

Alexander Floren

Bepreisung priorisierter Datenübertragung

Kundenwertanalysen in
Next Generation Networks



Springer Gabler

Bepreisung priorisierter Datenübertragung

Alexander Floren

Bepreisung priorisierter Datenübertragung

Kundenwertanalysen in Next
Generation Networks

Mit einem Geleitwort von
Univ.-Professor Dr. Alexander Baumeister



Springer Gabler

Alexander Floren
Saarbrücken, Deutschland

Dissertation Universität des Saarlandes, 2018, u. d. T.: Kundenwertorientierte Bepreisung
priorisierter Datenübertragung in Next Generation Networks

ISBN 978-3-658-25958-7 ISBN 978-3-658-25959-4 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-25959-4>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Gabler

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2019

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Springer Gabler ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Geleitwort

Next Generation Networks, in denen sich verschiedenartige Anwendungen datentechnisch versorgen lassen, werden zunehmend zum Standard. Das rasante Wachstum des weltweit zu übertragenden Datenvolumens kann zu Engpässen in der Übertragungskapazität und einer entsprechenden Anwendungskonkurrenz führen. Dabei werden mögliche Nutzer im Regelfall eine unterschiedliche Zahlungsbereitschaft für eine prioritäre Datenübertragung aufweisen. Möglichkeiten dazu sind z. B. die Vereinbarung des Vorhaltens verschiedener Dienstgüte-Level, die Anwendung unterschiedlicher Abarbeitungsstrategien im Fall von Warteschlangen oder rein engpassspezifischer Übertragungspreise.

Für die Anbieter von Datenübertragungsdienstleistungen stellt sich damit die Frage, wie eine Priorisierung zu bepreisen ist. Die Preissetzung wird das Kundenverhalten beeinflussen und sich in Gesamtnachfrageänderungen oder im Wechsel nachgefragter Anwendungen und damit in anwendungsspezifischen Nachfrageänderungen niederschlagen. Aufgrund der Steuerungswirkung preislicher Differenzierung findet sich bereits eine Vielzahl an Literaturanalysen, die sich der Thematik aus ökonomischer, hier vor allem volkswirtschaftlicher, technischer oder gesellschaftlicher Sicht nähern. Eine aus betriebswirtschaftlicher Sicht auf die Kundenwertmaximierung abzielende Ausarbeitung fehlt jedoch trotz der sehr hohen praktischen Relevanz bislang.

Herausforderungen liegen dabei vor allem in der Modellierung des komplexen Wirkungszusammenhangs zwischen einerseits der Preisstruktur, andererseits des wahrgenommenen Kundennutzens, der wiederum u. a. von der erfahrenen Dienstgüte abhängen wird, und des daraus resultierenden dynamischen Kundenverhaltens. Floren systematisiert dazu bestehende Modellierungsansätze und entwickelt daraus synoptisch ein Destillat, das auf seinen Anwendungskontext gemünzt ist. Dies gelingt trotz stets guter Nachvollziehbarkeit auf hohem methodischen Niveau und ist die Grundlage für eine simulationstechnische Aufbereitung einer Entscheidungsunterstützung von Datenübertragungsdienstleistern in der Bepreisung. Ein simulatives Herangehen wird nötig, da die Komplexität realitätsnaher Modellierung analytisch geschlossene Lösungen schnell unmöglich macht. Floren kreiert daher zudem zur Verdeutlichung seiner Analyse ein Fallbeispiel, das konkrete Gestaltungsempfehlungen erlaubt.

Mehrwert für die Leserschaft bereitet dieses Buch insbesondere durch die innovative Modellierung des Kundenverhaltens, das gegenüber bisherigen Ansätzen deutlich weiterreicht und realitätsnäher ausfällt, sowie die EDV-technische Implementierung

der Simulationsumgebung für die Kundenwertoptimierung. Sicher geleitet Floren dabei durch ein dichtes Modellierungsgeflecht, das er überzeugend in seiner numerischen Auswertung praktikablen Lösungsempfehlungen zuführt. So bringt es gleichermaßen für den betrieblichen Anwendungsfall wie für die wissenschaftliche Diskussion spannende und lohnende Erkenntnis und wird ohne Zweifel die Investition in dieses Buch gewinnbringend sein lassen. Eine rasche und erfolgreiche Verbreitung am Markt bleibt ihm daher zu wünschen.

Univ.-Professor Dr. Alexander Baumeister

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand sowohl während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am *Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Controlling* an der Universität des Saarlandes als auch in meiner Freizeit nach meinem Einstieg in die freie Wirtschaft. Sie wurde unter dem Titel „Kundenwertorientierte Bepreisung priorisierter Datenübertragung in Next Generation Networks“ vom Promotionsausschuss der Fakultät für Empirische Humanwissenschaften und Wirtschaftswissenschaft der Universität des Saarlandes als Dissertation angenommen.

Mein ganz besonderer Dank gilt meinem verehrten Doktorvater Herrn Univ.-Professor Dr. Alexander Baumeister, der mir die Promotion ermöglicht hat. Ich bedanke mich außerordentlich für die fortwährende Förderung meines Promotionsvorhabens und die vertrauensvolle Zusammenarbeit, die auch über die Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter hinaus fortbestand. Insbesondere freue ich mich, dass ich mich stets bestärkt im Weiterverfolgen meines Forschungsvorhabens gefühlt habe und in ihm einen tollen Mentor gefunden habe, der mich sowohl in meiner fachlichen als auch in meiner persönlichen Entwicklung geprägt hat.

Mit dem Dissertationsthema war es mir möglich, meiner Faszination für die neuen Potenziale nachzugehen, die Next Generation Networks dem Konsumenten beim Erleben von Internetinhalten bieten. Meine Begeisterung führte mich von der Frage nach den technischen Hintergründen zur Quality-of-Service-Sicherung hin zur Frage, welche Möglichkeiten in der Forschung bereits für die Bepreisung solcher Dienstleistungen diskutiert wurden und wo weiteres Forschungspotenzial besteht. Besonderer Dank gilt Herrn Dr. Markus Ilg, der mich während eines Doktorandenseminars im Nenzinger Himmel mit gleichermaßen kritischen wie konstruktiven Fragen letztlich inspirierte, die Analyse von Datenübertragungstarifen zu untersuchen. Die von meinem Doktorvater verfolgte Forschung zur kundenwertorientierten Steuerung von Unternehmen bildete wiederum den Ausgangspunkt für die Idee zur Kombination der beiden Themenkomplexe.

Im Weiteren danke ich Herrn Univ.-Professor Dr. Sven Heidenreich sehr für die Übernahme des Zweitgutachtens, insbesondere da er sich ebenfalls für das Thema der Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistungen begeistert. Für die Übernahme des Vorsitzes des Disputationsausschusses danke ich Herrn Univ.-Professor Dr. Heinz Kußmaul sehr. Darüber hinaus bedanke ich mich sehr bei Frau Dr. Katrin Stankau für die bereitwillige Übernahme des Beisitzes im Disputationsausschuss.

An dieser Stelle möchte ich auch meinen zahlreichen Unterstützern aus dem direkten privaten und beruflichen Umfeld danken, von denen jeder einen Teil zu meinem erfolgreichen Abschluss beigetragen hat. Besonders danken möchte ich Herrn Dr. Eric Huwer, Herrn Dr. Christoph Niehren und Herrn Dr. Marc Strauß für die großartige gemeinsame Zeit an der Uni und die über die Lehrstuhlzeit hinausgehende Freundschaft. Darüber hinaus möchte ich Herrn Jean-Thomas Célette, Herrn Clemens Hildebrand, Herrn Florian Karcher sowie Herrn Manuel Zimmermann einen ganz besonderen Dank aussprechen, die mir als sehr enge Freunde so viele der Promotion geschuldete Absagen verziehen haben und stets für mich da waren.

Am meisten danke ich jedoch meiner Familie. Hervorheben möchte ich meine Eltern, sowie meinen Bruder, die mich stets bei meinen Vorhaben absolut vorbehalt- und bedingungslos unterstützt haben und mit ihrem Vertrauen in mich eine zentrale Basis für das Gelingen des Studiums bis hin zum Abschluss des Promotionsvorhabens gelegt haben. Darüber hinaus gilt mein ganz besonders großer Dank meiner wundervollen Ehefrau für ihre absolut bedingungslose Unterstützung in allen Phasen der Fertigstellung sowie meinen beiden wunderbaren Töchtern, die hin und wieder auf mich verzichten mussten.

Dr. Alexander Floren

Inhaltsverzeichnis

1	Bedeutung kundenwertorientierter Analysen von Datenübertragungstarifen in Next Generation Networks	1
2	Priorisierte Datenübertragungsdienstleistungen in Next Generation Networks	7
2.1	Stellung des Netzbetreibers in Next Generation Networks	7
2.1.1	Netzbetreiber als Datenübertragungsdienstleister zwischen Endkunden und Anwendungsanbietern	7
2.1.2	Abgrenzung eines Next Generation Network von klassischen Kommunikationsnetzen	12
2.2	Bedeutung des Quality-of-Service-Konzepts bei Datenübertragungsdienstleistungen	18
2.2.1	Anforderungen der Endkunden an die Dienstgüte der Datenübertragung	18
2.2.2	Quality-of-Service-Kennzahlen zur Operationalisierung der Anforderungen an die Dienstgüte	23
2.3	Quality of Service zur Differenzierung der Datenübertragungsdienstleistungen	27
2.3.1	Realisationsformen zur Quality-of-Service-Sicherung	27
2.3.2	Service-Level-basierte Differenzierung von Datenübertragungsdienstleistungen	29
2.3.3	Nutzen differenzierter Datenübertragungsdienstleistungen zur Identifikation von Kundensegmenten	35
2.4	Priorisierte Datenübertragung zur Quality-of-Service-Sicherung bei Kapazitätsengpässen	42
2.4.1	Warteschlangenmodelle zur Analyse von Kapazitätsengpässen	42
2.4.2	Elemente eines Warteschlangensystems in Next Generation Networks	43

2.4.3	Abfertigungsdisziplinen von Warteschlangen zur Realisierung priorisierter Datenübertragung.....	46
3	Ansätze zur Bepreisung priorisierter Datenübertragung zur Auslastungssteuerung	55
3.1	Anforderungen an die Preispolitik eines Datenübertragungsdienstleisters ..	55
3.1.1	Grundlagen der Bepreisung von Dienstleistungen	55
3.1.1.1	Preise als Parameter der Preispolitik.....	55
3.1.1.2	Berücksichtigung kundenwertorientierter Unternehmensziele in der Preispolitik	56
3.1.1.3	Systematisierung von Einflussfaktoren auf die Bepreisung ..	59
3.1.2	Herausforderungen bei der Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistungen	62
3.1.2.1	Herausforderungen bei der Bepreisung von Dienstleistungen	62
3.1.2.2	Herausforderungen bei der Bepreisung priorisierter Datenübertragungsdienstleistungen	65
3.1.3	Preisdifferenzierung zur Umsetzung preispolitischer Ziele	70
3.1.3.1	Übersicht über die Ziele der Preisdifferenzierung.....	70
3.1.3.2	Voraussetzungen einer Preisdifferenzierung.....	72
3.1.3.3	Grade der Preisdifferenzierung	74
3.2	Ausgewählte Ansätze zur Preisdifferenzierung bei Datenübertragungsdienstleistungen	77
3.2.1	Tarife zur vertraglichen Ausgestaltung der Preisdifferenzierung	77
3.2.1.1	Systematisierungskriterien für Preisdifferenzierungs- ansätze.....	77
3.2.1.2	Systematisierung von Tarifmodellen zur Preisdifferen- zierung bei Datenübertragungsdienstleistungen	81
3.2.2	Berücksichtigung der Nutzungsintensität in ausgewählten Ansätzen zur Preisdifferenzierung.....	84
3.2.2.1	Merkmale nutzungsintensitätsunabhängiger Bepreisung	84

3.2.2.2	Merkmale nutzungsintensitätsabhängiger Bepreisung	86
3.2.3	Ausgewählte Ansätze zur nachfrageabhängigen Preisdifferenzierung.....	90
3.2.3.1	Tageszeitabhängige Preisdifferenzierung	90
3.2.3.2	Überlastbepreisung in Abhängigkeit des zeitpunkt- bezogenen Datenaufkommens.....	92
3.2.4	Ausgewählte Ansätze mit differenzierter Dienstgüte zur leistungsabhängigen Preisdifferenzierung	96
3.2.4.1	Kennzeichnung des Paris Metro Pricing.....	96
3.2.4.2	Ansätze zur Bepreisung von Quality-of-Service-Leveln.....	97
3.2.4.3	Anwendungsabhängige Bepreisung zur Leistungsdifferenzierung	104
3.3	Entwicklungen der Bepreisung priorisierter Datenübertragung für Endkunden	106
3.3.1	Einschränkung der Dienstgüte nach Ausschöpfung eines Kontingents.....	106
3.3.2	Erweiterung der Einschränkung der Dienstgüte für eine anwendungsabhängige Bepreisung mit multiplen Nutzungskontingenten.....	108
3.3.3	Erweiterung der anwendungsabhängigen Bepreisung mit Nutzungskontingenten um die Berücksichtigung von Nachfrageschwankungen	110
3.3.3.1	Ansatz zur statischen Berücksichtigung von Nachfrageschwankungen	110
3.3.3.2	Ansatz zur dynamischen Berücksichtigung von Nachfrageschwankungen	112
4	Entwicklung eines Modells zur kundenwertorientierten Bepreisung priorisierter Datenübertragung	119
4.1	Ansätze zur Optimierung der Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistungen	119

4.2	Kundenwertorientierte Analysen zur Optimierung der Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistungen	126
4.2.1	Customer Lifetime Value als Basis zur Bestimmung eines Kundenwerts.....	126
4.2.2	Ansatzpunkte zur kundenwertorientierten Optimierung einer Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistungen	131
4.3	Abbildung der Einflussfaktoren zur Kundenwertbestimmung.....	134
4.3.1	Abbildung der Zahlungsbereitschaft für priorisierte Datenübertragungsdienstleistungen	134
4.3.1.1	Ansatzpunkte zur Abbildung der Zahlungsbereitschaft.....	134
4.3.1.2	Abhängigkeit der Zahlungsbereitschaft von der Nutzungsintensität.....	137
4.3.1.3	Abhängigkeit der Zahlungsbereitschaft vom Kundennutzen der Dienstgüte	140
4.3.1.4	Bestimmung kundensegmentspezifischer Zahlungsbereitschaften für priorisierte Datenübertragungsdienstleistungen	149
4.3.2	Abbildung der Nachfrage nach Datenübertragungsdienstleistungen	155
4.3.2.1	Ableitung der Nachfrage aus der Zahlungsbereitschaft.....	155
4.3.2.2	Notwendigkeit einer stochastischen Nachfragemodellierung des Datenübertragungsverkehrs ..	158
4.3.2.2.1	Systematisierung von Parametern des Datenverkehrs	158
4.3.2.2.2	Selbstähnliche stochastische Prozesse zur Beschreibung von Ankunftsdaten des Datenverkehrs	160
4.3.2.2.3	Verteilungsfunktionen zur Erklärung der Selbstähnlichkeit des Datenverkehrs.....	162
4.3.2.3	Abbildung der Gesamtnachfrage nach Datenübertragungsdienstleistungen	164

4.3.3	Abbildung der Zahlungsströme basierend auf der Bepreisung priorisierter Datenübertragungsdienstleistungen	174
4.3.3.1	Abbildung entscheidungsrelevanter Zahlungen	174
4.3.3.2	Abhängigkeit der Cashflowprognose von der Inanspruch- nahme der Datenübertragungsdienstleistungen	180
4.3.4	Abbildung des Kundenwechselerhaltens	183
4.3.4.1	Grundlagen zur Abbildung einer Kundenentscheidung basierend auf der Zahlungsbereitschaft	183
4.3.4.2	Abbildung der Kundenzufriedenheit gemäß des Diskonfirmationsparadigmas	185
4.3.4.3	Abbildung des Wechselverhaltens gemäß des Diskonfirmationsparadigmas	188
4.3.4.3.1	Ausgewählte Modelle mit statischen Übergangswahrscheinlichkeiten	188
4.3.4.3.1.1	Kundenwechselerhalten in Customer- Lifetime-Value-Modellen	188
4.3.4.3.1.2	Abbildung des Kundenwechseler- haltens bei NBD/Pareto-Modellen	189
4.3.4.3.1.3	Abbildung des Kundenwechsel- verhaltens bei Hazard-Modellen	190
4.3.4.3.1.4	Markov-Ketten-basiertes Kundenwech- selerhalten bei Migrationsmodellen	191
4.3.4.3.1.4.1	Modellierung von Zustandsüber- gängen als Markov-Prozess	191
4.3.4.3.1.4.2	Modellierung von Kundenwech- selerhalten in Migrations- modellen	196
4.3.4.3.1.4.3	Limitationen einer Modellierung des Kundenwechselerhaltens mit Markov-Ketten	199

4.3.4.3.2	Modellierung eines dynamischen Kundenwechselverhaltens in Abhängigkeit der Dienstgüte.....	200
4.3.4.3.2.1	Modellierung der Kundenzufriedenheit in Abhängigkeit der Dienstgüte.....	200
4.3.4.3.2.2	Modellierung der realisierten Konsumentenrente.....	204
4.3.4.3.2.3	Modellierung der prognostizierten Konsumentenrente.....	204
4.3.4.3.2.4	Modellierung der hypothetischen Konsumentenrente.....	206
4.3.4.3.2.5	Modellierung der Abhängigkeit der Übergangswahrscheinlichkeit von der Dienstgüte.....	207
4.4	Modell zur kundenwertorientierten Analyse der Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistungen	217
4.4.1	Customer-Lifetime-Value-Berechnung bei dynamischem Kundenwechselverhalten	217
4.4.2	Berechnung eines Kundenwerts bei dynamischem Kundenwechselverhalten als Basis zur Optimierung der Bepreisung	218
4.5	Notwendigkeit der simulativen Abbildung des Modells zur Optimierung der Bepreisung	219
5	Entwicklung eines Simulationstools zur kundenwertorientierten Optimierung der Bepreisung.....	221
5.1	Simulationen als Informationsbasis zur Analyse von Modellen	221
5.1.1	Kernidee von Simulationen mathematischer Modelle.....	221
5.1.2	Zentrale Merkmale von Simulationsmodellen.....	223
5.1.3	Möglichkeiten einer computerbasierten Umsetzung von Simulationsmodellen	225

5.2	Aufbau eines Simulationstools mit Fallstudie.....	227
5.2.1	Struktureller Aufbau des Simulationstools	227
5.2.2	Möglichkeiten zur Ermittlung kundensegmentspezifischer Parameter der Nachfrage nach Datenübertragungsdienstleistungen.....	228
5.2.3	Ermittlung der aggregierten Nachfrage nach Datenübertragungsdienstleistungen im Simulationstool	230
5.2.4	Möglichkeiten zur Ermittlung der kundensegmentspezifischen Formparameter der Nutzenfunktionen für die Fallstudie.....	242
5.2.5	Ermittlung der Kundenzufriedenheit zur Modellierung des Kundenwechselerhaltens im Simulationsmodell	246
5.2.6	Ermittlung der Cashflows für die Tarife der Fallstudie	248
5.2.6.1	Ermittlung der Erlöse pro Zeitpunkt zur Cashflow-Ermittlung	248
5.2.6.2	Abbildung der der Fallstudie zugrunde liegenden Tarife	251
5.2.6.2.1	Ausgestaltung einer tarifbasierten Zuweisung von Anwendungen zu den angebotenen Servicelevels	251
5.2.6.2.2	Ausgestaltung der den Tarifen zugrunde liegenden Preise in der Fallstudie.....	252
5.2.7	Ermittlung des Kundenwerts auf Kundensegmentebene im Simulationstool	256
5.3	Optimierung der kundenwertorientierten Bepreisung der Fallstudie	257
5.3.1	Potenziale des Simulationstools zur kundenwertbasierten Optimierung der Bepreisung.....	257
5.3.2	Analyse des Einflusses der bereitgestellten Übertragungskapazität auf die Kundenzufriedenheit der Fallstudie	259
5.3.3	Analyse des Einflusses der Kundenstruktur auf das Datenverkehrsaufkommen der Fallstudie	263
5.3.4	Analyse des Einflusses der Dienstgüte auf das Datenaufkommen der Fallstudie	264

5.3.5 Analyse der Steuerungswirkung der Bepreisung auf Kundensegmentstrukturen der Fallstudie	268
6 Weiterentwicklung des Modells zur Optimierung von Investitionsentscheidungen über den Netzausbau	275
Anhang.....	277
Literaturverzeichnis	303

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Visualisierung der Struktur der Arbeit	6
Abbildung 2:	Systematisierung von Inhaltsdiensten nach Anwendungsbereich	9
Abbildung 3:	Systematisierung von Netzwerken anhand ihrer räumlichen Ausdehnung.....	11
Abbildung 4:	Systematisierung der Betrachtungsebenen der Datenübertragung ..	14
Abbildung 5:	Schematische Darstellung einer Ende-zu-Ende-Verbindung	19
Abbildung 6:	Gesichtspunkte der Quality of Service	20
Abbildung 7:	Systematisierung der Quality-of-Service-Anforderungen	21
Abbildung 8:	Systematisierung von Anwendungen eines Kommunikationsnetzes.....	22
Abbildung 9:	Darstellung der Ende-zu-Ende-Verbindung als eine Kante	23
Abbildung 10:	Systematisierung der Anforderungen an Fehlertoleranz und Mindestübertragungsraten	24
Abbildung 11:	Anforderungen an die Dienstgüteparameter nach Anwendungen	26
Abbildung 12:	Systematisierung von Quality-of-Service-Strategien anhand des ISO/OSI- sowie des TCP/IP-Modells	28
Abbildung 13:	Priorisierung mit Datenströmen und Verkehrsklassen	32
Abbildung 14:	Vergleich zwischen DiffServ und IntServ	33
Abbildung 15:	Online-Nutzer-Typologie	38
Abbildung 16:	Segmente in Abhängigkeit von Quality of Service	40
Abbildung 17:	Entwicklung der internetbasierten Video-, File-Sharing- sowie Web, E-Mail und Daten-Nutzung von 2005 bis 2022	41
Abbildung 18:	Prozessorientierte Sicht eines Warteschlangensystems	42

Abbildung 19: Visualisierung der Abfertigungsstrategie mittels Round-Robin-Algorithmus.....	50
Abbildung 20: Verfahren der Preisbestimmung	60
Abbildung 21: Einflussfaktoren auf die Preisbildung.....	62
Abbildung 22: Anforderungen an ein Preismodell für Integrierte Internet-Dienste...	69
Abbildung 23: Implementierungsformen der Preisdifferenzierung	76
Abbildung 24: Dimensionen zur Charakterisierung der Bepreisungsansätze	78
Abbildung 25: Aufbau von Tarifen mit unterschiedlicher Komponentenanzahl.....	79
Abbildung 26: Systematisierung von Tarifen zur Preisdifferenzierung bei Datenübertragungsdienstleistungen	82
Abbildung 27: Ineffizienz von Flatrate-Tarifen	86
Abbildung 28: Systematisierter Vergleich ausgewählter Bepreisungsansätze.....	122
Abbildung 29: Optimale versus realisierbare Bepreisung	123
Abbildung 30: Analyse der technischen, ökonomischen Effizienz sowie der sozialen Akzeptanz ausgewählter Tarife	124
Abbildung 31: Berücksichtigung der Variabilität einer Ausprägung in der Visualisierung der Bewertung	125
Abbildung 32: Übersicht der Einflussfaktoren im Zielsystem des Datenübertragungsdienstleistungsanbieters.....	131
Abbildung 33: Zusammenhang zwischen Zahlungsbereitschaft und Kundenanzahl.....	139
Abbildung 34: Nutzenfunktion in Abhängigkeit der Elastizität der Anwendung.....	141
Abbildung 35: Einfluss der Formparameter auf die Nutzenfunktionsform.....	146
Abbildung 36: Sigmoidale Nutzenfunktionen	147

Abbildung 37: Abschnittsweise definierte Funktion zur Abbildung der tageszeit- abhängigen Nachfrageschwankung basierend auf dem Daten- aufkommen im Frankfurter De-Cix-Knoten	168
Abbildung 38: Visualisierung der Einflüsse auf die Wechselwahrscheinlichkeit	208
Abbildung 39: Abbildung von Heavy-tailed Nachfragefunktionen für variierende α -Werte	230
Abbildung 40: Auswirkungen der Variation von Formparametern auf die negativ exponentielle Nachfragekurve	231
Abbildung 41: Segmentspezifische Inanspruchnahme und optimales Servicelevel	234
Abbildung 42: Aufteilung der Anwendungen in einem Qualitätsklassenkonzept mit vier Klassen	235
Abbildung 43: Segmentspezifische Nachfragemengen pro Tag	236
Abbildung 44: Angenommene erwartete durchschnittliche Zahlungsbereit- schaften der Segmente und Anwendungen pro Tag	237
Abbildung 45: Excelbasierte Implementierung eines Round-Robin-Algorithmus für vier Warteschlangen	241
Abbildung 46: Beispielhafte Verteilung der Gesamtkapazität auf vier QoS-Level..	242
Abbildung 47: Formparameter für Nutzenfunktionen der Kundensegmente	244
Abbildung 48: Funktionsverläufe der Nutzenfunktionen für alle Segmente und Dienstgütelevel	246
Abbildung 49: Tarifbasierte Zuweisung der Anwendungen zu den vom Datenübertragungsdienstleister angebotenen Serviceleveln	252
Abbildung 50: Beispielhafte Ausgestaltung der Tarife	254
Abbildung 51: Beispielhafte Ausgestaltung der Bepreisung der Tarife	255

Abbildung 52: Variation der Gesamtkapazität bei gleichbleibender prozentualer Verteilung auf die QoS-Level	259
Abbildung 53: Gegenüberstellung der Häufigkeit des Auftretens einer Warteschlange und deren durchschnittliche Länge für die beiden betrachteten Szenarien.....	260
Abbildung 54: Simulativ ermittelte Warteschlangenlänge in Verbindung mit der Häufigkeit des Auftretens einer Warteschlange pro Tag.....	261
Abbildung 55: Gegenüberstellung der durchschnittlichen bedingten Kundenzufriedenheiten von Kundensegment 2 bei sich ändernder Gesamtkapazität.....	261
Abbildung 56: Variation der Verteilung der QoS-Level bei gleichbleibender Gesamtkapazität.....	262
Abbildung 57: Durchschnittliche bedingte Kundenzufriedenheiten von Kundensegment 2 bei Veränderung der Verteilung der Gesamtkapazität auf die QoS-Level	262
Abbildung 58: Variation der Verteilung der Kunden auf die Kundensegmente	263
Abbildung 59: Vergleich der durchschnittlichen Warteschlangenlängen bei variierenden Segmentgrößen	264
Abbildung 60: Variation der tarifbasierten Zuweisung der Anwendungen zu den QoS-Leveln.....	265
Abbildung 61: Gegenüberstellung der durchschnittlichen Häufigkeit des Auftretens von Warteschlangen bei veränderter QoS-Level-Zuweisung der Anwendungen	266
Abbildung 62: Gegenüberstellung der durchschnittlichen Warteschlangenlänge bei veränderter QoS-Level-Zuweisung der Anwendungen	266
Abbildung 63: Gegenüberstellung der durchschnittlichen bedingten Kundenzufriedenheit bei veränderter QoS-Level-Zuweisung der Anwendungen.....	266

Abbildung 64: Veränderung der Übergangswahrscheinlichkeiten von Kundensegment 2 im Zeitverlauf	267
Abbildung 65: Kundensegmentgrößen von Kundensegment 1 und Kundensegment 2 im Zeitverlauf	269
Abbildung 66: Durchschnittliche bedingte Kundenzufriedenheit von Kundensegment 2 in Kundensegment 2	270
Abbildung 67: Durchschnittliche bedingte Kundenzufriedenheit von Kundensegment 2 in Kundensegment 1	271
Abbildung 68: Realisierte Konsumentenrente von Kundensegment 2.....	271
Abbildung 69: Durchschnittliche bedingte Kundenzufriedenheiten von Kundensegment 3.....	272
Abbildung 70: Dynamische Preise im Zeitverlauf	272
Abbildung 71: Überblick über das durchschnittliche Datenaufkommen eines Tages für die vier QoS-Level	273
Abbildung 72: Überblick über das zwischen den Simulationsschritten auszuführende Makro 1	277
Abbildung 73: Überblick über Makro 2 zum Zurücksetzen der Felder auf Ausgangswerte für neuen Simulationslauf.....	280
Abbildung 74: Realisierung der Verteilung der 100 Dummy-Variablen entsprechend der zugrunde liegenden Kundenstruktur im Simulationsmodell.....	282
Abbildung 75: Überblick über die gewählten Outputfelder	383
Abbildung 76: Überblick über den Aufbau des Excel-Simulationstools.....	384

Symbolverzeichnis

Funktionen

$\gamma(\ddot{t})$	Abschnittsweise definierte Funktion zur Abbildung der über den Tagesverlauf schwankenden Nachfrage
$\lambda_{k,t,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}(\cdot)$	Funktion zur Ermittlung des kundensegmentspezifischen Modus der paretoverteilten Nachfrage, der zum Zeitpunkt t für Anwendung \tilde{a} die Nachfrage in die Paretoverteilung einbindet
$\psi_{k,t,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}(\cdot)$	Kundensegmentspezifische paretoverteilte Nachfragefunktion zum Zeitpunkt t für Anwendung \tilde{a}
$\vartheta_{k,s}(\dot{s}_{k,\tilde{a}})$	Duale Variable, um die kundensegment- und anwendungsspezifischen Nachfragen den vom Datenübertragungsdienstleistungsanbieter angebotenen Serviceleveln s zuzuordnen
$cf_{k,t}(\cdot)$	Cashflow für in Anspruch genommene Datenübertragungsdienstleistungen von Kundensegment k zum Zeitpunkt t und damit für Periode bis $t + 1$
$CS_{i,j,t}^{hyp}(\cdot)$	Funktion zur Ermittlung der hypothetischen Konsumentenrente
$CS_{i,i,t}^{prog}(\cdot)$	Funktion zur Ermittlung der prognostizierten Konsumentenrente
$CS_{i,i,t}^{real}(\cdot)$	Funktion zur Ermittlung der realisierten Konsumentenrente
$CS_{k,t}^+(\cdot)$	Funktion zur Ermittlung der Konsumentenrente von Kundensegment k zum Zeitpunkt t
$d_{t,s}(\cdot)$	Funktion zur Ermittlung des Virtual Delay zum Zeitpunkt t im vom Datenübertragungsanbieter angebotenen Servicelevel s

$d_{t,f_k(\hat{s}_{k,\bar{a}})}(\cdot)$	Funktion zur Ermittlung der Dienstgüte des Servicelevel s in dem das kundensegment- und anwendungsspezifische Servicelevel zum Zeitpunkt t
$D(\cdot)$	Nachfragefunktion
$D(\cdot)^{avg}$	Nachfragefunktion von Durchschnittskunden
$D(\cdot)^{low}$	Nachfragefunktion von Kunden aus dem Segment derer, die durchschnittlich weniger Nachfragen als ein Durchschnittskunde
$D(\cdot)^{heavy}$	Nachfragefunktion von Kunden aus dem Segment derer, die durchschnittlich mehr Nachfragen als ein Durchschnittskunde
$Entgelt_{k,t}(\cdot)$	Funktion zur Ermittlung des Entgelts von kundensegment k zum Zeitpunkt t
$Entgelt_{i,j,t}^{hyp}(\cdot)$	Funktion zur Ermittlung des hypothetischen Entgelts
$Entgelt_{i,j,t}^{prog}(\cdot)$	Funktion zur Ermittlung des prognostizierten Entgelts
$Entgelt_{i,j,t}^{real}(\cdot)$	Funktion zur Ermittlung des realisierten Entgelts
$f(x)$	Dichtefunktion
$F(x)$	Verteilungsfunktion
$\bar{F}(x)$	Komplementäre Verteilungsfunktion
$g_{k,t}(\cdot)$	Segmentgröße von Segment k zum Zeitpunkt t
$\hat{f}_k(\hat{s}_{k,\bar{a}})$	Funktion zur elementweisen Zuweisung der kundensegmentspezifischen Servicelevel zu den vom Datenübertragungsdienstleister angebotenen Servicelevel
$\ln(\cdot)$	Logarithmusfunktion

$p_{ij,t}(\cdot)$	Funktion zur Berechnung einer bedingten Übergangswahrscheinlichkeit für den Übergang von Zustand i hin zu Zustand j zum Zeitpunkt t
$pb_{k,t,\hat{s}_{k,\hat{a}}}(\cdot)$	Preisbereitschaftsfunktion von Kundensegment k zum Zeitpunkt t für das anwendungsspezifische Servicelevel \hat{s}
$q_{k,t,\hat{s}_{k,\hat{a}}}(\cdot)$	Anwendungsspezifische Nachfragefunktion zur Ermittlung der Nachfrage von Kundensegment k zum Zeitpunkt t
$\bar{q}_{k,t,\hat{s}_{k,\hat{a}}}(\cdot)$	Funktion zur Ermittlung der zeitpunktspezifischen durchschnittlichen identifizierten Nachfrage eines Kundensegments
$r(\cdot)$	Funktion zur Ermittlung des Rechnungsbetrags
$u(\cdot)$	Nutzenfunktion in Abhängigkeit der Dienstgüte
$u_{c,t,\hat{s}_{c,\hat{a}}}(\cdot)$	Kunden- und anwendungsspezifische Nutzenfunktion in Abhängigkeit von der beim Datenübertragungsdienstleister realisierten für das Kunden relevanten Dienstgüte $d_{t,f_c(\hat{s}_{c,\hat{a}})}$
$u_{k,t,s}(\cdot)$	Nutzenfunktion des Servicelevels s von Segment k zum Zeitpunkt t in Abhängigkeit der für die in dem Servicelevel realisierten Dienstgüte
$u_{k,t,\hat{s}_{k,\hat{a}}}(\cdot)$	Anwendungsabhängige Nutzenfunktion von Segment k zum Zeitpunkt t in Abhängigkeit der Dienstgüte in dem Servicelevel, in dem die Anwendung \hat{s} übertragen wird
$v(\cdot)$	Quasilineare Nutzenfunktionen
$w_t(\cdot)$	Warteschlangenlänge in Abhängigkeit der Nachfrage nach den QoS-Leveln

$z_{i,j,t}(\cdot)$	Bedingte Kundenzufriedenheit eines Kunden unter Berücksichtigung des realisierten QoS und des in anderen Tarifen antizipierten Nutzens
$zb_c(\cdot)$	Quadratische Zahlungsbereitschaftsfunktion vom c -ten Kunden in Abhängigkeit von dessen Nachfragemenge q_c
$zb_{i,j,t,\hat{s}_{i,\bar{a}}}^{hyp}(\cdot)$	Funktion zur Ermittlung der hypothetischen Zahlungsbereitschaft
$zb_{i,i,t,\hat{s}_{i,\bar{a}}}^{prog}(\cdot)$	Funktion zur Ermittlung der prognostizierten Zahlungsbereitschaft
$zb_{i,i,t,\hat{s}_{i,\bar{a}}}^{real}(\cdot)$	Funktion zur Ermittlung der realisierten Zahlungsbereitschaft
$ZB_{k,t}(\cdot)$	Zahlungsbereitschaft von Segment k zum Zeitpunkt t in Abhängigkeit der in Anspruch genommenen Datenübertragungsdienstleistungen

Matrizen

$\dot{\Psi}_{k,t} = \begin{pmatrix} \psi_{k,t,\hat{s}_{k,1}} \\ \vdots \\ \psi_{k,t,\hat{s}_{k,\bar{A}}} \end{pmatrix}$	Vektor mit Nachfragemengen $\psi_{k,t,\hat{s}_{k,\bar{a}}}$ aller kundensegment- und anwendungsspezifischen Servicelevel $\hat{s}_{k,\bar{a}}$ eines typischen, repräsentativen Kunden von Segment k zum Zeitpunkt t
$\Psi_{k,t} = \begin{pmatrix} \psi_{k,t,1} \\ \vdots \\ \psi_{k,t,S} \end{pmatrix}$	Vektor mit den segmentspezifischen Nachfragen nach Datenübertragungsdienstleistungen bezogen auf die vom Datenübertragungsdienstleister angebotenen QoS-Level
$\Psi_{k,t}^{Gesamt} = \begin{pmatrix} g_{k,t} \cdot \psi_{k,t,1} \\ \vdots \\ g_{k,t} \cdot \psi_{k,t,S} \end{pmatrix}$	Vektor der Gesamtnachfrage nach Datenübertragungsdienstleistungen eines Kundensegments bezogen auf die vom Datenübertragungsdienstleister den Anwendungen dieses Kundensegments zugewiesenen QoS-Level

$$\Psi_t = \begin{pmatrix} \sum_{k=1}^K g_{k,t} \cdot \psi_{k,t,1} \\ \vdots \\ \sum_{k=1}^K g_{k,t} \cdot \psi_{k,t,S} \end{pmatrix}$$

Vektor mit den QoS-levelspezifischen Gesamtnachfragen

$$P_t = \begin{pmatrix} p_{1,1,t} & \cdots & p_{1,K,t} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{K,1,t} & \cdots & p_{K,K,t} \end{pmatrix}$$

Quadratische Matrix, die die bedingten Wahrscheinlichkeiten $p_{ij,t}$ zum Zeitpunkt t zusammenfasst

$$PR_{k,t} = \begin{pmatrix} pr_{k,t,1} \\ \vdots \\ pr_{k,t,S} \end{pmatrix}$$

Vektor der in einem Tarif für unterschiedliche QoS-Level bestehenden Preise

$$\dot{PR}_{k,t} = \begin{pmatrix} \dot{pr}_{k,t,1} \\ \vdots \\ \dot{pr}_{k,t,S} \end{pmatrix}$$

Vektor der in einem Tarif für unterschiedliche QoS-Level bestehenden Preise, die für die Inanspruchnahme von priorisierten Datenübertragungsdienstleistungen gelten.

$$ZB_{k,t}^S = \begin{pmatrix} zb_{k,t,1} \\ \vdots \\ zb_{k,t,S} \end{pmatrix}$$

Zahlungsbereitschaftsmatrix, die kundensegmentspezifische Zahlungsbereitschaften $zb_{k,s}$ beinhaltet

Indizes

τ	Hilfszeitpunkt
\tilde{t}	Hilfszeitpunkt
\ddot{t}	Hilfszeitpunkt
\tilde{a}	Index für Anwendungen mit $\tilde{a} \in \{1, 2, \dots, \tilde{A}\}$
c	Index für Kunde $c \in \{1, 2, \dots, C\}$
i, j	Index für Kundensegmente $i \in \{1, 2, \dots, K\}$ mit $j \in \{1, 2, \dots, K\}$

k	Index für Kundensegmente $k \in \{1, 2, \dots, K\}$
s	Index für QoS-Level mit $s \in \{1, 2, \dots, S\}$
t	Index für die Zeit mit $t \in \{1, 2, \dots, T\}$
\tilde{t}	Index, um die Übergangswahrscheinlichkeiten innerhalb einer Summe von 1 bis zum laufenden t zu multiplizieren

Sonstige Symbole

α	Abklingrate
$\alpha_{k,\hat{s}_{k,\hat{\theta}}}$	Stochastischer Formparameter der kundensegment- und anwendungsspezifischen sigmoidalen Nutzenfunktion
$\hat{\beta}_{k,\hat{s}_{k,\hat{\alpha}}}$	Stochastischer Formparameter der kundensegment- und anwendungsspezifischen sigmoidalen Nutzenfunktion
δ_k	Kundensegmentspezifischer Skalierungsfaktor
$\Delta pr_{t,s}$	Veränderung der zu QoS-Level s zugewiesenen Preise zum Zeitpunkt t , die für Zeitpunkte ohne Kapazitätsengpässe gelten
$\Delta \dot{p}r_{t,s}$	Veränderung der Preise von QoS-Level s zum Zeitpunkt t , die für Zeitpunkte mit Kapazitätsengpässen gelten, zu denen eine Priorisierung vorgenommen wird
λ	Kleinster Wert der Pareto-Verteilungsfunktion mit der maximalen Wahrscheinlichkeit und damit der Modus
$\mu_{i,i}$	Erwartete Dauer bis Zustand erstmalig erneut eintritt

ς	Dauer des Zeitintervalls, das zwischen zwei Simulationszeitpunkten liegt
$\varphi_{k,t,s}$	Anteil eines Kundensegments k zum Zeitpunkt t für Dienstgütelevel s
$\omega_{c,t,s}$	Duale Variable zur Ermittlung, ob von Kunden c mehr oder weniger des in dem Tarif inbegriffenen Datenübertragungsvolumens in Anspruch genommen wurde
$\omega_{k,t,s}$	Duale Variable zur Ermittlung, ob von Kundensegment k mehr oder weniger des in dem Tarif inbegriffenen Datenübertragungsvolumens in Anspruch genommen wurde
Ω	Ereignismenge eines Wahrscheinlichkeitsraums
a_c	Formparameter der semi-logarithmischen Zahlungsbereitschaftsfunktion vom c -ten Kunden
$\dot{a}_{c,\dot{s}_c,\dot{a}}$	Formparameter der kunden- und anwendungsspezifischen sigmoidalen Nutzenfunktion
$\dot{a}_{k,\dot{s}_k,\dot{a}}$	Formparameter der kundensegment- und anwendungsspezifischen sigmoidalen Nutzenfunktion
\ddot{a}_c	Formparameter der quadratischen Zahlungsbereitschaftsfunktion vom c -ten Kunden
\mathcal{A}	Teilmengen der Ereignismenge Ω
$\tilde{A}_{k,s}$	Menge der kundensegment- und anwendungsspezifischen Servicelevel $\dot{s}_{k,\dot{a}}$, die vom Datenübertragungsdienstleistungsanbieter im von ihm für Segment k angebotenen Servicelevel s übertragen werden
b_c	Formparameter der semi-logarithmischen Zahlungsbereitschaftsfunktion vom c -ten Kunden

$\dot{b}_{c,\dot{s}_{c,\bar{a}}}$	Formparameter der kunden- und anwendungsspezifischen sigmoidalen Nutzenfunktion
$\dot{b}_{k,\dot{s}_{k,\bar{a}}}$	Formparameter der kundensegment- und anwendungsspezifischen sigmoidalen Nutzenfunktion
\ddot{b}_c	Formparameter der quadratischen Zahlungsbereitschaftsfunktion vom c -ten Kunden
$CF_{c,i,t}$	Cashflow des Kunden c mit $c \in \{1, 2, \dots, C\}$ mit Tarif i und mit $i \in \{1, 2, \dots, I\}$ zum Zeitpunkt t und mit $t \in \{1, 2, \dots, T_c\}$
CLV	Customer Lifetime Value
$d_{t,s}$	Dienstgüte zum Zeitpunkt t von QoS-Level s
$d_{t,f,c}(\dot{s}_{c,\bar{a}})$	Dienstgüte zum Zeitpunkt t , die dem Kunden c für das benötigte kunden- und anwendungsspezifische QoS-Level $\dot{s}_{c,\bar{a}}$ im vom Datenübertragungsdienstleistungsanbieter zugewiesenen QoS-Level s geboten wird
$d_{t,f,k}(\dot{s}_{k,\bar{a}})$	Dienstgüte zum Zeitpunkt t , die dem Kundensegment k für das benötigte kunden- und anwendungsspezifische QoS-Level $\dot{s}_{k,\bar{a}}$ im vom Datenübertragungsdienstleistungsanbieter zugewiesenen QoS-Level s geboten wird
$D_{Constant}$	Fixe Übertragungsdauer
$D_{Max,t}$	Packet Transfer Delay zum Zeitpunkt t
$D_{Jitter,t}$	Packet Delay Variation zum Zeitpunkt t
\mathcal{F}	Ereignisraum
G_{t-1}	Vektor, der die Kundenanzahl zum Zeitpunkt $t - 1$ in den Segmenten beinhaltet

$\hat{h}_{c,\hat{s}_{c,a}}$	Formparameter der kunden- und anwendungsspezifischen sigmoidalen Nutzenfunktion
H	Hurst-Parameter
$k_{k,t,s}^{var}$	Kundensegmentspezifische variable Kosten zum Zeitpunkt t und QoS-Level s
$k_{k,t}^{fix}$	Fixkosten, die zum Zeitpunkt t speziell Segment k zurechenbar sind
m	Skalierungsfaktor eines selbstähnlichen Prozesses
\mathbb{N}	Menge der natürlichen Zahlen
o_c	Formparameter der semi-logarithmischen Zahlungsbereitschaftsfunktion vom c -ten Kunden
$\hat{o}_{c,\hat{s}_{c,a}}$	Formparameter der kunden- und anwendungsspezifischen sigmoidalen Nutzenfunktion
\ddot{o}_c	Formparameter der quadratischen Zahlungsbereitschaftsfunktion vom c -ten Kunden
$P_{Loss,t}$	Wahrscheinlichkeit für einen Paketverlust
$p_{i,j}$	Bedingte Übergangswahrscheinlichkeit von Zustand i in Zustand j
$\bar{p}_{i,j,t}$	Durchschnittliche bedingte Übergangswahrscheinlichkeit
$p_{i,j}^{(m)}$	Bedingte Übergangswahrscheinlichkeit von einem Zustand i hin zu Zustand j nach m Perioden
pr_c	Preis der einem bestimmten Kunden c zugewiesen ist
pr^G	Preis der Grundgebühr eines Tarifs
$pr^{Kontingent}$	Preis des in einem Tarif inbegriffenen Datenübertragungsvolumens

pr_s	Preis für QoS-Level s
\widehat{pr}	Konstanter Preisschritt, mit dem eine Anpassung des bestehenden Preises vorgenommen wird
pr_{pz}	Preis der innerhalb einer Preiszone für die in Anspruch genommene Datenübertragungsdienstleistung zu entrichten ist, mit $pz \in \{1, 2, \dots, PZ\}$
$pr_{k,t,f(\hat{s}_{k,\hat{a}})}^{erw}$	Erwarteter Preis von Kundensegment k zum Zeitpunkt t für das Servicelevel vom Datenübertragungsdienstleisters angebotene Servicelevel, in dem die kundensegment- und anwendungsspezifischen Daten übertragen werden
pr_s^G	Preis für das im Tarif inbegriffene Datenübertragungsvolumen von Servicelevel s
pz	Zeitraum innerhalb dessen ein bestimmter Preis gilt
PZ	Anzahl der Preiszonen
pz^{Fix}	Bestimmte Anzahl an Preiszonen, für die der Preis bereits rollierend definiert wird
q_c	Nachfrage vom c -ten Kunden
$q_{c,t,pz}$	Menge der von einem Kunden c zum Zeitpunkt t aus Preiszone pr in Anspruch genommenen Datenübertragungsdienstleistungen
$q_{c,t,\hat{s}_{c,\hat{a}}}$	Menge der von einem Kunden c zum Zeitpunkt t vom anwendungsspezifischen Servicelevel $\hat{s}_{c,\hat{a}}$ in Anspruch genommenen Datenübertragungsdienstleistungen
$q_{k,t,\hat{s}_{k,\hat{a}}}$	Kundensegment- und anwendungsspezifische Inanspruchnahme von Datenübertragungsdienstleistungen zum Zeitpunkt t

$q_{k,t,s}$	Menge der von Kundensegment k zum Zeitpunkt t aus Servicelevel s in Anspruch genommenen Datenübertragungsdienstleistungen
$q_{t,pz}$	Menge der zum Zeitpunkt t in Anspruch genommenen Kapazität in Preiszone pz
q_s	Menge der Inanspruchnahme des S -ten Kanals
\dot{q}_t	Menge der in der Abrechnungsperiode t während eines Kapazitätsengpasses in Anspruch genommenen Datenübertragungsdienstleistung
$\dot{q}_{t,s}$	Menge der in der Abrechnungsperiode t während eines Kapazitätsengpasses in Anspruch genommenen Datenübertragungsdienstleistung von QoS-Level s
$\dot{q}_{t,s}^{Kontingent}$	Größe des in einem Tarif inbegriffenen Datenübertragungsvolumens von QoS-Level s , das bei Kapazitätsengpässen beansprucht wird
$\bar{q}_{k,\dot{s}_{k,\tilde{a}}}$	Durchschnittlich für einen Tag bestehende Nachfrage eines Kunden des Kundensegments k nach Datenübertragungsdienstleistungen für Anwendung \tilde{a} , die ein bestimmtes Servicelevel $\dot{s}_{k,\tilde{a}}$ benötigen
$Q_{pz-PZ^{Fix}}$	Gesamte Nachfrage in der PZ^{Fix} Preiszone zurückliegenden Preiszone
$q^{Kontingent}$	Größe des in einem Tarif inbegriffenen Datenübertragungsvolumens
$q^{Kontingent+}$	Größe des in einem Tarif nach Verzehr des inbegriffenen Datenübertragungsvolumens zusätzlich buchbaren Datenübertragungsvolumens

$q_{t,s}^{Kontingent+}$	Größe des im Tarif nach Verzehr des inbegriffenen Datenübertragungsvolumens von QoS-Level s buchbaren zusätzlichen Datenübertragungsvolumens, das bei Bestehen von Kapazitätsengpässen aufgezehrt wird
Q_t	Datenaufkommen
r_r	Diskontierungszinssatz
\mathbb{R}	Menge der reellen Zahlen
$\dot{s}_{c,\tilde{a}}$	Kunden- und anwendungsspezifisches Servicelevel
$\dot{s}_{k,\tilde{a}}$	Kundensegment- und anwendungsspezifisches Servicelevel
T_c	Kundenindividuelle Bindungsdauer
$\dot{V}_{c,\dot{s}_{c,\tilde{a}}}$	Formparameter der kunden- und anwendungsspezifischen sigmoidalen Nutzenfunktion
x_{pr_c}	Spezifische Nachfragemenge des Kunden c für den Preis, der dem Kunden c zugewiesen ist
$x_{flat,max}$	Sättigungsmenge
$x_{flat,max}^{avg}$	Durchschnittliche maximale Kapazitätsinanspruchnahme
x_0	Gesamteinkommen
$X_t^{(m)}$	Aggregierter Prozess
zb_c^{max}	Maximale Zahlungsbereitschaft von Kunde c
zb_k^{max}	Maximale Zahlungsbereitschaft eines das Kundensegment k repräsentierenden Kunden
ZI_Δ	Zeitintervall, innerhalb dessen eine Veränderung möglich ist



1 Bedeutung kundenwertorientierter Analysen von Datenübertragungstarifen in Next Generation Networks

Die Übertragung von Daten ist in modernen Gesellschaften von herausragender Bedeutung und führt zu einem weitreichenden Wandel der für die Übertragung der Daten genutzten Telekommunikationsnetze.¹ Während in der Vergangenheit separate Netze für unterschiedliche Anwendungen unterhalten wurden, z. B. Telefonnetze für die Telefonie oder Kabelnetze für das Fernsehen, bündeln Netzbetreiber zunehmend die Übertragung der von den verschiedenen Anwendungen generierten Daten in einem einzigen, auf dem Internet Protocol basierenden Netz. Ein solches Netz, in dem alle denkbaren Anwendungen übertragen werden können, wird als Next Generation Network (NGN) bezeichnet.²

Das Internet hat sich durch die stetig steigende Vielfalt der angebotenen Anwendungen und Inhalte zum meistgenutzten Informations- und Kommunikationsnetz der Welt entwickelt.³ Die für die endkundenseitige Nutzung der in diesem Netz angebotenen Anwendungen und Inhalte zu übertragenden Datenmengen, die über die die Infrastruktur des Internets bildenden nationalen und internationalen Breitbandnetze transportiert werden, steigen weiterhin an.⁴ So wurden im Jahr 2015 1,1 Zettabyte Daten in IP-basierten Netzen übertragen und es wird davon ausgegangen, dass die zu übertragende Datenmenge bis 2020 auf über 2,3 Zettabyte ansteigen wird.⁵ Ein Mensch würde somit mehr als 5.000.000 Jahre benötigen, um die Datenmenge in Form von Filmen zu konsumieren, die 2020 innerhalb eines Monats übertragen werden wird. Eine besondere Herausforderung in der Bereitstellung einer Infrastruktur, die diese Datenmenge übertragen kann, resultiert daraus, dass sich der Anstieg der Datenmenge nicht gleichmäßig über den Tag verteilt, sondern vor allem innerhalb der Stunde am Tag, in der die meisten Daten übertragen werden, der sogenannten Busy-Hour, überproportional stark ansteigt. So stieg das durchschnittliche Datenvolumen

¹ Vgl. TRICK/WEBER [Telekommunikationsnetze] S. 1 und OBERMANN/HORNEFFER [Datennetztechnologien] S. 1.

² Vgl. zu den weiteren Kriterien, die erfüllt sein müssen, um ein Netz im Sinne der International Telecommunication Union als Next Generation Network zu klassifizieren ITU [General Overview] S. 3 f. sowie Kapitel 2.1.2.

³ Ökonomische Erläuterungen zum Erfolg des Internets greifen meist auf den Netzwerkeffekt zurück, gemäß dessen die Attraktivität eines Netzes mit steigender Teilnehmerzahl gleichfalls wächst (vgl. ECONOMIDES [Networks] S. 673 ff.). Vgl. JAY/PLÜCKEBAUM [QoS] S. 1 zur Vielfalt der Anwendungen.

⁴ Vgl. ODLYZKO [Traffic growth] S. 8 zum Auftreten von Kapazitätsengpässen.

⁵ Vgl. ff. CISCO [VNI 2015 Updated] S. 2 ff. Dabei entspricht 1 Zettabyte = 1.000 Exabyte, 1 Exabyte = 1.000 Petabyte, 1 Petabyte = 1.000 Terabyte, 1 Terabyte = 1.000 Gigabyte. Somit ist 1 Zettabyte 1.000.000 · 1.000.000 GB und entspricht damit der Datenmenge von 250 Billionen DVDs (vgl. CISCO [Bytescale]).

eines Tages von 2014 bis 2015 nur um 29 %, wohingegen die durchschnittliche Zunahme in der Busy-Hour 51 % betrug. Für die Entwicklung bis 2020 wird erwartet, dass sich dieser Trend fortsetzt, sodass mit einer weiteren Verdopplung der Menge der durchschnittlich zu übertragenden Daten gerechnet wird und für die Busy-Hour sogar eine 4,6-fache Zunahme des Datenaufkommens prognostiziert wird.

Infolge dieses rapiden Zuwachses der über ein Next Generation Network zu übertragenden Datenmengen mussten die Internet Service Provider, wie z. B. die Deutsche Telekom AG, stetig in die für die Datenübertragung genutzte Infrastruktur investieren.⁶ Unter Berücksichtigung obiger Prognosen sind weitere Investitionen notwendig, insbesondere um die steigenden Anforderungen der Anwendungen an die Qualität der Datenübertragungsdienstleistung zu erfüllen.⁷ Dazu bietet sich dem Netzbetreiber⁸ einerseits die Möglichkeit, die Übertragungskapazitäten fortwährend zu erweitern und damit den in der Vergangenheit eingeschlagenen Weg fortzusetzen.⁹ Andererseits erlauben die technischen Möglichkeiten der Next Generation Networks ausgewählte Daten priorisiert zu übertragen.¹⁰ Die Priorisierung dient in diesem Fall der Sicherstellung der erforderlichen Dienstgüte für dienstgütesensitive Anwendungen, indem die Daten von anderen weniger dienstgütesensitiven Anwendungen nachrangig weitergeleitet werden. Die Option, bestimmte Daten priorisiert durch das Netz zu leiten, bietet dem Datenübertragungsdienstleistungsanbieter die Möglichkeit zur Einführung neuartiger Tarife, die dem Kunden bei entsprechender Bezahlung Zugang zur priorisierten Übertragung von Daten gewähren.¹¹

Mit der Einführung von Tarifen, die Endkunden eine priorisierte Übermittlung von Daten gewähren, bietet sich Datenübertragungsdienstleistern die Möglichkeit, eine Abkehr von den aktuell verbreiteten Flatrate-Tarifen voranzutreiben. Dies ist erstrebenswert, da eine verhältnismäßig kleine Nutzergruppe für einen Großteil der zu übertragenden Daten verantwortlich ist, diese jedoch bei Flatrate-Tarifen nur einen geringen

⁶ Vgl. KRUSE [Internet-Überlast] S. 188, ODLYZKO [Traffic growth] S. 2

⁷ Vgl. COFFMAN/ODLYZKO [Moore's Law] S. 47 ff., die feststellen, dass sich das über die Datennetze verteilte Datenaufkommen jedes Jahr annähernd verdoppelt. Vgl. JAY/PLÜCKEBAUM [QoS] S. 1 ff. oder NGUYEN/ARMITAGE [Pricing Schemes] S. 64 ff. bezüglich der Notwendigkeit der Anpassung der für die Datenübertragung bereitgestellten Ressourcen im Zuge gestiegener Anforderungen.

⁸ Im Folgenden seien der Internet Service Provider, der Netzbetreiber und der Datenübertragungsdienstleistungsanbieter synonym verwendet. In der Realität kann es im Auftreten gegenüber dem Endkunden zu einer weiteren Differenzierung der einzelnen Begrifflichkeiten kommen, wenn der Netzbetreiber ausschließlich einem weiteren Unternehmen Übertragungskapazitäten bereitstellt, die dieses wiederum nutzt, um die Daten der Endkunden über dieses nur gemietete Netz weiterzuleiten.

⁹ In der Vergangenheit wurde der Ausbau durch die Beiträge der Endkunden finanziert (vgl. ODLYZKO [Traffic growth] S. 12).

¹⁰ Vgl. ITU [General Overview] S. 3 f.

¹¹ Vgl. f. NGUYEN/ARMITAGE [Pricing Schemes] S. 64 ff., MCKNIGHT/BOROUHAND [Pricing] S. 565 ff.

Teil der gesamten Erlöse des Datenübertragungsdienstleisters generiert. Mit neuartigen Tarifen lässt sich einerseits eine weitere Differenzierung der Datenübertragungsdienstleistung basierend auf der Priorisierung vornehmen und andererseits kann die Inanspruchnahme einer gesicherten Qualität an eine die Intensität der Nutzung berücksichtigende Bepreisung gekoppelt werden. So kann dem Endkunden z. B. nur für eine bestimmte Menge an Daten innerhalb eines fixierten Zeitraums eine Priorisierung angeboten werden. Unter der Annahme, dass die Differenzierung der Datenübertragungsdienstleistung endkundenseitig zu einer steigenden Befriedigung der bestehenden Anforderungen führt und dies mit einer höheren Zahlungsbereitschaft für eine garantierte Dienstgüte honoriert wird, kreiert der Datenübertragungsdienstleister für Kunden einen Anreiz, in Tarife mit Zugang zur gesicherten Dienstgüte zu wechseln. Die die Nutzungsintensität berücksichtigende Bepreisung wiederum kann ferner im besten Fall zu einer Reduktion des Datenaufkommens führen.¹²

Trotz der hohen Aktualität und Praxisrelevanz existieren bislang jedoch wenige interdisziplinäre Ansätze, die aufbauend auf den neuartigen technischen Möglichkeiten der Next Generation Networks eine optimierte Entscheidungsunterstützung mit aus dem technischen Fortschritt resultierenden Chancen zur Einführung neuer Tarife sowie der endkundenseitigen Nutzensteigerungen im Kontext einer auf Unternehmensebene implementierten kundenwertorientierten Strategie liefern. Das Ziel dieser Arbeit ist es daher, einen Beitrag zur Optimierung der Bepreisung der Datenübertragungsdienstleistung zu leisten. Dazu ist zunächst eine Basis zur kundenwertorientierten Analyse der von einem Datenübertragungsdienstleistungsanbieter gewählten Tarife zu schaffen. Die Analyse gilt es so aufzubauen, dass für den Datenübertragungsdienstleister eine optimierte Entscheidungsfindung in Bezug auf die durch ihn festzulegenden, beeinflussbaren Größen ermöglicht wird. Die Kundenwertorientierung bildet den Anknüpfungspunkt an die in Next Generation Networks mögliche Priorisierung von Daten, da die Priorisierung eine Beeinflussung des mit einer gesicherten Dienstgüte einhergehenden wahrgenommenen Kundennutzens ermöglicht. Es wird aufgezeigt, dass ein Miteinbeziehen der Qualität der Datenübertragungsdienstleistung sowie der daraus resultierenden neuen Ausgestaltungsmöglichkeiten von Tarifen in die Steuerung des Unternehmens dazu beitragen kann, die kundenwertorientierten Ziele zu erreichen.

Die Arbeit liefert mit der Untersuchung dieser sich dem Netzbetreiber neu bietenden Möglichkeiten einerseits einen Beitrag zur konzeptionellen Modellierungsforschung und zielt andererseits konstruktionsorientiert auf die Modellierung des Datenverkehrs

¹² Vgl. VIVANO/KEMP/JAYASUMANA [Internet Pricing Modells] S. sowie REICHL ET AL. [Flat Rate Dilemma] S. 1 ff.

unter Einbindung der in bisherigen Modellen nur gesondert betrachteten Kundenwertorientierung ab.¹³ Um dies zu realisieren, wird ein Ansatz zur Modellierung der Veränderung der Wechselwahrscheinlichkeiten der Kunden zwischen den angebotenen Tarifen entwickelt, bei dem die Veränderung der Wechselwahrscheinlichkeiten auf dem Nutzen der Kunden basiert, den die Kunden aus der Inanspruchnahme der Datenübertragungsdienstleistung ziehen. Der Kundennutzen wird unter Rückgriff auf Nutzenfunktionen quantifiziert, deren Eigenschaften gemäß empirischen Erhebungen ausgestaltet werden. Entsprechend ist diese Arbeit dem von MAYNTZ oder auch COLEMAN verfolgten Konzept der Mathematisierung der Sozialwissenschaften¹⁴ zuzuschreiben und greift damit die von SCHANZ betonte Interdisziplinarität der Betriebswirtschaftslehre auf.¹⁵ Die Mathematisierung im Rahmen der Sozialwissenschaften intendiert die Einbettung der mittels empirischer Forschung realisierten Validierung bestimmter für das Handeln von Personen oder Unternehmen gebildeter Hypothesen in stochastische Modelle, um auf deren Basis weiterführende Erkenntnisse zu erlangen.¹⁶ Auf den vorgestellten Möglichkeiten zur Analyse aufbauend werden Potenziale zur Optimierung der Bepreisung der Datenübertragungsdienstleistungen durch den Datenübertragungsdienstleister hinsichtlich der Festlegung der von diesem beeinflussbaren Parameter aufgezeigt. Um zu eruieren, welche weiteren Erkenntnisse aus dem entwickelten Modell resultieren, wird basierend auf einem Fallbeispiel eine Implementierung des Modells mittels eines Simulationstools vorgenommen.

Um die intendierten Ziele zu erreichen, gibt das sich an dieses Kapitel anschließende **Kapitel 2** zunächst einen Überblick über Next Generation Networks. Im Zuge dieser Betrachtung werden die Netzwerkakteure vorgestellt, bevor im Anschluss eine Einführung in die den Next Generation Networks zugrundeliegende Technik gegeben wird. Es werden ferner die Anforderungen an die Datenübertragungsdienstleistungen beleuchtet und sodann überblicksartig die technischen Möglichkeiten zur Realisierung dieser Anforderungen skizziert.

¹³ Vgl. z. B. BRAUN/ESSWEIN [Modellierung] S. 143. f. zur Explikation von Forschungsdesigns in der konzeptuellen Modellierungsforschung.

¹⁴ Die Zuordnung der Betriebswirtschaftslehre als Teil der Wirtschaftswissenschaften zu den Sozialwissenschaften folgt der verhaltenstheoretischen Argumentation von JUNG [Betriebswirtschaftslehre] S. 56 und SCHANZ [Verhaltenstheoretisch] S. 34, gemäß derer das Entscheidungsverhalten von Einzelpersonen bzw. auf aggregierter Ebene das Entscheidungsverhalten von Kundensegmenten auch in der betriebswirtschaftlichen Modellbildung mitzuberücksichtigen ist.

¹⁵ Vgl. SCHWEITZER/SCHWEITZER [Betriebswirtschaftslehre] S. 59 und zum Konzept der Mathematisierung bei der Modellbildung in den Sozialwissenschaften MAYNTZ [Modellkonstruktion] S. 17 f. oder COLEMAN [Mathematical].

¹⁶ Vgl. BARTHOLOMEW [Stochastic Processes] S. 161

In **Kapitel 3** erfolgt eine Vorstellung von Ansätzen zur Bepreisung priorisierter Datenübertragungsdienstleistungen. Dazu werden zunächst Anforderungen an die Preispolitik eines Datenübertragungsdienstleisters basierend auf den aus den Grundlagen der Bepreisung von Dienstleistungen abgeleiteten Herausforderungen identifiziert sowie Grundlagen der Preisdifferenzierung zur Umsetzung der Ziele vorgestellt. Anschließend werden bestehende Ansätze zur Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistungen systematisiert und ausgewählte Ansätze näher diskutiert. Abschließend findet die Entwicklung eines möglichen Ansatzes zur endkundenseitigen Bepreisung von priorisierten Datenübertragungsdienstleistungen statt.

Kapitel 4 widmet sich der Entwicklung eines Modells zur kundenwert-basierten Analyse von Ansätzen zur Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistungen. Nach einer kurzen Übersicht über bestehende Möglichkeiten zur Analyse werden anhand dieser Herausforderungen aufgezeigt, die von Datenübertragungsdienstleistungen zu meistern sind. Kundenwertorientierte Analysen werden als Ansatz zur Bewältigung dieser Herausforderungen identifiziert und folgend fokussiert. Sodann werden die in einem kundenwertorientierten Modell benötigten Funktionen identifiziert, die die Abhängigkeiten der einzelnen Einflussgrößen abbilden, und es wird basierend auf bereits publizierten Ergebnissen empiriebasierter Analysen eine Modellierung der Zahlungsbereitschaft und der Nachfrage vorgenommen. Abschließend wird in diesem Kapitel ein Ansatz zur Berücksichtigung der aus der Dienstgüte resultierenden Kundenzufriedenheit im Zuge der Modellierung des Wechselverhaltens von Kunden zwischen verschiedenen Segmenten entwickelt. Mit dem vorgestellten Ansatz findet eine Abkehr von der Annahme statischer Übergangswahrscheinlichkeiten statt, indem diese dann dynamisch, in Abhängigkeit von der Dienstgüte, ausgestaltet werden.

In **Kapitel 5** findet nach einer kurzen Übersicht über die Grundlagen von Simulationsmodellen eine Überführung des theoretischen Modells in ein Simulationstool statt. Dazu werden die in Kapitel 4 gewählten Modellierungsansätze neuerlich aufgegriffen und in einer um VBA-Makros und ein Risikosimulations-Add-in erweiterten excelbasierten Simulation erprobt. Um die Möglichkeiten des Simulationsmodells aufzuzeigen, wird auf die im Kapitel 3 als vorteilhaft und realisierbar identifizierten Bepreisungsansätze in einem für einen Datenübertragungsdienstleister konzipierten Fallbeispiel zurückgegriffen. Dazu werden die für die Nutzer zu spezifizierenden Parameter der Zahlungsbereitschafts- und der Nachfragefunktionen basierend auf den in empirischen Untersuchungen identifizierten und frei verfügbaren Informationen festgelegt. Die auf der nächsten Seite folgende Abbildung 1 greift die beschriebene Struktur der Arbeit nochmals auf und visualisiert diese.

Die Arbeit erfüllt mit der Entwicklung von Methoden und Techniken zur Modellierung von Datenübertragungsdienstleistungen im Spannungsfeld zwischen der Kundenwertorientierung sowie der Beschränktheit der Ressourcen des Datenübertragungsnetzes des Anbieters sowohl einen methodischen Auftrag als auch einen inhaltlich-funktionalen Auftrag, indem ein Referenzmodell zur kundenwertorientierten Analyse von Tarifen zur Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistungen für die Telekommunikationsbranche bereitgestellt wird.¹⁷

Arbeitspakete	
1. Bedeutung kundenwertorientierter Analysen von Datenübertragungstarifen für Next Generation Networks	
Grundlagen	2. Grundlagen priorisierter Datenübertragung <ul style="list-style-type: none"> – Netzbetreiber als Datenübertragungsdienstleister; – Quality of Service zur Identifikation von Anforderungen an Datenübertragungsdienstleistungen; – Quality of Service zur Differenzierung der Datenübertragungsdienstleistung; – priorisierte Datenübertragung zur Quality-of-Service-Sicherung bei Kapazitätsengpässen.
	3. Bepreisung priorisierter Datenübertragungsdienstleistungen zur Auslastungssteuerung <ul style="list-style-type: none"> – Anforderungen an die Preispolitik eines Datenübertragungsdienstleisters; – ausgewählte Ansätze zur Preisdifferenzierung bei Datenübertragungsdienstleistungen; – Entwicklungen bei der endkundenseitigen Bepreisung priorisierter Datenübertragung.
Modellbildung	4. Entwicklung eines Modells zur kundenwertorientierten Bepreisung priorisierter Datenübertragung <ul style="list-style-type: none"> – Ansätze zur Analyse der Bepreisung priorisierter Datenübertragungsdienstleistungen; – Customer Equity als Basis zur Analyse der Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistungen; – Abbildung der Einflussfaktoren zur Customer-Equity-Bestimmung; – Customer-Equity-Modellierung zur Analyse der Bepreisung der Datenübertragungsdienstleistungen.
Validierung	5. Simulative kundenwertorientierte Optimierung ausgewählter Datenübertragungstarife <ul style="list-style-type: none"> – Grundlagen eines Simulationsansatzes als Informationsbasis einer Analyse; – Bestimmung der zur Analyse der Bepreisung priorisierter Datenübertragungsdienstleistungen erforderlichen Einflussfaktoren; – simulationsgestützte Analyse der tarifbasierten Bepreisung priorisierter Datenübertragungsdienstleistungen.
	6. Weiterentwicklung des kundenwertorientierten Ansatzes zur Optimierung von Investitionsentscheidungen über den Netzausbau

Abbildung 1: Visualisierung der Struktur der Arbeit

¹⁷ Vgl. BRAUN/ESSWEIN [Modellierung] S. 143



2 Priorisierte Datenübertragungsdienstleistungen in Next Generation Networks

2.1 Stellung des Netzbetreibers in Next Generation Networks

2.1.1 Netzbetreiber als Datenübertragungsdienstleister zwischen Endkunden und Anwendungsanbietern

OBERMANN/HORNEFFER definieren die Aufgabe eines Datenübertragungsdienstleisters¹⁸ als das Betreiben eines Kommunikationsnetzes zur Bereitstellung eines Mediums zur Weiterleitung von Informationen zwischen Endsystemen, die sich an unterschiedlichen Orten befinden.¹⁹ Er übernimmt die Übertragung der Informationen von Punkt A an Punkt B, wobei A als Quelle und B als Senke bezeichnet wird, wenn die Information von A an B gerichtet ist.²⁰ Sowohl die Quelle als auch die Senke sind Knoten innerhalb eines Netzes; das Signalträgermedium, das zwischen den beiden Knoten liegt und auf dem die Information übertragen wird, wird als Kante bezeichnet und entspricht den Netzkabeln des Netzbetreibers. Die Knoten sind Vermittlungseinrichtungen, die die Informationen aussenden, weiterleiten und empfangen können.²¹ Folglich vermitteln, verteilen oder aggregieren die Netzknoten die zu übertragenden Informationen.²²

Da mit der Verbreitung von Voice over IP²³ (Internet Protocol), also der Vermittlung der Sprache als Datenpakete, das Telefon ebenfalls als Rechner agiert, vollzieht sich innerhalb der Telekommunikationsnetze aufgrund der steigenden Konvergenz von Sprach- und Datenkommunikation ein Wandel vom klassischen Telekommunikationsnetz hin zum Datenübertragungsnetz.²⁴ Entsprechend dieses Wandels unterscheidet das deutsche Telekommunikationsgesetz zwischen zwei Dienstarten: Telekommunikationsdiensten und Inhaltsdiensten.²⁵ Telekommunikationsdienste werden vom

¹⁸ Vgl. zu einer ausführlichen Diskussion allgemeiner Dienstleistungsmerkmale und den in der Literatur gängigen Definitionen FAßNACHT [Preisdifferenzierung] S. 106 ff.

¹⁹ Vgl. f. OBERMANN/HORNEFFER [Datennetztechnologien] S. 1

²⁰ Zurückzuführen sind die Begriffe Quelle und Senke auf die Graphentheorie, die vertiefend z. B. in NEUMAN/MORLOCK [Operations Research] S. 176 ff. erläutert wird. Zur Klärung vertiefender elektrotechnischer Fragestellungen vgl. z. B. JUNG/WARNECKE [Telekommunikationshandbuch].

²¹ Vgl. ECONOMIDES [Economics of Networks] S. 674; eine detaillierte Beschreibung der in einem Kommunikationsnetz eingesetzten Netzwerkelemente im Sinne der technischen Komponenten ist z. B. in KELLER [Breitbandkabelnetz] S. 445 ff. zu finden.

²² Vgl. OBERMANN/HORNEFFER [Datennetztechnologien] S. 7

²³ Einen umfassenden Überblick über Voice over IP und technische Grundlagen zu IP geben z. B. BADACH [VoIP], MINOLI [VoIP] oder NÖLLE [VoIP].

²⁴ Vgl. BADACH [VoIP] S. 1

²⁵ Vgl. BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ [Telekommunikationsgesetz] § 3 Abs. 24 sowie WITTERN/SCHUSTER [Kommentar TKG § 3] Rn. 47 ff.

Telekommunikationsdienstleistungsanbieter erbracht, der entsprechend des Wandels als Datenübertragungsdienstleistungsanbieter agiert und die Infrastruktur zur Datenübertragung bereithält. Der Telekommunikations- und damit der Datenübertragungsdienstleistungsanbieter wird daher auch als Netzbetreiber bezeichnet, der primär die Datentransportdienstleistung für den Inhaltsdienstanbieter erbringt.²⁶ Die Inhaltsanbieter stellen Inhaltsdienste bereit, bei deren Inanspruchnahme die zu übertragenden Daten generiert werden. Folglich nimmt das Telekommunikationsgesetz eine Trennung zwischen Signalübertragung und den zu übertragenen Inhalten bzw. Informationen vor.

Auch wenn der Datenübertragungsdienstleister dem Inhaltsanbieter im Sinne eines Endkunden den Zugang zum Datennetz ermöglicht, so sei der Endkunde im Rahmen dieser Arbeit stets eine Privatperson, deren primäres Ziel in der Nutzung der Datenübertragungsnetze zum Zugriff auf die von den Inhaltsdienstleistern bereitgestellten Inhalte und deren spezifische Inhaltsdienste besteht und nicht in der eigenen Bereitstellung von Inhaltsdiensten verortet ist. Auf dieses primäre Ziel der Inanspruchnahme der von Inhaltsdienstleistern offerierten Inhalte bzw. Anwendungen wird bei der Abgrenzung des privaten Nutzers von den Inhaltsdienst Anbietern abgestellt, um trotz der mit der Entstehung des Web 2.0 erfolgenden Einbindung der privaten Endnutzer in die Generierung und die Bereitstellung von Inhalten auf den Anwendungen der Inhaltsdienstleister eine Differenzierung dieser beiden Gruppen zu realisieren.²⁷ Da die Inhaltsdienstanbieter, die das Web 2.0 prägen, jedoch selbst keinen Inhalt bereitstellen, sondern vielmehr ausschließlich eine Plattform anbieten, auf der die Inhalte der Endnutzer und/oder externer Inhalteanbieter zugänglich und vorgehalten werden, wird der Inhaltsdienstanbieter auch als Anwendungsanbieter bezeichnet.²⁸ Beispielhaft für diese Entwicklung seien insbesondere Wikipedia, Flickr, YouTube und Facebook genannt, da diese Anwendungsanbieter ausschließlich die Plattformen bereitstellen, die zur textgebundenen Wissensbereitstellung (Wikipedia) über die Bereitstellung von Fotos (Flickr) und Videos (YouTube) bis hin zur kombinierten Bereitstellung aller Medien auf Sozialen-Netzwerk-Seiten (Facebook) dienen.

²⁶ Der Inhaltsdienstanbieter entspricht im Englischen dem Content Service Provider, der Datenübertragungsdienstleister dem Internet Service Provider. Diese Unterscheidung ist jedoch nicht trennscharf, da die Internet Service Provider meist in einem bestimmten Umfang auch als Content Service Provider auftreten.

²⁷ Vgl. f. O'REILLY [Web 2.0 a] und O'REILLY [Web 2.0 b] S. 18 ff., Beck [Web 2.0] S. 5 ff.

²⁸ Vgl. BECK [Web 2.0] S. 6 ff. oder KILIAN/HASS/WALSH [Web 2.0] S. 5 ff.

Im Zuge einer Systematisierung der von Inhaltenanbietern angebotenen Anwendungen anhand ihres Anwendungsbereichs fällt auf, dass ein spezifischer Dienst nicht grundsätzlich nur zu einer einzigen Kategorie zugewiesen werden kann.²⁹ Der Anwendungsbereich spiegelt dabei das vom Nutzer überwiegend intendierte Ziel wider, das er sich von der Nutzung der Anwendung verspricht.

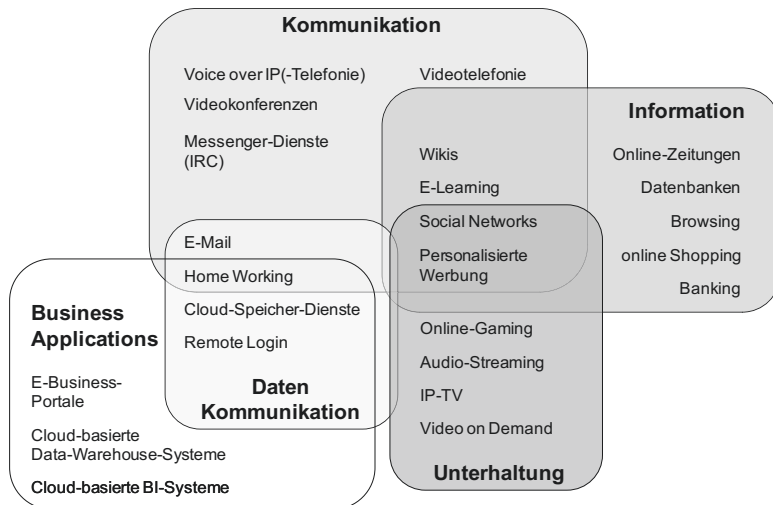


Abbildung 2: Systematisierung von Inhaltsdiensten nach Anwendungsbereich³⁰

So sind die bereits in den ursprünglichen Datenübertragungsnetzen angebotenen Kommunikationsdienste, also die Anwendungen, die eine text-, sprach- oder videogebundene Verbindung zwischen zwei Parteien zwecks Austausch von Informationen herstellen, sowohl mit den Unterhaltungsdiensten als auch mit den originären Informationsdiensten verbunden. Insbesondere mit dem Ausbau der in sozialen Netzwerken eingebetteten Funktionalitäten verschwimmt die Grenze des Anwendungsbereichs zwischen Unterhaltung, Kommunikation und Information. So wird das ursprünglich primäre Ziel eines Unterhaltungsdiensteanbieters, Inhalte bereitzustellen, durch deren Nutzung dem Endnutzer ein angenehmer Zeitvertreib geboten wird – sei es durch die Bereitstellung von Texten, Musik, Filmen oder Spielen – genauso von sozialen Netzen bedient, wie das Ziel von Kommunikationsdiensteanbietern, indem z. B. ein Textnachrichtendienst integriert wird. Darüber hinaus wird eine auf die Bedürfnisse des Nutzers

²⁹ Anwendung und Inhaltsdienst werden in dieser Arbeit synonym verwandt und entsprechen dem englischen Content.

³⁰ Modifiziert entnommen aus KÜHN [Next Generation Networks] S. 7

zugeschnittene Informationsdienstleistung geboten, sei es durch die Integration von Informationen originärer Informationsdienste, wie z. B. online Zeitschriften, oder auch durch die von den mit dem Nutzer verbundenen Personen verbreiteten Nachrichten. Selbst die Datenkommunikation im Sinne einer zweckungebundenen Übertragung, Bereitstellung oder Vorhaltung bzw. Sicherung eines Zugangs zu spezifischen Daten wird teils von sozialen Netzen aufgegriffen. Auch die Anwendungen, die speziell auf die Bedürfnisse der Geschäftswelt zugeschnitten sind, können gleichfalls Datenkommunikationsdiensten und Kommunikationsdiensten zugeordnet werden, wie dies z. B. bei Home-Working-Anwendungen der Fall ist. Abbildung 2 zeigt die Systematisierung der Anwendungen nach Anwendungsbereich im Überblick.

Die Datenübertragung erfolgt über die Infrastruktur³¹ des Netzbetreibers, die in die Architektur des Gesamtnetzwerks eingebunden ist und sich, wie in Abbildung 3 visualisiert, in ein Teilnehmer-, ein Anschluss-, ein Aggregations- und in ein Kernnetz, das Backbone-Netz, gliedert.³² Der jeweilige Netzbetreiber bietet die Datenübertragungs- bzw. Datenweiterleitungsdienstleistung sowie Geräte, Software und Dienste an, die zum Aufbau einer Verbindung benötigt werden.³³ Diese Unterteilung wird in Abbildung 3 entsprechend der räumlichen Ausdehnung eines Netzes vorgenommen, um das weltumspannende Gesamtnetz in Teilnetze zu untergliedern.³⁴

Gemäß OBERMANN/HORNEFFER spiegelt sich die Unterteilung der Netze in der hierarchischen Struktur wider, bei der die größte Ausdehnung gleichzeitig die oberste Hierarchieebene bildet und als Wide Area Network in Abbildung 3 ganz rechts dargestellt ist.³⁵ Darüber hinaus zeigt die Abbildung, dass die einzelnen Netze an Knotenpunkten, gekennzeichnet durch die Zylinder mit ein- und ausgehenden Pfeilen, mit den hierarchisch über- und untergeordneten Netzen verknüpft sind, während auf der niedrigsten Hierarchieebene, den in Abbildung 3 ganz links dargestellten Lokal Area Networks, ausschließlich eine Weiterleitung erfolgt, symbolisiert mittels eines Zylinders mit nur einem Pfeil. Die mittels unterschiedlichen Graustufen geschaffene Differenzierung der

³¹ Unter der Infrastruktur wird die grundlegendste technische Hardware in ihrer Gesamtheit verstanden, die als Funktionsvoraussetzung gilt (vgl. zur Diskussion des Terminus KLAUS [Deregulierung] S. 98 ff.).

³² Vgl. PLEVYAK/SAHIN [Next Generation Networks] S. 3 oder Vgl. TRICK/WEBER [Telekommunikationsnetze] S. 5

³³ Vgl. GILLESPIE/MATTHEWS [Service Provider] S. 63, die den in der Literatur gängigen Begriff des Internet Service Provider (ISP) benutzen; beide Begriffe werden in dieser Arbeit synonym verwendet (Vgl. zur Nutzung des Begriffs des Internet Service Providers beispielhaft GRALLER [Internet] S. 273, OECD [Pricing] S. 22 sowie 122, KRAMER/PESAVENTO [Ethernet], CHEN/NAHRSTEDT [QoS Overview]).

³⁴ Vgl. ELLANTI ET AL. [Next Generation Networks] S. 8

³⁵ Vgl. OBERMANN/HORNEFFER [Datennetztechnologien] S. 24 ff.

Kanten greift die Parallelität von Verbindungen auf, die einerseits daraus resultiert, dass verschiedene Netzbetreiber unabhängig voneinander Netze betreiben, die ähnliche Regionen erschließen, andererseits jedoch auch auf bewusst vorgehaltene redundante Verbindungen eines Betreibers zurückzuführen sind, mit denen eine Versorgungssicherheit garantiert werden soll. An ausgewählten Knotenpunkten werden die Einzelnetze zusammengeführt, sodass eine Übertragung der Daten über die Netzgrenze hinweg ermöglicht wird.

Die größte Ausdehnung haben Backbone-Netze, die auch als Kernnetze bezeichnet werden und die in der Abbildung 3 ganz rechts dargestellt sind, die die Aggregationsnetze anbinden und darüber hinaus mit anderen Backbone-Netzen verbunden sind.³⁶ Das Aggregationsnetz wird in zahlreichen Publikationen auch Metronetz genannt, da es sich z. B. um regionale Hochgeschwindigkeitsnetze handelt, deren Ausdehnung sich innerhalb einer Großstadt erstreckt.³⁷ An die Metronetze sind die Anschluss- bzw. Zugangsnetze angeschlossen. Diese binden die Endnutzer³⁸ an und umfassen neben den kabelgebundenen physischen Leitungen die Funknetze.³⁹ Die kleinste räumliche Ausdehnung haben die Lokal Area Networks (LANs), die innerhalb von Gebäudestrukturen installiert sind bzw. bei Unternehmen mitunter auch mehrere Gebäude umfassen können. Für die Datenübertragung sowie die Qualität der Datenübertragung innerhalb dieser LANs ist alleinig der betreibende Endnutzer zuständig.

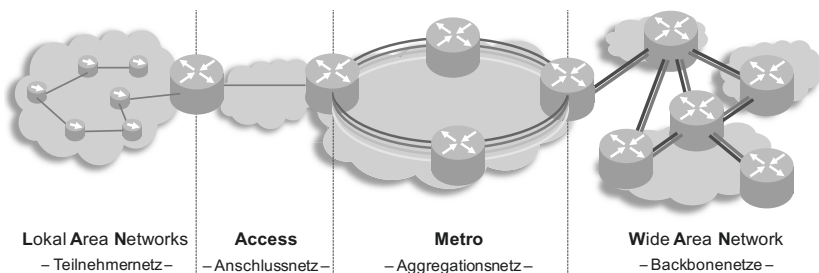


Abbildung 3: Systematisierung von Netzwerken anhand ihrer räumlichen Ausdehnung⁴⁰

³⁶ Vgl. MERTENS ET AL [Wirtschaftsinformatik] S. 43

³⁷ Vgl. f. FROBERG [Telekommunikationstechnik] S. 206

³⁸ Der (End-)Nutzer ist eine Person oder Recheneinheit, die nicht zum Netzwerk selbst gehört und das Netz zur Inanspruchnahme oder Bereitstellung von Inhaltsdiensten nutzt (vgl. ITU [Quality of Service] S. 4). Die Verbindung ist in diesem Falle definiert als Aufbau einer Verbindung zwischen zwei innerhalb des Netzes liegenden Knoten.

³⁹ Vgl. KIEFER [Quality of Service] S. 130

⁴⁰ Modifiziert entnommen aus KIEFER [Quality of Service] S. 130. Die Abbildung verdeutlicht auch, dass sich die einzelnen Netze durch unterschiedliche Topologien auszeichnen, auf die z. B. MÜLLER/EY-MANN/KREUTZER [Telematiksysteme] S. 29 f. eingeht.

Innerhalb eines Datenübertragungsnetzes sind Regeln notwendig, um sicherzustellen, dass der Austausch der Daten zwischen zwei Parteien, die an der Kommunikation beteiligt sind, über die Netzgrenzen hinweg reibungslos abläuft.⁴¹ Diese Regelwerke werden als Protokolle bezeichnet und stellen sicher, dass zum einen eine Verbindung zu Stande kommt, und zum anderen, dass die übermittelten Daten fehlerfrei ankommen.⁴² Darüber hinaus regeln Protokolle im Falle, dass ein Fehler auftritt, die Fehlerbehebung und die Datenflusssteuerung. Dies setzt voraus, dass die beiden miteinander kommunizierenden Parteien über dasselbe Protokoll verfügen oder, sofern es sich um zwei unterschiedliche Protokolle und daraus folgend ein heterogenes Netz handelt, die beiden Protokolle miteinander kompatibel sind.⁴³

2.1.2 Abgrenzung eines Next Generation Network von klassischen Kommunikationsnetzen

Der Wandel in der Datenübertragungstechnik zeichnet sich dadurch aus, dass die bestehenden Telekommunikationsnetzwerke so ausgebaut werden, dass eine paketvermittelnde Datenübertragung erfolgt und damit eine Konvergenz in den Netzwerktechnologien vollzogen wird.⁴⁴ Die Konvergenz bezieht sich dabei nicht nur auf die Umstellung auf IP-basierte Datenübertragung und die Bündelung aller heutigen bekannten Dienste, die über das Internet bezogen werden, in einem einzigen Übertragungsnetz, sondern umfasst darüber hinaus auch Zugangsmöglichkeiten.⁴⁵ Diese betreffen einerseits die Gerätschaft, die ans Netz angeschlossen wird, und andererseits die Art des Anschlusses. Im Sinne der ubiquären Zugangsmöglichkeiten seien mobile oder kabelgebundene Zugänge sowie die Nutzung von Synergien, die durch die mögliche Bündelung der Kapazitäten der beiden Übertragungsmedien gewonnen werden können, genannt.

Um Informationen paketweise zu übertragen, wird die Information in kleinere Einzelteile, die Datenpakete, zerlegt, bevor diese Pakete dann separat knotenweise weitervermittelt werden; daher wird von einer paketvermittelnden Datenübertragung gesprochen.⁴⁶ Ein Datenpaket kann grob in zwei Komponenten aufgeteilt werden: Den

⁴¹ Vgl. EBERSPÄCHER [Kommunikationsprotokolle] S. 1-63

⁴² Vgl. EBERSPÄCHER [Kommunikationsprotokolle] S. 1-66

⁴³ Vgl. GABRIEL ET AL. [Kommunikationssysteme] S. 72

⁴⁴ Vgl. OBERMANN/HORNEFFER [Datennetztechnologien] S. 1, vgl. dazu z. B. die Aussagen der TELEKOM AG [Geschäftsbericht 2013] S. 67 „Unser gesamtes Festnetz werden wir sukzessive für alle Kundensegmente auf Internet Protokoll (IP) umstellen. [...] Mit einem integrierten paneuropäischen All-IP-Netz werden wir unseren Kunden immer die beste und schnellstmögliche Verbindung bieten.“

⁴⁵ Vgl. ff. OECD [Convergence] S. 7, TELEKOM AG [Geschäftsbericht 2013] S. 133

⁴⁶ Vgl. OBERMANN/HORNEFFER [Datennetztechnologien] S. 14

Header, in dem sowohl die Sende- und Empfangsadresse als auch die Fragment-Nummer, mit der die Einzelteile zur Sicherstellung der Wiederherstellbarkeit der ursprünglichen Information nummeriert sind, gespeichert ist, und den Datenteil, der die zu übermittelnden Daten enthält.⁴⁷ Zur Sicherstellung einer eindeutigen Adressierung wird jedem Computer innerhalb eines Netzes eine nur einmal vergebene Adresse zugewiesen, sobald sich der Rechner im Netz registriert.⁴⁸ Um zu garantieren, dass jede Adresse singular vergeben wird, erfolgt die Vergabe der Adressen durch eine zentrale Organisation, die Internet Assigned Numbers Authority (IANA), die zur Internet Corporation for Assigned Names and Numbers (ICANN) gehört. Die nicht länger ausreichende Mächtigkeit der Internetprotokolladressen, um allen an das Internet angeschlossenen Geräten eine eindeutige Adresse zuzuweisen, ist der bekannteste Grund für die Einführung eines Nachfolgers für das sich seit 30 Jahren bewährende Internet Protokoll Version vier (IPv4), das als das Regelwerk für eine IP-Paketbasierte Datenübertragung zu verstehen ist, da mit der sechsten Version des Internetprotokolls (IPv6) der Adressraum deutlich erweitert wird und somit die Eindeutigkeit der Vergabe auch bei steigender Geräteanzahl weiterhin garantiert werden kann.⁴⁹ Ferner wurde die Headerstruktur flexibilisiert und so sichergestellt, dass das Internetprotokoll über die bereits implementierten Funktionalitäten hinaus weiterentwickelt werden kann. Somit ist es zukünftig möglich, neue Dienste einzuführen, ohne dass das Protokoll in seiner Grundstruktur an Gültigkeit verliert.

Auf Basis unterschiedlicher zeitlicher Skalierungen können drei Aggregationsebenen der Datenübertragung in einem Next Generation Network betrachtet werden; siehe Abbildung 4.⁵⁰ Innerhalb der Paket-Ebene, die in der Abbildung als unterste Ebene eingezeichnet ist und die entsprechend die feingranularste Betrachtungsebene mit den kleinsten betrachteten Zeitintervallen darstellt, setzt sich der Gesamtverkehr aus einzelnen IP-Paketen zusammen. Die verschiedenen Graustufen der einzelnen Pakete zeigen, dass bei dieser Betrachtung berücksichtigt wird, dass die einzelnen Pakete von unterschiedlichen Paket-Flüssen abstammen.

⁴⁷ Vgl. ECKERT [IT-Sicherheit] S. 43

⁴⁸ Vgl. auch folgend zum Vergabeverfahren von IP-Adressen z. B. BECKER [Infosphäre] S. 33 oder DEMBOWSKI [Netzwerke] S. 207 f.; weiterführende Informationen zum Aufbau einer IP-Adresse sind darüber hinaus bei KÜVELER/SCHWOCH [Informatik] S. 220 ff. zu finden. Vgl. ferner IANA [Homepage]

⁴⁹ Vgl. f. HAGEN [IPv6] S. 6 f.; zukünftig können statt der bisher möglichen 4 Mrd. Adressen 10^{38} verschiedene Adressen vergeben werden (vgl. WIESE [Internetprotokoll] S. 7)

⁵⁰ Vgl. ff. EBERSPÄCHER [Traffic Engineering] S. 1-119 f.

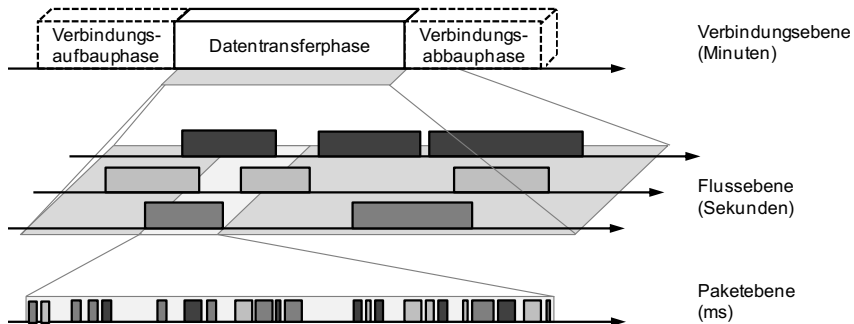


Abbildung 4: Systematisierung der Betrachtungsebenen der Datenübertragung⁵¹

Auf der darüber liegenden Flussebene, bei der sich die Granularität der Betrachtung durch eine Vergrößerung der Zeitskala erhöht, werden nicht länger die einzelnen Pakete, sondern Paketflüsse in den Fokus gerückt und damit die Pakete als Einheit zusammengefasst, die von einer bestimmten Quelle zu einer bestimmten Senke geschickt werden. Entsprechend existieren für jede Sender-Empfänger-Beziehung separate Datenflüsse, so wie dies durch die drei parallelen Flüsse in Abbildung 4 auf der Flussebene grafisch aufbereitet ist. Diese eindeutigen Sender-Empfänger-Beziehungen werden auf der Paketebene durch die verschiedenen Graustufen, in denen die Datenpakete eingefärbt sind, visualisiert. Um als Datenfluss definiert zu werden, darf ferner eine festgelegte Zeitspanne zwischen den einzelnen Paketen, die zwischen einem bestimmten Sender und Empfänger ausgetauscht werden, nicht überschritten werden. Letzteres ist verantwortlich dafür, dass für jede Sender-Empfänger-Beziehung im Zeitverlauf nacheinander verschiedene separierte Datenflüsse existieren können, so wie dies auch in Abbildung 4 auf der Flussebene visualisiert ist. Die höchste Betrachtungsebene ermöglicht eine Analyse von Sitzungen. Eine Sitzung umfasst dabei mehrere Datenströme, die eindeutig einer bestimmten Quelle zugewiesen werden können, ohne diese Datenströme jedoch zu differenzieren.

Der Header eines IP-Pakets, also eines Datenpakets,⁵² dessen Weiterleitung auf dem IP-Protokoll fußt, kann darüber hinaus durch weitere spezifische Protokolle ergänzt werden, die zusätzliche Informationen bereitstellen und mit denen Einfluss speziell auf den Transport des Pakets genommen werden kann.⁵³ Die auf dem Internetprotokoll basierende paketvermittelnde Datenübertragung führt weg von einer leitungs-

⁵¹ Modifiziert entnommen aus EBERSPÄCHER [Traffic Engineering] S. 1-119

⁵² Im Rahmen dieser Arbeit sei Datenpaket und IP-Datenpaket synonym verwandt.

