Technische Universität Berlin

Fachbereich Informatik
Institut für Systemanalyse
Prof. Dr. Hermann Krallmann

Konzeption eines marktorientierten Routingverfahrens für ATM-Netze auf der Basis Intelligenter Agenten

vorgelegt von
Dipl.-Inform. Hermann Többen

Vom Fachbereich 13 - Informatik der TU-Berlin
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Ingenieurwissenschaften

- Dr.-Ing. -

genehmigte Dissertation

Promotionsausschuß:

Vorsitzender: Prof. Dr. rer. nat. K. Obermayer, TU Berlin
1. Berichter: Prof. Dr. rer. pol. H. Krallmann, TU Berlin
2. Berichter: Prof. Dr. rer. nat. B. Stiller, ETH Zürich / TIK

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 27. April 2000

Berlin 2000

D 83

Danksagung

Diese Arbeit entstand in den Jahren 1994-1999 während meiner Tätigkeit am Institut für Systemanalyse und Quantitative Methoden der Technischen Universität Berlin. Für die freundliche Unterstützung möchte ich hier insbesondere Herrn Prof. Dr. Hermann Krallmann und Herrn Prof. Dr. Burkhard Stiller danken, da ohne sie diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre. Ebenfalls bedanke ich mich für die äußerst umfangreiche Unterstützung bei Herrn Dr. Sahin Albayrak, der mich mit großer Kompetenz insbesondere in der Thematik der Intelligenten Agenten kritisch unterstützte. Meine ganz besondere Wertschätzung jedoch gilt aber meinem Kollegen Jan Keiser, der mir mit hohem fachlichen Können und wertvollen Anregungen das für die Arbeit notwendige Feed-Back lieferte. In diesem Sinne seien desweiteren Prof. Förster, Prof. Jung, Dr. Baerwolff und Herr Olaf Jahn vom mathematischen Fachbereich, als auch Herr Dietrich Kirsch, Herr Stefan Holst, Herr Torge Schmidt sowie Herr Siegfried Ballmann erwähnt, die mir mit kritischen Anmerkungen als auch fachlichem Rat zur Seite standen.

Für ihre Liebe, ihren Trost und ihre wohl nie versiegende Geduld mit mir ist diese Arbeit meiner Frau Urszula Többen, geb. Kowieska, gewidmet.

Hermann Többen
Berlin, im April 2000

Zusammenfassung

Die Deregulierung und Liberalisierung der Tk-Märkte bewirkt eine rapide Zunahme an Diensten und Anbietern. Bedingt durch eine sehr flexibel einstellbare Dienstgüte beim Asynchronen Transfer Modus (ATM) sind darüberhinaus neuartige MM-Dienste möglich. Der Dienstkunde sieht sich bei seiner Anbieterauswahl mit einer stetig steigenden Anzahl unterschiedlicher Tariffierungsmodelle konfrontiert. Diese Wahlfreiheit bzgl. des Anbieters ist heute allerdings auf den Teilnehmerzugangsbereich beschränkt und der Dienstkunde hat keinen Einfluß auf die Auswahl der für die Erstellung der Ende-zu-Ende Verbindung involvierten Teilverbindungen inklusive deren Anbieter. Folglich besteht das Problem, eine kostengünstige Endverbindung durch die Auswahl entsprechend preiswerter Teilverbindungen innerhalb des ATM-Netzwerkes zu generieren. Eine individuell verhandelbare Dienstgütequalität, die es softwaretechnisch zu automatisieren gilt, soll möglich sein.

Für gegebenes Problem wird eine technisch innovative Lösung unter Einsatz agentenorientierter Technologie (AOT) sowie marktorientierten Konzepten vorgeschlagen. Auf der Basis Intelligenter Agenten wird für den Verbindungsaufbau eine integrierte Lösung aus dynamischem Routing und Verhandlungsverfahren, das sogenannte „Traded Routing“, entworfen. Hierzu wird im ATM-WAN mit Hilfe der Gatewaymarktplätze als spezialisierten ATM-Switches ein Ressourcenmarkt mit Dienstkunden als Käufern und Anbietern als Verkäufern modelliert. Sie verhandeln mittels eines Verfahrens, das auf einmal stetig differenzierbaren, n-dimensionalen Preisfunktionen aus C(1) basiert und den Akteuren eine flexible Abbildung ihrer Gebührenstrategien auf die Gütekriterien einer Teilverbindung ermöglicht. Zur Steuerung der Konvergenz von Preis und Leistung werden die Gradienten der Preisfunktionen in die Suche mit einbezogen. Das Verfahren zeichnet sich zudem durch „frühe Entscheidungskriterien“ aus. Die Eigenschaft der partiellen Konvergenz wird nachgewiesen. Im Verhandlungsprotokoll ist ebenfalls eine Trusted Third Party (TTP) als überwachende Instanz vorgesehen. Grundlage des QoS-basierten Routings bildet eine generalisierte Form des Bellman-Ford-Moore Algorithmusses. Er berechnet m disjunkte Pfade innerhalb des Netzwerkgraphen, welche das globale Optimalitätskriterium der m-günstigsten Wege erfüllen. Eine Verdichtung der Pfade führt zum Tradinggraphen. Er entspricht einem Sourceroutingansatz, enthält allerdings im voraus berechnete und bewertete Alternativpfade, die im Rahmen des sich dynamisch vollziehenden Routings ausgewählt werden können. Die totale Korrektheit sowie Komplexität werden formal nachgewiesen. Ergänzend wird das wichtige Kriterium der Zyklenfreiheit diskutiert.

Abstract

The deregulation and liberalization of the telecommunication markets results in a vast increasing number of services and respective their providers. Due to a highly scalable Quality of Service (QoS) at the Asynchronous Transfer Mode (ATM) novel multimedia services are possible now. Concerning the number of service providers the service-customer is confronted with a continuously increasing number of tariffing models. Currently the choice of an adequate provider is restricted to the customers' access area. Hence the customer has no influence on the selection of the involved virtual channels respective their providers for the aimed end-to-end connection. Accordingly the problem to configure an end-to-end connection out of cheap partial connections within an ATM-WAN still exists. The individual quality of service of that connection should be negotiated automatically via software means.

For the given problem a technically innovative solution based upon Agent Oriented Technology (AOT) employing market-oriented concepts has been proposed. For the setup of a connection the "Traded Routing" as an integrated solution consists of a dynamic routing procedure as well as a negotiation mechanism. A resource-market with service-customers as buyers and providers as sellers has been mapped onto an ATM-WAN using Gatewaymarketplaces as specialized ATM-Switches. Buyers and sellers negotiate via a specialized mechanism. The latter is based upon n-dimensional price-functions, which enable a flexible mapping of pricing-strategies onto the attributes of a connection link. The convergence of price and performance within the negotiation process is controlled via the gradients of the pricing-functions. Additionally the negotiation system is characterized via "early decision criterions". The property of partial convergence has been proven. Moreover a "Trusted Third Party" (TTP) as a supervising entity has been provided. The foundation of the QoS-based routing is a generalized form of the Bellman-Ford-Moore algorithm. He calculates m disjunct paths through the network-graph, which comply to the global optimization criterion of the m-cheapest paths. A densification of these paths results into the "Trading Graph" (TG). The latter corresponds to a source-routing approach and contains alternative paths, which were calculated in advance and can be selected within the dynamic routing process. Total correctness as well as time complexity have formally been proven. In addition the important criterion of cycles in the TG is discussed.

Inhaltsverzeichnis

Teil A
Einführung **57**

Kapitel 1 Einleitung **59**

1.1 Motivation 59
1.2 Problemstellung 62
1.3 Lösungsansatz 62
1.4 Aufbau der Arbeit 64
1.5 Lesehilfe 65

Teil B
Stand der Technik **67**

Kapitel 2 ATM: Der Asynchrone Transfer Modus **69**

2.1 Konzepte und Anforderungen des B-ISDN 70
2.2 Eigenschaften des ATM 72
2.2.1 Die ATM Dienstklassen 73
2.2.2 Die Zellenbasierte Vermittlung 74
2.2.3 Das ATM-Protokollreferenzmodell 76
2.2.4 Der Begriff der Dienstgüte im ATM-System 78
2.3 Die Architektur von ATM-Netzen 80
2.3.1 Definition der Netzschnittstellen 80
2.3.2 Die Struktur von ATM-Netzen 81
2.3.3 Das Vermittlungskonzept des ATM 81
2.4 Aufbau und Kontrolle von Verbindungen 83
2.4.1 Das Routing im ATM-Netzwerk 83
2.4.1.1 Die logische Hierarchie 84
2.4.1.2 Der Aufbau einer Route 85

2.4.2 Die Signalisierung bei Peer-to-Peer Verbindungen.....87
2.4.2.1 Die Etablierung einer Verbindung.....89
2.4.2.2 Der Abbau einer Verbindung.....90
2.5 Verwandte Arbeiten.....90
2.5.1 Preisstrategien für Netzwerke.....91
2.5.1.1 Accounting Rates.....92
2.5.1.2 Kostenbasierte Vergebührung.....92
2.5.2 IA-basiertes Routing.....93
2.5.2.1 Intelligent Routing.....94
2.5.2.2 Pathfinder.....95
2.5.3 Marktbasierte Ressourcenverteilung.....96
2.5.3.1 Challenger.....96
2.5.3.2 FreeWalk.....97
2.5.3.3 Kuwabara.....98
2.5.3.4 Auktion von ATM-Bandbreiten.....98
2.5.3.5 Marktbasiertes Routing.....99
2.5.4 Vergebührung von Internetdiensten.....100
2.5.4.1 RSVP-basierte Vergebührung.....101
2.6 Vergleichende Betrachtung.....102
2.6.1 Aspekte seitens Marktstruktur und Preissystem.....103
2.6.2 Aspekte des Routings und der Lastbalancierung.....106
2.7 Zusammenfassung.....108

Teil C
Lösung 109

Kapitel 3 Agentenorientierte Systementwicklung 111

3.1 Tour d'horizon.....112
3.2 Was ist AOT?.....113
3.3 Basisfähigkeiten und Eigenschaften von Agenten.....115
3.3.1 Die Agentenkommunikation.....115
3.3.1.1 Sprechakttheorie.....116
3.3.1.2 Ontologien in der Agentenkommunikation.....117
3.3.2 Koordination.....117
3.3.3 Kooperation.....118
3.3.4 Grundlegende Eigenschaften.....119
3.3.5 Optionale Eigenschaften.....120

3.4 Agentenbasierte Systeme ... 120
3.4.1 Allgemeine Eigenschaften ... 121
3.4.2 Mobile Agenten und verteiltes Rechnen ... 122
3.4.3 AOSE - Agentenbasierter Systementwurf ... 123
3.4.3.1 Die agentenorientierte Problemanalyse ... 124
3.4.3.2 Der Schritt zum agentenorientierten Design ... 125
3.4.3.3 Die Implementierungsphase ... 126
3.4.3.4 Kalibrierung des Agentensystems ... 127
3.5 Zusammenfassung ... 127

Kapitel 4 Computerbasierte Markt- und Handelssysteme 129

4.1 Chronologischer Abriß ... 130
4.2 Zur Definition des Elektronischen Marktes ... 130
4.2.1 Komponenten für den ATM-Ressourcenmarkt ... 133
4.3 Zur Preisbildung in der Vereinbarungsphase ... 134
4.3.1 Auktionen ... 135
4.3.2 Der „Market Maker“ ... 137
4.3.3 Beispiele elektronischer Markt- und Handelssysteme ... 138
4.3.3.1 Elektronische Finanzmärkte ... 138
4.3.3.2 Internetbasierte Märkte ... 140
4.3.3.3 Marktbasierte Kontrollsysteme ... 142
4.4 Zusammenfassung ... 145

Kapitel 5 Der Markt auf Netzwerkebene 147

5.1 Das Angebotsspektrum im Telekommunikationsmarkt ... 148
5.1.1 Identifizierbare Entwicklungstendenzen im Tk-Markt ... 150
5.2 Die marktbasierte Allokation von Netzwerkressourcen ... 151
5.3 Das Grundmodell des Ressourcenmarktes ... 152
5.3.1 Zur Konstituierung des VC-Marktes ... 154
5.3.2 Der VP-Markt ... 155
5.3.3 Interne Grundstruktur eines Gatewaymarktplatzes ... 156
5.3.4 Erwünschte Eigenschaften des Marktmodells ... 158
5.3.4.1 Eigenschaften des GMs ... 158
5.3.4.2 Betrachtung der GM-lokalen Konkurrenzaspekte ... 159
5.3.4.3 Betrachtung der marktglobalen Konkurrenzaspekte ... 160
5.3.4.4 Vergleich mit alternativen Ansätzen ... 160
5.3.5 Die Verbindungszugangssteuerung auf dem GM ... 161
5.4 Anbieterintegration auf Hardwareebene ... 163

5.5 Der agentenbasierte Verbindungsaufbau 165
5.6 Die Transaktionsphasen auf dem GM 168
5.6.1 Die Informationsphase 170
5.6.2 Vereinbarungsphase 170
5.6.3 Abwicklungsphase 172
5.6.4 Neuverhandlung (Renegotiation) 172
5.7 Identifikation der Aufgaben 173
5.8 Allgemeine Konventionen im VC-Markt 175
5.9 Definition verwendeter Sprechakte 177
5.9.1 Charakterisierung elementarer Kooperationsprotokolle 179
5.10 Elemente einer Ontology für den VC-Markt 181
5.10.1 Beschreibung der VCs 182
5.11 Eigenschaften und Fähigkeiten der Agentenakteure 184
5.11.1 Anforderungen an die Anbieteragenten 184
5.11.1.1 Globale und lokale Marktstrategien 184
5.11.1.2 Ressourcenmanagement 185
5.11.2 Anforderungen an die Kundenagenten 185
5.11.2.1 Planung 185
5.11.2.2 Strategiegenerierung 187
5.11.3 Der Marktplatzmanager 187
5.12 Sicherheit im Ressourcenmarkt 189
5.12.1 Sicherheitsrelevante Rollen 190
5.12.1.1 Anforderungen des Endkunden 191
5.12.1.2 Anforderungen des Verbindungsdienstanbieters 191
5.12.1.3 Anforderungen des Ressourcenanbieters 191
5.12.1.4 Anforderungen des Plattformanbieters 192
5.12.2 Sicherheitsaspekte beim VC-Markt 192
5.12.2.1 Sicherheit seitens Vergebührung und Bezahlung 195
5.12.3 Allgemeine Sicherheitsmechanismen 196
5.12.3.1 Identifizierung 196
5.12.3.2 Authentifizierung 196
5.12.3.3 Autorisierung 197
5.12.3.4 Hash-Funktionen 197
5.12.3.5 Auditing 197
5.12.3.6 Kryptografische Schlüssel 198
5.12.4 Sicherheitsaufgaben im VC-Markt 199
5.12.5 Security-Konzept 199
5.12.5.1 Trust-Modell für den VC-Markt 200
5.12.5.2 Security-Infrastruktur 201

5.12.5.3 Sicherung der Agentenkommunikation 202
5.12.5.4 Authentifizierung der Agentenakteure 203
5.12.5.5 Autorisierung der Agentenakteure 204
5.12.5.6 Mobilität und Agentenmigration 206
5.12.6 Die Vergebührung der Verbindungsdienste 208
5.12.7 Bilaterale und gesicherte Vertragszustimmung 208
5.12.8 Sichere Verwaltung vertraulicher Daten 209
5.13 Zusammenfassung 209

Kapitel 6 Entwurf eines GM-lokalen Verhandlungsverfahrens 211

6.1 Grundsätzliche Annahmen und Voraussetzungen 212
6.1.1 Organisatorische Anforderungen 212
6.1.2 Produkt- und Preischarakterisierung 212
6.1.3 Annahmen über die Marktakteure 214
6.2 Richtlinien für lokale Verhandlungen 217
6.2.1 Diskussion unterschiedlicher Marktsituationen 217
6.2.1.1 Lokale Monopolsituation 218
6.2.1.2 Lokale Dyopolsituation 219
6.2.1.3 Lokale Polypolsituation 219
6.2.2 Zieleigenschaften des Verhandlungssystems 220
6.2.2.1 Ergebniskonvergenz 220
6.2.2.2 Skalierbarkeit des Ergebniskonsenses 220
6.2.3 Verhandlungskonventionen 222
6.3 Das gradientenbasierte Verhandlungsverfahren 223
6.3.1 Begriffe und Definitionen 225
6.3.2 Das Verhandlungsprotokoll 227
6.3.2.1 Die Verhandlungsrollen 229
6.3.2.2 Der Verhandlungsalgorithmus 231
6.3.3 Die Gradientensuche 233
6.4 Analytische Betrachtung 240
6.4.1 Konvergenzverhalten und Preisübereinstimmung 240
6.4.1.1 Frühe Entscheidungskriterien 240
6.4.2 Konvergenz des Gradientenverfahrens 242
6.4.3 Spieltheoretische Betrachtung 244
6.4.3.1 Das kooperative Verhandlungsspiel 245
6.4.3.2 Das Nash-Lösungskonzept 246
6.4.3.3 Strategien in der Zeit 247
6.4.4 Abschätzung des Verhandlungsaufwands 250

6.4.5 Verwandte Arbeiten....252
6.4.5.1 Der WALRAS-Algorithmus....252
6.4.5.2 Dienstorientiertes Verhandlungsmodell für Agenten 254
6.5 Zusammenfassung....255

Kapitel 7 Das „Traded-Routing“ Verfahren 257

7.1 Betrachtungen zum marktorientierten Routing....258
7.2 Das Konzept des Traded Routings....260
7.2.1 Crankback....261
7.2.2 Einordnung des TR-Verfahrens....261
7.2.3 Betrachtung relevanter Aspekte beim TR....262
7.2.4 Global verfügbare Informationen im VC-Markt....262
7.2.4.1 Eigenschaften der Attribute....264
7.2.5 Der Tradinggraph....265
7.2.6 Die Zugangskontrolle im GM-Netzwerk aus globaler Sicht....266
7.2.7 Charakterisierung des Tradinggraphen....269
7.2.8 Konstruktion des Tradinggraphen....273
7.2.8.1 Berechnungsverfahren für die m-günstigsten Wege 273
7.2.8.2 Assemblierung des TG....275
7.2.8.3 Entscheidungsverfahren für den MOBAG....277
7.3 Analyse des Verfahrens....278
7.3.1 Korrektheitsnachweis....279
7.3.1.1 MGW-Algorithmus....279
7.3.1.2 TG-Algorithmus....288
7.3.1.3 PD-Algorithmus....294
7.3.2 Nachweis der Terminierung....296
7.3.2.1 MGW-Algorithmus....296
7.3.2.2 TG-Algorithmus....298
7.3.2.3 PD-Algorithmus....298
7.3.3 Zyklenfreiheit des Tradinggraphen....298
7.3.4 Komplexitätsbetrachtung....299
7.3.4.1 MGW-Algorithmus....299
7.3.4.2 TG-Algorithmus....302
7.3.4.3 PD-Algorithmus....303
7.3.4.4 Komplexität des Gesamtverfahrens....303
7.4 Zusammenfassung....304

Teil D

Resümee **307**

Kapitel 8 Zusammenfassung **309**

8.1 Problemdefinition 310
8.2 Lösungsweg 310
8.3 Fazit und Ausblick 311

Anhänge 313

Anhang A ATM-Standards **315**

Anhang B Literaturverzeichnis **323**

Anhang C Index **353**

Anhang D Lebenslauf **377**

Abbildungsverzeichnis

Kapitel 2 ATM: Der Asynchrone Transfer Modus

Abbildung 2-1 B-ISDN Protokollreferenzmodell ... 71
Abbildung 2-2 B-ISDN Schnittstellenreferenzkonfiguration ... 72
Abbildung 2-3 Eigenschaftsmatrix der ATM-Dienstklassen ... 74
Abbildung 2-4 Struktur der ATM-Zellköpfe ... 75
Abbildung 2-5 ATM Protokollreferenzmodell ... 77
Abbildung 2-6 Umsetzung der Anwendungsdienstgüte ... 79
Abbildung 2-7 Schnittstellendefinition nach ATM-Forum ... 80
Abbildung 2-8 Vermittlungskonzept im ATM-Netzwerk ... 82
Abbildung 2-9 PNNI-Hierarchie gemäß ATM-Forum ... 85
Abbildung 2-10 Routingszenario mit Crackback ... 86
Abbildung 2-11 Signalisierung für Punkt-zu-Punkt Verbindung ... 88
Abbildung 2-12 Zusammensetzung der Collection Charge ... 92
Abbildung 2-13 Beispiel einer restaurierten Übertragungsleitung ... 94
Abbildung 2-14 Nachrichtenfluß zwischen den Marktakteuren ... 99
Abbildung 2-15 Die IA-basierte Marktebene ... 100

Kapitel 3 Agentenorientierte Systementwicklung

Abbildung 3-1 Einflußgebiete der AOT ... 113
Abbildung 3-2 Einordnung der AOT ... 114
Abbildung 3-3 Wechselwirkung der drei K‘s. ... 115
Abbildung 3-4 Migration zwischen Agentenaufenthaltsumgebungen ... 122
Abbildung 3-5 Phasen des Systementwurfs gemäß Wasserfallmodell ... 123

Kapitel 4 Computerbasierte Markt- und Handelssysteme

Abbildung 4-1 Transaktionsphasen eines Marktes nach Langenohl ... 131
Abbildung 4-2 Auktion in ihrer allgemeinen Form ... 135
Abbildung 4-3 Market Maker als Transaktionsintermediär ... 137

Kapitel 5 Der Markt auf Netzwerkebene

Abbildung 5-1 Least-Cost-Routing im Access-Bereich....148
Abbildung 5-2 Least Cost Routing in Corporate Networks....149
Abbildung 5-3 Prinzip des Callback Verfahrens....150
Abbildung 5-4 Hierarchisches Marktmodell....153
Abbildung 5-5 Gatewaymarktplätze auf Netzwerkebene....154
Abbildung 5-6 Organisatorische Grundstruktur eines GMs....156
Abbildung 5-7 ER-Diagramm für Anbieter-Kundenbeziehungen....159
Abbildung 5-8 Zugangskontrolle auf dem Gatewaymarktplatz....162
Abbildung 5-9 Anbieterintegration auf Hardwareebene....164
Abbildung 5-10 Einfache Wegsuche mit Bestätigung....166
Abbildung 5-11 Parallele Wegsuche mittels Agenten....167
Abbildung 5-12 Beispieldialog zwischen MOBAG, MM und Anbietern....169
Abbildung 5-13 Kooperation zur Informationsbeschaffung....179
Abbildung 5-14 Kooperation zur Vorreservierung einer Ressource....180
Abbildung 5-15 Kooperation zur Vollreservierung einer Ressource....181
Abbildung 5-16 Kooperation zur Freigabe einer Ressource....181
Abbildung 5-17 Sicherheitsaspekte im VC-Markt....192
Abbildung 5-18 Vertrauensverhältnisse im VC-Markt....200
Abbildung 5-19 Security-Infrastruktur eines GMs....202
Abbildung 5-20 Dezentrale Zugriffskontrolle via DCs....205
Abbildung 5-21 Protokoll einer gesicherten Vertragszustimmung....208

Kapitel 6 Entwurf eines GM-lokalen Verhandlungsverfahrens

Abbildung 6-1 Diskrete und kontinuierliche Preisfunktionen....213
Abbildung 6-2 Parameterschnittmenge als Verhandlungsraum....213
Abbildung 6-3 Überlappungsbereiche von Preisfunktionen....224
Abbildung 6-4 Systemdefinition durch den Marktplatzmanager....227
Abbildung 6-5 Informationsaustausch in einem Verhandlungszyklus....227
Abbildung 6-6 Bilaterale Konvergenz in zwei Parameterbereichen....228
Abbildung 6-7 Verhaltensautomat des Kunden....230
Abbildung 6-8 Verhaltensautomat des Anbieters....231
Abbildung 6-9 Verhaltensautomat des Marktplatzmanagers....232
Abbildung 6-10 Gradientenbasierte Suche im $\Re^2$....235
Abbildung 6-11 Entscheidungskriterien seitens Angebots- und Grenzkosten....241
Abbildung 6-12 Gleichgewichtswerte in teilspielperfekter Verhandlung....250

Kapitel 7 Das „Traded-Routing“ Verfahren

Abbildung 7-1 Beispiel eines Tradinggraphen im Netzwerk 260
Abbildung 7-2 Informationsstrukturen für einen Tradinggraphen 265
Abbildung 7-3 Reduktion eines Netzwerkgraphen 267
Abbildung 7-4 Listendarstellung eines Tradinggraphen 276
Abbildung 7-5 Zyklus in einem TG 299
Abbildung 7-6 Breitensuchbaum des MGW-Algorithmus 300

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1 QoS-Kategorien nach Vogel 78
Tabelle 7-1 Änderungsdynamik wesentlicher Informationen im VC-Markt 259
Tabelle 7-2 Attribute eines Linkstatevektors 263
Tabelle 7-3 Attribute eines Nodestatevektors 264
Tabelle 7-4 Laufzeitanalyse des MGW-Algorithmus-Initialisierungsanteils..... 300
Tabelle 7-5 Laufzeitanalyse für den TG-Algorithmus 302

Abkürzungsverzeichnis

A

AAL	ATM Adaption Layer
ABR	Available Bit Rate
ACL	Agent Communication Language
ACM	Address Complete Message
ADSL	Asynchronous Digital Subscriber Loop
ANS	Answer Message
ANSI	American National Standards Institute
AOA	Agent-Oriented Analysis
AOD	Agent-Oriented Design
AOSE	Agent-Oriented System Engineering
AOP	Agent-Oriented Programming
AOT	Agent-Oriented Technologie
AR	Accounting Rates
AS	Agent System
ATDM	Asynchronous Time Division Multiplex
ATM	Asynchronous Transfer Modus
AvAS	Available Agent Slots

AvCR	Available Cell Rate
AvCSC	Available Cell Switch Capacity
AvVC	Available Virtual Channels

B

BCC	Bearer Connection Control
BCOB	Broadband Connection Oriented Bearer Service
B-ET	Broadband Exchange Termination
B-ICI	Broadband Intercarrier Interface
B-ISDN	Broadband Integrated Services Digital Network
B-LT	Broadband Line Termination
B-NT	Broadbank Network Termination
B-TA	Broadband Termination Adapter
B-TE	Broadband Termination Equipment

C

C/S	Client-Server
CA	Certification Authority
CAC	Call Admission Control
CBR	Constant Bit Rate
CC	Cross Connect (ATM)
CC	Connection Control (Signaling)
CCSS7	Common Channel Signaling System No. 7
CDV	Cell Delay Variation
CEC	Comission of European Community
CER	Cell Error Rate
CLIP	Calling Line Information Protocol
CLP	Cell Loss Priority
CLR	Cell Loss Rate
CMR	Cell Misinsertion Rate
CNET	France Télécom R&D Center
CPE	Customer Premise Equipment
CPG	Call Progress Message

CPU	Central Processing Unit
CRC	Cyclic Redundancy Check
CRL	Certificate Revocation List
CRS	Computer Reservation System
CS	Capability Set (Signaling)
CS	Convergence Sublayer
CSP	Constraints Satisfaction Problem
CTD	Cell Transfer Delay

D

DAI	Distributed Artificial Intelligence
DARPA	Department of Advanced Research Projects Agency
DASEDIS	Development And Simulation Environment for Distributed Intelligent Systems
DC	Delegation Certificate
DES	Digital Encryption Standard
DNHR	Dynamic Non-Hierarchical Routing
DoS	Denial of Service Attack
DPS	Distributed Problem Solver
DSS	Digital Signaling System
DTB	Deutsche Terminbörse
DTL	Designated Transit List

E

EDI	Electronic Data Interchange
EGP	Exterior Gateway Protocol
EKA	Entscheidungskriterium Anbieter
EKK	Entscheidungskriterium Kunde
EM	Elektronischer Markt/Electronic Market
EMP	Electronic Marketplace
ES	Exterior System
ETSI	European Telecommunications Standards Institute

F

FDMA	Frequency division multiple access
FIFO	First In First Out
FIPA	Foundation for Intelligent Physical Agents
FR	Frame Relay
FTAM	File Transfer, Access and Management

G

GCAC	Generic Call Admission Control
GCRA	Generic Cell Rate Algorithm
GFC	Generic Flow Control
GM	Gateway Marktplatz/Gateway Marketplace
GML	Gateway Marketplace Layer
GSM	Groupe Speciale Mobile

H

HEC	Header Error Control
HDLC	High Level Data Link Control
HTML	Hypertext Markup Language

I

IA	Intelligent Agent
IAA	Initial Address Acknowledge
IAM	Initial Address Message
IP	Internet Protocol
ISO	International Standardisation Organisation
ITR	Internet Talk Radio
ITU	International Telecommunication Union
ITU-TS	ITU Telecommunications Sector

J

JIAC	Java Intelligent Agent Componentware
JPEG	Joint Pictures Encoding Group

K

KDC	Key Distribution Center
KI	Künstliche Intelligenz
KQML	Knowledge Query and Manipulation Language

L

LAN	Local Area Network
LEC	Local Exchange Carrier
LCAC	Local Call Admission Control
LCSE	Logical Channel Signaling Entity
LEX	Local Exchange
LGN	Logical Group Node
LN	Logical Node
LSE	London Stock Exchange

M

maxCR	maximal Cell Rate
maxCSC	maximal Cell Switch Capacity
maxCTD	maximal Cell Transfer Delay
MAS	Multi Agent System
MBS	Maximum Burst Size
MCAC	Marketplace Call Admission Control
MCL	Migration Control List
MCR	Minimum Cell Rate
MD	Message Digest
MGW	m-günstigste Wege

MIT	Massachusetts Institute of Technology
MM	Marktplatzmanager
MMU	Memory Management Unit
MOBAG	Mobile Agent
MOP	Market-Oriented Programming
MPEG	Motion Picture Encoding Group

N

numVC	Number of Virtual Cannels
nrt-VBR	non-realtime Variable Bit Rate
NASDAQ	National Association of Securities Dealers Automatic Quotations
NDA	Nichtdeterministischer Automat
N-ISDN	Narrowband Integrated Services Digital Network
NM	Neuer Markt
NNI	Network Network Interface
NPC	Network Parameter Control
NVC	Negotiated Virtual Circuit
NYSE	New York Stock Exchange

O

OAM	Operations, Administration and Management
ONP	Open Network Provisioning
OSI	Open Systems Interconnection
OSPF	Open Shortest Path First

P

PBX	Private Branch Exchange
PCM	Pulse Code Modulation
PCR	Peak Cell Rate
PCAC	Provider Call Admission Control
PD	Provider Decision

PDA	Personal Digital Assistent
PDF	Portable Document Format
PDH	Plesiochronous Digital Hierachy
PDU	Protocol Data Unit
PDP	Programmable Data Processor
PG	Peer Group
PGL	Peer Group Leader
PGLE	Peer Group Leader Election
PID	Provider Identity
PKI	Public Key Infrastructure
PNNI	Private Network Network Interface
PSTN	Public Switches Telephone Network
PT	Payload Type
PTL	Plattform Trust List
PTSE	PNNI Topology State Elements
PTSP	PNNI Topology State Packets
PVC	Permanent Virtual Circuit

Q

QoS	Quality of Service

R

rt-VBR	realtime Variable Bit Rate
ReKoS	Realisierung Kooperrierender Systeme
RA	Routing Agent
RCC	Routing Control Channel
REL	Release Message
RFC	Request for Comment
RLC	Release Complete Message
RM	Reference Modell
RSA	Rivest, Shamir, Adleman
RSVP	Resource Reservation Protocol
RTT	Round Trip Time

S

SA	Security Agent
SAAL	Signaling AAL
SAR	Segmentation Assembly and Reassembly
SCCC	Signaling Channel Connection Control
SCCR	Signaling Channel Connection Release
SCCS	Signaling Channel Connection Setup
SCL	Service Control List
SCR	Sustainable Cell Rate
SCM	Service Control Mechanisms
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SEGA	Schweizerische Effektengiro AG
SET	Secure Electronic Transaction
SHSA	Statistical Heuristic Search Algorithm
SNB	Schweizer Nationalbank
SOFFEX	Swiss Options and Financial Future Exchange
SONET	Synchronous Optical Network
SR	Settlement Rate
SSL	Secure Socket Link
STDM	Synchronous Time Division Multiplex
SVC	Switched Virtual Circuit
SVP	Switched Virtual Path
SWX	Swiss Exchange

T

TC	Transmission Convergence
TCP/IP	Transport Control Protocol/Internet Protocol
TG	Trading Graph
TMN	Telecommunication Management Network
TN	Teilnehmer
ToS	Type of Service
TR	Traded Routing
TTP	Trusted Third Party

U

UBR	Unspecified Bit Rate
UNI	User Network Interface
UPC	User Parameter Control

V

VAS	Value Added Service
VBR	Variable Bit Rate
VC	Virtual Channel
VCC	Virtual Channel Connection
VCI	Virtual Channel Identifier
VCL	Virtual Channel Link
VKI	Verteilte Künstliche Intelligenz
VP	Virtual Path
VPC	Virtual Path Connection
VPCI	Virtual Path Connection Identifier
VPI	Virtual Path Identifier
VPI	Virtual Path Identifier
VPN	Virtual Private Network
VSt	Vermittlungsstelle

W

WAN	Wide Area Network
WATTC	World Administrative Telegraph and Telephone Conference
WORM	Write once read multiple
WWW	World Wide Web

X

XETRA	Exchange Electronic Trading
ZGM	Zugangs-GM

Glossar

A

Abwicklungsphase

Erbringung der in der Vereinbarungsphase definierten Leistungen; weitere Transaktionen des primären und sekundären Wertschöpfungsprozesses sind hier möglich.

Access Network

Dt. Teilnehmerzugangsnetzwerk; der Teil eines öffentlichen Netzes, welcher Benutzeranschlüsse über Anschlußleitungen (Asl) aus i.d.R. symmetrische Kupferdoppeladern an zentralen Anschlußknoten bereitstellt. Beispiel: B-ISDN mit xDSL (ADSL, HDSL, etc.).

Accounting Rates

Abk. AR; vorab verhandelte Vergebührungspauschale zwischen Netzanbietern bzw. Carriern, die unabhängig von der Lokation des gewünschten Zielteilnehmers gestaltet ist.

Adjudicator

Spezielle Form eines Arbitrators, der den korrekten Ablauf eines Kommunikationsprotokolls zwischen den beteiligten Akteuren imnachhinein überprüft. und Meinungsverschiedenheiten zwischen diesen schlichtet.

Agent

In sich abgeschlossene Softwarekomponente, die die Interessen ihres Besitzers vertritt und über ein gewisses Maß an Autonomie, Wissen und Kooperationsfähigkeit verfügt.

Agentenorientierte Technologie

Abk. AOT; engl. Agent-Oriented Technology; unter diesem Begriff werden all die Mechanismen und Verfahren verstanden, mit deren Hilfe ein verteilt arbeitendes System auf Basis Intelligenter Agenten erstellt werden kann.

Agentenorientierter Systementwurf

Abk. AOSE, engl. Agent-Oriented System Engineering; Gesamtheit aller Vorgänge, um ein System auf der Basis von Agentenbausteinen inkl. ihrer Interaktionen zu realisieren. Phasen dieses Prozesses sind u.a. die AOA, AOD und die AOP.

Arbitrage

Ausnutzung örtlicher oder internationaler Kursunterschiede gleicher Werte (Effekten, Devisen, etc.), wobei diese Werte auf dem Markt mit den niedrigsten Preisen gekauft und auf dem Markt mit den höchsten Preisen verkauft werden. Nutzer ist der Arbitrageur.

Arbitrator

Dt. Schiedsinstanz; unparteiische Instanz ohne geschäftliche Eigeninteressen (TTP), welche in einem System die Vertrauensbildung der beteiligten Akteure unterstützt.

Asynchronous Time Division Multiplex

Abk. ATDM, dt. asynchroner Zeitmultiplex; Basis des ATM und der Paketdatentechnik; nutzt Möglichkeit des gemeinsamen, zeitlich aber unregelmäßig (asynchron) verzahnten Zugriffs auf ein Übertragungssystem.

Asynchronous Transfer Mode

Abk. ATM, dt. Asynchroner Transfer Modus; standardisierte Vermittlungs- und Multiplextechnologie für das B-ISDN mit speicherorientierter Nutzdatenübertragung in Form adressierter Zellen fester Länge; realisiert in den drei untersten Schichten der OSI-Architektur. Bitraten je nach Bedarf möglich, indem bei breitbandigen Diensten mehr ATM-Zellen je Zeiteinheit abgeschickt werden (25Mbit/sec bis 655Mbit/sec); garantiert Echtzeitbedingungen und Mindestübertragungsraten bei Übertragung von Multimediadiensten; erste Empfehlungen wurden 1990 von der CCITT herausgegeben; Standardisierung durch die Industrie vertreten durch das ATM-Forum.

ATM Adaption Layer

Abk. AAL; Unterebene der Datenübertragungsschicht; akzeptiert Daten von unterschiedlichen Anwendungen und verarbeitet diese für die ATM-Schicht in Form der 48-Byte Payload-Segmente der ATM-Zellen. Unterschichten sind Segmentierungs- und Reassemblierungssubschicht (SAR) sowie die Konvergenzsubschicht (CS). Differenziert sich vorwiegend auf Basis des Quelle-Senke Zeitbezuges. Definiert wurden die AAL1, AAL2, AAL3/4 sowie AAL5 Adaptionsprotokolle.

ATM-Forum

Internationale Organisation; 1991 von Cisco Systems, NET/ADAPTIVE, Northern Telecom und Sprint gegründet. Mittlerweile neben Netzausrüstern auch Netzanbieter aus der Sprach- und Datenkommunikation vertreten. Entwirft Standardisierungsvorschläge im weitestgehenden Einklang mit der ANSI und der ITU-T. Gesonderte Empfehlungen zur Lan-Emulation auf ATM-Basis (LANE).

ATM-Vermittlungsstelle

Abk. ATM-VSt., engl. ATM-Switch; Vermittlungsstelle für ATM-Zellen auf Basis eines synchron arbeitenden Schaltnetzwerkes; Zellen werden unabhängig voneinander vermittelt und auf virtuellen Verbindungen übertragen. Logische Verbindung in einem ATM-Netz ist gekennzeichnet durch virtuellen Kanal-/Pfadidentifikator (VCI/VPI), deren Werte sich auf einzelnen Übertragungsabschnitten ändern. ATM-Switch vermittelt VCs als auch VPs. Gegenstück: Cross-Connect mit ausschließlicher VP-Vermittlung.

ATM-Zelle

Einheitlich verwendet zur Übertragung der Nutznachricht (Payload), der Nachrichten für die Signalisierung (SAAL) sowie der Nachrichten für das Netz (OAM). Feste Länge von 53 Bytes, dabei 5 Bytes auf das Kopffeld und restlichen 48 Bytes für die Payload. Dabei unterschiedliche Zellen für die UNI und NNI Schnittstelle definiert.

Auditing

Dt. Mithören; längerfristige Überwachung eines laufenden Systems durch Protokollieren sicherheitsrelevanter Betriebsdaten. Daten bilden die Grundlage einer Analyse im Falle erfolgreich verlaufener Attacken.

Auktion

Marktinstitution mit expliziten Regeln; Begriff entstammt lateinischem Verb augere = vermehren. Ressourcenverteilung und Preis werden auf Basis des Bietprozesses der

Marktteilnehmer im Rahmen einer Versteigerung festgelegt. Differenziert nach Art der Preisbildung. Aufsteigender Preis bei der Englische Auktion, absteigender Preis bei der Holländischen Auktion. Die Vickrey-Auktion ist eine Höchstpreisauktion: Bieter mit dem höchsten Angebot erhält die Zuteilung, zahlt jedoch nur den Preis des zweithöchsten Angebotes.

Auktionator

Instanz, welche als Intermediär die Preisermittlung beim Bietprozeß innerhalb einer Auktion steuert. Tritt dabei i.d.R. als stellvertretender Verkäufer eines Gutes auf.

Authentifikation

Bezeichnet die Überprüfung, ob eine Entität A die vorgegebene Identität I vor einer Entität B auch wirklich zu Recht vertritt. Ebenso kann überprüft werden, ob vorliegende Daten auch wirklich von Identität I stammen. Zu unterscheiden ist die Identifizierung, bei der ein Schlüssel einer Identität zugeordnet wird.

Autorisierung

Vorgang der Definition und Überprüfung, welche Operationen von welchen Entitäten auf zu schützende Objekten ausgeführt bzw. explizit nicht ausgeführt werden dürfen.

Available Bit Rate

Abk. ABR; für Verbindungen, bei denen kein zeitlich fest definierter Zusammenhang zwischen Quelle und Senke bestehen muß; geringe Anforderungen an CTD, CDV und CLR; Beispiel: Distributed File Service oder RPC.

B

Bandbreite

Differenz zwischen oberer und unterer Grenze einer elektrischen Frequenz oder optischen Wellenlänge (B=Fo-Fu). Maß für die Datenmenge, welche innerhalb einer fest definierten Zeit über einen Übertragungskanal transportiert werden kann.

Blue Money

Fiktive Geldeinheit bzw. Währung; wird als Zwischengut bei der Generierung künstlicher Marktsysteme eingesetzt, besitzt jedoch keine Zuordnung zu einem realen Gegenwert, woduch eine Konvertibilität vorerst ausgeschlossen wird.

Broadband Inter Carrier Interface

Abk. B-ICI; Schnittstellenspezifikation des B-ISDN, welche die Kopplung von ATM-basierten Netzen verschiedener öffentlicher Diensteanbieter ermöglicht; auch als öffentliches Network Network Interface (public NNI) bekannt.

Broadband Integrated Services Digital Network

Abk. B-ISDN; öffentliches, intelligentes und dienstintegrierendes, an die Entwicklung des schmalbandigen (64-kbit/s) N-ISDN anschließendes Breitbandnetz, das konkret auf der Basis der ATM-Technologie realisiert wird. Bildet die Übertragungsplattform für multimediale Dienste. Siehe auch ISDN.

C

Call Admission Control

Abk. CAC, dt. Anrufsteuerung; zu unterscheiden von der Connection Admission Control. Regelt den Zugang einer Verbindungsanforderung insbesondere hinsichtlich der notwendigen Ressourcen an der Anschlußschnittstelle des gerufenen Teilnehmers.

Call by Call

Dt. Anruf für Anfruf; Wahlmöglichkeit für jedes (Fern-)Gespräch seitens des Verbindungsnetzbetreibers; vor der Orts- oder Mobilfunkvorwahl wird zusätzlich die entsprechende Verbindungsnetzbetreiberkennzahl gewählt.

Call Control

Dt. Anrufkontrolle; Kontrollinstanz, welche ein- bzw. abgehende Verbindungswünsche an den Anschlußpunkten (Access) überwacht. Im UNI-Bereich von der ITU durch Q.2931 standardisiert. Z.Zt. noch eng gekoppelt mit der Connection Control.

Call Termination Charge

Eine vom Netzanbieter bzw. Carrier erhobene Gebühr für die Weitervermittlung einer Kommunikationsverbindung bis zum Endteilnehmer.

Cell Delay Variation

Abk. CDV, dt. Zellverzögerungsvarianz; auch als Jitter bzw. Zelljitter bekannt; beschreibt die Schwankung der Zellankunftsrate beim Empfänger.

Cell Error Ratio

Abk. CER; Verhältnis der Anzahl fehlerhafter Zellen zur Gesamtanzahl aller vom Benutzer übertragenen Zellen innerhalb definierter Zeitperiode.

Cell Loss Priority

Abk. CLP; bei gesetzten CLP-Flag kann in Überlastsituationen die ATM-Zelle von einem Switch verworfen werden, um andere Zellströme ungestört vermitteln zu können.

Cell Loss Ratio

Abk. CLR; Verhältnis verloren gegangener Zellen zur Gesamtzahl aller vom Benutzer übertragenen Zellen innerhalb definierter Zeitperiode.

Cell Misinsertion Rate

Abk. CMR; Verhältnis der Anzahl fehlerhaft eingefügter Zellen zur Gesamtanzahl aller vom Benutzer übertragenen Zellen innerhalb definierter Zeitperiode.

Cell Transfer Delay

Abk. CTD, dt. Zellübertragungsverzögerung; die infolge von Übertragung, Pufferung, Multiplexing usw. netzbedingte Gesamtverzögerungszeit einer Zelle auf ihrem Weg von der Quelle bis zur Senke.

Common Channel Signaling System 7

Abk. CCSS7; dt. zentrales Zeichengabesystem Nr. 7; CCITT-Konzept zur Vermittlungssteuerung in digitalen Wählnetzen, wie ISDN oder IN (Intelligentes Netz). Arbeitet outband, d.h. mit separaten Übermittlungskanälen für die Signalisierungsinformation.

Connection Admission Control

Abk. CAC; dt. Verbindungskontrolle; Kontrollfunktion eines jeden Knotens im Netzwerk, welche insbesondere beim Verbindungsaufbau entscheidet, ob die notwendigen Ressourcen auch zur Verfügung stehen und die Verbindung akzeptiert werden kann. Global verallgemeinert durch die Generic Connection Admission Control (GCAC).

Connection Control

Dt. Verbindungssteuerung; Kontrollinstanz in Endknoten sowie involvierten Netzknoten einer Endverbindung; Überwachung insbesondere des QoS. Trennung von Call Control und Connection Control ist Ziel künftiger Signalisierungsprotokolle (CS-2, CS-3).

Constant Bit Rate

Abk. CBR; Verkehrsklasse mit garantierter, fester Bandbreitenzuteilung im ATM-Netzwerk; verwendet für unkomprimierte Audio-, Videodaten; harte Anforderungen seitens CTD und CDV sowie niedrige CLR.

Contract-Net Protokoll

Abk. CN-Protokoll; auf Ausschreibung basierendes Kooperationsprotokoll für die Verteilung von Aufgaben, Aufträgen, etc.. Unterscheidet Rolle von CN-Master und CN-Bidder.

Crankback

Rücksetzverfahren beim Routingprozeß in Verbindung mit der Suche einer alternativen Verbindung; der Vorgängerknoten in bisheriger Route muß dabei eine neue Teilroute berechnen.

Cross-Connect

Abk. CC; dt. Kreuzkoppler; spezieller ATM-Switch, welcher nur VPs vermittelt; unterschiedliche VPIs an den Ein- und Ausgängen des CC bei gleichbleibenden VCIs.

D

Deregulierung

Zurücknahme staatlicher Regulierung, worunter alle direkten, wirtschaftspolitisch motivierten Eingriffe des Staates zur Beseitigung von Marktmechanismen oder. zur Übernahme von Marktfunktionen bei fehlendem Markt verstanden werden können. Ende der 70er Jahre wurde in den USA eine allg. Deregulierung eingeleitet. Zunahme des Wettbewerbs und Effizienzsteigerung sind soweit als Ergebnis feststellbar.

Designated Transit List

Abk. DTL; Listendarstellung einer Sourceroute beim PNNI-Routing; Gesamtroute ergibt sich aus Teillisten und somit Teilstrecken, die in unterschiedlichen logischen Ebenen vervollständigt werden.

Dienst

Engl. Service; (1) I.a. Unterstützung des Transports von Informationen in bestimmter Nachrichtenform von einer Quelle zu einer Senke. (2) Im OSI-RM der Leistungsumfang einer Kommunikationsschicht mit Hilfe des Schichtprotokolls. (3) Unspezifische Be-

zeichnung für das Produkt eines öffentlichen oder privaten Anbieters von Telekommunikationsdiensten, wie Datex-P, E-Mail, GSM-Mobilfunk.

Dienstanbieter

Engl. Service Provider; vom Netzbetreiber ermächtigte Organisation oder Gesellschaft, Dienste oder veredelte Mehrwertdienste seines Netzes zu vertreiben und abzurechnen. Netzanbieter stellt hierfür i.d.R. Übertragungsdienste (Bearer Services) zur Verfügung.

Dienstklasse

Synonym: Dienstkategorie; von der ITU verabschiedete Klassifikation möglicher Breitbanddienste in vier Kategorien mit gleichartigen Übertragungsanforderungen. Definiert wurden die Dienstklassen A bis D. Seitens der Charakteristik der erzeugten Zellströme entsprechen ihnen die Verkehrsklassen CBR, rt-VBR und nrt-VBR, ABR sowie UBR.

Distributed Artificial Intelligence

Abk. DAI, dt. Verteilte Künstliche Intelligenz (VKI); Disziplin innerhalb der KI-Forschung, die sich mit der Untersuchung verteilt arbeitender, miteinander kooperierender Softwareentitäten, oft auch Agenten genannt, beschäftigt. Erste Anfänge zu Begin der 80er Jahre; wesentliche Aspekte stellen hier die 3K’s dar.

E

Elektronisches Geld

Engl. Electronic Cash; Abk. E-Cash; Oberbegriff für den elektronischen Zahlungsverkehr im Internet und in Online-Diensten; ein allgemeiner Standard existiert z.Zt. noch nicht.

Elektronischer Handel

Abk. EC, engl. Electronic Commerce; umfaßt alle durch die Möglichkeiten der Informations- und speziell der Kommunikationstechnologie unterstützten Handelsaktivitäten; EC ist somit keinesfalls auf Anwendungen des Internets beschränkt.

Elektronischer Markt

Abk. EM; engl. Electronic Market; im engeren Sinne mit Hilfe der Telematik realisierte Marktplätze, d.h. Mechanismen des marktmäßigen Tausches von Gütern und Dienstleistungen, die alle Phasen der Transaktion unterstützen. Wenn nicht alle Phasen unterstützt werden, so wird von Elektronischen Märkten im weiteren Sinne gesprochen.

Elektronischer Marktplatz

Abk. EMP; engl. Electronic Marketplace; spezielle Form eines Elektronischen Marktes; Informationssystem im Anwendungskontext Elektronischer Märkte, mit dessen Hilfe ein privater Nutzer von seinem Standort aus über telematische Systeme Markttransaktionen anbahnen, abschließen und abwickeln, als auch mit anderen Marktteilnehmern kommunizieren kann.

F

Facility-based Interconnection Payment

Abrechnungsverfahren zwischen Netzanbietern, bei dem der reine Ressourcenverbrauch für die Rechnungsstellung maßgeblich ist; dem stehen die Pauschalvergebührungen mit fest definierten Preisen gegenüber.

Frame Relay

Abk. FR; Variante des Fast-Packet-Switching; transparentes, verbindungsorientiertes Paketprotokoll der Schicht-2 mit variabler Paketlänge, basierend auf CCITT Q.922 (LAPD); Flußkontrolle und Übertragungssicherung bei den Endsystemen; FR übt Fehlerüberwachung aus, d.h. nur korrekte Pakete werden weitergeleitet (relayed), fehlerhafte Pakete aber vernichtet -> höherer Durchsatz und geringere Verzögerungen. PVCs zwischen Endsystemen möglich; schnelle Übertragungsraten (z.Z. 2-Mbit/s) insbesondere für die LAN-Kopplung (WAN-Backbone) und Host-Computer-Anwendungen.

G

Gatewaymarktplatz

Abk. GM; engl. Gateway Marketplace; spezielle Ausprägung eines ATM-Switches, bei dem die Ressourcenallokation auf Zellebene auf der Grundlage marktbasierter und autonom vollzogener Verhandlungsmechanismen basiert.

Generic Connection Admission Control

Abk. GCAC; netzweit einheitliche Entscheidungsfunktion zur Überprüfung, ob auf entfernten Knoten ausreichend Ressourcen für Verbindungsaufbau zur Verfügung stehen. Gegenstück: lokale Connection Admission Control (CAC).

Generic Cell Rate Algorithm

Abk. GCRA; Referenzalgorithmus zur Überwachung der Konformanzbedinung von Zellraten gemäß ihrer Verkehrskontrakte. Bsp.: Leaky Bucket Algorithmus.

Green Money

Real existierende, konvertible Währung. Gegenstück: Blue Money.

Grenzkosten

Entspricht bei Anbieter bzw. Käufer dem Schwellwert für eine Produktvariante, die nicht unter- bzw. überschritten werden darf.

Grenzkostenfunktion

C(1)-Funktion bei Anbieter und Käufer, welche zulässige Produktvarianten auf die ihr zugeordneten Grenzkosten abbildet.

H

Hash

Dt. digitaler Fingerabdruck (fingerprint); nicht umkehrbare effizient berechenbare Einwegfunktion, mit deren Hilfe ein Datenblock auf eine eindeutige Kenngröße (Kollisionsfreiheit) - den Hash - komprimiert wird. Zur Sicherstellung der Integrität wird der Hash signiert. Dieses Verfahren vermeidet die zeitintensive Berechnung der Signatur über den kompletten Datenblock. Typische Größen zwischen 128 und 256 Bits.

I

Illokutionär

Aspekt des Sprechaktes im Hinblick auf seine rein kommunikative Funktion, z.B. Auffoderung, Frage, Bemerkung usw..

Informationsphase

Phase I des allg. Markttransaktionsmodells; Anbieter und Nachfrager verschaffen sich hier Überblick über den Markt mittels Informationen über Leistungen, potentielle Partner (Branchen, Technologien etc.). Abschließend Eintritt in die Vereinbarungsphase.

Integrated Services Digital Network

Abk. ISDN; dienstintegrierendes, digitales Telekommunikationsnetz; integriert Kommunikationsbausteine für Sprache, Text, Daten und Bild. Übertragungsrate von 2*64kbit/s ist Grundlage des N-ISDN. Bei Einsatz eines Breitbandübertragungssystems wie ATM mit 2 bis mehr als 640Mbit/s wird anstelle von N-ISDN von B-ISDN gesprochen.

Intelligenter Agent

Agent, welcher über Wissen seitens seiner Umwelt, Problemdomäne, u.a. verfügt. Die Intelligenz folgt aus dem Prozeß der Wissenverarbeitung (Inferenz) und Auswertung. Unterschieden wird die individuelle von der kollektiven Intelligenz einer Agentensozietät, welche auf ihrer Eigenschaft zur Kooperation beruht.

Intermediär

Dt. Mittler; unterstützen Durchführung von Markttransaktionen; Unterscheidung nach: Sammlung (Aggregation) von Angebot oder Nachfrage (Großhändler), Schutz (Protection) vor opportunen Marktteilnehmern, Erleichterung (Facilitation) des Informationsaustausches sowie das Zusammenfinden (Matching) von Anbietern und Nachfragern.

International Telecommunication Union

Abk. ITU, dt. Internationale Fernmeldeunion; weltweit tätige Organisation, die den Aufbau und den Betrieb von Telekommunikationsnetzen und -diensten koordiniert. Nach Neukonstitution in 1994 in drei Sektoren (Büros) mit Wegfall der ITU-Komitees CCITT und CCIR. Ablösung der bisherigen CCITT-Empfehlungen durch die entsprechenden Empfehlungen des ITU-TSS (ITU Telecommunication Standardization Sector) unter der Bezeichnung ITU-TS (Telecommunications Standards).

Intention

Absicht, Vorhaben im weiteren Sinne; in der DAI wird mit Intentionen der mentale Zustand Intelligenter Agenten modelliert.

J

Java Intelligent Agent Components

Abk. JIAC; am DAI-Labor entwickelte ‚vollständig JAVA-basierte Agentenarchitektur inklusive der, den Entwicklungsprozeß begleitenden Werkzeuge zur Generierung agentenbasierter TK-Anwendungen.

Jitter

Wenn beim Digitalsignal die Zeitpunkte des Überganges zwischen den Signalelementen um den idealen Zeitpunkt wechseln, dann wird von einem Jitter gesprochen. Mathematisch das stochastischen Schwanken der Flanken eines realen Datensignales um die Sollzeit des Nulldurchganges. Bei der Datenübertragung gibt der Delay Jitter die Schwankung der Verzögerungszeiten zwischen den bei der Senke eintreffenenden Datenpaketen an.

K

Kanal

Gerichteter Übertragungspfad für Nachrichtensignale und/oder Nachrichten. Differenzierung nach Verwendung: Telefonkanal, Datenkanal. Übertragungsmedium: Funk- oder optischer Kanal. Funktionsprinzip: Zeit- oder logischer Kanal.

Knoten

Synonym: Netzknoten; adressierbarer Verzweigungspunkt in einem Kommunikationsnetz, meist mit Funktionen zur Unterstützung von Benutzeranschlüssen (Anschlußknoten) und zur Bereitstellung gewählter Verbindungen (Vermittlungsknoten).

Kommunikation

Einseitiger/wechselseitiger Informationsaustausch zwischen Menschen und/oder technischen Einrichtungen. Bei räumlicher Distanz liefert Nachrichtenübertragungstechnik die Basis für die Kommunikation (->Kommunikationssystem).

Kontrollagent

Von einem MOBAG durch Replikation generierter Agentenklon mit modifizierter Zielvorgabe; überwacht abgehenden Teilverbindung auf einem GM seitens QoS. Führt gegebenenfalls Neuverhandlungen mit gleichen/alternativen Anbietern durch. Stellt eine konzeptuelle Erweiterung zum herkömmlichen Connection Control Process dar, indem die Interessen des Verbindungsinitiators auf den unmittelbar VSts vertreten werden.

Konvention

Verhaltensregel für autonom agierende Teilnehmer in einem System. Bei Agenten definieren Konventionen die Regeln für „sozialen“ Umgang miteinander; Verhandlungskonventionen stellen gültige Menge rollenspezifischer Verhaltensregeln dar, die während des Verhandlungsprozesses von den beteiligten Instanzen bzw. Akteuren zu beachten sind.

Konvergenz

Allgemeiner Begriff zur Charakterisierung des Aufeinanderzustrebens zweier oder mehrerer Prozesse seitens eines oder mehrerer interessierender Kenngrößen. Bei Verhandlungen wird die Preis- von der Parameterkonvergenz unterschieden.

Kooperation

Definiert in der DAI die koordinierte Zusammenarbeit von zwei oder mehr Agenten zur möglichst optimalen Erreichung ihrer Ziele. Rollen ermöglichen Zuweisung gruppenspezifischer Funktionalitäten/Aufgaben und werden in Kooperationsprotokollen ausgeführt. Bekanntestes Beispiel ist hierzu das „Contract Net“ (CN).

Koordination

In der DAI die Abstimmung von Vorgängen oder aber Aktionen mit dem Ziel, zwischen ihnen einen wohldefinierten Zustand des Einklangs zu erzielen. Drückt den Kontrollaspekt einer kooperativ erfolgenden Problemlösung aus.

Koppelfeld

In Vermittlungsstellen der Funktionsblock, wo Leitungen, Pakete oder Zellen von den Eingängen auf entsprechende Ausgänge geschaltet bzw. übertragen werden. Insofern mit der Funktionalität von Multiplexern vergleichbar.

Kryptografie

Dt. Verschlüsselung; umfassende Bezeichnung der zum Schutz vertraulicher Informationen konzipierten Kodierungsverfahren. Unterschieden werden symmetrische und asymmetrische Verschlüsselung. Symmetrische Secret-Key-Verschlüsselung basiert auf einem geheimen Schlüssel zur Kodierung (Chiffrieren) und Dekodierung (Dechiffrieren) einer Nachricht. Bei asymmetrischer Public-Key-Verschlüsselung werden ein öffentlicher und ein privater/geheimer Schlüssel verwendet. Mit öffentlichem Schlüssel wird verschlüsselt und mit geheimem Schlüssel entschlüsselt. Bei der Authentifizierung wird mit dem geheimen Schlüssel eine Signatur erzeugt, deren Korrektheit mit dem öffentlichen Schlüssel verifiziert werden kann.

Kundenagent

Abk. MOBAG; mobiler, intelligenter Kundenagent; zuständig für den Aufbau einer End-to-End Verbindung in einem ATM-Netzwerk. Verhandelt hierzu mit Anbieter von VCs auf den GMs (s.a. Kontrollagent). Kann sich bei parallelem Verbindungsaufbau replizieren (klonen) und Geschwisteragenten generieren.

L

Leaky Bucket Algorithmus

Zellratenüberwachung für Konformanzbedingungen an der UPC oder auch NPC; pro ankommender Zelle wird ein Zähler inkrementiert, der zu festen Zeitpunkten wieder dekrementiert wird; Vorgegebener Schwellwert darf dabei nicht überschritten werden.

Least Cost Routing

Spezielles Routingverfahren; wählt ohne Zutun des Teilnehmers jeweils preisgünstigste (Fern)-Verbindung und reduziert Telefonkosten; erforderliche Tarifdaten werden durch regelmäßige Fernwartung auf dem aktuellen Stand gehalten.

Leitungsvermittlung

Engl. Circuit Switching; herkömmliches verbindungsorientiertes (Connectionoriented Mode) Vermittlungsverfahren, das die Kopplung aller Netzteilstrecken bis zur physikalischen Durchschaltung der Ende-zu-Ende-Verbindung vornimmt. Die leitungsvermittelte Temporärverbindung beschränkt sich ausschließlich auf Funktionen der Bitübertragungsschicht. Entsprechend der physikalischen Durchschaltung wird die Leitungsdurchschaltung und die Kanaldurchschaltung (Kanalvermittlung) unterschieden.

Link

Physikalische Übertragungsverbindung zwischen zwei vermittlungstechnischen Einrichtungen in einem Netzwerk (s.a. Link State Attribute/Link State Vektor). Synonym auch für logische ATM-Kanäle/Pfade (VCL bzw. VPL) im Access-Bereich verwendet.

Link State Attribute

Dt. Linkstateattribut; charakterisiert eine Eigenschaft eines Links wie bspw. seine Gesamtbandbreite o.ä.

Link State Vector

Dt. Linkstatevektor; Informationsmenge, welche alle relevaten Eigenschaften eines Links in einem Netzwerk anhand vordefinierter Attribute charakterisiert.

Liquidität

(1) Zahlungsfähigkeit; flüssige Mittel (Geld) für Investitionen. (2) In Märkten wie bspw. Börsen der Zustand, in dem stets Angebot und Nachfrage für eine Ware besteht. Hohe Liquidität führt zu einer geringer Differenz zwischen Geld- und Briefkurs.

Local Connection Admission Control

Abk. LCAC; Lokale Kontrollfunktion in einem Knoten und hier insbesondere eines GMs, welche Verbindungswünsche auf Basis der aktuellen Ressourcenlage entscheidet.

Lokutionär

Aspekt des Sprechaktes seitens Artikulation, Konstruktion und Logik der Aussage (s.a. illokutionär und perlokutionär).

M

Market-Oriented Programming

Dt. Marktorientierte Programmierung; Abk. MOP; Paradigma des Systementwurfes, bei dem die marktbasierte Ressourcenverteilung das Fundament bildet. Maßgeblich beeinflußt durch Wellmann, Huberman und Clearwater.

Marketplace Connection Admission Control

Abk. MCAC; spezifzische Entscheidungsfunktion, welche die Migration eines MOBAG auf einen Marktplatz unter Berücksichtigung der aktuellen Ressourcensituation regelt. Ist zu unterscheiden von der LCAC und der PCAC hinsichtlich der Verbindungsressourcen.

Markt

Abstrakte Zusammenfassung des Zusammentreffens von Angebot und Nachfrage; in der Wirtschaftswissenschaft Gesamtheit der ökonomischen Vorgänge, die sich zwischen Anbietern und Nachfragern eines Gutes, einer Güterkategorie oder anderer Vermögensobjekte in Bezug auf deren Tausch abspielen.

Marktplatzmanager

Abk. MM; „Third Party“-Instanz ohne eigene geschäftliche Interessen; führt auf einem GM administrierende Aufgaben durch, wie Registrieren/Deregistrieren, Makeln, Kontrolle von Verhandlungsprozessen, Verteilung der Linksstate-/Nodestatevektoren u.a. Repräsentiert üblicherweise den Besitzer des Marktplatzes.

Markttransaktion

Endliche Menge von Interaktionsprozessen zwischen Marktteilnehmern in unterschiedlichen Rollen mit dem Ziel, eine vertragliche Vereinbarung seitens des Austausches von Gütern anzubahnen, zu vereinbaren und abzuwickeln.

Maximum Burst Size

Abk. MBS; maximale Anzahl der kontinuierlich mit PCR gesendeten Zellen; im Netzwerk ein Maß für die Größe der Pufferreservierung.

Metasignalisierung

Signalisierung der Signalisierung; Sonderfall innerhalb von ATM-Netzwerken, bei dem der Signalisierungskanal für die Steuerung der eigentlichen Nutzverbindung mittels vordefinierter Verfahren erst aufgebaut werden muß.

Multiagentsystem

Abk. MAS; Gegenstück: DPS; gemäß Durfee ein lose gekoppeltes Netzwerk von Problemlösern, welche kooperativ ein Problem lösen, das jeder einzelne von ihnen zu lösen nicht imstande ist.

N

Nash-Gleichgewicht

Von John Nash entwickelte paretooptimale Lösungsform (->Nash-Produkt) eines kooperativen Zweipersonenspiels, deren Nutzenfunktionen hierzu konvex sein müssen.

Netzwerkebene

Synonym: Vermittlungsschicht, engl. Network Layer; Schicht 3 des OSI-RM, die aufbauend auf der Bitübertragung und Übertragungssicherung der Netzteilstrecken, transparente End-zu-End-Datenpfade zwischen den kooperierenden Endsystemen etabliert. Umfaßt alle Funktionen wie Wegeauswahl (Routing), Betriebsmittelzuordnung und Multiplexen, um Daten von ihrem Entstehungsort zum Zielort zu transportieren. Beispiele: Vermittlung gemäß CCITT V.25bis, X.25/3, IP oder I.450/451.

Node State Vector

Dt. Nodestatevektor; Menge von Attributen, welche den Zustand eines Netzknoten, hier i.W. eines GMs, zu definiertem Zeitpunkt charakterisiert.

Nutzen

Generell Umschreibung der Summe der Vorteile, die ein Akteur aus seiner momentanen Situation heraus erlangen kann; hierzu zählen vorweigend seine wirtschaftlichen Vorteile. Eine entsprechende Abbildungsvorschrift heißt in diesem Kontext Nutzenfunktion.

Nutzkanal

Kanal innerhalb eines Netzes, über den die sogenannten Nutzdaten laufen; hier werden keine Signalisierungs- oder sonstige Steuerungsdaten übertragen. Beim N-ISDN stellen die B-Kanäle die Nutzdatenkanäle dar.

O

Offlinefähigkeit

Die Eigenschaft, ohne permanente Verfügbarkeit einer Netz- oder Kommunikationsverbindung Dienste nutzen zu können; unterscheidet, ob Zieldienst lokal auf dem Endgerät ausgeführt wird (z.B. offline-Newsreader), oder aber im Netz und somit ohne Benutzerdialog aktiv ist, wie z.B. durch intelligente Agenten als Mediatoren auf einem Marktplatz.

Ontologie

Die Lehre vom Seienden, seinen Eigenschaften im Allgemeinen, seinen Arten und Stufen, dem Verhältnis zum Sein, zum Dasein, zum Wesen. Formale Ontologien und Logiken haben in der KI beide den Zweck, die Welt in Strukturen abzubilden und zu einer Kategorisierung des Wissens zu führen.

Open Network Provisioning

Abk. ONP; EG-Konvention europaweit harmonisierter Bedingungen für den gleichberechtigten Zugang zu öffentlichen Netzen und Telekommunikationsdiensten (Monopoldiensten). Europäische Version der Open Network Architecture oder ONA aus den USA.

Open Systems Interconnection-Reference Modell

Abk. OSI-RM, Synonyme: ISO-Modell, OSI-Architektur; von der ISO entwickelter globaler Rahmen zur Standardisierung "Offener Kommunikation" zwischen kooperierenden Systemen. Der Rahmen zerlegt, losgelöst von speziellen Implementierungen, den Funktionskomplex Kommunikation in sieben schichtdiskrete, hierarchische Teilprozesse, die in die 7 OSI-Schichten eingebettet sind.

Oszillation

Synonym: Schwingung; Oszillationen bei der Ermittlung der Netzwerktopologie resultieren aus dem Umstand, daß eine initiale Störung bzw. Änderung eine zyklische Kettenreaktion bei der Änderungsmitteilung an die Nachbarknoten verursacht.

P

Paketvermittlung

Engl. Packet Switching, Variante der Nachrichtenvermittlung; zu übertragende Nachricht wird in einzelne Nachrichtensegmente zerlegt und unter Zwischenspeicherung (Store-and-Forward) von Teilstrecke zu Teilstrecke bis hin zur Zielstation durchgereicht. Gegenstück: Sendungsvermittlung mit ungeteiltem Nachrichtentransport. Bsp.: Datagrammdienst (Connectionless Mode) und die virtuelle Verbindung (Connectionoriented Mode).

Parameterraum

Umfaßt alle für ein Produkt zulässigen Paramterkombinationen bzw. Parametervektoren mit p Attributen aus dem Vektorraum $\Re^p$.

Parametervektor

Ein Vektor aus dem Parameterraum $\Re^p$.

Pareto-Optimalität

Zustandseigenschaft innerhalb eines Verhandlungsprozesses, bei welchem die Nutzenverbesserung eines Teilnehmers nur durch die Verschlechterung des Nutzens anderer Teilnehmer erreicht werden kann (->soziale Fairneß).

Peak Cell Rate

Abk. PCR, dt. Spitzenzellrate; maximal zu erwartende Anzahl an Zellen, welche von einer Quelle emittiert werden können.

Performativ

Eine mit einer Äußerung beschriebene Handlung, die zugleich auch vollzogen wird, wie z.B. „Ich gratuliere Dir!“.

Perlokutionär

Sprechaktaspekt im Hinblick auf Konsequenzen der Aussage, der Sprechhandlung, z.B. Gedanken/Handlungen des Hörers, die der Äußerung als Plan/Absicht zugrunde liegt.

Permanent Virtual Circuit

Abk. PVC, dt. virtuelle Festverbindung (FVV); dauerhaft eingerichtete, virtuelle Verbindung eines Paketnetzes, die zwei Stationen fest miteinander verbindet; ihre Aktivierung erfolgt durch die Netzzentrale. Gegenstück: Geschaltete virtuelle Verbindung (SVC).

PNNI-Routing

Vom ATM-Forum empfohlenes Routingverfahren für private ATM-Netzwerke. Unterstützt QoS-basierte Routensuche und definiert logische Hierarchie innerhalb des Netzes inkl. Verdichtung von Topologieinformationen.

Preisabschlag

Spanne, um die der maximale Geldwert einer Ware/Leistung zugunsten einer strategisch flexibleren Verhandlungsführung erniedrigt wird.

Preisaufschlag

Pendant zum Preisabschlag, nur das hier auf den Mindestwert einer Ware/Leistung eine gewisse Geldmenge hinzuaddiert wird.

Preisfunktion

C(1)-Funktion vom Raum $\Re^p$ beschreibender Parameter in den reellwertigen Raum der Preise für gültige Parameterkombination.

Q

Quality of Service

Abk. QoS, dt. Dienstqualität bzw. Dienstgüte; Attributmenge, die den Dienst in seiner funktionalen Leistungsfähigkeit charakterisiert; ist für Dienste aller OSI-Schichten definierbar und muß auf QoS in Anspruch genommener Dienste der jeweils nächst niederen Schicht abgebildet werden. Typisch sind Fehlerraten, Bandbreiten, Frameraten, etc.

R

Rationalität

Vernunftmäßigkeit im Verhalten eines Agenten, welcher alle seine Aktionen unter der Zielvorstellung, seinen Nutzen zu optimieren, plant und durchführt.

Reaktivität

Gegenwirkung; im Agentenkontext wird hierunter die Fähigkeit verstanden, auf eintreffende Anforderungen bzw. Ereignisse zielgerichtet reagieren zu können.

Reflexivität

Eigenschaft des Sichrückbeziehens; bei Agenten äußert sich Reflexivität in der Fähigkeit, sich selbst im umfassenderen Kontext seiner Umgebung einzuordnen und zu bewerten.

Rerouting

Vollständige oder auch nur partielle Wiederholung des Routingprozesses im Falle des Fehlschlagens bei der Durchsetzung einer Sourceroute.

Route

Auch Leitweg genannt; ausgewählte Verbindung zwischen zwei Datenstationen. Der Prozeß der Wegsuche wird als Routing bezeichnet und von einem Router entweder zentral oder verteilt durchgeführt.

Router

Synonym: Intermediate System (IS); Software- und Hardware-Konfiguration zur adaptierenden Verbindung zweier oder mehrerer physikalischer Netze mittels einem Schicht-3-Protokoll. Der Router ermöglicht die Wegewahl basierend auf Routingentscheidungen wie Entfernung, Transportkosten, Verfügbarkeit von Ressourcen u.a.. Im Internetbereich werden Router abweichend auch als Gateways bezeichnet.

S

Schlüssel

Engl. Code; Ziffernfolge, mit der Daten kodiert werden. Schlüssel ist vom verwendeten Algorithmus bzw. Verfahren abhängig. Längere Schlüssel sind i.d.R. schwieriger zu brechen. Differenzierung erfolgt u.a. nach Gültigkeitsdauer eines Schlüssels. Von einer CA signierte Schlüssel werden zu Zertifikaten.

Schlüsselverteilzentrum

Engl. Key Distribution Center (KDC); Element innerhalb einer öffentlichen Schlüsselinfrastruktur (PKI), welche die Verwaltung und Verbreitung von Schlüsseln übernimmt.

Sender keeps all

Vorschlag für ein Vergebührungsverfahren, bei dem der Carrier des die Verbindung initiierenden Teilnehmers alle von diesem erhobenen Gebühren einbehält und hiervon keine Abgaben an sekundäre Carrier abgeführt werden.

Sicherheit

Engl. Security; beschreibt den Zustand, in welchem Schutz vor Mißbrauch gewährleistet ist. Kryptografie stellt hierzu Mechanismen zur Verfügung. Sicherheit vor Mißbrauch ist zu unterscheiden von der Ausfallsicherheit bzw. Zuverlässigkeit (Safety) von Systemen.

Sicherheitsagent

Abk. SA; engl. Security-Agent; neben dem Marktplatzmanager (MM) weitere Instanz in der Infrastruktur eines GMs. Der SA bietet Sicherheitsdienstleistungen an wie Authentifikationen, gesicherte Vertragsabschlüsse oder die Übermittlung von Zertifikaten.

Signalisierung

Umfaßt alle Aktivitäten zum Aufbau, zur Kontrolle und zum Abbau von Nutzverbindungen. Übermittlung der Signalisierungsnachrichten erfolgt innerhalb eines eigenen, auf Signalisierungskanälen basierenden Netzes (s.a. CCSS7).

Signalisierungskanal

Auch Zeichengabekanal; speziell für die Übertragung von Signalisierungsnachrichten eingerichteter Kanal zwischen zwei Signalisierungsinstanzen. Bei gleicher Route von Signalisierungskanal und Nutzverbindung wird von assoziierter Signalisierung gesprochen.

Signatur

Digitale Unterschrift; basiert auf asymmetrischen Schlüsselpaaren, wobei i.d.R. ein Hash vom Zieldokument mit dem privaten Schlüssel signiert wird. Der Empfänger kann mit dem öffentlichen Schlüssel die Authentizität dieser Signatur überprüfen.

Sourceroute

Bezeichnung für einen vorberechneten und somit festgelegten Leitweg innerhalb eines Netzwerkes. Gegenstück: dynamische Route (Hop-by-Hop Routing).

Sprechakt

Engl. Speech-Act; Element in der Sprechakttheorie gemäß Austin und Searle, auf dessen Basis kommunikatives Handeln durch Verwendung von Performativen ermöglicht wird. Definition erfolgte in Anlehnung an den menschlichen Sprachgebrauch.

Strategie

Allgemein Entwurf und Durchführung eines Gesamtkonzeptes, nach dem der Handelnde ein bestimmtes Ziel zu erreichen sucht (->Spieltheorie).

Sustainable Cell Rate

Abk. SCR, dt. Dauerzellrate; mittlere Anzahl an Zellen, welche über einen definierten Zeitraum eine Verbindung passieren.

Switched Virtual Circuit

Abk. SVC, dt. Geschaltete Virtuelle Verbindung (GVV) bzw. Wählverbindung; temporär eingerichtete virtuelle Verbindung innerhalb eines Paketnetzes; Gegenstück: PVC.

T

Telekommunikationsdienst

Abk. Tk-Dienst; Gesamtheit all der Funktionen, Protokolle und Eigenschaften, die für die Abwicklung einer bestimmten Kommunikation wie z.B. Sprach-, Bild-, Text- oder Datenkommunikation zur Verfügung stehen.

Telematikdienst

Synonym: Teledienst; Sammelbezeichnung für Tk-Dienste mit Standardisierungstiefe über alle OSI-Schichten inkl. der Endgerätefunktionen zur Gewährleistung umfassender Kompatibilität; Gegenstück: Übermittlungsdienst; Beispiele: Telex, Telefax und Datex-J.

Topologie

Geographische Struktur eines Netzwerks; Basistopologien sind Stern, Bus, Baum, Ring und das Maschennetz. Differenzierung nach installations-/übertragungstechnischer und logischer Ausprägung.

Tradinggaph

Aus der Menge m-günstigster Wege generierter, gerichteter Graph, welcher für jeden Knoten und jeden seiner abgehenden Links die Restkosten zum Zielknoten enthält.

Traffic Contract

Dt. Verkehrsvertrag; bindende Abmachung zwischen dem Netz und seinem Nutzer hinsichtlich des durch den Traffic Descriptor sowie weiterer QoS-Attribute charakterisierten Zellstroms. Durchsetzung und Überwachung erfolgt im ATM-Netzwerk an der UNI mittels der User Parameter Control (UPC) sowie der NNI mittels der Network Parameter Control (NPC), wo die Konformanzbedingungen eingehalten werden müssen.

Traffic Control

Dt. Verkehrskontrolle; Überwachungsfunktionalität, mit deren Hilfe in Telekommunikationsnetzen Überlast- und Stausituationen erkannt und behoben oder aber präventiv vermieden werden können. Beispiele: Forward- und Backward Congestion Control im ATM.

Traffic Descriptor

Dt. Verkehrscharakteristik; beschreibt das Verkehrsaufkommen einer Kommunikationsverbindung in einem ATM-Netzwerk seitens seiner zeitlichen sowie räumlichen Ausprägung anhand vordefinierter Kennzahlen. Bestandteil des Traffic Contracts.

U

Übermittlungsdienst

Engl. Bearer-Service, auch Übertragungsdienst; allg. standardisierte Klasse netzgeprägter Kommunikationsdienste der unteren drei Schichten des OSI-RM mit weitgehend anwendungsneutralen Transportfunktionen im harmonisierten europäischen ISDN; Verantwortung für die Kompatibilität in unregulierten Schichten liegt beim Anwender; typische Vertreter: Datex-P (X.25) und Frame-Relay. Gegenstück: Telematikdienste.

Unspecified Bit Rate

Abk. UBR, dt. Restbitrate; ATM-Verkehrsklasse, die jeweils verfügbare Restbandbreite auf einer Verbindung zur Verfügung stellt. Keine Anforderungen seitens CTD, CDV oder CLR. Beispiel: E-Mail oder News-Übertragung.

V

Value Added Service

Abk. VAS, dt. Mehrwertdienst; Sammelbezeichnung höherschichtiger, anwendungsnaher Kommunikationsdienste auf der Basis rechnergestützter Netzwerke. Beispiele: Datex-J, Electronic Mail, Electronic Data Interchange (EDI) und Remote Job Entry (RJE).

Variable Bit Rate

Abk. VBR; bei rt-VBR hohe Anforderungen an CTD und CDV; möglichst kleine CLR; Beispiel: komprimierte Videoübertragung; bei nrt-VBR nur hohe Anforderungen an CTD und möglichst kleine CLR.

Vereinbarungsphase

Zweite Phase des allgemeinen Markttransaktionsmodells; Verhandlung der Konditionen (Preis, Leistungsumfang, Lieferbedingung, etc.), zu denen ein Vertrag zwischen Anbieter und Nachfrager verbindlich werden kann.

Vergebührungssystem

Engl. Accounting-System; besteht aus den Phasen Metering bzw. Accounting, Charging, Pricing und Billing. Accounting = konkrete Messung der Ressourcennutzung in Abh. von Zeiten, Volumina etc. Charging = Überführung dieser Accounting-Records in reale Geldwerte. Pricing bzw. Tariffierung = Integrale Preisfestlegung für einen Dienst. Billing = Rechnungslegung gegenüber Kunden.

Vermittlung

Umfaßt alle Funktionen, um Daten vom Entstehungsort (Quelle) zum Zielort (Senke) zu transportieren, wie Wegeauswahl (Routing), Betriebsmittelzuordnung und Multiplexen. Bekannte Konventionen der Vermittlungsschicht sind: CCITT V.25bis, X.25/3, IP oder I.450/451.

Virtual Channel

Abk. VC, dt. virtueller Kanal; logischer, unidirektionaler Kommunikationskanal für die Übertragung von Zellen in einem ATM-Netzwerk.

Virtual Channel Connection

Abk. VCC, dt. virtuelle Kanalverbindung; Sequenz von VCs, die zwei Endteilnehmer eines ATM-basierten Dienstes miteinander verbindet. VCCs sind unidirektional.

Virtual Channel Identifier

Abk. VCI, dt. virtueller Kanalidentifikator; 16-Bit breite Kennung im ATM-Zellkopf, mit der ein VC zwischen zwei ATM-Vermittlungsstellen eindeutig identifiziert werden kann;

Virtual Channel Link

Abk. VCL; Teil einer ATM-Übertragungsstrecke zwischen dem Punkt, wo ein VCI eingetragen wird und dem Punkt, wo er verändert oder gar entfernt wird.

Virtual Path

Abk. VP, dt. virtueller Pfad; Bündel von VCs. VPs sind unidirektional. Mit ihrer Durchschaltung werden ebenfalls alle in ihr enthaltenen VCs durchgeschaltet.

Virtual Path Connection

Abk. VPC, dt. virtuelle Pfadverbindung; Sequenz von VPs, die zwei Endsysteme eines ATM-basierten Kommunikationssystems miteinander verbindet.

Virtual Path Identifier

Abk. VPI, dt. virtueller Pfadidentifikator; Kennung im ATM-Zellkopf (8 Bits am UNI, 12 Bits am NNI), welche den Pfad, über den die Zelle geroutet werden soll, anzeigt.

Z

Zertifikat

Dokument, welches die Zugehörigkeit eines öffentlichen Schlüssels (public key) zu einer Identität gewährleistet und zu diesem Zweck von einer vertrauenswürdigen Zertifikatsstelle (Certification Authority, CA) signiert worden ist. Delegierbare Zertifikate (Delegation Certificates) stellen eine Sonderform für die Weitergabe von Rechten dar.

Zertifizierungsstelle

Engl. Certification Authority; Abk. CA; Instanz, welche einen öffentliche Schlüssel einer Identität zuordnet. CA muß hierzu das Vertrauen der Identitäten genießen. Verteilung der Zertifikate erfolgt über die Schlüsselverteilzentren.

Teil A

Einführung

KAPITEL 1 Einleitung

1.1 Motivation

Im Bereich der Telekommunikation finden zur Zeit umwälzende Veränderungen statt, für die sowohl technische wie auch politische Trends verantwortlich sind. Schon 1990 verabschiedete bspw. die ITU-TS[1] - im folgenden kurz ITU genannt - eine Reihe von Standards, in welchen die Konzepte für ein breitbandiges, dienstintegrierendes Netz (Broadband Integrated Services Digital Network, B-ISDN) niedergelegt worden sind ([I44],[I21],[I20]). Ausgehend von den Erfahrungen bei der Standardisierung des schmalbandigen, dienstintegrierenden Netzes (Narrowband Integrated Services Digital Network, N-ISDN) wurde schnell erkannt, daß für die Realisierung fortgeschrittener Anwendungen, die sich vor allem durch den verstärkten Einsatz multimedialer Techniken und somit natürlicher Kommunikationsformen wie Sprache und Bewegtbild auszeichnen, die vorhandene Netztechnologie unzureichend ist [127]. Fortschrittliche Multimediadienste stellen an die zugrundeliegenden Kommunikationssysteme neue Anforderungen insbesondere hinsichtlich der Dienstgüteparameter (Quality of Service, QoS) ([131],[142]). War bei den traditionellen Systemen bisher die vollständige, fehlerfreie und sequenzgenaue Übertragung von Informationen entscheidend, so sind für die multimediale Dienstewelt die kontinuierliche Auslieferung der Daten, die Einhaltung der maximalen Ende-zu-Ende Verzögerung oder aber ein maximaler Jitter von Bedeutung, ganz zu

1. International Telecommunication Union - Telecommunications Sector, ehemals CCITT.

schweigen von dem stark ansteigenden Bedarf an Übertragungsbandbreite ([142],[174]). Die ITU wählte den Asynchronen Transfer Modus (ATM) als die Übertragungstechnologie, welche den oben genannten Forderungen am besten gerecht werden könnte (vgl. [I26],[I25],[I32]).

Neben dieser Metamorphose der Kommunikationssysteme in Richtung Multimediaintegration [131] stellt der politische Zwang zur weltweiten Deregulierung und Liberalisierung der Telekommunikationsmärkte einen weiteren wesentlichen Grund für die Umstrukturierung dar [86]. Insbesondere in Europa wird durch die fortschreitende politische und wirtschaftliche Vereinigung die Notwendigkeit für eine möglichst homogene, grenzübergreifende und interoperable Telekommunikationsinfrastruktur immer größer [310]. Begleitet wird diese Entwicklung von den politischen Aktivitäten internationaler Gremien und den von ihnen geschaffenen Rahmenwerken wie dem Open Network Provisioning (ONP) in Europa [83]. In der Direktive „Green Paper on the Development of the Common Market for Telecommunication Services and Appliances“ [82] legte die Kommission der Europäischen Gemeinschaft (Commission of the European Community, CEC) schon frühzeitig die Grundlagen für die Harmonisierung und Liberalisierung des paneuropäischen Telekommunikationsmarktes zur Verstärkung des Wettbewerbs zwischen den traditionellen Netzbetreibern und den neuen Dienstanbietern. Dieses bedeutet, daß ausgehend von den vorgegebenen Standards und Schnittstellen Telekommunikationsdienste von privaten wie auch öffentlichen Institutionen innerhalb eines freien Dienstmarktes angeboten werden können und somit eine Erweiterung des Dienstesangebotes erreicht wird. Durch die Erweiterung der reinen Übertragungs- (Bearer Service) und Teledienste um zusätzliche Eigenschaften werden dabei neue Mehrwertdienste (Value Added Services,VAS) geschaffen, die sich entsprechend wiederum miteinander kombinieren lassen [83]. Gemäß dem ONP Rahmenwerk soll insbesondere die Tarifierung der angebotenen Dienste kostenbasiert erfolgen, was bedeutet, daß sich die Tarife an den Aufwendungen für die Erzeugung, Wartung und Bereitstellung eines Dienstes zu orientieren haben [55]. Durch die im Wettbewerb miteinander stehenden Dienstanbieter und dem hieraus resultierenden Konkurrenzdruck wird erwartet, daß sich die Preise zugunsten der Dienstkunden entwickeln. Ein Dienstanbieter kann sich dabei selbst in der Rolle eines Dienstkunden wiederfinden, falls er für die Bereitstellung seines Dienstes einen oder gar mehrere Dienste von Fremdanbietern in Anspruch nimmt [83].

Zusammenfassend läßt sich soweit feststellen, daß die Zukunft der Telekommunikationsmärkte geprägt sein wird von einer Vielzahl von Anbietern, welche auf der Basis breitbandiger Netze jeweils ihr Spektrum multimediafähiger Dienste offerieren werden [131]. Einhergehend mit dieser Entwicklung wird der Dienstkunde mit einem immer dichter werdenden Dschungel an Tarifstrukturen konfrontiert, dessen Transparenz seitens der Betriebskosten der Dienste insbesondere auf der Übertragungsebene schon heute zu wünschen übrig läßt. So bleiben ihm z.B.

im internationalen Telefonverkehr immer noch die Zusammenhänge der Tarifabkommen beim Übergang zwischen zwei Netzanbietern i.d.R. verborgen, was im Widerspruch zur Transparenzforderung des ONP steht [82]. Die geschickte Auswahl eines Dienstanbieters auf der Ebene der liberalisierten Tele- bzw. Mehrwertdienste soll dem Dienstkunden einen Kostenvorteil ermöglichen. Erscheint ihm ein Anbieter zu teuer, so wählt er einfach einen anderen. Seine Grenzen findet dieses Prinzip von Angebot und Nachfrage jedoch auf der Ebene der reservierten Übertragungsdienste, welche aufgrund der Dominanz der angestammten Netzanbieter weiterhin Regulierungsbedingungen unterworfen bleiben [123]. Wurde für die Bereitstellung eines verbindungsorientierten Dienstes einmal ein Netzanbieter ausgewählt, so wird dieser eine gewünschte Endverbindung möglichst innerhalb seines eigenen Netzwerkes bereitstellen. Übergänge zu einem anderen Netzanbieter werden normalerweise dann vollzogen, wenn der gewünschte Endteilnehmer nicht innerhalb des eigenen Netzes erreichbar ist oder aber der Transit zwischen zwei voneinander isolierten Teilnetzen dieses Anbieters zu erfolgen hat, falls sein Gesamtnetz nicht zusammenhängend ist. Es ist plausibel, daß zu einer beliebig vorgegebenen Endverbindung eines Anbieters durchaus auch eine kostengünstigere Alternative im Netzwerk eines anderen Anbieters vorhanden sein kann. Durch die Bindung an einen einmal gewählten Netzanbieter und dessen Preisstrukturen können diese nicht genutzt werden. Eine Ursache hierfür liegt in den eher statischen Vergebührungsschemata, den sogenannten Accounting Rates, auf deren Basis die Netzanbieter gegenseitig Kommunikationsressourcen in Anspruch nehmen. Zwar haben sich auch hier mittlerweile die sogenannten Spotmärkten für Bandbreiten gebildet ([291],[295]), doch werden dort von den Brokern im wesentlichen Kontrakte mit größeren Bandbreitenkontingenten für Zeiträume im Wochenbereich gehandelt. Eine Automatisierung derartiger Märkte und insbesondere der auf ihnen ablaufenden Verhandlungen durch geeignete Softwaresysteme könnte hier zu einer Verkürzung der Verhandlungsdauer sowie der Kontraktlaufzeit führen. Im Idealfall würden für jede Kommunikationsendverbindung die Netzressourcen unter Einbeziehung mehrerer Anbieter zur Verbindungsaufbauzeit verhandelt werden. Ein solches System müßte auf der Netzwerkebene (Schicht 3) realisiert werden. Hinsichtlich des Routings wird zur Zeit jedoch keine transparente und kostengünstige Gebührenkalkulation während des Verbindungsaufbaus mit mehr als einem Netzanbieter unterstützt. Unter dem Aspekt des offenen Telekommunikationsmarktes und seiner Vielzahl von Anbietern bleibt daher festzustellen, daß konkrete Mechanismen für die Durchsetzung des Prinzips von Angebot und Nachfrage unter Einbeziehung monetärer Kriterien auf der Ebene der Übertragungssysteme fehlen. Die Möglichkeit einer solch flexiblen und wettbewerbsorientierten Vergebührung sollte sich dabei direkt auf die Preisbildung für die Mehrwertdienste auswirken. Unter diesen Voraussetzungen wäre es möglich, die Preisgestaltung für die Nutzung einer Netzressource von aktuellen Gegebenheiten abhängig zu machen und somit sehr dynamisch zu gestalten. Konkret kann dieses

bspw. heißen, daß die Kosten für die Nutzung einer Kommunikationsverbindung von der augenblicklichen Auslastung des Gesamtnetzes abhängen. Dem Dienstkunden wäre dann die Möglichkeit gegeben, sein Kommunikationsverhalten von Angebot und Nachfrage im Gesamtnetz abhängig zu machen (vgl. [95],[96]).

1.2 Problemstellung

ATM-basierte Netze arbeiten grundsätzlich verbindungsorientiert ([156],[161]). Für die Übertragung von Daten zwischen zwei Kommunikationsinstanzen wird eine sogenannte virtuelle Kanalverbindung (Virtual Channel Connection, VCC) aufgebaut, indem im Netzwerk entlang eines Pfades Ressourcen in Form von Übertragungs- und Pufferkapazitäten in den Netzknoten gemäß den vorgegebenen Gütekriterien ausgewählt und reserviert werden. Im Referenzmodell der Open Systems Interconnection (OSI) wird dieser als Routing bekannte Prozeß auf der Netzwerkebene vollzogen [109]. Die resultierende Kette von Teilverbindungen definiert die Endverbindung zwischen den beiden Kommunikationsinstanzen im Ursprungs- und Zielknoten. Die Aufgabe der netzweiten Durchsetzung der Dienstgüteparameter fällt demnach in die Netzwerkschicht und ist somit vom Routingprozeß mit zu berücksichtigen. Das vom ATM-Forum empfohlene PNNI-Routing [A12] deckt zwar die Anforderungen seitens der rein übertragungstechnischen Dienstgütemerkmale ab, doch fehlt diesem Routingverfahren konkret die Unterscheidung mehrerer potentieller Netzanbieter und ihrer Tarifstrukturen. Zwar kann jeder Teilstrecke einer Route ein sogenannter Gewichtungsvektor zugeordnet werden [63], doch gibt es keine Möglichkeit, den Preis für die Inanspruchnahme von Fremdressourcen gemäß dem Prinzip von Angebot und Nachfrage flexibel zu verhandeln. Für die weitestgehende Durchsetzung des Liberalisierungsprinzips in ATM-basierten Netzen muß ein erweitertes Routingverfahren bereitgestellt werden, das die für den Dienstkunden günstigste Kommunikationsverbindung innerhalb des Gesamtnetzwerkes ermittelt, welche sich aus Teilstrecken von unterschiedlichen Anbietern zusammensetzt.

1.3 Lösungsansatz

Zur Durchsetzung der Deregulierung und Liberalisierung bis auf die Netzwerkebene besteht die Grundidee darin, die Ressourcenverteilung dem Marktprinzip von Angebot und Nachfrage auf der Basis realer monetärer Kosten zu unterwerfen. Die Netze unterschiedlicher Anbieter sollen sich dabei hinsichtlich ihrer gegenseitigen Benutzung offen gestalten. So wird die Möglichkeit geschaffen, daß Netzanbieter ihre Ressourcen untereinander offerieren, verhandeln und nutzen können. Für den Aufbau einer Kommunikationsverbindung durch den Routingprozeß

bedeutet dieses, daß die Teilstrecken der Gesamtverbindung von unterschiedlichen Netzanbietern bereitgestellt werden. Die Auswahl eines Anbieters vollzieht sich auf Elektronischen Marktplätzen. Letztere sind auf den sogenannten Gateways, welche die Schnittstellenknoten zwischen den Anbietern darstellen, lokalisiert. Die Verhandlung der Preise bzw. Tarife erfolgt dynamisch und wird sich letztlich an Angebot und Nachfrage orientieren. Der Netzanbieter mit den günstigsten Tarifen wird bei dieser Form eines preisorientierten Routings am häufigsten gewählt, wodurch eine verteilte Lastbalancierung in Beziehung zum Wirkprinzip von Angebot und Nachfrage seitens der Ressourcen auf der Netzwerkebene gesetzt wird. Von einem modernen Kommunikationssystem kann erwartet werden, daß es sich durch eine hohe Zuverlässigkeit und Fehlertoleranz bei gleichbleibend guter Performanz auszeichnet. Es obliegt normalerweise dem Netzwerkmanagement, diese Anforderungen zu erfüllen. Mit steigender Akzeptanz und Nutzung eines Kommunkationssystems und hier insbesondere seiner Dienste erhöht sich i.d.R nicht nur die zu verarbeitende Bruttonetzlast sondern auch die Varianz des Lastprofils, d.h. ausgehend von einem durchaus sehr heterogenen Dienstspektrum und der Zusammensetzung der Dienstkunden ist mit einem zeitlich stark schwankenden Lastprofil zu rechnen, welches sich nur unzureichend prognostizieren läßt. Durch das hier vorgeschlagene Marktprinzip und seinem regulierenden Moment von Angebot und Nachfrage ergibt sich die Möglichkeit, die Lastbalance im Kommunikationssystem direkt von der Preisbindung zwischen den Ressourcen und den Dienstkunden abhängig zu machen. Zur Modellierung der Elektronischen Marktplätze in die Netzknoten wird die agentenorientierte Technologie (Agent-Oriented Technology, AOT) verwendet, d.h. Käufer und Veräufer von Ressourcen werden als Agenten modelliert und ihre Interaktionen miteinander durch Kooperationsbeziehungen realisiert. Letzteres gilt insbesondere für die Verhandlungen der Preise. Der agentenorientierte Ansatz birgt den Vorteil einer möglichst flexiblen und robusten Modellierungsform, welche dem menschlichen Verständnis von Marktstrukturen und den auf ihnen agierenden Akteuren am weitesten entgegenkommt. Flexibel, als da insbesondere bei Kooperationen mehr Entscheidungen zur Laufzeit ausgewertet werden. Robust in dem Sinne, daß Agenten unter Wahrung der Interessen ihres Besitzers als eigenständig agierende Softwaresubjekte sowohl die Definition als auch die Einhaltung klarer Schnittstellen fordern. Letzteres führt zu i.d.R. lose gekoppelten Systemen, bei denen sich die Autonomie der Agenten durch ein Grundmaß an Unabhängigkeit auszeichnet. Es muß jedoch hinzugefügt werden, daß all dieses auch mit einem erhöhten Aufwand bei der Modellierung erkauft wird. Desweiteren sei schon hier erwähnt, daß bei einer derartigen softwaretechnischen Nachbildung unterschiedlicher Parteien und Organisationen der Aspekt der Sicherheit verstärkt in den Vordergrund tritt. Der Schutz der Interessen eines Agenten und respektive denen seines Besitzers vor unzulässigen Angriffen muß schon aus Akzeptanzgründen einer solchen Technologie gewährleistet sein.

1.4 Aufbau der Arbeit

Zur einfacheren Orientierung des interessierten Lesers wird im folgenden eine kurze Übersicht zur Grundstruktur der Arbeit, welche sich in acht Kapitel gliedert, gegeben. Im Einführungsteil A wird nach einer vorangestellten Motivation das Kernproblem erfaßt und ein entsprechender Lösungsansatz skizziert. Der Teil B reflektiert den Stand der Technik im Bereich der ATM-Technologie und diskutiert eingehend das PNNI-Routing sowie die Signalisierung. Das Kapitel 2 schließt ab mit der Positionierung dieser Arbeit im Vergleich zu anderen problemverwandten Ansätzen. Teil C umfaßt die Kapitel 3 bis Kapitel 7. Es erfolgt eine kurzen Einführung des mit der Materie nicht so vertrauten Lesers in die hier zur Anwendung kommenden Techniken der Verteilten Künstlichen Intelligenz (VKI) in Kapitel 3 sowie den Elektronischen Märkten in Kapitel 4. Den eigentlichen Kern der Arbeit stellen Kapitel 5.3, Kapitel 6.3 und Kapitel 7.2 dar. Im Kapitel 5.3 werden die Grundlagen eines marktbasierten ATM-Netzwerkes definiert. Neben der globalen Organisation dieses verteilt arbeitenden Marktes wird desweiteren die Grundstruktur der sogenannten Gatewaymarktplätze vorgestellt. Sie basieren auf herkömmlichen ATM-Vermittlungsstellen - synonym hier auch ATM-Switches genannt - mit erweiterter Funktionalität und ermöglichen die eigentliche Integration des Marktes in das ATM-Netzwerk. Aus Sicht der agentenorientierten Analyse erfolgt die Identifikation der Akteure bzw. Agenten, ihrer Fähigkeiten sowie ihrer Interaktionen untereinander. Zudem werden die wesentlichen Aspekte in Fragen der Sicherheit bzw. Security in einem eigenen Unterkapitel kurz vorgestellt und mögliche Lösungsansätze hierzu vorgeschlagen. Das Kapitel 6.3 widmet sich dem bilateralen Verhandlungsverfahren. Diskutiert werden hier interessierende Eigenschaften wie zeitliche Abschätzbarkeit, Skalierbarkeit im Verhandlungsergebnis sowie Fairneß und Optimalität. Darüberhinaus werden Aspekte des zeitlich strategischen Verhaltens untersucht. Zur Durchsetzung der die Verhandlungen einrahmenden Marktkonventionen wird ein Kontrollsystem basierend auf einer dritten, unabhängigen Instanz, dem sogenannten Marktplatzmanger, sowie der den Akteuren zugehörigen Verhaltensautomaten vorgestellt. Das Traded Routing Verfahren zur Ermittlung einer Route durch das Gesamtnetzwerk ist Gegenstand der Betrachtungen in Kapitel 7.2. Es wird aufgezeigt, wie eine möglichst kostenoptimale Endverbindung im Sinne der Vergebührung durch die Netze verschiedener Anbieter mit Hilfe sogenannter Tradinggraphen geroutet wird. Die hierzu entwickelten Algorithmen werden formal verifiziert und seitens ihrer Komplexität hinsichtlich Laufzeit- und Speicherplatzbedarf analysiert. Teil D bildet den Abschluß der Arbeit. Er enthält eine Zusammenfassung und Bewertung der gesamten Arbeit nebst einem Ausblick auf die Weiterentwicklung von Netzwerkmärkten und ihrer praktikablen Anwendung.

1.5 Lesehilfe

Um dem interessierten Leser einen besseren Überblick zu verschaffen, wurde jedes Hauptkapitel dieser Arbeit in drei Teile gegliedert. Ein kurzer inhaltlicher Überblick steht dabei gewissermaßen als Einleitung am Anfang eines jeden Kapitels. Es folgt der Hauptteil mit allen Detailinformationen sowie abschließend eine Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse, wie sie für das weitere Verständnis als notwendig erachtet werden. Die grundlegenden ATM-Standards sind getrennt nach den Empfehlungen des ATM-Forums und der ITU im Anhang aufgeführt und werden im Text entsprechend als [A??] bzw. [I??] Verweise referenziert.

Bei der HTML-/PDF-Version dieses Dokumentes kann sich der Leser in bekannter Manier via der Hypertextreferenzen im Text bewegen. Neben den üblichen Verzeichnissen am Anfang des Dokumentes werden darüberhinaus auch Abbildungs- und Tabellenuntertitel, Abkürzungen, Fachbegriffe sowie Literaturverweise als Hypertextreferenzen geführt. Der Leser kann somit komfortabel per Mausklick auf die entsprechende Referenz den interessierenden Textteil direkt anspringen.

Teil B

Stand der Technik

KAPITEL 2

ATM: Der Asynchrone Transfer Modus

In der vorliegenden Arbeit wird der Asynchrone Transfer Modus (ATM) als die grundlegende Netzwerktechnologie für einen liberalisierten Markt von Breitbanddiensten im Sinne des B-ISDN erachtet ([65],[152]). Aufgrund dessen wird dem interessierten Leser zu Anfang dieses Kapitels eine kurze Einführung zum Thema B-ISDN gegeben, in welchem insbesondere die Anforderungen an die zugrundeliegende Netzwerktechnologie definiert werden. Nach einer Erläuterung der Dienstkategorien im Kontext des Protokollreferenzmodells sowie des grundlegenden, zellenbasierten Vermittlungsprinzips wird eine Übersicht zur Netzwerkarchitektur gegeben, in welchem die Begrifflichkeiten für den Verbindungsaufbau erläutert werden ([I26],[I20]). Detailliertere Informationen zu ATM mit Schwerpunkt auf den Bereich Routing und Signalisierung schließen sich dem an [I78]. Ausgehend von der logischen Hierarchie in einem ATM-Netzwerk wird der Routingprozeß gemäß ATM-Forum charakterisiert und der Crankback-Mechanismus in Verbindung mit einem Alternate Routing vorgestellt [A12]. Ausgehend von einer vorberechneten Route wird dann die Signalisierung, aufgeschlüsselt nach den zwei wesentlichen Netzschnittstellen, diskutiert. Dem Themenkomplex ATM folgt mit dem Related Work am Endes des Kapitels eine eingehende Diskussion aktueller Forschungsansätze, welche die Thematik des Netzwerkmarktes mit automatisierter Verhandlung von Ressourcen auf der Basis Intelligenter Agenten tangieren. Ausgehend von vordefinierten Bewertungskriterien werden diese Arbeiten schließlich einander gegenübergestellt.

2.1 Konzepte und Anforderungen des B-ISDN

Die ersten Empfehlungen für das schmalbandige, dienstintegrierende digitale Netz, kurz N-ISDN, wurden von der ITU 1984 verabschiedet. Die Standards umfaßten zwei wesentliche Schnittstellen, den Basisanschluß (Basic Access) sowie den Primäranschluß (Primary Access) mit Übertragungsraten von jeweils 144 Kbps bzw. 2.048 Kbps[1] brutto inklusive der Signalisierungskanälel. Es wurde jedoch schnell sichtbar, daß für die Realisierung komplexer multimedialer Dienste wie Bildübertragung oder Videokonferenzen die definierten Bandbreiten auf der Basis der bis dahin vorgeschlagenen Netzstrukturen kaum ausreichen [127]. Das breitbandige, dienstintegrierende digitale Netz, kurz B-ISDN, wurde daraufhin als das universelle digitale Kommunikationssystem für den weltweiten Austausch von Informationen in den Standardisierungsprozeß mit aufgenommen.

Gemäß der ITU-Definition benötigt eine Breitbandanwendung Übertragungsraten jenseits der des Primäranschlusses [I20]. B-ISDN unterstützt daher Datenraten von bis zu 622 Mbps. Der zeitliche Charakter einer Kommunikationsverbindung kann dabei permanent, semipermanent oder geschaltet sein. Die Bereitstellung eines Dienstes kann ergo permanent, reserviert oder auf Anforderung erfolgen. Darüberhinaus sollen neben den herkömmlichen Punkt-zu-PunktVerbindungen auch Punkt-zu-Mehrpunkt- wie auch Mehrpunkt-zu-Mehrpunkt-Verbindungen möglich sein [I21]. Verbindungslose und verbindungsorientierte Mono- und Multimediadienste mit konstanter oder variabler Bitrate werden durch eine geeignete Übertragungsplattform unterstützt. Zur besseren Übersicht hat die ITU die Menge der möglichen Dienste grob in die folgenden vier Kategorien eingeteilt [I23]:

- Konversationsdienste (Conversational Services)
- Nachrichtendienste (Message Services)
- Suchdienste (Retrieval Services)
- Verteildienste (Distribution Services)
  - mit individueller Kundenkontrolle
  - ohne individuelle Kundenkontrolle

Zur ersten Kategorie zählen z.B. Videotelefonie und Videokonferenzdienste aber auch die Dokumentenübertragungsdienste [I19]. Unter Nachrichtendiensten werden insbesondere Sprach- oder Videomaildienste verstanden. Suchdienste charakterisieren Anwendungen, die Zugriff auf verschiedenartige Datenbanken mit großen Datenbeständen haben. Recherchiert werden dabei Text, Audio, Bild- sowie Videodokumente. Ein klassischer Verteildienst ohne Kontrolle ist z.B. das heutige Fernsehen. Der Dienstkunde kann auf die Präsentation der Informationen,

1. Beim europäischen Übertragungssystem entspricht dieses der E1 Bandbreite

hier die Bewegtbildsequenzen, keinen Einfluß nehmen. In Zukunft wird es dem Dienstkunden jedoch möglich sein, interaktiv Einfluß auf die Selektion der von ihm gewünschten Informationen zu nehmen. Für den Fernsehdienst bedeutet dieses, daß er bspw. einen Film seiner Wahl anfordert (Video on Demand) und bei einer Live-Übertragung z.B die Position und den Winkel der übertragenden Kamera selektiert ([103],[128]).

Um den hier kurz vorgestellten Anforderungen gerecht zu werden, umfassen die Normungsbestrebungen der ITU Dienstbeschreibungen, Leistungsanforderungen sowie Benutzer- und Netzschnittstellen. Im November 1990 wurden von der ITU Study Group XVIII auf ihrer Sitzung in Matsuyama (Japan) dreizehn Empfehlungen verabschiedet, welche die fundamentalen Prinzipien und grundlegenden Spezifikationen für das B-ISDN beinhalteten [127]. Sie umfaßten insbesondere das Protokollreferenzmodell, in welchem die hierarchische Strukturierung des Gesamtsystems fixiert wurde [I26]. Die physikalische Schicht umfaßt das rein übertragungstechnische Equipment. Der Ende-zu-Ende-Transfer der Daten vollzieht sich auf der Transportschicht. Die Anpassung des für einen Dienst charakteristischen Datenstromes an die Gegebenheiten der Transportschicht wird durch eine sogenannte Adaptionssschicht realisiert ([I33],[I34]). Neben der rein horizontalen Schichtung werden im Referenzmodell auch vertikale Ebenen unterschieden.

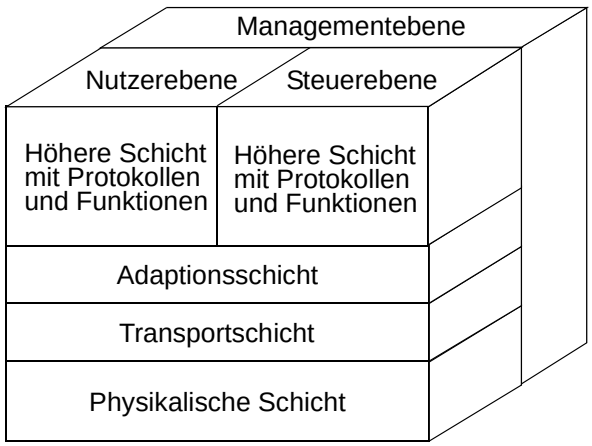


Abbildung 2-1: B-ISDN Protokollreferenzmodell

Die Nutzerebene umfaßt dabei die Menge der kundenorientierten Dienste, während die Steuerebene die Funktionalität zur Erstellung und Überwachung der Verbindungen beinhaltet. Beide Ebenen setzen auf der Adaptionsschicht auf, d.h. diese vertikale Trennung vollzieht sich nicht durch alle Schichten. Die Managementebene umfaßt alle Funktionen, welche für die Administration des Gesamtsystems

notwendig sind [I52]. Wie der Abbildung 2-1 entnommen werden kann, setzt diese Ebene nicht auf die Adaptionsschicht auf. So verbleibt die Möglichkeit, für den Transport der Managementinformationen ein separates Netzwerk bereitzustellen, wie es für das Telecommunication Management Network (TMN) definiert ist [I57]. Neben der Definition der Protokollanordnung innerhalb eines Netzknotens spezifizierte die ITU die Schnittstellen innerhalb des Netzes mittels sogenannter Referenzpunkte, welche letztlich eine präzise Trennung der Netzsubstrukturen sowie der zugehörigen Zugangspunkte herbeiführen [I44].

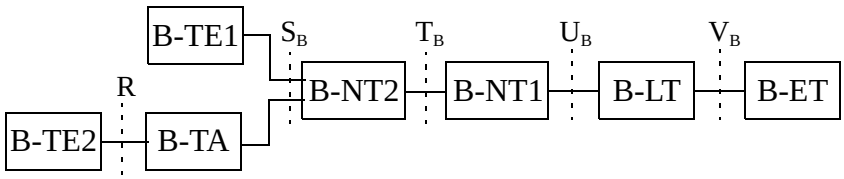


Abbildung 2-2: B-ISDN Schnittstellenreferenzkonfiguration

Unterschieden werden die öffentlichen von den privaten Netzwerken und die an ihnen angeschlossenen B-ISDN fähigen bzw. nicht B-ISDN fähigen Endgeräte. Die technische Anpassung zwischen diesen Elementen wird hierbei durch die funktionalen Gruppen B-TE1/2, B-TA, B-NT1/2 und B-LT/ET realisiert, wie der Abbildung 2-2 entnommen werden kann. Der Referenzpunkt U_B beschreibt die Schnittstelle zwischen öffentlicher Netzabschlußeinheit B-NT1 (Broadband Network Termination) und lokaler Vermittlungsstelle B-LT (Broadband Line Termination). Öffentliches und privates Netz werden durch den Referenzpunkt T_B getrennt. Via S_B werden Endgeräte (Broadband Termination Equipment, B-TE) an das private Netzwerk angeschlossen, wobei u.a. die Anpassung an unterschiedliche Übertragungsmedien und Topologien als auch die Signalisierung oder das Multiplexen/Demultiplexen von Daten in der funktionalen Gruppe B-NT2 vollzogen wird. Nicht B-ISDN fähige Endgeräte werden dabei durch die Anpassungseinheit B-TA (Broadband Termination Adapter) an das Netz angekoppelt [I44].

2.2 Eigenschaften des ATM

ATM-Netze bieten bezüglich ihrer Nutzkanäle flexiblere Gestaltungsmöglichkeiten als herkömmliche Netze. Die sehr unterschiedlichen Anforderungen von breitbandigen Kommunikationsquellen werden durch die einheitliche Übertragung der Daten in Zellenform und dem virtuellen Verbindungsprinzip erfüllt. Eine wesentliche Eigenschaft des ATM liegt in seiner Fähigkeit zur asynchronen Zeitteilung

(Asynchronous Time Division Multiplex, ATD) [147]. Hierdurch können mehrere Übertragungskanäle eine physikalische Verbindung gemeinsam, aber dennoch kontrolliert nutzen. Im Gegensatz zur synchronen Zeitteilung (Synchronous Time Division, STD) wird bei der asynchronen Zeitteilung eine bedarfsgerechte Zuteilung der Übertragungskapazitäten des zugrunde liegenden Übertragungsmediums vollzogen, was einen wirtschaftlicheren Betrieb des Netzinfrastruktur ermöglicht [156]. Neben dem wesentlichen Kriterium der Zeittransparenz, d.h. der maximal tolerierbaren Verzögerung von Zellen sowie ihrer Verzögerungsvarianz (Delay Jitter), erfüllt ATM die Forderung nach Isochronität. Sie ist entscheidend für die Übertragung von kontinuierlichen Medien wie Sprache oder Bewegtbild und beinhaltet die Übermittlung von Informationen zur Synchronisation von Sende- und Empfangszeit. Erste Veröffentlichungen zu ATM erschienen schon im Jahre 1983 von CNET und den AT&T Bell Labs [127]. Drei Jahre später wurde ATM von der ITU als das Übertragungsverfahren für die Realisierung des B-ISDN vorgeschlagen und definiert [56]. Entsprechend werden vermittelte Verbindungen oder Festverbindungen in Punkt-zu-Punkt-Konfiguration und Punkt-zu-Mehrpunkt-Konfigurationen unterstützt [I38]. Die Verbindungen können dabei symmetrisch mit gleichen Eigenschaften in beiden Kommunikationsrichtungen, als auch unsymmetrisch mit ergo unterschiedlichen Eigenschaften in den Kommunikationsrichtungen, wie sie beispielsweise bei den Verteildiensten auftreten, sein. Durch die sehr flexible Art der Bandbreitenzuordnung je Verbindung und Bedarf einer Anwendung ist dieses Verfahren auch zur Grundlage der nächsten Generation von lokalen Netzen geworden. LAN-Architekturen verlassen das gemeinsame Übertragungsmedium und führen in einer Sternkonfiguration ein zentrales Koppelfeld ein [156]. Eigens zur beschleunigten Einführung der ATM-Technologie in die LAN-Welt wurde das ATM-Forum gegründet [161].

2.2.1 Die ATM Dienstklassen

Durch die Klassifikation und somit Zusammenfassung der auf der Anwendungsschicht denkbaren Dienste in die vier Dienstklassen A bis D ist eine vereinheitlichende, technische Umsetzung der resultierenden Bitströme auf der Adaptionsschicht möglich (vgl. Abbildung 2-3) [I24]. Die wesentlichen Eigenschaften einer Klasse beziehen sich auf die Bitrate, die Art der Verbindung sowie den Zeitbezug zwischen Datenquelle und Datensenke. Folglich kann jeder Klasse ein Mix aus Dienstgüteparametern zugeordnet werden. Zur Dienstklasse A werden die Dienste mit einer konstanten Bitrate wie z.B. die unkomprimierte Videoübertragung gerechnet. Aus übertragungstechnischer Sicht wird dieser Dienstklasse A die Datenverkehrsklasse CBR (Constant Bit Rate) zugeordnet, welche die Eigenschaften einer leitungsvermittelten Verbindung besitzt, d.h. die Dienste arbeiten verbindungsorientiert mit zeitlich synchronem Sender und Empfänger [161].

Dienstklasse	A	B	C	D
Bitrate	konstant	variabel		
Verbindungsorientiert	ja			nein
Zeitbezug: Quelle-Senke	synchron		asynchron	

Abbildung 2-3: Eigenschaftsmatrix der ATM-Dienstklassen

Die Zellrate ist hier idealerweise konstant mit einer Zellverzögerungsvarianz von Null. Klasse B unterscheidet sich insofern von Klasse A, als das sie Dienste mit variabler Bitrate, wie sie bei komprimierten Audio- oder Videodiensten auftreten, umfaßt. Ihr ist die Datenverkehrsklasse VBR (Variable Bit Rate) zugeordnet. Die Zellverzögerungsvarianz sollte hier beschränkt sein. Für die reine Datenübertragung wurde die Klasse C mit verbindungsorientierem Charakter und die Klasse D mit verbindungslosem Charakter definiert. Beide Klassen zeichnen sich durch eine variable Bitrate und einem asynchronen Zeitbezug zwischen Sender und Empfänger aus. Als Datenverkehrsklassen wurden hier die ABR (Available Bit Rate) sowie die UBR (Unspecified Bit Rate) definiert. Für die beide Dienstklassen ist anstatt eines garantierten Zeitbezuges eine möglichst niedrige Zellverlustrate von Bedeutung [176].

2.2.2 Die Zellenbasierte Vermittlung

Die Leitungsvermittlung (Circuit Switching) stellt die klassische Technologie für die Übertragung von Sprache dar. Zwischen den Kommunikationsteilnehmern wird anfangs eine Leitungsverbindung aufgebaut, die sich durch eine feste Bandbreite - üblicherweise 64 Kbit/s - sowie durch minimierte Verzögerungszeiten der zu übertragenden Informationen auszeichnet [97]. Andere Verhältnisse herrschen bei der herkömmlichen Datenübertragung. Vorrangig wurde hier die Paketvermittlung (Packet Switching) eingesetzt, welche insbesondere variable Bitraten unterstützt. Bedingt durch die Forderung nach höheren Geschwindigkeiten sowie die Verbesserung der Leitungsqualitäten z.B. durch die Verwendung der Glasfaser entstand durch Verzicht auf die logischen Kanäle in der Schicht 3 die rahmenbasierte Übertragung (Frame Switching). Durch die Verlagerung der Flußkontrolle und Übertragungswiederholung in die Endgeräte an der Netzperipherie konnte die Geschwindigkeit beim Frame Relay abermals von 2MBit/s auf 34MBit/s gesteigert werden [127]. Unter dem Anspruch, eine einheitliche Netztechnologie zur Integration von Sprach- und Datendiensten zu schaffen, erwuchs ATM daher aus einem übertragungstechnischen Kompromiß der Sprach- und der Datenverarbeiter als ein

spezielles Übermittlungsverfahren, das auf einem vereinfachten, verbindungsorientierten Paketvermittlungsverfahren basiert. Die Nutzdaten werden hierbei in Form von Paketen mit einer festen Länge übertragen und vermittelt. Um eine begrifflichen Unterscheidung zu klassischen Paketvermittlungsverfahren mit variablen Paketlängen zu erreichen, werden die ATM-Pakete als „Zellen“ bezeichnet; sie stellen gewissenmaßen die atomare Übertragungseinheit innerhalb eines ATM-Netzes dar. Jede Zelle besteht aus einem 5 Bytes großen Kopffeld (Header) und einem Datenfeld von 48 Bytes Länge, welches die Nutzdaten (Payload) birgt [I32]. Ihre fixe Größe von 53 Bytes ermöglicht aufgrund der kurzen Verweilzeit eine synchrone und somit schnelle Verarbeitung in den Vermittlungsknoten (Switches). Berechenbare Verzögerungen insbesondere bei der Übertragung von Sprachinformationen werden durch die geringe Zellgröße erreicht. Der Wert von 48 Bytes für die Länge der Nutzdaten stellt dabei einen im Jahre 1989 geschlossenen politischen Kompromiß zwischen den USA und Europa dar. Erste forderten mit Blick auf reine Datenübertragung eine Nutzdatenlänge von 64 Bytes, während die Europäer, von der Seite der Sprachübertragung her kommend, eine Nutzdatenlänge von 32 Bytes anvisierten [127].

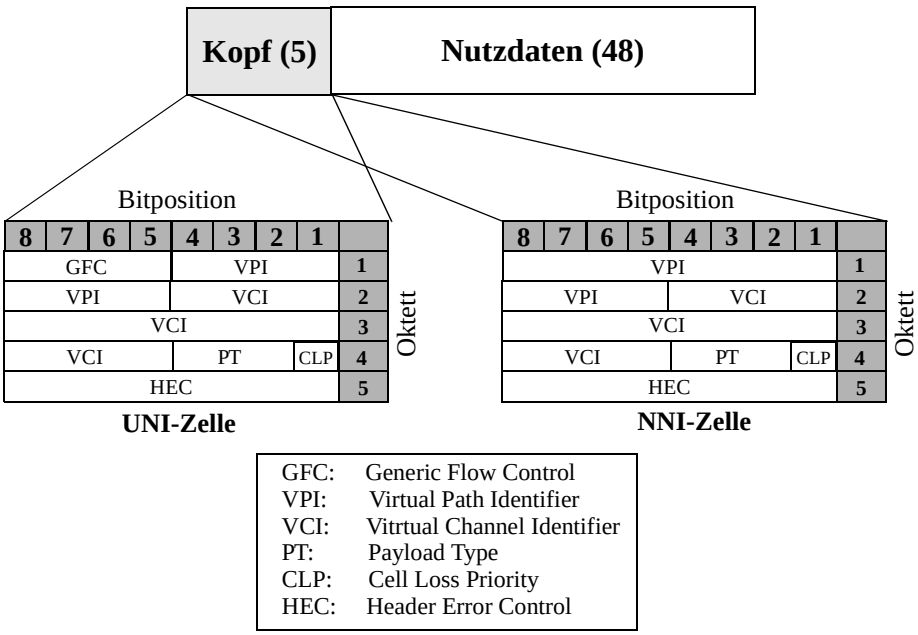


Abbildung 2-4: Struktur der ATM-Zellköpfe

Im Zellkopf werden die Netz- oder auch die Signalisierungsdaten als zusätzliche Steuerinformationen vorangestellt. Er dient zur Kennzeichnung all der Zellen,

die zu einer Verbindung gehören und somit entsprechend durch das Netz geleitet werden. Verschiedene, gleichzeitige Verbindungen zu einem Endanschluß werden daher durch unterschiedliche Kennzeichnungen im Kopffeld auseinander gehalten. Die Zellen haben keine feste Position in einem Zeitraster, wie bei der synchronen Zeitmultiplexübertragung, sondern werden asynchron von den Quellen erzeugt und in das Netz geleitet [180]. Einer Anwendung bzw. einem Dienst stehen daher keine fest zugeordneten Bandbreiten zur Verfügung, sondern die Quellen belegen eine gewisse Anzahl von Zellen innerhalb eines Zeitabschnitts. Die daraus resultierende Bandbreite muß beim Verbindungsaufbau von der Nachrichtenquelle angefordert werden, um eine Überlastung des Netzes zu vermeiden und die Abnahme der produzierten Zellen durch den Empfänger zu garantieren [161]. Die gesamte Bandbreite eines ATM-Anschlusses wird demzufolge nicht in eine Anzahl von Kanälen mit begrenzter Bandbreite unterteilt, sondern sie steht den verschiedenen Verbindungen je nach Bedarf der Nachrichtenquelle zur Verfügung [177]. Hinsichtlich der Netzschnittstellen werden beim ATM zwei Arten von Zellköpfen unterschieden. Ihre Struktur ist in der Abbildung 2-4 skizziert. Bei der NNI-Zelle beträgt, im Gegensatz zur UNI-Zelle, die Länge des Virtual Path Idenifiers (VPI) 12 statt 8 Bits, dieses allerdings auf Kosten des Generic Flow Control (GFC) Anteils. Die Art der Nutzdaten wird durch die Payload-Type (PT) charakterisiert. Die Sicherung einer ATM-Zelle beschränkt sich auf den Zellkopf durch Verwendung einer 8 Bit breiten CRC-Prüfsumme (Header Error Control, HEC) [I32].

2.2.3 Das ATM-Protokollreferenzmodell

Die Umsetzung des in Kapitel 2.1 vorgestellten B-ISDN Protokollreferenzmodells auf die ATM-Technologie ist in seiner vollen Komplexität der Abbildung 2-5 zu entnehmen. Eine exakte Einordnung der Protokollfunktionalitäten in das Protokollreferenzmodell für Offene Systeme, bekannt als ISO/OSI,-RM, erweist sich hier als problematisch ([182],[109]). Die ATM-Schicht umfaßt nämlich Anteile der OSI-Schichten 1 bis 3, und kann somit nicht als reine Netzwerkschicht angesehen werden. Die physikalische Schicht gliedert sich dabei in zwei weitere Unterschichten zur Anpassung an unterschiedliche Übertragungsmedien (optisch/elektrisch) und den entsprechenden Signalkodierungen. In der Übertragungsanpassungsschicht (Transmission Convergence Sublayer, TC) werden die mit der ATM-Schicht ausgetauschten Zellen auf die Zell- bzw. Rahmenstruktur des jeweils gewählten Übertragungssystems umgesetzt ([128],[180]). In der ATM-Schicht werden die von der Anwendungsschicht kommenden Datenströme in Zellen verpackt und zu einem kontinuierlichen Zellstrom zusammengesetzt. Bei der Verwendung einer synchronen Übertragungstechnik wie der Synchronen Digitalen Hierarchie (SDH) auf der physikalischen Schicht werden sogenannte Leerzellen (Idle Cells) zur Erhaltung der Rahmentaktung mit eingefügt [I11].

