
	CFB	-	-	[Δ○]	○	○	-	-	○	-	○	○	-	-	○	-	○	-
	CFNR	-	-	[Δ○]	○	○	-	-	○	-	○	○	-	-	○	-	○	-
	CW (CW-T)	-	-	[Δ○]	○	○	-	-	○	-	○	○	-	-	○	-	○	-
ADL	DND	Δ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	TCS	Δ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	CFU	Δ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	CFB	Δ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	CFNR	Δ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	CW (CW-T)	Δ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RRB	DND	-	-	-	-	-	-	-	▲	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	TCS	-	-	-	-	-	-	-	▲	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	CFU	-	-	-	-	-	-	-	Δ	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	CFB	-	-	-	-	-	-	-	Δ	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	CFNR	-	-	-	-	-	-	-	Δ	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	CW (CW-T)	-	-	-	-	-	-	-	Δ	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RRNR	DND	-	-	-	-	-	-	-	-	-	▲	-	-	-	-	-	-	-
	TCS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	▲	-	-	-	-	-	-	-
	CFU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Δ	-	-	-	-	-	-	-
	CFB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Δ	-	-	-	-	-	-	-
	CFNR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Δ	-	-	-	-	-	-	-
	CW (CW-T)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Δ	-	-	-	-	-	-	-
(CW-O)	DND	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●	●	-	-	-
	TCS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●	●	-	-	-
	CFU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	-	-
	CFB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	-	-
	CFNR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	-	-
	CW (CW-T)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	-	-

Z₁, Z₂ Als erstes und als zweites ausgelöste Mehrwertdienste
 Δ, ▲ Erreichbarer und **nicht erreichbarer** dienstauslösender Erkennungspunkt (TDP)
 ○, ● Erreichbarer und **nicht erreichbarer** Ereigniserkennungspunkt (EDP)
 [...] Sowohl dienstauslösender Erkennungspunkt als auch Ereigniserkennungspunkt für denselben Mehrwertdienst vorhanden

Tabelle C.8: Zweiseitige konzentrierte Konfigurationen zweiten Grades zweiter Ordnung, Erkennungspunkte im Rufzustandsmodell für ankommende Rufe

Z ₁	Z ₂	Erkennungspunkt											
		T ₀₀	T ₀₁	T ₀₂	T ₀₃	T ₀₄	T ₀₅	T ₀₆	T ₀₇	T ₀₈	T ₀₉	T ₁₀	T ₁₁
AOCS	DND	Δ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	TCS	Δ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	CFU	-	Δ	-	-	-	-	-	○	○	-	○	○
	CFB	-	-	-	-	-	-	-	[Δ○]	○	-	○	○
	CFNR	-	-	-	-	-	-	-	○	[Δ○]	-	○	○
	CW	-	-	-	○	○	-	-	Δ	○	○	○	○
	(CW-T)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	●	-
CCC	DND	Δ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	TCS	Δ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	CFU	-	Δ	-	-	-	-	-	○	○	-	○	○
	CFB	-	-	-	-	-	-	-	[Δ○]	○	-	○	○
	CFNR	-	-	-	-	-	-	-	○	[Δ○]	-	○	○
	CW	-	-	-	○	○	-	-	Δ	○	○	○	○
	(CW-T)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-
FRE	DND	Δ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	TCS	Δ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	CFU	-	Δ	-	-	-	-	-	○	○	-	○	○
	CFB	-	-	-	-	-	-	-	[Δ○]	○	-	○	○
	CFNR	-	-	-	-	-	-	-	○	[Δ○]	-	○	○
	CW	-	-	-	○	○	-	-	Δ	○	○	○	○
	(CW-T)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-
ADL	DND	Δ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	TCS	Δ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	CFU	-	Δ	-	-	-	-	-	○	○	-	○	○
	CFB	-	-	-	-	-	-	-	[Δ○]	○	-	○	○
	CFNR	-	-	-	-	-	-	-	○	[Δ○]	-	○	○
	CW	-	-	-	○	○	-	-	Δ	○	○	○	○
	(CW-T)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-
RRB	DND	Δ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	TCS	Δ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	CFU	-	Δ	-	-	-	-	-	○	○	-	○	○
	CFB	-	-	-	-	-	-	-	[Δ○]	○	-	○	○
	CFNR	-	-	-	-	-	-	-	○	[Δ○]	-	○	○
	CW	-	-	-	○	○	-	-	Δ	○	○	○	○
	(CW-T)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-
RRNR	DND	Δ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	TCS	Δ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	CFU	-	Δ	-	-	-	-	-	○	○	-	○	○
	CFB	-	-	-	-	-	-	-	[Δ○]	○	-	○	○
	CFNR	-	-	-	-	-	-	-	○	[Δ○]	-	○	○
	CW	-	-	-	○	○	-	-	Δ	○	○	○	○
	(CW-T)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-
(CW-O)	DND	Δ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	TCS	Δ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	CFU	-	Δ	-	-	-	-	-	○	○	-	○	○
	CFB	-	-	-	-	-	-	-	[Δ○]	○	-	○	○
	CFNR	-	-	-	-	-	-	-	○	[Δ○]	-	○	○
	CW	-	-	-	○	○	-	-	Δ	○	○	○	○
	(CW-T)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-

Z₁, Z₂

Als erstes und als zweites ausgelöste Mehrwertdienste

Δ, ▲

Erreichbarer und **nicht erreichbar** dienstauslösender Erkennungspunkt (TDP)

○, ●

Erreichbarer und **nicht erreichbar** Ereigniserkennungspunkt (EDP)

[...]

Sowohl dienstauslösender Erkennungspunkt als auch Ereigniserkennungspunkt für denselben Mehrwertdienst vorhanden

Tabelle C.9: Wechselwirkungen auf Grund des Informationsflusses (*CalledPartyNumber*) im Rahmen einer einzelnen Verbindung

a) einseitig (rufende Seite)

Z ₁	Z ₂	A	S	Ü
AOCS	CCC	○	●	–
	FRE	○	●	–
	ADL	○	●	–
	RRB	○	●	–
	RRNR	○	●	–
	(CW-O)	×	×	×
CCC	AOCS	○	●	–
	FRE	×	×	×
	ADL	×	×	×
	RRB	●	●	●
	RRNR	●	●	●
	(CW-O)	–	–	–
FRE	AOCS	○	●	–
	CCC	×	×	×
	ADL	×	×	×
	RRB	●	●	●
	RRNR	●	●	●
	(CW-O)	–	–	–
ADL	AOCS	○	●	–
	CCC	×	×	×
	FRE	×	×	×
	RRB	○	●	●
	RRNR	○	●	●
	(CW-O)	–	–	–
RRB	AOCS	○	●	–
	CCC	●	●	●
	FRE	●	●	●
	ADL	○	●	●
	RRNR	●	●	●
	(CW-O)	–	–	–
RRNR	AOCS	○	●	–
	CCC	●	●	●
	FRE	●	●	●
	ADL	○	●	●
	RRB	●	●	●
	(CW-O)	–	–	–
(CW-O)	AOCS	×	×	×
	CCC	–	–	–
	FRE	–	–	–
	ADL	–	–	–
	RRB	–	–	–
	RRNR	–	–	–

b) zweiseitig

Z ₁	Z ₂	A	S	Ü
AOCS	DND	×	×	×
	TCS	×	×	×
	CFU	○	●	–
	CFB	○	●	–
	CFNR	○	●	–
	(CW-T)	–	–	–
CCC	DND	–	–	–
	TCS	–	–	–
	CFU	●	●	●
	CFB	●	●	●
	CFNR	●	●	●
	(CW-T)	–	–	–
FRE	DND	–	–	–
	TCS	–	–	–
	CFU	●	●	●
	CFB	●	●	●
	CFNR	●	●	●
	(CW-T)	–	–	–
ADL	DND	–	–	–
	TCS	–	–	–
	CFU	○	●	●
	CFB	○	●	●
	CFNR	○	●	●
	(CW-T)	–	–	–
RRB	DND	×	×	×
	TCS	×	×	×
	CFU	●	●	●
	CFB	●	●	●
	CFNR	●	●	●
	(CW-T)	–	–	–
(CW-O)	DND	×	×	×
	TCS	×	×	×
	CFU	–	–	–
	CFB	–	–	–
	CFNR	–	–	–
	(CW-T)	–	–	–

c) einseitig (gerufene Seite)