⁵³ Vgl. f. HELD [Quality] S. 47 ff.

vermittelnden⁵⁴ hin zu einer verbindungslosen Kommunikation.⁵⁵ Das Datagramm-Prinzip des Internetprotokolls ermöglicht große Datenmengen zu fragmentieren⁵⁶ und unabhängig voneinander als einzelne Pakete über unterschiedliche Routen durch Netzwerke und Subnetzwerke zu verschicken.⁵⁷ Die Internetprotokoll-Datagramme sind durch das Internet-Protokoll eindeutig adressiert und markiert, sodass die Empfängerseite die richtige Reihenfolge auch dann herstellen kann, wenn diese aufgrund potenziell im Zeitverlauf unterschiedlicher Routen und daraus resultierend differierender Übertragungszeiten nicht in der für die endgültige Verarbeitung benötigten Reihenfolge ankommen sollten und eine Sortierung der Pakete notwendig werden sollte.⁵⁸ Ein Vorteil der Paketvermittlung besteht somit darin, dass keine dauerhafte Kapazitätsreservierung im Sinne eines Verbindungskanals für die gesamte Verbindungsdauer vorgehalten werden muss und damit die Übertragungseffektivität bei gleichbleibender Gesamtkapazität vergrößert werden kann.⁵⁹

Basierend auf dem Dijkstra-Algorithmus erfolgt bei der Weiterleitung eines Datenpakets von einem Knoten zum nächsten bei einer Vielzahl an potenziellen Wegen eine proaktive Ermittlung des optimalen, weil kürzesten Weges innerhalb des Netzes zum Ziel, wobei das Netz als gewichteter Graph verstanden wird, bei dem die Last der Folgeknoten sowie die zu überbrückende Wegstrecke als Gewichtung berücksichtigt wird.⁶⁰ Jedoch bieten die auf dem Internetprotokoll basierten Netze durchaus die Möglichkeit verbindungsorientierte Kommunikationsdienste zu implementieren, indem fixierte Verkehrsbeziehungen zwischen Netzknoten vorgeschrieben werden, sodass der sonst üblicherweise in Netzen mit Paketvermittlung genutzte Kürzeste-Wege-Algorithmus umgangen wird.⁶¹ Mit der Einführung der Paketvermittlung basierend auf dem Internetprotokoll Version 6 zur Datenübertragung kann auch der von der International Telecommunication Union⁶² (ITU) herausgegebene Standard Y.2001 umgesetzt

⁵⁴ KÜHN bezeichnet dies auch als Kanalvermittlung, da eine durchgehende Reservierung einer festgelegten Bandbreite in Form eines Verbindungskanals vorgenommen wird (vgl. KÜHN [Next Generation Networks] S. 3).

⁵⁵ Vgl. ff. KILLAT [Kommunikationsnetze] S. 3

⁵⁶ Mit der Einführung von IPv6 wird diese Fragmentierung jedoch ausschließlich den Sendern und Empfängern vorbehalten. In den Routern findet dann keine weitere Fragmentierung statt (WIESE [Internetprotokoll] S. 7).

⁵⁷ Vgl. BADACH/HOFFMANN [IP-Netze] S. 455 und CHANTELAU/BROTHUHN [Client-Server-Systeme] S. 109

⁵⁸ Vgl. DEMBOWSKI [Lokale Netze] S. 177

⁵⁹ Vgl. MEINEL/SACK [Kommunikation] S. 109, OBERMANN/HORNEFFER [Datennetztechnologien] S. 14, SCHÜRMANN [Rechnerverbindungsstrukturen] S. 101

⁶⁰ Vgl. BACHRAN/SCHNEIDER/DE WAAL [Routing] S. 320 f., KILLAT [Kommunikationsnetze] S. 22 f.

⁶¹ Vgl. KILLAT [Kommunikationsnetze] S. 3

⁶² Die International Telecommunication Union (ITU) ist eine Behörde der United Nations und der weltweite Standardsetter für die Informations- und Telekommunikationstechnologie. Die von der ITU

werden, in dem festgelegt ist, dass Next Generation Networks alle Dienste, wie z. B. Sprache, Videotelefonie, E-Mail oder internetbasierte Dienste in einem einzigen Netz integrieren.⁶³ Die dienstleistungsbezogenen Funktionen dürfen folglich nicht länger abhängig von der genutzten Übertragungstechnologie sein, damit das Netz die von der International Telecommunication Union festgelegte Definition eines Next Generation Networks, die Integration aller Dienste in einem Netz, erfüllt.⁶⁴ Diese Unabhängigkeit der Dienstbringung von der Transportebene führt zu einer Abkehr vom traditionellen Telekommunikationsnetz, in dem beide Funktionen eng miteinander verbunden waren.⁶⁵ Mit der Trennung von Diensten und dem Transport der Daten soll unter anderem eine Steigerung der Effektivität sowie eine Beschleunigung der Weiterentwicklung der im Telekommunikationsnetz angebotenen Inhaltsdienste und Anwendungen erreicht werden und es soll dem Datenübertragungsdienstleister ermöglicht werden, agil auf neue Kundenbedürfnisse reagieren zu können.⁶⁶

Zu den Weiterentwicklungen hin zu einem Next Generation Network gehört gemäß der International-Telecommunication-Union-Definition insbesondere auch die Fähigkeit, die Übertragungsdienstleistungsqualität an die von den unterschiedlichen Diensten benötigten Anforderungen anzupassen und individualisiert bereitzustellen.⁶⁷ Diese wesentliche Neuerung, die mit der Einführung des Internetprotokolls der sechsten Generation im Vergleich zu bestehenden Netzen, die bereits paketvermittelnd arbeiten, realisiert wird, ist eine essentielle Voraussetzung dafür, dass ein Kommunikationsnetz als Next Generation Network klassifiziert werden kann.⁶⁸ Mit dieser Forderung wird die individualisierte Anpassung der Leistungsqualität als wesentliches Merkmal von Next Generation Networks festgelegt und stellt einen erheblichen Unterschied zu bisherigen Netzen dar. In den bereits vor der Entwicklung der Next Generation Networks existierenden paketvermittelnden Netzen findet ein Versand nach dem „Best-Effort-Prinzip“⁶⁹ statt, bei dem es sich um ein Dienstmodell ohne Garantien bezüglich der Übertragungseigenschaften handelt, sodass es z. B. zu einer Zwischenspeicherung von

ausgegebenen Standards (Recommendations) sind weltweit verbindlich (vgl. ITU [General Overview] S. 4).

⁶³ Vgl. ITU [General Overview] S. 4. Eine Übersicht über die angebotenen Dienste, die paketvermittelnd übertragen werden können, gibt die Systematisierung von KÜHN [Next Generation Networks] S. 7.

⁶⁴ Vgl. ITU [General Overview] S. 3.

⁶⁵ Vgl. KÜHLING/ELBRACHT [Kommunikationsrecht] S. 11.

⁶⁶ Vgl. KÜHLING/ELBRACHT [Kommunikationsrecht] S. 11, TELEKOM AG [Geschäftsbericht 2013] S. 67, die angeben, dass „Einheitliche IP-Netze versetzen uns in die Lage, schnell, flexibel und kostengünstig auf sich ändernde Kundenwünsche zu reagieren.“

⁶⁷ Vgl. OBERMANN/HORNEFFER [Datennetztechnologien] S. 2, ITU [General Overview] S. 4.

⁶⁸ Vgl. ITU [General Overview] S. 2 ff.

⁶⁹ Vgl. dazu vertiefend auch KUROSE/ROSS [Computernetzwerke] S. 351.

Datenpaketen an den Netzknoten kommen kann, bevor diese abgefertigt werden.⁷⁰ In der Folge findet eine Verzögerung in der Datenübertragung und damit eine Qualitätsminderung statt, die sich z. B. im Ruckeln von Videostreams, also kurzen Unterbrechungen des Films, äußert. Mit der Forderung nach Implementierbarkeit von Dienstklassen trägt die International Telecommunication Union dazu bei, dass der Problematik der Verzögerung oder weiterer Störgrößen, die die Übertragungsqualität vermindern könnten, entgegengewirkt werden kann.⁷¹

IPv6 bietet neben den bereits genannten Vorteilen⁷² eine für die Nutzung in Next Generation Networks besonders wichtige Neuerung: Es ermöglicht, Datenpakete zu priorisieren.⁷³ Dies wird erreicht, indem in der mit IPv6 neu eingeführten Headerstruktur ein sogenanntes Verkehrsklassen-Feld geschaffen wird, in dem Datenpaketen Verkehrsklassen zugeordnet werden können.⁷⁴ Darüber hinaus lassen sich Datenpakete, die einem Datenstrom angehören, auf konstanten Routen leiten. Solche Datenströme setzen sich aus schnell aufeinanderfolgenden einzelnen Datenpaketen zusammen, die eine zusammenhängende Information von einem Sender an einen Empfänger übertragen bzw. permanent Echtzeitdaten senden, sei es ein Live-Video-Stream oder ein Telefongespräch.⁷⁵ Mittels dieses zusätzlichen Felds ist den Datenpaketen indirekt durch die Zuweisung zu einer Verkehrsklasse unter anderem die Informationen bezüglich ihrer Anforderungen an die Datenübertragungsdienstleistungen zugewiesen, so dass im Umkehrschluss allein auf Basis der dem Datenpaket zugewiesenen Verkehrsklasse Rückschlüsse über den potenziellen Inhalt des Datenpakets möglich werden. Letzteres ist insbesondere bei einer feingranularen Verkehrsklassendefinition, bei der im Extremfall jeder Anwendung eine bestimmte Verkehrsklasse zugewiesen ist, möglich.

⁷⁰ Vgl. MEINEL/SACK [WWW] S. 107 f.

⁷¹ Eine vertiefte Analyse der Parameter, die die Dienstgüte beeinflussen, findet in Kapitel 2.5 statt.

⁷² Weitere Vorteile, die jedoch im Weiteren nicht im Mittelpunkt dieser Arbeit stehen, listen z. B. MANDL/BAKOMENKO/WEIB [Datenkommunikation] S. 151 auf.

⁷³ Eine vergleichbare Funktionalität bot bereits IPv4, jedoch wurde das Headerfeld, das dazu gedacht war, diese Funktionalität zu integrieren, von den meisten Routern nicht unterstützt (vgl. MUN [IPv6] S. 10).

⁷⁴ Vgl. f. MUN [IPv6] S. 10 f., DAVIES [IPv6] S. 95

⁷⁵ Vgl. ITU [Information Infrastructure] S. 17, JAH/HASSAN [Engineering] S. 111

2.2 Bedeutung des Quality-of-Service-Konzepts für Datenübertragungsdienstleistungen

2.2.1 Anforderungen der Endkunden an die Dienstgüte der Datenübertragung

Qualität lässt sich allgemein als die Summe aller Eigenschaften einer Funktionseinheit definieren, die dazu beitragen, dass die Einheit die festgelegte und implizierte Leistungsfähigkeit erlangt.⁷⁶ Der Erfüllungsgrad der Anforderungen – im Sinne der durch den die Leistung Inanspruchnehmenden festgelegten und zur Entfaltung der mit der Inanspruchnahme intendierten Leistungsfähigkeit notwendigen Eigenschaften der Leistung – entspricht demnach der Qualität. Quality of Service repräsentiert im Speziellen für Datenübertragungsdienstleistungen ein auf technischen Parametern basierendes Konzept zur Erfassung der Qualität der Datenübertragungsdienstleistung. Es dient somit sowohl zur anwendungsspezifischen Quantifizierung der Anforderungen an die Datenübertragungsdienstleistung, die zu erfüllen sind, damit der vom Endnutzer in Anspruch genommene Dienst einen Mehrwert generiert, als auch zur Messung der realisierten Dienstgüte.⁷⁷

Die Betrachtung des Quality of Service von Datenübertragungsdienstleistungen bezieht sich auf eine Ende-zu-Ende-Verbindung, da der Endnutzer, der die Qualität beurteilt, immer nur die von ihm wahrgenommene Qualität in seine Beurteilung mit einbeziehen kann und die Qualität daher über alle von den Datenpaketen zu durchlaufenden Grenzen hinweg garantiert sein muss.⁷⁸ Dem Nutzer stehen keine Informationen zur Verfügung, die eine Aussage ermöglichen, wie die Qualität gesichert wird bzw. warum die von ihm geforderte und mittels QoS quantifizierte Qualität nicht erreicht wird. Dies impliziert, dass innerhalb der Einzelnetze, die die Daten vom Sender zum Empfänger durchlaufen müssen, ebenfalls eine Sicherung der Dienstgüte realisiert

⁷⁶ Vgl. PFITZINGER [TQM] S. 5 ff. und ISO 8402: "Quality is the totality of characteristics of an entity that bear on its ability to satisfy stated and implied needs." ISO 9000: "Quality is the degree to which a set of inherent characteristics fulfills requirements." Vgl. zur Diskussion des Qualitätsbegriffs von vom Kunden wahrgenommener Service-Qualität PARASURAMAN/ZEITHAML/BERRY [Measuring] S. 15 ff. Vgl. ebenda auch Ausführungen zu einem Instrument zur empirischen Messung der Qualität.

⁷⁷ Vgl. ITU [Quality of Service] S. 3. Die ITU-Recommendations sind die einzigen Quellen, die Quality of Service begrifflich abgrenzen und näher erläutern, ohne vertiefend in die technischen Aspekte einzusteigen. Diese in der Fachliteratur bestehende definitorische Lücke wird bereits in der ITU-Recommendation bemängelt (vgl. dazu ITU [Communications] S. 2).

⁷⁸ Vgl. RICHARDS ET AL. [User Level] S. 6. Vgl. ZHAO/OLSHEFSKI/SCHULZRINNE [QoS-Overview] S. 3, die einen Überblick über QoS liefern. Vgl. z. B. FIEDLER/HOSSFELD/ TRAN-GIA [QoE] S. 36 ff., die die Zusammenhänge zwischen Quality of Service und Quality of Experience näher betrachten und mit Quality of Experience den Nutzer nochmals stärker fokussieren sowie GALETZKA [QoS] S. 40 ff., der ebenfalls den Nutzer ins Zentrum seiner Untersuchung stellt oder auch MOORSEL [QoE-Metrics] S. 26 ff.

werden muss, um die Dienstgüte beim Endnutzer zu gewährleisten, die zur Befriedigung der durch die Anwendungen bedingten Anforderungen an QoS notwendig sind.⁷⁹ Mit dem in Abbildung 5 unterhalb der Teilnetze gezeichneten Pfeil sei der Datenaustausch zwischen den an den Netzenden positionierten Emittenten (in dem Fall der Anwendungsanbieter) und Perzipienten (der Endnutzer) angedeutet. Der in beide Richtungen zeigende Pfeil verdeutlicht, dass der Datenaustausch grundsätzlich bidirektional stattfindet, da grundsätzlich auch das Senden von Daten des Anwendungsanbieters an den Endnutzer von letzterem angestoßen werden muss, und andererseits, dass der Quality of Service für die Ende-zu-Ende-Verbindung, wie sie in dieser Arbeit genutzt wird, über alle Teilnetze hinweg gesichert sein muss. Wenngleich die Abbildung nur eine Verbindung zwischen einem Anwendungsanbieter und einem Endnutzer zeigt, ist der Aufbau für eine Verbindung zwischen zwei Endnutzern vergleichbar, denn auch in diesen Fall ist eine Quality-of-Service-Sicherung über alle aufgeführten Netzhierarchien hinweg notwendig.

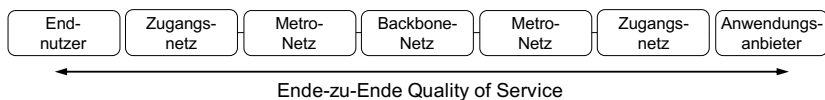


Abbildung 5: Schematische Darstellung einer Ende-zu-Ende-Verbindung⁸⁰

Die Kriterien, mit denen QoS gemessen werden kann, lassen sich unter vier Gesichtspunkten betrachten, die in der ITU Recommendation E.800 festgehalten und in Abbildung 6 visualisiert sind.⁸¹ Dieser Ansatz stellt die zwischen den Gesichtspunkten des Nutzers und des Anbieters der Datenübertragungsdienstleistung vorliegenden Beziehungen her und ist streng an den Bedürfnissen des Endnutzers ausgerichtet und stellt damit die technische Umsetzung in den Hintergrund.⁸²

Mit dem Fokus auf die Endnutzer geht einher, dass die Anforderungen, die an die Dienstgüte aus Endnutzersicht bestehen, in Form einer deskriptiven Beschreibung erfolgen, die sowohl für den Endnutzer als auch den Datenübertragungsdienstleister eindeutig und verständlich zu sein hat.⁸³ Der Datenübertragungsdienstleister muss sich sodann der Herausforderung stellen, die verbalen Ausführungen in technische Anforderungen zu überführen und eine entsprechende Dienstgüte anzubieten und die offerierte Dienstgüte zu leisten. Dieser Ansatz kann damit als die für Datenübertragungs-

⁷⁹ Vgl. ITU [Quality of Service] S.1

⁸⁰ Modifiziert entnommen aus ITU [Quality of Service] S. 1

⁸¹ Vgl. ITU [Quality of Service] S. 2 ff.

⁸² Vgl. f. ITU [Communications] S. 4 f.

⁸³ Vgl. ITU [Quality of Service] S. 3 und ITU [Communications] S. 5. ITU [End-User] beschäftigt sich ausschließlich mit der Endnutzersicht und bietet in diesem Bereich vertiefende Einblicke.

dienstleistungen spezifizierte Ausgestaltung des Ansatzes von ZEITHAML verstanden werden, der feststellt, dass die vom Kunden wahrgenommene Qualität, die „perceived Quality“, den für den Dienstleistungsanbieter entscheidenden Einfluss auf den Erfolg eines Produkts bzw. einer Dienstleistung hat.⁸⁴ Darüber hinaus wird deutlich, dass eine Herausforderung des Offerierens von Datenübertragungsdienstleistungen mit fixiertem Dienstgüteversprechen für den Anbieter darin besteht, eine für den Kunden verständliche Form zur Kommunikation der technischen Rahmenbedingungen zu finden.

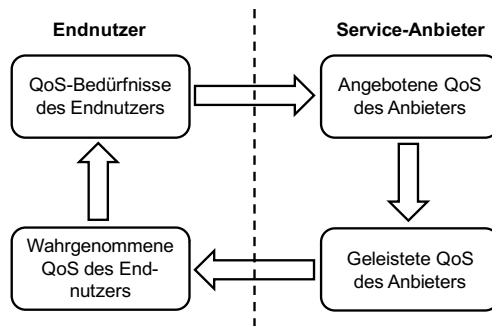


Abbildung 6: Gesichtspunkte der Quality of Service⁸⁵

Aufgrund der Vielfalt der von den Endnutzern über das Next Generation Network in Anspruch genommenen Dienste bzw. Anwendungen variieren die Anforderungen an die Dienstgüte, sodass der wahrgenommene Kundennutzen der Datenübertragungsdienstleistung von der jeweiligen Anwendung abhängt. Basierend auf den Eigenschaften der Anwendungen können diese, wie in Abbildung 7 dargestellt, in zwei Hauptgruppen unterteilt werden: unelastische und elastische Anwendungen.⁸⁶ Die Eigenschaft wiederum hat Einfluss darauf, ob und wie sich eine Veränderung der technischen Dienstgüteparameter auf die wahrgenommene Dienstgüte auswirkt. So zeichnet sich eine elastische Anwendung dadurch aus, dass Änderungen der QoS-Parameter, insbesondere deren kurzfristige Nichteinhaltung, nicht unmittelbar dazu führen, dass die Anwendung abbricht und nicht länger in Anspruch genommen werden kann.⁸⁷ Weil gerade elastische Anwendungen oftmals geringe Anforderungen an QoS haben, werden diese auch als Best-Effort-Dienste⁸⁸ bezeichnet; dazu zählen z. B. die in

⁸⁴ Vgl. den Ansatz von ZEITHAML [Perceived Quality] S. 3 ff.

⁸⁵ Entnommen aus ITU [Quality of Service] S.2

⁸⁶ Vgl. KIEFER [Quality of Service] S. 143

⁸⁷ Vgl. ff. BRAUN/STAUB [End-to-End] S. 5

⁸⁸ Best-Effort bezieht sich auf die ursprüngliche Gleichbehandlung aller Datenpakete in einem IP-Netz; vgl. EBERSPÄCHER/GLASMANN [QoS-Architekturen] S. 187.

Abbildung 8 dargestellten E-Maildienste sowie die reinen Datentransfers, bei denen Programme, Programmupdates, Programmdateien, wie z. B. Text-, Tabellenkalkulationsdateien, Bilder oder Filme (ohne diese im selben Moment zu konsumieren) oder ähnliches übertragen werden.

Im Gegensatz dazu existieren für die unelastischen Datendienste striktere Anforderungen an QoS.⁸⁹ Werden diese nicht erfüllt, so führt dies zu starken Nutzungseinschränkungen und daraus resultierend zu einem starken Nutzenverlust des konsumierenden Endnutzers. Echtzeitanwendungen, wie die in Abbildung 8 dargestellten Video-Konferenzen oder auch verschiedene Online-Spiele, gehören zu den unelastischen Diensten. Der durch eine Nichteinhaltung einer geforderten Dienstgüte ausgelöste Nutzenverlust kann unterschiedlich groß ausfallen, je nachdem, ob die Anwendungen tolerant oder intolerant auf die Veränderung eines bestimmten QoS-Parameters reagieren (vgl. Abbildung 7).⁹⁰

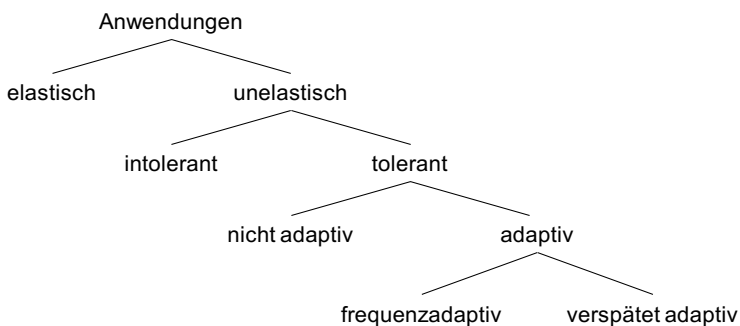


Abbildung 7: Systematisierung der Quality-of-Service-Anforderungen⁹¹

Die toleranten Anwendungen können wiederum unterteilt werden in adaptive und nicht adaptive Anwendungen. Die adaptiven Anwendungen zeichnen sich dadurch aus, dass sie eine Fehlerkorrektur vornehmen. Die Art der Fehlerkorrektur lässt sich, wie in Abbildung 7 dargestellt, nach der Art des zu korrigierenden Fehlers erneut unterteilen. Abbildung 8 gibt neben der Unterteilung in unelastische und elastische Anwendungen eine Übersicht über die erforderlichen QoS-Level von beispielhaft gewählten Anwendungen, die den beiden Kategorien elastisch bzw. unelastisch zugeordnet sind. Abbildung 8 zeigt ferner, dass die in der vorangegangenen Abbildung nicht weiter

⁸⁹ Vgl. ff. BRAUN/STAUB [End-to-End] S. 5

⁹⁰ Vgl. ff. PETERSON/DAVIE [Networks] S. 535

⁹¹ Modifiziert entnommen aus PETERSON/DAVIE [Networks] S. 535

differenzierten elastischen Anwendungen sehr wohl verschiedene Quality of Service-Anforderungen aufweisen können; so ist z. B. aufgrund eines Paketverlusts durchaus denkbar, dass komprimierte Dokumente beim Empfänger nicht entpackt werden können und daher ihren Nutzen vollkommen verlieren.⁹²

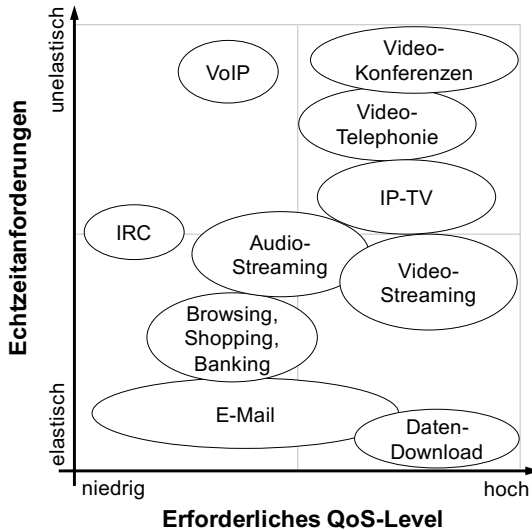


Abbildung 8: Systematisierung von Anwendungen eines Kommunikationsnetzes⁹³

Ferner können die in Anspruch genommenen Anwendungen in interaktive und nicht-interaktive Anwendungen unterteilt werden.⁹⁴ Interaktive Anwendungen beziehen den Nutzer direkt ein und erfordern das Einhalten bestimmter Schwellenwerte für QoS-Parameter, da diese mehrheitlich den unelastischen Echtzeitanwendungen zuzuordnen sind. Interaktiv sind alle Kommunikationsanwendungen, seien es klassische ausschließliche Stimmübertragungen oder Video-Telefonie bzw. Konferenzschaltungen sowohl mit als auch ohne Bildübertragung. Darüber hinaus zählen insbesondere Online-Computerspiele dazu, weil bei diesen Onlinespielen zahlreiche Spieler über das Netz am Spiel partizipieren und sowohl die Spieldaten als auch die Kommunikationsdaten, resultierend aus der Möglichkeit der Spieler direkt miteinander zu kommunizieren, übertragen werden müssen.⁹⁵

⁹² Vgl. PETERSON/DAVIE [Networks] S. 535

⁹³ Modifiziert entnommen aus JAY/PLÜCKEBAUM [QoS] S. 1. Vgl. dazu auch ITU [Pricing] S. 11

⁹⁴ Vgl. ff. BRAUN/STAUB [End-to-End] S. 5 f.

⁹⁵ Vgl. XIAO [Challenges of QoS] S. 94

Die vom Nutzer beschriebenen Anforderungen gelten als Ausgangspunkt für die Planung der Quality-of-Service-Parameter, die der Datenübertragungsdienstleister für die jeweilige Anwendung anbieten muss.⁹⁶ Jeder Nutzer wäre daher prinzipiell mit der Übertragungsqualität zufrieden, wenn alle Datenpakete ohne Verzögerung und mit konstant hoher Geschwindigkeit durchgestellt werden würden, ohne dass bei der Übermittlung einzelne Pakete verloren gehen.⁹⁷ Aus diesem Grund wird Quality of Service mit mehreren für Kunden wichtigen Kennzahlen quantifiziert.⁹⁸ Dazu gilt es jedoch zunächst, die Anforderungsbeschreibungen in technische Kennzahlen zu überführen, um aus diesen quantifizierten Merkmalen ein anzustrebendes Quality-of-Service-Level abzuleiten.⁹⁹

2.2.2 Quality-of-Service-Kennzahlen zur Operationalisierung der Anforderungen an die Dienstgüte

Die Ermittlung des Quality of Service (QoS) basiert auf dem gemessenen Paketverlust, der Verzögerung der Übertragung sowie der Verzögerungsschwankung. Die Betrachtung dieser Defizite findet gemäß der Definition des QoS für eine Ende-zu-Ende-Verbindung statt, sodass im Rahmen dieser Arbeit eine Verbindung zwischen einem Datensender und -empfänger als eine einzelne Kante zwischen den beiden Akteuren interpretiert wird und folglich eine Aggregation der Eigenschaften resultierend aus den einzelnen Teilnetzen vorgenommen wird, um das Gesamtnetz zu betrachten, so wie dies in Abbildung 9 visualisiert ist.

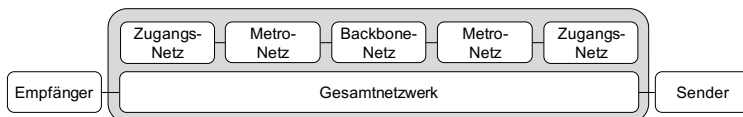


Abbildung 9: Darstellung der Ende-zu-Ende-Verbindung als eine Kante¹⁰⁰

Mit der Paketverlustrate (Packet Loss Ratio) werden die im Rahmen der Übermittlung einer Information verlorengegangenen Datenpakete ins Verhältnis zu den gesendeten Datenpaketen gesetzt.¹⁰¹ Der Paketverlust umfasst sowohl nicht übersandte als auch fehlerhafte Datenpakete und somit auch Kompressionsfehler, also Fehler die daraus resultieren, dass Verfahren, die zur Reduktion der zu übertragenden Daten, der

⁹⁶ Vgl. ITU [Communications] S. 6

⁹⁷ Vgl. OLIFER/OLIFER [Networks] S. 3

⁹⁸ Vgl. f. ITU [End-User] S. 2

⁹⁹ Vgl. ITU [Communications] S. 5

¹⁰⁰ Modifiziert entnommen aus HATTING/SZIGETI [End-to-End QoS] S. 14

¹⁰¹ Vgl. STEINMETZ [Multimedia] S. 460

sogenannten Kompression, eingesetzt werden, aufgrund eines Fehlers bei der Datenverdichtung beim Empfänger nicht mehr reversibel ist.¹⁰² Unabhängig davon, ob es sich um eine Sprach-, Video-, Bild- oder sonstige Anwendung handelt und welcher Grund für den Paketverlust verantwortlich ist, hat ein Paketverlust direkten Einfluss auf die vom Kunden wahrgenommene Dienstgüte, denn die mit dem Versand der Daten intendierte Übermittlung einer Information schlägt fehl.¹⁰³ Je geringer der Paketverlust, desto höher ist folglich die vom Nutzer wahrgenommene Dienstgüte. Allerdings ist die Toleranz des Nutzers hinsichtlich verlorengegangener Pakete von der jeweils in Anspruch genommenen Anwendung abhängig. Eine Systematisierung der Fehlertoleranz einzelner Anwendungen wird in Abbildung 10 vorgenommen. Verlieren Anwendungen für den Endnutzer erst bei einer sehr hohen Verlustrate ihren Nutzen, sind sie aufgrund dieser Eigenschaft als fehlertolerant einzustufen, fehlerintoleranten Anwendungen büßen hingegen bereits bei einer geringen Verlustrate ihren Nutzen ein.

	interaktiv (Delay << 1 Sek.)	antwortend (Delay – 2 Sek.)	zeitig (delay – 10 Sek.)	unkritisch (Delay >> 10 Sek.)
fehler-tolerant	Gesprächs- und Videotelefonie-Übertragung	Ton- und Video-Übertragung	Streaming von Musik und Filmen	Fax
fehler-intolerant	Befehls- und Kontrolldaten (z. B. Telnet, interaktive Spiele)	Transaktionen (z. B. E-Commerce, www-browsing, Email-Zugang)	Nachrichtenaustausch (meist textbasiert, kann aber auch Mediadata einschließen)	Hintergrundinformationen (z. B. Usenet)

Abbildung 10: Systematisierung der Anforderungen an Fehlertoleranz und Mindestübertragungsraten¹⁰⁴

Aus Kundensicht reduziert neben dem Paketverlust eine Paket-Übertragungsverzögerung (Packet Transfer Delay) die wahrgenommene Dienstgüte nachhaltig.¹⁰⁵ Die Verzögerung quantifiziert die Zeit, die benötigt wird, um ein Datenpaket von der Quelle zur

¹⁰² Eine feingranularere Betrachtung dieser Spitzenkennzahl, etwa durch eine Aufspaltung nach den Gründen für den Verlust oder eine Analyse, in wie vielen Paketen ein Fehler vorgelegen hat, spielt für den Endkunden und dessen wahrgenommene Dienstgüte keine Rolle und steht deshalb nicht im Zentrum der Betrachtungen in dieser Arbeit. Vgl. MEINEL/SACK [WWW] S. 352 um einen Überblick über weitere Kennzahlen zu erlangen.

¹⁰³ Vgl. f. ITU [End-User] S. 2

¹⁰⁴ Modifiziert entnommen aus ITU [End-User] S. 8

¹⁰⁵ Vgl. ITU [End-User] S. 2.

Senke zu senden; die Einheit beträgt Millisekunden.¹⁰⁶ Die Verzögerung setzt sich dabei aus einer fixen und einer variablen Komponente zusammen.¹⁰⁷ Der fixe Zeitanteil resultiert aus dem bei der Übertragung unvermeidlichen Durchlaufen von Routern, in denen die Berechnung des weiteren Wegs Zeit in Anspruch nimmt, sowie der Summe der Zeiten, die das Paket zum Zurücklegen der Strecken auf den Kanten benötigt. Der fixe Anteil ist konstant und ist unabhängig vom Datenverkehrsaufkommen.¹⁰⁸ Im Gegensatz dazu entsteht der variable Zeitanteil durch die Wartezeiten in den Zwischenspeichern der Router und hängt direkt vom aktuellen Datenverkehrsaufkommen ab.¹⁰⁹ Daraus folgt, dass zur Sicherung der Dienstgüte, so wie dies auch die Betrachtung der Ende-zu-Ende-Verbindung bereits impliziert, alle Komponenten über den gesamten Übertragungsweg hinweg eine schnelle Übertragungsrate realisieren müssen, da keine Komponente innerhalb des Übertragungsweges umgangen werden kann.¹¹⁰

Der Packet Transfer Delay quantifiziert die Zeitspanne, die eine Übertragung eines Datenpakets vom Sender zum Empfänger benötigt.¹¹¹ Aus Sicht des Endkunden wird dem Packet Transfer Delay die Übertragungsgeschwindigkeit zugeordnet, die auch als Übertragungsrate oder Bandbreite bezeichnet wird und die Datenmenge misst, die pro Zeiteinheit übertragen wird. Die Datenmenge wird in Byte gemessen, die Zeiteinheit ist eine Sekunde, sodass sich als Maßeinheit Byte pro Sekunde ergibt. Die Übertragungsrate stellt damit eine Verbindung zwischen der Anzahl der Pakete, deren Größe in Byte gemessen wird, und der Dauer, die die Übertragung der zu übermittelnden Pakete benötigt, her. Jedoch ist, so wie dies in Abbildung 10 ersichtlich wird, nicht alleine die Übertragungsgeschwindigkeit für die wahrgenommene Dienstgüte ausschlaggebend. Vielmehr ist zur Ermittlung der von der Anwendung benötigten Dienstgüte eine Kombination der vorgestellten QoS-Kennzahlen vonnöten, mit für jede Kennzahl festgelegten Mindest- bzw. Maximalwerten.

Auf der Transportschicht ist die Verzögerungsschwankung, die sogenannte Packet Delay Variation, von hoher Bedeutung.¹¹² Sie wird deshalb als Kennzahl zur Messung der Dienstgüte herangezogen. Die Kennzahl erfasst die in paketvermittelnden Netzen vorhandenen Schwankungen im Packet Transfer Delay einzelner Pakete und wird

¹⁰⁶ Vgl. JAY/PLÜCKEBAUM [QoS] S. 3

¹⁰⁷ Vgl. f. PERROS [Networks] S. 88

¹⁰⁸ Detaillierte Angaben zu den Zeiten, die für das Zurücklegen eines Kilometers in einem Glasfaserkabel und die Wegberechnung benötigt werden, sind z. B. in MANDL/BAKOMENKO/WEIß [Datenkommunikation] S. 18 ff. oder ROPPEL/LECHTERBECK [Networks] S. 108 zu finden.

¹⁰⁹ Vgl. CUTHBERT/SAPANEL [ATM] S. 66

¹¹⁰ Vgl. KASERA [ATM Networks] S. 5

¹¹¹ Vgl. f. VERMA/WANG [VoIP] S. 12 ff.

¹¹² Vgl. f. HATTINGH/SZIGETI [End-to-End QoS] S. 13

ebenfalls als Inter Packet Delay oder Jitter¹¹³ bezeichnet.¹¹⁴ Sie gibt die Spanne an, innerhalb derer der Packet Transfer Delay schwankt und errechnet sich folglich als Differenz der Packet Transfer Delay von sequenziellen Paketen.¹¹⁵ Jedoch ist diese Kennzahl nur in Kombination mit den bereits vorgestellten Kennzahlen aussagekräftig. Denn selbst wenn die Packet Delay Variation sehr klein sein sollte und damit tendenziell eine nach dieser Kennzahl hohe Dienstgüte erreicht wird, der Packet Transfer Delay jedoch hoch ist und somit die Übertragung sehr lange dauert, so liegt gerade für Echtzeitanwendungen keine ausreichend hohe Dienstgüte vor.

Anwendung	Delay	Jitter	Paketverlust	Garantierte Bandbreite
einfacher breitbandiger Zugang zu WWW-Diensten	unkritisch	unkritisch	unkritisch	unkritisch
Datendienste	wichtig	wichtig	wichtig	wichtig
Video-on-Demand	wichtig	wichtig	kritisch	kritisch
IP-TV	kritisch	kritisch	kritisch	kritisch
Video-Telefonie	sehr kritisch	sehr kritisch	sehr kritisch	kritisch
Video-Konferenzen	sehr kritisch	sehr kritisch	sehr kritisch	kritisch
Interaktive Online-Spiele	sehr kritisch	sehr kritisch	sehr kritisch	kritisch

Abbildung 11: Anforderungen an die Dienstgüteparameter nach Anwendungen¹¹⁶

Abbildung 11 fasst zusammen, welche Anforderungen, gemessen anhand der vier vorgestellten Kennzahlen, verschiedene exemplarisch ausgewählte Anwendungen an die Datenübertragungsdienstleistung haben, um eine für den Nutzer zufriedenstellende Dienstgüte zu erreichen. Die zunehmende Intensität der Sättigung des Grautons wiederum ist gleichbedeutend mit der Zunahme der Bedeutung der Einhaltung der

¹¹³ Jitter bezeichnet in diesem Falle die Schwankung eines Parameters. Diese und andere Interpretationen des Begriffs sind z. B. zu finden in DEMICHELIS/CHIMENTO [Packet Delay Variation] S. 2.

¹¹⁴ Vgl. f. SKUROWSKI/WÓJCICKI/JERZAK [IP Transmission] S. 154.

¹¹⁵ Vgl. HATTINGH/SZIGETI [End-to-End QoS] S. 13. Weiterführende Informationen zur Berechnung dieser Kennzahl werden in SKUROWSKI/WÓJCICKI/JERZAK [IP Transmission] S. 156 vorgestellt.

¹¹⁶ Modifiziert entnommen aus JAY/PLÜCKEBAUM [QoS] S. 4

Dienstgütekriterien für die jeweilige Anwendung. So ist der einfache breitbandige www-Zugang sehr hell hinterlegt und damit ohne besondere Anforderung an die Dienstgüte, wenn mit diesem www-Zugang ausschließlich die Nutzung von Internet-Homepages erfasst wird, die nicht mit spezifischen zusätzlichen Anwendungen, wie z. B. in der Homepage eingebetteten Video- oder Musikanwendungen, versehen sind.¹¹⁷ Die dunkel hinterlegten Anwendungen, wie z. B. die Video-Telefonie sowie die interaktiven Online-Spiele haben entsprechend sehr hohe Anforderungen an die Datenübertragungsdienstleistung.

2.3 Quality of Service zur Differenzierung von Datenübertragungsdienstleistungen

2.3.1 Realisationsformen zur Quality-of-Service-Sicherung

Unabhängigkeit von der Betrachtungsebene der Datenübertragung und der mit den Daten übertragenen Anwendungen kann die Sicherstellung der Nutzeranforderungen an Quality of Service auf verschiedenen Wegen realisiert werden. Der technisch einfachste Ansatz ist die Überdimensionierung der Datenübertragungskapazität, der direkt auf eine Anpassung der Netzressourcen abzielt.¹¹⁸ Dieser als Traffic Engineering bezeichnete Ansatz beinhaltet sowohl die Planung als auch die Dimensionierung von Transportnetzen und intendiert eine optimale Nutzung der Netzressourcen.¹¹⁹ Bezogen auf die Sicherung des geforderten QoS gilt es, die Ressourcen gerade solange zu erweitern, bis sichergestellt ist, dass die Kapazität ausreicht, um das geforderte QoS-Level zu garantieren.

Die Ausweitung der Netzressourcen führt zunächst zu einer Beschleunigung aller Anwendungen.¹²⁰ Eine Ausweitung der Netzressourcen bezieht sich dabei nicht zwingend auf das Verlegen neuer Übertragungsmedien, sondern kann ebenso durch den Einsatz technisch fortschrittlicherer, schnellerer Switches, Bridges und Router erreicht werden. Allerdings nimmt das aus der Inanspruchnahme der nicht kritischen Anwendungen resultierende Datenverkehrsaufkommen, also das Datenaufkommen, das auf elastische Anwendungen zurückzuführen ist, schneller zu als das der kritischen. Dies

¹¹⁷ Es sei darauf hingewiesen, dass das Web-Browsing mit dem www-Zugang gleichgesetzt ist. Für dieses sind hohe Jitterwerte zwar unkritisch, jedoch werden hohe Jitter-Werte durchaus vom Nutzer bei dauerhaftem Vorliegen als störend empfunden.

¹¹⁸ Vgl. TRICK/WEBER [Telekommunikationsnetze] S. 114

¹¹⁹ Vgl. ASH [Traffic Engineering] S. xvii; ASH überführt die Einzelkonzepte in dem Buch [Traffic Engineering] in ein Gesamtkonzept, das er „traffic engineering and QoS optimation modell (TQO)“ (ASH [Traffic Engineering] S. 1 f.) nennt.

¹²⁰ Vgl. ff. JAY/PLÜCKEBAUM [QoS] S. 15

ist problematisch, da vor allem die Dienstgüte der kritischen und damit der unelastischen Anwendungen bei Kapazitätsengpässen Dienstgüteeinbußen hinnehmen müssen und somit das Netz nicht gänzlich effizient genutzt wird.¹²¹

Darüber hinaus gibt es Verkehrssteuerungsmaßnahmen (Traffic Engineering), zu denen die Verbindungsannahmesteuerung sowie Puffer- und Scheduling-Strategien gehören.¹²² Im Gegensatz zur Übertragungsmediums-Erweiterung ermöglichen diese protokollbasierten Ansätze die Einteilung der Datenströme in verschiedene Klassen, denen unterschiedliche Prioritätsstufen zugewiesen werden können.¹²³ Die bisher vorgestellten Protokolle arbeiten auf Basis des aus dem Internet bekannten Best-Effort-Ansatzes.¹²⁴ Im Zuge der protokollbasierten priorisierten Datenübertragung zur Sicherung des Quality of Service werden folgend drei Verfahren diskutiert, die auf Protokoll-ebene eingeführt werden können.

OSI Schicht	TCP/IP Schicht		Instrumente/ Strategien
7 Application (Anwendungsschicht)	Anwendungsorientiert	Anwendung	
6 Presentation (Darstellungsschicht)			
5 Session (Sitzungs- bzw. Kommunikationsschicht)			
4 Transport (Transportschicht)	Transportorientiert	Transport	IntServ über RSVP
3 Network (Netzwerk- bzw. Vermittlungsschicht)		Internet	DiffServ Kennzeichnung im IP-Header
2 Data Link (Sicherheitsschicht)		Netzzugang	IEEE 802.1q Implementierung im Ethernet-Frame
1 Physical (Bitübertragungsschicht)			

MPLS

Abbildung 12: Systematisierung von Quality-of-Service-Strategien anhand des ISO/OSI- sowie des TCP/IP-Modells¹²⁵

Abbildung 12 ordnet die drei gängigen Möglichkeiten der protokollbasierten Priorisierung – Integrated Services, Differentiated Services und Multi Protokoll Label Switching – durch die Zuweisung der jeweiligen Priorisierungsform zu einer der Protokollschich-

¹²¹ Vgl. OBERMANN/HORNEFFER [Datennetztechnologien] S. 207

¹²² Vgl. KÜHN [Next Generation Networks] S. 10

¹²³ Vgl. EBERSPÄCHER [Traffic-Engineering] 1-104

¹²⁴ Vgl. ff. LI ET AL. [New Architecture] S. 580

¹²⁵ Entnommen aus JAY/PLÜCKEBAUM [QoS] S. 8

ten sowohl in den Kontext des ISO/OSI-Modells¹²⁶ als auch der TCP-IP-Protokolle ein.¹²⁷ Die Realisierung mittels Integrated Services, Differentiated Services sowie die Umsetzung mittels Multi Protokoll Label Switching werden im Folgenden näher betrachtet, da diese entweder direkt auf das Internet Protokoll zurückgreifen oder aber auf diesem Protokoll aufbauen und die bei der Kapazitätserweiterung konstatierte Ineffizienz nicht aufweisen.

2.3.2 *Service-Level-basierte Differenzierung von Datenübertragungsdienstleistungen*

Die genannten protokollbasierten Verfahren zur Realisierung von Quality of Service für Datenübertragungsdienstleistungen unterscheiden sich nicht nur in der Art und Weise, wie die Dienstgüte sichergestellt wird, sondern auch inwieweit ein bestimmtes QoS-Level garantiert werden kann und auf welche der bereits in Abbildung 4 visualisierten Betrachtungsebenen sich bezogen wird.¹²⁸ Auf Basis der mittels dieser Verfahren ermöglichten verschiedenen QoS-Level kann eine Differenzierung des Dienstleistungsangebots des Netzbetreibers vorgenommen werden, die es erlaubt, die von Endnutzern gestellten Anforderungen an die Dienstgüte zu erfüllen und somit das Leistungsspektrum individuell an die Bedürfnisse anzupassen.¹²⁹ Die zur Realisierung dieser Differenzierung potenziell heranzuziehenden technischen Umsetzungsmöglichkeiten können einerseits auf Basis einer Priorisierung eines Datenstroms oder andererseits durch eine direkte Zuweisung von Verkehrsklassen mit unterschiedlicher Priorität zu jedem einzelnen Datenpaket erfolgen.¹³⁰ Abbildung 13 stellt diese beiden Möglichkeiten vergleichend dar und zeigt, dass in beiden Fällen eine Klassifikation vorgenommen wird. Die Zuweisung einer Klasse bzw. die Unterteilung in Klassen wird unter dem

¹²⁶ Das Open Systems Interconnection Reference Model (OSI-Referenzmodell), aufgestellt von der International Organization for Standardization, wurde mit dem Ziel entworfen, eine einheitliche, generalisierte Aufbaustruktur für Protokolle im Allgemeinen zu definieren, um sicherzustellen, dass die im heterogenen Netz notwendige Kompatibilität zwischen den unterschiedlichen Protokollen garantiert ist (vgl. FINK/SCHNEIDERIT/VOß [Wirtschaftsinformatik] S. 44). Das Modell veranschaulicht die zur Datenübertragung im Internet benötigten Funktionalitäten in sieben generalisierten Schichten, die sowohl auf der Informationsanbieterseite als auch auf der -empfängerseite gleich aufgebaut sind (vgl. MANDL/BAKOMENKO/WEIß [Datenkommunikation] S. 2). Vgl. zur Übersicht EBERSPÄCHER [Kommunikationsprotokolle] S. 1-63 ff., OBERMANN/HORNEFFER [Datennetztechnologien] S. 22 ff., GABRIEL et al. [Kommunikationssysteme] S. 72 ff., FINK/SCHNEIDERIT/VOß [Wirtschaftsinformatik] S. 44 ff.

¹²⁷ BRISCOE stellt darüber hinaus eine Form zur Priorisierung vor, die eine Erweiterung des TC-Protokolls benötigt (vgl. BRISCOE [Fairer and Faster] S. 42 ff.).

¹²⁸ Vgl. JAY/PLÜCKEBAUM [QoS] S. 15

¹²⁹ Vgl. XIAO/NI [Internet QoS] S. 10, die dieses Potenzial explizit für DiffServ und IPv4 nennen.

¹³⁰ Vgl. KWOK/LAU [Mobile Computing] S. 277

Oberbegriff des Class-of-Service-Konzepts (CoS) subsumiert.¹³¹ Diese Grundidee sichert jedoch nicht ein bestimmtes Quality-of-Service-Level, sondern ist notwendig, um eine Priorisierung innerhalb der Warteschlangen zu ermöglichen.¹³²

Die Integrated-Service-Architektur (IntServ) wurde von der Internet Engineering Task Force IETF¹³³ entwickelt und entspricht dem in Abbildung 13 visualisierten Grundsatz der Reservierung von Netzkapazitäten für einzelne Datenströme;¹³⁴ ein Datenstrom setzt sich aus zusammengehörigen Datenpaketen, die durch einen einzelnen Nutzer bzw. Dienst verursacht werden, zusammen.¹³⁵ Dieser Ansatz greift auf das Resource Reservation Protocol (RSVP) zurück, das die Möglichkeit eröffnet, in einem IP-basierten Netz eine statische Verbindung aufzubauen.¹³⁶ Im Zuge des Verbindungsaufbaus hat eine Anfrage mit Verkehrscharakteristika zu erfolgen.¹³⁷ Erst nach erfolgreicher Prüfung, ob hinreichende Bandbreitenkapazitäten in allen Stationen, die zwischen Sender und Empfänger zu durchlaufen sind, vorhanden sind, erfolgt die Reservierung, sodass sichergestellt ist, dass die vereinbarten Parameter für den Datenstrom eingehalten werden können.¹³⁸ Eine Verbindung kommt erst, wenn diese Reservierung abgeschlossen ist, zustande und es kann mit der Übertragung der Daten auf einer exklusiv für diese bestehenden Leitung begonnen werden, so wie dies rechts in Abbildung 13 visualisiert ist.¹³⁹ Da die reservierte Bandbreite für die gesamte Dauer des Datenstroms vorgehalten werden muss, sind selbst bei nur temporär im Datenstrom auftretenden Übertragungsspitzen eben diese ausschlaggebend für den Reservierungsumfang, sodass potenziell Ineffizienzen in der Ressourcennutzung entstehen können.¹⁴⁰

Die Integrated-Service-Architektur differenziert drei Verkehrsarten: den Guaranteed Service und den Controlled Load Service sowie den Best Effort Service.¹⁴¹ Den Datenströmen, die dem Guaranteed Service zugewiesen sind, kann sowohl eine

¹³¹ Vgl. MEDDEB [Internet QoS] S. 87

¹³² Vgl. ELLIS/PURSELL/RAHMAN [Communications] S. 194

¹³³ Die IETF ist eine internationale offene Gesellschaft, deren Mitglieder (Netzwerk-Anbieter, -Entwickler, -Anwender und -Forscher) technische Dokumente, die „Requests for Comments“, herausgeben. Untersuchungsziel ist die Verbesserung des Designs, der Nutzung und des Managements des Internets (vgl. dazu ALVESTRAND [IETF]).

¹³⁴ Vgl. KWOK/LAU [Mobile Computing]

¹³⁵ Diese Datenstromdefinition von BRADEN/CLARK/SHENKER [RFC 1633] S. 6 oder die von ROBERTS [Internet Traffic] S. 1390 entspricht der in dieser Arbeit genutzten.

¹³⁶ Vgl. HAGEN [IPv6] S. 473 und ausführlich ZHANG ET AL. [RSVP a] S. 1 ff. sowie ZHANG ET AL. [RSVP b] S. 8 ff.

¹³⁷ Vgl. LE BOUDEDEC/THIRAN [Network] S. 89

¹³⁸ Vgl. WANG [QoS] S. 5 f. Weitere Details zur Umsetzung der Identifikation der Datenströme sind z. B. in PETERSON/DAVIE [Networks] S. 538 zu finden.

¹³⁹ Vgl. ALVAREZ [QoS] S. 6

¹⁴⁰ Vgl. BORELLA/UPADHYAY/SIDHU [Pricing DiffServ] S. 275

¹⁴¹ Vgl. PETERSON/DAVIE [Networks] S. 538

deterministische Bandbreite als auch eine deterministische Verzögerung zugesichert werden, sodass die auf diesen Parametern versprochene Dienstgüte ohne Einschränkung eingehalten werden kann.¹⁴² Der Controlled Load Service hingegen stellt den Anwendungen die Bedingungen zur Verfügung, die bestehen würden, wenn im Netz kein Verkehrsaufkommen vorhanden wäre, ohne jedoch eine deterministische Dienstgütesicherung zu garantieren.¹⁴³ Der Best Effort Service nutzt die nach Abwicklung der beiden priorisierten Verkehrsklassen vorhandenen Netzressourcen, um den nicht priorisierten Verkehr weiterzuleiten, sodass für letzteren keine gesicherte Dienstgüte für die Datenübertragung bereitgestellt wird und die tatsächlich realisierte Dienstgüte in Abhängigkeit der in den beiden anderen Dienstgüteleveleln bestehenden Nachfragen folglich stochastisch ist.

Im Gegensatz dazu verfolgt die Differentiated-Service-Architektur (DiffServ) die in der linken Hälfte von Abbildung 13 gezeigte Idee der Zuweisung einer Prioritätsklasse zu jedem einzelnen Datenpaket, sodass ebenfalls alle Pakete eines Stroms mit der gleichen Priorität weitergeleitet werden können.¹⁴⁴ Im Gegensatz zum IntServ muss dazu jedoch nicht eine diskrete, deterministische Bandbreite für die gesamte Dauer des Datenstroms vorgehalten werden, sondern die mit der paketbasierten Datenübertragung, dem sogenannten Packet Switching, verbundenen Vorteile der Netzressourcen-Ausnutzung bleiben innerhalb einer Klasse vollständig erhalten.¹⁴⁵ Um eine Differenzierung der einzelnen Datenpakete im Sinne einer Zuweisung einer Class of Service zu erreichen, führt die DiffServ-Architektur ein Differentiated-Service-Feld (DS-Feld) als Bestandteil eines jeden Datenpakets ein.¹⁴⁶ Dieses nutzt direkt die im Internet Protokoll vorgesehenen Möglichkeiten der Zuweisung einzelner Verkehrsklassen mittels des Type-of-Service-Felds (ToS-Feld) bei IPv4 bzw. des Traffic-Class-Felds bei IPv6 im Header des IP-Pakets, indem es diese Felder durch das DS-Feld ersetzt.¹⁴⁷ In diesem ToS-Feld wird näher spezifiziert, welche QoS-Parameter einzuhalten sind.¹⁴⁸

¹⁴² Vgl. OPPENHEIMER [Top-Down] S. 110 f.

¹⁴³ Vgl. WANG [QoS] S. 6

¹⁴⁴ Die DiffServ-Architektur wurde ebenfalls von der IETF entwickelt. Vgl. dazu das IETF-Dokument BLAKE ET AL. [RFC 2475].

¹⁴⁵ Vgl. SONGHURST [Communication Networks] S. 15

¹⁴⁶ Vgl. BADACH [VoIP] S. 110

¹⁴⁷ Vgl. BADACH [VoIP] S. 110 und GOLENIOWSKI [Telecommunications] S. 276. Die detaillierte Beschreibung des Differentiated Service Field im IP-Header wird im IETF-Dokument NICHOLS ET AL. [RFC 2474] vorgenommen.

¹⁴⁸ Vgl. BLAKE ET AL. [RFC 2475] S. 9

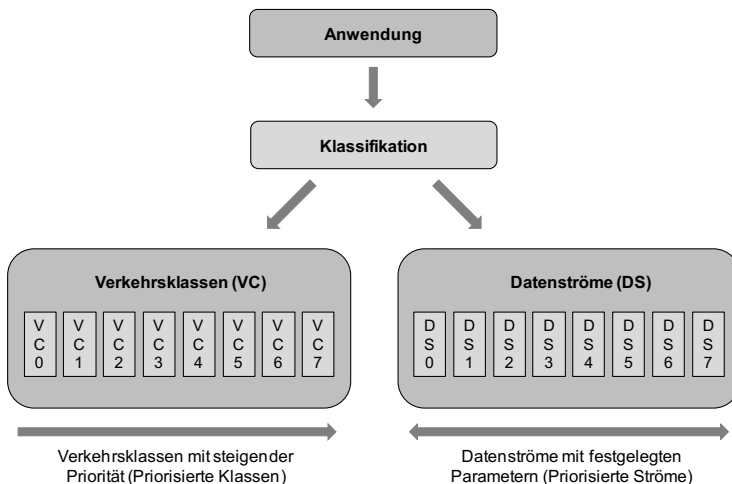


Abbildung 13: Priorisierung mit Datenströmen und Verkehrsklassen¹⁴⁹

Prinzipiell ist mit der Nutzung des ToS-Felds die Differenzierung zwischen 64 verschiedenen Prioritätsstufen möglich.¹⁵⁰ Das höchste QoS-Level, das von der IETF in RFC 2598 definiert wird, nennt sich Expedited-Forwarding und ist vergleichbar mit einer virtuellen Verbindung.¹⁵¹ Dieses höchste QoS-Level wurde eingeführt, um alle Bereiche, die die Dienstgüte beeinflussen, möglichst umfassend sicherzustellen zu können. Neben diesem höchsten QoS-Level werden von der IETF für DiffServ vier „Assured-Forwarding“-Klassen vorgeschlagen, die alle einen niedrigeren QoS erreichen als Expedited Forwarding.¹⁵² Diese vier Assured-Forwarding-Klassen unterscheiden sich sowohl untereinander durch das Per-Hop-Behavior als auch im Vergleich zu der Expedited-Forwarding-Klasse durch ein anderes Per-Hop-Behavior.¹⁵³ Unter dem Per-Hop-Behavior wird die Abwicklungsprozedur zur Weiterleitung des Paketes in einem Router, der zur Erreichung des Empfängers zu durchlaufen ist, verstanden und mit der die beiden Dienstgüteparameter Jitter und Packet Transfer Delay maßgeblich beeinflusst werden können.¹⁵⁴ Die vier Klassen des Assured-Forwarding lassen sich in je drei

¹⁴⁹ Entnommen aus KWOK/LAU [Mobile Computing] S. 277

¹⁵⁰ Vgl. BACH [VoIP] S. 111

¹⁵¹ Vgl. f. JACOBSON/NICHOLS/PODURI [RFC 2598] S. 1, die diese Datenübertragungsdienstleistungs-klassen daher auch „Premium Service“ nennen.

¹⁵² Vgl. HEINANEN et al [RFC 2597] S. 2

¹⁵³ Vgl. SCHMITT [Network] S. 41

¹⁵⁴ Vgl. MILLER [TCP/IP] S. 201; eine ausführliche Beschreibung der verschiedenen Per-Hop-Behaviors sind auf den Seiten 203 f. zu finden.

Untergruppen unterteilen, die sich hinsichtlich der Häufigkeit des Verwerfens und damit des Paketverlusts¹⁵⁵ unterscheiden, sodass letztlich die drei wesentlichen zur Fixierung einer bestimmten Dienstgüte heranzuziehenden Parameter zur Klassifizierung genutzt werden.¹⁵⁶ Daraus folgt, dass sich Assured Forwarding aus insgesamt 12 Unterklassen zusammensetzt. Neben diesen beiden mit bestimmten Dienstgüteparametern versehenen Servicelevel wird erneut der Best-Effort-Dienst als dritte und letzte Klasse definiert.¹⁵⁷

Vergleicht man das DiffServ- mit IntServ-Verfahren, so ist der in der Abbildung 14 an erster Stelle genannte, prägnanteste Unterschied, dass mit IntServ deterministische QoS-Level für Datenströme garantiert werden können, während mit DiffServ nur statistische Garantien abgegeben werden können.¹⁵⁸ Weil IntServ für jeden einzelnen Datenstrom individuell das QoS-Level garantieren kann, ist dessen Granularität wesentlich feiner als die der DiffServ-Architektur, die die QoS-Level für aggregierte Datenströme mit ähnlichen Anforderungen definiert.¹⁵⁹ Diese Feingranularität ist gleichzeitig von Nachteil, da zu deren Erreichung in jedem Router, der zu durchlaufen ist, für jeden Datenstrom eine Reservierung gespeichert werden muss.¹⁶⁰ Dies führt dazu, dass der Bearbeitungsaufwand nicht skalierbar ist.

Feature	IntServ	DiffServ
QoS-Sicherung	deterministisch pro Durchgang	stochastisch pro Aggregat
QoS-Sicherungs-Bereich	End-to-End (Application-to-Ap- plication)	Domain (Edge-to-Edge) oder DiffServ-Region
Ressourcen- Reservierung	kontrolliert durch Anwendun- gen	konfiguriert mit Datenkonten basierend auf Service Level Agreements
Ressourcen-Management	verteilt	zentralisiert in der DiffServ-Do- mäne
Signalisierung (DSCP)	Dedicated protocol (RSVP)	basierend auf DiffServ Code Point in IP-Paket-Header
Skalierbarkeit	limitiert durch die Anzahl an Datenströmen	limitiert durch die Anzahl an Service-Klassen
Komplexität	hoch	niedrig
Verfügbarkeit	ja	ja

Abbildung 14: Vergleich zwischen DiffServ und IntServ¹⁶¹

¹⁵⁵ Der Paketverlust gehört zu den Parametern, mit denen die Dienstgüte quantifiziert wird.

¹⁵⁶ Vgl. f. SCHMITT [Network] S. 41

¹⁵⁷ Vgl. KOTA/PALHAVAN/LEPPÄNEN [Broadband] S. 260

¹⁵⁸ Vgl. JAY/PLÜCKEBAUM [QoS] S. 16 f.

¹⁵⁹ Vgl. f. WITTMANN/ZITTERBART [Communication] S. 165; WEINSTEIN [Multimedia] S. 236

¹⁶⁰ Vgl. f. JAY/PLÜCKEBAUM [QoS] S. 16 f.

¹⁶¹ Entnommen aus KOTA/PAHLAVAN/LEPPÄNEN [Broadband] S. 260

Die dritte in Abbildung 12 dargestellte Möglichkeit einer Priorisierung einzelner Datenpakete ist das Multiprotocol Label Switching (MPLS). Das Hauptziel, das mit dem Vorschlag des MPLS-Konzeptes verfolgt wird, ist die Vereinheitlichung und damit Standardisierung der von verschiedenen Netzanbietern entwickelten unterschiedlichen Routing- und Switching-Architekturen durch die strikte Trennung der Steuerungs- und der Signalisierungsdaten.¹⁶² Das MPLS-Protokoll baut im Gegensatz zu den beiden anderen vorgestellten Möglichkeiten nicht auf dem Internet Protocol auf, sondern stellt vielmehr eine verbindungsorientierte Technologie zum Transport der IP-Datenpakete bereit und ist damit protokollunabhängig.¹⁶³ MPLS fügt dazu Informationen direkt in den IP-Datenpakethheader hinzu.¹⁶⁴ Die zusätzlich integrierten Informationen umfassen sowohl die Zieladresse als auch individuelle QoS-Parameter, die in sogenannten Labels an das Datenpaket angehängen werden, weshalb von einem „Taggen“ der Datenpakete gesprochen wird. Demnach agieren die zu dem MPLS gehörenden Techniken zwischen der Sicherungsschicht sowie der Netzwerk- bzw. Vermittlungsschicht.¹⁶⁵ MPLS macht auf diese Weise Funktionalitäten der zweiten Schicht für die dritte Schicht zugänglich.¹⁶⁶ Anhand der QoS-Parameter wird den Datenpaketen je eine Forwarding Equivalenz Class (FEC) zugeordnet.¹⁶⁷ Die Labels werden in den zu durchlaufenden Routern genutzt, um das Paket weiterzuleiten, sodass die Weiterleitung nicht auf Basis der IP-Adresse, sondern auf Basis der MPLS-Information erfolgt.¹⁶⁸

Im Speziellen ermöglicht MPLS durch den Aufbau von virtuellen Pfaden, den sogenannten Label Switching Paths (LSP), die verbindungsorientierte Datenübertragung für alle Datenpakete eines Datenstroms vom Eintrittspunkt in das Netz bis hin zum Austrittspunkt.¹⁶⁹ Daher ist MPLS nicht wie die beiden bereits vorgestellten Architekturen für die Bereitstellung von QoS-Level durch die Einführung verschiedener Dienstgüteklassen konzipiert, sondern kann insbesondere in Verbindung mit dem DiffServ-Konzept gemeinsam zur Ende-zu-Ende-QoS-Sicherung eingesetzt werden und

¹⁶² Vgl. LIPP [MPLS] S. 83

¹⁶³ Vgl. RAMASWAMI/SIVARAJAN/SASAKI [Networks] S. 415. MPLS wird aus diesem Grund als Netzintegrationstechnik bezeichnet, die einen Datentransport über die verschiedenen Netztechnologien – seien es ATM, VPN, Ethernet oder IP-Netze – ermöglicht (vgl. BADACH/HOFFMANN [IP-Netze] S. 531).

¹⁶⁴ Vgl. f. MINEI/LUCEK [MPLS] S. 7

¹⁶⁵ Eine Diskussion über die Zugehörigkeit von MPLS zu einer Schicht des OSI/ISO-Modells erfolgt in PETERSON/DAVIE [Networks] S. 359

¹⁶⁶ Vgl. LUNTOVSKYY/GÜTTER/MELNYK [Planung] S. 250

¹⁶⁷ Vgl. ERGEN [Broadband] S. 80

¹⁶⁸ Vgl. CASACA [QoS] S. 14, JAY/PLÜCKEBAUM [QoS] S. 22

¹⁶⁹ Vgl. EREN/DETKEN [VoIP] S. 49

kombiniert auf diese Weise die Vorteile von DiffServ und MPLS.¹⁷⁰ Insgesamt bietet MPLS somit eine stabile Lösung zur Überwindung der in Next Generation Networks vorhandenen Herausforderungen und ist gleichzeitig eine Technik, die mit den verschiedenen Netzwerktechniken im Kernnetz integrativ die Ende-zu-Ende-Dienstgütesicherung ermöglicht.¹⁷¹

Die für die jeweiligen Dienste erforderlichen QoS-Level sind mittels technischer Parameter zu quantifizieren und vertraglich zu fixieren.¹⁷² Die geplanten QoS-Level sind über technische Parameter fixiert und lassen sich unmittelbar über einen Soll-Ist-Abgleich überprüfen und erlauben somit Rückschlüsse auf die Performance des Netzbetreibers.¹⁷³ Da letztlich jedoch der Endkunde entscheidet, ob die von ihm wahrgenommene Dienstgüte seine Erwartungen erfüllt und damit die Dienstleistung einen zufriedenstellenden Nutzen gestiftet hat,¹⁷⁴ eröffnen die technischen Möglichkeiten zur differenzierten Sicherung der Dienstgüte gleichzeitig dem Netzbetreiber die Möglichkeit zur Realisierung einer Diversifizierung seines Datenübertragungsdienstleistungsangebots entsprechend der von den Nutzern angeforderten QoS-Level.¹⁷⁵

Sind die Parameter für die erforderlichen QoS-Level, die aus den Anforderungen der Nutzer an die Dienstgüte resultieren, fixiert und durch die dargestellten Protokolle garantiert, so kann die Struktur der Nutzung der Anwendungen durch den Endnutzer dazu genutzt werden, die Gesamtheit der Endkunden in verschiedene Kategorien einzuordnen.

2.3.3 Nutzen differenzierter Datenübertragungsdienstleistungen zur Identifikation von Kundensegmenten

Eine Differenzierung der Endkunden in verschiedene Segmente erlaubt eine holistische, standardisierte Erfassung der Inanspruchnahme unterschiedlicher Dienste und Anwendungen auf Segmentebene und schafft damit einhergehend ein weitergehendes Verständnis dafür, dass die zu identifizierenden Gruppen unterschiedliche

¹⁷⁰ Vgl. GROHS [ATM] S. 3-165. Vgl. zur Vertiefung MINEI [MPLS-DiffServ-TE] S. 1 ff., die das Zusammenspiel von DiffServ mit MPLS betrachtet, um bei einer Vielzahl an Weiterleitungspunkten eine Weiterleitung mit fixierten QoS-Levels anzubieten und gleichzeitig die Netzwerkressourcennutzung zu optimieren.

¹⁷¹ Vgl. JONES [Telecommunications] S. 249

¹⁷² Vgl. TERPLAN/VOIGT [Cloud Computing] S. 117

¹⁷³ Vgl. VOßBEIN [Datenschutz] S. 104

¹⁷⁴ Vgl. MASAK [SOA] S. 70

¹⁷⁵ Vgl. XIAO/NI [Internet QoS] S. 10, die dies exemplarisch für Differentiated Services in Verbindung mit IPv4 darstellen.

Anforderungen an die Dienstgüte stellen.¹⁷⁶ Zur Identifikation verschiedener Kundensegmente gilt es, ein Segmentierungskriterium festzulegen, mit dem eine möglichst trennscharfe Unterteilung der Gesamtkunden in Subsegmente vorgenommen werden kann.¹⁷⁷ Da dabei alle potenziellen Kunden in Betracht gezogen werden, wird meist vom Gesamtmarkt und daher auch von der Marktsegmentierung gesprochen.¹⁷⁸ Die Trennschärfe der Eigenschaften, mit denen die Segmentierung vorgenommen wird, gibt an, inwieweit es möglich ist, mit dem gewählten Kriterium überschneidungsfreie Segmente zu definieren und damit eine eindeutige Zuordnung der einzelnen Kunden zu einem Segment vorzunehmen.¹⁷⁹

Bei der für diese Arbeit relevanten Segmentierung der Datenübertragungsdienstleistungskunden steht die segmentinterne Homogenität bezüglich der erforderlichen Dienstgüte der Anwendungen durch die der Gruppe zugehörigen Endnutzer im Vordergrund, da dies eine modelltheoretische Abbildung der von dem Kundensegment erwarteten Nachfrage nach einzelnen Anwendungen und der mit diesen verbundenen Charakteristika des Datenverkehrs ermöglicht.¹⁸⁰ Eine homogene Anforderungsstruktur an die Dienstgüte der Datenübertragungsdienstleistung setzt jedoch voraus, dass die Segmentzugehörigen vergleichbare Anwendungen mit einer ähnlichen Intensität nutzen.

Die von BRANDTZÆG durchgeführte Meta-Analyse¹⁸¹ ermöglicht eine Segmentierung basierend auf einer umfassenden Analyse bereits bestehender Literatur zur Typologisierung von Nutzungsverhalten. BRANDTZÆG baut die Klassifizierung von verschiedenen Nutzertypen auf der Heterogenität hinsichtlich der Nutzungsintensität, der Nutzungsvielfalt sowie der bevorzugten Aktivitäten auf und ergänzt diese drei Kriterien um typische Anwendungen.¹⁸² Diese typischen Anwendungen treten im Verhältnis zu den potenziell ebenfalls beanspruchten Anwendungen aufgrund der typischen Aktivitäten durch eine besonders starke Nutzungsfrequenz hervor oder ihnen wird von den

¹⁷⁶ Vgl. BRANDTZÆG [Typology] S. 955

¹⁷⁷ Vgl. zur systematisierten Übersicht von Segmentierungskriterien FRETER [Kundensegmentierung] S. 93

¹⁷⁸ Vgl. FRETER [Kundensegmentierung] S. 54

¹⁷⁹ Vgl. FRETER [Kundensegmentierung] S. 92

¹⁸⁰ Vgl. HACKBARTH/KULENKAMPFF/PLÜCKEBAUM [Kostenmodell] S. 6 f., S 20 f. und S. 213

¹⁸¹ Für nähere Details zur durchgeführten Methodik vgl. BRANDTZÆG [Typology] S. 943

¹⁸² Vgl. ff. BRANDTZÆG [Typology] S. 954. Vgl. zur umfassenden Übersicht BRANDTZÆG [Typology] S. 944-948 über die verschiedenen in der englischsprachigen Literatur identifizierten Nutzertypen. Vgl. OEHMICHEN/SCHRÖTER [ONT] S. 386 ff. als die Wegbereiter und Namensgeber der in der deutschsprachigen Literatur genutzten Online-Nutzertypen sowie Auswertungen der ARD/ZDF-Onlinestudien, die jährlich durchgeführt werden und letztmalig von EIMEREN/FREES [Onlinestudie] für das Jahr 2012 ausgewertet wurden. Darüber hinaus sei auf die 2013 veröffentlichte Studie von KEUTER/SALASCHEK/THIELSCH [Typologisierung] zur aktuellen Entwicklung der Online-Nutzertypen verwiesen.

Nutzern eine im Vergleich zu anderen Anwendungen eine segmentcharakterisierende Bedeutung zugewiesen. So wird ein grundlegendes Verständnis der Medianutzung im Internet geschaffen. BRANDTZÆG identifiziert schließlich acht Nutzertypen, die vom Nicht-Nutzer, sporadischen Nutzer, Instrumentalisierer, Debattierer, Socializer, Lurker, Entertainment-Nutzer bis hin zum Advanced-User reichen.¹⁸³

Die meisten Segmentnamen spiegeln die typische Nutzungsaktivität in Verbindung mit den vorrangig eingesetzten Anwendungen und damit die herausragende Eigenschaft der Segmentzugehörigen wider. Einzig der "Advanced User" ist in diesem Falle nicht als fortgeschrittener Nutzer zu übersetzen, sondern im Sinne eines umfassenden Nutzers zu verstehen, der alle denkbaren Anwendungen nutzt, ohne dass eine alleinige sein Nutzungsverhalten charakterisiert.¹⁸⁴ Berücksichtigt man dies, so zeigt sich, dass die von HARRIGAN gewählte Bezeichnung dieser Nutzergruppe, er nennt diese Omnivoren¹⁸⁵, eine für den zugrunde liegenden Nutzungscharakter zutreffendere Namensgebung bietet und daher auch folgend genutzt wird.¹⁸⁶

Basierend auf den von BRANDTZÆG identifizierten acht Nutzertypen werden zur Schaffung homogener Segmente – bezogen auf den mengenmäßigen Umfang der Inanspruchnahme der Datenübertragungsdienstleistung durch die Anwendungen sowie des von diesen benötigten QoS-Level – die Anwendungen abgeleitet, die entsprechend der in Kapitel 2.2 zugewiesenen und in Abbildung 8 sowie in Abbildung 10 dargestellten Dienstgüteanforderungen sowie des mit diesen verbunden Datenverkehrs vergleichbar sind. Basierend auf diesen Anwendungen werden sodann die Nutzertypen zu neuen Segmenten aggregiert.

Entsprechend kann davon ausgegangen werden, dass sich der Debattierer vom Socializer und Lurker zwar in der Intention der Nutzung der Anwendungen, der Nutzungshäufigkeit und der bevorzugten Anwendungen unterscheidet, jedoch die in Anspruch genommenen Anwendungen hinsichtlich der spezifischen Dienstgüteanforderungen sowie des mit diesen Anwendungen verbundenen Datenaufkommens insgesamt vergleichbar sind. Insbesondere die Möglichkeit der Einbindung von Videos in soziale Netze, Blogs und Nachrichtenseiten, deren Nutzung in den drei Gruppen vorherrscht, rechtfertigt diese Annahme, da Ihnen mit der vorherrschenden Nutzung derartiger Video-Anwendungen sowohl eine Nutzung datenmengenintensiver als auch dienstgüte-

¹⁸³ Vgl. BRANDTZÆG [Typology] S. 952

¹⁸⁴ Vgl. BRANDTZÆG [Typology] S. 952

¹⁸⁵ Omnivoren sind im ursprünglichen Wortsinne Allesfresser. Übertragen auf die Nutzung von Datenübertragungsdienstleistungen sind dies Nutzer, die sich nicht durch typische Nutzungsaktivitäten auszeichnen, sondern alle verfügbaren Anwendungen und Möglichkeiten gleichermaßen nutzen.

¹⁸⁶ Vgl. HARRIGAN [Typology] S. ii und 6

sensibler Anwendung gemein ist. Ferner greift dies die Entwicklung der Online-Video-Nutzung auf, da die geschaffene Einbindungsmöglichkeit mit zu einer Verbreitung der Video-Nutzung in diesem Segment beigetragen hat bzw. indirekt dadurch beiträgt, dass Links im Sinne von Empfehlungen zu den klassischen Video-Distributoren hergestellt werden. Diese Gruppe sind die „Socializing-Clip-Lurker“.

Nutzer-Typ	Nutzungsintensität	Vielfalt der Nutzung	Typische Aktivität	Typische Anwendung
Nicht-Nutzer	keine Nutzung	keine Vielfalt	keine Aktivität	–
sporadischer Nutzer	geringe Nutzungsintensität	geringe Vielfalt	keine spezielle Aktivität; Internetnutzung sporadisch zur Informationsbeschaffung, ohne dass Interesse oder Experimentierfreudigkeit besteht	–
Instrumentalisierer	mittlere Nutzungsintensität	mittlere Vielfalt	wählt Media-Inhalte zur Informationsbeschaffung zielorientiert, oft mit Bezug zur Arbeit. Kaum Interesse an Entertainmentangeboten; nutzt Preis- und Produktvergleichsportale	Suchmaschinen, Datenbanken, books.google, scholar.google, Nachrichtenseiten
Debattierer	mittlere Nutzungsintensität	mittlere Vielfalt	nutzt Foren zur Diskussion, Informationsbeschaffung und zum Informationsaustausch; sehr zielorientiert	Blogs und soziale Netzwerke
Socializer	mittlere Nutzungsintensität	mittlere Vielfalt	Sozializing, um mit Familie & Freunden in Kontakt zu bleiben bzw. neue Freunde zu finden. Aktive Teilnahme an sozialen Netzwerken (kommentieren und hochladen von Fotos & Videos); sehr spontan und flexibel, daher weniger zielstrebig	Soziale Netzwerke
Lurker	mittlere Nutzungsintensität	geringe Vielfalt	Inhalte und Nachrichten durchstöbern und lesen, ohne sich an Diskussionen zu beteiligen	Soziale Netzwerke, Newsseiten, Blogs, Einkaufsportale
Entertainment-Nutzer	hohe Nutzungsintensität	mittlere Vielfalt	Online-Gaming und Videos anschauen, lädt auch selbstgestellte Inhalte (User Generated Content) hoch und kauft online ein; Spaß steht im Vordergrund	Youtube etc., Video-on-Demand, Live-Streams, Online-Games
Advanced-User bzw. Omnivore	sehr hohe Nutzungsintensität	hohe Vielfalt	nutzt alle Möglichkeiten, die sich online bieten; gestaltet aktiv Inhalte und nutzt unbekannte/neue Anwendungen zuerst	Alle möglichen Anwendungen

Abbildung 15: Online-Nutzer-Typologie¹⁸⁷

¹⁸⁷ Vgl. BRANDTZÆG [Typology] S. 952 f., ergänzt um weitere typische Anwendungen in Anlehnung an die von OEHMCHEN/SCHRÖTER [ONT] S. 389 f. gelisteten Nutzungshäufigkeiten von Anwendungen des routinierten Informationssuchers, der dem Instrumentalisierer gleichgesetzt wird.

Im Gegensatz dazu seien die sporadischen Nutzer sowie die Instrumentalisierer bereit, weitgehend auf QoS zu verzichten. Denn sowohl der sporadische Nutzer als auch der Instrumentalisierer zeichnen sich gleichermaßen durch das Fehlen einer Affinität zu den Anwendungen aus, die zur Befriedigung der Bedürfnisse ein besonders hohes Maß an Dienstgüte erfordern und werden daher in einer Gruppe der „Instrumentalisierer“ zusammengefasst.

Im Gegensatz zu den Instrumentalisierern und den Socializing-Clip-Lurkern zeichnen sich die Entertainment-Nutzer durch eine hohe Nutzungsintensität der Online-Video-on-Demand-Anwendungen sowie der eine nochmals höhere Dienstgüte beanspruchenden Online-Live-Video-Übertragungen und des Online-Gamings aus. Aufgrund der festgestellten Vervielfachung der Datenmengen, die auf jedwede Online-Video-Übertragungen zurückzuführen sind, kann mittlerweile von einer hohen Nutzungsintensität der Anwendungen bei den Entertainment-Nutzern ausgegangen werden, während BRANDTZÆG noch von einer durchschnittlichen Nutzungshäufigkeit ausging.¹⁸⁸ Der Omnivore hingegen grenzt sich vom Entertainment-Nutzer durch seine deutlich vielfältigere Nutzung der Anwendungen sowie eine sehr hohe Nutzungsintensität ab. Damit geht einher, dass dieser eine nochmals umfangreichere Menge an Datenübertragungsdienstleistungen in Anspruch nimmt. Zur Befriedigung seiner Bedürfnisse sei angenommen, dass er ebenfalls auf eine sehr hohe Dienstgüte angewiesen ist.

Abbildung 16 fasst diese nunmehr vier für diese Arbeit als relevant identifizierten Segmente zusammen. Mit zunehmender Sättigung des Grautons der Pyramide geht eine Intensivierung der Inanspruchnahme von dienstgütebeanspruchender Anwendungen ein. Gleichfalls greift Abbildung 16 drei weitere Charakteristika der Segmente auf und weist den Ausprägungen das entsprechende Segment zu. So ist die Segmentgröße bezogen auf die gesamte Nutzeranzahl in der rechten Leiste visualisiert, der Anteil des durch das Segment verursachten Datenaufkommens am gesamten Datenverkehr oberhalb der Pyramide abzulesen sowie die segmentspezifischen Anforderungen an die Dienstgüte linkerhand der Pyramide angezeigt. Insbesondere sei auf die Gegensätzlichkeit der Gruppengröße und des Datenverkehrsaufkommens hingewiesen. So ist die Gruppengröße der Omnivorers zwar klein, dennoch ist diese kleine Gruppe für einen hohen Anteil des gesamten Datenaufkommens verantwortlich, während sich die große Gruppe der Instrumentalisierer für einen deutlich geringeren Anteil des gesamten Datenübertragungsverkehrs verantwortlich zeichnet.

¹⁸⁸ Vgl. BRANDTZÆG [Typology] S. 952 f.

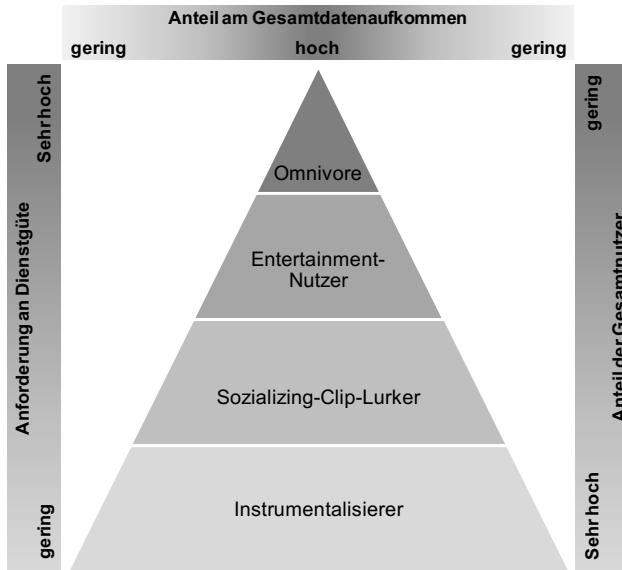


Abbildung 16: Segmente in Abhängigkeit von Quality of Service¹⁸⁹

BRANDTZÆGS Analysen gilt es jedoch hinsichtlich potenzieller Nutzungsgewohnheitsveränderungen in den einzelnen Segmenten zu überprüfen, da diese auf vor 2007 erhobenen Daten basieren und davon auszugehen ist, dass fortwährende Änderungen in den Nutzungsgewohnheiten zu Veränderungen der Nutzungstypen führen.¹⁹⁰ Eine wesentliche Veränderung des Nutzungsverhaltens ist bei der Nutzung von Online-Video-Anwendungen festzustellen, dessen Veränderung sich in der Zunahme des von diesen Anwendungen verursachten globalen Datenaufkommens seit 2007 zeigt und in Abbildung 17 visualisiert ist.¹⁹¹ Eben diese Entwicklung ist aufgrund der vor 2007

¹⁸⁹ Vgl. BRANDTZÆG [Typology] S. 954. Vgl. zur Aussage über die Gruppengrößen generell die Übersicht über verschiedene Gruppengrößen von BRANDTZÆG [Typology] S. 944 ff. sowie speziell BRANDTZÆG/HEIM/KARAHASANOVIC [Topology] S. 129, HERRIGAN [Typology] S. 6.

¹⁹⁰ Vgl. VAN EIMEREN/FREES [Onlinestudie 2012] S. 368, die die Veränderung der Nutzungsgewohnheiten deutscher Nutzer beschreiben. Vgl. BRANDTZÆG/HEIM/ KARAHASANOVIC' [Topology] S. 135, die die Erforschung der Veränderung der Nutzergruppen als zukünftig relevante Themenstellung benennen.

¹⁹¹ Vgl. zur Entwicklung des Datenaufkommens verursacht durch die zunehmende Verbreitung von Video-Anwendungen CISCO SYSTEMS [Zettabyte] S. 15. Brandtzæg führt eine weitere Studie in 2010 durch, bei der er fünf verschiedene Nutzertypen definiert, jedoch greift er auf Daten des Zeitraums zwischen 2004 und 2006 zurück, sodass die Entwicklung nicht abgebildet ist (BRANDTZÆG/HEIM/KARAHASANOVIC' [Topology] S. 126 sowie 129).

erhobenen Daten jedoch in nicht ausreichendem Maße in BRANDTZÆGS Analysen einfließen. Die in der Abbildung 17 erfassten Video-Datentransfers sind aus den Cisco-Reports aggregiert aufbereitet und erfassen sowohl Streaming, Herunterladen von Videos auf PC's sowie Internet Video to TV und damit die über eine Set-Top-Box auf den Fernseher weitergeleiteten Daten.¹⁹²

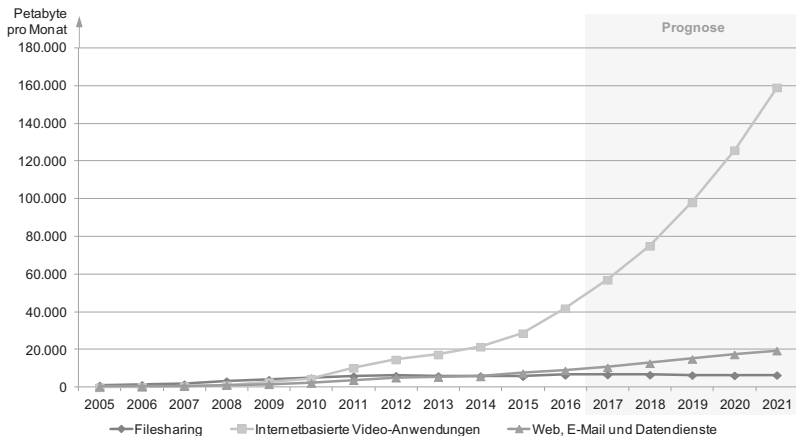


Abbildung 17: Entwicklung der internetbasierten Video-, File-Sharing- sowie Web, E-Mail und Datennutzung von 2005 bis 2022¹⁹³

Im Folgenden werden Warteschlangensysteme vorgestellt, die die Realisierung einer garantierten Dienstgüte mittels verschiedener Dienstklassen (z. B. MPLS oder Differentiated Services) auf der Paketebene veranschaulichen, wenn Kapazitätsengpässe eine Priorisierung und damit eine schnellere Weiterleitung von höher priorisierten Paketen erforderlich machen, um den einzelnen Segmenten die geforderte Dienstgüte bieten zu können.¹⁹⁴ Damit wird eine Brücke von der Protokollsicht auf die Datenpaketsicht geschlagen und der Zusammenhang zwischen Kapazitätsengpässen und der Notwendigkeit der Priorisierung einzelner Datenpakete zur Sicherung von Quality of Service geschaffen.

¹⁹² Vgl. ff. CISCO SYSTEMS [VNI 2012] S. 12 f.

¹⁹³ Basierend auf Daten von CISCO SYSTEMS [VNI 2006], CISCO SYSTEMS [VNI 2007], CISCO SYSTEMS [VNI 2008], CISCO SYSTEMS [VNI 2009], CISCO SYSTEMS [VNI 2010], CISCO SYSTEMS [VNI 2011], CISCO SYSTEMS [VNI 2012], CISCO SYSTEMS [VNI 2013], CISCO SYSTEMS [VNI 2014], CISCO SYSTEMS [VNI 2015], CISCO SYSTEMS [VNI 2016], CISCO SYSTEMS [VNI 2017].

¹⁹⁴ Vgl. SCHÄFER [Verlässlichkeitsanalyse] S. 60 f. sowie ROBERTS [Internet Traffic] S. 1395: "Giving priority to premium traffic protects QoS of users of the privileged classes as long as their overall demand remains less than capacity."

2.4 Priorisierte Datenübertragung zur Quality-of-Service-Sicherung bei Kapazitätsengpässen

2.4.1 Warteschlangenmodelle zur Analyse von Kapazitätsengpässen

Eine Warteschlange entsteht genau dann, wenn zu einem bestimmten Zeitpunkt die Nachfrage nach einer Dienstleistung¹⁹⁵ größer ist, als die zur Erbringung der Dienstleistung in Höhe der Nachfrage notwendige Kapazität, sodass ein Kapazitätsengpass vorliegt und die nicht direkt bedienten Nachfrager bis zur Bedienung warten müssen.¹⁹⁶ Die Warteschlangentheorie befasst sich entsprechend mit der quantitativen Analyse von Systemen, in denen aufgrund ihrer stochastischen Charakteristika, sei es bei der Bedienung oder Nachfrage, Warteschlangen auftreten können.¹⁹⁷ Ein Warteschlangensystem in einfachster Form ist in Abbildung 18 dargestellt. Betrachtet man das Zusammenspiel der in der Abbildung aufgezeigten Komponenten – die Quelle, den Ankunftsprozess, den Warteprozess, den Bedienprozess sowie die Senke – in ihrer Gesamtheit, wird von einem Warteschlangensystem oder einem Wartesystem gesprochen.¹⁹⁸

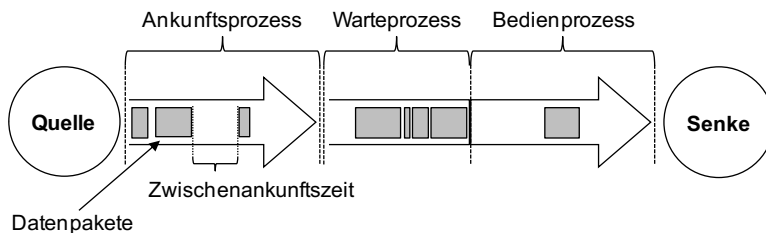


Abbildung 18: Prozessorientierte Sicht eines Warteschlangensystems¹⁹⁹

¹⁹⁵ Eine umfangreiche Diskussion zur Definition einer Dienstleistung führt z. B. LORENZ-MEYER [Dienstleistung] S. 24 ff. Einen Überblick liefern FANDL/BLAGA [Dienstleistungsproduktion] S. 3. Die Definition, die in dieser Arbeit genutzt wird, greift auf die Drei-Phasen-Betrachtung von HILKE – im Speziellen die Prozess-Orientierung – zurück. (vgl. dazu HILKE [Dienstleistung] S. 12).

¹⁹⁶ Vgl. WESSLER [Operations Research] S. 266

¹⁹⁷ Vgl. NEUMANN/MORLOCK [Operations Research] S. 661, NAHMAS [Operations Analysis] S. 473, HILLIER/LIEBERMANN [Operations Research] S. 834, DOMSCHKE/DREXEL [Operations Research] S. 9 und 212. Zurückzuführen ist die Warteschlangentheorie auf AGNER K. ERLANG, der 1909 erstmals zu diesem Themenkomplex publizierte (Vgl. dazu und zum Lebenswerk von ERLANG z. B. HEYDE/SENETA [Statistics] S. 329). Die Bedienungstheorie ist weiter gefasst als die Warteschlangentheorie, denn sie differenziert, wie mit den ankommenden Elementen zu verfahren ist, wenn die Bedienstation (siehe Abb. 18) überlastet ist (vgl. ARNOLD ET AL. [Handbuch] S. A2-27). So ist bei der Bedienungstheorie sowohl ein sofortiges Verwerfen des Elements bei Überlast als auch das Einreihen in eine Warteschlange möglich; die Warteschlangentheorie erlaubt, so wie es der Name vermuten lässt, nur letzteres.

¹⁹⁸ Vgl. DOMSCHKE/DREXEL [Operations Research] S. 212

¹⁹⁹ Modifiziert entnommen aus ARNOLD/FUHRMANS [Materialfluss] S. 113

Die Dienstleistung in Datenübertragungsnetzen besteht hingegen nicht in der „Bedienung“ von realen Kunden, sondern in der Weiterleitung der von einer Quelle generierten Datenpakete, die an einer Servicestation, der sogenannten Bedienstation, ankommen und von dort weiter zum Empfänger geleitet werden.²⁰⁰ Demnach zeichnet sich die Dienstleistung dadurch aus, dass der Leistungserstellungsprozess substantiell für die Befriedigung des intendierten Nutzens des Nachfragers ist und damit die Inanspruchnahme und die Erbringung einer Dienstleistung synchron zu erfolgen hat.²⁰¹ Somit umfasst der im Rahmen der Warteschlangentheorie genutzte Begriff der Dienstleistung auch die in Next Generation Networks verortete Datenübertragungsdienstleistung, insbesondere die Datenweiterleitung in einzelnen Knoten.

Die Ausführungen zeigen, dass sich die Warteschlangentheorie folglich nicht nur mit der Warteschlange, sondern gerade auch mit den übrigen Komponenten beschäftigt, die dazu führen, dass eine Warteschlange auftritt. Warteschlangensysteme lassen sich anhand von sechs Komponenten charakterisieren.²⁰² Zur einheitlichen Kennzeichnung der unterschiedlichen Ausprägungen der Einzelkomponenten bei den vorhandenen mathematischen Modellen hat sich die Notation von KENDALL durchgesetzt: $A | B | m | S | P | SA$ mit den Elementen A als Ankunftsprozess, B als Bedienprozess, m als Bedienstationen, S als maximal mögliche Schlangenlänge und P als die Populationsgröße sowie der Strategie zur Bedienung der Warteschlange SA, die sogenannte Schlangen-Abfertigungsdisziplin, die mithin auch Arbitrationslogik genannt wird.²⁰³ Die Elemente und die Abfertigungsstrategie werden im Folgenden erläutert.

2.4.2 Elemente eines Warteschlangensystems in Next Generation Networks

Ein Warteschlangensystem kann nicht ohne eine Quelle existieren, die die in den folgenden Komponenten des Warteschlangensystems zu bedienenden Elemente emittiert und die über die Größe spezifiziert ist.²⁰⁴ Die Größe einer Quelle bestimmt die

²⁰⁰ In der Materialflussplanung führen z. B. der Ausgleich zur Produktions- und Nachfrageschwankung, der prozessbedingte Zeitbedarf zwischen zwei aufeinanderfolgenden Produktionsschritten oder Veränderungen des Durchsatzes zu geplanten oder eben ungeplanten Wartezeiten (vgl. ARNOLDS/FUHRMANS [Materialfluss] S. 111).

²⁰¹ Diese Definition ist die, die in dieser Arbeit genutzt wird und greift auf die Drei-Phasen-Betrachtung von HILKE – im Speziellen die Prozess-Orientierung – zurück. (vgl. dazu HILKE [Dienstleistung] S. 12).

²⁰² Vgl. NEUMANN/MORLOCK [Operations Research] S. 661, NAHMAS [Operations Analysis] S. 473, HILLIER/LIEBERMANN [Operations Research] S. 834, DOMSCHKE/DREXEL [Operations Research] S. 9 und 212.

²⁰³ Vgl. TORNAMBÈ [System Theory] S. 206). Vgl. zur Nutzung des Begriffs „arbitration logic“ CHOI/SUH [Queueing] S. 269, FALLIN ET AL. [Routing] S. 260

²⁰⁴ Vgl. f. HILLIER/LIEBERMANN [Operations Research] S. 503

Anzahl der Elemente, die potenziell in das Warteschlangensystem eintreten und die Bedienung in Anspruch nehmen können. Dieser den Ankunftsprozess speisende Bestand kann sowohl beschränkt als auch unbeschränkt sein, sodass es sich entsprechend entweder um eine unendlich große Menge oder eine finite Menge potenzieller Elemente handelt.²⁰⁵ Davon abgesehen, dass der unbeschränkte Fall wesentliche Vereinfachungen bei der Berechnung, unter anderem z. B. bezüglich der zu erwartenden Wartedauer, zur Folge hat, ist aufgrund der in Next Generation Networks vorhandenen großen Anzahl an Datenpaketen die Endlichkeit zu vernachlässigen und vereinfachend von einer unendlichen Population an Datenpaketen auszugehen. HILLIER/LIEBERMANN führen als Grund für die Vereinfachung bei Annahme einer unendlichen Population an, dass bei einer beschränkten Population die Anzahl der sich im System befindlichen Elemente direkten Einfluss auf die sich außerhalb des Systems befindlichen Elemente hat.²⁰⁶ Dies resultiert daraus, dass bei einer beschränkten Population davon ausgegangen wird, dass es sich um ein geschlossenes System handelt, in dem der Kunde, nachdem er bedient wurde, nach einer bestimmten Zeit erneut bedient werden will.²⁰⁷ Unter der Annahme einer unbeschränkten Population von Elementen in der Quelle handelt es sich folglich um ein offenes System, bei dem die Elemente nach ihrer Bedienung das System verlassen. Dies ist insbesondere bei der Betrachtung von Datenpaketen nachvollziehbar, da die Dienstleistung mit der Übermittlung der Information von der Quelle zur Senke abgeschlossen ist. Die Größe der Senke entspricht in dem betrachteten System mindestens der Größe der Quelle. D. h. alle von der Quelle emittierten Elemente können von der Senke aufgenommen werden.

Der Ankunftsprozess eines Warteschlangensystems ist aufgrund des mit diesem abgebildeten realen Problems stochastischer Natur und ist durch die Zwischenankunftszeit der Nachfrager charakterisiert.²⁰⁸ Die Zwischenankunftszeit ist der Zeitraum, der zwischen zwei aufeinanderfolgenden Elementen, z. B. Datenpaketen, verstreicht.²⁰⁹ Zur Spezifikation der Zwischenankunftszeit ist eine einzelne Zufallsvariable nicht ausreichend, da es sich um die Beschreibung von zufallsbedingten Abläufen handelt, die in einem Warteschlangensystem abgebildet werden müssen.²¹⁰ Mit einer einzelnen Zufallsvariable lässt sich jedoch nur die Wahrscheinlichkeit eines einzigen zum Zeitpunkt t vorliegenden Zustands abbilden. In Warteschlangensystemen besteht auf-

²⁰⁵ Vgl. DOMSCHKE/DREXL [Operations Research] S. 220

²⁰⁶ Vgl. HILLIER/LIEBERMANN [Operations Research] S. 504

²⁰⁷ Vgl. f. CASSANDRAS/LAFORTUNE [Discrete] S. 434

²⁰⁸ Vgl. zu den Elementen einer Schlange z. B. TAHA [Operations Research] S. 581

²⁰⁹ Vgl. HILLIER/LIEBERMANN [Operations Research] S. 511. Aus der Verteilung der Zwischenankunftszeit lässt sich die Verteilung der Ankünfte ableiten (vgl. THONEMANN [Management] S. 162 f.).