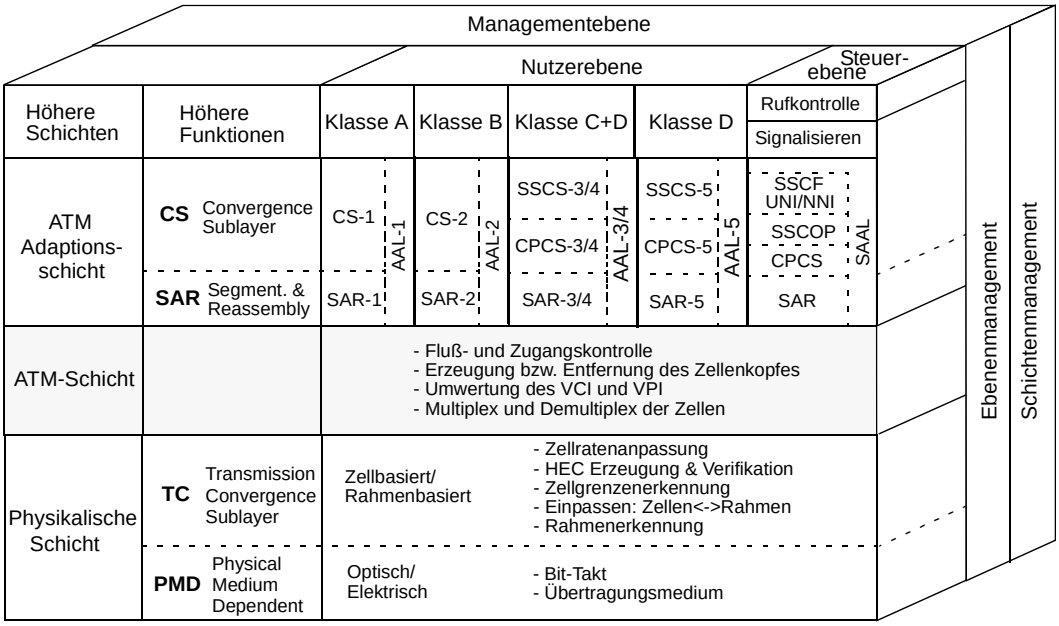


Abbildung 2-5: ATM Protokollreferenzmodell

Durch die Auswertung des VPI bzw. VCI im Zellkopf werden die Zellen unterschiedlichen Verbindungen zugeordnet [156]. Der sich im Rahmen eines Signalisierungsprozesses vollziehende Auf- und Abbau dieser Verbindungen unter Berücksichtigung der geforderten Dienstgüte sowie die Verwaltung der Pfade und Kanäle wird ebenfalls von der ATM-Schicht vollzogen. Die Aufgabe der Anpassungsschicht besteht in der Angleichung der für eine Dienstklasse charakteristischen Bitströme an die Zellübertragung der ATM-Schicht ([I33],[I34]). Zur Minderung der Komplexität wurde auch diese Schicht in weitere Unterschichten zerlegt. Unterteilt die Segmentier- und Assemblierschicht (Segmentation and Reassembly, SAR) die zu übertragenden Daten in Blöcke zwischen 44 und 48 Bytes, so besteht die Aufgabe der Konvergenzschicht (Convergence Sublayer, CS) in der Synchronisation von Sender und Empfänger sowie der Behandlung von Zellverlusten und Bitfehlern. Die Anforderungen seitens der ATM-Dienstklassen A bis D werden durch die vier Protokollstacks AAL1, AAL2, AAL3/4 sowie AAL5 in der Adaptionsschicht abgedeckt. Der SAAL Protokollstack (SAAL) unterstützt den Aufbau von Signalisierungsverbindungen. Beim Management wurde differenziert nach der Administration der einzelnen Schichten und der Ebenen. Entsprechend wurde die Managementebene in zwei Unterebenen für das Schichtenmanagement und das Ebenenmanagement unterteilt ([I60],[I66]).

2.2.4 Der Begriff der Dienstgüte im ATM-System

Dienstgütekriterien lassen sich gemäß Tabelle 2-1 grob in fünf Klassen einteilen [174]. Neben den performanz-, format- und synchronisationsorientieren Parameter werden desweiteren auch kosten- und benutzerorientierte Angaben unterschieden. Im ATM-Kommunikationssystem sind diese Angaben je nach betrachteter Protokollschicht in unterschiedlichen Ausprägungen zu finden.

Kategorie	Beispiele von Attributen
Performanzorientiert	Bitrate, Ende-zu-Ende Verzögerung
Formatorientiert	Videoauflösung, Rahmenrate, Kompressionstyp
Synchronisationsorientiert	Zeitliche Verzögerung zwischen Audio und Video
Kostenorientiert	Verbindungs-, Übertragungs- und Copyrightgebühren
Benutzerorientiert	Subjektive Audio- und Videoqualitäten

Tabelle 2-1: QoS-Kategorien nach Vogel

Die homogene Integration multimedialer Dienste innerhalb eines einzigen Netzes erfordert die flexible Umsetzung unterschiedlichster Dienstgüteanforderungen. Wie in Abbildung 2-6 skizziert, müssen diese Anforderungen aus der Anwendungsschicht auf die unteren Schichten des Kommunikationssystems umgesetzt werden. Die Qualität bspw. eines Videodienstes wird u.a. durch die gewünschte Auflösung und die Framewiederholungsrate bestimmt. Für die Transportschicht bedeutet dieses, daß zur Sicherung der notwendigen Bandbreite eine bestimmte Anzahl an Paketen übertragen werden muß. Zwischen diesen Paketen muß ein fester Zeitbezug bestehen, da eine Verzögerung der Pakete zu verspäteten Videoinformationen beim Empfänger und somit zum Flackern des Bildes führt [142]. Der Übergang in das ATM-Übertragungssystem vollzieht sich hier durch die Wahl der geeigneten Dienstklasse bzw. des sie realisierenden Adaptionsprotokolls. Für den Videodienst ohne Komprimierung wäre gemäß der Aufstellung in Abbildung 2-3 die Dienstklasse A (AAL1) mit konstanter Bitrate und synchronem Zeitbezug zwischen Quelle und Senke erforderlich. Bei Verwendung von Komprimierungsverfahren wie z.B. aus der MPEG-Klasse [I16] schwankt die zur Informationsübertragung notwendige Bandbreite, so daß auch mit variablen Bitraten wie bei der Dienstklasse B (AAL2) gearbeitet werden kann [157]. Das AAL1-Protokoll muß gewährleisten, daß die mit konstanten Länge und in regelmäßigen Zeitabständen eintreffenden Nutzdaten auf der ATM-Schicht übertragen und am Ziel in gleicher

Form wieder ausgegeben werden. Notwendig ist hier die Bereitstellung eines Taktes, um den Zeitbezug zwischen Quelle und Senke sicherzustellen. Dieser kann entweder direkt in der AAL1-Schicht bereitgestellt oder aus den übertragenen Informationen unter Abgleich eines lokalen Taktes selbst generiert werden.

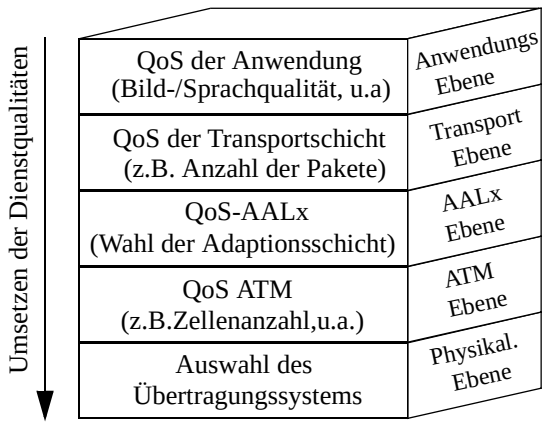


Abbildung 2-6: Umsetzung der Anwendungsdienstgüte

Neben Bitrate und Synchronisationsbedingung sind weitere Gütekriterien hinsichtlich möglicher Übertragungsfehler notwendig. Zur Sicherung der Zellreihenfolge werden diese mit Hilfe einer 3-Bit langen Sequenznummer gekennzeichnet. Übertragungsfehler werden hier auf Basis des CRC-Verfahrens erkannt. Vom AAL1-Protokoll werden die Nutzinformationen letztlich auf Zellebene heruntergebrochen und der ATM-Schicht übergeben [176]. Die erforderlichen Güteparameter an dieser Schnittstelle sind ergo auch auf Zellbasis definiert. Die angeforderte Bitrate wird aufgrund konstanter Payloadlänge einfach auf eine Zellrate umgerechnet. Unterschieden wird hier noch nach der Spitzenzellrate (Peak Cell Ratio, PCR) und der Dauerzellrate (Sustainable Cell Ratio, SCR). Seitens der Fehlermöglichkeiten wird das Verhältnis fehlerhafter Zellen (Cell Error Ratio, CER), Zellen in falscher Reihenfolge (Cell Misinsertion Ratio, CMR) sowie verlorengegangenen Zellen (Cell Loss Ratio, CLR) ins Verhältnis zur Anzahl aller übertragenen Zellen ausgedrückt. Der Zeitbezug zwischen Quelle und Senke kann mit Hilfe der Cell Transfer Delay (CTD) sowie der Cell Delay Variation (CDV) beschrieben werden. Erstere spezifiziert die Verzögerungszeit, die eine Zelle auf ihrem Weg von der Quelle bis zur Senke durch Leitungswege und Wartespeicher der Switches erfährt. Der zweite Wert beschreibt die Schwankung dieser Verzögerungsszeiten. Seitens variabler Bitströme wird zudem die maximale Anzahl der mit PCR gesendeten Zellen durch die maximal zu erwartende Zellhäufung (Maximum Burst Size, MBS) beschrieben [161].

2.3 Die Architektur von ATM-Netzen

Bei ATM-Netzen handelt es sich von der topologischen Betrachtung her um vermaschte Netze, was eine leichte Erweiterung der Netzstruktur und somit die Eigenschaft der Skalierbarkeit unterstützt [I25]. Auf übertragungstechnischer Ebene wird zwischen den Kommunikationsteilnehmern eine Verbindung über mehrer Netzknoten aufgebaut. Aus diesem Grunde wird bei ATM auch von einem sogenannten „Geschalteten Netz“ (Switched Network) gesprochen [128]. Im folgenden werden kurz die für ATM-Netze relevanten Netzschnittstellen vorgestellt. Ausgehend hiervon werden topologische Eigenschaften von ATM-Netzen sowie das Vermittlungskonzept näher erläutert.

2.3.1 Definition der Netzschnittstellen

Die auf den ersten Blick unstrukturiert erscheinenden ATM-Netwerke folgen im wesentlichen den Schnittstellenempfehlungen der Standardisierungsgremien und können somit klar gegliedert werden. Vom ATM-Forum werden grundsätzlich die öffentlichen von den privaten Netzwerken unterschieden ([56],[A12],[A3]).

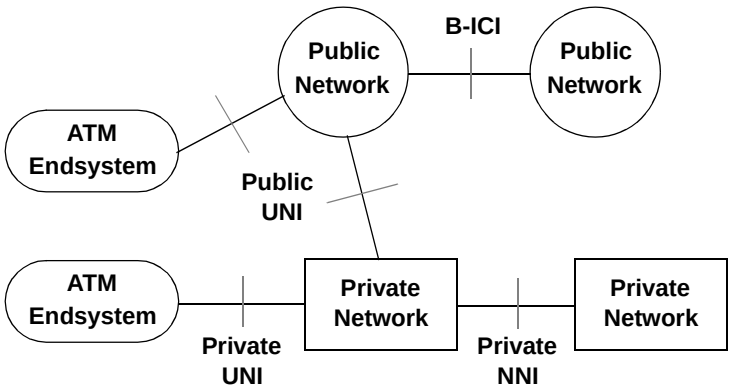


Abbildung 2-7: Schnittstellendefinition nach ATM-Forum

Hierzu wurde die UNI-Schnittstelle (User Network Interface) in der Variante Public bzw. Private definiert. Private Netzwerke können mittels der NNI-Schnittstelle (Network Network Interface) untereinander gekoppelt werden. ATM-Endsysteme besitzen keine vermittlungstechnische Funktionalität und können direkt an ein öffentliches und natürlicherweise auch an ein privates Netzwerk angeschlossen werden. Der Anschluß eines privaten Netzes an das eines öffentlichen Netzbetreibers vollzieht analog zu den ATM-Endsystemen über die Public UNI. Das Broadband Inter Carrier Interface (B-ICI) hingegen stellt die wesentliche Schnittstelle

für die Verbindung von nicht privaten und ergo öffentlichen Netzen miteinander dar. Die Funktionalität der ATM-Schicht eines Netzelementes hängt somit von seiner Position im Netz und respektive von der verwendeten Schnittstelle ab (vgl. Abbildung 2-7). Deutlich wird dieses schon durch die Definition unterschiedlicher Zellköpfe für die UNI- und die NNI-Schnittstelle (siehe Kapitel 2.2.2). Im Bereich der Endsysteme und somit des Access-Bereiches ist eine hohe Anzahl verfügbarer VCIs von Bedeutung. Innerhalb eines ATM-Netzes hingegen sollten im Hinblick auf eine gute Auslastungsverteilung möglichst viele VPIs vorhanden sein. Aufgrund dessen wurden im NNI-Zellkopf auf vier Bits für die GFC zugunsten eines erweiterten VPI Adreßraumes verzichtet ([128],[127]).

2.3.2 Die Struktur von ATM-Netzen

Prinzipiell besteht ein ATM-Netzwerk aus einer Anzahl von Vermittlungsrechnern, die durch Übertragungsleitungen auf der Basis elektrischer oder auch optischer Medien wie der Glasfaser miteinander verbunden sind [I29]. Die Einbeziehung vorhandener Netztypen wie Lokaler Netze, privater Telefonnetze (Private Branch Exchanges, PBX), Frame Relay u.a. in einen ATM-Netzverbund war von vornherein beabsichtigt und wird technisch durch spezielle Router realisiert (s.a. Abbildung 2-8) [156]. Ein ATM-Netz kann dabei selbst wiederum als LAN fungieren. Die Bildung von Unterstrukturen wie Subnetzen wird durch die kaskadierte Anordnung der Netzknoten erreicht [156].

2.3.3 Das Vermittlungskonzept des ATM

Das ATM-Verfahren beruht auf einer als Fast Paket Switching bekannten Kombination aus leitungsorientierter, schneller Paketvermittlung [127]. Eine Kommunikationssitzung besteht dabei aus den üblichen drei Phasen des Verbindungsaufbaus, der Datenübertragung und dem anschließendem Verbindungsabbau [97]. Dem rein physikalischen Übertragungsnetzwerk, bestehend aus Vermittlungsknoten und Übertragungsleitungen, ist eine zweistufige logische Netzstruktur übergeordnet. Sie basiert auf dem Konzept der virtuellen Pfade (Virtual Path, VP) und der virtuellen Kanälel (Virtual Channell, VC). Die Gesamtbandbreite einer Übertragungsleitung wird auf eine Menge von VCs aufgeteilt. Gruppen von VCs können dabei wiederum durch VPs zusammengefaßt werden. Die Gesamtbandbreite eines VPs umfaßt so die Summe der Bandbreiten der auf ihn geschalteten VCs. Die Zuordnung aller durch eine Übertragungsstrecke geleiteten Zellen zu ihrem VC bzw. VP wird anhand der VP/VC-Kennungen (VP/VC-Identifier, VPI/VCI) in den Zellköpfen realisiert. Da die Endsystemadressen einer Verbindung in der Steuerinformation einer ATM-Zelle nicht vermerkt sind, stellt der VPI/VCI auch schon die einzig verfügbare Adreßinformation auf Zellebene dar [147].

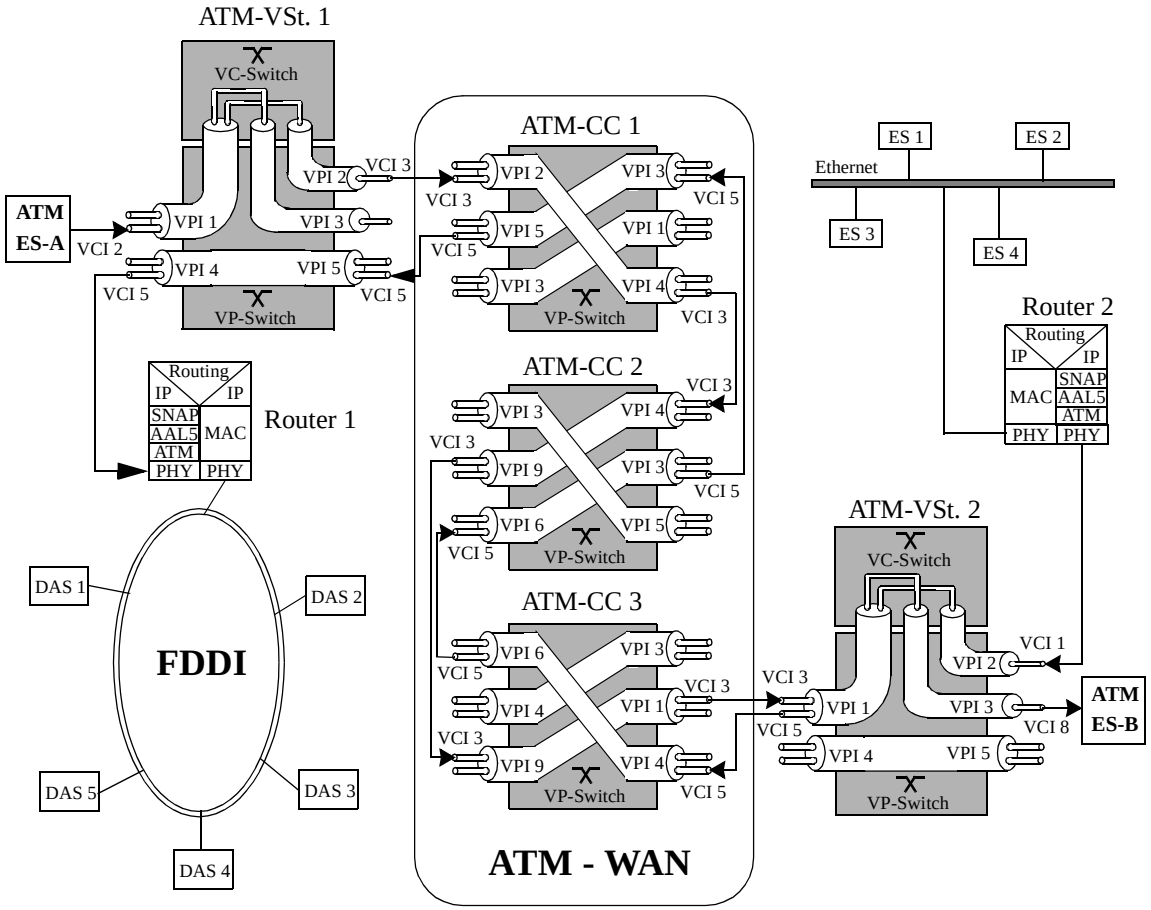


Abbildung 2-8: Vermittlungskonzept im ATM-Netzwerk

Aufgrund der Zuordnung der Zelle zu einem VP und einem VC pro Teilstrecke haben diese Kennungen einen stark lokalen Charakter. Die Gesamtstrecke einer virtuellen Kommunikationsverbindung (Virtual Channel Connection, VCC) ergibt sich aus einer logischen Sequenz von hintereinandergeschalteten VCs, die eindeutig sein muß. Die Konfiguration und Etablierung dieser Abfolge von Teilstrecken wird durch die Signalisierung vollzogen, und umfaßt den ersten Routingprozeß. Während der Phase der Datenübertragung treten die Zellen in einen Vermittlungsknoten ein, wo im folgenden ihr VPI und VCI ausgelesen wird. Anhand einer Verbindungstabelle erfolgt nun eine Zuordnung der Zelle auf einen ausgehenden VC innerhalb eines VPs. Sind diese neuen Kennungen in den Zellkopf eingetragen worden, wird die Zelle über diesen VC zum nächsten Vermittlungsknoten entsandt, wo sich der gleiche Vorgang wiederholt (vgl. Abbildung 2-8). Dieser Multiplexprozeß kann gewissermaßen als zweite Routingphase betrachtet werden.

Bedingt durch die Zweistufigkeit der logischen Netzstruktur werden seitens der Vermittlungsknoten technisch gesehen die ATM-Vermittlungsstellen bzw. Switches von den Kreuzkopplern (Cross-Connects , CC) unterschieden [161]. Im Gegensatz zu einem Kreuzkoppler ist ein Switch dabei in der Lage, neben virtuellen Pfaden auch einzelne virtuelle Kanäle zwischen ein- und ausgehenden VPs zu multiplexen. Das Konzept der VPs stellt ein wichtiges Strukturierungsmittel zur Organisation von Netzen dar [176]. Innerhalb einer logischen Netzstruktur können komplette Pfadrouten durch das Hintereinanderschalten von Einzelpfaden vordefiniert werden. Ganze Bündel von VCs werden somit im Netz vorvermittelt, was den Aufwand für das Routing stark verringert. Auch das Multiplexen der Zellen in einem Kreuzkoppler vereinfacht sich, da alle Zellen mit identischem VPI gleichartig vermittelt werden können [156].

2.4 Aufbau und Kontrolle von Verbindungen

Für Wegsuche und Kontrolle von Verbindungen in einem ATM-Netzwerk sind das Routing und die Signalisierung verantwortlich. Bevor zwei Instanzen miteinander kommunizieren können, muß zwischen ihnen eine Verbindung durch das Netzwerk hindurch aufgebaut werden, welche insbesondere den geforderten Dienstgütekriterien genügt. Die Suche nach dieser Sequenz von Teilstrecken wird innerhalb des Routingprozesses vollzogen [109]. Die Etablierung und Kontrolle der Verbindung wird hierbei von der Signalisierung übernommen. So gesehen gibt es Ähnlichkeiten zwischen der Wegsuche eines Datagramms im, auf der TCP/IP Protokollsuite basierenden, verbindungslosen Internet und der Suche einer Verbindung im ATM-Netzwerk [97]. Der Aspekt des QoS-basierten Routings ist immer noch Gegenstand der Forschung ([78],[101],[130],[145],[148],[181] u.a.). Dennoch definierte das ATM-Forum schon frühzeitig in seiner Empfehlung zum PNNI ein konkretes Routingverfahren für private Netzwerke , welches im folgenden kurz dargestellt wird [A12].

2.4.1 Das Routing im ATM-Netzwerk

Bei qualitätsbasiertem Routing existieren zwei grundlegende Ansätze. Entweder wird die Route für jede Verbindungsanforderung individuell berechnet oder aber es werden unterschiedliche Mengen von vorberechneten Routen gemäß den Dienstklassen eingerichtet. Aus einem solchen Pool wird dann für eine Einzelverbindung eine Route entnommen. Das PNNI-Routing ist gemäß ATM-Forum hierarchisch organisiert, während die Empfehlung der ITU hingegen von einem nicht hierarchisch organisierten Netzwerk ausgeht [I1]. Gemäß der PNNI-Empfehlung wird für jede Verbindungsanforderung eine individuelle Route berechnet [A12].

2.4.1.1 Die logische Hierarchie

Die Empfehlung des Forums geht von einer flachen, physikalischen Netzstruktur aus, auf der dann aber eine logische Hierarchie definiert wird (vgl. Abbildung 2-9). Die Knoten auf der untersten Ebene werden logische Knoten (logical nodes, LN) genannt, die Verbindungswege zwischen ihnen entsprechend als logische Links (logical links). LNs besitzen eine eindeutige ID und werden in Peer-Groups (PGs) zusammengefaßt, welche ihrerseits eine ID besitzen. Die Zusammengehörigkeit von LNs zu einer PG wird anhand von Hello-Paketen, welche zwischen benachbarten Knoten mittels eines vorreservierten Routing Control Channels (RCC) ausgetauscht werden, ermittelt. Hat ein LN einen Nachbarknoten in einer anderen PG, so werden diese Knoten auch Grenzknoten (Border Nodes) genannt. Neben dem Hello-Protokoll werden desweitern innerhalb einer PG permanent die PNNI Topology State Pakets (PTSPs) geflutet. Ein solches PTSP enthält Informationen über den Zustand eines Knoten sowie Kenntnisse über seine Links und deren Zustände in Form von PNNI Topology State Elements (PTSEs). Ein LN speichert die ankommenden PSTEs in seiner Topologie-Datenbank. Änderungen werden unmittelbar mit den Nachbarknoten abgeglichen. Ein PSTE ist innerhalb einer Topologie-Datenbank mit einer Art Haltbarkeitsdatum gekennzeichnet, so daß es in gewissen Zyklen vom erzeugenden LN aktualisiert werden muß.

PGs können auf einer nächst höheren Ebene durch Aggregation wiederum zu einer größeren Gruppe zusammengefaßt werden. Der Peer-Group-Leader (PGL) stellt innerhalb einer PG einen ausgezeichneten Knoten mit gewissen Sonderfunktionen dar. Er vertritt dabei seine PG insbesondere zur nächst höheren Schicht hin und ist für die Aggregation und den Austausch der Topologieinformationen verantwortlich. Pro PG gibt es genau einen aktiven PGL, welcher durch einen Wahlprozeß (Peer-Group Leader Election, PGLE) ermittelt wird. Grundlage dieses Verfahrens bilden die Leadership Priorities, anhand derer der LN mit der höchsten Priorität zum PGL ermittelt wird. In der Abbildung 2-9 sind hierzu die PGLs schwarz eingefärbt. Für die PG(A) stellt der Knoten A.2 den PGL, welcher seinerseits die PG(A.2) repräsentiert. In der PG(A.2) wiederum ist der LN A.2.3 der verantwortliche PGL. Dieser Knoten besitzt somit PGL-Verantwortlichkeit für die Gruppen PG(A.2) sowie PG(A). Hierbei wird die übergeordnete PG(A) als Parent Peer Group für Child Peer Groups PG(A.1), PG(A.2), PG(A3) sowie PG(A.4) bezeichnet. Jede Child Peer Group ist innerhalb der Parent Peer Group durch einen logischen Knoten (Logical Group Node, LGN) vertreten. Er stellt so etwas wie einen virtuellen Knoten dar, da er auf dieser Ebene zur Repräsentation der logischen Struktur definiert wurde. Die Ebene einer PG wird durch die Länge ihrer ID gekennzeichnet. Je kürzer sie ist, um so höher ist die PG in der Hierarchie angeordnet. Maximal möglich sind hier bis zu 104 Ebenen.

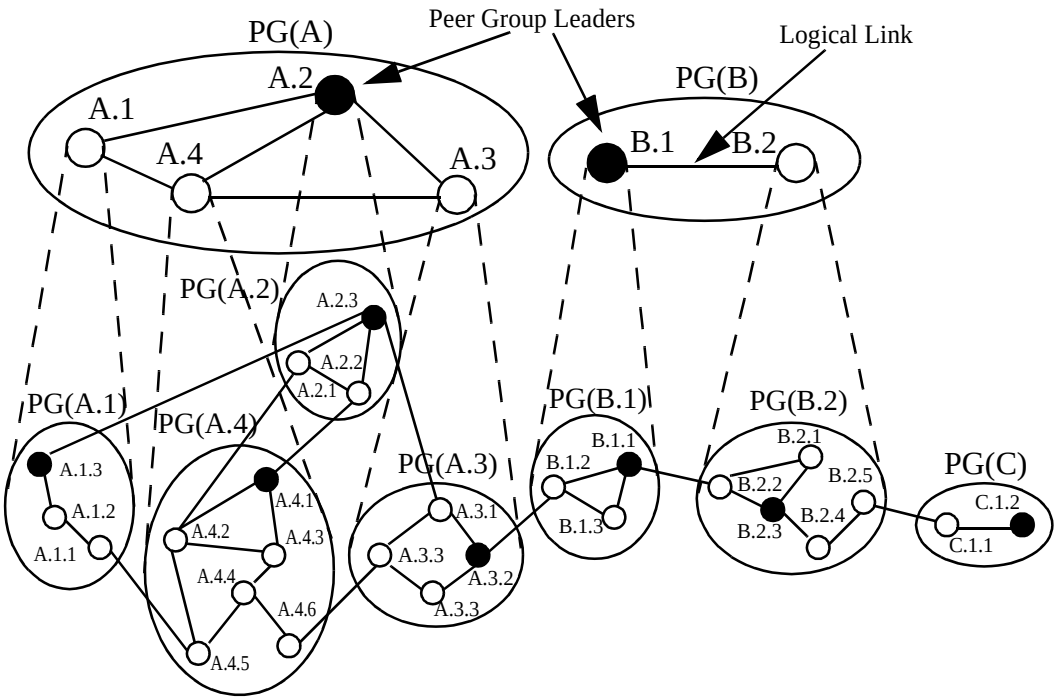


Abbildung 2-9: PNNI-Hierarchie gemäß ATM-Forum

Der Informationsaustausch zwischen den LNs ist auf logischer Ebene reglementiert. So wird zwischen zwei Grenzknoten nur das Hello-Protokoll gefahren, nicht aber Topologieinformation ausgetauscht. Letztere unterstehen dem PGL, welcher sie an den zuständigen LGN weiterreicht, damit die Hierarchie konfiguriert werden kann. Hierzu gehören dann insbesondere auch die Logical Links zwischen LNs in den nächst höheren Ebenen, auch horizontale Links genannt. In der Abbildung 2-9 bspw. besteht in der PG(A) zwischen A.3 und A.4 eine Verbindung, welche letztlich aus der physikalischen Anbindung der Knoten A.4.6 sowie A.3.3 der Gruppen PG(A.4) sowie PG(A.3) basiert. Umgekehrt existiert ein Informationsaustausch von den LGN hin zu den PGLs in der PG bezüglich der Erreichbarkeit von anderen PGs in der entsprechenden Ebene. Diese Informationen sind für den Routingprozeß von entscheidender Bedeutung.

2.4.1.2 Der Aufbau einer Route

Zur Vermeidung von aufwendigen Neuberechnungen in jedem Knoten wie bei einem Hop-by-Hop basierten Routing verwendet das PNNI-Verfahren Sourcerouten für alle Verbindungen. Dieses bedeutet, daß der initiierende Knoten innerhalb seiner PG den kompletten Pfad für einen Verbindungswunsch festlegt. Repräsen-

tiert wird dieser Pfad durch die Designated Transit List (DTL). Sie kann neben den zu traversierenden Knoten auch die traversierten Logical Links enthalten. Besteht der vom initiierenden Knoten erzeugte Pfad aus allen diesem Knoten bekannten Details der Hierarchie, so wird auch von einer hierarchisch kompletten Route gesprochen. Der Ursprungsknoten kann dabei exakte Angaben nur zu Knoten bzw. Links aus seiner PG machen. In den höheren Ebenen sind ihm nur die LGNs sowie deren PGLs bekannt. Hieraus folgt unmittelbar, daß eine Route während des Transit von entsprechenden Knoten in den nachfolgenden PGs seitens der zugehörigen DTLs vervollständigt werden muß.

Die Berechnung der Route basiert insbesondere auf Angaben hinsichtlich der Dienstkategorie, der Verkehrscharakteristik sowie der Dienstgüteanforderungen. Bei der Auswahl eines Knoten bzw. eines Links wird die Frage nach der Ressourcenverfügbarkeit mit Hilfe der Connection Admission Control (CAC) gelöst. Eine Verallgemeinerung der CAC stellt dabei die Generic-CAC (GCAC) dar. Sie gibt gewissermaßen eine Abschätzung zu der Frage, ob ein Knoten eine Verbindung aufgrund seiner Ressourcenlage ablehnt oder aber akzeptiert. Die grundlegende Motivation für die Definition einer GCAC bestand für das ATM-Forum darin, möglichst wenig Voraussetzungen an die CAC eines Knotens zu stellen. Durch die Aggregation von Informationen sowie die Verwendung der GCAC sind die für die Routenberechnung zugrundeliegenden Informationen mit einer gewissen Ungenauigkeit behaftet.

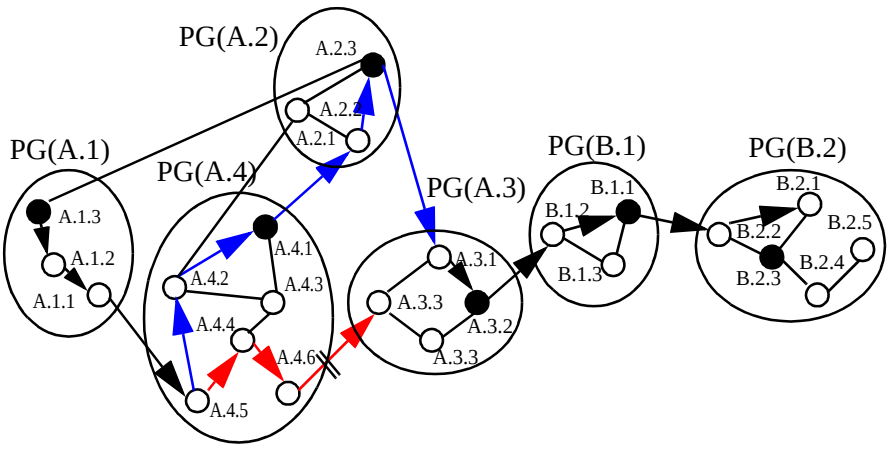


Abbildung 2-10: Routingszenario mit Crackback

Tritt der Fall ein, das auf der vorberechneten Route eine Ressource nicht zur Verfügung steht, so wird ein Crankback eingeleitet, d.h. die bisherige Route wird bis zu dem Knoten wieder abgebaut, welcher die DTL generiert hat, so daß dieser nun die Möglichkeit hat, einen alternativen Pfad zu berechnen. Dieser Vorgang ist

in der Abbildung 2-10 dargestellt. Vom Ursprungsknoten A.1.3 soll eine Verbindung zum Zielknoten B.2.1 aufgebaut werden. Folgender Pfad bestehend aus drei gestapelten DTLs wird hierzu berechnet:

DTL1:[A.1.3, A.1.2, A.1.1]
DTL2:[A.1, A.4, A.3]
DTL3:[A, B]

Der Pfad führt durch die PG(A.1) von A.1.3 ausgehend über die Knoten A.1.2 sowie A.1.1. Ab dort wird der Border Link in die benachbarte Gruppe PG(A.4) gewählt. Der weitere Weg ist durch die Angabe der PGs A.1, A.2 und A.3 gekennzeichnet. Auf oberster Ebene sind die PGs A und B zu durchlaufen.

Der DTL-Stapel reflektiert deutlich die Detailtiefe der dem Ursprungsknoten zur Verfügung stehenden Informationen. In der Abbildung 2-10 ist das Auftreten eines Verbindungsfehlers zwischen den Knoten A.4.6 sowie A.3.3 skizziert. Dieses bedeutet, daß die ursprüngliche Route so nicht durchgesetzt werden kann. Ab dem Knoten A.4.6 setzt nun das Crankback ein, d.h. die Verbindung wird rückwärtig bis zu dem Knoten abgebaut, welcher die DTL für die Traversierung der Gruppe PG(A.4) generiert hat. Es ist dies in diesem Fall der Knoten A.4.5, der nun eine alternative Route suchen muß.

DTL1:[A.4.5, A.4.2, A.4.1]
DTL2:[A.1, A.2, A.3]
DTL3:[A, B]

Sie führt gemäß der Abbildung über die Gruppenknoten A.4.4, A.4.2 sowie A.4.1 in die PG(A.2) und von dort dann über die PG(A.3) zum Zielknoten B.1.1 in der PG(B.1). Der Fortschritt eines Verbindungsaufbaus wird mit Hilfe von Indices, welche die momentane Position in jeder DTL referenzieren, kontrolliert (vgl. auch [59],[61]).

2.4.2 Die Signalisierung bei Peer-to-Peer Verbindungen

Die Signalisierung in einem TK-Netzwerk ist grundsätzlich für den Aufbau, die Kontrolle sowie den Abbau von Verbindungen zuständig. Unterschieden wird dabei die Anrufsteuerung (Call Control, CC) von der Verbindungssteuerung (Bearer Connection Control, BCC). Erstere ist für die Kontrolle einer Verbindung an den Verbindungsendpunkten zuständig, während letztere die Verbindung im Netzwerk selbst steuert. In der Signalisierungsempfehlung Q.2931 [I78], welche unmittelbar an die Empfehlung ITU-Q.931 für das N-ISDN angelehnt ist, wird noch nicht zwischen diesen beiden Kontrollinstanzen unterschieden. Im sogenannten Capability-Set 2 (CS-2) wird gemäß der Empfehlung ITU-Q.2931 diese Trennung dann aber vollzogen.

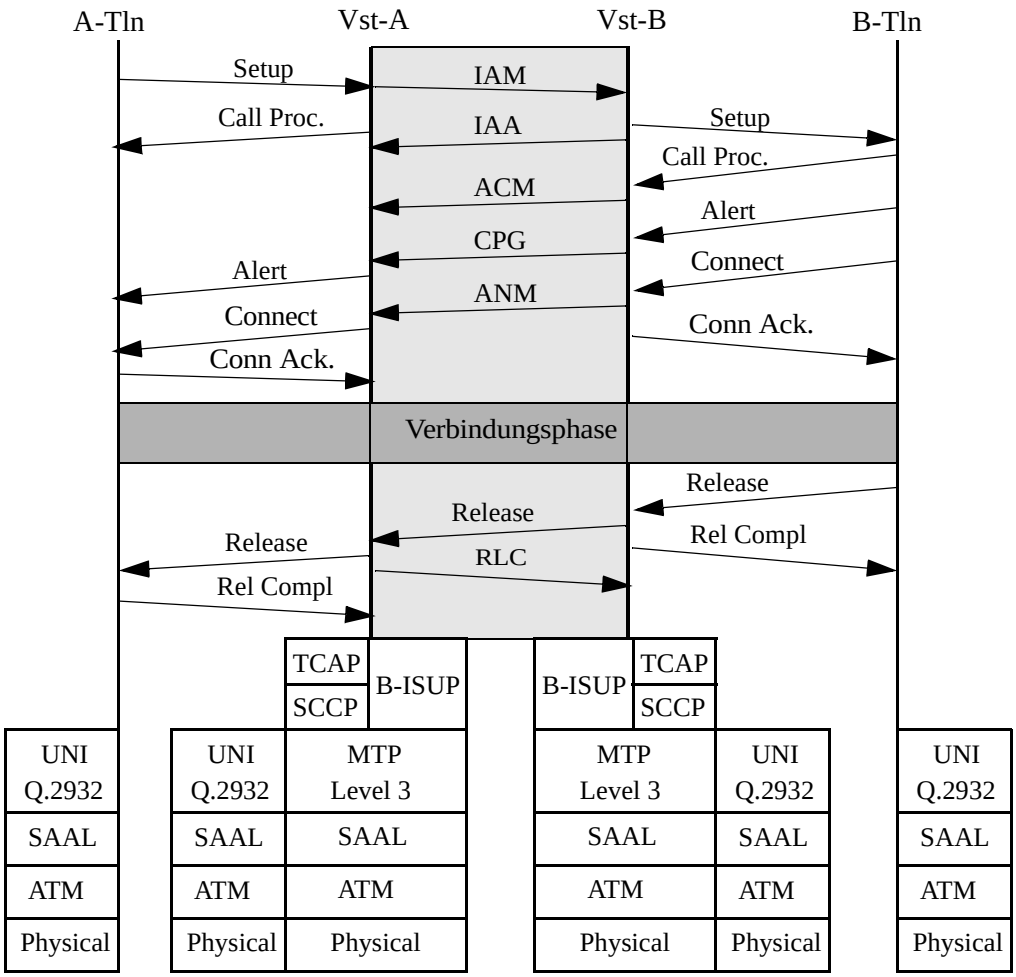


Abbildung 2-11: Signalisierung für Punkt-zu-Punkt Verbindung

Wie der Abbildung 2-11 zu entnehmen ist, gestaltet sich die Signalisierung an der Teilnehmer/Netzschnittstelle (UNI) anders als an den netzinternen Schnittstellen (NNI). Für das UNI wurde der Standard Q.2932 ([I79]), für das NNI entsprechend der Standard Q.2761 ([I74]) vorgesehen. Der Übergang wird durch Empfehlung Q.2650 ([I69]) definiert. Analog zum N-ISDN werden auch bei den ATM-basierten Breitbandnetzen hinsichtlich beider Schnittstellenarten die Signalisierungsinformationen von den Nutzdaten getrennt innerhalb gesonderter, virtueller Signalisierungskanäle transportiert [I63], die sich aber i.d.R. im gleichen VP befinden. Signalisierungsinformationen sind allerdings auch in den Köpfen der Nutzdaten z.B. zur Kennzeichnung des VPI/VCI sowie für die Verkehrskontrolle (CLP-Flag) vorhanden. Letztere sind aber nur für schon installierte Verbindungen

relevant, wo sie den Vermittlungsprozeß der Zellen in der Vermittlungsstelle bzw. im Switch steuern. Aufgebaut werden die Nutzkanäle durch die über die Signalisierungskanäle an die entsprechenden Switches übermittelten Kontrollinformationen. Aufgrund dieser Informationen werden dann in den Eingangsstufen der Vermittlungsstellen die Verbindungstabellen angelegt und editiert. Innerhalb der Vermittlungsstelle werden anschließend die eintreffenden Zellen entsprechend den angelegten Tabellen über die Koppelfelder einzeln vermittelt ([I22],[I30]).

2.4.2.1 Die Etablierung einer Verbindung

Bevor die Signalisierungsinformationen für den Verbindungswunsch eines Teilnehmers übertragen werden können, muß erst einmal der entsprechende Signalisierungskanal aufgebaut werden. Dieser Vorgang vollzieht sich am UNI mit Hilfe der sogenannten Metasignalisierung als sogenanntes „Signaling of Signaling“ über die hierzu vorgehaltene Pfad/Kanal-Kombination VPI=0/VCI=1. Analog zum Aufbau eines Nutzkanal werden bei der Metasignalisierung für die Initiierung des Signalisierungskanals folgende drei Phasen unterschieden [I63]:

1. Aufbau (Signalling Channel Connection Setup, SCCS)
2. Kontrolle (Signalling Channel Connection Control, SCCC)
3. Abbau (Signalling Channel Connection Release, SCCR)

Ist der Signalisierungskanal eingerichtet, so kann der eigentliche Verbindungsaufbau, wie in der Abbildung 2-11 dargestellt, vonstatten gehen. Von Seiten des Teilnehmers A (CPE A) wird eine Setup-Nachricht an die zuständige Zugangsvermittlungsstelle VSt.-A (LEX A) gesendet. In dieser Nachricht ist bei Blockwahl die komplette Wahlinformation für den gewünschten Zielteilnehmer, Informationselemente zur Charakterisierung der gewünschten Dienstklasse, des Zellverkehrs sowie weiterer Dienstgüteparameter enthalten. In der VSt.-A werden diese Anforderungen umgesetzt und der Verbindungsaufbau innerhalb des Netzwerkes mit Hilfe der Initial Address Message (IAM) fortgesetzt. Durch eine Call Proceeding Nachricht wird dem initiierenden Teilnehmer die Bearbeitung des Verbindungsaufbaus signalisiert, während die Zugangsvermittlungsstelle des Zielteilnehmers B durch Erhalt der IAM den Verbindungswunsch registriert und diesen beim Teilnehmer B an der DSS2 mit Hilfe einer Setup-Nachricht anzeigt. Die Entgegennahme der IAM quittiert die VSt.-B der VSt.-A mit der Initial Address Acknowledge Nachricht (IAA), während der Zielteilnehmer B nach Erhalt der Setup-Nachricht die Bearbeitung des Verbindungswunsches der VSt.-B mit einer Call Proceeding Nachricht quittiert. Durch die Reaktion des Zielteilnehmers wird der VSt.-B die Vollständigkeit der verwendeten Wahlinformationen angezeigt, welche diese mit Hilfe der Address Complete Nachricht (ACM) an die VSt.-A durchreicht. Ein oder u.U. auch mehrere Endgeräte des Endteilnehmers

reagieren auf den Verbindungswunsch durch ein „Klingelzeichen“, was der VSt.-B durch die Alert Nachricht mitgeteilt wird und welche diese in Form der Call Progress Nachricht (CPG) der Partnervermittlungsstelle VSt.-A anzeigt. Letztere signalisiert dem initiierenden Teilnehmer ebenfalls durch eine Alert Nachricht den Vorgang des „Klingelns“ beim Endteilnehmer an. Der Entgegennahme der Verbindung am Endgerät durch den Zielteilnehmer, vergleichbar mit dem Abnehmen eines Telefonhörers, folgt die Übermittlung der Connect Nachricht an die VSt.-B, die diese dann als Answer Nachricht (ANS) an die VSt.-A weiterreicht. Dort wird eine entsprechende Connect Nachricht an den initiierenden Teilnehmer gesendet. Die Entgegennahme einer Connect Nachricht muß jeweils mit einer Connect Acknowledge Nachricht bestätigt werden. Hiernach steht die Verbindung für die Übertragung der Nutzdaten bereit (s.a. [137],[156],[161]).

2.4.2.2 Der Abbau einer Verbindung

Bei dem Abbau einer Kommunikationsverbindung wird zuerst der Nutzdatenkanal und dann erst der Signalisierungskanal abgebaut. Jeder Teilnehmer einer Kommunikationsverbindung kann diese durch eine Release Nachricht (REL) abbauen. Die entsprechende Zugangsvermittlungsstelle leitet diese Nachricht an die Vermittlungsstelle des Kommunikationspartners weiter, welche diese an ihren Teilnehmer übermittelt. Die Umsetzung eines Verbindungsabbauwunsches wird dabei von den beteiligten Instanzen durch eine Release Complete Nachricht (RLC) bestätigt.

2.5 Verwandte Arbeiten

Gegenwärtig sind im Bereich der Telekommunikationsforschung zwei nebenläufige Trends erkennbar, die sich nur langsam aufeinander zu bewegen. Es sind dieses die AOT sowie das Paradigma der marktorientierten Programmierung. Auf der Basis der AOT wurden in den letzten zwei Jahren neue strukturbildende Ansätze für die Entwicklung künftiger Telekommunikationsplattformen zur Generierung, Installation, Bereitstellung als auch Wartung von modernen Kommunikationsdiensten entwickelt ([189],[190],[204],[301] u.a.). Hier ist jedoch erkennbar, daß die Umsetzung der AOT-spezifischen Vorteile vorwiegend auf der Ebene der Anwendungsdienste vollzogen wurde. Die Umsetzung der AOT auch auf die Dienste ab Schicht vier abwärts gemäß dem OSI-RM fand bis auf die wenigen hier vorgestellten Ausnahmen kaum statt. Dieses ist insofern nicht verwunderlich, als da bspw. eine effiziente Implementierung der Protokolle des OSI-Transportstacks nur mit beträchtlichem Aufwand zu realisieren ist [279]. Bei derart „starr“ ablaufenden Funktionalitäten würde die Modellierung mit Agenten nur einen zusätzlichen Aufwand zu Lasten der Laufzeiteffizienz mit sich bringen. Diese Sicht ist jedoch zu

überdenken, wenn Systeme auf der Basis eines Marktes konzipiert werden. Dabei ist der Ansatz des marktorientierten Systementwurfs im Softwarebereich keineswegs neu. Erste Ansätze tauchten schon 1968 hinsichtlich der fairen Zuteilung von Rechenzeit auf Großrechenanlagen auf [315]. Weiteren Auftrieb erhielt dieses Konzept dann durch seine Anwendung auf Probleme der Lastbalancierung in Netzwerken ([87],[26]) sowie der Lösung hochkomplexer und i.d.R. NP-vollständiger Probleme ([20],[23],[49],[50],[230],[323]). Der konsequente Einsatz von IAs als Basis für die autonomen Akteure in marktorientieren Systemen findet dabei erst seit geraumer Zeit statt ([5],[15],[18],[24],[44],[198],[244]). Im folgenden werden nunmehr inhaltliche Auszüge aus den Arbeiten vorgestellt, die sich thematisch hinreichend mit der hier anvisierten Kernproblematik zur Deckung bringen lassen.

2.5.1 Preisstrategien für Netzwerke

Seit es Kommunikationsnetzwerke gibt, stellt sich immer wieder die gleiche Frage, wie die Benutzung der angebotenen Dienste und somit die von ihnen in Anspruch genommenen Ressourcen zu vergebühren sind ([9],[85]). Insbesondere sind hier die Charakteristiken der zugrundeliegenden Netzwerktechnologien zu beachten [77]. Bei paketvermittelnden Netzen kann eine Vergebührung z.B. durch das Zählen der versendeten Pakete und ergo der real belegten Bandbreite erfolgen [309]. Im Bereich der leitungsvermittelnden Netze wird eine Kostenrechnung i.d.R. auf der Basis der Nutzungszeit einer Verbindung in zusätzlicher Abhängigkeit von Tageszeit und Entfernung erstellt, da bei einer Leitungsverbindung für den Zeitraum der Benutzung ja eine feste Bandbreite zur Verfügung steht. Ähnliche Verhältnisse herrschen bei heutigen zellularen Netzen z.B. auf GSM-Basis, bei denen neben der Nutzungszeit (On-Air-Time) ebenfalls die Distanz zum Zielteilnehmer, welcher auch mobil sein und somit unterschiedliche geographische Positionen einnehmen kann, eine Rolle spielt. Bei der Festlegung ihrer Tarifierungspolitik haben die Telekommunikationsanbieter nicht nur das Verhalten ihrer Endkunden zu beachten, sondern auch die ihrer konkurrierenden Mitbewerber und dieses gleich in zweifacher Hinsicht. Zum einen müssen sie sich in einem oligopolistischen Markt den Erfordernissen des Wettbewerbs stellen und ihre Gebührenstrategie auf ihre Konkurrenten hin abstimmen. Zum anderen allerdings sind sie auf die Kooperation eben dieser Mitbewerber bei der Erbringung z.B. global verfügbarer Dienste wie der Telefonie angewiesen. Für die Durchstellung einer Telefonverbindung von einem Dienstanbieter in Europa zu einem Zielteilnehmer in den USA muß bspw. ein regionaler Anbieter wie AT&T in Anspruch genommen werden. Die Gebühren für diese Verbindung müssen ergo aufgeteilt werden. Im folgenden wird daher kurz das traditionelle Vergebührungsschema der Accounting Rates vorgestellt. Anschließend werden neue, zumeist kostenbasierte Vergebührungsstrategien erläutert, deren Ziel es ist, beim Prozeß der globalen Deregulierung und Liberalisierung der Tk-Märkte unterstützend zu wirken (s.a. [92],[119],[123]).

2.5.1.1 Accounting Rates

Im Jahre 1865 fanden sich 20 europäische Nationen zusammen, um für den sich ausweitenden grenzüberschreitenden Telegraphiedienst eine Regelung für die Aufteilung der Gebühren zwischen unterschiedlichen internationalen Anbietern zu vereinbaren, die selbst heute noch in Form der sogenannten Accounting Rates (AR), abgewandelt für den Telefoniedienst, ihre Gültigkeit besitzt ([111],[112]).

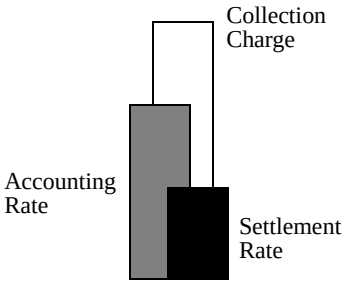


Abbildung 2-12: Zusammensetzung der Collection Charge

Zur Nutzung einer überregionalen Verbindung zwischen zwei Endteilnehmern, die unterschiedlichen Telekommunikationsanbietern angehören, wird hierbei eine auf den Dienst bezogene, bilaterale Preisregelung zugrunde gelegt, die unabhängig davon ist, wo die Teilnehmer jeweils im Netz ihres Anbieters lokalisiert sind [113]. Beide Dienstanbieter legen dabei die AR als einen gemeinsamen Großhandelspreis pro Dienstverbindung zugrunde. Es ist dabei ohne Belang, in wessen Netz die Verbindung ihren Ursprung hat. Zur Kompensation der in Anspruch genommenen Ressourcen zahlt der Dienstanbieter, von dem aus die Kommunikationsverbindung initiiert wurde, einen Teilbetrag von der AR, die Settlement Rate (SR), an den Anbieter, welcher die Verbindung zum Zielteilnehmer weiterführt. Die SR beträgt üblicherweise 50% der AR. Der die Verbindung initiierende Teilnehmer entrichtet vereinfacht einen Pauschalbetrag, die sogenannte Collection Charge, an seinen Dienstanbieter (vgl. Abbildung 2-12). Diese enthält neben der AR einen Zusatzbetrag, den der Dienstanbieter von seinem Kunden einfordert ([114],[317]).

2.5.1.2 Kostenbasierte Vergebührung

Das oben vorgestellte AR-Verfahren arbeitet zufriedenstellend unter der Voraussetzung, daß für interagierende Telekommunikationsanbieter die Collection Charges nahezu gleich hoch sind und daß ein- wie ausgehende Dienstaufkommen zwischen ihnen im Gleichgewicht ist [317]. Bedingt durch die frühzeitig erfolgte Liberalisierung des nationalen Telekommunikationsmarktes in den Staaten als

auch in U.K. haben sich Ungleichgewichte im Verkehrsaufkommen zwischen den Vertragsstaaten der ITR eingestellt. Indem die Tarife bzw. die Collection Charge für internationale Verbindungen in diesen liberalisierten Märkten kontinuierlich sank, hat die Zahl der ausgehenden Anrufe stark zugenommen. Insbesondere bei den USA hat sich das Leistungsbilanzdefizit im internationalen Telefonverkehr, ausgedrückt durch die sogenannte Net Settlement Payment, auf eine Größenordnung von nahezu 5 Mrd. US$ in 1995 erhöht [316]. Selbst die mit diesem Prozeß einhergehende Senkung der ARs - das Defizit pro überschüssiger Minute fiel von 1.42$ in 1983 auf 0.59$ in 1995 - konnte diesen Effekt nicht kompensieren. Auf der World Administrative Telepraph and Telephone Conference in Melbourne (WATTC-88) [115] wurde daher bei der Aktualisierung des internationalen Rahmenvertrages zur Regelung des grenzüberschreitenden Dienstverkehrs die Reformierung des AR-Systems beschlossen und insbesondere die D-Serie der ITU mit ihren Empfehlungen zur kostenbasierten Gebührenverrechnung mit aufgenommen ([111],[112]).

Unterschiedliche Verfahren sind hierzu in der Diskussion [114]. Beim Sender keeps all Ansatz entfällt die Kompensationszahlung des Netzbetreibers, bei dem der Verbindungswunsch initiiert wurde, an den Netzbetreiber des Zielteilnehmers. Im Internet aber auch beim internationalen Briefzustelldienst findet dieses Verfahren Anwendung. Bei der volumenbasierten Vergebührung werden die zu übertragenden Datenmengen einem Dienstanbieter in Rechnung gestellt. Dabei ist denkbar, daß bilaterale Kostenabsprachen auf der Basis der zu übertragenden Gesprächsvolumina zwischen zwei Anbietern stattfinden, um so Ungleichgewichte im grenzüberschreitenden Verkehrsaufkommen abzufedern. Nachteilig ist hier allerdings die schwierige Implementierung des Verfahrens. Wird die Kompensationszahlung konkret an den jeweils benutzten Ressourcen festgemacht, so wird dieses Facility-based Interconnection Payment genannt. Diese Art der Verrechnung wurde bis dato vorwiegend für die Kompensation des reinen Transitverkehr angewendet. Bei den Call Termination Charges handelt es sich um ein unilaterales Vergebührungsverfahren. Für jede zu vervollständigende Verbindung zahlt der initiierende Dienstanbieter eine Gebühr an den Dienstanbieter, durch dessen Netz die Verbindung geroutet wird.

2.5.2 IA-basiertes Routing

Die Wegsuche für eine Kommunikationsverbindung stellt ein explizit verteiltes Problem dar und wird i.d.R. durch die Zusammenarbeit dedizierter Systemkomponenten wie Router oder Vermittlungsstellen realisiert ([97],[167]). Dieser Bereich stellt somit ein vergleichsweise fruchtbares Feld für den Einsatz von AOT dar. Bei IA-basiertem Routing wird die Wegesuche nach einer Verbindung entsprechend als verteilt ablaufender Problemlösungsprozeß miteinander kooperierender und im

Gesamtnetz verteilter IAs mit lokaler Expertise verstanden (s.a. [278],[293]). Dennoch behalten auch hier die von herkömmlichen Routingansätzen her bekannten Problematiken wie Oszillationen, Zyklenfreiheit, Terminierung etc. ihre Relevanz. Diesen Fragen der Stabilität und des Zeitverhaltens müssen auch agentenbasierte Systeme mit geeigneten Mechanismen begegnen.

2.5.2.1 Intelligent Routing

In der Arbeit von Gyires [290] wird ein Ansatz zur Restauration von gestörten Verbindungen in Weitverkehrsnetzwerken auf der Basis von domänenspezifischen Heuristiken vorgestellt. Das Netzwerk wird dabei in eine Anzahl von Regionen unterteilt, von denen jede jeweils durch einen Routingagenten (RA) kontrolliert wird. Ein RA besitzt lokales Wissen über seine Umgebung, welches ungenau und unvollständig sein kann. Wird nun eine Übertragungsleitung gestört und werden somit mehrere Kommunikationsverbindungen unterbrochen, besteht die Aufgabe der RAs nunmehr darin, lokale Pläne für die Restauration dieser Kommunikationsverbindungen auf der Basis eines Reroutings zu erstellen. Diese lokalen Pläne werden dann mit den jeweils benachbarten RAs zu einem globalen Plan zur Wiederherstellung möglichst vieler Verbindungen abgeglichen.

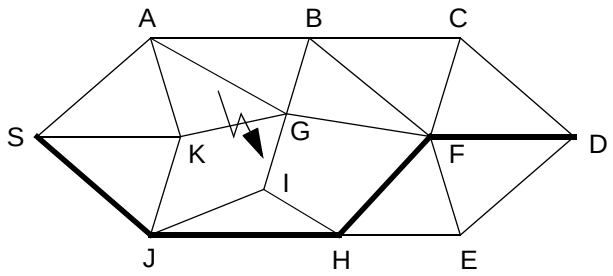


Abbildung 2-13: Beispiel einer restaurierten Übertragungsleitung

Im Beispiel der Abbildung 2-13 fällt die Übertragungsleitung zwischen den Regionen der RAs K und G durch eine Störung aus und unterbricht somit die Kommunikationsverbindung zwischen den Endsystemen S und D, welche über K, G sowie F verläuft. Endsystem S als Initiator der Kommunikationsverbindung stößt den Planungsprozeß zur Wiederherstellung der Verbindung an und ermittelt in einem ersten Schritt alle RAs, welche in der Vergangenheit in der Lage waren, erfolgreich eine Verbindung zu restaurieren. Im Beispiel seien dieses die RAs A, K und J. Sie werden von S mit der Erstellung einer Kostenabschätzung für eine neue Route beauftragt, wobei eine obere Schranke der zu erwartenden Kosten an die RAs mitgeliefert wird. Letztere ermitteln die notwendigen Ressourcen und liefern die damit verbundenen Kosten an das Endsystem S zurück, welches nun seinerseits

eine Schätzung der zu erwartenden Kosten vornimmt und sich dann für den RA mit der niedrigsten Kostennote entscheidet. Im Prinzip verläuft dieser Vorgang nun rekursiv auf dem jeweils ausgewählten RAs ab. Im gezeigten Beispiel wurde eine alternative Route über die RAs J, H und F gefunden. Die Auswahl eines geeigneten RA wird mit Hilfe einer statistischen Schätzung heuristisch getroffen, d.h. es wird der RA selektiert, welcher bei vorherigen Restaurierungsversuchen erfolgreich eine Verbindung aufbauen konnte. Auf dieser Basis wird der Statistisch Heuristische Suchalgorithmus (SHSA) definiert, der aufgrund des mit der Zeit gewonnenen Wissens über die Tauglichkeit der jeweils benachbarten RAs den gesamten Suchraum durch die Auswahl des jeweils geeignetsten, respektive kostengünstigsten Kandidaten stark einschränkt. Die Terminierung des Algorithmuses wird u.a. durch die Kontrolle der Zyklenfreiheit bei Verwendung einer netzweit eindeutigen Verbindungs-ID gewährleistet. Da der Suchvorgang bei Überschreiten der vorgegebenen Kostengrenze an einem Link jeweils bis auf das initiale Endsystem zurücksetzt, die Kostengrenze anpaßt und den Suchvorgang erneut anstößt, müssen im Worst-Case alle möglichen Pfade durchlaufen werden. Gyries gibt hier in Anlehnung an den sogenannten Simple Recursive Best-First Search-Algorithmus einen Aufwand von $O(b^{2d})$ mit b als Vermaschungsgrad und d als maximaler Suchtiefe an. Unter Annahme einer fixen Berechnungszeit für die Kosten kann hier bei bekannter Netztopologie eine maximale Antwortzeit abgeschätzt werden. Eine ungünstige Wahl der maximalen Kostengrenze pro Link durch den initiierenden Endknoten provoziert ein entsprechend häufiges Rücksetzen und verschlechtert das Antwortverhalten des Systems. Existiert eine Verbindung zwischen den beiden Endteilnehmer, so wird diese vom Algorithmus auch gefunden. Die Frage danach, wie gut sich das System aufgrund seiner adaptiven Eigenschaften mit der Zeit verbessert, wird vom Autor offen gelassen. Der Speicherplatzbedarf wird mit O(db) angegeben und ist somit bei einer über einen hinreichend langen Zeitraum als statisch angenommenen Netztopologie linear im Aufwand.

2.5.2.2 Pathfinder

Bei den herkömmlichen Routingverfahren werden die Entscheidungen für die Wahl der Teilstrecken im wesentlichen durch die Netzknoten wie Vermittlungsstellen bzw. Router getroffen [97]. In der Arbeit von Neuenhofen [303] wird im Gegensatz hierzu der Ansatz verfolgt, die Routingentscheidungen autonom durch einen sich im Netzwerk bewegenden mobilen Agenten (MOBAG) durchführen zu lassen. Für den Aufbau einer Kommunikationsverbindung wird ein MOBAG instanziiert und mit der Zieladresse sowie den geforderten Dienstgüteparametern versehen ins Netz entsandt. Auf der Basis der lokal vorhandenen Informationen in den Netzknoten, als auch seiner eigenen Expertise versucht der MOBAG nun eine Verbindung zu erstellen, indem er lokal Ressourcen allokiert und dann weiter zum nächsten Netzknoten migriert. Landet der MOBAG in einer Sackgasse oder kann

die geforderte Dienstgütequalität auf einem Knoten nicht gewährleistet werden, so setzt er zum jeweiligen Vorgängerknoten zurück. Schlimmstenfalls landet er wieder bei dem Ursprungsknoten, von wo aus er seine Reise im Netzwerk begonnen hat. Der hier verwendete Algorithmus entspricht dem Prinzip der Tiefensuche mit Rücksetzen (Backtracking). Die Topologie des Netzes ist zwar bekannt, nicht aber die Ressourcensituation auf den Knoten selbst, welche für die Sicherstellung einer durchgängigen Dienstgüte notwendig ist und daher Hop-by-Hop ermittelt wird. Die Antwortzeit dieses Routingalgorithmuses ist auch im Durchschnitt als entsprechend hoch einzustufen. Eine Garantie für die zeitliche Dauer eines Verbindungsaufbaus kann nicht gegeben werden. Die Stabilität des Ergebnisses ist davon abhängig, ob die pro Knoten getätigten Reservierungen zeitlich begrenzt sind. Durch Timeouts bedingte Freigaben von Ressourcen können dabei den Ende-zu-Ende Verbindungsaufbau destabilisieren. Zudem muß der im Netzwerk migrierende MOBAG über eine Reservierungsauflösung in Kenntnis gesetzt werden. Die Terminierung des Verfahrens ist insbesondere von der Zyklenfreiheit der durchlaufenen Pfade abhängig. Der Autor macht weder zur Frage der Stabilität noch zur Terminierung des Verfahrens konkrete Aussagen.

2.5.3 Marktbasierte Ressourcenverteilung

Gleich mehrere Arbeiten befassen sich mit der Umsetzung marktbasierter Techniken zur Zuteilung von Ressourcen wie Übertragungsbandbreite oder CPU-Zeit. Bei den vorgestellten Marktmechanismen muß unterschieden werden, ob es sich um einen künstlichen internen oder externen und offenen Markt handelt. Bei letzterem werden, im Gegensatz zu einem künstlichen Markt, reale Geldwerte verrechnet, d.h. Geld wechselt gegen entsprechende Leistung den Besitzer. Ein interner Markt wird hingegen bevorzugt für dezentrale Regelungsprobleme eingesetzt und funktioniert i.d.R. mit einer rein fiktiven Währung[1] ([8],[51]).

2.5.3.1 Challenger

Beim Challenger-Prototypen handelt es sich um ein Multiagentensystem, welches von Maes für die dezentrale Verteilung von Rechenzeit innerhalb eines Computerverbundes entworfen wurde [281]. Rechenjobs mit begrenzter Zeitdauer wie z.B. Compilerläufe oder Formatieraufgaben werden hierbei für den Benutzer transparent im Netz den entsprechenden Rechnern zugeteilt. Pro Prozessor ist dabei nur ein Job in Sinne der Challenger Strategie vorgesehen. Die Ressource Rechenzeit eines solchen Prozessors sowie die Menge der lokalen Rechenjobs werden dabei von dem Challenger Agenten verwaltet. Die Zielvorstellung bei diesem System

1. Fiktive Währungen werden als „Blue Money“ bezeichnet, reale Währungen dagegen als „Green Money“.

besteht darin, durch die Kooperation der IA‘s bei der Verteilung der Rechenjobs ein systemweites, kohärentes Verhalten in punkto gleichmäßiger Prozessorauslastung zu erreichen. Wird auf einem Rechner stationär ein Prozeß erzeugt, so sendet der Challenger Agent eine Anfrage unter Angabe der voraussichtlichen Laufzeit dieses Jobs an die Challenger Agenten auf den benachbarten Rechnern inklusive sich selbst. Ähnlich dem Contract-Net Verfahren (vgl. [260]) antworten diese mit einem Angebot, welches die voraussichtliche Terminierungszeit des Jobs enthält. Aus diesen Angeboten wird dann dasjenige mit der frühesten Beendigungszeit ausgewählt. In einer erweiterten Version sind die Challenger Agenten in der Lage, die voraussichtlichen Verzögerungszeiten der Kommunikationsnachrichten innerhalb des Rechnerverbunds mittels Durchschnittsbildung zu schätzen und somit die Jobdurchlaufzeiten zu verbessern (s.a. [3],[34],[315]).

2.5.3.2 FreeWalk

In der Arbeit von Yamaki/Wellmann [325] wird ein vernetztes Treffpunktszenario namens FreeWalk vorgestellt, welches ein Unterprojekt des umfassenden Socia-Rahmenprojektes darstellt. Im Gegensatz zu herkömmlichen Konferenzsystemen mit vorab geplanter Zusammenkunft der beteiligten Kommunikationspartner werden bei FreeWalk zufällige Treffen in einer informalen Atmosphäre modelliert und multimedial realisiert. Bemerkenswert ist hierbei die Fähigkeit des Systems, physikalische Distanzen in Bild und Ton nachzubilden. Im Meeting Space sehen sich die Teilnehmer je nach Distanz zueinander mit einer gewissen Unschärfe. Ab einer gewissen Maximaldistanz zwischen Sender und Empfänger ist dann bspw. auch kein Audioverkehr mehr möglich. Hierzu werden die entsprechenden Audio-/Videodaten im Multicast-Verfahren verteilt. Da jeder Teilnehmer nur einen gewissen Ausschnitt aller im Meeting Space vorhandenen Anwesenden wahrnimmt, werden die Audio-/Videodaten selektiv versendet. Mit steigender Zahl an Teilnehmern verschlechtert sich die Dienstgüte signifikant. Das System ist dabei nicht in der Lage, sich den dynamischen Veränderungen seitens der Netzwerklast und der Lokation der Teilnehmer anzugleichen. Es gibt keinen Mechanismus, der mehr Bandbreite für die Teilnehmer allokiert, welche sehr nah zueinander interagieren im Gegensatz zu denen, welche quasi allein im Meeting Space umherwandern. Als Lösung dieses Problems wird ein adaptiv arbeitender Mechanismus zur Kontrolle der Dienstgüte auf der Basis der Marktmetapher eingesetzt, welcher mit Hilfe der marktorientierten WALRAS-Programmierumgebung von Wellmann implementiert worden ist [7]. Als Güter werden hier die aktuell sowie künftig benötigte Bandbreite nebst zugehöriger Dienstqualität für die Kommunikation mit den im Meeting Space vorhandenen Teilnehmern gehandelt. Die Dienstqualität bezieht sich hierbei auf die Applikationsebene und kann auf unterschiedliche Arten bspw. als Videoauflösung, Framerate, Tonqualität etc. repräsentiert werden. Teilnehmer, die sich im Meeting Space bewegen, benötigen kaum Bandbreite, während

ruhende und miteinander kommunizierenden Teilnehmer einen stark erhöhten Bandbreitenbedarf aufweisen. In Abhängigkeit von seinen Aktivitäten kann ein Teilnehmer nun die Bandbreiten verkaufen, welche er in Zukunft nicht braucht, bspw. weil er sich von gewissen Teilnehmern entfernt, während er dort hinzukaufen muß, wo er die Kommunikation mit anderen Teilnehmern aufnehmen will. Der Teilnehmer als Konsument verhandelt Bandbreiten und Dienstgüte mit Produzenten, welche auf sogenannten Gemeinschaftsservern plaziert sind. Durch die Wahl geeigneter Nutzen- und Produktionsfunktionen konvergiert das System auf ein Gleichgewicht zwischen den Konkurrenten hin. Außerdem kann für dieses Gleichgewicht Pareto-Optimalität nachgewiesen werden ([336],[338]).

2.5.3.3 Kuwabara

In der Arbeit von Kuwabara [26] wird eine marktbasierte Ressourcenverteilung vorgestellt, deren Ziel darin besteht, beim Aufbau mehrerer Kommunikationsverbindungen eine netzweit homogene Auslastung der Bandbreiten zu erreichen und Oszillationen beim Ressourcenverbrauch zu reduzieren. Durch die Assoziation der Ressourcen mit Verkäufern sowie der Aktivität des Verbindungsaufbaus mit Käufern werden die wesentlichen Marktakteure definiert. Käufer wie Verkäufer besitzen nur lokale Informationen über ihre Umgebung, globales Wissen über den Netzzustand bspw. fehlt ihnen. Für den Aufbau einer Verbindung müssen Ressourcen vom Verkäufer erworben werden. Der Käufer erzeugt also die Nachfrage, auf deren Basis der Verkäufer die Preise definiert, d.h. die relative Auslastung einer Ressource bestimmt zu einem Zeitpunkt ihren Preis. Dieses bedeutet, daß bei hoher Auslastung ein hoher Preis und bei schwacher Auslastung ein entsprechend niedriger Preis gestellt wird. Kommunikation seitens der Preise tritt ausschließlich zwischen Käufern und Verkäufern auf fest vorgegebenen Signalisierungskanälen auf. Ein Verkäufer besitzt ergo keine Kenntnis über die Preise seiner Konkurrenten. Durch die Einführung von Nutzenfunktionen kann ein Verkäufer seinen Profit maximieren, ein Käufer hingegen seine Ausgaben minimieren. Die Gesamtperformance des Systems wird durch die Auslastungsvarianz aller Ressourcen bestimmt. Bei der Betrachtung der Verzögerungszeiten beim Empfangen der Preisinformationen konnte in Simulationen nachgewiesen werden, daß die Auslastungsvarianz des Gesamtsystems mit zunehmenden Verzögerungszeiten deutlich ansteigt. Durch eine verbesserte Abschätzung der Ressourcenpreise unter Einbeziehung dieser Verzögerungszeiten konnte der Oszillationseffekt gedämpft werden.

2.5.3.4 Auktion von ATM-Bandbreiten

Die Schaffung eines Ressourcenmarkt auf der Basis eines Auktionsverfahrens zur Preisbildung wird in der Arbeit von Miller [35] verfolgt. Als maßgebliche Ressource wird hier die Bandbreite von ATM-Teilstrecken gehandelt. Als zentrale und

unabhängige Instanz des Marktes agiert der Auktionator. Seine Aufgabe besteht darin, Ressourcenwünsche der Verbraucher bzw. Kunden zu registrieren und einem Preisbildungsprozeß zu unterwerfen (vgl. Abbildung 2-14).

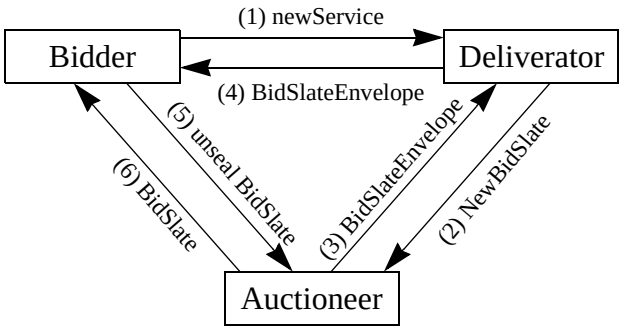


Abbildung 2-14: Nachrichtenfluß zwischen den Marktakteuren

Die Kunden spezifizieren dabei ihre Werteinschätzung für eine Ressource in Abhängigkeit von der Quantität durch eine monotone, stückweise lineare Preisfunktion, die nicht notwendigerweise stetig sein muß. Hat der Auktionator alle Angebote vorliegen, so errechnet er den Preis einer jeden Ressource im Netzwerk. Dieses Ergebnis wird den Marktteilnehmern dann via einem Service-Ticker mitgeteilt. Durch die Einführung der VCC als einer Art Derivat wird die Verhandlung kompletter Verbindungen möglich und der Kunde von der Notwendigkeit zur Preisspezifikation einzelner Ressourcen entlastet. Generell handelt es sich bei dem von Miller vorgestellten System um einen offenen Markt. Die Bewertung von Ressourcen bzw. Diensten vollzieht sich auf Basis realer Geldwerte. Zur Verrechnung der Kosten wird ein hierarchisch strukturiertes Vergebührungssystem vorgeschlagen, mit dem sowohl externe wie auch interne Abrechnungsvorgänge realisiert werden können (vgl. [149]).

2.5.3.5 Marktbasiertes Routing

In der Arbeit von Gibney [10] wird eine Architektur vorgestellt, mit deren Hilfe ein marktbasiertes Routing für leitungsvermittelnde Netze unterstützt wird. Es handelt sich dabei um ein dreistufiges Schichtenmodell, welches auf ein herkömmliches Übertragungsnetzwerk aufsetzt (vgl. Abbildung 2-15). Eine Leitung setzt sich aus einer Menge von Teilverbindungen, den Links, zusammen. Die Links werden dabei auf der Übertragungsebene bereitgestellt. Die nächst höhere Schicht stellt dann die Marktebene dar. Hier werden drei Arten von Intelligenten Agenten unterschieden, die auf speziell hierfür vorgesehenen Marktplätzen miteinander Handel treiben. Die oberste Schicht ist die Kundenebene. Hier werden Verbin-

dungswünsche durch einen Dienstkunden generiert und an den Rufagenten auf der Marktebene weitergegeben. Letzterer kauft eine komplette Leitungsverbindung von einem Pfadagenten auf einem Pfadmarktplatz.

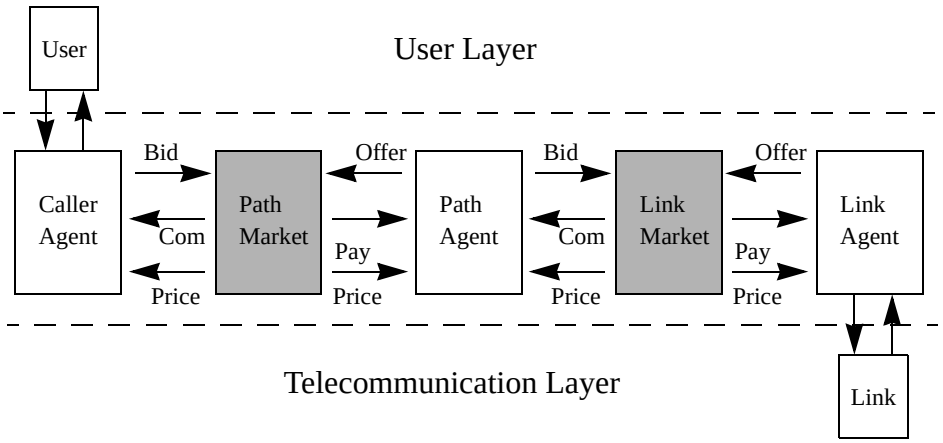


Abbildung 2-15: Die IA-basierte Marktebene

Zur Erstellung von Komplettverbindungen muß der Pfadagent eine Menge von Links vom Link-Agenten auf dem eigens hierfür vorgesehenen Marktplatz erwerben. Konzeptionell treten Käufer und Verkäufer nicht direkt miteinander in Kontakt. Der Marktplatz vermittelt Angebot und Nachfrage zwischen beiden Akteuren in Form einer „Double Auction“ und übernimmt auch die Verteilung der Preisinformationen, anhand derer sich die Agenten strategisch positionieren können.

2.5.4 Vergebührung von Internetdiensten

Neben den Untersuchungen im Bereich ATM-basierter Tk-Netze existieren auch verwandte Arbeiten zur Integration von Vergebührungsmechanismen und entsprechenden Preismodellen im Internet. Eine gute Übersicht hierzu wird in [312] und [306] gegeben. Als Beweggründe werden die zunehmende Kommerzialisierung des einstmals als nicht gewinnorientiert anvisierten Internets sowie der steigende Bedarf an dienstgüteflexiblen Diensten mit entsprechender Abrechnungsfähigkeit angeführt. Zudem zielen die Ansätze auf eine Lastverteilung (load balancing), bedingt durch die Rückkopplung der durch Marktmechanismen ermittelten Preise auf die Lastsituation des Netzes ab. Bei der Vergebührung ist der Transport der Daten durch evtl. mehrere unterschiedlich Provider von den transportierten Inhalten bzw. Informationen (Content) zu trennen [312]. Auf die Erfassung der tatsächlich in Anspruch genommenen Ressourcen wird bei der verbrauchsbasierten Vergebührung Wert gelegt, was aber u.a. aufgrund der manigfaltigen Dienstgüte-

charakterisierungen erschwert und mit zusätzlichem Aufwand erkauft wird. Die Granulariät der Vergebührung hängt hier von der Auflösung der Accountingdaten ab. Aufgrund des sich vollziehenden technologischen Wandels im Internet werden die paketbasierten Vergebührungsmodelle von denen auf Basis der differenzierten und der integrierten Dienste unterschieden. Beim klassischen Internet mit seinem traditionellen best-efford Dienst liegt der Fokus bei der Vergebührungsdatenerhebung auf dem Zählen von Paketen mit Hilfe von Filtern oder statistischen Stichproben, mit dem Ergebnis recht grober Messungen sowie einer unzureichenden Abschätzung der vom Nutzer in Anspruch genommenen Ressourcen. Auch die differenzierten Dienste basieren auf dem verbindungslosen IP-Protokoll und verwenden zusätzliche Parameter für die Dienstgütecharakterisierung. Lediglich bei den integrierten Diensten wird aufgrund strombasiert arbeitender, verbindungsorientierter Protokolle wie dem Ressource Reservation Protocol (RSVP) Echtzeitfähigkeit erreicht. Die faire Nutzung stellt dabei in gewisser Weise eine entgegensetzte Forderung zu einem nach Dienstklassen differenzierenden Internet dar.

2.5.4.1 RSVP-basierte Vergebührung

Im Rahmen des CATI-Projektes [314] (Charging and Accounting Technology for the Internet) wurde an der ETH Zürich ein Vergebührungsmodell für integrierte Internetdienste auf RSVP-Basis entworfen ([284],[313]). Anstelle einzelner Pakete bilden hier Paketströme (flows) die elementaren Vergebührungseinheiten. Die Erfassung der genutzten Bandbreitenkapazität läßt sich über die Flußspezifikation (flow-specs) des Paketstroms erreichen. Die Signalisierungsnachrichten (PATH, RESV) des RSVPs wurden um Angebots- und Preisinformationen erweitert, deren Interpretation vom zugrundegelegten Preismodell abhängig ist. In der PATH-Nachricht werden bei dessen Netztraversierung vom Sender zum Empfänder die aktuellen Marktpreise der Router, welche die gewünschte Dienstklasse unterstützen, vermerkt. Die rücklaufende RESV-Nachricht überträgt dann die aktuellen Verbindungskosten zum Sender. Bedingt durch diesen Hin- und Rückweg können für Sender und Empfänger anteilige Gebühren transportiert werden, was eine Aufteilung der Gesamtkosten (split-charging) ermöglicht. Die Vergebührung findet pro Router und somit anbieterindividuell statt. Die Preisaktualisierung ist zeitlich an die Erneuerung der Reservierungen gebunden. Für dieses Vergebührungssystem wurden zwei unterschiedliche Preismodelle entworfen und untersucht.

Die Delta-Auktion ermittelt den Marktpreis auf Grundlage der Kundenofferten. Der Name leitet sich von der Eigenschaft ab, daß die Auktion inkrementell bei Eintreffen einer neuen Offerte durchgeführt werden kann, mit der Konzequenz einer deutlichen Reduzierung des Rechenaufwands auf den Routern sowie der Verzögerungen beim Verbindungsaufbau [313]. Aus Komplexitätsgründen wird aus dem QoS-Vektor nur die Bandbreite bei der Auktion berücksichtigt. Die übrigen Angaben wie Jitter, Fehlerrate, etc. werden nicht weiter beachtet. Die Bandbreitenanfor-

derungen werden zunächst in definierte Einheiten aufgeteilt und dann im Rahmen einer Mehrfachauktion zugeteilt. Dieser Vorgang wird bei jedem Eintreffen einer Flowspec angestoßen und der Marktpreis auf Basis der Kundenofferten, die von lokal verfügbaren Stellvertreteragenten mit Hilfe von Bietstrategien generiert werden, entsprechend angepaßt. Die fortlaufende Aktualisierung des Preises entspricht dem Konzept der Smart Markets, wie es schon von MacKie-Mason & Varian [300] sowie Lazar [297] eingeführt wurde.

Beim zweiten Ansatz handelt es sich um ein dynamisches, volumenbasiertes Preismodell, welches verkäuferorientiert ist [284]. Es werden die zwei Dienstklassen „best-efford“ und „reserved bandwidth“ unterstützt. Das Produkt besteht aus Bandbreite mal Zeit, wobei der Preis in Abhängigkeit von aktueller Last und Nachfrage abhängig gemacht wird. Ausgehend von einem Grundpreis existieren zwei Freiheitsgrade für die Preisanpassung im Überlastfall. Einer Funktion, welche den Preisanstieg quantifiziert, falls die Bandbreitennachfrage das Angebot übersteigt sowie dem link-load Parameter, welcher den Schwellwert seitens der Last definiert, ab dem die Preisanstiegsfunktion wirksam wird. Er reflektiert quasi die Preiselastizität des Produktes.

2.6 Vergleichende Betrachtung

Die unter Kapitel 2.5 vorgestellten Arbeiten sind aufgrund ihrer teilweise sehr unterschiedlich gewählten Ansätze nur bedingt miteinander zu vergleichen. Dennoch wird im folgenden versucht, mittels einer Anzahl von Kriterien ihre Brauchbarkeit im Hinblick auf die Durchsetzung des Marktprinzips bis auf die Ressourcenebene zu prüfen. Folgende Fragen werden zum Vergleich herangezogen:

1 Wie wird der Wettbewerb unterstützt?

2 Welche Güter werden gehandelt?

3 Wie erfolgt die Preisbildung der Güter?

4 Gibt es automatisierte Verhandlungen?

5 Welcher Art ist das Vergebührungssystem?

6 Wie ergibt sich das Routing einer Verbindung?

7 Wie wird das Verkehrsaufkommen gesteuert?

Thematisch lassen sich diese Kriterien in zwei Gruppen einteilen. Die ersten fünf Fragen behandeln im wesentlichen marktorientierte Aspekte, während die letzten beiden hingegen den technischen Bezug zur Netzwerkebene herstellen. Aus Gründen der besseren Übersicht werden nun die vorhandenen Ansätze für beide Themenbereiche getrennt diskutiert.

2.6.1 Aspekte seitens Marktstruktur und Preissystem

Da der Preis einer Ware bzw. Leistung in einem oligopolistischen Markt durch die Konkurrenz der Anbieter bestimmt wird, ist die direkte Einflußnahme der kostenbasierten Preisstrategien auf den Wettbewerb im Netzwerk durchaus sinnvoll. Beim Sender keeps all Verfahren werden die in Anspruch genommen Ressourcen der zur Diensterbringung beteiligten Netzanbieter nicht kompensiert. Alle Kosten, die beim Betrieb und der Nutzung eines Netzes entstehen, müssen vom jeweiligen Telekommunikationsanbieter auf die Gebühren, die er von seinen Dienstkunden erhebt, umgelegt werden. Bei bilateraler Betrachtung können wie schon beim AR-System erhebliche Bilanzdefizite zwischen zwei Anbietern entstehen, die sich u.U. nur durch die multilaterale Umsetzung dieses Preiskonzeptes beheben lassen. Eine exaktere Preisfestsetzung pro Gesprächsverbindung wird bei der volumenbasierten Vergebührung, den Call Termination Charges sowie den Facility-based Interconnection Payments erreicht. Beim Call Termination Charging sind die Gebühren für die Komplettierung einer Verbindung unabhängig vom initiierenden Dienstanbieter und entsprechen somit der Forderung nach Transparenz und Gleichberechtigung der partizipierenden Teilnehmer. Im Gegensatz hierzu sind die veranschlagten Kosten beim Facility-based Payment das Resultat bilateraler Verhandlungen zwischen Dienstanbietern und ergo nicht öffentlich einsehbar, so daß hier Effekte der Diskriminierung einzelner Anbieter möglich sind. Auch bei der volumenbasierten Vergebührung werden die Preise durch bilaterale Verhandlungen festgelegt. Dennoch besteht hier die Möglichkeit, in Abhängigkeit von der Höhe des Verkehrsaufkommens die Preise degressiv bzw. progressiv zu definieren, so daß hier direkt Einfluß auf die Lastbalance genommen werden kann. Für alle bisher diskutierten Strategien kann festgehalten werden, daß sich die Preisfestsetzung auf einer sehr hohen operativen Ebene unter vornehmlich betriebswirtschaftlichen Aspekten vollzieht. Bis auf das Facility-based Interconnection Payment Verfahren ist die Bindung der Preise an die momentane Ressourcenauslastung als gering einzustufen. Automatisierte Verhandlungen zur Bestimmung der Verbindungspreise sind bislang bei keinem Verfahren vorgesehen.

Im Gegensatz zu den reinen Preisstrategien gestalten sich die übrigen Ansätze sehr viel technischer, mit engerer Kopplung an die zu verwaltende Ressource. Das von Neuenhofen [303] beschriebene Konzept sieht zwei unterschiedliche Klassen miteinander interagierender Agenten vor. Der MOBAG verhandelt mit den Knotenagenten über die geforderte Ressourcenmenge. Insofern kann man folgern, daß es sich hierbei um ein System verteilter Marktplätze mit mobilen Kunden handelt. Auf einem Knoten können durchaus mehrere MOBAGs um die Ressource konkurrieren, wobei ein Transaktionsmechanismus die Gefahr einer Doppelbelegung ausschließt. Jedoch wird offengelassen, auf welcher Basis die Verhandlungen stattfinden. Ebenso werden keine Angaben zu den Preisbildungsmechanismen bzw. Vergebührungsstrategien gemacht.

Beim Verfahren von Gyires [290] ergeben sich beim Verbindungsaufbau die Kosten einer Route aus der Summe der Einzelkosten für die bis dahin traversierten Teilverbindungen und Netzwerknoten. Zusätzlich wird der M-Schätzfaktor hinzugerechnet, der die statistische Wahrscheinlichkeit für einen erfolgreichen Verbindungsaufbau wiederspiegelt. Bei dieser Kostenbestimmung handelt es sich somit nicht um einen direkten monetären Preis, der bspw. für die Benutzung der Verbindung von einem Dienstteilnehmer zu bezahlen wäre. Auch existiert zwischen den auf den Netzknoten plazierten Agenten kein direkter Wettbewerb. Die Kostenabschätzung für die einzelnen Knoten reflektiert im wesentlichen die Wahrscheinlichkeit für einen erfolgreichen Verbindungsaufbau, so daß sich die Kommunikation der Agenten auf den Austausch von Kostenschätzungen reduziert. Ein Vergebührungssystem für die Abrechnung von entstandenen Kosten entfällt hier somit. Ähnliche Verhältnisse ergeben sich beim Ansatz vom Maes [281] zur netzweiten Verteilung von Rechenzeit. Die Kosten für die Auslagerung eines Jobs auf eine Rechner-CPU werden direkt von deren Auslastung abhängig gemacht. Der Wettbewerb der IAs, welche die CPU-Zeit managen, basiert hier auf einem dem Contract-Net ähnlichen, einstufigen Ausschreibungsverfahren [260]. Der Rechner mit der kleinsten Auslastung und somit dem geringsten Preis wird ausgewählt. Automatisierte Preisverhandlungen, die über das reine Ausschreibungsverfahren hinaus gehen, existieren nicht. Auch bei Kuwabara [26] werden die Preise für die Netzwerkressourcen, welche unmittelbar mit Verkaufsagenten assoziiert werden, nicht verhandelt sondern lediglich publiziert. Allerdings bestimmt der Verkaufsagent den Preis anhand der Nachfrage der Käufer. Der Umstand, daß weder die Käufer noch die Verkäufer jeweils miteinander kommunizieren und somit keine Kenntnis über die jeweiligen Angebote ihrer Konkurrenten besitzen, schränkt den Wettbewerb ein. Der Preis einer Ressource leitet sich ähnlich wie bei Maes von ihrer Auslastung ab. Ist die Nachfrage hoch, werden mehr Kapazitäten verbraucht und der Preis steigt. Gleiches gilt für den umgekehrten Fall. Ergo entfällt hier ebenso die Notwendigkeit eines Vergebührungssystems, da Aspekte der internen Lastbalance hier die entscheidende Rolle spielen. Wird die Reservierung von Ressourcen nun zeitlich gesehen vom gegenwärtigen Bedarf entkoppelt, so treten planerische Aspekte mit in den Vordergrund. Die sich im Meeting Space bewegenden Konsumenten des FreeWalk Systems [325] bestimmen ihren Ressourcenverbrauch in Abhängigkeit von ihren künftigen Kommunikationsaktivitäten. Bewegt sich der Agent in angemessener Entfernung zu den übrigen Teilnehmern, so kann er die nicht benötigte Bandbreite zum Verkauf stellen. Gleichermaßen hat er die Möglichkeit, in Zukunft benötigte Bandbreiten zu erwerben. Im verteilt organisierten Marktsystem werden gemäß Yamaki die aktuelle Bandbreite von der zukünftigen Bandbreite gütermäßig unterschieden. Da die insgesamt verfügbare Bandbreite zu jedem Zeitpunkt jedoch konstant ist, besteht auch bei diesem System eine direkte Abhängigkeit des Ressourcenpreises von der Nachfrage und dient im wesentlichen der fairen Zuteilung, so daß hier ebenso wie bei Maes ein Abrechnungssystem

nicht erforderlich ist. Die Verhandlung der Ressourcenpreise vollzieht sich dabei nicht direkt zwischen den Konsumenten, sondern unter Einschaltung von sogenannten Produzenten, welche quasi als Intermediäre fungieren. Der Wettbewerb der Käufer untereinander basiert somit weitgehend auf ihrem kollektiven Konsumverhalten. Handelt es sich bei Maes, Kuwabara und Yamaki noch um einen vollständig verteilten Markt, bei dem Angebot und Nachfrage von dedizierten Akteuren erzeugt werden, so findet man bei den Arbeiten von Miller und Gibney durchweg zentralisierte Marktstrukturen. Die Zuteilung von Bandbreite wie auch CPU-Zeit für Videoübertragungen vollzieht sich bei Miller mit Hilfe einer Auktion. Der zentral agierende Auktionator nimmt die Gebote der Käufer entgegen und vergibt den Zuschlag an den höchstbietenden Agenten. Da die Preise über den Service-Ticker publiziert werden, haben die beteiligten Akteure, respektive die Kaufagenten, die Möglichkeit hierauf zu reagieren und ihre Angebote im Sinne des Wettbewerbs eventuell zu korrigieren. Im Gegensatz zum FreeWalk System reflektiert dieser Preis hier immer die gegenwärtige Nachfragesituation, die allerdings nicht von der Ressourcenauslastung abhängig gemacht wird. Auch wenn noch ausreichend Kapazitäten vorhanden sein mögen, orientiert sich der Preis dennoch immer am höchsten aller Kaufangebote, so daß hier von einer monetären Bewertung gesprochen werden kann. Entsprechend wird ein hierarchisch strukturiertes, offenes Transaktionsmodell vorgesehen, mit dem es möglich ist, die Kosten für die Nutzung von Ressourcen zu verrechnen. Eine weitaus fortgeschrittenere Marktstruktur wird in der Arbeit von Gibney verwendet [10]. Teilverbindungsstrecken sowie die aus ihnen zusammengesetzten Endverbindungen werden auf zwei unterschiedlichen, horizontal zueinander angeordneten Marktplätzen gehandelt. Die Marktakteure kommunizieren bzw. verhandeln dabei nicht direkt miteinander. Preisfestsetzung und Zuteilung von Verbindungen vollziehen sich anonym im Rahmen einer Doppelauktion. Durch sie wird es möglich, innerhalb einer Auktionsrunde gleich mehrere Käufer und Verkäufer durch einen Kontrakt zuammenzubringen. Die Preisbildung differenziert sich nach Art der gehandelten Ware sowie des jeweiligen Akteurs und ermöglicht somit schon eine Anpassung unterschiedlicher Käufergruppen in der Netzwerkhierarchie. Der Link-Agent mit stark lokaler Sicht bestimmt den Verkaufspreis einer Teilverbindung im wesentlichen anhand deren Auslastung. Der Pfadagent berücksichtigt beim Kauf von Teilverbindungen vom Link-Agenten wie auch beim Verkauf von Endverbindungen an den Call-Agenten die Höhe des jeweils letzten Preises für sein Angebot. Im Gegensatz zu den Arbeiten von Kuwabara, Yamaki und Maes bestünde hier aufgrund der differenzierten Marktplatzorganisation die Möglichkeit, eine Umsetzung von externen gehandelten monetären Preisen auf ein intern geführtes, ressourcenorientiertes Preisschema zu vollziehen. Notwendig wäre hierzu allerdings ein Vergebührungssystem, auf das Gibney hier allerdings verzichtet (vgl. hierzu [10]).

2.6.2 Aspekte des Routings und der Lastbalancierung

Bei den unter Kapitel 2.5.1 vorgestellten Preisstrategien wird auf das Routing einer Dienstverbindung durch die Vorgabe von Preisen sowie dem Modus ihrer Verrechnung Einfluß genommen. So kann ein Dienstanbieter bspw. ein Least Cost Routing auf der Basis der durch das Facility-based Interconnection Payment Verfahren festgelegten Gebühren für Transitstrecken vollziehen. Gleiches gilt für die volumenbasierte Vergebührung. Da beim Call Termination Charge Verfahren lediglich eine festgesetzte Pauschale für die Vervollständigung einer Verbindung zu einem gewünschten Zielteilnehmer im jeweiligen Netz bestimmt wird, kann somit eine flexiblere Routenbestimmung nicht direkt unterstützt werden. Dieses gilt ebenso für das Sender keeps all Verfahren. Das Lastverhalten beim Dienstaufkommen orientiert sich, ein kostenorientiertes Routing vorausgesetzt, am aktuellen Preisgefüge im Netz. Nur eine zeitlich hinreichend feine Anpassung der Preise am Dienstaufkommen kann hier die Grundlage für eine wirksame Lastbalancierung darstellen.

Werden bei den Arbeiten von Maes, Kuwabara und Yamaki mehr die Aspekte der Lastbalance im Netzwerk und der fairen Ressourcenzuteilung fokussiert, so liegt der Schwerpunkt bei Gyires und Neuenhofen mehr auf der Algorithmik der Pfadsuche bzw. des Routing. Eine Zwischenstellung nimmt hierbei Gibney ein, der das Routing von markttechnischen Aspekten abhängig zu machen versucht. Der Pfadagent hat hier die Aufgabe, Endverbindungen aus Teilverbindungen zu konfigurieren. Auf welcher algorithmischen Basis sich dieser Routingprozeß jedoch gestaltet wird völlig offengelassen. Die ausgewiesenen Marktstrukturen dienen insoweit der reinen Preisbildung für die Teil- wie auch Endverbindungen. Da der Preis für die Teilverbindungen im wesentlichen von deren Auslastung abhängt, liegen hier ähnliche Verhältnisse wie bei den herkömmlichen linkstate-basierten Routingverfahren vor. Die Lastbalancierung basiert, ebenso wie bei Maes, Kuwabara, Yamaki und Miller auf der Umsetzung des Marktprinzips von Angebot und Nachfrage. Die Kompensation von Oszillationen im Lastverkehr wird nur bei Kuwabara und Maes behandelt. Als Ursache hierfür wird bei beiden Autoren die netzbedingte Verzögerung bei der Zustellung der Preis- bzw. Auslastungsinformationen zwischen Kauf- und Verkaufsagenten angesehen. Entsprechend wird beim Ansatz von Maes versucht, die Nachrichtenverzögerung auf der Basis einer Durchschnittsbildung der letzten N Zeitmessungen abzuschätzen. Überschreitet sie eine kritische Grenze, so wird der Job vom verantwortlichen Agenten lokal zur Ausführung gebracht. Im Gegensatz zu Kuwabara betrachtet Maes neben der reinen Netzverzögerung auch den Einfluß der Evaluierungsdauer. Sie entspricht der Zeitspanne zwischen der Ausschreibung einer Anfrage und dem Beginn der Auswertung der zu diesem Zeitpunkt eingetroffenen Angebote. Durch Simulation wird nachgewiesen, daß je kürzer die Verzögerung der Preis- bzw. Auslastungsinformation werden, sich auch die Jobdurchlaufzeiten auf den Rechnern, die mit einer Poisson-verteilten Ankunftsrate im System eintreffen, degressiv verhalten. Maes

stellt heraus, daß in der Evaluierungszeit auch die Netzverzögerungszeit enthalten ist. Kuwabara koppelt die Preisabschätzung für eine Ressource direkt an die Verzögerungszeit D der Nachrichten im Netz. Der Wert D stellt dabei eine obere Konstante dar. Somit kann die Oszillation der Ressourcenauslastung, welche marktechnisch gesehen durch das verzögerte Auftreffen von Angebot und Nachfrage entsteht, gedämpft werden. Letztlich handelt es sich bei dieser spekulationsähnlichen Abschätzung des Ressourcenpreises zu einem gegebenen Zeitpunkt um einen Arbitrageeffekt. Die Verteilung von Jobs auf die Rechner innerhalb eines Computernetzwerkes im Maes-Szenario erfordert kein Routing der Auslastungsinformationen, da die Nachrichten hier per Broadcast verbreitet werden. Neben Gibney verwalten auch Kuwabara und Miller mit ihren Systemen ATM-Verbindungen mit entsprechenden Bandbreiten. Doch wird auch bei ihnen die Frage nach dem Routing völlig offengelassen. Die Zusammenstellung von Teilstrecken wird bei Miller bspw. durch den zentral agierenden NetAuctioneer vorgenommen, doch räumt der Autor selbst die Beschränktheit dieses Konzeptes aufgrund der zentralen und persistenten Haltung netzweiter Zustandsinformationen ein. Konkreter zum Routing werden lediglich Neuenhofen und Gyires. Letzterer vollzieht bei seinem Verfahren ein Hop-by-Hop basiertes Routing [97], wobei jeweils der Nachbarknoten mit der höchsten statistischen Wahrscheinlichkeit für einen erfolgreichen Verbindungsaufbau als nächster Intermediärknoten ausgewählt wird. Im Fehlerfalle, d.h. wenn eine Sackgassensituation vorliegt oder aber der vorgegebene Kostenschwellwert überschritten wird, vollzieht sich ein Alternate Routing. Ähnlich dem Backtracking wird dabei die bisherige Verbindung schrittweise zurückgesetzt, bis ein Knoten gefunden werden kann, welcher die Anforderungen erfüllt. In ähnlicher Weise agiert der MOBAG beim Ansatz von Neuenhofen. Bei beiden Verfahren hängt der Erfolg für einen Verbindungsaufbau von der Qualität der Routinginformationen in den Netzknoten, die zeitkritisch sind, ab. Insbesondere bei Gyires gibt es starke Ähnlichkeiten zum PNNI-Routing für ATM-Netzwerke in Bezug auf die Connection Admission Control Prozedur und das Crankback Verfahren. Unter kostenbasierter Betrachtung birgt das Routingverfahren von Gyires den Nachteil, nicht unbedingt die günstigste Verbindung zu ermitteln. Im Beispiel der Abbildung 2-13 hätte die zu restaurierende Verbindung über Knoten H vielleicht kostengünstiger über Knoten I geroutet werden können. Da aber H schon eine Verbindungsnummer zur Verhinderung der Loops von Knoten J bei dessen Anfrage erhalten hat, entfiel somit die Verbindungsfortführung von Knoten I über den Knoten H. Weiterhin läßt Gyires die Frage nach der algorithmischen Form der Zielführung zum gewünschten Endknoten offen. Es ist anzunehmen, daß wohl die Heuristische Funktion den Routingaspekt umfaßt und unabhängig vom gegebenen Ziel generell die Fähigkeit eines Intermediärknotens wiederspiegelt, eine Restaurierung vorzunehmen. Lange Suchzeiten bei großen Netzen lassen das Verfahren eher unpraktikabel erscheinen. Eine ähnliche Argumentation läßt sich für das MOBAG Routing von Neuenhofen aufbauen. Außer der Tatsache, daß das Netzwerk während des

Suchprozesses Hop-by-Hop bzw. Knoten für Knoten traversiert wird, gibt es keine Hinweise auf die Art der Zielführung des MOBAG. Im schechtesten Falle durchläuft der Agent alle möglichen Pfade im Netzwerk vom Start- bis zum gewünschten Zielknoten.

2.7 Zusammenfassung

Die Vorstellung von einem dienstintegrierenden, breitbandigen Kommunikationssystems stellt an das zugrundeliegende Übertragungsnetzwerk enorme Anforderungen und führte im Rahmen der Standardisierungsbemühungen schließlich zur Etablierung und Weiterentwicklung des ATM für diesen Bereich. Ausgehend von der Forderung nach einer einheitlichen Transportplattform für möglichst viele unterschiedliche Dienste ist davon auszugehen, daß das resultierende Netzwerk aus globaler Sicht ernorme Ausmaße annehmen wird. Diesem Umstand wird insbesondere beim PNNI-Routing Rechnung getragen, wo versucht wird, die Komplexität des Netzwerkes durch eine logische Hierarchisierung und Aggregation von routingrelevanten Informationen zu entschärfen [A12]. Dieses Routing für private ATM-Netzwerke berücksichtigt hinsichtlich der Dienstgüte allerdings rein übertragungstechnische Anforderungen. Vergebührungsaspekte in Verbindung mit der Generierung und Durchsetzung von Preisstrategien auf Netzwerkebene im Sinne eines offenen Marktes für Übertragungsdienste werden nicht tangiert. Die Umsetzung eines Preises in Form eines weiteren Linkstateattributes erweist sich dabei als unzureichend. Entscheidend ist vielmehr die Eigenschaft der Netzanbieter und respektive ihrer Netzzugangsknoten, automatisierte Verhandlungen über Preise auf Basis realer Geldwerte durchführen zu können. Die bereits vorhandenen, experimentellen Forschungsansätze greifen zwar isolierte Aspekte eines marktbasierten Vermittlungsverfahrens auf, bieten jedoch keine integrierende Lösung hinsichtlich großer ATM-Netzwerke mit verschiedenen Anbietern.

Teil C

Lösung

KAPITEL 3 Agentenorientierte Systementwicklung

Mehr und mehr erobert die Informationstechnologie neue Anwendungsgebiete. Getrieben wird diese Entwicklung unter anderem durch den rasanten technologischen Fortschritt im Hardwarebereich. Im Takt der permanent steigenden Leistungsfähigkeit der Prozessoren und Speichereinheiten wächst auch die Komplexität der Informationssysteme, die dem Trend nach fortschreitender Verteiltheit und Offenheit unterliegen. In diesem Szenario erscheint die AOT als ein attraktiver und vielversprechender neuer Ansatz insbesondere zur Lösung etlicher, mit obiger Entwicklung einhergehender Softwareprobleme. Untermauert wird dieses u.a. durch eine OVUM-Studie[1], gemäß der ein Volumen von 653 Mio. US$ für den Softwaremarkt im Jahre 2000 veranschlagt wird. Zwecks eines besseren Verständnisses wird in diesem Kapitel dem mit der Materie nicht so vertrauten Leser in aller Kürze ein Basiskompendium zum Thema AOT gegeben. Für weitaus erschöpfendere Ausführungen zu diesem Thema wird hier auf [195], [224], [237], [243] und [248] verwiesen. Beginnend mit einem historischen Überblick wird auf die Frage eingangen, was im Allgemeinen unter dem Begriff AOT zu verstehen ist und welche Eigenschaften die Agenten, sowie die mit ihnen konstruierten Systeme auszeichnen. Zum Schluß wird erörtert, wie letztlich der Übergang von der Anforderungsdefinition des gewünschten Zielsystems über das Agentenmodell zum Endsystem im Kontext der Softwareentwicklung aussehen kann.

1. Vgl. OVUM: „Intelligent Agents - the New Revolution in Software“ [226]

3.1 Tour d'horizon

Der Terminus „Agent“[1] ist für die AOT von zentraler Bedeutung und hat historisch gesehen seinen Ursprung in den Aktoren von Carl Hewitts „Open Systems“ ([185],[229]). Es handelt sich dabei um autonome, relativ simple, blackboxartige Komponenten, die mittels Nachrichten (Message Passing) miteinander kommunizieren. Das Aktorenkonzept leitete insofern ein neues Paradigma ein, weil an die Stelle der bis dato traditionellen Ansätzen folgenden, zentral kontrollierenden Prozeßinstanzen nun eine Menge nebenläufig aktiver Programminstanzen mit der Fähigkeit zur asynchronen Kommunikation trat. Aktorensysteme konnten sich gemäß der Problemstellung reorganisieren und bei Bedarf neue Aktoren hervorbringen (Replikation).

Erneuten Auftrieb erhielt die AOT mit dem Aufkommen der Verteilten Künstlichen Intelligenz (Distributed Artificial Intelligence), kurz VKI bzw. DAI. Begründet wurde diese Forschungsdisziplin im Jahre 1980 auf der Veranstaltung „The Workshop on Distributed Artificial Intelligence“ am MIT in Cambridge, dem ersten offiziellen Treffen der auf diesem Teilgebiet der Künstlichen Intelligenz tätigen Wissenschaftler [210]. Während sich die traditionelle KI mit monolithischen, d.h. gekapselten und komplexen, wissensbasierten Systemen wie z.B. Expertensystemen beschäftigt, versucht die DAI die Problemkomplexität durch Verteilung auf unterschiedliche Problemlöser, hier auch Agenten genannt, besser in den Griff zu bekommen [211]. Besonderes Forschungsinteresse besteht dabei in den grundlegenden Mechanismen für das zielgerichtete Zusammenwirken mehrerer Agenten.

Die Entwicklung der AOT ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt von einer rapiden Durchdringung der unterschiedlichsten Anwendungsdomänen, von denen die Telekommunikation die hervorstechendste ist, gekennzeichnet. Aufgrund der weltweiten Forschungsaktivitäten und der damit verbundenen, teilweise stark divergierenden Zielvorstellungen ist eine allgemein verbindliche Definition von AOT nicht vorhanden. Im Gegenteil! Es werden von vielen Autoren je nach Anwendungsfall angepaßte Agentendefinitionen geliefert, um der Problemstellung bestmöglich zu entsprechen (vgl. [200],[203],[218],[221],[249]). Es läßt sich jedoch beobachten, daß zumindest von der noch aus der DAI stammenden Forderung, ein agentenbasiertes System bestehen aus mindestens zwei Agenten, Abstand genommen wurde[2]. Weiterhin ist zu beobachten, daß die AOT als neues Programmiermodell für verteilte Systeme zur Erweiterung bestehender, wie auch zur Erschließung neuer Anwendungsdomänen dient ([188],[201],[212],[215],[217],[233], [270]).

1. Aus dem Lateinischen von ‚agere‘ = handeln abgeleitet
2. Vgl. Maes Personal Digital Assistent Agent [240]

3.2 Was ist AOT?

Unter heutigen Gesichtspunkten kann die AOT durchaus als ein neues Paradigma für die Konzipierung von Softwaresystemen bezeichnet werden ([253],[259]). Sie bringt dabei zwei wesentlich Neuerungen mit ein. Erstens stellt sie einen Modellierungsansatz für die Beschreibung komplexer Systeme zur Verfügung, und zweitens institutionalisiert sie die Möglichkeit, insbesondere verteilte Systeme wissensbasiert zu gestalten. Das zentrale Element innerhalb der AOT stellt dabei der Agent dar, welcher als Integrationsprodukt unterschiedlicher Disziplinen aufgefaßt werden kann (vgl. Abbildung 3-1) [187].

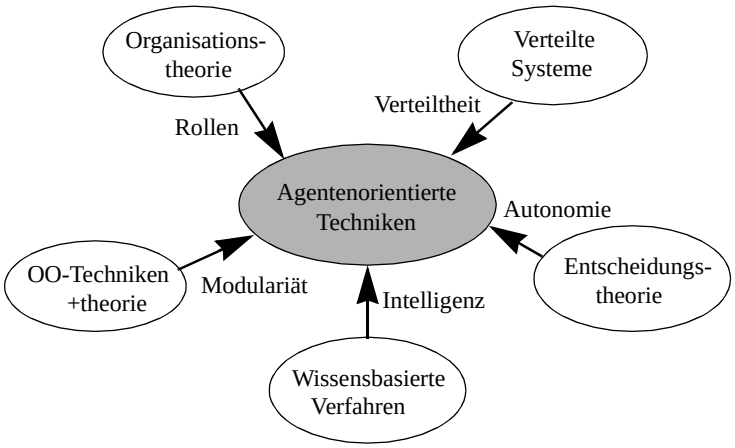


Abbildung 3-1: Einflußgebiete der AOT [187]

Ein Agent wird häufig auch als Intelligenter Agent bezeichnet, was auf das Vorhandensein einer Wissenskomponente schließen läßt [190]. Die Eigenschaft der Intelligenz tritt dabei in zwei unterschiedlichen Ausprägungen zum Vorschein. Die individuelle Intelligenz des Agenten basiert vornehmlich auf der Menge des von ihm vorgehaltenen Wissens und seiner Fähigkeit, dieses zu verarbeiten. Im Gegensatz hierzu reflektiert die kollektive Intelligenz eines Agentensystems die Summe der Verhaltensweisen jedes einzelnen, nach evtl. simplen Regeln agierenden Teilnehmers[1]. Bildlich gesehen existiert ein Agent quasi eingebettet in einer Umgebung, mit der er als eigenständiges Softwaresystem, d.h. ohne direkte Kontrolle des Benutzers bzw. Programmierers, kommuniziert und interagiert. Auf die Ereignisse in seiner Umgebung reagiert er gemäß seinen Fähigkeiten angemessen und mit entsprechender Geschwindigkeit nach evtl. vorgegebenen Rollen, wobei er planerisch versuchen kann, gewisse Zielzustände zu erreichen ([209],[222],[265]).

1. Bsp.: Die Koordinationsleistung in einem Ameisenstaat; vgl. hierzu [11],[22],[223].

Die Anwendungsfelder der AOT haben sich mit der Zeit stark erweitert. Ursprünglich aus der DAI hervorgegangen befaßt sich die AOT insbesondere mit einer breiten Palette von Problemfeldern, in denen dezentrale, oft intelligente Systeme zueinander in Wechselwirkung stehen. Die Lösung entsprechend komplexer Probleme erfolgt dabei durch das kontrollierte Zusammenwirken mehrerer Agenten, von denen jeder einzelne jedoch nicht in der Lage wäre, das Gewünschte zu leisten [211]. Zu unterscheiden sind hier die Distributed Problem Solver (DPS) von den Multiagentenystemen (MAS) (siehe Abbildung 3-2).

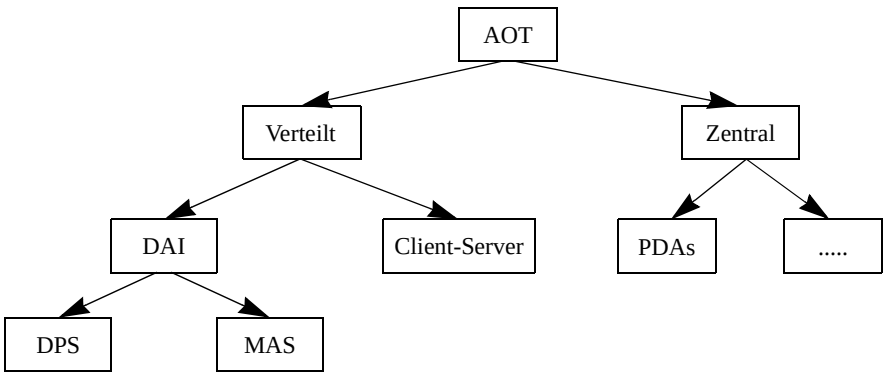


Abbildung 3-2: Einordnung der AOT

Nach [195] besteht ein DPS aus einer Menge von intelligenten, spezialisierten Agenten, die - in Anlehnung an die Metapher seitens der Zusammenarbeit menschlicher Experten - versuchen ein Problem durch Kooperation zu lösen. Alle Interaktionsstrategien wie Kooperation und Koordination seitens der Zusammenarbeit stellen hier einen integralen Bestandteil des DPS Systems dar. Ein MAS hingegen konstituiert sich aus einer Menge lose gekoppelter Agenten, welche ebenfalls durch Kooperation eine Problemstellung bearbeiten, darüberhinaus jedoch den Lösungsweg dynamisch entwickeln und hierzu Kooperation und Koordination in eigener Regie übernehmen. Man könnte sagen, daß die Vorgehensweise, wie ein Problem zu lösen ist, bei einem DPS gewissermaßen vorgezeichnet ist, während sie sich beim MAS zur Laufzeit durch die Kooperation ergibt. Im Gegensatz zu den verteilten Systemen kommen Intelligente Agenten mittlerweile auch bei der Konzipierung von Mono-Agenten Systemen mit eher zentralem Charakter wie bspw. dem Personal Digital Assistent (PDA) von Patti Maes zum Einsatz [240]. Ein PDA unterstützt den Benutzer bei seiner Interaktion mit einer Anwendung. Er adaptiert dabei dessen Verhalten und versucht u.a. Routineaufgaben zu erkennen und autonom zu erledigen. Prinzipiell ist allerdings auch ein solcher Agent in der Lage mit anderen Agenten zu interagieren.

3.3 Basisfähigkeiten und Eigenschaften von Agenten

Als multidisziplinäre Integrationstechnik zeichnen sich die Agenten durch eine ganze Reihe unterschiedlicher Eigenschaften aus. In weitestgehender Anlehnung an [187] werden hier die grundlegenden von den optionalen Eigenschaften unterschieden. Die grundlegenden Eigenschaften sind dabei charakteristisch für alle Agenten, die optionalen hingegen sind jedoch abhängig vom jeweiligen Anwendungsgebiet.

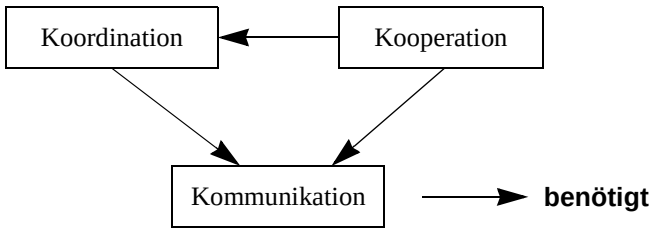


Abbildung 3-3: Wechselwirkung der drei K's.

Im Gegensatz zu den unter [187] aufgeführten Eigenschaften mit Attributcharakter werden hier jedoch die Kommunikation, Koordination und Kooperation, auch als die drei großen „K's" bekannt, als Basisfähigkeiten erachtet, welche zueinander in enger Kopplung stehen und bei jedem Agenten mehr oder minder stark ausgeprägt sind. Wie in der Abbildung 3-3 zu erkennen ist, stellt die Kommunikationsfähigkeit eines Agenten überlicherweise eine Voraussetzung für seine Fähigkeit zur Kooperation und Koordination dar. Es wird allerdings darauf hingewiesen, daß unter Kommunikation jeglicher Informationsaustausch zwischen den Agenten untereinander, als auch mit ihrer Umgebung[1] verstanden wird, insbesondere auch das Sensing, also die Wahrnehmung externer Ereignisse [220]. Unter diesen Voraussetzungen kann ein Agent nur dann koordinierend tätig sein, wenn er hierzu die notwendigen Informationen hat. Die Kooperation zwischen Agenten als koordiniertes Zusammengehen bei einem Problemlösungsprozeß ist eo ipso auf die Kommunikationsfähigkeit angewiesen [271].

3.3.1 Die Agentenkommunikation

Die Grundlage aller Agenteninteraktion ist die Kommunikation. Hinsichtlich der Beschaffenheit der übermittelten Informationen ist allerdings zu differenzieren. Neben dem herkömmlichen Informationsaustausch eines Agenten mit seiner

1. Unter Umgebung wird jegliche nicht agentenorientierte Software verstanden.

Umgebung ist er darüberhinaus in der Lage, mit anderen Agenten in Anlehnung an den menschlichen Sprachgebrauch eine Form der linguistischen Kommunikation mit komplexen Dialogstrukturen auf der Basis sogenannter Sprechakte aufzubauen [216]. Technisch gesehen kann der Informationsaustausch eines Agenten synchron als auch asynchron erfolgen. Als Übertragungsmedium kommen i.A. entweder ein gemeinsamer Speicherbereich (Shared Memory) [207] oder im Fall eines echt verteilten Systems logische Kanäle zum Einsatz [190].

3.3.1.1 Sprechakttheorie

Die von Searle aufgestellte Sprechakttheorie bildet mittlerweile die weitgehend anerkannte Grundlage für die Agentenkommunikation [257]. Der Informationsaustausch zwischen den Agenten erfolgt dabei auf einem hohen semantischen Niveau, d.h anstelle von Rohdaten oder Datenstrukturen werden höherwertige Informationen mit interpretierbarem Inhalt versandt, auf die entsprechend reagiert werden kann. Schon aus dem Begriff des Sprechaktes läßt sich ein semantischer Imperativ erahnen, welcher auf dem Dualismus menschlicher Kommunikation gründet. Neben der Übermittlung von reinen Informationen ist mit einem Sprechakt eine intendierte Absicht verbunden. Mit der Frage „Haben Sie die genaue Uhrzeit?“ bspw. erwartet der Fragesteller vom Befragten statt eines einfachen „Ja“ eine konkrete Aussage zur aktuellen Uhrzeit zu erhalten. Gemäß ([192],[193]) wird die Mehrdeutigkeit eines Sprechaktes in die lokutionäre, illokutionäre und perlokutionäre Bedeutungsebene aufgespalten. Umfaßt der lokutionäre Anteil eines Sprechaktes die Artikulation und Konstruktion einer Aussage, so beschreibt der illokutionäre hingegen die gewählte Kommunikationsfunktion wie Aufforderung, Antwort, Frage etc.. Die beabsichtigte Konsequenz auf den Empfänger wird als perlokutionärer Anteil bezeichnet. Zusammen mit seiner Fähigkeit zur Reflexion bildet die Sprechakttheorie die Grundlage eines Agenten für die Kommunikation von Begrifflichkeiten wie Ziele, Intentionen, Plänen, usw.. Bei der Definition der Wissensaustauschsprache KQML (Knowledge Query and Manipulation Language), welche aus einem DARPA-Projekt hervorgegangen ist, hat die Sprechakttheorie Eingang gefunden ([214],[216]). Ein Sprechakt wird durch einen KQML-Ausdruck repräsentiert. Letzterer besteht aus einem Nachrichtenanteil, welcher in einer beliebigen Wissensrepräsentationssprache (Interlingua) verschlüsselt sein kann und den lokutionären Anteil wiedergibt, sowie einem sogenannten Performative als illokutionärem Anteil. Zwar stellt die KQML-Sprache einen Quasi-Standard seitens der Agentenkommunikation dar, doch aufgrund ihrer Offenheit und Erweiterbarkeit ist Interoperabilität zwischen verschiedenen Agentensystemen nicht immer gewährleistet. Neuere Ansätze wie bspw. die Agent Communication Language (ACL) der FIPA versuchen durch eine präzisere Sprachdefinition dem entgegenzuwirken [204].

3.3.1.2 Ontologien in der Agentenkommunikation

Gemäß dem Duden wird unter dem Begriff der Ontologie die Lehre von den Ordnungs-, Begriffs- und Wesensbestimmungen des Seienden verstanden. Im Kontext der KI hat dieser Begriff jedoch eine Abwandlung erfahren. Hier steht neben der expliziten Repräsentation die Konzeptualisierung, Verteilung und Wiederverwendbarkeit von Wissen im Vordergrund bzw. laut [225]:

„An ontology is an explicit specification of a conceptualization. The term is borrowed from philosophy, where an Ontology is a systematic account of Existence. For AI systems, what „exists“ is that which can be represented.“

Mit dem Übergang von den zentral angelegten KI-Systemen zur DAI ergibt sich zwangsläufig das Problem nach der Art des Wissensaustausches. Agenten, die miteinander interagieren, müssen in der Lage sein, sich auf der Basis einer gemeinsamen Begriffswelt innerhalb eines Kontextes verständigen zu können. Die enorme Vielfalt an Wissen wird durch Strukturierungsprinzipien wie die Kanonische Form zur einheitlichen Faktendarstellung oder die Common Ontologies, welche quasi allgemeingültige Vokabulare darstellen, modularisiert [246]. Die Vision bei der Einführung von Ontologien besteht darin, Wissensbereiche gewissermaßen wie kompakt geschnürte Pakete handhabbar als auch austauschbar zu gestalten. Auf dieser Basis soll es den Agenten ermöglicht werden, Wissen untereinander auszutauschen.

3.3.2 Koordination

Gemäß [32] dient die Koordination vor allem der geregelten Zuteilung von in begrenzter Menge vorhandenen Ressourcen, als auch der Kommunikation von Zwischenergebnissen. Unter diesem Kontext sind interagierende Agenten als Ressourcen zu betrachten, welche mit anderen Agenten kommunizieren und von deren Fähigkeiten Gebrauch machen. Nun besteht im Bereich der AOT keine klare Trennung zwischen den Begriffen Koordination und Kooperation, so daß beide daher häufig synonym verwendet werden. Jede Interaktion im Rahmen einer Kooperation zwischen zwei Agenten benötigt ein gewisses Maß an Koordination, um vollzogen werden zu können, stellt selbst an sich jedoch auch wieder eine Koordinationsinformation dar. Unter dem Begriff Koordination werden hier all die Maßnahmen verstanden, welche die räumliche und zeitliche Abstimmung bzw. Synchronisation einer Menge interagierender Agenten zwecks Erreichung eines kohärenten Gesamtzustandes umfassen. Ermöglicht wird dieses entweder durch fix vorgegebene Koordinationsschemata wie Regeln, Konventionen, Vorschriften etc., welche in der Programmlogik quasi fest verdrahtet sind, oder aber durch Koordinationsverfahren z.B. in Form eines Schedulers (vgl. [241],[258],[268]).

3.3.3 Kooperation

Im Gegensatz zur Koordination steht bei der Kooperation der Aspekt einer längerfristig angelegten, gemeinsamen Vorgehensweise zur Lösung einer gemeinsamen Problemstellung im Vordergrund. Der für ein Agentensystem klassische Problemlösungsprozeß gliedert sich nach [262] in die vier Phasen

1 Problemzerlegung,

2 Problemverteilung,

3 verteilte Problemlösung sowie

4 Synthese der Teillösungen.

In der Zerlegungsphase wird ein Problem unter Minimierung der Abhängigkeiten in eine Menge von Teilproblemen aufgesplittet. Dieser Vorgang kann sich zentral oder verteilt vollziehen. Die Identifikation von zeitlich möglichst unabhängigen Teilproblemen ermöglicht hier Parallelisierung und ergo Geschwindigkeitsvorteile. Häufiger jedoch geschieht die Zerlegung unter dem Aspekt funktional unterscheidbarer Teilaufgaben, die sich auf andere Agenten verteilen lassen (Task-Sharing). Generell handelt es sich bei der Problemzerlegung um einen massiv kognitiven Prozeß und ist als solcher schwer automatisierbar. An die Problemzerlegung schließt sich die Phase der Problemverteilung an. Hier gilt es, die für die Bearbeitung der Teilprobleme am besten geeignetsten Agenten zu ermitteln, was entweder durch eine simple, direkte Delegation oder aber via einem komplexeren Ausschreibungsverfahren geschehen kann. Stehen bspw. Agenten mit unterschiedlichen Fähigkeiten zur Verfügung, dann stellt sich die Frage, ob ein Teilproblem möglicherweise auch an mehrere Agenten delegiert werden sollte, um so beispielsweise die Qualität der Lösung zu erhöhen. Sind die Teilprobleme erfolgreich den verfügbaren Agenten zugeteilt worden, so erfolgt dann in der dritten Phase die nunmehr verteilt ablaufende Problemlösung. Die hierbei noch auftretenden Abhängigkeiten zwischen den Agenten wie die Synchronisation von Aktivitäten oder gar der Austausch von Zwischenergebnissen werden i.d.R. durch den Einsatz zusätzlicher, spezieller Kooperationsformen behandelt. Die Zusammensetzung der Teillösungen zur gewünschten Gesamtlösung vollzieht sich letztendlich in der vierten Phase. Aus jeder der hier vorgestellten Phasen kann im Falle von Problemsituationen jeweils in eine vorhergehende zurückverzweigt werden, was allerdings im Agentensystem selbst vorgesehen sein muß.