Z ₁	Z ₂	A	S	Ü
DND	TCS	×	×	×
	CFU	×	×	×
	CFB	×	×	×
	CFNR	×	×	×
	CW	×	×	×
	(CW-T)	×	×	×
TCS	DND	×	×	×
	CFU	×	×	×
	CFB	×	×	×
	CFNR	×	×	×
	CW	×	×	×
	(CW-T)	×	×	×
CFU	DND	×	×	×
	TCS	×	×	×
	CFB	●	●	●
	CFNR	●	●	●
	CW	–	–	–
	(CW-T)	–	–	–
CFB	DND	×	×	×
	TCS	×	×	×
	CFU	●	●	●
	CFNR	●	●	●
	CW	×	×	×
	(CW-T)	–	–	–
CFNR	DND	×	×	×
	TCS	×	×	×
	CFU	●	●	●
	CFB	●	●	●
	CW	–	–	–
	(CW-T)	–	–	–
CW	DND	×	×	×
	TCS	×	×	×
	CFU	–	–	–
	CFB	×	×	×
	CFNR	–	–	–
	(CW-T)	–	–	–
(CW-T)	DND	×	×	×
	TCS	×	×	×
	CFU	–	–	–
	CFB	–	–	–
	CFNR	–	–	–
	CW	–	–	–

-
- Z₁, Z₂ Als erstes und als zweites ausgelöste Mehrwertdienste
 - A Annahmenverletzung
 - S Seiteneffekt
 - Ü Überschreiben
 - × Keine Wechselwirkung auf Grund des Informationsflusses möglich wegen fehlender Dienstausslösung
 - Wechselwirkung auf Grund des Informationsflusses festgestellt
 - Wechselwirkung auf Grund der notwendigen Bedingung möglich

Literaturverzeichnis

Wissenschaftliche Veröffentlichungen

- [1] AGGOUN, I., AND COMBES, P. Observers in the SCE and the SEE to detect and resolve service interactions. In Dini et al. [65], pp. 198–212.
- [2] AHO, A., GALLAGHER, S., GRIFFETH, N., SCHELL, C., AND SWAYNE, D. SCF3/Sculptor with Chisel: Requirements engineering for communications services. In Kimbler and Bouma [144], pp. 45–63.
- [3] AHO, A. V., AND GRIFFETH, N. D. Feature interactions in the global information infrastructure. In *Proceedings of the 1995 Conference on Foundations of Software Engineering* (Washington, DC, October 1995). Panel Session Introduction.
- [4] ANDERSEN, H. R. Model checking and boolean graphs. *Theoretical Computer Science* 126, 1 (April 1994), 3–30.
- [5] ANDREWS JR., F. T., AND MARTERSTECK, K. E. Prologue. *The Bell System Technical Journal* 61, 7, Part 3 (September 1982), 1575–1577.
- [6] ANISIMOV, N., MILOSLAVSKY, A., AND POGOSYANTS, G. Feature interaction problems in Computer-Telephony Integration systems. In Kimbler and Bouma [144], pp. 73–77.
- [7] APT, K. R., AND OLDEROG, E.-R. *Verification of Sequential and Concurrent Programs*. Springer-Verlag, Berlin, 1991.
- [8] ARANGO, M., BAHLER, L., BATES, P., COCHINWALA, M., COHRS, D., FISH, R., GOPAL, G., GRIFFETH, N., HERMAN, G. E., HICKEY, T., LEE, K. C., LELAND, W. E., LOWERY, C., MAK, V., PATTERSON, J., RUSTON, L., SEGAL, M., SEKAR, R. C., VECCHI, M. P., WEINRIB, A., AND WUU, S. Y. The Touring Machine system. *Communications of the ACM* 36, 1 (January 1993), 68–77.
- [9] AU, P. K., AND ATLEE, J. M. Evaluation of a state-based model of feature interactions. In Dini et al. [65], pp. 153–167.
- [10] BARAN, P. *Introduction to Distributed Communications Networks*, vol. I of *On Distributed Communications*. The RAND Corporation, Santa Monica (CA), August 1964. Memorandum RM-3420-PR.
- [11] BELARBI, N., AND GAITI, D. The feature interaction problem in the IN: In search of a global solution. In *Proceedings of the IFIP International Working Conference on Intelligent Networks* (Copenhagen, August 1995), pp. 51–67.

- [12] BENNETT, R. L., AND POLICELLO II, G. E. Switching systems in the 21st century. *IEEE Communications Magazine* 31, 3 (March 1993), 24–28.
- [13] BERGSTRA, J., AND BOUMA, W. Models for feature descriptions and interactions. In Dini et al. [65], pp. 31–45.
- [14] BLOM, J. Formalisation of requirements with emphasis on feature interaction detection. In Dini et al. [65], pp. 61–77.
- [15] BLOM, J., BOL, R., AND KEMPE, L. Automatic detection of feature interactions in temporal logic. In Cheng and Ohta [56], pp. 1–19.
- [16] BLOM, J., JONSSON, B., AND KEMPE, L. Using temporal logic for modular specification of telephone services. In Bouma and Velthuijsen [23], pp. 197–216.
- [17] BLUMENTHAL, R. B., O'REILLY, M. P., AND RUSSO, P. Addressing feature interaction during service creation. In Dini et al. [65], pp. 364–370.
- [18] BOEHM, B. W. *Software Engineering Economics*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1981.
- [19] BOLOGNESI, T., AND BRINKSMA, E. Introduction to the ISO specification language LOTOS. *Computer Networks and ISDN Systems* 14 (1987), 25–59.
- [20] BOSTRÖM, M., AND ENGSTEDT, M. Feature interaction detection and resolution in the Delphi framework. In Cheng and Ohta [56], pp. 157–172.
- [21] BOUMA, L. G., GRIFFETH, N., AND KIMBLER, K., Eds. *Computer Networks: Special issue on Feature Interactions in Telecommunications Systems*, vol. 32, no. 4. April 2000.
- [22] BOUMA, L. G., GRIFFETH, N., AND KIMBLER, K. Feature interactions in telecommunications systems. [21], pp. 383–387.
- [23] BOUMA, L. G., AND VELTHUIJSEN, H., Eds. *Feature Interactions in Telecommunications Systems*. IOS Press, Amsterdam, Berlin, Oxford, Tokyo, Washington (DC), May 1994.
- [24] BOUMA, W., LEVELT, W., MELISSE, A., MIDDELBURG, K., AND VERHAARD, L. Formalisation of properties for feature interaction detection: Experience in a real-life situation. In Kugler et al. [153], pp. 393–405.
- [25] BOUMEZBEUR, R., AND LOGRIPPO, L. Specifying telephone systems in LOTOS. *IEEE Communications Magazine* 31, 8 (August 1993), 38–45.
- [26] BOWEN, T. F., DWORACK, F. S., CHOW, C. H., GRIFFETH, N., HERMAN, G. E., AND LIN, Y. J. The feature interaction problem in telecommunications systems. In *Proceedings of the 7th International Conference on Software Engineering for Telecommunications Switching Systems* (London, July 1989), pp. 59–62.
- [27] BRAITHWAITE, K. H., AND ATLEE, J. M. Towards automated detection of feature interactions. In Bouma and Velthuijsen [23], pp. 36–59.

- [28] BREDEREKE, J. Formal criteria for feature interactions in telecommunications systems. In *Proceedings of the IFIP International Working Conference on Intelligent Networks* (Copenhagen, August 1995), pp. 68–83.
- [29] BREDEREKE, J. Automata-theoretic vs. property-oriented approaches for the detection of feature interactions in IN. In Margaria [171], pp. 56–70.
- [30] BREDEREKE, J. Detection of feature interactions in Intelligent Networks by verification. *Software Concepts and Tools* 17, 3 (1996), 121–139.
- [31] BREDEREKE, J. Avoiding feature interactions in the users' interface. In Kimbler and Bouma [144], pp. 305–317.
- [32] BREDEREKE, J., AND GOTZHEIN, R. A case study on specification, detection and resolution of IN feature interactions with Estelle. Interner Bericht 245/94, Universität Kaiserslautern, FB Informatik, May 1994.
- [33] BREDEREKE, J., AND GOTZHEIN, R. Specification, detection and resolution of IN feature interactions with Estelle. In Hogrefe and Leue [117], pp. 366–368.
- [34] BROTHERS, L. R., CAMERON, E. J., LIN, Y. J., NILSON, M. E., AND SILVERSTEIN, E. Feature interaction detection. In *Proceedings of the IEEE ICC'93* (Geneva, May 1993), pp. 1553–1557.
- [35] BROY, M. Formal description techniques – how formal and descriptive are they? In *Formal Description Techniques IX: Theory, application and tools*, R. Gotzhein and J. Bredereke, Eds. Chapman & Hall, London, 1996, pp. 95–110.
- [36] BRUNS, G., MATAGA, P., AND SUTHERLAND, I. Features as service transformers. In Kimbler and Bouma [144], pp. 85–97.
- [37] BUCHANAN, K., FUDGE, R., MCFARLANE, D., PHILLIPS, T., SASAKI, A., AND XIA, H. IMT-2000: Service provider's perspective. *IEEE Personal Communications* 4, 4 (August 1997), 8–13.
- [38] BUHR, R. J. A., AMYOT, D., ELAMMARI, M., QUESNEL, D., GRAY, T., AND MANKOVSKI, S. Feature-interaction visualization and resolution in an agent environment. In Kimbler and Bouma [144], pp. 135–149.
- [39] CAIN, M. Managing run-time interactions between call-processing features. *IEEE Communications Magazine* 30, 2 (February 1992), 44–50.
- [40] CALDER, M. What use are formal design and analysis methods to telecommunications services? In Kimbler and Bouma [144], pp. 23–31.
- [41] CAMERON, E. J., GRIFFETH, N., LIN, Y. J., NILSON, M. E., SCHNURE, W. K., AND VELTHUIJSEN, H. A feature-interaction benchmark for IN and beyond. *IEEE Communications Magazine* 31, 3 (March 1993), 64–69.
- [42] CAMERON, E. J., GRIFFETH, N. D., LIN, Y.-J., NILSON, M. E., SCHNURE, W. K., AND VELTHUIJSEN, H. A feature interaction benchmark for IN and beyond. In Bouma and Velthuisen [23], pp. 1–23.