²¹⁰ Vgl. ff. FÄRBER [Modellierung] S. 27

grund der nicht zwingend vorhandenen Unabhängigkeit der aufeinanderfolgenden Ankünfte jedoch die Notwendigkeit, die Charakterisierung mittels eines stochastischen Prozesses vorzunehmen.²¹¹

Der Warteprozess und damit verbunden die Entstehung einer Warteschlange resultiert aus der Interaktion zwischen Ankunftsprozess und Bedienprozess.²¹² In der Warteschlange verweilen die in das Warteschlangensystem eingetretenen Objekte solange, bis der Bedienprozess sie verarbeitet.²¹³ Die Warteschlange selbst ist durch ihre Kapazität charakterisiert.²¹⁴ In Next Generation Networks entsprechen die zu diesem Zweck vorgehaltenen Warteräume Zwischenspeichern, den sogenannten Buffern, in denen die ankommenden Daten bis zur Weiterleitung zwischengespeichert (gebuffert) werden.²¹⁵ Die Warteschlangenlänge hat dabei maßgeblichen Einfluss auf die Dienstgüteparameter Packet Transfer Delay und Jitter.²¹⁶ Letztere Kennzahl wird durch die im Zeitverlauf unterschiedlichen Warteschlangenlängen und die damit einhergehende schwankende Übertragungsdauer (dem Packet Transfer Delay) beeinflusst. Ein beliebig großer Zwischenspeicher minimiert zwar einerseits die Wahrscheinlichkeit eines Paketverlusts, da alle Pakete zwischengespeichert werden können und keines verworfen wird, maximiert andererseits jedoch die Wartezeit sowie damit den Transfer Delay und auch die Varianz des Jitter.

Der Bedienprozess wird über die Anzahl der Servicestationen spezifiziert.²¹⁷ Die Dauer der Bedienung bzw. der Abfertigung, also die Zeitspanne zwischen dem Eintritt eines Elementes in die Bedienstation und dem Austritt aus dem System, wird Bedienungs-, Abfertigungs- oder auch Servicezeit genannt.²¹⁸ Die Bedienungszeit ist analog zur Zwischenankunftszeit definiert und wird in der Regel ebenfalls als stochastische Zufallsgröße modelliert.²¹⁹ Für den Fall, dass es sich bei der Ankunftszeit und der Bedienzeit um Taktprozesse, also eine konstante Dauer bis zur nächsten Ankunft eines zu bedienenden Elements sowie konstante Bedienzeiten und damit in beiden Fällen um keine stochastischen Größen handelt, entstehen im Warteprozess genau dann keine Warteschlangen, wenn der Systemauslastungsgrad p , der aus dem Quotienten der

²¹¹ Vgl. FÄRBER [Modellierung] S. 27

²¹² Vgl. DOMSCHKE/DEXL [Operations Research] S. 221

²¹³ Vgl. STEIN [Rechnernetze] S. 172

²¹⁴ Vgl. NAHMIA [Operations Analysis] S. 474

²¹⁵ Vgl. KOTA/PALHAVAN/LEPPÄNEN [Broadband] S. 261

²¹⁶ Vgl. ff. BARREIROS/LUNDQVIST [Networks] S. 113

²¹⁷ Vgl. ARNOLD/FUHRMANS [Materialfluss] S. 113

²¹⁸ Vgl. NEUMANN/MORLOCK [Operations Research] S. 662

²¹⁹ Vgl. GRUNDMANN [Operations Research] S. 148

Ankunfts- und der Bedienrate resultiert, kleiner 1 ist.²²⁰ Handelt es sich jedoch bei einem der beiden Prozesse um einen stochastischen Prozess, so ist bereits im Fall eines erwarteten Auslastungsgrads kleiner 1 die Schlangenbildung dann möglich, wenn der tatsächliche Auslastungsgrad größer als der erwartete Wert ist. Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass sich eine Warteschlange bildet, ist folglich umso größer, je näher der erwartete Auslastungsgrad an 1 ist. Entsprechend ist die Wahrscheinlichkeit für das Entstehen einer Warteschlange direkt von der Varianz des Auslastungsgrads abhängig, da mit steigender Varianz die Wahrscheinlichkeit für eine höhere Abweichung vom Erwartungswert zunimmt, sodass es bereits bei einem erwarteten Auslastungsgrad von deutlich unter 1 zur Warteschlangenbildung kommen kann. Denn sobald aufgrund stochastisch verteilter Zwischenankunfts- oder Bedienzeiten kurzfristig eine größere Ankunfts- als Abfertigungsrate auftritt, stauen sich die Objekte, die nicht bedient und damit an die Senke weitergeleitet werden können, bevor neue Objekte von der Quelle in das System eintreten.²²¹ Insbesondere die Kurzfristigkeit der Überschreitung der Abfertigungsrate durch die der Ankunftsrate ist hervorzuheben, denn für den Fall einer unendlichen Quelle und eines Auslastungsgrads, der dauerhaft größer als 1 ist, würde die Schlängellänge gegen unendlich laufen.²²²

Sobald eine Schlange in einem Warteschlangensystem entsteht, gilt es festzulegen, in welcher Reihenfolge die Bedienung der in der Schlange befindlichen Objekte zu erfolgen hat.²²³ Dies geschieht durch die Festlegung einer Abfertigungsdisziplin. Eine solche Disziplin kann auf Paketebene bei Vorliegen von Kapazitätsengpässen durch die Priorisierung einzelner Pakete dazu genutzt werden, die Sicherung von QoS zu ermöglichen.²²⁴

2.4.3 Abfertigungsdisziplinen von Warteschlangen zur Realisierung priorisierter Datenübertragung

Die Abfertigungsdisziplinen, die festlegen, in welcher Reihenfolge die sich in der Warteschlange befindlichen Objekte bedient werden,²²⁵ können anhand der mit der Festlegung der Reihenfolge der Bedienung verfolgten Strategien systematisiert werden:

²²⁰ Vgl. ff. ARNOLD [Materialfluss] S. 113

²²¹ Vgl. OLIFER/OLIFER [Computer Networks] S. 224

²²² Vgl. f. NITA/GOR/SONI [Operations Research] S. 337

²²³ Vgl. f. SERPANOS/WOLF [Networks Systems] S. 199

²²⁴ Vgl. MCCONNELL/SIEGEL [QoS Technology] S. 187; vgl. dazu nochmals ROBERTS [Internet Traffic] "Giving priority to premium traffic protects QoS of users of the privileged classes as long as their overall demand remains less than capacity" (S. 1395).

²²⁵ Vgl. NITA/GOR/SONI [Operations Research] S. 336

- ankunftszeitabhängige Abfertigungsdisziplinen,
- priorisierende Abfertigungsdisziplinen sowie deren Unterformen,
- bedienzeitabhängige Abfertigungsdisziplinen.

Die Objekte in Next Generation Networks sind die weiterzuleitenden Datenpakete, die nur dann mittels einer Abfertigungsstrategie systematisiert bedient werden, wenn es zu einer Warteschlangenbildung kommt.²²⁶

Die ankunftszeitabhängigen Abfertigungsdisziplinen sortieren die Datenpakete, die sich in der Warteschlange stauen, nach deren Eintrittszeitpunkt in das Warteschlangensystem. Die bekannteste Abfertigungsdisziplin ist der First-in-First-Out-Algorithmus (FIFO), da dieser überwiegend eingesetzt wird, um entstandene Warteschlangen abzuarbeiten.²²⁷ Der Algorithmus verlangt, dass diejenigen Pakete als erstes bedient werden, die sich am längsten in der Warteschlange befinden.²²⁸ Daher ist dieser Algorithmus auch unter der Bezeichnung „First Come, First Served“ bekannt.²²⁹ Dementsprechend wird das Paket, das als erstes in das Warteschlangensystem eingetreten ist, als erstes bedient.²³⁰

Der Last-In-First-Out-Algorithmus (LIFO) hingegen bedient die Pakete zuerst, die die Warteschlange als letztes betreten haben und bevorzugt dementsprechend diejenigen Objekte, deren Verweilzeit innerhalb des Systems zum Bedienzeitpunkt am kürzesten war.²³¹ Dieses Verfahren wird in der Informatik auch als Stapelverfahren bezeichnet, da die Objekte, die zuoberst auf den Stapel gelegt wurden auch zuerst wieder weggenommen werden müssen, um den Stapel abzuarbeiten.²³² Somit führen insbesondere längere Warteschlangen dazu, dass sich für diejenigen Objekte, die sich bereits zu Beginn der Entstehung der Warteschlange eingereiht haben, besonders lange Wartezeiten ergeben.²³³

Unabhängig von der Ankunftszeit der Pakete ist hingegen die zufallsbasierte Bedienung, bei der zufallsbedingt ein in der Warteschlange befindliches Objekt zur Bedienung ausgewählt wird.²³⁴ Die Wahrscheinlichkeit ausgewählt zu werden, ist für alle

²²⁶ Vgl. OLIFER/OLIFER [Computer Networks] S. 225

²²⁷ Vgl. NITA/GOR/SONI [Operations Research] S. 336

²²⁸ Vgl. SCHULTE [Logistikmanagement] S. 302

²²⁹ Vgl. ALLEN [Queueing Theory] S. 325

²³⁰ Vgl. HEINRICH/GRASS [Operations Research] S. 256

²³¹ Vgl. NEUMANN/MORLOCK [Operations Research] S. 744

²³² Vgl. z. B. FULTON [Stacks] 174, ELLER [Visual C#] S. 335 oder BANGSOW [Fertigungssimulation] S. 186

²³³ Vgl. HERTER/LÖRCHER [Nachrichtentechnik] S. 437

²³⁴ Vgl. TJHIE [Wartesysteme] S. 6

sich in der Warteschlange befindlichen Objekte gleich groß.²³⁵ Sofern davon ausgegangen wird, dass es sich bei der Bedienung nicht um einen Taktprozess handelt, also keine deterministische Abfertigungsrate vorliegt, gilt für FIFO, LIFO und auch die zufallsbedingte Auswahl, dass die Anzahl der in der Warteschlange befindlichen Objekte gleich ist, da keines der Verfahren die Bediendauer eines Objektes berücksichtigt.²³⁶ Grundsätzlich können alle drei Verfahren mit nur einer einzigen Warteschlange umgesetzt werden und sind dementsprechend einfach in ihrer technischen Umsetzung.²³⁷ Damit geht jedoch einher, dass allen Paketen die gleiche Priorität zugewiesen wird, unabhängig davon, ob die in dem Paket versandten Daten von einer verzögerungs-sensitiven und damit unelastischen Anwendungen stammen oder nicht.

Um die Voraussetzungen der geforderten Dienstgütesicherung bei der Datenübertragung zu erfüllen, um ein Netz als Next Generation Network zu klassifizieren, gilt es demnach, Abfertigungsstrategien zu entwickeln, mit deren Hilfe die von den Protokollen festgelegten Dienstgüteklassen realisiert werden können.²³⁸ Um diese Problematik zu lösen, wird auf priorisierende Abfertigungsdisziplinen zurückgegriffen, bei denen die Reihenfolge der Bedienung der Pakete durch eine Rangfolge festgelegt ist.²³⁹ Deren Einsatz impliziert, dass alle ankommenden Objekte klassifiziert werden.²⁴⁰ Die Klassifizierung wird von Protokollen vorgenommen, sodass Priorisierung in diesem Zusammenhang bedeutet, dass Objekte, denen eine höhere Prioritätsklasse zugewiesen ist, entsprechend der festgelegten Rangfolge von 1 bis n bei n Klassen,²⁴¹ vorrangig bedient werden.²⁴² Je nachdem, wie die Klassendefinition erfolgt, ist demnach entweder die 1-te oder die n-te Klasse die Klasse, der die höchste Priorität eingeräumt wird.²⁴³ Diese Formen der Abfertigungsdisziplinen werden in Datennetzen eingesetzt, um einzelne, einer bestimmten Klasse zugewiesene Datenpakete priorisiert zu bedienen.²⁴⁴

Um sicherzustellen, dass Datenpakete entsprechend der ihnen zugewiesenen Priorität behandelt werden, ist für jede der Klassen bzw. Prioritätslevel ein eigener Warteraum zu installieren.²⁴⁵ Entstehen Warteschlangen, so wird die Warteschlange mit den Objekten der höchsten Priorität vorrangig bedient. Die in den Warteschlangen der

²³⁵ Vgl. NEUMANN/MORLOCK [Operations Research] S. 744

²³⁶ Vgl. NEUMANN/MORLOCK [Operations Research] S. 744

²³⁷ Vgl. f. OLIFER/OLIFER [Computer Networks] S. 225

²³⁸ Vgl. OLIFER/OLIFER [Computer Networks] S. 225

²³⁹ Vgl. HEIDEPRIEM [Prozessinformatik] S. 280

²⁴⁰ Vgl. OLIFER/OLIFER [Computer Networks] S. 225

²⁴¹ Vgl. ALLEN [Queueing Theory] S. 325

²⁴² Vgl. RUDOLF [Servicebasiert] S. 259.

²⁴³ Vgl. ALLEN [Queueing Theory] S. 325

²⁴⁴ Vgl. OLIFER/OLIFER [Computer Networks] S. 225

²⁴⁵ Vgl. KUROSE/ROSS [Computernetzwerke] S. 688 f.

einzelnen Klassen befindlichen Objekte werden wiederum nach dem FIFO-Algorithmus bedient.²⁴⁶ Daher ist die Priorisierung eine Variation des FIFO-Algorithmus. Ihr Vorteil ist, dass beim Einsatz dieser strikten Priorisierung in Datennetzen eine Priorisierung derjenigen Datenpakete, die Daten von unelastischen Echtzeitanwendungen enthalten, gegenüber Datenpaketen von elastischen Anwendungen möglich ist.²⁴⁷ Insbesondere wenn die Ankunftsrate der Datenpakete mit höchster Prioritätsklasse niedriger ist als die Abfertigungsrate, kann die von der höchsten Prioritätsklasse benötigte Dienstgüte durch die Reduktion der Wartezeit garantiert werden.²⁴⁸ Strikte Priorisierung bedeutet jedoch auch, dass eine Bedienung niedrigerer Klassen erst dann erfolgt, wenn alle höheren Klassen vollständig bedient sind.²⁴⁹

Letzteres ist problematisch, da lange Wartezeiten für die niedriger priorisierten Objekte auftreten können, wenn die Ankunftsrate von Datenpaketen der höchsten Prioritätsklasse dauerhaft nicht wesentlich kleiner ist als die Abfertigungsrate.²⁵⁰ Insbesondere in diesen Fällen führt die Priorisierung einzelner Datenströme zu einer erheblichen Verringerung der Dienstgüte aller niedriger priorisierten Datenströme.²⁵¹ Dies liegt daran, dass Schwankungen in der Auslastung zu Schwankungen im Transfer Delay und damit zu hohen Jitter-Werten führen. Objekte niedriger Klassen werden bei einer strikten Priorisierung nicht ausreichend bedient, sodass Warteschlangen nicht abgebaut werden können.²⁵² Wird davon ausgegangen, dass eine Beschränkung in der Schlangenkapazität vorliegt, würde dies zu einem Aussortieren von niedrig priorisierten Paketen und damit nicht nur zu einer Verzögerung führen, sondern gleichzeitig eine höhere Packet Loss Ratio hervorrufen und somit die Dienstgüte nachhaltig senken.

Eine Lösung dieser Problematik ist durch eine zyklische Bedienung der Warteschlangen mittels bedienzeitabhängiger Abfertigungsstrategien möglich.²⁵³ Dazu wird ebenfalls eine Klassenbildung vorgenommenen, die analog zu der bei der Priorisierung eingeführten Strategie ausgestaltet wird.²⁵⁴ D. h. es wird ebenfalls für jede Klasse ein separater Warteraum vorgehalten, denen dann mittels des sogenannten Token die Berechtigung zur Nutzung der Kapazität zugewiesen wird. Der in Abbildung 19 visualisierte Round-Robin-Algorithmus teilt die zur Verfügung stehende Bedienzeit in Zeit-

²⁴⁶ Vgl. ff. PETERSON/DAVIE [Networks] S. 494

²⁴⁷ Vgl. MEDHI/RAMASAMY [Network Routing] Part VI S. 4

²⁴⁸ Vgl. OLIFER/OLIFER [Computer Networks] S. 227

²⁴⁹ Vgl. ALTMAN/AVRACHENKOV/AYESTA [Discriminatory] S. 53

²⁵⁰ Vgl. MEDHI/RAMASAMY [Network Routing] Part VI S. 4

²⁵¹ Vgl. NOCKER [Verzögerung] S. 3

²⁵² Vgl. MEDHI/RAMASAMY [Network Routing] Part VI S. 4

²⁵³ Vgl. DJONOVA-POPOVA/POPOV [Congestion Control] S. 22

²⁵⁴ Vgl. KUROSE/ROSS [Computernetzwerke] S. 690

scheiben auf, um die Klassen reihum mit derselben Bedienzeit zu bearbeiten und somit zu verhindern, dass eine Klasse aufgrund der Schlangenbildung in einer höheren Klasse nicht bedient wird.²⁵⁵ Daraus folgt, dass bei z. B. drei Prioritätsklassen und einer Zeitscheibe, die genau der Bearbeitungszeit entspricht, die notwendig ist, um aus jeder Klasse genau ein Objekt zu bedienen, zunächst ein Objekt der höchsten Priorität, gefolgt von einem Objekt mittlerer und einem Objekt niedriger Priorität bedient wird, bevor wieder mit dem Bedienen der höchsten Prioritätsklasse fortgefahren wird.²⁵⁶ Der Round-Robin-Algorithmus ist folglich genau dann eine „gerechte“ Variante zur Verteilung der Bedienzeit, wenn jeder Prioritätsklasse die gleiche Bedienzeit in Abhängigkeit des Auslastungsgrads zur Verfügung steht und aufgrund der fehlenden Diskriminierung kann der Round-Robin-Algorithmus als „fair“ bezeichnet werden.²⁵⁷ Dies gilt jedoch ausschließlich unter der Annahme, dass sich nur dann eine Warteschlange bei höher priorisierten Klassen bilden kann, wenn für alle niedriger priorisierten Klassen ebenfalls Warteschlangen bestehen. Sollte zu einem Zeitpunkt für eine Prioritätsklasse keine Warteschlange bestehen, so ist der Algorithmus dann weiterhin als fair bezüglich der Ressourcenverteilung zu bewerten, wenn diese freie Kapazität gleichmäßig auf alle Klassen verteilt wird.

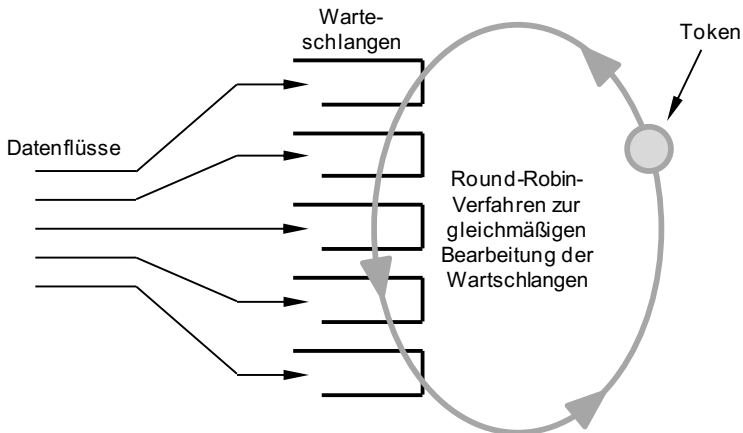


Abbildung 19: Visualisierung der Abfertigungsstrategie mittels Round-Robin-Algorithmus²⁵⁸

²⁵⁵ Vgl. TJHIE [Wartesysteme] S. 6

²⁵⁶ Vgl. f. KUROSU/ROSS [Computernetzwerke] S. 690

²⁵⁷ Vgl. BADACH [VoIP] S. 120 f.

²⁵⁸ Vgl. SHAH [Quality of Service] S. 12

Sollte für den Fall, dass zu einem Zeitpunkt für eine Prioritätsklasse keine Warteschlange besteht, der Algorithmus vorschreiben, dass direkt mit der Bedienung der nächst niedrigeren Klasse fortgefahren und somit keine Verteilung der freien Kapazität vorgenommen wird, so bedeutet dies, dass die Zeitscheibe schneller abgearbeitet ist und die nächste Zeitscheibe zu einem früheren Zeitpunkt wieder begonnen werden kann. Da die Bedienung innerhalb der neuen Zeitscheibe ebenfalls mit der höchsten Prioritätsklasse startet, kommt dies bei einer Fixierung der Zeitscheibendauer einer Vererbung der nicht genutzten Kapazität an höher gelagerte Prioritätsklassen und damit einer Bevorteilung der höher priorisierten Klassen gleich. Erst für den Fall, dass bei höher priorisierten Klassen keine Warteschlangen bestehen, wird die innerhalb der Zeitscheibe nicht genutzte Kapazität an niedrigere Klassen weitervererbt.

Der Round-Robin-Algorithmus ist im ursprünglichen Sinne die Spezialform des Weighted-Fair-Queueing-Algorithmus, der im Gegensatz zum Round-Robin-Algorithmus keine zwingende gleichmäßige Aufteilung der Gesamtbienkapazität auf die Bedienzeit pro Klasse innerhalb einer Zeitscheibe verlangt.²⁵⁹ Der class-based-Weighted-Fair-Queueing-Algorithmus kann jeder Klasse i nochmals eine Gewichtung w_i in Form eines Anteils der Gesamtbienkapazität zuweisen.²⁶⁰ Die $\sum_i^n w_i$ entspricht sodann der gesamten Bedienkapazität pro Zeitscheibe. Die Anzahl der Klassen wiederum kann bei der Nutzung einer der Weighted-Fair-Queueing-Algorithmen Auswirkungen auf die Effizienz der Datenweiterleitung haben.²⁶¹ So führt eine steigende Klassenanzahl im Grenzfall zu einer für jede Anwendung spezifischen Klasse, die speziell die von dieser Anwendung geforderte Dienstgüte garantiert, wenn auch nur statisch.²⁶² Wird eine noch feingranulärere dynamische Unterteilung vorgenommen, so kann jedem einzelnen Datenfluss eine einzelne Klasse zugewiesen werden, sodass daher auch zwischen flussbasiertem und klassenbasiertem Weighted Fair Queueing unterschieden wird.²⁶³ Bei einer kleineren Klassenanzahl ist es prinzipiell denkbar, dass es zu einer nicht optimalen Ressourcennutzung kommt, wenn Kapazitäten innerhalb einer Zeitscheibe für eine Anwendung vorgehalten werden müssen, bei der die Dienstgüte der nächst niedrigeren Klasse nicht zur Befriedigung der Nutzerbedürfnisse

²⁵⁹ Vgl. TUCKER [Computer Science] S. 82-8

²⁶⁰ Vgl. f. KUROSE/ROSS [Computernetzwerke] S. 691

²⁶¹ Vgl. zur Übersicht über mögliche Ausgestaltungsformen des Weighted Fair Queueing z. B. CISCO [QoS] S. 88

²⁶² Vgl. f. CISCO [QoS] S. 117 ff. Ebenda wird auch aufgezeigt, dass eine Konfiguration von Routern so realisiert werden kann, dass jedem Datenstrom, der von einer bestimmten IP-Adresse stammt oder sogar zwischen zwei IP-Adressen fließt, eine eigene Klasse zugewiesen und somit eine IP-adressengebundene Priorisierung einzelner Ströme realisiert werden kann.

²⁶³ Vgl. CISCO [QoS] S. 117, die darauf hinweisen, dass die klassenbasierte Form sowohl anwendungs-spezifisch über Type of Service (ToS) als auch für eigens definierte Klassen realisiert werden kann.

ausreichen würde, jedoch die Dienstgüte der der Anwendung zugewiesenen Klasse deren Anforderungen übertrifft. Findet eine Verschiebung der gleichmäßigen Round-Robin-QoS-Level-Verteilung durch neue Gewichtungen innerhalb des Class-Based-Weighted Fair Queueing bei gleichem Datenverkehr und Vorliegen eines Engpasses statt,²⁶⁴ bei der eine Vergrößerung der Kapazitäten der höheren Klasse vorgenommen wird, so wachsen die Schlagenlängen und damit die Wartezeiten in den niedrigeren Klassen. Gleichzeitig bedeutet dies bei stochastisch verteilten Zwischenankünften, dass die Wahrscheinlichkeit für eine Warteschlangenbildung in den höheren Klassen sinkt, während diese in den niedrigeren steigt. Findet hingegen eine Umverteilung der in der Zeitscheibe vorgehaltenen Kapazität von den höheren hin zu den niedrigeren Klassen statt, so steigt die Wahrscheinlichkeit dafür, dass auch in den höheren Klassen prinzipiell Warteschlangen entstehen können.

Wird die Gewichtung w_i in der Bedienkapazitätseinheit gemessen, lässt dies jedoch nicht auf Anheb Rückschlüsse auf den Anteil der Klasse an der Gesamtkapazität zu. Um schnell einen Überblick zu erhalten, wie viel der vorhandenen Gesamtkapazität einer Klasse zugewiesen wird, kann auf eine prozentuale Gewichtung einer Klasse zur Angabe zurückgegriffen werden. Werden jedoch ausschließlich die prozentualen Anteile preisgegeben, so können bei mehreren priorisierten hintereinander geschalteten Warteschlangen aufgrund unterschiedlicher Kapazitäten selbst dann weitere Kapazitätsengpässe für die höher priorisierten Elemente auftreten, wenn in weiteren zu durchlaufenden Warteschlangensystemen die prozentuale Gesamtkapazität der Abfertigungsrate zwar gleich ist, jedoch aufgrund einer insgesamt niedrigeren Abfertigungsrate eben diese prozentuale Zuweisung nicht ausreicht, um eine Schlangenbildung zu unterbinden. Folglich ist eine Verbindung der beiden Formen notwendig, z. B. durch die Angabe in Form von z. B. 70 % von 1 GB/sec.

Die Weighted-Fair-Queueing-Algorithmen berücksichtigen nicht, dass es schwierig ist, die Bedienung eines Paketes einfach zu unterbrechen und mit der Bedienung eines auf der nächst niedrigeren Stufe stehenden Paketes fortzufahren.²⁶⁵ Für die Weitervermittlung von Datenpaketen würde die Unterbrechung der Übertragung dazu führen, dass die IP-Datenpaket-Header dupliziert werden müssen, da andernfalls die noch nicht übermittelten Paketdaten verloren gingen.²⁶⁶ Damit wäre die Gesamtinformation nicht nutzbar, sodass eine QoS-Sicherung, die gerade mit der Priorisierung verfolgt werden soll, gleichfalls nicht mehr realisierbar wäre. Eine Duplizierung der Header-

²⁶⁴ Vgl. CISCO [QoS] S. 117 f.

²⁶⁵ Vgl. KUROSE/ROSS [Computernetzwerke] S. 691

²⁶⁶ Vgl. f. SERPANOS/WOLF [Networks Systems] S. 197

informationen würde außerdem zusätzliche Daten generieren und damit die Auslastung des Netzes weiter steigern und ferner einen unverhältnismäßig hohen Aufwand in der technischen Umsetzung erfordern. Aus diesem Grund sind bedienzeitabhängige²⁶⁷ Abfertigungsdisziplinen wie z. B. der Deficit-Round-Robin-Algorithmus entwickelt worden, bei dem zwar ebenfalls eine zyklische Bedienung der einzelnen Warteschlangen erfolgt, jedoch vor der Bedienung eines Datenpakets geprüft wird, ob die Zeit zur Bedienung des Paketes innerhalb der Zeit, die in der Zeitscheibe für diese Klasse vorgesehen ist, möglich ist.²⁶⁸ Sollte dies nicht der Fall sein, so wird die Zeit, die aufgrund der Nichtbedienung der Warteschlange frei bleibt, in eine Art Guthaben überführt, bis dieses Zeitguthaben ausreicht, um das Objekt zu bedienen.

Die Priorisierung ermöglicht folglich, das Angebot der Datenübertragungsdienstleistungen zu diversifizieren, indem den Nutzern eine entsprechend ihren individuellen Anforderungen an QoS, die sich auch in den gebildeten Segmenten widerspiegeln, gesicherte Dienstgüte angeboten werden kann. Mit dem Ziel der Erweiterung des Leistungsspektrums basierend auf der Erhöhung der Dienstgüte des Datenübertragungsdienstleisters, schließt sich die Frage nach möglichen Formen der Bepreisung dieser zusätzlichen Dienstleistung an. Im folgenden Kapitel werden zunächst die Grundlagen der Bepreisung dargestellt, um zu klären, was unter Bepreisung verstanden wird und welche Ziele mit dieser verfolgt werden können sowie welche Einflussfaktoren eine Rolle bei der Bepreisung spielen. Im Anschluss werden aus den Besonderheiten der Datenübertragungsdienstleistung Herausforderungen abgeleitet und geklärt, wie diese bei der Bepreisung aufgegriffen werden können, bevor letztlich ein Zielsystem für den Datenübertragungsdienstleistungsanbieter identifiziert wird.

²⁶⁷ Eine Abhängigkeit von der Bedienzeit ist gleichzusetzen mit einer Abhängigkeit von der Kapazität, sofern die Kapazität zu verteilen ist und nicht die potenziell vorhandene Zeit zur Bedienung.

²⁶⁸ Vgl. f. CHAO/GUO [Quality of Service] S. 112



3 Ansätze zur Bepreisung priorisierter Datenübertragung zur Auslastungssteuerung

3.1 Anforderungen an die Preispolitik eines Datenübertragungsdienstleisters

3.1.1 Grundlagen der Bepreisung von Dienstleistungen

3.1.1.1 Preise als Parameter der Preispolitik

Der **Preis** quantifiziert „traditionell“²⁶⁹ die Anzahl monetärer Einheiten, die der Erwerbende für eine Dienstleistung, Sachleistung oder eine Kombination von beidem mit einer zuvor für das Erworbene festgelegten Qualität bezahlt.²⁷⁰ Der Preis, der in der betriebswirtschaftlichen Sicht als Quotient aus gezahlten monetären Einheiten und Leistungsumfang definiert ist, spiegelt somit unmittelbar die gegensätzlichen Bestrebungen von Anbietern und Kunden wider.²⁷¹ So strebt der Kunde, der Endnutzer, einen im Verhältnis zur Leistung möglichst geringen Preis an, während der Anbieter, im hier betrachteten Fall der Datenübertragungsdienstleister, versucht, einen möglichst hohen Preis für die erbrachte Leistung zu realisieren.

Besteht ein Preis aus verschiedenen Teilkomponenten von denen mindestens eine spezielle Nutzungsbedingungen geknüpft ist, so wird von Tarifen gesprochen.²⁷² Dies entspricht auch dem vom DILLER erweiterten gängigen Preisbegriffsverständnis, in dem er eine kundenfokussierte Preisdefinition durch „eine Ausweitung des Preisbegriffs auf alle mit dem Einkauf verbundenen Kostenkomponenten“²⁷³ vornimmt. Diese Kundenfokussierung mündet in der folgend zugrundegelegten Preisdefinition. Der Preis inkludiert entsprechend alle mit dem Kauf eines Produktes oder der Inanspruchnahme einer Dienstleistung mittelbar und unmittelbar verbundenen Zahlungen, die den Käufer betreffen.²⁷⁴ Im Gegensatz dazu entspricht das Entgelt der vom Käufer zu entrichtenden Zahlung, deren Höhe basierend auf den Nutzungsbedingungen eines Tarifs ermittelt wurde. Die Zahlungen können sowohl negativ als auch positiv sein und basieren auf negativen bzw. positiven Preiskomponenten, die bei der Betrachtung des Gebrauchszyklus eines Produktes bzw. der Dauer der Inanspruchnahme einer Dienstleistung zu einem effektiven Gesamtpreis aggregiert werden können.

²⁶⁹ DILLER [Preispolitik] S. 30

²⁷⁰ Vgl. DILLER [Preispolitik] S. 30, SIMON/FAßNACHT [Preismanagement] S. 6, RULLKÖTTER [Preismanagement] S. 7

²⁷¹ Vgl. f. DILLER [Preispolitik] S. 30 f.

²⁷² Vgl. SCHÖN-PETERSON [Preismanagement] S. 9, TRAIN/BEN-AKIVA/ATHERTON [self-selecting tariffs] S. 62 oder DILLER [Preispolitik] S. 30, der eine weitere Begriffsabgrenzung vornimmt.

²⁷³ DILLER [Preispolitik] S. 31

²⁷⁴ Vgl. DILLER [Preispolitik] S. 32; LÖFFLER [Preispolitik]

Den unterschiedlichen Definitionen des Preises entsprechend, erfolgt auch die Abgrenzung des Begriffs der Preispolitik,²⁷⁵ deren primäre Aufgabe in der Gestaltung eines Preises verortet ist.²⁷⁶ Dem traditionellen Verständnis des Preisbegriffs folgend, besteht das Ziel der Preispolitik in der Festlegung eines Preises, also dessen Berechnung i. d. R. basierend auf Kosteninformationen.²⁷⁷ Um die Definition des Preises aufzugreifen, soll folgend entsprechend das Verständnis der Preispolitik erweitert werden. Demnach umfasst die Preispolitik alle mit der Preis-Leistungs-Relation verbundenen und potenziell durch den Preissetzenden zu beeinflussenden Aktivitäten unter Berücksichtigung der mit der Unternehmensstrategie verfolgten Ziele. Somit umfasst die auch als Preismanagement bezeichnete Preispolitik die Aktivitäten von der Suche über die Auswahl bis hin zur Durchsetzung von Preis-Leistungs-Relationen sowie den einzusetzenden Instrumenten und entspricht folgend der mit dem Begriff der Bepreisung assoziierten Aktivitäten. Um dies dem Unternehmensziel entsprechend realisieren zu können, muss das Preismanagement alle für die Entscheidung relevanten Einflussgrößen berücksichtigen²⁷⁸ und eben diese Berücksichtigung aller Einflussgrößen führt zu einer prozessualen Sichtweise auf das Preismanagement.²⁷⁹

Mit dem Einbinden der Anbieterziele und aller zu deren Erreichung potenziell möglichen Aktivitäten wird deutlich, dass sowohl kurz- als auch langfristige Betrachtungen und somit die betriebswirtschaftlichen Unternehmensziele direkt inbegriffen sind und unmittelbar Einfluss auf die Preispolitik eines Anbieters und damit den Preis haben.²⁸⁰

3.1.1.2 Berücksichtigung kundenwertorientierter Unternehmensziele in der Preispolitik

Unternehmen verfolgen vielfältige Ziele, die sowohl quantitativer als auch qualitativer Natur sein können und sich darüber hinaus u. a. hinsichtlich ihrer Fristigkeit in operative bis strategische Ziele differenzieren lassen, sodass für Unternehmen stets ein multikriterielles Zielsystem besteht.²⁸¹ Eben diese vielfältigen Ziele, die nicht zwingend alle gleichzeitig realisiert werden können, werden im Rahmen eines Zielbildungsprozesses

²⁷⁵ Vgl. DILLER [Preispolitik] S. 33 f.

²⁷⁶ Vgl. NAGLE/HOGAN [Preispolitik] S. 16

²⁷⁷ Vgl. ff. DILLER [Preispolitik] S. 33 f.

²⁷⁸ Vgl. SCHÖN-PETERSON [Preismanagement] S. 5

²⁷⁹ Vgl. SIMON/FAßNACHT [Preismanagement] S. 15 f.

²⁸⁰ Vgl. BREYER [Mikroökonomik] S. 71, SIMON/FAßNACHT [Preismanagement] S. 25

²⁸¹ Vgl. LAUX [Unternehmensführung] S. 1 f., LAUX [Unternehmensziele] S. 2, BRODA [Marketing-Praxis] S. 35, STÜKER [Kundenbeziehungen] S. 9 ff., oder auch sehr ausführlich mit tabellarischem Überblick über mögliche Einzelziele WELGE/AL-LAHAM [Management] S. 111 ff. oder HOFSTEDE ET AL. [Goals] S. 785 ff., die mittels empirischer Erhebung die verfolgten Unternehmenszielen untersucht haben.

in einem sich durch pluralistische Interessen auszeichnenden Mehrpersonenunternehmen in ein für die Interessengruppen konsensfähiges gemeinsames Unternehmensziel überführt, das als Basis der Unternehmenssteuerung dient.²⁸²

Im Rahmen dieser Arbeit wird von einer wertorientierten Unternehmenssteuerung basierend auf Werttreibern ausgegangen, die eine quantitative Verknüpfung der Unternehmensstrategie mit dem Preismanagement und damit der Bepreisung ermöglicht. Die wertorientierte Unternehmenssteuerung ist auf die von RAPPAPORT gebildete Shareholder-Value-basierte Theorie zurückzuführen, gemäß derer im Rahmen der Berücksichtigung der pluralistischen Interessen insbesondere die Interessen der Eigentümer des Unternehmens und damit bei kapitalmarktorientierten Unternehmen die Anteilseigner, die sogenannten Shareholder, im Fokus stehen.²⁸³ Wertorientierte Unternehmenssteuerung bedeutet in diesem Kontext eine explizite Berücksichtigung der finanzwirtschaftlichen Interessen der Eigentümer unter der Voraussetzung, dass die Eigentümerschaft auf der Bereitstellung von Kapital fußt und dass die Bereitstellung von Kapital mit dem Ziel verbunden ist, mindestens die mit der Kapitalbereitstellung verbundenen Kosten zu decken, da andernfalls eine alternative Kapitalverwendung vorteilhafter wäre.²⁸⁴ Im Zuge der sich verdichtenden Anbieteranzahl, die mit vergleichbaren Dienstleistungen aufwarten, scheint die Erfüllung der im Rahmen der wertorientierten Unternehmenssteuerung verfolgten finanzwirtschaftlichen Interessen der Eigentümer insbesondere dadurch realisierbar zu sein, die Ressource ‚Kunde‘ unmittelbar bei der Steuerung des Unternehmens mitzuberücksichtigen.²⁸⁵ Die Bedeutung der Kunden für den langfristigen Unternehmenserfolg spiegelt sich auch im Unternehmensziel der Sicherung der Kundenzufriedenheit wider.

Im Zuge einer wertorientierten Unternehmensführung ist demnach eine Identifikation der bei den Kunden bestehenden Wertschöpfungspotenziale unumgänglich.²⁸⁶ Der Shareholder Value wird von zahlreichen Werttreibern beeinflusst, die die Verbindung zwischen den Kunden bis hin zu den Unternehmenszielen erklären.²⁸⁷ Eben diese Werttreiber des Shareholder Value werden von SRIVASTAVA/SHERVANI/FAHEY näher untersucht, um Strategien zur Erhöhung des Shareholder Value abzuleiten.²⁸⁸ Die vier

²⁸² Vgl. WELGE/AL-LAHAM [Management] S. 111

²⁸³ Vgl. das Standardwerk zum Shareholder-Value-Ansatz von RAPPAPORT [Shareholder] S. 3 ff.

²⁸⁴ Vgl. RAPPAPORT [Shareholder] S. 13 und 15 sowie ausführlich S. 39 ff.

²⁸⁵ Vgl. BRUHN ET AL. [Wertorientiertes] S. 167, JEACK [Wertorientiertes] S. 1, GOUTHIER/ SCHMID [Kundenbeziehungen] S. 223

²⁸⁶ Vgl. BRUHN ET AL. [Wertorientiertes] S. 167, WORATSCHEK/ROTH [Preisbereitschaft] S. 371 sowie WOODRUFF [Customer Value] S. 139 ff.

²⁸⁷ Vgl. KIM/MAHAJAN/SRIVASTAVA [Market Value] S. 262 f. sowie RAPPAPORT [Sharholder] S. 68

²⁸⁸ Vgl. ff. SRIVASTAVA/SHERVANI/FAHEY [Shareholder Value] S. 8 f.

nachfolgend genannten Strategien konnten als wesentliche Strategien identifiziert werden, die ihrerseits unmittelbar Einfluss auf die Steuerung des Preismanagements und damit die Bepreisung haben:

- die Beschleunigung des Cashflows;
- die Erhöhung des Cashflow-Level;
- die Reduktion der Volatilität und Vulnerabilität der Cashflows;
- die Erhöhung des Residualwertes des Unternehmens.

Die Beschleunigung der Cashflows²⁸⁹ ist von Bedeutung, denn gemäß der Berechnung des Shareholder-Value-Ansatzes sind frühere positive Cashflows den zu einem späteren Zeitpunkt anfallenden positiven Cashflows vorzuziehen, da mit der Diskontierung der im Zeitverlauf nachgelagerten Cashflows eine wertmäßige Minderung einhergeht. Der Cashflow ist dabei als der periodenbezogene zahlungsstromorientierte Saldo zwischen ertragsgleichen Einnahmen und aufwandsgleichen Ausgaben definiert und gibt somit den Überschussbetrag an, sodass es erstrebenswert ist, zu einem möglichst frühen Zeitpunkt hohe Überschüsse zu generieren.²⁹⁰ Die Einnahmen sind wiederum u. a. abhängig vom Preisniveau, das der gewählten Preispolitik zugrundeliegt, sowie von der festgelegten Preisstruktur.

Die Bedeutung der Preispolitik spiegelt sich auch im Ziel einer Optimierung des Shareholder Value wider, da sie auf eine direkte Erhöhung des Cashflow-Levels abzielt.²⁹¹ Die Erhöhung des Cashflow-Levels kann u. a. direkt durch eine Steigerung der Umsatzerlöse realisiert werden; z. B. durch die Anhebung der Verkaufspreise und damit einer Veränderung des Preisniveaus, durch eine Veränderung der Preisstruktur und/oder der Verringerung der aufwandsgleichen Ausgaben. Die Senkung der Kosten bezieht sich dabei zunächst auf die direkt mit der Bereitstellung der Leistung verbundenen Kosten. Im Zuge einer Shareholder-Value-Berechnung werden darüber hinaus auch nur mittelbar mit der Bereitstellung verbundene Kosten, wie die Kapitalkosten, mit einbezogen.²⁹² Letztere können entweder durch eine Verringerung des Kapitalkostensatzes oder des gebundenen Kapitals reduziert werden, wenngleich die Möglichkeiten, um dies zu realisieren, folgend nicht im Fokus der Betrachtung stehen.

²⁸⁹ Vgl. STÜHRENBURG/STREICH [Erfolgsfaktoren] S. 61 zur Diskussion des Cashflow-Begriffs.

²⁹⁰ Vgl. dazu und zum unterschiedlichen Vorgehen bei der Berechnung BIEG/KUßMAUL [Externes] S. 300, BIEG/KUßMAUL [Investition] S. 258, COENENBERG/ HALLER/SCHULTZE [Jahresabschluss] S. 1087 sowie COLBE/CRASSETT/PELLENS [Rechnungswesen] S. 171 f.

²⁹¹ Vgl. ff. SRIVASTAVA/SHERVANI/FAHEY [Shareholder Value] S. 11 f.

²⁹² Vgl. RAPPAPORT [Shareholder] S. 44 ff., gemäß dem eine Diskontierung der Cashflows basierend auf dem gewichteten Mittel der Eigen- und Fremdkapitalkosten zu erfolgen hat.

Die dritte genannte Strategie zielt auf die Reduktion der Volatilität und Vulnerabilität der Cashflows ab.²⁹³ Erstgenanntes wird vor allem durch eine starke Bindung des Kunden erreicht, wobei die stärkste Bindung durch eine vertragliche Fixierung der Kundenbeziehung zustande kommt. Die Vulnerabilität hingegen lässt sich durch eine hohe Kundenzufriedenheit und der mit dieser einhergehenden Kundenloyalität senken, da auf diese Weise die Wahrscheinlichkeit für erneute Käufe erhöht werden kann und entsprechend gleichfalls die Wahrscheinlichkeit für kontinuierliche Erlöse gesteigert werden kann.²⁹⁴

Als letzte Shareholder-Value-maximierende Strategie wird die Erhöhung des Residualwertes des Unternehmens angeführt.²⁹⁵ Der Residualwert eines Unternehmens entspricht dem Gegenwartswert des Geschäfts, das nach Ablauf der prognostizierten Periode getätigt wird, sodass eine Fokussierung auf die Maximierung des Residualwerts im Zuge der Unternehmensstrategie eine starke Berücksichtigung der Unternehmenszukunft bedeutet. Auch im Rahmen dieser Strategie kann davon ausgegangen werden, dass für den Fall einer hohen Kundenzufriedenheit langfristig eine stärkere Bindung des Kunden an das Unternehmen geschaffen wird, sodass mit den Kunden zukünftig Cashflows generiert werden können, die direkt zur Steigerung des Residualwertes beitragen.²⁹⁶

Die Bedeutung der Preisstrategie wird in den Betrachtungen weitgehend außen vor gelassen, obwohl Wechselwirkungen zwischen den Strategien zur Maximierung des Shareholder Value u. a. mit der verfolgten Preisstrategie bestehen.²⁹⁷ Die Preisstrategie und die Preispolitik müssen neben der Unternehmensstrategie bei der Preisbildung verschiedene weitere Einflussfaktoren berücksichtigen, die nachfolgend dargestellt werden.

3.1.1.3 Systematisierung von Einflussfaktoren auf die Bepreisung

Im Zuge der Bestimmung der Höhe des Preises liegt der festzusetzende Preis im Spannungsfeld zwischen der anbieter- und kundenseitig bestehenden Preisgrenze, die von den Preisen, die von Konkurrenten für vergleichbare Produkte bzw. Dienst-

²⁹³ Vgl. ff. SRIVASTAVA/SHERVANI/FAHEY [Shareholder Value] S. 12 f.

²⁹⁴ Vgl. ANDERSON/FORNELL/MAZVANCHERLY [Customer] S. 181

²⁹⁵ Vgl. SRIVASTAVA/SHERVANI/FAHEY [Shareholder Value] S. 8 f.

²⁹⁶ Vgl. RAPPAPORT [Shareholder] S. 40

²⁹⁷ Vgl. ROTH [Preismanagement] S. 7

leistungen aufgerufen werden, beeinflusst ist.²⁹⁸ Eben diese drei Ansatzpunkte werden auch in der folgenden Abbildung 20 aufgezeigt und können direkt zur Findung der Höhe des Preises dienen. Demnach sind die wesentlichen Einflussfaktoren, die zur Bestimmung der Höhe des Preises herangezogen werden können, die Kosten, die dem Anbieter zur Erstellung des Produkts bzw. der Dienstleistung anfallen, die Preise von Wettbewerbern, die vergleichbare Dienstleistungen anbieten sowie der vom Kunden wahrgenommene Nutzen.²⁹⁹ ROTH weist jedoch darauf hin, dass diese Betrachtungsweise zu kurz greife und allenfalls eine eingeengte Sicht biete.³⁰⁰ Vielmehr nehmen neben den Kosten weitere unternehmensseitige Faktoren Einfluss auf den Preis und darauf, wie dieser zu gestalten ist.³⁰¹ Diese Faktoren werden im Zuge der unternehmensorientierten Methoden zusammengefasst, die ein direktes Aufgreifen der vorangehend abgebildeten Unternehmensziele fordern und ferner das Lebenszyklusstadium berücksichtigen, in dem sich die angebotene Leistung bzw. das Produkt befindet. Bei den kostenorientierten Verfahren ist mitunter bereits das Unternehmensziel implizit berücksichtigt, sofern nicht die einfache Zuschlagskalkulation zur Anwendung kommt, bei der zu den Selbstkosten ein bestimmter Gewinnaufschlag addiert wird,³⁰² sondern z. B. auf den sogenannten Target-Return-Pricing-Ansatz³⁰³ zurückgegriffen wird, bei dem der Preis so festgelegt wird, dass mit den Umsätzen ein zuvor festgelegter Return on Investment realisiert wird.³⁰⁴

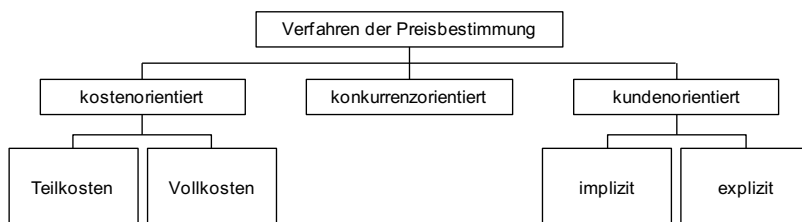


Abbildung 20: Verfahren der Preisbestimmung³⁰⁵

²⁹⁸ Vgl. WORATSCHEK/ROTH [Preisbereitschaft] S. 373. Vgl. auch AVLONITIS/INDOUNAS [Pricing] S. 48 f., die ebenfalls die drei genannten Hauptkategorien identifizieren und auf diesen insgesamt 12 Methoden zur Preisfindung auf Basis einer Literaturanalyse zuordnen.

²⁹⁹ Vgl. ROTH [Preismanagement] S. 7, TUCKER [Pricing] S. 7

³⁰⁰ Vgl. ROTH [Preismanagement] S. 7 und Quellen darin.

³⁰¹ Vgl. f. BRUHN/MEFFERT [Handbuch] S. 534

³⁰² Vgl. PEPELS [Pricing] S. 168

³⁰³ Ein mit dem Target-Return-Pricing-Ansatz bestimmter Gewinnaufschlag, führt unter den zugrundegelegten Prämissen bezüglich des Nachfragerverhaltens zu dem intendierten Return on Investment.

³⁰⁴ Vgl. AVLONITIS/INDOUNAS [Pricing] S. 48 f. sowie zur Übersicht über die kostenorientierte Preissetzung PEPELS [Preismanagement] S. 318 ff.

³⁰⁵ Entnommen aus ROTH [Preismanagement] S. 7

Die kostenorientierten Verfahren der Preisbestimmung gelten als problembehaftet, da die betrieblich genutzten Kostenrechnungssysteme, zumindest für den Fall, dass es sich um vollkostenbasierte Systeme handelt, nur sehr bedingt zur verursachungsgerechten Verteilung der Kosten beitragen und damit bereits die Basis für die Preisfindung nicht valide ist, weil die Fixkosten proportionalisiert werden.³⁰⁶ Dies ist insbesondere deshalb problematisch, weil sich die Kostenstruktur von Dienstleistungsunternehmen durch einen hohen Fixkostenanteil an den Gesamtkosten auszeichnet und somit auch moderne Kostenrechnungssysteme, wie z. B. die Prozesskostenrechnung, die zwar eine deutlich höhere Transparenz und verursachungsgerechte Zuweisung der Gemeinkosten auf die Kostenträger erreicht, an ihre Grenzen stoßen.³⁰⁷ Problematisch wird es u. a., wenn die Kosten periodenübergreifend anfallen, die Erlöse jedoch nur in einer Periode aggregiert generiert werden können. Zwar wird mit der Lebenszykluskostenrechnung eine periodenübergreifende Erfassung der Kosten realisiert,³⁰⁸ ohne jedoch die Fixkostenproblematik direkt zu adressieren, so dass auch diese Methodik weiterhin im Rahmen der Preisfindung durch weiterführende Ansätze zu ergänzen wäre.³⁰⁹

Die konkurrenzorientierten Methoden, die eine marktseitige Preisbestimmung anstreben, greifen hingegen kunden- bzw. konsumentenbezogene sowie konkurrenzbezogene Einflussgrößen auf.³¹⁰ Sie berücksichtigen Faktoren basierend auf den historischen oder den aktuellen Preisen der Wettbewerber und der Wettbewerbssituation insgesamt.³¹¹ Basierend auf dem bei den Wettbewerbern ermittelten Preis kann das Unternehmen sodann verschiedene Strategien verfolgen: dazu zählen z. B. die Hoch- oder Niedrigpreisstrategie.³¹² Die vom Unternehmen gewählte Bepreisungsstrategie baut unmittelbar auf der vom Anbieter verfolgten Strategie bezüglich der Positionierung im Markt auf.³¹³ Diese Methoden gewinnen im Zuge der durch das Internet vereinfachten Informationsbeschaffung und der damit vorhandenen Möglichkeit, die Preise verschiedener Anbieter miteinander vergleichen zu können, zunehmend an Bedeutung.³¹⁴

³⁰⁶ Vgl. PEPELS [Pricing] S. 169 und RATHNOW [Management] S. 206

³⁰⁷ Vgl. PEPELS [Pricing] S. 184 f. und WORATSCHEK/ROTH [Preisbereitschaft] S. 374

³⁰⁸ Vgl. zur Lebenszykluskostenrechnung BAUMEISTER [Lebenszykluskosten] S. 39 ff.

³⁰⁹ Vgl. WORATSCHEK/ROTH [Preisbereitschaft] S. 374

³¹⁰ Vgl. WORATSCHEK/ROTH [Preisbereitschaft] S. 374

³¹¹ Vgl. BRUHN/MEFFERT [Handbuch] S. 535

³¹² Vgl. PEPELS [Pricing] S. 6 ff. zur ausführlichen Abhandlung der verschiedenen Möglichkeiten.

³¹³ Vgl. AVLONITIS/INDOUNAS [Pricing] S. 49

³¹⁴ Vgl. KLEIN/STEINHARDT [Revenue Management] S. 63

Eigenschaften als Herausforderungen der Bepreisung von Dienstleistungen gelten.³¹⁹ Die Eigenschaften sind unter dem Akronym SHIP bekannt geworden, das für Simultaneität (Simultaneity), Heterogenität (Heterogeneity), Intangibilität (Intangibility) und Vergänglichkeit (Perishability) steht.³²⁰ Den Ausgangspunkt für alle weiteren Unterschiede zu einem Produkt bildet gemäß BATESON – entgegen der Buchstabenreihenfolge im Akronym – die Eigenschaft der Intangibilität (Intangibility),³²¹ also die Immaterialität der Leistung im Sinne eines Services, der in Anspruch genommen wird und nicht als physisch greifbares Objekt existiert. Wenn es sich jedoch nicht um ein Produkt im physischen Sinne handelt, so lässt sich die Dienstleistung nicht durch Patente schützen und kann durch potenzielle Nachahmer schnell adaptiert werden.³²² Beides trifft auf Datenübertragungsdienstleistungen zu, die ebenfalls nicht greifbar sind. Lediglich der Prozess der Erstellung der Dienstleistung wird sichtbar, wenn er durch eine Person vollzogen wird, andernfalls ist mitunter nur das Ergebnis der Dienstleistung für den Kunden wahrnehmbar.

Die Simultaneität (Simlutaneity) der Erstellung der Dienstleistung und deren Konsum, im Sinne des zeitlichen Nichtauseinanderfallens und damit der Untrennbarkeit dieser beiden Prozessschritte, erfordert zugleich, dass der Konsument bei der Erstellung anwesend ist.³²³ Wäre er nicht anwesend, so würde er keinen Nutzen aus der Dienstleistung ziehen können. Daraus folgt einerseits, dass es sich um eine ortsgebundene Leistungserbringung handelt und daher keine operative Flexibilität vorhanden ist, die auch nicht durch eine Überführung von Dienstleistungen in eine Massenproduktion gelöst werden kann.³²⁴ Aus diesem Umstand resultiert unmittelbar die Eigenschaft der Nichtlagerbarkeit bzw. der Vergänglichkeit (Perishability) von Dienstleistungen.³²⁵ Diese besagt, dass Dienstleistungen nicht vorab produziert und zu einem beliebigen späteren Zeitpunkt verkauft und auch nicht retourniert werden können.³²⁶ Jedoch ist eine Vorabbuchung im Sinne einer Kapazitätsreservierung vorstellbar. Daraus folgt dennoch, dass alleinig die zeitpunktbezogen zur Verfügung stehende Kapazität zur Bedienung der Nachfrage nach der Dienstleistung vorhanden ist, die nicht kurzfristig durch den Rückgriff auf eingelagerte Produkte erweitert werden kann. Daher sind stetig die

³¹⁹ Vgl. ZEITHAML/BITNER/GREMLER [Services] S. 20

³²⁰ Vgl. MICHEL/ZELLWEGER [Pricing] S. 49

³²¹ Vgl. BATESON [Services] S. 138

³²² Vgl. ZEITHAML/PARASURAMAN/BERRY [Strategies] S. 33

³²³ Vgl. f. ZEITHAML/PARASURAMAN/BERRY [Strategies] S. 33 f.

³²⁴ Vgl. MICHEL/ZELLWEGER [Pricing] S. 49 und PEPELS [Pricing] S. 81 sowie KLEIN/STEINHARDT [Revenue Management] S. 9, die dies mit der operativen Flexibilität in Verbindung setzen.

³²⁵ Vgl. f. MICHEL/ZELLWEGER [Pricing] S. 50

³²⁶ Vgl. ff. ZEITHAML/BITNER/GREMLER [Services] S. 22

Kapazitäten vorzuhalten, die potenziell zur Befriedigung der Nachfrage notwendig werden. Dies gilt ohne Einschränkung für die Datenübertragungsdienstleistungen, bei denen die Übertragungskapazität ebenfalls nicht kurzfristig erweiterbar ist.

Darüber hinaus lässt sich mit der Untrennbarkeit der Erstellung und des Konsums von Dienstleistungen auch die Heterogenität der Qualität der Dienstleistungen insofern erklären, als dass jede Erstellung eine einmalige Leistungserbringung darstellt, deren Qualität von Inanspruchnahme zu Inanspruchnahme insbesondere dann schwanken kann, wenn es sich um eine von Menschen erbrachte Dienstleistung handelt.³²⁷ Da es sich bei der Datenübertragungsdienstleistung jedoch um eine computergesteuerte, nicht direkt durch Menschen erbrachte Dienstleistung handelt, konnte bereits gezeigt werden, dass Schwankungen der Dienstgüte nicht unmittelbar auf die Dienstleistungsersteller selbst zurückzuführen sind, sondern auf die Beschränkungen, die aus der Nichtlagerbarkeit der Dienstleistung resultieren. Im Rahmen von Datenübertragungsdienstleistungen konnte ferner gezeigt werden, dass die Qualität, entgegen der von ZEITHAML/BITNER/GREMLER auf die von Menschen erbrachten Dienstleistungen gemünzten Ausführungen, nicht ausschließlich subjektiv wahrnehmbar ist,³²⁸ sondern wie bereits dargestellt in Form von Performance-Indikatoren quantifiziert werden kann.

Aus diesen Besonderheiten resultieren für den Anbieter bei der Bepreisung von Dienstleistungen spezielle Herausforderungen. So geht PEPELS davon aus, dass die Preisdurchsetzung von real existierenden Gütern wesentlich einfacher ist, da der Kunde nur für etwas Wahrnehmbares bereit ist zu zahlen, sodass, wenn dies nicht gegeben ist, ein Surrogat zu erschaffen ist, das die erbrachte Leistung stellvertretend repräsentiert.³²⁹ Dies ist für Datenübertragungsdienstleistungen nicht erforderlich, da diese indirekt durch die vom Kunden empfangenen Daten erlebbar sind. Für die Datenübertragungsdienstleistungen ist die von PEPELS generell dargestellte Problematik, die aus der Nichtlagerfähigkeit der Dienstleistung resultiert, wesentlich problematischer. So ist die vorgehaltene Kapazität bestmöglich zu nutzen, denn Stillstandszeiten im Sinne von zwischenzeitlich nicht genutzten, aber vorhandenen Kapazitäten resultieren in Leerkosten und sind damit bei der typischerweise für Dienstleistungen vorhandenen Kostenstruktur auf Dauer existenzgefährdend, da die hohen Fixkosten nicht gedeckt werden. Kapazitätsengpässe, die aus nicht hinreichender Kapazität zur Bedienung der Nachfrage resultieren, führen hingegen zu Wartezeiten, die wiederum in Einbußen bei der Kundenzufriedenheit münden können. Problematisch ist dies, da die

³²⁷ Vgl. ZEITHAML/PARASURAMAN/BERRY [Strategies] S. 34

³²⁸ Vgl. ZEITHAML/BITNER/GREMLER [Services] S. 21

³²⁹ Vgl. BRUHN [Determinanten] S. 31, PEPELS [Pricing] S. 81

Simultaneität dazu führt, dass unmittelbar mit der Nachfrage der Abruf der Kapazität einhergeht, die Nachfragemenge und der Nachfragezeitpunkt jedoch nur äußerst beschränkt vorhersehbar ist und somit eine stochastische Nachfrage vorliegt.³³⁰ Die Herausforderung besteht folglich zunächst in der Abschöpfung der kundenspezifischen Zahlungsbereitschaft und darüber hinaus in der Berücksichtigung der beiden externen, nicht durch den Anbieter beeinflussbaren Faktoren – der Nachfragemenge und des Nachfragezeitpunkts. Somit besteht ein essenzielles Ziel der Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistungen aus Anbietersicht in der Incentivierung der Kunden zur für den Anbieter optimierten Nutzung der Ressourcen,³³¹ indem den Kunden z. B. Anreize geboten werden, vorab ihre Nachfrage in Form einer Vorausbuchung an den Anbieter zu kommunizieren.³³²

BITRAN/CALDENTY greifen die identifizierten Herausforderungen auf und gehen davon aus, dass im Zuge der Preisbildung insbesondere für die Unternehmen, die sich durch hohe Gründungs- bzw. Markteintrittskosten, nichtlagerbare Güter mit kurzem Verkaufshorizont und einer stochastischen Nachfrage bei gleichzeitig preissensitiven Nachfragern auszeichnen, eine auf der Preisdifferenzierung aufbauende Dynamisierung der Preise vorteilhaft ist.³³³ Nachfolgend werden Spezifika identifiziert, die es im Rahmen der Bepreisung von priorisierten Datenübertragungsdienstleistungen zu berücksichtigen gilt.

3.1.2.2 Herausforderungen bei der Bepreisung priorisierter Datenübertragungsdienstleistungen

Gemäß COURCOUBETIS/WEBER, NGUYEN/ARMITAGE oder STILLER ET AL. existieren drei Dimensionen, die die Herausforderungen, die es bei der Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistungen zu berücksichtigen gilt, definieren.³³⁴ Die erste Dimension berücksichtigt die Kunden, während die zweite die Herausforderungen seitens der Datenübertragungsdienstleister mit einbezieht und die dritte Dimension schließlich die technischen Rahmenbedingungen, die es zu erfüllen gilt, beleuchtet.

³³⁰ Vgl. KLEIN/STEINHARDT [Revenue Management] S. 9, MÜLLER-BUNGART [Revenue Management] S. 3

³³¹ Vgl. SON ET AL. [Pricing] S. 9, der die Bepreisung generell als Instrument zur Steuerung des Datenaufkommens darstellt und im Zuge dessen die statische von der dynamischen Bepreisung abgrenzt.

³³² Vgl. KLEIN/STEINHARDT [Revenue Management] S. 9

³³³ Vgl. BITRAN/CALDENTY [Pricing Models] S. 204

³³⁴ Vgl. ff. COURCOUBETIS/WEBER [Pricing] S. 76 f., NGUYEN/ARMITAGE [Pricing Schemes] S. 69 f., STILLER ET AL. [Cumulus] S. 7 f.

Kundenseitige Herausforderungen resultieren aus der Annahme, dass Kunden nach Kontinuität bezüglich der Höhe der zu leistenden Zahlungen streben und eine möglichst transparente Bepreisung präferieren, so wie dies in Pauschaltarifen der Fall ist.³³⁵ Diese Annahme resultiert aus der in der Realität vorliegenden weiten Verbreitung eben dieser Tarifforn, die von zahlreichen Kunden selbst dann präferiert wird, wenn davon auszugehen ist, dass sie sich darüber bewusst sind, dass sie die Pauschale in einem nicht ausreichendem Umfang nutzen.³³⁶ Entsprechend profitieren die Kunden nicht direkt von dem zu entrichtenden Pauschalbetrag, sondern gehören zu den 80 % der Subventionierenden, die die Sicherheit bezüglich der Rechnungshöhe in ihrer Wahlentscheidung zwischen verschiedenen Tarifoptionen höher gewichten als ein potenziell niedrigeres Entgelt, das ohne den Pauschalbetrag realisiert werden kann.

Die Bepreisung von Quality of Service stellt den Netzbetreiber folglich vor die Herausforderung, die Bepreisung der Dienstgüte so zu gestalten, dass der Kunde basierend auf den ihm aus seinem Nutzungsverhalten zur Verfügung stehenden Informationen in der Lage ist, die Höhe des Entgelts nachvollziehen zu können. Ferner muss davon ausgegangen werden, dass kundenseitig eine Korrelation zwischen der Zahlungsbereitschaft und der Qualität besteht.³³⁷ Dieser Zusammenhang ist eine Voraussetzung dafür, dass sich dem Netzbetreiber die Möglichkeit bietet, einen zusätzlich geschaffenen kundenseitig wahrnehmbaren Nutzen als preissteigernde Komponente in seinem Bepreisungsansatz zu berücksichtigen.

YUKSEL/KALYANARAMAN zeigen, dass zur Steuerung des Verkehrsaufkommens in Datenübertragungsnetzen eine im besten Falle kontinuierliche Anpassung der Preise an das tatsächlich vorliegende Datenverkehrsaufkommen vonnöten wäre, um eine kurzfristige Kapazitätsengpassvermeidung zu realisieren.³³⁸ Im Fall einer kontinuierlichen Anpassung würden dann z. B. die Preise für die Datenübertragung genau für die Zeitpunkte angehoben, zu denen ein Kapazitätsengpass besteht. Dazu wäre jedoch einerseits eine Verarbeitung der Preisinformation durch den Kunden notwendig und andererseits eine Anpassung seines Verhaltens entsprechend seiner Zahlungsbereitschaft

³³⁵ Vgl. ff. COURCOUBETIS/WEBER [Pricing] S. 76 f., NGUYEN/ARMITAGE [Pricing Schemes] S. 70, STILLER ET AL. [Cumulus] S. 7

³³⁶ Vgl. COURCOUBETIS/WEBER [Pricing] S. 76 f. Vgl. auch folgend zur Flatrate-Problematik auch Kapitel 3.2.2 sowie ALTMANN/RUPP/VARAIYA [User behavior] S. 80 ff. sowie EDELL/VARAIYA [Flat Rate Pricing Problem] S. 24 ff.

³³⁷ Vgl. f. PEPELS [Qualitätsmessung] S. 48 und PETERSON [price-perceived quality] S. 525 ff. sowie MONROE [Perceptions] S. 73, der diesen Zusammenhang in einer Preis-Qualitätsfunktion abbildet.

³³⁸ Vgl. YUKSEL/KALYANARAMAN [Effect] S. 90 f.

an den neuen Preis.³³⁹ Dass der Kunde, der nach Sicherheit bezüglich der Höhe der zu zahlenden Rechnungsbeträge strebt, gewillt ist, kurzfristige Preisschwankungen zu akzeptieren, ist indes fraglich. Es ist ferner davon auszugehen, dass der Kunde nicht direkt an den QoS-Parametern interessiert ist und sich seine Zahlungsbereitschaft vielmehr an der „wahrgenommen“ Dienstgüte ausrichtet, die folglich auch im Rahmen der Konzeption von Tarifen zu berücksichtigen ist.³⁴⁰

Die Herausforderungen der Datenübertragungsdienstleister umfassen einerseits die Deckung der im Vergleich zu den variablen Kosten hohen Fixkosten und andererseits das Bestreben des Anbieters, die Zahlungsbereitschaften der verschiedenen Kundensegmente bestmöglich abzugreifen, um den Gewinn durch bestmögliches Ausschöpfen der zur Verfügung stehenden Übertragungskapazitäten zu maximieren.³⁴¹ All dies gilt es mit einem Bepreisungssystem zu realisieren, dessen Abrechnungsaufwand wirtschaftlich vertretbar ist. Die bestmögliche Auslastung der Telekommunikationsnetze des Netzbetreibers wird dieser unter den kundenseitig identifizierten Herausforderungen jedoch nur dann realisieren können, wenn einerseits die Bepreisung die verschiedenen Quality-of-Service-Level mitberücksichtigt und andererseits auch die Zusammensetzung des gesamten Kundenstamms des Netzbetreibers mit in die Optimierungsgedanken einbezogen wird. Um eben diese in die Betrachtungen einzubeziehen, ist insbesondere der Lebenszyklus der Kunden in den einzelnen Segmenten und der damit verbundenen Zahlungsströme zu untersuchen.

Zusammenfassend lassen sich folgende Herausforderungen festhalten, die bei der Ausgestaltung eines Bepreisungsansatzes für Datenübertragungsdienstleistungen zu berücksichtigen sind und in Abbildung 22 zur Übersicht mit einzelnen Schlagworten aufgelistet sind:³⁴²

1. Der Bepreisungsansatz sollte dazu, dienen den vom Nutzer generierten Datenverkehr zu glätten, sodass bei einer gleichmäßigen Auslastung die Ressourcenverschwendung begrenzt werden kann. Dazu ist nutzerseitig eine Anpassung der Terminierung der Nachfrage nach Datenübertragungsdienstleistungen entsprechend der Auslastung so vorzunehmen, dass der Nutzer keine Einbußen in der Qualität der in Anspruch genommenen Dienstleistung wahrnimmt, da nur so Nutzerakzeptanz geschaffen werden kann.

³³⁹ Vgl. JAY/PLÜCKEBAUM [QoS] S. 49

³⁴⁰ Vgl. ICKIN ET AL. [Effects] S. 663

³⁴¹ Vgl. f. vertiefend mit weiterführenden Literaturangaben GERPOTT/BÖHM [Preisbildung] S. 236

³⁴² Vgl. ff. GUPTA/STAHL/WHINSTON [Pricing] S.325

2. Um Ersteres technisch zu realisieren, muss der Einfluss übertragener Daten auf die Auslastung des Netzes und damit zukünftige Datenübertragungsankünfte bei der Bepreisung mitberücksichtigt werden, sodass im Optimum kapazitätsauslastungssensitive und damit im Zeitverlauf dynamisch schwankende Preise anzustreben sind.
3. Da jedoch bei der Ausgestaltung der Implementierungsaufwand für das Abrechnungssystem nicht außer Acht gelassen werden darf, gehen GUPTA/STAHL/WHINSTON davon aus, dass eine grobgranularere Bepreisungsgrundlage im Vergleich zur paketweisen Bepreisung vorteilhaft ist und eine dementsprechend transparente und damit beim Endkunden realisierbare Ausgestaltungsform zu wählen ist.
4. Nutzerseitig hingegen gilt es einen Ansatz zu wählen, bei dem der Nutzer die Möglichkeit hat, das aktuelle Datenverkehrsaufkommen innerhalb des Netzes in seine Entscheidung über eine Inanspruchnahme von Datenübertragungsdienstleistungen einzubeziehen, sodass der Ansatz so auszugestalten ist, dass eine nutzerseitige Reaktion auf potenzielle Kapazitätsengpässe ermöglicht werden kann.
5. Der Ansatz sollte ferner durch eine dezentrale Implementierung innerhalb des Netzes erfolgen können, sodass gerade keine zentrale Steuerung notwendig wird und damit problemlos eine Anbindung an andere Ressourcensteuerungsmethoden ermöglicht wird; dies zielt darauf ab, einen realisierbaren Ansatz zu entwickeln.
6. Der Ansatz sollte mehrere QoS-Level unterstützen, damit die verschiedenen Bedürfnisse der unterschiedlichen Anwendungen ebenfalls in die Optimierung der Nutzung der Netzwerkressourcen einfließen können.
7. Und letztlich soll der Ansatz nutzerseitig Anreize schaffen, nur die tatsächlich erforderliche Dienstgüte in Anspruch zu nehmen und damit eine möglichst faire Ressourcenallokation zu erreichen.
8. Die letzte Herausforderung besteht in der Lösung des Edge-Pricing-Paradigmas. Das Edge-Pricing-Paradigma resultiert daraus, dass bei der Bepreisung differenzierter Dienstgütelevel eine Sicherstellung der zugesicherten Dienstgüte für die gesamte Ende-zu-Ende-Verbindung realisiert werden muss. Der Kunde zahlt jedoch nur seinem Datenübertragungsdienstleister, der ihm den Zugang zum Netz ermöglicht, für die Datenübertragungsdienste ein Entgelt. Alle weiteren Entgelte, die für die Nutzung potenzieller weiterer Datennetze, die die Datenpakete vom Sender zum Empfänger durchlaufen, sind vom Datenübertragungsdienstleistungsanbieter, der dem Kunden den Netzzugang ermöglicht, an die anderen Anbieter zu entrichten. Entsprechend müssen in dem dem Kunden in Rechnung gestellten Entgelt die zur Dienstgütesicherung vom Datenübertragungsanbieter an andere Netzbetreiber zu zahlenden Entgelte beinhaltet sein, da Kunden nicht gewillt sind, einen

multilateralen Vertrag mit allen Netzbetreibern gleichzeitig zu schließen bzw. auch nicht in der Lage sind, nachzuvollziehen, welche Netze beansprucht wurden und auch keinen Einfluss auf die Wahl der Netze nehmen können, die das Datenpaket auf seinem Weg durchläuft.

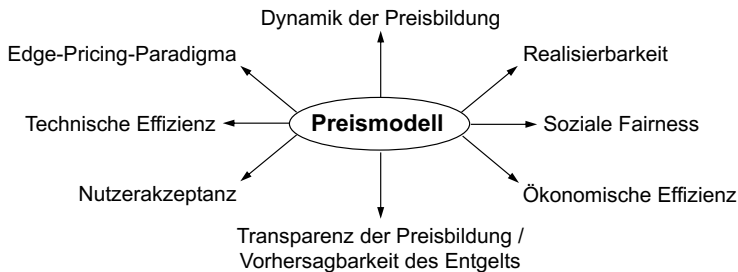


Abbildung 22: Anforderungen an ein Preismodell für integrierte Internet-Dienste³⁴³

Eine der zentralen Herausforderung bei der Analyse eines bestimmten Bepreisungsansatzes und einer auf den Analyseergebnissen aufbauenden Optimierung besteht darin, die unterschiedlichen zeitlichen Skalierungen der Einflussfaktoren bei der Überführung in ein Gesamtsystem zu berücksichtigen.³⁴⁴ Dies ist von Bedeutung, um die Zusammenhänge in Einklang zu bringen, die zwischen den in sehr kleinen Zeitintervallen messbaren Ressourceninanspruchnahmen, der Dienstgüte sowie der damit einhergehenden Entgelte der Kunden, die zu bestimmten Zeitpunkten anfallen, und der langfristigen Betrachtung des Unternehmensziels, der Maximierung des Shareholder Value, bestehen. Auch gilt es bei der Optimierung nicht nur den Fokus auf einen gewählten Bepreisungsansatz zu legen, sondern potenzielle Wechselwirkungen mit weiteren von dem Datenübertragungsdienstleistungsanbieter angebotenen Bepreisungsansätzen zu berücksichtigen.

Im Folgenden werden zunächst bestehende Ansätze zur Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistungen systematisiert vorgestellt, hinsichtlich ihres Potenzials zur Erfüllung der identifizierten Herausforderungen hin untersucht und neue Ansätze zur Bepreisung diskutiert. In den nachfolgenden Kapiteln werden sodann Möglichkeiten zur Modellierung der Komponenten, die für eine Analyse der Bepreisung notwendig sind, aufgezeigt, um abschließend eine Analyse ausgewählter Bepreisungsmechanismen exemplarisch durchführen zu können.

³⁴³ Vgl. REICHL [Preismodellierung] S. 93

³⁴⁴ Vgl. auch folgend zur Einordnung der zeitlichen Skalierungen STILLER ET AL. [Cumulus] S. 8

3.1.3 Preisdifferenzierung zur Umsetzung preispolitischer Ziele

3.1.3.1 Übersicht über die Ziele der Preisdifferenzierung

Im Rahmen der Preisdifferenzierung³⁴⁵ wird der Preis eines Produkts bzw. einer Dienstleistung in ein multikriterielles Bepreisungskonzept überführt, das sich aus verschiedenen Preisen bzw. Preisparametern zusammensetzt.³⁴⁶ Preisdifferenzierung liegt genau dann vor, wenn die multikriterielle Bepreisung vom Anbieter dazu genutzt wird, dasselbe Produkt bzw. dieselbe oder ähnliche Dienstleistungen zu unterschiedlichen Preisen anzubieten, um die kundenindividuelle maximale Zahlungsbereitschaft abzuschöpfen.³⁴⁷ Bestehen geringfügige Unterschiede zwischen den zu unterschiedlichen Preisen angebotenen Produkten bzw. Dienstleistungen, so haben die im Rahmen der Preisdifferenzierung geschaffenen Preisunterschiede größer zu sein als die Qualitäts- oder Kostenunterschiede, um von einer Preisdifferenzierung zu sprechen, da andernfalls eine Produktdifferenzierung³⁴⁸ vorliegt.³⁴⁹ Entsprechend wird für die in dieser Arbeit betrachteten Datenübertragungsdienstleistungen, die sich ausschließlich in der Priorität, mit der die Daten bei Kapazitätsengpässen weitergeleitet werden, unterscheiden und zu unterschiedlichen Preisen angeboten werden, davon ausgegangen, dass es sich um eine Preisdifferenzierung handelt. Diese Annahme resultiert daraus, dass sich die Kosten der priorisierten Datenübertragungsdienstleistungen nicht von den Kosten der Datenübertragung ohne Priorisierung unterscheiden und die realisierten Preisunterschiede folglich größer sind als die mit der Qualitätsdifferenzierung verbundenen Kosten.³⁵⁰

³⁴⁵ In der Literatur wird als Synonym der Preisdifferenzierung auch von Preisdiskriminierung, im Englischen „price-discrimination“, gesprochen. In dieser Arbeit wird jedoch auf den neutralen Begriff der Preisdifferenzierung zurückgegriffen, vgl. KNEIPS [Wettbewerbsökonomie] S. 205 sowie zu der Feststellung des synonymen Gebrauchs der beiden Begriffe HARDES/UHLY [Volkswirtschaftslehre] S. 223, STEINRÜCKEN [Wirtschaftsförderung] S. 66, HANSEN [Sonderangebote] S. 23 f., SIEG [Volkswirtschaftslehre] S. 115, PFÄHLER/WIESE [Unternehmensstrategien] S. 61.

³⁴⁶ Vgl. SIMON/FABNACHT [Preismanagement] S. 6 und S. 251

³⁴⁷ Vgl. FABNACHT [Preisdifferenzierung] S. 25 und S. 30 sowie zur ausführlichen Diskussion verschiedener Preisdifferenzierungsdefinitionen S. 14 ff.

³⁴⁸ Vgl. zur Produktdifferenzierung als Lösung des Preisdrucks bei wettbewerbsintensiven Märkten z. B. SHAKED/SUTTON [Product Differentiation] S. 3 ff.

³⁴⁹ Vgl. GUTENBERG [Betriebswirtschaftslehre] S. 341. JACOB/JACOB [Preisdifferenzierung] S. 13 wieder sprechen diesem Ansatz und gehen von davon aus, dass eine eindeutige Trennung von Produkt- und Preisdifferenzierung unmöglich ist. FABNACHT [Preisdifferenzierung] S. 25 greift Gutenbergs Abgrenzung auf und setzt ebenfalls eine subjektive Komponente zur Trennung der Preis- von der Produktdifferenzierung ein.

³⁵⁰ Vgl. zur Systematisierung der Bepreisung priorisierter Datenübertragung basierend auf den Ansätzen der Preisdifferenzierung Kapitel 3.2.1.2

Das zentrale Ziel der Preisdifferenzierung besteht in der Gewinnsteigerung des Dienstleistungsanbieters.³⁵¹ Die Gewinnsteigerung resultiert aus der Umsatzsteigerung des Anbieters, die entweder auf eine Steigerung der Absatzzahlen, basierend auf der mit den differenzierten Preisen realisierten Erschließung neuer Kundensegmente, zurückzuführen ist, oder sich aus den im Vergleich zum Verkauf ohne Preisdifferenzierung höheren erzielbaren Absatzpreisen dank Abschöpfung der kundenindividuellen Zahlungsbereitschaft ergibt.³⁵² Neben diesen Formalzielen, die überwiegend monetäre Ziele darstellen,³⁵³ verfolgt der Anbieter mit der Preisdifferenzierung zudem Sachziele.³⁵⁴ Sachziele kennzeichnen die Leistung, die der Dienstleistungsanbieter anbietet, und unterteilen sich nach GLADEN in unternehmensinterne Ziele und Marktziele.³⁵⁵ Setzt der Anbieter die differenzierten Preise zur direkten Einflussnahme auf das Nutzungsverhalten der Kunden ein, zielt er darauf ab, eine Optimierung der Kapazitätsauslastung durchzuführen und/oder Rationalisierungseffekte zu generieren und fokussiert somit Ressourcenziele,³⁵⁶ die ebenfalls den Sachzielen zuzuordnen sind.³⁵⁷ Dies gelingt, indem der Anbieter z. B. versucht, durch ein Herabsetzen der Preise bislang ungenutzte Kapazitäten auszulasten, wenn davon ausgegangen wird, dass bei niedrigeren Preisen die Nachfrage nach dem Produkt bzw. der Dienstleistung steigt. Im Gegenzug ließen sich durch eine Preisanhebung bei voller Kapazitätsauslastung die Erlöse maximieren. Damit wirkt die Preisdifferenzierung als Einflussgröße auf die Sachziele zur Erschließung neuer Absatzpotenziale und führt zu Wechselwirkungen zwischen den Kunden-, Produkt und Ressourcenzielen.³⁵⁸

Weitere mit der Preisdifferenzierung verfolgte Ziele, die den Kunden direkt betreffen und daher den Kundenzielen zuzuordnen sind, bestehen in der Erhöhung der Kundenzufriedenheit sowie der Bindung des Kunden an das Unternehmen,³⁵⁹ wobei letzteres bereits durch ersteres beeinflusst wird. Darüber hinaus werden durch die Preisdifferenzierung Wahlmöglichkeiten für Kunden geschaffen, sodass sie sich entsprechend

³⁵¹ Vgl. DILLER [Preispolitik] S. 232 f.

³⁵² Vgl. SIMON/FAßNACHT [Preismanagement] S. 258

³⁵³ Vgl. GLADEN [Performance Measurement] S. 52

³⁵⁴ Vgl. zur Definition von Formal- und Sachzielen z. B. JUNG [Betriebswirtschaftslehre] S. 29 f., SCHWEITZER [Betriebswirtschaftslehre] S. 55 f., WÖHE/DÖRING [Betriebswirtschaftslehre] S. 78.

³⁵⁵ Vgl. GLADEN [Performance Measurement] S. 50 f.

³⁵⁶ Vgl. ff. DILLER [Preispolitik] S. 233; vgl. zur Fragestellung der Anpassung des Preises an die Nachfrage insbesondere Revenue Management- bzw. Yield Management-Literatur, z. B. TALLURI/VAN RYZIN [Revenue Management].

³⁵⁷ Vgl. GLADEN [Performance Measurement] S. 50 f.

³⁵⁸ Vgl. zu den Zielkategorien GLADEN [Performance Measurement] S. 50 sowie zu weiteren Zielen der Preisdifferenzierung SIMON/FAßNACHT [Preismanagement] S. 258.

³⁵⁹ Vgl. SIMON/FAßNACHT [Preismanagement] S. 258 f. sowie FAßNACHT/WINKELMANN [Preisdifferenzierung] S. 453 ff.

ihrer individuellen Zahlungsbereitschaft für ein Angebot entscheiden können.³⁶⁰ Auf diese Weise verbessert sich die vom Kunden wahrgenommene Preisfairness, sodass dies zu einer Stärkung der Kundenbindung führen kann. Die Kundenziele hängen direkt mit den teils in der Literatur angeführten „Wettbewerbszielen“³⁶¹ zusammen und können durch die Preisdifferenzierung beeinflusst werden, indem beispielsweise eine Anpassung der Preisstruktur an die der Wettbewerber erfolgt, um Neukunden zu gewinnen bzw. Kundenabwanderungen zu verhindern.³⁶² Letzteres wäre auch durch eine Preisgestaltung möglich, bei der die Kosten eines Anbieterwechsels erhöht werden.

Um die Preisdifferenzierung als strategisches Instrument der Preispolitik nutzen zu können,³⁶³ haben bestimmte Voraussetzungen vorzuliegen, die im folgenden Kapitel betrachtet werden.³⁶⁴

3.1.3.2 Voraussetzungen einer Preisdifferenzierung

Die grundlegende Voraussetzung, damit eine Preisdifferenzierung durch den Anbieter realisiert werden kann, ist eine heterogene Nachfragerstruktur, bei der sich die Nachfrager hinsichtlich ihres individuellen Prohibitivpreises, also des Preises, den sie maximal bereit sind, für die Dienst- bzw. Sachleistung zu zahlen, unterscheiden.³⁶⁵ Darüber hinaus muss der Gesamtmarkt in mindestens zwei Segmente unterteilbar sein.³⁶⁶ Diese Segmente müssen zu einem bestimmten Grad voneinander abschirmbar, also separierbar sein,³⁶⁷ da Kunden trotz unterschiedlicher Maximalpreise nur dann bereit sein werden, diesen zu zahlen, wenn sie keine Möglichkeit haben, die Leistung zu einem geringeren Preis in Anspruch zu nehmen.³⁶⁸ Dies bedeutet, dass die Nachfrage nach der Sach- bzw. der Dienstleistung zwischen den einzelnen Segmenten nicht transferierbar sein darf.³⁶⁹ PHILIPS setzt insbesondere unterschiedliche Nutzungsstrukturen der Kunden voraus, um Segmentwechsel bei einer Segmentierung anhand der Nutzungsstruktur auszuschließen. Es lassen sich insgesamt vier durch Unternehmen

³⁶⁰ Vgl. f. DILLER [Preispolitik] S. 233 und SIMON/FAßNACHT [Preismanagement] S. 258 f.

³⁶¹ SIMON/FAßNACHT [Preismanagement] S. 258 f. führen dies als eigenständige Zielkategorie an, jedoch greift diese Arbeit die Argumentation von GLADEN auf, der die Kundenziele unter dem übergeordneten Ziel der Marktpositionierung des Unternehmens einordnet (vgl. dazu die Abbildung in GLADEN [Performance Measurement] S. 50).

³⁶² Vgl. f. SIMON/FAßNACHT [Preismanagement] S. 258 f.

³⁶³ Vgl. zur Einordnung der Preisdifferenzierung in die Preispolitik mittels Ausführungen zur Marktsegmentierung FAßNACHT [Preisdifferenzierung] S. 26 f.

³⁶⁴ Vgl. PHILIPS [Price discrimination] S. 14, KNIIPS [Wettbewerbsökonomie] S. 209

³⁶⁵ Vgl. FAßNACHT [Preisdifferenzierung] S. 29, SIMON/FAßNACHT [Preismanagement] S. 257

³⁶⁶ Vgl. FAßNACHT [Preisdifferenzierung] S. 30, PHILIPS [Price discrimination] S. 14

³⁶⁷ Vgl. FAßNACHT [Preisdifferenzierung] S. 30

³⁶⁸ Vgl. WINKELMANN [Marketing] S. 265

³⁶⁹ Vgl. f. PHILIPS [Price discrimination] S. 15 f.

forcierbare Barrieren identifizieren, die einen Wechsel von einem Segment in ein nächstes verhindern und die die von PHILIPS formulierte Voraussetzung verallgemeinern und als unterschiedliche Käufermerkmale bezeichnen.³⁷⁰

Unabhängig davon, ob eine Verlagerung der Nachfrage aus einem in ein anderes Segment vollkommen ausgeschlossen werden kann, ist eine Preisdifferenzierung möglich, wenn ein großer Anbieter die Dienstleistung einer großen Anzahl an „verhältnismäßig kleine[n] Kunden“³⁷¹ offeriert.³⁷² Die Größe des Anbieters bezieht sich auf die Marktmacht des Anbieters,³⁷³ während „relativ kleine Kunden“ sicherstellen, dass keine Abhängigkeit des Anbieters von einzelnen Kunden besteht und somit keine wirksamen Gegenmaßnahmen gegen die unterschiedlichen Preise vorgenommen werden können. Die größte Marktmacht erreicht grundsätzlich ein Monopolist. Jedoch sei darauf hingewiesen, dass Preisdifferenzierung ebenfalls im Wettbewerb stabil nutzbar ist, wenn davon ausgegangen wird, dass ein unvollkommener Markt vorliegt, auf dem ein monopolistischer Handlungsraum geschaffen werden kann.³⁷⁴

Selbst wenn die Preisdifferenzierung zu einer Verlagerung von Nachfrageanteilen nach einem Produkt bzw. einer Dienstleistung von einem Marktsegment zu einem anderen führt, macht dies die Einführung einer Preisdifferenzierung nicht unmöglich, sondern schränkt den realisierbaren Umfang der Preisdifferenzierung nur ein, sodass die durch die Preisdifferenzierung angestrebte Gewinnerhöhung geringer ausfällt.³⁷⁵ Erst wenn die Differenzierung zu einer vollständigen Verlagerung der Nachfrage von einem Segment zu einem anderen führt, ist diese gescheitert.

Gemäß NAIR/BAPNA oder auch CHIANG/CHEN/XU ist davon auszugehen, dass die Voraussetzungen für Telekommunikationsnetze als erfüllt gelten.³⁷⁶ Maßgeblich dafür ist der monopolistische Handlungsraum, der aus den langen Vertragslaufzeiten resultiert, die ein zwischenzeitliches Wechseln von einem Kundensegment in ein anderes verhindern als auch den Wechsel von einem Anbieter zu einem anderen deutlich erschweren.³⁷⁷ Darüber hinaus ist zumindest in den kabelgebunden Netzanschlüssen durch die Immobilität des Anschlusses einerseits kundenseitig die Wahl der Anbieter eingeschränkt und darüber hinaus ein Markteintritt durch neue Datenübertragungsdienst-

³⁷⁰ Vgl. f. auch zur ausführlichen Diskussion der Barrieren SIMON/DOLAN [Power Pricing] S. 147 ff. sowie WINKELMANN [Marketing] S. 265 f.

³⁷¹ PIGOU [Economics] S. 278

³⁷² Vgl. PIGOU [Economics] S. 278

³⁷³ PIGOU bezieht die Größe auf die Marktmacht des Anbieters.

³⁷⁴ Vgl. KNEIPS [Wettbewerbsökonomie] S. 222 und KLEIN/STEINHARDT [Revenue Management] S. 49

³⁷⁵ Vgl. PHILIPS [Price discrimination] S. 16

³⁷⁶ Vgl. CHIANG/CHEN/XU [Revenue Management] S. 104, NAIR/BAPNA [Yield Management] S. 351 f.

³⁷⁷ Vgl. KNEIPS [Netzökonomie] S. 90

leister nicht ohne Weiteres möglich, da der Aufbau eines Netzes sowohl zeit- als auch kostenintensiv ist.³⁷⁸ Ferner führt die in Telekommunikationsnetzen bestehende kurzfristige Unveränderlichkeit der Kapazitäten dazu, dass die Kunden um die Inanspruchnahme eines knappen Guts konkurrieren, das nicht lagerbar ist. Gleiches gilt jedoch auch für das kundenseitig bestehende Bedürfnis, eine Datenübertragungsdienstleistung in Anspruch zu nehmen. So ist die Kundennachfrage nach einer Datenübertragungsdienstleistung ebenfalls nur in beschränktem Maße auf einen späteren Zeitpunkt verschiebbar, sodass für Anbieter der Dienstleistung ein hoher Anreiz besteht, die kundenspezifischen Zahlungsbereitschaften abzuschöpfen.

3.1.3.3 *Grade der Preisdifferenzierung*

Die Preisdifferenzierung lässt sich anhand des Grades, mit dem die differenzierten Preisen umgesetzt werden, systematisieren.³⁷⁹ Es lassen sich drei Grade der Preisdifferenzierung erkennen. Der Grad der Preisdifferenzierung spiegelt den Umfang der Abschöpfung der Zahlungsbereitschaft der Kunden wider, der mit der gewählten Bepreisung realisiert werden kann.³⁸⁰ Die Preisdifferenzierung ersten Grades entspricht der Individualisierung des Preises, sodass jedem einzelnen Kunden ein für ihn und an seine spezifische maximale Zahlungsbereitschaft angepasster Preis unterbreitet wird.³⁸¹ Da dies die umfänglichste Form der Preisdifferenzierung ist, bei der der Sach- bzw. Dienstleistungsanbieter seine Erlöse maximiert, wird diese Form als perfekte Preisdifferenzierung bezeichnet.³⁸² Realisiert werden kann dies entweder durch persönliche Preisverhandlungen, Auktionen oder Bietpreissysteme.³⁸³ Die Preisverhandlungen erfordern, dass die Kundenanzahl relativ klein ist, da andernfalls die aus der Bestimmung der individuellen Zahlungsbereitschaften entstehende Komplexität in hohen Transaktionskosten mündet, die die aus der Preisdifferenzierung gewonnenen Vorteile übersteigt, sodass deren Einführung nicht lohnt.³⁸⁴

Um die bei der perfekten Preisdifferenzierung vorhandenen Probleme der hohen Transaktionskosten zu lösen, wird im Zuge der Preisdifferenzierung zweiten Grades eine Segmentierung der Nachfrager erreicht, indem durch die Ausgestaltung des

³⁷⁸ Vgl. KUHN [Netzneutralität] S. 1

³⁷⁹ Vgl. f. KLEIN/STEINHARDT [Revenue Management] S. 43 sowie PIGOU [Economics] S. 278 f.

³⁸⁰ Vgl. WEIßBACHER [Nachfragebündelung] S. 24 und FAßNACHT [Preisdifferenzierung] S. 53

³⁸¹ Vgl. DILLER [Preispolitik] S. 236, PEPELS [Pricing] S. 62, PIGOU [Economics] S. 275 und S. 279, FAßNACHT [Preisdifferenzierung] S. 53

³⁸² Vgl. KLEIN/STEINHARDT [Revenue Management] S. 43 und SIMON/FAßNACHT [Preismanagement] S. 263

³⁸³ Vgl. DILLER [Preispolitik] S. 236

³⁸⁴ Vgl. KLEIN/STEINHARDT [Revenue Management] S. 44, DILLER [Preispolitik] S. 236

Angebots- oder des Preissystems z. B. eine leistungs- oder mengenmäßige Differenzierung des Produkts bzw. der Dienstleistung vorgenommen wird und jedem Segment ein eigener Preis zugewiesen wird,³⁸⁵ der der maximalen Zahlungsbereitschaft der Segmentteilnehmer entsprechen soll.³⁸⁶ Allen Kunden werden jeweils die Preise aller Segmente offeriert, sodass sich jeder Käufer selbstständig für ein Segment entscheiden kann und die Separierung des Marktes somit von den Kunden selbstständig vorgenommen wird.³⁸⁷ Alle Kunden eines Segments bezahlen in diesem Falle den gleichen Preis und können zwischen den einzelnen Segmenten wechseln.³⁸⁸ Da jedoch auszuschließen ist, dass alle Kunden eines Segmentes über eine identische Zahlungsbereitschaft verfügen, ist davon auszugehen, dass Kunden, deren individuelle Zahlungsbereitschaft über der durchschnittlichen segmentspezifischen liegt, bessergestellt sind als Kunden, deren individuelle Zahlungsbereitschaft unterhalb der durchschnittlichen Zahlungsbereitschaft liegt.³⁸⁹ Folglich schöpft eine Preisdifferenzierung zweiten Grades aufgrund der Heterogenität innerhalb des Segments nicht immer die maximale Zahlungsbereitschaft ab. Die Herausforderung für den Anbieter besteht darin, sicherzustellen, dass die Kunden mit hoher Zahlungsbereitschaft tatsächlich das für sie angedachte Segment besetzen und umgekehrt.³⁹⁰ Die Preisdifferenzierung zweiten Grades lässt sich realisieren, indem die Preise an eine Abnahmemenge bzw. Nutzungsintensität gebunden werden.³⁹¹

Im Zuge der Preisdifferenzierung dritten Grades unterteilt der Anbieter die Gesamtnachfrager anhand von Kriterien, die ein bestimmtes Kundenmerkmal fixieren, in verschiedene Segmente.³⁹² PIGOU schreibt vom „practicable mark“³⁹³, anhand dessen die Segmentierung erfolgen soll und das ein eindeutiges und bei Durchsetzung der Separierung ohne großen Aufwand feststellbares Kundenmerkmal zu sein hat. Potenzielle Realisationsformen wären eine räumliche³⁹⁴, personengruppengebundene³⁹⁵ oder

³⁸⁵ Vgl. f. PEPELS [Pricing] S. 63 und PIGOU [Economics] S. 279

³⁸⁶ Vgl. FAßNACHT [Preisdifferenzierung] S. 54 und DILLER [Preispolitik] S. 229

³⁸⁷ Vgl. SIMON/FAßNACHT [Preismanagement] S. 263

³⁸⁸ Vgl. KNEIPS [Wettbewerbspolitik] S. 207, FAßNACHT [Preisdifferenzierung] S. 54

³⁸⁹ Vgl. f. FAßNACHT [Preisdifferenzierung] S. 54

³⁹⁰ Vgl. FAßNACHT [Preisdifferenzierung] S. 54 und KNEIPS [Wettbewerbspolitik] S. 207

³⁹¹ Vgl. HARDES/UHLY [Volkswirtschaftslehre] S. 223; PEPELS [Pricing] S. 63 führt neben dem mengenbezogenen Kriterium zur Selbstsegmentierung, die Verwendungsart und die Produktart an, die jedoch nicht wie bei Pepels beschrieben als Produktvariante sondern vielmehr als Qualitätsunterschied zu verstehen ist, um Kunden in einzelne Segmente zu gliedern.