Kooperationsformen werden in Agentensystemen üblicherweise in Form sogenannter Kooperationsprotokolle modelliert [190]. Die generischen Protokolle beschränken sich auf die Bereitstellung von reinen Basiskonstrukten zur Dialogführung und zeichnen sich im Allgemeinen durch flexible Konfigurierbarkeit und ein hohes Maß an Modularität aus [227]. Daneben existiert eine ganze Vielfalt von aufgaben- als auch anwendungsspezifischen Protokollen.

Während letztere stark an die Erfordernisse einer Anwendung bzw. Anwendungsklasse geknüpft sind, stellen erstere Methoden zur Lösung DAI-typischer Aufgaben wie z.B. der Problemzerlegung[1], der Konfliktbehandlung[2] oder aber der Ressourcenzuweisung[3] bereit.

3.3.4 Grundlegende Eigenschaften

Das Konzept der Intelligenten Agenten zeichnet sich vor allem durch seine besondere Sichtweise auf ein System aus sowie dem hiermit verbundenen Mix an unterschiedlichen Einzeltechniken. Zur Unterscheidung eines agentenbasierten Systems von herkömmlichen Systemen werden im folgenden die einen Agenten konstituierenden Eigenschaften erläutert [271].

Autonomie

Der Begriff der Autonomie beschreibt die Fähigkeit eines Agenten, auf der Basis seines Wissensstandes ohne direkte Kontrolle eines menschlichen Bedieners eigenständig Aktivitäten durchzuführen. Unberührt bleibt hiervon die Zielsetzung, daß der Agent im Auftrag seines Benutzers tätig ist (vgl. [15],[240]).

Interaktivität

Ein Agent muß in der Lage sein, sich mit den in seiner Umgebung koexistierenden Systementitäten auszutauschen. Hierzu gehören neben Softwaresystemen wie Datenbanken oder anderen Agenten auch menschliche Anwender. Interaktivität setzt i.A. Kommunikationsfähigkeit voraus.

Reaktivität

Umschreibt die Interaktivität die reine Fähigkeit zum Austausch mit der Umgebung, so definiert die Reaktivität die Eigenschaft eines Agenten, auf Ereignisse in seiner Umgebung angemessen reagieren zu können.

Zielorientiertheit

Während seiner Lebensspanne ist ein Agent in der Lage, kurz-, mittel- und/oder langfristige Ziele zu verfolgen. Ziele werden dabei als präexistent angenommen und können aufgrund externer Einflüsse aktiviert bzw. deaktiviert werden. Sie stellen einen wünschenswerten Zustand dar, den es durch die Wahl geeigneter Aktivitäten zu erreichen gilt.

1. vgl. Contract-Net [260] sowie [250].
2. vgl. [202],[231],[264].,[266].
3. vgl. Multistage Negotiation [205],[206],[231].

3.3.5 Optionale Eigenschaften

Es existieren desweiteren eine Reihe von Eigenschaften, mit denen ein Agent je nach Anwendungsfall individuell ausgestattet sein kann.

Mobilität

Ein mobiler Agent ist prinzipiell in der Lage, seine aktuelle Prozessorumgebung zu wechseln und u.U. auf einen entfernten Rechnerknoten zu migrieren. Hierzu ist es notwendig, daß der Laufzeitzustand des Agenten inklusive seiner momentanen Interaktionsbeziehungen zu anderen Systemen für den Zeitraum des Transports bis zu seiner Reinkarnation eingefroren wird (vgl. [228],[238],[269]).

Adaptivität

Unter einem adaptiven Agenten versteht man ein System, welches in der Lage ist, sich an seine Umgebung anzupassen. In der Regel ist hierzu ein gewisses Maß an Lernfähigkeit notwendig. Bestes Beispiel sind die PDAs, welche den Benutzer einer Anwendung bei seiner Interaktion mit dem System unterstützen [240].

Planung

Die Planung eines Agenten umfaßt alle Maßnahmen, welche eine Menge von Aktivitäten unter Berücksichtigung ihrer gegenseitigen Abhängigkeiten in eine zeitliche Reihenfolge bringen. Wählt ein Agent dabei aus einer Menge vordefinierter Handlungspläne aus, so fällt er in die Kategorie „koordinierend“ [222].

Reflexion

Die Reflexivität eines Agenten beschreibt seine Fähigkeit, über eigene oder fremde Absichten und Ziele zu räsonieren. Notwendige Voraussetzung hierfür ist die explizite Repräsentation eines „Mentalen Zustands“ in Form von Intentionen, Zielen, usw.. [265]

3.4 Agentenbasierte Systeme

Der Begriff des agentenbasierten Systems (AS) impliziert die Verwendung agentenorientierter Techniken. Dennoch ist es nicht zwingend notwendig, daß alle Komponenten eines Gesamtsystems durchweg als Agenten ausgestaltet sind. Der Anspruch auf Offenheit erfordert auch die Anbindung sogenannter herkömmlicher Systeme (Legacy Systems), die sich aber durch Kapselung mit einer Agentenhülle quasi agentifizieren lassen [189]. Im folgenden werden nun die Vorteile diskutiert, welche sich durch die Verwendung von AOT insbesondere als strukturbildender Ansatz für verteilte Systeme ergeben. Anschließend wird eine mögliche Vorgehensweise für den agentenorientierten Systementwurf vorgestellt.

3.4.1 Allgemeine Eigenschaften

Wurden im Kapitel 3.3 die für einen Agenten charakteristischen Eigenschaften vorgestellt, so verbleibt jedoch die Frage, welche Vorteile sich für ein AS gewissermaßen aus der Summe der beteiligten Agenten und ihrer Fähigkeiten ableiten lassen. Prinzipiell stellt jedes AS vom Ansatz her auch ein verteiltes System dar, so daß auch hier gemäß [341] die folgenden Vorteile ihre Gültigkeit besitzen:

- Modularität
- Flexibilität und Erweiterbarkeit
- Redundanz
- Leistung

Der Aspekt der Modularität bezieht sich bei einem AS vornehmlich auf den Softwareanteil. Letzterer sollte klar nach Agenten gegliedert sein und sich durch Hinzunahme weiterer Instanzen bzw. Agenten erweitern lassen. Durch die Funkions- wie auch Datenredundanz läßt sich ein AS ausfallsicherer gestalten, um so einem höheren Grad an Verfügbarkeit zu entsprechen. Durch die funktionale Verteilung ist i.d.R. mit einem besseren Leistungsverhalten zu rechnen. Neben diesen recht allgemeinen Vorteilen existieren bei einem AS noch weitere spezifischere Eigenschaften, welche seine Leistungsfähigkeit weiter verbessern. Hierzu gehören die

- Ausnutzung inhärenter Parallelismen, die
- Offenheit zu anderen Systemen, die
- Flexibilität hinsichtlich des Systemverhaltens als auch die
- intuitive Systemmodellierung.

Ausgehend von der kooperativen Problemlösung in einem Agentensystem und der damit verbundenen Verteilung von Teilproblemen ist folglich eine Parallelisierung zu erreichen. Es sei aber darauf hingewiesen, daß der Prozeß der Problemzerlegung i.d.R. aufgabenspezifisch ist und somit nicht unbedingt auf ein optimales Laufzeitverhalten geschlossen werden kann [190]. Die Existenz von Wissen über sich und seine Umgebung stellen eine der eigentümlichsten Eigenschaften eines Agenten dar. Entscheidungen und Aktionen werden bei einem Agenten von seinem jeweiligen Kenntnisstand und seinem aktuellen mentalen Zustand abhängig gemacht. Anstelle starrer Entscheidungsprozesse tritt hier eine daten- bzw. wissensbasierte Ablaufsteuerung, welche eine Flexibilisierung des Laufzeitverhaltens des Gesamtsystems zur Folge hat. Gleichwohl wird durch diese Eigenschaft auch die Offenheit eines AS unterstützt, da die Kommunikation via Dialoge ein flexibles Antwortverhalten zuläßt. Agenten stellen eine Manifestation humankognitiver Softwareeinheiten dar und sollten dem Systemdesigner letztlich einen intuitiv leicht zugänglichen Modellierungsansatz bieten.

3.4.2 Mobile Agenten und verteiltes Rechnen

Mobilität steht für eine der optionalen Eigenschaften, mit denen ein Agent ausgestattet sein kann und die es ihm ermöglicht, den Prozessor und somit seine Laufzeitumgebung zu wechseln, um bspw. zu einem entfernten Netzknoten zu migrieren. Um dieses zu erreichen, muß folglich der Code, die Daten wie auch der aktuelle Laufzeitzustand eines Agenten für einen Transport zusammengepackt (serialisiert) und am Zielort wiederum entpackt (deserialisiert) werden [189].

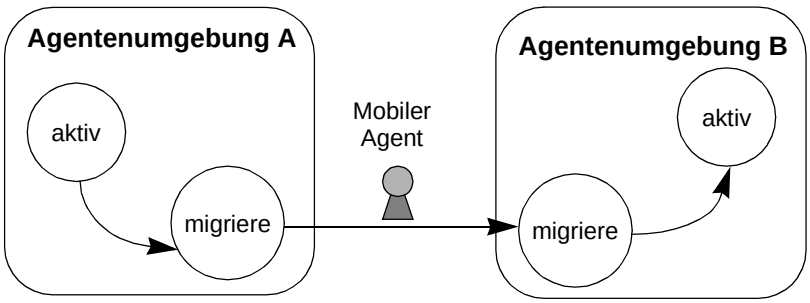


Abbildung 3-4: Migration zwischen Agentenaufenthaltsumgebungen

Technisch unterstützt wird dieser Migrationsvorgang von den sogenannten Agentenaufenthaltsumgebungen (Agent Environment, AE), innerhalb derer die Agenten laufzeittechnisch existieren und die somit in gewisser Weise einer Prozeßumgebung sehr ähnlich sind (vgl. Abbildung 3-4). Die Frage nach der eindeutigen Vorteilhaftigkeit des Einsatzes mobiler Agenten gegenüber anderen Ansätzen wie bspw. dem herkömmlichen Client-Server Konzept (C/S) wird zur Zeit noch kontrovers diskutiert. Gemäß Goldsmidt [98] mit seiner Abwandlung der Elastischen Prozesse besteht bei den klassischen C/S-Systemen eine allzu starre Zuordnung von Funktionalitäten zu Servern, welche in eine abnorme Verteilung letzterer zwischen Clients und Servern münden kann. Er streicht desweiteren die Möglichkeit heraus, Funktionalitäten näher an den Ort heranzubringen, wo sie am dringendsten gebraucht werden. In Anlehnung an [189] und [269] kann festgehalten werden, daß das Konzept der mobilen Agenten die intuitive Modellierung von softwarebasierten Benutzerstellvertretern ermöglicht, deren Einsatz aufgrund ihrer Offlinefähigkeit insbesondere auf entfernten Elektronischen Marktplätzen vorteilhaft erscheint. Nicht eindeutig zu beantworten ist auch die Frage, ob durch die Migration von Agenten zum Ort der Interaktion Kommunikationsbandbreite eingespart werden kann, da hierfür letztlich ein mehr an Agentencode transferiert werden muß. Zweifelsohne stellt die Eigenschaft der Mobilität jedoch einen zusätzlichen Freiheitsgrad bei der Konzipierung verteilter Systeme dar (s.a. [69], [203],[228]).

3.4.3 AOSE - Agentenbasierter Systementwurf

Angesichts der vielen Vorzüge der AOT verbleibt die Frage, wie der agentenorientierte Systementwurf (Agentoriented System Engineering, AOSE), d.h. der Weg vom gegebenen Problem zum ablauffähigen System, aussehen kann. In der Vergangenheit wurden hierzu einige Ansätze vorgestellt. Sie reichen vom Entwurf spezifischer Programmiersprachen[1] bzw. Bibliotheken zur Unterstützung der für Agenten charakteristischen Eigenschaften über die Konzeption kompletter Agentenarchitekturen[2] bis hin zur Kombination beider Ansätze in Form von Agentenentwicklungsumgebungen[3]. Aufgrund der Verallgemeinerung des agentenorientierten Ansatzes (vgl. Kapitel 3.2) sind auch hier Differenzierungen hinsichtlich der anvisierten Problemkomplexitäten zu erkennen. Versucht Shoham [259] noch die Modellierung der mentalen Zustände eines Agenten auf der Basis seiner modallogischen Sprache Agent0, so werden mit Telescript [269] oder Voyager [219] allgemeinere Ansätze zur Programmierung einfach verteilter Agentensysteme vorgestellt. Lediglich bei der Agentenentwicklungsumgebung JIAC wird versucht, dieses Manko durch die Konzeption einer skalierbaren Agentenarchitektur zu entschärfen, um sich den Erfordernissen spezifischer Problembereiche möglichst gut anpassen zu können [189].

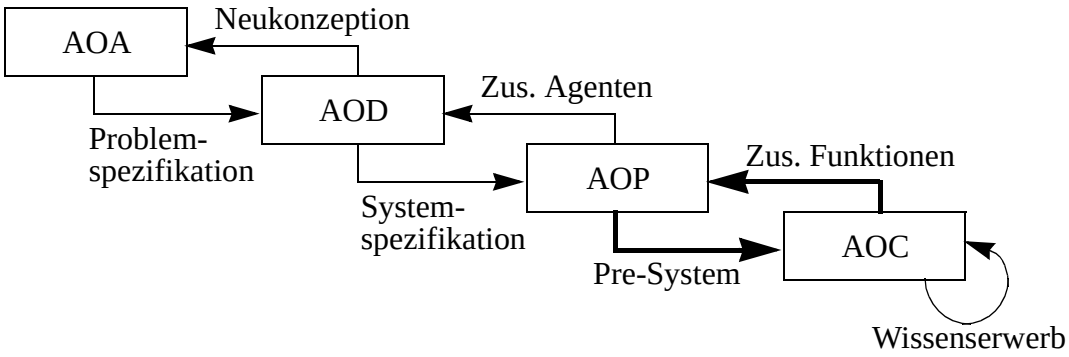


Abbildung 3-5: Phasen des Systementwurfs gemäß Wasserfallmodell

Durch die Bereitstellung einer Agentenarchitektur werden dem Entwickler i.d.R. gewisse Rahmenbedingungen hinsichtlich der grundsätzlichen Eigenschaften bei der Agentenprogrammierung vorgegeben. Das sagt jedoch noch nichts über eine mögliche Herangehensweise beim Entwurfsprozeß aus. Im folgenden wird

1. vgl. Agent0 von Shoham [259], PLACA von Thomas [267]
2. IRMA [197], GRATE [232], InteRRaP [242], COSY [199] u.v.a.
3. ReKoS [190], InAMoS [189], PRS [222] u.a.

nun ein möglicher Konstruktionsprozeß vorgestellt, welcher eine Erweiterung des herkömmlichen Wasserfallmodells darstellt [329]. In der Abbildung 3-5 sind hierzu im wesentlichen vier aufeinanderfolgende Phasen zu unterscheiden. In der agentenorientierten Analyse (AOA) wird das Problem in seiner allgemeinen Form erfaßt und auf spezielle Kriterien hin untersucht. Das Ergebnis dieser Phase stellt die Problemspezifikation dar, die gleichsam die Eingabe für die agentenorientierte Designphase (AOD) darstellt. Hier werden z.B. Entscheidungen hinsichtlich der Anzahl und Größe der Agenten getroffen. Wesentlich für diese Phase ist desweiteren die Spezifikation und Modellierung des für einen Problembereich spezifischen Domänenwissens. Die Programmierung des Zielsystems vollzieht sich auf der Basis der Designspezifikation. Der Begriff des Pre-Systems bezieht sich auf den Umstand, daß hier unter einem AS ein „lebendes System“ verstanden wird, welches sich durch die Eigenschaft auszeichnet, während seiner Existenzphase auf der Basis manueller Eingaben, Interagentenkommunikation oder gar durch Lernprozesse neue Wissensinhalte aufzunehmen. So erweitert sich im Wasserfallmodell die reine Testphase zu einer Kalibrierungsphase, in welcher das Pre-System durch Wissenseingabe angepaßt wird. Im Falle von Unzulänglichkeiten kann aus jeder Phase heraus erneut in die vorhergehende Phase eingetreten werden. Zeigt sich bspw., daß neue funktionale Eigenschaften der Agenten notwendig sind, so müssen diese implementiert werden. Im Falle umfangreicher funktionaler Erweiterungen kann es durchaus Sinn machen, einen oder evtl. mehrere neue Agenten in das System mit aufzunehmen. Die Notwendigkeit aufgrund einer unzureichenden Problemerfassung erneut in die Analysephase eingreifen zu müssen, sollte vermieden werden.

3.4.3.1 Die agentenorientierte Problemanalyse

Die Ergebnisse der agentenorientierten Analysephase in Form der Problemdefinition bilden die Grundlage für den Entwurfsprozeß. Ziel muß die Identifikation von Agenten sein, aus denen sich letztlich das System konstituiert. Das Attribut agentenorientiert deutet dabei an, daß hierzu das Problem unter den folgenden spezifischen Aspekten in seiner zeitlichen wie räumlichen Dimension betrachtet werden sollte:

- Identifikation der verfügbaren Ressourcen
- Erhebung des verfügbaren Domänenwissens
- Identifikation autonomer Instanzen
- Ermittlung der Systemdynamik
- Definition der Sicherheitsanforderungen

Eine wesentliche Restriktion beim Entwurfsprozeß stellt die Verfügbarkeit benötigter Ressourcen, wie Anzahl der Rechner und Prozessoren, Speicherplatz

oder Übertragungsbandbreite dar. Eng verknüpft ist hiermit auch die Erhebung des Domänenwissens bzw. der Problemexpertise. Der Entwickler muß feststellen, welche Informationen wo und wann prinzipiell verfügbar sind. Hier können insbesondere Anbindungen an externe Systeme wie Datenbanken oder Expertensysteme eine große Rolle spielen. Bei einem offenen, verteilten System stellt sich zudem die Frage nach der Autonomie, d.h. wieviele faktisch unabhängige Instanzen involviert sind und inwieweit hierdurch gewisse Informationen und Ressourcen in ihrer Verfügbarkeit beeinträchtigt werden. Die Frage nach der Systemdynamik umfaßt Aspekte betreffs der Art und Häufigkeit von auftretenden Ereignissen, sowie die Reaktionsgeschwindigkeit des Systems darauf. Sicherheit stellt ein facettenreiches Kriterium dar. Hier geht es u.a. um die Absicherung von Informationszugriffen und Transaktionen oder sogar die Ausfallsicherheit des Gesamtsystems selbst.

3.4.3.2 Der Schritt zum agentenorientierten Design

Zu den Aufgaben der hier vorgestellten Designphase gehört neben der reinen Identifikation der einzelnen Agenten im Hinblick auf Expertise, Fähigkeiten sowie Interaktion auch deren Konstituierung zum gewünschten Gesamtsystem. Sie findet ihre Grenzen allerdings beim Feindesign des Agentenentwurfs. Kennzeichnend für ein AS sind u.a. die Anzahl und die Größe der Agenten sowie ihre Interaktionen untereinander. Diese Schnittstellenfrage durchzieht wie ein roter Faden die Geschichte der Informatik, und da Agentensysteme von ihrer Grundkonzeption her als offene Systeme ausgelegt sind, kommt gerade ihr beim Design eine zentrale Bedeutung zu. Erfahrungsgemäß steigt die Komplexität eines Systems mit der Anzahl seiner Schnittstellen überproportional an, so daß auch hier die Maxime der Schnittstellenreduktion und Simplifikation durch evtl. Standardisierung ihre Gültigkeit besitzt. Eine mögliche Richtschnur beim Entwurfsprozeß wird durch die folgenden Einzelaktivitäten gegeben:

1 Identifikation von Autonomie-/Sicherheitsbereichen

2 Identifikation von Kompetenzen (Expertise, Fähigkeiten, etc.)

3 Abbildung von autonomen Bereichen bzw. Kompetenzen auf Agenten

4 Definition der Kooperations- und Koordinationsbeziehungen

Eine erste grobe Gliederung des Systems in sogenannte Bereiche ergibt sich aus der Bestimmung autonomer Einheiten mit einem hinreichend hohen Grad an Unabhängigkeit. Diese Autonomiebetrachtung bezieht in aller Regel Sicherheitskriterien mit ein. Die so entstehenden Bereiche können dann in erster Näherung durch einen einzelnen Agenten repräsentiert werden. Im weiteren Verlauf des Designprozesses findet hier eine Verfeinerung in eine Gruppe von Agenten statt. Die Art und Verteilung des vorhandenen Wissens bzw. der Problemexpertise bilden dazu die ersten Anhaltspunkte. Aber auch die lokale Bindung von spezifischen Funktionalitäten wie z.B. der Zugriff auf einen Verzeichnisdienst oder eine Hard-

wareschnittstelle stellt ein Kriterium für die Definition möglicher Agenten dar. In einem weiteren Schritt erfolgt dann die Abbildung der ermittelten Kompetenzen auf konkrete Agenten, die innerhalb des Systems eindeutig identifizierbar sein müssen. Unter Umständen sind hier schon vorab existierende Agenten mit einzubeziehen. Letztendlich müssen die für den Problemlösungsprozeß notwendigen Kooperations- und Koordinationsbeziehungen festgelegt werden. Wesentlich ist dabei die Frage nach der Zerlegung des Problems in definierte Teilaufgaben, welche von den Agenten einzeln bearbeitet werden können. Ist der Lösungsweg eines Problems bekannt, so kann der Entwickler vordefinierte Dialogabläufe innerhalb der Agentengruppe vorsehen, was quasi herkömmlichen C/S-Systemen gleichkommt. Ist es jedoch erforderlich, daß sich der Lösungsweg zur Laufzeit des AS ergibt, so hat der Entwickler entsprechend flexible Kooperationsprotokolle bereitzustellen, die das Gewünschte leisten. So ist das vielzitierte Contract-Net-Protokoll bspw. in der Lage, eine kostenabhängige Aufgabenverteilung zur Laufzeit vorzunehmen ohne die zur Lösung dieser Aufgaben befähigten Agenten vorab zu kennen [260]. Neben solchen marktorientierten Verfahren existieren in Anlehnung an soziale Verhaltensformen eine ganze Reihe weiterer Kooperationsprotokolle z.B. zur Auflösung von Konflikten, zur Verhandlungsführung oder gar zur demokratischen Abstimmung über einen Sachverhalt.

3.4.3.3 Die Implementierungsphase

Die in der Designphase erstellte Systemspezifikation dient als Grundlage für die sich anschließende Implementierungsphase. Die Aufgabe des Entwicklers besteht hier in der Überführung der Spezifikation in ein ablauffähiges System. Die Basis der Agentenprogrammierung bildet die Agentenarchitektur, die gewisse Grundeigenschaften vorab zur Verfügung stellt. Die schon vorab erwähnte JIAC-Architektur bietet hier bspw. die Möglichkeit zur dynamischen Zuordnung asynchron eintreffender Sprechakte (Speechact-Broker), sowie die Befähigung zur Agentenmigration und ist desweiteren für spezielle Anwendungen skalierbar ausgelegt. Bei der Agentenprogrammierung ist zwischen der Implementierung des Expertiseanteils und den rein funktionalen Eigenschaften zu unterscheiden. Allerdings besteht hier eine starke Abhängigkeit vom Programmiermodell der jeweils gewählten Agentenarchitektur. Der Entwickler steht hier vor der Aufgabe, eine Abbildung der spezifizierten Agenteneigenschaften auf die technischen Gegebenheiten dieses Programmiermodells zu vollziehen. Bei einigen Entwicklungsumgebungen wie ReKoS oder DASEDIS kann die Spezifikation direkt in hierzu vorgesehenen Sprachen erfolgen, die dann durch einen Interpreter oder Compiler umgesetzt werden. Allerdings wird ein solcher Vorteil zumeist mit einer eingeschränkten Anwendbarkeit auf bestimmte Applikationsbereiche erkauft.

3.4.3.4 Kalibrierung des Agentensystems

Das Testen und die Kalibrierung des Pre-Systems erfolgt in der letzten Phase. Hier wird neben der üblichen Fehlerbehandlung das Laufzeitverhalten des Gesamtsystems kontrolliert und evtl. notwendige Informationen bzw. notwendiges Wissen nachträglich induziert. Um die Lebendigkeit des Systems zu gewährleisten, erfolgt in einer solchen Phase typischerweise die zeitliche Abstimmung der Agenten in Bezug auf Timeouts und Antwortzeiten. Aber auch die Gesamtdynamik wird hier unter den Aspekten wie Kommunikationsintensität unter den Agenten als auch die Auftrittshäufigkeit externer Ereignisse und die Reaktionsgeschwindigkeit hierauf geprüft. Sollten die gewünschten Systemeigenschaften trotz Hinzufügen weiteren Wissens nicht erreicht werden, so müssen unter Umständen neue Funktionalitäten implementiert werden. Im Anschluß hieran vollzieht sich der Zyklus aufs neue.

3.5 Zusammenfassung

Die AOT als neues Programmierparadigma stellt eine Integrationsform unterschiedlicher Disziplinen dar, die sich durch gewisse charakteristische Basisfähigkeiten wie Kommunikation, Koordination und Kooperation auszeichnet. Im weiteren Verlauf dieses Kapitels wurden die grundlegenden wie optionalen Eigenschaften eines Agenten vorgestellt und auf die Frage nach den für agentenorientierte Systeme charakteristischen Merkmale eingegangen. Abschließend wurde eine mögliche Herangehensweise für den agentenorientierten Systementwurf, kurz AOSE, aufgezeigt. Resümierend läßt sich feststellen, daß die AOT eine auf die künftigen Anforderungen verteilter und offener Systeme ausgerichtete Modellierungsform darstellt, die sich insbesondere durch ihren für den Anwender intuitiven Zugang auszeichnet. Dennoch dürfen all diese Vorteile nicht darüber hinwegtäuschen, daß ein Mehr an Flexibilität wie so oft auch ein Mehr an Aufwand bedeutet, bspw. etwa bei dem erhöhten Koordinations- und Kommunikationsbedarf, welcher durch die Systemverteilung bedingt ist. Auch die aus den Grundideen der DAI hervorgehende Vision intelligenter, verteilter Systeme läßt sich nach heutigem Stand der Technik nur durch eine aufwendige Erfassung, standardisierte Repräsentation und Verarbeitung von Wissen erreichen.

KAPITEL 4 Computerbasierte Markt- und Handelssysteme

Märkte erbringen auf volkswirtschaftlicher Ebene eine überlegene Koordinationsleistung [40]. Gemäß Malone [29] stellen sie im Vergleich zu Hierarchien oder Kooperationen einen effizienten und allgemein anwendbaren Mechanismus zur Koordination von Leistungen bzw. Ressourcen dar. Es ist somit nicht verwunderlich, daß das Marktprinzip mittlerweile neben dem reinen Leistungs- und Güterhandel auch auf anderen Gebieten, wie z.B. bei der Organisation innerbetrieblicher Verwaltungs- wie Fertigungsprozesse Anwendung findet [30]. Basierend auf dem Internet als dem am schnellsten wachsenden, offenen Kommunikationsnetz und den auf ihm realisierbaren Telematikdiensten vollzieht sich bei den Marktstrukturen eine Metamorphose hin zu komplett automatisierten Systemen ([5],[25],[42]). Durch die kommunikationstechnische Aufhebung von räumlichen wie auch zeitlichen Distanzen ergibt sich hier eine neue Dimension des elektronischen Handels unterschiedlichster Leistungen und Güter ([4],[296]). Das folgende Kapitel dient als reine Einführung in den Bereich der Elektronischen Märkte. Nach einer kurzen Historie zur Entwicklung elektronischer Marktsysteme erfolgt mit Blick auf ihre Einordnung innerhalb der ökonomischen Theorie eine Definition zum Begriff des Elektronischen Marktes per se sowie die Vorstellung der wesentlichen, mit diesem Konzept verbundenen Vorteile. Anschließend werden die gängigsten Verfahren zur Preisbestimmung vorgestellt [277]. Im Fokus stehen hier die unterschiedlichen Auktionsvarianten mit ihren charakteristischen Eigenschaften. Den Abschluß dieses Kapitels bildet ein grober Überblick zu den derzeit repräsentativen Systemen.

4.1 Chronologischer Abriß

Einhergehend mit der technischen Entwicklung in der Informationstechnologie halten im Bereich der Markt- und Handelsstrukturen mittlerweile regelmäßig Innovationen Einzug, die sich zeitlich wie funktional in drei Phasen einteilen lassen. Ende der siebziger Jahre entstanden erste Elektronische Märkte im Bankenbereich. Anfänglich noch mit der Automatisierung einzelner Abläufe zur Abwicklung von Bankgeschäften befaßt, folgten weitere Systeme, die den Handel mit Futures und Optionen unterstützten [37]. Die ersten elektronischen Börsen kommen zum Einsatz. Als Beispiel hierfür gilt nebst anderen die Deutsche Terminbörse (DTB). Kennzeichnend für diese Entwicklungsphase ist der Wettbewerb proprietärer Systeme unter der Prämisse, durch die Differenzierung informationstechnischer Eigenschaften ließen sich Wettbewerbsvorteile erlangen. Aber auch im Bereich des Flugverkehrs entstanden erste Reservierungssysteme (Computer Reservation Systems, CRS). In den achtziger Jahren erfolgte dann die Öffnung der Systeme für andere Anbieter. Insbesondere wurde auf der Grundlage des Electronic Data Interchange (EDI) Konzeptes versucht, Daten unternehmensübergreifend auszutauschen. Die Flugverkehrsbranche mit ihren elektronischen Flugreservierungssystemen nimmt hier eine Pilotfunktion ein, da es sich bei ihren Produkten um nicht lagerbare Güter, sondern um zeitlich vergängliche Leistungen handelt. Dieses führt zu den Interorganisationssystemen wie den elektronischen Flugbuchungssystemen Galileo, Sabre, Amadeus, u.a. (vgl. [25],[33]). Anfang der neunziger Jahre war eine starke Ausweitung des elektronischen Handels in allen Bereichen zu beobachten. Der Endkunde wird immer mehr in die Systeme integriert und die informationstechnische Unterstützung aller Transaktionsphasen wird angestrebt.

4.2 Zur Definition des Elektronischen Marktes

In der Standardmarkttheorie der Ökonomie wird der Markt abstrakt als ein ökonomischer Ort des Tausches definiert, an dem das aggregierte Angebot auf die aggregierte Nachfrage trifft, wodurch ein Ausgleich ungleich verteilter Ressourcen, Fähigkeiten und Güter stattfinden kann [331]. Im Rahmen dieses Austausches sind die einzelnen Prozesse derart zu gestalten, daß die Ressourcen möglichst optimal allokiert werden, um so eine Maximierung des Nutzens zu erreichen [39]. Die hierzu notwendige Koordination vollzieht sich nach der ökonomischen Theorie und hier insbesondere gemäß ihrer neoklassischen Preistheorie unter der Voraussetzung rational agierender, d.h., ihren Nutzen maximierender Marktteilnehmer quasi automatisch. Der Preis als Knappheitsindikator kennzeichnet die Verfügbarkeit der Güter bzw. Leistungen und übernimmt die zentrale Steuerungsfunktion. Zum Tausch von Leistungen bzw. Gütern sind eine Reihe von Transaktionen notwendig, die sich nach Langenohl [27] jeweils der Informations-, Vereinbarungs-

oder Abwicklungsphase zuordnen lassen (vgl. Abbildung 4-1). Zur Informationsphase gehört z.B. die Recherche von Anbietern, Kunden und den Produkten bzw. Leistungen inklusive der damit verbundenen Konditionen. Haben sich die Marktteilnehmer auf der Anbieter- und Nachfragerseite gefunden, treten sie in die Vereinbarungsphase ein. Fixiert werden hier Preise, Lieferbedingungen, Termine, Garantieleistungen etc. Die Abwicklungsphase umfaßt letztlich alle Aktionen, die für den eigentlichen Austausch des Gutes notwendig sind. Hierzu zählt bspw. die Versicherung und der Transport einer Ware, aber auch die Bezahlung eines Gutes bzw. einer Leistung auf der Basis vorab verhandelter Finanztransaktionen (vgl. auch [41],[52]).

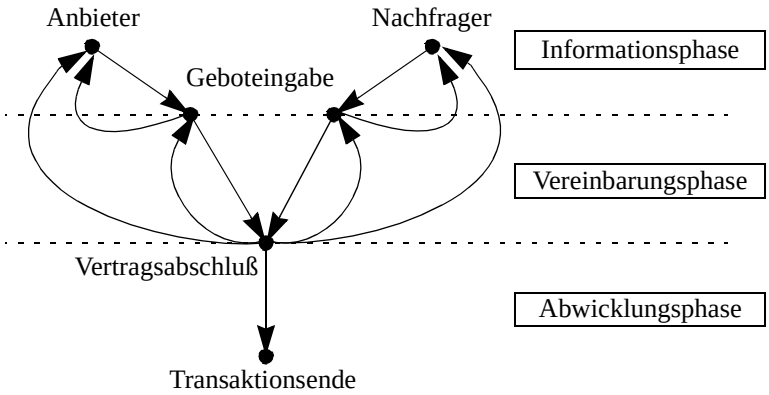


Abbildung 4-1: Transaktionsphasen eines Marktes nach Langenohl

Auf der Basis dieser drei Transaktionsphasen definiert Schmid Elektronische Märkte im „engeren“ und „erweiteren“ Sinne. Elektronische Märkte im engeren Sinne sind Marktplätze, bei denen alle drei Phasen der Markttransaktionen durch geeignete Informations- und Kommunikationstechnologien (Telematikdienste) unterstützt werden. Bei einer derartigen Einbeziehung von Kunden und Lieferanten in den Daten- und Informationsstrom wird von virtuellen bzw. Elektronischen Märkten gesprochen. Zitat:

„Elektronische Märkte im engeren Sinne sind mit Hilfe der Telematik realisierte Marktplätze, d.h. Mechanismen des marktmäßigen Tausches von Gütern und Leistungen, die alle Phasen der Transaktion (Infomationsphase, Vereinbarungsphase, Abwicklungsphase) unterstützen.“ [39]

Ein Elektronischer Markt im erweiterten Sinne ist gekennzeichnet durch ein Informationssystem, welches entweder eine oder mehrere Phasen der Markttransaktion unterstützt. Ziel ist es dabei, den Einsatz von papiergebundenen Dokumenten zu reduzieren und bereits erfaßte Daten und Informationen innerhalb der

betrieblichen Wertschöpfungskette durchgängig ohne erneute Dateneingabe und damit evtl. verbundener Medienbrüche weiterzuverarbeiten. Schmidt differenziert hierzu folgende Definitionen:

„Unter Elektronischen Märkten im erweiterten Sinne sind informationstechnische Systeme zur Unterstützung aller oder einzelner Phasen und Funktionen marktmässig organisierter Leistungskoordination zu verstehen.“ [39]

In der klassischen ökonomischen Theorie wird nach vollkommenen und unvollkommenen Märkten unterschieden. Vollkommene Märkte werden dabei durch die folgenden Eigenschaften charakterisiert [331]:

- Vollständige Information über den Markt (Anbieter, Kunden, Preise, etc.)
- Fehlen zeitlicher, räumlicher wie auch persönlicher Präferenzen
- Unendlich große Reaktionsgeschwindigkeit
- Perfekte Zielklarheit und Zielerreichung (Rationalität)

Unter Annahme bestimmter Randbedingungen wie bspw. vollkommener Markttransparenz zeigt die Theorie, daß Wirtschaftssysteme, die auf vollkommenen Wettbewerbsmärkten basieren, allokationseffizient[1] sind. Unvollständige Informationen über Preise, Anbieter, oder gar das Vorhandensein persönlicher Präferenzen führt zu einer Fülle von Markttransaktionen, die notwendig sind, um die Bedürfnisse der Kunden mit denen der Anbieter abzustimmen. Schon 1937 stellte Coase fest, daß allein die Inanspruchnahme des Marktes Kosten verursacht [52]. Bei allen drei Phasen des Transaktionsmodells fallen die sogenannten Transaktionskosten an. Zu unterscheiden sind u.a.:

- Anbahnungskosten, bedingt durch die Informationssuche und -beschaffung über potentielle Tauschpartner, Produkte, Preise, etc..
- Vereinbarungskosten, welche durch die Intensität und den zeitlicher Rahmen von Verhandlungen bestimmt sind.
- Kontrollkosten, um die Einhaltung von Vertragsbedingungen sicherzustellen.
- Anpassungskosten für die Durchsetzung von Vertragsänderungen.

Ein wesentlicher Vorteil vollkommener Märkte besteht in ihrer kostenfreien Nutzung durch die Marktteilnehmer. Bedingt durch die informationstechnologische Überbrückung räumlicher wie zeitlicher Dimensionen versprechen Elektronische Märkte massive Einsparungen von Transaktionskosten. Durch die bessere Verfügbarkeit von Informationen wird der Wettbewerb unter den Anbietern weiter verschärft, was zu einer erhöhten Produktvielfalt mit niedrigeren Preisen führt. Es kann festgehalten werden, daß Elektronische Märkte einen weiteren Meilenstein zum Ideal des ortslosen, vollkommenen Marktes mit all seinen Vorteilen darstellt.

1. Siehe [39] und vgl. [337]

4.2.1 Komponenten für den ATM-Ressourcenmarkt

Für die Konzipierung des anvisierten Ressourcenmarktes ist eine Abbildung des Elektronischen Marktes inklusive seiner hier vorgestellten Transaktionsphasen auf ein ATM-Netzwerk erforderlich. Desweiteren müssen geeignete Infrastrukturen und Komponenten definiert werden. Die Ausprägung der Transaktionsphasen sind stark abhängig von der Marktstruktur. Grundsätzlich wird hier von einem verteilten Markt ausgegangen, der sich aus einer Anzahl miteinander verbundener Marktplätze zusammensetzt. Bei dem Produkt bzw. der Ware handelt es sich um VCs sowie VPs. Sie werden abschnittsweise auf den Marktplätzen, welche sinnvollerweise auf den Switches lokalisiert sind, von unterschiedlichen Anbietern offeriert.

Zur Unterstützung der Informationsphase sind hier die verteilt vorliegenden Informationen über Ressourcen und Preise in geeigneter Weise verfügbar zu machen. Wie später in Kapitel 7.2.4 aufgezeigt wird, vollzieht sich dieses mit Hilfe eines Protokolls für die Verteilung von Linkstate- sowie Nodestatevektoren. Zusätzlich sind marktplatzlokale Informationen wie die momentane Switchauslastung, Art und Anzahl der Anbieter etc. verfügbar zu machen. Das Trading-Board stellt in diesem Kontext die wesentliche Komponente dar. Kommunikationsmechanismen, auf deren Grundlage die Marktakteure zwecks Austauschs individueller Informationen miteinander in Verbindung treten, gehören ebenfalls zur Infrastruktur für die Unterstützung der Informationsphase.

Dieses gilt natürlich in hohem Maße auch für die Vereinbarungsphase, innerhalb derer die Preisbildung durchgeführt wird. Auktionen versus bilaterale Verhandlungen sind hier zu unterscheiden. Im Rahmen dieser Arbeit werden individuelle Verhandlungen zwischen den Akteuren präferiert. Entsprechend sind geeignete Verhandlungsmechanismen zu konzipieren. Zu Schutz vor Mißbrauch nimmt die Sicherheitsinfrastruktur eine Schlüsselposition ein. Im Kapitel 5.12 werden dazu die einzelnen Probleme näher erläutert und mögliche Maßnahmen vorgestellt. Unabhängige und vertrauenswürdige Instanzen sind notwendig, um gewisse Sicherheitsanforderungen wie hier bspw. Authentifikationen, Autorisierung oder gesicherte Vertragsabschlüsse etc. durchsetzen zu können.

In der Abwicklungsphase findet die eigentliche Ressourcennutzung statt. Notwendig sind hier Komponenten, um die Einhaltung der Leistungserbringung überwachen zu können. Dabei stellt sich die Frage nach der technischen Umsetzung eines Vergebührungssystems. Neben der Messung (Metering) der in Anspruch genommenen Ressourcen müssen diese dem jeweiligen Kunden zugeordnet werden können (Accounting). Die Berechnung der Kosten (Charging) unter Einbeziehung eines Preismodells sowie die Inrechnungstellung (Billing) und Bezahlung (Payment) erfordert zusätzliche Komponenten.

4.3 Zur Preisbildung in der Vereinbarungsphase

In der Vereinbarungsphase treffen Anbieter und Kunden aufeinander, und sie beginnen einen Abstimmungsprozeß hinsichtlich der Güter bzw. Leistungen mit dem wesentlichen Ziel der gemeinsamen Preisfixierung. Entscheidungs- und Verhandlungsprozesse zeichnen daher diese Phase aus. Die hier entstehenden Transaktionskosten hängen stark von der Intensität, Komplexität und zeitlichen Ausdehnung der Vereinbarungsphase ab [52]. Insbesondere bei fehlender Institutionalisierung der Verträge[1] sind aufwendige Verhandlungsprozeduren zum Abgleich der maßgeblichen Detailfragen notwendig, was dann i.d.R. von sogenannten Intermediären wie Maklern oder Notaren übernommen wird [40]. Die informationstechnologische Unterstützung der Vereinbarungsphase im Hinblick auf die Realisierung eines Elektronischen Marktes im engeren Sinne macht einen Automatismus[2] zur Verhandlungsführung notwendig [33]. Im Idealfall könnte auf die Unterstützung des menschlichen Benutzers in einem solchen Systems komplett verzichtet werden. Denkbar ist hier der Einsatz von IAs als Transaktionsspezialisten, die, ausgerüstet mit dem notwendigen Wissen, im Sinne des Benutzers Verhandlungen autonom ausführen [15]. Diesem Ansatz steht u.a. die Problematik der Produktdefinition entgegen, denn gerade bei komplexeren Gütern oder Leistungen sind neben dem reinen Preis eine Reihe weiterer beschreibender Attributvariablen notwendig, was den Entscheidungsprozeß erschwert [48]. Müssen darüber hinaus noch Konditionen seitens der Zahlungsmodalitäten, Garantieleistungen oder Liefertermine verhandelt werden, so wird klar, daß dieser Komplexität nur durch eine strenge Institutionalisierung der Transaktionsabläufe begegnet werden kann. Bestes Beispiel hierfür stellen die Börsen dar, die sich von anderen Marktveranstaltungen wie Messen, Großmärkten u.a. durch zwei Merkmale unterscheiden: Der Gegenstand des Handels sind sogenannte vertretbare Güter, wobei der Transaktionsablauf beim Kauf bzw. Verkauf durch die Einführung von Usancen[3] stark institutionalisiert ist [6]. Erreicht wird hierdurch neben einer Homogenisierung von Angebot und Nachfrage auch eine Standardisierung der Händlerbonität, was die Abwicklungsphase vereinfacht. Durch den Konzentrationseffekt der Händlerversammlung bei gleichzeitiger Verbesserung der Transparenz wird eine starke Senkung der Transaktionskosten während der Informationssphase erreicht. Im folgenden werden nun die für einen effizienten Ablauf der Vereinbarungsphase wesentlichen Preisbildungsmechanismen vorgestellt. Neben dem Konzept des Market Makers liegt hier der Fokus auf der Variantenvielfalt der Auktionen ([1],[37]).

1. Bsp. hierzu sind Musterverträge, Gesetzliche Rahmenvorschriften, etc.
2. Vgl. auch Zlotkin und Beam ([254],[255],[277]).
3. Verbindliche Handelsbräuche. Für Börsengeschäfte sind sie in den "Bedingungen für die Geschäfte an den deutschen Wertpapierbörsen" schriftlich niedergelegt.

4.3.1 Auktionen

Die Auktion stellt mit eine der reinsten Formen des Marktes dar. In der Verhandlungsphase, die explizit vorgegebenen Regeln folgt, wird dabei alles auf die Variable Preis reduziert [37]. Der Käufer bzw. Bieter muß sich über die Qualität der Güter vorab im klaren sein und entscheiden, ob er an der Auktion teilnimmt. Besteht Interesse, so gibt er entsprechende Angebote ab, die von einem Auktionator im Rahmen des Preisbildungsprozesses entgegengenommen werden. Der Auktionator wirkt hier als Intermediär zwischen Käufer und Verkäufer und verhandelt eine Ware, die er selbst nicht besitzt. Markant ist die Eigenschaft, daß im Gegensatz zu anderen Handelsformen der Preis nicht durch den Verkäufer sondern im wesentlichen durch die Angebote der Käufer gebildet wird [1].

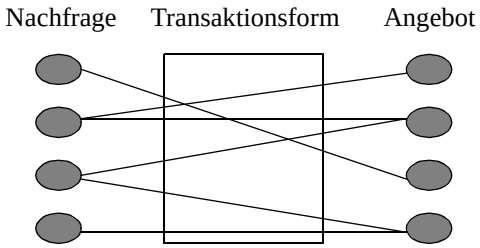


Abbildung 4-2: Auktion in ihrer allgemeinen Form

In der Abbildung 4-2 wird die Auktion in ihrer allgemeinen Form dargestellt. Das aggregierte Angebot trifft auf die aggregierte Nachfrage, wobei mehrere Käufer und Verkäufer während eines Durchgangs zum Zuge kommen können. Im Laufe der Zeit haben sich verschiedene Formen der Auktion herausgebildet. Sie unterscheiden sich hinsichtlich der Zeitdauer des Preisbildungsprozesses, der Form der Angebotsabgabe, die öffentlich oder geheim erfolgen kann, sowie nach auf- bzw. absteigenden Preisänderungen.

Englische Auktion

Die Englische Auktion (English Auction) stellt die wohl bekannteste Auktionsform[1] dar. Der Auktionator startet mit einem Mindestpreis, dem Reserve Price, und akzeptiert sukzessive die öffentlich abgegebenen, jeweils aufsteigenden Angebote der Käufer. Die Auktion ist beendet, wenn keine weitere Angebotserhöhung festgestellt werden kann. Die im Internet von der Firma Onsale[2] veranstalteten Auktionen für High-Tech Güter basieren auf der Englischen Auktion.

1. Christies oder Sotherbys bspw. verfahren nach dem englischen Auktionsverfahren
2. http://www.onsale.com

Holländische Auktion

Im Gegensatz zur Englischen Auktion wird bei der Holländischen Auktion (Dutch Auction) nicht mit auf- sondern absteigenden Preisen gearbeitet. Die Auktion beginnt hier mit einem sehr hohen Anfangspreis, der dann kontinuierlich erniedrigt wird. Der Zuschlag geht an den Käufer, der als erster durch ein öffentlich abgegebenes Signal seine Kaufabsicht zum aktuellen Preis kundgibt. Dieses bedeutet, daß ein Käufer bei starkem Interesse nicht allzu lange mit der Abgabe seiner Kaufabsicht warten darf. Somit eignet sich diese Form der Auktion sehr gut zur Versteigerung leicht verderblicher Waren wie bspw. Frischfisch, Tulpen u.ä. [1].

Geheime Auktion

Bei der Geheimen Auktion (Sealed Bid Auction) werden in einer ersten Phase die Angebote innerhalb einer fest definierten Zeitspanne verdeckt abgegeben. In der zweiten Phase erfolgt ihre Auswertung. Ab hier ist zu unterscheiden, welche Menge von einer Ware zu versteigern ist. Bei einem einzigen Objekt wird von einer First-Price Auction gesprochen, da die Ware zum höchsten Angebot den Besitzer wechselt. Bei N identischen Objekten erfolgen die Zuschläge an die jeweils N höchsten Angebote, was dazu führt, daß die Käufer für identische Waren unterschiedliche Preise zahlen. Dieses trug dieser Versteigerungsform auch den Namen Diskriminierende Auktion ein [1].

Vickrey-Auktion

Schon 1960 konnte William Vickrey nachweisen, daß der ausgehend von rational agierenden Käufern mittels der First-Price Auction erzielte Preis für ein Gut nicht optimal sein kann. Bei der nach ihm benannten Auktionsform werden, ähnlich wie bei der Geheimen Auktion, die Angebote verdeckt abgegeben[1]. Der Zuschlag geht an den Meistbietenden, doch hat dieser für die Ware nur den jeweils zweithöchsten Preis zu zahlen. Die Bedenken der Käufer, einen zu hohen Preis zu zahlen, wird so gedämpft und sie neigen dazu, ihre Angebote nach oben zu korrigieren was zu einer optimalen Wertschätzung führt. Werden mehrere Instanzen eines vergleichbaren Gutes versteigert, so geht der Zuschlag an die N höchsten Bieter, welche den Preis des N+1 höchsten Bieters zu zahlen haben (Uniform Second Price) ([1],[45]).

Doppelauktion

Bei einer Doppelauktion (Double-Auction) werden pro Durchgang die Angebote mehrerer Käufer wie auch Verkäufer derart miteinander verknüpft werden, daß der höchstmögliche Gesamtumsatz zustande kommt. Vollzieht sich dieser Prozeß fortlaufend, so wird von einer kontinuierlichen Doppelauktion gesprochen. Sie findet insbesondere bei Wertpapierbörsen wie bspw. der New York Stock Exchange (NYSE) Anwendung ([1],[12]).

1. Im Finanzenglischen auch bekannt als Uniform oder Second Price Auction.

4.3.2 Der „Market Maker“

Reichen Angebot bzw. Nachfrage nicht aus, um eine Menge von Kauf- bzw. Verkaufsaufträgen auszuführen, so wird von dem Problem eines illiquiden Marktes gesprochen. Eine mögliche Ursache hierfür liegt darin, daß die Gesamtmenge einer gehandelten Ware sehr gering ist und sich das Angebot wie auch die Nachfrage zeitlich nur schwer koordinieren lassen. In solchen Fällen wird insbesondere bei den Wertpapierbörsen auf das Konzept des Market Makers zurückgegriffen, dessen Hauptaufgabe darin besteht, im Markt ein ausreichendes Maß an Liquidität zu gewährleisten [37].

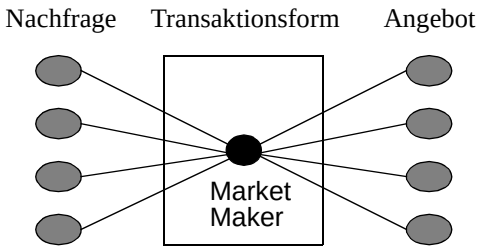


Abbildung 4-3: Market Maker als Transaktionsintermediär

Der Market Maker ist ein von der Clearingstelle speziell befugter Marktteilnehmer, der verpflichtet ist, jederzeit auf Anfrage hin verbindliche Kauf- und Verkaufskurse für die ihm zugeordneten Kontrakte zu stellen. Seine Handelsbereitschaft bringt er dadurch zum Ausdruck, daß er anderen Marktteilnehmern für diese Wertpapiere gleichzeitig zwei Kurse nennt: einen Geldkurs, zu dem er zu kaufen und einen Briefkurs, zu dem er zu verkaufen bereit ist. Als Börsenmitglied handelt der Market Maker ausschließlich auf eigene Rechnung und eigenes Risiko. Er arbeitet spannenorientiert, d.h. sein Verdienst liegt in der Differenz[1] der aktuellen Kauf- und Verkaufsangebote. Er wird somit versuchen, einen möglichst großen Umsatz zu erzielen, indem er bei Akzeptanz seiner entsprechend hoch angesetzten Briefkurse evtl. mehr Material abgibt, als er zur Zeit besitzt und im umgekehrten Fall bei Akzeptanz seiner natürlicherweise niedrigeren Geldkurse Material akkumuliert. Durch diese Pufferwirkung wird zeitlich gesehen ein Ausgleich zwischen Angebot und Nachfrage erreicht. Allerdings werden an ihn diesbezüglich hohe Kapitalanforderungen gestellt. An der amerikanischen NASDAQ, dem Neuen Markt (NM) oder auch der London Stock Exchange (LSE) findet die Preisbildung durch den Market Maker Anwendung. Market-Maker wie auch Auktionäre benötigen unbedingt das Vertrauen der Kunden (vgl. Kapitel 5.12.5).

1. Im finanzenglischen auch Spread genannt.

4.3.3 Beispiele elektronischer Markt- und Handelssysteme

Bei der Entwicklung elektronischer Marktsysteme ist zu beobachten, daß sich Forscher wie Entwickler aus unterschiedlichen Anwendungsdomänen dem Begriff des Elektronischen Marktes mit teilweise recht unterschiedlichen Grundvorstellungen nähern. Bei den Finanzmärkten bspw. ist eine fortschreitende Automatisierung des Handels fungibler Güter bei gleichzeitig verstärkter Einbindung der Marktteilnehmer über die Kommunikationsnetze zu beobachten. Hierdurch wird der Weg für den 24-Stunden Handel geebnet bei einhergehender Reduktion der Transaktionskosten [6]. Aber auch im Bereich der nicht vertretbaren Güter entwickeln sich Märkte wie Kasbah, Onsale, u.a. mit ähnlichen Zielsetzungen, allerdings mit erhöhtem Aufwand für die Produktbeschreibung und dem Product-Brokering [28]. Auf der anderen Seite stehen die Verfechter der künstlichen Märkte [36]. Thomas Malone war einer der ersten, der die allgemeine Qualität des Marktprinzips zur Leistungs-/Ressourcenkoordination herausgestellt hat und den Begriff des Elektronischen Marktes wesentlich prägte (vgl. [29],[31]). Der vollkommene Markt als Koordinationsmechanismus zeichnet sich durch seine Dezentralität, Asynchronität und Allokationseffizienz aus und kann eo ipso auch zur verteilten Systemkontrolle wie bspw. bei der Zuteilung von Prozessorzeit oder Bandbreiten in einem Rechnernetzwerk eingesetzt werden ([8],[10],[281],[315],[318]).

4.3.3.1 Elektronische Finanzmärkte

Für den Handel mit Finanzobjekten wie bspw. Sichtguthaben (Devisen) oder auch Wertpapieren (Effekten) hat sich die Börse als die effektivste Marktform herauskristallisiert. Kennzeichnend für die dort gehandelten Güter ist ihre aus einer starken Institutionalisierung resultierende Fungibilität, auf deren Grundlage sich die Informationsphase auf wenige Kerndaten wie z.B. Menge, Preis oder Umsatzvolumen reduziert und insgesamt eine schnellere Geschäftsabwicklung ermöglicht (s.a. [6]). Zudem müssen diese Güter selbst nicht einmal unmittelbar am Markt vertreten sein, da sich durch die Kontrakte lediglich die Besitzverhältnisse ändern. Die hiermit im Zuge der Abwicklungsphase verbundenen Geld- bzw. Devisentransfers werden im Interbankenbereich ebenfalls durch entsprechend automatisierte Systeme[1] unterstützt. Die Entwicklung von vollständig rechnerbasierten Finanzbörsen ist in vollem Gange und tendiert zu letztlich globalen, offenen Systemen, die 7*24 Stunden die Woche geöffnet sind (vgl. [39]). Die Soffex als auch das Xetra-System als zwei Vertreter dieser Kategorie von Handelssystemen werden im folgenden nun kurz vorgestellt.

1. Vgl. hierzu Netting-Systeme wie ECHO Netting, NACHO oder SWIFT ACCORD

Soffex

Die elektronische Handelsplattform Soffex (Swiss Options and Financial Future Exchange) der Schweizer Börse (Swiss Exchange, SWX[1]) gewährleistet als weltweit erstes System den vollautomatischen Abschluß wie auch die vollintegrierte Abwicklung von Geschäften mit derivaten Finanzprodukten wie Optionen und Futures. Der elektronische Handel beginnt beim Anleger, dessen Aufträge durch die Anlageberater der Mitgliedsbanken erst erfaßt und dann im Zuge des Orderroutings zu den entsprechenden Börsenhändlern weitergeleitet werden, damit diese sie nach Prüfung direkt in das Handelssystem eingeben. Von dort gelangen sie ins zentrale Börsensystem der SWX, welches den Empfang des Auftrages quittiert. Das vollelektronische Börsensystem garantiert den Teilnehmern den Abschluß des bestmöglichen Preises. Im Gegensatz zu herkömmlichen Systemen werden Kauf- und Verkaufsaufträge nach klar definierten Regeln, den sogenannten Matching-Regeln anonym zusammengeführt. Darüber hinaus ist es in der Lage, sogenannte Kontraktkombinationen aus Kauf- und Verkaufspositionen als Ganzes oder anteilig zu matchen. Jeder Abschluß löst letztlich eine automatische Abwicklung (Clearing) unter Einbezug der Schweizerischen Effektengiro AG (SEGA) und der Schweizerischen Nationalbank (SNB) aus.

Xetra

Xetra[2] steht für "Exchange Electronic Trading" und löste im November 1997 das bis dato verwendete IBIS-Aktiensystem mit der Zielsetzung ab, unterschiedliche Handelsdienstleistungen zu möglichst niedrigen Transaktionskosten anzubieten und sich im europäischen Wettbewerb zur führenden Handelsplattform zu entwikkeln. Den Marktteilnehmern wird ein gleichberechtigter, standortunabhängiger Zugang ermöglicht. Die Xetraplattform basiert dementsprechend auf einer modernen Client/Server-Architektur, bei welcher ein Anteil der Gesamtfunktionalität dezentral auf den Front-Ends der Teilnehmer abläuft, während andere Anteile zentral auf dem Back-End der Börse zu realisieren sind. Als Handelsformen sieht das Xetra-Marktmodell neben der Auktion den fortlaufenden Handel vor. Bei den Auktionen werden unter Berücksichtigung der gesamten Orderlage die Preise für alle Ordergrößen ermittelt. Im fortlaufenden Handel hingegen wird ein offenes Orderbuch geführt, in dem die Orders dann sofort gegeneinander ausgeführt werden können. In der Ausführung von Orders gilt zunächst die Preis- und dann die Zeitpriorität. Letztere gibt einen hohen Anreiz zu frühzeitiger Orderplazierung. Xetra enthält außerdem ein zentrales Orderbuch mit optimierter Transparenz, das allen Marktteilnehmern Chancengleichheit bei der Preisbildung bietet. Die börsliche Liquidität des Kassahandels wird in einem Orderbuch pro Wertpapier konzentriert. In der Abwicklungsphase wird durch das Zug-um-Zug-Verfahren (Delivery

1. Vgl. http://www.swx.com/top/index_en.html
2. Vgl. http://www.xetra.de/internet/xetra/xetra3.nsf/HTMLSeitenD/STARTSEITE?openDocumen

versus Payment) gewährleistet, daß ein Käufer die Wertpapiere nur bei Erfüllung der im voraus vereinbarten Zahlung erhält. Grundlage hierfür bilden die für Börsengeschäfte üblichen Usancen. Damit eine klare Zuordnung für die interne Abrechnung möglich ist, werden alle Geschäftstransaktionen mit einer eindeutigen Geschäftsnummer versehen. Die Handelsteilnehmer werden während des gesamten Transaktionsprozesses mit elektronischen Bestätigungen versorgt. Damit ist der Status einer Order jederzeit nachvollziehbar. Nach erfolgreicher Wertpapierdisposition bei der Deutschen Börse Clearing AG werden die Stücke reguliert und der Gegenwert anschließend Zug-um-Zug über die Landeszentralbank verrechnet.

4.3.3.2 Internetbasierte Märkte

Mit der rasanten Ausbreitung des Internet entstehen auf der Basis des WWW als dem bekanntesten Dienst neue Anwendungen im Bereich der Elektronischen Märkte. Ziel dieser Systeme ist der automatisierte Handel von nicht unbedingt fungiblen und somit inhomogenen Gütern. Die zu lösende Problematik besteht hier u.a. in der Beschreibung der Waren bzw. Güter, ihrer automatisierten Vermittlung (Product-Brokering), sowie der Preisverhandlung (Electronic Negotiation). Eine umfassende und strukturierte Übersicht zu den aktuellen Systemen wird in [15] geliefert, wobei der Schwerpunkt auf dem Einsatz von Agenten als Transaktionsmediatoren liegt. Exemplarisch werden hier vier Vertreter Elektronischer Märkte kurz vorgestellt, von denen das Agora-System als Plattform für die Bereitstellung und insbesondere für die Vermittlung von Diensten eine Sonderlösung darstellt.

Onsale

Die 1995 von Jerry Kaplan in Mountain View gegründete Firma Onsale[1] betreibt via Internet ein Auktionssystem zur Versteigerung von gebrauchten Konsumgütern. Den Teilnehmern ist es somit möglich, unabhängig von Zeit und Raum an einer solchen Auktion durch Abgabe eigener Angebote teilzunehmen. In der Informationsphase werden sie durch einen elektronischen Produktkatalog unterstützt. Die Preisbestimmung in der Vereinbarungsphase erfolgt dabei nach dem englischen Auktionsverfahren, wobei das jeweils letzte Höchstgebot über das Display abgerufen werden kann. Da es sich bei den Waren um physikalische Güter handelt, werden diese in der Abwicklungsphase dem erfolgreichen Käufer postalisch zugestellt. Die Bezahlung hingegen wird über das Kreditkartenverfahren realisiert. Neben Onsale existieren mittlerweile eine ganze Reihe weiterer Internetauktionen wie AuctionBot[2], Zuschlag[3] u.a. deren Zahl stetig zunimmt.

1. Siehe unter http://www.onsale.com/
2. Siehe unter http://www.eecs.umich.edu/
3. Siehe unter http://www.zuschlag.de/

Kasbah

Das am MIT Media Lab. von P. Maes konzipierte MAS Kasbah stellt einen webbasierten Marktplatz für den Handel mit Gütern dar [5]. Die Benutzer entsenden dabei Agenten, die in Konkurrenz zueinander Güter kaufen bzw. verkaufen. Die Kauf- wie auch Verkaufsagenten werden von ihm mit Informationen zum geforderten Mindestpreis, zum gewünschten Preis, sowie zum Ablaufzeitpunkt, zu dem die Ware spätestens gekauft bzw. verkauft sein sollte, versehen. Die Informationsphase wird durch den Marktplatz selbst unterstützt, indem dieser anhand der Produktprofile einem registrierten Verkaufsagenten eine Liste möglicher Kaufagenten zur Verfügung stellt. Der Verkaufsagent wendet sich dann proaktiv an in Frage kommende Kandidaten. Kasbah unterstützt hier weiterhin die direkte Verhandlung zwischen den Agenten in der Vereinbarungsphase. Der Kaufagent kann unter Berücksichtigung seiner vorgegebenen Zeit- und Preisrestriktionen ein Angebot offerieren, welches vom Verkaufsagenten mit einem schlichten Ja oder Nein honoriert wird. Er kann bei Ablehnung den Preis dann in linearen, quadratischen oder aber exponentiellen Schritten nach oben korrigieren. Die Vorgabe solch fester Preisanpassungsstrategien erleichtert dem Benutzer einerseits das Verständnis des Agentenverhaltens, birgt jedoch den Nachteil, daß die gewählte Strategie leicht zu identifizieren und somit zu umgehen ist. Die Abwicklungsphase, d.h. der Transfer von Ware und Geld, wird im Kasbah System nicht unterstützt.

Tete-a-Tete

Charakteristisch für dieses System ist die Unterstützung des Benutzers bei der Vermittlung von Produkten als auch der in Frage kommenden Lieferanten, sowie der Preisverhandlung auf der Basis einer Constraint Satisfaction Problemdefinition (CSP). Entsprechend sind neben der Angabe zur Preisvorstellung eine Vielzahl weiterer Attribute wie Lieferzeit, Lieferkosten, Garantie, etc. definierbar. Durch die Verteilung der Constraints werden, ähnlich wie bei Kasbah, mehrseitige Verhandlungen ermöglicht [14].

Agora

Bei dem Agora-System handelt es sich um einen Markt für die Vermittlung von Mehrwertdiensten auf Basis eines erweiterten Dienstmodells [296]. Als Mehrwertdienst wird hierbei eine Komposition von Funktionalitäten verstanden, die durch eine Anzahl verteilter, kooperierender Dienstobjekte erbracht werden. Beschrieben wird ein Dienst durch seinen Diensttyp, seinen Schnittstellentyp inklusive spezieller Bindeinformationen sowie einer Liste von Dienstattributen. Auf der Grundlage dieser Informationen werden die Dienste dann durch einen erweiterten Trader vermittelt. Der Fokus des Agora-Systems liegt eher auf der Transparenz der skalierbaren Dienste, sowie ihrer hohen Verfügbarkeit. In der Verhandlungsphase findet eine reine Abbildung zwischen den gewünschten Dienstanforderungen sowie den Eigenschaften der registrierten Dienstobjekte durch den Trader statt, d.h der Faktor

Geld als Verhandlungsgegenstand entfällt. Da die Ware Dienst über das Netzwerk selbst bereitgestellt wird, kann die Abwicklungsphase auf die reine Dienstausführung reduziert werden.

4.3.3.3 Marktbasierte Kontrollsysteme

Komplexe Systeme zeichnen sich neben einem i.d.R. recht hohen Verteiltheitsgrad[1] auch durch ihr dynamisches Verhalten aus, welches durch Stabilität, Oszill ationen oder auch durch nicht antizipierendes Chaos geprägt sein kann. Unter dem Begriff des Market-Based Control propagiert Clearwater [8] ein neues Paradigma zur Steuerung derartiger Systeme auf der Basis der asynchronen und verteilt ablaufenden Zuordnung begrenzt verfügbarer Systemressourcen. Der Markt konstituiert sich dabei aus den als Marktteilnehmer auftretenden und miteinander interagierenden Systemkomponenten, welche über lokales Wissen verfügen und die sich stetig weiterentwickeln können. Die globale Systemkontrolle entwickelt sich aus den individuellen Zielen jeder einzelnen Komponente, die durch die von Adam Smith assoziierte 'Invisible Hand' sinnvoll miteinander arbeiten. Ergänzend zu den in der vergleichenden Analyse von Kapitel 2.5 vorgestellten Arbeiten regeln bspw. [21] die Warmluftzufuhr innerhalb eines Gebäudes mit Hilfe von Agenten, die sich an einer, durch einen zentralen Auktionator moderierte Doppelauktion beteiligen. Neben Clearwater schlagen auch Miller und Drexler Koordinationsstrukturen für offene Systeme auf der Basis von Marktkonzepten vor und nennen diese Open Agoric[2] Systems oder Offene Marktsysteme [34]. Ihre ursprüngliche Intention besteht darin, die von einem zentralen Betriebssystem organisierte Ressourcenverteilung durch einen dezentral agierenden Marktprozeß zu ersetzen. In [46] wird ein Schedulingalgorithmus zur Verteilung von Produktionszeiten innerhalb einer Fabrik auf der Basis einer verallgemeinerten Vickrey-Auktion vorgestellt. Sehr viel umfassender dagegen schätzen Hubermann und Hogg [22] das Potential des Marktansatzes zur Lösung allgemein komplexer, NP-vollständiger Probleme ein und definieren hierzu in Anlehnung an biologische Systeme den Begriff der Computational Ecologies. Bei den hier vorgestellten Ansätzen handelt es sich um künstliche Marktsysteme, bei denen insbesondere das Instrument Geld eher eine Rolle als Nachfrage- und nicht als konvertibler, finanzieller Wertindikator spielt. Explizit unterschieden wird dieses durch die Begriffe des Blue Money - auch Funny Money genannt - bzw. des Green Money. So kann desweiteren auch die für die Teilnehmer traditioneller Märkte geltende Annahme der Rationalität durch die Vorgabe fester Interaktionsschemata stark eingeschränkt sein, mit dem Ziel, ein erwünschtes globales Systemverhalten zu erreichen [17]. Dieses kann z.B. ein all-

1. Hierzu zählen Problembereiche mit inhärenter zeitlicher und räumlicher Ausdehnung, wie Verkehrsleitsysteme oder das Routing in Kommunikationsnetzwerken.
2. Agora: Aus dem Griechischen = Markt

gemeiner Gleichgewichtszustand hinsichtlich des Angebots und der Nachfrage von Ressourcen sein, wie er im WALRAS-System durch geeignete Problemtransformation erreicht wird. In der Arbeit von Rosenschein und Zlotkin wurden auf der Basis spieltheoretischer Überlegungen die Grundlagen für den Entwurf der hierzu notwendigen Interaktionsprotokolle geschaffen ([254],[255]).

Enterprise

Thomas Malone entwickelte das Enterprise System zur Ausnutzung der Prozessor-Idle-Zeiten von Rechnern innerhalb eines Netzwerkverbundes. Das Prinzip beruht auf der Auslagerung ablauffähiger Tasks von Rechnen mit hoher Last auf Rechner mit entsprechend niedrigerer Auslastung im Sinne einer Lastverteilung. Mallone konnte nachweisen, daß unter gewissen Grundvoraussetzungen das vollständige System so eine bessere Gesamtperformance hinsichtlich der Auslastung erzielt, als die Summe der Einzelrechner im nicht kooperativen Betrieb. Die Zuteilung der Tasks basiert auf einem verteilten Schedulingprotokoll, welches sich stark an das Contract-Net Protokoll von [260] anlehnt und das sich in folgende drei Phasen gliedern läßt:

1 Request

2 Response

3 Task-Assignment

In der Request-Phase wird von einem Rechner eine Task unter Angabe von Priorität, benötigter Ressourcen sowie einer Laufzeitschätzung zur Abarbeitung ausgeschrieben. In der Response-Phase treffen von den übrigen Rechnern die Angebote mit ihrer jeweiligen Abschätzung zur voraussichtlichen Laufzeit ein. Nach erfolgter Auswertung wird dann in der Task-Assignment Phase die Task der geeignetsten Maschine zugeordnet. Die Idee einer marktbasierten Zuteilung von Rechenzeit ist nicht neu. Schon [315] regulierte die Verteilung von Benutzerzeiten auf einer PDP-1 mit Hilfe seines „Future Markets“. Mußte hier die Auswertung der Angebote für Benutzerzeiten allerdings noch manuell via Gantt-Charts vorgenommen werden, vollzieht sich dieses im Enterprise System automatisch. Auf der Grundlage von Mallones Ansätzen basieren neben den schon in Kapitel 2.5 vorgestellten Untersuchungen von Maes [281] eine Reihe weiterer Arbeiten[1].

Spawn

Das von C. Waldspurger realisierte Spawn-System stellt eine Weiterentwicklung des Enterprise Systems dar [19]. Unterstützt wird die Allokation von Zeitscheiben auf Prozessoren mit unterschiedlichen Qualitätsmerkmalen[2] für die Abarbeitung von Tasks. Preise, die markttechnisch auf Basis einer geheimen Vickrey-Auktion

1. Vgl. hierzu [19] und [3]
2. Prozessoren können bspw. schnell oder langsam sein.

bestimmt werden, dienen als Indikator für die relative Bewertung der CPU-Zeitscheiben. Der eigentliche Markt wird dabei durch eine Menge von i.d.R. verteilt ablaufenden Prozessen gebildet. Ein Verkäufer von CPU-Zeit initiiert einen Auktionsprozeß, an welchem interessierte Käufer über einen jeweils separat initiierten Bietprozeß teilnehmen. Ein Angebot besteht aus dem Kaufpreis, der gewünschten Zeitdauer und einer kurzen Beschreibung der abzuarbeitenden Task. Vom Auktionsprozeß wird die jeweils nächste Zeitscheibe, für die laufend Angebote entgegengenommen werden, versteigert. In Spawn wird organisatorisch eine Trennung zwischen den abzuarbeitenden Applikationen und dem Markt geschaffen. Jedem Auktionsprozeß ist ein Ressourcen-Manager zugeordnet, der den Ressourcenverbrauch der Applikationen bzw. Tasks während ihres Ablaufs kontrolliert. Er fungiert hier als Schnittstelle der Applikationen zum eigentlichen Markt. Auch die Applikation wird organisatorisch in einen sogenannten Applikationsmanager und einen Applikationsarbeiter getrennt. Im Kontext verteilter Anwendungen übernimmt der Applikationsmanager die Koordination einer Reihe von Applikationsarbeitern, welche die eigentliche Arbeit verrichten. Die Erzeugung von Unterapplikationen vollzieht sich gemäß der Namensgebung des Systems durch Abzweigen von Kindprozessen. Der Applikationsmanager im Elternprozeß kontrolliert entsprechend alle von ihm initiierten Unterapplikationen. Um sich der Komplexität einer Anwendung anpassen zu können, bietet Spawn hier die Möglichkeit zur dynamischen Erzeugung hierarchisch organisierter Marktstrukturen.

WALRAS

Bei WALRAS handelt es sich um ein Programmiersystem zur Entwicklung von rechnerbasierten, künstlichen Märkten [7]. Kernstück bildet der sogenannte Walrasche[1] Algorithmus, welcher unter Einhaltung gewisser Randbedingungen, wie der sogenannten Produktsubstituierbarkeit, die Konvergenz zum allgemeinen Gleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage in verteilten, miteinander verbundenen Märkten garantiert. Wellmann prägte in diesem Zusammenhang den Begriff des Market-Oriented Programming [51]. Verschiedene Güter werden auf jeweils separaten Auktionen zwischen Konsumenten und Produzenten, hier durch konkurrierende und rational handelnde Agenten modelliert, versteigert. Die Konsumenten sind beim Güterhandel bestrebt, ihre Nutzenfunktionen zu maximieren. Die Produzenten sind darüberhinaus in der Lage, aus erworbenen Gütern neue Güter und hier insbesondere neue Leistungen zu erzeugen. Durch diesen Transformationsprozeß wird eine Form der Wertschöpfung erreicht. Die Menge-/Preisangaben in einem Angebot gestalten sich funktional. Sie können darüberhinaus vollkommen asynchron eingereicht werden, wodurch laut dem Autor die Gefahr von Preisoszillationen eingeschränkt wird [16].

1. In Anlehnung an den Ökonomen Léon Walras [47].

4.4 Zusammenfassung

Die Entwicklung Elektronischer Märkte erfährt zur Zeit einen immensen Auftrieb, der unter anderem aus der raschen, globalen Expansion grundlegender Kommunikationssysteme wie dem Internet resultiert. Eine Einordnung der IT-basierten Unterstützung Elektronischer Märkte kann dabei anhand eines allgemeinen, 3-stufigen Transaktionsmodells mit Informations-, Vereinbarungs- und Abwicklungsphase erfolgen. Es zeigt sich dabei, daß eine möglichst durchgängige Rechnerunterstützung mit Blick auf automatisierte Verhandlungsmechanismen gerade bei den Märkten vorteilhaft zu realisieren ist, auf denen stark institutionalisierte Güter wie bspw. Wertpapiere gehandelt werden. Waren und Produkte mit möglichst knapper und präziser Leistungsbeschreibung reduzieren den Aufwand in der Informationsphase und vereinfachen die Verhandlungen in der Vereinbarungsphase. Als Handelsform entspricht das Auktionsverfahren diesen Gegebenheiten am besten. Der Käufer bzw. Bieter muß sich über Qualität und Leistungsumfang angebotener Güter schon vorab im klaren sein. Auktionen konzentrieren Kauf- und Verkaufsinteressen innerhalb einer Marktumgebung und bündeln somit die Liquidität, was letztlich positiv auf die erzielten Handelsvolumina durchschlägt. Bei den Elektronischen Märkten nehmen die marktbasierten Kontrollsysteme eine Sonderstellung ein. Bei ihnen handelt es sich um künstliche Märkte zur koordinierten Ressourcenverteilung und -nutzung ohne realen Barausgleich.

KAPITEL 5 Der Markt auf Netzwerkebene

Netzwerkressourcen und hier insbesondere Übertragungsbandbreiten sind in einem Kommunikationssystem nur in begrenzter Menge vorhanden und stellen somit aus ökonomischer Sicht wirtschaftliche Güter dar. Die Knappheitseigenschaft der Ressourcen führt zu wirtschaftlichem Handeln, d.h. eine faire Verteilung der in begrenzter Menge vorhandenen Güter muß auf Basis von Angebot und Nachfrage erzielt werden. Gemäß der von Cezanne postulierten Maxime „Wirtschaften heißt wählen“ [331] kann versucht werden, die Auslastung und somit die Nutzung der Ressourcen im Netzwerk zu optimieren. Das im ökonomischen Bereich weitverbreitete MaxMin-Prinzip verdeutlicht dieses sehr viel klarer: „Verfahre stets so, daß ein bestimmter Ertrag mit minimalem Aufwand erreicht wird.“ [331]. Im folgenden Kapitel wird ausgehend von den schon heute identifizierbaren Trends in den Tk-Märkten[1] ein Ressourcenmarkt auf der ATM-Netzwerkebene konstruiert. Eine Kerneigenschaft des Marktkonzeptes besteht darin, daß Ressourcen zwischen Anbietern und Endkunden hier auf realer Geldwertbasis verhandelt werden, d.h. Angebot und Nachfrage richten sich für Käufer wie auch Verkäufer nach ihrer individuellen Preisbewertung für die von Ihnen angeforderte Ressourcen aus. Auf der Basis dieser Marktstrukturen wird schließlich ein Routing definiert, welches den Aufbau einer ökonomisch möglichst kostenoptimalen Ende-zu-Ende Verbindung in einem offenen ATM-Netzwerk mit mehreren Anbietern realisiert.

1. Der hier zur Zeit dominierende Dienst, an welchem die aktuellen Markttrends exemplarisch festgemacht werden, ist allerdings noch der Telefondienst.

5.1 Das Angebotsspektrum im Telekommunikationsmarkt

Bedingt durch die Deregulierungs- und Liberalisierungsbestrebungen ist der Telekommunikationsmarkt einer starken Wandlung unterworfen [83], die neben einer steigenden Anzahl an Anbietern auch durch eine Erweiterung des Dienstangebots gekennzeichnet ist. Haben sich während der zeitlichen Koexistenz monopolistischer wie auch liberalisierter Märkte bspw. die Callback-Dienste entwickelt, so kann in den liberalisierten Märkten technisch bspw. durch das Call-by-Call Verfahren direkt aus diesem Angebot gewählt werden. Der Dienstkunde kann für den Aufbau einer Dienstverbindung zwischen unterschiedlichen Anbietern wählen und orientiert sich dabei an den jeweils geltenden anbieterspezifischen Tarifen [95]. Das Absenken des durchschnittlichen Preisniveaus wird somit durch einen vermehrten Aufwand bei der Dienstanbieterauswahl pro initiierter Verbindung erkauft. Sogenannte Least Cost Router (LCR), welche entweder als dedizierte Geräte in Form von LCR-Boxen[1] oder aber als zusätzliche Funktion in Telekommunikationsendgeräten wie Tk-Anlagen, Modems etc. vorkommen, automatisieren diesen Auswahlvorgang weitestgehend (vgl. Abbildung 5-1).

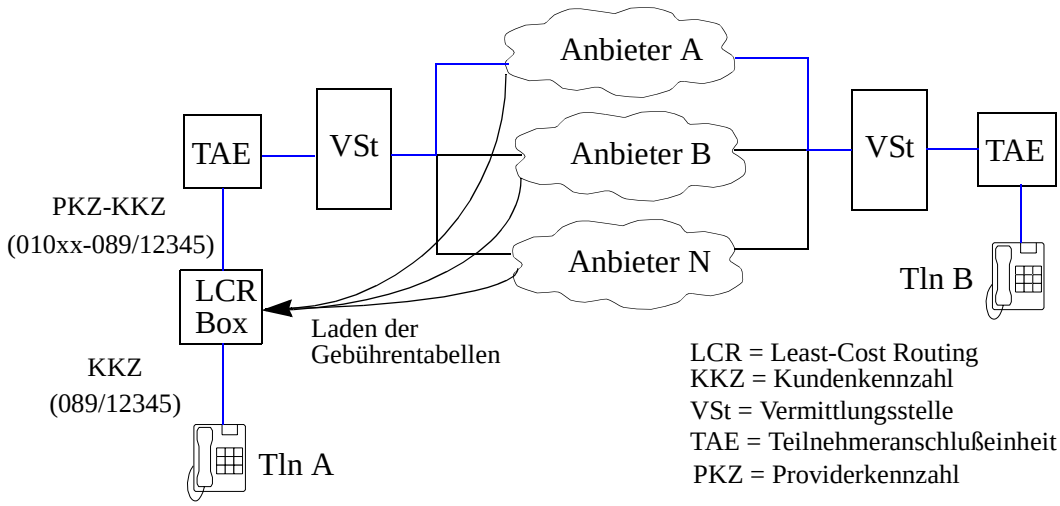


Abbildung 5-1: Least-Cost-Routing im Access-Bereich

In Abhängigkeit von der aktuellen Tageszeit und der räumlichen Distanz zum Zielteilnehmer ermitteln sie den günstigsten Anbieter und wählen diesen an, indem sie die Zielrufnummer um einen Nummernprefix, auch Providerkennzahl genannt, erweitern. Größere Unternehmen betreiben für die Sprach- und Datenkommunika-

1. Siehe hierzu http://www.TelcoEx.de/, http://www.c-net.de/, http://www.c-net.de/ u.a.

tion firmeneigene Netzwerke, sogenannten Corporate Networks (CN). Sie können zwar nicht das Kommunikationsvolumen, wohl aber die Kommunikationskosten im Unternehmen reduzieren (vgl. [135]). Seitens der Sprachkommunikation wird auch hier versucht, mittels dem LCR potentielle Kostenvorteile durch die Einbindung günstiger Dienstanbieter nutzbringend auszuschöpfen. Darüberhinaus werden Gesprächsverbindungen entweder vollständig oder zumindest abschnittsweise im eigenen Netz gehalten. Wie der Abbildung 5-2 zu entnehmen ist, kann bspw. ein Teilnehmer A eine Verbindung zum Teilnehmer B aufbauen, die vollständig durch das firmeneigene Netzwerk geroutet werden kann. Wird indes der Teilnehmer C angewählt, so erkennt der LCR-Algorithmus, daß ab einem bestimmten Punkt im Netz der Übergang auf einen externen Anbieter vorteilhafter ist (Break-Out), weil Teilnehmer C entweder technisch nicht über das eigene Netz erreichbar ist oder aber die so entstehende Endverbindung einfach kostengünstiger ist. Neben einer besseren Auslastung der eigenen Netzinfrastruktur ergibt sich für die Firmen zudem ein nicht unerhebliches Einsparungspotential.

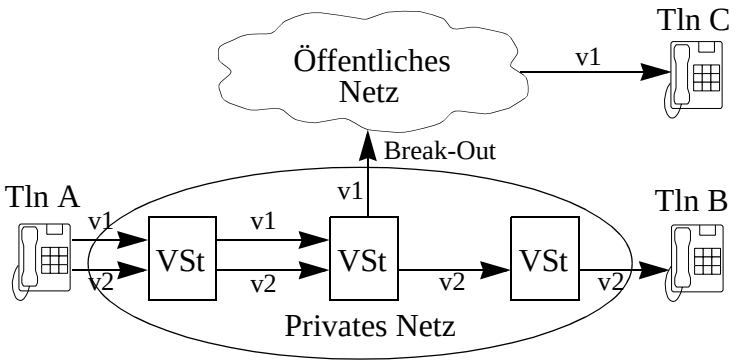


Abbildung 5-2: Least Cost Routing in Corporate Networks

Callback-Anbieter nutzen im wesentlichen die Preisdifferenzen in den Tarifstrukturen zwischen monopolistischen und liberalisierten Tk-Märkten aus. Diese resultieren vornehmlich aus den Tarifabkommen zwischen den nationalen Telekommunikationsnetzbetreibern auf Basis der Accouting Rates[1] [114]. So kann es, wie in der Abbildung 5-3 skizziert, bspw. günstiger sein, eine pan-europäische Kommunikationsverbindung über die USA zu routen, da hier die Gebühren für internationale Gesprächsverbindungen signifikant günstiger sind, als auf dem Kontinent selbst. Der Dienstkunde A eines Callback-Anbieters wählt hierzu dessen Vermittlungsrechner in den Staaten an und läßt es einmal klingeln. Dieser Anruf wird auch als Lockruf bezeichnet. Der Vermittlungsrechner ermittelt die aktuelle

1. Vgl. hierzu auch Kapitel Kapitel 2.5.1.1.

Rufnummer seines Kunden[1], ruft ihn zurück und gibt ihm ein Freizeichen, so daß dieser nun seine Zielnummer wählen kann. Teilnehmer A meldet quasi einen Verbindungswunsch an und erwartet hiernach eine Rückmeldung. Als nachteilig zu bewerten ist hier allerdings der durch den Lockruf des Kunden sowie die zusätzliche Round Trip Time (RTT) zwischen Callback-Anbieter und Kunden bedingte hohe Zeitaufwand beim Aufbau der Endverbindung. Es ist anzunehmen, daß mit der zunehmenden globalen Liberalisierung des Tk-Marktes sich das Angebot an Callback-Diensten in ihrer heutigen Erscheinungsform reduzieren wird und neue Dienste an ihre Stelle treten werden.

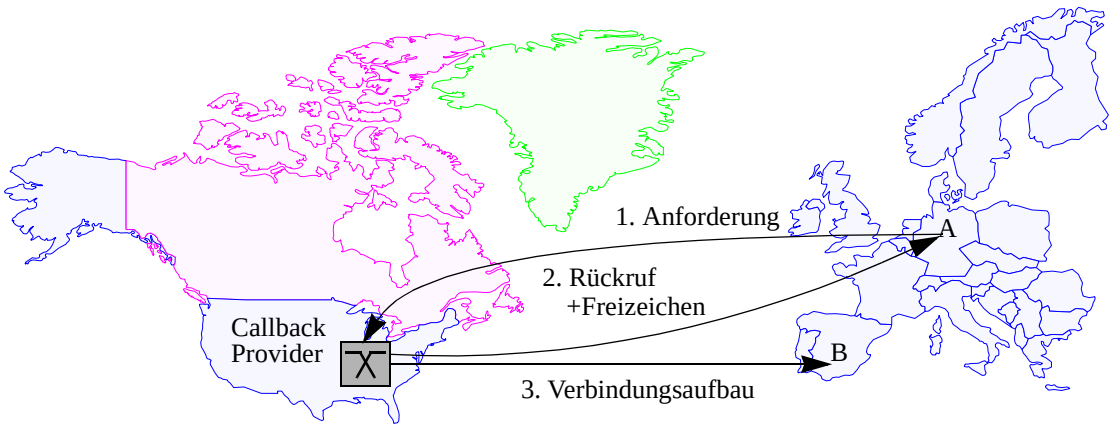


Abbildung 5-3: Prinzip des Callback Verfahrens

5.1.1 Identifizierbare Entwicklungstendenzen im Tk-Markt

Der wesentliche Anreiz eines liberalisierten Tk-Marktes besteht darin, die Rahmenbedingungen für die Koexistenz einer Vielzahl konkurrierender Dienstanbieter zu schaffen, so daß der Dienstkunde zwischen ihnen wählen kann. Auf der Basis des Callback-Verfahrens ist dieses auch für Dienstkunden in monopolistischen Märkten möglich. Es zeigt sich dabei, daß selbst längere Verbindungsstrecken nicht zwingenderweise auch teurer sind. Da der Anbieter eines Callback-Dienstes die Preisdifferenzen in den internationalen Tarifabkommen ausnutzt, wirkt er hier quasi als Arbitrageur (vgl. [37]). Die Dienstkunden innerhalb eines liberalisierten Marktes wählen gleichfalls für die Erstellung ihrer Kommunikationsverbindung den für sie optimalen Anbieter aus. Das LCR im Teilnehmerzugangsbereich reduziert sich somit auf die Auswahl des offensichtlich günstigsten Anbieters. Komple-

1. Wird heutzutage mittels dem Call Line Information Protocols (CLIP) zur Rufnummernübermittlung realisiert. Vgl. http://www.untermain-online.de/service/Telefon/begriffe.htm

xer gestaltet sich das LCR, wenn Teilstrecken der kompletten Endverbindung durch ein privates Netzwerk bzw. ein CN geführt werden. Die Kostenkalkulation für eine Endverbindung verfeinern sich hier weiter bis auf die Ebene der Teilverbindungen. Nachteilig bei allen hier vorgestellten Verfahren ist der Umstand, daß sich der Dienstkunde die seitens seines Kommunikationsprofils notwendigen Tarifinformationen erst besorgen und auswerten muß. Der Einsatz von LCR-Boxen schafft hier durch den automatisierten Download der Gebührentabellen und ihrer Auswertung zwar Erleichterung, doch verbleibt die fehlende Transparenz seitens der aufgebauten Endverbindung, da das Durchschleifen des Gebührentaktes noch nicht von allen Netzbetreibern bzw. Dienstanbietern gleichermaßen unterstützt wird.

5.2 Die marktbasierte Allokation von Netzwerkressourcen

Wie schon in Kapitel 4.2 erläutert, stützt sich die rapide Entwicklung Elektronischer Märkte u.a. auf den Einsatz von Kommunikationssystemen und den durch sie ermöglichten schnellen Informationstransfer [39]. In gleicher Weise können die Kommunikationsressourcen selbst zum Objekt marktbasierten Handelns gemacht werden, um so gleichfalls von den Vorteilen des so entstehenden Marktes und der mit ihm verbundenen Idealvorstellung der perfekten und fairen Allokation zu profitieren [291]. Verfügbarkeit und Preise von Ressourcen werden über das Netzwerk selbst verbreitet und stehen so den Marktteilnehmern zur schnellen Entscheidungsfindung zur Verfügung, was jedoch eine Optimierung der Informationsphase impliziert. Die Vereinbarungsphase kann auf Basis reinen Informationstransfers lokal oder auch verteilt vonstatten gehen [27]. Die Allokierung der Ressourcen in der Abwicklungsphase basiert für ATM-Netzwerke letztlich auf einem Reservierungsmechanismus, welcher durch die Übertragung entsprechender Transaktionsinformationen erzielt werden kann. Im Gegensatz zu anderen Märkten findet bei einem Ressourcenmarkt auf Netzwerkebene keine Form eines physikalischen Gütertransports statt [33]. Die Forderung nach Anbieterkonkurrenz spiegelt sich desweiteren in der oligopolistischen Natur des Ressourcenmarktes wieder. Mit die wichtigste Grundlage des Handels bildet neben den Ressourcen selbst das Medium Geld, welches als ein allgemeines Zwischengut die Aufgabe hat, den Tausch von Waren zu vermitteln [331]. Die Konzipierung des hier anvisierten Ressourcenmarktes auf Netzwerkebene umfaßt nunmehr folgende Teilaufgaben:

1 Definition des Marktmodells

2 Identifikation der Güter und Akteure

3 Konzeption des Multiagentensystems

4 Spezifikation der Markttransaktionen

Mit der Definition des Marktmodells wird die grundlegende Architektur des Marktsystems festgelegt. Sie umfaßt bspw. die Definition einer möglichen Markthierarchie sowie die Interaktion ihrer Teilmärkte. Es muß weiterhin spezifiziert werden, welche Aufgaben ein Teilmarkt zu erfüllen hat und wie er sich gestaltet. Der nächste Schritt besteht in der Beschreibung der am jeweiligen Markt identifizierbaren Akteure sowie der zwischen ihnen gehandelten Güter. Letzteres können reine Ressourcen aber auch Kombinationen aus ihnen sein. Ihre Beschreibung wird durch die Konzeption einer entsprechenden Ontologie ermöglicht [216]. Sie stellt quasi ein gemeinsames Vokabular für die am Ressourcenmarkt agierenden Teilnehmer dar. Hierdurch wird insbesondere auch die Basis zur Spezifikation der einzelnen Markttransaktionsphasen geschaffen.

5.3 Das Grundmodell des Ressourcenmarktes

Die Konzipierung eines Marktmodells für ATM-Netzwerkressourcen erfolgt in enger Anlehnung an die von der ITU in ihrer Empfehlung E.177 vorgeschlagenen Prinzipien für das Routing in öffentlichen ATM-Netzwerken [I1]. Betrachtet werden dabei Punkt-zu-Punkt Verbindungen auf Anforderung (on-demand), die durch den Broadband Connection Oriented Bearer Service (BCOB) in Form von VCCs erbracht werden [I22]. Dabei wird von einem Netz bestehend aus semi-permanenten VP-Verbindungen ausgegangen [173], d.h. ein Routing von VPCs wird nicht in Betracht gezogen und obliegt somit ausschließlich den Netzbetreibern. Weiterhin wird die durch die VPCs definierte Netzstruktur als nicht hierarchisch vorausgesetzt. Gemäß diesen Ausführungen werden daher auf ATM-Ebene ein primärer Markt und ein sekundärer Markt unterschieden, im folgenden kurz VP-Markt bzw. VC-Markt genannt (vgl. Abbildung 5-4). Auf dem VP-Markt verhandeln die Anbieter untereinander Ressourcen gewissermaßen ‚en gros‘. Im Kontext der ATM-Netzwerke bedeutet dieses, daß ganze VP-Verbindungen gehandelt, eingerichtet und den entsprechenden Käufern für einen wohldefinierten Zeitraum zur weiteren Nutzung[1] überlassen werden [176]. Die Resultate dieser VP-Verhandlungen haben aus anbieterorientierter Sicht einen direkten Einfluß auf die netzwerkseitige Verbindungstopologie. Die Verhandlungen und ihre Ergebnisse sind zwar nach zeitlichem Auftreten und erzieltem Ergebnis nicht fest vorhersagbar, wohl aber simulierbar. Hierzu müssen allerdings gewisse Grundannahmen wie Rationalität und ökonomisches Handeln als auch gewisse Strategien bei den Akteuren vorausgesetzt werden. So ist die Einrichtung neuer VP-Verbindungen immer da zu erwarten, wo während eines längeren Zeitraumes durch ein erhöhtes Verkehrsaufkommen Engpässe im Netzwerk entstehen. Auf der Basis des VP-Marktes operiert schließlich der VC-Markt, indem für Verbindungsanforderungen aus den VPCs die

1. Hier ist i.d.R. der Wiederverkauf von Bandbreiten für den Anbieter von Interesse.

einzelnen VC-Verbindungen allokiert werden. Aus diesem Grunde ist der VP-Markt in der Hierarchie über dem VC-Markt angeordnet. Kennzahlen zur jeweiligen Auslastung der VP-Links dienen den Anbietern als Feed-Back und können zur strategischen Neuausrichtung ihrer individuellen Netztopologie dienen. Der VC-Markt bildet die Grundlage für das Ressourcenmanagement zur Verbindungsaufbauzeit und erweitert somit das Konzept der Connection Admission Control, während der VP-Markt die Ressourcenverhandlung zwischen den Anbietern unterstützt und daher im Sinne der ITU-Empfehlung in den Bereich des Netzwerkressourcenmanagements einzuordnen ist (vgl. [I43]).

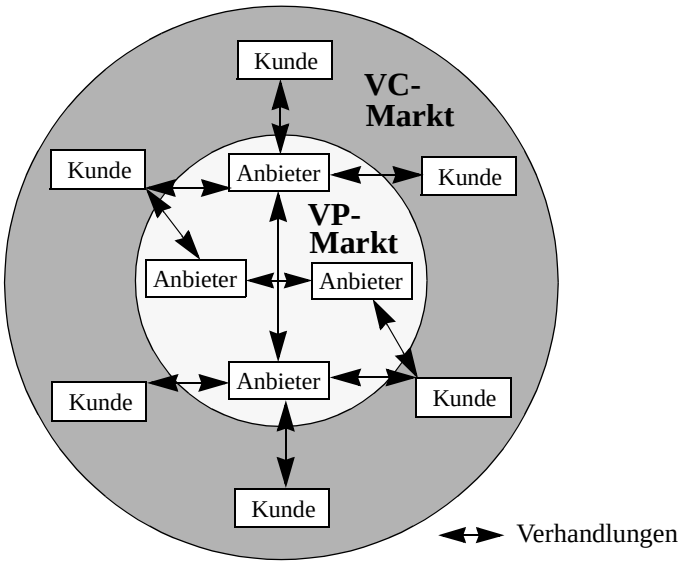


Abbildung 5-4: Hierarchisches Marktmodell

Seitens der zeitlichen Anforderungen bei der Ressourcenverhandlung unterscheiden sich diese beiden Arten von Märkten ganz erheblich. Beim VC-Markt spielt die Verbindungsaufbauzeit eine entscheidende Rolle, da ja der Initiator der Kommunikation letztlich auf das Zustandekommen einer Endverbindung warten muß. Beim VP-Markt hingegen unterliegen die Verhandlungen zeitlich keinen so eng gehaltenen Anforderungen, da hier die Anbieter untereinander Ressourcen verhandeln mit dem Ziel, innerhalb des Gesamtnetzes die Topologie ihrer Teilnetze zu optimieren und so eine für sie verbesserte Performanz zu erreichen. Beide Märkte differieren seitens der Ressourcendisposition durch zeitlich unterschiedlich lange Planungshorizonte. Die durch die VP-Verhandlungen bedingten Änderungen der Netztopologie wirken sich auf die Dynamik des VC-Marktes aus. Letzterer liefert wiederum die Systeminformationen, welche zu erneuten VP-Verhandlungen führen.

5.3.1 Zur Konstituierung des VC-Marktes

Unter dem Begriff der Konstituierung wird hier die Identifikation, der Aufbau und die Lokalisierung der Handelsplattformen bzw. Marktplätze für den VC-Markt verstanden. Die wesentliche Aufgabe des VC-Marktes besteht darin, ein Vermittlungssystem für den Aufbau möglichst kostengünstiger Ende-zu-Ende Verbindungen bereitzustellen. Die hierzu notwendigen Teilstrecken können dabei in Abhängigkeit der Kosten von unterschiedlichen Anbietern zur Verfügung gestellt werden. Diesem Anspruch liegt die Annahme zugrunde, daß bei geographisch hinreichend großer Durchdringung der ATM-Technologie sich die Netzabdeckungen der verschiedenen Anbieter überlappen und durch spezielle Übergangsswitche, die sogenannten Gateways, an gewissen Punkten miteinander verbunden sind.

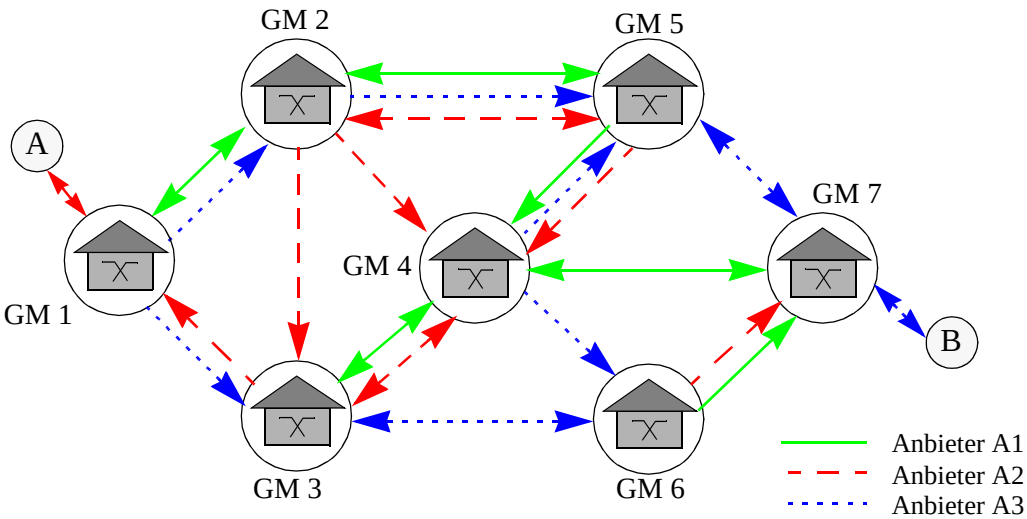


Abbildung 5-5: Gatewaymarktplätze auf Netzwerkebene

Der VC-Markt konstituiert sich aus einer Anzahl verteilter Marktplätze, deren Lokation direkt mit denen der Gateways zusammenfällt. Dieses bedeutet, daß der Gateway nun nicht mehr einen ausschließlich rein technischen Übergangsswitch darstellt, sondern darüberhinaus marktbasierte Funktionalität erhält. In diesem Kontext wird daher von einem Gatewaymarkt (GM) gesprochen. In der Abbildung 5-5 ist ein Netzverbund mit sieben GMs skizziert. Die drei disjunkten Anbieter A1...A3 stellen hier in Abhängigkeit von ihrer individuellen Verbindungstopologie VPCs zwischen den GMs zur Verfügung und konkurrieren so miteinander. Ein VPC ist transparent, d.h. es wird nicht betrachtet, wie er durch das Netzwerk eines Anbieters geroutet und bereitstellt wird. Unberührt bleiben hiervon allerdings seine Qualitätseigenschaften wie bspw. die verfügbare Bandbreite, Verzögerungs-

zeiten u.a., welche an der Schnittstelle zum GM mittels beschreibender Attribute bekannt sein müssen [63]. Zwar kann sich das Angebot an VPs zwischen den GMs mit der Zeit verändern, doch wird hinsichtlich ihrer Verfügbarkeit eine gewisse zeitliche Konstanz vorausgesetzt. Die gleiche Forderung gilt unter anderem für weitere an den Netzgrenzen der Anbieter etablierte GMs. Das durch die GMs definierte Netzwerk ist flach und unterliegt keiner logischen Verbindungshierarchie. Ähnlich wie beim DNHR vollzieht sich das für den Aufbau einer Endverbindung notwendige Routing innerhalb einer Ebene ([57],[88], [118]). In diesem Kontext ist zu erwähnen, daß ein zwischen zwei GMs eingerichteter VP immer unidirektionaler Natur ist, d.h. ein GM stellt den Start- und ein weiterer den Endpunkt dar. Dieser Konvention liegt die Notwendigkeit zugrunde, daß im Zuge eines Verbindungsaufbaus für die Vergabe von VC-Links mit entsprechenden Qualitätsattributen aus einem VP heraus eine Ressourcenverwaltung notwendig ist, die hier auf dem ausgehenden GM lokalisiert ist. Die hier getroffene Definition bedeutet natürlich nicht, daß die entstehende Endverbindung nicht bidirektional (duplex) sein kann. Sollen hingegen beide Richtungen seitens des Routings unterstützt werden, so müssen im vorgeschlagenen Modell hierfür zwei separate VPs vorgesehen werden[1]. Für die Verhandlung einer Duplexverbindung bedeutet dieses allerdings, daß beide Kommunikationsrichtungen respektive ihre VCs betrachtet werden müssen. Unterschiedliche Preise pro Verbindungsrichtung sind allein schon aufgrund verschiedenartiger Dienstgüteanforderungen nicht auszuschließen. Seitens des Verbindungsaufbaus sind letztlich die Gesamtkosten einer Teilverbindung ausschlaggebend. Anbieter wie auch Käufer von Bandbreite müssen dieses in ihren Preismodellen berücksichtigen.

5.3.2 Der VP-Markt

Durch die Einführung des VP-Marktes über dem VC-Markt erfolgt eine logische Trennung der Handelsbeziehungen zwischen den Anbietern untereinander sowie den Anbietern und Dienstkunden und ist somit eher konzeptioneller Natur. Natürlich wird hier vom VP-Markt als einem offenen Markt ausgegangen, an dem alle Anbieter partizipieren können (vgl. hierzu [291],[295]). Notwendig ist hier ebenso wie beim VC-Markt die Definition von geeigneten Schnittstellen in Form von Ontologien und Kooperationsprotokollen, auf deren Basis die Verhandlungen letztlich ablaufen können. Die Lokalisierung der Handelsplattformen bzw. Marktplätze für den VP-Markt ist willkürlich wählbar, da sie im Gegensatz zu den GMs für den VC-Markt zeitlich keinen so strengen Anforderungen unterliegen. Auf eine weitergehende Diskussion des VP-Marktes wird im folgenden jedoch verzichtet.

1. In der Abbildung 5-5 werden zwei gemäß obiger Definition entgegengesetzte VPs ein und desselben Anbieters abgekürzt durch einen Doppelpfeil dargestellt.

5.3.3 Interne Grundstruktur eines Gatewaymarktplatzes

Gemäß der Abbildung 5-5 setzt sich der VC-Markt aus einer Menge geographisch verteilter und durch ein Netzwerk von VPs miteinander verbundener GMs zusammen. Bei einem GM handelt es sich um ein unabhängiges und offenes System, auf dem Kunden und Anbieter Ressourcen in Form von VC-basierten Transitverbindungen handeln. Die interne Organisation eines GMs ist für seine Effizienz im Hinblick auf den zeitkritischen Aufbau der Endverbindungen von Bedeutung.

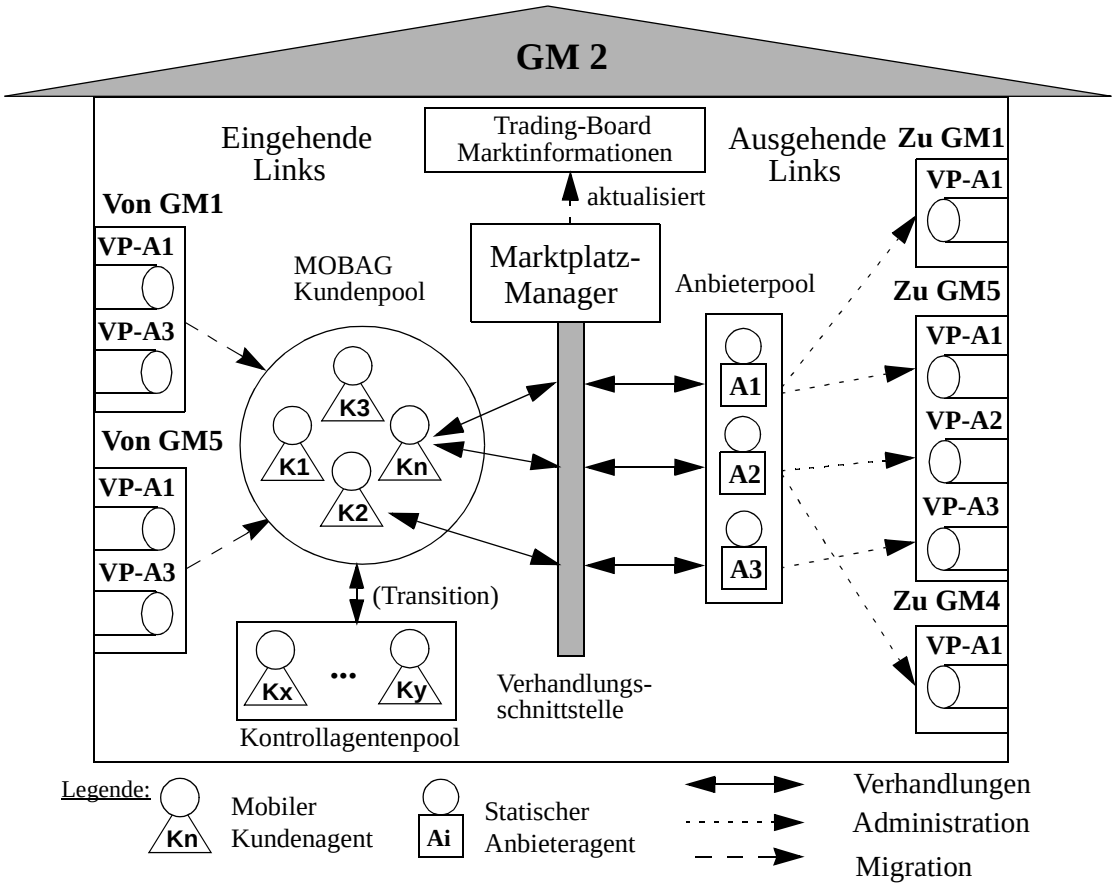


Abbildung 5-6: Organisatorische Grundstruktur eines GMs

In der Abbildung 5-6 ist die Struktur exemplarisch anhand des GM2 aus dem Beispielnetzwerk der Abbildung 5-5 skizziert. Kunden wie auch Anbieter werden auf dem GM durch autonom agierende Intelligente Agenten modelliert. Zur Vereinfachung wird analog zum Ansatz von [26] angenommen, daß nur die Kommunikation zwischen Kunden und Anbieter auf dem GM zugelassen wird. Seitens der

Ankoppelung an das ATM-Netzwerk können eingehende und ausgehenden Links unterschieden werden. Wie in Kapitel 5.3.1 angemerkt, ist diese Differenzierung ausschließlich für den Vorgang des Verbindungsaufbaus und dem damit verbundenen Problem der Ressourcenverwaltung von Relevanz. Auf dem GM2 werden die Anbieter A1 bis A3 durch drei autonome Agenten repräsentiert [240]. Sie verwalten die dem jeweiligen Anbieter zugehörigen VPCs, welche zu den benachbarten Marktplätzen GM1, GM4 sowie GM5 abgehen. Zur weiteren Vereinfachung der Betrachtungen wird angenommen, daß ein Anbieter jeweils nur einen abgehenden VPC zu einem benachbarten Marktplatz unterhält. Die eingehenden VPCs der Anbieter A1 und A3 werden durch Agenten auf den Marktplätzen GM1 und GM5 verwaltet. Die VPCs können gemäß ihrer Verbindungsrichtung und dem damit verbundenen Lastaufkommen vom Anbieter auf unterschiedlichen Wegen durch dessen Netz geroutet werden (vgl. [97],[160]). Es ist für ihn in diesem Zusammenhang nicht zwingend notwendig, beide Richtungen zwischen den zwei involvierten GMs zu unterstützen. Hat ein Anbieter einen neuen VP zwischen zwei GMs eingerichtet, so entsendet er dorthin seinen Anbieteragenten, falls vor Ort nicht schon einer plaziert ist. Ist dieser zu seinem Zielmarktplatz migriert, wird er dort registriert und in einem sogenannten Anbieterpool verwaltet. Als autonom agierende Instanz vertritt er während der Dauer seines Aufenthalts auf dem GM die Interessen seines Anbieters und verfolgt dessen Ziele auf der Basis entsprechender Strategien. Die Käufer werden durch mobile Agenten vertreten, die über die eingehenden Links[1] auf dem Marktplatz eintreffen. Auch sie werden vom Marktplatzmanager registriert und in einem Kundenpool verwaltet. Sodann versuchen sie im Interesse ihres Dienstkunden von den dort plazierten Anbieteragenten eine Teilstrecke für eine Ende-zu-Ende Verbindung zu erwerben. Die notwendigen Verhandlungen können ausschließlich über eine vom Marktplatzmanager kontrollierte Schnittstelle durchgeführt werden. Er stellt als „Third Party“ eine neutrale Instanz ohne geschäftliche Eigeninteressen dar mit dem Auftrag, den reibungslosen und gesicherten Ablauf aller lokal ablaufenden Geschäftstransaktionen zu gewährleisten [40]. Auf die hierzu erforderlichen Mechanismen zur Authentifizierung, Autorisierung etc. wird später im Kapitel 5.12 noch näher eingegangen. Desweiteren stellt der Marktplatzmanager Informationen seitens aktueller Marktsituationen, wie z.B der Anzahl der Anbieter und ihrer Durchschnittspreise, den Akteuren zur Verfügung[2]. Den letzten Pool bildet die Menge der Verbindungskontrollagenten. Sie sind im Interesse des Dienstkunden zur Kontrolle der Teilstrecke und für die Dauer ihrer Inanspruchnahme auf dem GM existent. Der Kontrollagent stellt quasi ein Duplikat (Klon) des MOBAGs dar, welcher den Verbindungsaufbau vollzogen hat.

1. Aus technischer Sicht sind entsprechende Signalisierungskanäle pro VP vorauszusetzen, auf denen die Migration der MOBAGs sowie der Kommunikationsverkehr für die Verbindungskontrolle stattfindet.
2. Vgl. auch Einsatz von Brokern in [38],[144],[215] u.a.

5.3.4 Erwünschte Eigenschaften des Marktmodells

Unter der Annahme, daß mehr als ein Anbieter im Durchschnitt auf einem GM existiert, kann hier von einem oligopolistischen Markt gesprochen werden, bei dem die Kunden auf der Basis ihrer Preis-/Leistungsentscheidung einen Anbieter auswählen. Im folgenden wird nun erörtert, welche strategischen Freiheitsgrade Kunden wie Anbieter beim gegenseitigen Handel nutzen können und wie der Einfluß des Marktes speziell unter dem Aspekt der Anbieterkonkurrenz in diesem Modell auf lokaler wie auch auf netzweiter bzw. globaler Ebene wirksam wird.

5.3.4.1 Eigenschaften des GMs

Ein gut funktionierender Markt zeichnet sich unter anderem durch einen hohen Grad an Liquidität aus [37]. Hierunter wird das ausreichende Vorhandensein von Geld- und Warenkapazitäten verstanden, was die Grundlage für das Zusammenkommen von Käufern und Verkäufern darstellt. Für den Verbindungsaufbau innerhalb eines ATM-Netzwerkes gilt zusätzlich, daß die hierzu benötigte Zeitdauer so gering wie möglich sein sollte [74]. Werden diese grundlegenden Eigenschaften auf den GM projiziert, so ergeben sich markttechnisch folgende Anforderungen:

- Unterstützung der Angebotsvielfalt
- Maximierung des Umsatzes seitens Bandbreite/Kapital
- Minimierung von Verhandlungs-/Verweilzeiten
- Vermeidung von Überlast

Je breiter daß Angebotsspektrum auf einem GM ist, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, das ein Kunde das Gewünschte auch findet. Notwendig hierfür ist eine hinreichend hohe Anzahl an konkurrierenden Anbieteragenten. Sie stellt sicher, daß eine diversifizierte Nachfrage auf ein entsprechendes Angebot trifft. Der Markteintritt auf einem GM sollte sich für die Anbieteragenten problemlos gestalten. Dieses bedeutet, daß sich ein Anbieter auf einem beliebigen GM plazieren kann und die von ihm zu überwindende Markteintrittsbarriere ausschließlich auf seiner Konkurrenzfähigkeit beruht. Zur Sicherstellung hinreichender Liquidität gilt es nun, auf einem GM den Gesamtumsatz an vermittelter Bandbreite bzw. Kapital zu maximieren. Die Erfüllung möglichst vieler Verbindungsanforderungen auf einem GM hat ebenfalls hoch zu sein, wobei gleichermaßen der Durchsatz an Kundenagenten gesteigert wird. Dabei ist jedoch zu beachten, daß ein GM nicht überlastet und somit eventuell ineffizient wird. Dieser Gedanke der Lastkontrolle in Verbindung mit einem möglichst hohen Durchsatz führt daher prinzipiell zu einem Zielkonflikt, welcher jedoch durch die Eigenschaft der Selbstregulierung eines nahezu „perfekten“ Marktes wieder aufgefangen werden sollte. Notwendig für die beteiligten Agenten sind hierzu jedoch kontrollierbare Verhandlungs- und Verweilzeiten. Lange Verhandlungsphasen führen konsequenterweise auch erst

spät zu einem Kontrakt und somit Ressourcen- bzw. Kapitalumsatz. Ebenso wird durch eine lange Verhandlungszeit auch die Verweilzeit eines Kundenagenten erhöht. Im Durchschnitt geht all dieses zu Lasten des Gesamtumsatzes an Bandbreite und Kapital auf einem GM und muß daher unterbunden werden. Für den verwendeten Verhandlungsmechanismus bedeutet dieses, daß er bezüglich der Erwartungen der beteiligten Agenten hinreichend zielgerichtet bzw. konvergent sein muß. Dabei sind gewisse Richtlinien (Policies) zu implementieren [255], welche den Verhandlungsprozeß begleiten und nicht erwünschte Effekte eliminieren.

5.3.4.2 Betrachtung der GM-lokalen Konkurrenzaspekte

Der hier betrachtete Verbindungsdienst kann definitionsgemäß von mehreren Anbietern offeriert werden. Es wird davon ausgegangen, daß die Gesamtnachfrage auf einem GM i.d.R. kleiner ist, als die Summe der Angebote aller dort vertretenen Anbieter. Dem Käufer wird somit eine stärkere Verhandlungsposition eingeräumt, da er aus der Vielzahl der Angebote das für ihn optimale auswählen kann. Motiviert wird diese Annahme durch den Umstand, daß erstens Netze auf technischer Ebene bei ihrem Aufbau i.d.R. überdimensioniert werden [97] und daß es zweitens bei dem hier vorgeschlagenen Modell relativ einfach und kostengünstig ist, neue Anbieteragenten auf bestehenden GMs zu plazieren.

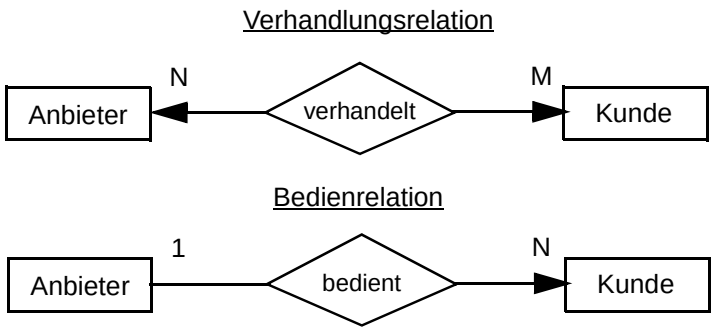


Abbildung 5-7: ER-Diagramm für Anbieter-Kundenbeziehungen

Hinsichtlich der Kunde-Anbieter Bedienbeziehung wird hier von einer reinen 1:1 Relation ausgegangen, d.h. ein Kunde kann letzlich nur von einem einzigen Anbieter die gewünschte Leistung beziehen. Umgekehrt ist es jedoch möglich, daß ein Anbieter die Anfragen mehrere Käufer gleichzeitig erfüllen kann. Die Anbieter-Bedienbeziehung darf nicht mit den vorangehenden N:M Verhandlungsbeziehungen verwechselt werden (s.a. Abbildung 5-7). Ein mit einem MOBAG in Verhandlung stehender Anbieteragent hat keine Information über die Anzahl und den aktuellen Verhandlungsstatus der mit ihm konkurrierenden Anbieter (vgl.

Kuwabara [26]). Zur Bildung seines Angebotes kann er aber die vom Marktplatzmanager zur Verfügung gestellten Marktinformationen heranziehen. Sie umfassen u.a. die von jedem Anbietern im Durchschnitt erzielten Umsätze und Preise. Ist ein Anbieter bei vergleichbarer Verbindungsqualität nicht günstig genug, so läuft er Gefahr, keinen Zuschlag zu erhalten. Auf der anderen Seite stehen aber auch die Kunden zueinander in Konkurrenz um die auf dem GM nur in begrenzter Menge vorhandenen Ressourcen. Dabei werden günstige Teilverbindungen eines Anbieters bei vergleichbarer Qualität bevorzugt ausgewählt, wodurch der Nutzungsgrad des entsprechenden VPs verbessert wird. Ein solcher Anbieter kann durchaus mehr Interessenten zur Auswahl haben, als ihm Ressourcen zur Verfügung stehen.

5.3.4.3 Betrachtung der marktglobalen Konkurrenzaspekte

Durch die Anzahl miteinander vernetzter GMs wird ein verteilter Markt gebildet. Auch auf dieser Ebene existiert eine Anbieterkonkurrenz, da während des Routingprozesses für die Konfiguration von Endverbindungen auf die möglichst günstigsten Teilstrecken zurückgegriffen wird. Bedingt durch einen Anbieter mit einer sehr preiswerten Teilstrecke kann bspw. eine Präferenz für den Übergang zwischen zwei GMs entstehen, wodurch unter Umständen auch die an diesem GM-Übergang mit konkurrierenden Anbieter profitieren können. Dementsprechend kann ein Anbieter Strategien entwickeln, wo und zu welchem Preis er im Netz VCs anbietet. Alle ihm auf den GMs zugehörigen Anbieteragenten haben dann ganz im Sinne eines verteilten MAS die Möglichkeit, seine globalen Pläne durch die auf ihren lokalen Plänen basierenden Aktionen umzusetzen. Zur Bildung seiner Strategien kann der Anbieter Kriterien wie Anzahl und Art der Konkurrenten, netzweit identifizierbare Verkehrsflüsse sowie die Netztopologie selbst ins Kalkül ziehen (vgl. Uose [173]).

5.3.4.4 Vergleich mit alternativen Ansätzen

Das hier gewählte Konzept eines Marktmodells ist am ehesten vergleichbar mit dem Ansatz von Kuwabara [26]. Die ausschließlich zwischen Kunden und Anbietern stattfindenden Verhandlungen sind individuell, wobei jeder versucht, seinen Nutzen zu optimieren. Bei Kuwabara hängt die Preisbildung allerdings direkt von der Ressourcenauslastung ab. Desweiteren verhandeln die Kunden bzw. Activity-Agenten mit den Resource-Agenten in CS-Manier via festgelegter Signalisierungskanäle, wo hingegen im hier vorgestellen Ansatz die Kunden, durch MOBAGs vertreten, zwischen den Marktplätzen migrieren und direkt vor Ort verhandeln. Der Einsatz von MOBAGs vermeidet eine starke Belastung des für die Kommunikation im Rahmen der Verhandlungen notwendigen Signalisierungsnetzes. Desweiteren arbeitet der MOBAG vor Ort mit den aktuellsten Preisinformationen der Anbieter. Somit wird das von Kuwabara festgestellte Oszillationsproblem, welches

aufgrund der Verteilung veralteter Informationen bei der Preisbildung Instabilitäten hervorruft, umgangen (vgl. hierzu [16],[281]). Die Berechnung kompletter Pfade bei Gibney/Jennings [10] scheitert seitens der ATM-Netzwerke an der durch die freie Wahl des QoS bedingten Vielfalt möglicher Verbindungskonfigurationen. Bei leitungsorientierten Telefonverbindungen tritt dieses Phänomen nicht auf, da es sich hier um standardisierte Übertragungsstrecken mit vorab festgelegten Qualitätseigenschaften wie z.B. einer fest definierten Bandbreite[1] handelt. Die Pfadagenten übernehmen quasi die Berechnung der Routingtabelle. Darüberhinaus ist die Vorhaltung von Ressourcen bei derart vorkonfigurierten Verbindungen eher ineffizient, da nicht vorherbestimmt werden kann, ob und in welchem Zeitraum eine Leitung vermittelt wird. Ebenso ist die Verwendung von Auktionsmechanismen aus obigen Gründen bei Gibney/Jennings effizienter, da die Verhandlungen aufgrund der fixen Qualitätseigenschaften der gehandelten Verbindungen und ihrer daraus resultierenden Fungibilität ausschließlich preisorientiert geführt werden können (s.a. [33],[37]). Die Festsetzung dieses Preises kann dann der Auktionator übernehmen.

5.3.5 Die Verbindungszugangssteuerung auf dem GM

Ein MOBAG, der im Zuge eines Verbindungsaufbaus einen GM betritt, beansprucht Ressourcen unterschiedlicher Art. Einerseits muß der GM über ausreichend Kapazitäten verfügen, um den MOBAG aufzunehmen. Andererseits müssen von einem Anbieter ausreichend Kapazitäten für den Verbindungsaufbau allokiert werden. Da die Ressourcen für die Marktplatznutzung und den Verbindungsaufbau von unterschiedlichen Akteuren verwaltet werden, gliedert sich die lokale Verbindungszugangskontrolle bzw. LCAC gemäß Abbildung 5-8 in zwei Anteile. Die Zugangskontrolle zum GM (MCAC) gewährleistet, daß für den Aufenthalt eines eintreffenden MOBAG genügend Prozessor- und Speicherressourcen vorhanden sind. Ein weiterer Aspekt betrifft zudem die aktuell verfügbare Switchkapazität des GM, welche direkten Einfluß auf die erreichbare Zellrate der vom MOBAG angestrebten Teilverbindung hat. Sind all diese Bedingungen erfüllt, kann der MOBAG für den begrenzten Zeitraum T_{ResNeg} einen Slot im Kundenpool des GM belegen. Der Zugang zu einer Teilverbindung wird durch die Verhandlung des Agenten mit den lokalen Anbietern entschieden (PCACs). Zur Disposition stehen dabei der geforderte Preis sowie die angebotene Verbindungsqualität, welche auf Zellebene durchgesetzt werden muß. Der QoS der Verbindung ist somit abhängig von der Übertragungsbandbreite des Anbieter-VPs als auch von der Auslastungssituation auf dem GM, da die Switchkapazität von den Anbietern gemeinsam genutzt wird, um die Zellen der Kunden zu vermitteln. So ist bspw. die Zelldurch-

1. Vgl. hierzu die Definition des 64kBit/s ITU Standardsprachkanals!

laufzeit durch den Switch innerhalb gewisser Grenzen[1] im wesentlichen eine zufällige Größe, da sie eben von der Anzahl der bestehenden Verbindungen und der auf ihnen eintreffenden Last abhängig ist (vgl. [73],[164]). Neben den Zellverzögerungszeiten gilt ähnliches gilt auch für die Fehlerwahrscheinlichkeiten [171].