- [43] CAMERON, E. J., AND LIN, Y.-J. A real-time transition model for analyzing behavioral compatibility of telecommunications services. In *Proceedings of ACM SIGSOFT Conference on Software for Critical Systems* (New Orleans, LA, December 1991), pp. 101–110.
- [44] CAMERON, E. J., AND VELTHUIJSEN, H. Feature interactions in telecommunications systems. *IEEE Communications Magazine* 31, 8 (August 1993), 18–23.
- [45] CAMERON, J., CHENG, K., GALLAGHER, S., LIN, F. J., RUSSO, P., AND SØBIRK, D. Next generation service creation: Process, methodology, and tool integration. In Kimbler and Bouma [144], pp. 299–304.
- [46] CAMERON, J., CHENG, K., LIN, F. J., LIU, H., AND PINHEIRO, B. A formal AIN service creation, feature interactions analysis and management environment: An industrial application. In Dini et al. [65], pp. 342–346.
- [47] CAMERON, J., AND LIN, F. J. Feature interactions in the new world. In Kimbler and Bouma [144], pp. 3–9.
- [48] CAPELLMANN, C., COMBES, P., PETTERSSON, J., RENARD, B., AND RUIZ, J. L. Consistent interaction detection – a comprehensive approach integrated with service creation. In Dini et al. [65], pp. 183–197.
- [49] CAPELLMANN, C., DEMANT, R., FATAHI-VANANI, F., GALVEZ-ESTRADA, R., NITSCHKE, U., AND OCHSENSCHLÄGER, P. Verification by behaviour abstraction – a case study of service interaction detection in intelligent telephone networks. In *Proceedings Computer Aided Verification (CAV) 1996* (Berlin, 1996), pp. 466–469.
- [50] CAPELLMANN, C., DEMANT, R., GALVEZ-ESTRADA, R., NITSCHKE, U., AND OCHSENSCHLÄGER, P. Case study: Service interaction detection by formal verification under behaviour abstraction. In Margaria [171], pp. 71–90.
- [51] CARSELLO, R. D., MEIDAN, R., ALLPRESS, S., O’BRIEN, F., TARALLO, J. A., ZIESSE, N., ARUNACHALAM, A., COSTA, J. M., BERRUTO, E., KIRBY, R. C., MACLATCHY, A., WATANABE, F., AND XIA, H. IMT-2000 standards: Radio aspects. *IEEE Personal Communications* 4, 4 (August 1997), 30–40.
- [52] CATTRALL, D., HOWARD, G., JORDAN, D., AND BUJ, S. An interaction-avoiding call processing model. In Cheng and Ohta [56], pp. 85–96.
- [53] CHARNOIS, T. A natural language processing approach for avoidance of feature interactions. In Dini et al. [65], pp. 347–363.
- [54] CHEN, Y. L., LAFORTUNE, S., AND LIN, F. Resolving feature interactions using modular supervisory control with priorities. In Dini et al. [65], pp. 108–122.
- [55] CHENG, K. E. Towards a formal model for incremental service specification and interaction management support. In Bouma and Velthuijsen [23], pp. 152–166.
- [56] CHENG, K. E., AND OHTA, T., Eds. *Feature Interactions in Telecommunications Systems III*. IOS Press, Amsterdam, Berlin, Oxford, Tokyo, Washington (DC), October 1995.

- [57] CHOI, J. H., KIM, H. S., LEE, W. J., AND KWON, Y. R. A Petri-nets based approach for detecting feature interactions in telecommunications services. In *Proceedings of the 12th International Conference on Computer Communication (ICCC) 1995* (Seoul, August 1995), pp. 596–601.
- [58] CLAUS, V., HEILMANN, H., KLÖCKNER, K., KÜHN, P. J., LUDEWIG, J., SCHMIDT, F., STORR, A., AND WEITKAMP, J., Eds. *Das Software-Labor: Dritter Bericht*. Universität Stuttgart, Januar 1998.
- [59] COMBES, P., MICHEL, M., AND RENARD, B. Formal verification of telecommunication service interactions using SDL methods and tools. In *Proceedings of the 6th SDL Forum (SDL 1993)*, O. Færgemand and A. Sarma, Eds. Elsevier Science Publishers, 1993, pp. 441–452.
- [60] COMBES, P., AND PICKIN, S. Formalisation of a user view of network and services for feature interaction detection. In Bouma and Velthuisen [23], pp. 120–135.
- [61] COMER, D. E. *Internetworking with TCP/IP*, second ed., vol. 1 (Principles, Protocols and Architecture). Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1991.
- [62] DAHL, O. C., AND NAJM, E. Specification & detection of IN service interference using LOTOS. In *Formal Description Techniques, VI*, R. L. Tenney, P. D. Amer, and M. Ü. Uyar, Eds., IFIP Transactions (C-22). Elsevier Science Publishers B. V. (North-Holland), Amsterdam, 1993, pp. 53–69.
- [63] DANKEL II, D. D., SCHMALZ, M., WALKER, W., NIELSEN, K., MUZZI, L., AND RHODES, D. An architecture for defining features and exploring interactions. In Bouma and Velthuisen [23], pp. 258–271.
- [64] DE MEER, J., AND ROTH, R. Introduction to algebraic specifications based on the language ACT ONE. *Computer Networks and ISDN Systems* 23 (1992), 363–392.
- [65] DINI, P., BOUTABA, R., AND LOGRIPPO, L., Eds. *Feature Interactions in Telecommunication Networks IV*. IOS Press, Amsterdam, Berlin, Oxford, Tokyo, Washington (DC), June 1997.
- [66] DINI, P., AND LOGRIPPO, L., Eds. *Computer Networks and ISDN Systems: Special issue on Feature Interactions in Telecommunications Software*, vol. 30, no. 15. September 1998.
- [67] DINI, P., AND LOGRIPPO, L. Feature interactions in telecommunications software. In Dini and Logrippo [66], pp. 1359–1362.
- [68] DINI, P., AND V. BOCHMANN, G. Automatic reconfiguration for runtime feature-interaction resolution in an object-oriented environment. In Cheng and Ohta [56], pp. 115–126.
- [69] DSSOULI, R., SOME, S., GUILLERY, J. W., AND RICO, N. Detection of feature interactions with REST. In Dini et al. [65], pp. 271–283.
- [70] DU BOUSQUET, L., OUABDESSELAM, F., RICHIER, J.-L., AND ZUANON, N. Incremental feature validation: a synchronous point of view. In Kimbler and Bouma [144], pp. 262–275.