³⁹² Vgl. PIGOU [Economics] S. 279

³⁹³ PIGOU [Economics] S. 279

³⁹⁴ Z. B. Apple verkauft exakt die gleichen Produkte in verschiedenen Ländern zu unterschiedlichen Preisen.

³⁹⁵ Z. B. eine geschlechtsspezifische oder eine altersspezifische Segmentierung. Häufig vorkommend ist auch die Unterscheidung zwischen Studenten und Berufstätigen.

zeitliche Differenzierung. Da diese Merkmale statisch sind, ist ein Wechsel zwischen den Kundensegmenten im Regelfall ausgeschlossen.³⁹⁶ Die Herausforderung besteht für den Anbieter bei Abweichung von den gängigen Implementierungsformen der Preisdifferenzierung dritten Grades in der trennscharfen Abgrenzung der Segmente.³⁹⁷ Abbildung 23 fasst die drei Preisdifferenzierungsformen überblicksartig zusammen.

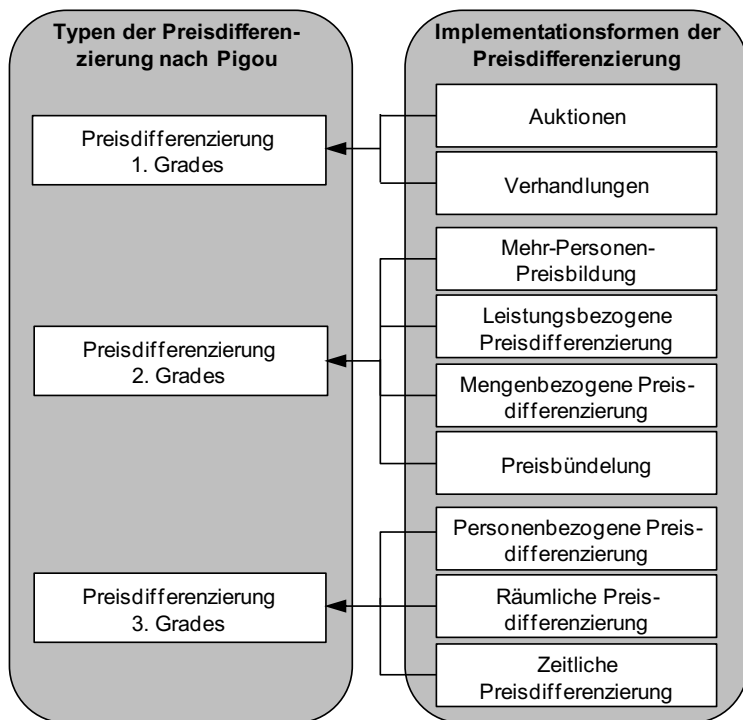


Abbildung 23: Implementierungsformen der Preisdifferenzierung³⁹⁸

Um die bisher hinsichtlich des Abschöpfungsgrades der maximalen Zahlungsbereitschaft der Kunden gegliederte Preisdifferenzierung näher zu betrachten, werden folgend Besonderheiten bei der Implementierung von Preisdifferenzierung für Datenübertragungsdienstleistungen vorgestellt.

³⁹⁶ Vgl. PEPELS [Pricing] S. 63 und FAßNACHT [Preisdifferenzierung] S. 55

³⁹⁷ Vgl. FAßNACHT [Preisdifferenzierung] S. 55

³⁹⁸ In Anlehnung an FUCHS [Preisdifferenzierung] S. 109, SIMON/FAßNACHT [Preismanagement] S. 264

3.2 Ausgewählte Ansätze zur Preisdifferenzierung bei Datenübertragungsdienstleistungen

3.2.1 Tarife zur vertraglichen Ausgestaltung der Preisdifferenzierung

3.2.1.1 Systematisierungskriterien für Preisdifferenzierungsansätze

Tarife sind spezifische, mehrdimensionale Preise, gekoppelt an eine vertragliche Ausgestaltung von Bedingungen, auf deren Basis die Ermittlung des vom Kunden für die in Anspruch genommene Dienstleistung bzw. für das gekaufte Produkt zu zahlenden Entgelts erfolgt.³⁹⁹ Die Bedingungen dienen im Speziellen zur Realisierung der Preisdifferenzierung. Um einen Überblick über die zahlreichen bestehenden Ansätze, die zur Realisierung der Preisdifferenzierung im Zuge der Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistungen vorgeschlagen werden, erlangen zu können, eignet sich eine Systematisierung. Zur Realisierung einer solchen Systematisierung bietet sich eine der drei von STILLER/REICHL/LEINEN identifizierten Dimensionen an, die auch im Rahmen der Herausforderungen bereits adressiert wurden: die technische, die forschungsorientierte sowie die ökonomische Dimension, so wie sie Abbildung 24 zeigt.⁴⁰⁰

Die Dimensionen sind in Abbildung 24 auf der jeweiligen durchgängigen Linie um das die Dimension spezifizierende Analysekriterium ergänzt, während auf der jeweiligen gestrichelten Achse das Kriterium abgebildet ist, das im Rahmen des Aufbaus einer Bepreisung für die jeweilige Dimension eine Rolle spielt. Dementsprechend beeinflusst die technische Umsetzung der Datenübertragung die im Zuge der Bepreisung potenziell zugrunde liegenden technischen Parameter, die ökonomische Dimension wiederum beeinflusst die Komplexität sowie die Anzahl der gewählten Tarifkomponenten und die Forschungsdimension bestimmt, ob und in welchem Umfang die Überführung des zur Theoretisierung gewählten Abstraktionsniveaus zurück in der Realität ermöglicht werden kann.

Die bekanntesten Tarife, die aus nur einer Komponente bestehen, sind einerseits Flat-rate-Tarife und andererseits lineare Tarife, die beide auch im Zusammenhang mit der Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistungen weit verbreitet sind.⁴⁰¹ Bei ersteren wird dem Endkunden unabhängig von der Nutzungsintensität und damit der

³⁹⁹ Vgl. f. SCHÖN-PETERSON [Preismanagement] S. 9 sowie die Literaturverweise darin zum Tarifbegriffsverständnis.

⁴⁰⁰ Vgl. ff. STILLER/REICHL/LEINEN [Classification] S. 151 f., sowie MCKNIGHT/BOROUHAND [Pricing] S. 585 f. oder NGUYEN/ARMITAGE [Pricing Schemes] S. 69 f. die drei vergleichbare Dimensionen zur Charakterisierung und Analyse von Bepreisungsmechanismen heranziehen.

⁴⁰¹ Vgl. GRABER [Pricing] S. 51 ff., HALLER [Dienstleistungsmanagement] S. 137 f. oder JAY/PLÜCKEBAUM [QoS] S 45 f.

übertragenen Datenmenge ein fixiertes Entgelt in Rechnung gestellt.⁴⁰² Das auf Basis des linearen Tarifs zu ermittelnde Entgelt steigt ausschließlich proportional zur Nutzungsintensität und damit z. B. zur Dauer oder zur übertragenen Datenmenge. Während der Flatrate-Tarif als Gerade mit der Steigung null in Abbildung 25 dargestellt ist, lässt sich der lineare Tarif als Ursprungsgerade einzeichnen.

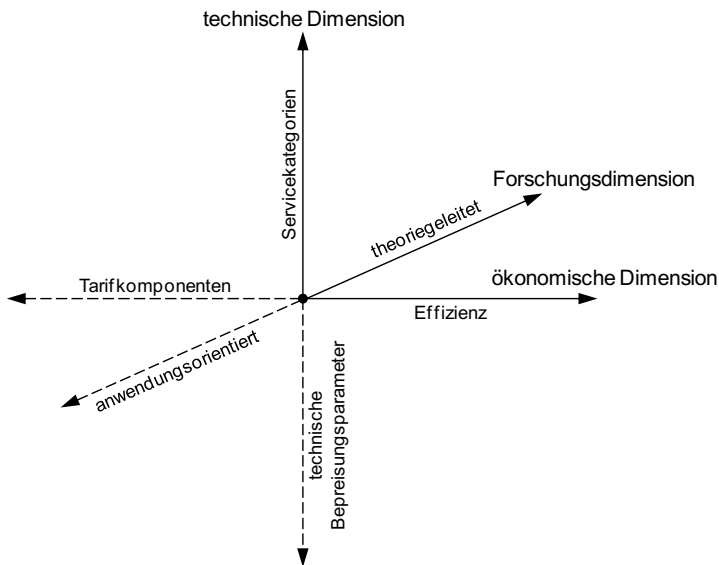


Abbildung 24: Dimensionen zur Charakterisierung der Bepreisungsansätze⁴⁰³

Der in Abbildung 25 veranschaulichte zweiteilige Tarif besteht auch aus einer linearen Komponente und hat sich im gleichen Maße zur Bepreisung von Datentransferdienstleistungen etabliert. Dieser zeichnet sich durch einen Basispreis, z. B. eine monatliche Grundgebühr, und ein in Abhängigkeit der Nutzungsintensität proportionales Nutzungsentgelt aus.⁴⁰⁴ Der dreiteilige Tarif ist wiederum eine Unterform der abschnittsweise definierten Tarife, deren Entgeltbestimmungsgrundlage in Abhängigkeit der Nutzungsintensität variiert.⁴⁰⁵ Sofern es sich, wie in Abbildung 25 visualisiert, um abschnittsweise lineare Komponenten handelt, bedeutet die Änderung der Entgelt-

⁴⁰² Vgl. ff. WILSON [Pricing] S. 4

⁴⁰³ Vgl. STILLER/REICHL/LEINEN [Classification] S. 151

⁴⁰⁴ Vgl. SIMON [Preismanagement] S. 8

⁴⁰⁵ Vgl. WILSON [Pricing] S. 4

bestimmungsgrundlage eine Änderung der Steigung beim Übergang von einer linearen Teilfunktion hin zur nächsten Teilfunktion und damit einer Erhöhung oder Absenkung des Entgelts pro in Anspruch genommener Einheit. Der letzte in der Grafik visualisierte Tarif reagiert unmittelbar auf Nutzungsintensitätsveränderung und wird als nichtlinearer Tarif bezeichnet und stellt damit einen funktionalen Zusammenhang zwischen der in Anspruch genommenen Menge und dem zu dieser Menge zugehörigen Preis her.⁴⁰⁶ Die Tarifform ist keinesfalls zwingend dem Ursprung entspringend, sondern kann genauso als zweiteiliger oder abschnittsweise definierter Tarif ausgestaltet werden.

Zur nichtlinearen Bepreisung hingegen zählt bereits der zweiteilige Tarif.⁴⁰⁷ Bereits in diesem Fall entwickelt sich der im Sinne der kundenfokussierten Preisdefinition aus dem zweiteiligen Tarif abzuleitende Preis pro Nutzungseinheit, aufgrund des entsprechend der Nutzungsintensität zu verteilenden Basisentgelts, nicht proportional.⁴⁰⁸

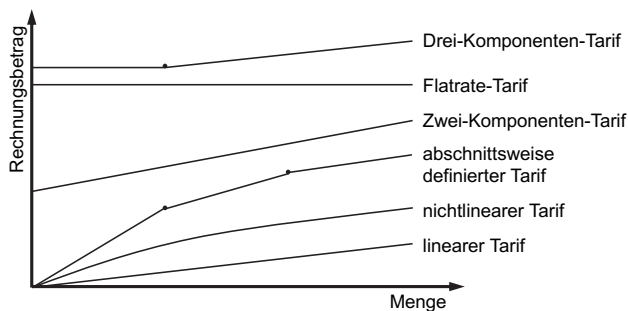


Abbildung 25: Aufbau von Tarifen mit unterschiedlicher Komponentenanzahl⁴⁰⁹

Neben der Tarifkomponentenanzahl lassen sich die zur Bepreisung von Datenübertragungsdiensten genutzten Tarife auch entsprechend der Fristigkeit der Preissetzung differenzieren und systematisieren.⁴¹⁰ Dementsprechend ist bei der Ausrichtung der Forschung zwischen statischen und dynamischen Bepreisungsmechanismen zu unterscheiden. Im Zuge einer dynamischen Bepreisung, die auch als preisbasiertes

⁴⁰⁶ Vgl. f. SCHÖN-PETERSON [Preismanagement] S. 10 f.

⁴⁰⁷ Vgl. IYENGAR/GUPTA [Pricing] S. 355. Vgl. zur umfassenden ökonomischen Analyse von zweiteiligen nichtlinearen Tarifen im Oligopol ARMSTRONG/VICKERS [Non-linear] S. 30-60.

⁴⁰⁸ Vgl. MEIER/STROMER [eBusiness] S. 61, die dies grafisch aufbereitet haben.

⁴⁰⁹ Vgl. WILSON [Pricing] S. 5 sowie alternativ IYENGAR/GUPTA [Pricing] S. 357

⁴¹⁰ Vgl. f. SON ET AL. [Pricing] S. 9, die die Bepreisung generell als Instrument zur Steuerung des Datenaufkommens darstellen und im Zuge dessen die statische von der dynamischen Bepreisung abgrenzen.

Revenue Management⁴¹¹ bezeichnet wird, wird eine Erlösmaximierung angestrebt, indem der Preissetzende zu beliebigen Zeitpunkten im Zeitverlauf Veränderungen der Preise pro Mengen- bzw. Zeiteinheit vornimmt, um direkt auf Schwankungen in der Nachfrage oder variierende Wettbewerbsbedingungen reagieren zu können.⁴¹² Es erfolgt eine dynamisch optimierte Berechnung des Preises, der für das Angebot der Dienstleistung bzw. des Produkts unter Berücksichtigung der aktuellen Nachfrage erzielt werden kann, sodass dem Endkunden die Preise im Vorfeld der Inanspruchnahme bzw. des Kaufs nicht bekannt sind.⁴¹³ Folglich greifen diese Ansätze nicht auf eine im Vorfeld erfolgte Segmentierung der Kunden zurück, sondern nehmen durch die Differenzierung der Preise im Zeitverlauf indirekt eine Segmentierung der Kunden entsprechend deren unterschiedlichen Zahlungsbereitschaften vor bzw. gehen davon aus, dass die Kundenanfragen entsprechend der Kundensegmente im Zeitverlauf eintreffen.⁴¹⁴ Letzteres fokussiert eine Optimierung des Abgreifens der Zahlungsbereitschaften, während ersteres stärker auf die Steuerungswirkung des Preises auf die Nachfrage und damit die nachgefragte Menge abstellt.

Im Gegensatz zu den dynamischen Ansätzen steuert das klassisch mengenbasierte Revenue Management die Verfügbarkeit einer beschränkten Ressource mit verschiedenen Angeboten zu unterschiedlichen, statischen Preisen.⁴¹⁵ D. h. es werden frühzeitig die für die Ressource im Zeitverlauf gültigen verschiedenen Preise festgelegt, auf denen basierend vom Anbieter des Produkts bzw. der Dienstleistung entschieden wird, ob ein vom Kunden zu einem bestimmten Zeitpunkt offeriertes Angebot anzunehmen oder abzulehnen ist.⁴¹⁶ So soll die vorhandene Kapazität bestmöglich auf die Segmente entsprechend ihrer Zahlungsbereitschaft aufgeteilt bzw. entschieden werden, ob ein Produkt zurückgehalten und zu einem späteren Zeitpunkt an ein anderes Segment mit einer höheren Zahlungsbereitschaft verkauft werden soll. Um dies zu erreichen, erfolgt die Mengen- bzw. Verfügbarkeitsplanung simultan zur Preisfestlegung unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen dem Preis und der bei

⁴¹¹ KIMMS/KLEIN [Revenue Management] weisen auf S. 3 darauf hin, dass neben Revenue Management auch die Begriffe Yield Management, Erlösmanagement oder Ertragsmanagement verwandt werden. Vgl. zur Übersicht über verschiedene in der Literatur anzutreffende Definitionen des Revenue Management auch SCHNETZER [Revenue Management] S. 43.

⁴¹² Vgl. KLEIN/STEINHARDT [Revenue Management] S. 176 f., die eine Diskussion des Begriffs und eine Abgrenzung zum Revenue Management anstreben.

⁴¹³ Vgl. MARTENS [Revenue Management] S. 18 f.

⁴¹⁴ Vgl. SCHNETZER [Revenue Management] S. 48

⁴¹⁵ Vgl. MARTENS [Revenue Management] S. 18 f.

⁴¹⁶ Vgl. f. TALLURI/VAN RYZIN [Revenue Management] S. 3

diesem zu erwartenden Nachfrage.⁴¹⁷ Basierend auf dem Revenue Management wird eine Allokation der Kapazität zu dem Zeitpunkt, an dem diese benötigt wird, für die genau diese Kapazität nachfragenden Kunden mit dem die Zahlungsbereitschaft abschöpfenden Betrag angestrebt.⁴¹⁸

Es ist ersichtlich, dass kundenseitig zunächst keine Unterschiede zwischen diesen beiden Vorgehen wahrgenommen werden, schließlich sind in beiden Revenue-Management-Konzepten bestimmte Angebote zu bestimmten Preisen sichtbar, sodass der Kunde eine Verfügbarkeitssteuerung über die Preisanpassung wahrnimmt.⁴¹⁹ Dennoch wird mit der Betrachtung der Fristigkeit der Preisbekanntgabe deutlich, dass insbesondere die dynamische Bepreisung mit ihrer kurzfristigen, nachfrageabhängigen Preissetzung sich stark von der mengenbasierten, langfristigeren Preissetzung zur Kapazitätszuweisung unterscheidet. Neben diesen beiden Kriterien ist eine Systematisierung gemäß der technischen Voraussetzungen sowie des in Kapitel 3.1.3.3 dargestellten Grades der Preisdifferenzierung möglich. Während ersteres insbesondere auf die potenzielle Berücksichtigung und Realisierung von QoS sowie eine Möglichkeit zur Erfassung der Entgelte in einem anbieterseitig zu implementierenden Abrechnungssystem abstellt, soll im Folgenden der Grad der Preisdifferenzierung als Kriterium zur Systematisierung dienen, da die technische Realisierbarkeit im Zuge der betriebswirtschaftlichen Betrachtung als zu erfüllende Nebenbedingung dienen soll.

3.2.1.2 Systematisierung von Tarifmodellen zur Preisdifferenzierung bei Datenübertragungsdienstleistungen

Zwar führt die von z. B. SEN ET AL. oder auch DASILVA vorgenommene Systematisierung der verschiedenen Möglichkeiten zur Bepreisung anhand der Fristigkeit der Preissetzung durchaus zu einer Splittung, die die zahlreichen Vorschläge zur Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistern in zwei weitestgehend trennscharfe Gruppen unterteilt,⁴²⁰ jedoch werden so keine weitergehenden Informationen über die gewählte Preisdifferenzierung sowie die im Vordergrund stehende Implementierungsform gegeben. Um eine systematisierende Übersicht über die in der Literatur bereits diskutierten Bepreisungsansätze zu geben, wird zunächst eine Unterteilung der bestehenden Ansätze anhand des der Bepreisung zugrundeliegenden Grades der Preisdifferenzierung vorgenommen. Diese wird in der zweiten Spalte in Abbildung 26 basierend auf der im

⁴¹⁷ Vgl. MEFFERT/BURMANN/KIRCHGEORG [Unternehmensführung] S. 509, SIMON/FAßNACHT [Preismanagement] S. 432, SCHNETZER [Revenue Management] S. 44

⁴¹⁸ Vgl. WIRTZ ET AL. [Revenue Management] S. 217

⁴¹⁹ Vgl. MARTENS [Revenue Management] S. 18

⁴²⁰ Vgl. DASILVA [Pricing] S. 5, SEN [Pricing] S. 15:10

Zuge der Spezifizierung gewählten Ausgestaltungsform des Grades der Preisdifferenzierung unterteilt. In der dritten Spalte wird die konkrete für Datenübertragungsdienstleistungen konzipierte Realisierungsform genannt und, sofern eine dynamische und eine statische Ausgestaltung der Bepreisung existiert, eine entsprechende Differenzierung vorgenommen. In der vierten Spalte der Abbildung 26 wird schließlich der Verweis auf ausgewählte Standardliteratur gegeben, in der die jeweilige Bepreisung vorgestellt bzw. diskutiert wird.

	Realisierungsform der Preisdifferenzierung	Realisierungsform für Datenübertragungsdienstleistungen	Standardliteratur	
Preisdifferenzierung 1. Grades	Preisverhandlung	Cumulus Pricing	STILLER ET AL. [Cumulus Pricing] S. 308 ff., REICHL ET AL. [Cumulus] S. 2079 ff. sowie zur mathematischen Analyse HAYEL/TUFFIN [Cumulus] S. 907 f.	
		Dynamische Preisverhandlung in NGNs	GIACOMAZZI/STANOJEV/VERTICALE [Service Level Pricing] S. 444 oder auch WANG/SCHULZRINNE [Integrated] S. 2514 mit ihrem integrierten verhandlungsbasierten Ressourcen, Bepreisungs- und QoS-Adaptations-Framework.	
	Auktionen	Smart Market	MACKIE-MASON/VARIAN [Pricing] S. 269 ff., MURPHY/MURPHY/MACKIE-MASON [Smart Market for ATM] S. 1045 ff.	
Preisdifferenzierung 2. Grades	Mengenmäßige Preisdifferenzierung	Flatrate-Tarif	EDELL/VARAIYA [Flat Rate Pricing Problem] S. 6 ff., ALTMANN/CHU [Usage] S. 519 ff.	
		Usage-based Pricing	MACKIE-MASON/VARIAN [FAQ] S. 257 ff., ALTMANN/CHU [Usage] S. 519 ff.	
	Leistungsbezogene Preisdifferenzierung	Resource Reservation Pricing	FRANKENHAUSER ET AL. [Reservation-based] S. 305 ff., PARRIS/FERRARI [Resource-based] S. 4 ff.	
		Paris Metro Pricing	ODLYZKO [Paris Metro Pricing] S. 140, JAIN/MULLEN/HAUSMAN [PMP-Analyse] S. 44 ff.	
		Priority Pricing	Statisch	BORELLA/UADHYAY/SIDHU [Pricing DiffServ] S. 275 ff., MARBACH [Static Priority] S. 312 ff.
			Dynamisch	GUPTA/STAHL/WHINSTON [Pricing] S. 330 und GUPTA/STAHL/WHINSTON [Priority Pricing] S. 84 ff.
		Effective Bandwidth	KELLY [Effective Bandwidth] S. 5 ff. BERGER/ WHITT [Extending] S. 78 ff., die eine Erweiterung um Prioritätsklassen vornehmen.	
	Preisbündelung	Service Level Agreement-basiert	Expected Capacity	CLARK [Expected Capacity] S. 155 ff.
			QoS-Service-Level-Agreement	BOURAS/SEVASTI [SLA-based] S. 1868 ff. sowie BOURAS/SEVASTI [Pricing] S. 167 f.
			Application-based pricing	STILLER ET AL. [Content] S. 522 ff., SEN ET AL. [Time-Shifting] S. 91 ff.

Abbildung 26: Systematisierung von Tarifen zur Preisdifferenzierung bei Datenübertragungsdienstleistungen

	Realisierungsform der Preisdifferenzierung	Realisierungsform für Datenübertragungsdienstleistungen		Standardliteratur
Preisdifferenzierung 3. Grades	Personelle Preisdifferenzierung	Studentendiscount oder Geschäftskundentarife		z. B. aktuelle Tarife von der TELEKOM [Website]
	Zeitliche Preis-differenzierung	Statisch	Tageszeit-abhängige Bepreisung	BERGSTROM/MACKIE-MASON [Peak-Load] S. 241 ff.
		Dynamisch	Congestion pricing	HENDERSON/CROWCROFT/BHATTI [Congestion Pricing] S. 85 ff., die einen Überblick geben.
			Proportional Fairnes	KELLY [Charging] S. 33 ff., der diese Ressourcenverteilung erst in der Konklusion als „proportional fair“ zur jeweiligen Zahlungsbereitschaft bezeichnet (S. 37).
			Responsive Pricing	MACKIE-MASON/MURPHY/MURPHY [Responsive] S. 279 ff.
			Day-ahead pricing	WONG/HA/CHIANG [Time-Dependent] S. 292 ff., HA ET AL. [TUBE] S. 1 ff.
	Räumliche Preisdifferenzierung ⁴²¹	---		---

Abbildung 26: Systematisierung von Tarifen zur Preisdifferenzierung bei Datenübertragungsdienstleistungen (Fortsetzung)

Im Zuge der hier vorgenommenen Systematisierung wurde die technische Dimension zunächst bewusst nicht mit einbezogen, um eine Fokussierung auf die potenziellen Ausprägungen der Bepreisung vorzunehmen. Da die technische Dimension jedoch erheblichen Einfluss auf die Realisierbarkeit der für Datenübertragungsdienstleistungen möglichen leistungsbezogenen Preisdifferenzierung sowie der Preisbündelung und der zu diesen gehörenden Realisierungsformen der Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistungen hat, werden folgend die unterschiedlichen Bepreisungsansätze näher vorgestellt, um im Anschluss deren Eignung auch hinsichtlich der technischen Realisierbarkeit basierend auf den in Kapitel 2 gelegten technischen Grundlagen zu untersuchen.

⁴²¹ Die Zuweisung der räumlichen Preisdifferenzierung dritten Grades erfolgt gemäß der für stationäre Datenübertragungsdienstleistungen vorliegenden Immobilität des Netzzugangs. Da Nutzer keine Flexibilität in der Ortswahl haben, gibt es keine Bepreisung für stationäre Datenübertragungsdienstleistungen, die eine solche Preisdifferenzierung nutzen.

3.2.2 Berücksichtigung der Nutzungsintensität in ausgewählten Ansätzen zur Preisdifferenzierung

3.2.2.1 Merkmale nutzungsintensitätsunabhängiger Bepreisung

Die in der Praxis am weitesten verbreiteten Ansätze zur Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistungen ohne differenzierte Dienstgütelevel, sogenannte Best-Effort-Dienste, sind Flatrate-Tarife,⁴²² bei denen das Nutzungsentgelt unabhängig von der Nutzungsintensität der Datenübertragungsdienstleistungen fixiert ist, sodass für den Nutzer planbare sowie klar definierte zu leistende Zahlungen existieren und damit kundenseitig kein Risiko bezüglich der Höhe des für den Abrechnungszeitraum zu erwartenden Nutzungsentgelts besteht.⁴²³ Auch anbieterseitig bestehen Vorteile darin, dass einerseits eine hohe Planungssicherheit bezüglich der zu erwartenden Erlöse vorliegt und andererseits durch den Einsatz dieser Tarife garantiert ist, dass die mit der Implementierung und der Abrechnung verbundenen administrativen Kosten aufgrund der Kontinuität und der daraus resultierenden unkomplizierten Erfassung gering ausfallen. Darüber hinaus resultieren aus dieser Bepreisungsform keine Implikationen für den Datenübertragungsdienstleistungsanbieter bezüglich der einzusetzenden Technologien,⁴²⁴ sodass dementsprechend keine Investitionen in den Netzausbau zur Implementierung dieses Bepreisungsansatzes notwendig werden.

Die theoretischen Preise pro Nutzungseinheit, z. B. pro Megabyte, eines Flatrate-Tarifs sind abhängig von der Nutzungsintensität und insofern differenziert, dass der Preis pro Mengeneinheit mit zunehmender Nutzungsintensität fällt.⁴²⁵ Damit schafft dieser Ansatz keinen Anreiz für Nutzer, ihre Nutzungsintensität zu verändern und im Falle von Kapazitätsengpässen das generierte Datenaufkommen zu reduzieren, indem sie die Nutzungsintensität verringern.⁴²⁶ Vielmehr ist gemäß der von HARDIN statuierten „Tragödie der Allmende“ („Tragedy of the Commons“) davon auszugehen, dass jeder, der unbegrenzten Zugriff auf ein der Allgemeinheit zur Verfügung gestelltes Gut hat, in dem hier betrachteten Falle die Datenübertragungskapazität, bestrebt ist, dieses Gut für sich in größtmöglichem Umfang in Anspruch zu nehmen, um seinen eigenen Nutzen, den die Inanspruchnahme generiert, zu maximieren.⁴²⁷ Problematisch ist dies

⁴²² Vgl. JAY/PLÜCKEBAUM [QoS] S. 45 oder z. B. HEIDENREICH/HUBER/VOGEL [Flatrates] S. 21 ff., gemäß deren empirischer Untersuchung sich eine signifikante Bevorzugung der Flatrate-Tarife gegenüber anderen Tarifen zeigt (ebenda S. 110).

⁴²³ Vgl. f. MACKNIGHT/BOROUAND [After Flat Rate] S. 565

⁴²⁴ Vgl. FALKNER/DEVETSIKIOTIS/LAMBADARI [Pricing] S. 4

⁴²⁵ Vgl. SKIERA [Preisdifferenzierung] S. 74, der dies auch grafisch aufbereitet.

⁴²⁶ Vgl. HE/XU/LIU [Pricing] S. 50

⁴²⁷ Vgl. zur Tragedy of Commons HARDIN [Tragedy] S. 1244, MACKNIGHT/BOROUAND [Pricing] S. 566 sowie zur empirischen Untersuchung TRAIN/MCFADDEN/BEN-AKIVA [Service Choices] S. 109 ff.,

insbesondere, weil die Opportunitätskosten, die aus der Überlast eines Netzes und der damit einhergehenden Qualitätsreduktion resultieren,⁴²⁸ nicht an den Kunden weitergegeben werden, der für diese verantwortlich ist.⁴²⁹ Das heißt, dass der nutzenmaximierende Kunde bei einem bestimmten Preis pr_c mit einer monoton fallenden Nachfrage $D(pr)$ eine spezifische Nachfrage x_{pr_c} generiert, so wie dies in Abbildung 27 dargestellt ist.⁴³⁰ Die Annahme einer monoton fallenden Nachfragefunktion beruht auf einer quadratischen Zahlungsbereitschaftsfunktion, da die Nachfragefunktion aus der Umkehrfunktion der Ableitung der Zahlungsbereitschaftsfunktion resultiert.⁴³¹ Mit der Erhebung eines Flatrate-Tarifs geht somit einher, dass die Nachfrage des jeweiligen Konsumenten bis zu dessen Sättigungsmenge $x_{flat,max}$ steigt,⁴³² die gerade der Menge entspricht, die der Kunde nachfragen würde, wenn der Preis pro Mengeneinheit null wäre, und damit $D(0) = x_{flat,max}$ gilt.⁴³³ Die aus Datenübertragungsdienstleistungsicht resultierende „Verschwendung“ im Sinne entgangener Deckungsbeiträge wird als graue Fläche in der linken Hälfte der Abbildung 27 aufgezeigt. Die rechte Hälfte der Abbildung 27 veranschaulicht hingegen die von ALTMANN/RUPP/VARAIYA festgestellte Besserstellung von Heavy Usern gegenüber Gelegenheitsnutzern.⁴³⁴ Ausgehend von kundenindividuellen Nachfragekurven sei $D(pr)^{avg}$ die Nachfragekurve des Durchschnittskunden, der als Referenz zur Bestimmung des Preises für den Flatrate-Tarif dient und dessen Nachfrage, so wie in Abbildung 27 dargestellt, bei einem Preis von 0 gerade der durchschnittlichen maximalen Kapazitätsanspruchnahme $x_{flat,max}^{avg}$ entspricht. Entspricht ferner der Nutzen eines Kunden der Fläche unterhalb dessen Nachfragefunktion, so wird die deutliche Bevorteilung all jener, deren Nachfragekurve höher als die des Durchschnittskunden ist, deutlich. So ist die Fläche unterhalb der Nachfragekurve des Wenig-Nutzers $D(pr)^{low}$ kleiner als die des Durchschnittsnutzers, dessen Fläche unterhalb der Nachfragekurve $D(pr)^{avg}$ wiederum kleiner als die Fläche unter der Nachfragekurve $D(pr)^{heavy}$ des Heavy-Nutzers ist. Alle Nutzer haben jedoch das gleiche Entgelt zur Erreichung ihres jeweils individuellen Nutzens zu entrichten.

KRIDEL/LEHMAN/WEISMAN [Option Value] S. 125 ff. Vgl. ferner zur Untersuchung der Ursachen für das Flatrate-Bias LAMBRECHT/SKIERRA [Ursachen] S. 7 ff. und HEIDENREICH/TAKE [Flatrate-Bias] S. 285 ff.

⁴²⁸ Vgl. DASILVA [Pricing] S. 5, der die Opportunitätskosten resultierend aus der Überlast unter dem Begriff der Staukosten subsumiert. Vgl. CAREY/SRINIVASAN [Externalities] S. 217 ff., die Staukosten im Sinne einer Externalität, durchschnittliche und marginale Kosten eines Nutzers von Datenübertragungsdienstleistungen diskutieren.

⁴²⁹ Vgl. JAY/PLÜCKEBAUM [QoS] S. 45

⁴³⁰ Vgl. EDELL/VARAIYA [Flat Rate Pricing Problem] S. 6 f.

⁴³¹ Vgl. SKIERA [Preisdifferenzierung] S. 24 f.

⁴³² Vgl. SKIERA [Preisdifferenzierung] S. 75

⁴³³ Vgl. EDELL/VARAIYA [Flat Rate Pricing Problem] S. 6 f.

⁴³⁴ Vgl. ff. EDELL/VARAIYA [Flat Rate Pricing Problem] S. 6 f.

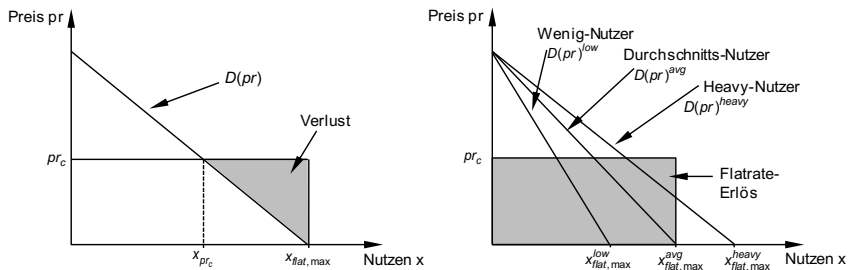


Abbildung 27: Ineffizienz von Flatrate-Tarifen⁴³⁵

Demgemäß subventioniert im Rahmen von Flatrate-Tarifen derjenige, der die Datenübertragungsdienstleistungen in einem geringen Umfang nutzt, denjenigen, der diese Dienstleistung exzessiv nutzt; letztgenannter gehört gemäß der in Kapitel 2.3.3 vorgenommenen Systematisierung den „Heavy-Usern“ an.⁴³⁶ Der Umfang der Subventionierung der „Heavy-User“ fällt folglich umso höher aus, je größer der Unterschied zwischen der durchschnittlichen Nutzungsintensität und der Nutzungsintensität der Heavy-User ist. Problematisch ist dies insbesondere, weil empirische Untersuchungen zeigen, dass nahezu 80 % der Nutzer die übrigen 20 % der Heavy-User subventionieren. Bei einer Bepreisung entsprechend ihrer Nutzungsintensität würden ebendiese 80 % weniger zahlen, während die übrigen 20 % für die deutlich stärkere Nutzung ein höheres Entgelt zahlen würden. Berücksichtigt man ferner, dass insbesondere Heavy-User für das insgesamt hohe Datenaufkommen und die daraus resultierenden Einschränkungen der Dienstgüter verantwortlich sind, scheint die Schlussfolgerung angebracht, dass eine Kopplung der Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistungen an die jeweilige Nutzungsintensität gerechtfertigt ist, um die extensive Nutzung von Datenübertragungsdienstleistungen einzudämmen.⁴³⁷

3.2.2.2 Merkmale nutzungsintensitätsabhängiger Bepreisung

Entsprechend der von ALTMANN/RUPP/VARAIYA festgestellten und mittels empirischer Experimentalstudien belegten Schwächen der Flatrate-Tarife, können diese durch einbeziehen der Nutzungsintensität in die Bepreisung, z. B. über die Berücksichtigung der

⁴³⁵ Entnommen aus HE/XU/LIU [Pricing] S. 51 in Anlehnung an EDELL/VARAIYA [Flat Rate Pricing Problem] S. 29 ff.

⁴³⁶ Vgl. ff. ALTMANN/RUPP/VARAIYA [User behavior] S. 80 ff. sowie EDELL/VARAIYA [Flat Rate Pricing Problem] S. 24 ff. Vgl. HEIDENREICH/TALKE [Flatrate-Bias] S. 256 ff., die ebenda empirisch die Ursachen für die Bevorzugung von Flatrate-Tarifen im Telekommunikationsumfeld untersuchen.

⁴³⁷ Vgl. MACKNIGHT/BOROUHAND [Pricing] S. 565 ff. und MACKNIGHT/BOROUHAND [Challenges] S. 128 f.

Datenup- und Datendownload-Mengen bzw. der Dauer der Verbindung,⁴³⁸ beseitigt werden.⁴³⁹ Die einfachste und gleichzeitig bekannteste Form dieser die Nutzungsintensität berücksichtigenden Bepreisung sind für Telekommunikations- und Datenübertragungsdienstleistungen lineare Tarife, die um einen fixierten Basispreis, die sogenannte Grundgebühr, erweitert sind.⁴⁴⁰ Teils werden diese Tarife nochmals um einen sogenannten Anschlusspreis, der einmalig im Rahmen einer Kundenbeziehung an den Datenübertragungsdienstleister zu entrichten ist, ergänzt. Dementsprechend ist das vom Kunden c zu entrichtende Entgelt basierend auf der Funktion $\text{Entgelt}_{c,t}(\cdot)$ zu ermitteln, die den Betrag abbildet, den der Kunde für die in einem festgelegten Zeitraum in Anspruch genommene Leistung $q_{c,t}$ mit der Grundgebühr pr^G mit einer zu diesem Tarif gehörenden mengen- oder zeitbasierten Preiskomponente pr zum Zeitpunkt t zu entrichten hat.⁴⁴¹ Basierend auf der folgenden Funktion ist auch eine paketweise Abrechnung realisierbar:

$$\text{Entgelt}_{c,t}(q_{c,t}) = pr^G + pr \cdot q_{c,t} \quad (1)$$

$$\forall c \in \{1, 2, \dots, C\}, t \in \{1, 2, \dots, T\}$$

Eine Alternative zu dieser Bepreisung der Nutzungsintensität ist die abschnittsweise definierte Tarifierung, bei der ein bestimmtes Kontingent pauschal bepreist wird.⁴⁴² Erst wenn der Nutzer über die ihm in dem Kontingent zugesprochenen Mengen hinaus weitere Mengen in Anspruch nehmen will, werden diese zusätzlich beanspruchten Mengeneinheiten in Abhängigkeit der Up- und Downloadmengen bepreist.⁴⁴³ Auf diese Weise könnte die deutlich über der des Durchschnitts-Nutzers liegende Inanspruchnahme der Datenübertragungsdienstleistungen im Rahmen der Bepreisung von Heavy-User berücksichtigt werden. Im speziellen Fall der Datenübertragungsdienstleistungsbepreisung wird von einer gedeckelten Flatrate- oder auch einem Volumen-

⁴³⁸ Vgl. SEN ET AL. [Pricing] S. 15, HE/XU/LIU [Pricing] S. 51, HENDERSON/CROWCROFT/ BHATTI [Congestion Pricing] S. 86 die neben dieser heute gängigen Bepreisungsgrundlage bei nutzungsintensitäts-abhängigen Tarifen auch eine zeitbasierte Bepreisung diskutieren. Vgl. zur Koppelung von zeitbasierter und mengenbasierter Preisdifferenzierung mit dem Ziel des Findens einer optimalen Bepreisungsstrategie KASAP/SIVRIKAYA/DELEN [Pricing Strategies] S. 161 f.

⁴³⁹ Vgl. HE/XU/LIU [Pricing] S. 51, EDELL/MCKWEON/VARAIYA [Billing] S. 1

⁴⁴⁰ Vgl. LI/HUANG [Pricing] S. 1, COURCOUBETIS ET AL. [Pricing] S. 7

⁴⁴¹ Vgl. f. KESIDIS/DAS/VECIANA [Usage-Based] S. 1 und SCHÖN-PETERSON [Preismanagement] S. 9, die Telefонтarife betrachtet, bzw. BOURAS/SEVASTI [SLA-based] S. 1871, die auf die Möglichkeiten der paketweisen Abrechnung hinweisen.

⁴⁴² Vgl. ff. SEN ET AL. [Pricing] S. 16, HE/XU/LIU [Pricing] S. 51

⁴⁴³ Welche Maßeinheit dem Basiskontingent zugrunde gelegt wird, seien es bestimmte Zeit- oder Mengenkongimente, ist zunächst unerheblich. Vgl. zur Diskussion über die unterschiedlichen Kundenpräferenzen bezüglich zeit- oder mengenbasierter Bepreisung KASAP/SIVRIKAYA/DELEN [Pricing Strategies] S. 164.

tarif gesprochen.⁴⁴⁴ Das LANDGERICHT KÖLN stellt mit seinem Urteil – Urteil vom 30.10.2013, Az. 26 O 211/13 – in diesem Kontext explizit fest, dass die Bezeichnung „Flatrate“ nur für die Tarife genutzt werden darf, bei denen weder eine direkte noch eine indirekte Limitierung des Nutzungsvolumens vorgenommen wird. Konsequenterweise sind somit alle Tarife mit Kontingentierung nicht länger als Flatrate-Tarif zu bezeichnen, da die Kontingentierung zu einer mengenbasierten Preisdifferenzierung führt. Im Zuge dieser hat der Kunde bei Überschreitung des im Basis-Kontingent enthaltenen Datenvolumens Pönale, sei es in Form linearer Strafzahlungen pro Zeit- oder Mengeneinheit oder auch durch Zukauf weiterer Kontingente, zu zahlen, um weiterhin die gewünschte Datenübertragungsdienstleistung in Anspruch nehmen zu können, so dass keine Fixierung der Kosten in einer Abrechnungsperiode besteht. Gemäß PIGOU handelt es sich hierbei um eine Preisdifferenzierung 2. Grades, da definitionsgemäß davon ausgegangen wird, dass die Preise pro Mengeneinheit, die nach Überschreiten der Kontingentsgrenze gezahlt werden, von den vorher zu zahlenden Preisen pro Mengeneinheit abweichen. Dementsprechend wäre eine Berechnung des monatlichen Entgelts bei Vorliegen einer linearen Bepreisung nach Überschreitung des Basiskontingents $q^{Kontingent}$ in folgender Form gegeben:⁴⁴⁵

$$\begin{aligned} \text{Entgelt}_{c,t}(q_{c,t}) &= pr^G + \omega_{c,t} \cdot pr \cdot (q_{c,t} - q^{Kontingent}) \\ \text{mit } \omega_{c,t} &= \begin{cases} 0 & \text{für } q^{Kontingent} \geq q_{c,t} \\ 1 & \text{für } q^{Kontingent} < q_{c,t} \end{cases} \\ &\forall c \in \{1, 2, \dots, C\}, t \in \{1, 2, \dots, T\} \end{aligned} \quad (2)$$

Bei der zweiten Möglichkeit, bei der eine stufenweise Aufstockung der Kapazitäten erfolgt, wird der Kunde bei Ausschöpfung eines Kapazitätskontingents vor die Wahl gestellt, ob ein weiteres Kontingent zu einem Preis $pr^{Kontingent}$ zugekauft werden soll oder nicht.⁴⁴⁶ Auch in diesem Fall handelt es sich um eine Preisdifferenzierung 2. Grades, da nicht davon ausgegangen wird, dass der Preis pro Mengen- bzw. Zeiteinheit nach Überschreitung der Kontingentgrenze dem vorangegangenen Preis entspricht. Entscheidet sich der Kunde gegen den Zukauf muss er warten, bis die Abrechnungsperiode verstrichen ist, bevor er erneut Datenübertragungsdienstleistungen in Anspruch nehmen kann. Dementsprechend sind insbesondere die Staffelung der Kontingentierung sowie der Zeitpunkt innerhalb des Abrechnungsintervalls, zu dem der Kunde das Kontingent ausgeschöpft hat, von Bedeutung für die Entscheidung des

⁴⁴⁴ Vgl. z. B. SEN ET AL. [Pricing] S. 15

⁴⁴⁵ Vgl. KESIDIS/DAS/VECIANA [Usage-Based] S. 1

⁴⁴⁶ Vgl. z. B. SEN ET AL. [Time-Shifting] S. 93 und S. 95

Kunden für oder gegen den Kontingent-Zukauf.⁴⁴⁷ Das Entgelt einer Abrechnungsperiode ließe sich sodann bei einem vom Basispreis pr^G abweichenden Preis pr folgendermaßen ermitteln, wenn $q^{Kontingent+}$ der Umfang des zusätzlich zu erwerbenden Kontingents ist:

$$\text{Entgelt}_t(q_{c,t}) = pr^G + \omega_{c,t} \cdot pr \cdot \left\lceil \frac{(q_{c,t} - q^{Kontingent})}{q^{Kontingent+}} \right\rceil \quad (3)$$

$$\text{mit } \omega_{c,t} = \begin{cases} 0 & \text{für } q^{Kontingent} \geq q_{c,t} \\ 1 & \text{für } q^{Kontingent} < q_{c,t} \end{cases}$$

$$\forall c \in \{1, 2, \dots, C\}, t \in \{1, 2, \dots, T\}$$

Durch die oben geschlossenen Gaußklammern wird sichergestellt, dass der Preis für den Zukauf eines weiteren Kontingents stets mit einer natürlichen Zahl multipliziert wird und dementsprechend kein Zukauf von Teilkontingenten möglich ist:

$$\left\lceil \frac{(q_{c,t} - q^{Kontingent})}{q^{Kontingent+}} \right\rceil = \min \left\{ \tilde{a} \in \mathbb{Z} \mid \tilde{a} \geq \frac{(q_{c,t} - q^{Kontingent})}{q^{Kontingent+}} \right\} \quad (4)$$

Mit der Division durch $q^{Kontingent+}$ wird angenommen, dass die zusätzlich zu erwerben den Kontingente stets den gleichen Umfang besitzen. Tritt der Spezialfall ein, dass die erste Kontingentgröße der der Zusatzkontingente mit $q^{Kontingent+} = q^{Kontingent}$ entspricht, so handelt es sich in diesem Fall um eine lineare Bepreisung. Ist hingegen ein Zukauf von Teilkontingenten möglich, so handelt es sich um den bereits betrachteten Fall, bei dem nach Verzehr des Basiskontingents eine lineare Bepreisung stattfindet.

Diese mengenbasierten Preisdifferenzierungsformen können zwar potenziell zu einer Reduktion des Datenvolumens bzw. der Nutzungszeit pro Abrechnungsperiode führen, jedoch wird die Problematik der tageszeitabhängigen Datenverkehrsaufkommensspitzen und der daraus resultierenden Kapazitätsengpässe nicht gelöst, da dazu eine der in dem jeweiligen Moment vorliegenden Kapazitätsauslastung entsprechende spezifische Bepreisung notwendig wäre.⁴⁴⁸ Die Lösung dieser Problematik wird mit den folgend vorgestellten Ansätzen adressiert.

⁴⁴⁷ Die DEUTSCHE TELEKOM AG nutzt bei den mobilen Datentarifen bereits eine solche Bepreisungsstruktur und bietet mit dem Kauf der „SpeedOn“-Option die Möglichkeit, ein neues Kontingent desselben Umfangs zuzukaufen, wie das vertraglich vereinbarte Basiskontingent (vgl. DEUTSCHE TELEKOM AG [SpeedOn]).

⁴⁴⁸ Vgl. SEN ET AL. [Time-Shifting] S. 95

3.2.3 Ausgewählte Ansätze zur nachfrageabhängigen Preisdifferenzierung

3.2.3.1 Tageszeitabhängige Preisdifferenzierung

Eine einfache Form der Preisdifferenzierung zur Verhinderung einer Überlastung des Netzes basiert auf der Erkenntnis, dass der Kapazitätsbedarf direkt von der Tageszeit abhängt.⁴⁴⁹ Um eine Entlastung der Spitzenlast, dem sogenannten Peak-Load, im Datenübertragungsnetz zu erreichen, wird zu den Tageszeiten, an denen potenziell Kapazitätsengpässe auftreten könnten, ein höherer Preis pro Abrechnungseinheit angesetzt als in den Nebenzeiten, in denen eine niedrigere Nachfrage vorliegt, da davon ausgegangen wird, dass durch die Preisunterschiede preissensitive Nutzer ihre Nutzung in die günstigeren Nebenzeiten verlagern; die Ausgestaltung kann pro Minute oder in Abhängigkeit der Datenmenge erfolgen.⁴⁵⁰ Zur Implementierung dieser Tarife ist der Tag dementsprechend in mindestens zwei Perioden zu unterteilen.⁴⁵¹ In der Peak-Load-Periode, in der die Nachfragespitze erreicht wird, ist für die in Anspruch genommenen Mengen- oder Zeiteinheiten ein höherer Preis zu fordern als in der Nebenzeit, um auf diese Weise eine Preisdifferenzierung zu realisieren. Da letztlich jedoch die über den Tag schwankende Nachfrage die Intervalle bestimmt und der Preis für die Spitzenlastzeit höher ist als im zweiten Intervall, in dem keine Spitzenlast vorliegt, wird auch vom „Peak-Load-Pricing“⁴⁵² gesprochen.

Das Entgelt ergibt sich bei dieser Bepreisungsform, wenn $q_{t,pz}$ die zum Zeitpunkt t in Anspruch genommene Kapazität innerhalb einer Preiszone pz ist, die eine bestimmte fixierte Dauer hat, wie folgt:

$$\text{Entgelt}_t(q_{t,pz}) = \sum_{pz=1}^{PZ} (q_{t,pz} \cdot pr_{pz}) \quad (5)$$

⁴⁴⁹ Vgl. SEN ET AL. [Pricing] S. 15:9, COURCOUBETIS/WEBER [Pricing] S. 51 sowie MACKIE-MASON/VARIAN [Pricing] S. 287, die die tageszeitabhängige Übertragungsdauer messen und die prozentuale Auslastung einer Verbindung in Abhängigkeit der Tageszeit darstellen. Eine gute Aufbereitung der unterschiedlichen Auslastung des Netzes in Abhängigkeit der Tageszeit liefern auch große Datenverkehrsknoten Europas in Amsterdam (AMS-IX) oder der Betreiber der großen Deutschen Knoten (DE-CIX) auf ihren jeweiligen Internetauftritten mit der grafischen Aufbereitung des aggregierten Datenaufkommens aller an diese Knoten angeschlossenen Netzwerke (Vgl. AMSTERDAM INTERNET EXCHANGE [Datenaufkommen], DE-CIX [Datenaufkommen]).

⁴⁵⁰ Vgl. f. SEN ET AL. [Pricing] S. 15:9, COURCOUBETIS/WEBER [Pricing] S. 51 und S. 212 f.

⁴⁵¹ Vgl. PARIS/KESHAV/FERRARI [Pricing] S. 16

⁴⁵² Vgl. zur Übersicht TALLURI/VAN RYZIN [Revenue Management] S. 341, vgl. z. B. BERGSTROM/MACKIE-MASON [Peak-Load] S. 241 ff., deren Analysen auf einer bekannten Nachfrage beruhen oder z. B. CHAO [Peak-Load Pricing] S. 179 ff., der optimale Preise für den Fall der Unsicherheit sowohl bezüglich der Kapazitäten als auch der Nachfrage ableitet.

Neben dem zunächst betrachteten Fall mit $pz \in \{1, 2\}$ ist auch eine Unterteilung in mehrere Preiszonen denkbar, sodass $pz \in \{1, 2, \dots, PZ\}$ gilt und eine feingranularere Bepreisungsstruktur geschaffen wird. Sollte zusätzlich eine für den Abrechnungszeitraum fixierte Bereitstellungsgebühr pr_c^G zur zumindest teilweisen Deckung der Fixkosten erhoben werden, folgt für die Ermittlung des Entgelts:

$$\text{Entgelt}_{c,t}(q_{c,t,pz}) = pr_c^G + \sum_{pz} q_{c,t,pz} \cdot pr_{pz} \quad (6)$$

$$\forall c \in \{1, 2, \dots, C\}, t \in \{1, 2, \dots, T\}$$

Problematisch wird diese Art der Bepreisung, wenn die Preisunterschiede zwischen den Intervallen zu stark ausgeprägt sind, da die Neuausrichtung des Nutzerverhaltens zu Engpässen in der bisherigen Nebenzeit führen kann. Zu beobachten war dies beispielsweise bei dem von KEALL beschriebenen Fall eines neuseeländischen Datenübertragungsdienstleisters, der die Preise zwischen den Wochentagen differenzierte, indem er den Preis pro übertragener Dateneinheit an Wochenenden faktisch auf null setzte, sodass zwar die Spitzenbelastung unter der Woche reduziert werden konnte, die Übertragungsraten am Wochenende jedoch mit erheblichen Einbußen in der Übertragungsgeschwindigkeit bei den Nutzern einhergingen, da die besonders aktiven Nutzer einen Großteil ihrer Inanspruchnahme der Datenübertragungsdienstleistung auf eben diese für sie kostengünstigen Tage konzentrierten.⁴⁵³

Damit diese Art der Preisdifferenzierung ihre Wirkung auf das Nutzerverhalten entfalten kann, gilt es zunächst die tageszeitabhängigen Preise langfristig an die Kunden zu kommunizieren.⁴⁵⁴ Die Basis der Bepreisung sollte auf der in der Vergangenheit beobachteten Nachfrage beruhen, sodass das erwartete durchschnittliche Verkehrsaufkommen zugrundeliegt. Die Preise sind aufgrund der langfristigen Kommunikation an den Kunden statisch und damit für einen längeren Zeitraum fixiert. Die langfristige Kommunikation der Preise ist jedoch, wie bereits bei den Anforderungen an die Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistungen festgehalten, gemäß YUKSEL/KALYANARAMAN dafür verantwortlich, dass sich die Steuerungswirkung zur Vermeidung von Kapazitätsengpässen in Datenübertragungsnetzen nur unzureichend entfaltet, da zur Steuerung des Datenaufkommens wesentlich kurzfristigere Anpassungen der Preise an das tatsächliche Datenverkehrsaufkommen vonnöten sind.⁴⁵⁵

⁴⁵³ Vgl. KEALL [TelstraClear]

⁴⁵⁴ Vgl. ff. SEN ET AL. [Pricing] S.15:9

⁴⁵⁵ Vgl. YUKSEL/KALYANARAMAN [Effect] S. 90 f., vgl. auch EDELL/McKEAWON/VARAIYA [Billing] S. 1174 f., die zeigen, dass bereits die Verlagerung der Datenübertragungsspitze um eine Sekunde zu einer signifikanten Entlastung des Netzes beitragen kann.

3.2.3.2 Überlastbepreisung in Abhängigkeit des zeitpunktbezogenen Datenaufkommens

Zu den im Rahmen der Systematisierung der Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistungen angeführten Ansätzen mit dynamischer zeitlicher Preisdifferenzierung zählen insbesondere die Congestion-based-Pricing-Ansätze, bei denen eine zeitpunktbezogene Justierung der Preise in Abhängigkeit des jeweils aktuellen zeitpunktbezogen vorhandenen Datenaufkommens im Netz vorgenommen wird.⁴⁵⁶ HA ET AL. zielen mit dem TUBE-Ansatz, wobei TUBE für Time-dependent Usage-based Broadband price Engineering steht, auf die effiziente Nutzung der Ressourcen des Datenübertragungsdienstleisters, indem dieser durch eine dynamische zeitabhängige Bepreisung, dem sogenannten „Time Dependent Price“, nicht länger ausschließlich die Nutzungsintensität eines bestimmten Nutzers fokussiert, sondern den Zeitpunkt, zu dem die Datenübertragungsdienstleistung in Anspruch genommen wird, bei der Entgeltermittlung mitberücksichtigt.⁴⁵⁷ Um dies zu realisieren, ist eine bestimmte Anzahl an Preiszonen sowie die Dauer des Fixierungshorizonts \overline{PZ}^{Fix} zu definieren, sodass allen Nutzern für alle Preiszonen, die innerhalb des fixierten Zeitraums liegen, der Preis bekannt ist und für die erste Preiszone, die auf den Fixierungshorizont folgt, eine dynamische Anpassung des Preises auf Basis der in der Vergangenheit beobachteten Nutzungsintensität erfolgt. Die Anzahl der Preiszonen bestimmt somit die Dauer einer Preiszone bei gleichbleibender Länge des Fixierungshorizonts mit τ_{t,pz^+} als die Dauer von Zeitpunkt t bis zur nächsten Preiszone pz^+ . Wird bei dieser Vorgehensweise davon ausgegangen, dass die Summe der Dauer aller Preiszonen 24 Stunden ergibt, entspricht dieser Ansatz dem in der Systematisierung angeführten Day-ahead-Pricing-Ansatz von WONG/HA/CHIANG. Die Entgeltermittlung für Kunde c zum Zeitpunkt t erfolgt für die zum Zeitpunkt t gültige, beginnende Preiszone mit einem Preis $pr_t^{pz}(Q_{t-\overline{PZ}^{Fix}})$, der von der Summe der Einzelkundennachfragen und damit der Gesamtnachfrage $Q_{t-\overline{PZ}^{Fix}}$ abhängig ist, die innerhalb der Preiszone vor dem zurückliegenden Fixierungshorizont \overline{PZ}^{Fix} bestand, wie folgt:

$$\begin{aligned} \text{Entgelt}_{c,t}(q_{c,t}) &= q_{c,t} \cdot pr_t^{pz}(Q_{t-\overline{PZ}^{Fix}}) \\ \forall c &\in \{1, 2, \dots, C\}, t \in \{1, 2, \dots, T\} \end{aligned} \quad (7)$$

Da jedoch auch in diesem Falle nicht gänzlich auszuschließen ist, dass es ausschließlich zu einer Verlagerung der Stoßzeiten mit Kapazitätsengpass kommt, erfolgt im Zuge des z. B. von HENDERSON/CROWCROFT/BHATTI vorgestellten Congestion-Pricing-

⁴⁵⁶ Vgl. z. B. HENDERSON/CROWCROFT/BHATTI [Congestion Pricing] S. 86, SEN ET AL. [Pricing] S. 9

⁴⁵⁷ Vgl. f. HA ET AL. [TUBE] S. 1

Ansatzes eine unmittelbare Bepreisung der Daten, die bei Vorliegen eines Kapazitätsengpasses übertragen werden sollen, durch einen für eben diese Daten zusätzlich zu einer monatlich zu entrichtenden Bereitstellungsgebühr zu zahlenden nutzungsintensitätsabhängigen Tarifbestandteil.⁴⁵⁸ Die Idee dieses Ansatzes ist, dass die Grenzkosten für die Übertragung eines Datenpaketes so lange null sind, bis ein Kapazitätsengpass vorliegt und daher die Fixkosten durch die Bereitstellungsgebühr gedeckt sind. Sobald jedoch ein Kapazitätsengpass entsteht, verursacht dieser sogenannte „Staukosten“.⁴⁵⁹ Diese auch als Stauexternalität bezeichneten Kosten spiegeln die kurzfristigen, sozialen Grenzkosten wider, die durch eine zusätzliche zu übertragende Einheit innerhalb eines Netzwerks für alle anderen Teilnehmer durch z. B. QoS-Einbußen sowie den damit verbundenen Nutzenverlust entstehen.⁴⁶⁰ Sie können mit einem variablen Tarifbestandteils pr_{Stau} in einen Bepreisungsansatz eingebunden werden. Das Entgelt ist für den Fall, dass die die Staukosten berücksichtigende Tarifkomponente pr_{Stau} konstant und zeitunabhängig ist, wie folgt zu ermitteln

$$Entgelt_t(\dot{q}_t) = pr^G + \dot{q}_t \cdot pr_{Stau} \quad (8)$$

wenn \dot{q}_t als die Menge der in der Abrechnungsperiode t während eines Kapazitätsengpasses in Anspruch genommenen Datenübertragungsdienstleistung definiert ist. Ob ein Kapazitätsengpass tatsächlich bestanden hat, kann allerdings erst retrograd bestimmt werden. Somit kann dieser Ansatz nur dann einen Anreiz zur Verlagerung der Nachfrage nach Datenübertragungsdienstleistungen in die Zeiten, in denen keine Kapazitätsengpässe vorliegen, schaffen, wenn eine sehr kurzfristige Reaktionsfähigkeit der Nutzer gegeben ist. Denn nur bei einer permanenten Beobachtung der Netzauslastung sind diese – wenn überhaupt – in der Lage, potenzielle Engpässe zu erkennen und durch Anpassung ihres Nutzungsverhaltens auf diese zu reagieren und auf diese Weise eine gleichmäßigere Auslastung des Netzes ohne Kapazitätsengpass zu realisieren. Entsprechend wird an dieser Stelle im Zuge der Entgeltermittlung auch keine Differenzierung zwischen den Datenmengen, die über die Datenübertragungskapazitätsgrenze hinaus nicht übertragen werden können, und denen, die innerhalb der Kapazitätsgrenze liegen, vorgenommen, da der Nutzer im Moment des Anstoßens der Inanspruchnahme der Datenübertragungsdienste nicht über die Feingranularität in der Steuerung der nachgefragten Datenübertragungsdienstleistungen verfügt, die notwendig wäre, um just nur die Datenmenge nachzufragen, die noch ohne Verursachung

⁴⁵⁸ Vgl. f. HENDERSON/CROWCROFT/BHATTI [Congestion Pricing] S. 86

⁴⁵⁹ Vgl. KNEIPS [Netzökonomie] S. 5 sowie S. 41 ff.

⁴⁶⁰ Vgl. f. CAREY/SRINIVASAN [Externalities] S. 217 und COURCOUBETIS/WEBER [Pricing] S. 220 f. auch zu wohlfahrtstheoretischen, optimierten Staugebühren sowie KNEIPS [Netzökonomie] S. 41 f.

eines Kapazitätsengpasses gerade möglich wäre. Ferner würde dies dem Gedanken widersprechen, dass die Datenübertragungsnachfrage nur bei absolut zeitgleichem Auftreten zu Engpässen führt und entsprechend bei einer Betrachtung vieler Nutzer nicht abschließend geklärt werden kann, wessen Datenpakete für den Engpass verantwortlich sind.

COURCOUBETIS/SIRIS/STAMOULIS schlagen hingegen vor, die Preise für die Bandbreitenanspruchnahme für jeden Datenstrom zu dessen Beginn in Abhängigkeit der zu diesem Zeitpunkt vorliegenden Kapazitätsauslastung neu zu berechnen.⁴⁶¹ Wenn die Reaktionszeit der Nutzer jedoch derart kurzfristig sein muss, ist auch eine kurzfristige Preissetzung für die Staugebühr denkbar, sodass im Grenzfall die tatsächlich in dem jeweiligen Moment vorliegende Kapazitätsauslastung zur Bestimmung des für diesen Moment gültigen Preises heranzuziehen wäre. Um dies zu realisieren und gleichzeitig zu berücksichtigen, dass die Nutzer unterschiedliche Zahlungsbereitschaften besitzen, wird mit dem Ansatz von MACKIE-MASON/VARIAN, dem sogenannten Smart-Market-Ansatz, ein auktionsbasiertes Verfahren vorgestellt.⁴⁶² Dieses greift auf die Möglichkeit einer Integration zusätzlicher Informationen in den IP-Datenpaketen zurück, indem ein Gebots-Feld im IP-Header definiert wird, in dem jeder Nutzer für jedes Datenpaket ein individuelles Preisgebot abgeben kann. Bei dieser paketweisen Bepreisung wird im Zuge der Weiterleitung innerhalb des Netzwerks immer genau dann, wenn Kapazitätsengpässe vorliegen, eine Sortierung der Pakete gemäß der Höhe des im Gebotsfeld hinterlegten Gebots in aufsteigender Reihenfolge vorgenommen und die Netzwerkkapazität den Paketen mit den höchsten Geboten bereitgestellt. Die Staugebühr entspricht dabei dem marginalen Gebotswert, also der Gebotshöhe, die für das letzte noch übermittelte Paket angesetzt wird und gilt für alle übermittelten Pakete gleichermaßen. Die Staugebühr ist daher auch als der Clearing-Preis im Sinne des markträumenden Preises zu bezeichnen. Somit werden alle Pakete mit Geboten oberhalb des Clearing-Preises übermittelt. Die tatsächliche Gebotshöhe wird sich dementsprechend einerseits an der vom Nutzer für eine bestimmte Anwendung benötigten Dienstgüte orientieren und sich andererseits an der auf Erfahrungswerten basierenden, antizipierten Kapazitätsauslastung entsprechend der Tageszeit, ausrichten und wird daher die tatsächliche Zahlungsbereitschaft des jeweiligen Nutzers widerspiegeln.

Die Einführung eines solchen auktionsbasierten Preisfindungsverfahrens für die Staugebühr ist mit einer aufwendigen und damit kostenintensiven technischen Erweiterung der bestehenden Netzinfrastruktur sowohl auf der Protokollebene in Form von einer

⁴⁶¹ Vgl. COURCOUBETIS/SIRIS/STAMOULIS [Pricing] S. 644

⁴⁶² Vgl. ff. MACKIE-MASON/VARIAN [Pricing] S. 293 f.

Spezifikation des für die Gebote zu nutzenden Protokollfelds als auch in der Netzwerkhardware verbunden.⁴⁶³ Darüber hinaus muss eine Struktur zur Erfassung und anschließenden Abrechnung der von einem Nutzer abgegebenen Gebote aufgebaut werden. Neben diesen rein auf die Implementierungskosten bezogenen Bedenken wird ferner bemängelt, dass diese Bepreisungsform dazu führen kann, dass sich bei den Nutzern bestehende finanzielle Ungleichheiten auf die Nutzung von Datenübertragung ausdehnen können.⁴⁶⁴ Dies geschieht genau dann, wenn die Bepreisung zu einer Benachteiligung von Nutzern mit eingeschränkten finanziellen Möglichkeiten in einer Form führt, bei der die Übertragung von Daten bestimmter Anwendungen nicht mit einer hinreichenden Dienstgüte vorgesehen ist, weil sich einzelne oder mehrere Nutzer die zur Gewährleistung der Datenübertragung benötigte Gebotshöhe nicht leisten können.

Nachteilig ist, dass basierend auf diesem Verfahren keine spezifisch benötigte Dienstgüte garantiert werden kann, da ausschließlich eine auf dem abgegebenen Gebot basierende, relative Bevorzugung einzelner Datenpakete bei der Übermittlung realisiert wird.⁴⁶⁵ Erschwerend kommt hinzu, dass der Nutzer durch die Höhe seiner Gebote Nutzeneinbußen nicht ausschließen kann, da er nicht erfährt, welcher Verzögerung die übertragenen Daten ausgesetzt sein werden, wenn das Gebot unterhalb des Clearing-Preises liegt.⁴⁶⁶ Darüber hinaus sind bei der Ende-zu-Ende-Betrachtung der Dienstgüte gesonderte Gebote für alle Teilstrecken, die das Paket innerhalb des Netzwerks zurücklegt, nötig; um dies zu realisieren wären wiederum Kenntnisse über den Verlauf des Übertragungswegs erforderlich, verbunden mit einer zusätzlichen Komplexitätssteigerung. Letztere Problematik könnte vernachlässigt werden, wenn davon ausgegangen wird, dass ausschließlich im Anschlussnetz ein Engpass vorliegt. Problematisch bliebe jedoch die Übertragung von Daten, die zu Datenströmen gehören, da erst in der Gesamtbetrachtung der realisierten Dienstgüte eine Aussage über den wahrgenommenen Nutzen erfolgen kann. Eine Gebotsabgabe pro Datenpaket des Datenstroms kann jedoch nicht die vorhandenen Interdependenzen, die zwischen den einzelnen Paketen bestehen, berücksichtigen.

Sowohl COCCHI ET AL., MACKIE-MASON/VARIAN als auch SHENKER ET AL. gehen dementsprechend davon aus, dass die von den Anwendungen ausgehenden unterschiedlichen Anforderungen an die Datenübertragungsdienstleistung als Basis für eine

⁴⁶³ Vgl. f. FALKNER/DEVETSIKOTIS/LAMBADARI [Pricing] S. 7, MACKIE-MASON/VARIAN [Pricing] S. 295

⁴⁶⁴ Vgl. FALKNER/DEVETSIKOTIS/LAMBADARI [Pricing] S. 7, MACKIE-MASON/VARIAN [Pricing] S. 285

⁴⁶⁵ Vgl. MACKIE-MASON/VARIAN [Pricing] S. 282

⁴⁶⁶ Vgl. ff. SHENKER ET AL. [Pricing] S. 25

Bepreisung von spezifischen Dienstgüteanforderungen heranzuziehen sind.⁴⁶⁷ Eben dies wird im Folgenden anhand der Ansätze zur Leistungsdifferenzierung unter Rückgriff auf die identifizierten Dienstgüteanforderungen diskutiert.

3.2.4 Ausgewählte Ansätze mit differenzierter Dienstgüte zur leistungsabhängigen Preisdifferenzierung

3.2.4.1 Kennzeichnung des Paris Metro Pricing

Der Paris Metro Pricing-Ansatz zur Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistungen ist in seiner Basis-Version in Anlehnung an das in der Pariser U-Bahn bestehende Bepreisungsverfahren entwickelt worden.⁴⁶⁸ Bei diesem Ansatz wird die Gesamtkapazität in mindestens zwei verschiedene Teile, im Zuge der Datenübertragung wird von sogenannten Kanälen oder auch Klassen gesprochen, zerlegt. Innerhalb der jeweiligen Klassen werden die Datenpakete gleichberechtigt übermittelt, einzig der Preis, der für die Übermittlung pro Datenpaket erhoben wird, differiert von Klasse zu Klasse. Somit gilt für die Entgeltermittlung für den Fall, dass erneut eine für den jeweiligen Abrechnungszeitraum erhobene Bereitstellungsgebühr pr^G erhoben wird:

$$Entgelt_t(\cdot) = pr^G + \begin{pmatrix} pr_1 \\ \vdots \\ pr_s \end{pmatrix}^T \cdot \begin{pmatrix} q_{t,1} \\ \vdots \\ q_{t,s} \end{pmatrix} \quad (9)$$

mit $q_{t,s}$ als die Menge der Inanspruchnahme der s -ten Klasse und pr_s als den für die s -ten Klasse angesetzten Preis pro Mengeneinheit und damit $s \in \{1, 2, \dots, S\}$. Bei dieser statischen mengenbasierten Bepreisung werden die Nutzer einerseits entsprechend ihrer generellen Zahlungsbereitschaft differenziert, andererseits wird eine Differenzierung der innerhalb einer Klasse übermittelten Anwendungen erreicht, da davon auszugehen ist, dass für dienstgütekritische Anwendungen eine höhere Zahlungsbereitschaft besteht als für Anwendungen mit niedrigeren Dienstgüteanforderungen. Das heißt, dass ein Nutzer erwartet, dass die Dienstgüte für die günstigeren Klassen aufgrund der stärkeren Frequentierung niedriger ausfällt als für die teureren Klassen und somit eine Leistungsdifferenzierung realisiert wird.

⁴⁶⁷ Vgl. MACKIE-MASON/VARIAN [Pricing] S. 282, COCCHI ET AL. [Pricing] S. 616, SHENKER ET AL. [Pricing] S. 20 und 24

⁴⁶⁸ Vgl. ff. ODLYZKO [Paris Metro Pricing] S. 140. Bis Mitte der 80er Jahre wurden in der Pariser Metro zwei verschiedene Wagen-Klassen angeboten, die sich ausschließlich im Preis unterschieden; die Fahrten in der ersten Klasse waren doppelt so teuer wie die in der zweiten Klasse (vgl. f. ODLYZKO [Paris Metro Pricing] S. 140). Durch den Preisunterschied wurde erreicht, dass die Wagen der ersten Klasse eine geringere Belegung vorwies als die der zweiten.

Die Bepreisungsform gilt als selbstregulierend, da für den Fall, dass die gewählte teurere Klasse keine zufriedenstellende Dienstgüte gewährleistet, ein Teil der Nutzer nicht länger gewillt sein wird, den teureren Preis zu zahlen, sondern zukünftig eine andere Klasse mit differierendem Preis für die Datenübertragung wählen wird.⁴⁶⁹ Ob diese zukünftig gewählte Klasse die nächst teurere ist – sofern mehr als zwei Klassen existieren – oder ob die nächst günstigere Klasse gewählt wird, hängt von der individuellen Zahlungsbereitschaft des Nutzers – und damit von der Anwendung, die in Anspruch genommen werden soll – sowie von der vom Nutzer für die anderen Klassen erwarteten Dienstgüte ab. Mit Paris Metro Pricing werden folglich zwar keine fixierten Dienstgüteversprechen an die einzelnen angebotenen Klassen geknüpft, jedoch kann von einer für die jeweilige Klasse erwarteten Dienstgüte ausgegangen werden, sodass eine Leistungsdifferenzierung realisiert wird.

Ein zentraler Kritikpunkt am Paris-Metro-Pricing-Ansatz besteht darin, dass er in seiner ursprünglichen Form eine strikte Trennung der Klassen voneinander vornimmt, sodass die aus dem Multiplexing der Pakete resultierenden Vorteile teilweise verloren gehen, wenn in einzelnen Klassen Kapazitäten nicht ausgeschöpft werden, in anderen jedoch ein oder mehrere Kapazitätsengpässe auftreten.⁴⁷⁰ Dementsprechend sollte die gewählte Klassenanzahl klein sein, um derartige Verluste zu minimieren.⁴⁷¹ Die technische Realisierung geht mit einer Erweiterung dieses Bepreisungsansatzes um QoS-Parameter einher und wird folgend vorgestellt.

3.2.4.2 Ansätze zur Bepreisung von Quality-of-Service-Leveln

Eine Leistungsdifferenzierung für Datenübertragungsdienste erfolgt aufgrund des Fehlens anderer Parameter bisher meist in Abhängigkeit der Bandbreite.⁴⁷² Im Gegensatz zu dem von ODLYZKO vorgeschlagenen Paris-Metro-Pricing-Ansatz, greifen die Priority-Pricing-Ansätze auf die im Zuge der Grundlagen identifizierten Möglichkeiten zur Ausgestaltung einer differenzierten Dienstgüte für unterschiedliche Anwendungen zurück, indem der Nutzer entscheiden kann, welches Dienstgütelevel er in Anspruch nehmen will.⁴⁷³ COCCHI ET AL. zeigen jedoch, dass die Leistungsdifferenzierung zwingend mit einer Preisdifferenzierung, also einer vergleichbar zu der beim Paris Metro Pricing vorgeschlagenen Staffelung der Preise – mit höheren Preisen für eine höhere Dienstgüte – zu verbinden ist, da andernfalls keine Incentivierung der Kunden zur Nutzung

⁴⁶⁹ Vgl. ff. ODLYZKO [Paris Metro Pricing] S. 140 f.

⁴⁷⁰ Vgl. ODLYZKO [Paris Metro Pricing] S. 140

⁴⁷¹ Vgl. KOSKINEN [PMP] S. 2, ODLYZKO [Paris Metro Pricing] S. 141

⁴⁷² Vgl. DASILVA [Pricing] S. 3

⁴⁷³ Vgl. FALKNER/DEVETSIKIOTIS/LAMBADARI [Pricing] S. 5

von Datenübertragungsdienstleistungen mit einer niedrigeren Dienstgüte als der maximal verfügbaren erfolgen kann.⁴⁷⁴ Es wird also davon ausgegangen, dass, wenn keine Preisdifferenzierung existiert, alle Nutzer stets bestrebt sein werden, das höchste QoS-Level in Anspruch zu nehmen. Andererseits zeigen COCCHI ET AL. jedoch auch, dass für die Bepreisung priorisierter Datenübertragung immer ein Preis vom Anbieter gewählt werden kann, der so ausgestaltet ist, dass der Gesamtnutzen der Nutzer über dem Gesamtnutzen bei einer Flatrate-Bepreisung liegt.

Bei Priority-Pricing-Ansätzen legt der Nutzer mittels Markierung der Datenpakete im IP-Header ein bestimmtes, gewünschtes Dienstgütelevel fest.⁴⁷⁵ In dem von BORELLA/UPADHYAY/SIDHU vorgeschlagenen statischen, mengenbasierten Bepreisungsmodell werden drei Prioritätslevel definiert, jedoch lässt sich ein solches Bepreisungsmodell ohne Weiteres auf eine endliche Anzahl an Servicelevel ausdehnen, sofern die Prämisse $pr_1 < pr_2 < \dots < pr_s$ mit dem Preis pr_s für das s -te Servicelevel gelte. Für die Dienstgüte d_s von Servicelevel $s \in \{1, 2, \dots, S\}$ sei $d_1 < d_2 < \dots < d_s$, wenn mit steigendem d -Wert die Dienstgüte zunehme. Das Entgelt ermittelt sich analog zu der für das Paris-Metro-Pricing festgehaltenen Formel, sofern auch in diesem Fall von einer Grundgebühr ausgegangen wird. Deshalb weist ODLYZKO bereits darauf hin, dass auf einer High-Level-Betrachtung eine Bepreisung unterschiedlicher QoS-Level, technisch mittels DiffServ⁴⁷⁶ umgesetzt, mit der Paris-Metro-Bepreisung gleichzusetzen ist.⁴⁷⁷ Auch MARBACH greift bei der spieltheoretischen Analyse priorisierter Datenübertragung bei einer Single-Link-Betrachtung auf eine solche statische Bepreisung unterschiedlicher Dienstgütelevel zurück und zeigt, dass immer mindestens ein Gleichgewicht existiert, in dem die Nutzer ihren Benefit maximieren und darüber hinaus der Paketverlust bei bekannten Puffergrößen als Funktion der mit den jeweiligen Prioritätsklassen verbundenen Preisen abbildbar ist.⁴⁷⁸

Neben der statischen Bepreisung priorisierter Weiterleitung ist auch die Verbindung einer dynamischen Bepreisung mit einer basierend auf DiffServ realisierten Priorisierung von Datenpaketen bei Kapazitätsengpässen möglich, sodass die Preise pro

⁴⁷⁴ Vgl. ff. COCCHI ET AL. [Priority Pricing] S. 123 ff.

⁴⁷⁵ Vgl. f. BORELLA/UPADHYAY/SIDHU [Pricing DiffServ] S. 279, COCCHI ET AL. [Pricing] S. 618

⁴⁷⁶ Vgl. Kapitel 2.3.2

⁴⁷⁷ Vgl. ODLYZKO [Paris Metro Pricing] S. 141, vgl. zur Analyse verschiedener Bedienstrategien und Schlängensysteme bezüglich deren Eignung zur Gewinnmaximierung HAYEL/TUFFIN [Pricing] S. 907 ff., die den Fall des „Discriminatory Processor Sharing“ betrachten oder HAYEL/ROSS/TUFFIN [Pricing] S. 1 ff., die den Fall der strikten Priorisierung und des Weighted Fair Queuing, das als Ausprägung des General Processor Sharing auf Paketebene gilt, untersuchen und feststellen, dass strikte Priorisierung die höchsten Umsätze für den Fall von dienstgütesensitiven Nutzern generiert.

⁴⁷⁸ Vgl. MARBACH [Static Priority] S. 312 ff.

Mengeneinheit nicht länger fixiert sind, sondern analog zu der für den ausschließlich dynamischen Bepreisungsansatz beschriebenen Bepreisung abhängig vom Datenaufkommen sind, um eine parallele Optimierung der Ressourcennutzung und der Servicequalität zu erreichen, stets mit dem übergeordneten Ziel der Erlösmaximierung.⁴⁷⁹ YUKSEL/KALYANARAMAN fokussieren in dem von ihnen vorgestellten Ansatz zwar in erster Linie die technische Realisierbarkeit der Priorisierung in einer DiffServ-Domain, stellen jedoch mit dem „Dynamic Capacity Contracting“ einen Bepreisungsansatz vor, bei dem der Nutzer kurzlaufende Verträge mit festgelegten Dienstgüteparametern abschließt.⁴⁸⁰ Im Rahmen dieser Bepreisung findet entsprechend der aktuellen Netzauslastung eine fortwährende Anpassung der Preise statt, die jedoch nicht während der Vertragsdauer an den Nutzer weitergegeben wird, sondern erst bei Abschluss eines neuen Vertrages mit erneut kurzer Laufzeit variiert werden kann. Unter der Annahme, dass fortwährend mit unterschiedlichen Nutzern kurzlaufende Verträge geschlossen werden, variiert der Preis dementsprechend kontinuierlich, sodass insgesamt die anvisierte Steuerungswirkung des Preises genutzt werden kann, um Kapazitätsengpässe zu vermeiden und den Nutzern gleichzeitig die von ihnen präferierte Sicherheit im Sinne einer transparenten Entgeltberechnung zumindest grundlegend zu gewährleisten.

OZIANYI/VENTURA/GOLOVINS schlagen hingegen vor, die unterschiedlichen Zahlungsbereitschaften durch das Bilden von drei verschiedenen Vertragsprofilen zur Differenzierung der Gesamtkunden in Kundengruppen zu nutzen.⁴⁸¹ Die Vertragsprofile unterscheiden sich wiederum hinsichtlich der dem jeweiligen Nutzungsprofil zugewiesenen Dienstklasse sowie des profilspezifischen Preises pro Mengeneinheit bzw. Nutzungsdauer bei bestehenden Kapazitätsengpässen. Die jeweiligen Preise wiederum sind dynamisch ausgestaltet und variieren in Abhängigkeit der über alle Nutzungsprofile hinweg betrachteten Gesamtkapazitätsauslastung. Um zusätzlich eine Optimierung der Ressourcennutzung zu gewährleisten, die alle Nutzergruppen gemeinsam in Anspruch nehmen, und ferner eine Benachteiligung niedrigerer Dienstgütelevel auszuschließen, wird in diesem Bepreisungsansatz eine Bedienstrategie gewählt, bei der eine Vererbung der ungenutzten Kapazitäten höherer Prioritätslevel an die Nutzer der niedrigeren Level mit günstigeren Vertragsprofilen vorgesehen ist.

⁴⁷⁹ Vgl. zur Übersicht GIZELIS/VERGADOS [Pricing] S. 132. Vgl. z. B. GUPTA/STAHL/WHINSTON [Priority Pricing] S. 71 ff., JIN/JORDAN [Priority Pricing] S. 1001 ff. oder auch z. B. YUKSEL/KALYANARAMAN [Pricing] S. 198 ff., die solche Verfahren vorstellen.

⁴⁸⁰ Vgl. f. YUKSEL/KALYANARAMAN [Pricing] S. 199

⁴⁸¹ Vgl. ff. OZIANYI/VENTURA/GOLOVINS [Pricing] S. 1437 f.

Einen anderen Ansatz zur Sicherung von QoS bei Kapazitätsengpässen verfolgt CLARK mit seinem Expected-Capacity-Pricing-Ansatz, der auf vom Nutzer zu spezifizierenden erwarteten Kapazitätsbedarfen bei Kapazitätsengpässen zurückgreift.⁴⁸² Hierbei erfolgt eine Abkehr von der ex-post-Entgeltermittlung in Abhängigkeit von der in der Vergangenheit realisierten Nutzung, an deren Stelle eine ex-ante-Bepreisung der Erwartungen tritt. Dass dieser Ansatz ebenfalls den QoS-Level-basierten Bepreisungsansätzen zugeschrieben wird, resultiert aus der Annahme, dass durch die Reservierung ausreichender Kapazitäten gemäß Resource Reservation Protocol ein bestimmtes, individuelles und damit statisches Dienstgütelevel für den jeweiligen Nutzer vorgehalten werden kann.⁴⁸³ Darüber hinaus ist bei diesem Bepreisungsmodell vorgesehen, dass die Daten, die über die vorab vereinbarte Kapazität hinaus verschickt werden sollen, nachrangig behandelt werden.

Vergleichbares wird auch explizit mit den sogenannten Effective-Bandwidth-Ansätzen verfolgt, die auf einer a-priori-Schätzung der Charakteristika des Datenverkehrs mittels zweier Parameter⁴⁸⁴ basieren, die zur Berechnung der effektiv benötigten Bandbreite herangezogen werden und die Auskunft über die erforderliche Dienstgüte geben.⁴⁸⁵ Das Entgelt resultiert bei diesen Ansätzen aus der Multiplikation des in Abhängigkeit der effektiven Bandbreite ermittelten Preises mit der übertragenen Datenmenge bzw. der Dauer der Übertragung.⁴⁸⁶ Alternativ ist basierend auf diesen Parametern auch eine Bepreisung von differenzierten Dienstgüteleveln möglich, so wie dies z. B. von BAILEY/NAGEL/RAGHAVAN vorgestellt wird, die diesen Parameter jeweils für die innerhalb einer Klasse übermittelten Daten erheben und zur Bepreisung heranziehen.⁴⁸⁷ Zwar wird der Preis in beiden Fällen gemäß der aktuellen Anforderungen an die Datenübertragungsdienstleistung bestimmt, ist jedoch letztlich statisch, wenn davon ausgegangen wird, dass der Preis nicht von der aktuellen Netzauslastung abhängt. PAN ET AL. erweitern die Ansätze, die auf einer Schätzung basieren, wiederum um Strafzahlungen, um zu verhindern, dass der Nutzer seinen Kapazitätsbedarf bei der

⁴⁸² Vgl. f. CLARK [Expected Capacity] S. 228

⁴⁸³ Vgl. f. FALKNER/DEVETSIKIOTIS/LAMBADARI [Pricing] S. 8, STILLER ET AL. [Cumulus] S. 7. Vgl. auch ROBERTS [Internet Traffic] S. 1394, der diese Art der Bepreisung ebenfalls zu den QoS-garantierenden Modellen zählt.

⁴⁸⁴ Die Burstiness sowie die Peak-Rate dienen als Kennzahlen, um die effektive Bandbreite der Datenströme zu bestimmen (vgl. z. B. ELWALID/MITRA [Effective Bandwidth] S. 329 und BAILEY/NAGEL/RAGHAVAN [Charging] S. 67 f.).

⁴⁸⁵ Vgl. KELLY [Effective Bandwidth] S. 1 ff., COURCOUBETIS/WEBER [Pricing] S. 102 f. sowie zur Ermittlung der Effective Bandwidth z. B. KELLY [Multi-Class Queues] S. 5 ff.

⁴⁸⁶ Vgl. SEN ET AL. [Pricing] S. 15:23

⁴⁸⁷ Vgl. BAILEY/NAGEL/RAGHAVAN [Charging] S. 74 f.

Reservierung systematisch überschätzt.⁴⁸⁸ Denn auch wenn diese Überschätzung nicht dazu beiträgt, dass zugesicherte Dienstgütelevel nicht eingehalten werden können, so verhindert der Nutzer gleichwohl, dass eine optimale Nutzung der bestehenden Ressourcen und damit eine Erhöhung der Umsätze des Datenübertragungsdienstleistungsanbieters realisiert werden kann.⁴⁸⁹ Die Strafzahlungen dienen folglich zur Deckung der Opportunitätskosten resultierend aus den aufgrund überhöhter Schätzung des Ressourcenbedarfs ungenutzten Kapazitäten. Die Strafzahlungen wiederum führen zu einer Kombination einer a-posteriori- mit einer a-priori-Bepreisung und erhöhen damit die Unsicherheit des Nutzers, von dem darüber hinaus eine hohe technische Kenntnis über die Transformation der Dienstgüteanforderungen in die verwendeten Dienstgüteparameter und deren Wirkung auf die effektive Bandbreite verlangt wird.

DI SORTE/FEMMINELLA/REALI greifen bei der Bepreisung auf einen einzigen Parameter, den sogenannten „virtual Delay“ zurück, der die Charakteristika von IP-Datenverkehr in einer einzigen Spitzenkennzahl bündelt.⁴⁹⁰ Mit dieser Kennzahl soll eine äußerst feingranulare Bepreisung verschiedenster Dienstgüteanforderungen realisiert werden, indem die beim Effective-Bandwidth-Ansatz bestehende Vernachlässigung einzelner QoS-Parameter sowie dessen Inflexibilität bezüglich der Gewichtung der einbezogenen Parameter aufgehoben und darüber hinaus durch die Bündelung in einer Spitzenkennzahl eine geringere Komplexität und damit eine verbesserte Handhabbarkeit für den Endnutzer erreicht werden soll. Die für die jeweilige Datenübertragung benötigte Dienstgüte und die diese Dienstgüte reflektierende Spitzenkennzahl gilt es in einer bilateralen Verhandlung zwischen dem Datenübertragungsanbieter und dem Nutzer für den jeweiligen Datenstrom festzulegen, sodass in diesem Fall erneut Verträge mit kurzen Laufzeiten zu schließen sind. Die Bepreisung erfolgt durch Multiplikation der in Anspruch genommenen Menge sowie der Dauer der Inanspruchnahme jeweils mit dem für diese Dienstgüte festgelegten Preis, der als direkt von der Spitzenkennzahl abhängige Funktion definiert ist. DI SORTE/FEMMINELLA/REALI beziehen darüber hinaus auch die Wechselwirkungen zwischen der aktuellen Kapazitätsauslastung und dem geforderten QoS-Level mit in die Bepreisung ein, indem eine Neuberechnung der Spitzenkennzahl in Abhängigkeit der aktuellen Kapazitätsauslastung erfolgt und damit eine indirekte Beeinflussung des Preises realisiert wird.

⁴⁸⁸ Vgl. PAN ET AL. [Pricing] S. 228 sowie ROBERTS [Internet Traffic] S. 1395, der zur systematischen Überschätzung schreibt: "The fact that users systematically overestimate the traffic parameters for tunnels obliges providers to overbook resources, negating the very notion of QoS guarantee in any real sense" und der damit die Alternative zu den Strafzahlungen in Form von Überbuchungen aufzeigt, womit jedoch eine Abkehr von dem Dienstgüteversprechen einherginge.

⁴⁸⁹ Vgl. PAN ET AL. [Pricing] S. 228

⁴⁹⁰ Vgl. ff. DI SORTE/FEMMINELLA/REALI [Charge] S. 279 ff.

Vergleichbar zu den vorangehenden Bepreisungsansätzen greift auch der von STILLER ET AL. vorgestellte Cumulus-Pricing-Ansatz zunächst auf aus einer Verhandlung hervorgehende vertraglich fixierte Verkehrscharakteristika zurück, die die vom Nutzer erwartete Kapazitätsanspruchnahme widerspiegeln sollen, legt jedoch eine Flatrate-Bepreisung für eben diese Parameter fest.⁴⁹¹ Innerhalb des Zeitraums, für den der Vertrag gültig ist, werden die Nutzungsintensität und die Einhaltung der festgelegten Charakteristika kontinuierlich überwacht und zur Verhinderung von Informationsasymmetrien gleichermaßen an den Nutzer und den Datenübertragungsdienstleister berichtet. Finden Überschreitungen statt, wird dies so lange toleriert, bis innerhalb eines bestimmten Zeitraums, z. B. eines Monats, ein ebenfalls vorab zu definierender Schwellenwert erreicht ist. Bei Überschreitung ist der gesamte Vertrag zwischen den beiden Vertragsparteien neu zu verhandeln, sodass eine kontinuierliche Anpassung der Verträge an die sich mit der Zeit potenziell verändernde, kundenseitige Inanspruchnahme der Datenübertragungsdienstleistung stattfindet. Im Zuge der Neuverhandlung ist eine Anpassung der Preise unter Berücksichtigung der potenziell auch von allen anderen Nutzern veränderten Nutzungsstrukturen und der daraus resultierenden neuen Kapazitätsauslastungssituation und der damit einhergehenden Kapazitätsengpässe möglich.

Zu den dynamischen Bepreisungsverfahren, die ebenfalls eine Leistungsdifferenzierung mit unterschiedlichen Dienstgütelevel erreichen, zählen auch verschiedene auktionsbasierte Ansätze.⁴⁹² Zu diesen gehört der sogenannte Smart-Market-Ansatz, der ein Gebotsverfahren nutzt, um die knappen Ressourcen auf die Nutzer zu verteilen.⁴⁹³ Die auktionsbasierten Ansätze zeichnen sich im Gegensatz zu den auf Nutzungsprofilanalysen basierenden Ansätzen, so wie dies auch bereits im Rahmen der Preisdifferenzierung festgestellt wurde, vergleichbar zu dem Cumulus-Pricing-Ansatz durch eine hohe Preisindividualisierung aus, wenn der Datenübertragungsdienstleistungsanbieter direkt mit dem jeweiligen Nutzer im Biet-Prozess interagiert. Da jedoch nicht ein bestimmtes optimales Auktionsverfahren existiert, sondern eine Anpassung an die jeweiligen Gegebenheiten des zu versteigernden Objekts vorzunehmen ist,⁴⁹⁴ wird beispielhaft die Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistungen basierend auf einem sogenannten Multi-Item-Auctions-Ansatz aufgezeigt. Auktionen, die auf dem Ansatz

⁴⁹¹ Vgl. ff. STILLER ET AL. [Cumulus] S. 8 ff., REICHL ET AL. [Cumulus] S. 2079 ff., die auf gängige QoS-Parameter zurückgreifen.

⁴⁹² Vgl. z. B. SEMRET ET AL. [Pricing] S. 2499 ff. sowie zur Übersicht COURCOUBETIS/WE-BER [Pricing] S. 309 ff., GIZELIS/VERGADOS [Pricing] S. 144, KNEIPS [Netzökonomie] S. 101 ff.

⁴⁹³ Vgl. f. COURCOUBETIS/WEBER [Pricing] S. 309, GIZELIS/VERGADOS [Pricing] S. 129, KNEIPS [Netzökonomie] S. 101

⁴⁹⁴ Vgl. KLEMPERER [Auctions] S. 187

beruhen, sind für die Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistungen von besonderer Bedeutung, da sie die Verteilung einer bestimmten Anzahl an Gegenständen auf Bietende ermöglichen. Auf die Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistungen bedeutet dies, dass diese Auktionsansätze z. B. zur Verteilung der bestehenden Kapazität – mit jeder Kapazitätseinheit als ein zu versteigernder Gegenstand – herangezogen werden können und damit Vergleichbares zum Smart-Market-Ansatz erreichen.⁴⁹⁵

Der von SEMRET ET AL. vorgestellte dynamische Bepreisungsansatz basiert auf drei mittels Differentiated Services realisierten Dienstgüteleveln und greift auf einen Progressive-Second-Price-Auction-Ansatz zurück, bei dem der Nutzer ein zweidimensionales Gebot für eines der drei Dienstgütelevel platziert, das Informationen über den Preis (1. Dimension) und die gewünschte Kapazität (2. Dimension) in diesem Dienstgütelevel beinhaltet.⁴⁹⁶ Der vorgeschlagene Auktionsmechanismus greift auf eine generalisierte Form des auch als Vickrey-Auktion bekannten Zweithöchstpreisauktionsmechanismus zurück, bei dem alle potenziellen Käufer parallel verdeckt Gebote abgeben und derjenige den Zuschlag erhält, der den höchsten Preis bietet, jedoch nur den Preis zahlen muss, der mit dem zweithöchsten Gebot abgegeben wurde.⁴⁹⁷ Da sich die abgegebenen Gebote auch bezüglich der gewünschten in Anspruch zu nehmenden Kapazitäten unterscheiden, resultiert der vom Höchstbietenden zu zahlende Preis für die von ihm ersteigerte Kapazität aus der Summe der entgangenen Entgelte, die für die vom Höchstbietenden nachgefragte Kapazität mit den niedrigeren Geboten hätte erwirtschaftet werden können.⁴⁹⁸ Die auf dieser Basis ermittelte Ressourcenallokation wird an die Nutzer kommuniziert, woraufhin diese ihre Gebote anpassen können; dies gilt es solange zu wiederholen, bis alle Nutzer zustimmen und ein Gleichgewichtszustand erreicht wird, in dem die Nutzer entsprechend ihrer Zahlungsbereitschaft den maximalen Nutzen aus den ihnen bei der Auktion zugesprochenen Ressourcen ziehen. Dieses Vorgehen hat jedoch zur Folge, dass im Zuge des iterativen Prozesses wiederholt der Austausch von Daten erforderlich ist und ein sogenannter „Overhead-Datenverkehr“ entsteht, der das Netz zusätzlich auslastet und zu einer weiteren Verknappung der Ressourcen führt und ferner Zeit zur Findung des Gleichgewichtspreises verstreicht.⁴⁹⁹ MAILLÉ/TUFFIN zeigen wiederum die Vorteilhaftigkeit dieses Mechanismus für die wohlfahrtsmaximierende Ressourcenallokation von Daten-

⁴⁹⁵ Vgl. zu Multi-Item-Auctions DEMANGE/GALE/SOTOMAYOR [Multi-Item] S. 863 ff.

⁴⁹⁶ Vgl. SEMRET ET AL. [Pricing] S. 2499 ff.

⁴⁹⁷ Vgl. SEMRET ET AL. [Pricing] S. 2504, KNEIPS [Netzökonomie] S. 104 und zur Übersicht über die Zweithöchstpreisauktion VICKREY [Auction] S. 20 f.

⁴⁹⁸ Vgl. f. LAZAR/SEMRET [Second Price Auction] S. 2, SEMRET ET AL. [Pricing] S. 2504

⁴⁹⁹ Vgl. f. MAILLÉ/TUFFIN [Multi-Bid] S. 1 ff.

übertragungskapazitäten und ersetzen darüber hinaus den iterativen Prozess durch eine einstufige Multi-Bid-Auktion zur Verminderung des Overhead-Datenverkehrs sowie zur Verkürzung des zur Preisfindung notwendigen Zeitintervalls und erhöhen auf diese Weise die Effizienz des Bepreisungsansatzes.