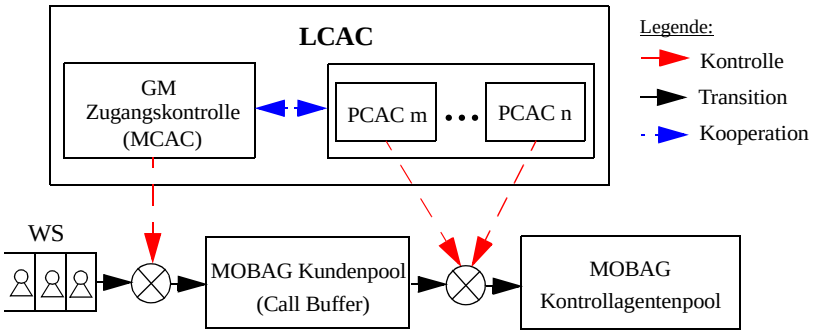


Abbildung 5-8: Zugangskontrolle auf dem Gatewaymarktplatz

Insbesondere die Switchcharakteristik nimmt auf diese Qualitätsparameter großen Einfluß [67]. Eine Auswahl der dem GM zugrundeliegenden Switchtechnologie muß daher in Abhängigkeit des Umstandes gesehen werden, daß mehrere konkurrierende Anbieter bei der Erbringung einer gewissen Dienstgüte auf die Switchressourcen des GMs angewiesen sind [161]. Die möglichst hohe Ausnutzung der Linkbandbreiten bei gleichzeitiger Gewährleistung der geforderten Dienstgüte stellen gegensätzliche Forderungen dar. So kann bspw. der QoS einer Verbindung mit Hilfe trivialer Schedulingalgorithmen, welche großzügig Ressourcen reservieren, auf Kosten der Bandbreitenausnutzung gewährleistet werden. Diese Problematik ist immer noch Gegenstand der Forschung. So versucht Cheng [73] die Zusicherung der Verbindungsqualität auf der Basis einer Kombination von CAC und Zellscheduling. Meempat [134] hingegen schlägt eine Kombination von Call Level Control und Routingverfahren vor. Die Abbildung der Verkehrscharakteristik durch die Schedulingkontroller unter Verwendung von endlichen Automaten wird in Mason [133] diskutiert. Ein Überblick zu den generellen Ansätzen im Bereich Verkehrskontrolle wird bei Bae/Suda [58] gegeben. Die Anbieter können aber gewisse Eigenschaften des Switches in ihre QoS Abschätzung mit einfließen lassen. Generell ist festzuhalten, daß die Dienstgüte der von den Anbietern offerierten Verbindungen von der Switchtechnologie sowie der momentanen Auslastung abhängt. Verhandeln zu einem Zeitpunkt eine große Anzahl von Kunden mit mehreren Anbietern, so stehen diese zueinander in Konkurrenz um die begrenzt vorhandenen Kapazitäten auf dem Switch und ein Ressourcenkonflikt wäre die

1. ITU-T definiert ein Maximum von 450 Microsekunden für den Switchdurchlauf!

mögliche Folge, der entsprechend zu behandeln ist. In der Abbildung 5-8 ist dieses durch die Kooperationsbeziehung zwischen der MCAC des GMs bzw. Marktplatzmanager (MMs) sowie den PCACs der Anbietern angedeutet. Letztere müssen also den zu erwartenden Ressourcenbedarf für eine Verbindung mit dem MM abstimmen. Die folgenden Parameter können hier für eine Abschätzung durch den MM in Betracht gezogen werden:

- Aktuell verfügbare Switchkapazität in Zellen pro Sekunde
- Aktuelle Pufferauslastung auf den ausgehenden Ports

Da die Anbieter abgehende Teilverbindungen vermarkten, sind hier die Pufferkapazitäten der Wartespeicher ausgehender Ports von Bedeutung. Bei mehreren parallel ablaufenden Verhandlungsbeziehungen zwischen Kunden und Anbietern hat der MM eine möglichst faire Ressourcenzuteilung zu gewährleisten. Wurde letztendlich vom MOBAG erfolgreich eine Teilstrecke reserviert, so kann er auf dem GM während der Dauer der Verbindung im gesondert verwalteten Kontrollagentenpool verbleiben. In dieser Zustandsphase obliegt ihm die Aufgabe, die Teilverbindung für den Kunden zu kontrollieren und u.U. eine Neuverhandlung der Nutzungskonditionen oder gar ein Rerouting durchzuführen (s.a. [97]).

5.4 Anbieterintegration auf Hardwareebene

Die zwischen einem Netzbetreiber und einem Anbieter A_x verhandelte Kapazität C_{Ax} wird in diesem Modell als konstant angenommen und muß dementsprechend garantiert sein. Dieses bedeutet, daß die Anbieterkapazitäten auf einem Link gegeneinander abgegrenzt werden müssen. Die gemäß Abbildung 5-9 auf Port D eingehende Leitung besitzt bspw. eine maximale Übertragungsbandbreite C_{Link}, die sich in Zellen pro Sekunde (cell/s) darstellen läßt. Diese Kapazität ist (GL 1) zufolge auf k Anbieter, die durch separate VPIs unterschieden werden, aufteilbar.

$$C_{\mathrm{Link}} \geq \sum_{j=1}^{k} C_{Aj} \qquad \textit{(GL 1)}$$

Jeder dieser Anbieter A_x vermarktet wiederum die ihm zugeteilte Übertragungskapazität C_{Ax} an eine Anzahl von n Kunden. Der Gleichung (GL 2) folgend darf die Summe der von den Kunden K_i eines Anbieters A_x in Anspruch genommenen Zellkapazitäten C_{Ki} dessen Gesamtkapazität C_{Ax} nicht überschreiten, da sonst eine Beeinträchtigung des QoS der schon bestehenden Verbindungen zu erwarten ist.

$$C_{\mathrm{A_X}} \geq \sum_{i=1}^{n} C_{Ki} \qquad \textit{(GL 2)}$$

Da jeder Anbieter auf einem GM seine Übertragungsressourcen autonom verwaltet und vermarktet, muß er auch Einfluß auf den Gesamtzellverkehr innerhalb seines VPs nehmen, welcher sich aus dem Zellverkehr der den Kunden zugeordneten VCs zusammensetzt. Die im Verkehrsvertrag zugesicherte Dienstgüte für einen VC muß dabei auf der Zellebene durchgesetzt werden, was im Inter-Carrierbereich üblicherweise durch die Überwachung und Regulierung der entsprechenden Zellströme mit Hilfe der Netzwerkparameterkontrolle (Network Parameter Control, NPC) vollzogen wird [I43].

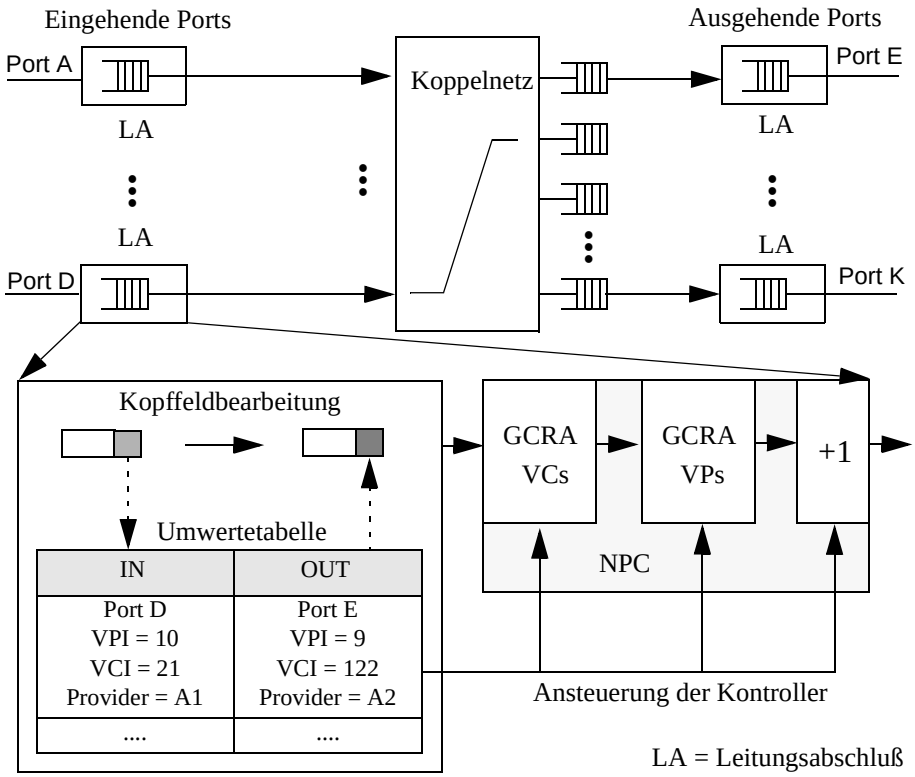


Abbildung 5-9: Anbieterintegration auf Hardwareebene

In der Abbildung 5-9 sind hierzu die Komponenten skizziert, welche hardwaretechnisch zur Integration unterschiedlicher Anbieter auf einem GM vorzusehen sind. Die auf den Eingangsleitungen eintreffenden Zellen werden in den Leitungsabschlüssen (LA) der Ports in einem FIFO gepuffert und gemäß der Reihenfolge ihrer Ankunft einer Kopffeldbearbeitung unterzogen [176]. Dabei werden der VPI und der VCI dieser eingehenden Zellen gemäß einer Umwertetabelle für den ausgehenden Zielport umgesetzt. Da bei der ausgehenden Zelle der VPI einem Anbieter und der VCI einem seiner Kunden zugeordnet ist, kann bei diesem Vorgang

auch die anbietergesteuerte Durchsatzkontrolle vollzogen werden. Der Zellstrom der Kundenverbindung wird dabei mit Hilfe eines Zellratengenerators (Generic Cell Rate Algorithm, GCRA) seitens der Zellankunftsrate überwacht. Hier ist bspw. ein Leaky-Bucket Mechanismus anwendbar, welcher überschüssige Zellen rigoros verwirft. Aber auch alternative Verfahren wie das Virtual Cell Scheduling, Call Gapping oder diverse Windowing-Techniken sind hier denkbar (vgl. [161]). Zur Charakterisierung des Zellankunftstromes eines Kunden sind gemäß ATM-Forum neben der Peak Cell Rate auch die Sustainable Cell Rate notwendig[1] [A12]. Zur Kontrolle beider Parameter sind ergo zwei unabhängige GCRA-Module vorzusehen. Ressourcentechnisch sollte ein Anbieter in der Lage sein, jede Kundenverbindung bzw. jeden VC-Link autonom zu überwachen. Ist eine Zelle konform mit der vereinbarten Verkehrscharakteristik, so muß in einem weiteren Schritt sichergestellt werden, daß die dem Anbieter zur Verfügung stehende Kapazität C_{Ax} nicht überschritten wird. Hierfür ist eine zweite Stufe an GCRA-Modulen vorgesehen, welche den resultierenden Zellstrom eines VPs auf den maximal zulässigen Wert begrenzt. Mit diesem Verfahren kann die Integrität der Anbieterbandbreiten auf einem abgehenden Link gewahrt werden. Da eine Überschreitung der zulässigen VP-Zellbandbreite einen sofortigen Zellverlußt nach sich zieht, besteht die Gefahr der Verschlechterung der Dienstgüte bestehender Teilverbindungen seitens des entsprechenden Anbieters. Hat eine eingehende Zelle jedoch auch diese Konformanzbedingung überstanden, wird sie über das Koppelfeld auf den entsprechenden Zielport vermittelt. Dieser Vorgang wird durch das Inkrementieren eines der Verbindung zugeordneten Zählers registriert. Er dient dem Anbieter letztlich zur zellgenauen Abrechnung der Einzelverbindungen.

5.5 Der agentenbasierte Verbindungsaufbau

Der VC-Markt bietet seitens des Aufbaus von Endverbindungen ein hohes Maß an Flexibilität, da neben der Aufgabenzuordnung auch die entsprechenden Problemlösungen nicht fix vorgegeben sind. Innerhalb des vorgestellten Frameworks existieren mehrere Varianten im Zusammenspiel zwischen Kunden- und Anbieteragenten, auf deren Basis Endverbindungen zustande kommen. Bei der Verbindungssteuerung muß danach differenziert werden, in welcher Form eine Reservierung von Teilstrecken vollzogen wird. Im vorliegenden Konzept wird zwischen einer Vorreservierung und einer Vollreservierung unterschieden. Im ersten Fall

1. Die Wahl eines geeigneten Parametersatzes zur möglichst exakten Beschreibung der Verkehrscharakteristik eines Zellstromes sowie der daraus abzuleitenden optimalen Verkehrskontrollmechnismen sind z.Zt. immer noch Forschungsgegenstand (s.a. [73],[79],[133],[164],[165], u.a.). Neben dem PCR- und dem SCR-Parameter wird häufig auch die Burstcharakteristik auf der Basis des Verhältnisses der Standardabweichung zum Mittelwert der Zellankunftsrate verwendet.

werden die hierzu notwendigen Ressourcen für einen definierten Zeitraum vorgehalten, ohne daß jedoch eine Nutzung derselben zu diesem Zeitpunkt möglich ist. Für letzteres ist eine sogenannte Reservierungsbestätigung notwendig. Ist sie erfolgt, werden die Ressourcen zur tatsächlichen Nutzung freigegeben und die Teilstrecke befindet sich im Zustand der Vollreservierung mit entsprechender Gebührenpflicht. Für die Vorreservierung werden keine Gebühren erhoben. Erfolgt nach Ablauf der Zeit keine Vollreservierung, so verfällt die Vorreservierung. Natürlich kann ein Agent beim Verbindungsaufbau auch sofort eine Vollreservierung vornehmen, wobei dann jedoch auch augenblicklich Gebühren anfallen. Nachteilig ist diese Reservierungsform dann, wenn beim Verbindungsaufbau die gewünschte Gesamtverbindung nicht zustande kommt. Von Vorteil ist der Umstand, daß der betreffende Link für den verhandelten Nutzungszeitraum vom Anbieter nicht freigegeben werden darf. Bei einer Vorreservierung hat der Anbieter hingegen die Option, nach einer i.d.R. kürzeren Zeitdauer die entsprechende Ressource bei fehlender Reservierungsbestätigung wieder freizugeben (vgl. RSVP [145],[181]).

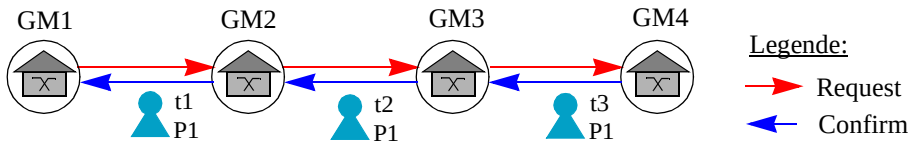


Abbildung 5-10: Einfache Wegsuche mit Bestätigung

Für die Durchsetzung der Vorreservierung ist eine effiziente Verwaltungsstruktur pro GM notwendig, welche zwei wesentliche Anforderungen erfüllen muß. Erstens muß für eine Vollreservierung auf die Vorreservierung eines Kunden schnell zugegriffen werden können. Wurde das Zeitlimit der Vorreservierung überschritten, so ist auch dieses dem Kunden mitzuteilen. Zweitens muß die Menge der Vorreservierungen regelmäßig nach abgelaufenen Zeitlimiten durchsucht und diese entsprechend behandelt werden, was einen gewissen Overhead involviert. Da es sich bei Vor- und Vollreservierungen um vertrauliche Daten handelt, müssen diese auf einem GM entsprechend gesichert sein (vgl. Kapitel 5.12.8). Für den Zugriffsmechanismus auf die Reservierungen kann bspw. das Zertifikat eines Kunden als Schlüssel mitverwendet werden. Die Menge der möglichen Vorreservierungen auf einem GM entspricht der Gesamtanzahl verfügbarer VCs. Dies kann bei der Konzeptionierung effizienter Datenstrukturen zur Verwaltung der Vorreservierungen verwendet werden. Seitens der Endverbindungssteuerung wird hier grundsätzlich von einem bestätigten Verbindungsaufbau ausgegangen. Dieses bedeutet, daß der Initiator - wie in der Abbildung 5-10 dargestellt - in jedem Falle eine Bestätigung des Empfängers zur Annahme der Verbindung erwartet. Der MOBAG hat somit

die letztlich konfigurierte Endverbindung in Hin- wie auch in Rückrichtung zu durchlaufen, um sowohl dem Initiator die Verbindungsbestätigung zu übermitteln als auch evtl. die Vorreservierungen auf den involvierten GMs in Vollreservierungen umzuwandeln. Weitere Freiheitsgrade liegen insbesondere für die Kundenagenten in der Art der Pfadsuche. Neben der Möglichkeit, eine Route entweder vorauszuberechnen oder aber pro Hop bzw. GM zu vervollständigen ist es denkbar, daß mehrere MOBAGs auch parallel im Netzwerk nach Verbindungswegen suchen. Traversiert in der Abbildung 5-10 ein einzelner MOBAG P1 das Netz vom Startmarktplatz GM1 bis zum Zielmarktplatz GM4, so sind gemäß Abbildung 5-11 gleich drei MOBAGs auf unterschiedlichen Routen aktiv. Am GM2 bspw. erzeugt der MOBAG P1 einen Klon P3, welcher eine Endverbindung über GM7 verhandelt, während am Ursprungsmarktplatz GM1 neben P1 noch ein Klon P2 nach einer Verbindung sucht. Die MOBAGs P2 sowie P3 stellen hier die Geschwisteragenten von P1 dar. An Abzweigungen kann folglich ein MOBAG dupliziert werden, um alternative Pfade zu ermitteln. Auf seinem Weg durch das Netz hat er dabei die Möglichkeit, Links in seine Verbindungskonfiguration mit aufzunehmen, welche vorab von einem seiner Geschwisteragenten mit einem Anbieter verhandelt und vorreserviert worden sind. Bei dieser Form des Ressourcensharings müssen sich diese Geschwisteragenten untereinander abstimmen und stark kooperativ verhalten.

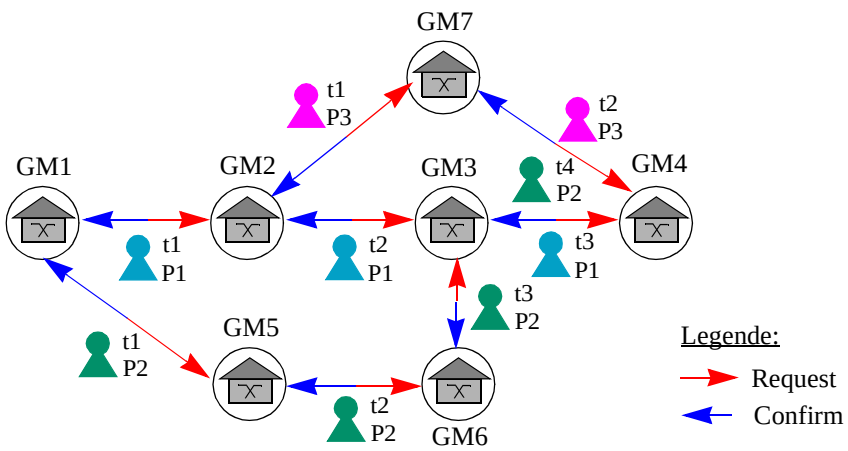


Abbildung 5-11: Parallele Wegsuche mittels Agenten

Voraussetzung hierzu ist natürlich, daß sich diese Agenten mit Hilfe geeigneter Authentifikationsmechanismen als Geschwister identifzieren, damit die Kooperation auch abgesichert ist. (vgl. Kapitel 5.12). Durch die Mehrfachverwendung identischer Teilstrecken hat auf jedem involvierten GM die Auswahl eines Anbieters sowie die Reservierung bzw. Reservierungsauflösung koordiniert erfolgen.

Am Zielmarktplatz können innerhalb einer gewissen Zeitspanne die erfolgreich eintreffenden MOBAGs auf ihre Ergebnisse hin verglichen werden, von denen letztlich die kostenoptimale Verbindung ausgewählt wird. Abgewiesene Agenten laufen ihren Pfad zurück, um die von ihnen vorreservierten Teilstrecken wieder freizugeben. Die Synchronisation der Belegung bzw. Freigabe sich überlappender Teilstrecken kann durch die Verwendung von Referenzzählern analog zum Monitorkonzept realisiert werden. Links, die Bestandteil der ausgewählten Endverbindung sind, werden somit nicht tangiert (vgl. Multicastrouting in [59],[116],[170]).

5.6 Die Transaktionsphasen auf dem GM

Gemäß der in Kapitel 4.1 aufgeführten Definition der Markttransaktionsphasen sind Aktionen zur Informationsbeschaffung, zur Vereinbarung und letztlich zur Abwicklung zwischen den MOBAGs und den Anbietern notwendig [27]. In jeder dieser Phasen hat der Agent zu entscheiden, wie er auf Basis der ihm verfügbaren Fähigkeiten und Informationen die entsprechenden Teilziele erreichen will und welche anderen Agenten er hierzu in Anspruch nehmen muß (s.a. [195],[248]). Mit diesem Ansatz wird ihm seitens des Problemlösungsprozesses ein strategischer Freiraum geboten, der ihm ein individuelles Verhalten ermöglicht. Grundlegend hierfür sind die sogenannten generischen Problemlösungsmethoden, welche in Form von Kooperationsprotokollen repräsentiert werden (vgl. [190]). Sie stellen die elementaren Interaktionsmuster dar, welche vom Agenten auf der Basis seiner Expertise bzw. Fähigkeiten dem Baukastenprinzip entsprechend kombiniert werden können.

Ein Beispieldialog zwischen MOBAG, MM und Anbietern für eine Ressourcenallokation ist in der Abbildung 5-12 dargestellt. Hier werden die drei Markttransaktionsphasen sowie die technischen Phasen des Endverbindungsaufbaus zusammengeführt. In der Informationsphase ermittelt der MOBAG die für mögliche Verhandlungen relevanten Anbieter. Es folgt die eigentliche Vereinbarungsphase und die Verhandlungen mit einem oder aber mehreren Partnern, an die sich im Falle eines erfolgreichen Abschlusses eine Vor- bzw. Vollreservierung der benötigten Ressourcen anschließt. Es ist für den MOBAG wie für einen Anbieter möglich, eine Verhandlung vorzeitig zu beenden, indem entweder ein Accept oder aber ein Reject gesendet wird. Im ersten Fall wird das momentane Angebot akzeptiert während im zweiten Fall der Verhandlungsprozeß gänzlich abgebrochen wird. Technisch gesehen folgt nach der Vereinbarungsphase nun die Verbindungsweiterschaltungsphase, innerhalb derer der MOBAG weitere notwendige Teilverbindungen auf nachfolgenden GMs zu allokieren versucht. Verläuft dieser Vorgang erfolgreich, so kehrt der MOBAG auf den GM zurück und schließt den Verkehrskontrakt mit dem jeweiligen Anbieter ab. Es ist allerdings auch möglich, daß der

MOBAG die Vorreservierung aufgrund eines fehlgeschlagenen Verbindungsaufbaus stornieren muß. Mit diesem Vorgang endet aus technischer Sicht die Verbindungsaufbauphase und aus Sicht des Markttransaktionsmodells die Vereinbarungsphase, der sich dann die Abwicklungsphase anschließt.

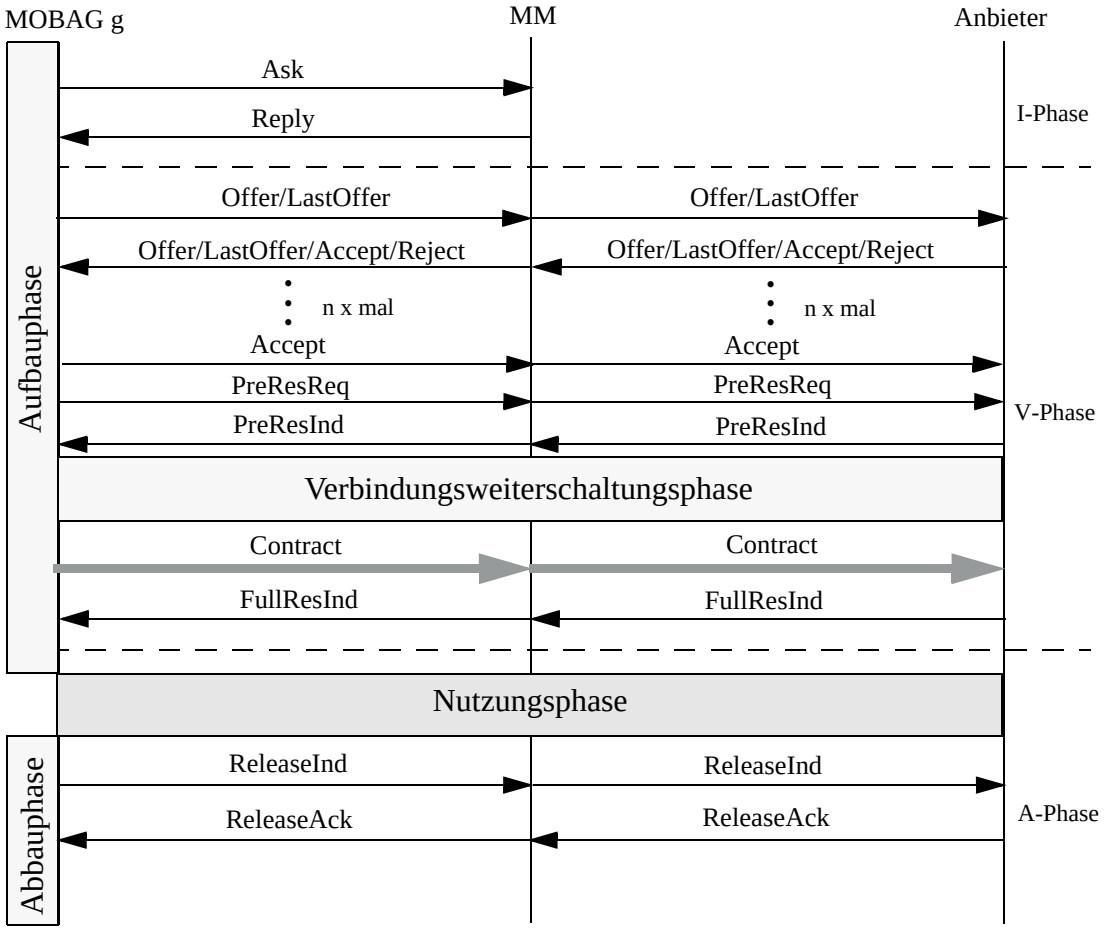


Abbildung 5-12: Beispieldialog zwischen MOBAG, MM und Anbietern

Technisch gesehen besteht sie aus der Nutzungsphase sowie dem sich anschließenden Verbindungsabbau. Zur Abwicklungsphase gehört insbesondere auch die Vergebührung der Ressourcennutzung, bei der die in Anspruch genommene Leistung quantitativ ermittelt, auf einen Preis abgebildet und dem Kunden dann in Rechnung gestellt wird. Im folgenden werden nun die einzelnen Transaktionsphasen hinsichtlich ihrer spezifischen Problemstellungen diskutiert und ein entsprechendes Lösungskonzept definiert.

5.6.1 Die Informationsphase

Während der Informationsphase versucht der MOBAG alle Anbieter zu ermitteln, die prinzipiell in der Lage sind VCs zu den in Frage kommenden GMs gemäß der gewünschten Dienstgüte zu offerieren (vgl. [40]). Seitens der Angebotsermittlung stellt sich das Problem, ob der MOBAG vorab Kenntnisse über die GM-lokalen Anbieter besitzt oder nicht. Zur Lösung dieser Aufgabe wurden die folgenden grundlegenden Alternativen vorgesehen:

- Indirekte Kontaktaufnahme
  - Broadcast
  - Makeln
- Direkte Kontaktaufnahme

Besitzt ein MOBAG keine Informationen über die Anbieter, so kann er den Kontakt zu den in Frage kommenden Kandidaten indirekt vollziehen. Unterschieden wird hier das Broadcasting vom Makeln. Ersteres Verfahren ermöglicht es dem MOBAG, alle Anbieter auf dem GM um Angebote zu befragen. Beim Makeln handelt es sich um ein gängiges Verfahren, bei dem eine dritte Instanz wie hier bspw. der MM den Kontakt zwischen MOBAG und Anbietern herstellt [40]. Im Sequenzdiagramm der Abbildung 5-12 setzt der MOBAG g hierzu einen Ask-Sprechakt an den MM ab (vgl. [216]). Er verfügt über detailliertere Informationen zum aktuellen Zustand der Anbieter seitens deren Ressourcensituation und somit ihrer Leistungsfähigkeit. Der MOBAG erhält gemäß dem von ihm gestellten Anforderungsprofil gewissermaßen eine vorsortierte Menge potentieller Anbieter, aus der er dann eine Untermenge zwecks Verhandlungsaufnahme selektiert. In der Abbildung 5-12 ist dieses durch den Reply-Sprechakt dargestellt. Bei der direkten Kontaktaufnahme müssen die gewünschten Anbieter dem MOBAG schon vorab per Kennung oder Namen bekannt sein. In diesem Kontext sollte es zudem möglich sein, daß zwischen einem MOBAG und einem Anbieter schon eine vordefinierte Geschäftsbeziehung besteht, auf deren Basis Kontrakte abgeschlossen werden. Somit ist es möglich, Rahmenkonditionen für wiederholte Verbindungwünsche zu definieren (vgl. Broker in [38],[110],[144],[286],[304],[305] u.a.).

5.6.2 Vereinbarungsphase

Hat der MOBAG die eingetroffenen Angebote untersucht und die initiale Menge der für weitergehende Verhandlungen in Frage kommenden Anbieter ermittelt, so kann er mit ihnen in die Vereinbarungsphase eintreten. Seitens der Gestaltung der Verhandlungsmechanismen werden in Anlehnung an Jennings/Faratin [213] folgende, sich teilweise gegenseitig bedingende Voraussetzungen gemacht:

n:m parallele Verhandlungen

Auf einem GM sollten zur selben Zeit n Kunden mit einer Anzahl von m Anbietern gleichzeitig in Verhandlung stehen können. Kunden- wie auch Anbieteragenten sind damit in der Lage, die Offerten mehrerer Verhandlungspartner noch während der Verhandlungen miteinander zu vergleichen. Diese Anforderung ändert jedoch nichts an der 1:1 Bedienrelation.

Kooperation versus Wettbewerb

MOBAGs als Kundenstellvertreter können den Anbietern gegenüber anonym oder als bekannt auftreten. Bei nicht anonymen Verhandlungen können insbesondere zwischen einem MOBAG sowie einem Anbieter Geschäftsbeziehungen bestehen. Ein MOBAG kann aber auch bspw. zur selben Organisation gehören, wie ein Anbieter, wobei der kooperative Aspekt den reinen Wettbewerbsaspekt verdrängt.

Unterstützung von Dienstgüteverhandlung

Die Verhandlungen erstecken sich über eine vordefinierte Anzahl quantitativer sowie qualitativer Eigenschaftsattribute. Die involvierten Agenten müssen zum Zweck einer Einigung evtl. Kompromisse in Form von Trade-Offs hinsichtlich der geforderten Dienstgüte eingehen. Aus Gründen der Vereinfachung wird im folgenden von der Unabhängigkeit dieser Dienstgüteeigenschaften insbesondere auch auf technischer Ebene ausgegangen (vgl. [161]).

Skalierung und Konvergenz des Verhandlungsprozesses

Der Verhandlungsprozeß vollzieht sich i.d.R. in mehreren Iterationen. Es stellt sich die Frage, wie fein der Verhandlungsfortschritt, gemessen an den Änderungen im Preis- und den Dienstgütekriterien, skaliert wird und wie schnell sich Kunde wie Anbieter über die Leistung und ihren Preis einigen. Die Geschwindigkeit dieser Konvergenz hat Auswirkungen auf die Gesamtzeitdauer der Verhandlung und somit die Verweilzeit des MOBAGs auf einem GM.

Verdecktheit von Informationen

Es wird davon ausgegangen, daß Anbieter wie Kunden ihre Informationen geheim halten. Dieses gilt insbesondere für die Bewertungsfunktionen der Güter und ihrer Qualitäten. Demzufolge muß daher auch die Kommunikation zwischen Agenten vertraulich ablaufen. Das Abhören von Sprechakten darf nur durch hierfür vorgesehene, unabhängige Instanzen wie den MM vollzogen werden. Allerdings wird hierdurch nicht die Möglichkeit eingeschränkt, auf dem GM Informationen z.B. in Form einer Annonce zu veröffentlichen.

Ressourcenbeschränktheit

Von keinem Anbieter können Ressourcen und hier insbesondere Bandbreiten in beliebiger Menge zur Verfügung gestellt und somit offeriert werden. Die Ressour-

cenbeschränktheit bezieht sich aber nicht nur auf die Anzahl verfügbarer Links sowie deren Bandbreitenkapazität, sondern auch auf die noch zur Verfügung stehende Zahl an Agentenslots auf den GMs.

Zeitbeschränkung der MOBAGs

Die Verweilzeit eines MOBAGs im Kundenpool eines Marktplatzes ist begrenzt, solange er keine feste Ressourcenzuteilung erhalten hat. Kunde und Anbieter müssen sich innerhalb eines begrenzten Zeitraumes einigen, was ergo auch eine endliche Anzahl an Verhandlungsiterationen impliziert. Eine zeitliche Abschätzbarkeit der Verhandlungsdauer sollte daher möglich sein. Ein konkreter Verhandlungsmechanismus auf Basis eines Kooperationsprotokolles, welcher den hier genannten Ansprüchen Rechnung trägt, wird später im Kapitel 7 vorgestellt.

5.6.3 Abwicklungsphase

In der Abwicklungsphase sind alle Aktivitäten zur Durchsetzung der Vertragsinhalte, d.h der Nutzung, Überwachung und evtl. Neuverhandlung der bestehenden Teilverbindung sowie der abschließenden Freigabe der Ressourcen enthalten. Mit dem Abschluß des Verkehrsvertrages nach dem Aufbau der Endverbindung wird letztlich die Vollreservierung der Ressource für einen bestimmten Zeitraum bestätigt. Am Ende dieser Phase erfolgt dann die Freigabe der Ressourcen [167].

5.6.4 Neuverhandlung (Renegotiation)

In der ITU-Empfehlung zum CS-2 für die B-ISDN Signalisierung ist eine Neuverhandlung von Dienstgütekriterien, die durch die sogenannte Modify-Message angezeigt wird, vorgesehen [I71]. Notwendig ist eine solche Abänderung insbesondere dann, wenn sich bspw. die Güte eines Dienstes, wie im B-ISDN RM vorgesehen, auf Anwendungsebene[1] ändert und somit auf die Anforderungen seitens der Übertragungsstrecke durchschlägt [142]. Der MOBAG kann dementsprechend entweder mit seinem momentanen Anbieter die Konditionen für seine Teilstrecke modifizieren oder aber komplett neu in die Vereinbarungsphase eintreten, inklusive der Suche nach neuen Anbietern bzw. Angeboten. Neuverhandlungen werden aber auch dann notwendig, wenn die zwischen einem Anbieter und einem Kunden vereinbarte Zeitspanne zur Erbringung der Übertragungsleistung mit entsprechender Güte auf einem VC abgelaufen ist. Im Gegensatz zum Anbieter, welcher an seine Zusage seitens der Nutzungsdauer gebunden ist, kann der MOBAG aus Gründen einer flexibel einstellbaren Dienstgüte während der Nutzungsphase eine

1. Exemplarisch sei hier die Änderung der Wiedergabequalität bei einer bestehenden Videoübertragungsverbindung genannt, wo eine höhere Framerate in einen erhöhten Bandbreitenbedarf resultiert.

Neuverhandlung der Konditionen starten. Grundsätzlich sollten derartige Neuverhandlungen aber nur dann möglich sein, wenn dieses im Vertrag von beiden Parteien explizit vorgesehen worden ist. Andernfalls muß vor einer Abänderung der Übertragungsqualität die vereinbarte Nutzungszeit abgewartet werden.

5.7 Identifikation der Aufgaben

Auf Basis des hier bisher vorgestellten Konzeptes erfolgt nun eine Identifikation allgemeiner wie auch speziellerer Teilaufgaben. In einem weiteren Schritt werden dann die Fähigkeiten der mit diesen Aufgaben betrauten Agenten definiert. Hierzu zählt u.a. auch die Festlegung der Kooperationsprotokolle sowie die für die entsprechenden Ontologien notwendigen Informationen.

Informationsanfragen

Unter diesem Punkt wird allgemein die Informationsrecherche verstanden. Mit der Reaktion auf eine solche Anfrage sind für einen Agenten keine weiteren Verpflichtungen verbunden. So sollten i.A. alle beteiligten Agentenrollen in der Lage sein, Informationsanfragen auf Basis entsprechender Ontologien zu stellen.

Angebotsgenerierung

Das Einholen von Angeboten von den auf einem GM ansässigen Anbietern geht insofern über eine Informationsanfrage im oben definierten Sinne hinaus, als da mit der Angebotsabgabe eine stärkere Verpflichtung verbunden ist. Ein Kunde muß sich bspw. also auf ein von einem Anbieter vorab gemachtes Angebot beziehen können, zu dem dieser Anbieter dann auch stehen muß (vgl. [213]).

Brokering von Anbietern

Gemäß den schon unter Kapitel 5.6.1 aufgeführten Gründen ist eine Maklerfunktionalität auf dem GM vorzusehen, die gleichermaßen die Interessen von Kunden- und Anbieteragenten schützt und eine effizientere Zusammenführung beider Interessensgruppen ermöglicht (vgl. Börsenauktionen [37]). Die Aufgabe des Maklers bzw. Brokers besteht darin, die vom Kunden gewünschten Dienstgütekriterien für eine Verbindung mit dem Angebot entsprechender Anbieter zu decken.

Verhandlungen

Sie bilden den harten Kern der Preis-/Leistungsabstimmung zwischen Kunden- und Anbieteragenten in der Vereinbarungsphase. Verhandlungen sollten den unter Kapitel 5.6.2 aufgeführten Anforderungen genügen. Am Ende einer Verhandlung steht im Erfolgsfall ein Vertrag, der das Verhältnis zwischen Preis und Leistung regelt und somit eine stark bindende Beziehung zwischen Anbieter und Kunde herstellt. Zur Vertragsabsicherung kann eine Notariatsfunktion verwendet werden.

Neuverhandlungen

Neuverhandlungen (Renegotiations) können mit oder ohne vorgeschalteter Informationsphase initiiert werden. Im ersten Falle wird direkt mit dem momentanen Anbieter das Preis-/Leistungsverhältnis neu bestimmt, während alternativ hierzu neue Anbieter ermittelt und in Verhandlungen mit einbezogen werden können.

Verbreitung der Link- und Nodestates

Die Verbreitung der für einen GM relevanten Informationen wie Ressourcenauslastung, Preis-/Leistungsverhältnisse u.a. an alle übrigen GMs im Netzwerk stellt mit Blick auf die Wegeberechnung bzw. Routing eine wichtige Aufgabe dar. Dabei ist es notwendig, die Konsistenz dieser Informationen netzweit zu gewährleisten (vgl. [89],[139],[A12], u.a.).

Routenberechnung

Die Berechnung von Pfaden durch das Netzwerk stellt mit die wichtigste Aufgabe im VC-Markt dar. Zur Routenberechnung stehen auf jedem GM die auf Basis der Linkstatevektoren ausgetauschten Informationen zur Verfügung. Es sind hier unterschiedliche Berechnungsverfahren denkbar. Ein konkreter Vorschlag hierzu wird in Kapitel 7 vorgestellt.

Fehlerbehandlung

Die Fehlerbehandlung stellt einen großen Aufgabenbereich im vorliegenden Szenario dar. Es stellt sich in diesem Kontext die Frage, welche Fehler auftreten können und durch welche verantwortlichen Instanzen sie zu behandeln sind. Auf die Diskussion eines extensiven Fehlermanagement wird im folgenden verzichtet.

Security

Alle sich im VC-Markt befindlichen Agenten sind zu registrieren und müssen u.a. gewissen Sicherheitskriterien genügen. Zur Kontrolle der Markttransaktionen und hier insbesondere die Vergebührung sind entsprechende Mechanismen notwendig. Probleme der Autorisierung und Authentifizierung werden später im Kapitel 5.12 näher betrachtet (s.a. [40]). Zudem wird ein Trust-Modell vorgestellt, welches die Vertrauensrelationen der Akteure des VC-Marktes untereinander darstellt.

Agentenmigration

Zur Traversierung des Netzwerkes müssen die MOBAGs durch ein entsprechendes Migrationssystem unterstützt werden. Letzteres wird in Form eines Dienstes auf einem GM erbracht. Ein MOBAG sollte seinen Zielmarktplatz dabei frei wählen können und nicht auf die unmittelbar erreichbaren GMs aus der Nachbarschaft seines aktuellen GMs eingeschränkt sein. Im ATM-Kontext ist dieses durch eine geeignete Erweiterung der Signalisierung zu gewährleisten.

Reservierung/Freigabe von Ressourcen

Eine starke Bindung zwischen Agenten wird durch die Reservierung von Ressourcen erzeugt. Es wird dabei zwischen der Vor- und der Vollreservierung unterschieden. Voraussetzung für eine Reservierung ist allerdings der Abschluß eines Nutzungsvertrages. Ein Teil der Koordination zwischen Reservierung und Freigabe von Ressourcen basiert dabei zeitlichen Grenzwerten (Timeouts).

Verbindungsüberwachung

Im Falle einer erfolgreichen Reservierung verbleibt die Aufgabe, die Teilverbindung unter Berücksichtigung der Interessen des Dienstkunden zu administrieren. Wesentlich sind hier die Überwachung der vereinbarten Dienstgütemerkmale als auch die Möglichkeit, im Bedarfsfalle Neuverhandlungen zu starten.

Ressourcenmanagement

Ressourcen treten im VC-Markt in unterschiedlichen Formen auf und müssen seitens ihrer Belegung bzw. Freigabe entsprechend verwaltet werden. Hinsichtlich des zeitlichen Aspektes sind hier u.a. planerische Fähigkeiten notwendig [222].

Es stellt sich nunmehr die Frage, welche Aufgabe im VC-Markt von welcher Instanz bzw. welchen Agenten zu erledigen ist. Es wird danach unterschieden, ob ein Agent eine Aufgabe völlig autonom oder aber nur durch Kooperation lösen kann. Im folgenden werden die Eigenschaften der Agenten und die zwischen ihnen definierten Koordinations- und Kooperationsmechanismen beschrieben. Letztere stellen ein Rahmenwerk dar, innerhalb dessen die Agenten Teillösungen untereinander austauschen können. Wie eine Aufgabe jedoch konkret gelöst wird, bleibt jedem Agenten selbst überlassen.

5.8 Allgemeine Konventionen im VC-Markt

Märkte definieren sich insbesondere durch ihre Gesetze und Statuten, mit denen gewisse Rahmenbedingungen durchgesetzt werden sollen. Darüberhinaus sind in Märkten mit Menschen als Akteuren i.d.R. weitere Verhaltensregeln erkennbar, die auf der Grundlage moralisch ethischer Prinzipien der beteiligten Akteure ihr Zusammenspiel untereinander regeln[1]. Diese Art von Etikette wird üblicherweise nicht durch explizite Gesetze abgedeckt und existiert daher ausschließlich marktimmanent. Auch der VC-Markt unterliegt in diesem Sinne allgemeingültigen Bestimmungen, die für alle Teilnehmer bindend sind. Vergleichbar sind sie mit

1. Beispiel hierzu sei der „per Handschlag“ abgeschlossene Kaufvertrag auf vielen Naturalmärkten, wie bspw. dem Amsterdamer Käsemarkt oder aber etlichen Viehmärkten, bei denen insbesondere das gesprochene Wort vertraglich bindend ist.

einer Art Allgemeinwissen, über das alle Agenten zwecks eines korrekten Ablaufes verfügen müssen. Insofern werden durch ein solches Rahmenwerk auch wesentliche Aufgaben der Koordination erledigt. Die Durchsetzung einer Marktetikette im obigen Sinne auf der Basis sozialer Verhaltensregeln erscheint in diesem Kontext allerdings nicht sinnvoll, da sie von allen Akteuren sowohl verstanden als auch beachtet werden müßten. Zur Unterbindung von Mißbrauch und Verstößen sollten daher unmittelbar entsprechende Bestimmungen aufgestellt und durch geeignete Kontrollmechanismen direkt überwacht werden. Folgende Konvention werden für den VC-Markt definiert:

- Verbindungsaufbau auf Anforderung (on-demand)
- Bestätigter Verbindungsaufbau
- Vor- versus Vollreservierung
- Zeitlimit T_{PreRes} für vorreservierte Teilverbindungen
- Zeitlimit T_{OffVal} für Gültigkeit der Angebote
- Zeitlimit T_{ResNeg} für Verweildauer im Kundenpool

Der Aufbau von Endverbindungen im VC-Markt vollzieht sich per Definition auf Anforderung (on-demand) und mit expliziter Verbindungsbestätigung durch den gewünschten Zielteilnehmer. Vorhaltung und Vertrieb von vorkonfigurierten Verbindungen ist nicht vorgesehen. Seitens der Ressourcenallokation ist die Vorreservierung von der Vollreservierung gemäß den in Kapitel 5.5 spezifizierten Kriterien zu unterscheiden. Eine Vorreservierung für eine Teilverbindungen hat dabei nur während eines wohldefinierten Zeitraumes T_{PreRes} Bestand[1]. Nach Ablauf dieser Frist kann eine Ressource vom Anbieter wieder freigegeben werden. Der Abschluß von Verträgen setzt gültige Angebote voraus. Da zwischen der Abgabe eines Angebotes und dessen Bewertung durch einen Agenten eine gewisse Zeitspanne liegt, ist es notwendig, daß der Anbieter seinem Angebot eine gewisse Gültigkeitsdauer beimißt. Während dieses Zeitraumes T_{OffVal} muß er zu seiner Offerte stehen. Diese Anforderung wird vom Kunden hingegen nicht verlangt. Er handelt ausschließlich nach Maßgabe seiner eigenen Bewertungskriterien und kann sich in parallelen Verhandlungssitzungen für jeweils alternative Anbieter entscheiden. Für einen Anbieter bedeutet dieses jedoch, das bei Angebotsabgabe die offerierte Ressource in Menge und Qualität für den angegebene Zeitraum vorgehalten werden muß. Diese Maßnahme entspricht insofern einer Art Reservierung zur Verhandlungszeit. Der Kundenagent unterliegt zeitlichen Restriktionen seitens der Dauer seines Aufenthaltes im Kundenpool auf einem GM. Von ihm ist hier das Zeitlimit T_{ResNeg} zu beachten. Nach Ablauf dieses Timers hat der Kundenagent entweder

1. Aufgrund der globalen Auswirkung des Timers T_{PreRes} beim Verbindungsaufbau besteht hier auch die Möglichkeit, ihn zu vereinheitlichen und netzweit als Konstante zu definieren.

erfolgreich eine Teilstrecke vorreserviert oder er muß erfolglos den GM verlassen. Der Timer T_{ResNeg} wird lokal vom MM auf einem GM festgelegt und durchgesetzt. Grundsätzlich stellt sich bei den Zeitlimiten die Frage nach der pro GM individuellen oder aber netzweiten einheitlichen Festlegung. Bei individueller Definition besteht die Möglichkeit, situationsbezogen bspw. auf Veränderungen reagieren zu können. Hingegen bringt eine Vereinheitlichung i.d.R. den Vorteil der Vereinfachung, wie bspw. bei zeitlichen Abschätzungen für den Verbindungsaufbau, wo anstelle vieler unterschiedlicher Werte für T_{ResNeg} nur mit einem einzigen konstanten Wert gearbeitet werden muß. Grundsätzlich kann hier festgehalten werden, daß die pro GM lokal durchgesetzten Konventionen das globale Systemverhalten des Netzwerkmarktes mitbestimmt. Weitergehende Konventionen werden später im Kapitel 6 für die Verhandlungen in der Vereinbarungsphase eingeführt.

5.9 Definition verwendeter Sprechakte

Grundlage der Agentenkommunikation bilden auch bei vorliegender Konzeption die Sprechakte (vgl. [216],[257] u.a.). Sie definieren Kommunikationselemente mit Steuerungscharakter, d.h. sie besitzen Koordinationseigenschaften. Es erfolgt hier eine Anlehnung an die KQML-Empfehlung, aber mit speziellen Erweiterungen für die Markttransaktionsphasen. Innerhalb der Agentengesellschaft müssen Sprechakte eine semantisch einheitliche Bedeutung besitzen, um korrekt interpretiert werden zu können. Die Sprechakte im VC-Markt werden hier als eine Menge von Performativen definiert. Ihr Vorteil besteht darin, daß sie allgemeiner Natur sind, d.h. Dialoge werden mit Hilfe generischer und eigenständiger Bausteine wie Fragen, Antworten, Offerten, etc. aufgebaut, die im optimalen Falle auch in anderen Kontexten bzw. Problemdomänen wiederverwendbar sind (vgl. [190]).

Ask

Repräsentiert eine Anfrage um Informationen bzw. eine Aktion an einen oder mehrere Agenten. Analog zu KQML wird auch hier eine Antwort bzw. ein Ergebnis in Form eines Reply-Sprechaktes erwartet.

Inform

Mit Inform erfolgt eine reine Übertragung von Informationen bzw. Wissen an einen oder aber mehrere Empfänger. Eine Rückmeldung wird nur auf explizite Anforderung hin erwartet. Dieser Sprechakt entspricht dem tell in KQML.

Reply

Stellt die Antwort auf einen Ask-Sprechakt dar. Im Content-Anteil können angeforderte Informationen oder Ergebnisse von Aktionen kodiert sein.

Offer

Charakterisiert ein Angebot, auf das eine Reaktion des Empfängers erwartet wird. Diese Reaktion kann unterschiedlich ausfallen. Möglich sind ein Accept, ein Reject oder ein Gegenangebot in Form eines Offer-/LastOffer-Sprechaktes.

LastOffer

Charakterisiert ein finales Angebot, auf das eine Reaktion des Empfängers erwartet wird. Diese Reaktion kann nur aus einem Accept oder einem Reject bestehen. Dieser Sprechakt kennzeichnet die Endphase einer Verhandlungsphase.

Accept/Reject

Hiermit wird bestätigt, ob ein Agent ein vorab erhaltenes Angebot akzeptiert oder aber ablehnt. Accept bzw. Reject stellt somit eine Reaktion auf einen vorangegangenen Offer-/LastOffer-Sprechakt dar.

PreResReq

Mit diesem Sprechakt erfolgt eine Anforderung an einen Anbieter zur Vorreservierung einer Ressource, welche im Content näher spezifiziert ist. Erwartet wird der PreResInd-Sprechakt, mit dem eine erfolgreiche Vorreservierung bestätigt wird. Letztere ist dabei i.d.R. zeitlich begrenzt.

PreResInd

Erfolgt als Reaktion auf einen PreResReq-Sprechakt. Im Content des Sprechakts kann die Zeitdauer der Vorreservierung nochmals vermerkt werden.

FullResInd

Kennzeichnet beim Kunden die Bestätigung der Vollreservierung einer Ressource durch einen Anbieter. Im Content wird Bezug auf einen vorab abgeschlossenen Nutzungsvertrag genommen und zudem der Beginn der Vergebührung mitgeteilt.

ReleaseInd

Dieser Sprechakt kann prinzipiell vom Kunden und vom Anbieter genutzt werden, um die Freigabe einer vor- oder auch vollreservierten Ressource zu veranlassen. Im Content kann hierzu eine Ursache bzw. Begründung vermerkt sein.

ReleaseAck

Dieser Sprechakt wird als Reaktion auf den ReleaseInd-Sprechakt verwendet und stellt somit eine Bestätigung für eine Ressourcenfreigabe dar.

Contract

Kennzeichnet den Beginn eines Vertragsabschlusses mit dem Ziel, eine Vollreservierung für eine Ressource zu erreichen. Im Content wird dabei Bezug auf ein

vorab erzieltes Verhandlungsergebnis seitens der gewünschten Ressource genommen. Bestätigt wird die Vollreservierung mit dem FullResInd-Sprechakt.

Abort

Reiner Abbruch einer Interaktionssequenz und damit das Verlassen eines Handlungskontextes. Der Abort-Sprechakt besitzt endgültigen Charakter in Bezug auf den momentanen Interaktionskontext. und entspricht somit dem break-Sprechakt der KQML-Spezifikation.

5.9.1 Charakterisierung elementarer Kooperationsprotokolle

Dem Einsatz elementarer Kooperationsprotokolle liegt hier die Zielvorstellung zugrunde, komplexere Interaktions- bzw. Kooperationssequenzen durch eine Kombination entsprechender Grundbausteine abzubilden, von denen jeder für sich eine in sich geschlossene Aktion zur Lösung eines Teilproblems darstellt. Dieser Ansatz räumt dem Agenten bei seinem Problemlösungsprozeß die Freiheit ein, eine ihm angemessene Problemlösungsmethode für eine Aufgabe auszuwählen. Die Identifikation der Teilprobleme und die damit verbundene funktionale Zerlegung wurde für den VC-Markt in Kapitel 5.7 durchgeführt. Die folgende Auswahl an Kooperationsprotokollen wird hierzu angeboten:

Informationsbeschaffung

Die Informationsbeschaffung kann, wie in Kapitel 5.6.1 schon aufgeführt, direkt oder indirekt über einen Makler/Broker erfolgen. Im Agentenkontext kann letzterer eine Anfrage auch an eine weitere Instanz delegieren, falls ihm die notwendigen Informationen lokal nicht vorliegen.

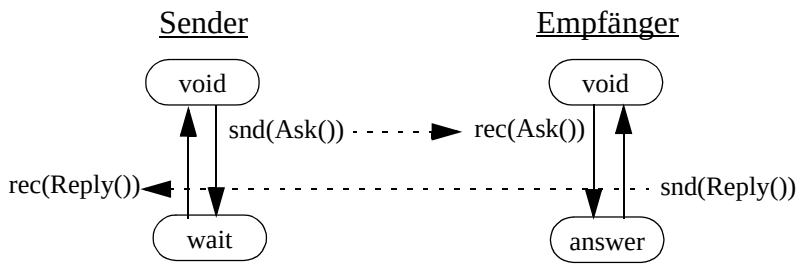


Abbildung 5-13: Kooperation zur Informationsbeschaffung

Grundlage bildet das Ask/Reply Sprechaktpaar. Im vorliegenden Fall reduziert sich nun das Kooperationsprotokoll zur Lösung des Informationsbeschaffungsproblems auf eine simple Abfolge dieser beiden Sprechakte (vgl Abbildung 5-13).

Verhandlung

Verhandlungen bestehen für gewöhnlich aus einer endlichen Anzahl von Iterationen seitens eines Offertenaustausches, an deren Abschluß im Erfolgsfalle ein Kontrakt steht. Ein konkreter Vorschlag für ein Verhandlungsverfahren inklusive eines Kooperationsprotokolls auf Basis der Offer, LastOffer, Reject und Accept Sprechakte wird in Kapitel 6 vorgestellt.

Vorreservierung

Zur Nutzung einer Ressource gehören ihre Reservierung sowie ihre Freigabe. Zu unterscheiden sind hier die Vorreservierung von der Vollreservierung. Ein Kundenagent kann im Rahmen eines Verbindungsaufbauprozesses der Vollreservierung eine Vorreservierung voranstellen, um eine mögliche Vergebührung während der Verbindungsweiterschaltungsphase zu unterbinden. Die Vorreservierung ist hierbei allerdings nur für einen beschränkten Zeitraum gültig und kann danach ohne explizite Benachrichtigung an den Kundenagenten vom Anbieter wieder aufgehoben werden (vgl. Kapitel 5.5).

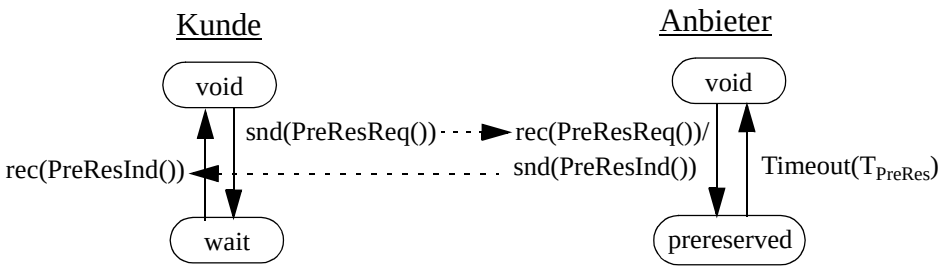


Abbildung 5-14: Kooperation zur Vorreservierung einer Ressource

Gemäß Abbildung 5-14 ist zu erkennen, daß die Vorreservierung beim Anbieter den Zeitraum T_{PreRes} nicht überschreitet. Die exakte Spezifikation der gewünschten Ressource erfolgt im Content des Sprechaktes. Hier kann u.a. Bezug auf das Ergebnis einer vorangegangenen Verhandlung genommen werden.

Vollreservierung

Eine Vollreservierung kann im VC-Markt nur dann erreicht werden, wenn vorab ein Nutzungsvertrag abgeschlossen worden ist. In der Abbildung 5-12 ist dieses durch einen verstärkten grauen Pfeil dargestellt. I.d.R. werden für einen gesicherten Vertragsabschluß mehrere Einzelaktionen benötigt, auf die hier aber nicht weiter eingegangen wird. Am Ende eines Vertragsabschlusses gilt die betreffende Ressource beim Anbieter für den verhandelten Nutzungszeitraum $T_{UsageRes}$ als fest reserviert. Der Kunde erhält hierzu eine Bestätigung der (vgl. Abbildung 5-15).

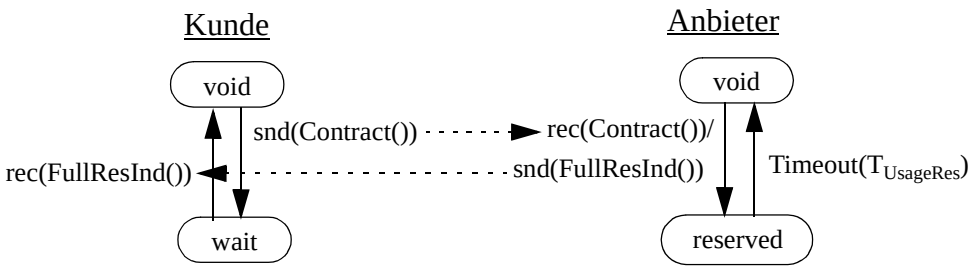


Abbildung 5-15: Kooperation zur Vollreservierung einer Ressource

Ressourcenfreigabe

Neben der Vor- bzw. Vollreservierung einer Ressource wird auch ihre explizite Freigabe durch ein simples Kooperationsprotokoll realisiert (vgl. Abbildung 5-16). Dieses ist insbesondere dann notwendig, wenn der Kontrollagent neu verhandelte Ressourcen einsetzen will und hierzu die zur Zeit genutzten Ressourcen wieder freigeben will. Eine Rücknahme von Ressourcen erfolgt i.d.R. vom Anbieteragenten spätestens nach Ablauf der Timeouts.

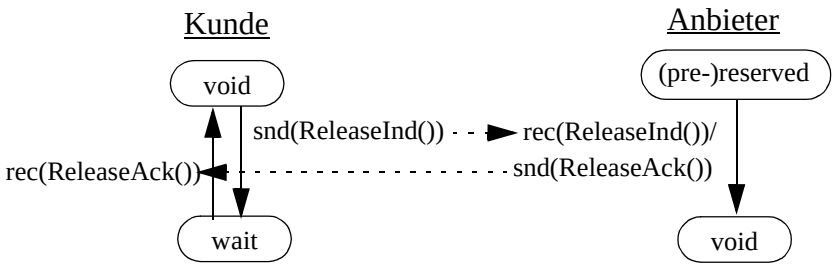


Abbildung 5-16: Kooperation zur Freigabe einer Ressource

5.10 Elemente einer Ontology für den VC-Markt

Laut Finin [216] besteht der Nutzen einer Ontologie in der Kategorisierung von Objekten derart, daß sie eine einheitliche und vor allem semantisch sinnvolle Bedeutung erhalten. Mit Hilfe einer entsprechenden Ontologie werden Agenten auf dem VC-Markt in die Lage versetzt, mit Netzressourcen Handel zu treiben. Diese muß hierzu in der Lage sein, elementare Güter bzw. Waren zu definieren. Neben der Preisdimension können dabei räumliche und zeitliche Aspekte relevant sein. Allgemein gilt der Zusammenhang, daß sich die Auswahl einer Ware für die Agenten um so einfacher gestaltet, je standardisierter sie sich in ihrer Zusammen-

setzung darstellt, sich der Markt i.d.R. seitens seiner Produktvielfalt aber auch weniger diversifiziert (vgl. [25],[331]). Auf der Wissensebene müssen folgende Gegebenheiten durch entsprechende Ontologien abgedeckt werden:

- Definition von VCs mit
  - Verkehrsparametern
  - netzweiten Dienstgütekriterien
- Formulierung von Angeboten
- Beschreibung von Anbietern und Kunden

Der Verhandlungsgegenstand im VC-Markt ist der VC selbst. Er stellt vorläufig das einzige Elementargut dar und ist hinsichtlich seiner Ausprägung gemäß der in Empfehlung I.371 [I43] beschriebenen Attribute variierbar. Unterschieden werden die Verkehrsparameter von diversen Dienstgütekriterien, die an die Ende-zu-Ende-verbindung gestellt werden. Zur Durchführung von Verhandlungen ist es weiterhin notwendig, Angebote formulieren zu können. Sie beziehen sich auf das Elementargut VC samt seiner Parametrisierung sowie zusätzlichen Angaben über die preislichen Vorstellungen (siehe hierzu Kapitel 6). Um in der Informationsphase den richtigen Verhandlungspartner finden zu können, müssen Anbieter- wie Kundenagenten seitens ihrer Angebots- bzw. Nachfrageprofile charakterisierbar sein. Die Ontologie muß auch dieser Anforderung Rechnung tragen.

Im vorliegenden Konzept ist kein Meta-Level Wissen vorgesehen, d.h. es werden keine explizit kodierten Informationen seitens der Organisations- und Verwaltungsstrukturen im Netz global als auch für den GM lokal eingebracht. Jeder Agent agiert in einer klar definierten Umgebung, so daß ein Räsonieren über die grundlegenden Abläufe nicht notwendig ist. Diese Entwurfsentscheidung wurde zugunsten eines besseren zeitlichen Verhaltens getroffen. Ziel ist es, den Agenten auf seinen eigentlichen Problembereich zu fokussieren und ihm hier die notwendigen Entscheidungsfreiheiten einzuräumen. So ist es bspw. nicht notwendig, ihn über eine mögliche Maklerinstanz räsonieren zu lassen, da er quasi per Definition immer den hierfür vorgesehenen MM beauftragen wird.

5.10.1 Beschreibung der VCs

Zur Initiierung eines Dienstes aus einer der vier möglichen Dienstklassen A bis D muß eine Endverbindung und respektive der VCC aus einer der fünf folgenden Verkehrsklassen {CBR, rt-VBR, nrt-VBR, ABR, UBR) stammen (vgl. Kapitel 2.2.1). Diese Klassifizierung wird auch als Type of Service oder ToS bezeichnet. Maßgebend für die Einrichtung der VCs ist hier gemäß ITU-Empfehlung I.371 [I43] der ATM-Traffic-Descriptor sowie zusätzliche, diverse Dienstgütekriterien. Bei bidirektionalen Verbindungen ist für Hin- und Rückrichtung jeweils ein sepa-

rater Traffic-Descriptor vorzusehen. Seitens der Ressourcenreservierung auf einem Switch gibt er in Abhängigkeit von der gewählten Verkehrsklasse entsprechende Anforderungen vor. Sie stellen eine Kombination aus den folgenden Verkehrsparametern dar, welche den Verkehrsfluß auf Zellebene charakterisieren:

- Peak Cell Rate (PCR)
  Die Spitzenzellrate wird in Zellen pro Sekunde angegeben. Sie sollte so reserviert werden, daß die CLR eingehalten werden kann.
- Cell Delay Variation Tolerance (CDVT)
  Beschreibt die durch die Multiplextechnologie verursachte maximale Schwankung der Zeitspanne zwischen dem Eintreffen zweier Zellen am Ziel.
- Sustainable Cell Rate (SCR)
  Die durchschnittliche Zellrate wird im Netz reserviert. Abweichungen hiervon müssen durch Policing Strategien ausgeglichen werden.
- Minimum Cell Rate (MCR)
  Gibt die minimale Zellenrate einer ABR-Verbindung an.
- Maximum Burst size (MBS)
  Beschreibt die Größe eines maximalen Zellbursts, welcher abweichend von der SCR noch toleriert wird.

Neben diesen Verkehrsparametern werden desweiteren noch folgende Dienstgütekriterien für die Endverbindung im Netzwerk benötigt:

- Cell Loss Ratio (CLR)
  Quotient aus den verlorenen zu den insgesamt übertragenen Zellen.
- Cell Error Ratio (CER)
  Quotient aus verfälschten Zellen zu den insgesamt übertragenen Zellen.
- Cell Transfer Delay (CTD)
  Maximale Übertragungszeit einer Zelle zwischen dem Absenden ab der Quelle und dem Eintreffen am Ziel.
- Cell Delay Variation (CDV)
  Differenz in der Übertragungszeit zwischen der schnellsten und der langsamsten, gemäß ihres Verkehrsvertrages noch konformen Zelle.

So kann der Zellverkehr für einen Dienst mit konstanter Bitrate (CBR-Verkehrsklasse) bspw. durch Angabe der Parameter CDV, CTD, CLR sowie CER festgelegt werden (vgl. [I43],[161]). Bei der VBR-Klasse sind bspw. die Verbindungen dagegen erheblich unempfindlicher gegenüber variablen Verzögerungszeiten. Die geringsten Anforderungen an die Dienstgütequalität werden von Verbindungen der UBR-Klasse gestellt.

5.11 Eigenschaften und Fähigkeiten der Agentenakteure

Die im VC-Markt agierenden Agenten müssen zur Erfüllung der ihnen übertragenen Aufgaben über entsprechende Fähigkeiten verfügen. Im folgenden werden die unter Kapitel 5.7 aufgeführten Problemstellungen auf die hier definierten Agentenkategorien abgebildet und die daraus resultierenden Anforderungen spezifiziert.

5.11.1 Anforderungen an die Anbieteragenten

Im Hinblick auf eine gute Auslastung seiner Kapazitäten wird der Anbieteragent versuchen, den Gesamtumsatz an vermittelter Bandbreite zu maximieren. Diese Strategie führt jedoch nicht auch zwingend zum maximalen Kapitalumschlag, der sich aus der Summe der für die einzelnen Ressourcenanforderungen zu erbringenden Einzelgebühren ergibt. Eine Alternative kann bspw. die Maximierung des Durchsatzes von Verbindungsaufbauwünschen sein. Sie wirkt sich direkt auf die Bedienzeiten der Kundenagenten am Marktplatz und somit seine Verweilzeit aus. Um akzeptable Verbindungsaufbauzeiten realisieren zu können, sollte daher der Durchsatz an Verbindungsaufbauwünschen möglichst groß sein.

5.11.1.1 Globale und lokale Marktstrategien

Der Anbieteragent muß angesichts dieser Kriterien seine lokalen und globalen Marktstrategien entwickeln und verfolgen. Einige wesentliche, sich aber teilweise gegenseitig bedingende strategische Freiheitsgrade hierzu sind:

- Konkurrenzsituation
- Netzabdeckung
- Zeitliche Verkehrsverhältnisse

Bei jedem dieser Kriterien sind lokale und globale Betrachtungen notwendig. Anbieteragenten können auf die allgemein verfügbaren Informationen wie Namen und Inserate seitens der auf dem GM lokal verfügbaren Konkurrenten zugreifen, um sich mit ihnen im Vergleich bewerten zu können. Aus globaler Sicht stehen hierzu die Nodestatevektoren zur Verfügung, die allerdings eine verdichtete Form von Informationen darstellen, bei der einzelne Anbieter nicht mehr unterschieden werden können. Das Konzept umfaßt auch die Möglichkeit, Allianzen in Form von Kooperationen zu bilden, bei der mehrere Anbieter nach vorheriger Absprache eine gemeinsame Vermarktung der ihnen zur Verfügung stehenden Ressourcen betreiben. Sie können dieses durch die Entsendung eines entsprechend beauftragten Anbieteragenten auf einen bzw. mehrerer GMs realisieren, welcher die Summe ihrer dort verfügbaren Ressourcen vermarktet. Ein weiterer Faktor stellt für einen Anbieter der Grad seiner Netzabdeckung dar. Sie ist im Zusammenhang mit den

zeitlichen Verkehrsverhältnissen im Netz zu sehen. Die Nachfrage im VC-Markt ergibt sich aus den auf den GMs eintreffenden Verbindungsaufbauwünschen und ist somit verteilter Natur. Für den Anbieter stellt sich die Frage, inwieweit er an dieser Ressourcennachfrage partizipiert und ob er in den Bereichen des Netzes, welche durch ein hohes Verkehrsaufkommen geprägt sind, hinreichend vertreten ist. GM-lokal bezogen bedeutet dieses, daß der Anbieter evtl. bestehende VPCs in ihrer Kapazität erweitern oder gar neue zu benachbarten GMs einrichten muß.

5.11.1.2 Ressourcenmanagement

Das Ressourcenmanagement eines Anbieteragenten ist eng gekoppelt mit seiner lokalen/globalen strategischen Ausrichtung. Eine weitere Abhängigkeit besteht in der statistischen Natur des ATM-Verkehrs, wo Belastungsspitzen bestehender Verbindungen dazu führen können, daß neue Verbindungen aufgrund momentan unzureichender Ressourcen nicht angenommen werden können, auch wenn sich dieser Zustand nach kurzer Zeit wieder normalisiert. Desweiteren kann die Menge vorreservierter Ressourcen einen nicht unerheblichen Teil der Gesamtkapazität beanspruchen, ohne daß eine Gewähr auf eine später durchgeführte Vollreservierung besteht. Für das Managements der Ressourcen muß die Menge der freien, der vorreservierten sowie der vollreservierten Kapazitäten unterschieden werden.

5.11.2 Anforderungen an die Kundenagenten

Die Hauptaufgabe eines Kundenagenten besteht darin, eine durchgängige Verbindung mit vordefinierter Qualität innerhalb eines Netzwerkes zu konfigurieren. Um dieses Problem eigenverantwortlich lösen zu können, muß er hierzu über folgende Grundeigenschaften verfügen:

- Planung für
  - Verbindungskonfiguration
  - Zeitmanagement
- Entscheidungsfähigkeit
- Strategiegenerierung

5.11.2.1 Planung

Der Kundenagent muß in der Lage sein, seine Aufgaben planerisch zu lösen. Bedingt wird diese Forderung u.a. durch den Umstand, daß ihm mehrere Freiheitsgrade für seine Problemlösungsprozesse zur Verfügung stehen. So hat er zur Verbindungsaufbauzeit bspw. eine Vielzahl von Entscheidungen zu treffen, welche Anbieter bzw. Ressourcen seinen Anforderungen am besten entsprechen. Da der

Kundenagent hierfür selbst nur mit begrenzten Zeit- sowie Geldmitteln versehen ist, stellt die Planungseigenschaft eine wesentliche Fähigkeit für die Konfiguration von Verbindungen als auch für sein Ressourcenmanagement dar.

Verbindungskonfiguration

Die Konfiguration einer Endverbindung entspricht im wesentlichen der Routenberechnung. Der Kundenagent muß einen Pfad durch das Netzwerk ermitteln. Dieser Pfad kann entweder in Form einer Sourceroute vorausberechnet sein oder aber erst während des Netztraversierung aufgebaut werden. Aufgrund der schon in Kapitel 2 erwähnten Gründe sollte der Kundenagent mit einem vorab berechneten Routenvorschlag einen Verbindungsaufbau gestalten. Dieser kann von ihm selbst oder aber von einem GM-lokalen Dienst erzeugt werden. Das Traded-Routing als ein mögliches Verfahren wird hierzu später im Kapitel Kapitel 7.2 vorgestellt. Bei der Auswahl einer Teilstrecke hat der Kundenagent zu beachten, daß der qualitativ schlechteste Link die resultierende Qualität der Gesamtverbindung entscheidend bestimmt. Eine ausreichend hohe Verfügbarkeit von Ressourcen auf einem ausgewählten Link ist insofern von Bedeutung, als da ein Kundenagent hier bei den Verhandlungen auch über einen erhöhten Spielraum bei der Gestaltung der Preis-/Leistungsanforderungen seitens seiner Gegenangebote verfügt. Ist die Ressourcenverfügbarkeit ohnehin schon recht niedrig, so ergibt sich zusätzlich das Risiko, nach Erreichen der GMs bei der Allokierung nicht mehr zum Zuge zu kommen. Einen weiteren Freiheitsgrad bei der Routenplanung stellt die Möglichkeit dar, bevorzugt Teilstrecken von Anbietern zu verwenden, mit denen schon im Vorfeld vertragliche Abmachungen getroffen wurden. Dieses setzt klarerweise ein nicht anonymes Verhandlungsverhältnis zwischen Kunden- und Anbieteragent voraus.

Ressourcenmanagement

Für einen Kundenagenten stellen die Dimension Zeit sowie seine monetäre Ausstattung die wesentlichen Ressourcen dar. Da der Aufbau einer Endverbindung zeitlich beschränkt ist, hat er eine Zuordnung von Geld- und Zeit auf die Anbieter der involvierten GMs vorzunehmen. In der ITU-Empfehlung Q.2931 [I78] zur Teilnehmersignalisierungschnittstelle DSS2 für Breitbandnetze wird bspw. der Timer T310 mit einem Grenzwert von 10 Sekunden zur Überwachung des Verbindungsaufbaus verwendet. Einem Kundenagenten blieben demgemäß maximal 10s, um alle notwendigen Teilstrecken zu verhandeln, zu reservieren und die etablierte Endverbindung beim Ursprungsmarktplatz wiederum anzuzeigen. Eine zusätzliche Anforderung ergibt sich für den Fall eines Crankbacks, bei dem der Kundenagent u.U. einen Anteil seiner schon reservierten Teilverbindungen wieder freigeben und in der ihm verbleibenden Zeit die noch fehlenden Strecke für die Endverbindung neu planen muß (vgl. Kapitel 2.4.1.2). Werde mehrere Geschwisteragenten für einen Verbindungsaufbau eingesetzt (vgl. Kapitel 5.5), so ist die Verteilung wie auch Zusammenführung der Ressourcen unter ihnen zu koordinieren.

5.11.2.2 Strategiegenerierung

Die Ausrichtung der Strategien eines Kundenagenten für den Aufbau, die Kontrolle sowie den Abbau von Endverbindungen werden im wesentlichen durch die folgenden Faktoren bestimmt:

- GM- und Anbieterauswahl
- Ressourcen pro
  - GM
  - Link
  - Anbieter

Der MOBAG muß entscheiden, auf welchen GMs er mit welchen Anbietern wie verhandeln will. Hierzu sind entsprechende Strategien notwendig. Hinzu kommt die Frage nach der reinen Ressourcenverfügbarkeit. Dabei sind der GM, seine abgehenden Links sowie die auf diesen Links operierenden Anbieter zu unterscheiden. So kann es vorkommen, daß die Zellswitchkapazität der unterliegenden ATM-Vermittlungsstelle eines GMs durchaus ausreicht eine Teilverbindung einzurichten, jedoch jeder Anbieter für sich nicht in der Lage ist, die geforderte Mindestbandbreite zu offerieren. Ein rational agierender Kundenagent ist letztendlich bestrebt, eine hinreichend optimale Verbindung unter Einsatz von möglichst wenig eigenen Ressourcen wie Zeit und Geld zu konfigurieren.

5.11.3 Der Marktplatzmanager

Zwecks Aufrechterhaltung eines korrekten Ablaufs durch entsprechende Administration ist konzeptuell auf jedem GM ein Marktplatzmanager vorgesehen. Wie im folgenden aufgeführt, obliegen ihm eine ganze Reihe wesentlicher Teilaufgaben:

- Unterstützung der Agentenmigration
- Gewährleistung von Sicherheit
- Verbreitung der Link-/Nodestatevektoren
- Makeln von Anbietern
- Routenberechnung
- Ressourcenmanagement

Seitens der Agentenmigration hat der MM die Aufgabe sicherzustellen, daß für die Unterbringung eintreffender Kundenagenten genügend Ressourcen zur Verfügung stehen. Zu diesem Vorgang gehört auch die Registrierung/Deregistrierung und verbunden damit die Authentifizierung und evtl. Autorisierung aller Agenten (s.a. [190],[189], u.a.). Zum Bereich der Sicherheit zählt desweiteren die Überwachung der auf dem GM ablaufenden Verhandlungen sowie die Einhaltung der Kon-

trakte inklusive der in ihnen fixierten Abmachungen. Realisiert wird dieses mittels der GM-internen Verhandlungsschnittstelle, über die Anbieter- wie Kundenagenten miteinander verhandeln. Neuverhandlungen sind vom Kundenagenten nur dann initiierbar, wenn dieses Bestandteil des Nutzungsvertrages ist. Der MM hat auch diesem Umstand Rechnung zu tragen. Das Annoncieren auf dem Trading-Board des GM muß nicht zwingend kontrolliert werden, da die Anbieter einer gegenseitigen Konkurrenz unterliegen. Falls ein Anbieter nicht das leisten kann, was er inseriert hat, so wird er im Rahmen einer Verhandlungssitzung durch einen seiner Konkurrenten substituiert. Unberührt hiervon bleibt allerdings die Verpflichtung des Anbieters, im Nutzungsvertrag angegebene Leistungen zu erbringen. Bei Fehlverhalten eines Anbieters muß vom MM eine evtl. disziplinarische Maßnahme eingeleitet werden. Dieses kann z.B. ein temporärer oder auch endgültiger Ausschluß vom GM sein. Genererell sind Fehlersituationen vom MM, sofern eindeutig möglich, zu diagnostizieren und zu beheben.

Eine weitere Aufgabe besteht in der Generierung und Verbreitung der Link- sowie Nodestatevektoren. Beim VC-Markt handelt es sich aus logischer Sicht um eine flache Netzstruktur, so daß eine Informationsverdichtung in höheren Hierarchieebenen, wie es beim PNNI praktiziert wird, entfällt [A12]. Bestehende Ansätze können hier verwendet werden, um insbesondere Probleme der Oszillation und Inkonsistenz der Daten zu vermeiden (vgl. [63],[89],[163]). Neben der netzweiten Verbreitung der Link-/Nodestatevektoren muß der MM umgekehrt eintreffende Informationen aufbereiten, speichern und GM-intern publizieren.

Aus Gründen der Flexibilitätserhaltung wurde konzeptuell nicht festgelegt, welche Instanz die Routenberechnung durchführt. Dennoch sollte der MM auf dem GM einen sogenannten Routingdienst anbieten, welcher von den Kundenagenten in Anspruch genommen werden kann, die über keine eigene Algorithmik hierzu verfügen. Zur Bewertung der Knoten und Links im Netzwerk muß hierzu vom MOBAG dem MM eine Kostenfunktion zur Verfügung gestellt werden, damit Art und Anzahl der Attribute auf einen Gewichtungswert abgebildet werden können.

Ein weiterer vom MM auf dem GM angebotener Dienst bietet den MOBAGs die Möglichkeit, sich die gemäß ihrem Anforderungsprofil geeignetsten Anbieter vorselektieren zu lassen. Das Makeln bzw. Brokern von Anbietern kann mittels des einfachen Kooperationsprotokolls für Informationsanfragen realisiert werden. Als Trusted Third Party ist es dem MM möglich, ihm bekannte vertrauliche Informationen beider Agentenkategorien zur Generierung von Verhandlungspaaren heranzuziehen, welche im Verhandlungsprozeß zwischen den Akteuren jedoch nicht offengelegt werden. Den Verhandlungspartnern verbleibt somit immer noch die Möglichkeit des Bluffens bei der Angebotsgenerierung.

Dem MM obliegt das Management der auf dem GM verfügbaren Ressourcen. Bedingt durch das Ressourcensharing zwischen den Agenten muß er auf Fairneß

und Sicherheit bei der Zuteilung achten. Zu unterscheiden sind für ihn die Anbieteragenten von den MOBAGs. Erstere migrieren zu einem GM und vermarkten dort über einen längeren Zeitraum die ihnen zur Verfügung stehenden Bandbreiten. Die Frage nach der Verfügbarkeit eines Slots für einen Anbieteragenten auf dem GM ist zeitlich als unkritisch einzustufen. Umgekehrt sieht es hingegen für die MOBAGs aus, die sich durch eine hohe Bewegungsdynamik im Netzwerkmarkt auszeichnen. Ein Kundenagent, welche gemäß seinem Routenplan zu einem GM migrieren will, sollte möglichst nicht aufgrund unzureichender Agentenslots abgewiesen werden. Die Minimierung derartiger Überlastsituationen sollte vom MM durch die Bereitstellung ausreichender Agentenslots anvisiert werden, damit die verfügbare Zellswitchkapazität hinreichend ausgelastet werden kann, was letztlich auch den Anbieteragenten zugute kommt.

5.12 Sicherheit im Ressourcenmarkt

Neben einem Mindestmaß an Systemzuverlässigkeit (Safety) spielt die Sicherheit (Security) hinsichtlich der Akzeptanz und Durchsetzung eines Ressourcenmarktes für ATM-Netzwerke eine entscheidende Rolle. In stark verteilten Systemen stellt die Security für gewöhnlich einen umfangreichen und komplexen Bereich dar, da neben der Hostsicherheit zusätzlich die Netzwerksicherheit relevant ist. In Elektronischen Märkten findet ein Austausch an Informationen, Waren und Zahlungsmitteln zwischen den Marktteilnehmer statt. Neben der unverfälschten Übertragung der Daten ist die eindeutige Identifizierung der Akteure erforderlich sowie die Nachvollziehbarkeit und Belegbarkeit der von ihnen vorgenommenen Aktivitäten.

Durch den Einsatz agentenorientierter Technologie werden zusätzliche und bisher nur unzureichend untersuchte Aspekte aufgeworfen. So besitzen bspw. mobile Agenten aus der Sicht eines Hosts bzw. einer Plattform virusähnliche Eigenschaften. Prinzipiell zu fordern wäre hier der Schutz der Plattform inklusive seiner Ressourcen vor den mobilen Agenten. Umgekehrt wäre gleichermaßen zu fordern, daß der mobile Agent vor seiner ihn beherbergenden Plattform hinreichend geschützt wird. In diesem Kontext spielen die Vertrauensverhältnisse der Agenten untereinander eine große Rolle, was durch das sogenannten Vertrauensmodell reflektiert wird. Voraussetzung hierzu ist die Gewährleistung der zuverlässigen Authentifizierbarkeit aller Entitäten untereinander, was bei den harten Zeitanforderungen des VC-Marktes eng mit der Problematik einer effizient arbeitenden Sicherheitsinfrastruktur verknüpft ist. Die Geschwindigkeit, mit welcher der Verbindungsaufbau erfolgt, wie auch der Anspruch auf Sicherheit stellen aus Aufwandssicht entgegengesetzte Forderungen dar. Letztlich muß hier ein akzeptabler Trade-Off gesucht werden muß. Im folgenden werden grundlegende Fragen zur Sicherheit im VC-Markt sowie ein entsprechendes Lösungskonzept vorgestellt.

5.12.1 Sicherheitsrelevante Rollen

Unter dem Security-Aspekt ist im VC-Markt seitens der aus dem Kapitel 5.3 schon bekannten Rollen des Marktplatzmanagers, des Ressourcenanbieters sowie des MOBAGs als dem Ressourcenkäufer eine weitere Verfeinerung notwendig. Die Menge der Käufer wird mit Blick auf das später in Kapitel 5.11.2 vorgestellte Szenario in zwei Gruppen klassifiziert. Die sogenannten Endkunden stellen dabei die eigentlichen Konsumenten von Übertragungsbandbreite im Teilnehmerzugangsbereich dar. Für den Aufbau einer Endverbindung zum gewünschten Zielteilnehmer beauftragen sie einen sogenannten Verbindungsdienstanbieter. Dieser wiederum bezieht die Ressourcen von den Ressourcenanbietern, welche über die VPs im VC-Markt verfügen. Insofern nimmt er aus ökonomischer Sicht die Position eines Retailers bzw. Zwischenhändlers ein. Die beiden Rollen des Ressourcenanbieters und Verbindungsdienstanbieters können auch von einer einzelnen Instanz eingenommen werden. Der Betreiber der GMs wird als Plattformanbieter tituliert. Er stellt auf seinem Marktplatz den Platz für die Ressourcenabieter sowie für die Verbindungsdienstanbieter bereit.

Zusätzlich ist eine Vermittlungs- sowie eine Schiedsinstanz vorzusehen. Der Vermittler oder auch Arbitrator als unparteiische dritte Partei gewährleistet, daß innerhalb einer Kommunikationsbeziehung zwischen einem Käufer sowie einem Verkäufer ein Vertrauensverhältnis entstehen kann. Damit er von diesen Instanzen auch als vertrauenswürdig angesehen wird, müssen gewisse Restriktion erfüllt sein. So darf der Arbitrator weder persönliche Interessen innerhalb der Protokolle, die zwischen den interagierenden Marktteilnehmern durchgeführt werden sollen, vertreten, noch darf er zu einer dieser Instanzen in einer besonderen Verbindung stehen. In jedem Fall erfüllt er seinen Anteil am Protokoll und alle übrigen Akteure müssen davon ausgehen, daß der Arbitrator wahrheitsgemäß informiert als auch korrekt am Protokollablauf teilnimmt. Der Arbitrator unterstützt somit alle beteiligten Instanzen bei der Durchführung ihrer Interaktionen bzw. deren Protokolle. Käufer und Verkäufer vertrauen sich i.d.R. gegenseitig nicht, wohl aber dem Arbitrator. Aufgrund dieser exponierten Stellung ist seine Sicherheit von entscheidender Bedeutung für die Sicherheit des Marktplatzes, was durch mehrere Maßnahmen gewährleistet werden kann. So sollten via Authentifizierung die Absender einer Nachricht eindeutig und unzweifelhaft identifiziert werden können. Die Integrität und somit Unverfälschtheit der Nachricht selbst muß feststellbar sein. Ebenso ist es wichtig, daß der Absender einer Nachricht diese nicht widerrufen kann (Nonrepudiation). Das Abhören des Arbitrators und die Beobachtung seiner Aktivitäten sind zu unterbinden.

Die Schiedsinstanz oder auch Adjudicator stellt eine besondere Form eines Arbitrators dar. Im Gegensatz zum Arbitrator überprüft er imnachhinein, ob eine Kommunikationsbeziehung zwischen zwei Instanzen korrekt durchgeführt worden

ist. Folglich wird er erst dann in Anspruch genommen, falls es zu einer Meinungsverschiedenheit oder aber gegenseitigem Mißtrauen bei der Ausführung eines Protokolls gekommen ist, und dessen korrekter Ablauf festgestellt werden muß. In punkto Sicherheit gelten für den Adjudicator ähnlich strikte Sicherheitsanforderungen, wie für den Arbitrator. Im VC-Marktes werden die Rollen des Arbitrators sowie des Adjudicators vom Sicherheitsagenten (SA), im folgenden auch Security-Agent genannt, wahrgenommen. Es wird später in Kapitel 5.12.5.2 näher erläutert.

5.12.1.1 Anforderungen des Endkunden

Im nachfolgenden Kontext beschränkt sich der Zugriff des Endkunden auf den VC-Markt auf den Teilnehmerzugangsbereich. An dieser Schnittstelle ist es für ihn von Belang, daß seine Aktivitäten bzw. Dienstnutzungen von anderen Instanzen nicht ausgespäht werden können. Hierzu zählen natürlich auch alle ausgetauschten Daten wie Gebühren, Verbindungszeiten, etc. Darüberhinaus will er sichergestellt wissen, daß er mit den korrekten Kommunikationspartnern und Diensterbringern verkehrt und er die angeforderten Leistungen auch zum ausgemachten Preis erhält. Dieses schließt insbesondere aus, daß die Rolle des Endkunden von einer fremden Instanz angenommen werden kann. Er will eine Garantie dafür, daß seine Kommunikation nicht abgehört werden kann.

5.12.1.2 Anforderungen des Verbindungsdienstanbieters

Seitens der Kommunikationsbeziehungen steht der Verbindungsdienstanbieter in Kontakt mit den Endkunden wie auch mit den Ressourcen- und Plattformanbietern. Sein Hauptinteresse besteht darin, daß er für eine erbrachte Verbindung auch die vereinbarte Bezahlung erhält und seinerseits für die hierzu in Anspruch genommenen Ressourcen nicht mehr bezahlt, als mit den korrekt identifizierten Ressourcenanbietern vertraglich vereinbart war. Zugunsten fairer Konkurrenzverhältnisse dürfen seine Interaktivitäten von den anderen Verbindungsdienstanbietern nicht ausgespäht werden können. Natürlich muß auch beim Verbindungsdienstanbieter sichergestellt sein, daß seine Identität weder von fremden Instanzen angenommen noch sonstwie mißbraucht werden kann. Hierzu zählt auch, daß der von ihm erbrachte Dienst allgemein zugänglich und nutzbar ist.

5.12.1.3 Anforderungen des Ressourcenanbieters

Für die Ressourcenanbieter gelten im wesentlichen die gleichen Sicherheitsanforderungen wie für die Verbindungsdienstanbieter. Zum Schutz ihrer Geschäftinteressen müssen sie ihre Aktivitäten voreinander geheimhalten können. Gegenüber den Plattformanbietern muß sich ein Ressourcenanbieter darüberhinaus eindeutig und unzweifelhaft identifizieren können.

5.12.1.4 Anforderungen des Plattformanbieters

Die Plattformanbieter stellen die technische Infrastruktur für einen GM zur Verfügung, auf der sich Agentenvertreter der Rollen Ressourcenanbieter und Verbindungsdienstanbieter befinden. Eine unberechtigte Nutzung sowie die temporäre wie auch nachhaltige Beeinträchtigung der Nutzung von Ressourcen sowie der Dienste als sogenannte Denial of Service Attacks (DoS) sind hier zu unterbinden. Eine solche Blockierung kann bspw. durch Flutung eines Marktplatzes mit Sprechakten oder MOBAGs erreicht werden und behindert die übrige Agentensozietät in ihrer Aktivität. Abwehrmaßnahmen für derart provozierte Überlastsituationen sind hier vorzusehen. Andererseits müssen auch die sich auf einer Plattform befindlichen Agentenakteuere vor einem evtl. böswilligen Plattformanbieter geschützt werden, welcher bspw. Vertreter einer Rolle ausspäht oder sie in ihrer Aktivität behindert.

5.12.2 Sicherheitsaspekte beim VC-Markt

Für den verteilten VC-Markt werden nun die sicherheitskritischen Punkte anhand eines exemplarischen Verbindungsaufbaus vorgestellt und mögliche Angriffe aufgezeigt. Prinzipiell wird in diesem Szenario zwischen dem Teilnehmerzugangsbereich und dem VC-Markt als dem eigentlichen WAN-Bereich unterschieden. In der Abbildung 5-17 wird dieses durch die Verwendung der abstrakten Schnittstellen S_Z und S_M angezeigt.

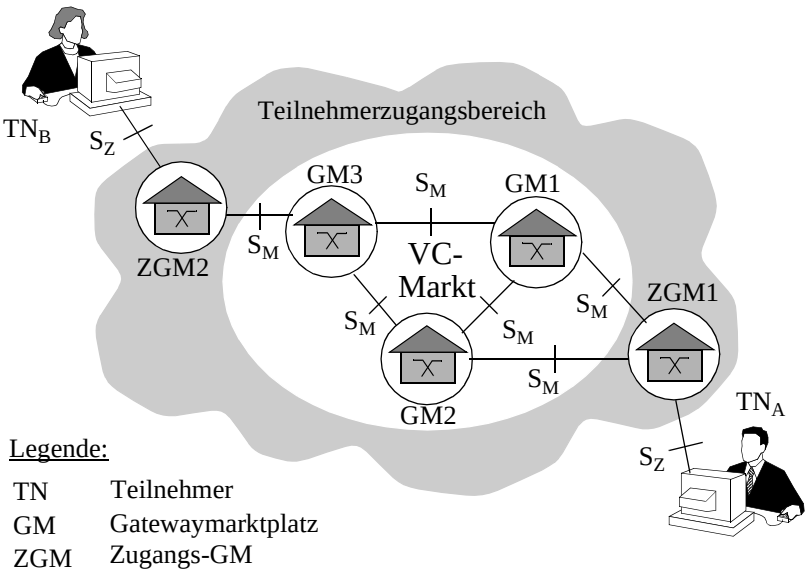


Abbildung 5-17: Sicherheitsaspekte im VC-Markt

Somit wird eine Trennung zwischen der geschlossen Agentengemeinschaft auf dem VC-Markt sowie den Endkunden erreicht. Letztere greifen über die Teilnehmerzugangsschnittstelle S_Z auf den Zugangs-GM (ZGM) und somit auf den VC-Markt zu. Auf den ZGMs sind die Stellvertreteragenten der Verbindungsdienst- und Ressourcenanbieter lokalisiert, während auf den GMs innerhalb des VC-Marktes nur die Agenten der Ressourcenanbieter ständig vertreten sind, welche mit den MOBAGs der Verbindungsdienstanbieter über die Vor- bzw. Vollreservierung von Ressourcen verhandeln.

1 Von der Anwendung des Teilnehmers A (TN_A) wird über die Zugangsschnittstelle S_Z zwecks Aufbau einer Kommunikationsverbindung zum Teilnehmer B (TN_B) auf dem Zugangsmarktplatz ZGM1 der Verbindungsdienstanbieter D_A bzw. dessen Stellvertreteragent ausgewählt und mit dieser Aufgabe beauftragt.

2 D_A berechnet die möglichen Routen in Form eines Tradinggraphen und instanziiert anschließend einen MOBAG gemäß den vom TN_A bzw. dessen Applikation vorgeschlagenen Preisvorstellungen. Es folgen die Verhandlungen über Preis und Leistung von den VCs der in Frage kommenden abgehenden VPs.

3 Wurde in einem VP ein VC vorreserviert, so wandert der MOBAG weiter zum entsprechenden GM im VC-Markt und verhandelt mit den dortigen Ressourcenanbietern erneut um einen VC in einem abgehenden VP.

4 Beim Zugangsmarktplatz ZGM2 des Zielteilnehmers TN_B angekommen wird nach Empfang von dessen Bestätigung für die Annahme bzw. Ablehnung der Verbindung der identische Weg in Rückrichtung durchlaufen und die Vorreservierungen entweder annulliert oder aber in Vollreservierungen umgewandelt.

5 Wieder am ZGM1 angekommen wird TN_A die für eine Nutzung aufgebaute Verbindung angezeigt oder aber die Ursache für das Scheitern mitgeteilt. Desweiteren werden hier die Kosten für die Endverbindung angezeigt.

Bei den unter Punkt 1 genannten Aktivitäten muß sichergestellt werden, daß die Initiierung eines Verbindungsaufbaus sowie die Kontaktierung des Verbindungsdienstanbieters nicht von außen ausgespäht werden kann. Dieses bedeutet, daß die Verbindung zum ZGM1 und hier zum Stellvertreteragenten von D_A abhörsicher sein muß. Im Rahmen einer Indentifikation muß sich der Endkunde TN_A vergewissern, daß er auch den gewünschten Verbindungsdiensterbringer beauftragt hat, während sich letzterer sicher sein muß, daß er seine Leistung einer identifizierbaren Instanz zur Verfügung stellt. Der Stellvertreteragent von D_A muß darüberhinaus dem MM auf dem ZGM1 bekannt, d.h. registriert sein.

Für die unter Punkt 2 genannte Instanziierung und Versendung von MOBAGs muß der Stellvertreteragent D_A auf den GMs legitimiert bzw. autorisiert sein. Seine Verhandlungen mit den Stellvertreteragenten der Ressourcenanbieter muß ebenfalls abhörsicher sein, damit ein Ausspähen durch die Konkurrenz unterbunden wird. Letzteres ist aber marktplatzlokal mit herkömmlicher Standardtechnologie wie bspw. Shared Memory, dessen Zugriff hardwarebasiert durch eine MMU kon-

trolliert wird, realisierbar. Der Vertragsabschluß zwischen Verbindungsdienstanbieter und Ressourcenanbieter muß von einer unabhängigen dritten Instanz zur Kenntnis genommen werden. Im vorliegenden Szenario übernimmt der SA diese Aufgabe. Als Adjudicator obliegt ihm ebenso die Überprüfung, ob die mit dem Ressourcenanbieter vereinbarte Übertragungsleistung auch erbracht worden ist.

Die Migration des MOBAG zum nächsten GM unter Punkt 3 ist in zweifacher Hinsicht sicherheitskritisch. Zum einen muß er vom Zielmarktplatz identifiziert und dann auch akzeptiert werden. Natürlich muß auch der MOBAG zum anvisierten GM ein gewisses Maß an Vertrauen haben. Zum anderen muß sein Transport gegen Lauschangriffe geschützt werden, um seine Integrität zu wahren. Als problematisch erweist sich der Umstand, daß sich sein Datenanteil dabei während seiner Netztraversierung verändern kann. Wird die Pfadsuche parallelisiert, so müssen vom MOBAG Klone generiert werden, was durch eine entsprechende Legitimierung auf dem GM abgesichert werden sollte. Die geklonten Agenten müssen ihrem Verbindungsdienstanbieter eindeutig zugeordnet werden können. Ihre unkontrollierte Vermehrung durch permanente Duplizierung ist zu unterbinden. Zudem muß gewährleistet sein, daß sich diese Geschwisteragenten im VC-Markt wiedererkennen und gegenseitig korrekt identifizieren, da ansonsten ihre Kooperation bei der Pfadsuche gefährdet wäre.

Die Nachvollziehbarkeit der Annahme oder auch Ablehnung des Zielteilnehmers unter Punkt 4 muß gewährleistet werden. Zudem ist auch hier sicherzustellen, daß die korrekten Kommunikationsinstanzen über Annahme oder Ablehnung einer Verbindung entscheiden, was insbesondere bei einer Aufteilung der Verbindungskosten relevant ist. Wird bspw. der Zielteilnehmer vorgetäuscht und durch ihn eine Verbindungsannahme signalisiert, so können dem Initiator aufgrund der Umwandlung der Vorreservierungen in Vollreservierungen unberechtigt Kosten entstehen. Für den Zielteilnehmer muß gewährleistet sein, daß es sich bei den Initiator der Verbindung um eine registrierte Instanz handelt, welche die anfallenden Gebühren auch übernehmen kann. Beim rückwärtigen Durchlaufen des Pfades muß auf die Vorreservierungen referenziert werden können. Auch ihre Annullierung oder aber Überführung in eine Vollreservierung muß zum Zwecke der Überprüfbarkeit mitprotokolliert werden. So darf es bspw. nicht vorkommen, daß inmitten des Pfades unzulässigerweise eine Vorreservierung trotz eingehaltenem Zeitlimits nicht mehr existent ist, und einem MOBAG aufgrund der von ihm auf der bisherigen Teilverbindung vollreservierten VCs Kosten entstehen.

Bei den unter Punkt 5 zusammengefaßten Aktivitäten ist es wiederum notwendig, daß sich der MOBAG beim Verbindungsdienstanbieters korrekt identifiziert. Letzterer muß sich sicher sein, daß die Bestätigung oder aber Ablehnung auch vom gewünschten Zielteilnehmer stammt. Bei der Gebührenaufteilung (Split-Charging) muß die Zustimmung des Zielteilnehmers abgesichert und registriert werden.

5.12.2.1 Sicherheit seitens Vergebührung und Bezahlung

Die Vergebührung sowie Bezahlung von Ressourcennutzungen stellen an den VC-Markt vielfältige Anforderungen. Sie sind stark davon abhängig, welche Art von Bezahlungssystem bspw. genutzt wird. Im hier dargelegten Szenario kann das Bezahlungssystem auf die Schnittstellen S_Z und S_M angepaßt werden. Die Endkunden haben die Kosten für eine Verbindung ausschließlich an den Verbindungsdiensterbringer zu erstatten. Letzterer hingegen muß für eine solche Verbindung i.d.R. gleich mehrere unterschiedliche Ressourcenanbieter finanziell bedienen, was den Vergebührungs- wie auch Verrechnungsaufwand (Clearing) bei der Bezahlung beträchtlich erhöht.

Im VC-Markt als einer E-Commerce Anwendung ist die Verrechnung der Gebühren schon aus Geschwindigkeitsgründen auf der Grundlage eines elektronischen Bezahlungssystems mit elektronischem Geld vorteilhaft. Wie beim Realgeld wird auch beim elektronischen Geld nach bargeldbasierten sowie bargeldlosen Systemen unterschieden. Elektronisches Bargeld wie bspw. DigiCash/ECash, NetCash oder Millicent wird dabei durch kryptografische Verfahren fälschungssicher gemacht und über das Netzwerk verschickt[1]. Daneben existieren Varianten mit physikalischem Träger wie die aufladbaren Geldkarten, die höchstens im Endkundenbereich von Relevanz und mit der aufladbaren Telefonkarte vergleichbar sind. Bargeldlose Verfahren sind Kreditkartensysteme wie z.B. SET oder CyberCash sowie kontenbasierte Systeme a'la NetCheque oder NetBill[2]. Jedes dieser Systeme setzt ihr eigenes Bezahlungssystem mit seinen spezifischen Eigenschaften voraus, von denen konkrete Sicherheitsanforderungen direkt abhängig sind. Für den VC-Markt wird die Kreditbasierte Bezahlung präferiert.

Generell gilt, daß Duplikation, Diebstahl oder sonstiger Mißbrauch von elektronischem Geld im VC-Markt auf den GMs unterbunden werden muß. Aus Gründen der Privatheit und Vertraulichkeit sind ebenso der Zahlungsverkehr inklusive seiner bezahlungsrelevanten Daten wie z.B. Preis, Kondition, Datum und Identität der Instanzen vor Ausspähen und Veränderung zu sichern und die damit verbundenen Transaktionen geheim zu halten. Ein Käufer muß sicher sein, daß er im Falle einer Vorauszahlung die volle Dienstleistung auch bekommen wird. Ein Verkäufer hingegen muß auch sicher sein, daß er für seine Dienstleistung auch bezahlt werden wird. Bevor durch ein Bezahlungssystem das Geld einer Instanz verwendet wird, muß diese eine explizite Legitimierung hierzu erteilen, da ansonsten die Nachvollziehbarkeit des Bezahlvorgangs beeinträchtigt wäre. Die Identifikation gegenüber einem Bezahlungssystem ist vor seiner Inanspruchnahme sicherzustellen.

1. S.a. http://www.digicash.com/, http://www.isi.edu/gost/info/, http://www.millicent.digital.com/
2. Vgl. http://www.setco.org/, http://whatis.com/set.htm, http://www.cybercash.com/

5.12.3 Allgemeine Sicherheitsmechanismen

Sicherheitsmechanismen lassen sich hinsichtlich ihrer zu erfüllenden, unterschiedlichen Aufgabenstellungen einordnen. Im folgenden wird kurz auf wesentliche Begrifflichkeiten wie Identifizierung, Authentifizierung und Autorisierung sowie den mit ihnen verbundenen Überprüfungen eingegangen.

5.12.3.1 Identifizierung

Die eindeutige Identifizierung der an einem Vorgang beteiligten Entitäten stellt eine der grundlegenden Überprüfungen im Security-Bereich dar und ist die Voraussetzung für viele weitere Sicherheitsüberprüfungen. Dabei erfolgt eine formale Zuordnung von den Identitäten zu den Entitäten. Diese initiale Identitätszuordnung erfolgt einmalig durch die Kontaktierung einer Zertifizierungsstelle (Certification Authority, CA). Sie ist entweder im System selbst integriert oder aber es existiert eine öffentliche CA, welche vom System anerkannt ist. Das Ergebnis einer Identitätsfeststellung ist das sogenannte Zertifikat. Dieses ordnet einer Identität einen öffentlichen Schlüssel zu, wobei diese Zuordnung seinerseits von der ausstellenden CA unterschrieben bzw. signiert worden ist. Der Vorgang kann anhand des CA-Zertifikates nachgeprüft werden. Voraussetzung ist allerdings, daß die Zertifikate öffentlich zugänglich gemacht werden, was im Rahmen einer Schlüsselverwaltungsinfrastruktur (Public Key Infrastructure, PKI) mit Hilfe von Schlüsselverteilzentren (Key Distribution Center, KDC) realisiert wird. Diverse Zertifizierungsstellen wie bspw. VeriSign oder TeleSec sind z.Zt. dabei sich zu etablieren. Je nach Anwendungskontext ist zu prüfen, ob das Sicherheitsniveau einer Zertifizierungsstelle ausreichend und sie als dritte Partei vertrauenswürdig genug ist.

5.12.3.2 Authentifizierung

Bei einer Authentifizierung wird festgestellt, ob eine Entität A die von ihr angegebene Identität I vor einer anderen Entität B zu recht vertritt [349]. Ermöglicht wird dieses, indem die Entität A mit der geheimen Schlüsselkomponentel der Identität I eine Prüfberechnung durchführt, welche von der Entität B auf der Grundlage des öffentlichen Schlüssels von Identität I verifiziert werden kann. Der öffentliche Schlüssel ist in dem von der CA für die Identität A ausgestellten Zertifikat enthalten und wird entweder von A mitgeliefert oder von einem KDC durch die Entität B erfragt. Entität A ist nur dann in der Lage eine korrekte Prüfberechnung durchzuführen, wenn sie tatsächlich im Besitz des privaten Schlüssels der Identität I ist, den diese vorher registrieren ließ. Statt einer Identität können auch Daten authentifiziert werden. So wird festgestellt, ob der Sender der Daten der vorgegebenen Identität auch tatsächlich entspricht. Technisch wird eine kryptografische Prüfsumme (Hash) über die Daten erzeugt und dann mit dem geheimen Schlüssel des

Senders verrechnet. Der Empfänger kann mit dem öffentlichen Schlüssel des Senders diese Prüfsumme verifizieren. In gleicher Weise kann neben Daten auch Code signiert werden, was für migrierende Agentenl von besonderem Interesse ist.

5.12.3.3 Autorisierung

Eine Autorisierung beschreibt die Festlegung, welche Operationen auf zu schützenden Objekten von einer Entität durchgeführt werden dürfen, und welche sie explizit nicht anwenden dürfen. Wird für ein Zielsystem eine Zugriffsverwaltung gewünscht, so ist eine Autorisierung absolut notwendig. Üblicherweise werden für einen Autorisierungsmechanismus Tripel definiert. Pro Objekt enthalten letztere jeweils ein authentifizierbares Subjekt, eine Operation, die auf dem Objekt ausgeführt werden kann, sowie eine Policy, welche diese Form des Zugriffs entweder einschränkt oder erlaubt [349]. Bei nicht autorisierten Zugriffen auf Subjekte sollte einstellbar sein, ob eine Rückmeldung, welche ja eine konkrete Information zum System darstellt, erfolgt oder nicht.

5.12.3.4 Hash-Funktionen

Eine Hash-Funktion stellt eine nicht umkehrbare und effizient berechenbare Komprimierungsfunktion dar, welche für die Datenauthentifizierung verwendet wird. Das Ergebnis einer Hashberechnung über einen Datensatz ist der Hash, auch digitaler Fingerabdruck genannt (fingerprint). Aus einem Hash dürfen die Eingabedaten nicht zurückberechnet werden können. Die Hash-Funktion ist eine Einwegfunktion. Aus dem Hash eines vorgegebenen Datensatzes darf kein zweiter modifizierter Datensatz mit identischem Hash konstruierbar sein (Kollisionsfreiheit). Geringer Speicherplatzbedarf sowie hohe Effizienz zeichnen das Hashing aus. Somit können zeitintensive unmittelbare Signaturen auf dem kompletten Datensatz vermieden werden. Die Größe der Hashwerte liegt typischerweise zwischen 128 und 256 Bits. Die bekanntesten Algorithmen sind der MD5 sowie der SHA1 [349].

5.12.3.5 Auditing

Die laufende Überwachung eines laufenden Systems sowie das Mitschreiben von relevanten Betriebsdaten stellt eine wesentliche Sicherheitsmaßnahme dar. So können Angriffe frühzeitig bemerkt und ausgeschaltet werden. War ein Angriff erfolgreich, so bilden die aufgezeichneten Daten die Grundlage für eine Analyse zum Auffinden der verantwortlichen Sicherheitslücken. Dieses ist jedoch nur dann möglich, wenn der Angreifer diese Daten weder löschen noch modifizieren kann. Hier kommen einmalig beschreibbare Massendatenträger wie WORMs zum Einsatz. Die Daten können auch an ein sekundäres System zur Speicherung weitergegeben werden, was für einen Angreifer eine weitere Sicherheitshürde darstellt.

5.12.3.6 Kryptografische Schlüssel

Die Grundlage vieler Security-Mechanismen bilden die kryptografischen Schlüssel. Bei der Verschlüsselung werden die Daten derart transformiert, daß sie für unbefugte, ausspähende Parteien nicht einsehbar sind. Nach Entschlüsselung müssen diese Daten wieder im ursprünglichen Klartext vorliegen. Die schon erwähnte Authentifikation stellt insofern einen Sonderfall der Verschlüsselung dar, als da das Verschlüsseln von Daten für die beteiligten Parteien nachvollziehbar ist, die entschlüsselten Daten allerdings aufgrund verlustbehafteter Kompression nicht weiterverwendbar sind.

Grundsätzlich zu unterscheiden sind die symmetrische und die asymmetrische Verschlüsselung. Ein symmetrischer Schlüssel wird von beiden Parteien zur Ver- und Entschlüsselung verwendet. Bei der asymmetrischen Verschlüsselung existiert ein Schlüsselpaar, bestehend aus einem öffentlichen und einem geheimen/privaten Schlüssel, die mathematisch voneinander abhängen. Aus dem öffentlichen Schlüssel kann der geheime Schlüssel nicht ermittelt werden. Die Verschlüsselung erfolgt mit dem öffentlichen Schlüssel und nur der Besitzer des geheimen Schlüssels ist mit diesem in der Lage, die Entschlüsselung durchzuführen. Zwar sind symmetrische Schlüssel bei vergleichbarem Schutz wesentlich kürzer als asymmetrische Schlüssel - 128 Bit statt 2048 Bit - und beim Ablauf wesentlich effizienter, doch besteht bei ihnen das Problem der Schlüsselübermittlung. Aus Gründen der Performanz wird in einer gesicherten Kommunikationssitzung üblicherweise der symmetrische Schlüssel mit Hilfe asymmetrischer Verschlüsselung übermittelt [349].

Eine weitere Unterscheidung besteht in der Lebenszeit eines Schlüssels. Für die Authentifikation persistenter Entitäten werden Langzeitschlüssel eingesetzt, bei denen die Sicherheitsanforderungen gegen Ausspähen am größten sind. Für die Sicherung zeitlich begrenzter Kommunikationssitzungen bspw. werden Kurzzeitschlüssel, auch ephemerale Schlüssel genannt, generiert und nach ihrer Verwendung wieder vernichtet. I.d.R. werden hierzu symmetrische Schlüssel verwendet.

Mit Hilfe asymmetrischer Schlüsselpaare wird zwar das Ausspähen vertraulicher Daten unterbunden, doch besteht die Gefahr der „Angriffs aus der Mitte“, bei dem ein Angreifer den Empfänger von Daten vortäuscht und hierzu der sendenden Entität seinen eigenen öffentlichen Schlüssel offeriert. Für die Verbreitung der öffentlichen Schlüssel ist daher eine entsprechende Infrastruktur (Public Key Infrastructure, PKI) notwendig. Eine Zertifizierungsstelle (Certification Authority, CA) ordnet einer Identität einen öffentlichen Schlüssel zu und signiert dieses Zertifikat mit seinem privaten Schlüssel. Hiermit wird die Authentizität des öffentlichen Schlüssel gewährleistet. Dann übergibt sie das Zertifikat einer Schlüsselverteilinstanz (Key Distribution Center, KDC). Zertifikate besitzen i.d.R. eine beschränkte Lebensdauer (Gültigkeitsintervall).

5.12.4 Sicherheitsaufgaben im VC-Markt

Ausgehend von dem im Kapitel 5.12.2 vorgestellten exemplarischen Dienstablauf wurden die folgenden Sicherheitsaufgaben identifiziert:

1 Authentifikation zwischen einem Endkunden und dem Stellvertreteragenten eines Verbindungsdienstanbieters auf einem ZGM.

2 Authentifikation zwischen den MOBAGs der Verbindungsdienstanbieter sowie den Stellvertreteragenten der Ressourcendienstanbieter auf einem (Z)GM.

3 Authentifikation zwischen den MOBAGs eines Verbindungsdienstanbieters (Geschwisteragenten) auf einem entfernten (Z)GM.

4 Einrichtung abhörsicherer Schnittstellen für die lokale Kommunikation der Stellvertreteragenten auf einem (Z)GM.

5 Sicherung einzelner Nachrichten bzw. Sprechakte, die zwischen Agenten auf unterschiedlichen GMs ausgetauscht werden.

6 Sicherung der Integrität eines MOBAGs während seiner Migration zu einem entfernten (Z)GM.

7 Sichere Speicherung/Verwaltung vertraulichen Datenmaterials eines Agenten lokal auf einem (Z)GM.

8 Unterstützung bei der gesicherten Vertragszustimmung zwischen zwei Agenten auf einem (Z)GM.

9 Sicherung und Nachvollziehbarkeit von Vor- und Vollreservierungen zwischen den Agenten eines Verbindungsdienst- und eines Ressourcenanbieters auf einem (Z)GM.

10 Autorisierung eines MOBAGs oder des entsprechenden Verbindungsdienstanbieteragenten für das Klonen weiterer Geschwisteragenten.

11 Auditing von Kommunikationsereignissen, Migrationen und Transaktionen auf einem (Z)GM.

5.12.5 Security-Konzept

Bei allen hier vorgenommenen Betrachtungen wird zur Vereinfachung von einer gesicherten Urinstallation der den VC-Markt restituierenden GMs ausgegangen. Dieses stellt allerdings eine nicht zu unterschätzende Forderung dar, weil ein stark verteiltes System auch eine Vielzahl an möglichen Angriffspunkten offeriert. Zudem wird gefordert, daß der Zugriff auf die installierte Hard- und Software der Plattformen bzw. GMs hinreichend gesichert ist. Desweiteren erfolgt keine Berücksichtigung implementierungstechnischer Aspekte, welche auch auf die Effizienz des hier vorgeschlagenen Konzeptes abheben. Die Betrachtung rechtlicher Aspekte, welche für eine Realisierung von großer Relevanz sein können, wird hier nur ansatzweise diskutiert (s.a. [348]).

5.12.5.1 Trust-Modell für den VC-Markt

Existieren in einem System Entitäten unterschiedlicher Parteien, so sind für die zwischen ihnen ablaufenden Vorgänge wie bspw. eine Autorisierung Vertrauensverhältnisse unabdingbar. Sie werden im sogenannten Trust-Modell für das System dargestellt. Gerade im Bereich der agentenorientierten Systeme ist es notwendig, die Sicherstellung von Vertrauensverhältnissen zu automatisieren und damit die Grundlage für das autonome Handeln der Agenten zu schaffen. Vertrauen ist dabei i.d.R. weder transitiv noch symmetrisch. Die Frage nach dem „Vertrauen in was?“ ist hier zu klären. Entitäten, die ihre gegenseitigen Identitäten per Authentifikation kennen, müssen sich nicht zwangläufig bei allen Operationen vertrauen. Differenzierte Absicherungen sind hier i.d.R. notwendig.

Mit der Beschreibung der Sicherheitsaufgaben in Kapitel 5.12.4 wurden die im VC-Markt geltenden Vertrauensverhältnisse zwischen den Vertretern der vier Rollen schon partiell definiert. Es wird von einer wohlbekannten Menge an Ressourcen- und Verbindungsdienstanbietern ausgegangen. Sie stellen eine geschlossene Benutzergruppe dar, die jedoch um Teilnehmer erweitert oder aber reduziert werden kann.

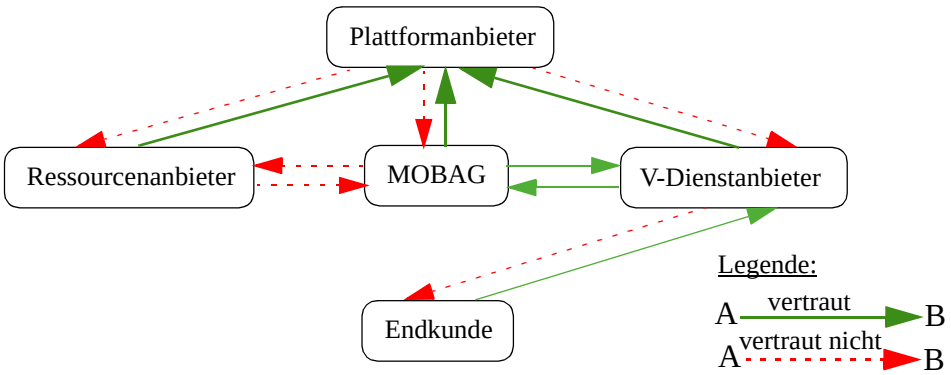


Abbildung 5-18: Vertrauensverhältnisse im VC-Markt

Das für die Sicherheitsinfrastruktur vorausgesetzte Trust-Modell ist in der Abbildung 5-18 dargestellt. Vertrauen (Trust) bedeutet in diesem Kontext, daß nach erfolgter Authentifikation die Entitäten Mißbrauch durch die jeweils andere Partei ausschließen. Instanzen der Rollen Ressourcenanbieter, MOBAG und Verbindungsdienstanbieter (V-Dienstanbieter) vertrauen ihrem aktuellen Plattformanbieter und schließen ergo Mißbrauch von seiner Seite her aus. Umgekehrt gilt diese Relation aber nicht, d.h. auch wenn sich diese Entitäten gegenüber einem Plattformanbieter authentifiziert haben, so unterliegen sie dennoch seiner Beobachtung

und Kontrolle. Diese Voraussetzung ist mit Situationen im realen Leben vergleichbar, in denen bspw. ein Kunde in punkto Sorgfaltspflicht seiner Hausbank vertraut, umgekehrt diese von ihm jedoch gewisse Rechtsnachweise oder auch finanzielle Sicherheiten fordert.

Ähnliche Verhältnisse gelten im vorliegenden Modell auch zwischen einem Endkunden sowie einem Verbindungsdienstanbieter. Zwischen den MOBAGs und den sie erzeugenden Verbindungsdienstanbietern herrscht gegenseitiges Vertrauen. Dieses gilt nicht für MOBAGs und fremde Verbindungsdienstanbieter. Auch vertrauen sich die MOBAGs untereinander nicht, falls sie von Verbindungsdienstanbietern, die unterschiedlichen Parteien angehörig sind, instanziiert wurden. Die Geschwisteragenten, die ein und demselben Verbindungsdienstanbieter zugeordnet sind, vertrauen sich hingegen sehr wohl, da ansonsten die Grundlage zur Kooperationsfähigkeit nicht gegeben wäre. Ressourcenanbieter und MOBAGs vertrauen sich i.d.R. nicht. Eine Ausnahme besteht dann, wenn ein Ressourcenanbieter gleichfalls auch Verbindungsdienstanbieter und Erzeuger des jeweiligen MOBAGs ist. Die Plattformanbieter wiederum schenken sich untereinander Vertrauen, sofern sie sich gegenseitig korrekt authentifiziert haben. Die explizite Darstellung von Vertrauensverhältnissen zwischen Plattformanbieter geschieht mittels sogenannter Platform Trust Lists (PTLs). In ihnen sind die öffentlichen Schlüssel der Plattformanbieter verzeichnet, denen vertraut wird. Diese Informationen sind immer dann notwendig, wenn Interaktionen wie bspw. Migrationsvorgänge zwischen den Plattformen ablaufen. Können sich Plattformanbieter gegenseitig korrekt authentifizieren, so wird eine der vorab festgelegten Interaktionen wie bspw. eben ein Migrationsprozeß zwischen ihnen auch vollzogen.

5.12.5.2 Security-Infrastruktur

Die im VC-Markt befindlichen Agenten verfügen über gewisse Securityfunktionalitäten. Diese sind mit Blick auf die Performanz und Ressourcenverfügbarkeit bei statischen und mobilen Agenten zu differenzieren. Mobile Agenten zeichnen sich i.d.R. durch Zeitknappheit aus. Schon allein deswegen sind gewisse Sicherheitsdienstleistungen, die von der Plattform lokal angeboten und effizient erbracht werden, vorzusehen. Diese Forderung ist konform mit der Voraussetzung, daß ein Agent seiner lokalen Umgebung vertraut. Ferner macht es keinen Sinn, die notwendigen Sicherheitsalgorithmen in jedem MOBAG identisch und somit redundant verfügbar zu halten und somit seine Größe sowie die damit verbundenen Übertragungszeiten bei der Migration zu erhöhen. Daher wird die Infrastruktur der GMs um die Sicherheits- oder auch Security-Agenten (SA) bereichert. Sie übernehmen Aufgaben wie beispielsweise die Zertifikatsverwaltung, Authentifikationen u.a. (vgl. Abbildung 5-19). Die hier vorgestellten Konzepte lehnen sich teilweise an die im Projekt SIATA des DAI-Labors an der TU-Berlin durchgeführten Arbeiten an [347].

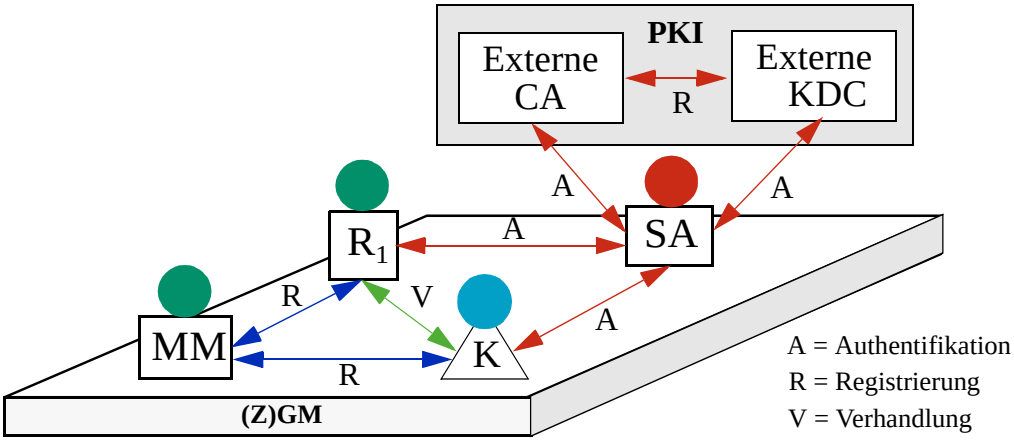


Abbildung 5-19: Security-Infrastruktur eines GMs

Die vom SA auf einem GM angebotenen Sicherheitsdienstleistungen können von den anderen Agenten in Anspruch genommen werden. Mit ihrer Hilfe kann der MM eines GMs z.B. klären, ob ein MOBAG von einem entsprechenden Verbindungsdienstanbieter auf seinen Marktplatz migrieren darf. Der SA übernimmt GM-lokal die Aufgaben eines KDCs. Hierzu zählen insbesondere die Verwaltung und Übermittlung von Zertifikaten mit öffentlichen Schlüsseln, auf deren Basis die Agentenakteure identifiziert werden können. Zertifikate können dabei den Status gültig, ungültig oder zurückgezogen einnehmen, was vom SA jeweils zu unterstützen ist. Für lokal nicht verfügbare Zertifikate steht der SA mit einer externen KDC in Verbindung. Ein Akteur respektive sein Agent muß in der Lage sein, sein Zertifikat bei der entsprechenden CA zurückzuziehen. Diese Zertifikate werden hierzu in den Certificate Revocation Lists (CRLs) vermerkt und sind vom SA in regelmäßigen Abständen via Anfragen an eine oder auch mehrere externe CAs zu aktualisieren (vgl. Abbildung 5-19). Die Kommunikation des SA mit der PKI muß entsprechend abgesichert sein. Die Erzeugung neuer Zertifikate sollte aus Sicherheitsgründen aber nicht online ablaufen. Die notwendigen Daten müssen die Organisation des SA auf einem sicheren externen Weg erreichen. Der SA verwaltet ebenso die schon beschriebene PTL, in welcher die Zertifikate der GMs gelistet sind, denen vertraut wird.

5.12.5.3 Sicherung der Agentenkommunikation

Unterschieden wird hier nach lokaler bzw. netzweiter Agentenkommunikation. Da der größere Anteil der Kommunikation zwischen den Agenten lokal auf einem GM abläuft, sind hier effiziente Mechanismen zur Absicherung vorzusehen.

Lokale Agentenkommunikation

Voraussetzung für die lokale Kommunikation zwischen den Agenten ist ein gewisses Maß an Vertrauen in die Plattform bzw. den GM, den sie ja letztlich auch betreten haben. Da sich die Agentenakteure aber untereinander nicht vertrauen, müssen hier plattformseitig abgesicherte Kommunikationsslots zur Verfügung gestellt werden. Über einen solchen Slot laufen dann bspw. die Verhandlungensitzungen für die VC-Teilstrecken effizient ab. Hardwaretechnisch kann bspw. durch den Einsatz einer MMU der Zugriff der Agenten auf diese Slots, differenziert nach beabsichtigter Operation wie Lesen oder Schreiben, gesteuert werden. Der eigentlichen Kommunikation können zusätzliche Sicherheitsmerkmale wie Authentifikation oder Verschlüsselung vorgeschaltet werden.

Netzweite Agentenkommunikation

Prinzipiell kann die netzweite Kommunikation über einen sicheren oder einen unsicheren Transportkanal erfolgen. Da die Agenten geheimes Schlüsselmaterial mit sich führen können, sind hier gesicherte Transport- und Kommunikationskanäle zu fordern. Sie sind durch ähnliche Protokolle, wie sie beim Secure Socket Link Verfahren (SSL) Anwendung finden, zu realisieren. Als Grundlage für die Übermittlung von MOBAGs wie auch Sprechakten dienen die Signalisierungskanäle. Aus Effizienzgründen sollten sie permanent eingerichtet und geöffnet sein, damit für sporadisch ausgetauschte Kommunikationselemente nicht immer wieder das Sicherungsprotokoll durchlaufen werden muß.

5.12.5.4 Authentifizierung der Agentenakteure

Der SA bietet zur Überprüfung von Signaturen GM-lokal den sogenannten Signaturprüfdienst an. Die Kommunikation der Stellvertreteragenten mit dem SA ist hierbei mindestens so abgesichert, wie ihre gegenseitige Kommunikation untereinander. Die anfragende Agenteninstanz sendet die signierte Information an den SA und erhält von diesem dann das Ergebnis der Überprüfung zurück. Durch die Auslagerung der Signaturüberprüfung an den SA als einer GM-zentralen Instanz kann eine bessere Effizienz erreicht werden.

Indentifikation des Endkunden

Mit der vorgestellten Security-Infrastruktur können die in Kapitel 5.12.4 unter Punkt 1 bis Punkt 3 geforderten Authentifikationen durchgeführt werden. Der Endkunde kann prinzipiell durch seinen Anschluß im Netzzugangsbereich identifiziert werden. Besteht jedoch die Gefahr, daß dieser Anschluß angezapft werden kann, so ist eine gesonderte Authentifizierung des Endkunden auf der Basis seines Zertifikates vorzunehmen. Falls dieses lokal nicht verfügbar ist, muß es durch den SA auf dem ZGM von einer externen CA beschafft werden.