- [71] DU BOUSQUET, L., OUABDESSELAM, F., RICHIER, J.-L., AND ZUANON, N. Feature interaction detection using a synchronous approach and testing. *Computer Networks* 32, 4 (April 2000), 419–431.
- [72] DUPUY, F., NILSSON, G., AND INOUE, Y. The TINA consortium: Towards networking telecommunications information services. *IEEE Communications Magazine* 33, 11 (November 1995), 78–83.
- [73] DWORACK, F. S. Approaches to detecting and resolving feature interactions. In *Proceedings GLOBECOM 1991* (Phoenix, AZ, December 1991), pp. 1371–1377.
- [74] ELLSBERGER, J., HOGREFE, D., AND SARMA, A. *SDL – Formal Object-oriented Language for Communicating Systems*. Prentice-Hall, London, 1997.
- [75] EMERSON, E. A. *Temporal and Modal Logic*. Vol. B of van Leeuwen [225], 1990, ch. 16, pp. 995–1071.
- [76] FACI, M. *Detecting Feature Interactions in Telecommunications Systems Designs*. PhD thesis, University of Ottawa (Canada), 1995.
- [77] FACI, M., AND LOGRIPPO, L. Specifying features and analysing their interactions in a LOTOS environment. In Bouma and Velthuisen [23], pp. 136–151.
- [78] FACI, M., LOGRIPPO, L., AND STEPIEN, B. Formal specification of telephone systems in LOTOS: the constraint-oriented style approach. *Computer Networks and ISDN Systems* 21 (1991), 53–67.
- [79] FÆRGEMAND, O. *Introduction to SDL*. In Turner [216], 1993, ch. 4, pp. 85–126.
- [80] FAYNBERG, I., GABUZDA, L. R., KAPLAN, M. P., AND SHAH, N. J. *The Intelligent Network standards: their application to services*. McGraw-Hill, New York, 1997.
- [81] FEKETE, A. Formal models of communication services: A case study. *IEEE Computer* 26, 8 (August 1993), 37–47.
- [82] FERNANDEZ, J.-C., GARAVEL, H., KERBRAT, A., MATEESCU, R., MOUNIER, L., AND SIGHIREANU, M. CADP (CÆSAR/ALDÉBARAN Development Package): A protocol validation and verification toolbox. In *Proceedings of the 8th Conference on Computer-Aided Verification (New Brunswick, New Jersey, USA)*, R. Alur and T. A. Henzinger, Eds., vol. 1102 of *Lecture Notes in Computer Science*. Springer-Verlag, 1996, pp. 437–440.
- [83] FERNANDEZ, J.-C., AND MOUNIER, L. A toolset for deciding behavioral equivalence. In *Proceedings of CONCUR '91* (Amsterdam, Netherlands, August 1991).
- [84] FERNANDEZ, J.-C., AND MOUNIER, L. A local checking algorithm for Boolean Equation Systems. SPECTRE Research Report 95-07, VERIMAG, Grenoble (France), March 1995.
- [85] FISCHER, C., KLEUKER, S., AND OLDEROG, E. R. Beweisbar korrekte Telekommunikationssysteme. *Informationstechnik und Technische Informatik (it+ti)* 39, 3 (Mai/Juni 1997), 22–28.

- [86] FRAPPIER, M., MILI, A., AND DESHARNAIS, J. Detecting feature interactions on relational specifications. In Dini et al. [65], pp. 123–137.
- [87] FRITSCHÉ, N. Runtime resolution of feature interactions in architectures with separated call and feature control. In Cheng and Ohta [56], pp. 43–63.
- [88] FRITSCHÉ, N. *Vermittlungsarchitektur mit getrennter Ruf- und Leistungsmerkmalsteuerung*. Dissertation, Technische Universität München, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, 1996.
- [89] FU, Q., HARNOIS, P., LOGRIPPO, L., AND SINCENNES, J. Feature interaction detection: a LOTOS-based approach. *Computer Networks* 32, 4 (April 2000), 433–448.
- [90] GAMMELGAARD, A., AND KRISTENSEN, J. E. Interaction detection, a logical approach. In Bouma and Velthuijsen [23], pp. 178–196.
- [91] GARAVEL, H., AND SIFAKIS, J. Compilation and verification of LOTOS specifications. In *Proceedings of the 10th International Symposium on Protocol Specification, Testing and Verification (Ottawa, Canada)*, L. Logrippo, R. L. Probert, and H. Ural, Eds. North-Holland, Amsterdam, 1990, pp. 379–394.
- [92] GARAVEL, H., AND SIGHIREANU, M. Towards a second generation of formal description techniques – rationale for the design of E-LOTOS. In *Proceedings of the 3rd International Workshop on Formal Methods for Industrial Critical Systems (FMICS'98)* (Amsterdam, May 1998), J.-F. Groote, B. Luttik, and J. van Wamel, Eds., CWI, pp. 187–230.
- [93] GATES, G. W., KRANZMANN, R. F., AND WHITEHEAD, L. D. 1A Voice Storage System: Software. *The Bell System Technical Journal* 61, 5 (May/June 1982), 863–883.
- [94] GBAGUIDI, C., HUBAUX, J.-P., PACIFICI, G., AND TANTAWI, A. N. Integration of Internet and telecommunications: An architecture for hybrid services. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* 17, 9 (September 1999), 1563–1579.
- [95] GEORGATSOS, P., NAUTA, T., AND VELTHUIJSEN, H. Role of service management in service interaction handling in an IN environment. In Dini et al. [65], pp. 213–225.
- [96] GIBSON, J. P. Feature requirements models: Understanding interactions. In Dini et al. [65], pp. 46–60.
- [97] GIBSON, J. P. Towards a feature interaction algebra. In Kimbler and Bouma [144], pp. 217–231.
- [98] GODSKESEN, J. C. A formal framework for feature interaction with emphasis on testing. In Cheng and Ohta [56], pp. 21–30.
- [99] GOLD, S. S., KECK, D. O., KÜHN, P. J., AND MÜLLER, G. Sichere Telekommunikationsdienste mit Intelligenten Netzen. *PIK* 22, 2 (April-June 1999), 71–76.
- [100] GRÉGOIRE, J. C., AND FERGUSON, M. J. Neglected topics of feature interactions: Mechanisms, architectures, requirements. In Dini et al. [65], pp. 3–12.

- [101] GRIFFETH, N., BLUMENTHAL, R., GREGOIRE, J.-C., AND OHTA, T. Feature interaction detection contest. In Kimbler and Bouma [144], pp. 327–359.
- [102] GRIFFETH, N., BLUMENTHAL, R., GREGOIRE, J.-C., AND OHTA, T. A feature interaction benchmark for the first feature interaction detection contest. *Computer Networks* 32, 4 (April 2000), 389–418.
- [103] GRIFFETH, N., BLUMENTHAL, R., GREGOIRE, J.-C., AND OHTA, T. Feature interaction detection contest of the Fifth International Workshop on Feature Interaction. *Computer Networks* 32, 4 (April 2000), 487–510.
- [104] GRIFFETH, N. D., AND LIN, Y. J. Extending telecommunications systems: The feature-interaction problem. In Griffeth and Lin [105], pp. 14–18.
- [105] GRIFFETH, N. D., AND LIN, Y.-J., Eds. *IEEE Computer Magazine: Feature Topic on Managing Feature Interactions in Telecommunications Software Systems*, vol. 26, no. 8. August 1993.
- [106] GRIFFETH, N. D., AND VELTHUIJSEN, H. Reasoning about goals to resolve conflicts. In *Proceedings of the International Conference on Intelligent and Cooperative Information Systems* (Rotterdam, May 1993), pp. 197–204.
- [107] GRIFFETH, N. D., AND VELTHUIJSEN, H. The negotiating agents approach to runtime feature interaction resolution. In Kimbler and Bouma [144], pp. 217–235.
- [108] GUÉRIN, R., AND PERIS, V. Quality-of-service in packet networks: basic mechanisms and directions. *Computer Networks* 31 (1999), 169–189.
- [109] HAASS, W.-D. *Handbuch der Kommunikationsnetze*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1997.
- [110] HALL, R. J. Feature combination and interaction detection via foreground/background models. In Kimbler and Bouma [144], pp. 232–246.
- [111] HALL, R. J. Feature combination and interaction detection via foreground/background models. *Computer Networks* 32, 4 (April 2000), 449–469.
- [112] HARADA, Y., HIRAKAWA, Y., AND TAKENAKA, T. A design support method for telecommunication service interactions. In *Proceedings GLOBECOM 1991* (Phoenix, AZ, December 1991), pp. 1661–1666.
- [113] HARADA, Y., HIRAKAWA, Y., TAKENAKA, T., AND TERASHIMA, N. A conflict detection support method for telecommunication service descriptions. *IEICE Transactions on Communications* E75-B, 10 (October 1992), 986–997.
- [114] HEIDEN, H. *Rund um den Fernsprecher*. Georg Westermann Verlag, Braunschweig, 1963.
- [115] HEISEL, M., AND SOUQUIÈRES, J. A heuristic approach to detect feature interactions in requirements. In Kimbler and Bouma [144], pp. 165–171.
- [116] HOGREFE, D. *Estelle, LOTOS und SDL – Standard-Spezifikationssprachen für verteilte Systeme*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1989.