JAIN/WALRAND hingegen fokussieren eine spieltheoretische Analyse eines auf dem Vickrey-Clarke-Grove-Mechanismus beruhenden Ansatzes, der einer verallgemeinerten Variante des Vickrey-Auction-Ansatzes entspricht und für quasilineare Nutzenfunktionen eine wahrheitsgemäße Angabe der Nutzungspräferenzen fördert, da für diesen Fall eine Maximierung des jeweiligen Nutzens erreicht wird.⁵⁰⁰ ROTHKOPF zeigt jedoch ausführlich, dass gerade eine Realisierung letztgenannter Ansätze gänzlich inpraktikabel ist.⁵⁰¹ Im Zuge der Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistungen wird insbesondere die Kurzfristigkeit der Preissetzung der auktions- und der verhandlungsbasierten Verfahren kritisch beurteilt. Diese Kurzfristigkeit kann mit dem folgend vorgestellten Ansatz zur Leistungsdifferenzierung umgegangen werden.

3.2.4.3 Anwendungsabhängige Bepreisung zur Leistungsdifferenzierung

Die Idee einer anwendungsabhängigen Bepreisung resultiert direkt aus dem bereits in Kapitel 2.2 festgehaltenen Zusammenhang zwischen der Anwendung und der von dieser benötigten Dienstgüte, die zur Befriedigung der Bedürfnisse des Nutzers erforderlich ist. Mit der anwendungsabhängigen Bepreisung findet ein Paradigmenwechsel gegenüber den vorangehend vorgestellten Ansätzen statt, bei denen die kundenseitig entsprechend der gewünschten Dienstgüte festzulegenden QoS-Parameter zur Bepreisung herangezogen wurden. Bei der anwendungsabhängigen Bepreisung erfolgt hingegen eine indirekte Bestimmung der Dienstgüteparameter basierend auf einer mittels des unter „Deep Packet Inspection“ bekannt gewordenen Payload-Based-Verkehrsklassifizierungs-Ansatzes realisierten Identifizierung der Art der Anwendung, für die sodann die der speziellen Anwendung immanenten Dienstgüteanforderungen in QoS-Parameter überführt werden können.⁵⁰² So ist z. B. eine Verbindung mit dem Effective-Bandwidth-Bepreisungsansatz denkbar, wenn die von der Anwendung erforderliche Dienstgüte, unter Zugrundelegung der durchschnittlichen Datenübertragungs-

⁵⁰⁰ Vgl. HERSHBERGER/SURI [Vickrey] S. 252 ff., VARIAN [Mikroökonomik] S. 793 ff. Vgl. zur umfassenden Übersicht über netzwerkspezifische spieltheoretische Modelle sowie potenzielle Ansätze zur Gleichgewichtsfindung ALTMAN ET AL. [games in telecommunication] S. 286 ff.

⁵⁰¹ ROTHKOPF [VCG] S. 191 ff.

⁵⁰² Vgl. zur Identifikation der Anwendungsart eines Datenpakets mittels „Deep Packet Inspection“ in Echtzeit sowie der daraus resultierenden Möglichkeiten zur differenzierten Datenübertragung z. B. BENDRATH/MUELLER [Deep Packet Inspection] S. 1142 ff.

charakteristika einer Anwendung, als Effektive Bandwidth ausgewiesen und eben diese zur Bestimmung der Preise für die Datenübertragung herangezogen wird.⁵⁰³ Gleiches ist auch für die übrigen Verfahren, mittels derer die QoS-Anforderungen definiert werden, realisierbar. Bei diesen Ansätzen wäre die QoS-Bepreisung direkt an die Eigenschaften des Datenverkehrs einer Anwendung gekoppelt und ließe sich sowohl dynamisch als auch statisch ausgestalten. Alternativ ist auch eine Koppelung des Priority-Pricing-Ansatzes an die anwendungsspezifische Bepreisung denkbar, indem zuvor definierten Anwendungsklassen, in denen die Anwendungen mit ähnlichen Anforderungsprofilen zusammengefasst sind, unterschiedliche Prioritätslevel zugewiesen werden, die wiederum die jeweils erforderliche Dienstgüte sicherstellen sollen. In diesem Fall kann der Payload-Based-Verkehrsklassifizierungs-Ansatz herangezogen werden, um die Datenpakete hinsichtlich der zugrundeliegenden Anwendung zu analysieren und um den Datenpaketen das für die identifizierte Anwendung zur Erfüllung der an die Dienstgüte gestellten Anforderungen definierte Prioritätslevel zuzuweisen. Dies hat den positiven Effekt, dass der Datenoverhead verringert wird, da kein gesonderter Ausweis der benötigten Prioritätsklasse im Datenpaketheader notwendig ist.

Endkundenseitig kommt bereits eine statische anwendungsabhängige Bepreisung bei Verizon und der Deutsche Telekom AG zur Anwendung. Beide schließen die Nutzung ausgewählter Anwendungen aus und blockieren Daten dieser Anwendungen bzw. Dienste, sodass Nutzer, die diese Dienste in Anspruch nehmen möchten, gezwungen sind, einen Vertrag in Anspruch zu nehmen, bei dem das zu entrichtende Entgelt höher ausfällt, als bei einem Vertrag, der die Dienstnutzung ausschließt.⁵⁰⁴ Darüber hinaus kommen weitere Tarife zum Einsatz, die einzelne Anwendungen subventionieren, indem die Datenmengen, die aus der Nutzung der subventionierten Anwendung resultieren, im Rahmen eines Tarifs, der die Nutzungsintensität berücksichtigt, nicht in die Entgeltermittlung einbezogen werden.⁵⁰⁵

⁵⁰³ Vgl. COURCOUBETIS/WEBER [Pricing] S. 102, vgl. zur Entwicklung der Analysemöglichkeiten von Datenpaketinhalten z. B. DAINOTTI/PESCAPE/CLAFFY [Traffic Classification] S. 35 ff.

⁵⁰⁴ So schließt die Deutsche Telekom AG in einzelnen Mobilfunk-Datentarifen eine Nutzung von Voice-over-IP-Diensten explizit aus (vgl. BUNDESNETZAGENTUR [Stellungnahme] S. 9).

⁵⁰⁵ Vgl. SEN ET AL. [Time-Shifting] S. 95 sowie z. B. die Antwort der Deutsche Telekom AG auf Fragen der Bundesnetzagentur DEUTSCHE TELEKOM AG [Antwort 1] S. 2. Vgl. auch CISCO INTERNET BUSINESS SOLUTIONS GROUP [Pricing] S. 19, die aus weiteren Ländern eben solche Tarife vorstellen. Auf dem deutschen Markt wurde diese Tarifart, bei der die Deutsche Telekom die Nutzung des Dienstes Spotify subventionierte, bereits wieder zurückgenommen. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Zurücknahme dieser Tarife auf die mit diesem Tarif einhergehende, direkt ersichtliche Aufhebung der Netzneutralität zurückzuführen ist, für die die Deutsche Telekom AG in der Kritik stand.

Während die beiden vorangehend dargestellten, eingesetzten Varianten keine QoS-Level berücksichtigen, wird auch bereits eine direkte Priorisierung von Datenpaketen praktiziert. Die Deutsche Telekom AG leitet beispielsweise die Datenpakete des eigenen T-Entertain-Angebots sowie die Datenpakete des eigenen Voice-over-IP-Angebots vorrangig weiter, um zu verhindern, dass die Bedürfnisse der eigenen Nutzer nicht befriedigt werden können; die Priorisierung dieser Inhalte wird jedoch nicht an den Nutzer kommuniziert, sondern ist in dem für die Nutzung der Anwendung zu entrichtenden Betrag inkludiert.⁵⁰⁶ Dementsprechend handelt es sich erneut um Flatrate-Tarife für die Nutzung von priorisierten Anwendungen, die weiterhin mit den bereits identifizierten Herausforderungen der Flatrate-Tarife behaftet sind.

Denkbar ist dementsprechend für diese Tarife sowohl eine anwendungsspezifische Dienstgütesicherung als auch eine dynamische Bepreisung, sodass mit diesen neuen Tarifen eine Annäherung an die bereits für die QoS-Level-Bepreisung vorgestellten Tarife, insbesondere den Priority-Pricing-Ansatz mit priorisierter Datenübertragung mittels DiffServ, stattfindet. Die gewählten Ansätze unterscheiden sich jedoch hinsichtlich der Art, wie die benötigten Dienstgüteparameter bestimmt werden und wie die Dienstgüte gesichert wird. Insgesamt scheint jedoch insbesondere die anwendungsabhängige Bepreisung, bei der die Dienstgüte berücksichtigt wird, geeignet, da dieser Ansatz kein umfangreiches technisches Hintergrundwissen des Endkunden erfordert. Aus diesem Grund wird folgend eine Weiterentwicklung dieser anwendungsabhängigen Bepreisungsansätze angestrebt.

3.3 Entwicklungen einer Bepreisung priorisierter Datenübertragung für Endkunden

3.3.1 Einschränkung der Dienstgüte nach Ausschöpfung eines Kontingents

Die bereits im Zuge der Systematisierung bestehender Tarife zur nachfrageabhängigen Bepreisung vorgestellte Möglichkeit der Kontingentierung der in einer Abrechnungsperiode maximal nutzbaren Datenmenge ist auch durch die Verminderung der zur Verfügung gestellten Dienstgüte denkbar.⁵⁰⁷ Eine Drosselung der Datenübertragungsraten aller Datenpakete, die der Nutzer sendet bzw. empfängt, nachdem dieser

⁵⁰⁶ Vgl. BUNDESNETZAGENTUR [Abschlussbericht] S. 6 ff. und DEUTSCHE TELEKOM AG [Antwort 1] S. 3, die ebenda ausführt, dass "[d]ie Telekom [...] insoweit bei der Datenübertragung in ihrem Netz zwischen Best-Effort-basierten Diensten und Managed Services" unterscheidet, sodass von der Deutschen Telekom AG bereits effektiv zwei Dienstgüteklassen aktiv genutzt werden.

⁵⁰⁷ Im englischsprachigen Raum wird diese Tariform „flat to a cap, then throttle“ genannt. Vgl. dazu SEN ET AL. [Pricing] S. 15 mit Verweisen auf internationale Beispiele für die Einführung dieser Bepreisung.

ein fixiertes Kapazitätskontingent ausgeschöpft hat, führt dazu, dass der Nutzer mit der ihm dann noch zur Verfügung gestellten Dienstgüte nicht in der Lage sein wird, Anwendungen, deren Anforderungen an die Dienstgüte über denen liegt, die nach Drosselung noch verfügbar sind, zu nutzen, sodass die Reduktion der Dienstgüte in diesen Fällen zu einer Einschränkung der Nutzbarkeit dieser dienstgütesensitiven Anwendungen führt. Bei einer solchen Tarifausgestaltung besteht folglich ein hoher Anreiz nach der Ausschöpfung des ersten Kontingents, neue Kontingente zuzukaufen, sofern nutzerseitig das Bedürfnis besteht, die aus der Reduzierung der Dienstgüte resultierenden Nutzungseinschränkung bestimmter Anwendungen nicht zu akzeptieren, sondern aufzuheben.

Neben der generellen Einschränkung der Dienstgüte besteht ferner die Möglichkeit, nach der Ausschöpfung des Kontingentes die Dienstgütezusicherung aufzuheben. Die Sicherung, dass das QoS-Level unabhängig vom tatsächlich vorliegenden Datenaufkommen garantiert ist, wäre entsprechend nur für den Fall, dass tatsächlich ein Kapazitätsengpass besteht, aufgehoben. Somit würde der Nutzer nur dann Einschränkungen wahrnehmen, wenn er die dienstgütesensitiven Anwendungen weiterhin nutzt, während Kapazitätsengpässe bestehen. Folglich hat der Nutzer, der nicht bereit ist, eine neuerliche Aufstockung der Kontingente gegen Zahlung weiterer Entgelte hinzunehmen, entweder die Möglichkeit, diese dienstgütesensitive Anwendung zu Zeiten in Anspruch zu nehmen, zu denen keine Kapazitätsengpässe bestehen, die Einschränkungen in Kauf zu nehmen oder, sofern die Möglichkeit besteht, weitere Kontingente vom Datenübertragungsdienstleister zu erwerben. Darüber hinaus ist z. B. bei der gewünschten Inanspruchnahme von Video-On-Demand-Diensten – nachdem das Kontingent für die gesicherte Dienstgüte ausgeschöpft ist – denkbar, dass der Kunde, der nicht bereit ist, weitere Kontingente zuzukaufen, zu Beginn eine längere Wartezeit hinnehmen muss, damit ein hinreichend großer Anteil des Videos, bezogen auf dessen gesamte Datenmenge, bereits zwischengespeichert ist, bevor der Film gestartet wird, um die nicht durchgängig garantierte notwendige Dienstgüte zu kompensieren.

Während der erste Ansatz einen Anreiz bietet, die Inanspruchnahme von Anwendungen, die ein bestimmtes QoS-Level fordern, insgesamt zu reduzieren, bietet die zweite Form der QoS-Absenkung insbesondere dann eine Möglichkeit zur Steuerung des Verhaltens der Kunden, das sich am aktuellen Datenaufkommen orientiert, wenn einerseits die Inanspruchnahme nur dann dem Kontingent zugerechnet wird, wenn tatsächlich Kapazitätsengpässe vorliegen, und andererseits der Kunde ohne QoS-Level-Garantie effektiv einen geringeren Nutzen hat als in dem Fall mit QoS-Garantie.

3.3.2 Erweiterung der Einschränkung der Dienstgüte für eine anwendungsabhängige Bepreisung mit multiplen Nutzungskontingenten

Die Erweiterung der Tarife mit Einschränkung der Dienstgüte wird durch die Anbindung einer anwendungsbedingten Bepreisung realisiert und führt zu einer neuen Ausgestaltung der Tarife mit Kontingentierung, bei der keine pauschale Flatrate für alle Datenübertragungsdienste angeboten wird, sondern eine Differenzierung des Gesamtdatenaufkommens eines Nutzers gemäß dessen Inanspruchnahme von Anwendungsklassen vorgenommen wird, für die jeweils Flatrates gebucht werden können. Der einfachste Fall einer solchen Bepreisung ist der von der DEUTSCHE TELEKOM AG verfolgte Ansatz, bei dem die Ausgestaltung in Form von zwei Datendienstklassen erfolgt.⁵⁰⁸ Es erfolgt eine Differenzierung zwischen den von der DEUTSCHE TELEKOM AG angebotenen Voice-over-IP-Diensten sowie des in dieser Klasse angebotenen T-Entertain-Multimediaangebots und allen weiteren Datenübertragungsdiensten. Die Ausgestaltung erfordert keine Kontingentierung der Inanspruchnahme für die von der Telekom gehosteten Dienste, wohingegen die Inanspruchnahme aller weiteren Datenübertragungsdienste, wie z. B. Webseitenaufrufe oder die Nutzung von Video-on-Demand-Angeboten von Wettbewerbern, kontingentiert ist. Diese grobe Ausgestaltung lässt bereits weitere Potenziale durch eine Ausweitung auf eine multiple Anwendungen umfassende Differenzierung erkennen. Entsprechend ist für den Fall multipler Anwendungsklassen bei der Entgeltermittlung zu berücksichtigen, dass Zubuchung neuer Kontingente nach Ausschöpfung des ersten vom Kunden c zum Basispreis $pr_{c,s}^G$ gebuchten Kontingents für eine bestimmte Anwendungs-kategorie mit Servicelevel $s \in \{1, 2, \dots, S\}$ prinzipiell vorgenommen werden können, indem zum Preis pr_s ein zusätzliches Kontingent $q_s^{Kontingent+}$ des Servicelevels, in dem die Anwendung übertragen werden soll, erworben wird und nutzungsintensitätsberücksichtigend nur dann ein Entgelt für zusätzliche Kontingente zu entrichten ist, wenn eine Inanspruchnahme erfolgt.⁵⁰⁹

$$Entgelt_{c,t}(\cdot) = \sum_{s=1}^S pr_{c,s}^G + \left[\begin{pmatrix} \omega_{c,t,1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \omega_{c,t,S} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \frac{(q_{c,t,1} - q_1^{Kontingent})}{q_1^{Kontingent+}} \\ \vdots \\ \frac{(q_{c,t,S} - q_S^{Kontingent})}{q_S^{Kontingent+}} \end{pmatrix} \right]^T \cdot \begin{pmatrix} pr_1 \\ \vdots \\ pr_S \end{pmatrix} \quad (10)$$

⁵⁰⁸ Vgl. BUNDESNETZAGENTUR [Abschlussbericht] S. 6 ff., DEUTSCHE TELEKOM AG [Antworten 1] S. 3

⁵⁰⁹ Der Basispreis für die Servicelevel, die der Kunde nicht in Anspruch nehmen will bzw. die der Datenübertragungsdienstleister dem Kunden nicht anbietet, ist von vornherein gleich 0.

Die Summe dient zur Berechnung des Entgelts, das aus den Preisen aller standardmäßig gebuchten Kontingente resultiert. Der Matrizenmultiplikationsterm dient zur Ermittlung des Entgelts, dass für die Inanspruchnahme von Zusatzkontingenten vom Kunden zu entrichten ist. Mit

$$\omega_{t,s} = \begin{cases} 0 & \text{für } q_s^{\text{Kontingent}} \geq q_{c,t,s} \\ 1 & \text{für } q_s^{\text{Kontingent}} < q_{c,t,s} \end{cases} \quad \forall s \in \{1, 2, \dots, S\} \quad (11)$$

wird sichergestellt, dass bei Nichtinanspruchnahme zusätzlicher Kontingente der Preis für die Inanspruchnahme von Zusatzkontingenten nicht vom basierend auf den Preisen für die Basiskontingente ermittelten Entgelt abgezogen werden kann.⁵¹⁰ Es wird davon ausgegangen, dass in Serviceklasse 1 die Anwendungen bedient werden, die eine höhere Dienstgüte benötigen als die den Serviceklassen 2 bis S zugeordneten Anwendungen. Darüber hinaus hat zwar weiterhin die bereits für die Bepreisung verschiedener Dienstgütern festgehaltene Bedingung $pr_1 > pr_2 > \dots > pr_S$ zu gelten, damit der Datenübertragungsdienstleister die Dienste höher bepreist, die umfassendere QoS-Level-Anforderungen haben, jedoch ist dies nicht länger zwingend erforderlich, da der Nutzer keinen direkten Einfluss auf die Zuweisung zu einem bestimmten Servicelevel hat, wenn diese Zuweisung mittels des Payload-Based-Verkehrsklassifizierungs-Ansatzes vorgenommen wird. Entsprechend lässt sich in diesem Falle auch eine höhere Bepreisung für Anwendungen realisieren, die aufgrund ihrer Charakteristika der Inanspruchnahme von Datenübertragungsdienstleistungen eine optimale Nutzung der zur Verfügung stehenden Datenübertragungskapazitäten erschweren, obwohl sie geringere Dienstgütereigenschaften haben.⁵¹¹ Im Zuge der Abbildung hat sodann die folgende Bedingung erfüllt zu sein, wenn zusätzliche Kontingente hinzubuchbar sind:

$$q_s^{\text{Kontingent}+} > 0 \quad \forall s \in \{1, 2, 3, \dots, S\} \quad (12)$$

⁵¹⁰ Für den Fall, dass $q_s^{\text{Kontingent}} > 2 \cdot q_s^{\text{Kontingent}+}$ sind trotz Gaußklammer potenziell negative Inanspruchnahmen von Basiskontingenten denkbar, die es auszuschließen gilt.

⁵¹¹ Vgl. zur Herausforderung einer optimalen Nutzung von Netzkapazitäten unter Berechnung der effektiven Bandbreite, die für einzelne Anwendungen vorzuhalten ist, denen eine bestimmte Dienstgüte mittels statistischer QoS-Sicherung garantiert werden soll, wenn diese sich z. B. durch hohe Jitter-Werte in Kombination mit extremen Peaks in der zu übertragenen Datenmenge eines Pakets (der „Burstiness“) auszeichnen und damit eine höhere effektive Bandbreite in Anspruch nehmen, als Dienste die kontinuierlich, ohne große Peaks und Verzögerungsschwankung senden z. B. CHOUDHURY/LUCANTONI/WHITT [Squeezing] S. 203 f. sowie allgemein zur Berechnung der effektiven Bandbreite COURCOUBETIS/WEBER [Pricing] S. 90 ff. oder im Speziellen für Multi-Service-Netzwerke WHITT [Effective Bandwidth] S. 71 ff.

Da dieser Bepreisungsansatz jedoch aufgrund seiner statischen Bepreisung und der Nichtberücksichtigung von potenziell auftretenden Kapazitätsengpässen keine Anreize bietet, das Nutzerverhalten zu verändern, ist dies durch eine weitere Justierung des Ansatzes anzustreben.

3.3.3 Erweiterung der anwendungsabhängigen Bepreisung mit Nutzungs-kontingenten um die Berücksichtigung von Nachfrageschwankungen

3.3.3.1 Ansatz zur statischen Berücksichtigung von Nachfrageschwankungen

Um den im vorangegangenen Kapitel dargestellten anwendungsabhängigen Bepreisungsansatz mit multiplen Nutzungskontingenten um eine Berücksichtigung von Nachfrageschwankungen respektive den daraus resultierenden Kapazitätsengpässen zu erweitern, besteht zunächst die Möglichkeit, die Kontingente so auszugestalten, dass diese nur dann in Anspruch genommen werden, wenn tatsächlich Kapazitätsengpässe vorliegen. In Anlehnung an den Cumulus-Pricing-Ansatz ist in diesem Fall ebenfalls eine kundenspezifische Grundgebühr $\dot{p}r_{c,s}^G$ pro Abrechnungszeitraum für die Kontingente $\dot{q}_s^{Kontingent}$, die für die Inanspruchnahme spezifischer Anwendungen und der dazugehörigen Servicelevel bei Kapazitätsengpässen zur Verfügung stehen, zu entrichten. Im Unterschied zum Cumulus-Pricing-Ansatz finden für den Fall, dass diese Kontingente innerhalb des Abrechnungszeitraums aufgezehrt werden und damit die tatsächliche kundenspezifische Inanspruchnahme $\dot{q}_{c,t,s} > \dot{q}_s^{Kontingent}$ ist, keine Neuverhandlungen statt, vielmehr besteht die Möglichkeit, eine Erweiterung des Kontingents um $\dot{q}_s^{Kontingent} +$ zum Preis $\dot{p}r_s$ zu erwerben. Für $\dot{q}_{c,t,s}$, mit dem verfolgt wird, in welchem Umfang Datenübertragungsdienstleistungen von Kunde c bei Vorliegen von Kapazitätsengpässen in Anspruch genommen werden, gilt $\dot{q}_{c,t,s} > 0$, sobald im Servicelevel s ein Kapazitätsengpass besteht, denn wenn dies der Fall ist, führt die Priorisierung einzelner Serviceklassen zur Sicherung der Dienstgüte, für die eine höheres Entgelt vom Kunden zu entrichten ist. Entsprechend ermittelt sich das Entgelt wie folgt:

$$Entgelt_{c,t}(\cdot) = \sum_{s=1}^S \dot{p}r_{c,s}^G + \left[\begin{pmatrix} \dot{\omega}_{c,t,1} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & \dot{\omega}_{c,t,S} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \left[\frac{(\dot{q}_{c,t,1} - \dot{q}_1^{Kontingent})}{\dot{q}_1^{Kontingent} +} \right] \\ \vdots \\ \left[\frac{(\dot{q}_{c,t,S} - \dot{q}_S^{Kontingent})}{\dot{q}_S^{Kontingent} +} \right] \end{pmatrix} \right]^T \cdot \begin{pmatrix} \dot{p}r_1 \\ \vdots \\ \dot{p}r_S \end{pmatrix} \quad (13)$$

Analog zu der Prämisse, die für die Entgeltermittlung ohne Berücksichtigung des aktuellen Dantenverkehrsaufkommens formuliert wurde, dient

$$\dot{\omega}_{t,s} = \begin{cases} 0 & \text{für } \dot{q}_s^{Kontingent} \geq \dot{q}_{c,t,s} \\ 1 & \text{für } \dot{q}_s^{Kontingent} < \dot{q}_{c,t,s} \end{cases} \quad \forall s \in \{1, 2, \dots, S\}, c \in \{1, 2, \dots, C\} \quad (14)$$

erneut zur Sicherstellung, dass die Nichtinanspruchnahme zusätzlicher Kontingente nicht zu einer Schmälerung des Entgelts führt.

Dieser Bepreisungsansatz, bei dem faktisch keine Kontingentierung der Inanspruchnahme der Datenübertragungsdienstleistungen besteht, wenn keine Kapazitätsengpässe vorliegen, lässt sich mit der vorangehend beschriebenen Bepreisung kombinieren. Im Zuge der Kombination der beiden Ansätze wird zur Entgeltermittlung bei keinem Vorliegen von Kapazitätsengpässen auf das „normale“ Datenübertragungsdienstleistungskontingent einer Dienstklasse zurückgegriffen, sodass der Flatrate-Problematik mit der ausufernden Inanspruchnahme der Datenübertragungskapazitäten durch Einzelne erneut durch die Kontingentierung entgegengewirkt ist. Sobald Kapazitätsengpässe bestehen, wird auf die Inanspruchnahme der Kontingente zur Bepreisung zurückgegriffen, die für die Zeiten mit bestehenden Kapazitätsengpässen gelten.

$$\begin{aligned} \text{Entgelt}_{c,t}(\cdot) = & \sum_{s=1}^S \dot{p}_{c,s}^G + \left[\begin{pmatrix} \dot{\omega}_{c,t,1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \dot{\omega}_{c,t,S} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \left[\frac{(\dot{q}_{c,t,1} - \dot{q}_1^{Kontingent})}{\dot{q}_1^{Kontingent} +} \right] \\ \vdots \\ \left[\frac{(\dot{q}_{c,t,S} - \dot{q}_S^{Kontingent})}{\dot{q}_S^{Kontingent} +} \right] \end{pmatrix} \right]^T \cdot \begin{pmatrix} \dot{p}_1 \\ \vdots \\ \dot{p}_S \end{pmatrix} \\ & + \sum_{s=1}^S \dot{p}_{c,s}^G + \left[\begin{pmatrix} \omega_{c,t,1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \omega_{c,t,S} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \left[\frac{(q_{c,t,1} - q_1^{Kontingent})}{q_1^{Kontingent} +} \right] \\ \vdots \\ \left[\frac{(q_{c,t,S} - q_S^{Kontingent})}{q_S^{Kontingent} +} \right] \end{pmatrix} \right]^T \cdot \begin{pmatrix} p_1 \\ \vdots \\ p_S \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (15)$$

Unberücksichtigt bleibt bei diesem Ansatz jedoch bisher, dass die Preise für die Zusatzkontingente wiederum im Zeitverlauf angepasst werden könnten, sodass eine weitere Annäherung an den Cumulus-Pricing-Ansatz erfolgt.

3.3.3.2 Ansatz zur dynamischen Berücksichtigung von Nachfrageschwankungen

Um die mit dem Cumulus-Pricing-Ansatzes verfolgten Ziele in die Bepreisung einzubeziehen und die Möglichkeit zu schaffen, auch auf eine veränderte Nachfrage reagieren zu können, bietet die Flexibilisierung des Preises der Zusatzkontingente durch zeitpunktbezogene Preise $pr_{t,s}$ bzw. $\dot{pr}_{t,s}$, die im Vektor $PR_t = (pr_{t,1} \cdots pr_{t,S})^T$ bzw. $\dot{PR}_t = (\dot{pr}_{t,1} \cdots \dot{pr}_{t,S})^T$ zusammengefasst sind, einen möglichen realisierbaren Ansatz. Zwar verändert sich auf diese Weise nicht die grundlegende Berechnung des Entgelts, jedoch fließt mit dem zeitpunktabhängigen Preis eine zusätzliche Variable in die Entgeltberechnung ein, sodass für das Entgelt für alle Zeitpunkte t Folgendes gilt:

$$\begin{aligned} \text{Entgelt}_{c,t}(\cdot) = & \sum_{s=1}^S pr_{c,s}^G + \begin{pmatrix} \omega_{c,t,1} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & \omega_{c,t,S} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \left[\frac{(q_{c,t,1} - q_1^{\text{Kontingent}})}{q_1^{\text{Kontingent}+}} \right] \\ \vdots \\ \left[\frac{(q_{c,t,S} - q_S^{\text{Kontingent}})}{q_S^{\text{Kontingent}+}} \right] \end{pmatrix}^T \cdot \begin{pmatrix} pr_{t,1} \\ \vdots \\ pr_{t,S} \end{pmatrix} \\ & + \sum_{s=1}^S \dot{pr}_{c,s}^G + \begin{pmatrix} \dot{\omega}_{c,t,1} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & \dot{\omega}_{c,t,S} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \left[\frac{(\dot{q}_{c,t,1} - \dot{q}_1^{\text{Kontingent}})}{\dot{q}_1^{\text{Kontingent}+}} \right] \\ \vdots \\ \left[\frac{(\dot{q}_{c,t,S} - \dot{q}_S^{\text{Kontingent}})}{\dot{q}_S^{\text{Kontingent}+}} \right] \end{pmatrix}^T \cdot \begin{pmatrix} \dot{pr}_{t,1} \\ \vdots \\ \dot{pr}_{t,S} \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (16)$$

Die Anpassung der Preise für die Zusatzkontingente basiert im Gegensatz zum Cumulus-Pricing-Ansatz jedoch nicht auf einer Verhandlung zwischen dem Nutzer und dem Datenübertragungsdienstleister, sondern erfolgt entweder kontinuierlich oder in diskreten Abständen basierend auf einem festgelegten Algorithmus unter Berücksichtigung der jeweils aktuellen Inanspruchnahme der Kapazität oder unter Rückgriff auf in der Vergangenheit gesammelter Daten bezüglich der Netzauslastung.⁵¹² Letzteres bietet die Möglichkeit, das identifizierte Kundenbedürfnis nach Planbarkeit aufzugreifen, ermöglicht eine kundenseitige Reaktionsfähigkeit und ermöglicht somit eine ebenso langfristige Steuerung der Kundensegmente sowie Beeinflussung des Nutzerverhaltens. Ersteres wiederum kann bezüglich der kurzfristigen Steuerungswirkung Vorteile bieten, wird jedoch die Kundenbedürfnisse nicht abdecken können.

⁵¹² Vgl. GIZELIS/VERGADOS [Pricing] S. 127, die Bepreisungsansätze, die so verfahren, als Adaptation-Pricing-Ansätze bezeichnen.

Die Berechnung der Höhe der Anpassung der Preise beruht in zahlreichen Ansätzen auf einer simultanen Erlös- und Wohlfahrtsoptimierung, so wie dies z. B. von MARBACH, PASCHALIDIS/TSITSIKLIS, CHU/CHANG und anderen intendiert wird.⁵¹³ GUPTA/STAHL/WHINSTON verfolgen mit ihrem Ansatz entsprechend eine optimale Ressourcenallokation in Verbindung mit einer Erlösmaximierung und gehen davon aus, dass dem Datenübertragungsdienstleister exakte Kenntnisse über die jeweilige nutzerspezifische Nachfrage nach den angebotenen Datenübertragungsdiensten, die erwartete Verzögerung und die Kosten der Verzögerung beim Nutzer vorliegen.⁵¹⁴ Gleiches gilt für den Ansatz von MARBACH, nicht jedoch für den von PASCHALIDIS/TSITSIKLIS, die zwar ebenfalls die Ankunftsdaten grundsätzlich als gegeben voraussetzen, jedoch davon ausgehen, dass das tatsächliche Zustandekommen einer Verbindung aus einem positiven erwarteten Nutzen resultiert, der sich aus einer als nichtnegative Zufallsvariable definierten Nutzenfunktion des Nutzers für das jeweilige Servicelevel abzüglich der mit der Verbindung verbundenen Kosten ergibt.⁵¹⁵

Problematisch hierbei ist einerseits, dass sich, sobald die tatsächliche Nutzenfunktion von der angenommenen Funktion abweicht oder die Nachfrage nicht der der Berechnung zugrunde gelegten Nachfrage entspricht, der in der Realität optimale Preis deutlich vom berechneten abweicht und damit keine optimierte Ressourcenallokation erreicht wird.⁵¹⁶ Andererseits führt die hohe Komplexität der Berechnung meist zu weiteren Zugeständnissen in Form von vereinfachenden Annahmen.⁵¹⁷ Aus dieser Problematik resultiert, dass vielmehr ein wesentlich einfacherer Ansatz zur Anpassung der Preise erstrebenswert ist, der die Problematik der Nichtoptimalität aufgrund unzureichender Kenntnis über die spezifische Kundennachfragefunktion umgeht. So verfolgen z. B. BESBES/ZEEVI eine dynamische Bepreisung, ohne dass sie eine Annahme bezüglich einer spezifischen Nachfragefunktionen der Käufer treffen, indem sie eine grundlegende Kenntnis über die Funktionsfamilie fokussieren, zu der die Nachfragefunktion zugeordnet werden kann, und indem sie die Wechselwirkungen untersuchen, die zwischen der dynamischen Preisanpassung und dem im Laufe der Zeit veränderlichen Nachfrageverhalten bestehen.⁵¹⁸

⁵¹³ Vgl. CHU/CHANG [Time-of-day] S. 587 ff. und SEN ET AL. [Pricing] S. 15:22, die diese feststellen und z. B. folgende Publikationen, die diese Annahme zugrunde legen: GUPTA/STAHL/WHINSTON [Priority Pricing] S. 71 ff., MARBACH [Static Priority] S. 315 ff., PASCHALIDIS/TSITSIKLIS [Congestion] S. 171 ff.

⁵¹⁴ Vgl. GUPTA/STAHL/WHINSTON [Priority Pricing] S. 84

⁵¹⁵ Vgl. MARBACH [Static Priority] S. 315, PASCHALIDIS/TSITSIKLIS [Congestion] S. 173

⁵¹⁶ Vgl. PASCHALIDIS/TSITSIKLIS [Congestion] S. 17

⁵¹⁷ Vgl. BESBES/ZEEVI [Pricing] S. 1408

⁵¹⁸ Vgl. BESBES/ZEEVI [Pricing] S. 1407 ff. oder auch ELMAGHRABY/KESKINOCAK [Dynamic Pricing] S. 1287 ff., die einen Überblick über Möglichkeiten zur dynamischen Bepreisung von lagerbaren Gütern geben.

DASGUPTA/DAS wiederum stellen verschiedene Algorithmen vor, die nicht auf die Bestimmung der Nachfrage abzielen, sondern mit denen ausschließlich eine dynamische Anpassung des Preises vorgenommen wird und die sich im Wesentlichen in zwei Gruppen einteilen lassen: Suchalgorithmen und Optimierungsalgorithmen; beide Algorithmen dienen der Optimierung der Bepreisung, ohne Kenntnis über die exakten Nachfragefunktionen haben zu müssen.⁵¹⁹ Die Suchalgorithmen basieren auf einer schrittweisen Anpassung der Preise, die solange vorzunehmen ist, bis keine Steigerung des Umsatzes mehr möglich ist. Letztere optimieren den Preis basierend auf einem nichtlinearen Regressionsmodell zur Abbildung der Zusammenhänge zwischen der Preis- und der Nachfrageveränderung. Beide greifen zunächst auf einen Startpreis zurück, der aus Preisen der Wettbewerber abgeleitet werden kann, oder bauen direkt auf den beim betrachteten Datenübertragungsdienstleister in der Vergangenheit genutzten Preisen auf.

Unter Berücksichtigung der Erkenntnis von PASCHALIDIS/TSITSIKLIS, die sowohl analytisch als auch simulativ zeigen, dass einerseits eine ausgewogene tageszeitabhängige und damit statische Bepreisung und andererseits eine dynamische Bepreisung nahezu gleich gute Ergebnisse bei der gleichzeitigen Erlös- als auch Wohlfahrtsmaximierung erzielen,⁵²⁰ wird der Fokus im Folgenden nicht auf optimierte kontinuierliche Anpassungsstrategien des Preises gelegt, sondern der Basisalgorithmus von LOW/LAPSLEY gewählt, der die zwischen der Nachfrage und dem Preis bestehenden Wechselwirkungen zur Findung eines optimalen Preises heranzieht und auf dem Gradient-Projection-Algorithmus beruht.⁵²¹ In Anlehnung an diesen Algorithmus erfolgt eine Anhebung des Preises immer dann, wenn die Nachfrage das Angebot übersteigt und eine Absenkung des Preises ist im entgegengesetzten Fall vorzunehmen.⁵²² Die Veränderung der Preise $\Delta p_{t,s}$ bzw. $\hat{\Delta p}_{t,s}$ resultiert z. B. aus der Multiplikation eines konstanten Preisschritts \hat{p}_r mit der Differenz der gesamten in der vorangegangenen Periode in Anspruch genommenen Kapazität ($Q_{t-1,s} + \hat{Q}_{t-1,s}$) und der gesamten Kapazität resultierend aus den Basiskontingenten des jeweiligen Servicelevels ($Q_s^{Kontingent}$), die für alle Kunden vorgesehen sind, sodass sich die Preisveränderung für $\hat{\Delta p}_{t,s}$ wie folgt ergibt:

⁵¹⁹ Vgl. auch DASGUPTA/DAS [Dynamic Pricing Algorithms] S. 375 f.

⁵²⁰ Vgl. PASCHALIDIS/TSITSIKLIS [Congestion] S. 171 ff. Diese Erkenntnis ist auch hinsichtlich der Entscheidung der FCC zur Einführung der ausnahmslosen Netzneutralität in den Vereinigten Staaten sowie für Märkte, in denen ebenfalls eine solche Regelung durchgesetzt wird, von besonderer Bedeutung, ermöglicht die statische tageszeit-abhängige Bepreisung zumindest eine Steuerungswirkung für das Gesamtdatenaufkommen (vgl. zur Regulierung FCC [Net Neutrality]).

⁵²¹ Vgl. LOW/LAPSLEY [Basic Algorithm] S. 861 ff. sowie zur ausführlichen Erläuterung des Gradient Projection Algorithm LUNENBERGER/YE [Nonlinear Programming] S. 367 ff.

⁵²² Vgl. ff. LOW/LAPSLEY [Basic Algorithm] S. 864

$$\Delta \dot{p}_{t,s} = (Q_{t-1,s} + \dot{Q}_{t-1,s} - Q_s^{Kontingent}) \cdot \hat{p}r \quad (17)$$

$$\forall s \in \{1, 2, \dots, S\}, t \in \{1, 2, \dots, T\}$$

Zwar ließe sich dies analog für $\Delta p_{t,s}$ durchführen, jedoch wird dies in der folgenden Bepreisung nicht realisiert, da vergleichbar zu der regulären Flatrate dieser Preis keinen direkten Einfluss auf das Nutzerverhalten hat, sondern in erster Linie die nach Überschreitung des Kontingents zu erwartenden Preise Einfluss auf das Nutzerverhalten haben werden. Der Preis $\dot{p}_{t,s}$ – wie gesagt, es ließe sich prinzipiell auch analog der Preis $p_{t,s}$ für alle Zeitpunkte t berechnen – sei:

$$\dot{p}_{t,s} = \dot{p}_{t-1,s} + (Q_{t-1,s} + \dot{Q}_{t-1,s} - Q_s^{Kontingent}) \cdot \hat{p}r \quad (18)$$

$$\forall s \in \{1, 2, \dots, S\}, t \in \{1, 2, \dots, T\}$$

Wenn jedoch gerade die Kurzfristigkeit nicht angestrebt wird, lässt sich die Veränderung der Preise $\Delta \dot{p}_{t,s}$ auf einen längeren Zeitraum ausdehnen, indem der weiterhin fixierte Preisschritt mit der durchschnittlichen gesamten Kapazitätsinanspruchnahme multipliziert wird, sodass die Preisveränderung aus der im Zeitintervall ZI_Δ , und damit zwischen τ und t mit $\tau = t - ZI_\Delta$, von den Kunden beanspruchten gesamten Kapazität resultiert und wie folgt gestaltet ist:

$$\Delta \dot{p}_{t,s} = \left[\left(\frac{1}{(t - \tau)} \right) \sum_{\tau=t-ZI_\Delta}^t (Q_{\tau,s} + \dot{Q}_{\tau,s}) - Q_s^{Kontingent} \right] \cdot \hat{p}r \quad (19)$$

$$\forall s \in \{1, 2, \dots, S\}, t \in \{1, 2, \dots, T\}$$

Durch die Berechnung der durchschnittlichen Kapazitätsinanspruchnahme werden kurzfristige Schwankungen in der Nachfrage nicht berücksichtigt. Es wird vielmehr der Trend der von den Kunden in Anspruch genommenen Kapazitäten bei der Berechnung der Anpassung des Preises zugrundegelegt. Entsprechend wäre eine Übertragung dieses Ansatzes auf die statische tageszeitabhängige Tarifierung erstrebenswert, um die im Tagesablauf schwankende Kapazitätsauslastung nicht nur in dem fixierten über den Tag schwankenden Preis zu berücksichtigen, sondern darüber hinaus auch in diesem Ansatz eine Komponente zu implementieren, die langfristige Veränderungen mitberücksichtigt und den fixierten über den Tag schwankenden Preis gleichfalls an eine sich langfristig potenziell ändernde Nachfrage anpasst. Dieses Bestreben wird in dem intendierten Tarifmodell berücksichtigt, indem gesonderte Kontingente für die Nutzung bei Kapazitätsengpässen definiert werden und deren Bepreisung indirekt von der Tageszeit durch eine kontinuierliche Anpassung des Preises dieser Kontingente, die just bei der Nutzung zu Spitzenlastzeiten aufgebraucht werden, abhängig ist.

Die Realisierung einer Verhaltenssteuerung der Kunden kann gelingen, indem die Zeiten, zu denen die Kontingente in Anspruch genommen werden, direkt an den Kunden kommuniziert werden, da entsprechend der Realität davon ausgegangen werden kann, dass die Kapazitätsengpässe regelmäßig zu vergleichbaren Zeitpunkten im Tagesverlauf auftreten, sodass der Kunde die Möglichkeit hat, eben diese Zeiträume zu antizipieren, zu denen Kapazitätsengpässe auftreten. Dementsprechend wird in diesem Fall durch die langfristige Anpassung der Preise auf der einen Seite eine langfristige Kapazitätssteuerung ermöglicht und eine tageszeitabhängige Bepreisung auf der anderen Seite zur kurzfristigen Kapazitätssteuerung realisiert, sodass die Erkenntnisse von PASCHALIDIS/TSITSIKLIS aufgegriffen werden.

Neben der Dynamisierung der Preise ist auch die dynamische Ausgestaltung der Kontingentgrößen denkbar. In diesem Fall sind die Kontingente nicht länger statisch ausgestaltet, sondern werden gleichfalls als im Zeitverlauf veränderliche Größe implementiert, sodass sowohl $q_{s,t}^{Kontingent}$ als auch $q_{s,t}^{Kontingent+}$ für jeden Zeitpunkt t spezifisch ausgestaltet sind. Gleiches ist auch für die Kontingente denkbar, die bei Bestehen von Kapazitätsengpässen gültig sind, sodass entsprechend auch $\dot{q}_{s,t}^{Kontingent}$ als auch $\dot{q}_{s,t}^{Kontingent+}$ zeitpunktspezifisch ausgestaltet wären. Für diesen Fall gelte:

$$\begin{aligned}
 \text{Entgelt}_{c,t}(\cdot) = & \sum_{s=1}^S pr_{c,s}^G + \left[\begin{pmatrix} \omega_{c,t,1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \omega_{c,t,S} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \frac{(q_{c,t,1} - q_{t,1}^{Kontingent})}{q_{t,1}^{Kontingent+}} \\ \vdots \\ \frac{(q_{c,t,S} - q_S^{Kontingent})}{q_{t,S}^{Kontingent+}} \end{pmatrix} \right]^T \begin{pmatrix} pr_{t,1} \\ \vdots \\ pr_{t,S} \end{pmatrix} \\
 & + \sum_{s=1}^S \dot{pr}_{c,s}^G + \left[\begin{pmatrix} \dot{\omega}_{c,t,1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \dot{\omega}_{c,t,S} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \frac{(\dot{q}_{c,t,1} - \dot{q}_{t,1}^{Kontingent})}{\dot{q}_{t,1}^{Kontingent+}} \\ \vdots \\ \frac{(\dot{q}_{c,t,S} - \dot{q}_{t,S}^{Kontingent})}{\dot{q}_{t,S}^{Kontingent+}} \end{pmatrix} \right]^T \begin{pmatrix} \dot{pr}_{t,1} \\ \vdots \\ \dot{pr}_{t,S} \end{pmatrix}
 \end{aligned} \tag{20}$$

Um die identifizierten Herausforderungen, die bei der Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistungen zu berücksichtigen sind, in die Analyse der Vorteilhaftigkeit des Bepreisungsmodells mit einzubeziehen, wird im Folgenden zunächst eine Übersicht über bereits bestehende Ansätze zur Analyse von Bepreisungsansätzen gegeben und

im Anschluss ein Customer-Equity-basiertes Modell entwickelt, das insbesondere auch die Langfristigkeit der Kundenbeziehungen, unterschiedliche Kundensegmente sowie die langfristige Steuerungswirkung der gewählten Bepreisung mit berücksichtigt, sodass der Fokus auch folgend nicht auf der Bestimmung eines kurzfristigen erlösoptimalen Preises liegt.



4 Entwicklung eines Modells zur kundenwertorientierten Bepreisung priorisierter Datenübertragung

4.1 Ansätze zur Optimierung der Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistungen

Analysen der Vorteilhaftigkeit bestehender Ansätze zur Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistungen basieren entweder auf einer technischen oder ökonomischen Betrachtung. Letztere forciert eine Wohlfahrtsmaximierung während erstere überwiegend die technische Optimalität der Ressourcennutzung fokussiert. Um eine breitere Analyse der Vorteilhaftigkeit von Bepreisungsansätzen durchzuführen und die mit einer solchen Analyse verbundenen Herausforderungen aufzuzeigen, wird zunächst auf einen drei Dimensionen berücksichtigenden Ansatz zurückgegriffen. Dieser analysiert die ausgewählten Bepreisungsansätze hinsichtlich ihrer technischen und ökonomischen Effizienz sowie der gesellschaftlichen Akzeptanz, um einen systematisierten Vergleich verschiedener Bepreisungsansätze miteinander zu realisieren. Der Ansatz überwindet die Problematik, dass meist nur auf eine der drei Dimensionen zum Aufzeigen der Vorteilhaftigkeit eingegangen wird.

Der dreidimensionale Analyseansatz bewertet die einzelnen Dimensionen entsprechend der dem Bepreisungsansatz immanenten spezifischen Merkmalausprägungen auf einer von 0 bis 10 Punkten reichenden Skala; in diesem Ansatz wird 0 als für diese Merkmalausprägung für den Datenübertragungsdienstleister nicht vorteilhaft und 10 als entsprechend vorteilhaft eingestuft.⁵²¹ Als Basis für diese dreidimensionale Bewertung dienen die von FALKNER/DEVETSIKIOTIS/LAMBADARI durchgeführten Analysen verschiedener Bepreisungsmodelle, bei der acht Kriterien miteinander verglichen werden, die Ausführungen von NGUYEN/ARMITAGE, die sieben Kriterien zur Bewertung heranziehen sowie SEN ET AL., die schließlich vier Kategorien nebeneinander betrachten. Da diese teilweise gleiche Kriterien gewählt haben, können basierend auf den Analysen elf unterschiedliche Kriterien identifiziert werden, die die Dimensionen näher spezifizieren.⁵²² Ziel ist die Überführung dieser feingranularen Analyse der einzelnen Bepreisungsansätze in das nur drei Dimensionen berücksichtigende Schema zur Erlangung einer Bewertungsgrundlage.

⁵²¹ Vgl. ff. NGUYEN/ARMITAGE [Pricing Schemes] S. 69, die erstmals eine Bewertung der Bepreisungsansätze vornehmen.

⁵²² Vgl. FALKNER/DEVETSIKIOTIS/LAMBADARI [Pricing] S. 10 und JAY/PLÜCKEBAUM [QoS] S. 45, die jedoch auf die Ausführungen von den Erstgenannten zurückgreifen, NGUYEN/ ARMITAGE [Pricing Schemes] S. 71 und SEN ET AL. [Pricing] S. 15:21 f.

Die technische Dimension setzt sich im Bewertungsschema einerseits aus der Form der Realisierung der Dienstgüte sowie der Kosten zusammen, die mit der Einführung eines bestimmten Bepreisungsansatzes verbunden sind, und die durch die zur Realisierung der Bepreisung notwendige Aufrüstung der technischen Weiterleitungskomponenten sowie der zur Rechnungsstellung notwendigen Gerätschaften verursacht werden. Dementsprechend ist ein Bepreisungsansatz, dessen Implementierung mit äußerst geringen Kosten verbunden ist, als erstrebenswerter anzusehen als Ansätze, deren Implementierungskosten hoch sind. Darüber hinaus wird in dieser Dimension der Umfang der mit der Implementierung des jeweiligen Bepreisungsansatzes verbundenen Overhead-Daten in die Analyse einbezogen, da diese Daten, die aus der Erfassung der Abrechnungsdaten sowie zur Realisierung von Dienstgütelevel resultieren, zusätzlich zu den Daten anfallen, die in einem Best-Effort-Netz mit Flatrate-Tarif bestünden, und somit Datenverkehr verursachen, der potenziell zu einer weiteren Ressourcenverknappung beiträgt und für den gleichfalls Übertragungskapazitäten vorgehalten werden müssen.

Mittels der ökonomischen Dimension wird hingegen einerseits der Einfluss des jeweiligen Bepreisungsansatzes auf die Optimierung der Kapazitätsauslastung des Netzes und damit die mit diesem Ansatz realisierbare Steuerungswirkung des Datenübertragungsverhaltens der Nutzer erfasst und darüber hinaus die Möglichkeiten bewertet, die der Ansatz zur Optimierung der Umsätze des Datenübertragungsanbieters bietet. Dabei ist auch die Granularität der Bepreisungsgrundlage zu berücksichtigen, wenn davon ausgegangen wird, dass eine feinere Granularität die Möglichkeiten bei der Bepreisung erweitert und damit potenziell neue Möglichkeiten zur Erlösgenerierung eröffnet.⁵²³ Ferner wird auch die wohlfahrtstheoretische Überlegung, ob mittels eines Ansatzes ein Entgelt entsprechend der durch die Inanspruchnahme von Datenübertragungsdienstleistungen verursachten Stauexternalitäten bei dessen Bepreisung berücksichtigt wird, dieser Kategorie mit der Analyse der Berücksichtigung marginaler Grenzkosten hinzugerechnet. Es sind folglich genau die Ansätze vorteilhaft, die eine feingranulare Bepreisung mit einer bestmöglichen Berücksichtigung der Externalitäten realisieren.

Mittels der dritten Dimension wird die soziale Akzeptanz der Bepreisungsansätze analysiert, indem die nutzerseitigen Anforderungen aufgegriffen werden. Dazu zählt der Wunsch nach einer zur Befriedigung der Bedürfnisse des Nutzers hinreichenden Dienstgüte, die Schaffung einer transparenten Entgeltberechnung sowie der möglichst

⁵²³ Vgl. STILLER ET AL. [Cumulus] S. 8

langfristigen Sicherheit bezüglich der Preissetzung, spricht einer langfristigen zeitlichen Skalierung der Preissetzung, sowie der Fairness des Bepreisungsansatzes. Ein Bepreisungsansatz gilt genau dann als fair und ist mit einer entsprechend hohen Punktzahl bewertet, wenn einzelne Nutzer nicht aufgrund ihres monetären Vermögens bei Vorliegen von Kapazitätsengpässen von der Nutzung der Datenübertragungsdienstleistung ausgegrenzt werden und damit die Nutzung von Diensten, die eine bestimmte Dienstgüte benötigen, gänzlich ausgeschlossen werden.⁵²⁴ Entsprechend wird bei einem diese Kriterien vollständig erfüllenden Bepreisungsansatz auch von einem sozialen Bepreisungsansatz gesprochen. Die Bedeutung der Fairness eines Bepreisungsansatzes resultiert auch daraus, dass die Bundesnetzagentur Ansätze, die zu einer Diskriminierung von Personen aufgrund ihrer Vermögensverhältnisse führt, nicht duldet und damit TKG § 2 Abs. 2 Satz 2 umsetzt, gemäß dem sie „insoweit auch sicher[stellt], dass für die Nutzer, einschließlich [...] Personen mit besonderen sozialen Bedürfnissen, der größtmögliche Nutzen in Bezug auf Auswahl, Preise und Qualität erbracht wird. Sie gewährleistet, dass es im Bereich der Telekommunikation, einschließlich der Bereitstellung von Inhalten, keine Wettbewerbsverzerrungen oder -beschränkungen gibt“.⁵²⁵ Abbildung 28 greift auf die bereits im Zuge der Darstellung ausgewählter Ansätze zur Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistungen identifizierten Merkmale zurück und ordnet diese entsprechend den einzelnen Dimensionen zu.

Zwar bietet die detaillierte Betrachtung der einzelnen Charakteristika die Möglichkeit, eine feingranulare Analyse durchzuführen, jedoch ist eine aggregierte Betrachtung der Dimensionen zur Herstellung einer Vergleichbarkeit der Bepreisungsansätze eine solide Basis zur Überblickserlangung.⁵²⁶ Dementsprechend sind die Charakteristika innerhalb der Dimensionen zu einem Wert zu aggregieren und im Anschluss zur

⁵²⁴ Vgl. JAY/PLÜCKEBAUM [QoS] S. 80

⁵²⁵ Vgl. dazu auch TKG § 18, das der Bundesnetzagentur ermöglicht, Netzbetreiber, die die Kontrolle über den Zugang zu Endnutzern innehaben, zum Zusammenschalten mit anderen öffentlichen Netzen zu zwingen, „soweit dies erforderlich ist, um die Kommunikation der Nutzer und die Bereitstellung von Diensten sowie deren Interoperabilität zu gewährleisten.“ Vgl. ferner TKG § 19 in Verbindung mit § 21, das sowohl eine monetäre Diskriminierung als auch eine Benachteiligung durch Bereitstellung geringerer Dienstgüte von anderen Unternehmen, denen ein marktbeherrschender Netzbetreiber Zugang zu seinem Netz gewähren muss, verbietet, um so den Wettbewerb zu stärken und auf diese Weise eine Grundversorgung mit Datenübertragungsdiensten der Endkunden sicherzustellen. Das Gesetz verbietet jedoch die kundenseitige Einführung von Tarifen mit unterschiedlichen Serviceleveln solange nicht, wie eine Grundversorgung auch in anderen Tarifen sichergestellt ist. Vgl. z. B. auch KÖRBER [TKG-Novelle] S. 220, der ebenfalls feststellt, dass die EU-Kommission und das TKG auf die Kräfte des Marktes und des Wettbewerbs zur Aufrechterhaltung des Zugangs der Endnutzer zu allen Inhalten vertrauen.

⁵²⁶ Vgl. ff. NGUYEN/ARMITAGE [Pricing Schemes] S. 69

Visualisierung in ein Koordinatensystem zu übertragen, sodass ein Bepreisungsansatz erstrebenswert ist, bei dem alle drei Dimensionen mit 10 Punkten bewertet sind; auf der linken Seite der Abbildung 29 ist die gewünschte, aus Anbietersicht optimale Verteilung der Kriterien auf die drei Dimensionen dargestellt. Dieses Optimum, in dem in jeder Dimension 10 Punkte erreicht werden, ist jedoch nicht realisierbar, da die Dimensionen negativ korreliert sind, sodass z. B. ein sehr feingranularer, dynamischer und damit ökonomisch als sehr effizient einzustufender Bepreisungsansatz hinsichtlich der technischen Effizienz schlecht abschneidet.

Preismodell Kriterium		Flat-rate-Tarif	Volumen-tarif	Peak Load Pricing	Paris Metro Pricing	TUBE & Congestion Pricing	Smart Market Pricing	Expected Capacity Pricing	Priority Pricing	Application based Pricing
Technische Dimension	Realisierung der Dienstgüte	Best Effort	Best Effort	Best Effort	Best Effort	Best Effort	Best Effort	IntServ & RSVP	DiffServ	DiffServ
	Equipment Upgrade erforderlich	kein	kein	kein	umfangreich	kein	umfangreich	gering	umfangreich	umfangreich
	Abrechnungsaufwand	sehr niedrig	niedrig	mittel	niedrig	niedrig	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch
	Daten-Overhead	keiner	keiner	niedrig	mittel	mittel	sehr niedrig	sehr hoch	hoch	niedrig
Ökonomische Dimension	Bepreisungsgrundlage	Pauschale	pro MB	pro MB	pro Paket	pro Paket	pro Paket	pro Datenstrom	pro Paket	pro Paket
	Kapazitätssteuerungswirkung	keine	keine	variabel	hoch	sehr hoch	sehr hoch	variabel	sehr hoch	sehr hoch
	Berücksichtigung marginaler Grenzkosten	keine	keine	variabel	gering	sehr hoch	variabel	hoch	sehr hoch	sehr hoch
Soziale Akzeptanz-Dimension	Ausprägung der Dienstgüte	keine	keine	keine	keine	keine	keine	statisch	bedingt	bedingt
	Skalierung der Preissetzung	langfristig	langfristig	mittelfristig	langfristig	ultra kurzfristig	langfristig	mittels bis langfristig	langfristig	langfristig
	Armutsbedingte Diskriminierung von Nutzern	ausgeschlossen	ausgeschlossen	möglich	immer	immer	immer	möglich	variabel	immer
	Transparenz der Preisbildung	sehr hoch	sehr hoch	niedrig	sehr hoch	niedrig	mittel	hoch	sehr niedrig	sehr hoch

Abbildung 28: Systematisierter Vergleich ausgewählter Bepreisungsansätze

Daher ist der in der Realität umsetzbare Ansatz stets ein Kompromiss aus der technologischen, ökonomischen Effizienz und der sozialen Akzeptanz, ähnlich zu dem, der in der Abbildung 29 rechts visualisiert ist. Denkbar sind jedoch auch weitere Ausprägungen, bei denen keine gleichmäßige Verteilung der Einschnitte im Vergleich zur intendierten, als optimal erachteten Bepreisung vorgenommen wird, sondern eine

bestimmte Dimension bestmöglich optimiert wird, mit der Folge, dass andere Dimensionen deutlich geringere Punktwerte erzielen und der Bepreisungsansatz entsprechend in dieser Dimension als weniger vorteilhaft angesehen wird.

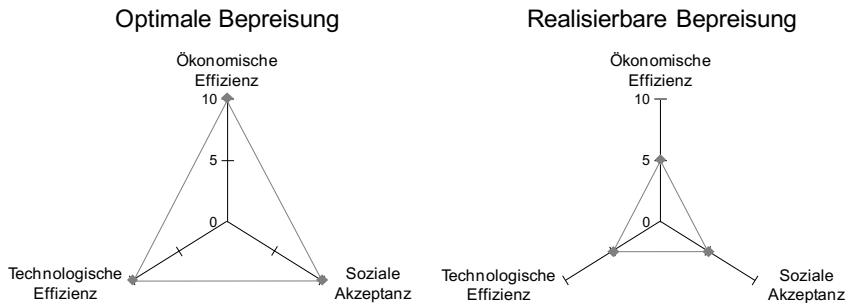


Abbildung 29: Optimale versus realisierbare Bepreisung⁵²⁷

Beim Vergleich der grafischen Aufbereitung der Flatrate-Bepreisung mit der einfachen nutzungsintensitätsabhängigen Bepreisung wird in Abbildung 30 deutlich, dass zwar beide Bepreisungsansätze in der technologischen Effizienz gut abschneiden, jedoch hinsichtlich der ökonomischen Effizienz sowie der sozialen Akzeptanz nur unzureichend sind, auch wenn die einfache nutzungsintensitätsabhängige Bepreisung in den beiden letztgenannten Dimensionen marginal besser abschneidet als die Flatrate-Bepreisung. Dass der Smart-Market-Bepreisungsansatz ein Spezialfall einer dynamischen Bepreisung ist, spiegelt sich, so wie in der Abbildung 30 nochmals visualisiert, auch in den ähnlichen Bewertungsprofilen des Priority-Pricing-Ansatzes und des Smart-Market-Ansatzes wider, dessen technische Effizienz jedoch aufgrund der in allen Weiterleitungspunkten zu implementierenden Auktionen sowie der daraus resultierenden hohen Komplexität beim Bieten schlechter als beim Priority Pricing bewertet ist. Der Priority-Pricing-Ansatz erreicht jedoch im Gegenzug weder die ökonomische Effizienz, noch kann die soziale Gerechtigkeit vergleichbar zu der des Smart-Market-Ansatzes realisiert werden.

Die von NGUYEN/ARMITAGE vorgenommene grafische Aufbereitung der Bewertung von QoS-Pricing-Ansätzen greift jedoch zu kurz, da diese keine Differenzierung zwischen den verschiedenen Bepreisungsansätzen oder der diesen Ansätzen zugrundeliegenden technischen Umsetzung der Dienstgütesicherung vornehmen.⁵²⁸ Diese Unschärfe der Betrachtung spiegelt sich auch im separaten Ausweis des Priority Pricing wider,

⁵²⁷ Vgl. NGUYEN/ARMITAGE [Pricing Schemes] S. 70

⁵²⁸ Vgl. dazu auch NGUYEN/ARMITAGE [Pricing Schemes] S. 70, die dies bereits selbst einräumen.

da dieser Ansatz zwar keine individuelle, statische Sicherung der Dienstgüte erlaubt, jedoch eine statistische Sicherung ermöglicht, indem basierend auf Konfidenzintervallen Aussagen über die Wahrscheinlichkeit für das Einhalten einer bestimmten Dienstgüte getroffen werden kann und dieser Bepreisungsansatz damit im engeren Sinne ebenfalls zu den QoS-basierten Bepreisungsansätzen zu zählen wäre.

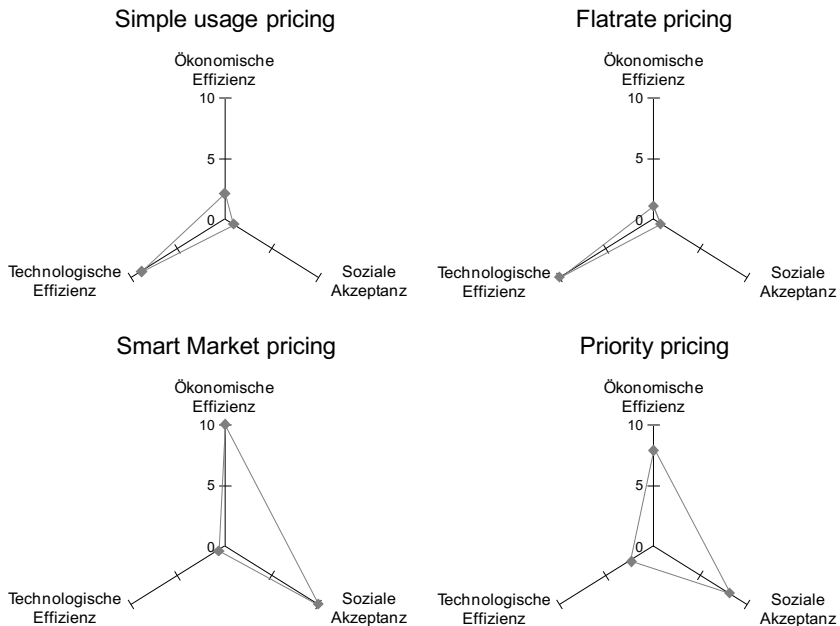


Abbildung 30: Analyse der technischen, ökonomischen Effizienz sowie der sozialen Akzeptanz ausgewählter Tarife⁵²⁹

Die Probleme bei der Bewertung einzelner Ansätze spiegeln sich jedoch auch in der Vielfalt der möglichen Ausgestaltungsformen hinsichtlich der Realisierung der Dienstgüte, die sich oft erst bei exakter Untersuchung ergeben, wider, da z. B. im Rahmen der Bewertung der Akzeptanz der Ansätze, die als „Priority Pricing“ zusammengefasst werden, im Speziellen der Möglichkeit der Diskriminierung von einzelnen Nutzern aufgrund ihres Vermögens eine nochmalige Differenzierung gemäß der in den Weiterleitungspunkten implementierten Bedienstrategie der Warteschlangen, die in Kapitel 3.3 dargestellt sind, möglich wäre. Um diese Unterschiede, die der Diskriminierung einzel-

⁵²⁹ Vgl. NGUYEN/ARMITAGE [Pricing Schemes] S. 70

ner Datenpakete zugrundeliegen, zu analysieren, ist vielmehr die linkerhand in Abbildung 31 gewählte Visualisierung vonnöten, bei der eine Intervallbetrachtung herangezogen wird, um verschiedene – unter einem Ansatz potenziell mögliche – Implementierungsformen zu erfassen. Bei der Visualisierung des Application-Based-Pricing-Ansatzes, der eine anwendungsabhängige Bepreisung der Datenpakete vornimmt und dessen Darstellung in Abbildung 31 die statische Ausgestaltungform ist, wird deutlich, dass es sich um eine spezielle Ausgestaltung des Priority-Pricing handelt, bei dem die soziale Akzeptanz aufgrund der dauerhaft vorliegenden Diskriminierung bestimmter Anwendungen nicht länger variabel ist.

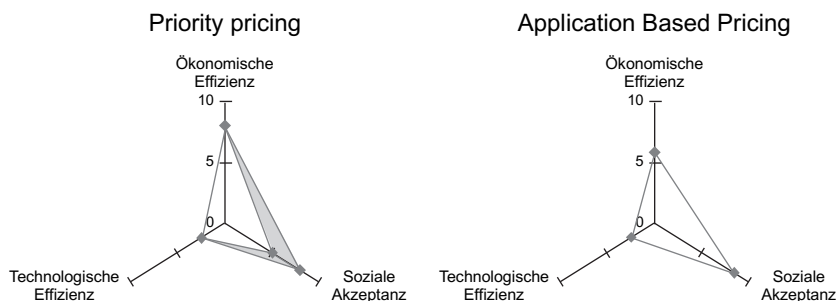


Abbildung 31: Berücksichtigung der Variabilität einer Ausprägung in der Visualisierung der Bewertung

Es wird deutlich, dass diese Analyse einen ersten Anhaltspunkt zur Bewertung der Bepreisungsansätze bietet. Ansätze, die die von STILLER ET AL. geforderte Verbindung zwischen den verschiedenen Wirkungsebenen der Bepreisung im Rahmen der Analyse berücksichtigen – die Wechselwirkungen zwischen der potenziell vorhandenen kurzfristigen Auslastungssteuerungswirkung der Preise, der aus dieser tatsächlich resultierenden Diskriminierung einzelner Kundensegmente und einer wertorientierten Unternehmensführung sowie einer langfristigen Kundenbindung – sind bisher jedoch unterrepräsentiert.⁵³⁰ So vernachlässigt auch die dreidimensionale Analyse die zwischen verschiedenen Kundensegmenten bestehenden unterschiedlichen Bedürfnisse an Datenübertragungsdienstleistungen sowie das in der Realität vorhandene verschiedene Tarife umfassende Angebot eines Datenübertragungsdienstleistungsanbieters, bei dem die Nutzer den für ihr Nutzungsverhalten optimalen Tarif auswählen können, so dass entsprechend eine selbständige Differenzierung in Kundengruppen realisiert

⁵³⁰ Vgl. STILLER ET AL. [Cumulus] S. 9

ist.⁵³¹ Bei diesen Analysen bleibt ferner die Frage weitgehend unbeachtet, welche Wechselwirkungen zwischen den von einem Anbieter offerierten Tarifen bestehen oder welche Auswirkung ein neuer Tarif im bestehenden Tarifangebot des jeweiligen Anbieters auf die Kundensegmentgrößen und die Zufriedenheit der Kunden in den Segmenten hat. Angesichts des weiteren Forschungsbedarfs zur Berücksichtigung der Bedeutung der Kundenbindung für den langfristigen Unternehmenserfolg im Zuge einer umfassenden Analyse der Vorteilhaftigkeit von Ansätzen zur Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistungen werden folgend insbesondere auch die langfristigen Wirkungen der Kundenzufriedenheit auf die Kundenbindung, die z. B. in einem Segmentwechsel münden kann, mit dem gewählten Customer-Equity-basierten Ansatz zur Analyse der Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistungen berücksichtigt.

4.2 Kundenwertorientierte Analysen zur Optimierung der Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistungen

4.2.1 *Customer Lifetime Value als Basis zur Bestimmung eines Kundenwerts*

Um die als erstrebenswert identifizierte Kundenorientierung auch als Ziel im Rahmen der Steuerung oder sogar bis hin zur Bewertung eines Unternehmens zu erfassen,⁵³² wurden **Customer-Lifetime-Value-Konzepte** entwickelt, die u. a. der Quantifizierung des Wertes eines einzelnen Kunden dienen.⁵³³ Diese ermöglichen dem Anbieter eine differenzierte Analyse seiner Kunden und/oder Kundensegmente bezüglich deren Profitabilität und erlauben damit dem Unternehmen eine strategische Ausrichtung auf die als attraktiv identifizierten Kundensegmente.⁵³⁴ Aus Anbietersicht entspricht der Customer Lifetime Value dem Wert, den ein Kunde im Laufe seiner gesamten Geschäftsbeziehung zu einem Unternehmen für das Unternehmen generiert und den dieser somit zur Erreichung der monetären und nichtmonetären Ziele des Anbieters beiträgt. Das heißt, dass der Customer Lifetime Value dem Barwert aller zukünftigen Einzahlungsüberschüsse entspricht, also sowohl die Einnahmen als auch Ausgaben berücksichtigt, die der Kunde anstößt oder durch diesen ausgelöst sind.⁵³⁵ Somit erlaubt

⁵³¹ Vgl. ff. OZIANI/VENTURA/GOLOVINS [Pricing] S. 1437 f.

⁵³² Vgl. WOODRUFF [Customer Value] S. 139 ff., der den Kundenwert als eine entscheidende anzustrebende Größe zur Erlangungen von Wettbewerbsvorteilen identifiziert.

⁵³³ Vgl. ff. WORATSCHEK/ROTH [Preisbereitschaft] S. 371, vgl. BERGER/NASR [CLV] S. 20 ff., die einen Überblick über verschiedene Customer-Lifetime-Value-Modelle geben oder VILLANUEVA/HANSENS [Customer Equity] S. 18 ff. Vgl. z. B. zur Berechnung GUPTA ET AL. [CLV] S. 141, BAUMEISTER/ALT [Verweildauerprognose] S. 456 f., HEIDEMANN/KAMPRATH/GÖTZ [Customer Lifetime Value] S. 184 sowie JAECK [Wertorientiertes] S. 78 ff.

⁵³⁴ Vgl. ff. GUPTA ET AL. [CLV] S. 141

⁵³⁵ Vgl. BAUMEISTER/ALT [Verweildauerprognose] S. 456

der Customer Lifetime Value eine Betrachtung der zukünftigen und damit für die Unternehmenssteuerung entscheidungsrelevanten Kundenwerte.⁵³⁶ Es wird unterstellt, dass die Kunden im Laufe der Kundenbeziehung, also über den jeweiligen Kundenlebenszyklus, unterschiedliche Kundensegmente durchlaufen.⁵³⁷ Über Verweildauermodelle, wie sich diese z. B. mittels Markov-Ketten⁵³⁸ modellieren lassen, wird auf Basis von Übergangswahrscheinlichkeiten, die die Wechselwahrscheinlichkeit zwischen einzelnen Kundensegmenten abbilden, versucht, einen segmentspezifischen Customer Lifetime Value abzubilden, indem die ermittelte Verweildauer mit dem für das Kundensegment ermittelten Transaktionspotenzial multipliziert wird.⁵³⁹ Verschiedene Dimensionen tragen maßgeblich zur Steigerung dieses Transaktionspotenzials und damit des Customer Lifetime Value bei.

Zunächst wird davon ausgegangen, dass jeder Kunde ein „Basispotenzial“ hat, das der Zahlungsbereitschaft für das Produkt entspricht, auf dem die Kundenbeziehung fußt.⁵⁴⁰ Während STAHL/MATZLER/HINTERHUBER dem Basispotenzial sowohl die Kosten zuordnen, die anfallen, um das Produkt herzustellen, als auch die Kosten, die daraus resultieren, den Kunden zu akquirieren sowie zu halten, separiert HIPPNER letztgenannte und weist diese gesondert als Kostensenkungspotenzial aus.⁵⁴¹ Dieses hängt direkt von der Dauer der Kundenbeziehung ab, wenn davon ausgegangen wird, dass einerseits keine neuen Akquisitionskosten anfallen und zum anderen die Kosten zur Kundenbindung durch im Laufe der Beziehung gesammelte, exakte Informationen über die Kundenbedürfnisse und die daraus resultierenden Möglichkeiten eines exakten Adressierens dieser Bedürfnisse sinken. HIPPNER und LISSAUTZKI gehen davon aus, dass dieses Basispotenzial aus in der Vergangenheit liegenden durchschnittlichen Kundenerlösen abgeleitet wird.⁵⁴² Zur Berechnung des Customer Lifetime Value ist der Basispotenzial um ein kundenspezifisches Wachstumspotenzial zu erweitern.⁵⁴³ Dieses Potenzial umfasst sowohl die Intensivierung der Kundenbeziehung

⁵³⁶ Vgl. WORATSCHEK/ROTH [Preisbereitschaft] S. 371

⁵³⁷ Vgl. z. B. JAIN/SINGH [Customer Lifetime Value] S. 34 ff., VILLANUEVA/HANSENS [Customer Equity] S. 1 ff. oder STEINER [Kundenwertmodellierung] S. 13-16, die einen Literaturüberblick geben und Modelle zur Berechnung systematisieren.

⁵³⁸ Vgl. WALDMANN/STOCKER [Stochastische Modelle] S. 11 ff., zur Einführung in die mathematischen Grundlagen der Markov-Ketten.

⁵³⁹ Vgl. zum Transaktionspotenzial HIPPNER [CRM] S. 26 sowie zur Verweildauerprognose in der Kundenwertberechnung ausführlich BAUMEISTER/ALT [Verweildauerprognose] S. 456 f.

⁵⁴⁰ Vgl. ff. STAHL/MATZLER/HINTERHUBER [Linking] S. 269

⁵⁴¹ Mit der Nutzung des Kostenbegriffs werden auch Zusatzkosten, wie z. B. kalkulatorische Zinsen für das Eigenkapital, berücksichtigt, denen kein Aufwand gegenübersteht.

⁵⁴² Vgl. HIPPNER [CRM] S. 27 und LISSAUTZKI [Kundenwert-Controlling] S. 87

⁵⁴³ Vgl. ff. dazu HIPPNER [CRM] S. 28, LISSAUTZKI [Kundenwert-Controlling] S. 87 und STAHL/MATZLER/HINTERHUBER [Linking] S. 268 f.

durch z. B. eine stärkere Nutzung und damit mehr Käufe im gleichen Segment und somit eine Erhöhung des „share of wallet“⁵⁴⁴ als auch die Potenziale, die aus einem Segmentwechsel des Kunden von einem niedrigeren in ein höheres und damit umsatzstärkeres Kundensegment resultieren. Letzteres wird von HIPPER und STAHL/MATZLER/HINTERHUBER als Up-Selling-Potenzial bezeichnet.⁵⁴⁵

Überdies gehört auch das Cross-Selling-Potenzial zu den Wachstumspotenzialen, das das Potenzial, weitere das Hauptprodukt ergänzende Produkte an den Kunden verkaufen zu können, mit in die Customer-Lifetime-Value-Berechnung einschließen soll. Gemäß HIPPER wäre eine im Laufe einer langfristigen Kundenbeziehung sinkende Preiselastizität ebenfalls den Wachstumspotenzialen zuzuordnen, da diese dazu führt, dass die Wahrscheinlichkeit, dass der Kunde auf kurzfristige Preisvorteile oder auf Sonderkonditionen verzichtet, steigt.⁵⁴⁶ Neben diese von HIPPER unter dem Begriff der Transaktionspotenziale subsummierten Komponenten des Customer Lifetime Value stellt er die Relationspotenziale. Die Realisationspotenziale werden auch von STAHL/MATZLER/HINTERHUBER, wenn auch ohne sie so zu benennen, angeführt. Diese Potenziale resultieren daraus, dass der Kunde Kontakt mit einer dritten Partei hat, sei es mit dem Anbieter selbst oder mit anderen Kunden, und die Interaktion zu neuen Chancen zur Generierung von Umsätzen führt. RUDOLF-SIPÖTZ zeigt in seinem Wirkungsmodell die grundlegenden Zusammenhänge der einzelnen Dimensionen, der Potenziale, die den Customer Lifetime Value beeinflussen, auf.⁵⁴⁷ Darüber hinaus verknüpft er die Potenziale mit dem Umsatz, den leistungsgleichen Einnahmen und den kostengleichen Ausgaben und schafft damit die Basis für eine Anbindung an den Shareholder Value.

BAUMEISTER/ALT ermitteln zunächst den Customer Lifetime Value (CLV) der Bestandskunden, basierend auf einem für jeden Einzelkunden zu ermittelnden Cashflow.⁵⁴⁸ Dabei sei CF_{c,i,t_c} der Cashflow des Kunden c mit $c \in \{1, 2, \dots, C\}$ mit Tarif $i \in \{1, 2, \dots, I\}$ zum Zeitpunkt $t_c \in \{1, 2, \dots, T_c\}$ für in der Periode $t - 1$ bis t in Anspruch genommenen Leistungen und periodenspezifischem Diskontierungszinssatz r_t mit $t \in \{1, 2, \dots, T\}$. Der Diskontierungszinssatz dient dabei der Transformation der zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallenden Zahlungen unter Berücksichtigung der Risikoprofile in einen

⁵⁴⁴ STEINER [Kundenwertmodellierung] S. 113 definiert diesen Begriff unter Rückgriff auf DU/KAMAKURA/MELA [Customer Wallet] S. 95 als den Anteil des Gesamtbedarfs eines Kunden, den der Kunde beim betrachteten Unternehmen von dessen angebotenen Leistungen erwirbt.

⁵⁴⁵ Vgl. f. HIPPER [CRM] S. 28, STAHL/MATZLER/HINTERHUBER [Linking] S. 269

⁵⁴⁶ Vgl. HIPPER [CRM] S. 28

⁵⁴⁷ Vgl. f. RUDOLF-SIPÖTZ [Kundenwert] S. 133

⁵⁴⁸ Vgl. f. BAUMEISTER/ALT [Verweildauerprognose] S. 456

äquivalenten Barwert und stellt damit deren Vergleichbarkeit sicher.⁵⁴⁹ Für Kundenwerte bietet sich die Nutzung der Weighted Average Cost of Capital als Diskontierungszinssatz an. Für die Berechnung des CLV gilt sodann Folgendes:⁵⁵⁰

$$CLV = \sum_{c=1}^C \sum_{i=1}^I \sum_{t_c=1}^{T_c} \frac{CF_{c,i,t_c}}{\prod_{\tau=1}^{t_c} (1+r_{\tau})} \quad (21)$$

Da diese Bestimmung des Customer Lifetime Value nicht nur die aktuellen, sondern auch die zukünftigen Zahlungen des Kunden berücksichtigt, dabei jedoch davon ausgegangen wird, dass die Cashflows im Zeitverlauf unverändert bleiben, liegt ein besonderer Fokus auf der Prognose der Verweildauern innerhalb eines der Kundensegmente.⁵⁵¹ Der u. a. von BAUMEISTER/ALT auf homogenen Markov-Ketten beruhende Ansatz zur Bestimmung kundenindividueller Bindungsdauern mittels einer Verweildauermatrix geht von statischen Übergangswahrscheinlichkeiten in dem Sinne aus, dass die Übergangswahrscheinlichkeiten unabhängig vom Zeitpunkt der Betrachtung sind und damit keine Veränderung der Übergangswahrscheinlichkeiten im Zeitverlauf auftreten.⁵⁵² Vergleichbar wird von Wahrscheinlichkeitsmodellen vorgegangen, bei denen basierend auf dem in der Vergangenheit beobachtbaren Kaufverhalten stochastische Prozesse identifiziert werden, die in der Lage sind, das Kaufverhalten der Kunden abzubilden, um darauf aufbauend den Customer Lifetime Value zu berechnen.⁵⁵³ Insbesondere das ursprüngliche Wahrscheinlichkeitsmodell, das Pareto/NBD-Modell, bei

⁵⁴⁹ Vgl. f. z. B. RIEDL [Wertorientiertes] S. 179 ff., der ebenda auch mögliche Ansätze zur Ermittlung diskutiert. Vgl. z. B. die im IAS 36.55 ff. festgehaltenen Vorschriften zur Ermittlung eines adäquaten Diskontierungszinssatzes. Diese können gemäß IASB für den Fall, dass eine Ermittlung eines vermögenswertspezifischen Marktzinses unmöglich ist, durch Nutzung der Weighted Average Cost of Capital erfüllt werden, indem auf Basis des Capital-Asset-Pricing-Modells der Eigenkapitalkostensatz ermittelt wird und die unternehmensbezogenen Grenzkosten für eine neuerliche Kreditaufnahme zur Fremdkapitalkostenermittlung herangezogen werden (vgl. BUSCHHÜTER/STRIEGEL [IFRS] S. 146, BUSCHHÜTER/STRIEGEL [KOMMENTAR] S. 921 f., FREIBERG/LÜDENBACH [Diskontierungszinssatz] S. 479 ff., IAS 36.55, IAS 36.A17). Da es sich bei Kundenwerten um keine Vermögensgegenstände im herkömmlichen Sinne handelt, sei der WACC in Ermangelung von Alternativen als Diskontierungsfaktor zu wählen. Vergleiche zur ausführlichen Darstellung der Ermittlung des WACC, die auch folgend nicht im Zentrum der Betrachtung steht und daher nicht näher betrachtet wird, z. B. auch ARMITAGE [Cost of Capital] S. 157 ff., FISCHER [EVA] S. 4 ff., PRATT/GRABOWSKI [Costs of Capital] S. 276 ff.

⁵⁵⁰ Vgl. BAUMEISTER/ALT [Verweildauerprognose] S. 456

⁵⁵¹ Vgl. BAUMEISTER/ALT [Verweildauerprognose] S. 456

⁵⁵² Vgl. WALDMANN/STOCKER [Stochastische Modelle] S. 11

⁵⁵³ Vgl. ff. STEINER [Modellierung] S. 25, die ab S. 24 eine ausführliche Übersicht auch über alle weiteren potenziellen Modelle zur Modellierung des Kaufverhaltens liefert, die jedoch nicht von Relevanz für diese Arbeit sind sowie FADER/HARDIE [Probability] S. 61 f. oder VILLANUEVA/HANSSENS [Customer Equity] S. 1 ff.

dem für Kunden einerseits eine Aktivitätswahrscheinlichkeit, die pareto-verteilt ist, und andererseits die Transaktionsmenge, die negativ binominal-verteilt⁵⁵⁴ ist, abgebildet wird, ist breiter Kritik ausgesetzt.⁵⁵⁵ So wird die Inflexibilität der gewählten Verteilungsfunktionen zur Abbildung der Kaufwahrscheinlichkeit, die Kundenkaufwahrscheinlichkeit, die für alle in diesem Modell vorhandenen Kunden größer 0 ist, als auch die Unveränderlichkeit der Kaufwahrscheinlichkeit im Zeitablauf kritisiert.⁵⁵⁶

Eine gesonderte Berücksichtigung der Einflussfaktoren auf die Verweildauer, um diese im Zeitablauf zu flexibilisieren, ist auch für den Datenübertragungsdienstleister bei der Bestimmung des Customer Lifetime Value erstrebenswert, wenn davon ausgegangen wird, dass die Verteilung der Gesamtkapazität auf die verschiedenen Prioritätslevel unmittelbar Einfluss auf die von den unterschiedlichen Kundengruppen wahrgenommene Dienstleistungsqualität hat. Die Veränderung der Übergangswahrscheinlichkeiten resultiert sodann aus den Erkenntnissen von z. B. ANDERSON/ FORNELL/LEHMANN, CHEN/CHEN, GARBARINO/JOHNSON oder RUST/ZAHORIK, gemäß derer die Kundenzufriedenheit Einfluss auf die Zahlungsbereitschaft und auf die Bereitschaft, das bisherige Kundensegment zu verlassen, hat.⁵⁵⁷ Die Bereitschaft in einem Kundensegment zu verweilen, ist dabei nicht zwingend auf den Anbieter selbst beschränkt, sondern kann vielmehr so interpretiert werden, dass alle Kunden zu einem bestimmten Zeitpunkt, entsprechend der ihnen obliegenden Souveränität, Angebote von Konkurrenten gleichfalls evaluieren und sodann auch eine Entscheidung über das Fortbestehen der Kundenbeziehung zu dem aktuellen Anbieter treffen.⁵⁵⁸

Abbildung 32 visualisiert diese Einflussgrößen und erfasst die kundenindividuelle Bindungsdauer T_c indirekt über das zum Zeitpunkt t dem Kunden c zugewiesene Kundensegment, welches bei Beendigung der Kundenbeziehung das Kundensegment „Nicht Kunde“⁵⁵⁹ wäre und damit abhängig von der in Periode $T_c - 1$ wahrgenommenen Kundenzufriedenheit ist. Dies gilt es, für alle Kunden zu modellieren, die in der Abbildung mittels der hintereinanderliegenden Ebenen angedeutet werden, wobei innerhalb jeder Ebene die gesamte Kundenbeziehung von einem einzigen Kunden abgebildet ist.

⁵⁵⁴ Die Abkürzung NDB resultiert aus der Übersetzung der im Englischen als **N**egativ **B**inominal **D**istribution genannten Verteilungsfunktion.

⁵⁵⁵ Vgl. STEINER [Modellierung] S. 26 ff., WÜBBEN/WANGENHEIM [Analysis] S. 82 ff.

⁵⁵⁶ Vgl. MORRISON/SCHMITTEIN [NBD Model] S. 145

⁵⁵⁷ Vgl. z. B. ANDERSON/FORNELL/LEHMANN [Customer Satisfaction] S. 53 ff., CHEN/CHEN [Behavioral Intentions] S. 30 ff., GARBARINO/JOHNSON [Customer] S. 70 ff.; RUST/ZAHORIK [Customer] S. 193 ff.,

⁵⁵⁸ Vgl. SHEN/SU [Revenue Management] S. 713 f.

⁵⁵⁹ Das „Nicht-Kunde“-Segment wird im Markov-Ansatz als absorbierende Teilmatrix definiert, sodass analysiert werden kann, wie viele Schritte zu erwarten sind, bis ein Kunde aus einem emittierenden zum absorbierenden Zustand gelangt (vgl. BAUMEISTER/ALT [Verweildauerprognose] S. 457).

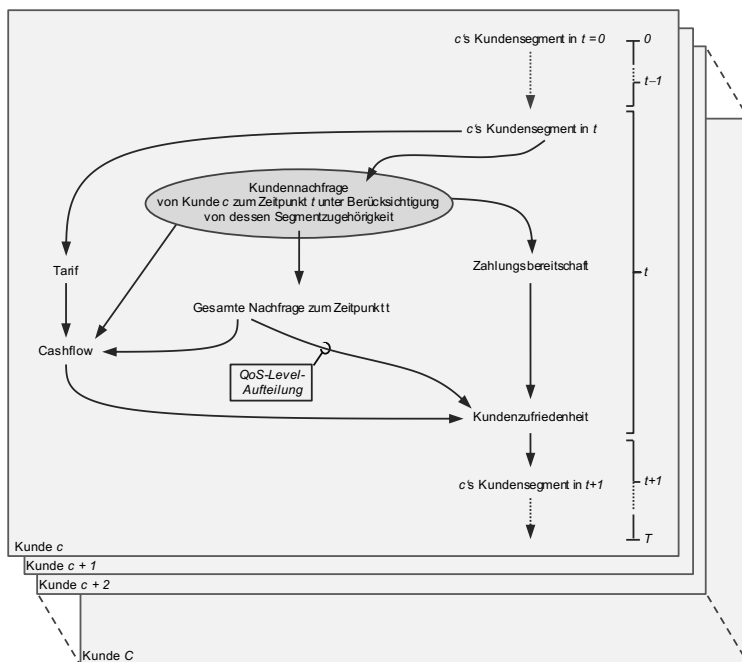


Abbildung 32: Übersicht der Einflussfaktoren im Zielsystem des Datenübertragungsdienstleistungsanbieters

4.2.2 Ansatzpunkte zur kundenwertorientierten Optimierung einer Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistungen

Der Customer Equity ist definiert als die Summe der diskontierten Customer Lifetime Values aller bestehenden Kunden eines Unternehmens.⁵⁶⁰ Er ist dementsprechend als wertmäßiger Beitrag zur Schaffung von Shareholder Value zu interpretieren, den eine Unternehmung aus der Nutzung der aktuellen und zukünftigen Leistungen all ihrer bestehenden Kunden, abzüglich der diesen direkt zurechenbaren Kosten sowie der zu deckenden Fixkosten, zu generieren vermag.⁵⁶¹ VILLANUEVA/HANSENS unterscheiden zwischen statischen und dynamischen Ansätzen zur Berechnung des Customer Equity. Während sie im Falle der statischen Betrachtung ausschließlich die Customer

⁵⁶⁰ Vgl. BLATTBERG/DEIGHTON [Customer Equity] S. 137 f.

⁵⁶¹ Vgl. RUST/ZEITHAML/LEMON [Customer Equity] S. 4, WILLE [Customer Equity] S. 47

Lifetime Values einer bestimmten Kunden-Kohorte aufsummieren, also die Summe der CLVs einer bestimmten Kundengruppe, z. B. Kunden, die zu einem bestimmten Zeitpunkt akquiriert wurden, werden bei der dynamischen Betrachtung sowohl bestehende als auch zukünftige Kohorten berücksichtigt.⁵⁶² Damit erlauben die dynamischen Verfahren, dass eine Fluktuation der Kunden stattfinden kann, und berücksichtigen somit im Gegensatz zu den statischen Verfahren nicht nur, dass Kunden die Beziehung zum Unternehmen abbrechen und aus dem Kundenstamm ausscheiden, sondern auch, dass neue Kunden gewonnen werden. Im Folgenden stehen die Bestandskunden im Fokus der Betrachtung, da es aufgrund der großen Kundenbasis eines Datenübertragungsdienstleistungsanbieters unwahrscheinlich ist, dass im Zuge einer Segmentierung der Bestandskunden ein Kundensegment aufgrund seiner Nutzungsstrukturen gänzlich unberücksichtigt bleibt, das nicht auch beim jeweils betrachteten Datenübertragungsdienstleistungsanbieter in der Kundenstruktur bereits beinhaltet ist. Entsprechend wird davon ausgegangen, dass basierend auf der Analyse der Bestandskunden nicht nur eine Entscheidungsbasis für eine anzustrebende Kundenstruktur geschaffen werden kann, sondern darüber hinaus Ansatzpunkte zur Optimierung von Investitionen in Maßnahmen, die zur Gewinnung von Neukunden dienen, abgeleitet werden könnten, wenn das Kundensegment mit dem größten Potenzial zur Wertsteigerung des Unternehmens identifiziert wird. Darauf aufbauend ließe sich basierend auf dem internen Kundensegmentwechselverhalten, der mit der internen Kundenentwicklung zur Lenkung des Wechselverhaltens verbundenen Kosten und der Kosten zur externen Kundengewinnung auch ein Ansatz zur Optimierung der Neukundengewinnung ableiten.

Im Sinne des Unternehmensziels ist die simultane Maximierung des Customer Equity und des Shareholder Value zur langfristigen Erreichung eines profitablen und nachhaltigen Wachstums der Unternehmung erstrebenswert.⁵⁶³ Die bereits aufgezeigten

⁵⁶² Vgl. f. VILLANUEVA/HANSENS [Customer Equity] S. 5 f. und GUPTA/LEHMANN/STUART [Valuing] S. 8

⁵⁶³ Vgl. GUPTA ET AL. [CLV] S. 150, STEINER [Kundenwertmodellierung] S. 23 sowie WILLE [Customer Equity] S. 46, der eben da auf Ausnahmesituationen hinweist, in denen die Parallelität einer positiven Wirkungsrichtung zwischen der Erfüllung von Kundeninteressen und einer mit dieser einhergehenden Erhöhung des Shareholder Value aufgehoben ist, wenn ausschließlich der Customer Lifetime Value betrachtet wird. Denkbar ist einerseits das Over-Engineering-Problem, bei dem der Kunde die zur Steigerung des Customer Lifetime Value neu geschaffenen Leistungsmerkmale nicht in seiner Zahlungsbereitschaft honoriert und damit der beim Kunden realisierte Nettotonutzen geringer ausfällt, als die Kosten, die zur Generierung von diesem notwendig waren. Insbesondere der konträre Fall ist jedoch im Zuge der Betrachtung von Telekommunikationsdienstleistungen zu berücksichtigen, bei dem der Kunde zwar dann einen sehr hohen Nutzen wahrnimmt, wenn die Preise für die in Anspruch genommene Leistung bzw. das Produkt besonders niedrig sind, mit der Folge der fehlenden Profitabilität der Unternehmung und damit einem Verlust an Shareholder Value, jedoch gleichfalls auch zu hohe Preise zu einer Verminderung der Wiederkaufswahrscheinlichkeit bzw. der erneuten Inanspruchnahme der Dienstleistung führen, sodass dies ebenfalls zu einer Verminderung des Shareholder Value auf die lange Sicht führt. Vgl. ferner zur ausführlichen mathematischen

engen Verflechtungen zwischen Customer Lifetime Value, Customer Equity und dem Shareholder Value sind verantwortlich dafür, dass eine Ausrichtung der Preisstrategie am übergeordneten Ziel der Unternehmensstrategie zielführend ist.⁵⁶⁴ Um den Customer Equity durch die gezielte Ressourcenallokation des Unternehmens zu maximieren, ist eine segmentbezogene Analyse zur Identifikation der gezielt zu fördernden Kundensegmente anzustreben.⁵⁶⁵ Somit wird bei der Customer-Equity-Betrachtung, bei der eine kundensegmentbezogene Sicht zugrunde liegt, der Forderung Rechnung getragen, dass das gesamte Kundenportfolio inklusive der Interaktion der Kunden zwischen den Kundensegmenten mitzubetrachten ist. Insbesondere durch diese Berücksichtigung der Wechselwirkung zwischen den einzelnen Segmenten kann die Problematik, dass eine Maximierung des Customer Lifetime Value nicht zwingend zu einer Maximierung des Customer Equity führt,⁵⁶⁶ eliminiert werden.

Aufbauend auf den bereits identifizierten Nutzersegmenten gilt es einen Zahlungsstrom abzubilden, dessen Einzelzahlungen abhängig von der in den jeweiligen Perioden zu erwartenden segmentspezifischen Nutzerstruktur sind. Die segmentspezifische Zahlung $cf_{k,t}$ von Segment k zum Zeitpunkt t sei zunächst durch die Segmentgröße $g_{k,t}$ multipliziert mit dem segmentspezifischen und damit von dem aus der nutzerstrukturabhängigen Inanspruchnahme resultierendem durchschnittlichen $Entgelt_{k,t}$ des Kundensegments k zum Zeitpunkt t definiert:

$$cf_{k,t} = g_{k,t} \cdot Entgelt_{k,t} \quad (22)$$

$$\forall k \in \{1, 2, \dots, K\}, t \in \{1, 2, \dots, T\}$$

Dies setzt jedoch voraus, dass davon ausgegangen wird, dass bei hinreichend großer Kundensegmentgröße das durchschnittliche Entgelt zur Berechnung herangezogen werden kann. Ist die Kundensegmentgröße hingegen zu klein, um diese Annahme rechtfertigen zu können, bietet sich die segmentspezifische Zahlungsstrom-Berechnung unmittelbar durch Summieren der jedem einzelnen Kunden c , mit $c \in \{1, 2, \dots, C\}$, zurechenbaren einzelnen Zahlungen an, sodass für diesen Fall die segmentspezifische Zahlung zu einem bestimmten Zeitpunkt t wie folgt zu ermitteln wäre:

Diskussion der Parallelität der Wirkungsrichtung bezogen auf die Maximierung des Customer Equity durch die Maximierung des Customer Lifetime Value DRÈZE/BONFRER [Customer Equity] S. 289 ff.

⁵⁶⁴ Vgl. SIMON/FABNACHT [Preismanagement] S. 25

⁵⁶⁵ Vgl. f. STEINER [Kundenwertmodellierung] S. 23, die ebenda ausführlich die Vorteile einer segmentbasierten Betrachtung darlegt.