Indentifikation der Stellvertreteragenten

Die residenten Stellvertreteragenten der Ressourcendienstanbieter sowie der Verbindungsdienstanbieter werden vom SA auf ihre Zugehörigkeit zu einer Partei geprüft, indem ihre Signaturen an Code und Daten mit dem öffentlichen Schlüssel aus dem Zertifikat der entsprechenden Partei verifiziert wird. Dieser Vorgang findet statt, sobald die Agenten ihren Ziel-(Z)GM erreicht haben, und hat somit nur einmal zu erfolgen. Nach der Authentifizierung können diese Agenten dann auf dem GM vom MM registriert werden. Dieser Vorgang läuft analog auch für die MOBAGs bei jeder Migration ab. Die Identität einer Entität kann hiernach dann einfach vom MM abgefragt werden und muß nicht jeweils neu überprüft werden.

5.12.5.5 Autorisierung der Agentenakteure

Zur Durchführung sicherheitsrelevanter Aktivitäten oder Nutzung von Diensten im VC-Markt bedarf es einer Zugangskontrolle, d.h. Agenten müssen entsprechend autorisiert sein. Service Control Lists (SCL) regeln im Rahmen der Service Control Mechanisms (SCM) den Zugriff auf die von einem Agenten oder System angebotenen Dienste. Die Autorisierung muß unzweifelhaft und eindeutig durchgeführt werden können, was mit Hilfe asymmetrischer Schlüssel realisiert werden kann. Andererseits dürfen geheime Langzeitschlüssel schon aus rechtlicher Sicht die Arbeitsumgebung eines Benutzers nicht verlassen. Will ein mobiler Agent stellvertretend für seinen Benutzer an kryptografischen Verfahren teilhaben, so muß er aber über geheimes Schlüsselmaterial verfügen und dieses folglich mit sich führen. Zur Lösung dieser Problematik erhält der mobile Agent sogenannte kurzzeitige Langzeitgeheimnisse (vgl. [347]). Dabei wird ihm zusätzlich ein Zertifikat, welches den öffentlichen Teil des eigens generierten Kurzzeitschlüssels enthält, mitgegeben. Dieses Zertifikat wird mit Hilfe des geheimen Langzeitschlüssels des Benutzers signiert und enthält insbesondere auch die Identifikation des Benutzers, über den ein Langzeitzertifikat von einem KDC erfragbar ist. Wiederum werden auch hier hohe Anforderungen an das Vertrauensverhältnis vom Agenten zum Plattformbetreiber sowie an die Kommunikationswege gestellt. Für die Überprüfung des Gültigkeitszeitraumes sind lose synchronisierte Uhren ebenfalls eine Vorbedingung. Der Ansatz ist insofern problematisch, als da der Agent im Falle eines Verlustes oder des Ablaufens des Gültigkeitsdatums seines Geheimnisses temporär handlungsunfähig werden kann. Neue Geheimnisse müßte er sich entweder zuschicken lassen, was aufgrund eines fehlenden Identitätsnachweises sicherheitsbedenklich ist, oder aber selbst von seiner Benutzerumgebung abholen. Das Risiko des Mißbrauchs bei Verlust seines Geheimnisses ist aufgrund der zeitlichen Gültigkeitsdauer, die für einen Verbindungsaufbau i.d.R. im Minutenbereich liegt, skalierbar. Es verbleibt hier die Frage, inwieweit derart geschlossene Verträge im Sinne des Signaturgesetzes rechtlich bindend sind, da ja keine eindeutige Willenserklärung der entsprechenden Identität vorliegt und geheimes Material die Platt-

form des Benutzers verlassen hat. Eine Legitimierung kann hingegen auch mit Hilfe von Delegation Certificates (DC) erreicht werden [328]. Durch den Verzicht auf einen globalen Namensraum und entsprechend zusammenhängenden Vertrauensverhältnissen können anonyme Dienstnutzungen realisiert werden. Zu diesem Zweck wird anstelle der Identität der öffentliche Schlüssel des Berechtigten im Zertifikat eingetragen.

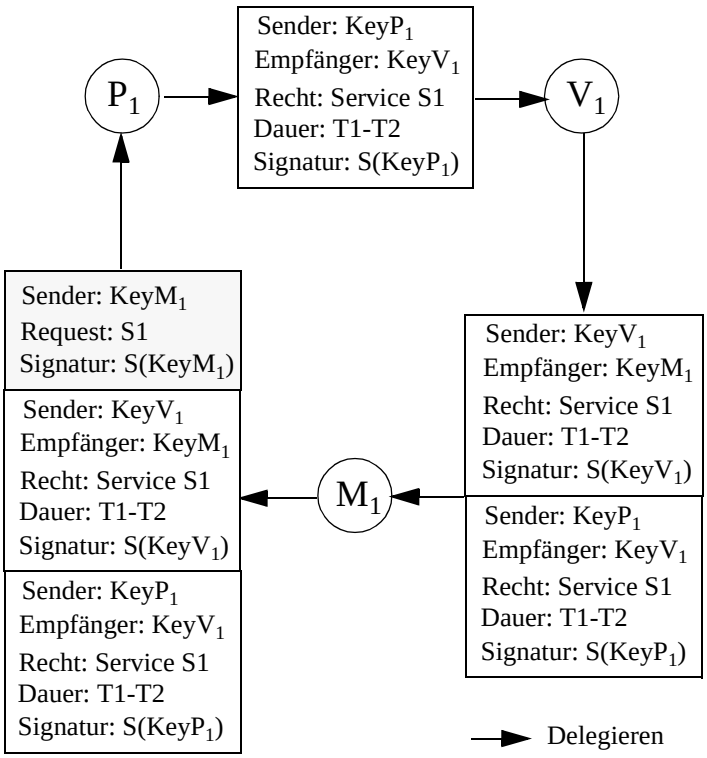


Abbildung 5-20: Dezentrale Zugriffskontrolle via DCs

In der Abbildung 5-20 übergibt bspw. der Anbieter P_1 initial ein Zertifikat an V_1. Letzterer erweitert das Zertifikat mit M_1 als neuem Berechtigtem und gibt es nach dem Signieren mit seinem privaten Langzeitschlüssel an M_1 weiter. Die Zuordnung seines öffentlichen Schlüssels $KeyV_1$ zu seiner Identität ist nicht ohne weiteres möglich. Um die Gültigkeit der Berechtigung prüfen zu können, müssen von M_1 alle Zertifikate bei der Dienstnutzung an P_1 übergeben werden. Die Sicherheit der Zertifikatskette ist abhängig von der Sicherheit eines jedes verwendeten Schlüsselpaares. Ihre Gültigkeit endet mit Ablauf eines beliebigen Zertifikates in der Kette. Auf der Basis von DCs können die Verbindungsdienstanbieter sowie ihre MOBAGs bspw. mit dem Recht zum Klonen ausgestattet werden.

5.12.5.6 Mobilität und Agentenmigration

Im Falle der Migration eines Agenten gelangen dessen vertrauliche Daten in die Laufzeitumgebung der Zielplattform und somit in deren Verfügungsgewalt. Umgekehrt muß der Plattformbetreiber darauf vertrauen, daß sich der Agent korrekt verhält und keine unerwünschten bzw. unerlaubten Handlungen durchführt. Vertrauen zwischen dem mobilen Agenten und dem Plattformanbieter bildet die Grundlage für ihre Zusammenarbeit.

Dennoch muß auch hier differenziert werden, denn in der Befähigung der Agenten, eigenständig und autonom zu agieren, liegt zugleich auch die Gefahr, daß sie sich möglicherweise mutwillig oder unbeabsichtigt fehlverhalten. Neben den schon diskutierten Angriffen des Ausspähens oder Vortäuschens ist hier der sogenannte Denial of Service Attack (DoS) relevant, bei dem durch übermäßige Ressourceninanspruchnahme die Nutzung eines Dienstes für andere Agenten blockiert werden kann. Ein Angreifer kann hierzu auf einem GM bspw. die Anzahl der Sprechakte derart steigern, daß durch ihre Abarbeitung eine Überlastsitutation entsteht. Ebenso besteht die Möglichkeit, durch die schon erwähnte unkontrollierte Replikation von Agenten die Ressourcen auf einem GM als auch das Transportnetz für die Migration übermäßig zu belasten und einen regulären Betrieb zu unterbinden. Derartigen Attacken kann z.B. durch ein entsprechendes Managementsystem mit Quota-Mechanismen entgegengewirkt werden. Die Aufenthaltsumgebung auf einem GM offeriert einem Agenten nur ein begrenztes Maß an Ressourcen. Bei den Verhandlungen dagegen muß der MM den Sprechaktverkehr kontrollieren und bei Mißbrauch gegebenenfalls die Verhandlung zum Schutz der übrigen Teilnehmer abbrechen. In Kapitel 6 wird hierzu ein Automatenmodell vorgestellt, welches die Zustände beim Kunden und beim Anbieter reflektiert und diese somit für ihn überprüfbar macht. Generell gilt, daß die Kommunikationsverhältnisse der Agenten untereinander streng geregelt und kontrollierbar sein müssen.

Replikationskontrolle via Delegation Certificates

Will ein Verbindungsdienstanbieter die parallele Wegsuche durch mehr als einen MOBAG unterstützen, so muß er mit dem Recht, Klone erzeugen zu dürfen, ausgestattet sein. Dieses Recht kann die maximal zulässige Anzahl k an Agentenklonen für einen Verbindungsaufbau im Netzwerk beinhalten und sollte prinzipiell von den Plattformanbietern pro Verbindungsanforderung vergeben werden, da sie letztlich für die Aufnahme der MOBAGs Ressourcen bereitstellen müssen. Damit sich die MOBAGs im Netz selbständig, aber kontrolliert duplizieren können, müssen auch ihnen hierzu Rechte eingeräumt werden. Mit Hilfe von DCs können diese Rechte an zweite und dritte Parteien im System übertragen werden [328]. DCs unterstützten aufgrund ihrer inhärenten Wiederverwendbarkeit keine Beschränkung der Zugriffshäufigkeit. Ohne zusätzliche Mechanismen könnte eine Zertifikatskette für weitere Autorisierungen einfach kopiert werden, was einer Replay-

Attacke gleichkommt. Notwendig sind Identifikatoren wie bspw. Zähler, um Mehrfachzugriffe erkennen zu können. Diese Identifikatoren dürfen nur von hierzu autorisierten Parteien generiert oder verändert werden. Das initiale Recht des Verbindungsdienstanbieters für k Klonvorgänge wird dieser an seine MOBAG weitergeben. Dupliziert sich der MOBAG auf einem GM im Netz, so müssen vom lokalen MM zwei neue Zertifikate zur Verfügung gestellt werden. Sie verbriefen das Recht weitere Agentenklone zu generieren. Bei der Ausstellung der Zertifikate muß der MM die Anzahl der noch zulässigen Agentenklone berücksichtigen. Der die Duplikation initiierende MOBAG muß über die Aufteilung der noch verfügbaren Replikationsvorgänge auf sich und seinen Geschwisteragenten entscheiden, was dann in deren DCs eingetragen wird. Die Gesamtanzahl möglicher Klone entspricht bei diesem Verfahren 2^k, falls in jeder Reproduktionsphase genau eine Kopie erzeugt wird. Sie wächst also exponentiell an. Eine Alternative besteht darin, für den Klonvorgang und letztlich die Benutzung der GMs eine Gebühr zu verlangen. Die Anzahl der Klonvorgänge wäre demnach direkt abhängig von der finanziellen Ausstattung eines Agenten, da er für jede Reproduktion zahlen muß.

Signierung des Agentencodes

Um festzustellen, ob ein MOBAG auch wirklich von der angegebenen Identität stammt, wird sein Codeanteil mit dem Langzeitschlüssel des Verbindungsdienstanbieters signiert. Manipulationen am Code können somit sofort festgestellt werden. Vorausgesetzt wird allerdings, daß Selbstmodifikationen des Agentencodes verboten sind (vgl. [347]).

Signierung der Konstantdaten

Ebenso wie der Code können auch Daten, welche während der Lebenszeit eines MOBAGs konstant bleiben, signiert werden. Hierzu zählt bspw. die vorberechnete Route oder die Menge der Kurzzeitzertifikate, die für den Abschluß von Kontrakten oder Klonvorgängen benötigt werden. Nach erfolgter Signierung sind diese Daten allerdings unveränderlich, da jede Modifikation als Attacke gewertet werden würde. Diese impliziert, daß bei jeder Migration auch alle Konstantdaten mit übertragen werden müssen, da ein Agent mit Datenfehlbestand ebenfalls als korrumpiert gilt. Die Unterscheidung nach Konstantdaten sowie deren Signierung bedarf allerdings einer netzweiten Regelung (Policy) (vgl. [347]).

Migration Control Lists

Ein MOBAG verfügt über eine Migration Control List (MCL). In ihr sind alle Plattformanbieter aufgeführt, denen der MOBAG vertraut, sofern sie sich ihm gegenüber korrekt authentifizieren können. Im Zuge des später noch zu diskutierenden Routingverfahrens kann neben der Bestimmung der Ressourcenverfügbarkeit und der Kosten auch die Vertrauensprüfung seitens der zu traversierenden Plattformen respektive GMs vorgenommen werden.

5.12.6 Die Vergebührung der Verbindungsdienste

Die unabhängige Feststellung als auch Überprüfung der durch einen Endkunden tatsächlich in Anspruch genommenen Ressourcen muß vom Plattformbetreiber in seiner Funktion als der TTP im System vorgenommen werden. Das Charging ist vom Ressourcen- bzw. Verbindungsdienstanbieter zu tätigen. Die Bezahlung sollte aus Aufwandsgründen nicht lokal auf dem GM stattfinden. Stattdessen ist ein nachträgliches Inkasso (credit-based payment) zu bevorzugen.

5.12.7 Bilaterale und gesicherte Vertragszustimmung

Im realen Leben werden Vertragsabschlüsse aufgrund vorhandenen Mißtrauens unter gegenseitiger Beobachtung der involvierten Parteien i.d.R. gleichzeitig getätigt. Zur Absicherung eines Vertrages zwischen einem Käuferagenten K und einem Anbieteragenten A in einem Elektronischen Markt wird hierzu der SA als Third Trusted Party zwischengeschaltet. Er übernimmt somit die Funktion des Arbitrators (vgl. [347]).

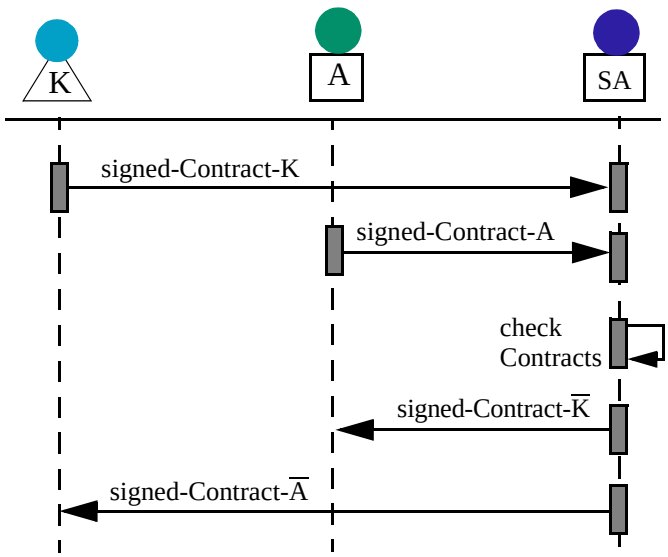


Abbildung 5-21: Protokoll einer gesicherten Vertragszustimmung

Sowohl der Käufer- als auch der Verkäuferagent signieren einen Hash über den zu sichernden Vertrag und schicken diesen samt Vertrag an den SA. Letzterer informiert jede Parteien jeweils über den Erhalt des von der Gegenpartei signierten Vertrages und überprüft sowohl die Signaturen als auch die Inhalte der Verträge.

Verläuft diese Überprüfung positiv, hängt der SA an die Hashes beider Verträge das Datum und die aktuelle Uhrzeit an, signiert sie und schickt sie an die jeweilige Gegenpartei zurück. Erst dann ist der Vertrag rechtsgültig. Für den MOBAG als Käuferagenten bedeutet dieses, daß er für die Signierung den geheimen Kurzfristschlüssel mit sich führen muß.

5.12.8 Sichere Verwaltung vertraulicher Daten

Die sichere Speicherung und Verwaltung von vertraulichen Daten auf einer Plattform bzw. einem GM ist von zentraler Bedeutung. Zu diesen Daten zählen neben geheimen Schlüsseln oder Profilen auch operative Daten wie z.B. Abrechnungsinformationen oder Loggingdaten. Da Stellvertreteragenten unterschiedlicher Identitäten auf einem GM versammelt sind, müssen ihre Daten vor gegenseitigem Mißbrauch geschützt sein. Dieses wird von der Plattform, der alle lokalen Agenten vertrauen, durch ein Dateisystem mit Zugangskontrolle abgedeckt. Insbesondere die Loggingdaten können im Rahmen eines Auditingprozesses an externe Speichersysteme weitergegeben werden.

5.13 Zusammenfassung

Ausgehend von den aktuell identifizierbaren Trends im Tk-Markt sind im einem ersten Schritt die Entwicklungsfaktoren identifiziert worden, gemäß denen sich der Markt hinsichtlich seines Preis-/Leistungsangebotes auf der Basis z.Zt. verfügbarer Technologie weiter diversifiziert. In einem weiteren Schritt wurden dann der VC- sowie der VP-Ressourcenmarkt für ATM-basierte Netzwerke definiert, in ihren ökonomischen Eigenschaften diskutiert und mit bestehenden Ansätzen verglichen.

Der Gatewaymarktplatz, kurz GM genannt, ist als Grundelement des VC-Marktes in seiner Organisationsstruktur vorgestellt worden. Er stellt einen spezialisierten Übergangsswitch dar, welcher hinsichtlich der Integration mehrerer Anbieter sowie eines verhandlungsbasierten Vermittlungskonzeptes mit zusätzlichen Funktionen ausgestattet worden ist. Hierzu zählen neben der lokalen Zugangssteuerung (LCAC) für jene die Verbindung aufbauenden mobilen Agenten, kurz MOBAGs genannt, auch zusätzliche Hardware zur Ressourcenverwaltung auf Zellebene.

Seitens der agentenbasierten, bestätigten Verbindungsvermittlung wurden zwei grundsätzliche Alternativen der einfachen sowie der parallelen Wegesuche vorgestellt. Danach erfolgte die Einbettung der Markttransaktionsphasen in das allgemeine Phasenmodell verbindungsorientierter Kommunikation. Seitens des VC-Marktes wurden allgemeine wie spezielle Aufgaben identifiziert und seitens ihrer Anforderungen spezifiziert. Auf dieser Basis konnte mit der Definition der ele-

mentaren Kommunikations- und Kooperationskonstrukte in Form von Sprechakten und Kooperationsprotokollen sowie der insbesondere für den Ressourcenhandel notwendigen Ontologieelemente fortgefahren werden.

Die wesentlichen Anforderungen seitens der Sicherheit zwischen den verschiedenen Agentenakteuren wurden diskutiert. Ein Grundkonzept für eine Sicherheitsinfrastruktur wurde hiernach vorgestellt, welches diese Anforderungen abdeckt.

Den letzten Teil des Kapitels bildete die Diskussion der Agentenkategorien, die von ihnen zu bewältigenden Aufgaben sowie ihre hierzu notwendigen Eigenschaften und Fähigkeiten. Resümierend läßt sich abschließend nochmals feststellen, daß der VC-Markt in vorliegender Arbeit als eine Ergänzung zu den herkömmlichen Märkten im Telekommunikationsbereich verstanden wird. In seiner Ausprägung handelt es sich um eine WAN-Schnittstelle im Sinne der ITU-Empfehlung E.177 [I1]. Seine Ausdehnung wird u.a. von seiner Akzeptanz in punkto Preis/Leistungsverhältnis der erzeugten Endverbindungen abhängen. Diese Marktform ermöglicht zumindest auch Anbietern, die nicht in der Lage sind, ein einigermaßen flächendeckendes Kommunikationsnetz bereitzustellen, in einfacher Form am Ressourcenhandel für Endverbindungen teilzunehmen.

KAPITEL 6 Entwurf eines GM-lokalen Verhandlungsverfahrens

Nachdem im Kernkapitel 5.3 die Grundstruktur eines Ressourcenmarktplatzes in einem ATM-Netzwerk vorgestellt wurde, wird im folgenden nun ein Verhandlungsverfahren vorgeschlagen, auf dessen Basis die auf einem GM agierenden Agenten ihre Konditionen für einen Handelskontrakt ermitteln können. Verhandlungsverfahren manifestieren sich dabei durch gewisse Eigenschaften wie bspw. benötigte Zeitdauer, Optimalität des Ergebnisses usw. (vgl. Kapitel 4.3). Ausgehend von den in Kapitel 5.3.4.1 definierten wünschenswerten Eigenschaften auf einem GM erfolgt im Kernkapitel 6.3 der Mechanismusentwurf zur Unterstützung von bilateralen Verhandlungen. Eine Erweiterung zu multilateralen 1:m-Verhandlungen läßt sich für einen Agenten dabei leicht durch eine parallele Abarbeitung von m bilateralen Verhandlungsbeziehungen erreichen. Grundlegend für das Verfahren ist die Verwendung von Preisfunktionen, mit denen die subjektive Wertigkeit einer Produktvariante bestimmt wird, und die es den Agenten ermöglicht, gleichermaßen den Preis wie auch die Eigenschaften bzw. Attribute der Ware zu verhandeln. Im Gegensatz zu anderen Verfahren zeichnet sich dieser Ansatz dadurch aus, daß an die Preisfunktionen als einzige Anforderung die C(1)-Stetigkeit vorausgesetzt wird. Dennoch werden Konvergenz und Skalierbarkeit in Preis und Leistung sowie Faireßkriterien gewährleistet. Die sogenannten frühen Entscheidungskriterien ermöglichen darüberhinaus eine vorzeitige Beendigung des Verhandlungsprozesses bei gleichzeitiger Übereinkunft der Akteure. Am Ende des Kapitels erfolgt eine detaillierte Gegenüberstellung mit alternativen Ansätzen.

6.1 Grundsätzliche Annahmen und Voraussetzungen

Im folgenden werden die für das Verhandlungssystem relevanten Annahmen und Voraussetzungen definiert. Neben den bspw. rein organisatorischen Details sind hier Festlegungen zu den Produkt- und Preischarakterisierungen notwendig. Ebenfalls müssen seitens der Verhandlungsakteure mit Blick auf die Einschätzung ihres Verhaltens grundlegende Annahmen wie z.B. die der Rationalität getroffen werden.

6.1.1 Organisatorische Anforderungen

Zur Unterscheidung mehrerer Anbieter und Käufer auf einem Ressourcenmarktplatz sowie der einzelnen, zwischen ihnen ablaufenden Interaktionen werden seitens eines Verhandlungssystems diverse IDs benötigt:

- Service-ID
- Verhandlungs-ID
- Kontrakt-ID
- Kunden-ID
- Anbieter-ID

Kunde wie auch Anbieter müssen primär eindeutig identifiziert werden können. Die Verhandlungsbeziehung zwischen einem Kunden und einem Anbieter wird GM-lokal durch eine Verhandlungs-ID charakterisiert. Desweiteren ist eine Kontrakt-ID vorzusehen, welche einem Vertrag innerhalb einer maximal zulässigen Zeitspanne zugeordnet werden kann. Im Rahmen eines dienstorientierten Marktplatzes ist desweiteren die Bereitstellung einer Service-ID für den Verhandlungsdienst von Vorteil. Neben diesen für die Realisierung des Verfahrens erforderlichen Kennungen sind durchaus weitere Angaben wie z.B. Zertifikate, Lang- bzw. Kurzzeitschlüssel für die Umsetzung von Sicherheitsmechanismen notwendig, worauf im folgenden jedoch nicht weiter eingegangen wird.

6.1.2 Produkt- und Preischarakterisierung

Gegenstand bilateraler Verhandlungen sind verallgemeinert Waren bzw. Leistungen, die sich durch eine Anzahl von Kennwerten, im folgenden Attribute oder auch Parameter genannt, beschreiben lassen. Eine Definition der für ATM-Verbindungen relevanten Qualitätskriterien erfolgte schon in der Ontologiediskussion des Kapitel 5.10. Voraussetzung für sinnvolle Verhandlungen ist, daß Anbieter wie Kunden die Bedeutung dieser Parameter eindeutig verstehen. Desweiteren wird davon ausgegangen, daß die Parameter $a_1 ... a_p$ voneinander unabhängig sind.

Anbieter wie auch Kunden bilden mit Hilfe von Funktionen ihre subjektive Bewertung der verschiedenen Produkt- bzw. Leistungskombinationen auf einen Preis ab. Je nach Produktsparte lassen sich die möglichen Waren bzw. Leistungen häufig durch die Kombination einer endlichen Anzahl von Parameterwerten vollständig erfassen. Zur Preisbeschreibung reichen daher z.B. Tabellen aus. Finden jedoch reelle Wertebereiche wie bspw. beliebige Zeitspannen oder Bandbreiten Verwendung, so ist eine Verdichtung der Preisinformationen in Form von Funktionen von Vorteil. Zur Vereinfachung wird vorausgesetzt, daß kontinuierliche, reellwertige Preisfunktionen bei Anbieter wie Kunden existieren (vgl. Abbildung 6-1). Für sie wird angenommen, daß sie während der Zeitdauer der Verhandlung unveränderlich sind. Zudem seien die Preisfunktionen sowohl stetig als auch einmal stetig differenzierbar, d.h. aus C(1) sind. Dieses bedeutet, daß die Funktionen auf jedem Punkt ihres Gebietes definiert sind und keine „Sprünge“ oder „Knicke“ besitzen.

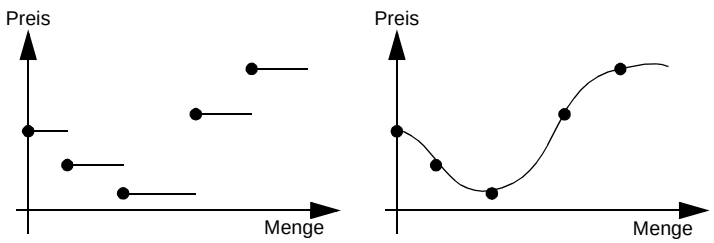


Abbildung 6-1: Diskrete und kontinuierliche Preisfunktionen

In der Abbildung 6-2 ist exemplarisch der durch die beiden Parameter a_1 und a_2 aufgespannte Parameterraum dargestellt. Zu erkennen sind die Gebiete G_A und G_K des Anbieters sowie des Kunden. Das Gebiet G_A gibt darüber Auskunft, in welchem Bereich das Waren- bzw. Leistungsspektrum des Anbieters liegt.

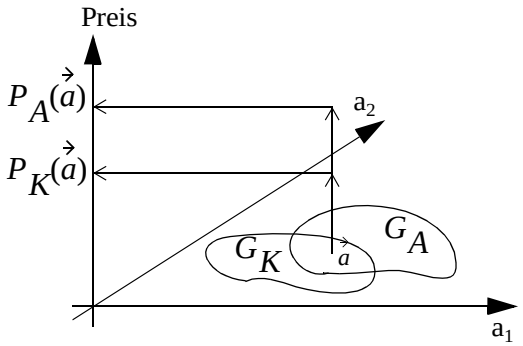


Abbildung 6-2: Parameterschnittmenge als Verhandlungsraum

Aufgrund der Beschränktheit der zur Verfügung stehenden Ressourcen ist G_A ebenfalls beschränkt. Kombinationen außerhalb dieses Bereiches sind vom Anbieter ergo nicht realisierbar. Umgekehrt gibt G_K an, welche Parameterkombinationen für den Kunden von Interesse sind. Parametervektoren außerhalb von G_K sind für den Kunden nicht verwendbar. Der für Verhandlungen relevante Bereich wird durch die Schnittmenge $G_N=G_K \cap G_A$ gebildet. Der Anbieter sollte nur das offerieren, was der Kunde wirklich gebrauchen kann. Im Gegenzug kann der Kunde nur das reservieren, was der Anbieter letztlich bereitzustellen im Stande ist. Zur Entkopplung der Parameter bei der Gebietsdefinition wird desweiteren von linearen anstelle von kurvenförmigen Intervallgrenzen ausgegangen, die sich pro Dimension durch exakt eine obere, sowie eine untere Schranke charakterisieren lassen. Dieses hat den Vorteil, daß die Schnittmenge G_N leicht durch Subtraktion der oberen und unteren Schranken zu bestimmen ist und selbst wiederum lineare Intervallgrenzen besitzt.

6.1.3 Annahmen über die Marktakteure

Die hier wesentlichste Annahme für Anbieter und Kunden besteht darin, daß sie sich rational und kooperativ verhalten. Rationalität beinhaltet, daß ein Akteur auf der Basis der ihm verfügbaren Informationen nachvollziehbare und somit sinnvolle Aktionen tätigt, welche seinen Nutzen optimieren [340]. Kooperation hingegen setzt voraus, daß Anbieter wie Kunden in der Lage sind, verbindliche Abmachungen zu treffen [338]. Voraussetzung hierzu ist neben der grundlegenden Fähigkeit zur Kommunikation die Durchsetzung der getroffenen Vereinbarungen. Wird, wie hier angenommen, diese Durchsetzung exogen durch eine dritte unparteiische Instanz vollzogen, so können sich die Akteure rein auf die Gestaltung ihrer Abmachungen und nicht auf die Bedingungen ihrer Durchsetzung konzentrieren. Im Fall einer Abweichung von einer Abmachung obliegt es der dritten überwachenden Instanz, den verantwortlichen Akteur zu „bestrafen“.

Eine weitere wichtige Voraussetzung besteht in der Annahme der Geheimhaltung. Kunden wie auch Anbieter verfolgen Strategien, welche sie zur Wahrung ihrer Optionen nicht offenlegen. Diese Strategien manifestieren sich zum Teil auch durch die Gestaltung ihrer Preisfunktionen. Kunde und Anbieter kennen ausschließlich ihre eigenen Preisfunktionen, nicht jedoch die des Verhandlungspartners [213]. Alle für die Generierung eines gemeinsamen Verhandlungsergebnisses notwendigen Informationen werden durch Kommunikation ausgetauscht.

Seitens der Preisfunktionen ist die subjektive Einschätzung der monetären Wertigkeit einer Ware zu unterscheiden von ihrem eigentlichen Nutzen, den Anbieter oder auch Käufer aus ihr beziehen [344]. So muß für den Kunden bspw. eine Leistung, welcher er einen hohen Preis zumißt, nicht unbedingt auch von größerem

Nutzen sein. Dieser Anspruch setzt seitens der möglichen Waren- bzw. Leistungskombinationen eine Substituierbarkeit voraus [77]. Das vom Kunden spezifizierte Parameterintervall für die Qualitätsattribute umfaßt die Menge der gültigen Kombinationen, welche untereinander seitens ihrer Verwendbarkeit vergleichbar sind. Hinsichtlich des Nutzens wird hier jedoch angenommen, daß der Kunde die Kombination präferiert, welche den geringste Geldaufwand erfordert, da hierdurch seine monetären Ressourcen geschont werden. Insofern kann die Nutzenfunktion in erster Näherung als Inverse der Preisfunktion definiert werden, d.h. wenig Geldeinsatz bringt einen hohen Nutzen während ein hoher Geldeinsatz den Nutzen verringert. Hingegen wird für den Anbieter angenommen, daß ein hoher Geldumsatz einen hohen Nutzen impliziert. Ein rational agierender Anbieter wird somit versuchen, seinen Kapitalumsatz bzw. Cash-Flow zu maximieren. Bei dieser Betrachtung werden die Gewinnspannen der Produkt- bzw. Leistungskombinationen vereinheitlicht, d.h. es wird angenommen, daß der Anbieter an einem preislich niedrig einzustufenden Produkt prozentual gleich viel verdient, wie an einem teuren. Allerdings ist der absolut verbleibende Gewinn eines teuren Produktes entsprechend höher als der eines vergleichsweise günstigeren.

Rationalität fordert in diesem Kontext, daß der Kunde möglichst wenig Geld für eine Ware ausgeben möchte, während der Anbieter jedoch möglichst viel Geld pro Wareneinsatz einzunehmen versucht. Zur Überbrückung dieser diametral entgegengesetzten Zielvorstellungen müssen sich Anbieter und Kunde in Preis und Leistung einander annähern. In der Abbildung 6-2 ist dieses grafisch dargestellt[1]. Die Differenz zwischen der Preisfunktion des Anbieters und des Kunden ist zu minimieren, d.h. folgendes Problem ist zu lösen: $(P_A(\underline{a})-P_K(\underline{a}))<=0$. Die Annäherung an das Minimum dieser Differenzfunktion vollzieht sich im Rahmen des wechselseitigen Verhandlungsprozesses. Neben dem Preis, welcher einer Parameterkombination zugemessen wird, können sich die Verhandlungspartner desweiteren mitteilen, welche Änderungen im Preis bei einer entsprechenden Modifikation der einzelnen Parameter zu erwarten sind. Eine perfekte Preisübereinkunft ist dann gegeben, wenn $P_A(\underline{a})=P_K(\underline{a})$ gilt. Der Kunde hat einen Preisvorteil errungen, wenn der von ihm veranschlagte Preis für eine Parameterkombination über dem vom Anbieter geforderten Preis liegt, d.h. wenn $P_A(\underline{a})<P_K(\underline{a})$ gilt. Für den erfolgreichen Abschluß einer Preisverhandlung muß keine perfekte Preisübereinkunft gegeben sein.

Die Verhandlung des reinen Preises bei feststehendem Parametervektor erfordert vom Anbieter wie auch vom Kunden ein gewisses Toleranzintervall, innerhalb dessen sie sich aufeinander zubewegen können. Dieses Intervall wird mit dem Preisabschlag des Kunden bzw. der Gewinnspanne des Anbieters gleichgesetzt. Ihre Preisfunktionen entsprechen somit folgenden Ausdrücken:

1. Aufgrund der begrenzten Darstellungsmöglichkeiten mathematischer Elemente im Text wird hier im folgenden ein Vektor durch einen einzelnen, unterstrichenen Buchstaben dargestellt.

$$P_A(\underline{a},t,z) = G_A(\underline{a}) + N_A(\underline{a},t,z) \quad \text{(GL 3)}$$

$$P_K(\underline{a},t,z) = G_K(\underline{a}) - N_K(\underline{a},t,z) \quad \text{(GL 4)}$$

Sowohl $G_A(\underline{a})$ als auch $G_K(\underline{a})$ entsprechen hier einer Toleranzgrenze. Für den Kunden gibt sie dabei an, welchen maximalen Preis $G_K(\underline{a})$ er für eine Produktkombination zu zahlen bereit ist. Sie stellt quasi seinen persönlichen Grenzwert für jede Produktkombination dar. Von diesem Wert wird die Preisspanne $N_K(\underline{a},t,z)$ abgezogen, welche dann seinen Verhandlungsspielraum festlegt. Sowohl die Verhandlungszeitdauer t als auch der zusätzliche Parameter z stellen dabei strategische Freiheitsgrade dar. Für den Anbieter gibt die Funktion $G_A(\underline{a})$ an, welchen Mindestpreis er für eine Produktkombination erwartet. Unter dieser Schwelle wird der Anbieter seine Ware nicht veräußern. Der Term $N_A(\underline{a},t,z)$ entspricht hier einem Preisaufschlag. Er kann sich im Zuge der Verhandlungen ändern und trägt wesentlich zum Nutzen des Anbieters bei. Um die Dominanz des Steigungsverhaltens der Grenzkostenfunktionen im Funktionsverlauf von $P_K(\underline{a},t,z)$ und $P_A(\underline{a},t,z)$ sicherzustellen, seien $N_K(\underline{a},t,z)$ bzw. $N_A(\underline{a},t,z)$ im folgenden abhängig von den Grenzkosten. Sie lassen sich dann wie folgt schreiben:

$$N_A(\underline{a},t,z) = \alpha_A(t,z) * G_A(\underline{a}) \quad \text{(GL 5)}$$

$$N_K(\underline{a},t,z) = \alpha_K(t,z) * G_K(\underline{a}) \quad \text{(GL 6)}$$

Die Faktoren $\alpha_A(t,z)$ und $\alpha_K(t,z)$ stellen jeweils die Gewichtung für den Preisauf- bzw. Abschlag dar. Theoretisch können sie von Null bis unendlich variieren. In der Praxis jedoch werden sich die Auf- und Abschläge am Marktpreis orientieren. Für die Darstellung der Gesamtfunktionen ergeben sich daher nun folgende Ausdrücke:

$$P_A(\underline{a},t,z) = G_A(\underline{a}) * (1 + \alpha_A(t,z)) \quad \text{(GL 7)}$$

$$P_K(\underline{a},t,z) = G_K(\underline{a}) * (1 - \alpha_K(t,z)) \quad \text{(GL 8)}$$

Durch die Abhängigkeit von der Zeit lassen sich die Funktionen $\alpha_A(t,z)$ und $\alpha_K(t,z)$ im Rahmen der bilateralen Verhandlungen als Beschleunigungsfunktionen für die Preiskonvergenz benutzen. Ihre Werte konvergieren dabei insbesondere mit ansteigender Zeit t von einem positiven Maximum aus gegen Null. Die Konvergenzgeschwindigkeit kann dabei von den Akteuren selbst bestimmt werden. Mit dem zusätzlichen Parameter z ergibt sich für sie ein weiterer Freiheitsgrad für die Veränderung des Preisauf- bzw.- abschlags. Wesentlich ist, daß $\alpha_A(t,z)$ und $\alpha_K(t,z)$ seitens ihres Steigungsverhaltens streng monoton fallend sind. Dieses bedeutet für die Preisfunktion des Anbieters, daß Steigungen gedämpft und Gefälle verstärkt werden. Beim Kunden werden umgekehrt Steigungen verstärkt und Gefälle im Funktionsverlauf gedämpft. Durch die Wahl von $\alpha_A(t,z)$ und $\alpha_K(t,z)$ lassen sich

dabei recht unterschiedliche Konvergenzgeschwindigkeiten erreichen. Einen Vorschlag hierzu macht Jennings [213] unter Verwendung von Polynomen sowie Exponentialfunktionen. Er klassifiziert die Funktionen zusätzlich nach Strategien, welche sich mit ihnen realisieren lassen. Neben der Zeit unterscheidet er auch die Menge verfügbarer Ressourcen als strategischen Freiheitsgrad. Letzteres ließe sich hier durch den Parameter z auskodieren. Allerdings stellen bei Jennings die Preisfunktionen hinsichtlich ihrer Parameter eine Linearkombination dar. Jeder dieser Parameter wird einzeln und isoliert von den übrigen verhandelt. Desweiteren gibt es keine Möglichkeit der Preisangleichung durch beliebige Parametervariationen.

Prinzipiell können Anbieter und Kunde zu einer Vereinbarung gelangen, sofern aus ihrer Sicht jeweils folgende Entscheidungskriterien erfüllt sind:

$$P_K(\underline{a},t,z) = G_K(\underline{a}) * (1 - \alpha_K(t,z)) \geq G_A(\underline{a}) \quad \text{(GL 9)}$$

$$P_A(\underline{a},t,z) = G_A(\underline{a}) * (1 + \alpha_A(t,z)) \leq G_K(\underline{a}) \quad \text{(GL 10)}$$

Die Ungleichungen (GL 9) sowie (GL 10) sagen aus, daß der Anbieter zu einer Offerte eine Konzession machen kann, solange sie nur preislich über seinem Grenzwert $G_A(\underline{a})$ liegt und der Kunde umgekehrt Preise akzeptieren kann, welche kleiner oder gleich seiner oberen Grenze $G_K(\underline{a})$ sind. Darüberhinaus ist in den Ungleichungen der Umstand enthalten, daß Kunde wie auch Anbieter ausgehend vom momentanen Verhandlungspreis nicht ersehen können, inwieweit der Verhandlungspartner seine Grenzkosten schon erreicht hat.

6.2 Richtlinien für lokale Verhandlungen

Auf einem GM verhandeln Anbieter wie Kunden unter Beachtung gewisser Verhaltensregeln [255]. Letztere bestimmen auch, welche Restriktionen zwischen den Akteuren seitens ihres Verhandlungsprozesses existieren und von welchen Voraussetzungen sie ausgehen können. Diese Verhaltensrichtlinien bzw. Konventionen müssen jedem Akteur vor seinem Eintritt auf einem GM bekannt sein. Bevor nun jedoch eine Definition dieser Verhandlungskonventionen erfolgt, werden die strategischen Aspekte auf dem GM näher untersucht. Ausgehend hiervon erfolgt dann eine Definition wünschenswerter Eigenschaften des lokalen Verhandlungssystems.

6.2.1 Diskussion unterschiedlicher Marktsituationen

Bei der Diskussion der strategischen Dimensionen im hier vorgestellten Marktkonzept muß neben der Unterscheidung nach globaler bzw. lokaler Betrachtung auch das Angebot mit Blick auf eine Monopol-, Dyopol- oder Polypolsituation unterschieden werden. Neben der Anzahl der verfügbaren Anbieter ist gleichsam auch

das Kundenaufkommen auf einem GM bei der qualitativen Betrachtung der Marktverhältnisse als wesentlicher Faktor zu beachten. Eine weitere Verfeinerung würde sich hier durch die Untersuchung der pro abgehender Verbindungsstrecke verfügbaren Anbieter ergeben. Desweiteren nimmt der Faktor Zeit für die Kunden eine wichtige Stellung ein. Basierend auf der für einen Verbindungsaufbau maximal zur Verfügung stehenden Zeitdauer ist die Aufenthaltszeit des Kunden auf einem GM ebenfalls limitiert. Dieser Umstand kann vom Anbieter strategisch genutzt werden und führt u.U. zu unerwünschten Effekten auf einem Marktplatz. Das Ziel der hier durchgeführten Betrachtungen besteht letztlich darin, diese doch unerwünschten Effekte, welche auf einem GM auftreten können, zu identifizieren, damit sie vom Verhandlungssystem u.U. kontrolliert bzw. korrigiert werden.

6.2.1.1 Lokale Monopolsituation

Ist auf einem Marktplatz lediglich ein einziger Anbieter präsent, so liegt eine lokale Monopolsituation vor, d.h. alle abgehenden Verbindungen werden von diesem Anbieter kontrolliert. Der Monopolist ist sich seiner ausgezeichneten Position bewußt, d.h. er verfügt über die Information, daß er auf dem GM keinem lokalen Konkurrenten gegenübersteht. Dennoch besteht i.d.R. weiterhin ein globales Wettbewerbsverhältnis mit den Anbietern auf den übrigen GMs im Netzwerk. Die Stärke des Monopols ist hier insbesondere abhängig von der Position des GMs innerhalb der Netztopologie, sowie von Anzahl und Qualität der abgehenden Verbindungen. Durch den fehlenden Anbieterwettbewerb befindet sich der Kunde gegenüber dem Monopolisten prinzipiell in einer schwächeren Verhandlungsposition. Er muß sich daher dieses Umstandes bewußt sein, bevor er auf einen solchen GM eintritt. Mit steigender Anzahl an Kunden auf einem GM verschlechtert sich diese Grundsituation noch weiter, da sie zu einem Konkurrenzverhältnis der Kunden untereinander führt. Bedingt durch die vom Kunden zu beachtenden zeitlichen Beschränkungen hat der Monopolist die Möglichkeit, diesem bei den Verhandlungen nur marginal entgegenzukommen und ihn somit zeitlich unter Druck zu setzen. Dieses „Aushungern“ ist prinzipiell aber unerwünscht, da es weder den Durchsatz an Agenten noch den erzielten Ressourcen-/Kapitalumsatz auf einem GM fördert. Der Kunde kann dem strategisch auf zwei Arten entgegentreten. Entweder er bricht frühzeitig die Verhandlungen ab und traversiert über einen alternativen GM, oder aber er führt seine Verhandlungen weiter und läßt sein genaues Anforderungsprofil zugunsten eines breiten Verhandlungsbereiches möglichst offen. Notwendig ist hierzu natürlich, daß er den Startpreis bei Verhandlungsbeginn auch tief genug auswählt. Bedingt durch die verbleibende, globale Konkurrenzsituation hat der Anbieter nicht alle Freiheiten, den Preis vollständig zu diktieren. Jeder abwandernde Kunde mindert auch seinen Kapitalumsatz. Es ist somit davon auszugehen, daß sich ein Gleichgewicht zwischen der Bewertung der topologischen Position eines Anbieters im Netzwerk sowie dem Preis auf den übrigen GMs herausbildet.

6.2.1.2 Lokale Dyopolsituation

Die lokale Dyopolsituation ist durch das Vorhandensein von exakt zwei Anbietern auf einem GM charakterisiert, von denen angenommen wird, daß sie miteinander konkurrieren. Durch eine Kooperationsvereinbarung dieser beiden einzigen Anbieter besteht auf einem solchen Marktplatz eine erhöhte Chance auf die Bildung eines lokalen Kartells mit Monopolcharakter [96]. Derartige Kooperationen zwischen den Anbietern werden auf einem GM nicht zwangsläufig auch sanktioniert. Voraussetzung ist allerdings, daß der Wettbewerb auf netzweiter Ebene weiterhin ausreichend gesichert ist. Im Gegensatz hierzu kann zwischen den Anbietern auch ein Verdrängungskampf einsetzen, bei dem der Kunde seitens des Preiskampfes sicherlich am meisten profitieren würde. Gibt es eine netzglobale Präferenz für eine Verbindungsrichtung auf einem GM, so kann sich auch hier eine Monopolsituation herausbilden, falls ausschließlich ein einziger Anbieter hier Übertragungsbandbreite anbietet. Allerdings hält diese Betrachtung nur unter der Annahme stand, daß die Vorzugsrichtung mit allen anderen Verbindungsstrecken einen vergleichbar sehr viel höheren Nutzen hat. Im Falle eines ATM-Netzwerkes kann dieses bspw. eine Backboneverbindung im Weitverkehrsbereich sein, mit der große Distanzen überbrückt werden. Wie beim lokalen Monopol gilt auch hier, daß eine steigende Anzahl der Kunden die Verhandlungsposition der Anbieter prinzipiell stärkt. Durch eine steigende Nachfrage wandelt sich ein Käufermarkt mehr und mehr zu einem Verkäufermarkt.

6.2.1.3 Lokale Polypolsituation

Sind mehr wie zwei Anbieter auf dem GM präsent, so wird von einer lokalen Polypolsituation gesprochen. Er sollte auf jedem GM den Regelfall darstellen. Der Kunde hat, abhängig von der Menge seiner möglichen Ziel-GMs, i.d.R. mehrere Anbieter zur Auswahl. Von der zeitlichen Betrachtung her kann ergo argumentiert werden, daß der Anbieter bei einer zu „starren“ Verhandlungsposition befürchten muß, daß ihm ein Kunde abspringt und sich für einen alternativen, lokalen Mitwettbewerber entscheidet. Die Möglichkeit den Kunden somit zeitlich unter Zugzwang zu setzen sind hier, im Gegensatz zum lokalen Monopol, weitaus geringer. Im Falle von Zeitknappheit kann der Kunde aus strategischer Sicht bspw. auf eine extensive Verhandlung verzichten. Stattdessen bietet es sich für ihn an, den Anbietern eine exakte Leistungsdefinition vorzugeben, um so dann bei fixiertem Parametervektor ausschließlich über den Preis zu verhandeln. In diesem letzten Falle gibt dann der Kunde anstelle eines Verhandlungsbereichs sein exaktes Anforderungsprofil zugunsten einer reduzierten Verhandlungsphase preis. Polypolsituationen sind stark abhängig vom Verhältnis der auf dem Marktplatz befindlichen Anbieter und Kunden sowie ihrer Präferenzen seitens abgehender Verbindungen.

6.2.2 Zieleigenschaften des Verhandlungssystems

Zur Steigerung der Flexibilität und Akzeptanz werden im folgenden nun einige wünschenswerte Grundeigenschaften definiert, über die das Verhandlungsverfahren verfügen sollte. Betrachtet werden hierzu:

- Skalierbarkeit der Verhandlungen seitens Preis und Leistung bzw. Qualität
- Bedingt konvergenter Verhandlungsprozeß
- Weitestgehende Berücksichtigung der Kundenbedürfnisse
- Zeitliche Abschätzbarkeit eines Verhandlungsprozesses
- Geringe technische Anforderungen an Anbieter und Kunde

6.2.2.1 Ergebniskonvergenz

Das Ziel der Verhandlungsphase besteht letztlich darin, iterativ eine Konvergenz zwischen den Vorstellungen des Kunden hinsichtlich Preis und Dienstgüte, sowie dem Angebot des Anbieters zu erzielen. Unter der Prämisse rational agierender Teilnehmer ist eine Konvergenz des Ergebnisses immer dann notwendig, wenn die Preis-/Leistungsvorstellungen zwischen Kunden und Anbieter auseinanderklaffen. Die Ergebniskonvergenz basiert auf der gegenseitigen Modifikation der Offerten. Bei der Verhandlung stehen Anbieter wie Kunden zwei Freiheitsgrade zur Verfügung: Die Veränderung des Parametervektors, auch horizontale Verhandlung genannt, sowie die Preisgestaltung, die hier entsprechend als vertikale Verhandlung definiert wird. Die individuelle Bewertung eines Leistungsangebotes in Form eines Preises drückt sich bei den Verhandlungspartner durch eine Bewertungs- bzw. Preisfunktion aus. Im Sinne einer gerichteten Konvergenz ist es für beide Akteure nun wichtig zu wissen, in welchem Maße die jeweiligen Parameter für die Preisgestaltung verantwortlich sind. Anbieter wie auch Kunde spezifizieren dabei in ihren Offerten die quantitativen Auswirkungen einer Parameteränderung auf den resultierenden Preis. Kann nach endlich vielen Verhandlungsiterationen ein beidseitiger Konsens erzielt werden, so wird die Ware/Leistung verkauft. Natürlich haben beide Akteure auch die Möglichkeit, vorzeitig ein Angebot entweder zu akzeptieren oder aber den Verhandlungsablauf ganz abzubrechen.

6.2.2.2 Skalierbarkeit des Ergebniskonsenses

Skalierbarkeit bedeutet in diesem Zusammenhang, daß die Akteure Änderungen in Preis und Leistung hinreichend genau kontrollieren können. Über die Anzahl der Iterationen soll bei den Verhandlungen eine Verfeinerung des Ergebnisses und somit auch eine Skalierbarkeit hinsichtlich dessen Genauigkeit und Akzeptanz erreicht werden. Mehr Iterationen bedeuten aber auch einen größeren Zeitaufwand, den es hinreichend abzuschätzen gilt. Für den Kunden ist dieses um so wichtiger,

als da gerade er nur eine begrenzte Zeitdauer T_{Neg} für eine Verhandlungsphase auf dem GM zur Verfügung hat. Es ergibt sich folgender einfacher Zusammenhang:

$$\sum_{i \in I} T(i) \leq T_{Neg} \leq T_{ResNeg} \qquad \text{(GL 11)}$$

Gemäß (GL 11) darf die Summe der Zeiten T(i) für alle von einem Kunden durchgeführten Verhandlungsiterationen i sein zulässiges Zeitlimit T_{Neg} nicht überschreiten. Der Kunde muß daher selbst entscheiden, mit welchem Anbieter er wie lang bzw. über wieviele Iterationen hinweg verhandelt. Mit dem Limit T_{ResNeg} wird verhindert, das ein GM von endlos lang verhandelnden Kunden blockiert wird. Die individuelle Zeitschranke T_{Neg} muß somit kleiner gleich T_{ResNeg} sein. Im Gegenzug muß T_{ResNeg} aber groß genug sein, um sinnvolle Verhandlungen auch zu ermöglichen. Zur Abschätzung der Verhandlungsdauer muß zwischen Kunde und Anbieter am besten noch innerhalb der Informationsphase eine Vereinbarung seitens einer maximalen Antwortzeit getroffen werden. Dieses bedeutet, daß beide Parteien innerhalb einer festgelegten Zeit T_{resp} eine Rückmeldung auf eine ausstehende Frage, Offerte oder dergleichen erhalten. Der Kunde hat dann die Möglichkeit, die maximal mögliche Anzahl an Verhandlungsiterationen gemäß (GL 12) über seine zulässige Gesamtverhandlungsdauer sinnvoll abzuschätzen.

$$N_{max} = \frac{T_{Neg}}{T_{resp}} \qquad \text{(GL 12)}$$

Es ist allerdings auch möglich, daß keine speziellen Anforderungen seitens der Antwortzeit gestellt werden. Letztere wird somit zu einem strategischen Freiheitsgrad innerhalb dieses Marktkonzeptes. Die vorgegebene, maximal zulässige Verbindungsaufbauzeit $T_{SupConn}$ läßt sich in Relation zur Verhandlungs- sowie zur Migrationszeit gemäß (GL 13) als obere Zeitschranke charakterisieren:

$$\sum_{x=1}^{n} T_{Neg_x} + 2n \times T_{SupMig} \leq T_{SupConn} \qquad \text{(GL 13)}$$

Die Summe der vorberechneten zulässigen Verhandlungszeiten T_{Neg_x} seitens der n zu traversierenden Marktplätze zuzüglich der für die Hin- und Rückmigration benötigten Zeiten T_{SupMig} darf höchstens kleiner oder aber gleich $T_{SupConn}$ sein. Für jeden Migrationsvorgang wurde hier dabei vereinfachend die maximale auftretende Migrationszeitdauer T_{SupMig} angesetzt. Werden zusätzlich auch die Verhandlungszeiten T_{Neg_x} für alle n Marktplätze als gleich groß angenommen, so können diese gemäß dem in der Ungleichung (GL 14) dargestellten Zusammenhang vom Kunden abgeschätzt werden.

$$T_{\text{Neg_x}} \leq \frac{(\mathrm{T}_{\text{SupConn}} - 2n \times T_{\text{SupMig}})}{n} \leq \mathrm{T}_{\text{ResNeg}} \quad \text{(GL 14)}$$

Gemäß diesem Ausdruck werden auf jedem Marktplatz gleichlange Verhandlungszeiten verwendet. Innerhalb eines ATM-Netzwerkes könnte der Wert $\mathrm{T}_{\text{ResNeg}}$ als systemweite Konstante betrachtet werden, die es zu normieren gilt. Die Migration eines Agenten hängt wesentlich von seiner Größe und der ihm zur Verfügung stehenden Übertragungsbandbreite ab. Als obere Grenze für die Migrationszeit kann die Übermittlungszeit eines maximal großen Kundenagenten über die netzweit langsamste Verbindungsstrecke definiert werden. Im Hinblick auf die Integration IA-basierter Marktplätze in die Signalisierungsschicht kann von einer maximal zulässigen Agentengröße, sowie einer wohldefinierten Bandbreite des Signalisierungskanals ausgegangen werden. Die echtzeitgerechte Übertragung von Agenten begrenzter Größe kann mit herkömmlichen Techniken, wie sie heutigen Signalisierungssystemen wie dem CCSS7 existieren, vollzogen werden [I78].

6.2.3 Verhandlungskonventionen

Konventionen regeln die Rahmenbedingungen, unter denen sich hier Anbieter und Kunde auf einem Marktplatz geschäftlich einigen. Die Durchsetzung der Verhandlungskonventionen erfolgt durch eine unabhängige, dritte Instanz auf dem GM und ist hier somit exogener Natur. Der Vorteil dieses Ansatzes liegt darin, daß sich die Akteure bei ihren Verhandlungen nunmehr rein auf die Einigung seitens der Preis- bzw. Leistungskonditionen als denn auf die Bedingungen für deren Durchsetzung konzentrieren können. Hierdurch wird die Verhandlungsphase zeitlich gestrafft, was hinsichtlich des Kapital-/Ressourcendurchsatzes in einer verbesserten Effizienz des Gesamtsystems mündet. Folgende Punkte sind hierbei zu beachten:

- Angebote eines Anbieter sind für einen definierten Zeitraum bindend
- Nur der Kunde kann Neuverhandlungen zu bestehendem Kontrakt initiieren
- Anbieter und Kunde müssen sich im Preis aufeinander zubewegen
- Verstöße gegen die Marktregeln werden „bestraft“

Ein Anbieter hat für einen hinreichend großen Zeitraum, welcher allerdings vorab definiert worden sein muß, zu den Angeboten zu stehen, welche er seinen Kunden offeriert hat. Dieses bedeutet, daß er im Falle einer Zusage eines Kunden diesem die Ressourcen zum angebotenen Preis auch zur Verfügung stellen muß. Damit soll die Möglichkeit unterbunden werden, daß bspw. gut ausgelastete Anbieter Kunden durch vorgetäuschte Verhandlungen lediglich zeitlich binden, so daß diese auf dem Marktplatz u.U. auch von den konkurrierenden Mitbewerbern keine Ressourcenzuteilung mehr erhalten. Die Folge wäre eine Beeinträchtigung des Bandbreiten- und Kapitalumsatzes.

Nur der Kunde hat die Möglichkeit, seitens eines Kontraktes und somit einer bestehenden Verbindung Neuverhandlungen anzustreben. Diese Konzession resultiert aus der Anforderung, daß Bandbreiten innerhalb eines ATM-Netzwerkes für eine virtuelle Verbindung bedarfsgerecht adaptierbar sein müssen [I75].

Eine der wichtigsten Konventionen auf dem Marktplatz besteht in der Gewährleistung, daß sich Anbieter wie Kunde während des Verhandlungsprozesses beim Faktor Preis auch wirklich einander annähern. Da auf dem Marktplatz die Preisfunktionen von Anbieter und Kunde nicht offen liegen, muß eine gegenseitig annehmbare Preis-/Leistungskombination gesucht werden. Solange die Preisvorstellung des Kunden unterhalb der des Anbieters liegt, kann keine sofortige Vereinbarung getroffen werden. Eine Annäherung hat daher von beiden Seiten zu erfolgen. Der Kunde ist daher angehalten, sich im Preis zu steigern, während der Anbieter seinen Preis fortlaufend zu senken hat. Vergleichbar ist diese Konvention mit den Preisbildungsregeln in der Englischen sowie der Holländischen Auktion. Bei ersterer werden keine Angebote zugelassen, welche unterhalb des aktuellen Preisgebotes liegen, während bei der zweiten Auktionsform der Preis permanent gesenkt wird, bis schließlich ein Interessent akzeptiert ([1],[37]). Vertikale und horizontale Verhandlung beeinflussen den Preis. Umgekehrt kann auch durch den Preis eine Suchrichtung vorgegeben werden. Bei der vertikalen Verhandlung ist dieses trivial, da der Preis selbst das zu variierende Maß darstellt. Bei der horizontalen Verhandlung hingegen ändert sich der Preis aufgrund der Modifikation des Parametervektors. Mit Hilfe dieser Konvention sind nun nur noch solche Parameterbereiche relevant, bei welchen die Leistung im Preis gleich oder aber unterhalb der letzten Anbieterofferte taxiert wird.

Die Durchsetzung dieser Konventionen setzt die Kontrolle und somit die Beobachtung insbesondere der auf einem Marktplatz stattfindenden Verhandlungsaktionen durch die unabhängige, dritte Instanz voraus [40]. Wird ein Fehlverhalten erkannt, so ist dieses durch entsprechende „Strafmaßnahmen“ zu ahnden, die hier vereinfachend durch einen Verhandlungsabbruch realisiert, ansonsten jedoch nicht näher betrachtet werden sollen. Jedem auf dem GM agierenden Marktteilnehmer müssen diese Konsequenzen bekannt sein [338].

6.3 Das gradientenbasierte Verhandlungsverfahren

Die Verwendung von Preisfunktionen gründet sich auf der Forderung, daß die Agenten auf einem Marktplatz autonom agieren und sie die für die Verhandlungen notwendigen Informationen zur Bewertung jeglicher Offerten mit sich führen. Der Mensch hat hier konzeptuell während der Verhandlungsphasen keinen direkten Einfluß auf seinen doch autonom agierenden Agenten. Ohne eine solche Voraussetzung kann im vorliegenden Kontext nicht sinnvoll von Agentenautonomie

gesprochen werden. Der Gradient einer Preisfunktion im Punkt des zur Verhandlung stehenden Parametervektors entspricht nun analog der Ansage möglicher Leistungsmodifikationen zwischen menschlichen Verhandlungsakteuren. Der Anbieter kann dem Kunden zur Offerte die für eine Preissenkung-/Steigerung relevanten Parameter mitteilen. Aufgrund der Symmetrie kann der Kunde ebenfalls Informationen darüber liefern, welche Parameter seinem Kalkül nach den Preis steigern bzw. senken. Neben dem Preis ist der Gradient die wesentliche Information im hier definierten Verhandlungsverfahren.

In der Optimierungstheorie besteht die Aufgabe darin, zu einer gegebenen Funktion Maxima oder Minima zu ermitteln [345]. Neben gewissen Grundeigenschaften wie bspw. Uniformität oder etwa der Konvexität ist über die Funktion i.d.R. nichts weiter bekannt. Umgekehrt verhält es sich bei der Preisverhandlung. Hier sind die Preisfunktionen an die entsprechenden Bedürfnisse der Marktakteure angepaßt und eo ipso konstruiert, d.h. Anbieter wie Käufer sind sich über die Eigenschaften und insbesondere über den Verlauf ihrer Funktionen vollkommen im klaren. Maxima und Minima globaler wie lokaler Natur sind ihnen bekannt und müssen nicht mehr ermittelt werden. Bei den klassischen Verfahren zur Optimumssuche sind die lokalen und globalen Maxima/Minima stabil, d.h., während der Suche verändert sich ihre Lage im Funktionsgraphen nicht. Anders verhält es sich bei der Preisverhandlung. Der Parameterbereich mit den für beide Verhandlungspartner akzeptablen Grenzwerten muß erst ermittelt werden und ist somit nicht fest lokalisiert. Abhängig davon, welcher Akteur die Verhandlung bestimmt, können unterschiedliche Ergebnisse produziert werden, wie später gezeigt wird.

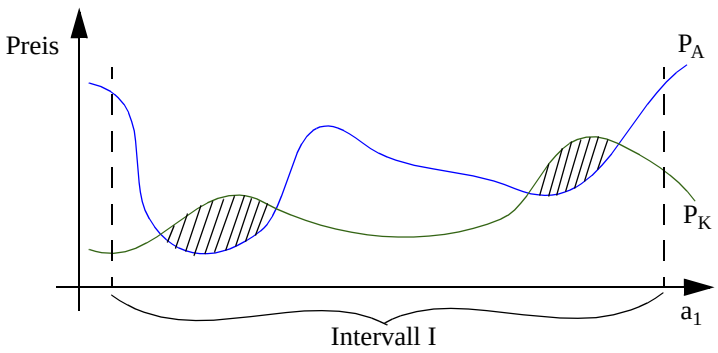


Abbildung 6-3: Überlappungsbereiche von Preisfunktionen

In der obigen Abbildung 6-3 sind exemplarisch die eindimensionalen Preisfunktionen eines Anbieters und eines Kunden über einen einzigen Parameter a_1 dargestellt. Durch die horizontale Verhandlung gilt es nun, einen der schraffierten Überlappungsbereiche zu finden. In ihnen gelten für Anbieter und Kunden die

Gleichungen (GL 9) bzw. (GL 10). Bewegen sich beide in einem solchen Bereich, so könnte schließlich die vertikale, reine Preisverhandlung gestartet werden.

6.3.1 Begriffe und Definitionen

Sowohl zur exakten Beschreibung eines Verhandlungsablaufs als auch zu dessen Analyse ist ein formales Instrumentarium in Form von Begriffen und Definitionen notwendig. Hier wird nun eine Modifikation der in von Faratin/Jennings verwendeten Notation vorgestellt [213].

Definition 6.1: Sei mit $V = \{A_1, ..., A_r\}$ die endliche Menge der Anbieteragenten und mit $K = \{K_1, ..., K_s\}$ die endliche Menge der Kundenagenten bezeichnet. Dann wird mit g_i ein beliebiger Agent aus der endlichen Menge $G=V\cup K$ bezeichnet.

Definition 6.2: Ressourcen werden durch die Parameter $\{a_1, ..., a_p\}$ charakterisiert. Für jeden Parameter a_j gilt, daß er sich durch einen Wert $x_j \in [min_j, max_j] \subset \Re^+$ quantifizieren läßt. Es wird dabei vorausgesetzt, daß die Parameter voneinander unabhängig sind. Die Gesamtheit der Parameter einer Ware werden durch einen Vektor $\underline{a} \in \Re^p$ repräsentiert. Für die Parameterkombinationen $\underline{a}$ eines beliebigen Agenten $g_r \in G$ gilt:

$$\underline{a} \in G_{g^r} = [min_{g^r/a1}, max_{g^r/a1}] \times ... \times [min_{g^r/ap}, max_{g^r/ap}] \subset \Re^p$$

Definition 6.3: Jeder beliebige Anbieter-/Kundenagent $g \in G$ besitzt eine von der Parameterkombination $\underline{a}$, der Zeit t und dem frei wählbaren Strategieparameter z abhängige Kostenfunktion $P_g(\underline{a},t,z)$. Ein Angebot bzw. eine Offerte $o_{g1\rightarrow g2}(\underline{a},t,z)$ eines Agenten g_1 an einen Agenten g_2 zu einem Zeitpunkt $t \in$ Time mit Parameterwert z setzt sich für die geforderte Qualität $\underline{a}$ aus dem resultierenden Preis der Kostenfunktion $G_{g1}(\underline{a})$, sowie der zusätzlichen, von t und z abhängigen Gewinnspanne $G_{g1}(\underline{a})*\alpha_{g1}(t,z)$ zusammen. Es gilt folgende Notation:

$$o_{g1\rightarrow g2}(\underline{a},t,z) = G_{g1}(\underline{a}) * (1 +/- \alpha_{g1}(t,z))$$

Definition 6.4: Ein endlicher Verhandlungsprozeß $N_{g1\leftrightarrow g2}(\underline{a},t,z)$ zwischen zwei beliebigen Agenten $g_1,g_2 \in G$ ist eine beliebige, aber endliche Sequenz gemäß der Form $o_{di\rightarrow ei}(\underline{a}_i,t_i,z_i)$, so daß für alle $q \le i \le m$ mit $q \in \{0,1\}$ gilt:

1 $d_i, e_i \in \{g_1,g_2\}$ mit $e_i \neq d_i$

2 $e_i = d_{i+1}$

3 $t_i \le t_j$ wenn $i \le j$

4 {accept, reject}

Der Verhandlungsprozeß startet dabei mit dem ersten Angebot, welches zwischen den Agenten ausgetauscht wird. Dieser Zeitpunkt wird mit t_q bezeichnet. Mit dem Index q=0 bzw. q=1 wird dabei selektiert, ob ein Kunde oder ein Anbieter den Verhandlungsprozeß initiiert.

Definition 6.5: Ein endlicher Verhandlungsprozeß $N_{g1\leftrightarrow g2}(\underline{a},t,z)$ zwischen zwei beliebigen Agenten $g_1,g_2 \in G$ ist streng preiskonvergent, falls für alle ausgetauschten Offerten $o_{di\rightarrow ei}(\underline{a}_i,t_i,z_i) \neq \{accept, reject\}$ mit $0 \leq j \leq m$, $q \in \{0,1\}$ und i=j+q gilt:

$$o_{d2*i\rightarrow e2*i}(\underline{a}_{2*i},t_{2*i},z_{2*i}) < o_{d2*i+2\rightarrow e2*i+2}(\underline{a}_{2*i+2},t_{2*i+2},z_{2*i+2}) \wedge$$
$$o_{d2*j+1\rightarrow e2*j+1}(\underline{a}_{2*j+1},t_{2*j+1},z_{2*j+1}) > o_{d2*j+3\rightarrow e2*j+3}(\underline{a}_{2*j+3},t_{2*j+3},z_{2*j+3}).$$

Strenge Preiskonvergenz basiert hier auf der strengen Monotonie der aufeinanderfolgenden Angebote eines Agenten. Der erste Term fordert vom Kunden einen aufsteigenden Preis, während der zweite Term fallende Preise beim Anbieter vorschreibt. Dabei wird nicht vorausgesetzt, daß die Angebote des Kunden preislich unter denen des Anbieters liegen. In gleicher Weise läßt sich die einfache Konvergenz unter Verwendung der Operatoren $\geq$ bzw. $\leq$ definieren. Sie ist hier jedoch nicht weiter von Interesse.

Definition 6.6: Eine Übereinkunft zwischen zwei beliebigen Agenten $g_1,g_2 \in G$ in einem endlichen Verhandlungsprozeß $N_{g1\leftrightarrow g2}(\underline{a},t,z)$ ist prinzipiell möglich, wenn ein r existiert, ab dem für die Offerten $o_{di\rightarrow ei}(\underline{a}_i,t_i,z_i)$ mit $q \leq i \leq m$ und $q \in \{0,1\}$ gilt:

$$o_{d2*r\rightarrow e2*r}(\underline{a}_{2*r},t_{2*r},z_{2*r}) \geq o_{d2*r+1\rightarrow e2*r+1}(\underline{a}_{2*r},t_{2*r+1},z_{2*r+1}) \vee$$
$$o_{d2*r\rightarrow e2*r}(\underline{a}_{2*r-1},t_{2*r},z_{2*r}) \geq o_{d2*r-1\rightarrow e2*r-1}(\underline{a}_{2*r-1},t_{2*r-1},z_{2*r-1}).$$

Definition 6.7: Eine mögliche Übereinkunft zwischen zwei beliebigen Agenten g_1 und $g_2 \in G$ in einem endlichen Verhandlungsprozeß $N_{g1\leftrightarrow g2}(\underline{a},t,z)$ ist genau dann perfekt, wenn für $i<j\leq m$ gilt:

$$o_{g1\rightarrow g2}(\underline{a}_i,t_i,z_i) = o_{g2\rightarrow g1}(\underline{a}_i,t_j,z_j).$$

In diesem Falle macht der Agent g_2 eine volle Konzession an den Agenten g_1, d.h. sein Preis entspricht exakt dem von g_1 bei gleichbleibenden Qualitätskriterien. Insofern besteht am Ende einer jeden erfolgreich abgeschlossenen Verhandlung durch die endgültige Akzeptanz einer Preis-/Leistungskombination auch eine perfekte Übereinkunft. Eine partielle Annäherung während eines Verhandlungsprozesses wird hier als teilweise Konzession bezeichnet. Gemäß den oben gegebenen Definitionen entspricht eine Offerte dem Wert der schon bekannten Preisfunktion bei gegebenen Parametern. Ergänzend erfolgt hier eine Indizierung und Reihenfolgebestimmung, mit deren Hilfe eine Sequenz von Offerten und ihre Relation zueinander besser dargestellt werden kann.

6.3.2 Das Verhandlungsprotokoll

In der Beschreibung eines Verhandlungssystems müssen gemäß Abbildung 6-4 sowohl der Kunde, der Anbieter als auch der Marktplatzmanager in ihrer Interaktion mit einbezogen werden. Letzterer überwacht das protokollkonforme Verhalten beider Akteure und definiert somit das Verhandlungssystem. Anbieter und Kunde kommunizieren während des Verhandlungsprozesses transparent über die schon im Kapitel 5.3.3 definierte Schnittstelle.

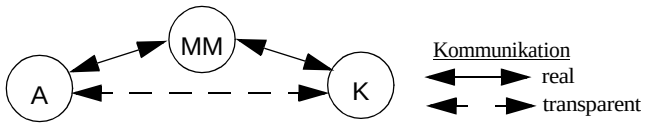


Abbildung 6-4: Systemdefinition durch den Marktplatzmanager

Beim nachfolgenden Algorithmus handelt es sich um ein zweiseitiges Suchverfahren. Der Anbieter wie auch der Kunde können dabei in einem für sie jeweils interessanten Bereich des Gebietes G_N eine Suche starten. Beginnt bspw. der Anbieter die Verhandlung, so wird er einen Vorschlag unterbreiten, welcher einer Parameterkombination mit einem preislich hohen Niveau entspricht. Beim Kunden liegt der Fall seitens der Preisvorstellung i.d.R. genau umgekehrt. Der Algorithmus ist so ausgelegt, daß innerhalb einer Verhandlungsiteration sowohl die Antwort des Verhandlungspartners auf eine Offerte als auch dessen Gegenofferte ausgetauscht werden kann. In der Abbildung 6-5 sind die während eines Verhandlungszykluses generierten Informationselemente graphisch dargestellt.

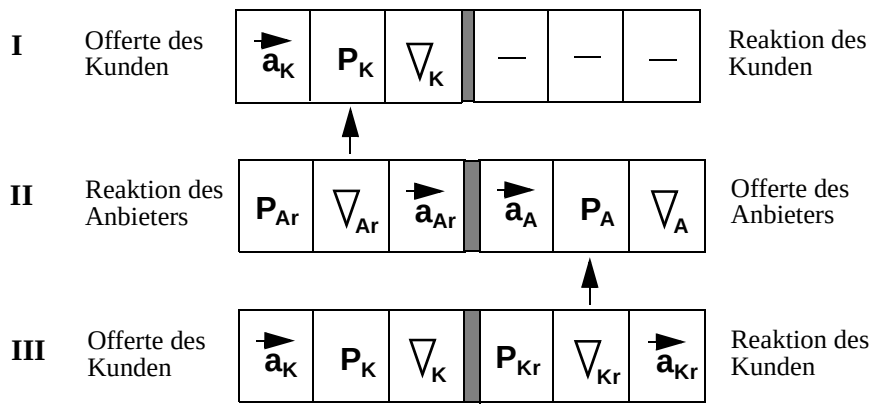


Abbildung 6-5: Informationsaustausch in einem Verhandlungszyklus

Im obigen Beispiel beginnt der Kunde K mit einer Offerte $\underline{a}_K$ inklusive der Preis- und Gradientenangabe[1] $(P_K(\underline{a}_K),\text{grad}(G_K(\underline{a}_K))$. Der Anbieter A kann auf diese Offerte mit seinem Preis und seinem Gradienten $(P_{Ar}(\underline{a}_K),\text{grad}(G_{Ar}(\underline{a}_K))$ in $\underline{a}_K$ reagieren. Er bewegt sich mit seiner Verhandlungsantwort dann gleichfalls im Suchgebiet des Kunden. Stellt er nun fest, daß er zu dem Preis P_K eine alternative Leistung bzw. Ware anbieten kann, so darf er einen Punkt $\underline{a}_{Ar}$ angeben, welcher preislich vergleichbar und somit kleiner oder aber gleich dem von $\underline{a}_K$ ist. Der Kunde kann dann im nächsten Verhandlungsschritt auf diesen Punkt übergehen. Der Anbieter hat desweiteren die Möglichkeit, eine eigene Offerte aus dem ihm genehmen Suchbereich des Verhandlungsgebietes G_N zu machen. Zu seiner Parameterkombination $\underline{a}_A$ gibt auch er den Preis $P_A(\underline{a}_A)$ samt Gradienten $\text{grad}(G_A(\underline{a}_A))$ mit. Der Kunde hat hier nun seinerseits die Möglichkeit, auf $\underline{a}_A$ mit einem Preis $P_{Kr}(\underline{a}_A)$, einem Gradienten $\text{grad}(G_{Kr}(\underline{a}_A))$ sowie einem alternativen Vektor $\underline{a}_{Kr}$ zu reagieren. Kunde wie Anbieter modifizieren in diesem Verfahren nur jeweils das von ihnen aufgesetzte Angebot. Gemäß den vorab definierten Konventionen muß der Anbieter zu seiner Offerte oder Reaktion während eines definierten Zeitraumes stehen. Desweiteren darf sich der Preis in der Kundenofferte P_K während des Verhandlungsprozesses nur vergrößern. Umgekehrt hat sich P_A in den nachfolgenden Schritten zu verringern. Die alternativen Vektoren $\underline{a}_{Ar}$ und $\underline{a}_{Kr}$ in den Reaktionen bieten die Chance, dem Kunden/Anbieter eine Parameterkombination mit gleichem oder eventuell kleinerem bzw. höherem Preis anzubieten.

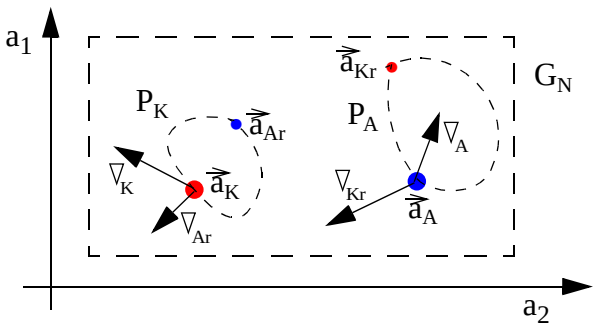


Abbildung 6-6: Bilaterale Konvergenz in zwei Parameterbereichen

Hier kommt die Möglichkeit zum tragen, daß auf der Höhenlinie eines aktuellen Preisniveaus durchaus Antworten bzw. Leistungskombinationen existieren, deren Parameter jedoch in einem anderen Suchbereich des Verhandlungsgebietes liegen.

1. Der Gradient der Grenzpreisfunktion in einem Vektor $\underline{a}$ wird im Text durch $\text{grad}(G(\underline{a}))$, in den mathematischen Formelrahmen hingegen durch den Nabla-Operator (umgedrehtes Dreieck) dargestellt.

Derartige Preisniveaus werden in der Abbildung 6-6 durch gestrichelte Höhenlinien für P_A und P_K dargestellt. Die zwei Bereiche für die Anbieter- und Kundenofferten sind erkennbar. Zu jeder vorgeschlagenen Parameterkombination $\underline{a}_A$ bzw. $\underline{a}_K$ sind jeweils die Preisgradienten $\underline{g}_A$,$\underline{g}_{Kr}$ bzw. $\underline{g}_K$,$\underline{g}_{Ar}$ vom Anbieter/Kunden im Punkt eingetragen. Es ist natürlich möglich, daß beide Verhandlungsbereiche sehr dicht beieinander liegen oder gar identisch sind. Der Nutzen einer solchen Konstellation ist dann natürlich abhängig von der Interpretation der Verhandlungsakteure.

6.3.2.1 Die Verhandlungsrollen

Neben Art und Bedeutung der Verhandlungsinformationen muß noch das Protokoll für ihren gegenseitigen Austausch festgelegt werden. Die Verhandlungsrolle des Kunden und die des Anbieters werden dabei anhand von Verhaltensautomaten im Detail vorgestellt. Für beide Akteure werden vier Informationstypen unterschieden. Ein Offer stellt ein herkömmliches Angebot dar, auf welches Gegenofferten folgen können. LastOffer ist ein Offer mit einer besonderen Kennzeichnung die besagt, daß der Absender auf dieses Angebot ausschließlich ein reject oder aber ein accept erwartet. Um unerwünschten Strategiebildungen seitens leerer LastOffer-Drohungen vorzubeugen, wird insbesondere dessen Semantik durch den Marktplatzmanager durchgesetzt. Versendet ein Akteur ein LastOffer, so muß er sich darüber im klaren sein, daßer die Verhandlungsphase in die Terminierungsphase überführt. Mit accept kann dann durch die Akzeptanz des letzten Angebotes ein positiver Abschluß signalisiert werden, während mittels reject die Verhandlung sofort abgebrochen wird. Generell gilt, daß auf ein accept wiederum nur ein accept oder aber ein reject folgen kann. Eine abgegebene Offerte kann nicht nochmals nachgebessert werden. Insofern liegt hier eine ähnliche Entscheidungssitutation wie bei der LastOffer Nachricht vor. Ein Anbieter muß sich darüber im klaren sein, daß er mit einem accept den Verhandlungsprozeß u.U. auch erfolglos beenden kann, falls sein Verhandlungspartner mit einem reject reagiert. Es sei hier betont, daß ein Akteur nicht zwingend angehalten ist, eine eigene Offerte zu generieren. Hingegen muß er innerhalb dieses Protokolls auf eine Offerte seines Verhandlungspartners mit einer geeigneten Reaktion antworten und bei Desinteresse mit einem reject die Verhandlung beenden. Sowohl für ein Offer als auch für ein LastOffer können beide Akteure eine Gültigkeitsdauer mitgeben, während der eine Reaktion auf die Offerte erwartet wird. Die hierzu notwendige Timeout-Reaktion ist nicht in den Verhaltensautomaten von Anbieter und Kunde dargestellt und wird letztlich vom MM übernommen.

Die Verhandlungsrolle des Kunden

Das im Rahmen des hier anvisierten Verhandlungssystems zulässige Verhalten des Kunden wird durch den in der Abbildung 6-7 skizzierten Verhaltensautomaten dargestellt. Ausgehend vom Zustand void empfängt der Kunde entweder eine her-

kömmliche Offerte, ein LastOffer oder aber er sendet selbst ein Angebot an den Anbieter. Jedes dieser Ereignisse wird durch einen separaten Folgezustand kodiert. Im Falle eines herkömmlichen Angebotes kann eine Iteration mit Gegenangebot, Angebot etc. folgen. Empfängt der Kunde auf sein Offer ein accept des Anbieters, so hat er seinerseits aus dem Zustand recievedAccept mit einem accept zu quittieren, bevor er einen Kontrakt abschließen kann.

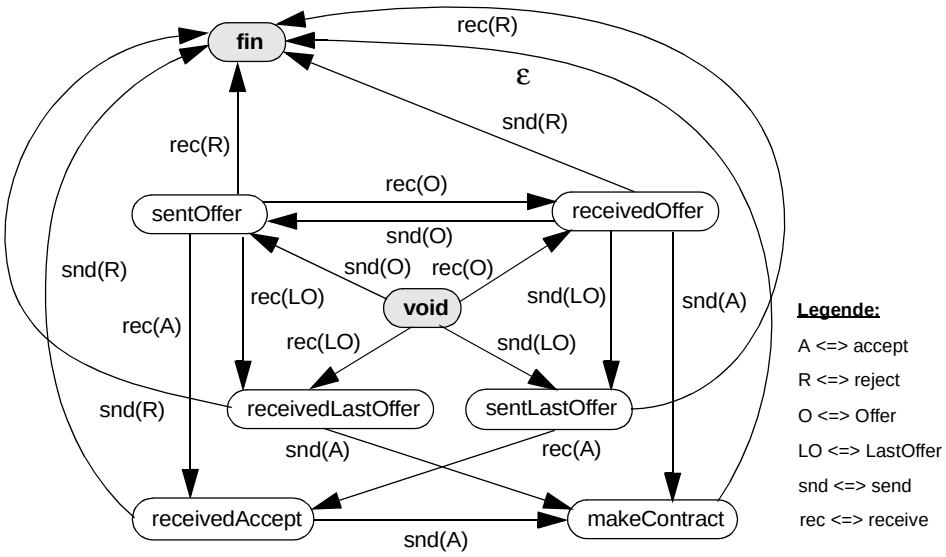


Abbildung 6-7: Verhaltensautomat des Kunden

Er hat jedoch die Möglichkeit, mit reject abzubrechen und in den finalen Endzustand fin überzugehen. Eine identische Situation ergibt sich beim Zustand receivedLastOffer. Das „letzte Wort“ hat bei diesem Verfahren jedoch der Kunde. Sein accept ist für die Vervollständigung einer Verhandlungsentscheidung immer notwendig, und zwar auch dann, wenn der Anbieter auf seine Offerte mit einem accept reagiert hat. Der Sinn dieser Regelung besteht darin, dem Kunden bei seiner Ressourcenallokation eine möglichst große zeitliche Flexibilität einzuräumen. So kann es bspw. vorkommen, daß er einem Anbieter vor geraumer Zeit eine Offerte hat zukommen lassen, die für ihn jedoch in der Zwischenzeit veraltet und somit unnütz geworden ist, und er sich mittlerweile für einen evtl. günstigeren Anbieter entschieden hat. Kommt es zu einer Vertragsbindung, so erfolgt hiernach ein leerer ε-Übergang in den fin-Zustand.

Die Verhandlungsrolle des Anbieters

Der Verhaltensautomat des Anbieters gestaltet sich in weiten Teilen identisch mit dem des Kunden (Abbildung 6-8). Es fehlt ihm jedoch der Zustand sentLastOf-

fer, was darauf zurückzuführen ist, daß der Anbieter zu seinem Angebot stehen muß und dieses somit einem vorgezogenen accept gleichkommt. Der Folgezustand von void und receivedOffer nach Absenden eines LastOffers ist daher sentAccept.

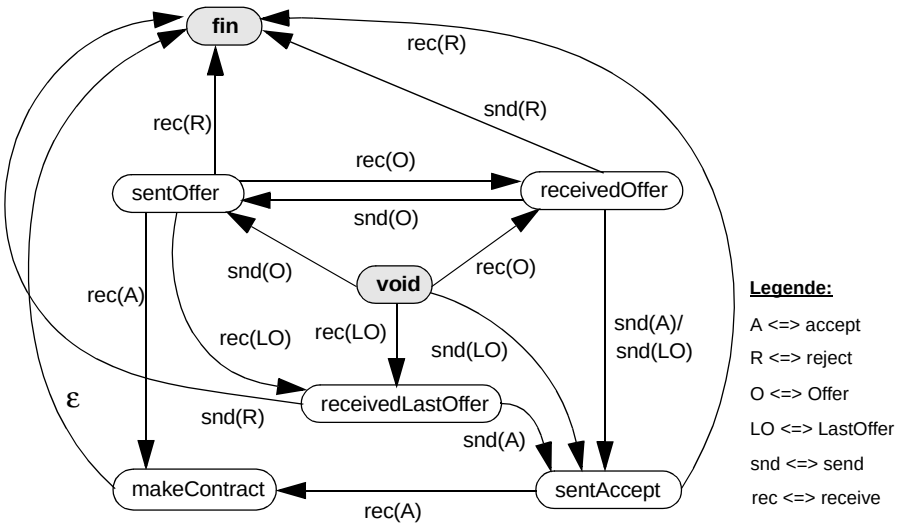
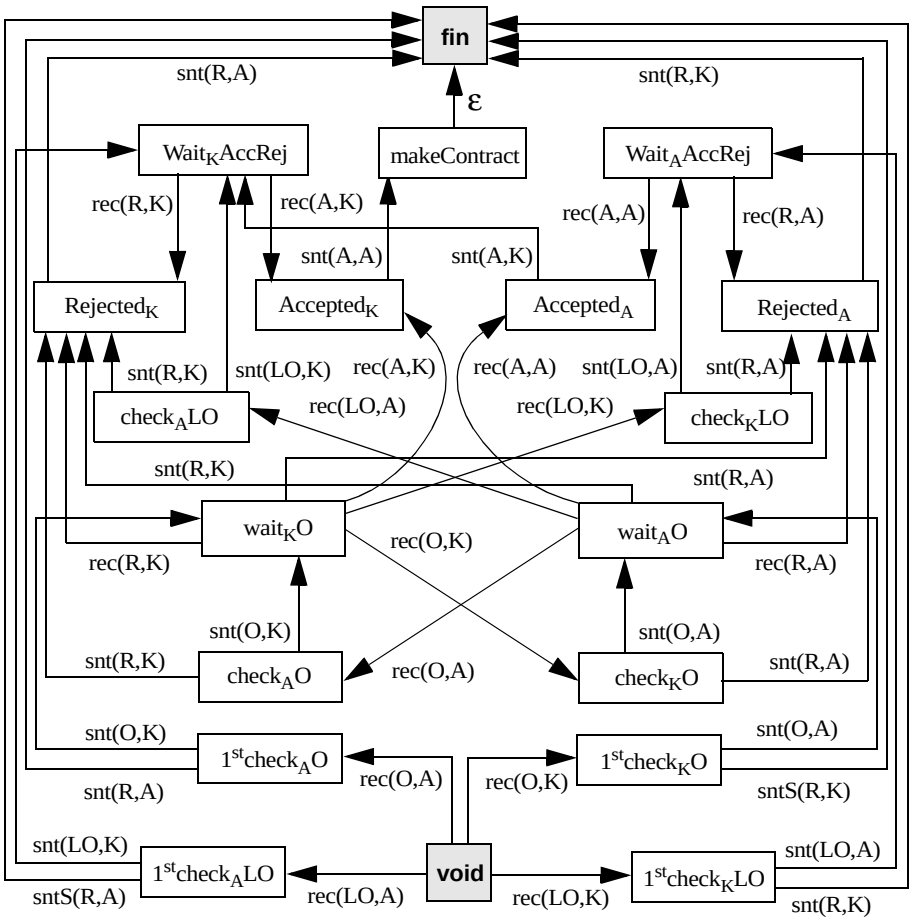


Abbildung 6-8: Verhaltensautomat des Anbieters

6.3.2.2 Der Verhandlungsalgorithmus

Der in der Abbildung 6-9 dargestellte NDA definiert das Verhalten des MMs und somit des Verhandlungsalgorithmusses als solches. Er vereinigt prinzipiell die in der Abbildung 6-7 und Abbildung 6-8 dargestellten Verhaltensrollen des Kunden und des Anbieters und erweitert sie um spezifische Kontrollaktivitäten. Die Übergänge des Automaten lassen sich aus Sicht des MMs nach einer Sende- bzw. Empfangsaktion unterscheiden, bei der aber Anbieter- und Kundenseite unterschieden werden müssen. Dargestellt wird dieses durch die Notation snd(x,y) bzw. rec(x,y). Mit rec(O,A) bspw. wird angezeigt, daß der MM vom Anbieter A eine Offerte O entgegengenommen hat. Mit snd(O,K) wird entsprechend ausgedrückt, daß der MM die Offerte O an den Kunden K sendet. Ausgehend vom Zustand void kann vom Kunden wie vom Anbieter entweder eine einfache Offerte O oder aber eine LastOffer LO an den MM abgesetzt werden. Dieser verzweigt hiernach jeweils in einen Prüfzustand ($check_x Y$). Dort wird festgestellt, ob die Offerte den vordefinierten Verhandlungskonventionen entspricht, d.h. für den Kunden bzw. Anbieter wird zur Sicherstellung der globalen Konvergenz gemäß der in Definition 6.5 spezifizierten Bedingung auf steigende bzw. fallende Preisgebote geprüft. Unterschieden wird dabei, ob sich die Verhandlung in einem initialen oder aber fortgeschrittenen

Zustand befindet, d.h. bei erstmaligem Empfang der Offer bzw. LastOffer wird in einen separaten Zustand Prüfzustand ($1^{st}check_xY$) verzweigt. Dieses ist notwendig, um den Verhandlungspartner bei einer Verhandlungsinitiierung im Falle einer Zurückweisung durch den MM nicht durch ein einzelnes reject unnötig zu belasten.



Legende: A <=> accept R <=> reject O <=> Offer LO <=> LastOffer
snd(x,y) <=> sende x zu y rec(x,y) <=> empfange x von y mit y ∈ {A=Anbieter,K=Kunde}

Abbildung 6-9: Verhaltensautomat des Marktplatzmanagers

Ist die Überprüfung der Offerte positiv verlaufen, so wird sie an die jeweilige Verhandlungsseite weitergereicht und dann in einen Wartezustand ($wait_xY$) verzweigt, um die Reaktionen des Verhandlungspartners auszuwerten. In der Abbildung 6-9 ist der Iterationszyklus durch die Übergänge ($check_KO \rightarrow wait_AO$) und ($check_AO \rightarrow wait_KO$) modelliert. Fällt die Überprüfung der Offerte negativ aus, so wird vom MM die Verhandlung abgebrochen und an beide Akteure ein reject ver-

sandt. Die „Bestrafung“ besteht also darin, eine laufende Verhandlung zu terminieren. Hier sind alternative Vorgehensweisen denkbar, bei denen die Verhandlungen weitergeführt werden können und nur der Akteur, welcher gegen die Verhandlungskonvention verstoßen hat, bestraft wird. An den Wartezuständen existieren jeweils Transitionen zu den $Rejected_x$-Zuständen. Ein reject kann dabei entweder von dem Akteur, auf den gewartet wird, stammen oder aber es wurde vom MM aufgrund eines Timeouts generiert. In beiden Fällen wird auch hier die Verhandlung abgebrochen. Die Dauer für den Timeout wird von den Akteuren in ihren Offerten mitgeliefert. Aufgrund dieser zentralen Zeitüberwachung werden beide Akteure von einer eigenen Timeout-Verwaltung entlastet, was ihr Zeitmanagement deutlich vereinfacht. In der Abbildung 6-9 ist anhand der Transition ($Accepted_A \rightarrow Wait_K$OAccRej) weiterhin zu erkennen, daß bei der Annahme einer Offerte durch den Anbieter die Bestätigung mittels eines accept durch den Kunden abgeprüft wird. Erst hiernach wird durch den MM dem Anbieter mit accept die Annahme durch den Kunden bestätigt und danach in die Vertragsphase eingetreten. Neben der Timeout-Verwaltung hat der zentral agierende MM die Aufgabe, quasi gleichzeitig eintreffende Verhandlungswünsche zwischen einem Kunden und einem Anbieter zu serialisieren und zu schedulen. Dabei wird anhand der Zeitstempel der Informationselemente der jeweils früheste Verhandlungswunsch festgestellt. Die einfachste Möglichkeit besteht darin, dem Akteur mit der zeitlich später eingetroffenen Offerte zuerst ein reject und hiernach dann die geprüfte Offerte seines initiierenden Verhandlungspartners zuzusenden. Alternativ kann der MM aber auch die Offerten beider Verhandlungspartner zu einer einzigen kombinieren und sie dem Akteur mit dem jüngsten Zeitstempel auf seiner Offerte gewissermaßen als Gegenofferte zusenden. Nachteilig wäre hier jedoch der Umstand, daß in dieser Gegenofferte keine Antwort auf den Preis, die Parameterkombination sowie den zugehörigen Gradienten des zeitlich späteren Initiators vorhanden wäre, so daß von dieser Lösung hier Abstand genommen wird.

6.3.3 Die Gradientensuche

Auf der Basis der in der Abbildung 6-5 notierten Gradienten in den Offerten von Anbieter und Kunde lassen sich Suchverfahren entwickeln, mit denen eine Parameter-/Preiskonvergenz erreicht werden kann. Wie der Abbildung 6-3 und präziser der später folgenden Abbildung 6-11 entnommen werden kann, muß ausgehend von einem Initialangebot $\underline{a}_X^1$ eines Akteurs X eine Minimierung des Abstandes zwischen den Preisfunktionen beider Verhandlungspartner erreicht werden. Die Gradienten in den Grenzkostenfunktionen G_A bzw. G_K dienen der Ermittlung der Suchrichtung. Bei dieser Suche muß berücksichtigt werden, daß der Anbieter/Kunde sich in Richtung fallender/steigender Preise bewegt. Mathematisch formuliert sich dieses durch die folgenden Gleichungen (GL 15) bzw. (GL 16):

(GL 15)

$$P_A(\overrightarrow{a_A^{n}}) > P_A(\overrightarrow{a_A^{n+1}}) > P_K(\overrightarrow{a_K^{n+1}}) > P_K(\overrightarrow{a_K^{n}}) \geq 0$$

(GL 16)

$$(P_A(\overrightarrow{a_A^{n+1}}) - P_K(\overrightarrow{a_K^{n+1}})) < (P_A(\overrightarrow{a_A^{n}}) - P_K(\overrightarrow{a_K^{n}}))$$

Objektiv gesehen müßten zwecks einer möglichst schnellen Annäherung Anbieter wie Kunde gemäß (GL 17) und (GL 18) in Gegenrichtung bzw. in Richtung des Gradienten neue Parameterkombinationen bestimmen. Sei nun $\underline{\Delta a}$ der Vektor, mit dem von $\underline{a}_X^n$ aus der neue Angebotsvektor $\underline{a}_X^{n+1}$ erreicht wird, d.h. $\underline{a}_X^{n+1}=\underline{a}_X^n+\underline{\Delta a}$, so würde gelten (vgl. auch [332],[334],[335],[337]):

(GL 17)

$$\overrightarrow{a_A^{n+1}} = \overrightarrow{a_A^{n}} - \alpha_A \cdot \nabla G_A(\overrightarrow{a_A^{n}})$$

(GL 18)

$$\overrightarrow{a_K^{n+1}} = \overrightarrow{a_K^{n}} + \alpha_K \cdot \nabla G_K(\overrightarrow{a_K^{n}})$$

Durch eine verschiedenartige Wahl von $\alpha_X>0$ lassen sich isoliert aus Sicht des Anbieter bzw. Kunden eine Vielzahl von Suchvarianten generieren. Ist der Wert α klein, so folgt man im wesentlichen der Fallinie bzw. Steigungslinie, also der orthogonalen Trajektorie zu allen Niveaulinien. Ist er jedoch recht groß, so läuft die Suche u.U. aus dem Näherungsbereich der Gradientenberechnung heraus, d.h. die verfolgte Richtung ist nicht mehr die des steilsten Abstiegs bzw. Anstiegs. In einem Minimumspunkt oder Maximumspunkt verläuft die Suchrichtung dann tangential zu einer Niveaulinie. Da der Gradient in solch einem Punkt senkrecht auf der Niveaulinie steht, sind die Suchrichtung und der Gradient hier orthogonal zueinander. Für mehr als zwei Parameter ist das Konvergenzverhalten i.d.R. aber günstiger, da p aufeinanderfolgende Suchrichtungen nicht notwendigerweise ein orthogonales System bilden. Jede gegenseitige Kopplung der Parameter würde hier zu einer Beeinträchtigung führen [350], was aber aufgrund der vorab gemachten Annahme ihrer Unabhängigkeit zueinander hier nicht weiter von Belang ist.

Strategisch gesehen ist die Gegenofferte bzw. Antwort auf das Angebot eines Kunden durch einen rational agierenden Anbieter geprägt von der Absicht, die Parameterkombination aus einem Bereich mit steigenden Preisen zu entnehmen. Durch die Verhandlungskonvention hin zu niedrigeren Preisen gedrängt kann ein solcher Anbieter danach trachten, den Preis entsprechend langsam zu erniedrigen, ein Kunde hingegen ihn nur langsam zu steigern. Die aus der Optimierungstheorie allgemein bekannte Gradientensuche basiert auf dem Grundgedanken, ein Minimum in Richtung des steilsten Abstiegs einer Funktion in möglichst wenig Schritten zu finden, so daß hier strategische Überlegungen nicht berücksichtigt werden.

Da bei der Parameterbestimmung im Rahmen der Offertengenerierung die Verläufe beider Preisfunktionen

$$\overrightarrow{a^{n+1}} = \vec{a}^{n} + \alpha \cdot \nabla G_A(\vec{a}^{n}) + \beta \cdot \nabla G_K(\vec{a}^{n})$$

mit berücksichtigt werden müssen, setzt sich der gesuchte Deltavektor $\underline{\Delta a}$, wie in obiger Gleichung dargestellt, prinzipiell auch aus Anteilen beider Gradienten zusammen. Durch die Wahl von α und β lassen sich Gewichtungen bei den Grenzkostenänderungen seitens des Kunden und des Anbieters erreichen. Im folgenden wird für einen der beiden Verhandlungsakteure X die gradientenbasierte Suche nach dem Deltavektor vorgestellt. Die jeweils abwartende Partei wird Verhandlungspartner Y genannt. Sie stellt entweder den Anbieter oder den Kunden dar.

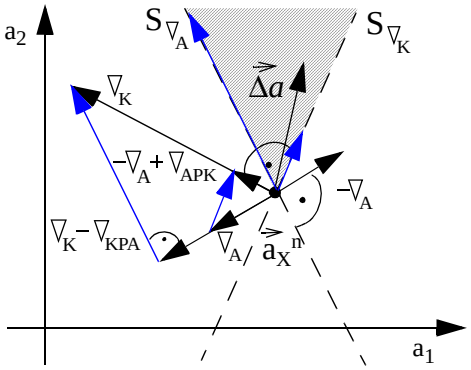


Abbildung 6-10: Gradientenbasierte Suche im $\Re^2$

In der Abbildung 6-10 sind exemplarisch die Gradienten von Anbieter und Kunde sowie der gesuchte Deltavektor $\underline{\Delta a}$ zu dem Parametervektor $\underline{a}_X^n$ eines Akteurs X eingezeichnet. Folgende vier Ausnahmesituationen hinsichtlich der Gradientenwerte in $\underline{a}_X^n$ müssen bei der Ermittlung eines neuen Angebotsvektors berücksichtigt werden:

1 $\text{grad}(G_X(\underline{a}_X^n)) = 0 \wedge \text{grad}(G_Y(\underline{a}_X^n)) = 0$

2 $\text{grad}(G_X(\underline{a}_X^n)) = 0 \wedge \text{grad}(G_Y(\underline{a}_X^n)) \neq 0$

3 $\text{grad}(G_X(\underline{a}_X^n)) \neq 0 \wedge \text{grad}(G_Y(\underline{a}_X^n)) = 0$

4 $\text{grad}(G_X(\underline{a}_X^n)) \neq 0 \wedge \text{grad}(G_Y(\underline{a}_X^n)) \neq 0 \wedge \text{grad}(G_X(\underline{a}_X^n)) = \lambda * \text{grad}(G_Y(\underline{a}_X^n))$

Der erste Fall besagt, das beide Gradienten und somit auch alle Richtungsableitungen im Punkte $\underline{a}_X^n$ gleich Null sind. Je nachdem in welchem Stadium sich der Verhandlungsprozeß befindet, kann es sich hierbei um das globale oder ein lokales Maximum/Minimum im Verhandlungsgebiet G_N handeln. Da die Preisfunktionen

gemäß den vorab gemachten Voraussetzungen konstruiert sind, müßte der Akteur X anstelle seines Gradienten alternative Informationen zu seiner Preisfunktion mit ins Kalkül ziehen. Der Gradient nimmt in einem Punkt dann den Wert 0 an, wenn in dessen näherer Umgebung keine Veränderung des Funktionswertes bzw. Preises vorhanden ist. Derartige Bereiche können innerhalb des Verhandlungsgebietes recht groß sein und evtl. sogar das gesamte Gebiet G_N selbst umfassen. Im letzteren Fall gäbe es somit nur einen „Einheitspreis“ in ganz G_N. Bereiche mit konstantem Preisniveau stellen mathematisch gesehen auch eine Niveauhyperfläche dar, werden aber im folgenden nun Preisplateaus genannt. Ihre Lage und Ausdehnung sind dem Akteur X seitens seiner Preisfunktion bekannt. Ist nun der Gradient des Verhandlungspartners Y in $\underline{a}_X^n$ gleich Null, so müßte der Akteur X einen Testschritt machen, um eine Aussage über das Steigungsverhalten dessen Preisfunktion machen zu können. Bewegt er sich dabei innerhalb seines Preisplateaus, so hat er aufgrund der Verhandlungskonventionen den Preis dennoch zu steigern bzw. zu senken, wofür ihm letztlich der Aufschlag $N_A(t,z)$, welcher u.a. mit fortlaufender Zeit t streng monoton abfällt, zur Verfügung steht. Ist dieser schon Null, so muß der Testschritt jedoch in einen Preisbereich mit ansteigendem bzw. abfallendem Grenzkosten G_A führen. Ist der Gradient des Verhandlungspartners Y ungleich Null, so verfügt der Akteur X über die notwendigen Informationen, um sofort ein neues Verhandlungsangebot mit neuem Parametervektor generieren zu können.

Eine weitere Unterscheidung liegt hinsichtlich der linearen Abhängigkeit beider Gradienten. Demgemäß kann der Gradient $\text{grad}(G_X(\underline{a}_X^n))$ von Akteur X durch den des Verhandlungspartners $\text{grad}(G_Y(\underline{a}_X^n))$ mit Hilfe eines Faktors λ ausgedrückt werden. Voraussetzung ist allerdings, daß beide Gradienten ungleich Null sind. Für λ größer Null zeigen beide Gradienten in die gleiche, preisansteigende Richtung, d.h. beide Akteure bewegen sich hier im Einklang, was einen Widerspruch zu ihren rationalen Verhaltensweisen darstellen würde. Handelt es sich bei Akteur X um einen Anbieter, so wird dieser sich in Gegenrichtung seines Gradienten bewegen müssen, um den Preis zu senken, was zur Folge hat, daß auch der Preis des Kunden sich erniedrigen würde. Falls es sich bei X um einen Kunden handelt, so wird dieser den Preis steigern müssen und sich in Richtung seines Gradienten bewegen, was wiederum auch den Preis des Anbieters in die Höhe treibt. Eine Lösung für dieses Problem besteht nun bspw. darin, daß der Akteur X aufgrund des Steigungsverhältnisses zwischen seinem Gradienten und dem seines Verhandlungspartners eine Entscheidung trifft, wie weit er sich in seine Richtung bewegt. Mit $\|\text{grad}(G_X(\underline{a}_X^n))\| < \|\text{grad}(G_Y(\underline{a}_X^n))\|$ gilt, das die Preisänderung des Verhandlungspartners jeweils stärker ausfällt, als die des Akteurs X. Er kann den Preis des Verhandlungspartners entlang bzw. entgegen der Gradientenrichtung nicht „einholen“. Gilt $\|\text{grad}(G_X(\underline{a}_X^n))\| > \|\text{grad}(G_Y(\underline{a}_X^n))\|$, so bewegt sich der Akteur X im Preis schneller als sein Verhandlungspartner Y, und er hat evtl. die Chance, dessen Preis

bei Wahl eines genügend großen Faktors λ einzuholen. Diese Alternative ist für einen Akteur nur dann interessant, wenn die noch zu überbrückende Preisdifferenz aus seiner Sicht eher gering ist, da er sich mit dem Preis entgegen seinen Nutzenvorstellungen bewegt.

Sind beide Gradienten von Null verschieden und besteht keine lineare Abhängigkeit zwischen ihnen, so wird durch sie eine zweidimensionale Hyperebene im $\Re^p$ definiert. Diese Situation sollte in einer Verhandlungsbeziehung den Normalfall darstellen. Aus Sicht des Anbieters sind nur solche Vektoren $\underline{\Delta a}$ sinnvoll, für deren Winkel γ zu grad($G_A(\underline{a}_X^n)$) die Bedingung $90 \leq \gamma \leq 270^o$ gilt, bzw. deren Skalarprodukt $<\underline{\Delta a}, \text{grad}(G_A(\underline{a}_X^n))>$ daher kleiner oder gleich Null ist. Somit werden fallende Anbieterpreise gewährleistet. In der Abbildung 6-10 wird diese Halbebene durch die Gerade S_{gradA} abgetrennt. Umgekehrt muß der Kunde mit steigenden Preisen aufwarten. Das Skalarprodukt $<\underline{\Delta a}, \text{grad}(G_K(\underline{a}_X^n))>$ hat aus seiner Sicht größer oder aber gleich Null zu sein. Die entsprechende Halbebene wird durch S_{gradK} begrenzt. Für beide Akteure jeweils gültige Vektoren liegen ergo in der Schnittmenge beider Halbebenen, was in der Abbildung 6-10 schraffiert dargestellt ist. Sowohl S_{gradA} als auch S_{gradK} werden durch die auf den Gradienten senkrecht stehenden Vektoren $\underline{v}_1$ bzw. $\underline{v}_2$ definiert. Sie wiederum entstehen gemäß den Gleichungen (GL 19) und (GL 20) durch die gegenseitige Projektion der Gradienten grad($G_Y(\underline{a}_X^n)$) und grad($G_X(\underline{a}_X^n)$) aufeinander, sowie einer anschließenden Subtraktion des entstehenden Vektors vom jeweils betrachteten Gradienten. Mit $\{\underline{v}_1, \underline{v}_2\}$ als Basis läßt sich nunmehr der Deltavektor $\underline{\Delta a}$ darstellen, welcher die Distanz zum nächsten Punkt $\underline{a}_X^{n+1}$ im Parameterraum wiedergibt.

(GL 19)

$$\vec{v}_1 = \nabla G_Y(\overrightarrow{a_X^n}) - \frac{\nabla G_X(\overrightarrow{a_X^n}) \cdot \nabla G_Y(\overrightarrow{a_X^n})}{\left\| \nabla G_X(\overrightarrow{a_X^n}) \right\|^2} \cdot \nabla G_X(\overrightarrow{a_X^n})$$

(GL 20)

$$\vec{v}_2 = \nabla G_X(\overrightarrow{a_X^n}) - \frac{\nabla G_X(\overrightarrow{a_X^n}) \cdot \nabla G_Y(\overrightarrow{a_X^n})}{\left\| \nabla G_Y(\overrightarrow{a_X^n}) \right\|^2} \cdot \nabla G_Y(\overrightarrow{a_X^n})$$

Der Deltavektor $\underline{\Delta a}$ wird gemäß nebenstehender Vorschrift durch die Basisvektoren $\underline{v}_1$ und $\underline{v}_2$ sowie nicht negativen Koeffizienten α und β gebildet, um die Bedingung für steigende bzw. fallende Preise nicht zu verletzen. Der Abbildung 6-10 ist ebenfalls zu entnehmen, daß der Anbieter sich unter der Annahme rationalen und somit optimierenden Verhaltens einen zu seinem Gradienten nahezu senkrecht stehenden Vektor

$$\overrightarrow{\Delta a} = \alpha \cdot \vec{v}_1 + \beta \cdot \vec{v}_2$$

$\underline{\Delta a}$ aussuchen wird, da in dieser Richtung sein Gefälle nahezu Null wird. Für den Kunden gilt ebenfalls die gleiche Überlegung seitens ansteigender Preise. Es darf bei dieser Betrachtung jedoch nicht vernachlässigt werden, wie stark die Anstiege bzw. Abfälle sich im Verhältnis zueinander gestalten. Um eine Angabe über die Höhe der Veränderung im Preis bei Kunde und Anbieter zu erhalten, müssen deren Steigungen gemäß (GL 21) zueinander ins Verhältnis gesetzt werden.

(GL 21)

$$R_P = \frac{\nabla G_X(\overrightarrow{a_X^{\,n}}) \cdot \overrightarrow{\Delta a}}{\nabla G_Y(\overrightarrow{a_X^{\,n}}) \cdot \overrightarrow{\Delta a}}$$

Die inneren Produkte von $\underline{\Delta a}$ mit grad($G_X(\underline{a_X}^n)$) und grad($G_Y(\underline{a_X}^n)$) ergeben proportional die Stärke des Anstiegs bzw. Abfalls. Ihr Verhältnis wird mit R_P bezeichnet und ist vom jeweiligen Akteur vor Verhandlungsbeginn festzulegen. Der Richtungsvektor $\underline{\Delta v}$ enthält nunmehr die Koeffizienten α und β. Um eine Abhängigkeit des Preisänderungsverhältnisses R_P in der (GL 21) von diesen Koeffizienten zu erhalten, muß diese Formel zu (GL 22) umgestellt werden. Aufgrund der Schwarzschen Ungleichung sind die geklammerten Terme positiv, so daß Betragsstriche entfallen können.

(GL 22)

$$\beta/\alpha = \frac{\left(\left\| \nabla G_Y(\overrightarrow{a_X^{\,n}}) \right\|^2 - \frac{(\nabla G_X(\overrightarrow{a_X^{\,n}}) \,.\, \nabla G_Y(\overrightarrow{a_X^{\,n}}))^2}{\left\| \nabla G_X(\overrightarrow{a_X^{\,n}}) \right\|^2} \right) \cdot R_P}{\left(\left\| \nabla G_X(\overrightarrow{a_X^{\,n}}) \right\|^2 - \frac{(\nabla G_X(\overrightarrow{a_X^{\,n}}) \,.\, \nabla G_Y(\overrightarrow{a_X^{\,n}}))^2}{\left\| \nabla G_Y(\overrightarrow{a_X^{\,n}}) \right\|^2} \right)}$$

Der Koeffizient α gibt hier den Anteil in Richtung des Vektors $\underline{v_1}$ und somit in Richtung des konstanten Preisniveaus beim Akteur X an. Mit β wird analog der Anteil an $\underline{v_2}$ und somit in Richtung sich nicht verändernder Preise des Verhandlungspartners Y angegeben. Allein die Vorgabe des Verhältnisses R_P reicht jedoch nicht aus, um den Wert α für den Akteur X zu ermitteln. Zusätzlich notwendig ist eine Beziehung zwischen α und β. Sie wird hier durch $\alpha+\beta=1$ festgelegt. Mit $\alpha=1$ folgt sofort $\beta=0$ und damit eine starke Orientierung der Suche in Richtung $\underline{v_1}$ und somit konstanten Preisniveaus beim Akteur X. Für $\beta=1$ läßt sich analog schließen.

(GL 23)

$$T_1 = \left\| \nabla G_Y(\overrightarrow{a_X^{\,n}}) \right\|^2 - \frac{\nabla G_X(\overrightarrow{a_X^{\,n}}) \,.\, \nabla G_Y(\overrightarrow{a_X^{\,n}})^2}{\left\| \nabla G_X(\overrightarrow{a_X^{\,n}}) \right\|^2}$$

(GL 24)

$$T_2 = \left\|\nabla G_X(\overrightarrow{a_X^{\hat{n}}})\right\|^2 - \frac{\nabla G_X(\overrightarrow{a_X^{\hat{n}}}) \cdot \nabla G_Y(\overrightarrow{a_X^{\hat{n}}})^2}{\left\|\nabla G_Y(\overrightarrow{a_X^{\hat{n}}})\right\|^2}$$

Mit T1 und T2 als abkürzende Termbezeichnungen gemäß (GL 23) und (GL 24) sowie $\beta=1-\alpha$ läßt sich Gleichung (GL 22) zu (GL 25) verkürzt darstellen.

(GL 25)

$$(1-\alpha)/\alpha = \frac{T_1}{T_2} \times R_P$$

Die Auflösung nach Koeffizient α ergibt dann (GL 26). Mit Hilfe dieser Berechnungsvorschrift kann nun der Akteur X bei Wahl von R_P den Koeffizienten α und somit den gesuchten Deltavektor $\underline{\Delta a}$ bestimmen.

(GL 26)

$$\alpha = \frac{T_2}{T_1 \times R_P + T_2}$$

Verwendet ein Akteur ausschließlich seine Preisfunktion zur Kodierung seiner Strategie, so wird er den Koeffizienten α sehr klein und folglich den Koeffizienten β möglichst groß wählen. Der resultierende Deltavektor $\underline{\Delta a}$ stünde dann fast senkrecht auf $\underline{v}_1$ und ergäbe, wie schon erwähnt, nur eine geringe Preisänderung.

Es sei hier im übrigen darauf hingewiesen, daß es dem Kunden wie auch dem Anbieter völlig freigestellt ist, ob sie diese Gradientenangaben in ihrem Verhandlungsprozeß untereinander austauschen und die Suche gemäß obiger Form durchführen oder nicht. Vom Verhandlungsverfahren selbst werden hierzu keine Restriktionen gemacht, zumal die Richtigkeit der Gradientenangaben vom System nur schwer zu überprüfen sind. In einem solchen Falle bestünde für den jeweils agierenden Akteur jedoch die Möglichkeit, aufgrund der Preisinformationen eine Interpolation des Steigungsverhaltens beim Verhandlungspartner zu vollziehen. Notwendige Bedingung hierzu ist allerdings, daß die Schrittweite zwischen den Parametervektoren hinreichend klein ist, da ansonsten keine sinnvolle Aussage zum lokalen Steigungsverhalten gemacht werden kann. Zudem ist die Differenzierung des Steigungsverhaltens in Richtung der einzelnen Parameterdimensionen aufgrund der reinen Preisinformationen nur durch eine gezielte und somit aufwendigere Suche möglich. Desweiteren sei angemerkt, daß die Einschränkung des Suchraumes auf Deltavektoren, welche sowohl fallende Anbieterpreise als auch steigende Kundenpreise gewährleisten, aus Sicht eines Akteurs so nicht zwingend notwendig ist. Letzterer hat bei seiner Offertenmodifikation nur sicherzustellen, daß er abhängig von seiner Rolle als Käufer oder Anbieter den Verhandlungskonventionen seitens der Preisgestaltung genügt.

6.4 Analytische Betrachtung

Gegenstand der analytischen Betrachtung stellen hier Aspekte der Komplexität, der Optimalität, sowie des Konvergenzverhaltens dar. Es wird dabei u.a. gezeigt, daß diese Kennwerte direkt vom strategischen Verhalten der Verhandlungspartner abhängig sind. Ausgehend von der Diskussion früher Entscheidungskriterien wird die Konvergenz bei Existenz lokaler Maxima bzw. Minima nachgewiesen. Die Betrachtung der Optimalität vollzieht sich anhand spieltheoretischer Überlegungen. Abschließend wird dann die Komplexität des Verfahrens abgeschätzt.

6.4.1 Konvergenzverhalten und Preisübereinstimmung

Beim hier vorgestellten Verhandlungsverfahren handelt es sich um ein offenes System mit Preisbildungsfreiheiten beim Kunden wie auch beim Anbieter. Ergo ist auch die Abschätzbarkeit der Konvergenz direkt abhängig von dem Verhalten beider Akteure. So ist es bspw. nicht ausgeschlossen, daß eine zwischen Kunde und Anbieter erreichte Preisübereinkunft aus strategischen Gründen dennoch nicht genutzt wird. Auf das garantierte Zustandekommen eines Kontraktes hat der hier vorgestellte Verhandlungsalgorithmus keinen Einfluß.

Generell läßt sich jedoch folgern, daß bedingt durch die Verhandlungskonventionen der Anbieter und der Kunde zumindest in der Dimension Preis zweifelsohne aufeinander zubewegen müssen und somit partiell konvergieren. Für die vollständige Konvergenz ist ebenfalls die Übereinstimmung im Parametervektor notwendig. Die Schwierigkeit besteht für den Anbieter wie für den Kunden nun darin, den Überlappungsbereich bei ihren Kostenfunktionen zu finden. Durch die Annäherung der Preise müssen sich die Parameterkombinationen der Verhandlungspartner nicht zwangsläufig aufeinander zubewegen. Im Gegenteil, eine Divergenz kann hierbei die Folge sein.

6.4.1.1 Frühe Entscheidungskriterien

Aufgrund der Ordnungseigenschaft der reellwertigen Preisdimension besteht die Möglichkeit eines „frühen“ Entscheidungskriteriums nun aus einem Vergleich der für das Gebiet G_N gültigen globalen Maxima und Minima vom Kunden und vom Anbieter. Aus strategischer Sicht sollte sich das initiale Angebot des Anbieters preislich auf hohem und das des Kunden auf niedrigem Niveau bewegen. Maximalen Nutzen erreicht der Anbieter mit einer Offerte, die seinem globalen Maximum in G_N entspricht. Für den Kunden ist hier entsprechend dessen globales Minimum anzusetzen. Prinzipiell kann eine Übereinkunft dann erzielt werden, wenn von den folgenden vier möglichen Kombinationen aus Maxima und Minima der Grenzkostenfunktionen beider Akteure eine der ersten drei auftritt:

1 EK1: $Max[G_A(I)] \leq Max[G_K(I)] \wedge Min[G_A(I)] \leq Min[G_K(I)]$

2 EK2: $Max[G_A(I)] \leq Max[G_K(I)] \wedge Min[G_A(I)] > Min[G_K(I)]$

3 EK3: $Max[G_A(I)] > Max[G_K(I)] \wedge Min[G_A(I)] \leq Min[G_K(I)]$

4 EK4: $Max[G_A(I)] > Max[G_K(I)] \wedge Min[G_A(I)] > Min[G_K(I)]$

Letztlich besagen die ersten beiden Kombinationen, daß die maximalen Grenzkosten des Kunden im Verhandlungsgebiet G_N in mindestens einem Punkt höher liegen als die vom Anbieter geforderten Mindestkosten in dessen globalen Maximum. In der Kombination 3 liegt das globale Minimum der Grenzkosten beim Kunden höher als das des Anbieters. Lediglich in der durch die Kombination 4 charakterisierten Situation muß auf eine Überschneidung der Grenzkostenfunktionen außerhalb der Maxima bzw. Minima gesucht werden. Gemäß den Gleichungen (GL 9) sowie (GL 10) gehen neben den reinen Grenzkosten auch die Preisauf- und Abschläge in den Entscheidungsprozeß mit ein. In der Abbildung 6-11 sind für einen Anbieter und einen Kunden exemplarisch die Preisfunktionen (P_K,P_A) sowie die zugehörigen Grenzkostenfunktionen (G_K,G_A) gestrichelt eingezeichnet. Die Preisauf- und Abschläge bzw. P_A+G_A und P_K-G_K sind hier zugunsten der besseren Anschauung konstant dargestellt.

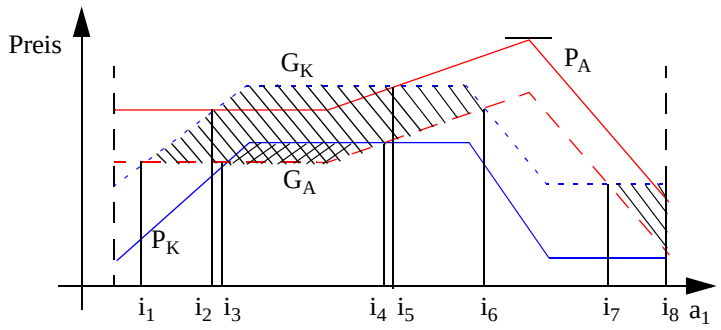


Abbildung 6-11: Entscheidungskriterien seitens Angebots- und Grenzkosten

Bereiche mit prinzipiell möglicher Einigung werden durch die Intervalle [i_1,i_6] und [i_7,i_8] erfaßt. Die Preisofferten P_K des Kunden im Intervall [i_3,i_4] liegen allesamt über den vom Anbieter geforderten Mindestkosten G_A, aber unterhalb dessen Preisgebot P_A. Für den Anbieter ist hier somit ein Verhandlungsspielraum gegeben. Ebenso liegen im Intervall [i_2,i_5] die Preisofferten P_A des Anbieters unterhalb des Maximalpreises G_A des Kunden, aber über dessen Preisgebote P_K. Auch aus Sicht des Kunden besteht ein Verhandlungsspielraum bis hin zu seinen Grenzkosten. Welche dieser zwei Verhandlungssituationen im dargestellten Beispiel eintrift, ist direkt davon abhängig, wer das erste Angebot im gegebenen Intervall

offeriert. Die oben definierten vier Entscheidungskriterien EK1 bis EK4 lassen sich auf der Basis realer Preisgebote und der Grenzkosten für den Kunden wie folgt umschreiben:

Frühe Entscheidungskriterien des Kunden

1 EKK1: $\text{Max}[P_A(I)] \leq \text{Max}[G_K(I)] \wedge \text{Min}[P_A(I)] \leq \text{Min}[G_K(I)]$

2 EKK2: $\text{Max}[P_A(I)] \leq \text{Max}[G_K(I)] \wedge \text{Min}[P_A(I)] > \text{Min}[G_K(I)]$

3 EKK3: $\text{Max}[P_A(I)] > \text{Max}[G_K(I)] \wedge \text{Min}[P_A(I)] \leq \text{Min}[G_K(I)]$

4 EKK4: $\text{Max}[P_A(I)] > \text{Max}[G_K(I)] \wedge \text{Min}[P_A(I)] > \text{Min}[G_K(I)]$

Der Anbieter kennt nur seine Grenzkosten und erhält vom Kunden ausschließlich Preisgebote P_K mit einem ihm unbekannten Preisaufschlag. Für ihn sehen die angepaßten Entscheidungskriterien wie folgt aus:

Frühe Entscheidungskriterien des Anbieters

1 EKA1: $\text{Max}[G_A(I)] \leq \text{Max}[P_K(I)] \wedge \text{Min}[G_A(I)] \leq \text{Min}[P_K(I)]$

2 EKA2: $\text{Max}[G_A(I)] \leq \text{Max}[P_K(I)] \wedge \text{Min}[G_A(I)] > \text{Min}[P_K(I)]$

3 EKA3: $\text{Max}[G_A(I)] > \text{Max}[P_K(I)] \wedge \text{Min}[G_A(I)] \leq \text{Min}[P_K(I)]$

4 EKA4: $\text{Max}[G_A(I)] > \text{Max}[P_K(I)] \wedge \text{Min}[G_A(I)] > \text{Min}[P_K(I)]$

Ausgehend von der Annahme, daß der Anbieter mit seinem Maximalpreisgebot die Verhandlung startet, sind bei Verhandlungsbeginn für den Kunden die Kriterien EKK1 und EKK2 relevant. Umgekehrt verhält es sich, falls der Kunde die Verhandlung mit seinem Minimalpreisgebot startet und der Anbieter hieraus eine frühe Entscheidung mit Hilfe der Kriterien EKA1 und EKA3 trifft. Somit kann u.U. schon nach einem ersten Verhandlungszyklus ein Kontrakt geschlossen werden. Natürlich kann auch bei derartigen Erstgeboten im Parameterbereich durch die Akteure weiter verhandelt werden. Notwendig wird sie aber erst dann, wenn entweder das Kriterium EKK4 bzw. EKA4 zutrifft. Eine sofortige Übereinkunft ist dann bei Vorlage der Erstgebote nicht ohne weiteres möglich und eine Parameter- sowie Preiskonvergenz sind daher notwendig.

6.4.2 Konvergenz des Gradientenverfahrens

Für die Konvergenzbetrachtung des Gradientenverfahrens sind gemäß den Freiheitsgraden bei einer Verhandlung die „Bewegungsrichtungen“ im Preis als auch im Parameterraum zu unterscheiden. Aufgrund der Verhandlungskonventionen existiert schon eine unbedingte Konvergenz in der Dimension Preis. Ausschlaggebend ist nunmehr die noch fehlende Übereinstimmung in der Leistung/Ware bzw. des sie charakterisierenden Parametervektors. In der bisherigen Argumentation wurde soweit gezeigt, daß mit Hilfe der frühen Entscheidungskriterien zu Anfang

einer Verhandlung eine mögliche Übereinkunft im Maximum oder Minimum der Grenzkostenfunktionen beider Akteure bestimmt werden kann. Es verbleiben die Fälle, in denen aufgrund der Wahl des initialen Parametervektors $\underline{a}_q$ keines der frühen Entscheidungskriterien greift, prinzipiell jedoch eine Übereinkunft in G_N möglich ist. Dieses ist z.B. dann der Fall, wenn von einem der Akteure eine Offerte überhalb/unterhalb seines globalen Minimums/Maximums in G_N gewählt wird. So ist bspw. ein Kunde bei einer Verhandlung nicht gezwungen, mit seinem Minimum zu starten, auch wenn dieses dem vorab diskutierten Rationalitätsprinzip widersprechen würde. Für den Anbieter kann, nur mit umgekehrten Vorzeichen, eine ähnliche Situation konstruiert werden. Für die folgenden Betrachtungen wird vorausgesetzt, daß sich die Verhandlungspartner an die vorangestellten Verhandlungskonventionen halten. Desweiteren wird angenommen, daß die Akteure auch Angaben seitens ihrer Preisgradienten austauschen. Die Parameterkonvergenz wird exemplarisch für den Fall eines für das Verhandlungsgebiet lokalen Minimums des Anbieters nachgewiesen. Der Beweis verläuft dann analog für ein Maximum des Kunden.