- [117] HOGREFE, D., AND LEUE, S., Eds. *Formal Description Techniques, VII (Berne, Switzerland, October 1994)*. Chapman & Hall, February 1995.
- [118] HOLZMANN, G. J. *Design and validation of computer protocols*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1991.
- [119] HOLZMANN, G. J., AND PEHRSON, B. *The Early History of Data Networks*. IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA, 1995.
- [120] HOMAYOON, S., AND SINGH, H. Methods of addressing the interactions of Intelligent Network services with embedded switch services. *IEEE Communications Magazine* 26, 12 (December 1988), 42–70.
- [121] HUITEMA, C. *IPv6 – The new Internet Protocol*, second ed. Prentice-Hall, Upper Saddle River, 1998.
- [122] INOUE, Y., TAKAMI, K., AND OHTA, T. Method for supporting detection and elimination of feature interaction in a telecommunication system. In *International Workshop on Feature Interactions in Telecommunications Software Systems* (St. Petersburg, Florida, December 1992), pp. 61–81.
- [123] INOUE, Y., TAKAMI, K., AND OHTA, T. Automatic detection of service interactions in telecommunications service specifications. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC) 1994* (New Orleans, May 1994), pp. 1835–1840.
- [124] IRAQI, Y., AND ERRADI, M. An experiment for the processing of feature interactions within an object-oriented environment. In Dini et al. [65], pp. 298–312.
- [125] JACKSON, M., AND ZAVE, P. Distributed feature composition: A virtual architecture for telecommunications services. *IEEE Transactions on Software Engineering* 24, 10 (October 1998), 831–847.
- [126] JEGER, M. *Einführung in die Kombinatorik – Band 1*. Ernst Klett Verlag, Stuttgart, 1973.
- [127] KABATNIK, M., KECK, D. O., KREUTZER, M., AND ZUGENMAIER, A. Multilateral security in Intelligent Networks. In *Proceedings of the IEEE Intelligent Network Workshop IN2000* (Cape Town, South Africa, May 2000).
- [128] KAKUDA, Y., ASADA, H., AND KIKUNO, T. Application of protocol synthesis technique to resolution of the service interaction problem. In Hogrefe and Leue [117], pp. 379–381.
- [129] KAKUDA, Y., INOUE, A., ASADA, H., KIKUNO, T., AND OHTA, T. A dynamic resolution method for feature interactions and its evaluation. In Cheng and Ohta [56], pp. 97–114.
- [130] KAMOUN, J., AND LOGRIPPO, L. Goal-oriented feature interaction detection in the Intelligent Network model. In Kimbler and Bouma [144], pp. 172–186.
- [131] KANT, K., AND ONG, L. Signaling in emerging telecommunications and data networks. *Proceedings of the IEEE* 85, 10 (October 1997), 1612–1621.

- [132] KAWARASAKI, Y., AND OHTA, T. A new proposal for feature interaction detection and elimination. In Cheng and Ohta [56], pp. 127–139.
- [133] KÖBER, S. Formale Spezifikation der Rufbearbeitung im Intelligenzen Netz in SDL-92. Universität Stuttgart, Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Diplomarbeit Nr. 1527, Dezember 1997.
- [134] KECK, D. O. Identification of call scenarios with potential feature interactions. In Margaria [171], pp. 42–55.
- [135] KECK, D. O. Requirements and a proposal for the prevention of a class of service interactions in Intelligent Networks. In *Services and Visualization: Towards User-Friendly Design (ACoS'98, Visual'98, AIN'97 Selected Papers)*, T. Margaria, B. Steffen, R. Rückert, and J. Posegga, Eds., vol. 1385 of *Lecture Notes in Computer Science*. Springer-Verlag, Berlin, April 1998, pp. 90–105.
- [136] KECK, D. O. A tool for the identification of interaction-prone call scenarios. In Kimbler and Bouma [144], pp. 276–290.
- [137] KECK, D. O., AND KUEHN, P. J. The feature and service interaction problem in telecommunications systems: A survey. *IEEE Transactions on Software Engineering* 24, 10 (October 1998), 779–796.
- [138] KELLY, B., CROWTHER, M., AND KING, J. Feature interaction detection using SDL models. In *Proceedings of the IEEE GLOBECOM '94* (November 1994), pp. 1857–1861.
- [139] KELLY, B., CROWTHER, M., KING, J., MASSON, R., AND DELAPEYRE, J. Service validation and testing. In Cheng and Ohta [56], pp. 173–184.
- [140] KÜHN, P. J., PACK, C. D., AND SKOOG, R. A. Common channel signaling networks: Past, present, future. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* 12, 3 (April 1994), 383–393.
- [141] KHOUMSI, A. Detection and resolution of interactions between services of telephone networks. In Dini et al. [65], pp. 78–92.
- [142] KIMBLER, K. Towards a more efficient feature interaction analysis - a statistical approach. In Cheng and Ohta [56], pp. 201–211.
- [143] KIMBLER, K. Addressing the interaction problem at the enterprise level. In Dini et al. [65], pp. 13–22.
- [144] KIMBLER, K., AND BOUMA, L. G., Eds. *Feature Interactions in Telecommunications and Software Systems V*. IOS Press, Amsterdam, Berlin, Oxford, Tokyo, Washington (DC), September 1998.
- [145] KIMBLER, K., CAPELLMANN, C., AND VELTHUIJSEN, H. Comprehensive approach to service interaction handling. *Computer Networks and ISDN Systems* 30, 15 (September 1998), 1363–1313.
- [146] KIMBLER, K., KUISCH, E., AND MULLER, J. Feature interaction among Pan-European services. In Bouma and Velthuijsen [23], pp. 73–85.

- [147] KIMBLER, K., AND SØBIRK, D. Use case driven analysis of feature interactions. In Bouma and Velthuisen [23], pp. 167–177.
- [148] KIMBLER, K., AND VELTHUIJSEN, H. Feature interaction benchmark. In *Third Feature Interaction Workshop (FIW '95)* (October 1995).
- [149] KLEIN, C., PREHOFER, C., AND RUMPE, B. Feature specification and refinement with State Transition Diagrams. In Dini et al. [65], pp. 284–297.
- [150] KLEUKER, S. The extension of existing telecommunication software with new services using formal methods. In Margaria [171], pp. 91–106.
- [151] KOLBERG, M., AND MAGILL, E. H. Service and feature interactions in TINA. In Kimbler and Bouma [144], pp. 78–84.
- [152] KORVER, H. Detecting feature interactions with Cæsar/Aldébaran. Technical Report CS-R9370, CWI, P.O. Box 94079, 1090 GB Amsterdam, 1993.
- [153] KUGLER, H. J., MULLERY, A., AND NIEBERT, N., Eds. *Towards a Pan-European Telecommunication Service Infrastructure – IS&N 94, Second International Conference on Intelligence in Broadband Services and Networks (Aachen, Germany, September 1994)*, vol. 851 of *Lecture Notes in Computer Science*. Springer-Verlag, Berlin, 1994.
- [154] KUHN, D. R. Sources of failure in the Public Switched Telephone Network. *IEEE Computer* 30, 4 (April 1997), 31–36.
- [155] KUISCH, E., JANMAAT, R., MULDER, H., AND KEESMAAT, I. A practical approach to service interactions. *IEEE Communications Magazine* 31, 8 (August 1993), 24–31.
- [156] KUNG, R. Open Networking: is it technically possible? In *Proceedings of the XV International Switching Symposium (ISS) 1995, Volume 2*. VDE-Verlag, Berlin, Offenbach, April 1995, pp. 212–216.
- [157] LEE, A. Formal specification - a key to service interactions analysis. In *Proceedings of the Eight Conference on Software Engineering for Telecommunication Systems and Services (SETSS)* (March 1992), pp. 62–66.
- [158] LEE, A. Y. H. *Formal Specification and Analysis of Intelligent Network Services and their Interaction*. PhD thesis, University of Queensland (Australia), December 1992.
- [159] LEHMACHER, M., LAUTENSCHLAGER, W., HINTZEN, H., AND RUPP, S. A two-tier architecture to handle number portability and IN-service interaction. In Kimbler and Bouma [144], pp. 67–72.
- [160] LIN, F. J., AND LIN, Y. J. A building block approach to detecting and resolving feature interactions. In Bouma and Velthuisen [23], pp. 86–191.
- [161] LIN, F. J., LIU, H., AND GHOSH, A. A methodology for feature interaction detection in the AIN 0.1 framework. *IEEE Transactions on Software Engineering* 24, 10 (October 1998), 797–817.