⁵⁶⁶ Vgl. DRÈZE/BONFRER [Customer Equity] S. 289 ff., die feststellen: „Although the CLV model is appropriate for managing a single non-replaceable customer, the application of a CLV model to the acquisition and valuation of customers as an ongoing concern for the firm leads to sub-optimal customer relationship management and acquisition strategies“ S. 289

$$cf_{k,t} = \sum_{c=1}^C Entgelt_{c,t} \quad (23)$$

$$\forall k \in \{1, 2, \dots, K\}, t \in \{1, 2, \dots, T\}$$

Unabhängig davon, ob der Cashflow nun auf Basis der einzelnen Kundenzahlungen oder der aggregierten segmentspezifischen Zahlungen beruht, so folgt für den Customer Equity und damit, gemäß seiner Definition, der Summe der Cashflows der einzelnen Kundensegmente und dem vom Anbieter intendierten Ziel der langfristigen und damit periodenübergreifenden Maximierung von eben diesem sowie mit dem periodenspezifischen Diskontierungszinssatz r_τ mit $\tau \in \{1, 2, \dots, t\}$ Folgendes:

$$\max : CE = \sum_{t=1}^{\infty} \sum_{k=1}^K \frac{cf_{k,t}}{\prod_{\tau=1}^t (1+r_\tau)} \quad (24)$$

Unberücksichtigt bleiben die Fixkosten, die den maßgeblichen Anteil an den Gesamtkosten des Datenübertragungsdienstleisters bilden, jedoch bei der Maximierung aufgrund der Fixkostenremanenz keine Rolle spielen.⁵⁶⁷

In den nachfolgenden Kapiteln werden die Möglichkeiten der Modellierung der weiteren Komponenten des Zielsystems des Datenübertragungsdienstleisters zur Ermittlung des Customer Equity aufgezeigt, um abschließend eine Analyse der identifizierten Bepreisungsmechanismen vornehmen zu können. Zunächst gilt es jedoch zu klären, welchen Einfluss Preise auf das Nutzungsverhalten haben und wie dieses abgebildet werden kann, da nur dann eine Analyse der Bepreisung vorgenommen werden kann.⁵⁶⁸

4.3 Abbildung der Einflussfaktoren zur Kundenwertbestimmung

4.3.1 Abbildung der Zahlungsbereitschaft für priorisierte Datenübertragungsdienstleistungen

4.3.1.1 Ansatzpunkte zur Abbildung der Zahlungsbereitschaft

Die Zahlungsbereitschaft entspricht dem Betrag, den der Kunde maximal bereit ist für eine Einheit eines Produktes zu zahlen.⁵⁶⁹ Dieser auch Reservationspreis bzw. Vorbehaltspreis genannte Betrag entspricht dem Preis, bei dem ein Kunde, entsprechend

⁵⁶⁷ Siehe zur Fixkostenremanenz bei Dienstleistungen Kapitel 3.1.2.2

⁵⁶⁸ Vgl. HOFSTETTER/MILLER [Precision Pricing] S. 5

⁵⁶⁹ Vgl. SKIERA [Preisdifferenzierung] S. 21 oder BUXMANN/DIEFENBACH/HESS [Softwareindustrie] S. 111

seiner individuellen Präferenzen und seines Wohlstands,⁵⁷⁰ indifferent zwischen der Inanspruchnahme und der Nichtnutzung der Dienstleistung ist.⁵⁷¹ Um den Nutzen, den der Kunde dem Produkt oder der Dienstleistung

Zur Spezifikation der Nutzenfunktion wird klassischerweise auf Conjoint-Analysen zurückgegriffen,⁵⁷² mit deren Hilfe Präferenzen der Käufer bzw. Nutzer von multiattributiven Objekten, seien es Güter oder Dienstleistungen, untersucht werden.⁵⁷³ Dies geschieht, indem aus den mittels empirischer Untersuchungen erfassten Präferenzen hinsichtlich der Einzelattribute, basierend auf einem multiattributiven Strukturmodell, die Gesamtpreferenz und damit die Zahlungsbereitschaft abgeleitet werden.⁵⁷⁴ Dazu weist das Präferenzstrukturmodell mit Bewertungs- und Verknüpfungsfunktionen den Einzelattributen die Bedeutung für das Gesamtobjekt zu.⁵⁷⁵ Dies dient der Spezifikation und Validierung der in einem ersten Schritt der Conjoint-Analyse zu wählenden Nutzenfunktion sowie derer grundlegenden Eigenschaften.⁵⁷⁶ Da die empirische Validierung auch im Folgenden nicht intendiert ist, soll der Fokus vielmehr auf die generalisierten Möglichkeiten zur Abbildung der Zahlungsbereitschaft für Datenübertragungsdienstleistungen gelegt werden. Um dies umzusetzen, wird zur Abbildung der Zahlungsbereitschaft auf Funktionen zurückgegriffen, die den Handlungsalternativen, in dem Falle den verschiedenen Preisen, die kundenindividuelle Präferenz, also den Nutzen, den der Kunde aus dem Produkt oder der Dienstleistung zu ziehen gedenkt, zuweisen.⁵⁷⁷

Da die Abbildung der Zahlungsbereitschaft eine Form einer Auswahlentscheidung in dem Sinne ist, dass der Anwender den Nutzen des zu erlangenden Gutes bzw. der in Anspruch zu nehmenden Dienstleistung mit dem potenziellen Nutzen des Geldes vergleicht und die Zahlungsbereitschaft gerade dem Betrag entspricht, zu dem der Kunde indifferent ist, lässt sich diese, gemäß der von COOMBS/DAWES/TVERSKY getroffenen

⁵⁷⁰ Vgl. TALLURI/VAN RYZIN [Revenue Management] S. 661

⁵⁷¹ Vgl. RICHERT [Mikroökonomik] S. 55, VARIAN [Mikroökonomik] S. 4, JERENZ [Revenue] S. 64; Vgl. zur abweichenden Definition der Zahlungsbereitschaft z. B. BREIDERT [Willingness-to-Pay] S. 23, der die Zahlungsbereitschaft als Oberbegriff für die beiden Konzepte des Reservationspreises und des Maximalen Preises zusammenführt.

⁵⁷² Vgl. MAYER [Wechselverhalten] S. 110, vgl. zur Übersicht über verschiedene Ausprägungen der Conjoint-Analyse z. B. AHLERT/SCHULZE-BENTROP [Pricing] S. 33 f. in Verbindung mit SCHUBERT [Conjoint] S. 318, SCHMIDT [Segmentierung] S. 74 ff. sowie STEINER [Präferenzmessung] S. 49 ff.

⁵⁷³ Vgl. KLEIN [Conjoint-Analyse] S. 9

⁵⁷⁴ Vgl. KLEIN [Conjoint-Analyse] S. 9, PEPELS [Pricing] S. 19

⁵⁷⁵ Vgl. HOLLING [Präferenzmessung] S. 14, BACKHAUS ET AL. [Multivariate Analyse] S. 560 ff., AHLERT/SCHULZE-BENTROP [Pricing] S. 36

⁵⁷⁶ Vgl. HOLLING [Präferenzmessung] S. 120

⁵⁷⁷ Vgl. FRANKE/HAX [Finanzwirtschaft] S. 302

Differenzierung von Nutzenmodellen, den konstanten Nutzenmodellen zuordnen.⁵⁷⁸ Bei diesen wird von einem konstanten Nutzen ausgegangen, während die Entscheidungsbasis für eine der Alternativen probabilistischer Natur ist.⁵⁷⁹ Bei den Zufallsnutzenmodellen, des zweiten identifizierten Nutzenmodell-Typs, verhält es sich hingegen genau entgegengesetzt, sodass der Nutzen probabilistisch und die Entscheidungsbasis deterministisch ist. Es wird angenommen, dass der Nutzer stets die Alternative wählt, mit der er eine höhere Befriedigung seiner Bedürfnisse glaubt erlangen zu können. Die Diskriminierung einer Alternative ist dabei umso größer, je größer der Abstand zwischen den Nutzenwerten der miteinander verglichenen Alternativen ist.

Im einfachsten Fall liegt für den Kunden eine quasilineare Nutzenfunktion $v(\cdot)$ vor, bei der der gemessene Nutzen des gekauften Produkts bzw. der in Anspruch genommenen Dienstleistung aus seinem Gesamteinkommen x_0 und dem in monetären Einheiten quantifizierten Nutzen $u(x)$ in Abhängigkeit der Nutzungsintensität x der Dienstleistung bzw. der Menge der gekauften Produkte resultiert und somit $v(x_0, x) = x_0 + u(x)$ entspricht.⁵⁸⁰ Es ist mit $x_0 - r(x) > 0$ und $r(x)$ als einem von der Nutzungsintensität abhängigen Rechnungsbetrag angenommen, dass das Gesamteinkommen x_0 größer als ein nutzungsintensitätsabhängiger Rechnungsbetrag zu sein hat. Im Speziellen gilt hier, dass das Gesamteinkommen des Anwenders keinen Einfluss auf die Intensität der Inanspruchnahme hat. Diese Annahme scheint insbesondere im Rahmen von Telekommunikationsdienstleistungen gerechtfertigt, da davon auszugehen ist, dass die bei den aktuell in der Praxis relevanten Tarifen zu leistende Zahlung weitgehend unabhängig von der Nutzungsintensität nur einem geringen Teil des Gesamteinkommens entspricht.

Diese Annahme erlaubt im Rahmen der Modellierung der Zahlungsbereitschaft des Nutzers eine Fokussierung auf zwei Faktoren: einerseits die Datenmenge, die in Anspruch genommen wird, und damit die Nutzungsintensität, und andererseits das von dem Nutzer benötigte Quality of Service Level. Sowohl die Nutzungsintensität als auch die genutzten Anwendungen beeinflussen die Datenmenge direkt, während die Art der genutzten Anwendungen vorgibt, welche Dienstgüte benötigt wird, um die Anforderungen des Nutzers zu befriedigen.

⁵⁷⁸ Vgl. zur Differenzierung zwischen deterministischen und probabilistischen Entscheidungsmodellen COOMBS/DAWES/TVERSKY [Mathematical Psychology] S. 149

⁵⁷⁹ Vgl. ff. COOMBS/DAWES/TVERSKY [Mathematical Psychology] S. 149 sowie THURNER [Entscheidung] S. 111

⁵⁸⁰ Vgl. ff. COURCOUBETIS/WEBER [Pricing] S. 118

4.3.1.2 Abhängigkeit der Zahlungsbereitschaft von der Nutzungsintensität

Zur Abbildung der Zahlungsbereitschaft für die Datenübertragungsdienstleistung in Abhängigkeit der in Anspruch genommenen Menge scheint die in Formel 25 dargestellte quadratische Zahlungsbereitschaftsfunktion geeignet, da entsprechend des ersten GOSSEN'schen-Gesetzes der Nutzenzuwachs aus der zusätzlich konsumierten Mengeneinheit mit steigendem Konsum abnimmt, bis der Konsument gesättigt ist.⁵⁸¹ Eben dies gilt für Datenübertragungsmengen, bei denen der in Geldeinheiten bewertete Nutzen einen degressiven Kurvenverlauf hat und somit der Grenznutzen mit zunehmender Nutzungsintensität fällt. Da diese Eigenschaft gleichfalls für kurze als auch länger andauernde zu betrachtende Zeitintervalle gilt, eignet sich die quadratische Funktion somit zur Operationalisierung des Nutzens auf den verschiedensten Zeitintervallen.

Die von SKIERA⁵⁸² unter Rückgriff auf wohlfahrtstheoretische Konzepte dargestellte und als quadratisch bezeichnete Zahlungsbereitschaftsfunktion $zb_c(q_c)$ weist dem c -ten Konsumenten in Abhängigkeit von dessen Nachfragemenge q_c , gemessen in Einheiten des Produktes bzw. der Dienstleistung, eine Zahlungsbereitschaft zu:⁵⁸³

$$zb_c(q_c) = \begin{cases} \ddot{a}_c \cdot q_c - \frac{\ddot{b}_c}{2} \cdot q_c^2 + \ddot{o}_c & \text{wenn } q_c \leq \frac{\ddot{a}_c}{\ddot{b}_c} \\ \frac{\ddot{a}_c^2}{2 \cdot \ddot{b}_c} + c_c & \text{wenn } q_c > \frac{\ddot{a}_c}{\ddot{b}_c} \end{cases} \quad (25)$$

mit $c \in \{1, 2, \dots, C\}$ und $\ddot{a}_c, \ddot{o}_c, \ddot{q}_c \geq 0, \ddot{b}_c > 0$

\ddot{a}_c und \ddot{b}_c sind kundenindividuelle Formparameter, die Einfluss auf den Verlauf der Funktion haben, indem sie die Steigung und Krümmung des Kurvenverlaufs beeinflussen,⁵⁸⁴ während \ddot{o}_c die von der Nutzungsintensität unabhängige Zahlungsbereitschaft widerspiegelt, die genau dann 0 beträgt, wenn der Nutzer dem Potenzial der Nutzung keinen Wert beimisst.⁵⁸⁵ Die Funktion ist zweigeteilt und es handelt sich nur bis zum

⁵⁸¹ Vgl. f. ROTH [Preismanagement] S. 14 sowie GOSSEN [Gesetze] S. 4 f.

⁵⁸² Vgl. SKIERA [Preisdifferenzierung] S. 22, der neben dieser weitere Funktionen zur Erfassung der Zahlungsbereitschaft vorstellt und diese direkt als Zahlungsbereitschaftsfunktion bezeichnet. Vgl. ferner LAUX/GILLENKIRCH/SCHENK-MATHES [Entscheidungstheorie] S. 137 oder HAX [Investitionstheorie] S. 136.

⁵⁸³ Vgl. SKIERA [Preisdifferenzierung] S. 21 f. mit Verweisen auf TACKE [Preisbildung] S. 59 und SCHULZE/GEDENK/SKIERA [Zahlungsbereitschaftsfunktionen] S. 404. Die quadratische Nutzenfunktion ist die häufigste getroffene Annahme bezüglich des Funktionsverlaufs bei der Untersuchung von Zahlungsbereitschaften (Vgl. SKIERA [Preisdifferenzierung] S. 30).

⁵⁸⁴ Vgl. HAX [Investitionstheorie] S. 136

⁵⁸⁵ Vgl. f. SKIERA [Preisdifferenzierung] S. 23

Maximum um eine nach unten geöffnete quadratische Funktion, sodass für die Bezeichnung – wie SKIERA selbst anmerkt – zutreffender von einer „teilweise quadratische[n] Zahlungsfunktion“⁵⁸⁶ gesprochen werden müsste, da es sich um eine abschnittsweise definierte Funktion mit einer quadratischen sowie einer konstanten Teilfunktion handelt. Mit dem Vorliegen eines Maximums, in diesem Fall einer maximalen Zahlungsbereitschaft von $[\ddot{a}_c^2/(2 \cdot \ddot{b}_c)] + \ddot{o}_c$, berücksichtigt die Funktion die Tatsache, dass ein Konsument für das Produkt bzw. die Dienstleistung nicht über einen bestimmten Betrag hinaus zu zahlen bereit ist.⁵⁸⁷ Diese maximale Zahlungsbereitschaft ist unabhängig davon, wie viele Mengeneinheiten von dem Kunden insgesamt nachgefragt werden, und ab dem Punkt erreicht, bei dem die Nachfrage $q_c > \ddot{a}_c / \ddot{b}_c$ ist. Insbesondere der zuletzt genannte Aspekt spielt eine besondere Bedeutung, dürfte es doch unwahrscheinlich sein, dass die Zahlungsbereitschaft eines Kunden unbegrenzt ist.⁵⁸⁸

Vergleichbare Charakteristika weisen auch die im Zuge der Betrachtung von Telekommunikationsdienstleistungen sehr weit verbreiteten und daher eine große Rolle spielenden semi-logarithmisch ausgestalteten Zahlungsbereitschaftsfunktionen auf,⁵⁸⁹ für die

$$zb_c(q_c) = \begin{cases} 0 & \text{wenn } q_c = 0 \\ \frac{q_c}{b_c} \cdot [1 + \ln(a_c) - \ln(q_c)] + o_c & \text{wenn } 0 < q_c \leq a_c \\ \frac{a_c}{b_c} + o_c & \text{wenn } q_c > a_c \end{cases} \quad (26)$$

mit $c \in \{1, 2, \dots, C\}$ und $a_c, b_c, q_c \geq 0, o_c > 0$ gilt. Während o_c weiterhin die von der Nutzungsintensität unabhängige Zahlungsbereitschaft widerspiegelt, entspricht die maximale Zahlungsbereitschaft zb_c^{\max} .⁵⁹⁰

$$zb_c^{\max} = \frac{a_c}{b_c} + o_c \quad (27)$$

⁵⁸⁶ SKIERA [Preisdifferenzierung] S. 23

⁵⁸⁷ Vgl. f. SCHULZE/GEDENK/SKIERA [Zahlungsbereitschaftsfunktionen] S. 405

⁵⁸⁸ Vgl. zu dieser Annahme auch das erste Gesetz von GOSSEN [Gesetze] S. 4 f.

⁵⁸⁹ Vgl. f. SKIERA [Preisdifferenzierung] S. 22 mit Verweis auf u. a. KRIDEL [Consumer] S. 382, TAYLOR/KRIDEL [Demand] S. 107 ff., KLING/VAN DER PLOEG [Estimating] S. 122 und PARK/WETZEL/MITCHELL [Price Elasticities] S. 1716 f. Vergleiche dazu auch RAPPOPORT ET AL. [Demand] S. 72 f. sowie zur Nutzung des Konzepts zur Analyse von Datenübertragungsdienstleistungen z. B. FAULHABER [Prices] S. 285.

⁵⁹⁰ Vgl. SKIERA [Preisdifferenzierung] S. 23 sowie 34

Über diese beiden Funktionen hinaus greifen weitere auf einzelne Sachverhalte eigens angepasste theoretische Modelle auf andere Funktionen zur Erfassung der Zahlungsbereitschaft zurück,⁵⁹¹ die jedoch aufgrund der zugrundeliegenden Spezialisierung nicht näher erläutert werden. Im Folgenden soll vielmehr unter Berücksichtigung der Besonderheiten der Datenübertragungsdienstleistung mit priorisierter Datenübermittlung zur Sicherung der Dienstgüte eine geeignete Abbildungsform für die basierend auf der in Formel 26 dargestellte semi-logarithmische Zahlungsbereitschaft gefunden werden.

Abbildung 33 zeigt, dass, wie bereits in Kapitel 3.1.1.2.1 erläutert, sowohl die Nutzungsstruktur und die aus dieser resultierende Notwendigkeit, bestimmte Dienstgütelevel garantiert zu bekommen, als auch die Nutzungsintensität direkten Einfluss auf die Zahlungsbereitschaft des Kunden hat. Ferner wird deutlich, dass die Anzahl derjenigen mit einer hohen Zahlungsbereitschaft für QoS gering ist, während etliche nur in geringem Umfang QoS-benötigende Dienste in Anspruch nehmen, und dementsprechend viele Kunden eine geringe Zahlungsbereitschaft aufweisen. Gemäß der von der ITU getroffenen Aussage unterscheiden sich die Kunden sowohl in der Zahlungsbereitschaft als auch in der Nutzerstruktur, sodass unabhängig vom gewählten Untergliederungskriterium vergleichbare Gruppen gebildet werden können.

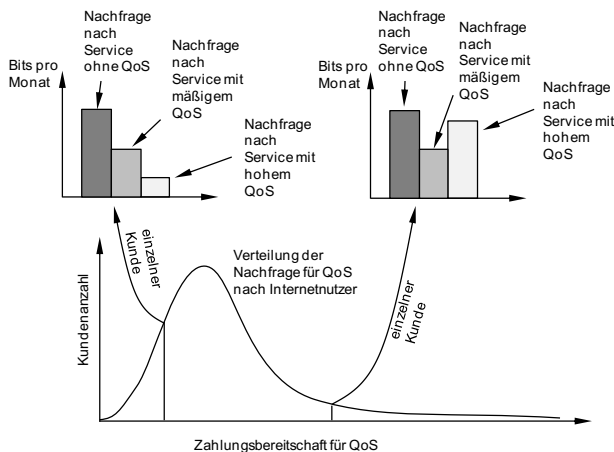


Abbildung 33: Zusammenhang zwischen Zahlungsbereitschaft und Kundenanzahl⁵⁹²

⁵⁹¹ Vgl. zur Übersicht SCHULZE/GEDENK/SKIERA [Zahlungsbereitschaftsfunktionen] S. 405

⁵⁹² Vgl. ITU [Pricing] S. 29

Dementsprechend ist zunächst eine Möglichkeit zur Berücksichtigung der Dienstgüte im Rahmen der nutzungsintensitätsabhängigen semi-logarithmischen Zahlungsbereitschaft zu identifizieren.

4.3.1.3 *Abhängigkeit der Zahlungsbereitschaft vom Kundennutzen der Dienstgüte*

Gemäß PARASURAMAN/ZEITHAML/BERRY ist die Lücke zwischen der vom Anbieter der Dienstleistung spezifizierten Qualität und der tatsächlich gelieferten Qualität für das vom Nutzer letztlich wahrgenommene Qualitätslevel maßgeblich, da sie davon ausgehen, dass das kommunizierte Dienstleistungsversprechen maßgeblich die Erwartungen des Kunden prägt.⁵⁹³ Somit ist es aus Unternehmenssicht besonders wichtig, die versprochene Dienstgüte einzuhalten, da die wahrgenommene Qualität bei Nichteinhaltung schlechter ist, als wenn der Anbieter gar nicht erst versprochen hätte, die Dienstgüte einhalten zu können. Darüber hinaus wird davon ausgegangen, dass die vom Konsumenten wahrgenommene Qualität eine Funktion der Größe und Richtung der Lücke zwischen der tatsächlich erhaltenen Qualität und der erwarteten Qualität ist. Demnach muss sich die vom Kunden erwartete Dienstgüte, neben der beanspruchten Datenübertragungsmenge, in der kundenspezifischen Zahlungsbereitschaft für die Datenübertragungsdienstleistung widerspiegeln.⁵⁹⁴ Ursächlich dafür ist der vom Kunden wahrgenommene Nutzen, der in die Ermittlung der Zahlungsbereitschaftsfunktion einfließt, und dass dieser Nutzen wiederum, so wie beschrieben, vom Quality of Service-Level abhängig ist.⁵⁹⁵

Der wahrgenommene Nutzen der Dienstgüte hängt im speziellen Fall der Datenübertragungsdienstleistungen insbesondere von der Anwendung ab, die in Anspruch genommen wird. Eine Verzögerung bzw. andere die Dienstgüte negativ beeinflussende Faktoren implizieren für den Nutzer einer unelastischen Echtzeitanwendung größere Nachteile als für den Nutzer einer elastischen Anwendung.⁵⁹⁶ SHENKER stellt daher für vier verschiedene Anwendungstypen Nutzenkurven in Abhängigkeit des realisierten Quality of Service nebeneinander, die sich in ihrer Charakteristik stark unterscheiden.⁵⁹⁷ Die Nutzenfunktion für unelastische, intolerante Anwendungen entspricht einer

⁵⁹³ Vgl. ff. PARASURAMAN/ZEITHAML/BERRY [Service Quality] S. 45 f.

⁵⁹⁴ Vgl. MACKIE-MASON/VARIAN [Pricing] S. 285

⁵⁹⁵ Vgl. zur Verbindung von Quality of Service mit der wahrgenommenen Dienstgüte (QoE) z. B. FIEDLER/HOSSFELD/TRAN-GIA [QoE] S. 38 ff., vgl. ICKIN ET AL [Effects] S. 663 ff., die die Auswirkungen von Packet Delay auf die wahrgenommene Dienstgüte für Video-Anwendungen beschreiben. Vgl. zur generellen Abhängigkeit der Zahlungsbereitschaft eines Kunden von der Kundenzufriedenheit HOMGURG/KOSCHATE/ HOYER [Customer Satisfaction] S. 74

⁵⁹⁶ Vgl. DASILVA [Pricing] S. 3 f.

⁵⁹⁷ Vgl. f. SHENKER [Future Internet] S. 1183

on-off-Funktion, sodass der Nutzen von unelastischen Anwendungen abrupt auf null sinkt, sobald das erforderliche QoS-Level nicht mehr garantiert wird, andernfalls erreicht der Nutzen sein maximales Niveau, so wie dies in Abbildung 34 oben links visualisiert ist. Die zweite Funktion, die die elastischen Anwendungen spezifiziert, soll nach SHENKER eine zunehmende, strikt konkave Funktion sein, die stetig differenzierbar ist.⁵⁹⁸ Darüber hinaus differenziert er, so wie in Abbildung 34 dargestellt, zwischen der nicht adaptiven Anwendung unten links und der adaptiven Anwendung, die in der Abbildung rechts unten skizziert ist.

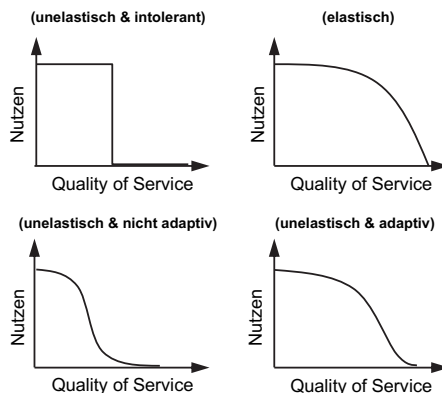


Abbildung 34: Nutzenfunktion in Abhängigkeit der Elastizität der Anwendung⁵⁹⁹

Unabhängig davon, welche Funktion zur Quantifizierung des Nutzens herangezogen wird, ist die Einbindung der vom Endkunden wahrgenommenen Dienstgüte mit einem Parameter für eine Anwendungsart wünschenswert, um die Komplexität der Abbildung nicht weiter zu erhöhen.⁶⁰⁰ Da die Dienstgüte, die vom Nutzer der Anwendung benötigt wird, um dessen Bedürfnisse zu befriedigen, sich jedoch aus zahlreichen Einzelparametern zusammensetzt, gilt es, diese Einzelparameter in einen einzigen Parameter zu überführen, um einerseits eine modellierungstechnische Komplexitätsreduktion zu erreichen und andererseits auf diese Weise die von ROBERTS geforderte Verständlichkeit für den Nutzer zu erhöhen.⁶⁰¹

⁵⁹⁸ Vgl. SHENKER [Future Internet] S. 1183 und KELLY/MAULLOO/TAN [Communication Networks] S. 238
⁵⁹⁹ Entnommen aus SHENKER [Future Internet] S. 1183 und 1184

⁶⁰⁰ Vgl. ZEITHAML [Perceived Quality] S. 3 f., der umfassend den Zusammenhang zwischen wahrgenommener Qualität und der Bepreisung diskutiert. Vgl. RICHARDS ET AL. [User Level] S. 14, bei denen ersichtlich wird, dass eine Überführung der einzelnen Komponenten in eine multidimensionale Zufriedenheitsfunktion für nur eine Anwendung mit großem Aufwand verbunden ist.

⁶⁰¹ Vgl. ROBERTS [Internet Traffic] S. 1394

Eben dies ist mittels des von DI SORTE/FEMMINELLA/REALI vorgestellten Ansatzes zur Messung von Quality of Service möglich. Sie zeigen, wie mit einer Spitzenkennzahl der Nutzen in Abhängigkeit der Dienstgüte quantifiziert und zur Bestimmung der Zahlungsbereitschaft herangezogen werden kann.⁶⁰² Diese einzelne Kennzahl kann so dann zur Systematisierung der Anforderungen der spezifischen Dienste und Anwendungen genutzt werden, indem mehrere Anwendungen zu einzelnen QoS-Leveln zusammengeführt werden. Damit bildet sie die angestrebte Basis für die Einbindung der Dienstgüte in die Abbildung der Zahlungsbereitschaft. Dazu wird jeder der QoS-Level ein Intervall zugewiesen, innerhalb dessen die Kennzahl schwanken kann, ohne dass die QoS-Anforderungen der in dem QoS-Level befindlichen Anwendungen verletzt werden.⁶⁰³

Um dies zu realisieren, überführen DI SORTE/FEMMINELLA/REALI zunächst die einzelnen Parameter, die allesamt direkt vom Datenaufkommen Q_t abhängig sind und die zur Messung des Quality of Service eines anwendungsspezifischen Datenstroms bei Betrachtung einer Ende-zu-Ende-Verbindung benötigt werden, in eine rein zeitbasierte Spitzenkennzahl, den „Virtual Delay“.⁶⁰⁴ Es sei angenommen, dass die dazu notwendigen Einzelkennzahlen sich aus dem maximalen Packet Transfer Delay $D_{Max,t}$, also der maximalen Übertragungsdauer, dem Paketverlust $D_{Loss,t}$ sowie der Packet Delay Variation $D_{Jitter,t}$ zusammensetzen und auf dem zum Zeitpunkt t vorliegenden Datenaufkommen Q_t basieren. Da Kapazitätsengpässe und die aus diesen resultierenden Warteschlangen gleichermaßen für Verzögerungsschwankungen $D_{Jitter,t}$ als auch Paketverluste verantwortlich sind, wenn davon ausgegangen wird, dass diese aus einer Beschränkung der Warteschlangenkapazität resultieren, bei der all die Pakete verworfen werden, die nach Erreichen dieser Kapazitätsbeschränkung eintreffen,⁶⁰⁵ wird bei der Umwandlung der den Paketverlust erfassenden Kennzahl $D_{Loss,t}$ in eine zeit-

⁶⁰² Dieser Ansatz greift auch die von den Netzbetreibern geforderte Reduktion der Komplexität auf (vgl. dazu GOTTSCHALK/SCHÖNAU [Kommentierung] S. 2, INITIATIVE EUROPÄISCHER NETZBETREIBER [Kommentierung] S. 3). GOTTSCHALK und SCHÖNAU stellen explizit heraus, dass es als nicht sinnvoll zu erachten ist, jedem einzelnen Datenpaket jede dieser Kennzahlen zuzuweisen, bzw. für zusammenhängende Datenpakete die erchenbaren Kennzahlen aufwendig zu berechnen. Sie schlagen in ihrer Stellungnahme eine Reduktion der technisch realisierbaren zahlreichen Verkehrsklassen auf zunächst nur zwei Verkehrsklassen vor.

⁶⁰³ Vgl. RICHARDS/ROBERTS [User Level] S. 10, der Grenzen einzelner Parameter untersucht, die das QoS-Empfinden der Endnutzer beeinflussen.

⁶⁰⁴ Vgl. ff. DI SORTE/FEMMINELLA/REALI [Charge] S. 283 ff., die ausführlich die technischen Hintergrundinformationen zur Transformation der Maßeinheit des Packet Loss in eine zeitbasierte Kennzahl darstellen. Diese berücksichtigten jedoch nicht das Auseinanderfallen des Zeitpunkts, zu dem die Dienstgüte bestimmt werden kann, und dem Zeitpunkt, zu dem das Datenaufkommen bereits zustande kommt, sodass diese folglich keine Abhängigkeiten von Betrachtungszeitpunkten berücksichtigen.

⁶⁰⁵ Vgl. KUROSE/ROSS [Computer Networking] S. 41

basierte Kennzahl auf die Verlustwahrscheinlichkeit $P_{Loss,t}$ zurückgegriffen. Für $D_{Loss,t}(P_{Loss,t})$ wird davon ausgegangen, dass die Verlustwahrscheinlichkeit durch eine Vergrößerung der Puffergröße im Trade-Off für eine größere Verzögerung reduziert werden könnte und damit zeitbasiert erfasst werden kann.⁶⁰⁶ Der Virtual Delay d_t errechnet sich dann wie folgt:

$$d_t(D_{Jitter,t}, D_{Constant}, P_{Loss,t}) = D_{Jitter,t} + D_{Constant} + D_{P,t}(P_{Loss,t}) \quad (28)$$

Die Gewichtung der Einzelparameter, die im oben dargestellten Fall alle mit eins und damit gleich gewichtet sind, kann prinzipiell individuell angepasst werden, sodass diese Kennzahl auch zur Erfassung von einzelkundenspezifischen Anforderungen genutzt werden kann. Darüber hinaus kann für alle potenziellen Anwendungen gemäß der spezifischen Anforderungen mit der zeitunabhängigen Größe d_s ein QoS-Level s quantifiziert werden, das die Anforderung technisch spezifiziert.⁶⁰⁷ Dazu kann auf ein Präferenzstrukturmodell mit Bewertungs- und Verknüpfungsfunktionen zurückgegriffen werden, das eben diese Funktion übernimmt. Letztlich lässt sich die Quality-of-Service-Levelanzahl und somit die Granularität in der Betrachtung der für die jeweiligen Anwendungen spezifischen Dienstgüteanforderung über die Wahl der Parameter steuern, denn grundsätzlich wird eine Anwendung, die geringere Dienstgüte benötigt, ohne weiteres in einem Servicelevel, das eine höher als für diese Anwendung notwendige Dienstgüte bereitstellt, zufriedenstellend bedient werden können.⁶⁰⁸ Mit $d_{t,s}$ lässt sich wiederum der zeitpunkt- und servicelevelspezifische Virtual Delay bestimmen, der sowohl zur generellen Messung der Performance der Datenübertragungsdienstleistung als auch zur Verfolgung der Einhaltung der mittels der zeitunabhängigen Virtual-Delay-Kennzahl d_s quantifizierten Anforderungen herangezogen werden kann.

Auf Basis der Virtual-Delay-Kennzahl⁶⁰⁹ kann mit einer drei-parametrischen Sigmoidalfunktion die Übersetzung der zum Zeitpunkt t in QoS-Service-Level s mit den technischen Kennzahlen erfassten Dienstgüte $d_{t,s}$ zum Zeitpunkt t in den Nutzen eines

⁶⁰⁶ Es gilt die Annahme, dass die maximale Übertragungsdauer aus der variablen Latenz $D_{Jitter,t}(Q_t)$, und der fixen Übertragungsdauer $D_{Constant}$ resultiert. Daher muss für die maximale Übertragungsdauer $D_{Max,t}(Q_t)$ folgendes gelten: $D_{Max,t}(Q_t) = D_{Constant} + D_{Jitter,t}(Q_t)$.

⁶⁰⁷ Vgl. DI SORTE/FEMMINELLA/REALI [Charge] S. 285. Vgl. zur Übersicht über empirische Verfahren zur Erhebung einer Präferenzstruktur und Überführung dieser in eine multikriterielle Bewertungsfunktion REICHL [Preismodellierung] S. 176 sowie ein Vergleich der dort vorgestellten Modelle bei REICHL/LINNHOF-POPIEN/ THIGEN [Nutzeninteressen] S. 1 ff., wobei REICHL nicht auf eine Spitzenkennzahl abzielt und damit hinter der hier verfolgten technisch fundierten Betrachtung zurück bleibt.

⁶⁰⁸ Vgl. dazu WALKER/BEN-AKIVA [Random Utility Model] S. 323

⁶⁰⁹ DI SORTE/FEMMINELLA/REALI [Charge] S. 285 weisen darauf hin, dass die Datenübertragungsrate bei dieser Kennzahl explizit ausgeschlossen ist und somit nicht mit gängigen anderen Modellen kollidieren kann, da die Theorie des Virtual Delay auf Dual Leaky Bucket-Algorithmen aufbaut, die das Verwerfen von Datenpaketen beschreiben.

Anwenders c einer Servicelevel $\dot{s}_{c,\tilde{a}}$ benötigten Anwendung \tilde{a} vollzogen werden.⁶¹⁰ Die Differenzierung der kunden- und anwendungsspezifischen Servicelevel $\dot{s}_{c,\tilde{a}} \in \dot{S}_{c,\tilde{a}}$ und den vom Datenübertragungsdienstleistungsanbieter bei der Datenübertragung angebotenen Serviceleveln $s \in \tilde{S}$, ist erforderlich, da die von den Kunden mit der Inanspruchnahme verschiedener Anwendungen korrespondierenden benötigten Servicelevel und die vom Datenübertragungsanbieter offerierten Servicelevel nicht übereinstimmen müssen, wie dies z. B. auch genau dann der Fall ist, wenn das vom Kunden definierte, gewünschte Servicelevel aufgrund des gewählten Tarifs in einem beim Anbieter anderen, zumeist dann niedrigeren, Servicelevel zugeordnet ist. Um in all diesen Fällen den kunden- und anwendungsspezifischen Serviceleveln die entsprechenden beim Datenübertragungsdienstleistungsanbieter angebotenen Servicelevel $s \in \tilde{S}$ zuzuweisen, sodass eine kundenspezifische, eindeutige Abbildung der kundenseitig definierten Servicelevel $\dot{s}_{c,\tilde{a}} \in \dot{S}_{c,\tilde{a}}$ auf die vom Datenübertragungsanbieter angebotenen Servicelevel erfolgt, wird mit der folgend definierten Funktion eine elementweise Zuweisung der Elemente der Menge $\dot{S}_{c,\tilde{a}}$ auf die Elemente der Menge \tilde{S} vorgenommen, sodass das jeweilige Servicelevel s das Ergebnis der Funktion $f_c(\dot{s}_{c,\tilde{a}})$ ist:

$$\begin{aligned} f : \dot{S}_{c,\tilde{a}} &\rightarrow \tilde{S}, \dot{s}_{c,\tilde{a}} \mapsto f_c(\dot{s}_{c,\tilde{a}}) := s \\ \forall \quad c &\in \{1, 2, \dots, C\}, \tilde{a} \in \{1, 2, \dots, \tilde{A}\} \end{aligned} \quad (29)$$

$d_{t,s}$ ist sodann die beim Datenübertragungsdienstleistungsanbieter für Servicelevel s realisierte Dienstgüte zum Zeitpunkt t und kann ausschließlich a posteriori bestimmt werden. Im Gegensatz dazu kann $\dot{s}_{c,\tilde{a}}$ als zeitunabhängige Größe zur Spezifizierung der auf Seiten eines Kunden c bestehenden Anforderungen an ein spezielles Servicelevel für Anwendung \tilde{a} herangezogen werden, da die Anforderungen an die Datenübertragungsdienstleistungen unabhängig vom tatsächlichen Datenaufkommen sind und daher nicht zu unterschiedlichen Zeitpunkten differieren. Entsprechend lässt sich die von der beim Datenübertragungsdienstleister realisierten Dienstgüte $d_{t,s}$ abhängige kunden- und anwendungsspezifische Nutzenfunktion $u_{c,t,\dot{s}_{c,\tilde{a}}}(d_{t,f_c(\dot{s}_{c,\tilde{a}})})$ wie in Formel 30 definieren, wenn davon ausgegangen wird, dass für $d_{t,s} \rightarrow 0$ die Dienstgüte vollumfänglich ausreicht, während mit steigendem $d_{t,s}$ und damit $d_{t,s} \gg 0$ die Dienstgüte nicht ausreicht, um die anwendungsspezifische vom Nutzer zur Befriedigung seiner Bedürfnisse als erforderlich angesehene Dienstgüte zu gewährleisten.⁶¹¹ Letzteres

⁶¹⁰ Vgl. BADIA/ZORZI [Dynamic Utility] S. 805 f.

⁶¹¹ Vgl. ff. DI SORTE/FEMMINELLA/REALI [Charge] S. 285. Die Annahme, dass der Nutzen nur gegen Null strebt, jedoch nicht Null werden kann, resultiert aus der im Folgenden benötigten Nebenbedingung, die für die Nutzenfunktion $u_{c,t,s}(d_{t,s})$ einen Wert zwingend größer Null verlangt (vergleiche u. a. die Ermittlung der Zahlungsbereitschaft gemäß Formel 38).

lässt den mit der Nutzenfunktion $u_{c,t,\dot{s}_{c,\bar{a}}}(d_{t,f_c(\dot{s}_{c,\bar{a}})})$ quantifizierten Nutzen $u_{c,t,\dot{s}_{c,\bar{a}}}$ gegen Null streben. Die sigmoidale anwendungsspezifische Nutzenfunktion $u_{c,t,\dot{s}_{c,\bar{a}}}(d_{t,f_c(\dot{s}_{c,\bar{a}})})$ lässt sich sodann wie folgt definieren:

$$u_{c,t,\dot{s}_{c,\bar{a}}}(d_{t,f_c(\dot{s}_{c,\bar{a}})}) = \frac{1}{1 + e^{\dot{b}_{c,\dot{s}_{c,\bar{a}}} \cdot (\dot{o}_{c,\dot{s}_{c,\bar{a}}} \cdot d_{t,f_c(\dot{s}_{c,\bar{a}})} - \dot{a}_{c,\dot{s}_{c,\bar{a}}})}}$$

$$\forall \dot{s}_{c,\bar{a}} \in \dot{S}_{c,\bar{a}}, c \in \{1, 2, 3, \dots, C\}$$

$$\text{u. d. N.: } d_{t,s} \in \mathbb{R}_+$$

$$\dot{a}_{c,\dot{s}_{c,\bar{a}}}, \dot{b}_{c,\dot{s}_{c,\bar{a}}}, \dot{o}_{c,\dot{s}_{c,\bar{a}}} \in \mathbb{R}^{\geq 0}$$

Sowohl $\dot{o}_{c,\dot{s}_{c,\bar{a}}}$ als auch $\dot{b}_{c,\dot{s}_{c,\bar{a}}}$ sind Formparameter. Bei einer Veränderung von $\dot{o}_{c,\dot{s}_{c,\bar{a}}}$ bei gleichbleibenden $\dot{a}_{c,\dot{s}_{c,\bar{a}}}$ und $d_{t,s}$ wird die Funktion mit sinkendem $\dot{o}_{c,\dot{s}_{c,\bar{a}}}$ waagerecht gestaucht bzw. mit steigendem $\dot{o}_{c,\dot{s}_{c,\bar{a}}}$ gestreckt und andererseits die Lage des Wendepunktes der Funktion in Abzissenrichtung verschoben, bei Stauchung nach links, bei Streckung nach rechts, so wie dies in Abbildung 35 ersichtlich ist.⁶¹² $\dot{a}_{c,\dot{s}_{c,\bar{a}}}$ hingegen ist ein Lageparameter, der die Funktion ausschließlich in Abzissenrichtung verschiebt und damit eine Abbildung ermöglicht, die berücksichtigt, ob bei unverändertem $\dot{o}_{c,\dot{s}_{c,\bar{a}}}$ und $\dot{b}_{c,\dot{s}_{c,\bar{a}}}$ eine höhere bzw. niedrigere Dienstgüte bereits ausreicht, um den gleichen Nutzen zu erlangen.

Eine Variation von $\dot{b}_{c,\dot{s}_{c,\bar{a}}}$ ermöglicht, bei unveränderten Parametern $\dot{a}_{c,\dot{s}_{c,\bar{a}}}$ und $\dot{o}_{c,\dot{s}_{c,\bar{a}}}$, eine waagerechte Stauchung bzw. Streckung der Funktion im gleichem Maße wie eine Verschiebung in Abzissenrichtung, sodass sich der Wendepunkt der Funktion nicht verschiebt, sondern sich ausschließlich die Steigung verändert. Die Steigung nimmt bei größer werdenden $\dot{o}_{c,\dot{s}_{c,\bar{a}}}$ und damit auch $\dot{b}_{c,\dot{s}_{c,\bar{a}}}$ zu, sodass im Extremfall – der genau dann vorliegt, wenn für die Variable $\dot{b}_{c,\dot{s}_{c,\bar{a}}} \rightarrow \infty$ oder für $\dot{o}_{c,\dot{s}_{c,\bar{a}}} \rightarrow \infty$ gilt – die Funktion gegen die Treppenfunktion strebt, die in Abbildung 34 oben links visualisiert ist, sodass unelastisch und intolerante Anwendungen mit großem $\dot{b}_{c,\dot{s}_{c,\bar{a}}}$, während elastische tolerante mit kleinem $\dot{b}_{c,\dot{s}_{c,\bar{a}}}$ zu modellieren sind. Für den Fall, dass $\dot{a}_{c,\dot{s}_{c,\bar{a}}} \geq 0$, $0 \leq \dot{b}_{c,\dot{s}_{c,\bar{a}}} \leq 2$, $\dot{o}_{c,\dot{s}_{c,\bar{a}}} \geq 10$ gilt und der Virtual Delay auf Formel 28 basiert, entspricht der Funktionsverlauf der Nutzenfunktion in etwa dem in Abbildung 34 unten links dargestellten Verlauf, der in Abbildung 36 als Punkt-Strich-Kurve dargestellt ist.⁶¹³ Durch Variation der Steigung der Sigmoidalfunktion, sei es, dass diese aus einer Veränderung von $\dot{o}_{c,\dot{s}_{c,\bar{a}}}$ oder von $\dot{b}_{c,\dot{s}_{c,\bar{a}}}$ resultiert, kann erfasst werden, dass ein Nutzer einer Anwendung, die eine hohe Dienstgütereue verlangt, bei geringer Abweichung von der

⁶¹² Vgl. bezüglich des Einflusses der Parameter auf die „Steilheit“ sigmoidaler Funktionen ZHANG [Neural Networks] S. 88

⁶¹³ Vgl. z. B. YAMORI/TANAKA [Willingness-to-pay] S. 113 ff.

notwendigen Dienstgüte schneller Nutzeneinbußen hat, so wie dies in Abbildung 35 mittig visualisiert ist; da die Dienstgüte jedoch die abhängige Variable ist, bleibt zur Erfassung dieser anwendungs- bzw. anwendungstypspezifischen Sensitivität des Nutzers auf Veränderung der Dienstgüte die Variation von Parameter $\hat{o}_c, \hat{s}_c, \hat{a}$. Darüber hinaus muss der Wendepunkt der Funktion für Anwendungen mit höherem Dienstgüteeanspruch durch eine Verschiebung in Richtung der y-Achse weiter rechts liegen, als im Falle einer Anwendung mit weniger restriktivem Dienstgüteeanspruch. Denn mit der Verschiebung des Wendepunkts lässt sich bei gleicher anwendungsspezifischer Sensitivität der Punkt, ab dem die Dienstgüteeinbußen zum Nutzenverlust führen, verschieben.

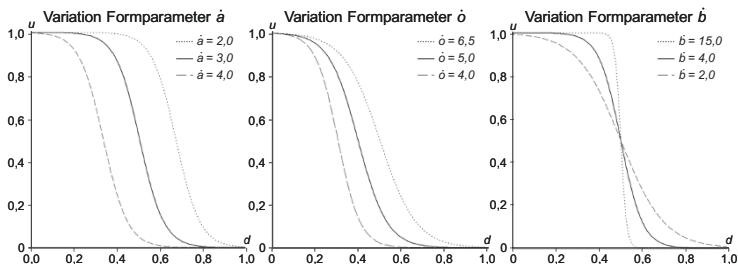


Abbildung 35: Einfluss der Formparameter auf die Nutzenfunktionsform

Die Funktion, so wie auch in Abbildung 36 ersichtlich, kann somit im Extremfall gegen eine Treppenfunktion streben und bei entsprechender Parameterwahl sowohl den Fall, der in der Abbildung 34 oben links (durchgängige Linie in Abbildung 36), als auch den, der oben rechts dargestellt ist (gestrichelte Linie in Abbildung 36), abbilden, wenn man davon ausgeht, dass die Nutzenfunktionen entsprechend der Definition des Virtual Delay mit steigendem Virtual Delay stets gegen 0 streben. Die Funktion ist entsprechend geeignet, um die geforderte Feingranularität in der Betrachtung des Nutzens der Dienstgüte bei unterschiedlichsten Anwendungen quantitativ abzubilden und mit der Abhängigkeit von einem die Dienstgüte repräsentierenden Parameter die Möglichkeit eröffnet, die Dienstgüte über die Spitzenkennzahl des Virtual Delay einzubinden.⁶¹⁴

⁶¹⁴ Darüber hinaus ließe sich auf Basis von drei-formparametrischen Sigmoidal-funktionen, wie die in Formel 30, eine on-of-Funktionen, also eine binäre Funktion, in Abhängigkeit des QoS-Levels abbilden, indem sie auf den Bereich $[0, 1]$ definiert und eine Gerade mit der Steigung 1 als Referenz hinzugefügt wird (vgl. ff. KAUFFMAN [Origins] S. 184). Sodann lässt sich definieren, dass die On-Phase für den Fall gilt, dass der Wert der Sigmoidal-funktion größer als der der Gerade ist und die Off-Phase für den Fall, dass der Wert der Gerade kleiner ist, als der der Sigmoidal-funktion. Ferner sei in diesem Fall definiert, dass der On-Wert eins und der Off-Wert null sei.

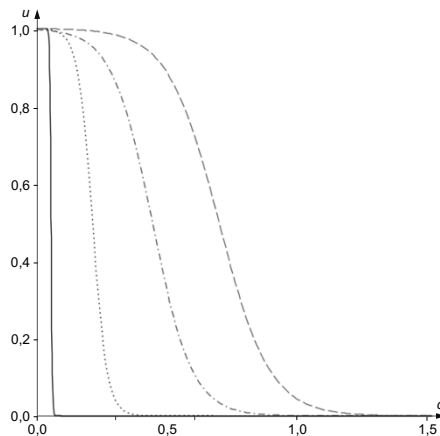


Abbildung 36: Sigmoidale Nutzenfunktionen

Die Beeinflussung des Funktionsverlaufs durch die Variation der Parameter ermöglicht die Abbildung von verschiedenen anwendungsspezifischen Nutzenfunktionen in Abhängigkeit der von der jeweiligen Anwendung erforderlichen Dienstgüte gemäß der in Abbildung 34 visualisierten Nutzenverläufe. Bei Funktionen, wie z. B. den beschriebenen, die das QoS-Level in direkte Verbindung zum Nutzen des Anwenders einer Anwendung setzen, handelt es sich um feingranulare Betrachtungen, bei denen das zu betrachtende Zeitintervall auf die Nutzungsdauer der Anwendung normiert ist und die damit den Gedanken von SHENKER aufgreifen, der eine separierte Betrachtung in Abhängigkeit der genutzten Anwendung anstrebt.

Unter der Prämisse, dass die Form- und Lageparameter der Nutzenfunktion insgesamt so gewählt sind, dass die sigmoidale Funktion in Abhängigkeit der jeweiligen Dienstgüte dem Nutzen Werte im Intervall $[0, 1]$ zuweist, wäre mittels multiplikativer Verknüpfung mit der semi-logarithmischen Zahlungsbereitschaft die Ermittlung einer Zahlungsbereitschaft für die anwendungsspezifische Datenübertragungsdienstleistung möglich. Die multiplikative Verknüpfung erlaubt eine wechselseitige Beeinflussung der Zahlungsbereitschaft und des Nutzens im Sinne einer Verstärkung oder einer Abschwächung der Zahlungsbereitschaft um ein Vielfaches des Nutzens, wenn davon ausgegangen wird, dass die Zahlungsbereitschaft zunächst losgelöst vom Nutzen ermittelt werden könnte. Das heißt auch, dass davon ausgegangen wird, dass der Nutzen allein nicht dazu geeignet ist, um eine unabhängige Kompensation im Sinne eines Anhebens bzw. Abschwächens der ohne Nutzenberücksichtigung ermittelten Zahlungsbereitschaft vorzunehmen.

Die maximale Zahlungsbereitschaft wird genau dann erreicht, wenn die Dienstgüte für den Nutzer ausreicht, um eine Anwendung ohne Einschränkungen in Anspruch nehmen zu können. Dementsprechend wäre eine solche Zahlungsbereitschaftsfunktion, die sowohl den Nutzen der Dienstgüte als auch die Menge der in Anspruch genommenen Datenübertragungsdienstleistungen berücksichtigt, für die jeweilige Anwendung $\hat{s}_{c,\bar{a}}$ wie folgt zu definieren:

$$zb_{c,t,\hat{s}_{c,\bar{a}}}(q_{c,t,\hat{s}_{c,\bar{a}}}, u_{c,t-1,\hat{s}_{c,\bar{a}}}(\cdot)) = \begin{cases} 0 & \text{wenn } q_{c,t,\hat{s}_{c,\bar{a}}} = 0 \\ \left[\frac{q_{c,t,\hat{s}_{c,\bar{a}}}}{b_{c,\hat{s}_{c,\bar{a}}}} \{1 + \ln(a_{c,\hat{s}_{c,\bar{a}}}) - \ln(q_{c,t,\hat{s}_{c,\bar{a}}})\} + \right. & \text{wenn } 0 < q_{c,t,\hat{s}_{c,\bar{a}}} \leq a_{c,\hat{s}_{c,\bar{a}}} \\ \quad \left. + o_{c,\hat{s}_{c,\bar{a}}} \right] \cdot u_{c,t-1,\hat{s}_{c,\bar{a}}}(\cdot) & (31) \\ \left[\frac{a_{c,\hat{s}_{c,\bar{a}}}}{b_{c,\hat{s}_{c,\bar{a}}}} + o_{c,\hat{s}_{c,\bar{a}}} \right] \cdot u_{c,t-1,\hat{s}_{c,\bar{a}}}(\cdot) & \text{wenn } q_{c,t,\hat{s}_{c,\bar{a}}} > a_{c,\hat{s}_{c,\bar{a}}} \end{cases}$$

Dass die Zahlungsbereitschaftsfunktion zum Zeitpunkt t von der Nutzenfunktion zum Zeitpunkt $t-1$ abhängt, resultiert aus der für den Kunden erst ex post bestimmbaren realisierten Dienstgüte. Mit der von der in der Vorperiode realisierten Dienstgüte $d_{t-1,s}$ abhängigen Zahlungsbereitschaft wird somit berücksichtigt, dass ein Kunde basierend auf der in der Vergangenheit gesammelten Erfahrung eine an die Dienstgüte normierte Erwartung bildet und eben diese mit in die Zahlungsbereitschaft einfließt.⁶¹⁵

Da die bisher betrachtete Nutzenfunktion direkt vom Nutzer abhängt und zu konstatieren ist, dass die Heterogenität der Kunden in der intendierten Analyse nicht vollumfänglich durch die Zuweisung einer kundenindividuellen Zahlungsbereitschaftskurve realisiert werden kann,⁶¹⁶ und bereits Kundengruppen, die sich durch ähnlich Nutzungsstrukturen auszeichnen, identifiziert wurden, werden eben diese aufgegriffen und im folgenden Kapitel Möglichkeiten zur Modellierung von Präferenzstrukturen auf Basis der für die Nutzergruppen bekannten Eigenschaften vorgestellt.⁶¹⁷

⁶¹⁵ Vgl. WOODRUFF/CADOTTE/JENKINS [Modeling] S. 299

⁶¹⁶ Vgl. f. zur Berücksichtigung der Heterogenität der Kundennutzenstruktur SCHULZE/GEDENK/SKIERA [Zahlungsbereitschaftsfunktionen] S. 406

⁶¹⁷ Die feingranulare Analyse scheint auch angesichts des dazu notwendigen Aufwands und der Tatsache, dass bereits kundensegmentsspezifische Präferenzstrukturen hinsichtlich der Nutzung von Anwendungen identifiziert sind, nicht erstrebenswert.

4.3.1.4 Bestimmung kundensegmentspezifischer Zahlungsbereitschaften für priorisierte Datenübertragungsdienstleistungen

Eine Betrachtung segmentspezifischer Bedürfnisse an Datenübertragungsdienstleistungen sowie eine Abbildung segmentspezifischer Präferenzen durch die Modellierung der Zahlungsbereitschaft, unter Rückgriff auf die Besonderheiten der identifizierten Nutzerausprägungen, ist für ein Preismanagement unerlässlich.⁶¹⁸ MCFADDEN statuiert die Annahme, dass es in konventionellen Kundenanalysen bei einer beschränkten Anzahl an Auswahlalternativen für die Kundengruppen eine typische Entscheidungsbasis, hier die Zahlungsbereitschaftsfunktion, gibt.⁶¹⁹ Er geht davon aus, dass sich eine Nutzenfunktion $u_{c,k}(\cdot)$ eines Kunden c aus Kundensegment k , aus einer die segmenttypischen Charakteristika repräsentierenden Funktion v_k herleiten lässt, die um ein stochastisches Element ε ergänzt wird. Die die segmentspezifischen Charakteristika abbildende Funktion v_k ist abhängig von einem kundenindividuellen Attributsvektor $I_c \in L_{c,k}$ sowie des vom Kunden gewählten Objekts $x_c \in X_c$. $L_{c,k}$ beinhaltet die Gesamtheit der Vektoren, die die Attribute der Kunden des Kundensegments erfassen. X_c beinhaltet wiederum die Gesamtheit der Objekte, aus denen Kundensegment k wählen kann. Das stochastische Element bildet die zufällige Abweichung eines Kunden von der basierend auf der segmenttypischen Funktion abgebildeten Charakteristika ab.

$$u_{c,k}(\cdot) = v_k(I_c, x_c) + \varepsilon(I_c, x_c) \quad (32)$$

Der Rückgriff auf stochastische Komponenten in diesen Random-Utility-Modellen genannten Ansätzen erfolgt dabei nicht, weil das Wahlverhalten der Kunden zufällig ist, sondern weil sich die Informationen auf die Kundengruppe beziehen und daher nicht ausreichen, um ein Entscheidungsverhalten exakter, im Sinne von deterministisch, abzubilden und somit der nicht abgebildete Teil zumindest als stochastische Einflussgröße mitberücksichtigt ist.⁶²⁰ Prinzipiell scheint dieses Vorgehen auch für kundensegmentspezifische Zahlungsbereitschaftsfunktionen erstrebenswert, da so eine sich im Zeitablauf immer wieder leicht verändernde Zusammensetzung des Kundensegments und die damit einhergehende Schwankung der Präferenzen, auch resultierend aus dem nicht immer absolut konstanten Nutzungsverhalten, berücksichtigt werden könnte. Entsprechend wäre in diesem Fall die stochastische Komponente zeitpunktbezogen $\varepsilon_t(\bar{I}_k, \bar{x}_k)$ und nicht länger vom kundenindividuellen Attributsvektor sowie der

⁶¹⁸ Vgl. SCHÖN-PETERSON [Preismanagement] S. 20

⁶¹⁹ Vgl. ff. MCFADDEN [Choice Behavior] S. 106 ff.

⁶²⁰ Vgl. MANSKI [Random Utility Models] S. 229. Dies entspricht auch der Erkenntnis von MAYER, dass mit der Conjoint-Analyse eine vollständige Erfassung des Nutzens mit allen kundenindividuellen Facetten nicht möglich ist und daher einzelne Komponenten der Nutzenfunktion stochastisch abzubilden sind (Vgl. MAYER [Wechselverhalten] S. 120).

kundenindividuell gewählten Objekts abhängig. Sowohl der Attributsvektor \bar{l}_k ist für diesen Fall kundensegmentspezifisch auszugestalten und auch das gewählte Objekt \bar{x}_k ist so festzulegen, dass es das Kundensegment repräsentiert. So kann z. B. ein für das Kundensegment repräsentativer Kunde zur Ermittlung dieser Werte herangezogen werden.

Die Einbindung eines stochastischen Elementes ist auch direkt bei der Abbildung der Zahlungsbereitschaft denkbar. Auf diese Weise ließen sich die in Abbildung 33 dargestellten grundsätzlichen Unterschiede in der Höhe der Zahlungsbereitschaft in Abhängigkeit der Nutzungsstruktur und der daraus resultierenden Dienstgütereigenschaften mit der stochastischen Größe $\varepsilon_t(\bar{l}_k, \bar{x}_k)$ in die Betrachtung miteinbeziehen. Jedoch griffe dies in dem hier zu betrachtenden Fall der Modellierung der Zahlungsbereitschaft für eine gesicherte Dienstgüte zu kurz, da ausschließlich eine auf Basis einer Verteilungsfunktion ermittelte betragsmäßige Verschiebung in Ordinatenrichtung der Nutzenfunktion erreicht würde und damit ein weiterer Lageparameter eingefügt wäre, der die Zahlungsbereitschaft insgesamt segmentspezifisch erhöht. Nicht berücksichtigt hingegen bliebe, dass die Nutzenfunktion explizit so gestaltet wurde, dass die Zahlungsbereitschaft für höhere Dienstgütelevel zwischen 0 und der maximalen Zahlungsbereitschaft liegen muss, und somit davon auszugehen ist, dass keine gesicherte Dienstgüte zu einem erheblichen Nutzenverlust führt, bei dem die Zahlungsbereitschaft der Kunden auf 0 sinkt. Die Addition eines stochastischen Elements führt jedoch für den Fall, dass $\varepsilon_t(\bar{l}_k, \bar{x}_k) > 0$ ist, dazu, dass eben dieser Aspekt bei der Modellierung der Zahlungsbereitschaft verloren geht. Dies ließe sich hingegen durch die Multiplikation der sigmoidalen Nutzenfunktion mit einem segmentspezifischen stochastischen Element $\sigma_{k, \dot{s}_{\tilde{a}, k}}$ vermeiden, mit der Folge, dass die Funktion durch die Multiplikation in der vertikalen gestreckt bzw. gestaucht wird.

Zunächst ist eine kundensegmentspezifische elementweise Zuweisung $f_k(\dot{s}_{k, \tilde{a}})$ der kundensegment- und anwendungsspezifischen Servicelevel $\dot{s}_{k, \tilde{a}} \in \dot{S}_{k, \tilde{a}}$ zu den angebotenen Serviceleveln \tilde{S} analog zu der in Formel 29 dargestellten funktionalen Abbildung vorzunehmen. Es gilt bei der Segmentbetrachtung unter der Annahme, dass der Datenübertragungsdienstleistungsanbieter allen Segmenten prinzipiell die gleichen Servicelevel \tilde{S} zur Verfügung stellt und mittels der Tarifierung eine Zuweisung der kundensegment- und anwendungsspezifischen gewünschten Servicelevel zu den angebotenen Serviceleveln vornimmt, Folgendes:

$$\begin{aligned} f_k : \dot{S}_{k, \tilde{a}} &\rightarrow \tilde{S}, \dot{s}_{k, \tilde{a}} \mapsto f_k(\dot{s}_{k, \tilde{a}}) := s \\ \forall k \in \{1, 2, \dots, K\}, \tilde{a} &\in \{1, 2, \dots, \tilde{A}\} \end{aligned} \quad (33)$$

Die Funktion $f_k(\hat{s}_{k,\tilde{a}})$ identifiziert im Index der Dienstgüter $d_{t,f_k(\hat{s}_{k,\tilde{a}})}$ kundensegment- und anwendungsspezifisch das seitens des Datenübertragungsanbieters für das Kundensegment und dessen Anwendung spezifisch vorgesehene Servicelevel. Die zeitpunkt- und kundensegmentspezifische Dienstgüter $d_{t,f_k(\hat{s}_{k,\tilde{a}})}$ schafft folglich die Verbindung zwischen dem vom Kundensegment für eine bestimmte Anwendung geforderten Servicelevel $\hat{s}_{k,\tilde{a}}$ und dem von Datenübertragungsdienstleistungsanbieter für diese Anwendung des Kundensegments zugewiesenen Servicelevel. Die Nutzenfunktion $u_{k,t,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}(d_{t,f_k(\hat{s}_{k,\tilde{a}})})$ eines Kundensegments k zum Zeitpunkt t ist entsprechend von der zeitpunktbezogenen, kundensegment- und anwendungsspezifischen Dienstgüter $d_{t,f_k(\hat{s}_{k,\tilde{a}})}$ abhängig, sodass auf Kundensegmentebene Folgendes gelte:

$$\begin{aligned}
 u_{k,t,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}(d_{t,f_k(\hat{s}_{k,\tilde{a}})}) &= \frac{1}{1 + e^{\hat{b}_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}} \cdot (\hat{o}_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}} \cdot d_{t,f_k(\hat{s}_{k,\tilde{a}})} - \hat{a}_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}})}} \\
 \forall \hat{s}_{k,\tilde{a}} \in \hat{S}_{k,\tilde{a}}, k \in \{1, 2, \dots, K\}, \tilde{a} \in \{1, 2, \dots, \tilde{A}\} \\
 \text{u. d. N. } \hat{b}_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}} \cdot \hat{o}_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}} &> 0 \\
 d_{t,f_k(\hat{s}_{k,\tilde{a}})} &\in \mathbb{R}^{\geq 0} \\
 \hat{a}_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}, \hat{b}_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}, \hat{o}_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}} &\in \mathbb{R}^{> 0}
 \end{aligned} \tag{34}$$

Ferner eröffnet sich die Möglichkeit, die für eine bestimmte Dienstgüter zwischen den Segmenten bestehenden Unterschiede in der Zahlungsbereitschaften mitzubeachten, indem diese Unterschiede im Zuge der Modellierung der Nutzenfunktion durch eine entsprechende Anpassung der Formparameter berücksichtigt werden. Um darüber hinaus zu berücksichtigen, dass die innerhalb eines Segments bestehenden Zahlungsbereitschaftsdifferenzen, die zwischen den dem Segment zugehörigen Kunden aufgrund der Heterogenität der Kunden und der im Zeitverlauf sich potenziell ändernden Zusammensetzung des Kundensegments bestehen,⁶²¹ schwanken, eignet sich der stochastische Multiplikator, der im Zeitverlauf innerhalb eines engen Intervalls schwanken könnte. Denkbar wäre darüber hinaus die ergänzende Modellierung der Formparameter der sigmoidalen Nutzenfunktion als ebenfalls stochastische Größen.⁶²²

Da eine Modellierung aller Formparameter als stochastische Größen aufgrund der dann nicht länger kalkulierbaren Ausgestaltungsformen der Nutzenfunktion nicht zielführend erscheint, bietet sich insbesondere der Formparameter $\hat{b}_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}$ als Einzelparameter zur Berücksichtigung von Schwankungen an. Wird dieser Formparameter $\hat{b}_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}$

⁶²¹ Vgl. WAGNER/TAUDES [Stochastic Models] S. 4, die einen Überblick über Möglichkeiten zur Modellierung von Kundenverhalten basierend auf stochastischen Modellen geben und die die Abbildung der Heterogenität der Kunden als dringende Notwendigkeit aufzeigen.

⁶²² Vgl. BADIA/ZORZI [Dynamic Utility] S. 806

z. B. als normalverteilte Zufallsvariable $\hat{\beta}_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}$ unter der Nebenbedingung $\hat{\beta}_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}} \in \mathbb{R}^{>0}$ definiert, ließe sich bei konstanter Position des Wendepunktes der Funktion eine Veränderung der Steigung vor und nach dem Wendepunkt realisieren. Für Formparameter $\hat{\beta}_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}$, die größer als dessen Erwartungswert sind, besteht eine geringere Toleranz für Schwankungen der Dienstgüte, während mit Formparameter, die kleiner sind als der Erwartungswert, eine ausgeprägtere Toleranz für Schwankungen besteht, sodass für kleinere Dienstgütwerte bereits ein höherer Nutzen erzielt wird, als im Vergleich zu den für den Erwartungswert ermittelten Nutzen; die anderen Formparameter blieben in diesem Falle weiterhin als deterministische Größe fixiert. Auf diese Weise würde dem Umstand Rechnung getragen, dass die Segmentspezifika, die die Nutzenfunktion beeinflussen, im Zeitverlauf nicht statisch sind, sondern durch die Veränderungen in der Nutzerstruktur als auch der Anwendungsnutzung der Gruppe variieren und es ließe sich eine nutzenfunktionsbasierte Trennung der Segmente realisieren. Entsprechend sei unter Rückgriff auf die in Formel 34 festgelegte kundensegmentspezifische Nutzenfunktionen diese prinzipiell wie folgt abzubilden:

$$\begin{aligned}
 u_{k,t,\hat{s}_{k,\tilde{a}}} (d_{t,f_k}(\hat{s}_{k,\tilde{a}})) &= \frac{1}{1 + e^{\hat{\beta}_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}} \cdot (\hat{o}_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}} \cdot d_{t,f_k}(\hat{s}_{k,\tilde{a}}) - \hat{a}_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}})}} \\
 \forall \hat{s}_{k,\tilde{a}} \in \hat{S}_{k,\tilde{a}}, k \in \{1, 2, \dots, K\}, \tilde{a} \in \{1, 2, \dots, \tilde{A}\} \\
 \text{u. d. N. } d_{t,f_k}(\hat{s}_{k,\tilde{a}}) &\in \mathbb{R}^{>0} \\
 \hat{a}_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}} &\in \mathbb{R}^{\geq 0} \\
 \hat{\beta}_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}, \hat{o}_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}} &\in \mathbb{R}^{>0}
 \end{aligned} \tag{35}$$

Die zeitpunktspezifische und kundensegmentspezifische Zahlungsbereitschaftsfunktion $zb_{k,t,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}(q_{k,t,\hat{s}_{k,\tilde{a}}})$ eines kundensegment- und anwendungsspezifischen Servicelevel $\hat{s}_{k,\tilde{a}}$ wird als modifizierte Formel 26 ausgestaltet, die die Zahlungsbereitschaft ausschließlich in Abhängigkeit der in Anspruch zu nehmenden Menge abbildet:

$$zb_{k,t,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}(q_{k,t,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}) = \begin{cases} 0 & \text{wenn } q_{k,t,\hat{s}_{k,\tilde{a}}} = 0 \\ \frac{q_{k,t,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}}{b_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}} \cdot \left[1 + \ln(a_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}) - \ln(q_{k,t,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}) \right] + o_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}} & \text{wenn } 0 < q_{k,t,\hat{s}_{k,\tilde{a}}} \leq a_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}} \\ \frac{a_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}}{b_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}} + o_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}} & \text{wenn } q_{k,t,\hat{s}_{k,\tilde{a}}} > a_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}} \end{cases} \tag{36}$$

$\forall k \in \{1, 2, \dots, K\}, \tilde{a} \in \{1, 2, \dots, \tilde{A}\}, \text{ mit } a_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}, b_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}} \in \mathbb{R}^{>0} \text{ und } q_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}} \in \mathbb{R}^{\geq 0}$

Dementsprechend sei eine kundensegment- und anwendungsspezifische Zahlungsbereitschaft $zb_{k,t,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}(q_{k,t,\hat{s}_{k,\tilde{a}}})$, die den Nutzen der Dienstgüter und die mit der Nutzung der Anwendung verbundene Menge der in Anspruch genommenen Datenübertragungsdienstleistungen berücksichtigt, von der vom Datenübertragungsanbieter realisierten Dienstgüter $d_{t,f_k(\hat{s}_{k,\tilde{a}})}$ des gemäß Tarif über die Funktion $f_k(\hat{s}_{k,\tilde{a}})$ zugewiesenen Servicelevels s indirekt durch den Nutzen der Anwendung abhängig und analog zur in Formel 31 dargestellten Einzelkundenbetrachtung wie folgt definiert

$$zb_{k,t,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}(q_{k,t,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}, u_{k,t-1,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}(\cdot)) = \begin{cases} 0 & \text{wenn} \\ & q_{k,t,\hat{s}_{k,\tilde{a}}} = 0 \\ \left[\frac{q_{k,t,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}}{b_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}} \cdot \left[1 + \ln(a_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}) - \ln(q_{k,t,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}) \right] + o_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}} \right] \cdot u_{k,t-1,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}(\cdot) & \text{wenn} \\ & 0 < q_{k,t,\hat{s}_{k,\tilde{a}}} \leq a_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}} \\ \left[\frac{a_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}}{b_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}} + o_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}} \right] \cdot u_{k,t-1,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}(\cdot) & \text{wenn} \\ & q_{k,t,\hat{s}_{k,\tilde{a}}} > a_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}} \end{cases} \quad (37)$$

Die maximale Zahlungsbereitschaft ermittelt sich sodann analog zu der in Formel 27 bereits festgehaltenen Berechnung, indem diese Formel gleichfalls mit der Nutzenfunktion multipliziert wird. Somit ist die zeitpunktspezifische maximale Zahlungsbereitschaft wie folgt definiert

$$zb_{k,t,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}^{\max} = \left[\frac{a_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}}{b_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}} + o_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}} \right] \cdot u_{k,t-1,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}(\cdot) \quad (38)$$

Neben dieser anwendungsspezifischen Zahlungsbereitschaft ist insbesondere die kundensegment- und servicelevelspezifische Zahlungsbereitschaft von Bedeutung, da diese kundenseitig maßgeblichen Einfluss auf die Entscheidung über eine Inanspruchnahme des Servicelevels nimmt. Diese stimmt immer dann nicht mit der anwendungsspezifischen Zahlungsbereitschaft überein, wenn mehrere Anwendungen in einem Servicelevel bedient werden. Liegt dieser Fall vor, so ist eine Überleitung der einzelnen anwendungsspezifischen Nutzenfunktionen des Kundensegments in servicelevelspezifische Nutzenfunktionen für eben dieses Kundensegment vorzunehmen.

Basierend auf den einzelnen kundensegment- und anwendungsspezifischen Zahlungsbereitschaften $zb_{k,t,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}(\cdot)$ lässt sich eine Zahlungsbereitschaft für ein bestimmtes vom Datenübertragungsdienstleistungsanbieter angebotenes Servicelevel s und damit

$zb_{k,t,s}(q_{k,t,s}, u_{k,t-1,s}(\cdot))$ ermitteln. Diese Zahlungsbereitschaft $zb_{k,t,s}(q_{k,t,s}, u_{k,t-1,s}(\cdot))$ resultiert aus der Aggregation der kundensegment- und anwendungsspezifischen Zahlungsbereitschaften $zb_{k,t,\dot{s}_{k,\tilde{a}}}(\cdot)$, die für das jeweilige Kundensegment k innerhalb des vom Datenübertragungsdienstleisters angebotenen Servicelevels s bedient werden. Entsprechend gilt es eine binäre Variable $\vartheta_{k,s}(\dot{s}_{k,\tilde{a}})$ so zu definieren, dass diese immer genau dann 1 ist, wenn das anwendungs- und kundenspezifische Servicelevel $\dot{s}_{k,\tilde{a}}$ für Kundensegment k im vom Anbieter angebotenen Servicelevel s übertragen wird. Entsprechend sei $\tilde{A}_{k,s}$ die Menge der kundensegment- und anwendungsspezifischen Servicelevel $\dot{s}_{k,\tilde{a}}$, die vom Datenübertragungsdienstleistungsanbieter im von ihm angebotenen Servicelevel s übertragen werden. $\tilde{A}_{k,s}$ ist demnach eine Teilmenge von $\dot{S}_{k,\tilde{a}}$ und somit $\tilde{A}_{k,s} \subseteq \dot{S}_{k,\tilde{a}}$.

$$zb_{k,t,s} = \sum_{\tilde{a}=1}^{\tilde{A}} zb_{k,t,\dot{s}_{k,\tilde{a}}}(\cdot) \cdot \vartheta_{k,s}(\dot{s}_{k,\tilde{a}}) \quad \forall s \in \{1, 2, \dots, S\}, k \in \{1, 2, 3, \dots, K\} \quad (39)$$

$$\text{mit } \vartheta_{k,s}(\dot{s}_{k,\tilde{a}}) = \begin{cases} 0 & \text{wenn } \dot{s}_{k,\tilde{a}} \notin \tilde{A}_{k,s} \\ 1 & \text{wenn } \dot{s}_{k,\tilde{a}} \in \tilde{A}_{k,s} \end{cases} \quad \forall \tilde{a} \in \{1, 2, \dots, \tilde{A}\}, k \in \{1, 2, \dots, K\}$$

Für den Zahlungsbereitschaftsvektor $ZB_{k,t}^S$, der die kundensegmentspezifischen Zahlungsbereitschaften $zb_{k,t,s}$ für die verschiedenen Dienstgütelevel beinhaltet, gilt sodann Folgendes:

$$ZB_{k,t}^S = \begin{pmatrix} zb_{k,t,1} \\ \vdots \\ zb_{k,t,S} \end{pmatrix} \quad (40)$$

Liegen diese Daten vor, so eröffnet sich die Möglichkeit der Marktsimulation, im Sinne eines aggregierten Wahlverhaltens zwischen mehreren Alternativen.⁶²³ Bereits der Wahlverhalten-Begriff impliziert, dass es Regeln gibt, auf deren Basis eine Entscheidung des Kunden abgebildet wird. Eben dies wird im Folgenden einerseits für eine bestimmte Kaufentscheidung bezogen auf die von Segment k nachgefragte Menge an Datenübertragungsdienstleistungen betrachtet und andererseits im Anschluss ein Ansatz entwickelt, der die Entscheidungssituation für den Verbleib bzw. den Wechsel eines Kundensegments abzubilden vermag.

⁶²³ Vgl. LOUVIERE [Decision Making] S. 68 ff., der dies "aggregate choice behavior" nennt.

4.3.2 Abbildung der Nachfrage nach Datenübertragungsdienstleistungen

4.3.2.1 Ableitung der Nachfrage aus der Zahlungsbereitschaft

Traditionell hängt die Nachfrage nach einer Dienstleistung bzw. einem Produkt direkt von der Zahlungsbereitschaft und dem für die Nutzung geforderten Entgelt ab.⁶²⁴ Eine Nachfragefunktion dient folglich der auf einer mathematischen Funktion basierenden Zuweisung einer Nachfragemenge zu bestimmten Nutzungspreisen unter Berücksichtigung der Zahlungsbereitschaft. Um den Zusammenhang zwischen dem in der Zahlungsbereitschaft erfassten mengenbezogenen Preis und der individuell nachgefragten Menge herzustellen, wird zunächst die Preisbereitschaft ermittelt, die den in monetären Einheiten gemessenen Wert quantifiziert, den der Kunde der letzten angebotenen Einheit der insgesamt angebotenen Menge beimisst.⁶²⁵ Die Preisbereitschaft entspricht folglich der Anzahl monetärer Einheiten, die der Kunde für eben diese letzte Einheit zu zahlen bereit ist und resultiert aus der ersten Ableitung der Zahlungsbereitschaftsfunktion. Die Nachfragefunktion entspricht sodann der Umkehrfunktion der Preisbereitschaftsfunktion, wenn dort die Preisbereitschaft durch den Nutzungspreis ersetzt wird. Dabei darf es nicht zu negativen Nachfragen kommen, die prinzipiell je nach zugrundeliegender Zahlungsbereitschaftsfunktion denkbar wären, da der Kunde von Datenübertragungsdienstleistungen ausschließlich als Konsument und niemals als Anbieter der Datenübertragungsdienstleistung auftreten kann.⁶²⁶

Um den Einfluss des Preises auf die mengenmäßige Kapazitätsanspruchnahme entsprechend in der Nachfragemodellierung für Datenübertragungsdienstleistungen zu berücksichtigen, werden aus der in Kapitel 4.3.1.4 definierten anwendungsspezifisch ausgestalteten semi-logarithmischen Zahlungsbereitschaftsfunktion die Nachfragen hergeleitet. Dies geschieht, indem die Nachfrage $q_{k,t,\hat{s}_{k,\bar{a}}}$ aus der Umkehrfunktion der Ableitung der semi-logarithmischen Zahlungsbereitschaft gewonnen wird, in der die Zahlungsbereitschaft durch den Preis ersetzt wird.⁶²⁷ Die Ableitung der Zahlungsbereitschaftsfunktion entspricht hierbei zunächst der Preisbereitschaftsfunktion $pb_{k,t,\hat{s}_{k,\bar{a}}}(q_{k,t,\hat{s}_{k,\bar{a}}}, u_{k,t-1,\hat{s}_{k,\bar{a}}}(d_{t-1,f_k(\hat{s}_{k,\bar{a}})))$, die die Zahlungsbereitschaft eines Konsumenten für eine zusätzliche Mengeneinheit abbildet und damit die marginale Zahlungsbereitschaftsfunktion ist.⁶²⁸

⁶²⁴ Vgl. f. SKIERA [Preisdifferenzierung] S. 25 sowie zu Preis-Absatz-Funktionen z. B. THONEMANN [Management] S. 507

⁶²⁵ Vgl. ff. ROTH [Preismanagement] S. 14, SKIERA [Preisdifferenzierung] S. 24 f., SCHULZE/GEDENK/SKIERA [Zahlungsbereitschaftsfunktionen] S. 405

⁶²⁶ Vgl. SKIERA [Preisdifferenzierung] S. 28

⁶²⁷ Vgl. SKIERA [Preisdifferenzierung] S. 32 f.

⁶²⁸ Vgl. ff. SKIERA [Preisdifferenzierung] S. 24

$$pb_{k,t,\dot{s}_{k,\bar{a}}}(q_{k,t,\dot{s}_{k,\bar{a}}}, u_{k,t-1,\dot{s}_{k,\bar{a}}}(\cdot)) = \frac{\hat{c}zb_{k,t,\dot{s}_{k,\bar{a}}}(q_{k,t,\dot{s}_{k,\bar{a}}}, u_{k,t-1,\dot{s}_{k,\bar{a}}}(d_{t-1,f_k(\dot{s}_{k,\bar{a}}))})}{\hat{c}q_{k,t,\dot{s}_{k,\bar{a}}}} = \begin{cases} \frac{\ln(a_{k,\dot{s}_{k,\bar{a}}}) - \ln(q_{k,t,\dot{s}_{k,\bar{a}}})}{b_{k,\dot{s}_{k,\bar{a}}}} \cdot u_{k,t-1,s}(\cdot) & \text{wenn } q_{k,t,\dot{s}_{k,\bar{a}}} \leq a_{k,\dot{s}_{k,\bar{a}}} \\ 0 & \text{wenn } q_{k,t,\dot{s}_{k,\bar{a}}} > a_{k,\dot{s}_{k,\bar{a}}} \end{cases} \quad (41)$$

Wird sodann die Umkehrfunktion der Preisbereitschaftsfunktion gebildet und die Preisbereitschaft durch den Preis ersetzt, gewinnt man eine vom Preis abhängige anwendungsspezifische Nachfragefunktion. Der Preis sei $pr_{t,f_k(\dot{s}_{k,\bar{a}})}^{erw}$ und entspricht dem vom Kunden zum Zeitpunkt t für den Zeitraum t bis $t+1$ entsprechend der zugrundeliegenden Bepreisung erwarteten Preis. Die Bildung des erwarteten Preises ist notwendig, um zu berücksichtigen, dass im Rahmen einer ex ante erfolgenden Festlegung des Preises in Abhängigkeit des Datenaufkommens im Zeitraum t bis $t+1$ entsprechend ausschließlich die Kundenerwartung Einfluss auf die Nachfrage zum Zeitpunkt t nehmen wird.⁶²⁹ So folgt für die vom erwarteten Preis als auch vom in der Vorperiode realisierten Nutzen abhängige anwendungsspezifische Nachfrage $q_{k,t,\dot{s}_{k,\bar{a}}}(pr_{t,f_k(\dot{s}_{k,\bar{a}})}^{erw})$, die entsprechend ebenfalls zeitpunktspezifisch ausgestaltet ist:

$$q_{k,t,\dot{s}_{k,\bar{a}}}(pr_{k,t,f_k(\dot{s}_{k,\bar{a}})}^{erw}) = a_{k,\dot{s}_{k,\bar{a}}} \cdot e^{-\frac{b_{k,\dot{s}_{k,\bar{a}}} \cdot pr_{k,t,f_k(\dot{s}_{k,\bar{a}})}^{erw}}{u_{k,t-1,\dot{s}_{k,\bar{a}}}(d_{t-1,f_k(\dot{s}_{k,\bar{a}}))}}} \quad (42)$$

Da $u_{k,t-1,\dot{s}_{k,\bar{a}}}(d_{t-1,f_k(\dot{s}_{k,\bar{a}})})$ gemäß der Definition in Formel 34 prinzipiell auch den Wert 0 annehmen kann, muss Formel 42 zur Berechnung der durchschnittlichen maximalen Nachfrage so modifiziert werden, dass dieser Fall ausgeschlossen wird, da die Division durch 0 nicht definiert ist, sodass für $q_{k,t,\dot{s}_{k,\bar{a}}}(pr_{t,f_k(\dot{s}_{k,\bar{a}})}^{erw})$ daher Folgendes definiert wird:

$$q_{k,t,\dot{s}_{k,\bar{a}}}(pr_{k,t,f_k(\dot{s}_{k,\bar{a}})}^{erw}) = \begin{cases} a_{k,\dot{s}_{k,\bar{a}}} \cdot e^{-\frac{b_{k,\dot{s}_{k,\bar{a}}} \cdot pr_{k,t,f_k(\dot{s}_{k,\bar{a}})}^{erw}}{u_{k,t-1,\dot{s}_{k,\bar{a}}}(d_{t-1,f_k(\dot{s}_{k,\bar{a}}))}}} & \text{für } u_{k,t-1,\dot{s}_{k,\bar{a}}}(d_{t-1,f_k(\dot{s}_{k,\bar{a}})}) > 0 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad (43)$$

⁶²⁹ Vgl. MUTH [Expectations] S. 317, der ebenda zeigt, dass kurzfristige Preisvariationen in einem isolierten Marktumfeld mit nichtlagerbaren Gütern, und von einem solchen kann im Falle vom Datenübertragungsdienstleistungsmarkt mit meist längerfristiger Bindung der Kunden an den jeweiligen Datenübertragungsdienstleister ausgegangen werden, die erwarteten Preise direkten Einfluss auf die Nachfrage haben. Vgl. ferner MUTH [Expectations] S. 331 zur Übersicht über grundlegende Theorien zur Abbildung von erwarteten Preisen.

Somit folgt aus der semi-logarithmischen Zahlungsbereitschaftsfunktion, im Gegensatz zu der auf einer quadratischen Zahlungsbereitschaft ermittelten Nachfrage, keine lineare Nachfragefunktion, die aufgrund ihrer aus der Linearität resultierenden Möglichkeit zur Berechnung analytischer Lösungen für zahlreiche wohlfahrtstheoretische Analysen herangezogen wird, sondern eine negativ exponentielle Funktion. Der Vorteil der quadratischen Zahlungsbereitschaft und der mit dieser verbundenen Linearität wäre jedoch bei näherer Betrachtung auch nachteilig, denn es erscheint unrealistisch, dass mit steigender Inanspruchnahme der Datenübertragungsdienstleistungen die marginale Zahlungsbereitschaft, also die Veränderungsrate der Zahlungsbereitschaft, konstant bleibt.⁶³⁰ Genau dies kann durch die Modellierung der Zahlungsbereitschaft als semi-logarithmische Funktion und der daraus resultierenden negativ exponentiellen Nachfragefunktion verhindert werden, da in diesem Falle aus einer zunehmenden marginalen Mengenveränderung sinkende Preise folgen.

Die von SKIERA bei der Modellierung von Datenübertragungsdienstleistungen als nicht der Realität entsprechend angesehene Sättigungsmenge, die die Menge widerspiegelt, ab der der Kunde nicht mehr bereit ist, für die Möglichkeit des Konsums einer weiteren Einheit zu zahlen und daher keine weitere Nachfrage generiert und deren Höhe für die der semi-logarithmischen Zahlungsbereitschaft folgenden Nachfragekurven $a_{k,\hat{s}_{k,a}}$ beträgt, ist hingegen im Rahmen der Nachfragemodellierung eine unproblematische Annahme.⁶³¹ Schließlich vernachlässigt die von SKIERA verfolgte Argumentation das in Kapitel 3.2.2.1 dargestellte Flat-Rate-Bias zur Erklärung einer fehlenden Sättigungsmenge und lässt die wohl vielmehr auch für Datenübertragungsdienstleistungen geltende Annahme außer Acht, dass die bei mengenbasierten Tarifen aus der Zahlungsbereitschaftsfunktion resultierenden Sättigungsmengen auch in der Realität Bestand haben dürften. Angesichts dessen scheint die Modellierung mittels semi-logarithmischer Zahlungsbereitschaftsfunktionen und den aus diesen abzuleitenden negativ exponentiellen Nachfragefunktionen unproblematisch und habe folgend Bestand. Da diese Nachfrage jedoch die stochastischen Eigenschaften des empirisch belegten Datenaufkommens vernachlässigt, gilt es die stochastischen Eigenschaften zu identifizieren und diese mit der Nachfragemodellierung zu verbinden.

⁶³⁰ Vgl. f. SCHULZE [Nutzungspreise] S. 78

⁶³¹ Vgl. SKIERA [Preisdifferenzierung] S. 32

4.3.2.2 *Notwendigkeit einer stochastischen Nachfragemodellierung des Datenübertragungsverkehrs*

4.3.2.2.1 *Systematisierung von Parametern des Datenverkehrs*

In Abhängigkeit von der Betrachtungsebene der Datenübertragung und damit des gesamten Datenverkehrs unterscheiden sich die in der Literatur angeführten Ansätze zur Modellierung des Datenverkehrs und der dazugehörigen identifizierten stochastischen Parameter zur Beschreibung des Datenverkehrs.⁶³² Auf Basis der bereits in Kapitel 2.1.2 identifizierten unterschiedlichen zeitlichen Skalierungen des Datenverkehrs kann den drei Aggregationsebenen, der Paket-, der Fluss- sowie der Sitzungsebene, jeweils ein Verkehrsmodell mit spezifischen Verkehrsparametern zugewiesen werden, bei dem die identifizierten Verkehrsparameter mittels stochastischer Größen entsprechend der empirisch erhobenen Verkehrsdaten zu modellieren sind, um eine Abbildung des Datenverkehrs zu realisieren.⁶³³

Die „Paket-Modelle“ bieten die feingranularste Betrachtung und modellieren den Gesamtverkehr aus der Zwischenankunftszeit der IP-Datenpakete, deren mittlere Paketgrößen sowie der spezifischen Verteilung der Paketgrößen unter Berücksichtigung von potentiellen Korrelationen zwischen den Parametern.⁶³⁴ Die „Fluss-Modelle“ hingegen fußen auf einer zeitlich grobgranulareren Skala, indem sie auf einer übergeordneten Betrachtungsebene mehrere Datenpakete, die von einer bestimmten Quelle emittiert und von einem bestimmten Ziel empfangen werden, zu einem Paketfluss zusammenfassen, und umfassen sowohl uni- als auch bidirektionale Flüsse. Dementsprechend werden zur Modellierung eines Datenverkehrs auf Basis von Paketflüssen einerseits Ankunftsdaten der Paketflüsse und andererseits für jeden Paketfluss eine bestimmte Dauer sowie dessen Kapazitätsanspruchnahme, quantifiziert durch die Paketanzahl oder durch die in Byte gemessene zu übertragende Menge, herangezogen. Die durchschnittliche Dauer eines Datenflusses wird wiederum maßgeblich von der gewählten maximal tolerierten Zwischenankunftszeit von zwei aufeinanderfolgenden Paketen beeinflusst, die zur Abgrenzung zweier Datenflüsse zu wählen ist und zwischen Sekunden und Minuten schwanken kann. Neben der Zwischenankunftszeit zur näheren Spezifikation von IP-Flüssen, kann eine Spezifikation auch anhand der räumlichen Aus-

⁶³² Eine Übersicht über mögliche Ansätze zur Modellierung von Datenverkehr liefern FROST/MELAMED [Traffic Modeling] S. 70 ff. und ADAS [Traffic Models] S. 82 ff.

⁶³³ Vgl. SCHÄFER [Verlässlichkeitsanalyse] S. 69 und zur Visualisierung Kapitel 2.1.2 sowie zahlreiche weitere, die eine vergleichbare Differenzierung vornehmen, wie z. B. CHARZINSKI/FÄRBER/VICARI [Lastmodellierung] S. 65, CASILARI ET AL. [Modelling] S. 88 ff., GARCIA/HACKBARTH [Estimating] S. 732 f.,

⁶³⁴ Vgl. ff. EBERSPÄCHER [Traffic Engineering] S. 1-119 ff.

dehnung der Quelle und Senke vorgenommen werden: so ist die Betrachtung von Flüssen zwischen Einzelpersonen genauso möglich, wie die zwischen zwei Sub-Netzwerken, seien es LAN- oder WAN-Netze. Die Flussmodelle schlagen die Brücke zwischen den Paket-Modellen und den Verbindungs- bzw. Sitzungsmodellen, denn bei einer entsprechend großen tolerierten Zwischenankunftszeit konvergiert die Definition eines Flusses gegen die einer Sitzung. Daher wird üblicherweise eine Zeitspanne von nicht mehr als einer Minute für die Zwischenankunftszeit eines Flusses angesetzt, um eine Abgrenzung hin zur Sitzung zu ermöglichen. Eine Sitzung wiederum umfasst mehrere Datenströme, ohne diese jedoch zu differenzieren, sodass vergleichbar zur Flussebene ebenfalls einerseits die Dauer von Sitzungsende bis Sitzungsbeginn im Sinne einer Zwischenankunftsrate der Sitzungen, die Dauer der Sitzung sowie die über die gesamte Sitzung gemittelte durchschnittliche Kapazitätsinanspruchnahme, mit den dieser Durchschnittsbetrachtung zugrunde liegenden und bereits diskutierten Nachteilen, zur Modellierung heranzuziehen ist.

Unabhängig davon, welches Modell letztlich gewählt wird, ist bei den drei dargestellten Ansätzen eine Ankunftsrate zu modellieren, sei es die Zwischenankunftsrate von Paketen, Flüssen oder die der eingehenden Verbindungsanfragen im Zuge eines Sitzungsaufbaus.⁶³⁵ Der für die gesamten Kunden zu betrachtende aggregierte Datenverkehr ist folglich ein Zufallsprozess, der sich aus der Überlagerung vieler verschiedener Zufallsprozesse ergibt, denen spezifisches Nutzerverhalten zugrunde gelegt wird und die sich je nach Netz und Abstraktionsniveau der Modellierung in den zu wählenden Paketabständen, den Paketgrößen sowie den jeweilig in Anspruch genommenen Anwendungen sowie der mit diesen implizit notwendigen Dienstgütern unterscheiden können. Mit der Modellierung von Ankunftsrate von Datenpaketen sowie deren Größe an einem bestimmten Knoten wird das Bindeglied zwischen separat für jeden einzelnen Datenfluss vorliegenden Verkehrsparametern und der Modellierung eines Engpasses, resultierend aus der Aggregation der Einzelnachfragen, gemäß des Warteschlangenprozesses realisiert, wenn die Warteschlangen basierend auf den dargestellten Abfertigungsstrategien bedient werden und die Bedienung, wie in Kapitel 2.4.3 dargestellt, der Weiterleitung der ankommenden Datenpakete entspricht.

⁶³⁵ Vgl. EBERSPÄCHER [Traffic Engineering] S. 1-119, FROST/MELAMED [Traffic Modeling] S. 71

4.3.2.2.2 Selbstähnliche stochastische Prozesse zur Beschreibung von Ankunftsdaten des Datenverkehrs

Bei der Modellierung von Datenverkehr haben sich stochastische Prozesse etabliert,⁶³⁶ mittels derer die in empirischen Studien gemessenen Charakteristika des Datenverkehrs in ein Modell transferiert werden können, um auf dieser Basis weitergehende Analysen des Datenverkehrs durchführen zu können.⁶³⁷ Entsprechend bedeutend für die Validität und intersubjektivität der aus den Analysen gewonnenen Erkenntnisse ist die möglichst exakte Modellierung der Verkehrscharakteristika. Die Modellierung wurde entscheidend von LELAND ET AL. vorangetrieben, die auf Basis von Referenzmessungen⁶³⁸ nachgewiesen haben, dass sich zur Modellierung des Datenverkehrsaufkommens in Netzwerken insbesondere selbstähnliche Prozesse eignen, da sie exakt die gleichen Eigenschaften aufweisen, die bei der Analyse der Messungen festgestellt wurden.⁶³⁹ Mit dieser Entdeckung wurden die bis dahin genutzten Poissonartigen Verkehrsmodelle, bei denen auf der Verbindungsebene die Verbindungsanfragen mittels Poisson-Prozessen abgebildet wurden, durch selbstähnliche Prozesse verdrängt.⁶⁴⁰ Ein Prozess gilt genau dann als selbstähnlich, wenn sich dieser in kongruente Teilprozesse zerlegen lässt.⁶⁴¹ Dies bedeutet für stochastische Prozesse, dass abhängig von der zeitlichen Skalierung oder im Zeitverlauf wiederkehrende Muster identifiziert werden können, der Prozess sich folglich durch ähnliche Strukturen charakterisieren lässt.⁶⁴²

Ströme im Allgemeinen und damit auch Datenströme im Speziellen, die sich dadurch auszeichnen, dass in ununterbrochener Folge diskrete Mengeneinheiten entweder einzeln oder auch pulkweise ankommen, sind als diskrete Ströme definiert.⁶⁴³ Diese zeichnen sich durch eine Ereignisfolge mit stochastisch verteilten Zwischenankunftszeiten und nicht korrelierten Mengeneinheiten aus. Ein solcher zeitdiskreter stochastischer Prozess, der für eine diskrete Anzahl an zu betrachtenden Zeitpunkten Zufalls-

⁶³⁶ Vgl. zur Übersicht über die Prozesse z. B. KILLAT [Kommunikationsnetze] S. 74 ff.

⁶³⁷ Vgl. FÄRBER [Modellierung] S. 31

⁶³⁸ Der von LELAND ET AL. in [Self-Similarity] genutzte Datensatz wurde zwischen August 1989 und 1992 erhoben und bereits teilweise in LELAND/WILSON [Measurement] 1991 veröffentlicht. Die Erhebung der Daten erfolgte mit Hilfe eines Monitors auf einer Verbindungsleitung, der in Zeitintervallen von 100 Mikrosekunden das Verkehrsaufkommen auf Basis ankommender Pakete sowie deren Größe erfasste.

⁶³⁹ Vgl. LELAND et al. [Self-Similar] S. 1 ff.

⁶⁴⁰ Vgl. insbesondere PAXSON/FLOYD [Failure of Poisson Modeling]

⁶⁴¹ Vgl. HENN [Geometrie] S. 197 sowie grundsätzlich zu Self-Similarity: MANDELBROT/TAQQU [Robust] S. 69 ff.; MANDELBROT/WALLIS [Computer experiments] S. 228 ff.; MANDELBROT [Fractal Geometry]

⁶⁴² Vgl. SCHÄFER [Verlässlichkeit] S. 72

⁶⁴³ Vgl. f. GEDEHUS [Logistik] S. 236, der generell die Eigenschaften von stochastischen Prozessen beschreibt.

variablen definiert, wird daher auch als Zeitreihe bezeichnet.⁶⁴⁴ Soll eine solche Zeitreihe das Kriterium der Selbstähnlichkeit erfüllen, so muss für den aggregierten Prozess $X_t^{(m)}$ gelten:⁶⁴⁵

$$X_t^{(m)} \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{m} (X_{(t-1) \cdot m + 1} + \dots + X_{t \cdot m}) \text{ mit } m \in \mathbb{N} \quad (44)$$

Dabei ist m der Skalierungsfaktor, mit dem die zu X gehörige Zeitreihe skaliert wird, indem der Prozess in überschneidungsfreie Blöcke der Größe m unterteilt wird.⁶⁴⁶ Handelt es sich bei der Zeitreihe um einen schwach stationären Prozess, so wie dies für Datenverkehrssimulationszwecke angenommen wird,⁶⁴⁷ gilt für alle $m > 0$, dass die beiden Zeitreihen $m^{1-H} \cdot X_t^{(m)}$ und X_t von denselben Wahrscheinlichkeitsgesetzmäßigkeiten,⁶⁴⁸ also über die gleiche Varianz und Autokorrelation⁶⁴⁹ bestimmt sind.⁶⁵⁰ Der stochastische Prozess ist selbstähnlich mit dem Hurst-Parameter H , der ein Maß für die Selbstähnlichkeit ist.⁶⁵¹ Für die Modellierung von Verkehrsströmen in Next Generation Networks haben LELAND ET AL. nachgewiesen, dass lediglich Hurst-Parameter im Intervall $[0,5; 1]$ von praktischer Relevanz sind.⁶⁵² Dies resultiert daraus, dass stochastische Prozesse mit einem Hurst-Parameter dieses Intervalls darüber hinaus langzeitabhängig sind, sodass die Werte entsprechend zu jedem Zeitpunkt auf nicht vernachlässigbare Weise miteinander positiv korreliert sind.⁶⁵³

CROVELLA/BESTAVROS erweitern das Anwendungsspektrum selbstähnlicher Prozesse zur Datenverkehrsmodellierung, indem sie an einem von ihnen erhobenen Datensatz zeigen, dass auch der Datenverkehr, der durch Dienste des World Wide Webs verursacht wird, mittels selbstähnlicher Prozesse charakterisiert wird.⁶⁵⁴ Sie gehen davon aus, dass der Hurst-Parameter größer als 0,5 sein muss, da dies Bursts⁶⁵⁵ auf

⁶⁴⁴ Vgl. ARNOLD/FURMANS [Materialfluss] S. 114

⁶⁴⁵ Vgl. LIU/ANSARI/SHI [Broad Communications] S. 67

⁶⁴⁶ Vgl. CAVANAUGH/WANG/DAVIS [Self-Similar] S. 3 und FÄRBER [Modellierung] S. 29 sowie WILLINGER/PAXSON/TAQQU [Self-Similarity] S. 29

⁶⁴⁷ Vgl. dazu und zur ausführlichen Diskussion von selbstähnlichen Prozessen in Telekommunikationsnetzen SHELUHIN/SMOLSKIY/OSIN [Self-Similar] S. 8 ff.