Satz 6.1: Es existiere ein Gebiet $G_M \subseteq G_N$ mit $G_M \neq \emptyset$, für das folgendes gilt:
$\forall\, \underline{a}_M \in G_M,\ \underline{a}_N \in G_N\colon G_A(\underline{a}_M) \leq G_K(\underline{a}_N) \wedge \forall\, \underline{a}_M \in G_M,\ \underline{a}_N \in G_N \setminus G_M\colon G_A(\underline{a}_M) \leq G_A(\underline{a}_N)$.
Sei nun $\underline{a}_1 \in G_N \setminus G_M$ ein beliebiger Startvektor des Anbieters $A \in V$ in einem streng preiskonvergenten, endlichen Verhandlungsprozeß $N_{A \leftrightarrow B}(\underline{a},t,z)$ mit einem Kunden $B \in K$, wobei $P_A(\underline{a}_1,t_1,z) > P_K(\underline{a}_1,t_1,z)$ gilt. Zudem seien $\alpha_A(t,z)$ und $\alpha_K(t,z)$ während des Verhandlungsprozesses streng monoton fallend. Dann existiert zu einer vom Anbieter beliebig gewählten Preisreduktion $\delta_A \in \Re^+$, mit $\delta_A > 0$ ein Vektor $\underline{a}_m$ aus G_M, so daß eine Übereinkunft zwischen A und K möglich ist.

Beweis:

Aufgrund der vom Verhandlungssystem gemäß Definition 6.5 vorausgesetzten unbedingten Preiskonvergenz ist der Beweis intuitiv verständlich. Ausgehend von $\underline{a}_1$ ergibt sich mit $(P_A(\underline{a}_1,t_1,z)-P_A(\underline{a}_g,t_1,z))$ die mindestens zu überbrückende Preisdifferenz zum Gebiet G_M. Der Vektor $\underline{a}_g \in G_M$ stelle dabei die Parameterkombination mit maximalem Preis im Gebiet G_M dar, d.h. $\forall\, \underline{a}_M \in G_M\colon G_A(\underline{a}_M) \leq G_A(\underline{a}_g)$. Zum Zeitpunkt der ersten Offerte des Anbieters entspricht $(P_A(\underline{a}_1,t_1,z)-P_A(\underline{a}_g,t_1,z))$ dem Term $G_A(\underline{a}_1)*(1+\alpha_A(t_1,z))-G_A(\underline{a}_g)*(1+\alpha_A(t_1,z))=G_A(\underline{a}_1)-G_A(\underline{a}_g)=\Delta_G$. Der sich laut Voraussetzung mit der Zeit verringernde Preisaufschlag $\alpha_A(t,z)$ erzeugt eine zusätzliche Preisdifferenz $\Delta_N=G_A(\underline{a}_1)*\alpha_A(t_1,z)$. Als Gesamtdifferenz ergibt sich $\Delta_p=\Delta_N+\Delta_G$. Da sich der Preis bei jedem neuen Angebot um δ_A erniedrigt, wird der Grenzpreis des Vektors $\underline{a}_g$ nach spätestens $r=[\Delta_p/\delta_A]=[(P_A(\underline{a}_1,t_1,z)-G_A(\underline{a}_g))/\delta_A]$ Verhandlungsschritten erreicht[1]. Der hiernach resultierende Parametervektor $\underline{a}_r$ liegt nun in G_M und es gilt $G_A(\underline{a}_r) \leq G_A(\underline{a}_g)$. Mit $o_{dr \rightarrow er}(\underline{a}_r,t_r,z_r)$ als Offerte des Anbieters

ist der Kunde in der Lage, eine Offerte $o_{dr+1\rightarrow er+1}(\underline{a}_r,t_{r+1},z_{r+1})$ zu generieren, für die $o_{dr+1\rightarrow er+1}(\underline{a}_r,t_{r+1},z_{r+1})\geq o_{dr\rightarrow er}(\underline{a}_r,t_r,z_r)$ gilt und damit eine Übereinkunft möglich ist. Gilt $o_{dr+1\rightarrow er+1}(\underline{a}_r,t_{r+1},z_{r+1})=o_{dr\rightarrow er}(\underline{a}_r,t_r,z_r)$, so ist sie gar perfekt.

6.4.3 Spieltheoretische Betrachtung

Gegenstand der Spieltheorie ist die Analyse und Bewertung von strategischen Entscheidungssituationen [338]. Dabei sind den Entscheidungsträgern die Interdependenzen zwischen ihnen wohlbekannt, und das Ergebnis eines Spiels ist abhängig von ihren Einzelentscheidungen. Gemäß der Spieltheorie handelt es sich beim gradientenbasierten Verfahren um ein „kooperatives Verhandlungsspiel“ mit den folgenden, grundlegenden Eigenschaften:

- Perfekte Information über die bisher getätigten Spielzüge
- Unvollständige Informationen seitens der Preisfunktionen
- Perfektes Erinnerungsvermögen seitens getätigter Spielzüge (perfect recall)

Die Spieler können gegenseitig die von ihnen jeweils getätigten Züge beobachten. Sie besitzen ein perfektes Erinnerungsvermögen hinsichtlich der schon erfolgten Spielzüge und hier insbesondere der gewählten Parametervektoren. Hingegen ist die Verhandlung ein Spiel mit unvollständiger Information, weil die Spieler ihre gegenseitigen Preisfunktionen nicht kennen. Da zwischen Kunde und Anbieter ein Austausch von Ware/Geld stattfindet, liegt hier die Vermutung eines Nullsummenspiels nahe [338]. Was der Kunde auf der einen Seite verliert bzw. ausgibt, gewinnt der Verkäufer auf der anderen Seite hinzu. Diese Annahme gilt jedoch nur unter der Voraussetzung, daß für beide Parteien eine einheitliche und objektive Nutzenbewertung der Ware/Leistung existiert, was hier jedoch nicht der Fall ist (vgl. hier Ellsberg [333]).

Ziel einer spieltheoretischen Analyse ist es, Aussagen über die Optimalität von Verhandlungen auf der Basis der zugrundeliegenden Strategien machen zu können. Hierzu sind primär die strategischen Freiheitsgrade zu unterscheiden. So repräsentieren im vorliegenden Konzept die Grenzkostenfunktionen für die Akteure eine Strategie, welche gemäß ihrem Ermessen den Erfordernissen des Marktes im Allgemeinen entspricht, indem sie einer zulässigen Leistungskombination einen bestimmten Wert zumessen. Sie besitzen daher eine gewisse zeitliche Haltbarkeit, d.h. bei den folgenden Betrachtungen davon ausgegangen, daß sich die Grenzkostenfunktionen innerhalb eines hinreichend langen Zeitraumes nicht ändern. Weniger statisch gestalten sich die Preisauf- und Abschlagsfunktionen $N_A(\underline{a},t,z)$ und $N_K(\underline{a},t,z)$. Sie berücksichtigen insbesondere die Umstände während

1. Die Klammerung [x] ist hier als ceiling-Funktion zu lesen, d.h. sie liefert zu einer Zahl mit Nachkommastellen den nächst höheren, ganzzahligen Nachfolger.

eines einzelnen Verhandlungsprozesses. Eingeführt wurden sie als Toleranzbereiche, welche es den Akteuren während eines einzelnen Verhandlungsprozesses ermöglichen, sich im Preis zu verändern.

Nach einer Definition des gradientenbasierten Verhandlungsverfahrens als Zweipersonenspiel werden die Spielverhältnisse zuerst auf der Basis der reinen Grenzkostenfunktionen diskutiert, um dann die Preisauf- und Abschlagsfunktionen mit ihren insbesondere zeitlichen Abhängigkeiten zu untersuchen.

6.4.3.1 Das kooperative Verhandlungsspiel

Das Gradientenverfahren stellt ein kooperatives Verhandlungsspiel gemäß der Form $\Gamma=(N,S,E)$ bzw. $\Gamma=(N,S,\underline{u})$ bei bekanntem Auszahlungsvektor $\underline{u}=(u_A,u_K)$, welcher ein Element des sogenannten Auszahlungsraumes P ist, dar. Der Auszahlungsvektor repäsentiert den Nutzen der Akteure seitens ihrer Strategiekombinationen. Der Konfliktvektor bei den Auszahlungen ist durch $(c_A,c_K)=(0,0)$ gegeben. Der Strategieraum S wird durch das kartesische Produkt der Strategien von Anbieter und Kunde gebildet, d.h. $S=S_A\times S_K$. Diese Strategien sind wiederum abhängig von den strategischen Freiheitsgraden wie dem Parameterraum $\Re^p$, der Zeit $t\in T$, sowie dem Zusatzparameter $z\in Z$. Für Kunde wie Anbieter definiert sich hier eine Strategie als ein Element aus $\Re^p\times T\times Z$. Da die Nutzenfunktionen von der gewählten Strategie abhängig sind, gilt: u_X: $\Re^{p+2}\rightarrow\Re$. Für sie gilt unter Berücksichtigung von (GL 3) und (GL 4):

$$u_A(s) = u_A^s(s) + u_A^d(s)$$
$$u_K(s) = u_K^s(s) + u_K^d(s)$$

Mit $u_X^s(s)$ wird der Nutzen hinsichtlich der Grenzkosten definiert, wogegen mit $u_X^d(s)$ der Preisauf- bzw. Abschlag berücksichtigt wird. Für den Anbieter besagt $u_A(s)$ generell, daß sein Nutzen proportional mit dem Preis steigt bzw. fällt. Die Strategie s, welche den höchsten Preis in einer Verhandlung erzielt, maximiert auch seinen Nutzen. Auf Seiten des Kunden gibt $u_K(s)$ dabei an, daß sein Nutzen umgekehrt proportional zum Preis einer Ware/Leistung steht, d.h. je weniger der Kunde bezahlt, umso größer ist sein Nutzen. Implizit wird, wie auch schon vorher erwähnt, die Substituierbarkeit von unterschiedlichen Waren-/Leistungskombinationen vorausgesetzt. Die Spielermenge wird letztlich mit N=(A,K) dargestellt, wobei A und K jeweils einen beliebigen Anbieter bzw. Kunden darstellen. Es handelt sich gemäß dieser gegebenen Definition um ein kooperatives Zweipersonenspiel [344]. In den hier vorab definierten Nutzenfunktionen sind die aus der horizontalen wie auch aus der vertikalen Verhandlung erzielten Ergebnisse subsummiert. In der Diskussion um adäquate Gleichgewichtslösungen werden die Nutzenfunktionen $u_X^s(s)$ bzw. $u_X^d(s)$ an das jeweils betrachtete Szenario angepaßt.

6.4.3.2 Das Nash-Lösungskonzept

Bei der isolierten Betrachtung der Grenzkosten ist das Nash-Lösungskonzept von besonderem Interesse. Hierbei sind die Nutzenfunktionen und der Auszahlungsraum P wohlbekannt ([342],[343]). Ergo kann für alle Spieler, die bei ihren Strategie dem Nash-Gleichgewicht folgen, das Optimum errechnet werden. Es ergibt sich gemäß [338] für das Nash-Produkt der folgende Zusammenhang:

$$NP = MAX((u_A^s(\underline{a}_{NE})-c_A)*(u_K^s(\underline{a}_{NE})-c_K)) \quad \text{(GL 27)}$$

Hier stellt der Nullvektor (0,0) den Konfliktvektor (c_A,c_K) dar, d.h. bei Nichtzustandekommen einer Übereinkunft gewinnt bzw. verliert auch keiner der beiden Akteure etwas. Voraussetzung ist, daß bei den Entscheidungsprozessen die Grenzkosten peinlich genau beachtet werden und „negative“ Preise nicht zulässig sind. Bei reiner Betrachtung der Grenzkostenfunktionen von Anbieter und Kunde kann nun im Verhandlungsgebiet G_N ein Nash-Gleichgewicht angegeben werden. Beim Kunden stellt die Inverse $G_K(\underline{a}_{NE})^{-1}$ seiner Grenzkosten den Nutzen $u_K^s(s)$ dar, während beim Anbieter hingegen die Grenzkostenfunktion direkt mit dem Nutzen $u_A^s(s)$ gleichzusetzen ist. So muß in G_N nun der Vektor $\underline{a}_{NE}$ gefunden werden, in dem das Produkt ihrer Nutzenfunktionen maximal ist:

$$NP = MAX(u_A^s(\underline{a}_{NE}) * u_K^s(\underline{a}_{NE})) = MAX(G_A(\underline{a}_{NE}) * G_K(\underline{a}_{NE})^{-1}) \quad \text{(GL 28)}$$

Im Verhandlungsgebiet G_N liegen i.d.R. aber die minimalen Grenzkosten des Kunden sowie die maximalen Grenzkosten des Anbieters nicht über demselben Parametervektor $\underline{a}_{NE}$. Eine mögliche Übereinkunft ist gemäß Definition 6.6 nur dann erreichbar, wenn die Bedingung $G_A(\underline{a}_{NE}) \leq G_K(\underline{a}_{NE})$ gilt. Insofern ist das Maximum von $G_A(\underline{a}_{NE})/G_K(\underline{a}_{NE})$ für das Nash-Gleichgewicht gerade gleich 1, d.h. Anbieter und Kunde besitzen identische Grenzkosten und befinden sich somit in perfekter Übereinkunft. Dieses Resultat bedeutet wiederum, daß es aufgrund unendlich vieler Schnittpunkte zwischen $G_A(\underline{a})$ und $G_K(\underline{a})$ auch unendlich viele Nash-Gleichgewichte gibt, wodurch das Verhandlungsergebnis folglich einem Eindeutigkeitskriterium entbehrt. Es verbleibt noch die Frage, ob jedes dieser Nash-Gleichgewichte für einen Spieler auch plausibel ist? Angenommen es gäbe für Anbieter und Kunde Schnittpunkte bei $G_A(\underline{a}_1)=G_K(\underline{a}_1)=1$, $G_A(\underline{a}_2)=G_K(\underline{a}_2)=5.5$ sowie $G_A(\underline{a}_3)=G_K(\underline{a}_3)=10$. Aus der Sicht des Anbieters ist der Schnittpunkt im Parametervektor $\underline{a}_3$ am attraktivsten, da er den höchsten Preis verspricht. Für den Kunden hingegen ist der Vektor $\underline{a}_1$ optimal, da er den niedrigsten Preis ergibt. Fair für beide Parteien wäre hier der Parametervektor $\underline{a}_2$, da er preislich in der Mitte liegt. Dieses Ergebnis entspricht dem des sogenannten Kuchenteilungsproblems, bei dem zwei Parteien um die Aufteilung eines Kuchens miteinander ringen [352]. Hier ergibt die Maximinlösung eine 50:50 Teilung des Kuchens. Bei jeder abweichenden Verteilung würde einer der Spieler jeweils ablehnen. Im Gegensatz zu

dieser Problematik kennen Kunde und Anbieter bei der gradientenbasierten Verhandlung ihre gegenseitigen Grenzkostenfunktionen nicht, so daß die Abschätzung möglicher Schnittpunkte in der preislichen Mitte zwischen den maximalen Grenzkosten des Anbieters im Verhandlungsbereich sowie den minimalen Grenzkosten des Kunden nur schwer möglich ist. Der Verzicht auf eine prinzipiell mögliche Übereinkunft zugunsten einer evtl. optimaleren Lösung im weiteren Verhandlungsverlauf mit einem Schnittpunkt in der Nähe der Preismitte birgt somit aus der Sicht des Nutzens das Risiko eines Totalausfalls. Ein unter hohem Zeitdruck stehender Teilnehmer kann hier gemäß der Strategie „Lieber den Spatz in der Hand als die Taube auf dem Dach“ agieren.

Nash-Gleichgewichte sind, wie in [338] skizziert, auch paretooptimal. Eine Lösung $\underline{s}$ des Spieles Γ ist per Definition paretooptimal, falls sich keiner der teilnehmenden Spieler seitens seines Nutzens besser stellen kann, ohne daß sich ein anderer Teilnehmer verschlechtert. Entscheidungstheoretisch und unter dem Aspekt der Wohlfahrtstheorie wird Pareto-Optimalität oft mit Einstimmigkeit gleichgesetzt und ist daher mit einer Art sozialen Rationalität vergleichbar. Seien nun $\underline{a}_{NE1}$ und $\underline{a}_{NE2}$ zwei Lösungen mit $G_A(\underline{a}_{NE1})=G_K(\underline{a}_{NE1})<G_A(\underline{a}_{NE2})=G_K(\underline{a}_{NE2})$ im Nash-Gleichgewicht, so wird beim Verhandlungsspiel deutlich, daß der Nutzen des Anbieters beim Parametervektor $\underline{a}_{NE2}$ größer ist als gegenüber $\underline{a}_{NE1}$. Umgekehrt sinkt der Nutzen für den Kunden bei $\underline{a}_{NE2}$, da er für die Leistungskombination mehr investieren muß. Eine paretooptimale Lösung ist im spieltheoretischen Sinne eine effiziente Lösung. Jeder Schnittpunkt der Grenzkostenfunktionen wäre somit auch paretooptimal.

6.4.3.3 Strategien in der Zeit

Bei der bisherigen Betrachtung der Nash-Gleichgewichte repräsentierten die Grenzkostenfunktionen soweit das strategische Verhalten. Vom Verhandlungspartner wurde zu einer Leistungskombination jeweils der Preis, welcher dieser ihr zumaß, mitgeteilt. Die Suche beider Akteure unter Berücksichtigung ihrer eigenen Leistungsbewertung auf den Preisfunktionen oder genauer den Grenzkostenfunktionen des Verhandlungspartner stellt dabei einen eigenen strategischen Freiheitsgrad dar, der jedoch nicht weiter diskutiert werden soll. Unter Verwendung der Preisauf- und Abschlagsfunktionen können hingegen erweiterte Strategien in der Zeit realisiert werden. Die nun folgenden Betrachtungen lehnen sich an die von Rubinstein in [346] propagierte Verhandlungslogik an.

Durch das Setzen von Timeouts und dem Zwang eines streng monoton steigenden bzw. fallenden Angebotspreises wird eine Reaktion erzwungen. Bei dieser partiellen Konvergenz kann ein Akteur anhand der Preisänderungen ungefähr erkennen, inwieweit der Verhandlungspartner gewillt ist ihm entgegenzukommen. Zeitliches Aushungern aufgrund sehr später oder evtl. gar keiner Reaktionen ist

somit schon stark reduziert. Haben Anbieter und Kunde bei einer Leistungskombination eine gewisse preisliche Nähe erreicht, so bietet sich die vertikale Verhandlung an, um die verbleibende Preisdifferenz $P_\Delta=P_A-P_K$ zu verringern. Im folgenden sei nunmehr die Ware/Leistung durch einen Parametervektor $\underline{a}$ fest definiert, und die Grenzkosten werden mit $G_A(\underline{a})$ und $G_K(\underline{a})$ beziffert, so daß sie den Charakter einer Konstanten annehmen. Aus strategischer Sicht strebt jeder Akteur danach, von der verbleibenden Preisdifferenz P_Δ einen möglichst kleinen Anteil zu tragen. Dieses bedeutet, daß der Anbieter sich im Preis nur wenig senken, der Kunde hingegen nur wenig ansteigen möchte. Gemäß den Preisauf- und Abschlagsfunktionen $\alpha_A(t,z)$ und $\alpha_K(t,z)$ stehen beide Parteien unter zeitlichem Druck, der mehr oder weniger stark sein kann. Durch den zusätzlichen Strategieparameter z ist ein Freiheitsgrad gegeben, um in der Überbrückung der Preisdifferenz P_Δ eine Entscheidung erzielen zu können. Mit ihm kann ein Akteur einen Anteil beziffern, um den er seinem Kontrahenten, unabhängig vom ohnehin stattfindenden zeitlichen Preisverfall, entgegenkommen will. Schlägt in der Verhandlungsperiode t=0 bspw. der Kunde K einen Preisaufschlag z_K vor, so überläßt er dem Anbieter die Überbrückung des verbleibenden Anteils $P_\Delta-z_K$, welche dieser zugunsten einer sofortigen Übereinkunft durch eine Preisreduktion eingehen müßte. Umgekehrt kann auch der Anbieter eine Aufteilung $(z_A,P_\Delta-z_A)$ in den ungeraden Verhandlungsperioden vorschlagen. Die Strategie eines Kunden besteht somit aus dem Generieren eines Aufteilungsvorschlages in den geraden Verhandlungsperioden sowie Entscheidung über Annahme oder Ablehnung eines gegnerischen Vorschlages in den ungeraden Verhandlungsperioden. Für den Anbieter gelten analoge Verhältnisse mit umgekehrten Vorzeichen. Mit fortschreitender Zeit nimmt der Nutzen für beide Akteure ab. Hier kann seitens der Verbindlichkeit von Angeboten schon gefolgert werden, daß ein Akteur im Falle der Akzeptanz seines Angebotes durch den Gegenspieler sich selber schadet, wenn er seinen Vorschlag zurückzieht, da sein Nutzen im weiteren Spielverlauf sinkt. Der Nutzen in diesem Szenario definiert sich wie folgt:

$$u_A^d(t,z_A) = \delta_A^t * (P_\Delta - z_A) \text{ mit } 0 \le \delta_A \le 1 \quad \text{(GL 29)}$$

$$u_K^d(t,z_K) = \delta_K^t * (P_\Delta - z_K) \text{ mit } 0 \le \delta_K \le 1 \quad \text{(GL 30)}$$

Die Werte δ_A und δ_K in (GL 29) bzw. (GL 30) stellen Zeitpräferenzen dar und sind in diesem Sinne Diskontfaktoren gleichzusetzen. Je höher der Diskontfaktor, desto niedriger die Zeitpräferenz. Ohne Beschränkung der Allgemeinheit werden sie hier auf Werte zwischen Null und Eins normiert. Alle durch $(z_A,P_\Delta-z_A)$ bzw. $(P_\Delta-z_K,z_K)$ definierte Aufteilungen stellen Nash-Gleichgewichte dar, da sie trivialerweise eine vollständige Zerlegung der Preisdifferenz P_Δ sicherstellen. Es verbleibt jedoch die Frage, ob diese Gleichgewichte für beide Akteure auch plausibel sind? Rubinstein zufolge muß zur Erreichung von sogenannten teilspielperfekten Gleichgewichten ein Spieler, welcher an der Reihe ist anzunehmen oder aber abzulehnen, indifferent

sein zwischen der heutigen Auszahlung bei Annahme oder der morgigen Auszahlung bei Ablehnung. In seinem Kalkül hat er daher zwei Aufteilungsvorschläge sowie den zeitlichen Zerfall des jeweiligen Nutzens mit zu berücksichtigen. Rubinstein formulierte hierzu pro Akteur folgende Bedingungen:

$$z_A(z_K) = P_\Delta \text{ für alle } z_K \text{ mit } u_K^d(t,P_\Delta - z_A) > u_K^d(t+1,z_K)$$
$$= z_A \text{ für alle } z_K \text{ mit } u_K^d(t,P_\Delta - z_A) = u_K^d(t+1,z_K) \quad \text{(GL 31)}$$

$$z_K(z_A) = P_\Delta \text{ für alle } z_A \text{ mit } u_A^d(t,P_\Delta - z_K) > u_A^d(t+1,z_A)$$
$$= z_K \text{ für alle } z_A \text{ mit } u_A^d(t,P_\Delta - z_K) = u_A^d(t+1,z_A) \quad \text{(GL 32)}$$

Die Zuteilungspaare $(z_A^*, P_\Delta - z_A^*)$ bzw. $(P_\Delta - z_K^*, z_K^*)$ der Akteure beinhalten teilspielperfekte Gleichgewichte, falls das Paar (z_A^*, z_K^*) die beiden Gleichungen $z_A = z_A(z_K)$ sowie $z_K = z_K(z_A)$ in (GL 31) bzw. (GL 32) erfüllt. Der erste Teil der Bedingungen in den Gleichungen, nämlich $z_A(z_K) = P_\Delta$ und $z_K(z_A) = P_\Delta$, ist dann relevant, wenn aufgrund des zeitlichen Verfalls des Nutzens in der Verhandlungsperiode t+1 Nutzenwerte resultieren, die kleiner sind als die für den Fall, daß der betreffende Akteur in der Verhandlungsphase t leer ausgeht. Durch Anwenden der Gleichungen (GL 31) und (GL 32) auf die Nutzenfunktionen in (GL 29) als auch (GL 30) ergibt sich folgendes Resultat:

$$\delta_A^t * (P_\Delta - (P_\Delta - z_K)) = \delta_A^{t+1} * (P_\Delta - z_A)$$
$$\Rightarrow z_K = \delta_A * (P_\Delta - z_A) \quad \text{(GL 33)}$$

$$\delta_K^t * (P_\Delta - (P_\Delta - z_A)) = \delta_K^{t+1} * (P_\Delta - z_K)$$
$$\Rightarrow z_A = \delta_K * (P_\Delta - z_K) \quad \text{(GL 34)}$$

Aus (GL 33) und (GL 34) lassen sich durch gegenseitiges Einsetzen die Gleichgewichtswerte für das Zuteilungspaar (z_A^*, z_K^*) ermitteln. Es gilt für z_A^* und z_K^*:

$$z_A^* = \delta_K * P_\Delta * (1-\delta_A)/(1-\delta_A * \delta_K) \quad \text{(GL 35)}$$

$$z_K^* = \delta_A * P_\Delta * (1-\delta_K)/(1-\delta_A * \delta_K) \quad \text{(GL 36)}$$

Startet der Anbieter die vertikale Preisverhandlung, so stellt z_A^* den gleichgewichtigen Verteilungsvorschlag für jedes Teilspiel bzw. für jeden folgenden Verhandlungsvorgang dar. Beginnt umgekehrt der Kunde, so drückt z_K^* das Gleichgewicht der Teilspiele aus. Strategisch gesehen wird der Anbieter immer z_A^* vorschlagen und jeweils die Vorschläge z_K, für die $P_\Delta - z_K > P_\Delta - z_K^*$ gilt, ablehnen, sowie diejenigen mit $P_\Delta - z_K \leq P_\Delta - z_K^*$ akzeptieren. Für den Kunden kann analog argumentiert werden. Je höher der Diskontfaktor δ_i, desto niedriger die Zeitpräferenz eines Akteurs i und um so geringer ist sein Anteil z_i an der zu überbrückenden Preisdifferenz P_Δ (vgl. Abbildung 6-12).

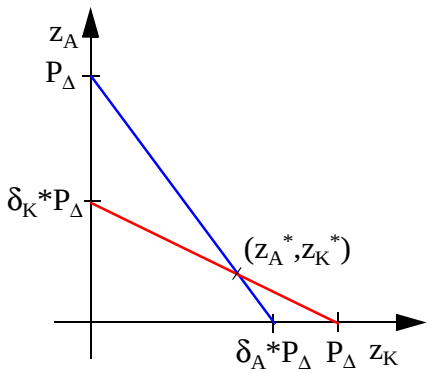


Abbildung 6-12: Gleichgewichtswerte in teilspielperfekter Verhandlung

Kann ein Akteur lange warten bzw. steht er unter keinem hohen Zeitdruck, so ist er auch in der Lage, seinen Nutzen innerhalb einer Verhandlung zu optimieren. Ein Extremfall stellt hier bspw. die Situation $\delta_K=0$ dar. Der Kunde K hat in diesem Fall nicht die Möglichkeit, sich durch Ablehnung des vom Anbieter offerierten Angebotes in der Zukunft besser zu stellen. Der Anbieter ist theoretisch in der Lage, kein Entgegenkommen im Preis zeigen zu müssen. Gilt andererseits $\delta_A=0$, so kann der den Verhandlungsprozeß startende Anbieter sich zumindest den Anteil δ_K sichern. Dieses Ergebnis zeigt, daß es für einen Akteur, sei es Anbieter oder Kunde, von Vorteil ist, eine Verhandlung zu beginnen und somit das erste Angebot zu machen.

6.4.4 Abschätzung des Verhandlungsaufwands

Aufgrund der Symmetrie des Verfahrens ist es zur Abschätzung der Komplexität prinzipiell unerheblich zu unterscheiden, welcher Akteur die Verhandlung beginnt. Dennoch wird im folgenden die Analyse aus Sicht eines einzelnen, aber beliebigen Akteurs X vollzogen. Dieses hat den Hintergrund, daß die positive wie negative Beendigung des Verfahrens durch accept bzw. reject von einem der beiden Verhandlungspartner initiiert wird. Algorithmisch stellt sich das Verfahren als ein Iterationsprozeß dar, so daß die Frage nach Abhängigkeit und Anzahl der notwendigen Verhandlungsschritte dominiert. Die Komplexität wird maßgeblich von folgenden Faktoren bestimmt:

- Anzahl p der verhandelten Attribute
- Anzahl n_X der Verhandlungsiterationen
- Mindestschrittweite δ_X bei der Preisreduktion

Zur Generierung einer Offerte muß gemäß (GL 22) ein Deltavektor unter Berücksichtigung der p Parameterdimensionen berechnet werden. Für die hierzu notwendigen Elementaroperationen wie Addition, Multiplikation, Subtraktion und Division muß demzufolge ein Berechnungsaufwand angesetzt werden. Punktrechnungen werden hierbei durch 'Mult', Strichrechnungen hingegen durch 'Add' repräsentiert. Für die in (GL 22) enthaltenen Skalarprodukte ergibt sich der reine Berechnungsaufwand wie folgt:

(GL 37)

$$LZ(\vec{a} \cdot \vec{b}) = LZ(\sum_{i=1}^{p} a_i \times b_i) = p \times Mult + (p-1) \times Add$$

Mit (GL 37) kann nun der Aufwand zur Berechnung von (GL 26) angesetzt werden. Für den Term T_1 gilt: $LZ(T_1)=(3*p+2)*Mult+(3*p+1)*Add$. Term T_2 enthält Anteile, die schon in T_1 berechnet wurden. Es gilt: $LZ(T_2)=1*Mult+1*Add$. Für den Koeffizienten α läßt sich der resultierende Ausdruck zu einer Ungleichung abschätzen und asymptotisch folgern:

$LZ(\alpha)=(3p+5)*Mult+3*(p+1)*Add \leq 8p*Mult+6p*Add \leq 14p*Mult \in O(p)$.

Bei freier Wahl der Attributanzahl p ist der asymptotische Aufwand zur Berechnung des Deltavektors linear abhängig von p. Wird letzteres fixiert, so würde dieser Aufwand ergo konstant.

Alle Iterationen des Prozesses bestehen aus der Analyse einer empfangenen Offerte sowie der Generierung einer Gegenofferte bei Ablehnung ersterer. In der Analyse ist der Vergleich mit dem eigenen Extremum seitens $G_X(\underline{a})$ in G_N als auch die Überprüfung auf die Akzeptanz des vorherigen Angebotes durch ein accept notwendig. Die Häufigkeit der Offertenberechnung ist abhängig von der Anzahl der Verhandlungsiterationen n_X. Sie wiederum läßt sich in Abhängigkeit zur Mindestschrittweite δ_X, mit welcher der Preis gesteigert bzw. reduziert wird, gemäß der Beziehung $n_X=\Delta_X P/\delta_X$ setzen. Für den Anbieter ist hier die maximal zu durchlaufende Preisdistanz $\Delta_A P$ durch $P_A(\underline{a}_{Max})-G_A(\underline{a}_{Min})$ gegeben, d.h. er startet mit der teuersten Produktkombination inklusive maximalem Preisaufschlag und reduziert seine Offerten solange, bis er beim günstigsten Angebot ohne jeglichem Preisaufschlag angelangt ist. Für den Kunden stellt sich $\Delta_K P$ durch $G_K(\underline{a}_{Max})-P_K(\underline{a}_{Min})$ dar. Im schlechtesten Fall wird nun bei beiden die vollständige Preisdistanz $\Delta_X P$ durchlaufen, bis die endgültige Entscheidung über einen möglichen Kontrakt feststeht. Da die Offerten wechselseitig ausgetauscht werden, ist die Anzahl der Verhandlungsiterationen abhängig vom Minimum der Quotienten $\{\Delta_A P/\delta_A, \Delta_K P/\delta_K\}$. Somit gilt: $T(N_{g1\leftrightarrow g2}) = Min(\Delta_A P/\delta_A, \Delta_K P/\delta_K)*T(\alpha) \leq \Delta_X P/\delta_X*T(\alpha) \in O(p/\delta_X)$. Dieses Ergebnis zeigt, daß die Schrittweite bei der Preisgestaltung im Verhandlungsprozeß $N_{g1\leftrightarrow g2}$ die Komplexität des Verfahrens maßgeblich beeinflußt.

6.4.5 Verwandte Arbeiten

Neben dem schon in Kapitel 2.5.3 diskutierten marktbasierten Allokationsverfahren im Telekommunikationsbereich werden im folgenden zwei weitere wichtige Ansätze für Preisbildungsmechanismen in automatisierten Märkten vorgestellt. Es handelt sich zum einen um den WALRAS-Algorithmus, welcher Angebot und Nachfrage einer Anzahl n in verteilten Märkten agierender Agenten zusammenbringt. Zum anderen wird das von Faratin&Jenning in [213] konzipierte Modell für bilaterale Agentenverhandlungen beschrieben und dem gradientenbasierten Verhandlungsverfahren gegenübergestellt.

6.4.5.1 Der WALRAS-Algorithmus

Die Grundvorstellung des WALRAS-Algorithmusses besteht darin, ein Gleichgewicht seitens Angebot und Nachfrage in verteilten, aber miteinander verbundenen Märkten durch einen iterativen Preisanpassungsprozeß zu erreichen. Formuliert wurde dieses Idee erstmals durch den französischen Ökonomen Leon Walras im 19. Jahrhundert [47]. Als verteiltes System implementiert und untersucht wurde es von Cheng und Wellmann [7].

Im WALRAS-System stehen die Konsumenten den Produzenten gegenüber. Beide Typen von Agenten operieren über eine fest definierte Menge von k Gütern, zu denen jeweils ein aktueller Marktpreis existiert. Die Nutzenfunktion eines beliebigen Konsumenten i bildet eine beliebige Güterkombination auf einen Preis ab, d.h. es gilt: u_i: $\Re^{k+} \rightarrow \Re$. Er startet dabei mit einer Anfangsbelegung $\underline{e} \in \Re^{k+}$ an Gütern. Mit $e_{i,j}$ wird dabei die Grundausstattung dieses Agenten i seitens des Gutes j definiert. Mit $x_{i,j}$ wird sein maximaler Verbrauch seitens dieses Gutes quantifiziert. Der Konsument i muß angesichts der geltenden Marktpreise nun eine Menge $\underline{x}$ an Gütern wählen, welche seine Nutzenfunktion $u_i(\underline{x})$ optimiert. Dabei darf er den Wert seiner Grundausstattung $\underline{e}$ nicht überschreiten und hat somit folgendes Optimierungsproblem zu lösen: $MAX(u_i(x_i))$ mit $\underline{p}*x_i \leq \underline{p}*e_i$. Der Vektor $\underline{p}$ stellt den Marktpreis für die Güter dar. Ein Produzent hingegen ist in der Lage, eine Ware aus anderen Gütern herzustellen, was durch seine individuelle Produktionsfunktion $y_i=-x_{i,j}=f_i(x_{i,1}, x_{i,2}, ..., x_{i,j-1}, x_{i,j+1}, ..., x_{i,k})$ beschrieben wird. Ziel des Produzenten ist es nun, einen Produktionsplan zu erstellen, welcher aufgrund der Preise für die Ein- und Ausgabegüter seinen Nutzen maximiert. Seien $x_{i,\bar{j}}$ und $p_{\bar{j}}$ der Verbrauch und der Preis für die benötigten Eingabegüter, so besteht der Nutzen bzw. der Gewinn des Produzenten in der Differenz des Wertes des produzierten Gutes zum Preis der eingesetzten Güter oder aber $MIN(\underline{p}*x_i)$ unter der Nebenbedingung das $x_{i,j} \leq f_i(x_{i,\bar{j}})$ ist. Die Agenten eines WALRAS-Systems konkurrieren untereinander. Ein Preis- sowie ein Nachfragevektor $(\underline{p},\underline{x})$ konstituieren für einen Agenten ein Gleichgewicht, wenn und nur wenn für jeden der Agenten i der Wert x_i eine

Lösung seines Optimierungsproblems zum gegebenen Preis $\underline{p}$ darstellt und wenn die Nettosumme der produzierten Güter zuzüglich der konsumierten Gütermengen gleich der Grundausstattung des Gesamtsystems seitens seiner Gütermengen ist, oder formal:

(GL 38)

$$\sum_{i=1}^{n} x_{i,j} = \sum_{i=1}^{n} e_{i,j}, \quad j = 1,...,k$$

Zur Berechnung der Preise startet der ursprüngliche Algorithmus mit einem initialen Preisvektor p_0. Die Agenten bestimmen ihre Nachfrage seitens des Marktpreises, indem sie ihre Nutzenfunktionen unter den gegebenen Nebenbedingungen optimieren und teilen diese dem Auktionator mit. Ausgehend von diesen Daten berechnet der Algorithmus dann iterativ für jedes der Güter einen neuen Marktpreis, solange ein Nachfrageüberhang existiert. Cheng und Wellmann modifizierten den Auktionsprozeß dahingehend, daß die Agenten statt einzelner Werte Kurven bzw. Funktionen für Angebot bzw. Nachfrage entsenden. Für jedes der Güter wird bei ihnen eine individuelle Auktion durchgeführt und der resultierende Preis auf einer Tafel für alle Agenten öffentlich gemacht. Das Verfahren verläuft prinzipiell asynchron. Ein Agent kann zu einem beliebigen Zeitpunkt t seine Informationen hinsichtlich seiner Nachfrage entsenden. Für die Preiskonvergenz notwendig ist jedoch die Substituierbarkeit von Gütern, d.h. wenn der Preis für eine Ware ansteigt, wird die Nettonachfrage für die übrigen Güter nicht absinken.

Mit der WALRAS-Umgebung ist zwar eine flexible Modellierung von verteilten Märkten möglich, doch handelt es sich dabei mit Bezug auf (GL 38) jeweils um einen geschlossenen Markt, d.h. Zu- und Abflüsse und Geld und Waren sind im Modell nicht vorgesehen. Auch wissen die Agenten nicht um die Existenz der übrigen Marktteilnehmer und kennen sich ergo gegenseitig auch nicht. Individuelle Verhandlungen sind daher ausgeschlossen. Im Gegensatz zur gradientenbasierten Preisverhandlung erfolgt die Räumung von Angebot und Nachfrage zentral unter Ausschluß individueller Preisverhandlungen. Pareto-Optimalität ist dann gegeben, wenn die Nutzenfunktionen für jeden beteiligten Agenten maximiert und (GL 38) erfüllt ist. Der reale Austausch von Geld gegen Ware bzw. Güter würde im WALRAS-System i.d.R. erst nach einer Anzahl von N Iterationen stattfinden können. Der einzelne Agent befindet sich sozusagen in einem globalen Optimierungsprozeß. Er verfügt über keine Informationen darüber, inwieweit Angebot und Nachfrage geklärt sind. Die zentrale Berechnung des Marktpreises ermöglicht zwar einen hohen Grad an Koordination schafft, aber auch seitens der verteilten Märkte eine starke Abhängigkeit vom Auktionsprozeß, was durch die Preisfestsetzung in individuellen Verhandlungen des gradientenbasierten Verfahrens so nicht gegeben ist. Bei beiden Ansätzen ist jedoch eine automatisierte Abwicklung der Marktaktivitäten aufgrund der Verwendung von vorberechneten Preis- bzw. Nachfragefunktionen und der mit ihnen verbundenen Entscheidungsinformationen leicht möglich.

6.4.5.2 Dienstorientiertes Verhandlungsmodell für Agenten

Von Faratin&Jennings wurde zur Verhandlung von Dienstnutzungen innerhalb des ADEPT-Projektes, welches Applikationen im Bereich des Geschäftsprozeßmanagements unterstützen soll, ein Verfahren entworfen. Innerhalb eines Geschäftsprozesses werden der Dienstanbieter und der Dienstnutzer unterschieden. Ein Dienst kann prinzipiell von mehreren Anbietern erbracht werden. Ein Agent kann ergo Anbieter als auch Nutzer sein. Eigenschaften der Dienste werden durch Attribute beschrieben. Agenten sind autonom und ihre Absichten, Ziele und Bewertungen sind nur ihnen bekannt. Das Verhandlungsmodell ist auf zwei Akteure ausgelegt und somit bilateral. Einem Attribut kann ein Wert aus einem Wertebereich beigemessen werden. Ein Agent hat für jedes Attribut eine Bewertungsfunktion und auch eine Gewichtung, welche die Priorität desselben wiedergibt. Die Summe dieser Gewichtungen ist dabei auf den Wert 1 normiert. Die somit mehrdimensionale Bewertungsfunktion eines Agenten i stellt sich wie folgt dar:

(GL 39)

$$V^i(x) = \sum_{1 \le j \le n} w_j^{\,i} \cdot V_j^{\,i}(x_j), \qquad \text{mit} \quad \sum_{1 \le j \le n} w_j^{\,i} = 1$$

Diensterbringer (Server) und Dienstnehmer (Client) benutzen dabei Bewertungsfunktionen $V_j(x)$, welche aus Vereinfachungsgründen entweder monoton steigend oder aber monoton fallend sind. Vor ihren Verhandlungen klären sie die relevanten Attribute ab. Bei der Generierung von Angeboten wie Gegenangeboten werden drei grundlegende Taktiken unterschieden:

- zeitabhängig
- ressourcenabhängig
- nachahmend

Eine Taktik repräsentiert dabei eine Menge von Funktionen, welche für die Berechnung der Attributwerte wie Preis, Menge u.a. verwendet werden. Steht ein Agent seitens eines Vertragsabschlusses unter Zeitdruck, so wird er auch eine zeitabhängige Taktik verwenden. Die Kurvenform der Funktionen ist dann stark abhängig vom Faktor Zeit. Steht die Begrenztheit der Ressourcen im Vordergrund, so werden die Funktionen Variablen für unterschiedliche Ressourcenarten wie Geld, Anzahl der Kunden und Dienste etc. aufweisen. Die nachahmende (boulware) Taktik soll verhindern, daß ein Agent von anderen seitens seiner Absichten ausspioniert werden kann. Zu jeder dieser Taktiken werden von Faratin&Jennings entsprechende Funktionsklassen vorgeschlagen. Insbesondere bei den zeitabhängigen Taktiken werden hier bspw. Polynome bzw. Exponentialfunktionen verwendet. Strategien werden durch die Kombination verschiedener Taktiken gebildet und ziehen dabei den bisherigen Verlauf von Verhandlungen mit in Betracht.

Beim Vergleich mit dem gradientenbasierten Verhandlungssystem kann festgestellt werden, daß die dort verwendeten Preisfunktionen nicht zwingend monoton sein müssen und durchaus auch nichtlineare Abhängigkeiten seitens des mehrdimensionalen Parameterraumes modelliert werden können. Dieses bedeutet bspw., daß der resultierende Preis davon abhängt, in welchem Verhältnis zwei Parameter bzw. Attribute zueinander stehen. Derartige Zusammenhänge können mit Hilfe der Linearkombination zueinander orthogonaler Preisfunktionen $V_j(x)$ nicht so ohne weiteres modelliert werden. Anstelle einer Monotoniekonvention seitens der Preisentwicklung innerhalb eines Verhandlungsprozesses verwenden Faratin&Jenning von vornherein monotone Preisfunktionen, was eine zusätzliche Einschränkung in der Modellierung von Preissystemen darstellt. Desweiteren wird die partielle Konvergenz im Verhandlungsprozeß ausschließlich auf der Basis der für die Taktiken vorgeschlagenen Funktionsklassen sichergestellt. Eine Annäherung zwischen einem Kunden und einem Anbieter vollzieht sich parameterweise, d.h. jedes Attribut wird isoliert verhandelt. Im Gegensatz hierzu kann innerhalb einer Verhandlungsiteration beim gradientenbasierten Verfahren jeder Parameter innerhalb der Preisfunktionen mit angepaßt werden.

6.5 Zusammenfassung

In einem ersten Schritt erfolgte zu Anfang des Kapitels die Definition allgemeiner Zieleigenschaften für die auf einem GM stattfindenden Verhandlungsprozesse. Neben der Minimierung von Verhandlungs- und Verweilzeiten zählten hierzu insbesondere die Maximierung des Umsatzes an Bandbreite und Kapital. Desweiteren wurden den Marktakteuren ein kooperatives und rationales Verhalten unterstellt. P-dimensionale Preisfunktionen werden dann für die Akteure als individuelle und geheime Entscheidungsquellen definiert. Sie setzen sich aus zwei Anteilen, den Grenzkosten sowie einem Preisauf- bzw. Preisabschlag, zusammen. Letztere dienen der flexibleren Verhandlungsführung und können als Toleranzbereiche für die Preisbildung angesehen werden.

Zur adäquaten Definition notwendiger Verhandlungskonventionen wurde das Marktszenario auf unterschiedliche Grundsituationen hin betrachtet und festgestellt, daß zur Maximierung von Bandbreite und Kapital möglichst viele Verbindungswünsche bedient und die verantwortlichen MOBAGs in der ihnen zur Verfügung stehenden Zeit zu einem Kontrakt kommen. Als wesentliches strategisches Problem wurde hier das „zeitliche Aushungern“ identifiziert, welches durch die vom System den Akteuren aufoktroyierte Preiskonvergenz minimiert wurde.

Ausgehend von den so vordefinierten Grundeigenschaften wurde ein Verhandlungsmechanismus entworfen. Kennzeichnend für dieses Verfahren ist die transparente Einbindung einer Kontrollinstanz, welche den gesamten Verhandlungs-

prozeß zwischen den Akteuren seitens des Offertenaustausches überwacht und die für den Marktplatz zugrundegelegten Konventionen durchsetzt. Neben der Spezifikation der Kooperationsprotokolle wurde eine gradientenbasierte Suche vorgestellt, mit deren Hilfe ein Akteur neue Offerten generieren kann. Voraussetzung hierzu ist allerdings der Austausch der Preis- und Gradienteninformation.

Die Analyse des Verfahrens differenzierte sich nach den Aspekten der Konvergenz, Optimalität und Komplexität. Seitens der Konvergenz konnte gezeigt werden, daß unter der Voraussetzung dominierender Maxima bzw. Minima beim Kunden bzw. Anbieter im Verhandlungsbereich und der Annahme rationalen Verhaltens mit Hilfe der frühen Entscheidungskriterien eine prinzipiell mögliche Übereinkunft schon am Anfang der Verhandlung erkannt werden kann. Darüberhinaus wurde gezeigt, daß unter diesen Bedingungen auch ohne der Rationalitätsannahme die Akteure Anbieter und Kunde im Preis und in der Definition der Leistung konvergieren. Diese Eigenschaften des Verfahrens führen jedoch nicht zwingend zu einem Kontrakt, da ansonsten die Autonomie der Akteure in Frage gestellt wäre. Zur Untersuchung der Optimalität wurde das gradientenbasierte Verfahren als kooperatives Verhandlungsspiel formuliert. In einem ersten Schritt wurden dabei die Preisfunktionen isoliert nach ihren Grenzkosten analysiert und unter Verwendung der Gleichgewichtslösungen von Nash gezeigt, daß eine optimale Preisaufteilung nicht unbedingt eindeutig ist. Die prinzipiell unendlich vielen Nash-Lösungen wurden als die Schnittpunkte der Grenzkostenfunktionen identifiziert. In einem zweiten Schritt wurden die zeitlichen Verhältnisse seitens der Preisstrategien untersucht. Grundlegend war hier die Verhandlungslogik von Rosenstein. Es zeigte sich dabei, daß bei zeitlich abnehmendem Nutzen der Akteur, welcher als erster die Verhandlungsinitiative ergreift, mit einem besseren Ergebnis rechnen kann, als sein Verhandlungspartner. Dieses Resultat stimmt in wesentlichen Punkten qualitativ mit den Rosensteinschen Ergebnissen überein und stellt somit für einen Marktplatz aus strategischer Sicht einen wichtigen Anreiz für die Initiierung von Verhandlungen dar. Seitens der Komplexität konnte gezeigt werden, daß sich das Verfahren linear zum Quotienten aus der Anzahl p der Attribute bzw. Parameter, sowie der minimalen Preisreduktion δ_X verhält. Ein Akteur, welcher vor einer Verhandlung seine Preisreduktion festlegt, kann die maximal mögliche Anzahl an Verhandlungsiterationen leicht ermitteln. Er hat umgekehrt die Möglichkeit, in Abhängigkeit der ihm zur Verfügung stehenden Zeit diese Mindestschrittweite zu berechnen und somit die Gesamtdauer einer Verhandlungsbeziehung abzuschätzen.

Abschließend wurden zwei weitere Ansätze für Verhandlungssysteme im Agentenbereich im Detail präsentiert und dem gradientenbasierten Verfahren vergleichend gegenübergestellt. Es zeigte sich, daß das hier vorgestellte Verfahren über eine hohen Grad an Flexibilität seitens des zeitlichen Verhaltens sowie der Preisgestaltung in Abhängigkeit mehrerer Parameter im Verhandlungsprozeß verfügt.

KAPITEL 7 Das „Traded-Routing“ Verfahren

Wurde im Kernkapitel 5.3 das Konzept eines Ressourcenmarktplatzes in seiner lokalen Erscheinung diskutiert und im Kernkapitel 6.3 ein entsprechendes Verfahren zur Verhandlung und Reservierung einer Teilverbindungsstrecke vorgestellt, so verbleibt nunmehr die Frage, wie der Aufbau einer Endverbindung im Gesamtnetzwerk berechnet werden kann. Die Aufgabe des MOBAGs besteht darin, eine gemäß der ihm vorgegebenen Qualitätskriterien möglichst günstige Endverbindung zu konfigurieren. Hierzu muß er auf der Basis eines Routings einen Pfad durch das Gesamtnetzwerk ermitteln und reservieren, was einem Planungs- und Entscheidungsprozeß entspricht, da festzustellen ist, welche Teilverbindungen den geforderten Qualitätskriterien genügen und wie sich eine Sequenz von Teilverbindungen zu einer Endverbindung konfigurieren läßt. Im Kernkapitel 7.2 wird das „Traded Routing“ (TR) als ein Verfahren zur Konfiguration einer Endverbindung vorgestellt. Es basiert auf einer Variante des dynamischen Sourceroutings mit stark adaptivem Charakter sowie der Einbindung GM-lokaler Verhandlungsprozesse. Im Vergleich zu anderen Routingverfahren wird eine definierte Anzahl alternativer Pfade berechnet und zu einem Graphen verdichtet. Dem ökonomisch dominierenden Prinzip des „Wirtschaften heißt wählen“ trägt das TR-Verfahren insofern Rechnung, als da das Verhandlungsergebnis seitens der Nutzung alternativer Teilstrecken auf einem GM direkt die netzweite Wegewahl beeinflußt. Nach einer Erörterung der Problematiken beim Routing im VC-Markt wird das TR-Verfahren im Detail dargestellt und an einem Beispielszenarios veranschaulicht. Abschließend erfolgt eine analytische Betrachtung und Bewertung.

7.1 Betrachtungen zum marktorientierten Routing

Die Konfiguration einer Endverbindung in einem ATM-Netzwerk muß den vom Kunden individuell geforderten Dienstgütekriterien genügen. Im Gegensatz zu den herkömmlichen Übertragungssystemen[1] mit fest definierter Dienstgüte erscheint die Offlineberechnung von Routingplänen angesichts der kombinatorischen Vielfalt der Dienstgütekriterien wenig sinnvoll. In der Literatur ist dieses Problem unter dem Begriff des dienstgütebasierten bzw. QoS-based Routing bekannt (vgl. auch [78],[101],[130],[145],[148],[181] u.a.).

In der PNNI-Empfehlung des ATM-Forums für das Routing in Privatnetzen wird dieses Problem durch die Klassifikation des Gesamtnetzes auf Basis vordefinierter Dienstkategorien mit zusätzlich möglicher, individueller Routenberechnung angegangen [A12]. Repräsentiert wird eine solche Sourceroute durch eine Liste von Knoten, der im Kapitel 2.4.1.2 schon vorgestellten DTL, welche beim Verbindungsaufbau mitgeführt wird und die von den besuchten Transitknoten u.a. zwecks Vervollständigung durchaus modifiziert werden kann. Die Berechnung der Sourceroute basiert auf einer Abschätzung der Tauglichkeit der involvierten Links mittels der GCAC und zielt auf die Generierung eines durchgängigen Pfades ab. Alternativwege werden in der Sourceroute nicht berücksichtigt und müssen im Falle eines Reroutings von den verantworlichen Transitknoten oder gar vom Ursprungsknoten selbst neu berechnet werden. Für ein marktbasiertes Routing ist diese Vorgehensweise insofern unbefriedigend, als daß kostengünstigere Alternativwege in der Sourceroute mit berücksichtigt werden sollten. Die Entscheidung darüber, wie der Pfad vervollständigt wird, ist dabei abhängig von den Verhandlungsergebnissen auf den jeweils besuchten GMs. Desweiteren wird beim PNNI von inflexiblen Dienstgüteanforderungen ausgegangen, die es auf einer Route durchzusetzen gilt. Dieses steht im Kontrast zu den verhandelbaren Dienstgüteanforderungen beim marktbasierten Routing, bei denen der MOBAG auf einem GM entscheiden kann, inwieweit er Änderungen seitens seiner QoS-Anforderungen bei der Preisverhandlung vornimmt.

Die Idee zur Bereitstellung alternativer Dienstgüteanforderungen ist ansatzweise in der ITU-Empfehlung Q.2721.1 [I71] zum CS-2 der B-ISDN Signalisierung durch die Einführung einer alternativen Zellrate, sowie einer mindestens erforderlichen Zellrate realisiert. Diese Vorgaben stellen vorausberechnete Alternativen dar, die zur Zeit des Verbindungsaufbaus nicht weiter an die jeweils vorliegende Ressourcensituation anpaßbar sind [154]. Zudem erfolgt die Auswahl der alternativen Zellraten durch die Signalisierungsinstanzen auf den Transitknoten ohne eine direkte Einflußnahme der verbindungsanfordernden Kundeninstanz.

1. Hier sind i.W. synchrone bzw. plesiochrone Systeme auf der Basis von SDH/Sonet und PDH gemeint.

In der ITU-Empfehlung Q.2931 [I78] zur Signalisierung an der Teilnehmer/ Netzschnittstelle ist die Selektion eines Transitnetzes und somit eines Anbieters durch den initiierenden Teilnehmer in der Setup-Nachricht explizit vorgesehen. Allerdings wird die anvisierte Endverbindung dabei möglichst vollständig im gewählten Netzwerk geroutet. Beim marktbasierten Ansatz hingegen setzt sich die Gesamtroute aus mehreren Teilstrecken unterschiedlicher Netzanbieter zusammen, die auf jedem GM frei gewählt werden können. Für die Vorausberechnung einer Sourceroute bedeutet dieses, daß für jeden GM-Übergang zwischen mehreren Links und somit mehreren Anbietern eine Auswahl getroffen werden muß.

Die Berechnung einer Route ist stark abhängig von den Informationen über den aktuellen, globalen Netzzustand [84]. Für die Konzipierung eines adäquaten Verfahrens muß daher festgestellt werden, welche Informationen im VC-Markt vorhanden sind und wie sie sich qualitativ darstellen. Hier ist insbesondere die Dynamik hinsichtlich ihrer zeitlichen Veränderlichkeit von großer Bedeutung. In der nachfolgenden Tabelle 7-1 werden die routingrelevanten Informationen aufgeführt und diesbezüglich entsprechend eingestuft.

Information	Änderungsdynamik
Topologie	sehr klein
Anzahl der Anbieter	klein
CTD	mittel
Anzahl der VCs	hoch
Verfügbare Zellrate	hoch
Preis-/Nutzungsdauer	sehr hoch

Tabelle 7-1: Änderungsdynamik wesentlicher Informationen im VC-Markt

Die Netztopologie auf der Basis der installierten GMs samt ihrer Lokation wird hier als kaum veränderlich angesehen. Verbunden sind die GMs untereinander durch VPs, die jeweils einem Anbieter zugeordnet sind. Mit der Hinzu- bzw. Wegnahme von VPs ändert sich i.d.R. auch die Anzahl der Anbieter. Zeitlich gesehen können diese Modifikationen als eher selten angenommen. Die Veränderlichkeit des CTD der Links ist davon abhängig, wie häufig die entsprechenden VPs vom zuständigen Netzbetreiber konfiguriert bzw. neu geroutet werden. Es ist davon auszugehen, daß derartige Eingriffe zeitlich mit mittlerer Häufigkeit stattfinden. Die Anzahl und das zeitliche Auftreten der Verbindungsaufbauwünsche hat einen direkten Einfluß auf die Menge der verfügbaren VCs, sowie die verfügbare Zell-

rate seitens der VPs auf einem GM. Diese Änderungsfrequenz ist als entsprechend hoch einzustufen. Die mit Abstand stärksten Änderungen sind hingegen bei der Preisbildung und der Nutzungszeit der VCs zu erwarten.

7.2 Das Konzept des Traded Routings

Der Prozeß eines QoS-basierten Routings umfaßt alle Aktivitäten zur Ermittlung des Pfades durch ein Netzwerk, der mit hoher Wahrscheinlichkeit den geforderten Dienstgütekriterien entspricht. Der Routingvorgang als solcher wird hierbei üblicherweise von den Mechanismen zur Reservierung bzw. Allokation der Ressourcen im Rahmen eines Ressourcenmanagements unterschieden (vgl. [182]). Die zentrale Idee des TR-Verfahrens besteht darin, die beim Verbindungsaufbau möglichen Alternativen zur Wegwahl unter Berücksichtigung der geforderten Dienstgüte in Form eines gerichteten, zyklenfreien Tradinggraphen (TG) vorauszuberechnen. In der Abbildung 7-1 ist ein TG innerhalb eines Netzwerkes eingezeichnet. Die Folge der durchgezogenen Kanten markiert den kürzesten Weg, während alternative Links gestrichelt dargestellt worden sind. Teilstrecken mit unzureichendem QoS sind im Gesamtgraphen durchgestrichen und im TG folglich nicht enthalten.

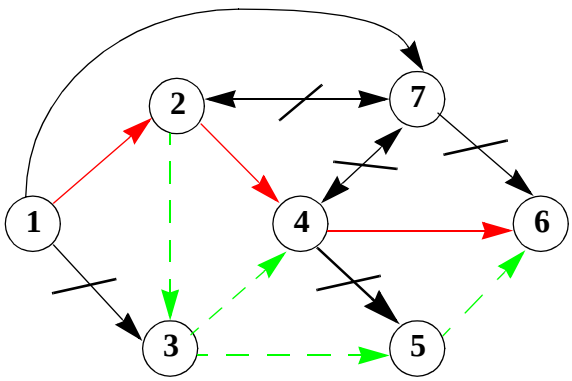


Abbildung 7-1: Beispiel eines Tradinggraphen im Netzwerk

Ausgestattet mit einem solchen „Fahrplan“ kann der MOBAG dann versuchen, einen für ihn möglichst kostengünstigen Pfad auf den in Frage kommenden GMs zu verhandeln. Die Entscheidung, welcher abgehende Link auf einem GM nun gewählt wird, ist abhängig von der Bewertung der Verhandlungsergebnisse, die mit den jeweiligen Anbietern erzielt wurden. Der MOBAG wird den Link wählen, welcher einen Teil des kürzesten Weges vom aktuellen GM zum Ziel-GM darstellt. Im TG sind hierzu die kürzesten Wege aller GMs zum Ziel-GM samt der

Kosten vorab eingetragen. Durch die Summation der Kosten des jeweils günstigsten Links zu einem benachbarten GM, sowie der Kosten für den kürzesten Weg von diesem GM zum Zielknoten ergeben sich die Gesamtkosten eines der möglichen Pfade. Werden alle benachbarten GMs betrachtet, so wählt der MOBAG aus der Menge aller möglichen Pfade letztlich den mit den niedrigsten Kosten aus.

7.2.1 Crankback

Kann der MOBAG bspw. auf dem GM4 gemäß der Abbildung 7-1 keine Teilverbindungen zum GM6 allozieren, so befindet er sich gewissermaßen in einer Sackgasse und er muß ein Crankback einleiten, d.h. er kehrt auf den vorherigen GM2 zurück [163]. Dort gibt er die vorreservierte Teilverbindung zum GM4 wieder frei und versucht im Rahmen eines Reroutings einen alternativen Pfad zu ermitteln. Es besteht nun die Möglichkeit, daß es einen solchen Ersatzpfad nicht gibt oder aber die Verhandlungen für die notwendige Teilverbindung auf dem entsprechenden GM fehlschlagen. In diesem Falle muß der MOBAG auf dem bisherigen Pfad weiter zurückwandern und das Rerouting auf dem jeweils vorhergehenden GM erneut vollziehen. Ein Crankback mit der Konsequenz der Stornierung von Vorreservierungen aufgrund nicht ausreichender Ressourcen für einen Verbindungsaufbau ist erwünscht. Es muß jedoch vermieden werden, daß ein MOBAG bspw. wegen eines schlechten Verhandlungsergebnisses auf einem GM ein Crankback vollzieht, da dieses die Ausnutzung der Netzressourcen unzulässigerweise verschlechtert.

7.2.2 Einordnung des TR-Verfahrens

Gemäß den von der ITU in ihrer Empfehlung E.177 [I1] vorgegebenen Definitionen zum „Traffic Routing“ kommen beim TR-Verfahren gleich mehrere Aspekte zum tragen. Prinzipiell handelt es sich hier um einen Sourceroutingansatz, da die Berechnung möglicher Pfade in Form des TG vollständig auf dem Ursprungs-GM vollzogen wird. Da jeder TG darüberhinaus individuell in Abhängigkeit vom geforderten QoS ermittelt wird, kann hier von einem dynamischen Routing gesprochen werden [88]. Bedingt durch die Möglichkeit zur Linkauswahl auf jedem GM innerhalb des TG wird aber auch der Aspekt des Alternate Routing mit progressiver Connection Control bzw. Verbindungskontrolle erfüllt [97]. Ausgehend von der in der ITU-Empfehlung E.177 [I1] für das B-ISDN Routing vorgeschlagenen, nicht-hierarchischen Netzstruktur gestaltet sich das hier vorgestellte Routingverfahren ebenfalls als nicht hierarchisch, d.h. insbesondere auf einen logischen Überbau wird verzichtet. Das TR weist somit eine konzeptuelle Ähnlichkeit mit dem Dynamic Non Hierarchical Routing (DNHR) auf (vgl. auch [57],[88], [118]).

7.2.3 Betrachtung relevanter Aspekte beim TR

Neben der reinen Berechnung einer Route bzw. eines TG obliegen einem linkstatebasierten Routingprotokoll der Vollständigkeit halber noch weitere Aufgaben, die sich wie folgt zusammensetzen:

- Entdeckung benachbarter GMs und Kontrolle der Linkzustände
- Netzweite Verteilung der Linkstatevektoren
- Synchronisation der Linkstatedatenbanken
- Auswertung und evt. Verdichtung der Linkstateinformationen

Auf obige Teilprobleme wird im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter eingegangen und auf entsprechende Lösungen in der Sekundärliteratur verwiesen[1]. Mit Blick auf die Routenberechnung definiert sich ein praktikables Verfahren gemäß [163] durch die folgenden wünschenswerten Eigenschaften:

- Schnelle und einfache Berechnung
- Adaptivität und Stabilität
- Fairneß bei der Pfadzuweisung
- Optimalität und Korrektheit

Schwerpunkte werden im folgenden auf die Aspekte der Adaptivität und Stabilität sowie die Optimalität und Fairneß der Routenberechnung gelegt. Der Nachweis der Korrektheit erfolgt in der Analyse des Verfahrens.

7.2.4 Global verfügbare Informationen im VC-Markt

Beim TR werden in Anlehnung an Verfahren wie OSPF oder dem PNNI Linkstatevektoren verwendet [63]. Da zwischen zwei benachbarten GMs mehrere VPs unterschiedlicher Anbieter existieren können, muß jeder von ihnen durch eine Menge von Attributen in seinem aktuellen Zustand charakterisiert sein. Ein Anbieter kann auf seinem VP Teilverbindungen für unterschiedliche Dienstkategorien und den ihn zugeordneten Verkehrsklassen CBR, rt-VBR, nrt-VBR, ABR sowie UBR anbieten. Pro Verkehrsklasse ist ein separater Linkstatevektor vorgesehen, der neben dem Zustand der Ressourcen zusätzlich auch ökonomische Angaben enthält [78]. Pro Anbieter und VP sind somit maximal fünf Linkstatevektoren möglich. Gemäß diesem Ansatz wird das Netzwerk logisch in Verkehrsklassen unterteilt (vgl. auch [130],[148]).

1. Hier sind u.a. das OSPF-Verfahren ([139],[140]) sowie das PNNI-Routing [A12] zu nennen. Beide Verfahren bieten Lösungen zur Verdichtung, Verteilung und Auswertung von Linkstatevektoren an.

Linkstatevektor	
Administrative Attribute	Verkehrsattribute
PID	CDV
ToS	maxCTD
numVC	CLR_0
P_{usL}	CLR_{0+1}
T_{usL}	maxCR
--	AvCR

Tabelle 7-2: Attribute eines Linkstatevektors

In der Tabelle 7-2 ist ein generischer Linkstatevektor für die Verkehrsklassen mit den entsprechenden Attributen dargestellt. Letztere können gemäß ihrer Bedeutung nach administrativen bzw. verkehrsbeschreibenden Attributen klassifiziert werden [161]. Ein Anbieter wird durch seinen Identifikator, der Provider-ID (PID) gekennzeichnet. Die Verkehrsklasse wird durch das „Type of Service“-Flag (ToS) angezeigt. Mit numVC wird die noch zur Verfügung stehende Anzahl von VCIs zur Unterscheidung der virtuellen Kanäle im VP angegeben. Die Preisangabe P_{usL} spiegelt das durchschnittliche Kostenniveau pro normierter Zeiteinheit für die Benutzung einer Teilverbindung wieder, während die durchschnittliche Nutzungszeit der Verbindungen via T_{usL} angegeben wird. Die Zeitintervalle zur Mittelwertsbestimmung werden dabei vom MM bestimmt. Die Varianz der Zellverzögerungszeiten CDV, die maximale Laufzeit maxCTD der Zellen auf der Teilverbindung, die Verlustwahrscheinlichkeiten CLR_0 und CLR_{0+1} bei aus- bzw. eingeschaltetem CLP-Flag im Zellkopf, sowie die maximal als auch aktuell verfügbare Zellrate maxCR und AvCR auf dem VP entsprechen hier den Vorgaben im PNNI-Protokoll. Eine Differenzierung gemäß dieser Verkehrsklassen ermöglicht bei der Routengenerierung neben einer besseren Abschätzung der verfügbaren Ressourcen auch eine verbesserte Kostenoptimierung seitens der Preise und Nutzungszeiten. Es sei hier angemerkt, das die Berechnung der Attribute von einem Anbieter für jede Verkehrsklasse individuell vollzogen werden kann (s.a. [A12]).

Der Zustand eines GM wird, wie in der Tabelle 7-3 aufgeführt, durch den Knotenzustands- bzw. Nodestatevektor beschrieben. Jeder GM besitzt im VC-Markt

eine eindeutige Adresse, zu der hier jedoch keine weitergehenden Angaben gemacht werden [I2]. Desweiteren verfügt er über eine beschränkte Anzahl an Plätzen, auf denen die MOBAGs verweilen können. Diese Anzahl aktuell verfügbarer Slots wird durch das AvAS Attribut reflektiert. Gleiches gilt für die Anzahl der noch freien VC-IDs mittels des AvVC Attributes. Der Switchkapazität eines GMs wird durch die Angaben maxCSC, sowie AvCSC Rechnung getragen. Während der erste Wert die maximale Bruttoswitchkapazität angibt, spiegelt der zweite Wert die zur Zeit verfügbare Zellswitchrate wieder (vgl. Rajagopalan [78]).

Nodestatevektor	
Administrative Attribute	Verkehrsattribute
Address	AvAS
P_{usN}	AvVC
T_{neg}	maxCSC
--	AvCSC

Tabelle 7-3: Attribute eines Nodestatevektors

Neben einer Charaktierisierung der Ressourcen und ihrer Auslastung werden auch hier Angaben zum Preis P_{usN} für die GM-Benutzung durch den MOBAG sowie eine maximale Verweilzeit T_{neg} für den Verhandlungszeitraum angegeben.

7.2.4.1 Eigenschaften der Attribute

Die Attribute der Linkstate- und Nodestatevektoren unterscheiden sich nach Art der Verarbeitung bzw. Auswertung im Rahmen des Routingprozesses. Akkumulative Attribute beinhalten skalare Werte, die sich über die Sequenz der Teilstrecken einer Endverbindung aufsummieren. Bei der Betrachtung eines Links muß daher die Auswirkung dieser Attribute auf die jeweilige Gesamtsumme betrachtet werden. Zu den akkumulativen bzw. additiven Attributen zählen $\overline{P}_{usL}$, P_{usN}, $\overline{T}_{usL}$, T_{neg}, CDV. sowie maxCTD [66]. Für die Akkumulation dieser Attribute können jeweils spezielle Summationsfunktionen zur Verfügung stehen [72]. Die zweite Kategorie von Attributen stellen die Selektionskriterien dar, die für jeden Link einer Teilstrecke gelten müssen. Sie müssen nicht zwingenderweise numerisch sein, sondern können auch Bezeichnungen oder Namen enthalten. Hierzu gehören dann entsprechend PID, ToS, CLR_0, CLR_{0+1}, AvCR, AvAS, AvVC und AvCSC.

7.2.5 Der Tradinggraph

Das ATM-Forum bietet in seiner Empfehlung af-pnni-0055 [A12] für private ATM-Netzwerke zwei Algorithmen zur Routenberechnung an. Einer dieser Algorithmen berechnet quasi offline für die jeweilige Dienstkategorie eine Menge vordefinierter Routen [148]. Im Falle eines Verbindungswunsches kann aus der Menge dieser Routen für die gewünschte Dienstklasse die jeweils bestmögliche ausgewählt werden. Der zweite Algorithmus ist für die Berechnung eines individuellen Pfades während der Verbindungsaufbauphase vorgesehen. Hier lassen sich nunmehr die individuellen Dienstgütekriterien mit berücksichtigen. Für beide Verfahren wird eine hierarchische Struktur der Netztopologie vorausgesetzt. Als Ergebnis wird eine DTL generiert, welche die vorausberechnete Sourceroute durch das Gesamtnetzwerk darstellt. Der TG ist mit einer solchen DTL insofern vergleichbar, als daß auch er mögliche Sourcerouten durch das hier jedoch als nicht hierarchisch strukturierte Gesamtnetzwerk repräsentiert. Diese Routen stehen allerdings auf der Basis eines Kostenkriteriums in Relation zueinander. In der Abbildung 7-2 ist ein Beispiel für einen TG skizziert, welcher aus dem in der Abbildung 7-1 dargestellten Netzwerk extrahiert worden ist. Er besteht ausschließlich aus den tauglichen GMs inklusive deren Links, die für die Endverbindung hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit in Frage kommen.

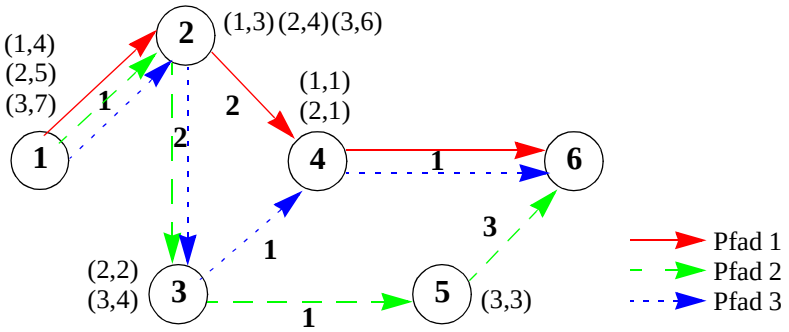


Abbildung 7-2: Informationsstrukturen für einen Tradinggraphen

Es sind insgesamt drei Alternativwege in diesem TG mit unterschiedlichen Kosten enthalten. Alle drei Pfade beginnen am Startknoten 1. Das Ziel ist der Knoten 6. Ein Tupel zeigt an, ob es sich bei dem Pfad um den günstigsten, zweit- oder drittgünstigsten handelt. Der zweite Wert in diesem Tupel repräsentiert die noch verbleibenden Gesamtkosten zur Erreichung des Zielknotens. Die Vorausberechnung des TG hat den Hintergrund, daß ausgehend von den individuellen Anforderungen an die gewünschte Endverbindung die GMs samt der Teilstrecken betrachtet werden. Ein Hop-by-Hop basiertes Routing, wie es bspw. im paketba-

sierten Internetverkehr verwendet wird [163], würde sich hier als ineffizient erweisen, da sich die Berechnungen für die QoS-basierte Wegewahl auf jedem GM wiederholen müßte (vgl. [Stallings]). Zudem wäre die Sicherstellung der Zyklenfreiheit bei einem Hop-by-Hop Routing mit einem zusätzlichem Aufwand verbunden (vgl. [89],[105],[139]).

7.2.6 Die Zugangskontrolle im GM-Netzwerk aus globaler Sicht

Die Ermittlung der Tauglichkeit einer Verbindungsstrecke zwischen zwei GMs wird analog zum PNNI-Routing in der ATM-Forumsempfehlung mit Hilfe der GCAC als einer Schätzfunktion realisiert [A12]. Entsprechend ist die Qualität der GCAC sowie der Daten, auf denen sie beruht, für die Qualität des erzeugten TG und respektive die Effizienz des Routings von wesentlicher Bedeutung [63]. Die GCAC wird als einheitlich für alle GMs im Gesamtnetzwerk vorausgesetzt. Allerdings muß die GCAC auf die CACs der im Netz operierenden GMs abgestimmt sein, d.h. die globale Zugangskontrolle sollte sich bei ihrer Entscheidungsberechnung auf die gleichen Kriterien stützen wie die lokale Zugangskontrolle. Realisiert wird ein solcher Zusammenhang durch die Verwendung gleicher oder aber abgeleiteter Statusinformationen. Gemäß Kapitel 5.3.5 ist eine solche CAC zweigeteilt, denn einerseits müssen die Kapazitäten des GMs sowie des ihm unterliegenden Switches berücksichtigt werden, andererseits sind die individuellen Präferenzen der Anbieter mit einzubeziehen. Bei letzterem sind vor allem die Preisaspekte wesentlich. Die GM-spezifische Zugangskontrolle ist, wie in der Gleichung (GL 40) dargestellt, mit dem anbieterspezifischen Anteil funktional verknüpft.

$$LCAC = PCAC \oplus MCAC \qquad \text{(GL 40)}$$

Entsprechend muß zuerst die Eintrittsbedingung für den GM, welche vom MM über die MCAC geprüft wird, erfüllt sein, bevor die eigentlichen Verhandlungen mit den Anbietern, verallgemeinert durch die PCAC dargestellt, stattfinden können. Die generische oder besser globale Zugangskontrolle GCAC muß mit dieser GM-lokalen LCAC abgestimmt sein.

$$GCAC = GCAC_{L} \oplus GCAC_{GM} \qquad \text{(GL 41)}$$

Auch sie setzt sich analog zur LCAC aus zwei funktionalen Anteilen zusammen. In der Gleichung (GL 41) wird mit $GCAC_{GM}$ der Kontrollanteil bezeichnet, welcher den Zugang zu einem GM anhand dessen Nodestatevektor entscheidet. Für die abgehenden Links eines GM wird die Zugangskontrolle durch die $GCAC_{L}$ beschrieben. Sie zieht bei ihrer Berechnung die Werte im Linkstatevektor mit ein. Da mehrere Anbieter bzw. VPs zwischen zwei GMs existieren können und jeder Anbieter wiederum maximal alle fünf Verkehrsklassen unterstützen kann, ist aus

dieser Vielzahl eine Auswahl zu treffen. Eine erste Einschränkung möglicher Links kann anhand der vom Kunden geforderten Dienstklasse erfolgen. Nun sind aus der Menge der Anbieter, welche diese Dienstklasse unterstützen, mit Hilfe der $GCAC_L$ die gemäß den gestellten Verbindungsanforderungen prinzipiell in Frage kommenden zu selektieren. Besteht diese Menge aus mehr als einem Anbieter, dann ist auf der Basis einer vom Kunden vorgegebenen Bewertungsfunktion hieraus der günstigste auszuwählen. Grundlage der GCAC-Berechnung stellen neben den Node- und Linkstatevektoren auch die vom Dienstkunden zur Verfügung gestellten Informationen dar. Sie bestehen i.w. aus den Verkehrsdeskriptoren (Traffic Descriptors) für die Hin- und Rückrichtung der VC, der Dienstklasse, sowie der gewünschten Dienstgütekriterien. In der Abbildung 7-3 ist die Reihenfolge der Auswertungen graphisch dargestellt. Auf der linken Seite sind die im Netzwerk global verfügbaren Informationen in Form der Nodestate- und Linkstatevektoren eingetragen. Auf der rechten Seite sind die vom MOBAG für den Verbindungsaufbau mitgeführten Daten gelistet.

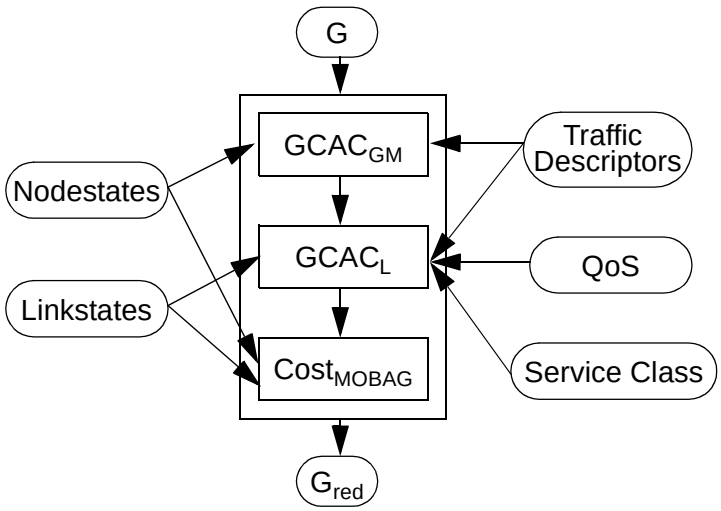


Abbildung 7-3: Reduktion eines Netzwerkgraphen

Gemäß diesem Aktionsdiagramm werden in einem ersten Schritt die GMs selektiert, welche über ausreichend Ressourcen verfügen. Hierzu werden klarerweise die Informationen aus den Nodestatevektoren, sowie die Bandbreiteanforderungen für die Hin- und Rückrichtung der Verbindung aus dem Verkehrsdeskriptor verwendet. Da von einem GM eine Vielzahl von Links abgehen können, wird durch die Reduktion der GM-Menge auch die Menge der zu betrachtenden Links vermindert. Die Aufgabe der $GCAC_L$ entspricht dem herkömmlicher GCACs, wie sie bspw. in [A12] definiert worden sind. Sie reduziert die verbleibenden Links auf

diejenigen, welche die Ressourcenanforderungen prinzipiell erfüllen können. Da die $GCAC_L$ als netzweit einheitlich vorausgesetzt worden ist [161], kann hier der Berechnungsaufwand leichter abgeschätzt werden. Zur Berechnung selbst werden üblicherweise die Linkstatevektoren, sowie kundenseitig die Verkehrsdeskriptoren, die gewünschte Dienstklasse sowie deren Dienstgütekriterien verwendet. Um die im Sinne des Kunden günstigsten Links zu ermitteln, wird auf der verbleibenden Linkmenge die kundenspezifische Bewertungsfunktion CostMOBAG angewendet. Das Ergebnis dieser Bewertungsfunktion sollte eine reellwertige Zahl sein, welche die Kosten eines Links subsumiert. In diese Kosten für einen gerichteten Link werden gleichzeitig die Kosten für die GM-Benutzung mit eingerechnet, so das dieser Kostenfaktor beim Routingverfahren nicht mehr berücksichtigt werden muß. Ist die Menge der zwischen zwei GMs betrachteten Links größer als eins, so ist der Link mit den jeweils niedrigsten Kosten zu wählen. Als Ergebnis dieser Operationsfolge ergibt sich ein gewichteter Netzwerkgraph, für den gilt, daß zwischen zwei GMs für die Hin- bzw. Rückrichtung maximal ein Link existiert.

Die Generierung des eigentlichen TG erfolgt durch ein separate Berechnung, welche auf dem reduzierten Netzwerkgraphen operiert. Dieses wiederum bedeutet, daß eine Optimierung seitens der Kosten einer Linkfolge während des Routingprozesses ausschließlich auf der Basis der vorab ermittelten, reellwertigen Linkkosten vollzogen wird. Alternativ wären hier Ansätze denkbar, bei denen der Optimierungsprozeß mehrere, voneinander unabhängige Parameter separat betrachtet. Dieses wäre insbesondere seitens akkumulativer Attribute wie z.B. dem Preis, den Gesamtverzögerungszeiten etc. sinnvoll. Bei den nicht akkumulativen Attributen bestimmt der Link mit dem schlechtesten Wert die Qualität der Gesamtverbindung. Dieses ist bspw. bei der Bandbreite bzw. der Nutzungszeit der Fall. Allerdings muß bei der Optimierung unabhängiger Parameter zur Konfiguration der Endverbindung ein Auswahlkriterium für die Links definiert werden, welches diese Parameter letztlich zueinander in Beziehung setzt. Diese Varianten des QoS-basierten Routings sind z.Z. noch Gegenstand der Forschung[1].

Die hier vorgenommene Trennung zwischen Filterung relevanter Links und eigentlichem Routing dient vor allem der Übersichtlichkeit. Im nachfolgend vorgestellten Routingalgorithmus könnte die Filterung der Links zwischen je zwei betrachteten GMs integriert werden, was die Berechnungskomplexität des Gesamtverfahrens verringern würde. Hierauf wurde aus obigem Grund verzichtet. Völlig unabhängig von den hier betrachteten Aktivitäten kann jedoch die Klassifizierung der Anbieterlinks nach den fünf Dienstkategorien vollzogen werden. Der MM hat die eingehenden Linkstatevektoren gemäß vorgegebener Klassifizierungsmerkmale, die bspw. als Grenzwerte vorliegen können, den Dienstklassen zuzuordnen.

1. Vgl. hierzu nochmals [66], [72], [78], [130], [148] u.a.

7.2.7 Charakterisierung des Tradinggraphen

Im folgenden wird das Gesamtnetzwerk abstrakt durch einen endlichen, gerichteten Graphen G=(V,K,α,ω) mit der Knotenmenge V und der Kantenmenge K dargestellt. Die Abbildungen α: K→V und ω: K→V geben jeweils den Anfangs- bzw. Endknoten einer Kante an. G ist ein gewichteter Graph, d.h. den Kanten wird durch die Kostenfunktion c: K→$\Re^+$ eine Bewertung in Form einer positiven reellen Zahl zugewiesen. Ein TG G‘=(V‘,K‘,α‘,ω‘) stellt einen zusammenhängenden und gerichteten Teilgraphen dar, der aus dem das Gesamtnetzwerk repräsentierenden gerichteten Graphen G generiert wird. Es gilt somit V‘⊆V und K‘⊆K. Mit |V∪K|<+∞ gilt folglich auch |V‘∪K‘|<+∞. Der Graph G ist ein reduzierter Graph, d.h. zwischen zwei Knoten u und v existiert pro Richtung maximal eine Kante. Sie repräsentiert letztlich die gemäß der zugrundegelegten Berwertungsfunktion günstigste Teilverbindung eines entsprechenden Anbieters. Die hier gewählte abstrakte Darstellungsform ist also unter dem Aspekt eines konkreten Routingproblems hinsichtlich eines Verbindungsaufbauwunsches zu sehen. Es folgt ebenso für den Startknoten s, sowie den Zielknoten z, daß s,z∈V‘. Nach dieser ersten formalen Definition verbleibt die Frage, wie sich der TG konstituiert, d.h. durch welche Eigenschaften er definiert wird. Eine Möglichkeit besteht bspw. darin, den gemäß der individuell zugrundegelegten Bewertungsfunktion kostengünstigsten Weg zu ermitteln und diesen um gewisse Ausweichpfade zu einem TG zu erweitern. Der MOBAG hätte in einem solchen TG an einigen Knoten die Wahl, den Nachfolgeknoten direkt oder bei einer nicht erwarteten Kostensituation über einen solchen Ausweichpfad zu erreichen. Bei einem derartigen Ansatz stellt sich allerdings das Problem, die Optimalität des generierten Weges aus globaler Sicht zu bewerten. Es bietet sich daher von vornherein an, den Aspekt der Kostenoptimalität in die Charakterisierung des TG mit aufzunehmen. In der vorliegenden Arbeit definiert sich der TG daher über die m kostengünstigsten Wege vom Start- zum Zielknoten. Ein Pfad bzw. Weg w von s nach z ist durch eine Kantenfolge (k_1,...,k_r) eindeutig definiert. Die Kosten des Weges c(w) ergeben sich formal zu:

$$c(w) = \sum_{i=1}^{r} c(k_i) \qquad \text{(GL 42)}$$

Für zwei beliebige, nicht notwendigerweise verschiedene Knoten u,v∈V wird mit W_G(u,v) die Menge aller möglichen Wege von u nach v definiert. Der kostengünstigste Weg w^1∈W_G(u,v) definiert sich somit durch das Minimum der Kosten aller möglichen Wege von u nach v, wobei δ^1(u,v)=min{c(w)|w∈W_G(u,v)} die Kosten darstellt. Die Kosten δ^2(u,v) des zweitgünstigsten Weges w^2 ließen sich hiernach definieren zu δ^2(u,v)=min{c(w)|w∈W_G(u,v)\w^1}. Dieses läßt sich nun zu folgender rekursiv aufgebauter Definition verallgemeinern.

Definition 7.1: Die Kosten des m-günstigsten Weges w^m in einem Graphen mit $G=(V,K,\alpha,\omega)$ sind durch $\delta^m(u,v)=\min\{c(w)|w\in W_G(u,v)\setminus\{w^1, ...,w^{m-1}\}\}$ gegeben.

Durch diese Definition wird eine monotone Ordnung auf der Menge aller möglichen Wege zwischen zwei beliebigen Knoten seitens ihrer Kosten realisiert. Es gilt nun folgendes

Lemma 7.1: Für die m-günstigsten Wege zwischen zwei Knoten u,v in einem Graphen $G=(V,K,\alpha,\omega)$ mit $|V\cup K|<+\infty$ gilt: $\delta^1(u,v)\leq\delta^2(u,v)\leq...\leq\delta^m(u,v)$.

Beweis durch Induktion über m:

Der hier vorgelegte Beweis stützt sich auf einen mengentheoretischen Ansatz. Da endliche, gewichtete Graphen mit rein positiven Kantengewichten betrachtet werden, ist die Menge $W_G(u,v)$ aller möglichen Wege zwischen den Knoten (u,v) ebenfalls endlich. $W_G(u,v)$ stellt hier die sogenannte Universalmenge an möglichen Wegen dar, aus der iterativ Teilmengen abgeleitet werden.

I-Anfang:
Es sei i=1. Dann gilt gemäß obiger Definition trivialerweise
$\delta^i(u,v)=\delta^1(u,v)=\min\{c(w)|w\in W_G(u,v)\}$ mit
$\delta^1(u,v)=c(w^1)\leq c(w)$ für alle $w\in R_1=W_G(u,v)\setminus\{w^1\}\subset W_G(u,v)$.

I-Voraussetzung:
Für beliebiges i mit $1<i<m$ gelte nun $\delta^1(u,v)\leq\delta^2(u,v)\leq...\leq\delta^i(u,v)$ mit
$W_G(u,v)\supset R_1\supset\ldots\supset R_{i-1}$.

I-Schluß:
Angenommen die monotone Ordnung gilt nicht für $1<i+1\leq m$. Es muß dann gefordert werden, das $\delta^i(u,v)>\delta^{i+1}(u,v)$ gilt. Gemäß obiger Definition folgt, das
$\min\{c(w)|w\in W_G(u,v)\setminus\{w^1,...,w^{i-1}\}\}>\min\{c(w)|w\in W_G(u,v)\setminus\{w^1,...,w^{i-1},w^i\}\}$.
Nun gilt, das $R_i=W_G(u,v)\setminus\{w^1,...,w^{i-1},w^i\}\subset R_{i-1}=W_G(u,v)\setminus\{w^1, ...,w^{i-1}\}$.
Sei der Weg $w^i\in R_{i-1}$ derjenige mit $c(w^i)=\min\{c(w)|w\in R_{i-1}\}$ und $w^{i+1}\in R_i$ derjenige mit $c(w^{i+1})=\min\{c(w)|w\in R_i\}$ sowie $c(w^i)>c(w^{i+1})$. Da aber $w^{i+1}\in R_i$ und $R_i\subset R_{i-1}$ gilt auch das $w^{i+1}\in R_{i-1}$. Dann muß jedoch gefolgert werden, das auch $w^{i+1}=\min\{c(w)|w\in R_{i-1}\}$ gilt. Dieses widerspricht aber der Annahme. ■

Es stellt sich nun die Frage, wie sich die Menge der m-günstigsten Wege in einem Graphen G ermitteln läßt. Hier wird auf den Ansatz von [Bellmann] zuückgegriffen, der auf der Basis eines Optimalitätsprinzips ein Gleichungssystem definierte, aus dem sich ein entsprechender Algorithmus ableiten ließ. Allerdings muß dieser Ansatz zur Ermittlung der m-günstigsten Wege verallgemeinert werden.

Für einen kostengünstigsten Weg w von s nach z sei e ein beliebiger Knoten auf diesem Weg. Das Optimalitätsprinzip für den kostengünstigsten Weg besagt nun,

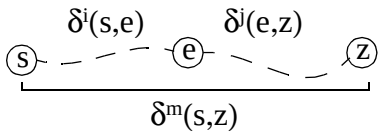
daß $\delta^1(s,z)=\delta^1(s,e)+\delta^1(e,z)$ gilt. Dieses bedeutet nichts anderes, als daß jede Teilstrecke für jedes Knotenpaar auf dem kostengünstigsten Weg vom Start- zum Zielknoten seinerseits wiederum kostenoptimal ist. Dieses ist leicht einsehbar, da ansonsten ein noch günstigerer Weg zwischen je zwei Knoten gefunden werden kann [353]. Die Verallgemeinerung des Optimalitätsprinzips für m-günstigste Wege definiert sich auf der Basis des folgenden

Satz 7.1: Sei $G=(V,K,\alpha,\omega)$ mit $|V\cup K|<+\infty$ und w^m mit $\delta^m(s,z)$ der m-günstigste Weg vom Startknoten s bzw. Zielknoten z in diesem Graphen. Dann gilt für einen beliebigen Knoten e auf diesem Weg: $\delta^m(s,z)=\delta^i(s,e)+\delta^j(e,z)$ mit $1\leq i,j\leq m$.

Beweis:

1.Fall: Für $e=s \vee e=z \Rightarrow$
$\delta^m(s,z)=0+\delta^j(s,z)$ mit $j=m$ bzw.
$\delta^m(s,z)=\delta^i(s,z)+0$ mit $i=m$.

2.Fall: Es sei nun $s\neq e\neq z$:



In der nebenstehenden Abbildung ist der m-günstigste Weg von s nach z mit $\delta^m(s,z)$ dargestellt. Er setzt sich aus den zwei Teilstrecken (s,e) und (e,z) zusammen. Es sei Knoten e auf dem m-günstigsten Weg beliebig gewählt und der Teilweg u von s nach e nun als fixiert mit Kosten K angenommen. Die zu beweisende Eigenschaft kann nun wie folgt formuliert werden: $\delta^m(s,z)=K+\delta^j(e,z)$ wobei v den Teilweg von e nach z darstellt. Es wird nun folgendes angenommen: $\exists w\in W_G(e,z)$ mit $j>m$, so das $\delta^m(s,z)=K+\delta^j(e,z)$ und $\delta^j(e,z)>\delta^m(e,z)$ gilt. Dieses würde gemäß Definition 7.1 bedeuten, das es m Kantenzüge bzw. Teilwege von e nach z gibt, für die nach Lemma 7.1 gilt mit $\delta^1(e,z)\leq...\leq\delta^m(e,z)$. Diese lassen sich mit der Teilstrecke u zu m Kantenzügen von s nach z kombinieren, so das gelten muß: $\delta^1(e,z)+K\leq...\leq\delta^m(e,z)+K<\delta^j(e,z)+K$. Dieses widerspricht aber der Voraussetzung, daß die zusammengesetzte Kantenfolge aus w und u den m-günstigsten Weg darstellt. ■

Der Satz 7.1 stellt eine Eigenschaft des m-günstigsten Weges w von einem Startknoten s zu einem Zielknoten z in einem Graphen dar, vorausgesetzt es existieren mindestens m unterschiedliche Wege. Für eine algorithmische Ermittlung eines solchen Weges ist diese Eigenschaft nun in eine entsprechende Handlungsanweisung umzusetzen. Der Algorithmus wird dabei iterativ vorgehen, d.h. er wird Knotenmengen im Graphen G und ihre erreichbaren Nachfolger betrachten um dann Kantenfolgen zu erzeugen. Betrachtet man nun den unmittelbaren Vorgängerknoten e vom Zielknoten z, der auf dem m-günstigsten Weg liegt, so besagt Satz 7.1, das $\delta^m(s,z)=\delta^j(s,e)+B[e,z]$ mit $1\leq j\leq m$ gelten muß. Ist der Vorgängerknoten e

allerdings noch nicht bekannt, so muß er aus allen möglichen Vorgängerknoten ermittelt werden. Folgendes Lemma 7.2 wird hierzu aufgestellt:

Lemma 7.2: Für zwei beliebige Knoten s und f in einem Graphen $G=(V,K,\alpha,\omega)$ mit den in Satz 7.1 beschriebenen Eigenschaften und alle unmittelbaren Vorgängerknoten e von f mit: $\exists k \in K$ so daß $\alpha(k)=e$ und $\omega(k)=f$, gilt folgendes:
$\delta^m(s,f) \leq \delta^m(s,e)+B[e,f]$.

Beweis:

Angenommen dieser Zusammenhang stimmt nicht, so muß folgendes gelten:
$\exists e \in G \wedge \exists k \in K$, so daß $\alpha(k)=e$ und $\omega(k)=f$ mit $\delta^m(s,e)+B[e,f]<\delta^m(s,f)$.
Diese Ungleichung läßt sich mit Lemma 6.1 umschreiben zu
$\delta^1(s,e)+B[e,f] \leq ... \leq \delta^{m-1}(s,e)+B[e,f] \leq \delta^m(s,e)+B[e,f]<\delta^m(s,f)$.
Für $\delta^m(s,f)$ gilt, das maximal m-1 Wege kostengünstiger sein können. Auf der linken Seite der Ungleichung stehen aber m Wege die echt kleiner sein müßten. Diese führt zum Widerspruch mit der vorausgesetzten Annahme. ■

Obiges Lemma 7.2 spiegelt die in Satz 7.1 gegebene Eigenschaft wieder. Allerdings gilt die Ungleichung nun für beliebige Vorgängerknoten e eines Knotens f. Die Ungleichung wird für den Vorgängerknoten e, der letztlich auf dem m-günstigsten Weg liegt, zur Gleichung. Mit diesem Lemma wird nun der folgende Satz 7.2 bewiesen. Er ermöglich eine Einschränkung der zu betrachtenden Wege, um den Vorgängerknoten e auf dem m-günstigsten Weg zum Knoten f zu ermitteln. Mit der Definition von $\min_m(M)$ wird analog zur Definition von $\delta^m(s,z)$ das m’te Minimum auf einer Menge von Kosten mit $M \subset \Re^+$ spezifiziert.

Satz 7.2: Sei ein Graph $G=(V,K,\alpha,\omega)$ mit Eigenschaften wie in Satz 7.1 sowie zwei beliebige Knoten s und f gegeben. Dann gilt folgender Zusammenhang:
$\delta^m(s,f)=\min_m\{\delta^i(s,e)+B[e,f] | e \text{ Vorgänger von } f\}$ mit $1 \leq i \leq m$.

Beweis:

Es werde angenommen, dieser Satz stimme nicht. Dann muß folgendes gelten:
$\exists i>m \wedge \exists e \in V$ mit $\alpha(k)=e$ und $\omega(k)=f$ mit $\delta^i(s,e)+B[e,f]<\delta^m(s,f)$.
Dann muß mit Lemma 7.2 gelten: $\delta^i(s,e)+B[e,f]<\delta^m(s,f) \leq \delta^m(s,e)+B[e,f]$. Für die linke und rechte Seite der Ungleichung folgt dann: $\delta^i(s,e)<\delta^m(s,e)$. Da aber in der Annahme ein $i>m$ vorausgesetzt wurde, führt dieses hier zum Widerspruch. ■

Der Satz 7.2 ist für den nun folgenden Algorithmus insofern von Bedeutung, als daß er die Menge der möglichen Wege $\{\delta^i(s,e)+B[e,f]\}$ von s über einen beliebigen Vorgänger e zum Knoten f mit $1 \leq i \leq |W_G(s,e)|$ auf die jeweils m-günstigsten einschränkt.

7.2.8 Konstruktion des Tradinggraphen

Gesucht wird ein möglichst effizient arbeitender Algorithmus, mit dessen Hilfe bei Vorgabe von m und dem Graphen G=(V,K,α,ω) der TG aus den m-günstigsten Wegen berechnet werden kann. Wie im Kapitel 7.2.7 schon beschrieben, handelt es sich beim Graphen G um eine reduzierte Darstellung des Gesamtnetzwerkes, bei dem die gemäß der vom MOBAG vorgegebenen Dienstgüte und Kostenfunktion jeweils günstigsten Anbieter zwischen je zwei Knoten respektive GMs verbleiben. Im hier vorgestellten Verfahren wird eine Modifikation des Bellmann-Ford-Moore Algorithmusses verwendet (vgl. [97],[163]). Mit ihm werden für jeden Knoten w∈ V jeweils m Listen für die m günstigsten Wege vom Startknoten zu diesem Knoten erzeugt. Aus diesen Listen wird abschließend der TG gebildet.

7.2.8.1 Berechnungsverfahren für die m-günstigsten Wege

Die Darstellung des „m-günstigste-Wege Algorithmusses“, kurz MGW-Algorithmus genannt, erfolgt mit Hilfe einer pseudoprogrammiersprachlichen Notation. Die Eingabe besteht aus dem reduzierten Netzwerkgraphen G in Adjazenzmatrixdarstellung mit den Knoten bzw. GMs, sowie den Links und ihrer Gewichtung. Wesentlich ist hier die Konstante m. Sie gibt vor, bis zu welcher maximalen Ordnung die günstigsten Wege betrachtet werden sollen.

Die zu betrachtenden Knoten werden in der Queue Q gespeichert. Sie wird mit dem Startknoten s initialisiert. Desweiteren werden pro Knoten die drei Vektoren d[], p[] und b[] mit der Dimension m vorgehalten. In d[] werden die Kosten der bisherigen Kantenfolge für die jeweils m-günstigsten Wege abgelegt. Der Vektor p[] enthält hierzu die Queue mit der bisher abgelaufenen Knotenfolge. Vektor b[] enthält ein Flag, das anzeigt, welche Kantenfolgen bei einem Knoten neu und folglich noch zu betrachten sind. Somit dient dieses Flag der Optimierung. Zu Anfang werden alle Nachbarknoten vom Startknoten s als unerreichbar angenommen, so daß hier d[] für alle m-günstigsten Wege mit +∞ initialisiert wird. Die Queue der bisher abgelaufenen Knoten wird ergo mit NIL vorbelegt. Ausnahme hierzu ist der Startknoten s. Er kann sich selbst mit Kosten Null erreichen. Der günstigste Weg von s zu s mit Kosten Null wird mit b[s,1]←true als noch zu betrachten markiert.

Der Iterationsteil bildet das Kernstück des Verfahrens. Er besteht aus drei ineinander geschachtelten Schleifen. Die äußerste Schleife ist eine while-Schleife und iteriert über die Menge der noch zu betrachtenden Knoten. Von jedem dieser Knoten werden dann die abgehenden Kanten (u,v) zu den erreichbaren Nachbarknoten betrachtet. Dieses vollzieht sich innerhalb einer for-Schleife. Bis zu diesem Punkt gleicht dieser Algorithmus dem Bellmann-Ford-Moore Verfahren, wie es bspw. in [Spragins86] dargestellt wird. Die wesentliche Erweiterung besteht aus der sich dann anschließenden, innersten while-Schleife. Sie bestimmt die Kosten aus den

m-günstigsten Wegen des aktuell betrachteten Knotens u und der Kantengewichtung zum Nachbarknoten v.

MGW-Algorithmus:

Eingabe:

Gerichteter Graph G=(V, K, α, ω), die Kantengewichtungsfunktion c: K → $\Re^+$, der Startknoten s sowie die Konstante m.

Initialisierung:

```
1     for all v ∈ V do
2         for all i ∈ {1...m} do
3             d[v,i] ← +∞
4             p[v,i] ← NIL
5             b[v,i] ← undef
6         end for
7     end for
8     d[s,1] ← 0
9     p[s,1] ← {s}
10    b[s,1] ← true
11    Q ← {s}
```

Iteration:

```
12 while Q ≠ ∅ do
13    u ← pop(Q)
14    K̄ ← K_u \ (u,s)
15    while K̄ ≠ ∅ do
16        (u,v) ← pop(K̄)
17        i ← 1
18        while (i ≤ m ∧ d[u,i] ≠ +∞ ∧ d[u,i]+c((u,v)) < d[v,m]) do
19            if v ∉ p[u,i] ∧ b[u,i] = true then
20                1 ≤ j ≤ m: d[v,j-1] ≤ d[u,i] + c((u,v)) < d[v,j]
21                ShiftInsert( d[v,j], d[u,i]+c((u,v)) )
22                ShiftInsert( p[v,j], push(v,p[u,i]) )
23                ShiftInsert( b[v,j], true )
24                if v ∉ Q then push(v,Q) end if
25            else  NOP
26            end if
27            i ← i+1
28        end while
29    end while
30    i ← 1
31    while i≤m do
```

```
32          if b[u,i] = true then b[u,i] ← false end if
33          i ← i+1
34      end while
35 end while
```

Ausgabe:
Netzwerkgraph G‘ mit den jeweils m-günstigsten Wegen von s zu allen v∈ V\{s}.

Dessen m-günstigste Wege werden mit diesen Kosten dann abgeglichen. Es werden nur die Wege betrachtet, die auch erreichbar sind, d.h. wo d[u,i]≠+∞ gilt. Durch die Bedingung d[u,i]+c((u,v))<d[v,m] wird nun sichergestellt, das eine neu berechnete Kantenfolge auch wirklich günstiger ist, als der bisher m-günstigste Weg zum betrachteten Nachbarknoten. Um Zyklen zu vermeiden, wird innerhalb der while-Schleife durch die Bedingung v∉ p[u,i] abgeprüft, ob der betrachtete Nachbarknoten in der bisherigen Knotenfolge schon enthalten ist. Es sind dabei nur bisher noch nicht betrachtete Knotenfolgen mit b[u,i]==true zugelassen. Im Falle der Verdrängung eines j-günstigsten Weges von v wird die Knotenfolge von u für v übernommen und die aktualisierten Kosten anschließend eingetragen. Realisiert wird dieses in den Zeilen 19 und 20 mit Hilfe der ShiftInsert-Funktion. Sie stellt sicher, daß in den Vektoren d[v] und p[v] ab dem j-günstigsten Weg die Werte verschoben werden. Für den Index j muß noch die folgende Bedingung d[v,j-1]≤d[u,i]+c((u,v))<d[v,j] erfüllt sein. Das sich der j-günstigste Weg von Knoten v geändert hat wird mit der Zuweisung der entsprechenden Flags b[v,j]←true festgehalten. Ebenso muß v selbst in die Menge der weiter zu betrachtenden Knoten Q eingetragen werden, vorausgesetzt er ist dort nicht schon enthalten. Am Anschluß an die erste for-Schleife werden dann in einer weiteren alle m-günstigsten Wege des Vorgängerknotens u als betrachtet markiert.

7.2.8.2 Assemblierung des TG

Nach dem Durchlaufen des TG-Algorithmusses auf dem Graphen G muß aus den für jeden Knoten erzeugten Ergebnissen der eigentliche TG assembliert werden. Die Knotenfolgen für die m-günstigsten Wege sind dabei dem jeweiligen Zielknoten selbst zu entnehmen. Aus ihnen ist die in der Abbildung 7-2 dargestellte Struktur samt Kosteninformationen zu ermitteln. Wie schon in Kapitel 7.2.6 erwähnt, sind in den Kosteninformationen für die Links die Anteile für die GMs mit subsumiert. Der gerichtete TG wird im folgenden auf der Basis einer Listendarstellung repräsentiert. In der Abbildung 7-4 ist ein Beispiel für einen solchen TG dargestellt, welcher sich aus den Informationsstrukturen des in der Abbildung 7-2 dargestellten Graphen G‘ ergibt. Er enthält dabei exakt die gleichen Knotenelemente wie der zugrundegelegte Graph in der Abbildung 7-2, reduziert jedoch die Menge der unterscheidbaren, abgehenden Kanten auf eine einzige.

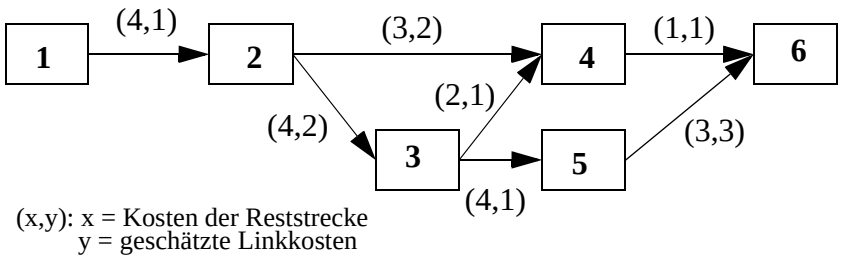


Abbildung 7-4: Listendarstellung eines Tradinggraphen

Der Graph enthält Informationen für den günstigsten, zweit- und drittgünstigsten Weg. Die Knotenfolgen stellen sich in diesem Beispiel wie folgt dar:

m = 1: p[6,1] = (1, 2, 4, 6) mit d[6,1] = 4 und |p[6,1]| = 4

m = 2: p[6,2] = (1, 2, 3, 4, 6) mit d[6,2] = 5 und |p[6,2]| = 5

m = 3: p[6,3] = (1, 2, 3, 5, 6) mit d[6,3] = 7 und |p[6,3]| = 5

Im TG der Abbildung 7-4 existiert pro erreichbarem Nachbarknoten ein einziger Link. Dieser ist mit einem Tupel ausgezeichnet, in welchem die Gesamtkosten für den günstigsten Weg über diesen Knoten sowie die mittleren Linkkosten eingetragen sind. Da einen MOBAG auf einem Knoten nur der jeweils günstigste Weg zum Zielknoten interessiert, werden die m-günstigsten Wege im TG entsprechend zusammengefaßt. Folgender Algorithmus leistet das Gewünschte:

TG-Algorithmus

Eingabe:

Startknoten s, Zielknoten z, Graphen G‘:

Iteration:

```
1   V_TG ← ∅
2   K_TG ← ∅
3   i ← 1
4   while i ≤ m do
5       next ← NIL
6       p ← p[z,i]
7       while p ≠ NIL do
8               t ← pop(p)
9               n ← get(V_TG,t)
10              if n = NIL then
11                      n ← newNode(t)
```

```
12              insert(n, V_TG)
13          end if
14          if (n,next) ∉ K_TG then
15              K_TG ← K_TG ∪ newEdge(n,next)
16              if next ≠ NIL then
17                  C_Path((n,next)) ← C_Path((next,next_min)) + c(n,next)
18                  C_Edge((n,next)) ← c(n,next)
19              else
20                  C_Path((n,next)) ← 0
21              end if
22          end if
23          next ← n
24      end while
25      i ← i + 1
26  end while
```

Ausgabe:

Tradinggraph TG = (V_{TG}, K_{TG}, α_{TG}, ω_{TG}).

Die Menge V_{TG} enthält die jeweils erzeugten Knoten bzw. Listenelemente. In der äußersten for-Schleife wird über alle m-günstigsten Wege iteriert. In der while-Schleife wird für einen i-günstigsten Weg dann die Knotenliste p[z,i] abgearbeitet. Mit der pop-Operation in der Zeile 8 wird der jeweils letzte Knoten n aus der Queue p[z,i] entnommen. Ist für ihn noch kein Listenelement vorhanden, so wird eines erzeugt und der Menge V_{TG} hinzugefügt. Die Gesamtkosten zum Zielknoten ab dem Knoten n ergeben sich aus den günstigsten Kosten des Nachfolgerknotens $next_{min}$ über dessen abgehenden Links zuzüglich der Linkkosten zum Nachfolgerknoten selbst (Zeilen 16-19). Sie werden für den betrachteten Link im Listenelement vom Knoten n unter Path referenziert. Im Datenfeld Edge wird der durchschnittliche Kostenwert des Links selbst mit übernommen. Durch die Bearbeitung der m-günstigsten Wege in aufsteigender Reihenfolge werden auch die Linkkosten als erstes erfaßt, die zu diesen Wegen gehören. Somit braucht pro Knoten nicht überprüft zu werden, ob ein günstigerer Link einen schon vorhandenen verdrängt. Allerdings muß im TG die Kante mit den günstigsten Restkosten referenziert werden. Der Einstieg in den TG ergibt sich mit dem Startknoten s.

7.2.8.3 Entscheidungsverfahren für den MOBAG

Ist der TG erstellt worden stellt sich die Frage, wie ein MOBAG auf seinem Weg durch das Netzwerk anhand dieses Graphen seine Route berechnet. Für einen beliebigen Knoten u innerhalb des TGs gestaltet sich der Entscheidungsprozeß des MOBAGs seitens der Wahl des nächsten Knotens gemäß folgendem Verfahren:

PD-Algorithmus

Eingabe:

Der aus dem Graphen G‘ generierte TG sowie die jeweils günstigsten Verhandlungsergebnisse $\mathbf{C}_{Neg}((u,v))$ für die Links zu den angrenzenden Nachbarknoten.

Iteration:

```
1    l_opt ← (u,v) mit (u,v) ∈ K_u
2    cost ← costs(l_opt) + C_Neg(l_opt) - c(l_opt)
3    S ← K_u \ l_opt
4    while ∃ k̄ ∈ S do
5        t ← costs(k̄) + C_Neg(k̄) - c(k̄)
6        if t < cost then
7            cost ← t
8            l_opt ← k̄
9        end if
10       S ← S \ k̄
11   end while
```

Ausgabe:

Der Link l_{opt} mit den niedrigsten Kosten cost für die Reststrecke ab Knoten u.

Obiger PD-Algorithmus basiert auf einer einfachen sequentiellen Minimumsuche. Gestartet wird mit einem beliebigen Nachbarknoten r, wobei der hinführende Link (u,r) anfangs als optimal vermerkt wird. Es werden nun die Kosten für die Erreichung des Zielknotens ermittelt. Hierzu wird in der Zeile 2 der jeweils verhandelte Kaufpreis $\mathbf{C}_{Neg}(u,r)$ in die Kostenabschätzung costs(u,r) für die Reststrecke eingepreist und die ursprünglichen Durchschnittskosten für den Link wieder abgezogen. Dieser Vorgang wiederholt sich in der for-Schleife für alle verbleibenden Nachbarknoten und der vom Knoten u zu ihnen abgehenden Links $(u,v) \in K_u \setminus (u,r)$. Ihre Kosten werden jeweils mit dem aktuellen Minimum verglichen und letzteres gegebenenfalls durch den neu berechneten Wert ersetzt. Nach Abprüfen aller abgehenden Links wird letztlich die Teilstrecke l_{opt} bzw. der Knoten mit den niedrigsten Kosten ausgegeben.

7.3 Analyse des Verfahrens

Im folgenden sind die wesentlichen Fragen zur Korrektheit und Komplexität der für das hier vorgestellte Verfahren grundlegenden Algorithmen zu klären. In der Analyse sind dabei die folgenden Einzelaspekte zu untersuchen:

1 Arbeiten die Algorithmen korrekt?

2 Terminieren die Algorithmen?

3 Ist der errechnete TG zyklenfrei?

4 Welchen Aufwand verursachen die Algorithmen?

Es wird im folgenden zu jedem Algorithmus der Beweis der partiellen Korrektheit auf Basis des Hoare-Kalküls geführt. Zum Nachweis der vollständigen Korrektheit wird in einem weiteren Kapitel die Terminierung bewiesen. Die Untersuchung seitens der Zyklenfreiheit ist sowohl für den MGW-Algorithmus als auch den TG-Algorithmus relevant. Die Analyse schließt mit der Aufwandsbetrachtung seitens des Rechenzeit- sowie Speicherplatzbedarfs.

7.3.1 Korrektheitsnachweis

Für den Korrektheitsnachweis ist pro Algorithmus zu zeigen, daß aus einer gültigen Vorbedingung durch Hinzunahme des Programmcodes eine das gewünschte Resultat spezifizierende Nachbedingung resolviert werden kann. Hinsichtlich der Notation in den hier geführten Korrektheitsbeweisen werden aus Gründen der Übersichtlichkeit sowie der sich teilweise verkürzenden Schreibweise die wesentlichen Zusicherungen mit Bezeichnern versehen.

7.3.1.1 MGW-Algorithmus

Zur formalen Verifikation auf der Basis des Hoare-Kalküls sind geeignete Vor- sowie Nachbedingungen in Form von prädikatenlogischen Ausdrücken zu finden. Für die generierten m-günstigsten Wege ist im einzelnen zu zeigen, daß sie disjunkt, monoton geordnet, eindeutig und vollständig berechnet werden. Weiterhin ist die Zyklenfreiheit eines jeden Weges abzusichern. Diese Kriterien werden durch die folgenden Zusicherungen M, D, D1, D2, Z und I gegeben:

Monotonie

$$\{M: \forall z \in V, \forall \bar{j} \in \{1...m-1\}: d[z,\bar{j}] \leq d[z,\bar{j}+1]\}$$

Für jeden Knoten z aus der Menge V muß sichergestellt sein, daß für die Menge seiner m-günstigsten Wege die Kosten eines j-günstigsten Wegs jeweils kleiner oder aber gleich denen des (j+1)-günstigsten Weges sind.

Disjunktheit

$$\{D: \forall z \in V, \forall \bar{i}, \bar{j} \in \{1...m\}: \bar{i} \neq \bar{j} \wedge p[z,\bar{i}] \neq NIL \wedge p[z,\bar{j}] \neq NIL \Rightarrow p[z,\bar{i}] \neq p[z,\bar{j}]\}$$

Seitens der Disjunktheit muß für jeden einzelnen Knoten z aus der Knotenmenge V gezeigt werden, daß für zwei beliebige, aber nichtleere, unterschiedliche

Wege p[z,i]≠NIL und p[z,j]≠NIL mit i≠j zum Zielknoten auch die Ungleichheit ihrer Knotenfolge gilt, d.h. p[z,i]≠p[z,j].

Eindeutigkeit

$$\{D1: \bigvee (\bar{u},\bar{v}) \in K, \bigvee \bar{i} \in \{1...m\}: b[\bar{u},\bar{i}] = true \Rightarrow push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{i}]) \notin \{p[\bar{v},1..m]\}\} \wedge$$
$$\{D2: \bigvee (\bar{u},\bar{v}) \in K, \bigvee \bar{r} \in W_G(s,\bar{u}): \bar{r} \notin \{p[\bar{u},1..m]\} \wedge c(\bar{r}) < d[\bar{u},m] \Rightarrow$$
$$push(\bar{v},\bar{r}) \notin \{p[\bar{v},1..m]\}\}$$

Mit den Termen D1 und D2 wird im Algorithmus sichergestellt, daß ein Weg im Rahmen der Breitensuche nicht zweimal berechnet wird. Dabei sagt D1 aus, daß im Falle eines markierten Teilweges $\bar{u}$ folgt, daß dieser noch nicht in der Menge der m-günstigsten Wege eines seiner erreichbaren Nachbarn auftauchen kann. Mit D2 wird für einen beliebigen Teilweg $\bar{r}$ zu einem Zwischenknoten $\bar{u}$ gefolgert, daß wenn der Teilweg $\bar{r}$ noch nicht in der Menge der zu berechnenden m-günstigsten Wege für den Zwischenknoten $\bar{u}$ auftaucht, seine Kosten aber echt kleiner sind als die des bisher ermittelten m-günstigsten Weges, dann dieser Teilweg auch in keinem der m-günstigsten Wege eines seiner erreichbaren Nachbarn $\bar{v}$ auftaucht. Die Terme D1 und D2 reflektieren im Algorithmus den Umstand, daß durch das Setzen einer Markierung bzw. eines Flags eines berechneten Weges dieser von weiteren Berechnungen ausgeschlossen wird.

Zyklenfreiheit

$$\{Z: \bigvee z \in V, \bigvee \bar{i} \in \{1...m\}: p[z,\bar{i}] = (..., k_r, ..., k_s, ...) \Rightarrow k_r \neq k_s\}$$

Auch hier muß für alle Knoten z aus der Knotenmenge V gezeigt werden, daß in keinem der m-günstigsten Wege ein Knoten mehrfach auftaucht.

Vollständigkeit

$$\{I: \bigvee z \in V, \bigvee w \in W_G(s,z) \setminus \{p[z,1..m]\}: c(w) \leq \delta^m(s,z) \Rightarrow$$
$$\exists \bar{u} \in Q, \bar{w} \in W_G(\bar{u},z), \bar{j}: 1 \leq \bar{j} \leq m: b[\bar{u},\bar{j}] = true \wedge w = push(\bar{w},(s))\}\}$$

Die vollständige Berechnung aller theoretisch definierten m-günstigsten Wege wird durch die Hauptinvariante I ausgedrückt. Sie sagt aus, daß wenn ein Weg w zu einem beliebigen Knoten z aus der Knotenmenge V existiert und dessen Kosten aber kleiner gleich denen des exakt m-günstigsten Weges sind, daß dann auch ein Teilweg $\bar{w}$ zu einem sich noch in der Bearbeitungsmenge Q befindlichen Zwischenknoten $\bar{u}$ existiert, welcher sich auf den Weg w erweitern läßt. Die Menge Q ist zu Anfang des Algorithmusses mit dem Startknoten s initialisiert und somit nicht leer. Sie reflektiert gewissermaßen die Abarbeitungstiefe im Breitensuchbaum des Algorithmusses, so daß sich durch sie der Arbeitsfortschritt während des Verfahrens hinsichtlich der noch zu betrachtenden Knoten samt ihrer m-günstigsten Wege charakterisieren läßt. Über die Menge Q wird in der äußersten while-

Schleife iteriert. In der zweiten Schleife werden alle für einen zu betrachtenden Knoten abgehenden Kanten untersucht. Die dritte Schleife berechnet die Kombinationsmenge der möglichen Wege aus den m-günstigsten Wegen des aktuell zu betrachtenden Knoten u sowie dem abgehenden Link k zum Nachbarknoten v. Die vierte Schleife dient letztlich dem Rücksetzen der Flags schon betrachteter Wege.