- [162] LIN, Y.-J., AND GRIFFETH, N. D., Eds. *IEEE Communications Magazine: Feature Topic on Managing Feature Interactions in Telecommunications Systems*, vol. 31, no. 8. August 1993.
- [163] LIN, Y.-J., AND JAZAYERI, M. Guest editorial: Introduction to the special section. In Lin and Jazayeri [164], pp. 777–778.
- [164] LIN, Y.-J., AND JAZAYERI, M., Eds. *IEEE Transactions on Software Engineering: Special Section on Managing Feature Interactions in Telecommunications Software Systems*, vol. 24, no. 10. October 1998.
- [165] LOGRIPPO, L., FACI, M., AND HAJ-HUSSEIN, M. An introduction to LOTOS: Learning by examples. *Computer Networks and ISDN Systems 23* (1992), 325–342.
- [166] MAC AN AIRCHINNIGH, M., BELSNES, D., AND O'REGAN, G. Formal methods & service specification. In Kugler et al. [153], pp. 563–572.
- [167] MAGEDANZ, T., AND POPESCU-ZELETIN, R. *Intelligent Networks: Basic Technology, Standards and Evolution*. International Thomson Computer Press, London, 1996.
- [168] MAGILL, E. H., TSANG, S., AND KELLY, B. The feature interaction problem in networked multimedia services: Past, present and future. Project Report EPSRC No. GR/K 72995, University of Strathclyde, Glasgow, October 1996. 4th deliverable (final report).
- [169] MAKAREVITCH, B. An object-based model of the Service Control Function. In *Proceedings of the 12th International Conference on Computer Communication (ICCC) 1995* (Seoul, August 1995), pp. 183–188.
- [170] MAKAREVITCH, B. Resolving service interactions by service components. In Cheng and Ohta [56], pp. 213–221.
- [171] MARGARIA, T., Ed. *Proceedings of the International Workshop on Advanced Intelligent Networks (AIN'96)* (Passau, March 1996), Universität Passau, Fakultät für Mathematik und Informatik, Bericht Nr. MIP-9604.
- [172] MARPLES, D., AND MAGILL, E. H. The use of rollback to prevent incorrect operation of features in Intelligent Network based systems. In Kimbler and Bouma [144], pp. 115–134.
- [173] MARPLES, D., TSANG, S., MAGILL, E. H., AND SMITH, D. G. A platform for modelling feature interaction detection and resolution techniques. In Cheng and Ohta [56], pp. 185–199.
- [174] MIEROP, J., TAX, S., AND JANMAAT, R. Service interaction in an object-oriented environment. *IEEE Communications Magazine* 31, 8 (August 1993), 46–51.
- [175] MILNER, R. *A Calculus of Communicating Systems*, vol. 92 of *Lecture Notes in Computer Science*. Springer-Verlag, 1980.
- [176] MILNER, R. *Communication and Concurrency*. Prentice Hall International Series in Computer Science. Prentice-Hall, London, 1989.

- [177] NAKAMURA, M. *Design and Evaluation of Efficient Algorithms for Feature Interaction Detection in Telecommunication Services*. PhD thesis, Osaka University, Japan, January 1999.
- [178] NAKAMURA, M., KAKUDA, Y., AND KIKUNO, T. Petri-net based detection method for non-deterministic feature interactions and its experimental evaluation. In Dini et al. [65], pp. 138–152.
- [179] NAKAMURA, M., KAKUDA, Y., AND KIKUNO, T. Feature interaction detection using permutation symmetry. In Kimbler and Bouma [144], pp. 187–201.
- [180] NYSTRÖM, J., AND JONSSON, B. A formalization of Service Independent Building Blocks. In Margaria [171], pp. 1–14.
- [181] OGINO, N. Service interaction resolution by Service Node installed out of the network. *IEICE Transactions on Communications E80-B*, 10 (October 1997), 1537–1546.
- [182] OHTA, T., AND HARADA, Y. Classification, detection and resolution of service interactions in telecommunication services. In Bouma and Velthuisen [23], pp. 60–72.
- [183] OLSEN, A., FÆRGEMAND, O., MØLLER-PEDERSEN, B., REED, R., AND SMITH, J. R. W. *System Engineering Using SDL-92*. Elsevier Science B. V. (North-Holland), Amsterdam, 1994.
- [184] OSHISANWO, A. O., CHAPMAN, M. D., KEY, M., MULLERY, A. P., AND SAINT-BLANCAT, J. The RACE Open Services Architecture project. *IBM Systems Journal* 31, 4 (1992), 691–710.
- [185] PANDYA, R., GRILLO, D., LYCKSELL, E., MIEYBÉGUÉ, P., OKINAKA, H., AND YABUSAKI, M. IMT-2000 standards: Network aspects. *IEEE Personal Communications* 4, 4 (August 1997), 20–29.
- [186] PENG, Y., KHENDEK, F., GROGONO, P., AND BUTLER, G. Feature interactions detection technique based on feature assumptions. In Kimbler and Bouma [144], pp. 291–298.
- [187] PLATH, M., AND RYAN, M. Plug-and-play features. In Kimbler and Bouma [144], pp. 150–164.
- [188] POMAKIS, K. P., AND ATLEE, J. M. Reachability analysis of feature interactions: A progress report. In *Proceedings of the International Symposium on Software Testing and Analysis (ISSTA)* (1996), pp. 216–223.
- [189] POPIEN, C., SCHÜRMAN, G., AND WEISS, K.-H. *Verteilte Verarbeitung in Offenen Systemen*. B. G. Teubner, Stuttgart, 1996.
- [190] PREHOFER, C. An object-oriented approach to feature interaction. In Dini et al. [65], pp. 313–325.
- [191] QUEMADA, J., AZCORRA, A., AND PAVÓN, S. *Development with LOTOS*. In Turner [216], 1993, ch. 11, pp. 345–373.

- [192] QUEMADA, J., FERREIRA PIRES, L., MAÑAS, J. A., AZCORRA, A., AND ROBLES, T. *Introduction to LOTOS*. In Turner [216], 1993, ch. 3, pp. 47–83.
- [193] RAMADGE, P. J. G., AND WONHAM, W. M. The control of discrete event systems. *Proceedings of the IEEE* 77, 1 (January 1989), 81–98.
- [194] RATZER, W. Konzeption und Implementierung eines Werkzeugs zur Erkennung von Wechselwirkungen zwischen Diensten im Intelligenzen Netz. Universität Stuttgart, Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Diplomarbeit Nr. 1528, Januar 1998.
- [195] REISIG, W. *Petri Nets: An Introduction*, vol. 4 of *EATCS Monographs on Theoretical Computer Science*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1982.
- [196] RENARD, B., COMBES, P., AND OLSEN, F. An SDL/MSC environment for service interaction analysis. In *Proceedings of 4th International Conference on Intelligence in Networks (ICIN)* (Bordeaux, November 1996), pp. 200–205.
- [197] RIORDAN, J. *An Introduction to Combinatorial Analysis*. John Wiley & Sons, New York, 1958.
- [198] ROCHEFORT, S. M., AND HOOVER, H. J. An exercise in using constructive proof systems to address feature interactions in telephony. In Dini et al. [65], pp. 329–341.
- [199] SARACCO, R., SMITH, J. R. W., AND REED, R. *Telecommunications Systems Engineering using SDL*. Elsevier Science Publishers B. V. (North-Holland), Amsterdam, 1989.
- [200] SCHESSEL, L. Administrable feature interaction concept. In *Proceedings of the XIV International Switching Symposium (ISS)* (Yokohama, October 1992), pp. B6.3–B6.3.
- [201] SHEINBEIN, D., AND WEBER, R. P. 800 Service using SPC network capability. *The Bell System Technical Journal* 61, 7, Part 3 (September 1982), 1737–1744.
- [202] SIDDIQI, S., AND ATLEE, J. M. A hybrid model for specifying features and detecting interactions. *Computer Networks* 32, 4 (April 2000), 471–485.
- [203] SIEGMUND, G. *Intelligente Netze – Technik, Dienste, Vermarktung*. Hüthig Verlag, Heidelberg, 1999.
- [204] STEFANI, J. B. Open Distributed Processing: an architectural basis for information networks. *Computer Communications* 18, 11 (November 1995), 849–862.
- [205] STEPIEN, B., AND LOGRIPPO, L. Feature interaction detection using backward reasoning with LOTOS. In *Protocol Specification, Testing and Verification XIV* (London, 1995), S. T. Vuong and S. T. Chanson, Eds., Chapman & Hall, pp. 71–86.
- [206] STEPIEN, B., AND LOGRIPPO, L. Representing and verifying intentions in telephony features using abstract data types. In Cheng and Ohta [56], pp. 141–155.

- [207] SVENSSON, M., AND ANDERSSON, M. Analysis of feature interactions in mobile terminals. In Kimbler and Bouma [144], pp. 318–324.
- [208] TANENBAUM, A. S. *Modern Operating Systems*. Prentice Hall International, Upper Saddle River, NJ (USA), 1992.
- [209] THISTLE, J. G., MALHAME, R. P., AND HOANG, H. H. Feature interaction modelling, detection and resolution: A supervisory control approach. In Dini et al. [65], pp. 93–107.
- [210] THOMAS, M. Modelling and analysing user views of telecommunications services. In Dini et al. [65], pp. 168–182.
- [211] TSANG, S., AND MAGILL, E. H. Detecting feature interactions in the Intelligent Network. In Bouma and Velthuisen [23], pp. 236–248.
- [212] TSANG, S., AND MAGILL, E. H. Behaviour based run-time feature interaction detection and resolution approaches for Intelligent Networks. In Dini et al. [65], pp. 254–270.
- [213] TSANG, S., AND MAGILL, E. H. Learning to detect and avoid run-time feature interactions in Intelligent Networks. *IEEE Transactions on Software Engineering* 24, 10 (October 1998), 818–830.
- [214] TSANG, S., AND MAGILL, E. H. The network operator's perspective: detecting and resolving feature interaction problems. *Computer Networks and ISDN Systems* 30, 15 (September 1998), 1421–1441.
- [215] TSANG, S., MAGILL, E. H., AND KELLY, B. The feature interaction problem in networked multimedia services: present and future. *British Telecom Technology Journal* 15, 1 (January 1997), 235–246.
- [216] TURNER, K. J., Ed. *Using Formal Description Techniques – An Introduction to Estelle, LOTOS and SDL*. John Wiley & Sons, Chichester, West Sussex (England), 1993.
- [217] TURNER, K. J. An architectural foundation for relating features. In Dini et al. [65], pp. 226–241.
- [218] TURNER, K. J. An architectural description of intelligent network features and their interactions. *Computer Networks and ISDN Systems* 30, 15 (September 1998), 1389–1419.
- [219] TURNER, K. J. Validating architectural feature descriptions using LOTOS. In Kimbler and Bouma [144], pp. 247–261.
- [220] UTAS, G. GSF: An architecture for the evolving network. In *Proceedings of the XV International Switching Symposium (ISS) 1995, Volume 2*. VDE-Verlag, Berlin, Offenbach, April 1995, pp. 293–297.
- [221] UTAS, G. Feature interaction: A software perspective. In Dini et al. [65], pp. 23–28.