⁶⁴⁸ Vgl. FÄRBER [Modellierung] S. 29 und SCHÄFER [Verlässlichkeit] S. 72

⁶⁴⁹ Die Autokorrelation zeigt an, ob Abhängigkeiten in einer Zeitreihe bestehen (vgl. dazu und zu weiteren Informationen zur Bestimmung der Autokorrelation über die Autokovarianz und den Autokorrelationskoeffizienten FÄRBER [Modellierung] S. 28)

⁶⁵⁰ Vgl. WILLINGER/PAXSON/TAQQU [Self-Similarity]

⁶⁵¹ Vgl. MEIER/BORKOWSKI [Stochastische Signale] S. 295

⁶⁵² Vgl. LELAND et al. [Self-Similarity] S. 7; SCHÄFER [Verlässlichkeit] S. 72; SHELUHIN/ SMOLSKIY/OSIN [Self-Similar] S. 8 f.; BERAN [Long-memory] S. 47

⁶⁵³ Vgl. REZAUL/GROUT [Tail Index] S. 219

⁶⁵⁴ Vgl. CROVELLA/BESTAVROS [Self-Similarity] S. 845

⁶⁵⁵ Bursts sind bei der Datenübertragung auftretende Häufungen von Datenpaketen in einer bestimmten kurzen Zeitspanne. Man spricht auch von Datenbüscheln oder Datenklumpen, die entweder

verschiedenen, wenn nicht sogar allen, Zeitskalen erklärt.⁶⁵⁶ PAXSON/FLOYD weisen zusätzlich die Selbstähnlichkeit in WAN-Netzen nach,⁶⁵⁷ sodass diese Eigenschaft des Datenverkehrs nicht nur unabhängig der zeitlichen und räumlichen Granularität festgestellt werden konnte, sondern darüber hinaus auch auf verschiedenste Anwendungen und damit auch auf die Daten in Next Generation Networks übertragen werden kann. Die Eigenschaft der Selbstähnlichkeit von Datenströmen sowie deren Auftreten auf verschiedensten Zeitskalen als auch über verschiedenste Anwendungen resultiert daraus, dass – unabhängig von der betrachteten Aggregationsebene – der Datenverkehr durch Büschelartigkeit geprägt ist.⁶⁵⁸ Die Modellierung dieses Verkehrscharakteristikums mittels Verteilungsfunktionen steht im Mittelpunkt des nächsten Kapitels.

4.3.2.2.3 Verteilungsfunktionen zur Erklärung der Selbstähnlichkeit des Datenverkehrs

Die Büschelartigkeit des Datenverkehrs resultiert daraus, dass sowohl die Zeiträume innerhalb derer eine Datenübertragung stattfindet als auch die Größe der Datenpakete durch Verteilungsfunktionen mit Heavy-Tail-Eigenschaft geprägt sind.⁶⁵⁹ Für Verteilungsfunktionen mit Heavy-Tail-Eigenschaft besteht eine nicht unerhebliche Wahrscheinlichkeit dafür, dass eine Zufallsvariable sehr groß wird.⁶⁶⁰ Modelliert man auf Basis einer solchen Verteilungsfunktion Verkehrscharakteristika, wie z. B. die Dauer der Datenübertragung bzw. die Größe des Datenpakets, existiert grundsätzlich eine positive, wenn auch sehr geringe, Wahrscheinlichkeit dafür, dass Datenpakete sehr groß werden, auch wenn die Mehrheit der Pakete klein ist und dementsprechend die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines kleinen Datenpakets entsprechend hoch ist.

Eine Zufallsvariable X folgt einer Heavy-tailed-Verteilungsfunktion $F(x)$, wenn deren komplementäre Funktion $\bar{F}(x) = 1 - F(x)$ langsamer abklingt als die Exponentialverteilung und somit $\bar{F}(x) \sim x^{-\alpha}$ für $x \rightarrow \infty$ und $0 < \alpha < 2$ gilt.⁶⁶¹ Damit gilt $P[X > x] \sim x^{-\alpha}$

durch die Anzahl der Datenpakete oder aber durch die Größe der Datenpakete vom durchschnittlich in der Zeitspanne zu erwartenden Datenaufkommen stark abweichen.

⁶⁵⁶ Vgl. CROVELLA/TAQUU/BESTAVROS [Heavy-Tailed] S. 18

⁶⁵⁷ Vgl. dazu PAXSON/FLOYD [Failure of Poisson]

⁶⁵⁸ Vgl. LELAND/WILSON [Measurement] S. 5 ff.; PLÖNNIG [Control Network] S. 62

⁶⁵⁹ Vgl. GUO/CORVELLA/MATTA [Heavy-Tails] S. 1; PARK/KIM/CROVELLA [Relationship] S. 171; CROVELLA/BESTAVROS [Self-Similarity] S. 835; CROVELLA/TAQUU/BESTAVROS [Heavy-Tailed] S. 4, 12 f. und 18 ff.

⁶⁶⁰ Vgl. f. SHORTLE ET AL. [Telecommunications] S. 194 und SHELUHIN/SMOLSKIY/OSIN [Self-Similar] S. 16

⁶⁶¹ Vgl. SCHÄFER [Verlässlichkeit] S. 74 f., FÄRBER [Modellierung] S. 26 f., SHELUHIN/SMOLSKIY/OSIN [Self-Similar] S. 15 sowie SHENG/CHEN/QU [Fractional] S. 218

mit $x \rightarrow \infty$ und $0 < \alpha < 2$.⁶⁶² Die getroffene Einschränkung, dass $\alpha < 2$ sein muss, hat zur Folge, dass für die Funktion keine Varianz bestimmt werden kann,⁶⁶³ weil die mit α bestimmte Abklingrate langsamer verläuft als die der Exponentialverteilung.⁶⁶⁴ Für $\alpha < 1$ ist für die Verteilungsfunktion darüber hinaus kein Erwartungswert ermittelbar. Das heißt für $\alpha \rightarrow 0$ divergieren die Momente der Verteilungsfunktion gegen unendlich, da α der Abklingparameter bei großem x ist.⁶⁶⁵ Die Charakteristika der Momente der Verteilungsfunktion sind verantwortlich dafür, dass eine nicht unerhebliche Wahrscheinlichkeit besteht, dass eine Zufallsvariable sehr große Ausprägungen annimmt. Eben diese Eigenschaften der Verteilungsfunktion sind der Grund dafür, dass sie geeignet sind, die gemessenen Charakteristika des Datenverkehrs nachzubilden. Heavy-tailed-Verteilungsfunktionen berücksichtigen folglich, dass eine geringe Anzahl der insgesamt auftretenden Datenpakete sehr viel größer ist, als die im Verhältnis zu allen beobachteten mehrheitlich kleinen Datenpaketen.⁶⁶⁶

Eine Funktion, die diese Eigenschaften erfüllt, ist z. B. die Pareto-Verteilung,⁶⁶⁷ der folgende Verteilungsfunktion $F(x)$ zugrunde liegt und für die von MIKIAN ET AL. gezeigt wurde, dass sie zur Abbildung von Datenverkehr geeignet ist:⁶⁶⁸

$$F(x) = \begin{cases} 1 - \left(\frac{\lambda}{x}\right)^\alpha & \text{für } x \geq \lambda \\ 0 & \text{für } x < \lambda \end{cases} \quad (45)$$

Für die aus der Differenzierung von $F(x)$ resultierende Dichtefunktion $f(x)$ gilt dann

$$f(x) = \begin{cases} \alpha \cdot \frac{\lambda^\alpha}{x^{\alpha+1}} & \text{für } x \geq \lambda \\ 0 & \text{für } x < \lambda \end{cases} \quad (46)$$

mit $\alpha, \lambda \geq 0$.⁶⁶⁹ λ ist der kleinste Wert der Verteilung mit der maximalen Wahrscheinlichkeit und damit der Modus.⁶⁷⁰ Pareto-verteilte Zufallsvariablen werden eingesetzt, um Ungleichverteilungen zu beschreiben und sind der Ursprung für die 80-20-Regel,

⁶⁶² Vgl. CROVELLA/TAQQU/BESTAVROS [Heavy-Tailed] S. 9

⁶⁶³ Vgl. f. SCHÄFER [Verlässlichkeit] S. 75

⁶⁶⁴ Vgl. SHENG/CHEN/QU [Fractional] S. 218

⁶⁶⁵ Vgl. FÄRBER [Modellierung] S. 27 und SCHMID/TREDE [Finanzmarktstatistik] S. 56

⁶⁶⁶ Vgl. SHORTLE ET AL. [Telecommunications] S. 194

⁶⁶⁷ Vgl. CROVELLA/TAQQU/BESTAVROS [Heavy-Tailed] S. 9; SHELUHI/SMOLSKIY/OSIN [Self Similar] S. 17; CROVELLA/BESTAVROS [Heavy-Tailed] S. 837

⁶⁶⁸ Vgl. SCHLITTGEN [Statistik] S. 215 sowie MIKIAN ET AL. [Traffic Characterization] S. 111, 115 f.

⁶⁶⁹ Vgl. SCHLITTGEN [Statistik] S. 216; CROVELLA/TAQQU/BESTAVROS [Heavy-Tailed] S. 9

⁶⁷⁰ Vgl. VORNEFELD [Verkehrstheoretische Dimensionierung] S. 52

mittels derer u. a. die ungleiche Verteilung des Vermögens beschrieben werden kann.⁶⁷¹ Demnach verfügen 20 % der gesamten Population über 80 % des Populationsvermögens. Diese Aussage trifft für die Pareto-Verteilung jedoch nur für den Fall zu, dass α in etwa 1,5 entspricht.⁶⁷² Für kleine α verstärkt sich der Effekt, sodass der prozentuale Populationsanteil, der über den Großteil des Vermögens verfügt, sinkt. Somit spiegelt die Verteilungsfunktion gut die bereits bei der generalisierten Darstellung von Heavy-tailed-Verteilungen definierten Eigenschaften wider.

Für $\alpha = 1,5$ bedeutet dies für die Eigenschaften der Übertragung der Datenpakete, dass 80 % aller Datenpakete des gesamten Datenverkehrs gemessen in Byte relativ klein und für nur insgesamt 20 % des gesamten Datenaufkommens verantwortlich sind, während die übrigen 20 % der Datenpakete für 80 % und damit für den Großteil des Gesamtdatenaufkommens verantwortlich sind. Wird darüber hinaus davon ausgegangen, dass Anwendungen sich durch bestimmte Charakteristika auszeichnen, zeigt sich die Wirksamkeit einer anwendungsdifferenzierten Abfertigungsstrategie, bei der sodann einerseits Anwendungen entsprechend der Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Büscheln Kapazitäten vorgehalten werden können, jedoch insbesondere die Büschel, die eine niedrigere Dienstgüte benötigen, durch die Zuweisung eines niedrigeren Prioritätslevels, gerade bei kurzfristigen Kapazitätsengpässen „ausgebremst“ werden, während den höher priorisierten Diensten auf diese Weise weiterhin die benötigte Dienstgüte zugesichert werden kann.

Folgend findet eine Zusammenführung der identifizierten stochastischen Eigenschaften mit den zuvor identifizierten Möglichkeiten zur Ableitung der Nachfrage aus der Zahlungsbereitschaft statt. Unter Berücksichtigung der Weiterleitungskapazität wird ein Modell aufgebaut, das zur langfristigen Analyse von Kundenwechselverhalten – basierend auf der Rückkopplung zwischen den modellierten Kapazitätsengpässen in Next Generation Networks – dient.

4.3.2.3 *Abbildung der Gesamtnachfrage nach Datenübertragungsdienstleistungen*

Die Abbildung der Nachfrage spielt eine entscheidende Rolle bei der Modellierung des Analysemodells, da die Nachfrage durch eine Abhängigkeit vom Preis gekennzeichnet ist.⁶⁷³ Um eine geeignete Abbildung der Nachfrage für die angestrebte Customer-Equity-basierte Analyse der Bepreisung zu realisieren, ist für jedes Kundensegment

⁶⁷¹ Vgl. f. BEINHOCKER [Origin of Welth] S. 86

⁶⁷² Vgl. f. KLEIBER/KOTZ [Size Distributions] S. 62

⁶⁷³ Vgl. GOLD/PRAY [Modeling] S. 117, vgl. zum Preisabhängigen Nutzungsverhalten von Konsumenten auch SKIERA [Preisdifferenzierung] S. 68

eine zeitpunkt-spezifische Nachfrage für die einzelnen QoS-Level, basierend auf den Heavy-Tail-Eigenschaften, die als für Datenübertragungsdienstleistungen charakteristisch identifiziert wurden, zu modellieren. Dazu gilt es zunächst eine Nachfrage eines für das Segment typischen, das Segment repräsentierenden Nutzers zu modellieren, auf dessen Basis eine Ableitung der Nachfrage des Segments realisiert werden soll, indem durch Multiplikation der Nachfrage resultierend aus dem für das Segment typischen Nutzerverhaltens mit der Segmentgröße Rückschlüsse auf die Nachfrage des Segments gezogen werden.

Auf Basis einer solchen nutzerzentrischen Sichtweise, die schließlich auf Ebene der Kundensegmente ausgestaltet ist, wird vergleichbar zu den einzelnutzerberücksichtigenden Ansätzen zur Datenverkehrsmodellierung davon ausgegangen, dass die Kundensegmente entsprechend ihrer typischen Präferenzstruktur den Datenverkehr aus einer unabhängigen und zufälligen Nutzung von Anwendungen erzeugen.⁶⁷⁴ Dabei wird jedoch durch die Aggregation der Kunden zu Kundensegmenten eine Reduktion der zur Nachbildung des Verkehrs benötigten Parameter in Höhe der Kundenanzahl erreicht, für die andernfalls jeweils alle Parameter einzeln zu modellieren gewesen wären, sodass eine Annäherung bezüglich der Komplexitätsreduktion an die Summenverkehrsmodelle, die den gesamten aggregierten Datenverkehr betrachten, erfolgt und darüber hinaus Erkenntnisse, die empirisch für den Summenverkehr gewonnen wurden, aufgegriffen werden können.⁶⁷⁵ Dies gilt jedoch nur dann, wenn davon ausgegangen wird, dass die Gesamtnachfrage des Kundensegments auf Basis einer einzelnen Nutzenfunktion des für das Segment typischen, dieses repräsentierenden Nutzers ermittelt wird.

Um die für verschiedene Zeitskalen nachgewiesenen Heavy-Tail-Eigenschaften des Datenverkehrs in die Modellierung der Nachfrage $\psi_{k,t,\hat{s}_{k,\bar{a}}}(x)$ eines das Kundensegment k repräsentierenden Kunden für das kundensegment- und anwendungsspezifische Servicelevel $\hat{s}_{k,\bar{a}}$ einzubeziehen, wird auf die von MIKIAN ET AL. als geeignet festgestellte Pareto-Verteilung bei der Modellierung der für das Segment typischen, repräsentativen Kundennachfrage zurückgegriffen.⁶⁷⁶ Die Einbindung der im Sinne der in Kapitel

⁶⁷⁴ Vgl. zur nutzerzentrischen Sicht bei Einzelnutzerbetrachtung KILLAT [Kommunikationsnetze] S. 5 oder GARCIA/HACKBARTH [Estimating] S. 741

⁶⁷⁵ Vgl. zur Differenzierung zwischen einzelnutzerbasierter Verkehrsmodellierung und einer Summenverkehrsmodellierung CHARZINSKI/FÄRBER/VICARI [Lastmodellierung] S. 65.

⁶⁷⁶ MIKIAN ET AL. [Traffic Characterization] S. 118 f. weisen ebenda darauf hin, dass die ebenfalls heavy-tailed LogNormal-Verteilung gleichfalls zur Modellierung von Datenverkehr geeignet sein können und es bei der Betrachtung von Kapazitätsengpässen Hinweise gibt, dass eine Verbindung zwischen Pareto-verteilten Paketflüssen und einem potenziellen Engpass bestehen könnte; die vorsichtige Formulierung resultiert aus den zahlreichen Annahmen, die getroffen werden mussten, um

4.3.2.1 beschriebenen, vom Preis und Nutzen abhängigen, negativ exponentiellen Nachfragefunktion in die Pareto-Verteilung gelingt durch die Modellierung eines Formparameters der nach Formel 46 definierten Pareto-Verteilung. Dieser Zusammenhang wird zunächst durch die Modellierung des Modus $\lambda_{k,t,\hat{s}_{k,\bar{a}}}(\cdot)$ der Pareto-Verteilung als Funktion realisiert:

$$\psi_{k,t,\hat{s}_{k,\bar{a}}}(x) = \begin{cases} \alpha \cdot \frac{(\lambda_{k,t,\hat{s}_{k,\bar{a}}}(\cdot))^\alpha}{x^{\alpha+1}} & \text{für } x \geq \lambda_{k,t,\hat{s}_{k,\bar{a}}}(\cdot) \\ 0 & \text{für } x < \lambda_{k,t,\hat{s}_{k,\bar{a}}}(\cdot) \end{cases} \quad (47)$$

Die erwartete Nachfrage entspricht sodann:⁶⁷⁷

$$E_{k,t,\hat{s}_{k,\bar{a}}}(x) = \lambda_{k,t,\hat{s}_{k,\bar{a}}}(\cdot) \cdot \frac{\alpha}{\alpha - 1} \quad (48)$$

Die Nachfrage schwankt darüber hinaus im Tagesverlauf deutlich. Dies resultiert sowohl aus der Variation der Anzahl aktiver Nutzer sowie der Nutzungsaktivität der einzelnen Nutzer. Um die Schwankung gleichfalls zu berücksichtigen, gilt es entweder die kundensegmentspezifische Nachfragefunktion $\psi_{k,t,\hat{s}_{k,\bar{a}}}(x)$ um einen den Tageszeitpunkt berücksichtigenden Korrekturfaktor zu erweitern oder den bereits ebenfalls als Funktion ausgestalteten Modus der Verteilungsfunktion $\lambda_{k,t,\hat{s}_{k,\bar{a}}}(\cdot)$ tageszeitpunktspezifisch mittels eines in der Funktion eingebetteten Tageszeitfaktors, der zwischen null und eins schwankt, zu modellieren. Letztere Variante wird im Folgenden der Modellierung zugrunde gelegt, denn der entwickelte Korrekturfaktor dient sodann nicht nur zur Abbildung der Aktivität der Nutzer, sondern dient auch dazu, die im Zuge der Modellierung gewählte Granularität der Zeitskala des Modells mitzuberücksichtigen.

Der Tageszeitfaktor beruht auf der Funktion $\gamma(\tilde{t})$ und nimmt bei maximaler Aktivität den Wert 1 an, während er bei keiner Aktivität und somit folglich keiner Nachfrage nach Datenübertragungsdienstleistungen gleich 0 ist. \tilde{t} ist die zum Zeitpunkt t zugehörige Tageszeit und ist entsprechend für alle Zeitpunkte zwischen 0:00 Uhr bis 24:00 Uhr definiert. $\gamma(\tilde{t})$ sei als abschnittsweise definierte Funktion unter Rückgriff auf z. B. die für den aggregierten Datenverkehr im Frankfurter Datenverkehrsknoten beobachteten Eigenschaften wie folgt ausgestaltet

diese Aussage zu stützen. Aufgrund des nicht abschließend geklärten Zusammenhangs wird folgend jedoch im Rahmen einer Komplexitätsreduktion ausschließlich auf die Pareto-Verteilung zurückgegriffen.

⁶⁷⁷ Vgl. zur Berechnung des Erwartungswertes für die Pareto-Verteilung z. B. COTTIN/ DÖHLER [Risikoanalyse] S. 40 f.

$$\gamma(\ddot{t}) = \begin{cases} 0,36 \cdot \sin\left(\frac{1}{7} \cdot \pi \cdot (\ddot{t} + 4) + 0,5 \cdot \pi\right) + 0,64 & \text{für } 0:00 \text{ Uhr} < \ddot{t} \leq 2:00 \text{ Uhr} \\ -0,065 \cdot \ddot{t} + 0,445 & \text{für } 2:00 \text{ Uhr} < \ddot{t} \leq 3:00 \text{ Uhr} \\ 0,25 & \text{für } 3:00 \text{ Uhr} < \ddot{t} \leq 5:00 \text{ Uhr} \\ \frac{5}{100} \cdot \ddot{t} & \text{für } 5:00 \text{ Uhr} < \ddot{t} \leq 6:00 \text{ Uhr} \\ 0,09 \cdot \ddot{t} - 0,24 & \text{für } 6:00 \text{ Uhr} < \ddot{t} \leq 9:00 \text{ Uhr} \\ \frac{35}{1000} \cdot \ddot{t} + 0,255 & \text{für } 9:00 \text{ Uhr} < \ddot{t} \leq 17:00 \text{ Uhr} \\ \frac{5}{100} \cdot \ddot{t} & \text{für } 17:00 \text{ Uhr} < \ddot{t} \leq 20:00 \text{ Uhr} \\ 0,36 \cdot \sin\left(\frac{1}{7} \cdot \pi \cdot (\ddot{t} - 20) + 0,5 \cdot \pi\right) + 0,64 & \text{für } 20:00 \text{ Uhr} < \ddot{t} \leq 0:00 \text{ Uhr} \end{cases} \quad (49)$$

und realisiere auf diese Weise eine grundlegende Berücksichtigung der über den Tagesverlauf schwankenden Nachfrage, so wie diese in Abbildung 37 als grau schraffierte Fläche ersichtlich ist.⁶⁷⁸ Während die Sinuskurve die Nachfrage zwischen 20:00 Uhr und 2:00 Uhr annäherungsweise beschreibt, ist mit den linearen Teilfunktionen eine Annäherung an den Verlauf der tatsächlich im Frankfurter Datenübertragungsknoten anzutreffenden Nachfrage möglich,⁶⁷⁹ die in der Abbildung als grau schraffierte Fläche dargestellt ist und in dem betrachteten Zeitraum zwischen 0,8 und 3,6 Terabyte (TB/Min) schwankt, während die Funktion zur Abbildung des Tageszeitkorrekturfaktors zunächst dimensionslos ausschließlich zwischen 0 und 1 schwankt.

⁶⁷⁸ Vgl. DE-CIX [Datenaufkommen] oder z. B. auch alternativ den Amsterdam Internet Exchange-Knoten (AMSIX [Datenaufkommen]), bei dem ein vergleichbarer Kurvenverlauf ausgewiesen wird oder auch die Darstellung der aggregierten Kapazitätsinanspruchnahme in Nordamerika für eine Woche gemäß SANDAVINE INCORPORATED ULC [Internet Report] S. 13.

Vgl. HEITMANN [Stochastische Optimierung] S. 78, der vergleichbar bei der Bestimmung der über den Tag verteilten Nachfrage nach Strom vorgeht, indem er eine empirisch validierte Lastkurve der Stromnachfrage zur Modellierung der über den Tag verteilten Stromnachfrage heranzieht.

⁶⁷⁹ Potenziell wäre eine ausschließliche Abbildung durch lineare Teilfunktionen, durch eine Verkleinerung der zugrundeliegenden Zeitintervalle, auf die die lineare Funktionen definiert sind, möglich, sodass durch eine Erhöhung der Komplexität eine noch exaktere Annäherung an den Tagesverlauf realisiert werden könnte. Dies ist jedoch für die angestrebte Analyse unerheblich, wenn davon ausgegangen wird, dass Kapazitätsengpässe ohnehin nur bei Spitzenlast auftreten können, und wird daher auch im Folgenden nicht weiter verfolgt.

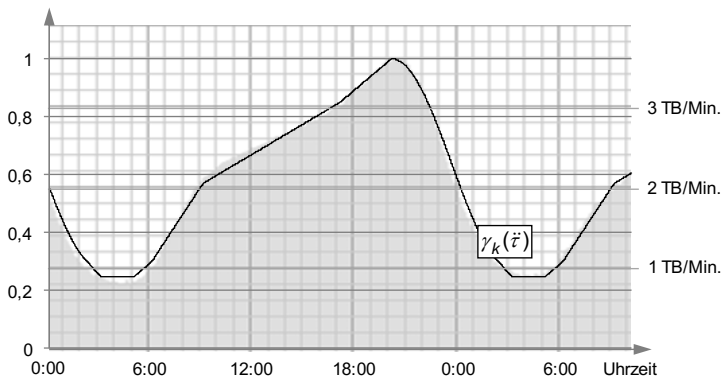


Abbildung 37: Abschnittsweise definierte Funktion zur Abbildung der tageszeitabhängigen Nachfrageschwankung basierend auf dem Datenaufkommen im Frankfurter De-Cix-Knoten⁶⁸⁰

Wie bereits in Kapitel 2.2 diskutiert, wird die Nachfrage nach Datenübertragungsdienstleistungen stets auf einen bestimmten Zeitraum bezogen sein müssen. Um basierend auf der die Schwankung abbildenden Funktion einen Rückschluss auf die im Zeitraum \tilde{t} bis $\tilde{t} + \varsigma$ zu ermittelnde Aktivität des Nutzers zu realisieren, gilt es die Fläche unterhalb der Funktion zu berechnen, wenn wie hier angenommen, die gesamte Fläche unterhalb der Kurve der im Tagesverlauf in Anspruch genommenen Menge an Datenübertragungsdienstleistungen entspricht, sodass für die Fläche zwischen den beiden Tageszeitpunkten Folgendes gilt:

$$\int_{\tilde{t}}^{\tilde{t} + \varsigma} \gamma(\tilde{t}) \, d\tilde{t} \quad (50)$$

Dabei ist ς prinzipiell frei wählbar, soll jedoch folgend genau die Dauer des Zeitintervalls annehmen, die dem Modell zugrundegelegt ist und die der Zeit zwischen zwei Simulationszeitpunkten entspricht. ς lässt folglich Rückschlüsse über die Granularität der Nachfragemodellierung zu. Es gilt, je größer ς , desto grobgranularer ist die Betrachtung, da die zwischen den Betrachtungszeitpunkten verstreichende Zeit, in der keine Aussage über das Verhalten der Nachfrage und des Datenaufkommens im Netz im Detail getroffen werden kann, größer wird. Entsprechend werden mit kleinen Werten für ς feingranularere Betrachtungen ermöglicht.

⁶⁸⁰ Vgl. zum grauen Balkendiagramm DE-CIX [Datenaufkommen]

Entspricht die unter der Kurve befindliche graue Fläche dem gesamten Datenaufkommen eines Tages, so gilt bei Rückgriff auf die negativ exponentielle Nachfragefunktion $q_{k,t,\dot{s}_{k,\tilde{a}}}(pr_{k,t,f_k(\dot{s}_{k,\tilde{a}})})$ zur Bestimmung der zeitpunktspezifischen durchschnittlichen für einen bestimmten Preis identifizierten Nachfrage eines Kundensegments für $\lambda_{k,t,\dot{s}_{k,\tilde{a}}}(\cdot)$

$$\lambda_{k,t,\dot{s}_{k,\tilde{a}}}(\cdot) = \frac{\int_{\tilde{t}}^{\tilde{t}+\zeta} \gamma(\tilde{t}) d\tilde{t}}{\int_{\tilde{t}=0}^{\tilde{t}} \gamma(\tilde{t}) d\tilde{t}} \cdot \bar{q}_{k,t,\dot{s}_{k,\tilde{a}}}(pr_{k,t,f_k(\dot{s}_{k,\tilde{a}})}) \cdot \frac{\alpha - 1}{\alpha} \quad (51)$$

Zur Ermittlung von $\bar{q}_{k,t,\dot{s}_{k,\tilde{a}}}(pr_{k,t,f_k(\dot{s}_{k,\tilde{a}})})$ wird auf die negativ exponentielle vom Preis abhängige Nachfragefunktion $q_{k,t,\dot{s}_{k,\tilde{a}}}(pr_{k,t,f_k(\dot{s}_{k,\tilde{a}})})$ zurückgegriffen, für die weiterhin Folgendes gilt:

$$q_{k,t,\dot{s}_{k,\tilde{a}}}(pr_{k,t,f_k(\dot{s}_{k,\tilde{a}})}) = \begin{cases} a_{k,\dot{s}_{k,\tilde{a}}} \cdot e^{-\frac{b_{k,\dot{s}_{k,\tilde{a}}} \cdot pr_{k,t,f_k(\dot{s}_{k,\tilde{a}})}}{u_{k,t-1,\dot{s}_{k,\tilde{a}}}(d_{t-1,f_k(\dot{s}_{k,\tilde{a}})})}} & \text{für } u_{k,t-1,\dot{s}_{k,\tilde{a}}}(d_{t-1,f_k(\dot{s}_{k,\tilde{a}})}) > 0 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad (52)$$

Gilt im Speziellen

$$a_{k,\dot{s}_{k,\tilde{a}}} = \bar{q}_{k,\dot{s}_{k,\tilde{a}}} \quad \forall k \in \{1, 2, 3, \dots, K\}, \tilde{a} \in \{1, 2, 3, \dots, \tilde{A}\} \quad (53)$$

mit $\bar{q}_{k,\dot{s}_{k,\tilde{a}}}$ als die durchschnittlich für einen Tag bestehende Nachfrage eines Kunden des Kundensegments k nach Datenübertragungsdienstleistungen, die aus der Inanspruchnahme von Anwendung \tilde{a} resultieren, die ein bestimmtes Servicelevel $\dot{s}_{k,\tilde{a}}$ benötigen, so ist $\bar{q}_{k,t,\dot{s}_{k,\tilde{a}}}(pr_{k,t,f_k(\dot{s}_{k,\tilde{a}})})$ sodann die zu einem bestimmten Zeitpunkt von einem bestimmten Preis abhängige durchschnittliche erwartete Nachfrage:

$$\bar{q}_{k,t,\dot{s}_{k,\tilde{a}}}(pr_{k,t,f_k(\dot{s}_{k,\tilde{a}})}) = \begin{cases} \bar{q}_{k,\dot{s}_{k,\tilde{a}}} \cdot e^{-\frac{b_{k,\dot{s}_{k,\tilde{a}}} \cdot pr_{k,t,f_k(\dot{s}_{k,\tilde{a}})}}{u_{k,t-1,\dot{s}_{k,\tilde{a}}}(d_{t-1,f_k(\dot{s}_{k,\tilde{a}})})}} & \text{für } u_{k,t-1,\dot{s}_{k,\tilde{a}}}(d_{t-1,f_k(\dot{s}_{k,\tilde{a}})}) > 0 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad (54)$$

Folglich resultiert aus der Multiplikation mit dem die Integrale beinhaltenden Divisions-term die innerhalb des zu betrachtenden Tageszeitraums \tilde{t} bis $\tilde{t} + \zeta$ durchschnittliche erwartete Nachfrage nach Datenübertragungsdienstleistungen, so wie sie in Formel 43 definiert wurde. Die Multiplikation mit

$$\frac{\alpha - 1}{\alpha} \quad (55)$$

realisiert wiederum, dass nach Einsetzen von $\lambda_{k,t,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}(\cdot)$ in die Pareto-Verteilung der Erwartungswert der Pareto-Verteilung der durchschnittlichen, aktivitätsabhängigen für den Zeitraum zu erwartenden Nachfrage entspricht und damit der Erwartungswert wie folgt ist:

$$E_{k,t,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}(x) = \frac{\int_{\tilde{t}=0}^{\tilde{t}+\tilde{\epsilon}} \gamma(\tilde{t}) d\tilde{t}}{24} \cdot \bar{q}_{k,t,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}(pr_{k,t,f_k}(\hat{s}_{k,\tilde{a}})) \quad (56)$$

Wird das Schwanken der Nachfrage resultierend aus der über den Tagesverlauf schwankenden Aktivität der Nutzer der Datenübertragungsdienstleistungen im Rahmen der Modellierung mitberücksichtigt, so kann eine höhere Realitätsnähe erreicht werden, als dies in dem von JAY/PLÜCKEBAUM angeführten Gleichzeitigkeitsindex, der ausschließlich eine über den Tagesverlauf sich nicht verändernde, statische Wahrscheinlichkeit für die Aktivität eines Nutzers berücksichtigt, realisiert ist.⁶⁸¹

Der im Rahmen der kundensegment- und anwendungsspezifischen Nachfrageberechnung, die in Formel 54 definiert ist, heranzuziehende Preis hat der vom Kunden zum Zeitpunkt t erwartete Preis $pr_{k,t,f_k}^{erw}(\hat{s}_{k,\tilde{a}})$ für das dem Anwendungstyp \tilde{a} zugewiesene Servicelevel s zu sein. Diese weitere Spezifikation des Preises ist insbesondere dann von Bedeutung, wenn die Entgeltermittlung auf einer Bepreisung basiert, bei der die Preise aus dem tatsächlich in der jeweiligen Periode bestehenden Datenübertragungsauflkommen resultieren, sodass ausschließlich eine a posteriori Berechnung des Entgelts vorgenommen werden kann und damit die Kundennachfrage aus den Kundenerwartungen an den Preis resultieren muss. Dies wäre bereits dann der Fall, wenn im Rahmen der Bepreisung unterschiedliche statische Preise für den Fall mit Kapazitätsengpässen im Vergleich zum Fall, dass keine Kapazitätsengpässe bestehen, festgelegt würden.

Während in diesem Fall und in all den Fällen, in denen eine Bepreisung basierend auf einem mengenbasierten Tarif erfolgt, klar ist, welcher Preis vom Kunden als der erwartete Preis heranzuziehen ist, stellt sich die Frage, welchen Preis der Kunde erwartet, wenn der Bepreisung der in Anspruch genommenen Datenübertragungsdienstleistungen z. B. ein Flatrate-Tarif und damit eine nachfragemengenunabhängige Bepreisung zugrunde gelegt ist. Prinzipiell sind zwei Wege zur Ermittlung eines erwarteten

⁶⁸¹ Vgl. JAY/PLÜCKEBAUM [QoS] S. 30, RODRIGUEZ DE LOPE ET AL. [COST MODELS] S. 1 ff.

Preises in diesem Kontext denkbar. Einerseits kann ein deterministischer, statischer Preis, der dem Flatrate-Gedanken folgend von der Intensität der Inanspruchnahme unabhängig ist und entsprechend gegen 0 streben muss, herangezogen werden oder alternativ kann der auf die Betrachtungszeitpunkte verteilte Flatrate-Preis durch Division durch die tatsächliche Inanspruchnahme in einen erwarteten durchschnittlichen Preis überführt werden. Auch wenn in letzterem Falle eine Proportionalisierung des Entgelts und damit der kundenseitigen Kosten vorgenommen wird, ist dieses Vorgehen im Weiteren gewählt, denn diese Rechnung greift die entscheidungsrelevanten kundenseitigen Kosten auf. Die Durchschnittsbetrachtung spiegelt den Gedanken wider, dass mit den Flatrate-Tarifen eine Preisdifferenzierung vorgenommen wird, bei der mit steigender Kundennachfrage innerhalb einer Abrechnungsperiode der Preis pro Mengeneinheit abnimmt. Der Kunde, der sich zwischen einem Flatrate-Tarif und einer rein mengenbasierten Bepreisung bei der Wahl des Tarifs entscheiden muss, wird eine Durchschnittsbetrachtung anstellen müssen, um abzuschätzen, inwieweit eine mengenbasierte Bepreisung für ihn unter Berücksichtigung der von ihm für sich prognostizierten Nachfrage vorteilhafter sein könnte als ein Flatrate-Tarif. Wird darüber hinaus bei der Bepreisung auf eine Kontingentierung der in dem Basispreis enthaltenen, in Anspruch nehmenden Datenübertragungsdienstleistungen vorgenommen, so gewinnt der erwartete durchschnittliche Preis nochmals an Relevanz. In diesem Fall entscheidet der Kunde nochmals häufiger, ob er zu einem höheren Preis gewillt ist, weitere Kontingente nach Verzehr des Basiskontingents zu buchen. Folgend wird daher für die im Rahmen der Nachfrageermittlung notwendige Berechnung der erwarteten Preise auf die erwarteten durchschnittlichen Preise zurückgegriffen.

Die Berechnung des Preises, der in die Bestimmung der Nachfrage der Folgeperiode einfließt, hat auf in der Vergangenheit realisierten Preisen zu basieren, sodass folgend davon ausgegangen wird, dass der vom Kunde erwartete Preis auf dem in der vorangegangenen Periode basierend auf dem arithmetischen Mittel berechneten und damit dem durchschnittlich realisierten Preis beruht und auf eben diesen bei der Bestimmung der Nachfrage zurückgegriffen wird. Entsprechend ist Formel 54 um den erwarteten Preis zu modifizieren:

$$\bar{q}_{k,t,\hat{s}_{k,\bar{a}}}(pr_{k,t,f_k(\hat{s}_{k,\bar{a}})}^{erw}) = \begin{cases} \bar{q}_{k,\hat{s}_{k,\bar{a}}} \cdot e^{\frac{b_{k,\hat{s}_{k,\bar{a}}} \cdot pr_{k,t,f_k(\hat{s}_{k,\bar{a}})}^{erw}}{u_{k,t-1,\hat{s}_{k,\bar{a}}}(d_{t-1,f_k(\hat{s}_{k,\bar{a}})})}} & \text{für } u_{k,t-1,\hat{s}_{k,\bar{a}}}(d_{t-1,f_k(\hat{s}_{k,\bar{a}})}) > 0 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad (57)$$

Der Vektor $\dot{\Psi}_{k,t}$ fasst die Nachfragen $\psi_{k,t,\dot{s}_{k,\tilde{a}}}(x)$ für das Kundensegment- und anwendungsspezifische Servicelevel $\dot{s}_{k,\tilde{a}}$ aller Anwendung $\tilde{a} \in \tilde{\mathcal{A}}$ eines typischen des Kundensegment repräsentierenden Kunden k zum Zeitpunkt t zusammen und sei folglich:

$$\dot{\Psi}_{k,t} = \begin{pmatrix} \psi_{k,t,\dot{s}_{k,1}}(\cdot) \\ \vdots \\ \psi_{k,t,\dot{s}_{k,\tilde{a}}}(\cdot) \end{pmatrix} \quad \forall k \in \{1, 2, 3, \dots, K\}, t \in \{1, 2, 3, \dots, T\} \quad (58)$$

mit

$$\psi_{k,t,\dot{s}_{k,\tilde{a}}}(x) = \begin{cases} \alpha \cdot \frac{(\lambda_{k,t,\dot{s}_{k,\tilde{a}}}(\cdot))^\alpha}{x^{\alpha+1}} & \text{für } x \geq \lambda_{k,t,\dot{s}_{k,\tilde{a}}}(\cdot) \\ 0 & \text{für } x < \lambda_{k,t,\dot{s}_{k,\tilde{a}}}(\cdot) \end{cases}$$

und mit

$$\lambda_{k,t,\dot{s}_{k,\tilde{a}}}(\cdot) = \frac{\int_{\tilde{r}=0}^{\tilde{r}+\zeta} \gamma(\tilde{r}) d\tilde{r}}{24} \cdot \bar{q}_{k,t,\dot{s}_{k,\tilde{a}}}(\text{pr}_{k,t,f_k}(\dot{s}_{k,\tilde{a}})) \cdot \frac{\alpha-1}{\alpha}$$

sowie mit

$$\bar{q}_{k,t,\dot{s}_{k,\tilde{a}}}(\text{pr}_{k,t,f_k}^{enw}(\dot{s}_{k,\tilde{a}})) = \begin{cases} \bar{q}_{k,\dot{s}_{k,\tilde{a}}} \cdot e^{-\frac{b_{k,\dot{s}_{k,\tilde{a}}} \cdot \text{pr}_{k,t,f_k}^{enw}(\dot{s}_{k,\tilde{a}})}{u_{k,t-1,\dot{s}_{k,\tilde{a}}}(d_{t-1,f_k}(\dot{s}_{k,\tilde{a}}))}} & \text{für } u_{k,t-1,\dot{s}_{k,\tilde{a}}}(d_{t-1,f_k}(\dot{s}_{k,\tilde{a}})) > 0 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

Die kundensegmenttypischen und QoS-levelspezifischen Nachfragen $\psi_{k,t,s}$ eines das Kundensegment k repräsentierenden Kunden resultieren ihrerseits aus der Summe der kundensegment- und anwendungsspezifischen Nachfragen $\psi_{k,t,\dot{s}_{k,\tilde{a}}}$, die für das jeweilige Kundensegment k innerhalb des Servicelevels s bedient werden. Die servicelevelspezifische Nachfrage ergibt sich aus der Summe über alle anwendungsspezifischen Nachfragen des Kunden, die jeweils mit der dualen Variablen $\vartheta_{k,s}(\dot{s}_{k,\tilde{a}})$ multipliziert werden, die genau dann den Wert 1 annimmt, wenn das anwendungs- und kundensegmentspezifische Servicelevel $\dot{s}_{k,\tilde{a}}$ für Kundensegment k im vom Anbieter angebotenen Servicelevel s übertragen wird. Für die QoS-levelspezifischen Nachfragen des das Kundensegment k repräsentierenden Kunden gilt das Folgende:

$$\psi_{k,t,s} = \sum_{\tilde{a}=1}^{\tilde{A}} \psi_{k,t,\dot{s}_{k,\tilde{a}}}(\cdot) \cdot \vartheta_{k,s}(\dot{s}_{k,\tilde{a}}) \quad \forall \tilde{a} \in \{1, 2, 3, \dots, \tilde{A}\}, k \in \{1, 2, 3, \dots, K\} \quad (59)$$

$$\text{mit } g_{k,s}(\dot{s}_{k,\tilde{a}}) = \begin{cases} 0 & \text{wenn } \dot{s}_{k,\tilde{a}} \notin \tilde{\tilde{A}}_{k,s} \\ 1 & \text{wenn } \dot{s}_{k,\tilde{a}} \in \tilde{\tilde{A}}_{k,s} \end{cases} \quad \forall \tilde{a} \in \{1, 2, \dots, \tilde{\tilde{A}}\}, k \in \{1, 2, \dots, K\}$$

Diese segmenttypischen Nachfragen eines Kunden nach den vom Datenübertragungsdienstleistungsanbieter angebotenen QoS-Leveln werden im Vektor $\Psi_{k,t}$ wie folgt zusammengefasst:

$$\Psi_{k,t} = \begin{pmatrix} \psi_{k,t,1} \\ \vdots \\ \psi_{k,t,S} \end{pmatrix} \quad \forall k \in \{1, 2, \dots, K\} \quad (60)$$

Die segmenttypischen Nachfragen eines Kunden nach den angebotenen QoS-Leveln lassen sich wiederum durch Multiplikation mit der Segmentgröße $g_{k,t}$ als Nachfragen des gesamten Kundensegments in der Vektor $\Psi_{k,t}^{Gesamt}$ wie folgt zusammenfassen, sodass $\Psi_{k,t}^{Gesamt}$ die Gesamtnachfrage eines Kundensegments nach den verschiedenen Dienstgüteleveln des Datenübertragungsanbieters ist:

$$\Psi_{k,t}^{Gesamt} = g_{k,t} \cdot \begin{pmatrix} \psi_{k,t,1} \\ \vdots \\ \psi_{k,t,S} \end{pmatrix} \quad \forall k \in \{1, 2, \dots, K\} \quad (61)$$

Um sodann zuletzt diese einzelsegmentspezifischen QoS-Level-Nachfragen in einer aggregierten Nachfrage zusammenzuführen, ist die Summe über alle einzelsegmentspezifischen Gesamtnachfragen zu bilden, sodass für die Matrix mit der Gesamtnachfrage Ψ_t zum Zeitpunkt t mit den aggregierten Nachfragen der QoS-Level gelte:

$$\Psi_t = \sum_{k=1}^K \Psi_{k,t}^{Gesamt} = \begin{pmatrix} \sum_{k=1}^K g_{k,t} \cdot \psi_{k,t,1} \\ \vdots \\ \sum_{k=1}^K g_{k,t} \cdot \psi_{k,t,S} \end{pmatrix} \quad (62)$$

Auf Basis dieser QoS-levelspezifischen Gesamtnachfrage lassen sich sodann die Kapazitätsengpässe, unter Berücksichtigung der in Kapitel 2.4.3 beschriebenen Abfertigungsdisziplinen, für die einzelnen QoS-Level ermitteln und darauf aufbauend die jeweils für die Level zu den jeweiligen Zeitpunkten realisierte Dienstgüte innerhalb des QoS-Leveln bestimmen. Die Kenntnis über die QoS-Level-spezifische Nachfrage der einzelnen Kundensegmente zu den jeweiligen Zeitpunkten ermöglicht wiederum die Ermittlung der Entgelte für die Tarife, bei denen eine Bepreisung in Abhängigkeit der

Inanspruchnahme der Kapazitäten erfolgt und deren Bestimmung wiederum für die angestrebte Customer-Lifetime-Value- und damit Customer-Equity-Berechnung notwendig sind. Darüber hinaus bietet die Dienstgüte die Grundlage für die im Rahmen des Kapitels zur Modellierung des dynamischen Kundenwechselverhaltens in Abhängigkeit der Dienstgüte dargestellte Kundenzufriedenheitsermittlung sowie die sich anschließende Berechnung der Kundensegmentgrößen, die Einfluss auf die Gesamtnachfrage in der Folgeperiode haben. Das bedeutet, dass das stochastische Datenaufkommen zum Zeitpunkt t von der Kundenzufriedenheit in den vorangegangenen Perioden abhängt, die ihrerseits jedoch wiederum aus dem Datenaufkommen in der vorangegangenen Periode resultiert, sodass diese periodenübergreifenden Effekte nicht nur im Zuge der Nachfragemodellierung zu berücksichtigen sind, sondern, wie im Folgenden dargestellt wird, auch in die Berechnung des Customer Equity, die auf dieser Datenbasis erfolgen soll, einfließen müssen.

4.3.3 *Abbildung der Zahlungsströme basierend auf der Bepreisung priorisierter Datenübertragungsdienstleistungen*

4.3.3.1 *Abbildung entscheidungsrelevanter Zahlungen*

Bisher wurde der Einfachheit halber nur der durch die Entgeltzahlungen induzierte positive Zahlungsstrom berücksichtigt. Zur Abbildung der entscheidungsrelevanten Zahlungen ist jedoch der Cashflow zu ermitteln. Dieser ist der rechnerisch ermittelte Einnahmeüberschuss im Sinne der Differenz zwischen ertragsgleichen Einnahmen und aufwandsgleichen Ausgaben, bei Zugrundelegen der im Rahmen der Erfolgsermittlung gewählten Termini des externen Rechnungswesens.⁶⁸² Transformiert man die Erfolgs termini des externen Rechnungswesens in die des internen Rechnungswesens, so resultiert für die Definition des Cashflow, dass dieser als Subtraktion kostengleicher Ausgaben⁶⁸³ von leistungsgleichen Einnahmen zu verstehen ist. Die kostengleichen Ausgaben zeichnen sich durch ihre Leistungsbezogenheit und durch das Nicht-Auseinanderfallen des Zeitpunkts der Ausgabe und des Gutsverzehr in Bezug auf die Abrechnungsperiode aus.⁶⁸⁴

⁶⁸² Vgl. f. TROBMAN/BAUMEISTER [Rechnungswesen] S. 20

⁶⁸³ Es findet keine Unterscheidung zwischen den Begriffen Ausgabe und Auszahlung statt, wenngleich Auszahlung noch stärker den pagatorischen Gedanken transportiert (vgl. zur Begründung der nicht weiter erfolgenden Differenzierung der Bedeutung der beiden Begriffe KÜPPER [Unternehmensplanung] S. 46 und SCHNEIDER [Rechnungswesen] S. 49 ff.)

⁶⁸⁴ Vgl. STEINBERG [Kostenrechnung] S. 21 und zur ausführlichen Abgrenzung von Auszahlungen, Aufwand und Kosten SCHWEITZER ET AL. [Kostenrechnung] S. 39 ff.

Generell dienen Kosten der Erfassung des mittels einer monetären Größe bewerteten Verzehrs von Inputgrößen, die in einer Abrechnungsperiode zur Erreichung eines Ziels eingesetzt wurden.⁶⁸⁵ Gemäß des pagatorischen (ausgabenorientierten) Begriffsverständnisses sind die der Leistungserstellung tatsächlich zugrundeliegenden Zahlungsströme zur Kostenermittlung heranzuziehen, die zur Erstellung, zum Absatz sowie zur Erhaltung der Produktionsfähigkeit eines Unternehmens erforderlich sind, sodass in diesem Fall eine Bewertung der Kosten zu Anschaffungspreisen erfolgt. Nicht einbezogen werden bei dieser Definition die kalkulatorischen Kosten, also die Kosten, denen in der Finanzbuchhaltung keine konkrete Auszahlung gegenübersteht, die Zusatzkosten, die z. B. aus kalkulatorischen Abschreibungen oder Zinsen bestehen, und die Anderskosten, die in einer anderen Höhe als der zugehörige Aufwand berücksichtigt werden.⁶⁸⁶ Der wertmäßige Kostenbegriff schließt diese in die Kostendefinition ein und quantifiziert alle Inputgrößen anhand des monetären Grenznutzens, der sich aus der Summe des Werts der letzten verzehrten Gütereinheit und den Opportunitätskosten, also dem Nutzenverlust, resultierend aus der Nichtwahl der nächst-besseren Alternative, zusammensetzt.⁶⁸⁷ Da der wertmäßige Kostenbegriff dementsprechend jedoch direkt mit dem mengenmäßigen Güterverbrauch verbunden ist, bezieht er die Kosten, denen eben kein mengenmäßiger Güterverbrauch zuzuweisen ist, nicht mit ein. Als Beispiel für diese Kostenarten führt FRIEDL "Steuern, Abgaben und Beiträge, Kosten für Dienstleistungen für Globalentgelte ohne Mengenkomponente (Patente, Lizenzen) und auch Kostenarten, die nicht auf der Basis der Verbrauchsmenge bemessen werden (z. B. Beschaffungsumsätze bei Provisionen, Forderungshöhe bei Inkassogebühren)"⁶⁸⁸ an.

Der Begriff der entscheidungsrelevanten Kosten ist maßgeblich von RIEBEL geprägt worden und fokussiert die Kosten betrieblicher Handlungsalternativen sowie deren zugehörigen Umsetzungsmaßnahmen.⁶⁸⁹ Entscheidungsrelevante Kosten sind demnach die Kosten, die durch die Wahl einer bestimmten Handlungsalternative zusätzlich ausgelöst werden bzw. wurden, z. B. die Produktion einer zusätzlichen Einheit, so dass alle Kosten, die auf dieselbe Entscheidung zurückzuführen sind, einem identischem

⁶⁸⁵ Vgl. ff. BAUMEISTER/FLOREN/STRÄßER [Controlling] S. 9, BLEIS [Kostenrechnung] S. 1 f., EWERT/WAGENHOFER [Unternehmensrechnung] S. 54 f., FRIEDL [Controlling] S. 30, KOCH [Kostenrechnung] S. 9 ff., SCHWEITZER/KÜPPER [Kostenrechnung] S. 13 ff., WINZER [Kostenorientierte Bepreisung] S. 101

⁶⁸⁶ Vgl. COENENBERG/FISCHER/GÜNTHER [Kostenrechnung] S. 88, KOCH [Kostenrechnung] S. 14

⁶⁸⁷ Vgl. EWERT/WAGENHOFER [Unternehmensrechnung] S. 55, FREIDANK [Kostenrechnung] S. 8 f., OSSADNIK [Kostenrechnung] S. 22. Die Opportunitätskosten eines nicht restringierten Inputfaktors sind null, sodass der Grenznutzen mit dem Beschaffungspreis übereinstimmt (vgl. OSSADNIK [Kostenrechnung] S. 22).

⁶⁸⁸ FRIEDL [Controlling] S. 30

⁶⁸⁹ Vgl. TROBMAN/BAUMEISTER/WERKMEISTER [Controlling] S. 43

Objekt zugeordnet werden können.⁶⁹⁰ Um die von RIEBEL anvisierte Entscheidungsorientierung im Rahmen der Erfolgsrechnung des Rechnungswesens zu realisieren, müssen „[a]lle Kosten als Einzelkosten erfasst und ausgewiesen werden, und zwar so, da[ss] sie in der Hierarchie betrieblicher Bezugsgrößen an der untersten Stelle ausgewiesen werden, an der man sie gerade noch als Einzelkosten erfassen kann.“⁶⁹¹ Folglich kann auf die Schlüsselung der Einzelkosten vollständig verzichtet werden, sodass diese nicht gemäß der „Prinzipien der traditionellen Kostenrechnung auf die Endkostenstellen und die Kostenträger [...] überwälz[t]“⁶⁹² werden und keine Fixkostenproportionalisierung vorgenommen wird.

Der zuletzt angeführte Kostenbegriff soll folgend zugrunde gelegt werden. Dieser Kostenbegriff greift im Zuge der Definition der Kosten, die in die einer wertorientierten Steuerung zugrundeliegenden Berechnungen einfließen und die zur Identifikation vorteilhaften unternehmerischen Verhaltens herangezogen werden, den Gedanken auf, insbesondere die für eine Entscheidungsorientierung notwendige Kostenerfassung zu fokussieren. So lässt sich besonders dann eine Untersuchung einer Handlungsalternative hinsichtlich Ihrer Vorteilhaftigkeit zielführend vornehmen, wenn die mit der Realisierung der Handlungsalternativen verbundenen Kosten aufgrund des Verzichts einer weiteren Schlüsselung nachvollziehbar bleiben.

Die Kosten eines Netzbetreibers zeichnen sich jedoch, so wie im Zuge der Herausforderungen bei der Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistungen bereits konstatiert, in erster Linie durch sehr hohe Investitionskosten beim Netzauf- als auch beim Netzausbau aus.⁶⁹³ Bei diesen Investitionen handelt es sich um Langzeitinvestitionen, bei denen mit einer Nutzungsdauer von bis zu 35 Jahren gerechnet wird,⁶⁹⁴ und die geschätzte 60 % bis 70 % der Gesamtkosten eines Telekommunikationsanbieters ausmachen.⁶⁹⁵ Diese Investitionen setzen sich einerseits aus den Investitionen in Übertragungskabel und andererseits aus Investitionen in die technischen Anlagen zusammen, die an den Knotenpunkten zur Weiterleitung der Daten notwendig und als sprungfixe Kosten anzusehen sind, die für ein bestimmtes Übertragungskapazitätsintervall fix sind und sich ausschließlich bei einer zusätzlichen Kapazitätsausweitung

⁶⁹⁰ Vgl. TROBMAN/BAUMEISTER/WERKMEISTER [Controlling] S. 29, RIEBEL [Kostenbegriff] S. 142 f. sowie FRIEDL [Controlling] S. 31; vgl. zur kritischen Analyse des Ansatzes von Riebel: ALTENBURGER [Entscheidungsorientiert] S. 175 f.

⁶⁹¹ RIEBEL [Deckungsbeitragsrechnung] S. 39

⁶⁹² RIEBEL [Deckungsbeitragsrechnung] S. 39

⁶⁹³ Vgl. FALCH [Cost Characteristics] S. 102 f.

⁶⁹⁴ Vgl. DEUTSCHE TELEKOM AG [Geschäftsbericht 2013] S. 173

⁶⁹⁵ Vgl. FALCH [Cost Characteristics] S. 102 sowie S. 105, um eine detailliertere Darstellung verschiedener Netzkomponenten an den Gesamtkosten zu erhalten.

nicht-stetig erhöhen, jedoch nicht bei Unterschreiten einer Intervallgrenze absinken.⁶⁹⁶ So schätzt die Telekom AG die Nutzungsdauer von in Knoten installierten Übermittlungseinrichtungen auf zwischen 2 bis 12 Jahre, je nachdem, um welche konkrete Komponente es sich im Detail handelt, während sie für Breitband-Verteilernetze eine Nutzungsdauer zwischen 8 und 35 Jahren ansetzt.⁶⁹⁷ Da ein Großteil der Investitionen als irreversibel gilt, werden die Kosten als „sunk costs“ bezeichnet, schließlich existiert ausschließlich eine Verwendungsmöglichkeit für das Leitungsnetz und ein aus einem Verkauf der Kabel im Falle eines Rückbaus eventuell erzielbarer Erlös steht in keinem Verhältnis zu den mit diesem Rückbau verbundenen Kosten.⁶⁹⁸

Aus dieser grundlegenden Kostenstruktur resultiert die Bestrebung der Telekommunikationsunternehmen eine Periodisierung der Kapitalkosten für den Netzsektor vorzunehmen, um auf diese Weise entscheidungsrelevante Zahlungsströme zu realisieren.⁶⁹⁹ Eine Ermittlung der entscheidungsrelevanten Kosten basierend auf Grenzkosten ist nicht zielführend,⁷⁰⁰ da diese nahezu null sind, wenn davon ausgegangen wird, dass keine Kapazitätsengpässe bestehen und dementsprechend ein Übermitteln einer zusätzlichen Dateneinheit über das bestehende Netz keine Kosten verursacht.⁷⁰¹ Besteht hingegen die Notwendigkeit des Netzausbaus, sei es durch die Aufrüstung der technischen Weiterleitungsgeräte oder durch das Legen neuer Kabel, scheint das Grenzkostenkonzept ebenfalls nicht zielführend, da die so geschaffene Kapazität zum Verschicken zusätzlicher Daten nicht auf ein bestimmtes einzelnes zusätzlich zu verschickendes Datenpaket zurückzuführen ist, sondern der Datenübertragung einer Vielzahl an Diensten dient.

⁶⁹⁶ Vgl. zur Eigenschaft der sprungfixen Kosten z. B. FREIDANK [Kostenrechnung] S. 36, WINZER [Kostenorientierte Bepreisung] S. 102 f., HORSCH [Kostenrechnung] S. 30

⁶⁹⁷ Vgl. DEUTSCHE TELEKOM AG [Geschäftsbericht 2013] S. 173. Auch die Wettbewerber gehen von vergleichbaren Nutzungsdauern aus: so setzt Verizon seit 2010 unverändert für die Netze 11-25 Jahre mit Differenzierung nach dem Übertragungsmedium und für das Übertragungsequipment 3-12 Jahre Nutzungsdauer an, während Vodafone mit von 11 bis 25 Jahren zwar ebenfalls von ähnlichen Lebensdauern der Netze ausgeht, diese jedoch genauso nicht näher spezifiziert wie AT&T, die mit 15-50 Jahren rechnen, und Telefonica, die 5 bis 20 Jahren ansetzen (vgl. AT&T [Geschäftsbericht 2013] S. 50, TELEFONICA [Geschäftsbericht 2013] S. 223, VODAFONE [Geschäftsbericht 2013] S. 127, VERIZON [Geschäftsbericht 2010] S. 47).

⁶⁹⁸ Vgl. FLACH [Cost Characteristics] S. 102 f.

⁶⁹⁹ Vgl. KNIIPS [Netzökonomie] S. 7

⁷⁰⁰ Vgl. WINZER [Kostenorientierte Bepreisung] S. 111. Die Grenzkosten sind als die Kostenänderung bei der Veränderung der Outputmenge definiert, sodass diese der ersten Ableitung der Gesamtkostenfunktion entsprechen und somit ausschließlich variable Kosten beinhalten (vgl. BAUMEISTER/ILG/WERKMEISTER [Systeme] S. 1.002, EWERT/WAGENHOFER [Unternehmensrechnung] S. 157, HORSCH [Kostenrechnung] S. 29, SCHWEITZER/KÜPPER [Kostenrechnung] S. 65, VARIAN [Mikroökonomik] S. 425).

⁷⁰¹ Vgl. ff. NEU/KULENKAMPFF [LRIC] S. 1, MCKNIGHT/BOROUHAND [Pricing] S. 575

Um dennoch entscheidungsrelevante Kosten abzuleiten, wurde das Long-Run-Incremental-Cost-Konzept (LRIC-Konzept) entwickelt, bei dem die Zusatzkosten ermittelt werden, die bei langfristiger Betrachtung eines gegebenen Portfolios zur Bereitstellung bestimmter Kommunikationsdienstleistungen dadurch entstehen, dass Management-Entscheidungen zur Weiterentwicklung konkreter Wirtschaftseinheiten, den Inkrementen, durch Investitionen unter der Voraussetzung entstehen, dass alle weiteren im Portfolio befindlichen Dienste ohnehin zur Verfügung gestellt werden.⁷⁰² Diese „langfristigen Grenzkosten“ können dementsprechend durchaus als sprungfixe Kosten verstanden werden, da diese analog zu den langfristigen Grenzkosten ebenfalls als die Veränderung der Gesamtkosten durch die langfristige Schaffung der Möglichkeit zur Übertragung einer zusätzlichen Dateneinheit angesehen werden können.⁷⁰³ Um entscheidungsrelevante Kosten zu ermitteln, gilt es daher, einerseits die Maßeinheit des Inkrements festzulegen⁷⁰⁴ und andererseits die diesem zuzuweisenden Kosten zu bestimmen. Dazu kann entweder eine Top-down-Bewertung vorgenommen werden, die auf angepasste Kosteninformationen eines bestehenden Netzes zurückgreift, oder es wird ein Bottom-up-Modell gewählt, bei dem mittels analytischer Kostenmodelle eine Kostenschätzung auf Basis eines, hinsichtlich der Kapazitäts- und technischen Ausgestaltung zur Befriedigung der Nutzerbedürfnisse bei angenommener zukunftsorientierten Nachfrage, idealisierten Netzes erfolgt.⁷⁰⁵

Insbesondere die Bottom-up-Methode spiegelt die Idee der sprungfixen Kosten wider, wenn die langfristigen Grenzkosten zur Bestimmung der langfristigen Preisuntergrenze im Zuge der Leistungserbringung, basierend auf der jeweils aktuellen Technologie, dienen sollen.⁷⁰⁶ Bei der Definition der Inkremente wird jedoch deutlich, dass keine klare Vorgabe bezüglich der Maßgröße existiert, sodass gleichfalls „Kosten einer zusätzlichen Menge eines bereits im Portfolio befindlichen Dienstes gemeint sein

⁷⁰² Vgl. NEU/KULENKAMPFF [LRIC] S. 6, KNEIPS [Pricing] S. 9 sowie COURCOUBETIS/WEBER [Pricing] S. 187.

⁷⁰³ Vgl. WINZER [Kostenorientierte Bepreisung] S. 111.

⁷⁰⁴ Vgl. hierzu und zu Möglichkeiten zur Definition der Inkremente im Rahmen der LRIC-Ermittlung NEU/KULENKAMPFF [LRIC] S. 36.

⁷⁰⁵ Vgl. NEU/KULENKAMPFF [LRIC] S. 6 f., vgl. BT GROUP PLC. [LRIC] S. 1 ff. zur ausführlichen Darstellung des Top-Down-Ansatzes und HACKBARTH/KULENKAMPFF/PLÜCKEBAUM [Kostenmodell] S. 5 ff. zur detaillierten Darstellung des Vorgehens bei der Bottom-up-Berechnung. Vergleiche auch EUROPÄISCHE UNION [Amtsblatt L124] S. 67 ff. mit Empfehlungen zur Durchführung der Kostenermittlung mittels LRIC, die davon ausgeht, dass „[e]in auf zusätzliche Kosten gestütztes Konzept, das nur effizient entstandene Kosten berücksichtigt, die nicht entstehen würden, wenn der den Mehrkosten zugrunde liegende Dienst nicht mehr bereitgestellt würde (also vermeidbare Kosten), [...] die effiziente Bereitstellung und Nutzung [fördert] und [...] etwaige Wettbewerbsverzerrungen gering [hält]“ (EUROPÄISCHE UNION [Amtsblatt L124] S. 69).

⁷⁰⁶ Vgl. WINZER [Kostenorientierte Bepreisung] S. 111 sowie 116 f.

[können], [wie die Kosten] des gesamten Volumens eines zusätzlich aufgenommenen Dienstes [...], eines Bündels solcher Dienste, die Kosten der Bereitstellung einer bestimmten Kapazität, oder aber auch die Kosten des gesamten Portfolios eines neu in den Markt eintretenden Anbieters.“⁷⁰⁷ Die auf diese Weise ermittelten inkrementellen Kosten, die dann zwar tatsächlich entscheidungsorientiert ermittelt sind, liefern keine hinreichend feingranulare Information für die ursprünglich mit diesem Konzept angestrebte Kostenermittlung pro Datenübertragungseinheit und werden daher entsprechend der angenommenen Nachfrage auf die Datenmengen verteilt, sodass letztlich eine Fixkostenproportionalisierung vorgenommen wird.⁷⁰⁸ Aus diesem Grund wird auch vom Long-Run-Average-Incremental-Cost-Modell bzw. dem Konzept der langfristigen durchschnittlichen Zusatzkosten gesprochen. Denn auch wenn es sich bei der Bottom-up-Methode um eine zukunftsgerichtete Berechnung handelt, bei der die mit der Entscheidung über die zukünftige Weiterentwicklung einer konkreten Geschäftseinheit verbundenen Kosten variable Kosten seien, so werden diese dennoch unmittelbar zu Fixkosten in dem Moment, in dem die Investition realisiert wird. Problematisch ist darüber hinaus, dass zur Erlangung von zufriedenstellenden Informationen äußerst umfangreiche Informationen benötigt werden, wobei einerseits die Erhebung dieser Daten und andererseits die anschließende Verarbeitung eine Herausforderung darstellt.⁷⁰⁹

Entsprechend der für das LRIC- und das LRAIC-Modell identifizierten Probleme fließen die mit dem Netzausbau verbundenen Fixkosten folgend nicht in die Ermittlung des Cashflow ein, sondern es wird entsprechend des entscheidungsorientierten Kostenverständnisses auf eine Schlüsselung der Fixkosten verzichtet. Der Cashflow sei daher folgend auf Segmentebene als die Subtraktion der mit der Bereitstellung der Dienstleistung für dieses Segment verbundenen entscheidungsrelevanten, nicht geschlüsselten kostengleichen Auszahlungen von leistungsgleichen Einzahlungen definiert. Somit wird konsequent der entscheidungsorientierte Kostenbegriff weitergenutzt und es bleiben bei der Beurteilung von Handlungsalternativen die dazugehörigen Kosten unmittelbar nachvollziehbar.

⁷⁰⁷ NEU/KULENKAMPFF [LRIC] S. 36

⁷⁰⁸ Vgl. f. KNEIPS [Netzökonomie] S. 26, NEU/KULENKAMPFF [LRIC] S. 6 sowie S. 49 f. und WINZER [Kostenorientierte Bepreisung] S. 117. Vergleiche zur kritischen Diskussion der LRIC-Ansätze z. B. CLEMENZ/GÖTZ [kritische Analyse] S. 1 ff., KNEIPS [Pricing] S. 6 f. sowie NEU/KULENKAMPFF [LRIC] S. 56 ff.

⁷⁰⁹ Vgl. COURCOUBETIS/WEBER [Pricing] S. 191

4.3.3.2 Abhängigkeit der Cashflowprognose von der Inanspruchnahme der Datenübertragungsdienstleistungen

Der segmentbasierte Cashflow eines Segments k zum Zeitpunkt t ermittelt sich entsprechend seiner Definition einerseits aus dem Entgelt – ermittelt basierend auf dem jeweiligen segmentspezifischen Tarif – sowie den variablen Kosten $k_{k,t}^{var}$, die direkt durch die Übertragung der Daten verursacht werden, ergänzt um die zum jeweiligen Zeitpunkt t speziell diesem Segment k zurechenbaren Fixkosten $k_{k,t}^{fix}$. Wie die vorangegangene Diskussion der entscheidungsrelevanten Kosten aufgezeigt hat, sind im Sinne von kurzfristigen Grenzkosten einzig die Kosten resultierend aus dem Energieverbrauch solche Kosten, die einem einzelnen Knoten zugewiesen werden können und die sich nach Abzug der Standby-Energie-Kosten der übertragenen Datenmenge zuweisen lassen, da davon ausgegangen werden kann, dass der Energieverbrauch im Aggregations- und im Kernnetz proportional zum Datenverkehrsaufkommen ist.⁷¹⁰ Bei dieser Art der Schlüsselung wird jedoch auch ersichtlich, dass letztlich keine Differenzierung der Kosten für die einzelnen Dienstgütelevel vorgenommen werden kann, da die Priorisierung innerhalb der Weiterleitungseinheit von staten geht. Darüber hinaus sind segmentspezifische Fixkosten zu berücksichtigen, denkbar wäre z. B. spezielle Werbung für ein bestimmtes Segment. Alle weiteren Kosten des Betriebs der Infrastruktur können nicht verursachungsgerecht einem bestimmten Kundensegment, geschweige denn einem bestimmten Dienstgütelevel, zugeordnet werden und werden daher nicht auf Segmentebene mitberücksichtigt.⁷¹¹

Die Ermittlung des für das Segment typischen Cashflows $cf_{k,t}$ erfolgt gemäß Formel 63, bei dessen Berechnung von den Entgelten der Kundensegmente die mit der Inanspruchnahme verbundenen Kosten subtrahiert werden. Die Entgelte werden entsprechend der zugrundeliegenden Entgeltfunktion $Entgelt_{k,t}(\Psi_{k,t}^{Gesamt}, \Psi_t)$ für das Kundensegment k und in Abhängigkeit der kundensegmentspezifischen Inanspruchnahme der Datenübertragungsdienstleistungen $\Psi_{k,t}^{Gesamt}$ sowie der zum Zeitpunkt t bestehenden Inanspruchnahme der gesamten, von allen Kunden generierten Datenübertragungsnachfrage ermittelt. Die Abhängigkeit von der gesamten Nachfrage nach Datenübertragungsdienstleistungen Ψ_t wird gewählt, da diese wiederum verantwortlich für das Auftreten von Kapazitätsengpässen ist. Für den Cashflow gilt sodann:

⁷¹⁰ Vgl. LANIG ET AL. [Energieverbrauch] S. 4, die ebenda getroffene Einschränkung, dass die Proportionalität der Kosten und Datenübertragungsmenge nicht für das Zugangsnetz gilt, da der Energieverbrauch dort von der Anzahl angeschlossener Haushalte abhängig ist, soll an dieser Stelle vernachlässigt werden.

⁷¹¹ Vgl. MACKIE-MANSON/VARIAN [Pricing the Internet] S. 4

$$cf_{k,t} = \text{Entgelt}_{k,t}(\Psi_{k,t}^{\text{Gesamt}}, \Psi_t) - K_{k,t}^{\text{var}}(\Psi_{k,t}^{\text{Gesamt}}, \Psi_t) - K_{k,t}^{\text{fix}} \quad (63)$$

Die Abhängigkeit des Entgelts vom Datenaufkommen Ψ_t zum Zeitpunkt t impliziert, dass zur Entgeltermittlung eine Differenzierung von $\Psi_{k,t}^{\text{Gesamt}}$ vorgenommen werden muss, um die Menge der in Anspruch genommenen Datenübertragungsdienstleistungen $\tilde{\psi}_{k,t,s}$ zu ermitteln, die zu den Zeitpunkten generiert wurde, zu denen keine Kapazitätsengpässe bestanden haben. Ferner ist $\psi_{k,t,s}$ als die Menge der in Anspruch genommenen Datenübertragungsdienstleistungen zu definieren, die generiert wurde, während ein Kapazitätsengpass bestanden hat. Entsprechend sind $\tilde{\psi}_{k,t,s}$ und $\psi_{k,t,s}$ wie folgt definiert:

$$\begin{aligned} \tilde{\psi}_{k,t,s} &= \psi_{k,t,s} \text{ wenn } \Psi_t \leq \text{Kapa}_t^{\text{gesamt}} \\ \psi_{k,t,s} &= \psi_{k,t,s} \text{ wenn } \Psi_t > \text{Kapa}_t^{\text{gesamt}} \end{aligned} \quad (64)$$

$$\forall k \in \{1, 2, \dots, K\}, t \in \{1, 2, \dots, T\}, s \in \{1, 2, \dots, S\}$$

Um ferner die Bepreisung mit Kontingentierung in der Berechnung zu berücksichtigen, ist auf Kundensegmentebene eine Betrachtung notwendig, die miteinbezieht, ob die dem Kundensegment innerhalb eines Bezugszeitraums ZI_Δ gewährten Kontingente eines Servicelevels s eingehalten wurden oder ob diese für den jeweiligen Bezugszeitraum ZI_Δ bereits überschritten wurden. Wird davon ausgegangen, dass die Kundeneintritte in ein Kontingent kontinuierlich vorliegen und sich das Segment aus vielen Kunden zusammensetzt, so kann zu jedem Zeitpunkt t die innerhalb des von diesem Zeitpunkt aus gesehenen Bezugszeitraums von τ bis t , mit $\tau = t - ZI_\Delta$, bereits konsumierte Kontingentsmenge berechnet werden. Die duale Variable $\omega_{k,t,s}$ ist bei dieser Betrachtung immer dann eins, wenn die in dem vom Zeitpunkt t zurückliegenden Bezugszeitraum konsumierte Menge größer als die im Kundensegment inbegriffene Kontingentsmenge ist. $\tilde{\psi}_{k,\tau,s}$ entspricht der Menge der Inanspruchnahme von Datenübertragungsdienstleistungen zu den Zeitpunkten, zu denen keine Kapazitätsengpässe bestanden haben. Entsprechend wird das Zusatzkontingent $q_{k,t,s}^{\text{Kontingent}+}$ immer dann in Anspruch genommen, wenn $\omega_{k,t,s} = 1$ und $\omega_{k,t,s}$ wie folgt definiert ist:

$$\omega_{k,t,s} = \begin{cases} 0 & \text{für } q_{k,t,s}^{\text{Kontingent}} \geq \sum_{\tau=t-ZI_\Delta}^t \tilde{\psi}_{k,\tau,s} \\ 1 & \text{für } q_{k,t,s}^{\text{Kontingent}} < \sum_{\tau=t-ZI_\Delta}^t \tilde{\psi}_{k,\tau,s} \end{cases} \quad \forall s \in \{1, 2, 3, \dots, S\} \quad (65)$$

Für den Fall, dass eine Bepreisung vorliegt, die berücksichtigt, ob Kapazitätsengpässe bestanden haben oder nicht, entspricht $\psi_{k,\tau,s}$ der Menge der in Anspruch genommenen

Datenübertragungsdienstleistungen, während ein Kapazitätsengpass bestanden hat. Entsprechend ist $\dot{\omega}_{k,t,S}$ analog zu Formel 65 für diesen Fall wie folgt definiert:

$$\dot{\omega}_{k,t,S} = \begin{cases} 0 & \text{für } \dot{q}_{k,t,S}^{Kontingent} \geq \sum_{\tau=t-Zl_{\Delta}}^t \dot{\psi}_{k,\tau,S} \\ 1 & \text{für } \dot{q}_{k,t,S}^{Kontingent} < \sum_{\tau=t-Zl_{\Delta}}^t \dot{\psi}_{k,\tau,S} \end{cases} \quad \forall s \in \{1, 2, 3, \dots, S\} \quad (66)$$

$$\begin{aligned} cf_{k,t}(\cdot) = & g_{k,t} \cdot \left[pr_{k,t}^G + \right. \\ & + \left[\begin{pmatrix} \omega_{k,t,1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \omega_{k,t,S} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \frac{(\tilde{\psi}_{k,t,1} - \dot{q}_{k,t,1}^{Kontingent})}{\dot{q}_{k,t,1}^{Kontingent} +} \\ \vdots \\ \frac{(\tilde{\psi}_{k,t,S} - \dot{q}_{k,t,S}^{Kontingent})}{\dot{q}_{k,t,S}^{Kontingent} +} \end{pmatrix} \right]^T \cdot \begin{pmatrix} pr_{k,t,1} \\ \vdots \\ pr_{k,t,S} \end{pmatrix} \\ & + \left[\begin{pmatrix} \dot{\omega}_{k,t,1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \dot{\omega}_{k,t,S} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \frac{(\psi_{k,t,1} - \dot{q}_{k,t,1}^{Kontingent})}{\dot{q}_{k,t,1}^{Kontingent} +} \\ \vdots \\ \frac{(\psi_{k,t,S} - \dot{q}_{k,t,S}^{Kontingent})}{\dot{q}_{k,t,S}^{Kontingent} +} \end{pmatrix} \right]^T \cdot \begin{pmatrix} \dot{pr}_{k,t,1} \\ \vdots \\ \dot{pr}_{k,t,S} \end{pmatrix} \\ & - \begin{pmatrix} \psi_{k,t,1} \\ \vdots \\ \psi_{k,t,S} \end{pmatrix}^T \cdot \begin{pmatrix} k_{k,t,1}^{var} \\ \vdots \\ k_{k,t,S}^{var} \end{pmatrix} \Big] \\ & - k_{k,t}^{fix} \\ & \quad \forall k \in \{1, 2, \dots, K\}, t \in \{1, 2, \dots, T\} \end{aligned} \quad (67)$$

Gemäß der in Formel 67 dargestellten Cashflow-Berechnung für einen das Kunden-segment repräsentierenden Kunden kann gleichermaßen der Fall mit als auch ohne eine Bepreisung von Kontingenten als auch die lineare Bepreisung erfasst werden. So entspräche durch die Wahl kleiner Kontingentgrößen von z. B. 1 MB die Kontingents-

größe genau der einer linearen Bepreisung zugrundeliegenden Bepreisungseinheit, wenn diese gleichfalls mit 1 MB angesetzt wäre. Ferner werden in der vorletzten zu subtrahierenden Zeile die variablen Kosten berücksichtigt. Analog zu Formel 61 wird davon ausgegangen, dass $\psi_{k,t,\hat{s}_{k,\hat{a}}}$ der Nachfrage des kundensegment- und anwendungsspezifischen Serviceels $\hat{s}_{k,\hat{a}}$ für einen das Kundensegment repräsentierenden Kunden entspricht.

m Gegensatz zum z. B. von KNEIPS dargestellten Modell, in dem die mit Staus verbundenen Wohlfahrtsverluste in Form von Kosten versucht werden zu quantifizieren, um diese explizit in dessen Modell mitzuberücksichtigen,⁷¹² wird die Problematik der Quantifizierbarkeit dieser Kosten folgend bei der Analyse der Bepreisung aus Datenübertragungsdienstleistersicht nicht verfolgt. Wohlfahrtsverluste sind im Folgenden im besten Fall indirekt über den Nutzenverlust der Kundensegmente erfassbar. Der Nutzenverlust resultiert aus der mit Kapazitätsengpässen einhergehenden Staubildung und der damit verbundenen Verringerung der bereitgestellten Dienstgüte.

4.3.4 Abbildung des Kundenwechselverhaltens

4.3.4.1 Grundlagen zur Abbildung einer Kundenentscheidung basierend auf der Zahlungsbereitschaft

Zur Abbildung einer Kundenentscheidung ist eine Transformation der gewonnenen segmentspezifischen Präferenzdaten und damit der Zahlungsbereitschaft in eine Kauf- bzw. Auswahlwahrscheinlichkeit vorzunehmen.⁷¹³ Es stehen potenziell drei Entscheidungsmodelle für den Einzelkunden zur Verfügung: Das Maximum-utility-Modell, das Purchase-probability-Modell und das Logit-Modell.⁷¹⁴ In dieser Arbeit wird auf das Maximum-utility-Modell zurückgegriffen, in dem davon ausgegangen wird, dass der Nutzer seinen Gesamtnutzen maximiert und damit im Sinne eines rationalen Konsumenten agiert.⁷¹⁵ Dieses Modell greift, so wie es der Name bereits andeutet, die Nutzenfunktionen auf, die zur Erfassung und Quantifizierung der garantierten Dienstgüte aufgestellt wurden. Wenn es sich folglich um einen rationalen, nutzenmaximierenden Konsumenten handelt, so sei ein myopisches Kaufverhalten angenommen, bei dem der Konsument ein Produkt immer dann kauft, wenn der jeweilige Angebotspreis unterhalb der kundenindividuellen Zahlungsbereitschaft liegt.⁷¹⁶

⁷¹² Vgl. KNEIPS [Netzökonomie] S. 41

⁷¹³ Vgl. f. KLEIN [Conjoint-Analyse] S. 31,

⁷¹⁴ Für weitere Informationen zu den hier nicht dargestellten Ansätzen vgl. KLEIN [Con-joint-Analyse] S. 31 ff., HUNKEL [Preisdifferenzierung] S. 140 ff.

⁷¹⁵ Vgl. McFADDEN [Models] S. 14

⁷¹⁶ Vgl. KLEIN/STEINHARDT [Revenue Management] S. 187

Wird darüber hinaus davon ausgegangen, dass sich der Kunde nicht nur für oder gegen ein Produkt entscheiden kann, sondern auch zwischen verschiedenen wählen kann, so wäre gemäß der klassischen Preistheorie unterstellt, dass der Konsument seine Wahlentscheidung für eines der potenziell möglichen Produkte ausschließlich basierend auf dem Gesamtpreis trifft.⁷¹⁷ Gemäß MCFADDEN wäre ein solches Wahlverhalten daher über eine kundenindividuelle Verhaltensregel, die als funktionaler Zusammenhang zwischen den Einflussfaktoren zu verstehen ist, definiert, bei der z. B. das Streben des Kunden nach Sicherheit durch eine vorhersehbare Zahlungshöhe nicht berücksichtigt ist.⁷¹⁸ Dieser Gedanke wird auch von den Random-utility-Modellen aufgegriffen, die, so wie bereits im Zuge der Nutzenmodellierung diskutiert, nicht von einem deterministischen Nutzen, sondern von der Abbildung des Nutzens als stochastische Größe ausgehen.

WALKER/BEN-AKIVA greifen darüber hinaus den Gedanken der Nichtberücksichtigung einzelner die Entscheidung beeinflussender Faktoren auf, indem sie von beobachtbaren, erklärbaren Variablen und einem funktionalen Zusammenhang zu latenten, also nicht beobachtbaren Variablen ausgehen, auf Basis dessen ein Nutzen zu kalkulieren ist, der als Entscheidungsgröße im Zuge der Nutzenmaximierung heranzuziehen ist.⁷¹⁹ Während latente Variablen in dieser Arbeit keine Rolle spielen, wird hingegen mit der im weiteren Verlauf erfolgenden Nutzung von stochastischen Prozessen zur Modellierung der Übergangswahrscheinlichkeiten das Wahlverhalten bei Vorliegen mehrerer Auswahlalternativen aufgegriffen.⁷²⁰ Ein solches Wahlverhalten wäre z. B. auch immer dann von Bedeutung, wenn das im Tarif inkludierte Kontingent für die Inanspruchnahme eines bestimmten QoS-Levels erschöpft ist und der Kunde sich ausschließlich für oder gegen einen erneuten Kontingentkauf entscheiden kann. Da diese Entscheidung jedoch maßgeblich vom bisherigen, innerhalb des zu betrachtenden Abrechnungsintervalls kundenindividuellen Nutzungsverhalten sowie von der noch verbleibenden Zeit, innerhalb derer der Kunde das neue Kontingent zu nutzen hat, abhängig sein wird und keine einzelkundenspezifische Sicht verfolgt wird, ist dieser Ansatz auf eine kundensegmentbezogene Sicht zu transferieren und mit der folgend heranzuziehenden nutzenorientierten Sicht zusammenzuführen.

Ferner wird von der klassischen Preistheorie davon ausgegangen, dass das Wahlverhalten zwischen verschiedenen Preismodellen, bei denen sich der einzelne Preis aus mehreren Preiskomponenten zusammensetzt, die sich zu einem Gesamtpreis

⁷¹⁷ Vgl. TOBIES [Preismodelle] S. 45

⁷¹⁸ Vgl. MCFADDEN [Choice Behavior] S. 107

⁷¹⁹ Vgl. WALKER/BEN-AKIVA [Random] S. 303 ff.

⁷²⁰ Vgl. WALKER/BEN-AKIVA [Random] S. 323

addieren, ausschließlich durch den Gesamtpreis bestimmt ist.⁷²¹ Das im Folgenden beschriebene Wahlverhalten zwischen Kundensegmenten, und damit zwischen unterschiedlichen Tarifen, basiert zwar durchaus auf dem Gesamtpreis, berücksichtigt überdies aber die Kundenzufriedenheit als entscheidungsrelevantes Kriterium. Im Folgenden werden daher einerseits die Kundenzufriedenheit im Rahmen einer Entscheidungsfindung diskutiert und anschließend Möglichkeiten zur Modellierung des funktionalen Zusammenhangs dargestellt.

4.3.4.2 Abbildung der Kundenzufriedenheit gemäß des Diskonfirmationsparadigmas

Die Definition der Kundenzufriedenheit ist gemäß OLIVER in Anlehnung an FEHR/RUSSEL besonders schwierig,⁷²² da zwar jeder wisse, was Kundenzufriedenheit sei, jedoch immer nur so lange, bis man nach einer Definition verlange, denn dann ist es, als ob es keiner wisse.⁷²³ Z. B. DAY bzw. WESTBROOK/OLIVER definieren die Kundenzufriedenheit als aus einem Vergleichsprozess resultierend und greifen damit das Diskonfirmationsparadigma⁷²⁴ auf.⁷²⁵ Diesem in der Literatur verbreiteten Ansatz folgend, resultiert Kundenzufriedenheit daraus, dass der Kunde einen Vergleich zwischen der real erlebten Erfahrung beim Konsum eines Produkts bzw. der Inanspruchnahme einer Dienstleistung und dem auf seinen Erwartungen an das konsumierte Objekt gebildeten Vergleichsmaßstab zieht.⁷²⁶ Auch HOMBURG/GIERING/HENTSCHEL greifen diesen Gedanken bei der von ihnen gewählten Definition der Kundenzufriedenheit auf, gemäß derer Kundenzufriedenheit als die Einstellung gegenüber einem Objekt definiert wird, die einerseits eine kognitive und andererseits eine emotionale Komponente in die Bewertung einbindet.⁷²⁷ Ersteres bezieht sich auf die Meinungsbildung anhand von objektiven Eigenschaften des Produkts bzw. der Dienstleistung durch den Vergleich von Ist-Eigenschaften mit den im Zuge der prospektiven Erwartungsbildung entwickelten Vorstellungen der Soll-Eigenschaften, während die emotionale Komponente, die im

⁷²¹ Vgl. TOBIES [Preismodelle] S. 48 f.

⁷²² Vgl. FEHR/RUSSEL [Emotion] S. 464, die dies auf eine generelle Definition von Emotionen beziehen.

⁷²³ Vgl. OLIVER [Satisfaction] S. 7, vgl. auch GIESE/COTE [Consumer Satisfaction] S. 1 ff.

⁷²⁴ Vgl. NERDINGER/NEUMANN [Kundenzufriedenheit] S. 128, mit Verweis auf HOMBURG/STOCK-HOMBURG [Diskonfirmationsparadigma] S. 17, die das englischsprachige C/D-Paradigma, also das Confirmation/Disconfirmation-Paradigma, bei der Übersetzung ins Deutsche auf das Diskonfirmationsparadigma reduzieren.

⁷²⁵ Vgl. z. B. DAY [Customer Satisfaction] S. 149, WESTBROOK/OLIVER [Consumer Satisfaction] S. 84.

⁷²⁶ Vgl. z. B. DAY [Customer Satisfaction] S. 149, ENGEL/BLACKWELL [Consumer Satisfaction] S. 501, NERDINGER/NEUMANN [Kundenzufriedenheit] S. 128 f., SKALA-GAST [Kundenzufriedenheit] WESTBROOK/OLIVER [Consumer Satisfaction] S. 84, OLIVER [Disconfirmation] S. 480 sowie HOMBURG/GIERING/HENTSCHEL [Kundenzufriedenheit] S. 175, alle aufbauend auf den Erkenntnissen von OLSHAVSKY/MILLER [Consumer Expectations] S. 19 ff.

⁷²⁷ Vgl. f. HOMBURG/GIERING/HENTSCHEL [Kundenzufriedenheit] S. 176

Zuge des Erlebens dem Kunden gewahr werdende Gefühle bei der Bewertung beinhaltet, parallel oder erst retrograd zum Konsum ausgebildet wird.⁷²⁸ OLIVER definiert die Kundenzufriedenheit als Reaktion des Kunden auf den Erfüllungsgrad.⁷²⁹ Auch in diesem Konzept resultiert die Kundenzufriedenheit aus einer Bewertung des Produktes oder der Dienstleistung basierend darauf, inwieweit das Produkt oder die Dienstleistung die mit dem Konsum verbundenen Bedürfnisse des Kunden erfüllt. WESTBROOK/OLIVER berücksichtigen ferner auch Teilkomponenten und zeigen damit, dass der bereits bei der Beurteilung des Nutzens der Dienstgüte gezeigte Zusammenhang von PARASURAMAN/ZEITHAML/BERRY aufgegriffen werden kann, die als maßgeblich für das vom Nutzer letztlich wahrgenommene Qualitätslevel die Lücke zwischen der vom Anbieter der Dienstleistung spezifizierten Qualität und der tatsächlich gelieferten Qualität identifizierten.⁷³⁰

Aufgrund der vielfältigen empirischen Bestätigung des Diskonfirmationsparadigmas und damit der Erkenntnis, dass für die Kundenzufriedenheit nicht nur der Nutzen der Dienstleistung allein ausschlaggebend ist, sondern erst im Zusammenspiel mit dem Vergleich zu anderen Alternativen von Kundenzufriedenheit gesprochen werden kann,⁷³¹ greift diese Arbeit die gewonnene Erkenntnis auf, indem bei der periodisch zu ermittelnden Kundenloyalität nicht nur die Kundenzufriedenheit innerhalb des Segments für einen Verbleib ausschlaggebend sein wird, sondern auch ein segmentübergreifender Vergleich mit dem Nutzen, der in anderen Kundensegmenten zu erwarten gewesen wäre, berücksichtigt wird. Das Diskonfirmationsparadigma zur Definition des Kundennutzens dient damit als Bindeglied zwischen dem Nutzen, resultierend aus dem Quality of Service, sowie der mit der Kundenzufriedenheit verbundenen Kundenloyalität.⁷³²

⁷²⁸ Vgl. DAY [Customer Satisfaction] S. 149, HOMBURG/GIERING/HENTSCHEL [Kundenzufriedenheit] S. 176 und WESTBROOK/OLIVER [Consumer Satisfaction] S. 84

⁷²⁹ Vgl. f. OLIVER [Satisfaction] S. 8, der ebenda schreibt: "Satisfaction is the consumer's fulfillment response. It is a judgment that a product/service feature, or the product or service itself, provided (or is providing) a pleasurable level of consumption-related fulfillment, including levels of under- or overfulfillment."

⁷³⁰ Vgl. PARASURAMAN/ZEITHAML/BERRY [Service Quality] S. 45 f.

⁷³¹ Vgl. ANDERSON/SULLIVAN [Customer Satisfaction] S. 125 ff., FORNELL [Customer Satisfaction] S. 6 ff., FORNELL ET AL. [Customer Satisfaction] S. 7 ff., OLIVER/RUST/VARKI [Delight] S. 311 sowie RUST/OLIVER [Delight] S. 86 ff., die über die Kundenzufriedenheit hinaus eine Kundenbegeisterung definieren, die sich erst dann einstellt, wenn der Kunde eine in einem überraschend hohem Maße über seine Erwartung hinausgehende positive Erfahrung gesammelt hat; dieses Konzept wird jedoch in dem folgenden Analyse-Modell nicht gesondert berücksichtigt, da die dazu notwendige Modellierung eines Überraschungseffekts nicht zielführend bewerkstelligt werden kann.

⁷³² Vgl. ANDERSON/FORNELL/LEHMANN [Customer Satisfaction] S. 53 ff., CARUANA [Loyalty] S. 811 ff., HALLOWELL [Loyalty] S. 27, KIM/PARK/JEONG [Loyalty] S. 145 ff., LAM ET AL. [Loyalty] S. 293 ff. sowie ZEITHAML/BERRY/PARASURAMAN [Consequences] S. 33 sowie CRONIN/BRADY/HULT [Effects] S. 198,

Basierend auf den von FADER/HARDIE in Anlehnung an SCHMITTEIN/MORRISON/COLOMBO gewonnenen Erkenntnissen ist jedoch zunächst zu klären, welche Art der Kundenbeziehung vorliegt, um darauf aufbauend eine Modellierung der Kundenloyalität anzustoßen.⁷³³ Diese kann entweder strikt vertragsgebunden oder aber nicht-vertraglicher Natur sein. Beide Fälle lassen sich sodann nochmals in diskrete Kaufzeitpunkte sowie kontinuierliche Käufe untergliedern. Die folgend fokussierte Kundenbeziehungsform zeichnet sich dadurch aus, dass die Dienstleistung kontinuierlich gekauft wird, jedoch im Regelfall eine Mindestvertragslaufzeit den Kunden vertraglich an den Datenübertragungsdienstleister bindet. Diese ist damit sowohl bei der Analyse bestehender Bepreisungen als auch bei der Analyse innovativer Bepreisungen priorisierter Datenübertragungsdienstleistungen für Endkunden aufzugreifen. Diese die Art der Beziehung ist sowohl für alle Telekommunikationsdienstleistungen vergleichbar und ist darüber hinaus auch im Rahmen der Strom-, Gas- und Wasserversorgung weit verbreitet.

KUO/WU/DENG zeigen basierend auf empirischen Untersuchungen für Value-Added-Services⁷³⁴ im mobilen Telekommunikationsmarkt den von zahlreichen anderen Autoren für verschiedenste andere Dienstleistungsbereiche ebenfalls festgestellten Zusammenhang, der basierend auf dem Diskonfirmationsparadigma aufbaut und gemäß dem eine gleichgerichtete Wirkung von der Kundenzufriedenheit und dem zukünftigen Kundenverhalten besteht.⁷³⁵ Die Wiederkaufwahrscheinlichkeit geht folglich Hand in Hand mit der Kundenloyalität und beeinflusst somit, bei Übertragung dieser Idee auf einen in Kundensegmente unterteilten Kundenstamm, auch das Kundensegment, dem der Kunde in der Folgeperiode zuzuordnen ist, wenn davon ausgegangen wird, dass verschiedene Kundensegmente aus unterschiedlichen Kaufverhalten resultieren und eine Veränderung des Kaufverhaltens einen Kundensegmentwechsel bedingt.⁷³⁶

Vor allem im Rahmen der Customer-Lifetime-Value-Bestimmung und der Customer-Equity-Modellierung werden zahlreiche Ansatzpunkte diskutiert, wie sich das Kaufverhalten zunächst im Allgemeinen und im Speziellen ein Wiederkaufverhalten und damit ein Fortbestehen der Kundenbeziehung abbilden lässt. Darauf aufbauend wird im

die einen Überblick über potenzielle indirekte Verbindungen zwischen der Dienstgüte, der Kundenzufriedenheit, dem Wert der Dienstleistung sowie der Kundenloyalität geben und empirisch sowohl indirekte als auch den direkten Zusammenhang nachweisen.

⁷³³ Vgl. FADER/HARDIE [Probability] S. 63 sowie SCHMITTEIN/MORRISON/COLOMBO [Customers] S. 16

⁷³⁴ Sind bei KUO/WU/DENG [Post-Purchase] S. 887 als alle digitalen Dienste definiert, die über ein Mobilfunk-Kommunikationsnetz bedient werden, mit Ausnahme von Sprachdiensten.

⁷³⁵ Vgl. BRADY/CRONIN JR./BRAND [Service Quality] CRONIN JR./BRADY/HULT [Effects] S. 193 ff., KUO/WU/DENG [Post-Purchase] S. 887 ff., SPRENG/MACKOY [Satisfaction] S. 201 ff., PATTERSON/SPRENG [Relationship] S. 414 ff., TAM [Customer Satisfaction] S. 897 ff.