Verifikation

$\{M: +\infty \leq +\infty\} \wedge$
$\{D: NIL \neq NIL \Rightarrow NIL \neq NIL\} \wedge$
$\{D1: \forall (\bar{u},\bar{v}) \in K, \forall \bar{i} \in \{1...m\}: undef = true \Rightarrow push(\bar{v},NIL) \notin \{NIL\} \wedge$
$\{D2: \forall (\bar{u},\bar{v}) \in K, \forall \bar{r} \in W_G(s,\bar{u}): \bar{r} \notin \{NIL\} \wedge c(\bar{r}) < +\infty \Rightarrow push(\bar{v},\bar{r}) \notin \{NIL\}\} \wedge$
$\{Z: NIL = (..., k_r, ..., k_s, ...) \Rightarrow k_r \neq k_s\} \wedge$
$\{I: \forall z \in V, \forall w \in W_G(s,z) \setminus \emptyset: c(w) \leq \delta^m(s,z) \Rightarrow$
$\exists \bar{w} \in W_G(s,z): w = push(\bar{w},(s))\}$

```
1     for all v ∈ V do
2         for all i ∈ {1...m} do
3             d[v,i] ← +∞
4             p[v,i] ← NIL
5             b[v,i] ← undef
6         end for
7     end for
```

$\{M: \forall z \in V, \forall \bar{j} \in \{1...m-1\}: d[z,\bar{j}] \leq d[z,\bar{j}+1]\} \wedge$
$\{D: \forall z \in V, \forall \bar{i},\bar{j} \in \{1...m\}: \bar{i} \neq \bar{j} \wedge p[z,\bar{i}] \neq NIL \wedge p[z,\bar{j}] \neq NIL \Rightarrow p[z,\bar{i}] \neq p[z,\bar{j}]\} \wedge$
$\{D1: \forall (\bar{u},\bar{v}) \in K, \forall \bar{i} \in \{1...m\}: b[\bar{u},\bar{i}] = true \Rightarrow push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{i}]) \notin \{p[\bar{v},1..m]\}\} \wedge$
$\{D2: \forall (\bar{u},\bar{v}) \in K, \forall \bar{r} \in W_G(s,\bar{u}): \bar{r} \notin \{p[\bar{u},1..m]\} \wedge c(\bar{r}) < d[\bar{u},m] \Rightarrow$
$push(\bar{v},\bar{r}) \notin \{p[\bar{v},1..m]\}\} \wedge$
$\{Z: \forall z \in V, \forall \bar{i} \in \{1...m\}: p[z,\bar{i}] = (..., k_r, ..., k_s, ...) \Rightarrow k_r \neq k_s\} \wedge$
$\{I: \forall z \in V, \forall w \in W_G(s,z) \setminus \{p[z,1..m]\}: c(w) \leq \delta^m(s,z) \Rightarrow$
$\exists \bar{u} \in \{s\}, \exists \bar{w} \in W_G(\bar{u},z): true = true \wedge w = push(\bar{w},(s))\}$

```
8     d[s,1] ← 0
9     p[s,1] ← {s}
10    b[s,1] ← true
11    Q ← {s}
```

$\{M: \forall z \in V, \forall \bar{j} \in \{1...m-1\}: d[z,\bar{j}] \leq d[z,\bar{j}+1]\} \wedge$
$\{D: \forall z \in V, \forall \bar{i},\bar{j} \in \{1...m\}: \bar{i} \neq \bar{j} \wedge p[z,\bar{i}] \neq NIL \wedge p[z,\bar{j}] \neq NIL \Rightarrow p[z,\bar{i}] \neq p[z,\bar{j}]\} \wedge$

$\{D1: \bigvee (\bar{u},\bar{v}) \in K, \bigvee \bar{i} \in \{1...m\}: b[\bar{u},\bar{i}] = true \Rightarrow push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{i}]) \notin \{p[\bar{v},1..m]\}\} \wedge$
$\{D2: \bigvee (\bar{u},\bar{v}) \in K, \bigvee \bar{r} \in W_G(s,\bar{u}): \bar{r} \notin \{p[\bar{u},1..m]\} \wedge c(\bar{r}) < d[\bar{u},m] \Rightarrow$
$push(\bar{v},\bar{r}) \notin \{p[\bar{v},1..m]\}\} \wedge$
$\{Z: \bigvee z \in V, \bigvee \bar{i} \in \{1...m\}: p[z,\bar{i}\,] = (..., k_r, ..., k_s, ...) \Rightarrow k_r \neq k_s\} \wedge$
$\{I: \bigvee z \in V, \bigvee w \in W_G(s,z) \setminus \{p[z,1..m]\}: c(w) \leq \delta^m(s,z) \Rightarrow$
$\exists\, \bar{u} \in Q,\ \exists\, \bar{w} \in W_G(\bar{u},z), \exists\, \bar{j} \in \{1...m\}: b[\bar{u},\bar{j}] = true \wedge w = push(\bar{w},(s))\}$
$\Leftrightarrow \{A\} \wedge \{I_a \Rightarrow I_b\}$

12 while $Q \neq \emptyset$ do

$\{A\} \wedge \{I_a \Rightarrow$
$\exists\, \bar{u} \in Q,\ \exists\, \bar{w} \in W_G(\bar{u},z), \exists\, \bar{j} \in \{1...m\}: b[\bar{u},\bar{j}] = true \wedge w = push(\bar{w},p[\bar{u},\bar{j}])\} \wedge$
$\{Q \neq \emptyset\}$

13 $u \leftarrow pop(Q)$

$\{M\} \wedge \{D\} \wedge$
$\{D1: \bigvee (\bar{u},\bar{v}) \in K, \bigvee \bar{i} \in \{1...m\}: (\bar{u} \neq u \vee (\bar{u},\bar{v}) \in K_u \setminus (u,s)) \wedge$
$b[\bar{u},\bar{i}] = true \Rightarrow push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{i}]) \notin \{p[\bar{v},1..m]\}\} \wedge \{D2\} \wedge$
$\{I_a \Rightarrow \exists\, \bar{u} \in V, \exists\, (\bar{u},\bar{v}) \in K, \exists\, \bar{p} \in W_G(\bar{v},z), \exists\, \bar{j} \in \{1...m\}: b[\bar{u},\bar{j}] = true \wedge$
$w = push(\bar{p},push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{j}])) \wedge (\bar{u} \in Q \vee (\bar{u} = u \wedge (\bar{u},\bar{v}) \in K_u \setminus (u,s)))\}$

14 $\overline{K} \leftarrow K_u \setminus (u,s)$

$\{M\} \wedge \{D\} \wedge$
$\{D1: \bigvee (\bar{u},\bar{v}) \in K, \bigvee \bar{i} \in \{1...m\}: (\bar{u} \neq u \vee (\bar{u},\bar{v}) \in \overline{K}) \wedge$
$b[\bar{u},\bar{i}] = true \Rightarrow push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{i}]) \notin \{p[\bar{v},1..m]\}\} \wedge \{D2\} \wedge$
$\{I_a \Rightarrow \exists\, \bar{u} \in V, \exists\, (\bar{u},\bar{v}) \in K, \exists\, \bar{p} \in W_G(\bar{v},z), \exists\, \bar{j} \in \{1...m\}: b[\bar{u},\bar{j}] = true \wedge$
$w = push(\bar{p},push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{j}])) \wedge (\bar{u} \in Q \vee (\bar{u} = u \wedge (\bar{u},\bar{v}) \in \overline{K}))\}$

15 while $\overline{K} \neq \emptyset$ do

$\{M\} \wedge \{D\} \wedge$
$\{D1: \bigvee (\bar{u},\bar{v}) \in K, \bigvee \bar{i} \in \{1...m\}: (\bar{u} \neq u \vee (\bar{u},\bar{v}) \in \overline{K}) \wedge$
$b[\bar{u},\bar{i}] = true \Rightarrow push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{i}]) \notin \{p[\bar{v},1..m]\}\} \wedge \{D2\} \wedge$
$\{I_a \Rightarrow \exists\, \bar{u} \in V, \exists\, (\bar{u},\bar{v}) \in K, \exists\, \bar{p} \in W_G(\bar{v},z), \exists\, \bar{j} \in \{1...m\}: b[\bar{u},\bar{j}] = true \wedge$
$w = push(\bar{p},push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{j}])) \wedge (\bar{u} \in Q \vee (\bar{u} = u \wedge (\bar{u},\bar{v}) \in \overline{K}))\} \wedge \{\overline{K} \neq \emptyset\}$

16 $(u,v) \leftarrow pop(\overline{K})$

$\{M\} \wedge \{D\} \wedge$
$\{D1: \bigvee (\bar{u},\bar{v}) \in K, \bigvee \bar{i} \in \{1...m\}: (\bar{u} \neq u \vee (\bar{u},\bar{v}) \in \overline{K} \vee ((\bar{u},\bar{v}) = (u,v))) \wedge$
$b[\bar{u},\bar{i}] = true \Rightarrow push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{i}]) \notin \{p[\bar{v},1..m]\}\} \wedge \{D2\} \wedge$

$\{I_a \Rightarrow \exists\, \bar{u} \in V, \exists\, (\bar{u},\bar{v}) \in K, \exists\, \bar{p} \in W_G(\bar{v},z), \exists\, \bar{j} \in \{1...m\}: b[\bar{u},\bar{j}] = true \wedge$
$w = push(\bar{p}, push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{j}])) \wedge (\bar{u} \in Q \vee (\bar{u} = u \wedge ((\bar{u},\bar{v}) = (u,v) \vee (\bar{u},\bar{v}) \in \overline{K})))\}$

17 $i \leftarrow 1$

$\{M\} \wedge \{D\} \wedge$
$\{D1: \bigvee (\bar{u},\bar{v}) \in K, \bigvee \bar{i} \in \{1...m\}: (\bar{u} \neq u \vee (\bar{u},\bar{v}) \in \overline{K} \vee ((\bar{u},\bar{v}) = (u,v) \wedge i \leq \bar{i})) \wedge$
$b[\bar{u},\bar{i}] = true \Rightarrow push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{i}]) \notin \{p[\bar{v},1..m]\}\} \wedge \{D2\} \wedge$
$\{Z\} \wedge \{I_a \Rightarrow \exists\, \bar{u} \in V, \exists\, (\bar{u},\bar{v}) \in K, \exists\, \bar{p} \in W_G(\bar{v},z), \exists\, \bar{j} \in \{1...m\}: b[\bar{u},\bar{j}] = true \wedge$
$w = push(\bar{p}, push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{j}])) \wedge (\bar{u} \in Q \vee (\bar{u} = u \wedge (((\bar{u},\bar{v}) = (u,v) \wedge i \leq \bar{j}) \vee (\bar{u},\bar{v}) \in \overline{K})$
$))\}$

18 while $(i \leq m \wedge d[u,i] \neq +\infty \wedge d[u,i]+c((u,v)) < d[v,m])$ do

$\{A\} \wedge \{I_a \Rightarrow \exists\, \bar{u} \in V, \exists\, (\bar{u},\bar{v}) \in K, \exists\, \bar{p} \in W_G(\bar{v},z), \exists\, \bar{j} \in \{1...m\}: b[\bar{u},\bar{j}] = true \wedge$
$w = push(\bar{p}, push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{j}])) \wedge (\bar{u} \in Q \vee (\bar{u} = u \wedge (((\bar{u},\bar{v}) = (u,v) \wedge i \leq \bar{j}) \vee (\bar{u},\bar{v}) \in \overline{K})$
$))\} \wedge \{i \leq m \wedge d[u,i] \neq +\infty \wedge d[u,i]+c((u,v)) < d[v,m]\}$
$\Leftrightarrow$ /* Termumformung mit $i \leq \bar{j} \Leftrightarrow (i = \bar{j} \vee i + 1 \leq \bar{j})$ */
$\{A\} \wedge \{I_a \Rightarrow \exists\, \bar{u} \in V, \exists\, (\bar{u},\bar{v}) \in K, \exists\, \bar{p} \in W_G(\bar{v},z), \exists\, \bar{j} \in \{1...m\}: b[\bar{u},\bar{j}] = true \wedge$
$w = push(\bar{p}, push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{j}])) \wedge (\bar{u} \in Q \vee (\bar{u} = u \wedge (\bar{u},\bar{v}) = (u,v) \wedge (i = \bar{j})) \vee$
$(\bar{u} = u \wedge (((\bar{u},\bar{v}) = (u,v) \wedge i + 1 \leq \bar{j}) \vee (\bar{u},\bar{v}) \in \overline{K})))\} \wedge$
$\{i \leq m \wedge d[u,i] \neq +\infty \wedge d[u,i]+c((u,v)) < d[v,m]\}$

19 if $v \notin p[u,i] \wedge b[u,i] = true$ then

$\{M\} \wedge \{D\} \wedge$
$\{D1: \bigvee (\bar{u},\bar{v}) \in K, \bigvee \bar{i} \in \{1...m\}: (\bar{u} \neq u \vee (\bar{u},\bar{v}) \in \overline{K} \vee ((\bar{u},\bar{v}) = (u,v) \wedge i \leq \bar{i})) \wedge$
$b[\bar{u},\bar{i}] = true \Rightarrow push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{i}]) \notin \{p[\bar{v},1..m]\}\} \wedge$
$\{D2: \bigvee (\bar{u},\bar{v}) \in K, \bigvee \bar{r} \in W_G(s,\bar{u}): \bar{r} \notin \{p[\bar{u},1..m]\} \wedge c(\bar{r}) < d[\bar{u},m] \Rightarrow$
$push(\bar{v},\bar{r}) \notin \{p[\bar{v},1..m]\}\} \wedge \{Z\} \wedge$
$\{I_a \Rightarrow \exists\, \bar{u} \in V, \exists\, (\bar{u},\bar{v}) \in K, \exists\, \bar{p} \in W_G(\bar{v},z), \exists\, \bar{j} \in \{1...m\}: b[\bar{u},\bar{j}] = true \wedge$
$w = push(\bar{p}, push(\bar{v}, p[\bar{u},\bar{j}])) \wedge (\bar{u} \in Q \vee (\bar{u} = u \wedge (\bar{u},\bar{v}) = (u,v) \wedge (i = \bar{j})) \vee$
$(\bar{u} = u \wedge (((\bar{u},\bar{v}) = (u,v) \wedge i + 1 \leq \bar{j}) \vee (\bar{u},\bar{v}) \in \overline{K})))\} \wedge$
$\{i \leq m \wedge d[u,i] \neq +\infty \wedge d[u,i]+c((u,v)) < d[v,m]\} \wedge \{v \notin p[u,i] \wedge b[u,i] = true\}$

$\Rightarrow$ /* $\bar{u}$ wird zu v, $\bar{r}$ wird zu push(v,p[u,i]) in D2 und ergibt Bedingung B */

$\{M\} \wedge \{D\} \wedge$
$\{D1\} \wedge \{D2\} \wedge \{push(v,p[u,i]) \notin \{p[v,1..m]\}\} \wedge$
$\{B: \bigvee \bar{v} \in V: push(\bar{v},push(v,p[u,i])) \notin \{p[\bar{v},1..m]\}\} \wedge \{Z\} \wedge$
$\{I_a \Rightarrow \exists\, \bar{u} \in V, \exists\, (\bar{u},\bar{v}) \in K, \exists\, \bar{p} \in W_G(\bar{v},z), \exists\, \bar{j} \in \{1...m\}: b[\bar{u},\bar{j}] = true \wedge$
$w = push(\bar{p}, push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{j}])) \wedge (\bar{u} \in Q \vee (\bar{u} = u \wedge (\bar{u},\bar{v}) = (u,v) \wedge (i = \bar{j})) \vee$
$(\bar{u} = u \wedge (((\bar{u},\bar{v}) = (u,v) \wedge i + 1 \leq \bar{j}) \vee (\bar{u},\bar{v}) \in \overline{K})))\} \wedge$
$\{i \leq m \wedge d[u,i] \neq +\infty \wedge d[u,i]+c((u,v)) < d[v,m]\} \wedge \{v \notin p[u,i] \wedge b[u,i] = true\}$

20 $1 \le j \le m$: $d[v,j-1] \le d[u,i] + c((u,v)) < d[v,j]$

21 ShiftInsert(d[v,j], d[u,i]+c((u,v)))

22 ShiftInsert(p[v,j], push(v,p[u,i]))

23 ShiftInsert(b[v,j], true)

$\{M\} \wedge \{D\} \wedge$
$\{D1: \bigvee (\bar{u},\bar{v}) \in K, \bigvee \bar{i} \in \{1...m\}: (\bar{u} \neq u \vee (\bar{u},\bar{v}) \in \bar{K} \vee ((\bar{u},\bar{v}) = (u,v) \wedge i < \bar{i})) \wedge$
$b[\bar{u},\bar{i}] = true \Rightarrow push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{i}]) \notin \{p[\bar{v},1..m]\}\} \wedge \{D2\} \wedge \{Z\} \wedge$
$\{I_a \Rightarrow \exists \bar{u} \in V, \exists (\bar{u},\bar{v}) \in K, \exists \bar{p} \in W_G(\bar{v},z), \exists \bar{j} \in \{1...m\}: b[\bar{u},\bar{j}] = true \wedge$
$w = push(\bar{p}, push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{j}])) \wedge (\bar{u} \in Q \vee (\bar{u} = u \wedge (\bar{u},\bar{v}) = (u,v) \wedge (i = \bar{j}) \wedge (v \neq z)) \vee$
$(\bar{u} = u \wedge (((\bar{u},\bar{v}) = (u,v) \wedge i + 1 \le \bar{j}) \vee (\bar{u},\bar{v}) \in \bar{K})))\} \wedge \{p[v,j] = push(v, p[u,i]))\} \wedge$
$\{1 \le j \le m\} \wedge \{b[v,j] = true\}$

24 if $v \notin Q$ then push(v,Q) end if

$\{A\} \wedge \{I_a \Rightarrow \exists \bar{u} \in V, \exists (\bar{u},\bar{v}) \in K, \exists \bar{p} \in W_G(\bar{v},z), \exists \bar{j} \in \{1...m\}: b[\bar{u},\bar{j}] = true \wedge$
$w = push(\bar{p}, push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{j}])) \wedge (\bar{u} \in Q \vee (\bar{u} = u \wedge (\bar{u},\bar{v}) = (u,v) \wedge (i = \bar{j}) \wedge (v \neq z)) \vee$
$(\bar{u} = u \wedge (((\bar{u},\bar{v}) = (u,v) \wedge i + 1 \le \bar{j}) \vee (\bar{u},\bar{v}) \in \bar{K})))\} \wedge \{p[v,j] = push(v, p[u,i]))\} \wedge$
$\{1 \le j \le m\} \wedge \{b[v,j] = true\} \wedge \{v \in Q\}$

$\Leftrightarrow$ /* Umformung des Invariantenfolgerungsanteils in Disjunktionsform */

$\{A\} \wedge \{I_a \Rightarrow$
$\{T1: (\exists \bar{u} \in V, \exists (\bar{u},\bar{v}) \in K, \exists \bar{p} \in W_G(\bar{v},z), \exists \bar{j} \in \{1...m\}: b[\bar{u},\bar{j}] = true \wedge$
$w = push(\bar{p}, push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{j}])) \wedge (\bar{u} \in Q))\} \vee$
$\{T2: (\exists \bar{u} \in V, \exists (\bar{u},\bar{v}) \in K, \exists \bar{p} \in W_G(\bar{v},z), \exists \bar{j} \in \{1...m\}: b[\bar{u},\bar{j}] = true \wedge$
$w = push(\bar{p}, push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{j}])) \wedge (\bar{u} = u \wedge (\bar{u},\bar{v}) = (u,v) \wedge (i = \bar{j}) \wedge (v \neq z)))\} \vee$
$\{T3: (\exists \bar{u} \in V, \exists (\bar{u},\bar{v}) \in K, \exists \bar{p} \in W_G(\bar{v},z), \exists \bar{j} \in \{1...m\}: b[\bar{u},\bar{j}] = true \wedge$
$w = push(\bar{p}, push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{j}])) \wedge (\bar{u} = u) \wedge ((\bar{u},\bar{v}) \in \bar{K}))\} \vee$
$\{T4: (\exists \bar{u} \in V, \exists (\bar{u},\bar{v}) \in K, \exists \bar{p} \in W_G(\bar{v},z), \exists \bar{j} \in \{1...m\}: b[\bar{u},\bar{j}] = true \wedge$
$w = push(\bar{p}, push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{j}])) \wedge (\bar{u} = u) \wedge ((\bar{u},\bar{v}) = (u,v)) \wedge (i + 1 \le \bar{j}))\}\} \wedge$
$\{p[v,j] = push(v, p[u,i]))\} \wedge \{1 \le j \le m\} \wedge \{b[v,j] = true\} \wedge \{v \in Q\}$

$\Rightarrow$

$\{A\} \wedge \{I_a \Rightarrow$
$\{T1: (\exists \bar{u} \in Q, \exists (\bar{u},\bar{v}) \in K, \exists \bar{p} \in W_G(\bar{v},z), \exists \bar{j} \in \{1...m\}: b[\bar{u},\bar{j}] = true \wedge$
$w = push(\bar{p}, push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{j}])))\} \vee$
$\{T2: (\exists \bar{p} \in W_G(v,z): b[u,i] = true \wedge w = push(\bar{p}, push(v,p[u,i])) \wedge (v \neq z)) \wedge$
$(p[v,j] = push(v, p[u,i])) \wedge (1 \le j \le m) \wedge (b[v,j] = true) \wedge (v \in Q)\} \vee$
$\{T3: (\exists (u,\bar{v}) \in K, \exists \bar{p} \in W_G(\bar{v},z), \exists \bar{j} \in \{1...m\}: b[u,\bar{j}] = true \wedge$
$w = push(\bar{p}, push(\bar{v},p[u,\bar{j}])))\} \vee$
$\{T4: (\exists \bar{p} \in W_G(v,z), \exists \bar{j} \in \{i+1...m\}: b[u,\bar{j}] = true \wedge w = push(\bar{p}, push(v,p[u,\bar{j}])))\}\}$

$\Rightarrow$
$\{A\} \wedge \{I_a \Rightarrow (\{T1\} \vee$
$\{T2: (\exists\, \bar{p} \in W_G(v,z): w = push(\bar{p}, p[v,j]) \wedge (v \neq z)) \wedge (1 \leq j \leq m) \wedge (b[v,j] = true) \wedge (v \in Q)\} \vee \{T3\} \vee \{T4\})\}$
$\Rightarrow$
$\{A\} \wedge \{I_a \Rightarrow (\{T1\} \vee$
$\{T2: (\exists\, (v,\bar{v}) \in K, \exists\, \bar{p} \in W_G(\bar{v},z): w = push(\bar{p}, push(\bar{v},p[v,j]))) \wedge (1 \leq j \leq m) \wedge (b[v,j] = true) \wedge (v \in Q)\} \vee \{T3\} \vee \{T4\})\}$
$\Rightarrow$
$\{A\} \wedge \{I_a \Rightarrow (\{T1\} \vee$
$\{T2: (\exists\, \bar{u} \in Q, \exists\, (\bar{u},\bar{v}) \in K, \exists\, \bar{p} \in W_G(\bar{v},z), \exists\, \bar{j} \in \{1...m\}:$
$w = push(\bar{p}, push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{j}]))) \wedge (b[\bar{u},\bar{j}] = true)\} \vee \{T3\} \vee \{T4\})\}$
$\Rightarrow$ /* Zusammenfassen von T2 und T1, da identisch */
$\{A\} \wedge \{I_a \Rightarrow (\{T1\} \vee \{T3\} \vee \{T4\})\}$
$\Rightarrow$ /* Rückumformung von Disjunktions- in Konjunktionsform */
$\{A\} \wedge \{I_a \Rightarrow \exists\, \bar{u} \in V, \exists\, (\bar{u},\bar{v}) \in K, \exists\, \bar{p} \in W_G(\bar{v},z), \exists\, \bar{j} \in \{1...m\}: b[\bar{u},\bar{j}] = true \wedge w = push(\bar{p}, push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{j}])) \wedge (\bar{u} \in Q \vee (\bar{u} = u \wedge (((\bar{u},\bar{v}) = (u,v) \wedge i+1 \leq \bar{j}) \vee (\bar{u},\bar{v}) \in \bar{K})))\}$

25 else NOP

$\{M\} \wedge \{D\} \wedge$
$\{D1: \bigvee (\bar{u},\bar{v}) \in K, \bigvee \bar{i} \in \{1...m\}: (\bar{u} \neq u \vee (\bar{u},\bar{v}) \in \bar{K} \vee ((\bar{u},\bar{v}) = (u,v) \wedge i \leq \bar{i})) \wedge b[\bar{u},\bar{i}] = true \Rightarrow push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{i}]) \notin \{p[\bar{v},1..m]\}\} \wedge \{D2\} \wedge \{Z\} \wedge$
$\{I_a \Rightarrow \exists\, \bar{u} \in V, \exists\, (\bar{u},\bar{v}) \in K, \exists\, \bar{p} \in W_G(\bar{v},z), \exists\, \bar{j} \in \{1...m\}: b[\bar{u},\bar{j}] = true \wedge w = push(\bar{p}, push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{j}])) \wedge (\bar{u} \in Q \vee (\bar{u} = u \wedge (\bar{u},\bar{v}) = (u,v) \wedge i = \bar{j}) \vee (\bar{u} = u \wedge (((\bar{u},\bar{v}) = (u,v) \wedge i + 1 \leq \bar{j}) \vee (\bar{u},\bar{v}) \in \bar{K})))\} \wedge$
$\{v \in p[u,i] \vee b[u,i] \neq true\}$

$\Rightarrow$

1. $v \in p[u,i] \wedge (\bar{u} = u \wedge (\bar{u},\bar{v}) = (u,v) \wedge i = \bar{j}) \wedge$
   $w = push(\bar{p}, push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{j}])) \in W_G(s,z) \Rightarrow$
   $push(v,p[u,i]) \in W_G(s,v) \wedge v \in p[u,i] \Rightarrow$
   $push(v,p[u,i]) \in W_G(s,v) \wedge push(v,p[u,i]) \notin W_G(s,v) \Leftrightarrow false$
2. $(\bar{u} = u) \wedge (i = \bar{j}) \wedge b[u,i] \neq true \wedge b[\bar{u},\bar{j}] = true \Rightarrow$
   $b[u,i] \neq true \wedge b[u,i] = true \Rightarrow false$

$\Rightarrow$

$\{M\} \wedge \{D\} \wedge$
$\{D1: \bigvee (\bar{u},\bar{v}) \in K, \bigvee \bar{i} \in \{1...m\}: (\bar{u} \neq u \vee (\bar{u},\bar{v}) \in \bar{K} \vee ((\bar{u},\bar{v}) = (u,v) \wedge i < \bar{i})) \wedge b[\bar{u},\bar{i}] = true \Rightarrow push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{i}]) \notin \{p[\bar{v},1..m]\}\} \wedge \{D2\} \wedge \{Z\} \wedge$

$\{I_a \Rightarrow \exists\, \bar{u} \in V, \exists\, (\bar{u},\bar{v}) \in K, \exists\, \bar{p} \in W_G(\bar{v},z), \exists\, \bar{j} \in \{1...m\}: b[\bar{u},\bar{j}] = true \wedge$
$w = push(\bar{p}, push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{j}])) \wedge (\bar{u} \in Q \vee (\bar{u} = u \wedge (((\bar{u},\bar{v}) = (u,v) \wedge i + 1 \leq \bar{j}) \vee$
$(\bar{u},\bar{v}) \in \bar{K})))\}$

26 end if

$\{M\} \wedge \{D\} \wedge$
$\{D1: \bigvee (\bar{u},\bar{v}) \in K, \bigvee \bar{i} \in \{1...m\}: (\bar{u} \neq u \vee (\bar{u},\bar{v}) \in \bar{K} \vee ((\bar{u},\bar{v}) = (u,v) \wedge i < \bar{i})) \wedge$
$b[\bar{u},\bar{i}] = true \Rightarrow push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{i}]) \notin \{p[\bar{v},1..m]\}\} \wedge \{D2\} \wedge \{Z\} \wedge$
$\{I_a \Rightarrow \exists\, \bar{u} \in V, \exists\, (\bar{u},\bar{v}) \in K, \exists\, \bar{p} \in W_G(\bar{v},z), \exists\, \bar{j} \in \{1...m\}: b[\bar{u},\bar{j}] = true \wedge$
$w = push(\bar{p}, push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{j}])) \wedge (\bar{u} \in Q \vee (\bar{u} = u \wedge (((\bar{u},\bar{v}) = (u,v) \wedge i+1 \leq \bar{j}) \vee$
$(\bar{u},\bar{v}) \in \bar{K})))\}$

27 $i \leftarrow i+1$

$\{M\} \wedge \{D\} \wedge$
$\{D1: \bigvee (\bar{u},\bar{v}) \in K, \bigvee \bar{i} \in \{1...m\}: (\bar{u} \neq u \vee (\bar{u},\bar{v}) \in \bar{K} \vee ((\bar{u},\bar{v}) = (u,v) \wedge i \leq \bar{i})) \wedge$
$b[\bar{u},\bar{i}] = true \Rightarrow push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{i}]) \notin \{p[\bar{v},1..m]\}\} \wedge \{D2\} \wedge \{Z\} \wedge$
$\{I_a \Rightarrow \exists\, \bar{u} \in V, \exists\, (\bar{u},\bar{v}) \in K, \exists\, \bar{p} \in W_G(\bar{v},z), \exists\, \bar{j} \in \{1...m\}: b[\bar{u},\bar{j}] = true \wedge$
$w = push(\bar{p}, push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{j}])) \wedge (\bar{u} \in Q \vee (\bar{u} = u \wedge (((\bar{u},\bar{v}) = (u,v) \wedge i \leq \bar{j}) \vee$
$(\bar{u},\bar{v}) \in \bar{K})))\}$

28 end while

$\{M\} \wedge \{D\} \wedge$
$\{D1: \bigvee (\bar{u},\bar{v}) \in K, \bigvee \bar{i} \in \{1...m\}: (\bar{u} \neq u \vee (\bar{u},\bar{v}) \in \bar{K} \vee ((\bar{u},\bar{v}) = (u,v) \wedge i \leq \bar{i})) \wedge$
$b[\bar{u},\bar{i}] = true \Rightarrow push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{i}]) \notin \{p[\bar{v},1..m]\}\} \wedge \{D2\} \wedge \{Z\} \wedge$
$\{I_a \Rightarrow \exists\, \bar{u} \in V, \exists\, (\bar{u},\bar{v}) \in K, \exists\, \bar{p} \in W_G(\bar{v},z), \exists\, \bar{j} \in \{1...m\}: b[\bar{u},\bar{j}] = true \wedge$
$w = push(\bar{p}, push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{j}])) \wedge (\bar{u} \in Q \vee (\bar{u} = u \wedge (((\bar{u},\bar{v}) = (u,v) \wedge i \leq \bar{j}) \vee (\bar{u},\bar{v}) \in \bar{K})$
$))\} \wedge \{m < i \vee d[u,i] = +\infty \vee d[v,m] \leq d[u,i]+c((u,v))\}$
Es gelten die Umformungen 1-3 für den folgenden Konjunktionsterm:
$((\bar{u},\bar{v}) = (u,v) \wedge i \leq \bar{j}) \wedge \{m < i \vee d[u,i] = +\infty \vee d[v,m] \leq d[u,i]+c((u,v))\}$:
1. $((\bar{u},\bar{v}) = (u,v) \wedge i \leq \bar{j}) \wedge (m < i) \wedge 1 \leq \bar{j} \leq m \Rightarrow m < i \leq \bar{j} \leq m \Rightarrow false$
2. $((\bar{u},\bar{v}) = (u,v) \wedge i \leq \bar{j}) \wedge (d[u,i] = +\infty) \Rightarrow (i \leq \bar{j} \wedge i > \bar{j}) \Rightarrow false \wedge b[u,i..m] = undef$
3. $((\bar{u},\bar{v}) = (u,v) \wedge i \leq \bar{j}) \wedge (d[v,m] \leq d[u,i]+c((u,v))) \Rightarrow (i \leq \bar{j} \wedge i > \bar{j}) \Rightarrow false \wedge$
   $push(v,p[u,i..m]) \notin \{p[v,1..m]\}$

$\Rightarrow$
$\{M\} \wedge \{D\} \wedge$
$\{D1: \bigvee (\bar{u},\bar{v}) \in K, \bigvee \bar{i} \in \{1...m\}: (\bar{u} \neq u \vee (\bar{u},\bar{v}) \in \bar{K}) \wedge$
$b[\bar{u},\bar{i}] = true \Rightarrow push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{i}]) \notin \{p[\bar{v},1..m]\}\} \wedge \{D2\} \wedge \{Z\}$
$\{I_a \Rightarrow \exists\, \bar{u} \in V, \exists\, (\bar{u},\bar{v}) \in K, \exists\, \bar{p} \in W_G(\bar{v},z), \exists\, \bar{j} \in \{1...m\}: b[\bar{u},\bar{j}] = true \wedge$
$w = push(\bar{p}, push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{j}])) \wedge (\bar{u} \in Q \vee (\bar{u} = u \wedge (\bar{u},\bar{v}) \in \bar{K}))\}$

29 end while

$\{M\} \wedge \{D\} \wedge$
$\{D1: \bigvee (\bar{u},\bar{v}) \in K, \bigvee \bar{i} \in \{1...m\}: \bar{u} \neq u \wedge$
$b[\bar{u},\bar{i}] = true \Rightarrow push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{i}]) \notin \{p[\bar{v},1..m]\}\} \wedge \{D2\} \wedge \{Z\} \wedge$
$\{I_a \Rightarrow \exists \bar{u} \in V, \exists (\bar{u},\bar{v}) \in K, \exists \bar{p} \in W_G(\bar{v},z), \exists \bar{j} \in \{1...m\}: b[\bar{u},\bar{j}] = true \wedge$
$w = push(\bar{p}, push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{j}])) \wedge (\bar{u} \in Q \vee (\bar{u} = u \wedge (\bar{u},\bar{v}) \in \overline{K}))\} \wedge \{\overline{K} = \emptyset\}$
$\Rightarrow$ /* mit $(\bar{u},\bar{v}) \in \overline{K}) \wedge (\overline{K} = \emptyset) \Leftrightarrow$ false */
$\{A\} \wedge \{I_a \Rightarrow \exists \bar{u} \in V, \exists (\bar{u},\bar{v}) \in K, \exists \bar{p} \in W_G(\bar{v},z), \exists \bar{j} \in \{1...m\}: b[\bar{u},\bar{j}] = true \wedge$
$w = push(\bar{p}, push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{j}])) \wedge (\bar{u} \in Q)\}$
$\Rightarrow$
$\{A\} \wedge \{I_a \Rightarrow \exists \bar{u} \in Q, \exists (\bar{u},\bar{v}) \in K, \exists \bar{p} \in W_G(\bar{v},z), \exists \bar{j} \in \{1...m\}: b[\bar{u},\bar{j}] = true \wedge$
$w = push(\bar{p}, push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{j}]))\}$

30 $i \leftarrow 1$

$\{M\} \wedge \{D\} \wedge$
$\{D1: \bigvee (\bar{u},\bar{v}) \in K, \bigvee \bar{i} \in \{1...m\}: (\bar{u} \neq u \vee \bar{i} < i) \wedge$
$b[\bar{u},\bar{i}] = true \Rightarrow push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{i}]) \notin \{p[\bar{v},1..m]\}\} \wedge \{D2\} \wedge \{Z\} \wedge$
$\{I_a \Rightarrow \exists \bar{u} \in Q, \exists (\bar{u},\bar{v}) \in K, \exists \bar{p} \in W_G(\bar{v},z), \exists \bar{j} \in \{1...m\}: b[\bar{u},\bar{j}] = true \wedge$
$w = push(\bar{p}, push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{j}]))\}$

31 while $i \leq m$ do

$\{M\} \wedge \{D\} \wedge$
$\{D1: \bigvee (\bar{u},\bar{v}) \in K, \bigvee \bar{i} \in \{1...m\}: (\bar{u} \neq u \vee \bar{i} < i) \wedge$
$b[\bar{u},\bar{i}] = true \Rightarrow push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{i}]) \notin \{p[\bar{v},1..m]\}\} \wedge \{D2\} \wedge \{Z\} \wedge$
$\{I_a \Rightarrow \exists \bar{u} \in Q, \exists (\bar{u},\bar{v}) \in K, \exists \bar{p} \in W_G(\bar{v},z), \exists \bar{j} \in \{1...m\}: b[\bar{u},\bar{j}] = true \wedge$
$w = push(\bar{p}, push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{j}]))\} \wedge \{i \leq m\}$

32 if b[u,i] = true then $b[u,i] \leftarrow$ false end if

$\{M\} \wedge \{D\} \wedge$
$\{D1: \bigvee (\bar{u},\bar{v}) \in K, \bigvee \bar{i} \in \{1...m\}: (\bar{u} \neq u \vee \bar{i} \leq i) \wedge$
$b[\bar{u},\bar{i}] = true \Rightarrow push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{i}]) \notin \{p[\bar{v},1..m]\}\} \wedge \{D2\} \wedge \{Z\} \wedge$
$\{I_a \Rightarrow \exists \bar{u} \in Q, \exists (\bar{u},\bar{v}) \in K, \exists \bar{p} \in W_G(\bar{v},z), \exists \bar{j} \in \{1...m\}: b[\bar{u},\bar{j}] = true \wedge$
$w = push(\bar{p}, push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{j}]))\}$

33 $i \leftarrow i+1$

$\{M\} \wedge \{D\} \wedge$
$\{D1: \bigvee (\bar{u},\bar{v}) \in K, \bigvee \bar{i} \in \{1...m\}: (\bar{u} \neq u \vee \bar{i} < i) \wedge$
$b[\bar{u},\bar{i}] = true \Rightarrow push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{i}]) \notin \{p[\bar{v},1..m]\}\} \wedge \{D2\} \wedge \{Z\} \wedge$
$\{I_a \Rightarrow \exists \bar{u} \in Q, \exists (\bar{u},\bar{v}) \in K, \exists \bar{p} \in W_G(\bar{v},z), \exists \bar{j} \in \{1...m\}: b[\bar{u},\bar{j}] = true \wedge$
$w = push(\bar{p}, push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{j}]))\}$

34 end while

$\{M\} \wedge \{D\} \wedge$
$\{D1: \bigvee (\bar{u},\bar{v}) \in K, \bigvee \bar{i} \in \{1...m\}: (\bar{u} \neq u \vee \bar{i} < i) \wedge$
$b[\bar{u},\bar{i}] = true \Rightarrow push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{i}]) \notin \{p[\bar{v},1..m]\}\} \wedge \{D2\} \wedge \{Z\} \wedge$
$\{I_a \Rightarrow \exists \bar{u} \in Q, \exists (\bar{u},\bar{v}) \in K, \exists \bar{p} \in W_G(\bar{v},z), \exists \bar{j} \in \{1...m\}: b[\bar{u},\bar{j}] = true \wedge$
$w = push(\bar{p}, push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{j}]))\} \wedge \{i > m\}$
$\Rightarrow$ /* $1 \leq \bar{i} \leq m \wedge\ m < i \Rightarrow \bar{i} < i \Rightarrow (\bar{u} \neq u \vee \bar{i} < i) = true$ */
$\{M\} \wedge \{D\} \wedge$
$\{D1: \bigvee (\bar{u},\bar{v}) \in K, \bigvee \bar{i} \in \{1...m\}: b[\bar{u},\bar{i}] = true \Rightarrow push(\bar{v},p[\bar{u},\bar{i}]) \notin \{p[\bar{v},1..m]\}\} \wedge$
$\{D2\} \wedge \{Z\} \wedge$
$\{I_a \Rightarrow \exists \bar{u} \in Q, \exists \bar{w} \in W_G(\bar{u},z), \exists \bar{j} \in \{1...m\}: b[\bar{u},\bar{j}] = true \wedge$
$w = push(\bar{w},p[\bar{u},\bar{j}])\}\}$

35 end while

$\{M\} \wedge \{D\} \wedge \{D1\} \wedge \{D2\} \wedge \{Z\} \wedge$
$\{I: \bigvee z \in V, \bigvee w \in W_G(s,z) \setminus \{p[z,1..m]\}: c(w) \leq \delta^m(s,z) \Rightarrow$
$\exists \bar{u} \in Q, \exists \bar{w} \in W_G(\bar{u},z), \exists \bar{j} \in \{1...m\}: b[\bar{u},\bar{j}] = true \wedge w = push(\bar{w},p[\bar{u},\bar{j}])\} \wedge$
$\{Q = \varnothing\}$
$\Rightarrow$ /* mit: $a \Rightarrow b \Leftrightarrow (\neg a \vee b)$ */
$\{M\} \wedge \{D\} \wedge \{Z\} \wedge$
$\{I: \bigvee z \in V, \bigvee w \in W_G(s,z) \setminus \{p[z,1..m]\}: \neg(c(w) \leq \delta^m(s,z)) \vee$
$(\exists \bar{u} \in \varnothing, \exists \bar{w} \in W_G(\bar{u},z), \exists \bar{j} \in \{1...m\}: b[\bar{u},\bar{j}] = true \wedge w = push(\bar{w},p[\bar{u},\bar{j}]))\}$
$\Rightarrow$ /* da $(\exists \bar{u} \in \varnothing)$ false ist, verbleibt ...*/
$\{M\} \wedge \{D\} \wedge \{Z\} \wedge$
$\{I: \bigvee z \in V, \bigvee w \in W_G(s,z) \setminus \{p[z,1..m]\}: \neg(c(w) \leq \delta^m(s,z))\}$ ■

Die aus der Invariante I resolvierte Formel sagt aus, daß nach Ablauf der äußersten while-Schleife für einen beliebigen Zielknoten z kein Weg mehr existiert, welcher sich in die Menge der m-günstigsten Wege noch einsortieren läßt. Der Algorithmus hat somit für alle Knoten die jeweils m-günstigsten Wege vollständig ermittelt. Ebenfalls gelten weiterhin die Bedingungen für die Monotonie, Disjunktheit und Zyklenfreiheit der erzeugten m-günstigsten Wege.

7.3.1.2 TG-Algorithmus

Für den Tradinggraphen $TG=(V_{TG}, K_{TG}, \alpha_{TG}, \omega_{TG})$ sei mit s der Start- und mit z wiederum der Zielknoten definiert. Es werden für den Beweis weiterhin die Operatoren E(f) und N(f) definiert. Sie operieren auf den vom MGW-Algorithmus erzeugten Knotenfolgen. Mit E(f) wird die Menge der Kanten definiert, die sich aus den Knotenpaaren in der Folge f ergeben. Sei die Folge $p[z,i]=(k_{i,1},k_{i,2},...,k_{i,r})$ gege-

ben, so ergibt sich durch die Anwendung dieses Operators E(p[z,i])={($\overline{k}_{i,1}$,$\overline{k}_{i,2}$), ($\overline{k}_{i,2}$,$\overline{k}_{i,3}$),...,($\overline{k}_{i,r-1}$,$\overline{k}_{i,r}$)}. Analog zum Algorithmus wird die vom Zielknoten z abgehende NIL-Kante durch den E-Operator mit berücksichtigt, so daß gilt E(p[z,i])= {($\overline{k}_{i,1}$,$\overline{k}_{i,2}$),($\overline{k}_{i,2}$,$\overline{k}_{i,3}$),...,(N(z),NIL)}. Mit N(f) wird die Menge der in der Folge f befindlichen Knoten {$k_{i,1}$, $k_{i,2}$,..., $k_{i,r}$} definiert.

true $\Rightarrow \{\emptyset = \cup_{j=1..1-1} N(p[z,j])\}$.

1 $V_{TG} \leftarrow \emptyset$

$\{V_{TG} = \cup_{j=1..1-1} N(p[z,j])\} \wedge \{\emptyset = \cup_{j=1..1-1} E(p[z,j])\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in \emptyset, n2 \neq NIL: C_{Path}((n1,n2)) = C_{Path}((n2,n2_{min})) + c(n1,n2) \wedge$
$C_{Path}((n1,n1_{min})) \leq C_{Path}((n1,n2))\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in \emptyset, n2 = NIL: C_{Path}((n1,n2)) = 0 \wedge (n1,n1_{min}) = (n1,n2)\}$

2 $K_{TG} \leftarrow \emptyset$

$\{V_{TG} = \cup_{j=1..1-1} N(p[z,j])\} \wedge \{K_{TG} = \cup_{j=1..1-1} E(p[z,j])\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG}, n2 \neq NIL: C_{Path}((n1,n2)) = C_{Path}((n2,n2_{min})) + c(n1,n2) \wedge$
$C_{Path}((n1,n1_{min})) \leq C_{Path}((n1,n2))\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG}, n2 = NIL: C_{Path}((n1,n2)) = 0 \wedge (n1,n1_{min}) = (n1,n2)\}$

3 i $\leftarrow$ 1

$\{V_{TG} = \cup_{j=1..i-1} N(p[z,j])\} \wedge \{K_{TG} = \cup_{j=1..i-1} E(p[z,j])\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG}, n2 \neq NIL: C1(n1,n2) \wedge C2(n1,n2)\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG}, n2 = NIL: C_{Path}((n1,n2)) = 0 \wedge (n1,n1_{min}) = (n1,n2)\}$

4 while i $\leq$ m do

$\{V_{TG} = \cup_{j=1..i-1} N(p[z,j])\} \wedge \{K_{TG} = \cup_{j=1..i-1} E(p[z,j])\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG}, n2 \neq NIL: C1(n1,n2) \wedge C2(n1,n2)\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG}, n2 = NIL: C_{Path}((n1,n2)) = 0 \wedge (n1,n1_{min}) = (n1,n2)\} \wedge$
$\{E(p[z,i]) = \{(\overline{k}_{i,1},\overline{k}_{i,2}), ...,(\overline{k}_{i,2},N(z)), (N(z),NIL)\}\}$

5 next $\leftarrow$ NIL

$\{V_{TG} = \cup_{j=1..i-1} N(p[z,j])\} \wedge \{K_{TG} = \cup_{j=1..i-1} E(p[z,j])\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG}, n2 \neq NIL: C1(n1,n2) \wedge C2(n1,n2)\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG}, n2 = NIL: C_{Path}((n1,n2)) = 0 \wedge (n1,n1_{min}) = (n1,n2)\} \wedge$
$\{E(p[z,i]) = \{(\overline{k}_{i,1},\overline{k}_{i,2}), ...,(\overline{k}_{i,2},N(z)), (N(z),next)\}\}$

6 $p \leftarrow p[z,i]$

$\{V_{TG} = \cup_{j=1..i-1} N(p[z,j])\} \wedge \{K_{TG} = \cup_{j=1..i-1} E(p[z,j])\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG}, n2 \neq NIL: C1(n1,n2) \wedge C2(n1,n2)\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG}, n2 = NIL: C_{Path}((n1,n2)) = 0 \wedge (n1,n1_{min}) = (n1,n2)\} \wedge$
$\{E(p) = \{(\overline{k}_{i,1},\overline{k}_{i,2}), ...,(\overline{k}_{i,2},N(z)), (N(z),next)\}\}$
$\Rightarrow$
$\{V_{TG} = (\cup_{j=1..i-1} N(p[z,j])) \cup \{N(p[z,i]) \setminus N(p)\}\} \wedge$
$\{K_{TG} = (\cup_{j=1..i-1} E(p[z,j])) \cup (E(p[z,i]) \setminus \{(\overline{k}_{i,1},\overline{k}_{i,2}), ..., (\overline{k}_{i,r},N(z)), (N(z),next)\}) \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG}, n2 \neq NIL: C1(n1,n2) \wedge C2(n1,n2)\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG}, n2 = NIL: C_{Path}((n1,n2)) = 0 \wedge (n1,n1_{min}) = (n1,n2)\}$

7 while $p \neq NIL$ do

$\{V_{TG} = (\cup_{j=1..i-1} N(p[z,j])) \cup \{N(p[z,i]) \setminus N(p)\}\} \wedge$
$\{K_{TG} = (\cup_{j=1..i-1} E(p[z,j])) \cup (E(p[z,i]) \setminus \{(\overline{k}_{i,1},\overline{k}_{i,2}), ..., (\overline{k}_{i,|p|-1},N(t)), (N(t),next)\}) \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG}, n2 \neq NIL: C1(n1,n2) \wedge C2(n1,n2)\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG}, n2 = NIL: C_{Path}((n1,n2)) = 0 \wedge (n1,n1_{min}) = (n1,n2)\} \wedge$
$\{p \neq NIL\}$

8 $t \leftarrow pop(p)$

$\{V_{TG} = \{\cup_{j=1..i-1} N(p[z,j])\} \cup \{N(p[z,i]) \setminus \{N(p) \cup N(t)\}\}\} \wedge$
$\{K_{TG} = \{\cup_{j=1..i-1} E(p[z,j])\} \cup \{E(p[z,i]) \setminus \{(\overline{k}_{i,1},\overline{k}_{i,2}), ..., (\overline{k}_{i,|p|},N(t)), (N(t),next)\}\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG}, n2 \neq NIL: C1(n1,n2) \wedge C2(n1,n2)\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG}, n2 = NIL: C_{Path}((n1,n2)) = 0 \wedge (n1,n1_{min}) = (n1,n2)\}$

9 $n \leftarrow get(V_{TG},t)$

$\{V_{TG} = \{\cup_{j=1..i-1} N(p[z,j])\} \cup \{N(p[z,i]) \setminus \{N(p) \cup N(t)\}\}\} \wedge$
$\{K_{TG} = \{\cup_{j=1..i-1} E(p[z,j])\} \cup \{E(p[z,i]) \setminus \{(\overline{k}_{i,1},\overline{k}_{i,2}), ..., (\overline{k}_{i,|p|},N(t)), (N(t),next)\}\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG}, n2 \neq NIL: C1(n1,n2) \wedge C2(n1,n2)\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG}, n2 = NIL: C_{Path}((n1,n2)) = 0 \wedge (n1,n1_{min}) = (n1,n2)\} \wedge$
$\{(n = NIL \wedge N(t) \notin V_{TG}) \vee (n \neq NIL \wedge N(t) \in V_{TG})\}$

10 if $n = NIL$ then

$\{V_{TG} = \{\cup_{j=1..i-1} N(p[z,j])\} \cup \{N(p[z,i]) \setminus \{N(p) \cup N(t)\}\}\} \wedge$
$\{K_{TG} = \{\cup_{j=1..i-1} E(p[z,j])\} \cup \{E(p[z,i]) \setminus \{(\overline{k}_{i,1},\overline{k}_{i,2}), ..., (\overline{k}_{i,|p|},N(t)), (N(t),next)\}\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG}, n2 \neq NIL: C1(n1,n2) \wedge C2(n1,n2)\} \wedge$

$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG}, n2 = NIL: C_{Path}((n1,n2)) = 0 \wedge (n1,n1_{min}) = (n1,n2)\} \wedge$
$\{n = NIL \wedge N(t) \notin V_{TG}\}$

11 $n \leftarrow newNode(t)$

$\{V_{TG} = \{\cup_{j=1..i-1} N(p[z,j])\} \cup \{N(p[z,i]) \setminus \{N(p) \cup N(t)\}\}\} \wedge$
$\{K_{TG} = \{\cup_{j=1..i-1} E(p[z,j])\} \cup \{E(p[z,i]) \setminus \{(\overline{k}_{i,1},\overline{k}_{i,2}), ..., (\overline{k}_{i,|p|},n), (n,next)\}\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG}, n2 \neq NIL: C1(n1,n2) \wedge C2(n1,n2)\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG}, n2 = NIL: C_{Path}((n1,n2)) = 0 \wedge (n1,n1_{min}) = (n1,n2)\} \wedge$
$\{n = N(t) \wedge N(t) \notin V_{TG}\}$

12 insert(n, V_{TG})

$\{V_{TG} = \{\cup_{j=1..i-1} N(p[z,j])\} \cup \{\{N(p[z,i]) \setminus N(p)\} \setminus N(t)\} \cup N(t)\} \wedge$
$\{K_{TG} = \{\cup_{j=1..i-1} E(p[z,j])\} \cup \{E(p[z,i]) \setminus \{(\overline{k}_{i,1},\overline{k}_{i,2}), ..., (\overline{k}_{i,|p|},n), (n,next)\}\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG}, n2 \neq NIL: C1(n1,n2) \wedge C2(n1,n2)\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG}, n2 = NIL: C_{Path}((n1,n2)) = 0 \wedge (n1,n1_{min}) = (n1,n2)\} \wedge$
$\{n = N(t)\}$

13 end if

$\{V_{TG} = \{\cup_{j=1..i-1} N(p[z,j])\} \cup \{N(p[z,i]) \setminus N(p)\}\} \wedge$
$\{K_{TG} = \{\cup_{j=1..i-1} E(p[z,j])\} \cup \{E(p[z,i]) \setminus \{(\overline{k}_{i,1},\overline{k}_{i,2}), ..., (\overline{k}_{i,|p|},n), (n,next)\}\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG}, n2 \neq NIL: C1(n1,n2) \wedge C2(n1,n2)\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG}, n2 = NIL: C_{Path}((n1,n2)) = 0 \wedge (n1,n1_{min}) = (n1,n2)\} \wedge$
$\{n = N(t)\} \wedge \{E(n,next) \in K_{TG} \vee E(n,next) \notin K_{TG}\}$

14 if $E(n,next) \notin K_{TG}$ then

$\{V_{TG} = \{\cup_{j=1..i-1} N(p[z,j])\} \cup \{N(p[z,i]) \setminus N(p)\}\} \wedge$
$\{K_{TG} = \{\cup_{j=1..i-1} E(p[z,j])\} \cup \{E(p[z,i]) \setminus \{(\overline{k}_{i,1},\overline{k}_{i,2}), ..., (\overline{k}_{i,|p|},n), (n,next)\}\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG}, n2 \neq NIL: C1(n1,n2) \wedge C2(n1,n2)\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG}, n2 = NIL: C_{Path}((n1,n2)) = 0 \wedge (n1,n1_{min}) = (n1,n2)\} \wedge$
$\{E(N(t),next) \notin K_{TG}\}$

15 $K_{TG} \leftarrow K_{TG} \cup newEdge(n,next)$

$\{V_{TG} = \{\cup_{j=1..i-1} N(p[z,j])\} \cup \{N(p[z,i]) \setminus N(p)\}\} \wedge$
$\{K_{TG} = \{\cup_{j=1..i-1} E(p[z,j])\} \cup \{\{E(p[z,i]) \setminus \{(\overline{k}_{i,1},\overline{k}_{i,2}), ..., (\overline{k}_{i,|p|},n)\}\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG} \setminus E(n,next), n2 \neq NIL: C1(n1,n2) \wedge C2(n1,n2)\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG} \setminus E(n,next), n2 = NIL: C_{Path}((n1,n2)) = 0 \wedge (n1,n1_{min}) = (n1,n2)\}$

$\Rightarrow$

$\{V_{TG} = \{\cup_{j=1..i-1} N(p[z,j])\} \cup \{N(p[z,i]) \setminus N(p)\}\} \wedge$
$\{K_{TG} = \{\cup_{j=1..i-1} E(p[z,j])\} \cup \{E(p[z,i]) \setminus \{(\overline{k}_{i,1},\overline{k}_{i,2}), ..., (\overline{k}_{i,|p|},n)\}\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG} \setminus E(n,next), n2 \neq NIL: C1(n1,n2) \wedge C2(n1,n2)\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG} \setminus E(n,next), n2 = NIL: C_{Path}((n1,n2)) = 0 \wedge (n1,n1_{min}) = (n1,n2)\}$

16 if next ≠ NIL then

$\{V_{TG} = \{\cup_{j=1..i-1} N(p[z,j])\} \cup \{N(p[z,i]) \setminus N(p)\}\} \wedge$
$\{K_{TG} = \{\cup_{j=1..i-1} E(p[z,j])\} \cup \{E(p[z,i]) \setminus \{(\overline{k}_{i,1},\overline{k}_{i,2}), ..., (\overline{k}_{i,|p|},n)\}\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG} \setminus E(n,next), n2 \neq NIL: C1(n1,n2) \wedge C2(n1,n2)\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG}, n2 = NIL: C_{Path}((n1,n2)) = 0 \wedge (n1,n1_{min}) = (n1,n2)\}$

17 $C_{Path}((n,next)) \leftarrow C_{Path}((next,next_{min})) + c(n,next)$

$\{V_{TG} = \{\cup_{j=1..i-1} N(p[z,j])\} \cup \{N(p[z,i]) \setminus N(p)\}\} \wedge$
$\{K_{TG} = \{\cup_{j=1..i-1} E(p[z,j])\} \cup \{E(p[z,i]) \setminus \{(\overline{k}_{i,1},\overline{k}_{i,2}), ..., (\overline{k}_{i,|p|},n)\}\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG} \setminus E(n,next), n2 \neq NIL: C1(n1,n2) \wedge C2(n1,n2)\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG}, n2 = NIL: C_{Path}((n1,n2)) = 0 \wedge (n1,n1_{min}) = (n1,n2)\} \wedge$
$\{C_{Path}((n,next)) = C_{Path}((next,next_{min})) + c(n,next)\} \wedge$
$\{\forall (n,l) \in K_{TG}: C_{Path}((n,l)) \leq C_{Path}((n,next))\}$
$\Rightarrow$
$\{V_{TG} = \{\cup_{j=1..i-1} N(p[z,j])\} \cup \{N(p[z,i]) \setminus N(p)\}\} \wedge$
$\{K_{TG} = \{\cup_{j=1..i-1} E(p[z,j])\} \cup \{E(p[z,i]) \setminus \{(\overline{k}_{i,1},\overline{k}_{i,2}), ..., (\overline{k}_{i,|p|},n)\}\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG}, n2 \neq NIL: C1(n1,n2) \wedge C2(n1,n2)\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG}, n2 = NIL: C_{Path}((n1,n2)) = 0 \wedge (n1,n1_{min}) = (n1,n2)\}$

18 $C_{Edge}((n,next)) \leftarrow c(n,next)$

19 else

$\{V_{TG} = \{\cup_{j=1..i-1} N(p[z,j])\} \cup \{N(p[z,i]) \setminus N(p)\}\} \wedge$
$\{K_{TG} = \{\cup_{j=1..i-1} E(p[z,j])\} \cup \{E(p[z,i]) \setminus \{(\overline{k}_{i,1},\overline{k}_{i,2}), ..., (\overline{k}_{i,|p|},n)\}\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG}, n2 \neq NIL: C1(n1,n2) \wedge C2(n1,n2)\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG} \setminus E(n,next), n2 = NIL: C_{Path}((n1,n2)) = 0 \wedge (n1,n1_{min}) = (n1,n2)\}$

20 $C_{Path}((n,next)) \leftarrow 0$

$\{V_{TG} = \{\cup_{j=1..i-1} N(p[z,j])\} \cup \{N(p[z,i]) \setminus N(p)\}\} \wedge$
$\{K_{TG} = \{\cup_{j=1..i-1} E(p[z,j])\} \cup \{E(p[z,i]) \setminus \{(\overline{k}_{i,1},\overline{k}_{i,2}), ..., (\overline{k}_{i,|p|},n)\}\} \wedge$

$\{\bigvee (n1,n2) \in K_{TG}, n2 \neq NIL: C1(n1,n2) \wedge C2(n1,n2)\} \wedge$
$\{\bigvee (n1,n2) \in K_{TG}, n2 = NIL: C_{Path}((n1,n2)) = 0 \wedge (n1,n1_{min}) = (n1,n2)\}$

21 end if

$\{V_{TG} = \{\cup_{j=1..i-1} N(p[z,j])\} \cup \{N(p[z,i]) \setminus N(p)\}\} \wedge$
$\{K_{TG} = \{\cup_{j=1..i-1} E(p[z,j])\} \cup \{E(p[z,i]) \setminus \{(\overline{k}_{i,1},\overline{k}_{i,2}), ..., (\overline{k}_{i,|p|},n)\}\} \wedge$
$\{\bigvee (n1,n2) \in K_{TG}, n2 \neq NIL: C1(n1,n2) \wedge C2(n1,n2)\} \wedge$
$\{\bigvee (n1,n2) \in K_{TG}, n2 = NIL: C_{Path}((n1,n2)) = 0 \wedge (n1,n1_{min}) = (n1,n2)\}$

22 end if

$\{V_{TG} = \{\cup_{j=1..i-1} N(p[z,j])\} \cup \{N(p[z,i]) \setminus N(p)\}\} \wedge$
$\{K_{TG} = \{\cup_{j=1..i-1} E(p[z,j])\} \cup \{E(p[z,i]) \setminus \{(\overline{k}_{i,1},\overline{k}_{i,2}), ..., (\overline{k}_{i,|p|},n)\}\} \wedge$
$\{\bigvee (n1,n2) \in K_{TG}, n2 \neq NIL: C1(n1,n2) \wedge C2(n1,n2)\} \wedge$
$\{\bigvee (n1,n2) \in K_{TG}, n2 = NIL: C_{Path}((n1,n2)) = 0 \wedge (n1,n1_{min}) = (n1,n2)\}$

23 next ← n

$\{V_{TG} = (\cup_{j=1..i-1} N(p[z,j])) \cup \{N(p[z,i]) \setminus N(p)\}\} \wedge$
$\{K_{TG} = (\cup_{j=1..i-1} E(p[z,j])) \cup (E(p[z,i]) \setminus \{(\overline{k}_{i,1},\overline{k}_{i,2}), ..., (\overline{k}_{i,|p|},next)\}) \wedge$
$\{\bigvee (n1,n2) \in K_{TG}, n2 \neq NIL: C1(n1,n2) \wedge C2(n1,n2)\} \wedge$
$\{\bigvee (n1,n2) \in K_{TG}, n2 = NIL: C_{Path}((n1,n2)) = 0 \wedge (n1,n1_{min}) = (n1,n2)\}$

24 end while

$\{V_{TG} = (\cup_{j=1..i-1} N(p[z,j])) \cup \{N(p[z,i]) \setminus N(p)\}\} \wedge$
$\{K_{TG} = (\cup_{j=1..i-1} E(p[z,j])) \cup (E(p[z,i]) \setminus \{(\overline{k}_{i,1},\overline{k}_{i,2}), ..., (\overline{k}_{i,|p|},next)\}) \wedge$
$\{\bigvee (n1,n2) \in K_{TG}, n2 \neq NIL: C1(n1,n2) \wedge C2(n1,n2)\} \wedge$
$\{\bigvee (n1,n2) \in K_{TG}, n2 = NIL: C_{Path}((n1,n2)) = 0 \wedge (n1,n1_{min}) = (n1,n2)\} \wedge$
$\{N(p) = \emptyset\}$
$\Rightarrow$
$\{V_{TG} = \cup_{j=1..i-1+1} N(p[z,j])\} \wedge$
$\{K_{TG} = \cup_{j=1..i-1+1} E(p[z,j]) \wedge \bigvee (n1,n2) \in K_{TG}: C1(n1,n2) \wedge C2(n1,n2)\}$

25 i ← i + 1

$\{V_{TG} = \cup_{j=1..i-1} N(p[z,j])\} \wedge \{K_{TG} = \cup_{j=1..i-1} E(p[z,j]) \wedge$
$\{\bigvee (n1,n2) \in K_{TG}, n2 \neq NIL: C1(n1,n2) \wedge C2(n1,n2)\} \wedge$
$\{\bigvee (n1,n2) \in K_{TG}, n2 = NIL: C_{Path}((n1,n2)) = 0 \wedge (n1,n1_{min}) = (n1,n2)\}$

26 end while

$\{V_{TG} = \cup_{j=1..i-1} N(p[z,j])\} \wedge \{K_{TG} = \cup_{j=1..i-1} E(p[z,j]) \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG}, n2 \neq NIL: C1(n1,n2) \wedge C2(n1,n2)\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG}, n2 = NIL: C_{Path}((n1,n2)) = 0 \wedge (n1,n1_{min}) = (n1,n2)\} \wedge$
$\{i > m\}$
$\Rightarrow$
$\{V_{TG} = (\cup_{j=1..m} N(p[z,j])) \cup (\cup_{j=m+1..i-1} p[z,j])\} \wedge$
$\{K_{TG} = (\cup_{j=1..m} E(p[z,j])) \cup (\cup_{j=m+1..i-1} E(p[z,j])) \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG}, n2 \neq NIL: C1(n1,n2) \wedge C2(n1,n2)\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG}, n2 = NIL: C_{Path}((n1,n2)) = 0 \wedge (n1,n1_{min}) = (n1,n2)\}$
$\Rightarrow$
$\{V_{TG} = \cup_{j=1..m} N(p[z,j])\} \wedge \{K_{TG} = (\cup_{j=1..m} E(p[z,j])) \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG}, n2 \neq NIL: C1(n1,n2) \wedge C2(n1,n2)\} \wedge$
$\{\forall (n1,n2) \in K_{TG}, n2 = NIL: C_{Path}((n1,n2)) = 0 \wedge (n1,n1_{min}) = (n1,n2)\}$ ■

Obiger Term sagt aus, daß sich die Menge der Knoten V_{TG} exakt aus den Knoten innerhalb der m-günstigsten Wege zusammensetzt und das gleichermaßen für alle Kanten, die durch die Knotenfolgen der m-günstigsten Wege definiert sind, die Optimalitätsbedingungen C1 und C2 gelten.

7.3.1.3 PD-Algorithmus

Die Verifikation des PD-Algorithmusses entspricht im wesentlichen dem der Minimumsuche in einem unsortierten Array. Der Beweis wird hier unter Berücksichtigung der speziellen Kostenberechnung für die Kanten durchgeführt.

1 $l_{opt} \leftarrow (u,v)$ mit $(u,v) \in K_u$

$\{l_{opt} \in K_u\}$

2 $cost \leftarrow costs(l_{opt}) + \mathbf{C_{Neg}(l_{opt})} - c(l_{opt})$

$\{l_{opt} \in K_u\} \wedge \{cost = costs(l_{opt}) + \mathbf{C_{Neg}(l_{opt})} - c(l_{opt})\} \wedge$
$\{\forall r \in \{l_{opt}\}: cost \leq costs(r) + \mathbf{C_{Neg}(r)} - c(r)\}$
$\Rightarrow$
$\{l_{opt} \in K_u\} \wedge \{cost = costs(l_{opt}) + \mathbf{C_{Neg}(l_{opt})} - c(l_{opt})\} \wedge$
$\{\forall r \in K_u \setminus (K_u \setminus \{l_{opt}\}): cost \leq costs(r) + \mathbf{C_{Neg}(r)} - c(r)\}$

3 $S \leftarrow K_u \setminus l_{opt}$

$\{l_{opt} \in K_u\} \wedge \{cost = costs(l_{opt}) + \mathbf{C_{Neg}(l_{opt})} - c(l_{opt})\} \wedge$

$\{\bigvee r \in K_u \setminus S: cost \leq costs(r) + \mathbf{C}_{Neg}(r) - c(r)\} \wedge \{S \subseteq K_u\}$

4 while $\exists\, \overline{k} \in S$ do

$\{l_{opt} \in K_u\} \wedge \{cost = costs(l_{opt}) + \mathbf{C}_{Neg}(l_{opt}) - c(l_{opt})\} \wedge$
$\{\bigvee r \in K_u \setminus S: cost \leq costs(r) + \mathbf{C}_{Neg}(r) - c(r)\} \wedge \{S \neq \emptyset\} \wedge \{S \subseteq K_u\} \wedge \{\overline{k} \in S\}$

$\Leftrightarrow$

$\{l_{opt} \in K_u\} \wedge \{cost = costs(l_{opt}) + \mathbf{C}_{Neg}(l_{opt}) - c(l_{opt})\} \wedge$
$\{\bigvee r \in K_u \setminus S: cost \leq costs(r) + \mathbf{C}_{Neg}(r) - c(r)\} \wedge \{S \neq \emptyset\} \wedge \{\overline{k} \in K_u\}$

5 $t \leftarrow costs(\overline{k}) + \mathbf{C}_{Neg}(\overline{k}) - c(\overline{k})$

$\{l_{opt} \in K_u\} \wedge \{cost = costs(l_{opt}) + \mathbf{C}_{Neg}(l_{opt}) - c(l_{opt})\} \wedge$
$\{\bigvee r \in K_u \setminus S: cost \leq costs(r) + \mathbf{C}_{Neg}(r) - c(r)\} \wedge \{S \neq \emptyset\} \wedge \{\overline{k} \in K_u\} \wedge$
$\{t = costs(\overline{k}) + \mathbf{C}_{Neg}(\overline{k}) - c(\overline{k})\}$

6 if $t < cost$ then

$\{l_{opt} \in K_u\} \wedge \{cost = costs(l_{opt}) + \mathbf{C}_{Neg}(l_{opt}) - c(l_{opt})\} \wedge$
$\{\bigvee r \in K_u \setminus S: cost \leq costs(r) + \mathbf{C}_{Neg}(r) - c(r)\} \wedge \{S \neq \emptyset\} \wedge \{\overline{k} \in K_u\} \wedge$
$\{t = costs(\overline{k}) + \mathbf{C}_{Neg}(\overline{k}) - c(\overline{k})\} \wedge \{t < cost\}.$
$\Rightarrow$
$\{l_{opt} \in K_u\} \wedge \{cost = costs(l_{opt}) + \mathbf{C}_{Neg}(l_{opt}) - c(l_{opt})\} \wedge$
$\{\bigvee r \in K_u \setminus S: t \leq costs(r) + \mathbf{C}_{Neg}(r) - c(r)\} \wedge \{S \neq \emptyset\} \wedge \{\overline{k} \in K_u\} \wedge$
$\{t = costs(\overline{k}) + \mathbf{C}_{Neg}(\overline{k}) - c(\overline{k})\}$

7 $cost \leftarrow t$

$\{l_{opt} \in K_u\} \wedge \{\bigvee r \in K_u \setminus S: cost \leq costs(r) + \mathbf{C}_{Neg}(r) - c(r)\} \wedge$
$\{S \neq \emptyset\} \wedge \{\overline{k} \in K_u\} \wedge \{cost = costs(\overline{k}) + \mathbf{C}_{Neg}(\overline{k}) - c(\overline{k})\}$

8 $l_{opt} \leftarrow \overline{k}$

$\{l_{opt} \in K_u\} \wedge \{\bigvee r \in K_u \setminus S: cost \leq costs(r) + \mathbf{C}_{Neg}(r) - c(r)\} \wedge \{S \neq \emptyset\} \wedge$
$\{cost = costs(l_{opt}) + \mathbf{C}_{Neg}(l_{opt}) - c(l_{opt})\} \wedge \{cost = costs(\overline{k}) + \mathbf{C}_{Neg}(\overline{k}) - c(\overline{k})\}$

9 end if

$\{l_{opt} \in K_u\} \wedge \{cost = costs(l_{opt}) + \mathbf{C}_{Neg}(l_{opt}) - c(l_{opt})\} \wedge$
$\{\bigvee r \in K_u \setminus S: cost \leq costs(r) + \mathbf{C}_{Neg}(r) - c(r)\} \wedge \{S \neq \emptyset\} \wedge$
$\{cost \leq costs(\overline{k}) + \mathbf{C}_{Neg}(\overline{k}) - c(\overline{k})\}$
$\Leftrightarrow$
$\{l_{opt} \in K_u\} \wedge \{cost = costs(l_{opt}) + \mathbf{C}_{Neg}(l_{opt}) - c(l_{opt})\} \wedge$

$\{\bigvee r \in (K_u \setminus S) \cup \{\overline{k}\}: cost \leq costs(r) + \mathbf{C_{Neg}(r)} - c(r)\} \wedge \{S \neq \emptyset\}$
$\Leftrightarrow$
$\{l_{opt} \in K_u\} \wedge \{cost = costs(l_{opt}) + \mathbf{C_{Neg}(l_{opt})} - c(l_{opt})\} \wedge$
$\{\bigvee r \in K_u \setminus (S \setminus \{\overline{k}\}): cost \leq costs(r) + \mathbf{C_{Neg}(r)} - c(r)\} \wedge \{S \neq \emptyset\}$

10 $S \leftarrow S \setminus \overline{k}$

$\{l_{opt} \in K_u\} \wedge \{cost = costs(l_{opt}) + \mathbf{C_{Neg}(l_{opt})} - c(l_{opt})\} \wedge$
$\{\bigvee r \in K_u \setminus S: cost \leq costs(r) + \mathbf{C_{Neg}(r)} - c(r)\}$

11 end while

$\{l_{opt} \in K_u\} \wedge \{cost = costs(l_{opt}) + \mathbf{C_{Neg}(l_{opt})} - c(l_{opt})\} \wedge$
$\{\bigvee r \in K_u \setminus S: cost \leq costs(r) + \mathbf{C_{Neg}(r)} - c(r)\} \wedge \{S = \emptyset\}$
$\Rightarrow$
$\{l_{opt} \in K_u\} \wedge \{\bigvee r \in K_u : costs(l_{opt}) + \mathbf{C_{Neg}(l_{opt})} - c(l_{opt}) \leq costs(r) + \mathbf{C_{Neg}(r)} - c(r)\}$ ■

Der obige Term sagt letztlich aus, daß die Variable l_{opt} auf die Kante mit den minimalen Kosten verweist.

7.3.2 Nachweis der Terminierung

Es ist unbedingt notwendig, daß die Algorithmen in jedem Falle und somit auch bei nicht erfüllbaren Anforderungen terminieren. Mit dem Nachweis der Terminierung in Verbindung mit der schon gezeigten partiellen Korrektheit folgt für die Algorithmen dann auch die vollständige Korrektheit.

7.3.2.1 MGW-Algorithmus

Die Terminierung des Initialisierungsanteils ist leicht zu erkennen. Der Iterationsanteil hingegen besteht aus vier geschachtelten Schleifenkonstruktionen. Zur Herleitung der Terminierung des Gesamtprogramms muß auch die Terminierung der Schleifen seitens ihrer Schachtelung von innen nach außen gezeigt werden.

τ_3: $\tau_3 \equiv$ m-(i+1) /* while-Schleife in Zeile 18 */

$\{m-(i-1) = k_3\}\ i \leftarrow i + 1\ \{m-(i-1) < k_3\}$.
$\{m-(i-1) = 0 \Rightarrow i = m + 1 \Rightarrow i > m\}$. ■

τ_2: $\tau_2 \equiv |\ K_u\ |$ /* while-Schleife in Zeile 15 */

$\{|\overline{K}| = k_2\}\ \overline{K} = \overline{K} \setminus \{k\}\ \{|\overline{K}| < k_2\}$.
$\{|\overline{K}| = 0 \Rightarrow \overline{K} = \emptyset\}$. ■

τ_1: $\tau_1 \equiv$ m-(i+1) /* while-Schleife in Zeile 31 */

{m-(i-1) = k_1} i $\leftarrow$ i + 1 {m-(i-1) < k_1}.
{m-(i-1) = 0 $\Rightarrow$ i = m + 1 $\Rightarrow$ i > m}. ■

Am schwierigsten ist zu zeigen, daß die äußerste while-Schleife ab der Zeile 12 terminiert, d.h. daß die Menge Q nach einer endlichen Anzahl von Iterationen zur leeren Menge wird. Da diese Menge nur die Knoten enthält, die effektiv zu betrachten sind, stellt sie nur einen Ausschnitt aus der Gesamtmenge der für eine bestimmte Tiefe im Breitensuchbaum relevanten Knoten dar. Aus diesem Grunde wird für die Terminierungsvariable τ_4 neben der Knotenmenge Q noch die Menge W_R, welche die noch für jeden Knoten z aus V einsortierbaren Wege w enthält, hinzuaddiert. Mit $\{\bigvee z \in V, \bigvee w \in W_G(s,z) \setminus \{p[z,1..m]\} : c(w) < d[z,m]\}$ als Mengendefinition für W_R gilt, daß diese zu Anfang des Algorithmusses alle möglichen Wege umfaßt, da d[z,m] auf $+\infty$ initialisiert worden ist. Für τ_4 folgt:

τ_4: $\tau_4 \equiv |Q| + |W_R|$ mit
$W_R = \{\bigvee z \in V, \bigvee w \in W_G(s,z) \setminus \{p[z,1..m]\} : c(w) < d[z,m]\}$

1. $\{k_4 = |Q| + |W_R|\}$ u = pop(Q) $\{|Q| + |W_R| = k_4 - 1 = k_5\}$
2. $\{|Q| + |W_R| = k_5\}$ ShiftInsert(p[v,j], push(v,p[u,i])) $\{|Q| + |W_R| < k_5\}$
3. $\{|Q| + |W_R| < k_5\}$ push(v,Q) $\{|Q| + |W_R| \leq k_5\} \Rightarrow$
4. $|Q| + |W_R| \leq k_4 - 1 \Rightarrow |Q| + |W_R| < k_4$
5. $\{|Q| + |W_R| = 0 \Rightarrow \{|Q| = 0 \Rightarrow Q = \varnothing\}$ ■

Die erste Zeile des Beweises besagt, daß durch die Entnahme von u aus Q die Summe $|Q|+|W_R|$ um eins dekrementiert wird. Mit Zeile zwei wird ein Weg in die Knotenliste eines erreichbaren Nachbarknotens v einsortiert, so daß dieser Weg als gefunden und ergo abgearbeitet gelten kann. Die Summe $|Q|+|W_R|$ reduziert sich also mit jedem gefundenen Weg, der im Algorithmus vermerkt wird. In diesem Falle hat sich die Menge der m-günstigsten Wege für einen Nachbarknoten v geändert, so daß dieser in die Menge Q aufgenommen wird, falls er dort nicht schon vorhanden ist. Durch die Aktionen im Anweisungsblock der Zeilen 21-24 des MGW-Algorithmusses wird die Terminierungsvariable τ_4 entweder dekrementiert oder sie bleibt im schlimmsten Falle gleich. Es verbleibt gemäß Zeile vier im Beweis eine Mindestreduktion von τ_4 um eins. Es konvergiert folglich die Summe $|Q|+|W_R|$ und somit jede ihrer Summanden gegen Null. Im Beweis wird implizit die Zyklenfreiheit der berechneten Wege genutzt, so daß die Menge aller möglichen Wegekombinationen nach oben beschränkt ist.

7.3.2.2 TG-Algorithmus

Für die beiden geschachtelten while-Schleifen werden die Zählerindices τ_1 und τ_2 eingeführt. Der Index τ_1 zählt dabei die Menge der m-günstigsten Wege mit $m<<+\infty$ ab, während der Index τ_2 für jeden Weg die Knoten in der Pfadliste adressiert. Es werden $\tau_1 \equiv m-(i-1)$ und $\tau_2 \equiv |p[z,i]|$ definiert. Für m sowie alle p[z,i] mit $1 \leq i \leq m$ gilt, daß sie endlich sind.

$\{|p[z,i]| = \tau_2\}$ t $\leftarrow$ pop(p[z,i]) $\{|p[z,i]| < \tau_2\}$.
$\{|p[z,i]| = 0 \Rightarrow p[z,i] = NIL\}$.

$\{m-(i-1) = \tau_1\}$ i $\leftarrow$ i + 1 $\{m-(i-1) < \tau_1\}$.
$\{m-(i-1) = 0 \Rightarrow i = m + 1 \Rightarrow i > m\}$. ■

Da nunmehr beide geschachtelten while-Schleifen terminieren, terminiert folglich auch der gesamte TG-Algorithmus.

7.3.2.3 PD-Algorithmus

Der Wert τ kann zu $\tau \equiv |S|$ definiert werden. Da die Menge S ausschließlich in der Programmzeile 10 modifiziert wird, gilt der folgende Zusammenhang:

$\{|S| = m\}$ S $\leftarrow$ S $\setminus \overline{k}$ $\{|S| < m\}$.
$\{|S| = 0 \Rightarrow S = \varnothing\}$ ■

Da jede einzelne Programmzeile terminiert, folgt somit auch die Terminierung der while-Schleife und des Gesamtprogramms. ■

7.3.3 Zyklenfreiheit des Tradinggraphen

Zyklenfreiheit innerhalb eines TG bedeutet, daß kein Weg existiert, innerhalb dessen ein Knoten zweimal erscheint [353]. Der MGW-Algorithmus produziert ausschließlich zyklenfreie Wege. Dieses ist intuitiv leicht einsichtig, da die einzige Stelle im MGW-Algorithmus, wo eine Knotenliste erweitert wird, aus der Zeile 20 besteht. Der Eintritt wird über das if-Statement in der Zeile 17 kontrolliert, in welchem die Überprüfung der Knotenliste hinsichtlich des Auftretens des einzufügenden Knotens stattfindet. Dieses bedeutet wiederum, daß ein Knoten nur dann eingefügt werden kann, wenn er in der Knotenliste noch nicht vorhanden ist. In der Programmverifikation wurde dieses durch die Bedingung {Z} sichergestellt. Durch das Zusammenfassen der m-günstigsten Wege mit Hilfe des TG-Algorithmusses wird jedoch ein neuer Graph erzeugt, der nicht mehr unbedingt zyklenfrei sein muß. In der Abbildung 7-5 ist ein Beispiel für einen mit einem Zyklus behafteten TG gegeben.

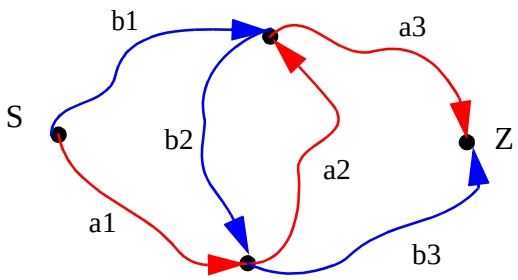


Abbildung 7-5: Zyklus in einem TG

Letzterer besteht aus dem Zusammenschluß zweier zyklenfreier Wege A und B, die sich aus jeweils drei Teilwegen (a1,a2,a3) sowie (b1,b2,b3) zusammensetzen. Durch die Teilwege a2 sowie b2 ergibt sich ein Zyklus im resultierenden Graphen. Mit Hilfe des Algorithmusses von Prim oder Kruskal [353] kann aus dem TG ein zyklenfreier Graph generiert werden, jedoch würde dabei das globale Optimalitätskriterium der m-günstigsten Wege verloren gehen, so daß hier darauf verzichtet wird. Ein MOBAG, welcher sich auf einem TG bewegt, muß die Möglichkeit, in einen Zyklus zu geraten, mit berücksichtigen. Dieses bedeutet letztlich, daß er den bisher beschrittenen Weg mit jedem weiteren Teilweg auf einen Zyklus hin untersuchen muß[1] und für den Fall, daß ein solcher dann vorliegt, auch ein Backtracking initiiert (vgl. auch [53]).

7.3.4 Komplexitätsbetrachtung

Das hier vorgestellte Verfahren ist desweiten vom Aufwand her abzuschätzen. Für jeden der drei Algorithmen muß seitens der Aufwandsanalyse nach Rechenzeit und benötigtem Speicherplatz unterschieden werden.

7.3.4.1 MGW-Algorithmus

Bei diesem Algorithmus werden im folgenden der Initialisierungs- sowie der Iterationsteil getrennt behandelt. Im Initialisierungsanteil werden die Datenstrukturen erzeugt und vorbelegt. Folgende Tabelle 7-4 gibt hierzu den Aufwand für die Laufzeit aufgeschüsselt nach Codezeilen wieder. Der Aufwand für die beiden geschachtelten Initialisierungsschleifen ergibt sich wie erwartet zu O(m*|V|).

1. Dieses kann durch den einfachen Test, ob der bzw. die als nächstes erreichbaren Knoten eventuell schon in der Knotenmenge des bisher beschrittenen Pfades enthalten sind, erfolgen.

Zeilennummer	Laufzeit	Durchläufe
1	O(1)	|V|+1
2	O(1)	|V|*(m+1)
3+4+5+6+7	O(1)	m*|V|
8+9+10+11	O(1)	1
$\sum$	O(m*|V|)	

Tabelle 7-4: Laufzeitanalyse des MGW-Algorithmus-Initialisierungsanteils

Der Iterationsanteil gestaltet sich von der Laufzeitanalyse her schon etwas komplexer. Da nur zyklenfreie Wege zulässig sind, kann jeder der m-günstigsten Wege vom Startknoten s zu einem beliebigen Zielknoten z im Graphen G maximal über |V-1| Knoten und entsprechende Kanten laufen. Prinzipiell handelt es sich beim MGW-Algorithmus um eine Breitensuche; folglich enthält der Suchbaum maximal |V-1| Suchebenen bzw. Scanebenen, d.h. mit jeder abgearbeiteten i-ten Scanebene sind die m-günstigsten Wege, die über maximal i Kanten führen, schon erfaßt worden (vgl. Abbildung 7-6).

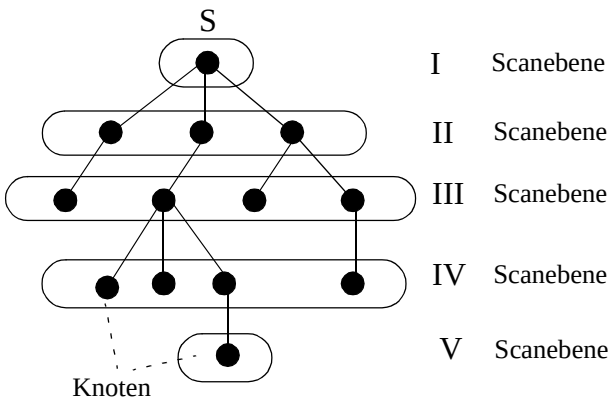


Abbildung 7-6: Breitensuchbaum des MGW-Algorithmus

Pro Ebene sind unabhängig von der Anzahl Ihrer Knoten maximal |K| Kanten zu betrachten. Für den Algorithmus folgt, daß |V-1|*|K| Kanten über die äußersten beiden while-Schleifen verarbeitet werden[1]. Für die weitere Abschätzung muß die

innerste while-Schleife im Kern betrachtet werden. In Zeile 18 wird über m Wege iteriert. Innerhalb der Schleife (Zeilen 19-27) folgen Operationen mit konstantem Aufwand O(1). Ausnahme bildet hier die Berechnung des Index j in Zeile 20. Hier muß ein neu berechneter Weg in eine sortierte Liste eingeordnet werden. Mit binärer Suche kann hier ein logarithmischer Aufwand von O(log(m)) angesetzt werden[1]. Der durch die innere while-Schleife verursachte Aufwand beträgt somit O(m*log(m)). Für die Gesamtkomplexität des MGW-Algorithmusses bei beliebigem Graphen G ergibt sich somit: $LZ(G) \in O(m*\log(m)*|V|*|K|)$. Ist der Graph G sehr stark vermascht, so kann im Extremfall - jeder Knoten ist mit jedem anderen durch eine Kante verbunden - |K| durch |V|*|V-1|/2 abgeschätzt werden. Für den Aufwand ergibt sich dann $LZ(G) \in O(m*\log(m)*|V|^3)$. Wird m klein gewählt, so ist in der praktischen Anwendung der Faktor m*log(m) vernachlässigbar. Für m=1 entfällt die Sortierung in den Zeilen 20-23 und der Kern der innersten while-Schleife reduziert sich auf einen einzigen Vergleich. Der Faktor m*log(m) wird dann zu 1 und der Aufwand des Algorithmusses ergibt sich zu $LZ(G) \in O(|V|*|K|)$, was dem des herkömmlichen Bellmann-Ford-Moore Verfahrens entspricht [163].

Der Speicherplatzbedarf wird im wesentlichen schon durch den Initialisierungsanteil vorgegeben. Im folgenden wird mit einer sogenannten Speichereinheit MEM gearbeitet, die eine normierte Größe wie bspw. ein Speicherwort darstellt. Pro Knoten sind drei Arrays vorgesehen. Mittels d[v,i] werden die Kosten für die m-günstigsten Wege abgelegt, so daß hier konstant m*MEM benötigt werden. Gleiche Argumentation gilt für die Speicherung der Flags in b[v,i]. Die Knotenfolge p[v,i] eines i-günstigsten Weges kann maximal |V| Knoten umfassen. Auf den Eintrag des Startknotens s könnte hier prinzipiell verzichtet werden. Die Schlange Q stellt den dynamischsten Datentyp dar. Da jeder Knoten in ihr zur gleichen Zeit aber nur einmal vorkommen kann, ergibt sich auch eine obere Grenze von |V-1| Knoten, die maximal pro Scanvorgang betrachtet werden müssen. Der gesamte Speicherplatzverbrauch ergibt sich additiv zu m*|V|*|V|+|V-1|+2*|V|*m MEMs bzw. anymptotisch zu $O(m*|V|^2+2*m*|V|+|V|) \leq O(m*|V|^2+3*m*|V|) \in O(m*|V|^2)$.

Es sei hier bemerkt, daß die Abschätzung der Laufzeit wie auch des Speicherplatzverbrauches stark von der Implementierung des Algorithmusses abhängt. So müssen bspw. nicht zwingend Arrays für die Haltung der Daten vorgesehen werden. Unterschiedliche Datenstrukturen und die mit ihnen kodierte Form des Datenzugriff bietet durchaus weiteres Optimierungspotential.

1. Vgl. hierzu die Komplexitätsbetrachtungen zur Graphentheorie wie bspw. in [326], [353] et. al.
1. Der aus der Binärsuche resultierende duale Logarithmus ld(m) kann mittels Basistransformation und konstantem Korrekturfaktor durch den dekadischen log(m) ersetzt werden, ohne daß das asymptotische Laufzeitverhalten unzulässig verfälscht wird.

7.3.4.2 TG-Algorithmus

Die Laufzeitabschätzung für den TG-Algorithmus orientiert sich an der Komplexität der Eingabedaten $p[z,i]_{i=1..m}$. Hier ist die Anzahl m der m-günstigsten Wege sowie deren Längen, gemessen an der Anzahl der zu traversierenden Knoten, entscheidend. Als Grundlage wird der vom MGW-Algorithmus bearbeitete Graph G’ in seiner reduzierten Form verwendet. G'_{red} enthält nur die Knoten und Kanten, welche in den m-günstigsten Wegen zu einem Zielknoten z auch auftreten. Die Menge der Knoten wird mit $|V_{TG}|$ und die Menge der Kanten analog mit $|K_{TG}|$ bezeichnet. Aus den Informationen zu den m-günstigsten Wegen eines Zielknotens z ergibt sich die Knotenmenge zu $|V_{TG}|=|\cup_{i=1..m}N(p[z,i])|$. Mit dem N-Operator werden die in p[z,i] enthaltene Knotenmenge definiert.

Zeilennummer	Laufzeit	Durchläufe
1+2+3	3*O(1)	1
4	O(1)	m+1
5+6	2*O(1)	m
7	O(1)	$m*(\sum_{i=1..m}\|N(p[z,i])\|+1)$
8+9+10	3*O(1)	$m*(\sum_{i=1..m}\|N(p[z,i])\|$
11+12	2*O(1)	$\|\cup_{i=1..m}N(p[z,i])\|$
14	O(1)	$m*(\sum_{i=1..m}\|N(p[z,i])\|)$
15+16	2*O(1)	$\sum_{i=1..m}\|E(p[z,i])\|$
17+18	2*O(1)	$\sum_{i=1..m}\|E(p[z,i])\|-m$
19+20+21	3*O(1)	m
23	O(1)	$m*(\sum_{i=1..m}\|N(p[z,i])\|)$
25	O(1)	m

Tabelle 7-5: Laufzeitanalyse für den TG-Algorithmus

Für die Menge der Kanten liegt der Fall etwas komplizierter. Gezählt wird hier die Anzahl disjunkter Tupel, welche sich gemäß einer Vorgänger/Nachfolger-Relation der m-günstigsten Wege ergeben. Auf der Basis der Mengenschreibweise

ergibt sich die Kantenmenge zu $|K_{TG}|=|\cup_{i=1..m}E(p[z,i])|$. Die beiden Operatoren N(p[z,i]) und E(p[z,i]) wurden zur Verifikation schon in Kapitel 7.3.1.2 definiert. In der Tabelle 7-5 ist eine Aufwandsabschätzung, aufgeschlüsselt nach den Codezeilen des TG-Algorithmusses, notiert.

Die Gesamtsumme der Durchläufe für die Knotensequenzen aller m-günstigsten Wege $\sum_{i=1..m}|N(p[z,i])|$ kann vorab durch $m*|V_{TG}|$ nach oben abgeschätzt werden. Gleiches gilt für die Abarbeitung der Kanten mit $(\sum_{i=1..m}|E(p[z,i])|)\leq m*|K_{TG}|$. Eine Zusammenfassung obiger Laufzeiten zur Gesamtlaufzeit LZ(p[]) für alle m-günstigsten Wege p[z,i] ergibt:

$$LZ(p[])=3*O(1)+(m+1)*O(1)+2*O(1)*m+m*(\sum_{i=1..m}|N(p[z,i])|+1)*O(1)+$$
$$3*O(1)*m*(\sum_{i=1..m}|N(p[z,i])|)+2*O(1)*(|\cup_{i=1..m}N(p[z,i])|)+$$
$$O(1)*m*(\sum_{i=1..m}|N(p[z,i])|)+2*O(1)*\sum_{i=1..m}|E(p[z,i])|+$$
$$2*O(1)*(\sum_{i=1..m}|E(p[z,i])|m)+3*O(1)*m+O(1)*m*(\sum_{i=1..m}|N(p[z,i])|)+O(1)*m$$
$$\leq$$
$$4*(m+1)*O(1)+(6*m^2+1)*|V_{TG}|*O(1)+4*m*|K_{TG}|*O(1)$$
$$\in O(m^2*|V_{TG}|+m*|K_{TG}|).$$

Bei m disjunkten Wegen läßt sich die Kantenanzahl zu $|K_{TG}|=2*|V_{TG}|$ abschätzen und für die Laufzeit ergibt sich $LZ(p[])\in O(m^2*|V_{TG}|)$.

Der Speicherplatzbedarf leitet sich gemäß folgender Überlegung ab, daß pro Knoten und Kante Einträge im TG erzeugt werden müssen. Je nach Vermaschungsgrad im TG ergibt sich somit der Speicherplatzbedarf zu $\Theta(|V_{TG}|+|K_{TG}|)$.

7.3.4.3 PD-Algorithmus

Der Rechenzeitaufwand des PD-Algorithmusses wird im wesentlichen durch eine einzelne while-Schleife bestimmt. Sie vergleicht die endliche Menge der abgehenden Links auf dem aktuellen Netzwerkknoten seitens ihrer Gewichtung mit dem momentanen Minimum und ersetzt dieses gegebenenfalls. Um das endgültige Minimum zu finden, sind alle Kanten aus K_u mindestens einmal zu betrachten. Das asymptotische Laufzeitverhalten ergibt sich mit $n=|K_u|$ aus O(n). Der Speicherplatzbedarf zur Referenzierung des aktuell jeweils günstigsten Links sowie seiner Kosten ist konstant und daher aus O(1).

7.3.4.4 Komplexität des Gesamtverfahrens

Ein vollständiger Routingablauf gemäß hier vorgeschlagenem Verfahren läßt sich in einen statischen und einen dynamischen Anteil zerlegen. Im statischen Teil werden zuerst die m-günstigsten Wege und aus ihnen dann der TG berechnet. Im

dynamischen Teil muß der das Netzwerk durchquerende Agent pro Knoten verhandeln und eine Entscheidung über den zu traversierenden Link berechnen. Für den statischen Anteil läßt sich der Laufzeitaufwand wie folgt abschätzen:

$$\begin{aligned} LZ() \in \quad & O(m*\log(m)*|V|*|K|) + O(m^2*|V_{TG}|) \leq \\ & O(m*\log(m)*|V|*|K|) + O(m^2*|V|) \leq \\ & O(m^2*|V|*|K|). \end{aligned}$$

Beim dynamischen Anteil des Routingvorgangs steht die Verhandlungsphase am Anfang. Eine Entscheidungsberechnung gemäß dem PD-Verfahren erfolgt hier erst dann, wenn zu allen abgehenden Links für die m-günstigsten Wege die Verhandlungsergebnisse mit den Anbietern erfolgt sind. Der TG ist ein gerichteter Graph. Beim PD-Algorithmus müssen während der Traversierung maximal alle Links bzw. Kanten des TG betrachtet werden. Hier ist der Aufwand $O(|K_{TG}|)$. Hinzu kommt der Aufwand für die Verhandlungen mit den Anbietern auf den Knoten, aus deren Menge pro abgehendem Link der jeweils günstigste ausgewählt wird. Sei jeder dieser Links mit durchschnittlich $\overline{P}$ Anbietern besetzt, so sind $|K_{TG}|*\overline{P}$ Einzelverhandlungen zu führen. Mit $\overline{P}$ als netzspezifische Konstante ergibt sich auch hier ein von der Anzahl der Links im TG linearer Aufwand bezüglich $|K_{TG}|$. Da die Verhandlungen skalierbar sind, kann hier ein pauschaler, maximaler Aufwand angesetzt werden. Der Gesamtaufwand für den Verbindungsaufbau ist folglich linear abhängig von $|K_{TG}|$ und ergo aus $O(|K_{TG}|)$.

7.4 Zusammenfassung

Kernproblem dieses Kapitels bildete die Frage nach der Berechnung einer möglichen Route durch das ATM-Netzwerk. Zwei Aspekte waren hierbei zu beachten: Erstens mußte der QoS der gewünschten Endverbindung auf dieser Route durchgesetzt werden und zweitens Alternativpfade unter Berücksichtigung der erzielten Verhandlungsergebnisse für Teilverbindungen mitberechnet werden.

Die Lösung hierzu basiert auf auf dem globalen Optimalitätskriterium der m-günstigsten Wege in einem Netzwerk. Hinter dieser Definition verbirgt sich die Grundidee, bei der Berechnung des i.A. kürzesten Weges die, vom Startknoten aus gesehenen zweit-, dritt- bis m-günstigsten Wege mit zu berechnen, zumal bei individueller QoS-basierter Routenberechnung ohnehin alle Knoten eines Netzwerkes berücksichtigt werden müssen. Der entstehende Mehraufwand rechtfertigt sich dabei durch die Generierung möglicher Alternativpfade, welche in Kombination mit dem schon vorgestellen Verhandlungsverfahren einen sehr dynamischen und flexiblen Verbindungsaufbau ermöglicht. Zur Berechnung dieser m-günstigsten Wege wurde ein Algorithmus entworfen, der eine Verallgemeinerung des Bellmann-Ford-Moore Verfahrens darstellt [163]. Letzterer ist gewissermaßen ein Spe-

zialfall für den 1-günstigsten und somit kürzesten Weg. Anschließend erfolgt eine Verdichtung der m-günstigsten Wege in Form des Tradinggraphen (TG). Er enthält für alle Knoten, welche in den m-günstigsten Wegen auftauchen, eine Kostenabschätzung für den Restweg zum Zielknoten über jeden abgehenden und QoS-tauglichen Link. Dieser resultierende TG kann mit einem Plan des MOBAGs, das Netz zu durchqueren, verglichen werden. Dieser Plan wird an jedem Knoten, der Alternativen bereithält, aktualisiert und verfeinert. Der resultierende Gesamtpfad kann letztlich aus Teilstrecken aller vorab betrachteten m-günstigsten Wege bestehen. Die Routingaufgabe wurde mit Blick auf die Agenten und der ihnen zur Verfügung stehenden Freiheitsgrade zu einem Planungsproblem definiert.

In der Analyse wurde schließlich die vollständige Korrektheit aller Algorithmen nachgewiesen und ihre Komplexität seitens Rechenzeit- und Speicherplatzbedarf bestimmt. Es zeigte sich dabei, daß die individuelle Berechnung der m-günstigsten Routen den asymptotischen Aufwand gegenüber dem einfachen Bellmann-Ford-Moore Verfahren um den Faktor m*log(m) zu O(m*log(m)*|V|*|K|) erhöht. Für den Wert m=1 reduziert sich der MGW-Algorithmus exakt auf den von Bellmann-Ford-Moore. Der Algorithmus zur TG-Berechung ist aus $O(m^2*|V_{TG}|)$ und abhängig von der Gesamtanzahl der in den m-günstigsten Wegen enthaltenen unterschiedlicher Knoten $|V_{TG}|$. Der PD-Algorithmus ist in seiner Komplexität linear zu $|K_{TG}|$. Beim Vergleich von statischem und dynamischem Anteil zeigt sich, daß der weitaus größte Aufwand in die Berechnung des Routingplanes bzw. TGs eingeht und die Routendurchsetzung zur Verbindungsaufbauzeit hingegen kostengünstig skalierbar ist. Für die Auslegung eines Signalisierungssystems bedeutet dieses, daß die eigentliche Routenberechnung von leistungsfähigen Servern übernommen werden kann, während die MOABGs auf den GMs ihre Entscheidungsberechnungen auf der Basis dieser vorkonfektionierten Pläne durchführen können. Durch die Integration des MGW-, TG- und PD-Algorithmusses erfolgt ergo auch eine Lastverteilung seitens des für das Routing notwendigen Berechnungsaufwands.

Teil D

Resümee

KAPITEL 8 Zusammenfassung

Durch die Deregulierungs- und Liberalisierungsbestrebungen wurde politisch der Rahmen für wirtschaftliche Veränderungen im Tk-Markt geschaffen [82], mit dem Resultat einer beachtlichen Verbreiterung des Angebotes an Diensten wie auch ihrer Anbieter. Mit diesem Trends geht die hochinnovative Weiterentwicklung der Netzwerktechnologien wie bspw. der des ATM einher [176]. Auf dessen Grundlage sind nunmehr auch überregional multimediale Dienste möglich. Ihre Verfügbarkeit wird durch Empfehlungen wie der ONP derart gesteigert, daß die durch das visionäre Leitprinzip „Beliebige Informationen zu beliebiger Zeit an beliebigem Ort“ charakterisierte Dienstewelt in greifbare Nähe rückt. Es zeigte sich aber, daß sowohl die Gestaltung als auch die technologische Unterstützung flexibler Vergebührungsverfahren hinter dieser Entwicklung zurückblieb [55]. So gehen die für den internationalen Telefoniemarkt immer noch bindenden Accounting Rates bspw. auf Abkommen zurück, die für die grenzüberschreitende Vergebührung von Telegraphiediensten am Anfang des 20’ten Jahrhunderts vereinbart worden sind. Bedingt durch ihre statische und unflexible Gebührenstruktur führten sie zu Ungleichgewichten im globalen Telefonverkehr. Auf der WATTC-Konferenz wurden hierzu neue Ansätze wie bspw. die Facility-based Interconnection Payments oder das Sender keeps all Verfahren propagiert, jedoch basieren sie auf rein tarifpolitischen Abmachungen und vernachlässigen dabei Aspekte einer technischen Unterstützung [115]. Moderne Weitverkehrsnetze für multimediale Dienste auf Basis des ATM erfordern hier neue Konzepte und Architekturen.

8.1 Problemdefinition

Grundlage der Betrachtungen bildete ein Weitverkehrsnetzwerk auf ATM-Basis. Gesucht wurde ein Vergebührungssystem mit hochflexibler und fairer Preisgestaltung bei gleichzeitiger Wahlfreiheit des Anbieters durch den Kunden im Sinne der ONP-Direktive. Die individuell mögliche Kombination von Dienstgüteparametern bei ATM-Verbindungen mußte im Preismodell mit berücksichtigt sein. Desweiteren war eine enge Kopplung zwischen Preis und Auslastung der Ressourcen im ATM-WAN gefordert. Insbesondere hierauf sollte der Verbindungsaufbau seitens einer Kostenoptimierung Rücksicht nehmen ohne jedoch die Flexibilität seitens Anzahl und Auswahl der Anbieter zu beeinträchtigen.

Die bisherigen Ansätze boten Lösungen zu jeweils ausgewählten Fragestellungen (vgl. Kapitel 2.5). Untersucht wurde bspw. die Problematik des QoS-basierten Routings oder die Preisbildung via zentraler als auch dezentraler Auktionsmechanismen. Eine integrale Lösung hingegen existierte nicht. Der Trend zum Einsatz marktorientierter Konzepte zeichnete sich aber mehr und mehr ab.

8.2 Lösungsweg

In der vorliegenden Arbeit wurde eine Lösung erarbeitet, die sowohl die Preisbildung als auch das QoS-Routing berücksichtigt. Durch den Einsatz des Marktprinzips wird die Kopplung von Preis und Auslastung auf das Regulativ von Angebot und Nachfrage abgebildet. Im Kernkapitel 5.3 wurde hierzu eine Grundstruktur definiert, die den VP-Markt vom VC-Markt aufgrund ihrer unterschiedlichen Charakteristiken unterscheidet. Stellte in herkömmlichen Elektronischen Märkten das Netz gewissermaßen einen Katalysator für die Markttransaktionen dar, so wird es bzw. seine Ressourcen im hier gewählten Ansatz selbst zum Gegenstand elektronischen Handels. Die Abbildung dieses Frameworks auf real existierende Netzkomponenten führte dann zur Definition des Gatewaymarktplatzes (GM). Intelligente Agenten übernehmen dabei die Stellvertreterfunktion für die am VC-Markt identifizierbaren Parteien ein.

Zur Automatisierung der Vereinbarungsphase wurde im Kernkapitel 6.3 das bilaterale gradientenbasierte Verhandlungsverfahren entworfen. Auf jedem Netzknoten bzw. GMs innerhalb des Routingprozesses bildet es die Entscheidungsgrundlage für die als nächstes zu wählende Anbieter/Link-Kombination. Durch die Verwendung C(1)-stetiger, mehrdimensionale Preisfunktionen erfolgt eine Abbildung der Dienstgütekombinationen auf einen Preis. Die Preiskonvergenz der verhandelnden Akteure wird auf der Basis von Konventionen durch das Verhandlungssystem erzwungen und überwacht [254]. Weiter Eigenschaften sind Skalierbarkeit des Ergebnisses, Abschätzbarkeit des Zeitverbrauchs sowie Fairneß.

Im Kernkapitel 7.2 wurde das MGW-Routing entworfen. Es stellt ein Verfahren dar, mit dessen Hilfe im VC-Markt Verbindungen unter Berücksichtigung kundenindividueller Bewertungsfunktionen berechnet werden können. Das Kernstück stellt der Tradinggraph oder auch TG dar. Er bietet die Möglichkeit, aufgrund der durch die Verhandlungen bedingten Preisschwankungen auf den Netzknoten Alternativpfade dynamisch auszuwählen. Diese werden bei der Erstellung des TG mit berechnet und genügen einem netzweiten Optimalitätskriterium.

Durch die Integration der gradientenbasierten Verhandlung in den vom MGW-Routing berechneten TG wird eine sehr flexible neue Form marktorientierter Verbindungsvermittlung geschaffen. Bedingt durch die individuelle Instruierung eines Agenten mit Preisfunktionen kann von einer Art Programmierbarkeit des Vermittlungsvorgangs durch den Kunden gesprochen werden. Insofern findet eine Anlehnung an den z.Zt. aktuellen Trend Aktiver Netze statt ([69],[168],[169]).

8.3 Fazit und Ausblick

Der hier vorgestellte Ressourcenmarkt ist besonders für Endkunden und Verbindungsdienstanbieter von Interesse. Endkunden können vom sinkenden Preisniveau profitieren. Für die Verbindungsdienstanbieter verringert sich die Markteintrittsbarriere, da sie über kein eigenes Netzwerk verfügen müssen, um am Markt partizipieren zu können. Für die Akzeptanz aller definierten Parteien ist neben der Performanz und Sicherheit die Transparenz wesentlich. Die Preisbildung muß auf allen Marktebenen einsehbar und nachvollziehbar sein. Dieses gilt ebenso für den Aufbau einer Verbindung, deren Kosten direkt von der aktuellen Marktsituation abhängig sind. Die Inanspruchnahme des Marktes muß einfach und unkompliziert sein. Der Endkunde muß die Konfiguration seiner Preisstrategie bzw. seines Käuferverhaltens einfach vornehmen können. Eine Automatisierbarkeit vergleichbar mit der Einstellung von LCR-Boxen via Download von Gebührentabellen ist hier anzudenken. Lange Wartezeiten oder häufige Fehlschläge beim Verbindungsaufbau wirken sich negativ auf die Akzeptanz der Endkunden aus und sind von der Gesamtperformanz des Systems abhängig.

Die Sicherheitsanforderungen im VC-Markt sind sehr hoch, da unterschiedliche Parteien im Modell vertreten sind, deren individuelle Interessen geschützt werden müssen. Die Forderung nach einem vertrauenswürdigen Plattformanbieter im vorgeschlagenen Sicherheitsmodell ist schwierig durchzusetzen. Alle übrigen Parteien müßten ihm vertrauen. Der Ansatz von nicht oder nur partielle vertrauenswürdigen Plattformanbietern bringt erheblichen Aufwand seitens der Sicherheitsmaßnahmen mit sich. Das Auditing der Marktprozesse verursacht ein hohes Datenaufkommen. Dieses ist zu speichern und auszuwerten. Hier ist eine ausreichende Überwachung durch unabhängige Institutionen wie der Regulierungsbehörde zu gewährleisten.

Die Praktikabilität ist abhängig von der Systemperformanz. Die Verbindungsaufbauzeiten sind so kurz wie möglich zu halten. Dies stellt Anforderungen an die Implementierung. So muß der Code der mobilen Agenten transportabel sein und auf den Switches zur Ausführung gebracht werden. Dort ist eine faire Zuteilung von Speicherplatz und CPU-Zeit zu garantieren. Eine neue Dimension von Fehlermöglichkeiten sowie deren effiziente Behandlung ist damit zu berücksichtigen. Desweiteren muß die Abbildung der Preis- und Dienstgüteanforderungen von der Anwendungsebene bis auf den Netzwerkmarkt mit seinem flexiblen Vergebührungsmodell erfolgen. Die Migration des VC-Marktes in bestehende ATM-WANs und das damit verbundene Kopplungsproblem ist zu lösen.

Ressourcenmärkte samt ihrer Vergebührungsflexibilität bilden in Zukunft die Grundlage für Verbindungsdienste und den auf ihnen basierenden Anwendungen. Die bedarfsgenaue und faire Abrechnungen wird damit möglich. Interessant ist hier bspw. der Aufbau firmenspezifischer VPNs mit längerfristiger Reservierung seitens ihrer Verbindungen. Eine mögliche Erweiterung des Konzeptes besteht darin, Verbindungen zu einem vorgegebenen Zeitpunkt buchen zu können. Für die Suche nach einer kostengünstigen Verbindung stünde dann i.d.R. mehr Zeit zur Verfügung. Frühes Buchen kann in günstigen Konditionen resultieren, und führt zu Preisvorteilen, wie sie heutzutage bspw. aus dem Luftverkehr bekannt sind.

Anhänge

Anhang A ATM-Standards

A.1 ATM-Forum Empfehlungen

Im folgenden ist eine Auflistung der vom ATM-Forum freigegebenen Spezifikationen angegeben. Es wurden dabei im wesentlichen die für diese Arbeit relevanten Empfehlungen beachtet und mit den Orginalabkürzungen aufgeführt. Eine detailliertere Auflistung aller Standards seit Bestehen des ATM-Forums inklusive der PDF-Dokumente kann unter der Webseite http://www.atmforum.com/atmforum/specs/approved.html eingesehen werden[1].

A.1.1 Broadband-Intercarrier Interface (B-ICI)

[A1] af-bici-0013.000: „B-ICI 1.0“, Sep 1993

[A2] af-bici-0013.001: „B-ICI 1.1“

[A3] af-bici-0013.002: „B-ICI 2.0 (delta spec to B-ICI 1.1)“, Dec 1995

[A4] af-bici-0013.003: „B-ICI 2.0 (integrated specification)“, Dec 1995

[A5] af-bici-0068.000: „B-ICI 2.0 Addendum or 2.1“, Nov 1996

1. Stand der Spezifikationen vom 15.07.1999.

A.1.2 Control Signalling

[A6] af-cs-0102.000: „PNNI Addendum on PNNI/B-QSIG Interworking and Generic Functional Protocol for the Support of Supplementary Services“, Oct 1998

[A7] af-cs-0107.000: „Addressing Addendum for UNI Signalling 4.0“, Feb 1999

[A8] af-cs-0115.000: „PNNI Transported Address Stack, Version 1.0“, May 1999

[A9] af-cs-0116.000: „PNNI Version 1.0 Security Signaling Addendum“, May 1999

[A10] af-cs-0117.000: „UNI Signaling 4.0 Security Addendum“, May 1999

A.1.3 Private-Network Network Interface (P-NNI)

[A11] af-pnni-0026.000: „Interim Inter-Switch Signaling Protocol“, Dec 1994

[A12] af-pnni-0055.000: „P-NNI V1.0“, Mar 1996

[A13] af-pnni-0066.000: „PNNI 1.0 Addendum (soft PVC MIB)“, Sep 1996

[A14] af-pnni-0075.000: „PNNI ABR Addendum“, Jan 1997

A.1.4 Routing and Addressing

[A15] af-ra-0104.000: „PNNI Augmented Routing (PAR) Version 1.0“, Jan 1999

[A16] af-ra-0105.000: „ATM Forum Addressing: User Guide Version 1.0“, Jan 1999

[A17] af-ra-0106.000: „ATM Forum Addressing: Reference Guide“, Feb 1999

[A18] af-ra-0123.000: „PNNI Addendum for Mobility Extensions Version 1.0“, May 1999

A.1.5 Signaling

[A19] af-sig-0061.000: „UNI Signaling 4.0“, July 1996

[A20] af-sig-0076.000: „Signaling ABR Addendum“, Jan 1997

A.1.6 Traffic Management

[A21] af-tm-0056.000: „Traffic Management 4.0“, Apr 1996

[A22] af-tm-0077.000: „Traffic Management ABR Addendum“, Jan 1997

A.1.7 User-Network Interface (UNI)

[A23] af-uni-0010.000: „ATM User-Network Interface Specification V2.0“, June 1992

[A24] af-uni-0010.001: „ATM User-Network Interface Specification V3.0“, Sep 1993

[A25] af-uni-0010.002: „ATM User-Network Interface Specification V3.1“, 1994

A.2 ITU-T Empfehlungen

A.2.1 E-series - Overall network operation

[I1] E.177: „B-ISDN Routing“

[I2] E.191: „B-ISDN Numbering and Addressing“

[I3] E.716: „User demand modelling in Broadband-ISDN“

A.2.2 F-series - Telecommunications services other than telephone

[I4] F.811: „Broadband connection-oriented bearer service“

[I5] F.812: „Broadband connectionless data bearer service“

[I6] F.813: „Virtual path service for reserved and permanent communications“

A.2.3 G-series - Transmission systems and media

[I7] G.176: „Planning guidelines for the integration of ATM technology into the PSTN“

[I8] G.702: „Digital Hierarchical Bit Rates“

[I9] G.703: „Physical/electrical characteristics of hierarchical digital interfaces“

[I10] G.704: „Synchronous frame structures used at 1544, 6312, 2048, 8488 and 44736 kbit/s hierarchical levels“

[I11] G.707: „Network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH)“

[I12] G.708: „From 1993 replaced by G.707“

[I13] G.804: „ATM Cell mapping into plesiochronous digital hierarchy (PDH“

[I14] G.805: „Generic functional architecture of transport networks“

A.2.4 H-series - Characteristics of transmission channels used for other than telephone purposes

[I15] H.222.1: „Multimedia Multiplex and synchronization for AV communications in ATM environment“

[I16] H.245: „Control protocol for multimedia communication“

[I17] H.310: „Broadband and AV communication systems and terminals“

[I18] H.321: „Adaptation of H.320 visual telephone terminals to B-ISDN environments“

[I19] H.323: „Visual telephone systems/equip for local area networks which provide a non-guaranteed quality of service“

A.2.5 I-series - Integrated Services Digital Networks

[I20] I.113: „Vocabulary of terms for broadband aspects of ISDN“

[I21] I.121: „Broadband aspects of ISDN“

[I22] I.150: „B-ISDN ATM functional characteristics“

[I23] I.211: „B-ISDN service aspects“

[I24] I.221: „Common specific characteristics of services“

[I25] I.311: „B-ISDN general network aspects“

[I26] I.321: „B-ISDN protocol reference model and its application“

[I27] I.324: „ISDN Network Architecture“

[I28] I.326: „Functional architecture of transport networks based on ATM“

[I29] I.327: „B-ISDN functional architecture“

[I30] I.356: „B-ISDN ATM layer cell transfer performance“

[I31] I.357: „B-ISDN semi-permanent connection availability“

[I32] I.361: „B-ISDN ATM layer specification“

[I33] I.362: „B-ISDN ATM adaptation layer (AAL) functional description“

[I34] I.363: „B-ISDN ATM adaptation layer (AAL) specification“

[I35] I.363.1: „B-ISDN AAL, type 1 specification“

[I36] I.363.3: „B-ISDN AAL, type 3/4 specification“

[I37] I.363.5: „B-ISDN AAL, type 5 specification“

[I38] I.364: „Support of broadband connectionless data service on B-ISDN“

[I39] I.365.1: „Frame relaying service specific convergence sublayer (FR-SSCS)“

[I40] I.365.2: „Service specific coordination function to provide CONS“

[I41] I.365.3: „Service specific coordination function to provide COTS“

[I42] I.365.4: „SSCF for HDLC applications“

[I43] I.371: „Traffic control and congestion control in B-ISDN“

[I44] I.413: „B-ISDN User-Network Interface (UNI)“

[I45] I.414: „Overview of recommendations on layer 1 for ISDN and B-ISDN customer accesses“

[I46] I.432: „B-ISDN UNI - physical layer specification“

[I47] I.432.1: „B-ISDN UNI: physical layer specification - General characteristics“

[I48] I.432.2: „B-ISDN UNI: physical layer specification for 155 520 and 622080 kbit/s“

[I49] I.432.3: „B-ISDN UNI: physical layer specification for 1 544 and 2 048 kbit/s“

[I50] I.432.4: „B-ISDN UNI: physical layer specification for 51 840 kbit/s“

[I51] I.580: „General arrangements for interworking between B-ISDN and 64 kbit/s based ISDN“

[I52] I.610: „B-ISDN operation and maintenance principles and functions“

[I53] I.731: „Types and general characteristics of ATM equipment“

[I54] I.732: „Functional characteristics of ATM equipment“

[I55] I.751: „ATM management of the network element view“

A.2.6 J-series - Transmission of Sound Program and Television Signals

[I56] J.82: „Transport of MPEG-2 constant bit rate television signals in B-ISDN“

A.2.7 M-series - Maintenance: transmission systems, telephone circuits, telegraphy, facsimile, leased cicuits

[I57] M.3010: „Principles of Telecommunications Management Network (TMN)“

[I58] M.3611: „Test management of the B-ISDN ATM layer using the TMN“

A.2.8 Q-series - Switching and signalling

[I59] Q.2010: „B-ISDN overview - Signalling capability set 1:release 1“

[I60] Q.2100: „B-ISDN signalling ATM adaptation layer (SAAL) overview description“

[I61] Q.2110: „B-ISDN AAL - Service specific connection oriented protocol (SSCOP)“

[I62] Q.2119: „B-ISDN AAL protocols - Convergence function for SSCOP above the frame relay core service“

[I63] Q.2120: „B-ISDN meta-signalling protocol“

[I64] Q.2130: „B-ISDN signalling ATM adaptation layer - Service specific coordination function for support of signalling at the user-network interface (SSCF at UNI)“

[I65] Q.2140: „B-ISDN ATM adaptation layer - Service specific coordination function for signalling at the network node interface (SSCF at NNI)“

[I66] Q.2144: „B-ISDN signalling ATM adaptation layer (SAAL) - Layer management for the SAAL at the network node interface (NNI)“

[I67] Q.2210: „B-ISDN Message Transfer Part level 3 functions and messages using the services of ITU-T recommendation Q.2140“

[I68] Q.2610: „B-ISDN usage of cause and location in B-ISDN user part and DSS2“

[I69] Q.2650: „B-ISDN interworking between SS7 B-ISDN User Part (B-ISUP) and DSS2“

[I70] Q.2660: „B-ISDN interworking between SS7 B-ISDN User Past (B-ISUP) and narrowband ISDN User Part (N-ISUP)“

[I71] Q.2721: „B-ISDN User Part - Overview of the B-ISDN NNI Signalling Capability Set 2: Step 1“

[I72] Q.2722: „B-ISDN User Part - NNI specification for point-to-multipoint call/ connection control“

[I73] Q.2730: „B-ISDN SS7 B-ISDN User Part (B-ISUP) - Supplementary services“

[I74] Q.2761: „B-ISDN SS7 B-ISUP - Functional description“

[I75] Q.2762: „B-ISDN SS7 B-ISUP - General functions of messages and signals/r“

[I76] Q.2763: „B-ISDN SS7 B-ISUP - Formats and codes“

[I77] Q.2764: „B-ISDN SS7 B-ISUP - Basic call procedures“

[I78] Q.2931: „B-ISDN DSS2 User-network interface (UNI) layer 3 specification for basic call/connection control“

[I79] Q.2932: „B-ISDN DSS2 Generic functional protocol - Core functions“

[I80] Q.2933: „B-ISDN DSS2 Signalling specification for frame relay service“

[I81] Q.2951: „Stage 3 description for number ID supplementary services using DSS 2“

[I82] Q.2955: „Stage 3 description for community of interest supplementary services using DSS 2“

[I83] Q.2957: „Stage 3 description for additional information transfer supplementary services using DSS 2“

[I84] Q.2959: „B-ISDN DSS2 Call Priority“

[I85] Q.2961: „B-ISDN DSS2 Support of additional parameters“

[I86] Q.2962: „B-ISDN DSS2 Connection characteristics negotiation during call/ connection establishment phase“

[I87] Q.2963: „B-ISDN DSS2 Connection modification - Peak cell rate“

[I88] Q.2964: „B-ISDN DSS2 Basic look-ahead“

[I89] Q.2971: „B-ISDN DSS2 UNI layer 3 specification for point-to-multipoint call/connection control“

Anhang B Literaturverzeichnis

Rechnerbasierte Marktsysteme & E-Commerce

[1] Agorics Inc.: „Going, Going, Gone! A Survey of Auction Types“, 1996, Internet Document, http://www.agorics.com/new.html

[2] A. Beltratti, S. Margarita: „An Artificial Adaptive Speculative Stock Market“, L. Peccam, M. Viren, Eds., (Physica Verlag 1994), pp. 155-178

[3] N. R. Bogan: „Economic Allocation of Computation Time with Computation Markets“, MIT Master's Thesis, May 1994

[4] P. Buxmann, W. König, F. Rose: „Aufbau eines Elektronischen Handelsplatzes für Java-Applets“ in book „Wirtschaftsinformatik 1997“, H. Krallmann (Hrg.), (Physika Verlag Berlin, ISBN 3-7908-0999-3, 1997), Vol. 1, pp. 35-48

[5] A. Chavez, P. Maes: „Kasbah: An Agent Marketplace for Buying and Selling Goods“ in proceedings of „PAAM“, (The Practical Application Company Ltd., London, U.K., 1996), Vol. 1, pp. 75-90

[6] H. Chen: „Online-Börsen und Idea Futures - Meinungsbildung und Umfrage durch das Internet“, Seminararbeit am Institut für Wirtschaftsinformatik Fachbereich Wirtschaftswissenschaften Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main, 1996, http://caladan.wiwi.uni-frankfurt.de/IWI/Veranstaltung/SBWL-SS96/T10/onlinb.htm

[7] J. Q. Cheng, M. P. Wellmann: „The WALRAS Algorithm: A Convergent Distributed Implementation of General Equilibrium Outcomes“, Artificial Intelligence Laboratory, University of Michigan, Ann Arbor, MI 48109, USA, Aug. 1995

[8] E. Clearwater: „Market-Based Control: A Paradigm for Distributed Resource Allocation“, World Scientific Publishing Co. Ptr. Ltd., Singapore 912805, ISBN 9810222548, 1996

[9] R. Cocchi, S. Shenker, D. Estring, L. Zhang: „Pricing in Computer Networks: Motivation, Formulation, and Example“ in „IEEE/ACM Transactions onNetworking“, Vol. 1(6), pp. 614-627, Dec. 1993, http://www.acm.org/pubs/toc/TOC/1063-6692/Vol1.html

[10] M. A. Gibney, N. R. Jennings: „Dynamic Resource Allocation by Market Based Routing in Telecommunication Networks“, in proceedings of „IATA“ (Intelligent Agents for Telecommunication Applications“, Paris, France, 1998), pp. 102-117, 1998

[11] N. Glance, T. Hogg, B. A. Huberman: „Computational Ecosystems in a Changing Environment“ in „International Journal of Modern Physics“, C 2, pp. 735-753, 1991

[12] M. B. Gordy: „Multiple Bids in a Multiple-Unit Common Value Auction“ in proceedings of „Second International Conference on Computing in Economics and Finance“, (Society of Computational Economics, Geneva, Switzerland, 26-28 June 1996), http://www.unige.ch/ce/ce96/confprog.html

[13] A. Gupta, D. O. Stahl, A. B. Whinston: „A Stochastic Equilibrium Model of Internet Pricing“ in „Journal of Economic Dynamics and Control“, Vol. 21, pp. 697-722, May 1997

[14] R. H. Guttmann, P. Maes: „Agent-mediated Integrative Negotiation for Retail Electronic Commerce“, submitted to „Agent Mediated Electronic Trading-Workshop“, 1998, http://www.zurich.ibm.com/~mrs/chi98/mit.htmlMay

[15] R. H. Guttmann, A. G. Moukas, P. Maes: „Agent-mediated Electronic Commerce: A Survey“, Electronic Commerce and Marketing Course, (MIT Sloan School of Management, Spring 1999), http://ecommerce.media.mit.edu/class

[16] T. Hogg, B. A. Huberman, M. Youssefmir: „The Instability of Markets“, Dynamics of Computation Group Xerox Palo Alto Research Center, ftp://parcftp.xerox.com/pub/dynamics/markets.ps, June 1995

[17] T. Hogg: „Social Dilemmas in Computational Ecosystems“ in proceedings of 14th „IJCAI“, Montreal, Canada, pp. 711-716, 1995, http://www.parc.xerox.com/istl/groups/iea/www/computationalEcologyDilemma.html

[18] J. H. Holland, J. H. Miller: „Artificial Adaptive Agents in Economic Theory“ in „American Economic Review“, Vol. 81, pp. 365-370, 1990

[19] B. A. Huberman, C. A. Waldspurger, T. Hogg: „Spawn: A Distributed Computational Economy“ in „IEEE Transactions in Software Engineering“, Vol. 18(2), pp. 103-117, Febr. 1992

[20] B. A. Huberman: „Computation as Economics“ in „Second International Conference on Computing in Economics and Finance“, (Society of Computational Economics, Geneva, Switzerland, 26-28 June 1996)

[21] B. A. Huberman, S. H. Clearwater: „A Multi-Agent System for Controlling Building Environment“ in proceedings of „1’st Int. Conf. on Multi-Agent Systems“ (ICMAS’95), V. Lesser (eds.), pp. 171-176, 1995

[22] B. A. Huberman, T. Hogg: „The Emergence of Computational Ecologies“, D. S. L. Nadel (Eds.), (SFI 1992 Lectures in Complex Systems, Addison Wesley, Reading, MA, 1993), pp. 163-184

[23] B. A. Huberman, Lukose, R. M., Hogg, T.: „An Economics Approach to Hard Computational Problems“ in „Science“, Vol. 275, pp. 51-54, Jan. 1997

[24] A. Hunter, H. A. Wan: „On Artificial Adaptive Agents Models of Stock Markets“ in „SIMULATION“, Vol. 68(5), pp. 279-289, May 1997

[25] A. Jüttner: „Elektronische Märkte im Internet“, Seminararbeit am Institut für Wirtschaftsinformatik Fachbereich Wirtschaftswissenschaften Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main, 1996, http://caladan.wiwi.uni-frankfurt.de/IWI/

[26] K. Kuwabara, T. Ishida, Y. Nishibe, T. Suda: „An Equilibratory Market-based Approach for Distributed Resource Allocation and its Application to Communication Network Control“ in book „Market-Based Control: A Paradigm for Distributed Resource Allocation“, E. Clearwater (Eds.), (World Scientific Publishing Co. Ptr. Ltd., Singapore, ISBN 9810222548, 1996), pp. 53-73

[27] T. Langenohl: „Systemarchitekturen Elektronischer Märkte“, Dissertation an der Hochschule St. Gallen, Institut für Wirtschaftsinformatik, 1994

[28] D.-M. Lincke, S. Dorian: „Integration von Verhandlungsprozessen in elektronische Produktkataloge“, Universität St. Gallen, Institut für Wirtschaftsinformatik, 1997

[29] T. Malone, J. Yates, R. Benjamin: „Electronic Markets and Electronic Hierarchies“ in „Communications of the ACM“, Vol. 30(6), pp. 484-497, June 1987

[30] T. Malone, J. Yates, R. Benjamin: „Modeling Coordination in Organizations and Markets“ in „Management Science“, Vol. 33(10), pp. 1317-1332, Oct. 1987

[31] T. Malone, J. Yates, R. Benjamin: „The Logic of Electronic Markets“ in „Harvard Business Review“, pp. 166-170, May-June 1989

[32] T. Malone. „Organizing Information Processing Systems: Parallels human Organizations and Computer Systems“ in „Cognition, Computation and Cooperation“, pp. 56-83, Ablex, Norwood, 1990

[33] A. Meier: „Grundstrukturen elektronischer Märkte“, Seminararbeit am Institut für Wirtschaftsinformatik Fachbereich Wirtschaftswissenschaften Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main, 1997/98, http://www.wiwi.uni-frankfurt.de/~ameier/GrundstrukturenEM.htm

[34] M. S. Miller, K. E. Drexler: „Markets and Computation: Agoric Open Systems“ in book „The Ecology of Computation“, B. A. Hubermann (Eds.), (Elsevier Science Publishers/North-Holland, Amsterdam, 1988), pp. 133-176

[35] M. S. Miller, D. Krieger, N. Hardy: „An Automated Auction in ATM Network Bandwidth“ in book „Market-Based Control: A Paradigm for Distributed Resource Allocation“, E. Clearwater (Eds.), (World Scientific Publishing Co. Ptr. Ltd., Singapore, ISBN 9810222548, 1996), pp. 311-320

[36] R. G. Palmer, W. B. Arthur, J. H. Holland, et. al: „Artificial Economic Life: A Simple Model of a Stockmarket“ in „Physica“, D 75, pp. 264-274, 1994, http://www.phy.duke.edu/~palmer/papers/fuji93.html

[37] A. Picot, C. Bortenlänger, H. Roehrl: „The Automation of Capital Markets“ in „Journal of Computer Mediated Communication“ (JCMC), Vol. 1(3), Dec. 1995, http://jcmc.huji.ac.il/vol1/issue3/picot.html

[38] P. Resnick , R. Zeckhauser, C. Avery: „Roles for Electronic Brokers“, Workingpaper No. 179, MIT Center for Coordination Science, 1994, http://ccs.mit.edu/1994wp.html#CCSWP179

[39] B. Schmid: „Elektronische Märkte“ in „Wirtschaftsinformatik“, Nr. 35, pp. 465-480, Jan. 1993, http://www.netacademy.org:8080/pubs/

[40] B. Schmid, M. Lindemann: „Elemente eines Referenzmodells Elektronischer Märkte“, Arbeitsbericht IM/HSG/CCEM/44, Institut für Wirtschaftsinformatik, Universität St. Gallen, Schweiz, Febr. 1997, http://www.netacademy.org:8080/pubs/

[41] C. Steinfield: „Electronic Commerce: An Introduction to the Special Issue“ in „Journal of Computer Mediated Communication“ (JCMC), JCMC, Vol. 1(3), Dec. 1995, http://www.ascusc.org/jcmc/vol1/issue3/genintro.html

[42] J. Stuhldreier: „Entwicklungstendenzen Elektronischer Märkte“, Seminararbeit, Institut für Wirtschaftsinformatik, J. W. Goethe Institut, Frankfurt a. M., 1996, http://www.wiwi.uni-frankfurt.de/~stuhldre/thema12.htm

[43] B. Tsvetovat, M. Gini: „Toward a Virtual Marketplace: Architectures and Strategies“ in proceedings of „PAAM“, (The Practical Application Company Ltd., London, U.K, 1996), Vol. 1, pp. 597-612

[44] M. Tsvetovat, M. Gini, B. Mobasher, Z. Wieckowski: "MAGMA: An Agent-Based Virtual Market for Electronic Commerce" in „International Journal of Applied Artificial Intelligence“, Vol 11, pp. 501-523, 1997, http://www-users.cs.umn.edu/~tsvetova/research/curr_vitae.html

[45] W. Vickrey: „Counterspeculation, Auctions, and Competitive Sealed Tenders“ in „Journal of Finance“, pp. 8-37, 1961