- [222] UTAS, G. A pattern language of feature interaction. In Kimbler and Bouma [144], pp. 98–114.
- [223] UTAS, G. An overview of selected call processing patterns. *IEEE Communications Magazine* 37, 4 (April 1999), 64–69.
- [224] VAN DER LINDEN, R. Using an architecture to help beat feature interaction. In Bouma and Velthuisen [23], pp. 24–35.
- [225] VAN LEEUWEN, J., Ed. *Handbook of Theoretical Computer Science*, vol. B. Elsevier, Amsterdam, New York, Oxford, Tokyo, 1990.
- [226] VELTHUIJSEN, H. Distributed artificial intelligence for runtime feature-interaction resolution. *IEEE Computer* 26, 8 (August 1993), 48–55.
- [227] VELTHUIJSEN, H. Issues of non-monotonicity in feature-interaction detection. In Cheng and Ohta [56], pp. 31–42.
- [228] VISSERS, C., SCOLLO, G., AND VAN SINDEREN, M. Architecture and specification style in formal descriptions of distributed systems. In *Protocol Specification, Testing, and Verification, VIII (Atlantic City, NJ, June 1988)*, S. Aggarwal and K. Sabnani, Eds. Elsevier Science Publishers B. V. (North-Holland), 1988, pp. 189–204.
- [229] WAKAHARA, Y., FUJIOKA, M., KIKUTA, H., YAGI, H., AND SAKAI, S. I. A method for detecting service interactions. *IEEE Communications Magazine* 31, 8 (August 1993), 32–37.
- [230] WEISS, M., GRAY, T., AND DIAZ, A. Experiences with a service environment for distributed multimedia applications. In Dini et al. [65], pp. 242–253.
- [231] WETTSTEIN, H. *Systemarchitektur*. Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1993.
- [232] WORRALL, D. P. 1A Voice Storage System: New Custom Calling Services. *The Bell System Technical Journal* 61, 5 (May/June 1982), 821–349.
- [233] YONEDA, T., AND OHTA, T. A formal approach for definition and detection of feature interactions. In Kimbler and Bouma [144], pp. 202–216.
- [234] ZAVE, P. Feature interactions and formal specifications in telecommunications. *IEEE Computer* 26, 8 (August 1993), 20–29.
- [235] ZAVE, P. Secrets of call forwarding: A specification case study. In *Proceedings of the IFIP TC6 Eighth International Conference on Formal Description Techniques (Montreal, Canada, October 1995)*, G. Bochmann v., R. Dssouli, and O. Rafiq, Eds. Chapman & Hall, London, 1995, pp. 169–184.
- [236] ZAVE, P. Architectural solutions to feature-interaction problems in telecommunications. In Kimbler and Bouma [144], pp. 10–22.
- [237] ZIBMAN, I., WOOLF, C., O'REILLY, P., STRICKLAND, L., WILLIS, D., AND VISSER, J. Minimizing feature interactions: An architecture and processing model approach. In Cheng and Ohta [56], pp. 65–83.

- [238] ZIBMAN, I., WOOLF, C., O'REILLY, P., STRICKLAND, L., WILLIS, D., AND VISSER, J. An architectural approach to minimizing feature interactions in telecommunications. *IEEE/ACM Transactions on Networking* 4, 4 (August 1996), 582–596.
- [239] ZYGAN-MAUS, R. Feature interaction management for public switched networks. In Kimbler and Bouma [144], pp. 32–44.

Normen, Empfehlungen und vergleichbare Dokumente

- [240] BELLCORE TECHNICAL ADVISORY TA-NWT-001123. *Advanced Intelligent Network (AIN) Release 1, Switching Systems Generic Requirements*. Bell Communication Research, May 1991.
- [241] ENSTONE, C. A. G., LANE, C. H. R., AND MOULTON, J. A. Telecommunications service interactions. United States Patent No. 5 822 419, GPT Limited, United Kingdom, October 1998.
- [242] ETSI EUROPEAN STANDARD EN 301 140-1. *Intelligent Network (IN); Intelligent Network Application Protocol (INAP); Capability Set 2 (CS2); Part 1: Protocol specification*. European Telecommunication Standardization Institute, June 1999.
- [243] ETSI EUROPEAN TELECOMMUNICATION STANDARD ETS 300 374-1. *Intelligent Network (IN); Intelligent Network Capability Set 1 (CS1); Core Intelligent Network Application Protocol (INAP); Part 1: Protocol specification*. European Telecommunication Standardization Institute, TC-SPS, September 1994.
- [244] ETSI TECHNICAL REPORT ETR 137. *Intelligent Network (IN); Service and service feature interaction service creation, service management and service execution aspects*. European Telecommunication Standardization Institute, TSI TC-NA, Reference DTR/NA-061101, July 1995.
- [245] FTZ-RICHTLINIE 163 TR 75. *Anwendungsspezifikation für das Zeichengabesystem Nr. 7 – Telekom-ISDN User Part (T-ISUP)*. Deutsche Telekom AG, April 1994.
- [246] ISO 7498. *Information Processing Systems – Open Systems Interconnection – Basic Reference Model*. International Standardization Organization, Geneva, 1984.
- [247] ISO 8807. *Information processing systems – Open Systems Interconnection – LOTOS – A formal description technique based on the temporal ordering of observational behaviour*. International Standardization Organization, Geneva, 1989.
- [248] ISO 8824. *Information technology – Abstract Syntax Notation One (ASN.1)*. International Standardization Organization, Geneva, 1995.
- [249] ISO 9074. *Information processing systems – Open Systems Interconnection – ESTELLE – A formal description technique based on an extended state transition model*. International Standardization Organization, Geneva, 1989. (1997 zurückgezogen).

- [250] ITU-T RECOMMENDATION G.711. *Pulse code modulation (PCM) of voice frequencies*. International Telecommunication Union, Geneva, November 1988.
- [251] ITU-T RECOMMENDATION G.722. *7 kHz audio-coding within 64 kbit/s*. International Telecommunication Union, Geneva, November 1988.
- [252] ITU-T RECOMMENDATION G.723.1. *Dual rate speech coder for multimedia communications transmitting at 5.3 and 6.3 kbit/s*. International Telecommunication Union, Geneva, March 1996.
- [253] ITU-T RECOMMENDATION G.728. *Coding of speech at 16 kbit/s using low-delay code excited linear prediction*. International Telecommunication Union, Geneva, September 1992.
- [254] ITU-T RECOMMENDATION G.729. *Coding of speech at 8 kbit/s using conjugate-structure algebraic-code-excited linear-prediction*. International Telecommunication Union, Geneva, March 1996.
- [255] ITU-T RECOMMENDATION H.225.0. *Call signalling protocols and media stream packetization for packet-based multimedia communication systems*. International Telecommunication Union, Geneva, February 1998.
- [256] ITU-T RECOMMENDATION H.245. *Control protocol for multimedia communication*. International Telecommunication Union, Geneva, September 1998.
- [257] ITU-T RECOMMENDATION H.261. *Video codec for audiovisual services at $p \times 64$ kbit/s*. International Telecommunication Union, Geneva, March 1993.
- [258] ITU-T RECOMMENDATION H.263. *Video coding for low bit rate communication*. International Telecommunication Union, Geneva, February 1998.
- [259] ITU-T RECOMMENDATION H.323. *Packet based multimedia communications systems*. International Telecommunication Union, Geneva, February 1998.
- [260] ITU-T RECOMMENDATION I.112. *Vocabulary of Terms for ISDNs*. International Telecommunication Union, Geneva, 1989.
- [261] ITU-T RECOMMENDATION I.250. *Definition of Supplementary Services*. International Telecommunication Union, Geneva, 1989.
- [262] ITU-T RECOMMENDATION Q.1201. *Principles of Intelligent Network Architecture*. International Telecommunication Union, Geneva, 1992.
- [263] ITU-T RECOMMENDATION Q.1202. *Intelligent Network – Service Plane Architecture*. International Telecommunication Union, Geneva, 1992.
- [264] ITU-T RECOMMENDATION Q.1204. *Intelligent Network Distributed Functional Plane architecture*. International Telecommunication Union, Geneva, 1993.
- [265] ITU-T RECOMMENDATION Q.1208. *General aspects of the Intelligent Network Application Protocol*. International Telecommunication Union, Geneva, 1993.
- [266] ITU-T RECOMMENDATION Q.1211. *Introduction to Intelligent Network Capability Set 1*. International Telecommunication Union, Geneva, 1993.