[46] W. E. Walsh, M. P. Wellman: „Some Economics of Market-based Distributed Scheduling“ in proceedings of „18’th International Conference on Distributed Computing Systems“ (ICDCS'98), 1998, http://www-personal.umich.edu/~jmm/papers.html#sem

[47] L. Walras: „Elements of Pure Economics“, Allen and Unwin, originally published in 1874, Translation by William Jaffe 1954

[48] M. Watanabe: „Die Verhandlungsphase in Elektronischen Märkten“, ABWL-Seminararbeit, Institut für Wirtschaftsinformatik Fachbereich Wirtschaftswissenschaften Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main, 1997/98, http://www.wiwi.uni-frankfurt.de/~watanabe/verhandlungsphase.html

[49] M. P. Wellman: „The Economic Approach to Artificial Intelligence“ in „ACM Computing Surveys“, Vol. 27(3), pp. 360-362, 1995

[50] M. P. Wellmann: „A Computational Market Model for Distributed Configruation Design“ in proceedings of „AAAI `94“, Morgan-Kaufman, CA, 1994, pp. 401-407

[51] M. P. Wellmann: „Market-Oriented Programming: Some early Lessons“ in book „Market-Based Control: A Paradigm for Distributed Resource Allocation“, E. Clearwater (Eds.), (World Scientific Publishing Co. Ptr. Ltd., Singapore 912805, ISBN 9810222548, 1996), Vol. 1, pp. 74-95

[52] R. T. Wigand, R. I. Benjamin: „Electronic Commerce: Effects on Electronic Markets“ in „Journal of Computer Mediated Communication“ (JCMC), Vol. 1(3), Dec. 1995, http://jcmc.huji.ac.il/vol1/issue3/wigand.html

Netzwerktechnologien

[53] J. J. Aceves, S. Murthy: „A Path-Finding Algorithm for Loop-Free Routing“ in „IEEE/ACM Transactions on Networking“, Vol. 5(1), pp. 148-160, Febr. 1997, http://www.cse.ucsc.edu/research/ccrg/publications.html

[54] I. F. Akyildiz, I. Joe, R. M. Fujimoto, I. Nikolaidis: „Parallel Simulation of End-to-End ATM Models“ in „Computer Networks and ISDN Systems Journal“, Elsevier Science, Vol. 29(6), pp. 617-631, May 1997, http://www.cs.gatech.edu/computing/pads/papers.html#1997

[55] J. Alleman, B. Sorce: „International Settlements: A Time for Change“ in proceedings of „Global Networking’97“, (University of Colorado, Boulder, CO 80309-0530, USA, June 1997), http://www.itu.int/intset/acad/index.html

[56] K. Asatani, S. Nogami: „Trends in the Standardization of Telecommunications on GII, Multimedia, and Other Network Technologies and Services“ in „IEEE Communications Magazine“, pp. 32-46, June 1996

[57] G. R. Ash: „Dynamic Network Evolution, with Examples from AT&T‘s Evolving Dynamic Network“ in „IEEE Communications Magazine“, Vol. 30(7), pp. 26-39, July 1995

[58] J. J. Bae, T. Suda: „Survey of Traffic Control Protocols in ATM Networks“ in „Proceedings of the IEEE“, Vol. 79(2), pp. 170-189, Febr. 1991

[59] S. Bahk, M. E. Zarki: „Dynamic Multi-Path Routing and how it Compares with other Dynamic Routing Algorithms for Hight Speed Wide Area Networks“ in proceedings of „SIGCOMM’92“, (ACM, Baltimore Maryland, USA), Vol. 22(4), pp. 53-64, Aug. 1992

[60] S. Bahk, M. E. Zarki: „Congestion Control Based Dynamic Routing in ATM Networks“ in „Computer Communications“, Vol. 17(12), 1994

[61] S. Bahk, M. E. Zarki: "A Routing Scheme for a Non-Strict Hierarchical Networking Environment" on „IFIP-International Symposium on Computer Networking“, Hungary, May 1990

[62] C. Baransel, W. Dobosiewicz, P. Gburzynski: „Routing in Multihop Packet Switching Networks: Gb/s Challenge“ in „IEEE Network“, pp. 38-61, Vol. 9(3), May/June 1995

[63] J. Behrens, J. J. Garcia-Luna-Aceves: „Distributed, Scalable Routing Based on Link-State Vectors“ in „IEEE JSAC“, pp. 1383-1395, Vol. 13(8), Oct 1995, http://www.cse.ucsc.edu/~jochen/publications.html

[64] M. d. Beler, et al.: in Book „AI for Managing Telecommunication Networks“, in book „Worldwide Intelligent Systems“, J. Liebowitz, D. S. Perau (Eds.), (IOS Press, Van Diementstraat 94, 1013 CN Amsterdam, Netherlands, ISBN 90-5199-183-51995, 19??), Vol. 24, pp. 87-108

[65] U. Black: „ATM-Foundation for Broadband Networks“, 1st ed., 426pp., Prentice Hall, Jan. 1996, ISBN 013297178X

[66] R. Bless: „Dienstqualitätsbasiertes Routing“, Report zur Klausurtagung der Universität Karlsruhe, Institut für Telematik, Interner Bericht 10/98, ISSN 1432-7864, März 1998, http://129.13.35.73/forschung/klung98/bericht.html

[67] R. Bolla, A. Dalal’ah, F. Davoli, M. Marchese: „Two Simulation Tools for Testing ATM Resource Allocation Strategies“ in „SIMULATION“, Vol. 68(1), pp. 309-22, Jan. 1997

[68] T. Braun: „Die Internet-Protokollfamilie der nächsten Generation“ in „Praxis der Informationsverarbeitung und Kommunikation (PIK)“, Vol. 19, pp. 094-102, April-Juni 1996, ISSN 0930-5157, http://www.iam.unibe.ch/~braun/lit.html

[69] M. Breugst, T. Magedanz: „Mobile Agents - Enabling Technology for Active Intelligent Network Implementation“ in „IEEE Network Magazine“, Vol. 12(3), pp. 53-60, Special Issue Active and Programmable Networks, Aug. 1998

[70] G. P. Chandranmenon, G. Varghese: „Trading Packet Headers for Packet Processing“ in proceedings of „SIGCOMM '95“, (Cambridge, MA, Sept. 1995), pp. 162-173, http://www.ccrc.wustl.edu/~girish/

[71] D. Z. Chen: „Developing Algorithms and Software for Geometric Path Planning Problems“ in „ACM Computing Surveys“, Vol. 28(4), Dec. 1996, http://www.acm.org/pubs/articles/journals/surveys/1996-28-4es/a18-chen/a18-chen.html

[72] S. Chen, K. Nahrstedt: „Distributed Quality-of-Service Routing in Ad-Hoc Networks“ in „IEEE Journal on Selected Areas in Telecommunications“, Vol. 17(8), Aug. 1999, http://sal.cs.uiuc.edu/~s-chen5/publications.html

[73] L. Cheng: „Quality of Service Based on both Call Admission and Cell Scheduling“ in „Computer Networks and ISDN Systems“, Elsevier Science B.V., Vol. 29, pp. 555-567, 1997, lilycheng@lucent.com

[74] I. Cidon, A. Segall: „Connection Establishment in High-Speed Networks“ in „IEEE/ACM Transactions on Networking“, Vol. 1(4), pp. 469-481, Aug. 1993

[75] D. Clark, J. Pasquale, et. al.: „Strategic Directions in Networks and Telecommunications“ in „ACM Computing Surveys“, Vol. 28(4), pp. 679-690, Dec. 1996, http://www-cse.ucsd.edu/~pasquale/SDCR96-NET/Pas.html

[76] A. A. Covo, R. Weihmayer, A. Gersht, S. Kheradpir: „New Approaches to Resource Management in Integrated Services Backbone Long-Haul Communication Network“ in proceedings of „NOMS‘92“, IEEE, pp. 586-599, 1992

[77] D. W. Crawford: „Pricing Network Usage: A Market for Bandwidth or Market for Communication?“ in „Journal of Electronic Publication“, University of Michigan 1995, http://www.press.umich.edu/jep/works/CrawMarket.html

[78] E. Crawley, R. Nair, B. Rajagopalan, H. Sandick: „A Framework for QoS-based Routing in the Internet“, IETF, RFC2386, http://www.rfc-editor.org/cgi-bin/rfcsearch.pl

[79] Z. Dziong, L. G. Mason: „Fair-Efficient Call Admission Control Policies for Broadband Networks -- A Game Theoretic Framework“ in „IEEE/ACM Transactions on Networking“, Vol. 4(1), pp. 123-136, Febr. 1996, http://www.acm.org/pubs/contents/journals/ton/1996-4/#1

[80] Z. Dziong, M. Juda, L. G. Mason: „A Framework for Bandwidth Management in ATM Networks - Aggregate Equivalent Bandwidth Estimation Approach“ in „IEEE/ACM Transactions on Networking“, Vol. 5(1), pp. 134-147, Febr. 1997, http://www.kric.ac.kr:8080/pubs/contents/journals/ton/1997-5/index.html

[81] N. Economides: „The Economics of Networks“ in „International Journal of Industrial Organizations“, Vol. 14(6), pp. 673-699, March 1996, http://economics.miningco.com/gi/dynamic/offsite.htm?site=http://raven.stern.nyu.edu/networks/site.html

[82] European Commission: „Towards a Dynamic European Economy, Green Paper on the Development of the Common Market for Telecommunications Services and Equipment“, COM(87)290, 1987, http://europa.eu.int/comm/off/green/index_en.htm

[83] European Commission: „On the Establishment of the Internal Market for Telecommunications Services through theImplementation of Open Network Provision “, COM(90)387 ECC, 28 June 1990, http://158.169.51.200/infosoc/legreg/docs/90387eec.html

[84] D. Estrin, Y. Rekhter, S. Hotz: „Scalable Inter-Domain Routing Architecture“ in „SIGCOMM Computer Communication Review“ , Vol. 22(4), pp. 40-52, Oct. 1992, (estrin,hotz)@usc.edu, yakov@ibm.com

[85] G. R. Faulhaber: „Pricing Internet: The Efficient Subsidy“ in book „Building Information Infrastructure“, B. Kahin (Eds.), (Cambridge MA, McGraw-Hill, 1992), http://rider.wharton.upenn.edu/~faulhabe/research.html

[86] G. R. Faulhaber: „Public Policy in Telecommunications: The Third Revolution“ in „ Information Economics and Policy“, Vol. 7, pp. 251-282, 1995, http://rider.wharton.upenn.edu/~faulhabe/research.html

[87] D. F. Ferguson, C. Nickolaou, J. Sairamesh, Y. Yemini: „Economic Models for Allocating Resources in Computer Systems“ in book „Market-Based Control: A Paradigm for Distributed Resource Allocation“, E. Clearwater (Eds.), (World Scientific Publishing Co. Ptr. Ltd., Singapore, ISBN 9810222548, 1996), pp. 156-183

[88] M. Flach, M. Messerschmidt: „Dynamisches Routing nach OSI“ in „Gateway“, Nr. 10/97, pp. 108-111, 1997, http://www.gateway.de/knowledge.cfm?path=http://www.gateway.de/sitesearch/knowledge/1997/4561.htm

[89] S. Floyd, V. Jacobson: „The Synchronization of Periodic Routing Messages“ in „IEEE/ACM Transactions on Networking“,Vol. 2(2), pp. 122-136, Apr. 1994, http://www.aciri.org/floyd/papers.html

[90] H. J. Fowler: „TMN-Based Broadband ATM Network Management“ in „IEEE Communications Magazine“, Vol. 33(3), pp. 74-79, March 1995, http://hem1.passagen.se/ingvarf/studier/2G5539_segments/comm_comments.html

[91] P. Francis, R. Govindan: „Flexible Routing and Addressing for a Next Generation IP“ in proceedings of „ACM SIGCOMM’94“, (London, U.K., Sept. 1994), pp. 116-125, http://www.isi.edu/~govindan/papers.html

[92] R. A. Gagliano, P. A. Mitchem: „Valuation of Network Computing Resource“ in book „Market-Based Control: A Paradigm for Distributed Resource Allocation“, E. Clearwater (Eds.), (World Scientific Publishing Co. Ptr. Ltd., Singapore, ISBN 9810222548, 1996), pp. 28-52

[93] R. Gawlick, C. Kalmanek, K. G. Ramakrishnan: „On-line Routing for Permanent Virtual Circuits“ in „Computer Communications“, Vol. 19, Elsevier Science Publishing, pp. 235-244, 1996

[94] M. Gerla, P. Palnati, S. Walton: „Multicasting Protocols for High-Speed, Wormhole-Routing Local Area Networks“, University of California, LA Computer Science Dept., Apr. 1996, http://www.cs.ucla.edu/~simonw/sigcom/

[95] T. J. Gerpott: „Alternative Carrier in Deutschland: Strategien für den Wettbewerb“ in „NET“, Vol. 49(12), pp. 19-23, 1995

[96] T. J. Gerpott: „Strategische Allianzen von Festnetzbetreibern im Markt für internationale Telekommunikationsdienste“ in „Telekom Praxis“, Vol. 1/97, pp. 34-44, 1997

[97] A. Girard: „Routing and Dimensioning in Circuit-Switched Networks“, Addison Wesley Publishing Company, ISBN 0-201-12792-X, 1990

[98] G. Goldszmidt: „Distributed System Management via Elastic Servers“ in proceedings of „IEEE 1’st International Workshop on Systems Management“, (Los Angeles, Apr. 1993), pp. 31-35, http://www.cs.columbia.edu/~german/mbd.html, http://www4.informatik.uni-erlangen.de/~tsthiel/Management.html

[99] G. Goldszmidt, Y. Yemini: „Evaluating Management Decisions via Delegation“ in proceedings of „International Symposium on Network Management“ (IFIP), (IEEE, Los Angeles, USA, April 1999), pp. 1-9, http://sistemac.carnet.hr/~ddelija/lite/Papers.html

[100] G. Goldszmidt, Y. Yemini: „Distributed Management by Delegation“ in proceedings of „15th International Conference on Distributed Computing Systems“, (IEEE Computer Society, Vancouver, British Columbia, June 1995), http://www4.informatik.uni-erlangen.de/~tsthiel/Management.html

[101] S. Gupta, K. Ross, M. El Zarki: "On Routing in ATM Networks" in book "Routing in Communications Networks", M. Steenstrup (Eds.), (Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ-07362, 1995)

[102] A. Gupta, D. O. Stahl, A. B. Whinston: „A Priority Pricing Approach to Manage Multi-Service Class Networks in Real-Time“ in „Workshop on Internet Economics“, (Journal of Electronic Publishing MIT, 1995), http://www.cs.colorado.edu/~skip/workshop/whinston.html

[103] R. Händel, M. Huber, S. Schröder: „ATM Networks, Concepts, Protocols, Applications“, 287pp, 2’nd Ed., Addison Wesley Publisher Ltd., University Press, Cambridge, Aug. 1994, ISBN 0201422743

[104] R. Hartmann: „Netze ohne Grenzen: Dienstintegration und Überwindung der Netzwerkengpässe mit ATM“ in „C‘t“, Nr. 10/96, pp. 346-354, 1996

[105] C. Hedrick: „RFC 1058: Routing Information Protocol“, IETF Network Working Group, June 1988, http://www.nic.mil/ftp/std/std34.txt

[106] M. Hein, N. v. d. Lancken: „ATM Konzepte-Trends-Migration“, Thompson Publishing International, Bonn, 320S., 1997, ISBN 3-8266-0214-5

[107] R. M. Hinden: „IP Next Generation Overview“ in „Communications of the ACM“, Vol. 39(6), pp. 62-71, June 1996, http://playground.Sun.COM/pub/ipng/html/INET-IPng-Paper.html

[108] C. Huitema: „Routing im Internet“, Prentice Hall, München, 1996, ISBN 3-8272-9526-2

[109] ISO/OSI: „Information Processing - Open Systems Interconnection - Basic Reference Model“, ISO/IEC/IS 7498-1, Second Edition, Nov. 1994, http://www.payer.de/cmc/cmcs03.htm

[110] ISO/OSI: „ODF Trading Functions“, ISO/IEC IS 13235-1 or ITU/T Draft Rec X950 - 1, 1997, http://www.dstc.edu.au/cgi-bin/redirect/rd.cgi?http://archive.dstc.edu.au/AU/research_news/odp/trader/standards.html

[111] ITU-T: „Charging and Accounting in International Telecommunication Services“, ITU-T, Study Group 3, D.140, 1995, http://www.itu.int/intset/itu-t/index.html

[112] ITU-T: „General Tariff Principles - Charging and Accounting in the International Telephone Service“, ITU-T, Study Group 3, D.150, 1996, http://www.itu.int/intset/itu-t/index.html

[113] ITU-T: „General Tariff Principles: Guiding Principles governing the Apportionment of Accounting Rates in Intercontinental Telephone Service“, ITU-T, Study Group 3, D.155, 1996, http://www.itu.int/intset/itu-t/index.html

[114] ITU-T: „Accounting Rates and how they work“ in book "Direction of Traffic 1996", (Trends in international telephone tariffs 1996, ITU/Telegeography Inc.), chapter 2+6, http://www.itu.int/intset/whatare/index.html; http://www.itu.int/intset/trends/index.htm

[115] ITU-T: „International Telecommunication Regulations“ in proceedings of „World Administrative Telegraph and Telephone Conference Melbourne“ (WATTC-88), (Geneva Swiss, 1989, ISBN 92-61-03921-9

[116] X. Jia, N. Pissinou, K. Makki: „A Distributed Multicast Routing Protocol for Real-time Multicast Applications“ in „International Journal of Computer Networking and ISDN Systems“, Vol. 31(1-2), pp. 113-12, Jan. 1999

[117] G. Karlsson: „Capacity Reservation in ATM Networks“ in „Computer Communications“, Vol. 19, pp. 180-193, Elsevier Science Publishing, 1996

[118] A. N. Kashper, Y. Watanabe: „Dynamic Routing in the Multiple Carrier International Network“ in „IEEE Communications Magazine“, Vol. 33(7), pp. 54-61, July 1995

[119] F. P. Kelly: „Charging and Accounting for Bursty Connections“, Statistical Laboratory, University of Cambridge, http://ing.ctit.utwente.nl/WU5/literature/works/KellyCharg.html

[120] H. Kerner: „Rechnernetze nach OSI“, 476pp., Addison Wesley Publishing, 1995, 3 Aufl., ISBN 3-89319-801-6

[121] S. Khuller, B. Raghavachari: „Graph and Network Algorithms“ in „ACM Computing Surveys“, Vol. 28(1), pp. 43-45, Mar. 1996, http://sunsite.informatik.rwth-aachen.de/dblp/db/journals/csur/csur28.html

[122] E. W. Knightly, H. Zhang: „D-BIND: An Accurate Traffic Model for Providing QoS Guarantees to VBR Traffic“ in „IEEE/ACM Transactions on Networking“, Vol. 5(2), pp. 219-231, April 1997, http://www.kric.ac.kr:8080/pubs/contents/journals/ton/1997-5/index.html

[123] F. Kocsis: „Gebührenabrechnung in zusammengeschalteten TK-Netzen“ in „NTZ Telekommunikation und Informationstechnik“, Vol. 11, pp. 20-23, 1996

[124] Y. A. Korilis, A. A. Lazar: „On the Existence of Equilibria in Noncooperative Optimal Flow Control“ in „Journal of the Association for Computing Machinery“, Vol. 42(3), pp. 584-613, May 1995, http://comet.columbia.edu/~john/e6970/1999/overview.html

[125] A. Küpper, C. Popien: „Integration dynamischer Qualitätsattribute: Die Dienstvermittlung unter ANSAware“ in „Kommunikation“, K.G. Saur Verlag München, PIK19, pp. 03-11, 1996

[126] J. Kurose: „Open Issues and Challenges in Providing Quality of Service Guarantees in High-Speed Networks“ in „Computer Communication Review“, pp. 6-15, Vol. 23(1), Jan. 1993, http://www.cnaf.infn.it/~ferrari/realtime.html

[127] H. Lackner: „High Performance Networking ATM in lokalen Netzen“ in „Kommunikation“, PIK 18(3), pp. 127-139, K.G. Saur Verlag, München, März 1995

[128] B. G. Lee, M. Kang, J. Lee: „Broadband Telecommunication Technology“, 2nd ed., 672 pp., Artech House Inc., Norwood, MA 02062, Jan. 1996, ISBN 0890068666

[129] D. Lee, J. Kim, S. Bahk: "Performance Analysis of Alternate Routing with Trunk Reservation in Multirate Networks" in proceedings of „IEEE GLOBECOM'98“, (Sydney, Nov. 1998)

[130] W. C. Lee, M. G. Hluchyj, P. A. Humblet: „Routing Subject to Quality of Service Constraints in Integrated Communication Networks“ in „IEEE Networks“, Vol. 9(4), pp. 46-55, Aug. 1995, http://adept.stanford.edu/ee250/papers/paper4.pdf

[131] J. Liebeherr: „Multimedia Networks: Issues and Challenges“ in „IEEE“, Vol. 28(4), pp. 68-69, April 1995

[132] G. Marzo, M.Muhugusa, C. Tschudin: „The Messenger Paradigm and its Implications on Distributed Systems“ in proceedings of „Workshop on Intelligent Computer Communications“ (ICC’95), 1995

[133] L. G. Mason, A. Pelletier, J. Lapointe: „Towards Optimal Policing in ATM Networks“ in „Computer Communications“, Elsevier Science B.V., Vol. 19, pp. 194-203, 1996

[134] G. Meempat, M. K. Sundareshan: „Combined Access Control and Routing for Connection Oriented Traffic in High-Speed Networks: A Two-Level Approach“ in „Computer Networks and ISDN Systems“, Elsevier Science Publishing, Vol. 29, pp. 631-652, 1997

[135] H. van de Meulen: „Corporate Networks fangen Telekommunikationskosten auf“ in „Online“, Ausg. 11, pp. 32-36, Nov. 1995,

[136] A. R. Mikler, V. H. Honavar, J.S.K. Wong: „Analysis of Utility-Theoretic Heuristics for Intelligent Adaptive Network Routing“, Technical Report TR95-14, Dept. of Computer Science, Iowa State University, USA, 1996, http://www.cs.unt.edu/~mikler/Publications.html

[137] A. Modarressi, R. Skoog: „Signalling System No. 7: A Tutorial“ in „IEEE Communications Magazine“, July 1990, http://www.comsoc.org/pubs/surveys/4q98issue/sigsys7.pdf

[138] D. Mosse: „Resource Reservations in Networked Multimedia Systems“ in „ACM Computing Surveys“, Vol. 27(4), pp. 610-612, Dec. 1995, mosse@cs.pitt.edu

[139] J. Moy: „RFC 1247: OSPF Version 2“, IETF, Network Working Group, 1991, http://sunsite.doc.ic.ac.uk/rfc/rfc1247.txt

[140] J. Moy: „RFC 1245: OSPF Protocol Analysis“, IETF, Network Working Group, 1991, http://sunsite.doc.ic.ac.uk/rfc/rfc1245.txt

[141] J. Moy: „RFC 1246: Experiences with the OSPF Protocol“, IETF, Network Working Group, 1991, http://sunsite.doc.ic.ac.uk/rfc/rfc1246.txt

[142] K. Nahrstedt: „End-to-End QoS Guarantees in Networked Multimedia Systems“ in „ACM Computing Surveys“, Vol. 27(4), pp. 613-616, Dec. 1995, http://cairo.cs.uiuc.edu/papers.html

[143] K. Nahrstedt, R. Steinmetz: „Resource Management in Networked Multimedia Systems“ in „IEEE“, Vol. 28(5), pp. 52-64, May 1995, ftp://ftp.cis.upenn.edu/pub/dsl/Klara_Nahrstedt/ResourceMan.ps

[144] K. Nahrstedt, J. M. Smith: „The QoS Broker“ in „IEEE MultiMedia“, Vol 2(1), pp. 53-67, 1995, ftp://ftp.cis.upenn.edu/pub/dsl/Klara_Nahrstedt/Broker.ps

[145] M. Neitzner: „Auf der Durchreise: Mit RSVP Ressourcen im Netz reservieren“ in „iX“, Heise-Verlag, Hannover, Ausg. 9, pp. 124-129, 1997

[146] C. Özveren, R. Simcoe, G. Varghese: „Reliable and Efficient Hop-by-Hop Flow Control“ in proceedings of „ACM Sigcomm’94“,Vol 24(4), pp. 89-100, Aug. 1994

[147] R. O. Onvural: „Asynchronous Transfer Mode Networks: Performance Issues“, Artech House Inc., Norwood, Ma 02062, 1994, ISBN 0-89006-662-0

[148] B. Rajagopalan, A. Nexen: „Quality of Service based Routing in the Internet“, IETF, Internet Draft, Oct. 1996, http://www.cctec.com/maillists/ietf-announce/msg00089.html

[149] M. Ott, D. Reininger, W. Luo: „Adaptive and Scalable QoS for Multimedia using Hierarchical Contracts“ in proceedings of „ACM Multimedia’96“, Boston MA, pp. 399-400, Nov. 1996, http://www.acm.org/pubs/articles/proceedings/multimedia/244130/p399-ott/p399-ott.pdf

[150] S. Pallottino, M. G. Scutella: „Dual Algorithms for the Shortest Path Tree Problem“ in „Networks“, Jon Wiley & Sons, Vol. 29, pp. 125-133, 1997

[151] V. Paxson: „End-to-End Routing Behavior in the Internet“ in „IEEE/ACM Transactions on Networking“, Vol. 5(5), pp. 601-615, Oct. 1997, http://www.aciri.org/vern/papers.html

[152] M. De Pryker: „Asynchronous Transfer Mode: Solution for Broadband ISDN“, 2nd ed., 352pp., Prentice Hall, Aug. 1993, ISBN 0131785427

[153] A. Romanow, S. Floyd: „Dynamics of TCP Traffic over ATM Networks“ in „IEEE JSAC“, Vol. 13(4), pp. 633-641, May 1995, http://www-nrg.ee.lbl.gov/nrg-papers.html

[154] R. Rooholamini, V. Cherkassky: „ATM-Based Multimedia Servers“ in „IEEE MultiMedia“, Vol. 2(1), pp. 39-52, Apr. 1995, http://www.gr.osf.org/java/mmedia/references.htm

[155] I. Rouvellou, G. Hart: „Algorithm for Identification of Network Topology“ in „IEEE Network Operations and Management Symposium“ (NOMS 92), (Memphis, Tenn., April 1992)

[156] A. Schill, R. Hess, S. Kümmel, D. Hege, H. Lieb: „ATM-Netze in der Praxis“, Addison Wesley Longman GmbH, Bonn, 1997, 323pp., ISBN 3-8273-1150-0

[157] K.-J. Schulz, M. Incollingo, H. K. Uhrig: „Taking Advantage of ATM Services and Tariffs: The Importance of Transport Layer Dynamic Rate Adaption“ in „IEEE Network“, Vol. 11, pp. 10-17, April 1997

[158] R. Sharma, S. Keshav: „Signaling and Operating System Support for Native-Mode ATM Applications“ in „ACM Sigcomm’94“, Vol. 24(4), pp. 149-157, Oct. 1994, http://www.cs.cornell.edu/skeshav/papers.html

[159] D. Shepherd, A. Scott, T. Rodden: „Quality-of-Service Support for Multimedia Applications“ in „IEEE MultiMedia“, Vol. 3(3), pp. 78-82, 1996

[160] S. Sibal, A. DeSimone: „Controlling Alternate Routing in General-Mesh Pakket Flow Networks“ in „ACM Sigcomm’94“, Vol. 24(4), pp. 168-179, Oct. 1994, sibal@networks.ecse.rpi.edu, tds@hoserve.att.com

[161] G. Siegmund: „ATM-Die Technik des Breitband-ISDN“, R. v. Decker’s Verlag, G. Schenck GmbH, Heidelberg, 1994, ISBN 3-7685-3994-6

[162] N. Simoni, S. Znaty: „Interconnection of High-Speed Data Networks: Contribution of Dynamic Control and Quality of Service“ in „Computer Networks and ISDN Systems“, Elsevier Science Publishers B.V., Vol. 25, pp. 570-576, 1992

[163] J. D. Spragins, J. L. Hammond, K. Pawlikowski: „Telecommunications Protocols and Design“, Addison Wesley Publishing Company, Jan. 1991, 688pp., ISBN 0-201-09290-5

[164] S. M. Srinidhi, W. H. Thesling, V. K. Konangi: „An Adaptive Scheme for Admission Control in ATM Networks“ in „Computer Networks and ISDN Systems“, Elsevier Science Publishing, pp. 569-582, 1997

[165] K. Steenhaut, K. Degieter, W. Brissinck, E. Dirkx: „Scheduling and Admission Control Policies: A Case Study for ATM“ in „Computer Networks and ISDN Systems“, Elsevier Science B.V., Vol. 29, pp. 539-554, 1997

[166] H. J. Stüttgen: „Network Evolution and Multimedia Communication“ in „IEEE Multimedia“, Vol. 2(3), pp. 42-59, 1995, stuttgen@heidelbg.ibm.com

[167] A. Tanenbaum: „Computernetzwerke“, Prentice-Hall, New York, 873pp, 3’rd edition, 1998, ISBN: 3827295688

[168] D. L. Tennenhouse, M. Jonathan, D Wetherall et al.: „A Survey of Active Network Research“ in „IEEE Communications Magazine“, Vol. 35(1), pp80-86, Jan. 1997, http://www.tns.lcs.mit.edu/publications/ieeecomms97.html

[169] D. L. Tennenhouse, D. Wetherall: "Towards an Active Network Architecture" in „Computer Communication Review“, Vol. 26(2), April 1996, http://www.tns.lcs.mit.edu/publications/ccr96.html

[170] A. S. Thyagarajan, S. E. Deering: „Hierarchical Distance-Vector Multicast Routing for the MBone“ in proceedings of „ACM Sigcomm’95“, (Cambridge, MA, USA), pp. 60-66, 1995, http://www.eecis.udel.edu/~ajit/sigcomm95.dir/hmcast.html

[171] P. Todorova, D. C. Verma: „Resource Allocation and Delay Constraints in ATM Networks“ in proceedings of „Second Workshop on Future Trends of Distributed Computing Systems“, (IEEE, Cairo, Egypt 1990), pp. 435-439, http://tenet.cs.berkeley.edu/tenet-papers.html

[172] S.H. Tse, F.C. Lau: „A Lower Bound for Interval Routing in General Networks“ in „Networks“, John Wiley & Sons, Vol. 29, pp. 49-53, 1997

[173] H. Uose, S. Shioda, H. Horigome, H. Yamamoto: „Design and Control Aspects of ATM Transit Networks“ in proceedings of „NOMS‘92“, IEEE, pp. 361-372, 1992

[174] A. Vogel, B. Kerherve, G. v. Bochmann, J. Gecsei: „Distributed Multimedia and QoS: A Survey“ in „IEEE MultiMedia“, Vol 2(2), pp. 10-19, 1995, http://www.computer.org/multimedia/mu1995/u2toc.htm

[175] D. Wetherall, J. Guttag, D. L. Tennenhouse: „ANTS: A Tool kit for Building and Dynamically Deploying Network Protocols" in proceedings of „IEEE OPENARCH'98“, San Francisco CA, April 1998, http://www.tns.lcs.mit.edu/publications/openarch98.html

[176] F. Wildenhain, M. Hochmuth, A. Schill: „ATM-Übertragungstechnik des Breitband-ISDN: Eine Übersicht“, HMD - Theorie und Praxis der Wirtschaftsinformatik, Vol. 177, pp. 50-69, Mai 1994, http://ibdr.inf.tu-dresden.de/lsrn/veroeffentlichungen.html#FJahr_1994

[177] J. Wissing, F. Kaderali: „Bandbreitenflexibilität für Benutzer und Betreiber von ATM-Netzen“ in „Telekom-Praxis“, Ausg. 7, pp. 24-34, July 1996

[178] A. Wolisz, V. Tschammer: „Service Provider Selection in an Open Service Environment“ in proceedings of „Second Workshop on Future Trends of Distributed Computing Systems in the 1990s“, (IEEE, Cairo Egypt), pp. 229-235, Sept. 1990

[179] A. Wolisz, V. Tschammer: „Support For Cooperation and Coherence in an Open Service Environment“ in proceedings of „Second Workshop on Future Trends of Distributed Computing Systems in the 1990's", (IEEE, Cairo, Egypt), pp. 223-228, Sept. 1990

[180] D. J. Wright: „Broadband: Business Services, Technologies and Strategic Impacts“, 476pp., Artech House Inc., Norwood, MA 0262, Aug. 1993, ISBN 0-89006-589-6

[181] L. Zhang, S. Deering, D. Estrin, S. Shenker, D. Zappala: „RSVP: A new Resoure ReSerVation Protocol“ in „IEEE Network Magazine“, Vol. 7(5), 1993, http://www.it.kth.se/edu/gru/Telesys/98P3_Telesystem/Assignment/

[182] M. Zitterbart: „Protokolle für die Hochleistungskommunikation“ in „HMD“, Vol. 177, pp. 71-83, 1994

[183] M. Zitterbart: „Reservierung von Netzwerkressourcen“ in „Kommunikation“, PIK 18, pp. 140-148, K.G. Saur Verlag, 1995

Verteilte Künstliche Intelligenz (VKI/DAI)

[184] A. Aarsten, D. Brugali, C. Vlad: „Cooperation Among Autonomous Agents“ in proceedings of „Fourth International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision“ (ICARCV‘96), (Westin Stamford, Singapore, Dec. 1996), http://www.polito.it/~cim/Articles/icarcv96.ps

[185] G. Agha: „ACTORS: A Model of Concurrent Computation in Distributed Systems“, MIT Press, London, UK, 1986

[186] S. Albayrak, S. Fricke, et. al: „AARFTA: An Agent Architecture for the Realization of Future Telecommunication Applications “, Meilensteinberichte M1-M3, June 1999, http://dai.cs.tu-berlin.de/deutsch/forschung/

[187] S. Albayrak: „IAS: Intelligente Anwendungssysteme“, Vorlesungsskriptum, DAI-Labor/TU-Berlin, Oct. 1997, http://dai.cs.tu-berlin.de/deutsch/lehre/index.html

[188] S. Albayrak: „Kooperative Lösung der Aufgabe Auftragsdurchsetzung in der Fertigung durch ein Mehr-Agenten System auf Basis des Blackboard-Modells“, Dissertation an der Technische Universität Berlin, 1992

[189] S. Albayrak, D. Wieczorek, S. Ballmann: „InAMoS: Intelligente Agenten für Mobilitätsunterstützende Dienste“, Meilensteinberichte, Dec. 1996, http://dai.cs.tu-berlin.de/deutsch/forschung/

[190] S. Albayrak, et. al.: „ReKoS Milestone IV“, TU-Berlin, DAI-Labor, Franklinstraße 28/29, 10587 Berlin, Germany, 1996

[191] A. A. Armstrong, E. H. Durfee: „Dynamic Prioritization of Complex Agents in Distributed Constraint Satisfaction Problems“ in proceedings of „International Joint Conference on Artificial Intelligence-1997“ (IJCAI), Aug. 1997, http://ai.eecs.umich.edu/people/durfee/vita.html

[192] J. L. Austin: „How to do Things with Words“, Oxford University Press 21975, 1962

[193] J. L. Austin: „Speech Acts: An Essay in the Philosophy of Language“, Cambridge University Press, 1969

[194] R. Axelrod, W. D. Hamilton: „The Evolution of Cooperation“ in „Science“, Vol. 211, pp. 1390-1396, Mar. 1981

[195] A. Bond, L. Gasser: „Readings in Distributed Artificial Intelligence“, Morgan Kaufman Publisher, San Mateo, CA, 1988, 649pp, ISBN: 0-934613-63-X

[196] R. I. Brafman, M. Tennenholtz: „On Partially Controlled Multi-Agent Systems“ in „Journal of Artificial Intelligence Research“, Vol. 4, pp. 477-504, 1996, brafman@cs.ubc.ca, moshet@ie.technion.ac.il

[197] M. E. Bratman, D. J. Israel, M. E. Pollack: „Plans and Resource-bounded practical Reasoning“ in „Computational Intelligence“, Vol. 4, pp. 349-355, 1988

[198] C. Brown, L. Gasser, D. O’Leary, A. Sangster: „AI on the WWW: Supply and Demand Agents“ in „IEEE“, Vol. 10(4), pp. 50-55, Aug. 1995, http://www.computer.org/intelligent/ex1995/x4050abs.htm

[199] B. Burmeister, K. Sundermeyer: „Cooperative Problem Solving Guided by Intentions and Perception“ in proceedings of „Third European Workshop on Modeling Autonomous Agents and Multi-Agent Worlds“ (MAAMAW-91), E. Werner, Y. Demazeaus, (Eds.), (Elsevier Science Publishers B.V., Decentralized AI 3, Amsterdam, Netherlands, 1992), pp. 77-92

[200] C. Castelfranchi: „To Be or Not to Be an Agent“ in proceedings of „PAAM“, (The Practical Application Company Ltd., London, U.K., 1996), Vol. 1, pp. 37-39, cris@pscs2.irmkant.rm.cnr.it

[201] B. Chaib-Draa: „Industrial Applications of Distributed AI“ in „Communications of the ACM“, Vol. 38(11), pp. 49-53, Nov. 1995, http://www.networking.ibm.com/iag/iaghome.html

[202] M. K. Chang, C. C. Woo: „A Speech-Act-Based Negotiation Protocol: Design, Implementation and Test Use“ in „ACM Transaction on Information Systems“, Vol. 12(4), pp. 360-382, Oct. 1994, woo@unixg.ubc.ca

[203] D. Chess, D. Grosof, C. Harrison, D. Levine, C. Parris: „Itinerant Agents for Mobile Computing“, IBM Research Report, T.J. Watson Research Center, Yorktown Heights, New York, RC 20010, Mar. 97, http://www.research.ibm.com/people/g/grosof/papers.html

[204] L. Chiariglione: „FIPA - A general overview“, Foundation for Intelligent Physical Agents, presentation-slides, Oct. 1996, http://drogo.cselt.stet.it/fipa/

[205] S. E. Conry, R. A. Meyer, V. R. Lesser: „Multistage Negotiation in Distributed Planning“ in book „Readings in Distributed Artificial Intelligence“, A. H. Bond, L. Gasser (Eds.), (Morgan Kaufmann Publishers, Inc., San Mateo. California, 1988), pp. 367-384

[206] S. E. Conry, K. Kuwabara, V. R. Lesser, R. A. Meyer: „Multistage Negotiation for Distributed Constraint Satisfaction“ in „IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics“, Vol. 21(6), pp. 1462-1477, 1991

[207] D. Corkill, K. O. Gallagher: „GBB: A Generic Black-Board Development System“ in proceedings of „American Association of Artificial Intelligence“, Philadelphia, pp. 1008-1014, 1986

[208] A. A. Covrigaru, R. K. Lindsay: „Deterministic Autonomous Systems“ in „AI Magazine“, Vol. 12(3), pp. 110-117, 1991

[209] R. Davis, G. Smith: „Negotiation as a Metaphor for Distributed Problem Solving“ in „Artificial Intelligence“, Vol. 20(1), pp. 63-109, 1983

[210] R. Davis: „Report on the Workshop on Distributed AI“ in SIGART Newletter, No. 73, pp.42-52, Oct. 1980

[211] E. H. Durfee, V. R. Lesser, D. Corkill: „Trends in cooperative Distributed Problem Solving“ in „IEEE Transactions on Knowledge Data Engineering“, KOE-11(1), pp. 63-83, 1989

[212] O. Etzioni, D. S. Weld: „Intelligent Agents on the Internet: Fact, Fiction, and Forecast“ in „IEEE“, pp. 44-49, Aug. 1995, http://www.cs.washington.edu/homes/weld/pubs.html

[213] P. Faratin, C. Sierra, N. R. Jennings: „Negotiation Decision Functions for Autonomous Agents“ in „Int. Journal of Robotics and AutonomousSystems“, Vol. 24(3-4), pp. 159-182, 1998, http://web.elec.qmw.ac.uk/dai/pubs/

[214] R. E. Fikes, M. R. Genesereth: „Knowledge Interchange Format 3.0 - Reference Manual“, Stanford University, Computer Science Department, 1992, http://logic.stanford.edu/kif/Hypertext/kif-manual.html

[215] R. Fikes, R. Englemore, A. Farquhar, W. Pratt: „Network-based Information Brokers“ in Technical Report KSL-95-13, Stanford Knowledge Systems Laboratory (KSL), Computer Science Department, Stanford University. Stanford, CA, http://www.di.ufpe.br/~bamn/papers.html

[216] T. Finin, S. Shapiro: „Specification of the KQML Agent Communication Language“, DARPA Knowledge Sharing Initiative, UMBC, June 1993, http://www.cs.umbc.edu/kqml/papers/kqmlspec.pdf

[217] K. Fischer, I. Heimig, C. Kocian, J. P. Müller: „Intelligente Agenten für das Management Virtueller Unternehmen“ in „Information Management“, Ausg. 1/96, pp. 38-45, 1996

[218] S. Franklin, A. Graesser: „Is It an Agent, or Just a Program?: A Taxonomy for Autonomous Agents“ in book „Intelligent Agents III: Agent Theories, Architectures and Languages“, J. P. Müller, M. J. Wooldrige, N. R. Jennings (Eds.), („Lecture Notes in Artificial Intelligence“, Springer-Verlag Berlin, Vol. 1193, Jan. 1997, ISBN 3-540-62507-0), pp. 21-35

[219] S. Garone: „ObjectSpace: An Agent for Change in Distributed Object Computing “, IDC Bulletin 17289, Sept. 1998, http://www.objectspace.com/company/rvwdoccontentframe.htm

[220] M. R. Genesereth, M. L. Ginsberg, J. S. Rosenschein: „Cooperation without Communication“ in proceedings of „National Conference on Artificial Intelligence“ (AAAI’86), (Philadelphia PA, Aug. 1986), pp. 51-57

[221] M. R. Genesereth, S. P. Ketchpel: „Software Agents“ in „Communications of the ACM“, Vol. 37(7), pp. 38-53, July 1994, http://cdr.stanford.edu/NextLink/Expert.html

[222] M. P. Georgeff, A. L. Lansky: „Reactive Reasoning and Planning“ in proceedings of „6’th National Conference on Artificial Intelligence“ (AAAI’87), (Seattle, Washington, 1987), pp. 677-682

[223] N. S. Glance, B. A. Huberman: „Organizational Fluidity and Sustainable Cooperation“ in book „Computational Organization Theory“, K. Carley, M. Prietula (Eds.), (Lawrence Elrbaum Associates, Palo Alto, Mar. 1994), pp. 217-240

[224] S. Green, et al.: „Software Agents: A Review“, Intelligent Agents Group (IAG), Trinity College Dublin & Broadcom Eireann Research Ltd., May 1997, http://www.cs.tcd.ie/research_groups/aig/iag/toplevel2.html

[225] T. R. Gruber: „A Translation Approach to Portable Ontology Specifications“ in „Knowledge Acquisition“, Vol. 5(2), pp199-220, 1993, http://ksl-web.stanford.edu/knowledge-sharing/papers/README.html#ontolingua-intro

[226] C. Guilfoyle, E. Warner: „Intelligent Agents: The New Revolution in Software“, Report of Ovum Ltd, May 1994

[227] A. Haddadi: „Communication and Cooperation in Agent Systems : a pragmatic theory“, Springer-Verlag Berlin New-York, 1995, ISBN 3540610448

[228] C. G. Harrison, D. M. Chess, A. Kershenbaum: „Mobile Agents: Are they a Good Idea?“, IBM Research Division, T. J. Watson Research Center Yorktown Heights, NY 10598, Mar. 1995

[229] C. E. Hewitt: „Viewing Control Structures as Patterns of passing Messages“ in „Artificial Intelligence“, Vol8(3), pp.323-364, North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 1977

[230] T. Hogg, C. P. Williams: „Solving the Really Hard Problems with Cooperative Search“ in proceedings of the „AAAI“, (AAAI Press, 1993), pp. 231-236, {Hogg,CWilliams}@parc.xerox.com

[231] Y.J. Hu: „Cooperation, Negotiation, and Conflict Resolution Protocols for Automatic Services and Resources Allocation“ in proceedings of „Seventh European Workshop on Modeling Autonomous Agents in a Multi-Agent World“ (MAAMAW'96), (Eindhoven, Netherlands, Jan. 1996), http://www.cs.nccu.edu.tw/~jong/pub/pub.html

[232] N. R. Jennings: „Specification and Implementation of a Belief-Desire-Joint-Intention Architecture for Collaborative Problem Solving“ in „ Journal of Intelligent Cooperating Information Systems“, Vol. 2(3), pp. 289-318, 1993, http://www.elec.qmw.ac.uk/dai/pubs/#1993

[233] S. Kassel: „Multiagentensysteme als Ansatz zur Produktionsplanung und -steuerung“ in „IM - Information Management“, Ausg. 1, pp. 46-50, Febr. 1996

[234] D. S. Kirn: „Kooperativ-Intelligente Softwareagenten“ in „IM-Information Management“, 7. Jahrgang, Heft 1, Febr.1996, pp. 18-28, Stefan.Kirn@wirtschaft.tuilmenau.de

[235] M. Lemaitre, G. Verfaillie: „An Incomplete Method for Solving Distributed Valued Constraint Satisfaction Problems“ in proceedings of „Workshop on Constraints and Agents Providence“ (AAAI-97), (Rhode Island, USA, July 1997), http://www.cert.fr/anglais/deri/lemaitre/papers.html

[236] D. B. Lenat: „The Nature of Heuristics“ in „Artificial Intelligence“, Vol. 19, pp. 189-249, 1982

[237] V. R. Lesser: „Multiagent Systems: An Emerging Subdiscipline of AI“ in „ACM Computing Surveys“, Vol. 27(3), pp. 340-342, Sept. 1995, lesser@cs.umass.edu

[238] A. Lingnau, O. Drobnik, P. Dömel: „An HTTP-Based Infrastructure for Mobile Agents“ in proceedings of „4th World Wide Web Conference“, (O'Reilly & Associates Inc., Boston, USA, ISBN 1-56592-169-0, Dec. 1995), pp. 461-471

[239] J. Liu, K. P. Sycara: „Distributed Constraint Satisfaction through Constraint Partition and Coordinated Reaction“ in proceedings of „12th International Workshop on Distributed Artificial Intelligence“, Hidden Valley, Pennsylvania, USA., May 1993

[240] P.Maes: „Agents that Reduce Work and Information Overload“ in „Communications of the ACM“, Vol. 37(7), pp. 31-40, July 1994

[241] F. v. Martial: „Coordinating Plans of Autonomous Agents“, Lecture Notes in Artificial Intelligence 610, Springer Verlag, Apr. 1992, ISBN 3-540-55615-X

[242] J. P. Müller, M. Pischel, M. Thiel: „A pragmatic Approach to Modelling Autonomous Interacting Systems“ in preproceedings of „Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages“, M. Wooldridge, N. R. Jennings (eds), pp. 226-240, Amsterdam, NL, 1994

[243] J. P. Müller, M. J. Wooldrige, N. R. Jennings (Eds.): „Intelligent Agents III: Agent Theories, Architectures and Languages“, (LNAI, Springer-Verlag Berlin, Vol. 1193), Jan. 1997, ISBN 3-540-62507-0

[244] T. Mullen, M. P. Wellmann: „Some Issues in the Design of Market-Oriented Agents“ in book „Intelligent Agents II: Agent Theories, Architectures, and Languages“, M. Wooldridge, J. Mueller, and M. Tambe (Eds.), (Springer-Verlag, ISBN 3-540-60805-2, 1996)

[245] D. J. Musliner, M. S. Boddy: „Contract-Based Distributed Scheduling for Distributed Processing“ in „AAAI Workshop on Contraints and Agents Providence“, (Rhode Island, July 1997), http://www.cs.umd.edu/users/musliner/index.html

[246] A. Newell: „The Knowledge Level“ in „Artificial Intelligence“, Vol. 18, pp. 87-127, 1982

[247] H. S. Nwana: „Software Agents: An Overview“ in „Knowledge Engineering Review“, Vol. 11(3), pp. 01-40, 1996, http://www.cs.iastate.edu/~cs572/study-guide.html

[248] G. M. O'Hare, N. R. Jennings (Eds.): „Foundations of Distributed Artificial Intelligence", John Wiley & Sons (Sixth-Generation Computer Technology Series), New York, 1996, ISBN 047-10067-50

[249] C. Petrie: „What Is an Agent?" in book „Intelligent Agents III: Agent Theories, Architectures and Languages", J. P. Müller, M. J. Wooldrige, N. R. Jennings (Eds.), („Lecture Notes in Artificial Intelligence", Springer-Verlag Berlin, Vol. 1193, Jan. 1997, ISBN 3-540-62507-0), pp. 41-43

[250] H. Raiffa: „The Art and Science of Negotiation - How to Resolve Conflicts and Get the Best Out of Bargaining", Harvard University Press, 1982, ISBN 067404813-X

[251] R. Reddy: „Grand Challenges in AI" in „ACM Computing Surveys", Vol. 27(3), pp. 301-303, Sept. 1995

[252] J. Reilly: „Security aspects of Intelligent Agent based extensions to the TMN management framework" in proceedings of „Intelligent Agents for Telecommunication Applications" (IATA, April 1996)

[253] M. Rettig: „Cooperative Software" in „Communications of the ACM", Vol. 36(4), pp. 23-28, April 1993

[254] J. S. Rosenschein, G. Zlotkin: „Designing Conventions for Automated Negotiation" in „AI Magazine", Vol. 15(3), pp. 29-46, 1994

[255] J. S. Rosenschein, G. Zlotkin: „Rules of Encounter: Designing Conventions for Automated Negotiation among Computers", Artificial Intelligence, MIT Press, Cambridge, Massachusetts London, England, 1994, ISBN 0-262-18159-2

[256] J. S. Rosenschein: „Consenting Agents: Negotiation Mechanisms for Multi-Agent Systems" in proceedings of „International Joint Conference on Artificial Intelligence" (IJCAI'93), (Chambery, France, Aug. 1993), pp. 792-799

[257] J. R. Searle: „Sprechakte: Ein sprachphilosophischer Essay", aus dem engl. von R.Wiggershaus, Suhrkamp Verlag, Frankfurt/M, 1984, ISBN 3-518-28058-9

[258] S. Sen, M. Sekaran: „Individual Learning of Coordination Knowledge" in „Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence", special issue on „Learning in Distributed Artificial Intelligence Systems", pp. 333-356, 1998

[259] Y. Shoham: „Agent-Oriented Programming" in „Artificial Intelligence", Vol. 60, pp. 51-92, 1993

[260] R. G. Smith: „The Contract Net Protocol: High-Level Communication and Control in a Distributed Problem Solver" in „IEEE Transactions on Computers", Vol. C-29(12), pp. 1104-1113, Dec. 1980

[261] R. G. Smith: „Software Agent Technology“ in proceedings of „PAAM“, (The Practical Application Company Ltd., London, U.K, 1996), Vol. 1, pp. 557-572

[262] R. G. Smith, R. Davis: „Frameworks for Cooperation in Distributed Problem Solving“ in „IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics“, Vol. 11, pp. 61-70, 1981, http://www.ieee.org/organizations/pubs/pub_preview/pub_prev.html

[263] J. K. Strosnider, C. J. Paul: „A Structured View of Real-Time Problem Solving“ in „AI Magazine“, Vol. 15(2), pp. 45-66, 1994, http://www.ece.cmu.edu/~jks/author.html

[264] K. P. Sycara: „Resolving Goal Conflicts via Negotiation“ in proceedings of „Seventh National Conference on Artificial Intelligence“ (AAAI-88), (St. Paul, MN, Aug. 1988)

[265] K. P. Sycara: „Argumentation: Planning Other Agents‘ Plans“ in proceedings of „Eleventh International Joint Conference on Artificial Intelligence“ (IJCAI-89), (Detroit, Michigan, Aug. 1989), pp. 517-523

[266] K. P. Sycara: „Multiagent Compromise via Negotiation“ in book „Distributed Artificial Intelligence“, M. Huhns, L. Gasser (Eds.), (San Mateo, CA, Morgan Kaufmann, 1989), Vol. 2, pp. 119-137

[267] S. R. Thomas: „PLACA, an Agent Oriented Programming Language“ PhD Thesis, Computer Science Department, Stanford University, Stanford, CA 94305. (STAN-CS-93-1487), 1993

[268] C. Weinhardt, P. Gomber: „Domänenunabhängige Koordinationsmechanismen für die dezentrale betriebliche Planung“ in „Information Management“, Ausg. 1/96, pp. 6-16, 1996

[269] J. White: „Mobile Agents“ in „Software Agents“, J. Bradshaw (Eds.), (AAAI Press and MIT Press, Menlo Park, CA.,Oct. 1995), http://www.ai.univie.ac.at/~paolo/lva/vu-sa97/

[270] M. Wooldridge, S. Bussmann, M. Klosterberg: „Production Sequencing as Negotiation“ in proceedings of „PAAM“, (The Practical Application Company Ltd., London, U.K, 1996), Vol. 1, pp. 709-726

[271] M. Wooldridge, N. Jennings: „Intelligent Agents: Theory and Practice“ in „Knowledge Engineering Review“, Vol.10(2), June 1995, http://www.elec.qmw.ac.uk/dai/people/mikew/pubs/ker95/ker95-html.html

[272] S. S. Yau, X. Jia., D.-H. Bae: „Trends in Software Design for Distributed ComputingSystems“inproceedingsof„SecondWorkshoponFutureTrendsofDistributed Computing Systems in the 1990s“, (IEEE Proceedings, Cairo Egypt), pp. 154-160, Sept. 1990

[273] S. Yeltekin: „Dynamic Principal-Multiple Agent Contracts“, Dept. of Economics, Stanford University, July 1998, http://netec.mcc.ac.uk/WoPEc/data/Papers/wpawuwpco9807001.html

[274] R. Zanconato: „An Inter-Agent Communication Model for Real-Time Distributed AI“ in proceedings of „PAAM“, (The Practical Application Company Ltd., London, U.K, 1996), Vol. 1, pp. 755-771

[275] D. Zeng, K. Sycara: „How Can an Agent Learn to Negotiate?“ in proceedings of „PAAM“, (The Practical Application Company Ltd., London, U.K., 1996), Vol. 1, pp. 233-244, (zeng,katia)@cs.cmu.edu

[276] G. Zlotkin, J. S. Rosenschein: „Mechanisms for Automated Negotiation in State Oriented Domains“ in „Journal of Artificial Intelligence Research“, Vol. 5, pp. 163-238, Oct. 1996, {giladz@agentsoft.com, jeff@cs.huji.ac.il

(V)KI & Telekommunikation & Elektronische Märkte

[277] C. Beam, A. Segev: „Automated Negotiations: A Survey of the State of the Art“ in „Wirtschaftsinformatik“, Ausg. 39, pp. 263-268, 1997

[278] E. Bonabeau, F. Henaux, et. al.: „Routing in Telecommunications Networks with Ant-Like Agents“ in book „Intelligent Agents for Telecommunication Applications“, S. Albayrak (eds.), Springer LNAI 1437, 2’nd IATA’98 Workshop Paris, ISBN: 3-540-64720-1

[279] T. Braun, B. Stiller, M. Zitterbart: „OSI or Special Protocols for High Speed Networks“ in proceedings of „2nd Joint Workshop on High Speed Networks“, Stuttgart, Germany, Sept.1991, http://www.iam.unibe.ch/~braun/lit.html

[280] M. Busuioc: „Distributed Intelligent Agents - A Solution for the Management of Complex Services“ in proceedings of „12th European Conference on Artificial Intelligence“, Aug. 1996

[281] A. Chavez, A. Moukas, P. Maes: „Challenger: A Multi-Agent System for Distributed Resource Allocation“ in proceedings of „International Conference on Autonomous Agents“, (Marina Del Ray, California, ACM Press, 1997), http://lcs.www.media.mit.edu/~moux/papers/chall.ps.gz

[282] D. D. Clark: „A Model for Cost Allocation and Pricing in the Internet“ in „The Journal of Electronic Publishing“, Volume 2(1), May 1996, ISSN 1080-2711, http://www.press.umich.edu/jep/works/ClarkModel.html

[283] J. Dospisil, E. Kendall, T. Polgar: „Multi-Agent Quality of Service Management System for Multimedia“ in proceedings of „PAAM“, (The Practical Application Company Ltd., London, U.K., 1996), Vol. 1, pp. 103-121

[284] G. Fankhauser, B. Stiller, C. Vögtli, B. Plattner: „Reservation-based Charging in an Integrated Services Network“ in proceedings of „4’th INFORMS Telecommunications Conference“, (Boca Raton, Florida, USA, March 1998), Session MC-2, http://www.tik.ee.ethz.ch/~stiller

[285] G. Fankhauser, B. Stiller, B. Plattner: „Arrow: A Flexible Architecture for an Accounting and Charging Infrastructure in the Next Generation Internet“ in „NETNOMICS: Economics Research and Electronic Networking“, Baltzer Science Publishers, Vol1(2), pp. 201-223, http://ns.baltzer.nl/netnomics/contents/1999/1-2.html

[286] M. Fletcher, S. M. Deen: „Agent-Based Service Brokerage in Telecommunication Management Networks“ in proceedings of „UNICOM 98“, (London, U.K., April 1998)

[287] J. M. Fonseca, E. d. Oliveira, A. S. Garcao: „MACIV: A DAI Based Resource Management System“, in proceedings of „PAAM“, (The Practical Application Company Ltd., London, U.K., 1996), Vol. 1, pp. 263-278, http://www.fe.up.pt/~eol/PUBLICATIONS/publications.html

[288] G. Goldszmidt, Y. Yemini: „Distributed Management by Delegating Mobile Agents“, in „15th International Conference on Distributed Computing Systems“, (Vancouver, British Columbia, June 1995), http://www.cs.columbia.edu/~german/mbd.html

[289] N.D. Griffeth, H. Velthuijsen: „The Negotiating Agents Approach to Runtime Feature Interaction Resolution“ in book „Feature Interactions in Telecommunications Systems“, L.G. Bouma and H. Velthuijsen (Eds.),(IOS-Press, Amsterdam, 1994, ISBN 9051991657), pp. 217-235

[290] T. Gyires: „Intelligent Routing Agents in Wide-Area Networks“, Applied Computer Science Department, Illinois State University, Illinois 61790-5150, 1996, tbgyires@ilstu.edu

[291] HanseX: „General Terms and Conditions“, The Hamburg International Exchange for Tk-Services, 17’th Sept. 1999, http://www.hanse-x.com/

[292] C. G. Harrison: „Smart Networks and Intelligent Agents“, IBM T.J. Watson Research Center, Yorktown Heights, New York, 10598, 1996, http://www.informatik.tu-darmstadt.de/VS/Lehre/WS95-96/Proseminar/rohs/

[293] A.L.G. Hayzelden, J. Bigham: „Heterogeneous Multi-Agent Architecture for ATM Virtual Path Network Resource Configuration“ in book „Intelligent Agents for Telecommunication Applications“, S. Albayrak (eds.), Springer LNAI 1437, 2’nd IATA’98 Workshop Paris, ISBN: 3-540-64720-1

[294] B. A. Huberman, R. M. Lukose: „Social Dilemmas and Internet Congestion“ in „Science“, Vol. 277, pp. 535-537, July 1997

[295] InterXion: „InterXion Bandwidth Trading Terms and Conditions“, Gyroscoopweg 62,1042 AC Amsterdam, Sept. 1999, http://www.interxion.com/

[296] L. Keller: „AGORA: Ein elektronischer Marktplatz zur Vermittlung von Mehrwertdiensten“ in „Kommunikation“, PIK 20, K. G. Saur Verlag, pp. 3-10, 1997

[297] A. Lazar, N. Semret: „Auctions for Network Resource Sharing“, CTR Technical Report, Columbia University, New York, USA, Febr. 1997, http://comet.columbia.edu/publications/techreports.html

[298] L. Lewis: „AI and Intelligent Networks in the 1990s and into the 21st Century“, J. Liebowitz, D. S. Perau (Eds.), (IOS Press, Van Diementstraat 94, 1013 CN Amsterdam, Netherlands, ISBN 90-5199-183-51995), Vol. 24, pp. 109-124

[299] T. Loofbourrow: „Neural Networks in Telecommunications: Applying Adaptive AI“ in book „Worldwide Intelligent Systems“, J. Liebowitz, D. S. Perau (Eds.), (IOS Press, Van Diementstraat 94, 1013 CN Amsterdam, Netherlands, ISBN 90-5199-183-51995), Vol. 24, pp. 163-185

[300] J. K. MacKie Mason, H. Varian: „A Smart Market for Resource Reservation in a Multiple Quality of Service Information Network“, University of Michigan, Ann Arbor, USA, Sept. 1997, http://www-personal.umich.edu/~jmm/papers/panos-opres.pdf

[301] T. Magedanz, K. Rothermel, S. Krause: „Intelligent Agents: An Emerging Technology for Next Generation Telecommunications“ in proceedings of „INFOCOM‘96“, (San Francisko, CA, USA, May 1996), pp. 1-9

[302] Y. Mor, J. S. Rosenschein: „Time and the Prisoner‘s Dilemma“ in proceedings of „First International Conference on Multiagent Systems 1995“ (ICMAS), (San Franzisko, USA, June 1995), http://dis.cs.umass.edu/icmas/program.html

[303] K. Neuenhofen: „Design und Implementierung einer Architektur für Intelligente Agenten im elektronischen Commerce“, Diplomarbeit, TU-Berlin/DAI-Labor, 1997

[304] A. Puder, S. Markwitz, F. Gudermann: „Service Trading Using Conceptual Structures“ in proceedings of „International Conference on Conceptual Structures“ (ICCS‘95) ,(Springer, 1995), pp. 59-73

[305] A. Puder, S. Markwitz, F. Gudermann, K. Geihs: „AI-Based Trading in Open Distributed Environments“ in proceedings of „3’rd IFIP TC6 International Conference on Open Distributed Processing“ (ICODP‘95), (Chapman and Hall, Brisbane, Australia,1995), http://www.dstc.edu.au/cgi-bin/redirect/rd.cgi?http://archive.dstc.edu.au/AU/research_news/odp/trader/papers.html

[306] P. Reichl, S. Leinen, B. Stiller: "Pricing and Cost Recovery for Internet Services - Practical Review, Classification, and Application of Relevant Models" to appear in „Netnomics - Economic Research and Electronic Networking“, Vol. 2(3), 2000, http://www.tik.ee.ethz.ch/~cati

[307] B. Rupp: „Preisstrategien für ein integriertes Universal-Internet“ in book „Wirtschaftsinformatik 1997“, H. Krallmann Hrsg., (Physika Verlag Berlin, ISBN 3-7908-0999-3, 1997), pp. 49-69

[308] A. Schaerf, Y. Shoham, M. Tennenholtz: „Adaptive Load Balancing: A Study in Multi-Agent Learning“ in „Journal of Artificial Intelligence Research“, Vol. 2, pp. 475-500, 1995, http://www.cs.washington.edu/research/jair/contents/complete-with-abstracts.html

[309] S. Shenker: „Service Models and Pricing Policies for an Integrated Services Internet“ in book „Public Access to the Internet“, B. Kahin, J. Keller (Eds.), (Cambridge, MA: MIT Press, 1995)

[310] L. Sögner: „Regulation vs. Competition in Telecommunications“ in proceedings of „Second International Conference on Computing in Economics and Finance“, (Society of Computational Economics, Geneva, Switzerland, June 1996), Leopold.Soegner@wu-wien.ac.at

[311] F. Somers: „HYBRID: Intelligent Agents for Distributed ATM Network Management“ in proceedings of „PAAM“, (The Practical Application Company Ltd., London, U.K, 1996), Vol. 1, pp. 909-922, http://www.broadcom.ie/~fs/iata.ps.Z

[312] B. Stiller, G. Fankhauser, B. Plattner, N. Weiler: „Charging and Accounting for Integrated Internet Services - State of the Art, Problems, and Trends-“ in proceedings of „INET’98: The Internet Summit“, (Geneva Switzerland, July 1998), Track3, http://www.tik.ee.ethz.ch/~stiller

[313] B. Stiller, G. Fankhauser, B. Plattner: „Charging of Multimedia Flows in an Integrated Services Network“ in proceedings of „8’th International Workshop on Network and Operating System Support for Digital Audio and Video“ (NOSSDAV '98), (Cambridge, England, July 8-10), 1998, pp 189-192, http://www.tik.ee.ethz.ch/~stiller

[314] B. Stiller(1), T. Braun(2), M. Günter(3), B. Plattner(4): „The CATI Project: Charging and Accounting Technology for the Internet“ in proceedings of „5’th European Conference on Multimedia Applications, Services, and Techniques“ (ECMAST'99), (Madrid, Spain, May 26-28), 1999, LNCS, Springer Verlag, Vol. 1629, pp. 281-296, http://www.tik.ee.ethz.ch/~cati

[315] I. E. Sutherland: „A Futures Market in Computer Time“ in „Communications of the ACM“, Vol 11(6), pp. 449-451, June 1968

[316] H. Taylor: „The Collapse of the Present Accounting Rates System and Rise of Cost-Based Global Telephony“ in proceedings of the „19‘ Annual Pacific Telecommunications Conference“, (USA Global Link, Honolulu, Hawaii, 20 Jan. 1997), http://www.usagl.com/ourcompany/whitepapers/accountingrates.htm

[317] K. Van Ophem: „Cross-Border Interconnection and Accounting Rates: A Competition Law and Newcommers‘ Perspective“, IBA-Conference Cannes, Apr.1997, http://www.itu.int/intset/indu/index.html

[318] D. Veeramani: „Task and Resource Allocation via Auctioning“ in proceedings of „Winter Simulation Conference“, J. J. Swain, D. Goldsman, R. C. Crain, J. R. Wilsons (Eds.), (Arlington, VA, Dec. 1992), pp. 945-954

[319] O. Vermesan, A. I. Vermesan: „The Use of Hybrid Intelligent Systems in Telecommunications“ in book „Worldwide Intelligent Systems“, J. Liebowitz, D. S. Perau (Eds.), (IOS Press, Van Diementstraat 94, 1013 CN Amsterdam, Netherlands, ISBN 90-5199-183-5, 1995), Vol. 24, pp. 186-227

[320] Q. Wang, J. M. Peha, M. A. Sirbu: „The Design of an Optimal Pricing Scheme for ATM Integrated-Services Networks“, MIT, Workshop on Internet Economics, May 1995, http://www.press.umich.edu/jep/works/WangOptPri.html

[321] R. Weihmayer, R. Brandau: „A Distributed AI Architecture for Customer Network Control“ in „IEEE“, pp. 656-662, 1990

[322] R. Weihmayer, H. Velthuijsen: „Distributed AI and Cooperative Systems for Telecommunications“, J. Liebowitz, D. S. Perau (Eds.), (IOS Press, Van Diementstraat 94, 1013 CN Amsterdam, Netherlands, ISBN 90-5199-183-5, 1995), Vol. 24, pp. 227-260

[323] M. P. Wellman: „A Market-Oriented Programming Environment and its Application to Distributed Multicommodity Flow Problems“ in „Journal of Artificial Intelligence“, Vol. 1(1), pp. 1-23, 1993, http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/project/jair/pub/volume1/wellman93a.pdf

[324] C. S. Winter, R. Titmuss, B. Crabtree: „Agents, Mobility and Multimedia Information“ in proceedings of „PAAM“, (The Practical Application Company Ltd., London, U.K, 1996), Vol. 1, pp. 693-707

[325] H. Yamaki, M. P. Wellmann, T. Ishida: „A Market-Based Approach to Allocating QoS for Multimedia Services“ in proceedings of „Second International Conference on Multiagent Systems“ (ICMAS-96), (Kyoto, Japan, Dec. 1996), pp. 385-392, http://www.lab7.kuis.kyoto-u.ac.jp/services/publications/96/96conf01.pdf

Sonstiges

[326] R. K. Ahuja, T. L. Magnanti, J. B. Orlin: „Network Flows: Theory, Algorithms and Applications“, Prentice-Hall, Englewood Cliffs NJ, 1993, ISBN 0-13-617549-X

[327] A. Artale: „Rings in Auctions“, M. Beckmann, H. P. Künzi (Eds.), („Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems“, Vol. 447), Springer Verlag, Berlin, 1997, ISBN 3-540-61930-5

[328] T. Aura: „Distributed Access-Rights Management with Delegation Certificates“, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), Vol. 1603, pp. 211-236, Springer Verlag, Berlin, 1999, http://www.tcs.hut.fi/Personnel/tuomas.html

[329] B.W. Boehm: „Software Engineering“ in „IEEE Transactions on Computers“, C-25, 12, pp.1226-1241, 1976

[330] W. Cezanne: „Grundzüge der Makroökonomik“, Lehr- und Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, Oldenbourg Verlag GmbH, München, Wien, 1982, ISBN 3-486-24901-0

[331] W. Cezanne, J. Franke: „Volkswirtschaftslehre“, Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, Oldenbourg Verlag GmbH, München, Wien, 1987, ISBN 3-486-20317-7

[332] J.B. Crockett, H. Chernoff: „Gradient Methods of Maximization“ in „Pacific Journal of Mathematics“, Vol. 5, pp. 33-50, Mar. 1955

[333] Ellsberg, D.: „Theory of the Reluctant Duelist“ in „American Economic Review“, Vol. 46, pp. 909-923, 1956

[334] R. Fletcher, C.M. Reeves: „Function Minimization by Conjugate Gradients“ in „The Computer Journal“, Vol. 7, pp. 149-154, July 1964

[335] R. Fletcher, M.J.D. Powell: „A Rapidly Convergent Descent Method for Minimization“ in „The Computer Journal“, Vol. 6, pp. 163-168, July 1968

[336] J. C. Harsanyi, R. Selten: „A General Theory of Equilibrium Selection in Games“, MIT Press, Cambridge, Massachusetts Institute of Technology, 1988, 380pp., ISBN 0-262-08173-3

[337] J. M. Henderson, R. E. Quandt: „Microeconomic Theory : A Mathematical Approach“, 3’rd Ed., McGraw Hill, Auckland, ASIN: 0070281017, 1980

[338] M. Holler, G. Illing: „Einführung in die Spieltheorie“, Springer-Verlag Berlin, Sept. 1992, ISBN: 3-540-61017-0

[339] F. Mattern: „Verteilte Basisalgorithmen“, W. Brauer (Eds.), („Informatik Fachberichte“), Springer Verlag, Berlin, 1989, Vol. 226, ISBN 3-540-51835-5

[340] O. Morgenstern, Eds., „Spieltheorie und Wirtschaftswissenschaft“, Vol. 1, R. Oldenbourg, Wien, 1963

[341] M. Mühlhaus: „Einsatz verteitler DV-Systeme“, Vorlesungsskriptum, Uni-Karlsruhe, Institut für Telematik, 1989

[342] J. F. Nash: „The Bargaining Problem“ in „Econometrica“, Vol. 18, pp. 155-162, 1950

[343] J. F. Nash: „Two Person Cooperative Games“ in „Econometrica“, Vol. 21, pp. 128-140, 1953

[344] J. v. Neumann, O. Morgenstern: „Spieltheorie und wirtschaftliches Verhalten“, F. S. F. Docquier (Eds.), Physica-Verlag, Würzburg, 1967

[345] H.H. Rosenbrock: „An Automatic Method of Finding the Greatest or Least Value of a Function“ in „The Computer Journal“, Vol. 3, pp. 175-184, Oct. 1960

[346] A. Rubinstein: „Perfect Equilibrium in a Bargaining Model“ in „Econometrica“, Vol. 50, pp. 97-111, 1982

[347] T. Schmidt, K. Bsufka: „SIATA: A Security Infrastructur for Agent-based Telecommunication Applications“, Meilenstein M2, TU-Berlin/DAI-Labor, 85pp, Nov. 1998

[348] T. Schmidt, K. Bsufka: „SIATA: A Security Infrastructur for Agent-based Telecommunication Applications“, Meilenstein M1, TU-Berlin/DAI-Labor, 52pp, July. 1998

[349] B. Schneier: „Applied Cryptography: Protocols, Algorithms and Source Code in C“, John Wiley & Sons, New York, USA, 1998, 2’nd Ed., 760pp, ISBN 0-471-12845-7

[350] B.V. Shah, R.J. Buehler, O. Kempthorne: „Some Algorithms for Minimizing a Function of Several Variables (PARTAN)“ in „Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics“, Vol. 12, pp. 74-92, Mar. 1964

[351] A. Shioura, M. Shigeno: „The Tree Center Problems and the Relationship with the Bottleneck Knapsack Problems“ in „Networks“, Jon Wiley & Sons, Vol. 29, pp. 107-110, 1997

[352] H. Steinhaus: „The Problem of Fair Division“ in Econometrica, Vol. 16, pp. 101-104, 1948

[353] V. Turau: „Algorithmische Graphentheorie“, Addison-Wesley GmbH, Bonn, 1996, 350pp, ISBN 3-89319-938-1

Anhang C Index

A

AAL1 77
-Protokoll 78
-Schicht 79
AAL2 77
AAL3/4 77
AAL5 77
ABR 74, 182, 262
Abrechnungs
-system 104
-vorgang 99
Abwicklungsphase 131, 133, 138, 141, 151, 169, 172
Access-Bereich 81
Accounting 133
-daten 101
-Rates 61, 91, 149, 309
ACL 116
ACM 89
Adaptionsprotokoll 78
Adaptivität 262
Address Complete Nachricht 89
Adjazenzmatrixdarstellung 273
Adjudicator 190, 194
AE 122
Agent 63, 90, 100, 112, 120, 140, 161, 166, 168, 175, 181, 184, 187, 189, 193, 199, 202, 204, 206, 209, 211, 305, 311
adaptiver 120
autonomer 254
Environment 122
Geschwister 167
Intelligenter 69, 99, 113, 114, 119, 156, 310
mobiler 95, 120, 157, 189, 201, 204, 312
-oriented System Engineering 123
Stellvertreter- 193, 199, 204, 209
Agent0 123
Agenten
-architektur 126
skalierbare 123
-aufenthaltsumgebung 122
-autonomie 223
-definition 112
-entwicklungsumgebung 123
-hülle 120
-klon 206
-kommunikation 116, 177
-migration 126, 187
-orientierte

Analyse 64, 124
Designphase 124
Technologie 63, 189
-programmierung 123, 126
-slot 172, 189
Agent-Oriented Technology 63
Agora-System 140
Aktives Netz 311
Aktor 112
Alert Nachricht 90
Algorithmus 64, 95, 253, 265, 270, 280, 288, 296
Bellmann-Ford-Moore 273, 304
MGW- 273, 279, 288, 297, 300, 302
PD- 278, 294, 303, 305
TG- 275, 279, 298
von Prim 299
Walrasche 144
Allianz 184
Allokations
-effizienz 138
-verfahren, marktbasiertes 252
Amadeus 130
Anbahnungskosten 132
Anbieterpool 157
Angebot 97, 100, 105, 130, 143
aggregiertes 135
initiales 240
verdecktes 136
Angebots
-spektrum 158
-vektor 234
Ankunftsrate, Poisson-verteilte 106
Annonce 171
Anpassungs
-kosten 132
-schicht 71, 77
Anrufsteuerung 87
ANS 90
Answer Nachricht 90
Antwortzeit 127, 221
Anwendungs
-dienst 90
-domäne 112, 138
-schicht 73, 76, 172
AOA 124
AOD 124
AOSE 123, 127
AOT 63, 90, 93, 120, 123, 126
Applikations
-arbeiter 144
-bereich 126
-manager 144
AR 92
-System 103
-Verfahren 92
Arbitrageeffekt 107
Arbitrageur 150
Arbitrator 190, 208
Architektur 99
Client/Server- 139
AS 120, 124
Assemblierschicht 77
Asynchroner Transfer Modus 60
Asynchronität 138
Asynchronous Time Division Multiplex 73
AT&T Bell Labs 73
ATD 73
ATM 60, 62, 69, 72, 76, 78, 80, 98, 107, 152, 212, 309
-Dienstklasse 77
-Endsystem 80
-Forum 62, 65, 73, 80, 86, 165, 258, 265
-Netzwerk 69, 83, 107, 147, 151, 161, 211, 219, 222
marktbasiertes 64
privates 108, 265
-Schicht 76
-Switch 64
-Technologie 64, 73, 154
-Verbindung 310
-Vermittlungsstelle 64, 83, 187
-Zelle 76, 81
Attribut 124, 141, 155, 171, 182, 188, 211, 250, 254, 262
administratives 263
akkumulatives 264, 268
verkehrsbeschreibendes 263
AuctionBot 140
Audio
-daten 97
-dienst 74
Auditing 199, 209, 311
Auktion 101, 105, 134, 140, 144, 161, 253, 310
Delta- 101
Diskriminierende 136
Doppel- 105, 136, 142

Englische 135, 140, 223
Geheime 136
Holländische 136, 223
Mehrfach- 102
Vickrey- 142, 143
Auktionator 99, 105, 135, 142, 161, 253
Ausfallsicherheit 125
Aushungern, zeitliches 247, 255
Auslastung 62, 98, 104, 143
Auslastungsvarianz 98
Ausschreibungsverfahren 104, 118
Auszahlungs
-raum 245
-vektor 245
Authentifikation 133, 157, 167, 174, 187, 189, 190, 196, 198, 199, 201, 203, 204
Automat, endlicher 162
Automatenmodell 206
Autonomie 119, 125
Autorisierung 133, 157, 174, 187, 196, 200, 204, 206
Available Bit Rate 74
AvAS 264
AvCR 263
AvCSC 264
AvVC 264

B

Backboneverbindung 219
Back-End 139
Backtracking 96, 107, 299
Bandbreite 61, 70, 74, 76, 78, 81, 91, 97, 101, 104, 138, 154, 159, 161, 171, 184, 189, 255, 268
Bandbreiten
-kapazität 101
-kontingent 61
-umsatz 222
Barausgleich 145
Basic Access 70
Basis
-anschluß 70
-vektor 237
BCC 87
BCOB 152
Bearer Connection Control 87
Bearer Service 60
Benutzer
-schnittstelle 71
-stellvertreter 122
Beschleunigungsfunktion 216
Bewegtbild 71
Bewertungs
-funktion 311
Bewertungsfunktion 171, 254, 267, 269
Bezahlungssystem 195
B-ICI 80
Bilanzdefizit 103
Bildübertragung 70
Billing 133
Bindeinformationen 141
B-ISDN 59, 69, 76, 172, 258, 261
Bit
-fehler 77
-rate 73, 79, 183
konstante 73, 78
variable 70, 74, 78
Blockwahl 89
B-LT 72
B-LT/E 72
Blue Money 142
B-NT1/2 72
Border
-Link 87
-Nodes 84
Börse 134, 138
elektronische 130
Schweizer 139
Börsen
-geschäft 140
-händler 139
-system 139
Break-Out 149
Breitband
-anwendung 70
-dienst 69
-netz 88, 186
Breitensuchbaum 280, 297
Breitensuche 300
Broadband
-Connection Oriented Bearer Service 152
-Inter Carrier Interface 80
-Line Termination 72
-Network Termination 72

-Termination Adapter 72
-Termination Equipment 72
Broadcast 170
Broker 61, 173, 179
B-TA 72
B-TE1/2 72

C

CA 196, 202, 203
CAC 86, 162, 266
Call
-Agent 105
-by-Call 148
Control 87
Gapping 165
Proceeding Nachricht 89
Progress Nachricht 90
Termination Charge 93, 103, 106
Callback
-Anbieter 149
-Dienst 148, 150
-Verfahren 150
Capability-Set 2 87
Cash-Flow 215
CATI-Projekt 101
CBR 73, 182, 262
CC 87
CCSS7 222
CDV 79, 183, 263
CDVT 183
CEC 60
Cell
-Delay Variation 79, 183
-Delay Variation Tolerance 183
-Error Ratio 79, 183
-Loss Ratio 79, 183
-Misinsertion Ratio 79
-Transfer Delay 79, 183
CER 79, 183
Certification Authority 198
Challenger Agent 96, 97
Charging 133, 208
Child Peer Group 84
Circuit Switching 74
Clearing 139, 195
-stelle 137
Clearwater, E. 142
CLP-Flag 88, 263
CLR 79, 183, 263
CMR 79
CN 149
CNET 73
Collection Charge 92
Computational Ecologies 142
Computer
-netzwerk 107
-Reservation Systems 130
-verbund 96
Connect
-Acknowledge Nachricht 90
-Nachricht 90
Connection
Admission Control 86, 107, 153
Control, progressive 261
Constant Bit Rate 73
Constraint 141
Content 100
Contract-Net 97, 104
-Protokoll 143
Convergence Sublayer 77
Conversational Services 70
Corporate Network 149
CPE 89
CPG 90
CPU
-Zeit 96, 104, 144, 312
-scheibe 144
Crankback 69, 86, 107, 186, 261
CRC
-Prüfsumme 76
-Verfahren 79
CRL 202
Cross-Connect 83
CRS 130
CS 77
CS-2 87, 172, 258
CSP 141
CTD 79, 183, 259
CyberCash 195

D

DAI 112, 117, 127
DARPA 116
DASEDIS 126
Datagramm 83
Daten
-authentifizierung 197
-bank 70, 119, 125
-dienst 74
-feld 75
-kommunikation 148
-redundanz 121
-übertragung 74, 75, 81
-verkehrsklasse 73
Dauerzellrate 79
DC 205, 207
Delay Jitter 73
Delegation Certificate 205
Deltavektor 235, 237, 239, 251
Demultiplexen 72
Denial of Service Attack 192, 206
Deregistrierung 187
Deregulierung 60, 91, 148, 309
Deserialisierung 122
Designated Transit List 86
Deutsche Terminbörse 130
Devisen 138
Dialog 116, 121, 177
-ablauf 126
-führung 118
Dienst 60, 70, 73, 76, 90, 99, 100, 108, 140, 172, 174, 182, 188, 191, 204, 254, 309
-attribut 141
best-efford 101
differenzierter 101
-güte 77, 96, 98, 108, 162, 164, 170, 171, 220, 260, 273
-anforderung 78, 86, 155, 258, 312
-kombination 310
-kriterium 78, 83, 172, 182, 258, 260, 265, 267
-parameter 59, 62, 73, 89, 95, 310
integrierter 101
-kategorie 69, 86, 258, 262, 265, 268
-klasse 73, 77, 83, 89, 101, 102, 182, 265
-modell, erweitertes 141
multimedialer 60, 70, 78
-objekte, kooperierende 141
skalierbarer 141
-verkehr, grenzüberschreitender 93
DigiCash 195
Diskontfaktor 248, 249
Distributed
-Artificial Intelligence 112
-Problem Solver 114
Distribution Service 70
Divergenz 240
DNHR 155, 261
Dokumentenübertragungsdienst 70
Domänenwissen 124, 125
DoS 192, 206
Double Auction 100, 136
Download 151
DPS 114
Drexler, K. 142
D-Serie 93
DSS2 89, 186
DTL 86, 87, 258, 265
-Stapel 87
Duplexverbindung 155
Durchsatzkontrolle 165
Dyopolsituation 217

E

Ebenenmanagement 77
ECash 195
Echtzeitfähigkeit 101
EDI 130
Effekten 138
Eingangsstufe 89
Einwegfunktion 197
Electronic Data Interchange 130
Electronic Negotiation 140
End
-gerät 72, 89
-system 81, 94
-verbindung 61, 64, 105, 153, 166, 182, 257, 259, 264, 268
English Auction 135
Entscheidungs
-kriterium 240, 242

frühes 211, 242, 256
-prozeß 121, 134, 241, 246, 257, 277
-situation, strategische 244
Entschlüsselung 198
Entwicklungsumgebung 126
Entwurfsprozeß 123, 125
E-Operator 303
Ereignis 113, 119, 125
externes 115, 127
Ergebniskonvergenz 220
Erinnerungsvermögen, perfektes 244
Europäische Gemeinschaft 60
Expertensystem 112, 125
Expertise 95, 125, 168
-anteil 126
lokale 94

F

Facility-based Interconnection Payment 93, 103, 106, 309
Fairneß 64, 188, 211, 262, 310
Fallinie 234
Fast Paket Switching 81
Fehler
-behandlung 127, 174
-management 174
-toleranz 63
-wahrscheinlichkeit 162
Fernsehdienst 71
Festverbindung 73
Filter 101
Filterung 268
Finanz
-börse 138
-markt 138
-produkt, derivates 139
-transaktion 131
Fingerabdruck 197
Finin, T. 181
FIPA 116
First-Price Auction 136
Flugbuchungssystem, elektronisches 130
Fluß
-kontrolle 74
-spezifikation 101
Frame
-rate 78, 97
-Relay 74, 81
-Switching 74
FreeWalk 97, 104
Freiheitsgrad 102, 122, 167, 185, 217, 242, 248, 305
strategischer 158, 184, 216, 221, 244
Freizeichen 150
Front-End 139
Fungibilität 138, 161
Funkionsredundanz 121
Future 130, 139

G

Galileo 130
Gantt-Chart 143
Gateway 63, 154
-markt 154
-platz 64, 209, 310
GCAC 86, 258, 266
GCRA 165
Gebiet 213, 227, 236, 240, 243
Gebühren 103, 166, 184, 191, 194
-aufteilung 194
-pflicht 166
-strategie 91
-struktur 309
-takt 151
Geld 96, 141, 151, 187
elektronisches 195
-karte 195
-kurs 137
-transfer 138
-wert, realer 108
Generic
-Cell Rate Algorithm 165
-Flow Control 76
Geschäfts
-nummer 140
-prozeßmanagement 254
-transaktionen 140
Gewichtungsvektor 62
GFC 76, 81
Gibney, M. 99, 105, 161
Glasfaser 74, 81
Gleichgewicht 98, 144, 249, 252

teilspielperfektes 248
Gleichgewichts
-lösung 245, 256
-wert 249
-zustand 143
GM 154, 157, 161, 166, 168, 172, 176, 189, 192, 199, 202, 204, 206, 208, 211, 217, 255, 257, 259, 262, 264, 273, 275, 310
Gradient 224, 228, 233
Gradienten
-berechnung 234
-richtung 236
-suche 234
-verfahren 242
Graph 257, 270, 271, 273, 275, 278, 298, 302
gerichteter 269, 304
gewichteter 269
reduzierter 269
zyklenfreier 299
Green Money 142
Grenz
-knoten 84
-kosten 245, 255, 256
-funktion 216, 233, 240, 243
maximale 241, 246
minimale 246
-preis 235, 236
Gruppenknoten 87
GSM 91
Güte
-kriterium 62
-parameter 79
Güter 97, 102, 130, 134, 138, 144, 147, 152, 171, 181
fungible 138
-handel 144
inhomogene 140
institutionalisierte 145
vertretbare 134
Gyires, T. 94, 104, 106

H

Halbebene 237
Handel 99, 134, 138, 141, 158, 181
24-Stunden- 138
automatisierter 140
elektronischer 129, 139, 310
fortlaufender 139
Handels
-dienstleistung 139
-form 135, 139, 145
-plattform 139, 154, 155
-system 138, 139
-volumina 145
Händler
-bonität 134
-versammlung 134
Harmonisierung 60
Hash 196, 208
-berechnung 197
Header 75
Error Control 76
HEC 76
Hello
-Paket 84
-Protokoll 84
Heuristische Funktion 107
Hewitt, C. 112
Hoare-Kalkül 279
Höhenlinie 228
Hostsicherheit 189
Hyperebene 237

I

IA 91, 94, 97, 104, 134
IAA 89
IAM 89
IBIS-Aktiensystem 139
Identifikation 189, 193, 195, 196, 204
Identität 195, 196, 200, 204, 207, 209
Identitätsnachweis 204
Idle Cells 76
illokutionär 116
Imperativ, semantischer 116
Implementierung 312
Information 59, 70, 73, 79, 87, 95, 125, 131, 141, 157, 161, 168, 170, 171, 173, 174, 177, 182, 184
lokale 98
perfekte 244
unvollständige 132, 244
vollständige 132
Informations

-phase 130, 133, 138, 145, 151, 168, 182, 221
-recherche 173
-system 111, 131
-technologie 111, 130
-übertragung 78
Initial
-Address Acknowledge 89
-Address Message 89
Instanz, autonome 124
Institutionalisierung 134
Integrität 190, 194, 199
Intelligenz
individuelle 113
kollektive 113
Intention 116, 120, 142
Inter
-agentenkommunikation 124, 202
-aktion 63, 114, 120, 125, 152, 179, 190, 201
-aktions
-protokoll 143
-strategie 114
-bankenbereich 138
-Carrierbereich 164
-lingua 116
-mediär 105, 134
-operabilität 116
Internet 83, 100, 129, 135, 140, 145
-auktion 140
-verkehr 266
Invariante 288
ISO/OSI-RM 76
Isochronität 73
ITU 59, 70, 83, 93, 152, 261
-Empfehlung 153, 172, 182, 186, 210, 258

J

Jennings, N. 161, 170
JIAC 123
-Architektur 126
Jitter 59, 101
Job 104, 106

K

Kalibrierung 127
Kalibrierungsphase 124
Kanal 76
logischer 74, 116
virtueller 83
Kanonische Form 117
Kanten
-anzahl 303
-folge 269, 271, 273, 275
-gewicht 270, 274
-gewichtungsfunktion 274
Kapital 255
-anforderung 137
-umschlag 184
Kaplan, J. 140
Kartell 219
Kasbah 138, 141
Kassahandel 139
Kauf 134
-agent 105, 141
-auftrag 139
-kurs 137
-preis 144
Käufer
-markt 219
-verhalten 311
Key Distribution Center 196, 198, 202
KI 112, 117
Klingelzeichen 90
Klon 157, 167, 194, 207
Knappheitseigenschaft 147
Knoten 84, 86, 96, 103, 258, 270, 273, 275, 277, 280, 288, 294, 297, 302
logischer 84
virtueller 84
-zustandsvektor 263
Kollisionsfreiheit 197
Kommunikation 98, 104, 115, 117, 121, 127, 153, 156, 160, 171, 191, 202, 209, 214
asynchrone 112
linguistische 116
Kommunikations
-bandbreite 122
-dienst 90
-fähigkeit 115, 119
-netz 129, 138, 210
-profil 151
-ressource 61, 151
-richtung 73

-sitzung 81, 198
-slot 203
-system 59, 63, 78, 108, 145, 151
digitales 70
-technologie 131
-verhalten 62
Kompensationszahlung 93
Komplexität 64, 77, 108, 111, 125, 134, 144, 240, 250, 251, 256, 278, 302, 305
Komprimierung 78
Konferenzsystem 97
Konfigurierbarkeit 118
Konflikt 126
-behandlung 119
-vektor 245
Konformanzbedingung 165
Konkurrent 91, 98, 104, 218
Konkurrenz 103, 141
-druck 60
-verhältnis 218
Kontrakt 61, 105, 137, 159, 170, 180, 187, 207, 222, 230, 240, 242, 251, 255, 256
-ID 212
-kombination 139
-laufzeit 61
Kontroll
-agent 181
-agentenpool 163
-instanz 255
-kosten 132
-system 64
marktbasiertes 145
Konvention 117, 176, 217, 222, 228, 256, 310
Konvergenz 144, 171, 211, 226, 240, 256
gerichtete 220
-geschwindigkeit 216
globale 231
partielle 240, 247, 255
-schicht 77
unbedingte 242
-verhalten 234, 240
vollständige 240
Konversationsdienst 70
Konvexität 224
Konzession 217, 226
Kooperation 91, 97, 114, 117, 127, 129, 167, 175, 184, 194, 201, 210, 214
Kooperations
-beziehung 63, 125, 163
-protokoll 118, 126, 155, 168, 172, 173, 179, 181, 188, 210, 256
-vereinbarung 219
Koordination 114, 117, 127, 144, 175, 177, 253
Koordinations
-bedarf 127
-beziehung 125
-leistung 129
-mechanismus 138
-schema 117
-strukturen 142
Kopffeld 75
-bearbeitung 164
Koppelfeld 73, 89, 165
Korrektheit 262, 278, 305
partielle 279, 296
vollständige 279, 296
Kosten 62, 94, 95, 99, 194, 265, 268, 273, 278, 303, 311
-abschätzung 94, 104, 278
-absprache, bilaterale 93
-funktion 188, 225, 240, 269, 273
minimale 296
-optimalität 269
-optimierung 263, 310
-schwellwert 107
KQML 116, 177
Kreditkartensystem 140, 195
Kreuzkoppler 83
Kryptografie 195, 198, 204
Kuchenteilungsproblem 246
Kunden
-agent 158, 165, 184, 187, 222, 225
-ebene 99
-ID 212
-pool 157, 161, 172, 176
Künstliche Intelligenz 112
Kurzzeit
-schlüssel 204, 209, 212
-zertifikat 207
Kuwabara, K. 98, 104, 105, 160

L

LA 164
LAN 73, 81

Landeszentralbank 140
Langzeit
-geheimnis 204
-schlüssel 198, 204, 205, 207
-zertifikat 204
Last 143
-balance 63, 91, 103, 106
-kontrolle 158
-profil 63
-verhalten 106
-verteilung 100, 143
Laufzeit 97, 126, 143, 299, 301, 303
-abschätzung 302
-analyse 300
-umgebung 122, 206
-verhalten 127
asymptotisches 303
optimales 121
-zustand 120, 122
Lazar 102
LCAC 161
LCR 148
-Algorithmus 149
-Box 148, 151, 311
Leadership Priority 84
Leaky-Bucket 165
Least Cost
-Router 148
-Routing 106
Leerzellen 76
Legacy System 120
Legitimierung 195, 205
Leitungs
-abschluß 164
-qualität 74
-verbindung 74, 91
-vermittlung 74
LEX 89
LGN 84
Liberalisierung 60, 62, 91, 92, 148, 150, 309
Linearkombination 217, 255
Link 84, 95, 99, 157, 163, 165, 167, 172, 186, 188, 259, 264, 273, 281, 303
-Agent 100, 105
-bandbreite 162
gerichteter 268
günstigster 261, 303
horizontaler 85
-kosten 268, 276, 277
logischer 84
-state
-attribut 108
-datenbank 262
-information 262
-vektor 133, 174, 188, 262, 264, 268
Liquidität 137, 139, 145, 158
LN 84
Lockruf 149
Loggingdaten 209
Logical
-Group Node 84
-Link 85
lokutionär 116
London Stock Exchange 137
Loop 107
LSE 137

M

MacKie-Mason, J. 102
Maes, P. 104, 105, 114, 141
Makeln 170, 188
Makler 134, 173, 179, 182
Malone, T. 138, 143
Management 77
-ebene 71, 77
-information 72
Market Maker 134, 137
Market-Based Control 142
Market-Oriented Programming 144
Markt 61, 99, 130, 132, 135, 137, 141, 144, 151, 158, 244, 311
-ebene 99
-eintrittsbarriere 158, 311
Elektronischer 64, 129, 133, 138, 145, 151, 189, 208, 310
im engeren Sinne 131
im erweiterten Sinne 131
-etikette 176
geschlossener 253
-hierarchie 152
illiquider 137
-konvention 64
künstlicher 138, 144
liberalisierter 69, 93

-metapher 97
-modell 152, 160
offener 96, 99, 108, 155
oligopolistischer 91, 103, 158
-platz 99, 105, 131, 133, 141, 154, 160, 172, 184, 190, 202, 218, 221, 256
Elektronischer 63, 122
-manager 64, 157, 160, 187, 190, 227, 229
web-basierter 141
primärer 152
-prinzip 310
-regel 222
sekundärer 152
-struktur 63, 106, 129, 133
hierarchische 144
zentralisierte 105
-system
ektronisches 129
elektronisches 138
künstliches 142
-teilnehmer 142, 151, 190
-transaktion 131, 151, 174, 310
-transaktions
-modell 169
-phase 177, 209
-transparenz, vollkommene 132
unvollkommener 132
verteilter 104, 133, 252
vollkommener 132, 138
MAS 114, 141, 160
Matsuyama 71
maxCR 263
maxCSC 264
maxCTD 263
MaxiMin-Lösung 246
Maximum 224, 243
-Burst Size 79
-Burst size 183
dominierendes 256
globales 224, 240, 241, 243
lokales 235, 240
MaxMin-Prinzip 147
MBS 79, 183
MCAC 161, 266
MCR 183
MD5 197
Medien
-bruch 132
kontinuierliche 73
Meeting Space 97, 104
Mehrwertdienst 60, 141
Message Service 70
Metasignalisierung 89
Metering 133
MGW
-Routing 311
Migration 122, 174, 199, 201, 204, 206, 221, 222
Miller, J. 98, 105, 106, 142
Millicent 195
Mindest
-kosten 241
-preis 135, 141
-schrittweite 251
Minimum 224, 243, 269, 272, 278, 303
-Cell Rate 183
dominierendes 256
globales 224, 240, 243
lokales 235, 240
-suche 278, 294
MIT 112, 141
MM 163, 168, 188, 204, 206, 229, 231, 232, 263, 266, 268
MMU 203
MOBAG 95, 103, 107, 157, 160, 166, 170, 172, 174, 192, 194, 199, 201, 204, 206, 209, 255, 257, 260, 264, 267, 273, 276, 299, 305
Modem 148
Modify-Message 172
Modularität 118, 121
Monitorkonzept 168
Monopol 218
-charakter 219
-situation 217
Monopolist 218
Monotonie 288
-konvention 255
strenge 226, 243
MPEG-Klasse 78
M-Schätzfaktor 104
Multiagentensystem 96, 114, 151
Multicast
-routing 168
-Verfahren 97
Multimedia
-dienst 59, 70

-integration 60
Multiplexen 72, 83

N

Nachbedingung 279
Nachfrage 98, 100, 104, 130, 134, 137, 143
-funktion 253
-überhang 253
-vektor 252
Nachrichten 112
-anteil 116
-dienst 70
-quelle 76
-verzögerung 106
NASDAQ 137
Nash
-Gleichgewicht 246, 248
-Lösung 246, 256
-Produkt 246
NDA 231
Net Settlement Payment 93
NetBill 195
NetCash 195
NetCheque 195
Nettonachfrage 253
Network
-Network Interface 80
-Parameter Control 164
Netz 62, 64, 72, 76, 78, 83, 92, 93, 95, 103, 106, 152, 159, 167, 305
-abschlußeinheit 72
-betreiber 93, 151, 163
breitbandiges 60
geschaltetes 80
-knoten 62, 72, 80, 81, 95, 310, 311
leitungsvermittelndes 91, 99
paketvermittelndes 91
-peripherie 74
-schnittstelle 69, 71, 76, 259
-struktur 70, 80, 188
hierarchische 261
logische 81, 83
physikalische 84
-topologie 95, 153, 160, 218, 259, 265
-traversierung 101
vermaschtes 80
-verzögerungszeit 107
-werk 61, 83, 87, 94, 99, 103, 106, 108, 142, 147, 151, 155, 167, 174, 185, 209, 218, 262, 277, 311
-ebene 61, 62, 76, 102, 108, 151
-graph 275
gewichteter 268
reduzierter 268, 273
-management 63
-markt 64, 69, 177, 312
öffentliches 72, 80
-parameterkontrolle 164
privates 72, 80, 83
-ressource 104, 152
-sicherheit 189
-technologie 69, 91, 309
-zugangsknoten 108
-zustand 98, 259
Neuenhofen, K. 95, 103, 106, 107
Neuverhandlung 172, 175, 188
New York Stock Exchange 136
N-ISDN 59, 70, 87, 88
Niveau
-hyperfläche 236
-linie 234
NM 137
NNI
-Schnittstelle 80
-Zelle 76
-Zellkopf 81
Nodestatevektor 133, 184, 188, 263, 264, 266
Nonrepudiation 190
N-Operator 289, 302
Notar 134, 173
NPC 164
nrt-VBR 262
Null
-summenspiel 244
-vektor 246
numVC 263
Nutz
-daten 75, 76, 78, 88, 90
-kanal 72, 89
Nutzen 215, 240, 245, 247, 250, 256
-funktion 98, 144, 215, 245, 249, 252
Nutzerebene 71
Nutzungs
-phase 169, 172

-zeit 91, 166, 173, 180, 260, 263, 268
NYSE 136

O

Offenheit 111, 116, 120
Offline 265
-berechnung 258
-fähigkeit 122
Ökonomie 130
On-Air-Time 91
ONP 60, 309, 310
Onsale 135, 138, 140
Ontologie 117, 152, 155, 173, 181, 210
Common- 117
Open
-Agoric Systems 142
-Network Provisioning 60
-Systems Interconnection 62
Optimalität 64, 211, 240, 244, 256, 262, 269
Optimalitäts
-bedingung 294
-kriterium, globales 299, 304, 311
-prinzip 270
Optimierung 301
Optimierungs
-problem 252
-prozeß 253, 268
-theorie 224
Option 130, 139, 166
Order 140
-buch 139
-größe 139
-plazierung 139
-routing 139
OSI 62
-RM 90
-Schicht 76
OSPF 262
Oszillation 94, 98, 106, 142, 188
Oszillations
-effekt 98
-problem 160
OVUM-Studie 111

P

Packet Switching 74
Paket 75, 78, 91, 101
-länge, variable 75
-strom 101
-vermittlung 74, 81
Paradigma 112, 142
Parameter 214, 216, 220, 224, 226, 228, 234, 255, 268
-bereich 223, 224, 242
-dimensionen 239, 251
formatorientierter 78
-konvergenz 233, 242
performanzorientierter 78
-raum 213, 237, 242, 245
mehrdimensionaler 255
-synchronisationsorientierter 78
-vektor 214, 219, 223, 235, 236, 239, 242, 244, 246, 248
Parent Peer Group 84
Pareto-Optimalität 98, 247, 253
Payload 75
-länge 79
-Type 76
PBX 81
PCAC 161, 266
PCR 79, 183
PDA 114, 120
PDP-11 143
Peak Cell Rate 79, 165, 183
Peer-Group 84
-Leader 84
-Election 84
Performativ 116, 177
perlokutionär 116
Personal Digital Assistent 114
Pfad 62, 77, 86, 95, 96, 108, 161, 167, 174, 186, 194, 257
-agent 100, 105, 161
-marktplatz 100
-route 83
-suche 194
virtueller 83
PG 84, 86
PGL 84, 86
PGLE 84

PID 264
PKI 202
Plan 116, 305
  globaler 94, 160
  lokaler 94, 160
Planungs
  -horizont 153
  -problem 305
  -prozeß 94, 257
Platform Trust List 201
Plattform 192
  -anbieter 191, 192, 201, 206, 311
PNNI 85, 188, 262
  -Empfehlung 83, 258
  -Protokoll 263
  -Routing 62, 64, 83, 107, 108
  Topology State
    -Element 84
    -Paket 84
Policy 159, 197
Polypolsituation 217, 219
Port 163
Preis 105, 226
  -abschlag 215, 241, 255
  -abschlagsfunktion 244, 245, 247, 248
  -änderungsverhältnis 238
  -anpassungs
    -prozeß 252
    -strategie 141
  -aufschlag 216, 241, 243, 248, 251, 255
  -aufschlagsfunktion 244, 247, 248
  -bildung 61, 98, 102, 106, 137, 139, 160, 255, 260, 310
  -bildungs
    -mechanismus 103, 134, 252
    -prozeß 99, 135
    -regel 223
  -elastizität 102
  -funktion 211, 213, 215, 217, 220, 223, 226, 233, 235, 239, 241, 244, 247, 253, 255, 311
    lineare 99
    mehrdimensionale 310
    monotone 255
    orthogonale 255
    stetige 213
  -gestaltung, faire 310
  -gradient 229, 243
  -konvergenz 216, 233, 242, 253, 255, 310
    strenge 226, 243
    unbedingte 243
  -modell 310
  -niveau 311
  -oszillation 144
  -plateau 236
  -reduktion 243, 248, 250, 256
  -strategie 103, 106, 108, 256, 311
  -theorie, neoklassische 130
  -übereinkunft 215, 240
  -vektor, initialer 253
  -verfall, zeitlicher 248
  -verhandlung 140, 215, 224, 249, 253, 258
    automatisierte 104
    vertikale 225
Primäranschluß 70
Primary Access 70
Private Branch Exchange 81
Problem
  -erfassung 124
  -expertise 125
  -löser 112
  -lösung 165
    kooperative 121
    verteilte 118
  -lösungs
    -methode 168, 179
    -prozeß 93, 115, 126, 168, 179, 185
      klassischer 118
  NP-vollständiges 91, 142
  -transformation 143
  -verteilung 118
  -zerlegung 118, 119, 121, 126
Product-Brokering 138, 140
Produkt
  -katalog, elektronischer 140
  Nash- 246
  -substituierbarkeit 144
Produktions
  -funktion 98, 252
  -plan 252
  -zeiten 142
Programm
  -logik 117
  -verifikation 298
Programmier
  -modell 112, 126
  -paradigma 127
  -system 144

Programmierung, marktorientierte 90
Protokoll
anwendungsspezifisches 118
Contract-Net- 126
generisches 118
IP- 101
-referenzmodell 69, 71, 76
Provider 100
-ID 263
-kennzahl 148
Prozeß 97
elastischer 122
kognitiver 118
-umgebung 122
Prozessor 96, 111, 122, 124, 143
-auslastung 97
-Idle-Zeit 143
-umgebung 120
-zeit 138
Prüfberechnung 196
Prüfsumme 196, 197
PT 76
PTSE 84
PTSP 84
Public Key Infrastructure 196
Public UNI 80
Puffer
-auslastung 163
-kapazität 62, 163
Punkt-zu
-Mehrpunkt-Konfiguration 73
-Punkt-Konfiguration 73

Q

QoS 59, 161, 163, 258, 260, 304
-Routing 258
-Vektor 101

R

RA 94
Rahmen
-struktur 76
-taktung 76
Rationalität 132, 142, 152, 212, 214, 243, 247, 256
RCC 84
Reaktivität 119
Rechen
-job 96
-zeit 91, 96, 101, 104, 279, 299
Rechner 96, 124, 143
-knoten 120
-netzwerk 138
-verbund 97
Referenz
-modell 62, 71
-punkt 72
-zähler 168
Reflexion 116, 120
Regel 117, 135, 139
Registrierung 187
Regulierung 164
ReKoS 126
REL 90
Release
-Complete Nachricht 90
-Nachricht 90
Replay-Attacke 206
Replikation 206
Request-Phase 143
Rerouting 163, 258, 261
Reserve Price 135
Reservierungs
-bestätigung 166
-mechanismus 151
-system 130
Response-Phase 143
Ressourcen
-auslastung 103, 105, 107, 160
-konflikt 162
-koordination 138
-management 153, 157, 185, 186, 260
-Manager 144
-markt 98, 133, 147, 151, 152, 189, 209, 311
-platz 211, 212, 257
-sharing 167, 188
-verbrauch 98, 104, 144
-verteilung 62, 142, 163, 222
koordinierte 145
marktbasierte 98
Retailers 190
Retrieval Services 70

Richtungs
-ableitung 235
-vektor 238
RLC 90
RM 172
Rolle 60, 113, 142
Round Trip Time 150
Route 64, 83, 86, 94, 104, 167, 193, 207, 258, 262, 265, 277, 304
alternative 87, 95
hierarchisch komplette 86
Least Cost 148
vorberechnete 69, 83, 86
Routenberechnung 86, 106, 174, 186, 188, 258, 262, 265
Router 81, 93, 95, 101
Routing 61, 69, 83, 102, 106, 108, 147, 152, 155, 174, 257, 261, 266
-agent 94
-algorithmus 96, 268
Alternate 69, 107, 261
-Control Channel 84
-dienst 188
Dynamic Non Hierarchical 261
dynamisches 261
Hop-by-Hop 85, 107, 265, 266
IA-basiertes 93
kostenorientiertes 106
marktbasiertes 63, 99, 258
-plan 258, 305
PNNI- 62, 266
-protokoll, linkstatebasiertes 262
-prozeß 62, 69, 83, 85, 106, 160, 264, 268, 310
QoS-basiertes 83, 260, 268, 304, 310
-tabelle 161
-verfahren 62, 95, 268
linkstate-basiertes 106
RSVP 101
rt-VBR 182, 262

S

SA 202, 203, 208
SAAL 77
Sabre 130
Safety 189
SAR 77
Scanebene 300
SCCC 89
SCCR 89
SCCS 89
Scheduler 117
Scheduling
-algorithmus 142, 162
-kontroller 162
-protokoll 143
Schicht, physikalische 71, 76
Schichten
-management 77
-modell 99
Schiedsinstanz 190
Schlüssel 166, 203
asymmetrischer 198, 204
ephemeraler 198
geheimer 196, 198, 204, 209
öffentlicher 196, 198, 201, 204, 205
-paar 205
symmetrischer 198
-übermittlung 198
-verteilzentrum 196, 198
-verwaltungsinfrastruktur 196
Schwarzsche Ungleichung 238
Schweizer Nationalbank 139
Schweizerische Effektengiro 139
SCL 204
SCM 204
SCR 79, 183
SDH 76
Sealed Bid Auction 136
Searle, J. 116
Security 64, 189
SEGA 139
Segmentierschicht 77
Sender keeps all 93, 103, 106, 309
Sensing 115
Sequenzdiagramm 170
Serialisierung 122
Service Control Lists 204
Service Control Mechanisms 204
Service-ID 212
Service-Ticker 99, 105
Settlement Rate 92
Setup-Nachricht 89, 259
SHA1 197

Shared Memory 116, 193
SHSA 95
Sicherheit 205, 311
Sicherheits
-agent 191, 201
-algorithmus 201
-anforderung 133, 191, 195, 198, 311
-dienstleistung 201, 202
-hürde 197
-infrastruktur 133, 189, 200, 210
-lücke 197
-modell 311
-überprüfung 196
Sicherungsprotokoll 203
Sichtguthaben 138
Signalisierung 64, 69, 72, 82, 87, 172, 174, 258
Signalisierungs
-daten 75
-empfehlung 87
-instanz 258
-kanal 70, 88, 89, 98, 160, 203, 222
-nachricht 101
-netz 160
-prozeß 77
-schicht 222
-system 222
-verbindung 77
Signalkodierung 76
Signalling Channel
Connection Control 89
Connection Release 89
Connection Setup 89
Signatur 197, 203, 204, 208
-gesetz 204
-prüfdienst 203
Simulation 98, 106
Skalarprodukt 237
Skalierbarkeit 64, 80, 211, 220, 310
Smart Market 102
Smith, A. 142
SNB 139
Soffex 138
Source
-route 85, 186, 258, 265
-routing 261
dynamisches 257
Spawn 143, 144
Speechact-Broker 126
Speicher
-bereich, gemeinsamer 116
-einheit 111, 301
-platz 124, 299
-bedarf 95, 279, 303
-wort 301
Speicherplatz 312
Spieltheorie 244
Spitzenzellrate 79
Split-Charging 101
Spotmarkt 61
Sprach
-dienst 70, 74
-kommunikation 148
-übertragung 75
Sprache, modallogische 123
Sprechakt 116, 126, 170, 177, 192, 199, 203, 206, 210
-theorie 116
SR 92
SSL 203
Standardmarkttheorie 130
STD 73
Steigungs
-linie 234
-verhalten 216, 236, 239
-verhältnis 236
Sternkonfiguration 73
Steuer
-ebene 71
-information 75, 81
Stichprobe 101
Strategie 103, 141, 157, 160, 184, 187, 214, 217, 239, 245, 247
-bildung 229
-kombination 245
-parameter 225, 248
-raum 245
Subnetz 81
Substituierbarkeit 215, 245, 253
Such
-dienst 70
-raum 239
-verfahren 233
zweiseitiges 227
Suche
Breiten- 280
gradientenbasierte 235, 256
Tiefen- 96

Sustainable Cell Rate 79, 165, 183
Swiss Exchange 139
Switch 75, 79, 83, 89, 133, 154, 162, 183, 209, 266, 312
-kapazität 161, 264
Brutto- 264
-ressource 162
-technologie 162
Switched Network 80
SWX 139
Synchrone Digitale Hierarchie 76
Synchronisation 73, 117
Synchronisationsbedingung 79
Synchronous Time Division 73
System
agentenbasiertes 112, 119, 120
agentenorientiertes 200
biologisches 142
C/S- 122, 126
DPS- 114
Enterpise- 143
-entwurf
agentenorientierter 120, 123, 127
marktorientierter 91
intelligentes 114
KI- 117
-kontrolle
globale 142
verteilte 138
lebendes 124
marktorientiertes 91
Mono-Agenten- 114
offenes 76, 125, 127, 138, 142, 156, 240
orthogonales 234
-performanz 312
Pre- 124, 127
verteiltes 113, 116, 122, 189
-zuverlässigkeit 189

T

Takt 79, 111
Taktik 254, 255
boulware 254
zeitabhängige 254
Tarif 60, 63, 93, 148
-abkommen 61
-struktur 60, 62, 149
Task 143
-Assignment-Phase 143
-Sharing 118
TC 76
TCP/IP-Protokollsuite 83
Teil
-graph, gerichteter 269
-problem 118, 121
-spiel 249
Teilnehmer
-zugangs
-bereich 150, 190, 191
-schnittstelle 193
Telecommunication Management Network 72
Teledienst 60
Telefon
-karte 195
-netz, privates 81
-verbindung 161
-verkehr 61, 309
internationaler 93
Telefonie 91, 92
-markt 309
Telegraphie
-dienst 92, 309
Telekommunikations
-dienst 60
-markt 60, 91, 209, 309
offener 61
paneuropäischer 60
-plattform 90
Telematikdienst 129, 131
Telescript 123
TeleSec 196
Terminierung 94, 95, 96, 279, 296, 298
Terminierungs
-variable 297
-zeit 97
Testphase 124
TG 260, 265, 268, 273, 275, 277, 288, 298, 303, 311
Theorie, ökonomische 130, 132
Timeout 96, 127, 175, 181, 229, 233, 247
-Verwaltung 233
Tk-Anlage 148
TMN 72
Toleranz
-bereich 215, 245, 255

-grenze 216
Tonqualität 97
Topologie 72, 96, 153
-Datenbank 84
-information 84
ToS 263
TR 257, 260
Trade-Off 171, 189
Trader 141
Trading
-Board 133, 188
-graph 64, 193, 260, 277, 288, 305, 311
Traffic
-Descriptor 182, 267
-Routing 261
Trajektorie, orthogonale 234
Transaktion 125, 130
Transaktions
-kosten 132, 138
-mediator 140
-modell 132, 145
offenes 105
-phase 130, 133, 169
-prozeß 140
-spezialist 134
Transit 86
-knoten 258
-netz 259
-strecke 106
-verbindung 156
-verkehr 93
Transmission Convergence Sublayer 76
Transparenz 311
Transport
-plattform 108
-schicht 71, 78
Trusted Third Party 157, 188, 208
Trust-Modell 200
Type of Service 182

U

Übereinkunft
mögliche 226, 243, 244, 246, 256
perfekte 226, 246
sofortige 242, 248
Übermittlungs
-verfahren 75
Übertragung 62, 72, 74, 90
echtzeitgerechte 222
Live- 71
rahmenbasierte 74
Übertragungs
-anpassungsschicht 76
-bandbreite 60, 96, 125, 147, 161, 190, 219, 222
-dienst 60, 108
-ebene 60, 99
-fehler 79
-kanal 73
-kapazität 163
-leitung 81, 94
-medium 72, 76, 116
-netzwerk 81, 99, 108
-system 61, 76, 258
-technik, synchrone 76
-wiederholung 74
UBR 74, 182, 262
Umwertetabelle 164
UNI 88
-Schnittstelle 80
-Zelle 76
Uniformität 224
Universalmenge 270
Unspecified Bit Rate 74
Usance 134, 140
User Network Interface 80

V

Value Added Service 60
Variable Bit Rate 74
Varian, H. 102
VBR 74
VC 81, 160, 164, 170, 259, 260
-ID 264
-Link 155, 165
-Markt 152, 155, 165, 174, 177, 179, 184, 188, 191, 193, 195, 199, 200, 204, 257, 259, 263, 310, 312
-Teilstrecke 203
-Verbindung 153
VCC 62, 82, 99, 152, 172, 182, 267
VCI 77, 81, 164, 263
Verbindung

leitungsvermittelte 73
Mehrpunkt-zu-Mehrpunkt- 70
Punkt-zu-Mehrpunkt- 70
Punkt-zu-Punkt- 70
vermittelte 73
virtuelle 62
Verbindungs
-abbau 81, 90
-anforderung 83, 158, 267
-aufbau 69, 76, 81, 87, 89, 96, 98, 104, 155, 158, 189, 193, 204, 206, 218, 258, 260, 267, 304, 310, 311
-phase 265
-zeit 61, 153, 184, 221, 305
-zeiten 312
-dienst 312
-dienstanbieter 190, 192, 193, 194, 199, 201, 202, 204, 206, 208, 311
-fehler 87
-kontrollagent 157
-kontrolle 161, 261
-kosten 194
-richtung 219
-steuerung 87, 165
-tabelle 82, 89
-vermittlung 311
-zeit 191
Verdrängungskampf 219
Vereinbarungs
-kosten 132
-phase 130, 133, 140, 145, 170, 172, 177, 310
Verfahren
Bellmann-Ford-Moore 301
gradientenbasiertes 244, 253, 256
marktorientiertes 126
Traded Routing- 64
Zug-um-Zug- 139
Vergebührung 64, 91, 100, 101, 169, 174, 178, 195, 309
volumenbasierte 93, 103, 106
wettbewerbsorientierte 61
Vergebührungs
-einheit 101
-flexibilität 312
-modell 312
-strategie 103
kostenbasierte 91
-system 100, 102, 104, 133, 310
hierarchisch strukturiertes 99
-verfahren 309
-unilaterales 93
Verhalten
kooperatives 255
rationales 237, 255, 256
Verhaltens
-automat 64, 229, 230
-regel 175, 217
-rolle 231
Verhandlung 61, 63, 99, 105, 132, 171, 180, 186, 187, 193, 213, 215, 218, 220, 222, 224, 226, 229, 231, 233, 242, 244, 250, 254, 256, 257, 311
1 zu m 211
automatisierte 69, 102, 108
bilaterale 103, 133, 211, 212, 216
direkte 141
gradientenbasierte 247, 311
horizontale 223
individuelle 253
mehrseitige 141
vertikale 223, 248
Verhandlungs
-abbruch 223
-ablauf 220, 225
-algorithmus 231, 240
-bereich 218, 219, 229, 247, 256
-dienst 212
-führung 126, 134, 255
-gebiet 228, 235, 241, 243, 246
-ID 212
-iteration 172, 220, 227, 250, 255, 256
-konvention 217, 222, 231, 233, 236, 239, 242, 255
-logik 247, 256
-mechanismus 133, 145, 159, 170, 255
-periode
gerade 248
ungerade 248
-phase 134, 135, 141, 151, 158, 168, 219, 222, 229
-position 159, 218, 219
-prozeß 134, 159, 168, 171, 188, 211, 215, 217, 223, 225, 227, 229, 235, 239, 245, 250, 255, 257
-rolle 229
-spiel 247, 256
kooperatives 244, 245
-system 310
-verfahren 64, 180, 220, 224, 239, 245, 310

bilaterales 64
gradientenbasiertes 252, 310
-zeit 172, 176, 216, 221, 264
-zyklus 227, 242
Verifikation 279, 294
VeriSign 196
Verkäufermarkt 219
Verkaufs
-agent 104, 106, 141
-auftrag 137, 139
-kurs 137
Verkehrs
-aufkommen 93, 102, 103, 185
-charakteristik 86, 162, 165
-deskriptor 267
-fluß 160
-klasse 182, 262, 266
-kontrakt 168
-kontrolle 88, 162
-parameter 182
-vertrag 164, 172
Verlustwahrscheinlichkeit 263
Vermaschungsgrad 303
Vermittlung 140, 141, 311
Vermittlungs
-knoten 75, 81, 83
-prinzip, zellenbasiertes 69
-prozeß 89
-rechner 81, 149
-stelle 72, 89, 90, 93, 95
-verfahren
-marktbasiertes 108
Verschlüsselung 198
Verteildienst 70, 73
Verteilte Künstliche Intelligenz 64, 112
Vertrags
-abschluß 178, 180, 254
-absicherung 173
-phase 233
Vertrauen 206
Vertrauens
-modell 189
-verhältnis 189, 190, 200, 204, 205
Verweil
-zeit 75, 158, 172, 176, 184, 255
maximale 264
Verzeichnis 65
-dienst 125
Verzögerung 73, 78, 101, 106
End-to-End 59
netzbedingte 106
Verzögerungs
-varianz 73
-zeit 79, 97, 98, 183
minimierte 74
Vickrey, W. 136
Video
-auflösung 97
-daten 97
-dienst 74, 78
-dokument 70
-konferenzdienst 70
-maildienst 70
-on Demand 71
-telefonie 70
-übertragung 105
Virtual
-Cell Scheduling 165
-Channel 81
-Connection 62, 82
-Path 81
-Idenifier 76
Virtuelle Verbindung 223
Virtueller
-Kanal 81
-Pfad 81
VKI 64, 112
Vokabular 117, 152
Vollreservierung 165, 166, 168, 172, 175, 176, 178, 193, 194, 199
Vorreservierung 165, 166, 168, 175, 176, 178, 180, 193, 194, 199
Voyager 123
VP 81, 88, 133, 155, 157, 160, 164, 193, 259, 262, 266
-Markt 153, 155, 310
-Verbindung 152
-Zellbandbreite 165
VP/VC-Kennung 81
VPC 152, 157
VPI 76, 77, 81, 83, 163, 164
VPN 312

W

Wahlinformation 89
Währung, fiktive 96
Waldspurger, C. 143
WALRAS 143, 144, 253
-Algorithmus 252
-Programmierumgebung 97
Wartespeicher 79, 163
Wasserfallmodell 124
WATTC-88 93, 309
Weg
kostengünstigster 269, 271
m-günstigster 270, 273, 275, 277, 279, 288, 294, 297, 299, 301, 303, 304
zyklenfreier 298, 299
Weitverkehrs
-bereich 219
-netz 309
-netzwerk 94, 310
Wellmann, M. 97
Wertpapier 137, 138, 140, 145
-börse 136, 137
-disposition 140
Wettbewerb 60, 91, 102, 104, 105, 130, 139, 171, 219
Wettbewerbsmarkt, vollkommener 132
Windowing-Technik 165
Wissen 113, 117, 121, 127, 134, 177
globales 98
lokales 94, 142
Meta-Level- 182
Wissens
-austausch 117
-sprache 116
-eingabe 124
-komponente 113
-repräsentationssprache 116
WWW 140

X

Xetra 139
-Marktmodell 139
-plattform 139

Y

Yamaki, H. 97, 104, 105

Z

Zahlungsmitteln 189
Zahlungsmodalität 134
Zahlungsverkehr 195
Zeit
-bezug 73, 79
asynchroner 74
fester 78
garantierter 74
synchroner 78
-limit 166
-limit, zulässiges 221
-management 233
-multiplexübertragung 76
-präferenz 248
-scheibe 143, 144
-schranke 221
-stempel 233
-teilung
asynchrone 72
synchrone 73
-transparenz 73
-überwachung, zentrale 233
Zell
-burst 183
-durchlaufzeit 161
-kopf 75, 81, 263
-rate 74, 79, 161, 165
alternative 258
-ratengenerator 165
-scheduling 162
-switchrate 189, 264
-übertragung 77
-verkehr 89, 164
-verzögerungs
-varianz 74
-zeit 162, 263
Zelle 75, 81, 89, 161, 164, 183
Zerlegungsphase 118
Zertifikat 166, 196, 198, 202, 204, 205, 207, 212
Zertifikats
-kette 205, 206
-verwaltung 201

Zertifizierungsstelle 196, 198
Ziel 78, 98, 116, 119
-führung 107
-klarheit, perfekte 132
-zustand 113
Zugangs
-GM 193
-kontrolle 161, 209, 266
globale 266
GM-spezifische 266
lokale 266
-vermittlungsstelle 89
Zugriffsverwaltung 197
Zusicherung 279
Zustand, mentaler 120, 123
Zuteilung
faire 91, 104
marktbasierte 143
Zweipersonenspiel, kooperatives 245
Zyklenfreiheit 94, 95, 96, 266, 279, 288, 297, 298
Zyklus 84, 127, 275, 298

Anhang D Lebenslauf

Persönliche Daten

Geboren:	08.04.1965 in 26871 Papenburg
Konfession:	römisch-katholisch
Familienstand:	verheiratet
Eltern:	Regina Többen, geb. Janßen, Kauffrau Wilhelm Többen (verstorben), Kaufmann
Geschwister:	Dr. med. Bianca Többen Dr. med. Djura Többen Dipl.-Ing. Wilhelm Többen

Ausbildung

Allgemeine Hochschulreife *Juni 1984*	Gymnasium Papenburg
Diplom in Informatik *Februrar 1992*	Technische Universität Karlsruhe
Promotion *April 2000*	Technische Universität Berlin

Beruflicher Werdegang

Hilfwissenschaftler
Oktober 1991 - März 1992

Technische Universität Karlsruhe

Verteilte, objektorientierte Protokollentwicklung (Glockenspiel C++) am Institut für Telematik Karlsruhe (Prof. G. Krüger), Protokollmessungen (NetMon)

Systementwickler
April 1992 - Juni 1994

Philips Kommunikation Industries (PKI)

Softwareentwickler für Betriebssysteme in Vermittlungsstellen:

- Kommunikationssubsysteme in VSt's auf Motorolabasis.
- SURE: Startup and Recovery Subsystem des Telefonie Operating Systems (TOS)
- Simulation von Kommunikationssoftware (Chill)

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Juli 1994 - Juni 2000

Technische Universität Berlin - DAI-Labor

Mitarbeit als auch Leitung an/von diversen Forschungsprojekten mit Schwerpunkt des Einsatzes Verteilter Künstlicher Intelligenz im Anwendungsbereich der Telekommunikation.

- CoCoM: Kooperierende Systeme in der Fertigungstechnik
- REkoS: VKI zur Erstellung von Telekommunikationsdiensten
- InAVaS: VKI im Bereich der Intelligenten Netze
- MIATA: Managementinfrastruktur für die JIAC4-Dienstumgebung