- [267] ITU-T RECOMMENDATION Q.1213. *Global Functional Plane for Intelligent Network CS-1*. International Telecommunication Union, Geneva, 1993.
- [268] ITU-T RECOMMENDATION Q.1214. *Distributed Functional Plane for Intelligent Network CS-1*. International Telecommunication Union, Geneva, 1993.
- [269] ITU-T RECOMMENDATION Q.1218. *Interface Recommendation for Intelligent Network CS-1*. International Telecommunication Union, Geneva, 1995.
- [270] ITU-T RECOMMENDATION Q.1221. *Introduction to Intelligent Network Capability Set 2*. International Telecommunication Union, Geneva, 1997.
- [271] ITU-T RECOMMENDATION Q.1222. *Service plane for Intelligent Network Capability Set 2*. International Telecommunication Union, Geneva, 1997.
- [272] ITU-T RECOMMENDATION Q.1223. *Global functional plane for intelligent network Capability Set 2*. International Telecommunication Union, Geneva, 1997.
- [273] ITU-T RECOMMENDATION Q.1224, FASCICLE 1/3. *Distributed functional plane for intelligent network Capability Set 2: Part 1*. International Telecommunication Union, Geneva, 1997.
- [274] ITU-T RECOMMENDATION Q.1224, FASCICLE 2/3. *Distributed functional plane for intelligent network Capability Set 2: Part 2*. International Telecommunication Union, Geneva, 1997.
- [275] ITU-T RECOMMENDATION Q.1224, FASCICLE 3/3. *Distributed functional plane for intelligent network Capability Set 2: Part 3*. International Telecommunication Union, Geneva, 1997.
- [276] ITU-T RECOMMENDATION Q.1225. *Physical plane for Intelligent Network Capability Set 2*. International Telecommunication Union, Geneva, 1997.
- [277] ITU-T RECOMMENDATION Q.1228, FASCICLE 1/5. *Interface Recommendation for Intelligent Network Capability Set 2: Part 1*. International Telecommunication Union, Geneva, 1997.
- [278] ITU-T RECOMMENDATION Q.1228, FASCICLE 2/5. *Interface Recommendation for Intelligent Network Capability Set 2: Part 2*. International Telecommunication Union, Geneva, 1997.
- [279] ITU-T RECOMMENDATION Q.1228, FASCICLE 3/5. *Interface Recommendation for Intelligent Network Capability Set 2: Part 3*. International Telecommunication Union, Geneva, 1997.
- [280] ITU-T RECOMMENDATION Q.1228, FASCICLE 4/5. *Interface Recommendation for Intelligent Network Capability Set 2: Part 4*. International Telecommunication Union, Geneva, 1997.
- [281] ITU-T RECOMMENDATION Q.1228, FASCICLE 5/5. *Interface Recommendation for Intelligent Network Capability Set 2: Parts 5, 6 and 7*. International Telecommunication Union, Geneva, 1997.

- [282] ITU-T RECOMMENDATION Q.761. *Signalling System No. 7 – ISDN User Part functional description*. International Telecommunication Union, Geneva, 1997.
- [283] ITU-T RECOMMENDATION Q.931. *Digital Subscriber Signalling System No. 1 (DSS 1) – ISDN User Network Interface Layer 3 Specification for Basic Call Control*. International Telecommunication Union, Geneva, 1993.
- [284] ITU-T RECOMMENDATION Z.100. *CCITT Specification and Description Language (SDL)*. International Telecommunication Union, Geneva, 1993.
- [285] ITU-T RECOMMENDATION Z.120. *Message Sequence Chart (MSC)*. International Telecommunication Union, Geneva, 1996.
- [286] RFC 1889. *RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications*. Internet Engineering Task Force (IETF), January 1996. Request For Comments (RFC) 1889, Schulzrinne, H., Casner, S., Frederick, R., and Jacobson, V., <http://www.ietf.org/rfc/rfc1889.txt>.
- [287] RFC 2235. *Hobbes' Internet Timeline*. Internet Engineering Task Force (IETF), November 1997. Request For Comments (RFC) 2235, Zakon, R., <http://www.ietf.org/rfc/rfc2235.txt>.
- [288] TINA-C DELIVERABLE. *Management Architecture*. Telecommunications Information Networking Architecture Consortium (TINA-C), December 1994. Version 2.0.
- [289] TINA-C DELIVERABLE. *Overall Concepts and Principles of TINA*. Telecommunications Information Networking Architecture Consortium (TINA-C), February 1995. Version 1.0.
- [290] TINA-C DELIVERABLE. *Service Architecture*. Telecommunications Information Networking Architecture Consortium (TINA-C), June 1997. Version 5.0.
- [291] TINA-C DELIVERABLE. *TINA Business Model and Reference Points*. Telecommunications Information Networking Architecture Consortium (TINA-C), May 1997. Version 4.0.

Danksagung

Ich danke meinen Eltern Elke und Walter Keck für die ständige Förderung meiner Ausbildung, während der die Grundlagen für die vorliegende Arbeit gelegt wurden, und die Begleitung in allen Lebenssituationen. Meiner Frau Friederike Keck danke ich für ihre Geduld und liebevolle Unterstützung insbesondere in der Endphase der Entstehung dieser Arbeit.

Für die Schaffung der so wichtigen Rahmenbedingungen kreativen Arbeitens, für die Hilfe bei Auswahl und Festlegung des Themas sowie für die inhaltlichen Diskussionen und die immer konstruktive Kritik danke ich Professor Paul J. Kühn von Herzen. Seine Ermutigung zu frühzeitiger Veröffentlichung von Teilergebnissen und damit zur Diskussion mit verschiedenen Experten, verbunden mit dem Weitblick, unabhängig vom Spezialgebiet die ganze Breite des ingenieurwissenschaftlichen Horizontes nicht aus den Augen zu verlieren, hat mir insbesondere auch für meine weitere Arbeit wesentliche Impulse gegeben.

Professor Volker Claus danke ich für sein großes Engagement als Sprecher des Lenkungsgremiums des „Software-Labors“ an der Universität Stuttgart, gleichsam Keimzelle und akademischer Nährboden für diese Arbeit, sowie für die bereitwillige Übernahme des Mitberichts.

Allen gegenwärtigen und ehemaligen Kolleginnen und Kollegen vom Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung (IND) der Universität Stuttgart danke ich für all die im Laufe der Jahre erfahrene Unterstützung sowie die offene und freundschaftliche Arbeitsatmosphäre am Institut. Besonderen Dank schulde ich Matthias Kabatnik und Silvan Mayer vom IND sowie Stefan Peter von Marconi Telecommunications für die sorgfältige und kritische Durchsicht des Manuskripts und die inhaltlichen Diskussionen, die erheblich zur Verbesserung der schriftlichen Ausarbeitung beigetragen haben.

Nicht zuletzt gilt auch mein Dank den zahlreichen Studierenden am Institut für Ihre im Rahmen von Studien- und Diplomarbeiten geleisteten Beiträge zu Teilen dieser Arbeit.

Lebenslauf

von Dirk Oliver Keck, geboren am 14. September 1968 in Tübingen, verheiratet.

- 1975 – 1976 Besuch der Mörike-Grundschule in Reutlingen-Sondelfingen
- 1976 – 1979 Besuch der Grundschule in Reutlingen-Rommelsbach
- 1979 – 1988 Besuch der Gymnasiums im Bildungszentrum Reutlingen-Nord. Abschluss mit der allgemeinen Hochschulreife
- 1988 – 1989 Grundwehrdienst in Kempten (Allgäu) und in Ulm (Donau)
- 1989 – 1994 Studium der Elektrotechnik an der Universität Stuttgart, Studienmodell „Theoretische Elektrotechnik – Nachrichtentechnik“. Abschluss als Diplom-Ingenieur
- 1994 – 1995 Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Mikroelektronik Stuttgart (IMS) bei Prof. Dr. rer. nat. Bernd Höfflinger im Bereich „Technologie“
- 1995 – 2000 Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Stuttgart, Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung bei Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. mult. Paul J. Kühn
- 1997 – 1999 Lehrauftrag an der Berufsakademie Stuttgart für das Fach „Hochgeschwindigkeitsnetze“ im Studiengang Elektrotechnik (Vertiefungsrichtung Nachrichtentechnik)

English Title

**Detection of interactions between
supplementary services by analysis of
their configurations and protocol procedures**