⁷³⁶ Das unterschiedliche Kaufverhalten ist wie bereits beschrieben eines der zentralen Bestandteile, auf denen die Kundensegmentierung in dieser Arbeit beruht, und gilt damit als erfüllt.

folgenden Kapitel sodann die Integration des in den vorangehenden Betrachtungen identifizierten Einflusses der Kundenzufriedenheit auf die Kundenloyalität in den Ansatz vorgenommen. Auch für den folgenden Fall der Wiederkaufwahrscheinlichkeiten ist dabei analog zu der bereits bei der Zahlungsbereitschaft verfolgten Argumentation – unter Rückgriff auf die Erkenntnisse von MORRISON sowie YOUNG/DESARBO/MORWITZ – festzustellen, dass eine auf Segmentebene anvisierte aggregierte Betrachtung vorteilhaft ist, da zu erwarten ist, dass die bei Einzelkundenbetrachtung auftretenden Differenzen zwischen dem erwarteten Kauf und dem potenziell tatsächlich nicht stattfindenden Kauf bzw. dem nicht erwarteten Kauf und dem in der Realität dennoch erfolgenden Kauf sich ausgleichen und sich die für die Segmentebene formulierte Erwartung als stabiler und zuverlässiger erweisen kann als bei Einzelkundenbetrachtung.⁷³⁷

4.3.4.3 Abbildung des Wechselverhaltens gemäß des Diskonfirmationsparadigmas

4.3.4.3.1 Ausgewählte Modelle mit statischen Übergangswahrscheinlichkeiten

4.3.4.3.1.1 Kundenwechselverhalten in Customer-Lifetime-Value-Modellen

Das Wechselverhalten der Kunden spielt in Customer-Lifetime-Value-Modellen und damit auch in den Customer-Equity-Modellen entweder direkt in Form von konkret ausgestalteten Übergangswahrscheinlichkeiten oder indirekt durch die Modellierung von Wiederkaufwahrscheinlichkeiten eine Rolle. In beiden Fällen, auch wenn diese bei Systematisierungen gerne getrennt voneinander behandelt werden, handelt es sich um probabilistische Modelle.⁷³⁸ Im Rahmen dieser Modelle wird auf stochastische Funktionen zurückgegriffen,⁷³⁹ die auf Basis von in der Vergangenheit erhobenen Transaktionsdaten eines Kunden Aussagen über dessen zukünftiges Verhalten treffen sollen und deren Bandbreite von der kundenindividuellen Sicht bis hin zur Betrachtung aggregierter Kundenverläufe und damit der Segmentebene reicht.⁷⁴⁰ Der Fokus dieser Modelle, die sowohl beobachtbare Größen direkt als auch nicht beobachtbare Größen indirekt einbeziehen, liegt jedoch nicht auf der Erklärung potenzieller Zusammenhänge zwischen dem Beobachtbaren und dem Nicht-Beobachtbaren, sondern in ihrer ursprünglichen Form ausschließlich darauf, mit einer Verteilungsfunktion das Nutzer-

⁷³⁷ Vgl. YOUNG/DESARBO/MORWITZ [Modeling] S. 189 f. sowie MORRISON [Purchase] S. 67 in Verbindung mit S. 72

⁷³⁸ Vgl. zur Trennung im Rahmen der Systematisierung nach Methodik z. B. STEINER [Kundenwertmodellierung] S. 24 oder JAECK [Wertorientiertes] S. 113

⁷³⁹ Diese sind zurückzuführen auf EHRENBURG [Pattern] S. 26 ff., der ebenda die negative Binomial-Verteilung zur Modellierung von Käuferverhalten einführt. Vgl. dazu auch MASSY/MONTGOMERY/MORRISON [Buying Behavior] S. 1 ff. oder MORRISON/SCHMITTEIN [NBD Model] S. 145, SCHMITTEIN/BEMMAOR/MORRISON [NBD Model] S. 255

⁷⁴⁰ Vgl. FADER/HARDIE [Probability] S. 61 ff., JAECK [Wertorientiertes] S. 128, GUPTA ET AL. [CLV] S. 142

verhalten abzubilden; ein Erforschen der Gründe für diese Verteilungsfunktion entfällt.⁷⁴¹ Durch eine auf vergangenheitsbezogenen Parametern erfolgende Operationalisierung der stochastischen Größen wird nicht nur die Prognose des in der nächsten Periode zu erwartenden Kundenverhaltens ermöglicht, sondern ein deutlich langfristiger Zeithorizont prognostiziert als mit RFM-Modellen (Recency, Frequency and Monetary Value-Modelle), die ausschließlich zur Analyse des in der Vergangenheit festgestellten Kundenverhaltens herangezogen werden und keine zukünftige Entwicklung auf Basis dieser Erkenntnisse prognostizieren.⁷⁴² Die stochastischen Modelle greifen jedoch auf die gleichen Daten zurück, die für RFM-Modelle benötigt werden.

Im Folgenden werden die bekanntesten Modelle der Customer-Lifetime-Value-Berechnung mit Fokus auf die in diesen Modellen erfolgende Abbildung der Wechselverhalten dargestellt, um auf diesen Erkenntnissen aufbauend ein zukunftsgerichtetes Analysemodell zu entwickeln, indem eine Weiterentwicklung der Abbildung des Wechselverhaltens vorgenommen wird, das die im Zuge der in dieser Arbeit intendierte Untersuchung gemäß des in Kapitel 3.1.4.2 vorgestellten Zielsystems ermöglicht.

4.3.4.3.1.2 Abbildung des Kundenwechselverhaltens bei NBD/Pareto-Modellen

Die bekanntesten Wahrscheinlichkeitsmodelle, die sich mit der Wiederkaufwahrscheinlichkeit beschäftigen, sind die NBD/Pareto-Modelle (Negativ Binomial Distribution), die auf die Erkenntnisse von EHRENBURG und SCHMITTEIN/MORRISON/COLOMBO zurückzuführen sind.⁷⁴³ Diese ziehen, so wie die anderen Modelle des Transaktionsverhaltens auch, zur Modellierung des Kundenverhaltens mehrere Verteilungsfunktionen heran.⁷⁴⁴ Im Falle des NBD/Pareto-Modells wird zunächst davon ausgegangen, dass der Kunde zwei Phasen durchläuft, eine bestimmte Zeit ist er aktiv, bevor er im Anschluss dauerhaft inaktiv wird.⁷⁴⁵ Die Dauer der Aktivität eines Kunden ist mit der Sterberate μ exponentiell verteilt, während die Anzahl der Käufe von diesem innerhalb seiner Lebenszeit einem Poisson-Prozess mit der Kaufrate λ folgt. Um sodann die

⁷⁴¹ Vgl. FADER/HARDIE [Probability] S. 62. Diese begründen das Nichtbetrachten auf Seite 64 schlicht mit Irrelevanz für die verfolgte Fragestellung: „[...], why this death occurs is of little interest to us; our primary goal is to ensure that the phenomenon is captured by the model“.

⁷⁴² Vgl. f. VILLANUEVA/HANSSENS [Customer Equity] S. 50, die die RFM-Modelle vielmehr den Heuristiken zuordnen, da sie ausschließlich eine Bewertung der Kunden auf den in der Vergangenheit erhobenen Daten der Neuigkeit im Sinne der Dauer der bisherigen Kundenbindung (Recency), Häufigkeit (Frequency) sowie der Geldwerte (Monetary Value) vornehmen. Vgl. zur Übersicht über RFM-Modelle auch WEI/LIN/WU [RFM Model] S. 4.200. Vgl. zur Möglichkeit des Rückgriffs auf die im RFM-Modellen ermittelten Daten FADER/HARDIE/LEE [RFM and CLV] S. 415.

⁷⁴³ Vgl. EHRENBURG [Pattern] S. 26 ff. sowie SCHMITTEIN/MORRISON/COLOMBO [Customers] S. 1 ff.

⁷⁴⁴ Vgl. JAECK [Wertorientiertes] S. 130

⁷⁴⁵ Vgl. f. SCHMITTEIN/MORRISON/COLOMBO [Customers] S. 3

Heterogenität der Kunden zu berücksichtigen, wird sowohl die kundenindividuelle Sterberate μ als auch die Kaufrate λ mittels einer Gammaverteilung modelliert, die voneinander unabhängig sind. Die Namensgebung NBD/Pareto-Modell folgt aus dem mathematischen Zusammenhang, dass Poisson-Verteilungen mit gammaverteilten Parametern als negative Binomialverteilungen dargestellt werden können und damit eine Verallgemeinerung der Binomialverteilung darstellen und andererseits Exponentialverteilungen mit gammaverteilten Parametern Pareto-Verteilungen erzeugen.⁷⁴⁶ Dabei bleibt die Funktion jedoch stationär, da der Gamma-Parameter, der die kundenindividuellen Besonderheiten erfasst, bei der Betrachtung einer Zeitreihe unverändert bleibt.⁷⁴⁷ Die Abbildung eines Wechsels des Kundensegments ist in diesem Ansatz ausgeschlossen, da der Kunde einerseits ausschließlich als aktiv oder inaktiv modelliert ist und andererseits eine Veränderung seiner Präferenzen aufgrund der Stationarität des zugrundeliegenden Modells ebenfalls nicht erfasst werden kann.

4.3.4.3.1.3 Abbildung des Kundenwechselerhaltens bei Hazard-Modellen

Hazard-Modelle, die mit den vorangehend vorgestellten probabilistischen Modellen verwandt sind, da sie ebenfalls zu den „lost for good[-Ansätzen]“⁷⁴⁸ gehören, gehen davon aus, dass ein Kunde, der einmal das Unternehmen verlassen hat, für immer verloren ist („lost for good“) und zielen auf die Schätzung der Dauer bis zum Eintritt des Ausscheidens.⁷⁴⁹ Sie lassen sich gemäß GUPTA ET AL. in zwei Strömungen unterteilen.⁷⁵⁰ Die Unterteilung erfolgt anhand der zugrundeliegenden Annahmen bei der Modellierung der Kovariablen, die den Einfluss auf den Prozess abbilden und die in einer Vielzahl von Modellen entweder als „Accelerated Failure Time“ (AFT-Modell) oder als „Proportional Hazard“ (PH-Modell) ausgestaltet sind.⁷⁵¹ Erstere spezifizieren den Zusammenhang zwischen der als fixiert festgelegten Kovariablen und der Failure Time T als multiplikativ bzw. additiv für den Fall, dass $\log(T)$ betrachtet wird, genau dann, wenn hier T als eine nichtnegative Zufallsvariable und die Failure Time als Zeitraum definiert ist, der verstreicht, bis ein bestimmtes Ereignis eintritt.⁷⁵²

⁷⁴⁶ Vgl. STEINER [Kundenwertmodellierung] S. 27 mit Verweis auf EHRENBURG [Repeat-Buying] S. 65 und 132 f. sowie JOHNSON/KEMP/KOTZ [Discrete] S. 574, ZITZLSPERGER [NBD] S. 73 mit Verweis auf GREENWOOD/YULE [Frequency Distributions] S. 155 ff.

⁷⁴⁷ Vgl. ZITZLSPERGER [NBD] S. 74

⁷⁴⁸ Zu diesen zählen auch die NBD/Pareto-Modelle. Das Gegenteil bilden die „Allways-Share-Ansätze“, zu denen die auf Markov-Ketten basierenden Ansätze gehören vgl. DWYER [CLV] S. 10 und GUPTA ET AL. [CLV] S. 144 f.

⁷⁴⁹ KALBFLEISCH/PRENTICE [Failure] S. 1, auch zum Überblick über zahlreiche weitere Failure-Modelle.

⁷⁵⁰ Vgl. GUPTA ET AL. [CLV] S. 144 f.

⁷⁵¹ Vgl. GUPTA ET AL. [CLV] S. 144 f. sowie CIAMPI/ETEZADI-AMOLI [Hazards] S. 651

⁷⁵² Vgl. KALBFLEISCH/PRENTICE [Failure] S. 1 und 218

Die PH-Modelle hingegen, das bekannteste ist das Cox-Modell, das auch als relatives Risiko-Modell bezeichnet wird, erreichen durch die Einbindung einer nicht spezifizierten Funktion in Form einer Basis-Hazard-Rate, die je nach gewählter Ausgestaltung unterschiedliche Modelle der Dauer ergeben, eine sehr große Spanne an Möglichkeiten, die von einer Einbindung fixer Kovariablen bis hin zur im Zeitverlauf funktional veränderlichen Kovariablen reichen.⁷⁵³ Zwar bieten insbesondere letztgenannte Modelle somit eine hohe Flexibilität, legen den Fokus jedoch ausschließlich auf die Berechnung der Dauer bis zum Ausscheiden eines Kunden, während folgend zu analysieren ist, wie mittels probabilistischer Modelle ein Wechsel hin zu verschiedenen anderen Segmenten mitberücksichtigt werden kann. Gerade dies erlauben jedoch auch die Hazard-Modelle aufgrund Ihrer Verwandtschaft mit den NBD/Pareto-Modellen nicht, da keine Differenzierung der aktiven Kunden hinsichtlich Ihres Kaufverhaltens vorgenommen werden kann.

4.3.4.3.1.4 *Markov-Ketten-basiertes Kundenwechselverhalten bei Migrationsmodellen*

4.3.4.3.1.4.1 *Modellierung von Zustandsübergängen als Markov-Prozess*

Stochastische Prozesse dienen der Abbildung einer Veränderung eines Betrachtungsgegenstands in Abhängigkeit eines Parameters.⁷⁵⁴ Die Parametermenge T , von der diese Veränderung abhängt, wird typischerweise als die Zeit interpretiert, sodass T die Menge aller nicht negativen reellen Zahlen umfasst.⁷⁵⁵ Das heißt, stochastische Prozesse sind jeweils eine nichtleere Familie von Zufallsvariablen $X = \{X_t, t \in T\}$, die zu jedem Zeitpunkt $t \in T$ eine Zufallsvariable auf einem Wahrscheinlichkeitsraum mit Werten in einem messbaren Zustandsraum von X_t zuordnen.⁷⁵⁶ Der Wahrscheinlichkeitsraum wiederum ist definiert über das Tupel, bestehend aus (Ω, \mathcal{F}, P) , wenn Ω als die Ereignismenge definiert ist und \mathcal{F} ein Ereignisraum als System von Teilmengen \mathcal{A} der Ereignismenge ist, denen eine Wahrscheinlichkeit mittels des Wahrscheinlichkeitsmaßes P zuzuordnen ist, das als Wahrscheinlichkeitsverteilung vorliegt und mit $P: \mathcal{F} \rightarrow [0, 1]$ jedem Ereignis \mathcal{A} eine Wahrscheinlichkeit $P(\mathcal{A})$ zuweist.⁷⁵⁷ Damit ist ein stochastischer Prozess über ein Quadrupel als $X = (\Omega, \mathcal{F}, P, X_t, t \in T)$ definiert.⁷⁵⁸ Die

⁷⁵³ Vgl. KALBFLEISCH/PRENTICE [Failure] S. 95 f.

⁷⁵⁴ Vgl. f. HILFER [Modelle] S. 33,

⁷⁵⁵ Vgl. HILFER [Modelle] S. 33, BAUM [Grundlagen] S. 177

⁷⁵⁶ Vgl. MÜRMANN [Stochastische Prozesse] S. 223

⁷⁵⁷ Vgl. KÜTTING/SAUER [Stochastik] S. 98, SCHMIDT [Wahrscheinlichkeit] S. 193, MEINTRUP/SCHÄFFLER [Stochastik] S. 59

⁷⁵⁸ Vgl. ROMMELFANGER [Mathematik] S. 248

Wahrscheinlichkeitsräume werden jedoch meist implizit vorausgesetzt, indem die Definition stochastischer Prozesse, wie bereits oben angedeutet, ausschließlich auf der Familie der Zufallsvariablen X_t basiert.⁷⁵⁹ Die Wahrscheinlichkeitsräume treten dann in den Hintergrund.

Stochastische Prozesse können entweder mit kontinuierlicher oder diskreter Parametermenge T ausgestaltet sein, sodass zwischen Prozessen mit kontinuierlicher Zeit, mit $T \subseteq [0, \infty]$, bzw. mit diskreter Zeit und damit mit T als Teilmenge von $\mathbb{N}_0 = \mathbb{N} \cup \{0\}$ unterschieden wird.⁷⁶⁰ Letzteres wird als stochastische Kette bezeichnet.⁷⁶¹ Darüber hinaus wird auch bei der Zustandsraummodellierung zwischen kontinuierlicher oder diskreter Ausgestaltung unterschieden.⁷⁶² Wird der Zustandsraum auf den Bereich der ganzen Zahlen \mathbb{Z} definiert, so handelt es sich um Punktprozesse mit diskretem Zustandsraum, wird hingegen der Zustandsraum für die reellen Zahlen \mathbb{R} definiert, wird von k -dimensionalen, wertestetigen Vektorprozessen gesprochen.⁷⁶³ Neben diesen Eigenschaften lassen sich stochastische Prozesse ferner hinsichtlich ihrer Art der Ausgestaltung der Zufallsvariablen und damit ihrer Charakteristika spezifizieren.

Bildet sich für die Veränderungen V eines stochastischen Prozesses für eine Zeitfolge $t_0 = 0 < t_1 < t_2 < \dots < t_n < \dots$ mit $V_j = 0$; $V_j = X(t_j) - X(t_{j-1})$ und $j = 1, 2, \dots$ ebenfalls eine Folge $\{V_j\}$ unabhängiger Zufallsvariablen, so sind diese speziell durch die Unabhängigkeit der Veränderung charakterisiert. Ist diese Verteilung der Veränderung ausschließlich von der Differenz $t_j - t_{j-1}$ abhängig, wird von stationären homogenen Veränderungen gesprochen. Spezialfälle stellen stochastische Prozesse dar, die zu jedem Zeitpunkt t endlich viele Zustände $X_t \in I$ annehmen können und deren zukünftige Entwicklung ausschließlich vom gegenwärtigen Zustand und der Zeit abhängt.⁷⁶⁴ Diese werden Markov-Prozesse genannt,⁷⁶⁵ deren spezielle Eigenschaft der Gedächtnislosigkeit genau dann vorliegt, wenn der zeit-diskrete stochastische Prozess X_t für einen endlichen Zustandsraum I für alle Zeitpunkte t_j mit $j \in \mathbb{N}_+$ und allen Zuständen $i_0, i_1, i_2, \dots, i_n, i_{n+1} \in I$ wie folgt charakterisiert ist:⁷⁶⁶

⁷⁵⁹ Vgl. KOHLAS [Methoden] S. 17 u. ROMMELFANGER [Mathematik] S. 248

⁷⁶⁰ Vgl. HILFER [Modelle] S. 33 f., ROMMELFANGER [Mathematik] S. 248

⁷⁶¹ Vgl. ENGELBRECHT [Kundenwertorientiert] S. 133

⁷⁶² Vgl. HILFER [Modelle] S. 33 f., ROMMELFANGER [Mathematik] S. 248

⁷⁶³ Vgl. ff. ROMMELFANGER [Mathematik] S. 248 f.

⁷⁶⁴ Vgl. f. BAUMEISTER [Lebenszykluskosten] S. 146, KOHLAS [Methoden] S. 67

⁷⁶⁵ Vgl. zu generellen stochastischen Eigenschaften von Markov-Ketten, von denen im engeren Sinne an dieser Stelle zu sprechen ist, da es sich hier um eine diskrete Ausgestaltung des Zeitparameters t handelt, z. B. ANDERSON/GOODMAN [Markov] S. 89 ff., STÜCKER [Kundenbeziehungen] S. 254

⁷⁶⁶ Vgl. BAUMEISTER [Lebenszykluskosten] S. 146, KOHLAS [Methoden] S. 67, WALDMANN/STOCKER [Stochastische Modelle] S. 11

$$\begin{aligned}
 P(X_{t_{n+1}} = i_{n+1} | X_{t_0} = i_0, \dots, X_{t_{n-1}} = i_{n-1}, X_{t_n} = i_n) \\
 = P(X_{t_{n+1}} = i_{n+1} | X_{t_n} = i_n)
 \end{aligned}
 \quad (68)$$

Der Prozess befindet sich zum Zeitpunkt t_n in Zustand i_n , erneut mit $i_n \in I$, wenn die Zufallsvariable X_{t_n} den Wert i_n annimmt.⁷⁶⁷ Von einer homogenen Markov-Kette wird analog zu der bereits für allgemeine stochastische Prozesse beschriebenen Definition gesprochen, wenn

$$P(X_{t_{n+1}} = j | X_{t_n} = i) =: p_{i,j} \quad (69)$$

und $p_{i,j}$ die bedingte Übergangswahrscheinlichkeit ist, die angibt, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass unter der Bedingung, dass Zustand i vorliegt, zum darauffolgenden Zeitpunkt der Zustand j realisiert ist.⁷⁶⁸ In diesem Fall ändert sich die Übergangswahrscheinlichkeit folglich nicht und ist damit stationär.

Die Darstellung kann in Form einer periodenspezifischen, quadratischen Übergangswahrscheinlichkeitsmatrix P_t erfolgen, die die bedingten Wahrscheinlichkeiten $p_{i,j,t}$ zum Zeitpunkt t in Matrixform zusammenfasst.⁷⁶⁹ Dabei hat einerseits die generell Wahrscheinlichkeiten zugrunde liegende Bedingung $p_{i,j,t} \geq 0$ zu gelten und darüber hinaus muss

$$\sum_{j=1}^J p_{i,j,t} = 1, \text{ mit } t \geq 0, i \in I \quad (70)$$

erfüllt sein.⁷⁷⁰ Die quadratische Eigenschaft resultiert wiederum daraus, dass alle Wechselmöglichkeiten zwischen den Zuständen abgebildet werden und, sofern keine Übergänge von einem Zustand zu einem anderen erfolgen, dies durch ein Zuweisen einer bedingten Wahrscheinlichkeit von null für diesen Übergang realisiert ist:

$$P_t = \begin{pmatrix} p_{1,1,t} & \cdots & p_{1,j,t} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{i,1,t} & \cdots & p_{i,j,t} \end{pmatrix} \quad (71)$$

Bei der Betrachtung von diskreten Markov-Ketten, bei denen die Übergangswahrscheinlichkeiten im Zeitverlauf statisch sind und sich die Übergangsmatrizen

⁷⁶⁷ Vgl. KOHLAS [Methoden] S. 67

⁷⁶⁸ Vgl. f. KOHLAS [Methoden] S. 68, S. MARTIN/REITZ/WEHN [Risikomodelle] S. 350

⁷⁶⁹ Vgl. ENGELBRECHT [Kundenwertorientiert] S. 133, BEICHELT [Prozesse] S. 146, 178

⁷⁷⁰ Vgl. BEICHELT [Prozesse] S. 178, GAEDE [Modelle] S. 96. BEICHELT weist zwar ebenda darauf hin, dass auch der Fall, dass die Summe nur kleiner 1 ist, nicht ausgeschlossen werden könne, dann jedoch unendlich viele Zustandsänderungen innerhalb des endlichen Intervalls, über das die Summe läuft, eintreten können.

dementsprechend im Zeitverlauf nicht ändern, gilt für mehrstufige Übergangswahrscheinlichkeitsmatrizen aus der Chapman-Kolmogorov-Gleichung mit der bedingten Wahrscheinlichkeit $p_{ij}^{(m)}$ für einen Übergang von einem Zustand i hin zu Zustand j nach m Perioden der folgende Zusammenhang zwischen den Übergangswahrscheinlichkeiten für $m, r \in \mathbb{N}_0$

$$p_{i,j}^{(m)} = \sum_{k=1}^J p_{i,k}^{(r)} \cdot p_{k,j}^{(m-r)} \text{ und } r = 1, 2, 3, \dots, m-1. \quad (72)$$

Es lässt sich induktiv, durch Setzen von $m = 1$, zeigen, dass somit gilt, dass die Übergangswahrscheinlichkeit aus der m -maligen Multiplikation der Matrix mit sich selbst also eine Matrixpotenz der Übergangswahrscheinlichkeitsmatrix mit Exponent m resultiert:⁷⁷²

$P^{(m)} = P^m$ und damit für die Matrixschreibweise nach m Perioden:

$$P^{(m)} = \begin{pmatrix} p_{1,1,t} & \cdots & p_{1,j,t} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{i,1,t} & \cdots & p_{i,j,t} \end{pmatrix}^m \quad (73)$$

Daraus lässt sich auch schließen, dass die Multiplikation von Übergangsmatrizen erneut zu einer Übergangsmatrix führt. Ist neben den Übergangswahrscheinlichkeiten auch die Anfangsverteilung bekannt, gilt die gesamte Markov-Kette als auch der Markov-Prozess als vollständig bestimmt.⁷⁷³ Denn wenn für eine homogene Markov-Kette einerseits die Anfangsverteilung bekannt ist und andererseits die Veränderung dieser durch die Übergangswahrscheinlichkeiten beschrieben ist, kann aufgrund der Homogenität die Verteilung zu zukünftigen Zeitpunkten bestimmt werden.⁷⁷⁴

Die Zustände wiederum lassen sich ebenfalls näher anhand der Wahrscheinlichkeit dafür charakterisieren, dass dieser Zustand zu einem früheren Zustand bereits schon einmal vorgelegen hat bzw. zu einem späteren Zustand erneut eintritt.⁷⁷⁵ Ein solcher im weiteren Zeitverlauf immer wiederkehrender Zustand i heißt rekurrent und ist charakterisiert durch

⁷⁷¹ Vgl. f. z. B. BEICHELT [Prozesse] S. 147

⁷⁷² Vgl. BEICHELT [Prozesse] S. 147, KOHLAS [Methoden] S. 67, PFEIFER/CARRAWAY [Markov] S. 45 f. sowie für den Beweis der Gültigkeit der Chapman-Kolmogorov-Gleichung BEICHELT [Prozesse] S. 147 oder GAEDE [Modelle] S. 147, KOHLAS [Methoden] S. 72

⁷⁷³ Vgl. BEICHELT [Prozesse] S. 148

⁷⁷⁴ Vgl. ENGELBRECHT [Kundenwertorientiertes] S. 135 sowie HAUKE/OPITZ [Mathematische Planung] S. 161

⁷⁷⁵ Vgl. ff. KOHLAS [Methoden] S. 78 sowie ROSANOW [Prozesse] S. 149

$$\sum_{n=1}^{\infty} p_{i,i}^{(n)} = \infty \quad (74)$$

Ist $\mu_{i,i}$ die erwartete Dauer, bis dieser Zustand erstmalig erneut eintritt, lässt sich diese Eigenschaft nochmals weiter spezifizieren in positiv rekurrente Zustände, wenn $\mu_{i,i} < \infty$, und in nullrekurrente Zustände, wenn $\mu_{i,i} = \infty$ gilt.⁷⁷⁶ Dem gegenüber stehen transiente Zustände mit

$$\sum_{n=1}^{\infty} p_{i,i}^{(n)} < \infty \quad (75)$$

Für diese ist ein endloses Wiederkehren in diesen einen bestimmten Zustand i ausgeschlossen.⁷⁷⁷ Das Gegenteil bilden abgeschlossene Zustandsmengen, die nach erstmaligem Eintreten nicht mehr verlassen werden können und damit dauerhaft in diesem Zustand verweilen, sodass diese Zustände als absorbierend bezeichnet werden.⁷⁷⁸ Teilmengen C des Zustandsraums I heißen genau dann abgeschlossen, wenn

$$\sum_{j \in C} p_{i,j} = 1 \quad \forall i \in C, \quad (76)$$

sodass diese Bedingung äquivalent zu

$$p_{i,j} = 0 \quad \forall i \in C, j \notin C \quad (77)$$

ist. Somit ist ein Zustand folglich genau dann absorbierend, wenn $p_{i,i} = 1$ ist. Basierend auf diesen Eigenschaften lässt sich der gesamte Zustandsraum in Äquivalenzklassen unterteilen.⁷⁷⁹ Eine Klasse ist dabei dadurch charakterisiert, dass innerhalb dieser jeweils alle Zustände erreichbar sein müssen, sodass von Zustand i ein Übergang nach Zustand j genauso möglich sein muss wie von j nach i . Das miteinander Verbunden-sein zweier Zustände gilt auch für den Fall, wenn ein Übergang von i nach k und k nach i als auch von k nach j und j nach k vorliegt, sodass auch der Übergang i nach j bzw. j nach i möglich ist und damit die Eigenschaft der Transitivität vorliegt.

Analog zur allgemeinen Unterscheidung zwischen einem stochastischen Prozess und einer stochastischen Kette erfolgt die Unterscheidung zwischen Markov-Ketten und -Prozessen ebenfalls anhand der Ausgestaltung des Zeitparameters t . Obwohl es zahlreiche Parallelen bei den stochastischen Eigenschaften zwischen den Markov-Ketten mit diskreten Parametern und den Markov-Prozessen mit stetigen Parametern gibt,

⁷⁷⁶ Vgl. BEICHELT [Prozesse] S. 160, der ebenda auch die Berechnung der erwarteten Dauer bis zum erstmaligen Wiederauftreten des Zustands ausführlich darstellt.

⁷⁷⁷ Vgl. BEICHELT [Prozesse] S. 160, KOHLAS [Methoden] S. 78 sowie ROSANOW [Prozesse] S. 149

⁷⁷⁸ Vgl. f. BEICHELT [Prozesse] S. 152

⁷⁷⁹ Vgl. ff. GAEDE [Modelle] S. 118

fehlt für die stetigen Prozesse zunächst etwas Vergleichbares zu den stufenweisen Übergangswahrscheinlichkeiten, das erst gesondert durch erzeugende Elemente realisiert wird.⁷⁸⁰ Die für die diskreten Markov-Ketten gezeigten Grundlagen reichen jedoch als Basis für das Verständnis des Einsatzes von Markov-Ketten im Rahmen der Customer-Equity-Berechnung, der nachfolgend dargestellt ist, aus, sodass an dieser Stelle auf eine vertiefende Darstellung von Markov-Prozessen mit stetigen Parametern verzichtet wird.

4.3.4.3.1.4.2 Modellierung von Kundenwechselverhalten in Migrationsmodellen

Veränderungen im Sinne von Kundensegmentwechseln werden in den auf dem Migrationsansatz von DWYER aufbauenden und auf Markov-Ketten zurückgreifenden Ansätzen berücksichtigt.⁷⁸¹ Der Kundensegmentwechsel bezieht sich im Rahmen der Migrations-Ansätze auf den Verbleib eines Kunden beim Anbieter und fokussiert damit die Entwicklung der Kundenbeziehung mit genau diesem Anbieter, während die Berücksichtigung eines Wechsels zu externen Anbietern, die meist pauschal erfasst werden, nur am Rande erfolgt.⁷⁸² Dieser Ansatz stellt damit eine Veränderung der Sichtweise des bereits 1965 von EHRENBURG eingeführten Ansatzes dar, der seinerzeit ausschließlich Wechsel zwischen unterschiedlichen Anbietern mit Markov-Ketten modellierte und mit diesem die pluralistischen Anbieterverhältnisse fokussierte, während mit Aufkommen der Migrationsmodelle die pluralistische Kundenstruktur mit ihrem unterschiedlichen Käuferverhalten, bezogen auf Art und Umfang der Inanspruchnahme der von einem Anbieter angebotenen Leistungen und dessen Widerspiegeln in multiplen Segmenten, ins Zentrum des Interesses rückt.⁷⁸³

Markov-Ketten werden zur Abbildung dieses Untersuchungsgegenstands herangezogen, da sie es, wie gezeigt, erlauben, eine Entwicklung im Zeitablauf für ein System mit verschiedenen Zuständen als zufällig zu modellieren.⁷⁸⁴ Die im Rahmen der Customer-Lifetime-Value-Analyse genutzten homogenen Markov-Prozesse zeichnen sich darüber hinaus analog zu den NBD/Pareto-Modellen durch Stationarität, also die

⁷⁸⁰ Vgl. KOHLAS [Methoden] S. 89-92 zur ausführlichen Diskussion potenzieller Einschränkungen. Weiterführende Informationen findet man z. B. bei BEICHELT [Prozesse] S. 177 ff., KOHLAS [Methoden] S. 89 ff. oder ROSANOW [Prozesse] 165 ff.

⁷⁸¹ Vgl. DWYER [CLV] S. 13 f., der jedoch noch nicht die Verbindung zu den Markov-Ketten aufzeigt. Zwar wurde der Einsatz von Markov-Ketten zur Modellierung von Kundenverhalten bereits zu einem deutlich früheren Zeitpunkt (1970) von z. B. MASSY/MONTGOMERY/MORRISON [Buying Behavior] S. 80 ff. vorgestellt, allerdings unter dem Blickwinkel des Wechsels zwischen verschiedenen Anbietern und damit zur Erfassung des Wettbewerbs zwischen konkurrierenden Anbietern.

⁷⁸² Vgl. STEINER [Kundenwertmodellierung] S. 33, PFEIFER/CARRAWAY [Markov] S. 45

⁷⁸³ Vgl. EHRENBURG [Markov] S. 347 ff.

⁷⁸⁴ Vgl. PFEIFER/CARRAWAY [Markov] S. 45

Nichtveränderung der Übergangswahrscheinlichkeiten im Zeitablauf,⁷⁸⁵ sowie die Ordnung der Markov-Eigenschaft aus, jedoch wird aus Gründen der Vereinfachung der mathematischen Berechnung meist von einer ersten Ordnung ausgegangen und aus diesem Grund auch auf die homogenen Ketten zurückgegriffen.⁷⁸⁶ Die Zustände sind übertragen auf die Customer-Lifetime-Value-Betrachtung wiederum die einzelnen Kundensegmente, zu denen auch das Nicht-Kunden-Segment zählt und damit die Wettbewerber pauschal berücksichtigt.⁷⁸⁷ Zwar ließe sich über die pauschale Erfassung aller Wettbewerber als einen Zustand hinaus auch durch Bilden je eines Zustands für einen konkurrierenden Anbieter die Abbildung verschiedener Wettbewerber und damit eine Verbindung der von EHRENBURG und der von DWYER verfolgten Ziele realisieren, jedoch scheint dies nicht erstrebenswert, da der Anbieter meist nicht nachvollziehen können wird, zu welchem der Wettbewerber der Kunde abgewandert ist.⁷⁸⁸

PFEIFER/CARRAWAY nutzen die Übergangswahrscheinlichkeitsmatrix zur Berechnung eines kundenindividuellen Customer Lifetime Value in Abhängigkeit des Alters der Kundenbeziehung, indem sie die Übergangswahrscheinlichkeit mit dem erwarteten Deckungsbeitrag im jeweiligen Kundensegment multiplizieren und gehen damit davon aus, dass die Übergangswahrscheinlichkeit direkt mit der Kaufwahrscheinlichkeit verknüpft ist.⁷⁸⁹ In ihrem Ansatz gehen sie von deterministischen Werten sowohl für die Übergangswahrscheinlichkeit als auch für die zu erwartenden Deckungsbeiträge aus und leiten aus den für Einzelkunden berechneten Customer Lifetime Value Handlungsempfehlungen für die Segmente ab, ohne jedoch darauf einzugehen, ob diese ohne Weiteres bei einer Ermittlung basierend auf einzelkundenspezifischer Daten ohne Berücksichtigung einer Heterogenität der Kunden innerhalb eines Segments zutrifft. Der Ansatz von LIBAI/NARAYANDAS/HUMBY, die dies zwar nicht explizit statuieren, kann als Übertragung der von PFEIFER/CARRAWAY angestoßenen Abbildung der Migrationsmodelle basierend auf Markov-Ketten von der Einzelkundensicht auf die Betrachtung auf Segmentebene zur Berechnung des Customer Equity verstanden werden.⁷⁹⁰ Dazu ist zunächst die Übergangswahrscheinlichkeitsmatrix P_{t-1} , mit $p_{i,j,t-1}$ als die bedingte Wahrscheinlichkeit von Segment i zu Segment j zu wechseln, zu transponieren und mit dem Vektor G_{t-1} , der die Kundenanzahl zum Zeitpunkt $t-1$ in den Segmenten

⁷⁸⁵ Vgl. HANSEN [Markov-Prozesse] S. 283, WALDMANN/STOCKER [Stochastische Modelle] S. 11

⁷⁸⁶ Vgl. ANDERSON/GOODMAN [Markov] S. 99 ff. sowie zur Komplexität der Berechnung bei größerer Ordnung ENGELBRECHT [Kundenwertorientiert] S. 149 ff.

⁷⁸⁷ Vgl. ENGELBRECHT [Kundenwertorientiert] S. 131, JAECK [Wertorientiertes] S. 127

⁷⁸⁸ Als potenzielle Ausnahme dürfte z. B. die Mobilfunkbranche gelten, sofern der Kunde eine Rufnummernmitnahme beantragt und damit dem alten Anbieter den Neuen direkt mitteilt.

⁷⁸⁹ Vgl. PFEIFER/CARRAWAY [Markov] S. 46 f.

⁷⁹⁰ Vgl. ff. LIBAI/NARAYANDAS/HUMBY [Customer Segment Value] S. 72 ff.

beinhaltet, zu multiplizieren, um sodann den Vektor G_t zu erhalten, der die Kundenanzahl in den Segmenten in der folgenden Periode t erfasst.

$$G_t = \begin{pmatrix} p_{1,1,t-1} & \cdots & p_{1,K,t-1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{K,1,t-1} & \cdots & p_{K,K,t-1} \end{pmatrix}^T \cdot \begin{pmatrix} g_{1,t-1} \\ \vdots \\ g_{K,t-1} \end{pmatrix} \quad (78)$$

$$\forall t \in \{1, 2, \dots, T\}$$

Die Übergangswahrscheinlichkeitsmatrix ist zu transponieren⁷⁹¹, damit zeilenweise die Wahrscheinlichkeiten für den Verbleib in einem bestimmten Segment sowie den Übergang hin zu diesem Segment vorliegen.

Im Gegensatz zum vorangehend vorgestellten Ansatz von PFEIFER/CARRAWAY wird in diesem Falle der Übergangswahrscheinlichkeit keine Kaufwahrscheinlichkeit zugeschrieben, da sie den Periodencashflow durch die Multiplikation des Kundenanzahlvektors mit dem periodischen Segmentcashflow-Vektor CF_t ermitteln, der die für die einzelnen Segmente k ermittelten Cashflows $cf_{k,t}$ zum Zeitpunkt t beinhaltet.⁷⁹² Dementsprechend hat die Berechnung des Customer Equity wie folgt vorgenommen zu werden:

$$CE = \sum_{t=1}^{\infty} \left[\left(\begin{pmatrix} p_{1,1,t-1} & \cdots & p_{1,K,t-1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{K,1,t-1} & \cdots & p_{K,K,t-1} \end{pmatrix}^T \cdot \begin{pmatrix} g_{1,t-1} \\ \vdots \\ g_{K,t-1} \end{pmatrix} \right)^T \cdot \begin{pmatrix} cf_{1,t} \\ \vdots \\ cf_{K,t} \end{pmatrix} \cdot \prod_{\tau=1}^t (1+r_{\tau})^{-1} \right] \quad (79)$$

$$\forall t \in \{1, 2, \dots, T\}$$

Die Kaufwahrscheinlichkeit ist somit indirekt im periodischen Segmentcashflow-Vektor berücksichtigt, da LIBAI/NARAYANDAS/HUMBY davon ausgehen, dass dieser auf vergangenheitsbasierten Daten ermittelte, zu erwartende Deckungsbeiträge widerspiegelt.

⁷⁹¹ Dargestellt durch das nicht kursive „T“ um eine Abgrenzung zur Variablen T zu schaffen.

⁷⁹² Vgl. zum vorangehend dargestellten Ansatz PFEIFER/CARRAWAY [Markov] S. 46 f.

Vgl. ff. LIBAI/NARAYANDAS/HUMBY [Customer Segment Value] S. 73

4.3.4.3.1.4.3 Limitationen einer Modellierung des Kundenwechselerhaltens mit Markov-Ketten

Die den Markov-Migrationsmodellen zugrundeliegende Flexibilität, resultierend aus deren Eignung zur Abbildung verschiedenster Kundenverhalten, und die gezeigte breite theoretische Fundierung, insbesondere der auf homogenen Markov-Ketten beruhenden Modelle, bilden die zentralen Vorteile dieser Modelle.⁷⁹³ Darüber hinaus wird die Berücksichtigung des probabilistischen Kundenwechselerhaltens im Gegensatz zu rein deterministischen Modellen positiv hervorgehoben, durch die auch die einer Kundenbeziehung zugrundeliegende Dynamik zumindest ansatzweise erfasst werden kann. Der Umfang der Berücksichtigung dieser Dynamik der Kundenbeziehung ist jedoch gleichzeitig ein zentraler Kritikpunkt an den auf Migrationsansätzen aufbauenden Modellen zur Kundenwertberechnung.⁷⁹⁴ So findet keine ausreichende Berücksichtigung der Dynamik statt, die einer Kundenbeziehung zugrunde liegen, wenn auf eine Berücksichtigung der Veränderlichkeit der sich bei der Customer-Lifetime-Value- oder Customer-Equity-Berechnung im Zeitverlauf einzubeziehenden Deckungsbeiträge verzichtet wird, indem mit einem erwarteten Deckungsbeitragswert gerechnet wird, der gleichzeitig die Kaufwahrscheinlichkeit in diesem einzigen im Zeitverlauf konstanten Wert beinhaltet. Dementsprechend ist eine der Herausforderungen bei der Modellierung des Kundenwechselerhaltens, die für die Berechnungen der Markov-Ketten notwendige Voraussetzung der Homogenität aufzuheben, sodass sowohl

$$P(X_{t_{n+1}} = j | X_{t_n} = i) \neq p_{ij} \quad (80)$$

als auch

$$P(X_{t_{n+1}} = j | X_{t_n} = i) =: p_{i,j,t} \quad (81)$$

gilt und die Übergangswahrscheinlichkeit damit unmittelbar abhängig vom Zeitpunkt t mit $t \in T$ wäre.⁷⁹⁵ Dies ist gleichbedeutend mit der Abbildung des Verhaltens als inhomogene Markov-Kette, bei der zusätzliche Kovariablen, in diesem Fall zunächst die Zeit t , Einfluss auf die Übergangswahrscheinlichkeit nehmen, sodass

$$p_{i,j,t} := P(X_{t_{n+1}} = j | X_{t_n} = i, t) \quad (82)$$

gelten muss und es sich somit um einen dynamischen Markov-Prozess handelt.⁷⁹⁶ Damit geht jedoch eine Abkehr von analytischen Lösungsansätzen einher, wie sie z. B.

⁷⁹³ Vgl. f. ENGELBRECHT [Kundenwertorientiert] S. 148 f., JAECK [Wertorientiertes] S. 126 f. sowie Quellen darin.

⁷⁹⁴ Vgl. ff. ENGELBRECHT [Kundenwertorientiert] S. 149, JAECK [Wertorientiertes] S. 126 f. sowie Quellen darin.

⁷⁹⁵ Vgl. KOHLAS [Methoden] S. 68

⁷⁹⁶ Vgl. f. STEINMANN [Kundenkontakte] S. 162

der Berechnung der erwarteten Verweildauer zugrunde liegen. Gleichzeitig eröffnet dies zahlreiche Möglichkeiten, da die Kovariable nicht zwingend die Zeit sein muss, sondern vielmehr eine Variable sein kann, die ihrerseits von der Zeit abhängig ist.⁷⁹⁷

Neben diesen rein der gewählten Methodik der Markov-Ketten geschuldeten Kritikpunkten fehlt insgesamt eine segmentbasierte Betrachtung unter Berücksichtigung einer im Zeitverlauf erfolgenden Aktualisierung der Profitabilitätsbetrachtung, wie bereits von LIBAI/NARAYANDAS/HUMBY konstatiert wurde.⁷⁹⁸ Jedoch wird dazu auch von diesen weder ein konkreter Vorschlag geliefert, noch wird eine Veränderung der Übergangswahrscheinlichkeiten im Zeitverlauf angestoßen. Eben dies ist jedoch erstrebenswert, um Customer-Equity-Modelle zu entwickeln, die eine Veränderung der Übergangswahrscheinlichkeiten mitberücksichtigen.⁷⁹⁹

Auch gilt eine explizitere Berücksichtigung von Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen zwischen der Dynamik der Kundenbeziehung sowie Maßnahmen des Unternehmens, die die Kundenzufriedenheit beeinflussen, im Rahmen der Customer-Lifetime-Value-Berechnung als bislang weitgehend unberücksichtigt, da dazu die von HEIDEMANN/KAMPRATH/GÖRZ identifizierte Herausforderung der Integration qualitativer Faktoren in die Modelle zu lösen wäre.⁸⁰⁰ Eben dies ließe sich durch die nachfolgend dargestellte Aufhebung der Homogenität der Markov-Ketten durch das Herstellen einer Verbindung mittels eines funktionalen Zusammenhangs zwischen der Veränderung der bedingten Übergangswahrscheinlichkeiten und dem Kundennutzen realisieren.

4.3.4.3.2 Modellierung eines dynamischen Kundenwechselverhaltens in Abhängigkeit der Dienstgüte

4.3.4.3.2.1 Modellierung der Kundenzufriedenheit in Abhängigkeit der Dienstgüte

Um die Kritikpunkte der vorgestellten Modelle zur Berechnung des Wechselverhaltens sowie der darauf zurückgreifenden Modelle zur Berechnung der Customer-Lifetime- oder Customer-Equity-Werte zu eliminieren und die Abbildung des Kundenwechselverhaltens realistischer vorzunehmen, ist das Kundenverhalten als dynamisch, also als mit der Zeit veränderlich, zu modellieren. Da weiterhin diskrete Zeitpunkte betrachtet werden, zu denen die Kunden wechseln, handelt es sich aufgrund der Dynamik um eine inhomogene stochastische Kette, deren Darstellung zunächst in Matrixform, vergleichbar zu der der Übergangswahrscheinlichkeitsmatrix einer inhomogenen Markov-

⁷⁹⁷ Vgl. FAHRMEIR/RABER/KNEIB [Prozesse] S. 67

⁷⁹⁸ Vgl. f. LIBAI/NARAYANDAS/HUMBY [Customer Segment Value] S. 75

⁷⁹⁹ Vgl. VILLANUEVA/HANSENS [Customer Equity] S. 27

⁸⁰⁰ Vgl. HEIDEMANN/KAMPRATH/GÖRZ [Customer Lifetime Value] S. 193

Kette, vorgenommen werden kann.⁸⁰¹ Um die Dynamik zu erfassen, wird davon ausgegangen, dass sich die Übergangswahrscheinlichkeiten von $t - 1$, die in der Matrix P_{t-1} festgehalten sind, zur nächsten Periode t , also P_t in Abhängigkeit der Kundenzufriedenheit ändern. Auf diese Weise wird der Forderung von YANG/PETERSON Rechnung getragen, gemäß derer zur langfristigen, nachhaltigen Kundenbindung der Fokus auf die Kundenzufriedenheit zu legen ist.⁸⁰² Basierend auf einer empirischen Untersuchung zeigen die Autoren in dem von ihnen vorgestellten Customer-Perceived-Value-Modell, dass gerade der Zusammenhang zwischen dem vom Kunden wahrgenommenen Nutzen sowie dessen Kundenzufriedenheit entscheidenden Einfluss auf die Kundenloyalität und damit den Kundenwert haben, wenn davon ausgegangen wird, dass mit einer langfristigeren Kundenbeziehung ein Fortbestehen an positiven Zahlungsmittelzuflüssen beim Leistungsanbieter einhergeht.

Um diesen Zusammenhang auf die Datenübertragungsdienstleistungen zu übertragen, gilt es, die von PARASURAMAN/ZEITHAML/BERRY festgestellte Wechselwirkung zwischen der vom Kunden erwarteten Dienstgüte, der realisierten Dienstgüte und folglich dem Diskonfirmationsparadigma – als Basis der Verbindung der Kundenzufriedenheit und der mit dieser verbundenen Kundenloyalität – aufzugreifen.⁸⁰³ Dementsprechend ist das in Abbildung 38 visualisierte zeitliche Auseinanderfallen zwischen den in der Vorperiode entwickelten Erwartungen eines Kunden und der in der Periode realisierten Kundenzufriedenheit in der Form zu berücksichtigen, dass die Erwartungen, die zum Zeitpunkt $t - 1$ bestanden haben, Einfluss auf die Kundenzufriedenheit in t und damit Einfluss auf das Wechselverhalten zum Zeitpunkt t haben.⁸⁰⁴ Die Modellierung dieser Zusammenhänge, für die eine Wirkung in der Form angenommen wird, dass eine höhere Kundenzufriedenheit zu einem Sinken der Übergangswahrscheinlichkeiten für einen Wechsel zu anderen Segmenten führt und damit zu einem Steigen der Wahrscheinlichkeit für den Verbleib innerhalb des bereits zugehörigen Segments, wird durch die Annahme einer funktionalen, linearen Abhängigkeit aller bedingten Über-

⁸⁰¹ Vgl. HANSEN [Markov-Prozesse], HILFER [Stochastische Modelle] S. 33 sowie JAECK [Wertorientiertes] S. 114

⁸⁰² Vgl. f. YANG/PETERSON [CPV] S. 818

⁸⁰³ Vgl. PARASURAMAN/ZEITHAML/BERRY [Service Quality] S. 45 f.

⁸⁰⁴ Vgl. CADOTTE/ WOODRUFF/JENKINS [Models] S. 306 und LABARBERA/MAZURSKY [Dynamic] S. 393 ff., die das zeitliche Auseinanderfallen zwischen der in der Vorperiode entwickelten Erwartungen und der in der Periode realisierten Kundenzufriedenheit entwickeln. JOHNSON/FORNELL [Satisfaction] S. 277 gehen davon aus, dass mit zunehmender bereits gesammelter Erfahrung des Kunden mit einem Produkt bzw. einer Dienstleistung die vom Kunden gebildeten Erwartungen an das Produkt nicht nur von den gesammelten Erfahrungen abhängig sind, sondern vielmehr die mit der letzten Inanspruchnahme verbundene Performance des Produktes oder der Dienstleistung mit der Erwartung an zukünftige Inanspruchnahmen gleichgesetzt werden kann.

gangswahrscheinlichkeiten $p_{i,j,t}(\cdot)$ von der jeweils zugehörigen bedingten Kundenzufriedenheit $z_{i,j,t}(\cdot)$ realisiert. Die bedingte Kundenzufriedenheit eines Kunden dient nicht nur zur Modellierung von dessen C/D-Paradigma, sondern berücksichtigt vielmehr ein gemäß RUIZ ET AL. bei der Abbildung des Dienstleistungswerts für den Kunden anzustrebendes multidimensionales Konstrukt, welches wiederum zur Erfassung der Kundenzufriedenheit heranzuziehen sei.⁸⁰⁵

Zunächst basiert die bedingte Kundenzufriedenheit auf der Konsumentenrente CS, die den Vorteil quantifiziert, den ein Kunde aus dem Konsum eines Produkts bzw. einer Dienstleistung zieht, und die aus der Differenz der Zahlungsbereitschaft und des vom Kunden zu entrichtenden Entgelts resultiert.⁸⁰⁶ Der Kunde ist entsprechend im Regelfall nur dann bereit, ein Produkt zu kaufen bzw. eine Dienstleistung in Anspruch zu nehmen, wenn die von ihm für die Nutzung des erworbenen Produktes bzw. die Inanspruchnahme der Dienstleistung erwartete Konsumentenrente positiv bzw. nichtnegativ ist, da der Kauf bzw. die Inanspruchnahme der Dienstleistung für ihn andernfalls nachteilhaft im Vergleich zum Unterlassen des Kaufs bzw. der Inanspruchnahme ist:⁸⁰⁷

$$CS = ZB - \text{Entgelt} \quad (83)$$

Der multikriterielle Aspekt der bedingten Kundenzufriedenheit $z_{i,j,t}(\cdot)$ resultiert daraus, dass bei deren Berechnung die in Abbildung 38 übersichtsweise dargestellten multiplen Einflussfaktoren einbezogen werden. Um diese zu berücksichtigen, werden im Wesentlichen zwei verschiedene Fälle bei der Berechnung der bedingten Kundenzufriedenheit unterschieden:

- Der in Formel 84 dargestellte Fall, mit $i = j$, bei dem die bedingte Kundenzufriedenheit aus dem Verhältnis der vom Kundensegment i in Segment i und damit in dem Segment, in dem sich der Kunde befindet, realisierten Konsumentenrente $CS_{i,i,t}^{real}(\cdot)$ und der für dieses Kundensegment für den Zeitpunkt t prognostizierten Konsumentenrente $CS_{i,i,t}^{prog}(\cdot)$ resultiert.

⁸⁰⁵ Vgl. RUIZ ET AL. [Service Value] S. 3 f.

⁸⁰⁶ Vgl. z. B. PINDYCK/RUBINFELD [Mikroökonomie] S. 185. Ebenda stellen diese fest, dass "[d]ie Konsumentenrente [...] die Differenz zwischen dem maximalen Betrag, den ein Konsument für ein Gut zu zahlen bereit ist, und dem Betrag [ist], den der Konsument tatsächlich zahlt." Vgl. auch NEUMANN/MORGENSTERN [Game Theory] S. 17 f. und S. 26 ff. sowie darauf aufbauend KONTEK [Decision Utility Theory] S. 3 oder ROTH [Utility] S. 658 oder auch SKIERA [Preisdifferenzierung] S. 43, die ebenfalls ein ähnliches Vorgehen zum Vergleich verschiedener Auswahlalternativen vorschlagen und darauf hinweisen. Dies gilt jedoch nur für den Fall, dass die „Incentive-Compatibility“-Bedingung, also Anreizkompatibilität, gilt, gemäß der der Kunde genau den Tarif wählt, der ihm den höchsten erwarteten Nutzen zu stiften scheint (Vgl. SKIERA [Preisdifferenzierung] S. 42 f., LAUX [Entscheidungstheorie] S. 364 ff. MYERSON/SATTERTHWAITE [Mechanisms] S. 267 ff.).

⁸⁰⁷ Vgl. SCHÄFERS [Preisgebote] S. 10; ROTH [Preismanagement] S. 27; BALDERJAHN [Preisbereitschaft] S. 388

- Für alle weiteren Fälle, also immer dann wenn $i \neq j$ ist, resultiert die bedingte Kundenzufriedenheit aus dem Verhältnis der realisierten Konsumentenrente $CS_{i,j,t}^{real}(\cdot)$ im Vergleich zu den potenziell in anderen Segmenten j erreichbaren Konsumentenrenten $CS_{i,j,t}^{hyp}(\cdot)$.

Letzteres greift insbesondere die von SWAN/MERCER vorgestellte Idee des Einflusses der Zufriedenheit auf, die aus dem Bedürfnis eines Kunden resultiert, einen mindestens genauso hohen Nutzen im Verhältnis zu den in anderen Segmenten potenziell zu gewinnenden Nutzen erlangen zu wollen.⁸⁰⁸ Für den Fall, dass negative Konsumentenrenten auftreten, wird angenommen, dass die bedingte Kundenzufriedenheit den Wert 0 annimmt, sodass auf diese Weise berücksichtigt ist, dass der Kunde bei der zugrundegelegten nutzenmaximierenden Intention unzufrieden ist.

$$z_{i,j,t}(\cdot) = \begin{cases} \frac{CS_{i,j,t}^{real}(ZB_{i,j,t}^{real}, Entgelt_{i,j,t}^{real}(\cdot))}{CS_{i,j,t}^{prog}(ZB_{i,j,t}^{prog}, Entgelt_{i,j,t}^{prog}(\cdot))} & \forall i = j \quad \begin{array}{l} \text{mit } CS_{i,j,t}^{real}(ZB_{i,j,t}^{real}, Entgelt_{i,j,t}^{real}(\cdot)) > 0 \\ \text{und} \\ \text{mit } CS_{i,j,t}^{prog}(ZB_{i,j,t}^{prog}, Entgelt_{i,j,t}^{prog}(\cdot)) > 0 \end{array} \\ \frac{CS_{i,j,t}^{hyp}(ZB_{i,j,t}^{hyp}, Entgelt_{i,j,t}^{hyp}(\cdot))}{CS_{i,j,t}^{real}(ZB_{i,j,t}^{real}, Entgelt_{i,j,t}^{real}(\cdot))} & \forall i \neq j \quad \begin{array}{l} \text{mit } CS_{i,j,t}^{hyp}(ZB_{i,j,t}^{hyp}, Entgelt_{i,j,t}^{hyp}(\cdot)) > 0 \\ \text{und} \\ \text{mit } CS_{i,j,t}^{real}(ZB_{i,j,t}^{real}, Entgelt_{i,j,t}^{real}(\cdot)) > 0 \end{array} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad (84)$$

Eine bedingte Kundenzufriedenheit größer 1 ist entsprechend vom Kunden als vorteilhaft beurteilt. Dies resultiert daraus, dass die bedingte Kundenzufriedenheit dann einen Wert größer 1 annimmt, wenn die realisierte Konsumentenrente größer als die prognostizierte Konsumentenrente ist. Darüber hinaus ist die bedingte Kundenzufriedenheit immer dann größer 1, wenn die in potenziell anderen Segmenten mit den vom betrachteten Kunden hypothetisch in Anspruch genommenen Datenübertragungsdienstleistungen als realisierbar erachtete Konsumentenrente im Vergleich zu der realisierten Konsumentenrente größer ist.

⁸⁰⁸ Vgl. SWAN/MERCER [Satisfaction] S. 2 f.

Da die Zahlungsbereitschaft als auch die Entgelte für einen typischen, das Segment repräsentierenden Kunden ermittelt sind, fußt auch die Ermittlung der bedingten Kundenzufriedenheit des Segments auf der Annahme, dass basierend auf der für den typischen Kunden berechneten bedingten Kundenzufriedenheit Rückschlüsse auf die in dem Segment bestehende bedingte Kundenzufriedenheit gezogen werden können.

4.3.4.3.2.2 Modellierung der realisierten Konsumentenrente

Das für die Berechnung der realisierten Konsumentenrente $CS_{i,i,t}^{real}(\cdot)$ zu bestimmende realisierte Entgelt $Entgelt_{i,j,t}^{real}(\Psi_{i,t}^{Gesamt}, \Psi_t)$ für einen Kunden des Kundensegments ist entsprechend des dem Kundensegment zugewiesenen Tarifs und in Abhängigkeit der vom Kundensegment in Anspruch genommenen Datenübertragungsdienstleistungen sowie der zum Betrachtungszeitpunkt bestehenden gesamten Datenübertragungsnachfrage zu ermitteln, sodass die Berechnung folglich analog zur bereits in Formel 63 im Zuge der Cashflow-Ermittlung erfolgten Berechnung stattzufinden hat.

Die für die Berechnung der realisierten Konsumentenrente $CS_{i,i,t}^{real}(\cdot)$ zu bestimmende Matrix der realisierten servicelevelspezifischen Zahlungsbereitschaften für ein Kundensegment $ZB_{i,i,t}^{real}(\cdot)$ erfolgt analog zum in Formel 37 festgehaltenen Vorgehen zur Ermittlung der anwendungsspezifischen Zahlungsbereitschaften, die den Ausgangspunkt für die realisierte servicelevelspezifische Zahlungsbereitschaft bilden. Diese sind entsprechend als Zahlungsbereitschaftsfunktionen $zb_{i,i,t,\hat{s}_{i,\bar{a}}}^{real}(\psi_{i,t,\hat{s}_{i,\bar{a}}}, u_{i,t,\hat{s}_{i,\bar{a}}}(d_{t,f_i(\hat{s}_{i,\bar{a}})}))$, die abhängig von der realisierten Nachfrage $\psi_{i,t,\hat{s}_{i,\bar{a}}}$ und dem für diese Nachfrage realisierten Nutzen der Dienstgüter $u_{i,t,\hat{s}_{i,\bar{a}}}(d_{t,f_i(\hat{s}_{i,\bar{a}})})$ sind, ausgestaltet und werden zur Ermittlung von $ZB_{i,i,t}^{real}$ aufsummiert, sodass Folgendes gelte:

$$ZB_{i,i,t}^{real} = \sum_{\bar{a}=1}^{\tilde{A}} zb_{i,i,t,\hat{s}_{i,\bar{a}}}^{real}(\psi_{i,t,\hat{s}_{i,\bar{a}}}, u_{i,t,\hat{s}_{i,\bar{a}}}(d_{t,f_i(\hat{s}_{i,\bar{a}})})) \quad \forall i \in \{1, 2, 3, \dots, K\} \quad (85)$$

4.3.4.3.2.3 Modellierung der prognostizierten Konsumentenrente

Das für die Berechnung der in Formel 84 benötigten prognostizierten Konsumentenrente $CS_{i,i,t}^{prog}(\cdot)$ zu bestimmende prognostizierte Entgelt $Entgelt_{i,i,t}^{prog}(\Psi_{i,t}^{Gesamt}, \Psi_{t-1})$ für einen Kunden eines Kundensegments wird entsprechend des dem Kundensegment zugewiesenen Tarifs und in Abhängigkeit der vom Kundensegment in Anspruch genommenen Datenübertragungsdienstleistungen sowie der in der zum Betrachtungszeitpunkt vorangegangenen Periode vorgelegenen Datenübertragungsnachfrage, also der Nachfrage zum Zeitpunkt $t-1$ und damit Ψ_{t-1} , ermittelt. Dass das prognostizierte Entgelt für den Zeitpunkt t herangezogen wird, resultiert daraus, dass davon aus-

gegangen wird, dass die Zufriedenheit zum Zeitpunkt t ermittelt wird und entsprechend das für den Zeitraum $t - 1$ bis t prognostizierte Entgelt auf die Zufriedenheit Einfluss nimmt.

Der bei der Ermittlung für das zum Zeitpunkt t prognostizierte Entgelt heranzuziehende vom Kunden erwartete Preis basiert auf dem in der vorangegangenen Periode für die Inanspruchnahme der Datenübertragungsdienstleistungen entrichteten Entgelt. Entsprechend fließt die Nachfrage der vorangegangenen Periode nach Datenübertragungsdienstleistungen als Erwartung in die Berechnung ein, wenn davon ausgegangen wird, dass die Nachfrage Einfluss auf das Entgelt hat. Um unabhängig von der gewählten Bepreisung eine Berechnung des erwarteten Entgeltes für die zu betrachtende Periode zu realisieren, wird aus dem in der Vorperiode realisiertem Entgelt in Verbindung mit dem dem Entgelt zugrundeliegenden segmentspezifischen Nutzungsverhalten ein durchschnittlicher Preis pro Mengeneinheit für alle Kundensegmente berechnet. Multipliziert man diesen durchschnittlichen Preis mit der für die betrachtete Periode erwarteten Inanspruchnahme der Datenübertragungsdienstleistungen, so resultiert daraus das erwartete Entgelt. Dieses Vorgehen ist die einfachste Form der Prognose des Entgelts, die auch in der Realität für Kunden praktikabel erscheint, um vom in der Vergangenheit gelebten Nutzerverhalten und dem damit verbunden Entgelt auf das in der aktuellen Periode zu erwartende Entgelt zu schließen. Dabei ist die Berechnung unabhängig von der Komplexität der zugrundeliegenden Berechnung des Entgeltes für den Kunden auch approximativ möglich.

Die Ermittlung der für die Berechnung der prognostizierten Konsumentenrente $CS_{i,t}^{prog}(\cdot)$ zu bestimmenden prognostizierten servicelevelspezifischen Zahlungsbereitschaften $zb_{i,t,\hat{s}_{i,\bar{a}}}^{prog}$ eines Kundensegments erfolgt analog zum in Formel 37 festgehaltenen Vorgehen zur Ermittlung der anwendungsspezifischen Zahlungsbereitschaft. Die Ausgestaltung der Funktion, die zur Ermittlung der prognostizierten Zahlungsbereitschaft $zb_{i,t,\hat{s}_{i,\bar{a}}}^{prog}(\psi_{i,t,\hat{s}_{i,\bar{a}}}, u_{i,t-1,\hat{s}_{i,\bar{a}}}(d_{t-1,f_i(\hat{s}_{i,\bar{a}})}))$ herangezogen wird, erfolgt in Abhängigkeit von der zum Zeitpunkt t realisierten Nachfrage $\psi_{i,t,\hat{s}_{i,\bar{a}}}$ sowie des bereits in der Vorperiode realisierten Nutzens der Dienstgüter $u_{i,t-1,\hat{s}_{i,\bar{a}}}(d_{t-1,f_i(\hat{s}_{i,\bar{a}})})$, sodass für die gesamte prognostizierte Zahlungsbereitschaft $ZB_{i,t}^{prog}$

$$ZB_{i,t}^{prog} = \sum_{\bar{a}=1}^{\bar{A}} zb_{i,t,\hat{s}_{i,\bar{a}}}^{prog}(\psi_{i,t,\hat{s}_{i,\bar{a}}}, u_{i,t-1,\hat{s}_{i,\bar{a}}}(d_{t-1,f_i(\hat{s}_{i,\bar{a}})})) \quad \forall i \in \{1, 2, 3, \dots, K\} \quad (86)$$

gilt. Gemäß dieser Einflussfaktoren bezieht die prognostizierte Zahlungsbereitschaftsfunktion $ZB_{i,t}^{prog}(\cdot)$ folglich gleichfalls die Erwartungen des im Kundensegment befindlichen Kunden an den Nutzen der Dienstgüter – basierend auf den in der Vorperiode gesammelten Erfahrungen – in die Zahlungsbereitschaftsberechnung ein und greift

damit den bereits bei der Ermittlung der Zahlungsbereitschaft mitberücksichtigten, von WOODRUFF/CADOTTE/JENKINS vorgebrachten Modellierungsansatz auf. Gemäß diesem Ansatz hat ein Kunde basierend auf in der Vergangenheit beobachteten Kundenerfahrungen eine normierte Erwartung, in diesem Falle an die Dienstgüte, die mit in die Kundenzufriedenheitsermittlung einfließt.⁸⁰⁹

4.3.4.3.2.4 Modellierung der hypothetischen Konsumentenrente

Das für die Bestimmung der hypothetischen Konsumentenrente $CS_{i,j,t}^{hyp}(\cdot)$ zu berechnende hypothetische Entgelt $Entgelt_{i,j,t}^{hyp}(\Psi_{i,j,t}^{Gesamt}, \Psi_t)$ eines Kunden des Kundensegments i wird zwar gleichfalls basierend auf der anwendungsspezifischen Nachfrage des Kunden i ermittelt, jedoch unter Rückgriff auf den dem Kundensegment j zugewiesenen Tarif. Um die anwendungsspezifischen Nachfragen entsprechend der in Segment j vorgesehenen Servicelevelzugehörigkeit zuzuweisen, sei $\vartheta_{j,s}(\dot{s}_{i,\tilde{a}})$ erneut als duale Variable ausgestaltet, die genau dann den Wert 1 annimmt, wenn die anwendungsspezifische Nachfrage $\psi_{i,t,\dot{s}_{i,\tilde{a}}}(\cdot)$ von Segment i gemäß des in Segment j geltenden Tarifs in Servicelevel s bedient wird. Entsprechend sei $\tilde{A}_{i,j,s}$ die Menge der kundensegment- und anwendungsspezifischen Servicelevel $\dot{s}_{i,\tilde{a}}$, die vom Datenübertragungsdienstleistungsanbieter im von ihm für Kundensegment j angebotenen Servicelevel s übertragen werden.

$$\text{mit } \vartheta_{j,s}(\dot{s}_{i,\tilde{a}}) = \begin{cases} 0 & \text{wenn } \dot{s}_{i,\tilde{a}} \notin \tilde{A}_{i,j,s} \\ 1 & \text{wenn } \dot{s}_{i,\tilde{a}} \in \tilde{A}_{i,j,s} \end{cases} \quad (87)$$

$$\forall \tilde{a} \in \{1, 2, \dots, \tilde{A}\} \quad i \in \{1, 2, \dots, K\}, j \in \{1, 2, \dots, K\}$$

Entsprechend sind die servicelevelspezifischen Nachfragen $\psi_{i,j,t,s}$ wie folgt neu zu berechnen, um eine Basis zur Ermittlung der Entgelte zu schaffen, da die Zuweisung der Anwendungen zu den angebotenen Serviceleveln in den Segmenten j nicht mit der Zuweisung in i übereinstimmen muss:

$$\psi_{i,j,t,s} = \sum_{\tilde{a}=1}^{\tilde{A}} \psi_{i,t,\dot{s}_{i,\tilde{a}}}(\cdot) \cdot \vartheta_{j,s}(\dot{s}_{i,\tilde{a}}) \quad \forall s \in \{1, 2, \dots, S\}, k \in \{1, 2, 3, \dots, K\} \quad (88)$$

Die ferner für die Berechnung der hypothetischen Konsumentenrente $CS_{i,j,t}^{hyp}(\cdot)$ zu bestimmenden hypothetischen servicelevelspezifischen Zahlungsbereitschaften für einen Kunden des Kundensegments $zb_{i,j,t,\dot{s}_{i,\tilde{a}}}^{hyp}(\cdot)$ werden analog zu dem in Formel 37

⁸⁰⁹ Vgl. WOODRUFF/CADOTTE/JENKINS [Modeling] S. 299

festgehaltenen Vorgehen zur Ermittlung der anwendungsspezifischen Zahlungsbereitschaft bestimmt. $zb_{i,j,t,\hat{s}_{i,\hat{a}}}^{hyp}(\psi_{i,t,\hat{s}_{i,\hat{a}}}, u_{i,t,\hat{s}_{i,\hat{a}}}(d_{t,f_j(\hat{s}_{i,\hat{a}})}))$ ist sodann als Zahlungsbereitschaftsfunktion ausgestaltet, die abhängig von der Nachfrage $\psi_{i,t,\hat{s}_{i,\hat{a}}}$ sowie des realisierten Nutzens der Dienstgüte $u_{i,t,\hat{s}_{i,\hat{a}}}(d_{t,f_j(\hat{s}_{i,\hat{a}})})$ ist. Die Nutzenfunktion ist zwar weiterhin die des betrachteten Kundensegments i , basiert jedoch nun auf dem für Segment j gültigen Tarif und den mit diesem Tarif vorzunehmenden Zuweisungen der Anwendungen zu den Serviceleveln:

$$ZB_{i,j,t}^{hyp} = \sum_{\hat{a}=1}^{\tilde{A}} zb_{i,j,t,\hat{s}_{i,\hat{a}}}^{hyp}(\psi_{i,t,\hat{s}_{i,\hat{a}}}, u_{i,t,\hat{s}_{i,\hat{a}}}(d_{t,f_j(\hat{s}_{i,\hat{a}})})) \quad \forall i \in \{1, 2, 3, \dots, K\} \quad (89)$$

4.3.4.3.2.5 Modellierung der Abhängigkeit der Übergangswahrscheinlichkeit von der Dienstgüte

Durch das Aufgreifen der Konsumentenrente bei der Berechnung der bedingten Kundenzufriedenheit und damit der Entgelte, die der Kunde für die Dienstleistung zu zahlen hat, wird der von TAM diskutierte Einfluss der kundenseitigen Kosten auf die Kundenzufriedenheit berücksichtigt.⁸¹⁰ Darüber hinaus wird auch die Idee von INMAN/DYER/JIA aufgegriffen, die zeigen, dass für die Beurteilung der Kundenzufriedenheit auch die nicht gewählten Alternativen einen Einfluss haben.⁸¹¹ Bei dem vorangehend dargestellten Ansatz zur Berechnung der bedingten Kundenzufriedenheit findet ein Vergleich basierend auf den aktuellen Nutzungsmustern statt. Es wird folglich dem Gedanken von z. B. KAHNEMAN/SNELL oder auch LUCE Rechnung getragen, die davon ausgehen, dass Nutzer zukünftige Nutzungspräferenzen bezüglich Art und Umfang der Inanspruchnahme gemäß ihrer aktuellen Präferenzen beurteilen.⁸¹²

Um die zwischen der Kundenzufriedenheit und der Höhe der Übergangswahrscheinlichkeiten bestehenden Wechselwirkungen in dem Modell abzubilden, werden die bedingten Übergangswahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit von der bedingten Kundenzufriedenheit modelliert. Die Übergangswahrscheinlichkeiten der nächsten Periode resultieren dann entsprechend aus der Erfüllung der gebildeten Erwartung im Vergleich zu der Kundenzufriedenheit, die in anderen Tarifen hätte erreicht werden können, indem die Veränderungen der Übergangswahrscheinlichkeiten der Vorperiode auf

⁸¹⁰ Vgl. TAM [Customer Satisfaction] S. 897 ff.

⁸¹¹ Vgl. INMAN/DYER/JIA [Regret] S. 97 ff., vgl. auch das Erwartungsnutzenkonzept von VON NEUMANN/MORGENSTERN [Game Theory], die die Unsicherheit bei einer Entscheidung mitberücksichtigen.

⁸¹² Vgl. KAHNEMAN/SNELL [Utility] S. 295 ff., LUCE [Consumption Quantity] S. 584 ff., SIMONSON [Variety-Seeking Behavior] S. 150 ff.

dieser Abhängigkeit basieren. Mit der Modellierung der Abhängigkeit der bedingten Übergangswahrscheinlichkeiten von der Kundenzufriedenheit wird durch das Einbeziehen der realisierten Entgelte wiederum der mit dem Customer-Lifetime-Value-Ansatz verbundenen Idee Rechnung getragen, dass nicht nur eine mit der Kundenzufriedenheitsbetrachtung zeitlich rückwärtsgerichtete Analyse notwendig ist, sondern vielmehr eine die zukünftige Entwicklung der Kunden berücksichtigende Analyse zur Erfassung des Customer Lifetime Value und damit bei Erweiterung um die Anzahl der im Segment befindlichen Kunden auch des Customer Equity vonnöten ist.⁸¹³

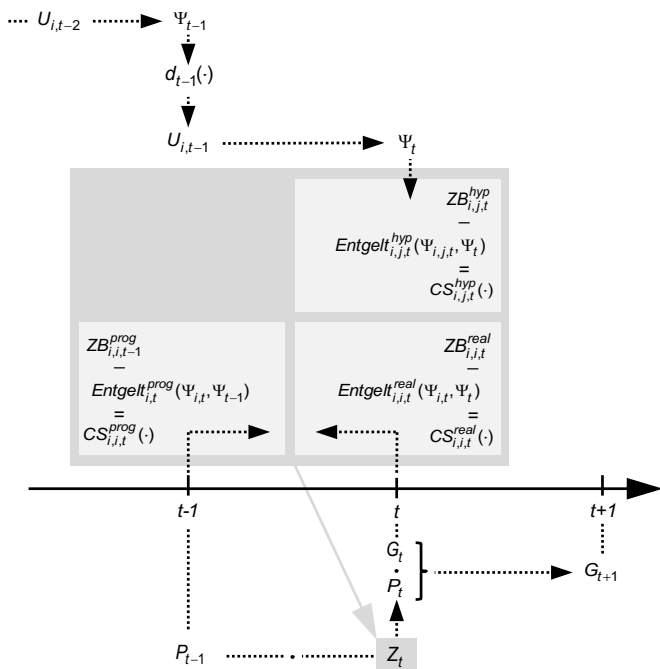


Abbildung 38: Visualisierung der Einflüsse auf die Wechselwahrscheinlichkeit

Der gewählte Ansatz greift ferner die vorgestellte Modellierung der Zahlungsbereitschaft auf, da er – wie vorangehend beschrieben – die Kundenzufriedenheit im Sinne eines Nutzenvergleichs zwischen den potenziell verfügbaren Tarifen und den Nutzer-

⁸¹³ Vgl. zur Gegenüberstellung der Konzepte des Customer Value sowie der Customer Satisfaction z. B. EGGERT/ULAGA [CPV] S. 110.

segmenten in der Kundenzufriedenheit integrativ berücksichtigt. Um dies zu realisieren, hängen die Übergangswahrscheinlichkeiten von eben dieser Kundenzufriedenheit ab. Es erfolgt somit eine dynamische Modellierung sowohl des Wechselverhaltens als auch der Segmentgröße im Betrachtungszeitraum, sodass sich die Matrix mit den Übergangswahrscheinlichkeiten zwischen den Kundensegmenten mit den einzelnen Übergangswahrscheinlichkeiten $p_{i,j,t}(z_{i,j,t}(\cdot))$ wie folgt ergibt:

$$P_t = \begin{pmatrix} p_{1,1,t}(z_{1,1,t}(\cdot)) & \cdots & p_{1,K,t}(z_{1,K,t}(\cdot)) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{K,1,t}(z_{K,1,t}(\cdot)) & \cdots & p_{K,K,t}(z_{K,K,t}(\cdot)) \end{pmatrix} \quad \forall t \in \{1, 2, \dots, T\} \quad (90)$$

Die Abhängigkeit von der Kundenzufriedenheit ist dabei so zu definieren, dass für $z_{i,j,t} > 1$ eine Erhöhung der Wahrscheinlichkeit für einen Verbleib (für $j = i$) oder für einen Wechsel (für $j \neq i$) in ein anderes Kundensegment j zustande kommt und damit dem Gedanken Rechnung getragen wird, dass der Nutzer seine Konsumentenrente maximiert. Im entgegengesetzten Fall, für $z_{i,j,t} < 1$, sinkt die Wahrscheinlichkeit für einen Verbleib bzw. einen Wechsel in ein anderes Kundensegment entsprechend. Für den Fall $z_{i,j,t} = 1$ bleiben die bedingten Übergangswahrscheinlichkeiten unverändert. Um die vorangehend formulierte Abhängigkeit zu modellieren, wird wie in Formel 92 dargestellt eine lineare Abhängigkeit zwischen der Kundenzufriedenheit und der bedingten Übergangswahrscheinlichkeit angenommen. Der zweite Teil der Formel 92 dient als Korrekturfaktor, der sicherstellt, dass trotz der Änderung der Übergangswahrscheinlichkeiten die Nebenbedingung erfüllt bleibt, die bereits für Markov-Ketten definiert wurde und die verlangt, dass die Summe der Übergangswahrscheinlichkeiten von einem Segment zu allen anderen inklusive des Verbleibs im Segment stets eins ist. Somit muss folgende Nebenbedingung erfüllt sein:⁸¹⁴

$$\sum_{j=1}^K p_{i,j,t-1} \cdot \delta_i \cdot z_{i,j,t}(\cdot) = 1 \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, K\} \quad (91)$$

Um diese Bedingung zu erfüllen, wird die neu ermittelte jeweilige bedingte Übergangswahrscheinlichkeit um ihren anteiligen Beitrag zur Abweichung von 1 korrigiert. Die Veränderung der Übergangswahrscheinlichkeiten wird dabei mitberücksichtigt, da die nach der Multiplikation mit der Kundenzufriedenheit und einem kundensegmentspezifischen Skalierungsparameter⁸¹⁵ δ_i berechneten, nicht auf eins genormten neuen

⁸¹⁴ Vgl. z. B. WAGNER/TAUDES [Stochastic Models] S. 8, KOHLAS [Methoden] S. 88

⁸¹⁵ Die zugrundeliegende Ermittlung der Kundenzufriedenheit (vgl. Formel 83) kann bei der Berechnung der bedingten Übergangswahrscheinlichkeiten kurzfristig zu starken Veränderungen des

Übergangswahrscheinlichkeiten herangezogen werden. Der Term unterhalb des Bruchstriches bildet den Kehrwert des Anteils der noch nicht auf eins genormten Übergangswahrscheinlichkeit an der Summe aller ebenfalls noch nicht auf eins genormten, sondern nur mit der Kundenzufriedenheit und dem Skalierungsparameter multiplizierten Übergangswahrscheinlichkeiten der Zeile ab und wird sodann mit der insgesamt innerhalb der Zeile bestehenden Abweichung von eins multipliziert.

$$p_{i,j,t}(z_{i,j,t}(\cdot)) = \underbrace{(p_{i,j,t-1} \cdot \delta_i \cdot z_{i,j,t}(\cdot))}_{\text{erster Teil}} - \underbrace{\frac{\left(\sum_{j=1}^K p_{i,j,t-1} \cdot \delta_i \cdot z_{i,j,t}(\cdot) \right) - 1}{\frac{\sum_{j=1}^K p_{i,j,t-1} \cdot \delta_i \cdot z_{i,j,t}(\cdot)}{p_{i,j,t-1} \cdot \delta_i \cdot z_{i,j,t}(\cdot)}}}_{\text{zweiter Teil}} \quad (92)$$

$\forall i \in \{1, 2, \dots, K\}, j \in \{1, 2, \dots, K\}$

Die Annahme eines linearen Zusammenhangs resultiert daraus, dass keine fundierten empirischen Erkenntnisse über tatsächliche Zusammenhänge vorliegen.⁸¹⁶ Für den linearen Zusammenhang gilt die in Formel 91 dargestellte Berechnung für die bedingte Übergangswahrscheinlichkeit unter der Annahme, dass es sich um Nutzer handelt, die ihre Konsumentenrente maximieren. Negative bedingte Übergangswahrscheinlichkeiten können hierbei nicht auftreten, da der Korrekturfaktor nie größer als der erste vor dem Subtraktionszeichen stehende Teil werden kann. Eben dies wird folgend durch die Umformung gezeigt, da der Subtraktionsterm vollständig eliminiert werden kann und sich die gesamte Formel auf einen einzigen Divisionsterm verkürzen lässt. Zwar kann mit der Umformung gezeigt werden, dass negative Wahrscheinlichkeiten

Wechselverhaltens führen und ist daher um einen kundensegmentspezifischen Skalierungsfaktor zu erweitern. So führt $\delta_i < 1$ zu einer Schmälerung der Änderungswirkung der bedingten Kundenzufriedenheit auf die zukünftige bedingte Wechselwahrscheinlichkeit. Der Skalierungsfaktor kann darüber hinaus auch zur Erfassung der Tatsache dienen, dass einzelne Kundensegmente potenziell unterschiedlich stark auf eine geringe Kundenzufriedenheit reagieren und damit gleichzeitig die Veränderung der Übergangswahrscheinlichkeiten bei gleicher Kundenzufriedenheit nicht zwingend dieselbe Amplitude haben muss.

⁸¹⁶ Es ließen sich auch mehrdimensionale Zusammenhänge einbinden, indem die in Formel 91 im ersten Teil gewählte multiplikative Verknüpfung modifiziert wird. In Abhängigkeit der für den mehrdimensionalen Fall gewählten Modellierung wäre entsprechend auch eine Anpassung des zweiten Teils der Formel notwendig.

ausgeschlossen bleiben, jedoch zeigt diese Darstellung nicht so schön, wie die Normierung vorgenommen wird, sodass folgend weiterhin auf die längere Formel 92 zurückgegriffen werden wird.

$$\begin{aligned}
 p_{i,j,t}(z_{i,j,t}(\cdot)) &= p_{i,j,t-1} \cdot \delta_i \cdot z_{i,j,t}(\cdot) - \frac{\left(\sum_{j=1}^K p_{i,j,t-1} \cdot \delta_i \cdot z_{i,j,t}(\cdot) \right) - 1}{\left[\frac{\sum_{j=1}^K p_{i,j,t-1} \cdot \delta_i \cdot z_{i,j,t}(\cdot)}{p_{i,j,t-1} \cdot \delta_i \cdot z_{i,j,t}(\cdot)} \right]} \\
 &= p_{i,j,t-1} \cdot \delta_i \cdot z_{i,j,t}(\cdot) - \frac{\left(\sum_{j=1}^K p_{i,j,t-1} \cdot \delta_i \cdot z_{i,j,t}(\cdot) \right) \cdot (p_{i,j,t-1} \cdot \delta_i \cdot z_{i,j,t}(\cdot))}{\sum_{j=1}^K p_{i,j,t-1} \cdot \delta_i \cdot z_{i,j,t}(\cdot)} \\
 &\quad - \frac{p_{i,j,t-1} \cdot \delta_i \cdot z_{i,j,t}(\cdot)}{\sum_{j=1}^K p_{i,j,t-1} \cdot \delta_i \cdot z_{i,j,t}(\cdot)} \\
 &= p_{i,j,t-1} \cdot \delta_i \cdot z_{i,j,t}(\cdot) - \left[\frac{p_{i,j,t-1} \cdot \delta_i \cdot z_{i,j,t}(\cdot)}{\sum_{j=1}^K p_{i,j,t-1} \cdot \delta_i \cdot z_{i,j,t}(\cdot)} \right] \\
 &= \frac{p_{i,j,t-1} \cdot \delta_i \cdot z_{i,j,t}(\cdot)}{\sum_{j=1}^K p_{i,j,t-1} \cdot \delta_i \cdot z_{i,j,t}(\cdot)}
 \end{aligned} \tag{93}$$

$$\forall i \in \{1, 2, \dots, K\}, j \in \{1, 2, \dots, K\}$$

Für den Sonderfall, dass $z_{i,j,t} = 0$ ist, wird die neue Übergangswahrscheinlichkeit gleichfalls 0. Dies scheint zunächst plausibel, da der Umstand, dass die bedingte Kundenzufriedenheit 0 wird, daraus resultiert, dass negative Konsumentenrenten erreicht wurden, und somit ein Wechsel in dieses Kundensegment bei der vom Kunden verfolgten Nutzenmaximierung unattraktiv ist. Mit dem Herabsetzen auf 0 wird jedoch auch eine zukünftige positive bedingte Kundenzufriedenheit nicht mehr zum Ansteigen

der Übergangswahrscheinlichkeiten führen können. Somit wird vernachlässigt, dass in den Übergangswahrscheinlichkeiten mehr als nur die von der Dienstgüte beeinflusste Kundenzufriedenheit abgebildet ist. Vielmehr sind in den bedingten Übergangswahrscheinlichkeiten auch Segmentwechsel inbegriffen, die z. B. auf ein verändertes Kundennutzenverhalten zurückzuführen sind.

Es kann sogar davon ausgegangen werden, dass im Fall von in anderen Segmenten hypothetisch zu erwartenden negativen Konsumentenrenten stark differierende Nutzungsmuster bestehen und die negativen Konsumentenrenten nicht auf Unzufriedenheit zurückzuführen sind, die aus der nicht zur vollständigen Befriedigung der Bedürfnisse bereitgestellten Dienstgüte resultiert. Um den Fokus weiterhin auf die Veränderungen der Übergangswahrscheinlichkeiten zu legen, die von der Dienstgüte beeinflusst werden, und ein erneutes Ansteigen der Übergangswahrscheinlichkeiten im Modell zu ermöglichen, wird für den Fall $z_{ij,t-1} = 0$ angenommen, dass die Kundenzufriedenheit unverändert bleibt. Entsprechend ist $p_{ij,t}(z_{ij,t}(\cdot))$ durch $\ddot{p}_{ij,t}(z_{ij,t}(\cdot))$ zu ersetzen:

$$\ddot{p}_{ij,t}(\cdot) = \ddot{p}_{ij,t}(\cdot) - \frac{\left(\sum_{j=1}^K \ddot{p}_{ij,t}(\cdot) \right) - 1}{\left[\frac{\sum_{j=1}^K \ddot{p}_{ij,t}(\cdot)}{\ddot{p}_{ij,t}} \right]} \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, K\}, j \in \{1, 2, \dots, K\} \quad (94)$$

mit

$$\ddot{p}_{ij,t}(z_{ij,t}(\cdot)) = \begin{cases} p_{ij,t-1} \cdot \delta_j \cdot z_{ij,t}(\cdot) - \frac{\left(\sum_{j=1}^K p_{ij,t-1} \cdot \delta_j \cdot z_{ij,t}(\cdot) \right) - 1}{\left[\frac{\sum_{j=1}^K p_{ij,t-1} \cdot \delta_j \cdot z_{ij,t}(\cdot)}{p_{ij,t-1} \cdot \delta_j \cdot z_{ij,t}(\cdot)} \right]} & \forall z_{ij,t}(\cdot) > 0 \\ p_{ij,t-1} & \forall z_{ij,t}(\cdot) = 0 \end{cases}$$

$$\forall i \in \{1, 2, \dots, K\}, j \in \{1, 2, \dots, K\}$$

Da die Effekte der Kundenzufriedenheit jedoch nicht unmittelbar, im Sinne von sekundlich oder in noch kürzeren zeitlichen Abständen erfolgenden Anpassungen des Nutzungsverhaltens zu beobachten sind, sondern gemäß der der Bepreisung von Endkunden zugrunde liegenden Vertragslaufzeit langfristig Einfluss auf das Nutzungsverhalten haben, sind unmittelbare Reaktionen seitens des Nutzers in Form von impulsiven Handlungen ausgeschlossen. Bei der Modellierung der Abhängigkeiten ist entsprechend die Kundenzufriedenheit über einen zur Vertragslaufzeit analogen Zeitraum zu berücksichtigen. Somit ist in die Modellierung einzubeziehen, dass die für den Kunden nicht zwingend relevanten Segmentwechselzeitpunkte mit den Zeitpunkten, zu denen die Kundenzufriedenheit wahrgenommen wird, übereinstimmen. Entsprechend ist eine Berechnung der Veränderung der Übergangswahrscheinlichkeiten auf einer anderen Zeitskala vorzunehmen, als diejenige, die zur Erfassung der Kundenzufriedenheit gewählt wurde.

Neben einer Gleichgewichtung im Zuge einer arithmetischen Durchschnittsermittlung der innerhalb des Zeitintervalls bedingten Kundenzufriedenheiten sind auch abweichende Gewichtungen realisierbar. Denkbar ist beispielsweise, dass die unmittelbar vor einem Intervallende wahrgenommenen Kundenzufriedenheiten durch einen Gewichtungsfaktor einen höheren Einfluss auf die Veränderung der Übergangswahrscheinlichkeiten haben, als die weiter in der Vergangenheit liegenden Kundenzufriedenheiten. Bei einem solchen Vorgehen wird unterstellt, dass innerhalb der Betrachtungsperiode länger zurückliegende Nutzeneindrücke des Konsumenten verblassen und dementsprechend einen geringeren Einfluss auf die Entscheidung des Kunden für ein Verbleiben oder ein Verlassen des Kundensegments haben.

Auch bei der Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistungen ist eine Durchschnittsbetrachtung notwendig, da sich der Kundennutzen für jeden im Tagesverlauf betrachteten Zeitpunkt erfassen lässt, die Bepreisungsansätze hingegen meist eine langfristige Kundenbindung mit fixierten Wechselzeitpunkten vorsehen. Um die zur Modifikation der bedingten Übergangswahrscheinlichkeiten heranzuziehende bedingte Kundenzufriedenheit auf einen längeren Betrachtungshorizont auszudehnen, sind folgende Implementierungsansätze denkbar:

- Heranziehen eines mehrere Zeitpunkte umfassenden und damit über einen längeren Zeitraum betrachteten Durchschnitts der in diesem Zeitraum realisierten bedingten Kundenzufriedenheiten, so wie dies bereits für unterschiedliche Zeitskalen als sinnvoll identifiziert wurde. Auch in diesem Fall sind nur die bedingten Kundenzufriedenheiten zu berücksichtigen, die größer 0 sind, um die Kundenwechsel zu fokussieren,

- die auf die aus dem sich im Zeitverlauf verändernden Nutzen der in Anspruch genommenen Dienstgüter resultiert.
- Alternativ lässt sich die Berechnungsbasis der bedingten Kundenzufriedenheit modifizieren, indem diese nicht länger für alle Zeitpunkte gesondert ermittelt wird, sondern deren Berechnung auf den durchschnittlichen Konsumentenrenten innerhalb eines festgelegten Intervalls aufbaut und damit z. B. nur noch die bedingte Kundenzufriedenheit eines Tages ermittelt wird. Die zur Ermittlung der bedingten Kundenzufriedenheit heranzuziehenden Konsumentenrenten hingegen werden für alle Zeitpunkte ermittelt, um sodann deren in dem gewählten Intervall auftretenden Durchschnittswerte zur Berechnung der bedingten Kundenzufriedenheit eines Tages heranzuziehen. Im Zuge der Berechnung der durchschnittlichen Konsumentenrenten sind auch in diesem Fall nur die Konsumentenrenten zu berücksichtigen, die keinen negativen Wert annehmen.

Das Heranziehen der durchschnittlichen bedingten Kundenzufriedenheit ist sowohl für die Betrachtung auf Segmentebene als auch für eine kundenindividuelle Betrachtung sinnvoll. Für das letztgenannte Betrachtungsszenario erschließt sich die Notwendigkeit der Durchschnittsbetrachtung unmittelbar, da der einzelne Kunde aufgrund der in der Realität oftmals bestehenden vertraglichen Bindung nicht in der Lage ist, spontan das Kundensegment zu verlassen. Gleichzeitig sind starke Veränderungen der Kundensegmentgröße nicht möglich, sodass auch die bedingten Übergangswahrscheinlichkeiten keinen unmittelbaren starken Schwankungen unterworfen sein sollten.

Die Vorgehensweisen zur Modifikation der Übergangswahrscheinlichkeiten führen dazu, dass situativ auftretende Schwankungen der bedingten Kundenzufriedenheit ein dauerhaft verändertes Wechselverhalten bewirken. Dies bedeutet, dass nachdem die Kunden, die situativ unzufrieden waren und bereits in ein anderes Segment gewechselt sind, die Wahrscheinlichkeit für einen Verbleib im Segment wieder steigen sollte. Entsprechend wird im Folgenden eine durchschnittliche bedingte Übergangswahrscheinlichkeit $\bar{p}_{i,j,t}$ für die Neuermittlung der Veränderung der bedingten Übergangswahrscheinlichkeiten herangezogen. Die dieser Durchschnittsermittlung zugrunde gelegte Anzahl an Zeitpunkten \bar{t} , anhand derer der Durchschnitt ermittelt wird, beinhaltet jedoch nur $\lceil \bar{t}/2 \rceil$ berechnete bedingte Übergangswahrscheinlichkeiten, die basierend auf den bedingten Kundenzufriedenheiten ermittelt wurden. Für die andere Hälfte der bei der Durchschnittsermittlung herangezogenen bedingten Übergangswahrscheinlichkeiten wird auf eine bedingte Basisübergangswahrscheinlichkeit $p_{i,j,Basis}$ zurückgegriffen, die alle weiteren Einflüsse, die in diesem Modell nicht explizit adressiert sind, widerspiegelt; $p_{i,j,Basis}$ kann z. B. basierend auf in der Vergangenheit beobachteten und

mittels empirischer Studien abgeleiteten Übergangswahrscheinlichkeiten ermittelt sein. Somit strebt die Übergangswahrscheinlichkeit $\tilde{p}_{i,j,t}$, nachdem die Hälfte der der Durchschnittsbildung zugrundegelegten Zeitpunkte $\tilde{\tau}$ verstrichen ist, zu denen alle Kundenzufriedenheiten genau 1 entsprachen, wieder gegen die Basisübergangswahrscheinlichkeit. In diesem Falle wird von einem „Vergessen“ der erlebten Kundenzufriedenheit nach dem Verstreichen der Hälfte des festgelegten Zeitraums, der durch die Anzahl der der Durchschnittsbetrachtung zugrunde gelegten Zeitpunkte $\tilde{\tau}$ definiert ist, ausgegangen.⁸¹⁷ Es gilt somit:

$$\tilde{p}_{i,j,t} = \begin{cases} \frac{[\tilde{\tau} - t] \cdot p_{i,j,Basis} + \sum_{\tau=0}^t \ddot{p}_{i,j,t}}{\tilde{\tau}} & \forall t \leq \left\lceil \frac{\tilde{\tau}}{2} \right\rceil \\ \frac{\frac{\tilde{\tau}}{2} \cdot p_{i,j,Basis} + \sum_{\tau=t-\lceil \tilde{\tau}/2 \rceil}^t \ddot{p}_{i,j,t}}{\tilde{\tau}} & \forall t > \left\lceil \frac{\tilde{\tau}}{2} \right\rceil \end{cases} \quad (95)$$

$$i \in \{1, 2, \dots, K\}, j \in \{1, 2, \dots, K\}, t \in \{1, 2, \dots, T\}$$

Um nun $\bar{p}_{i,j,t}$ zu ermitteln, ist erneut sicherzustellen, dass die Summe der Übergangswahrscheinlichkeiten für jedes Segment hin zu den anderen Segmenten genau 1 ist, sodass analog zu Formel 92 Folgendes gilt:

$$\bar{p}_{i,j,t} = \tilde{p}_{i,j,t} - \frac{\left(\sum_{j=1}^K \tilde{p}_{i,j,t} \right) - 1}{\left[\frac{\sum_{j=1}^K \tilde{p}_{i,j,t}}{\tilde{p}_{i,j,t}} \right]} \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, K\}, j \in \{1, 2, \dots, K\} \quad (96)$$

Unabhängig von der bei der Kundenzufriedenheitsermittlung gewählten Gewichtung werden latente, also nicht unmittelbar sichtbare Einflüsse, als auch weitere bisher nicht im Modell explizit berücksichtigte Einflüsse auf die Kundenzufriedenheit und damit das Wechselverhalten bei diesem Ansatz direkt berücksichtigt.⁸¹⁸ Dies resultiert daraus,

⁸¹⁷ Der obere Teil der Formel wird ausschließlich benötigt, um bei der Berechnung von $\tilde{p}_{i,j,t}$ für die ersten im Modell betrachteten Zeitpunkte zu verhindern, dass $\tilde{p}_{i,j,t}$ zunächst gegen $(p_{i,j,Basis}/2)$ strebt, bevor dann mit steigendem t der Einfluss von $p_{i,j,t}$ auf die bedingten Übergangswahrscheinlichkeiten bis zum Erreichen von $t = (\tilde{\tau}/2)$ kontinuierlich steigt.

⁸¹⁸ Vgl. zu weiteren Einflüssen im Telekommunikationssektor, die potenziell mit einzubeziehen sind z. B. DENG ET AL. [Loyalty] S. 294 oder LIU/GUO/LEE [Switching] S. 71 ff.

dass die durchschnittliche Übergangswahrscheinlichkeit stets auch die in der Vergangenheit beobachtete bedingte Basisübergangswahrscheinlichkeit $p_{i,j,Basis}$ beinhaltet, sodass eine modifizierte Fortschreibung der alten Übergangswahrscheinlichkeiten basierend auf der aktuellen Kundenzufriedenheit vorgenommen wird. Die diesem Gedanken zugrunde liegende Idee ist, dass die in der Vergangenheit mittels empirischer Studien abgeleiteten Übergangswahrscheinlichkeiten alle Einflussfaktoren – also auch die latenten bzw. die nicht explizit in diesem Modell berücksichtigten Einflüsse – beinhalten und diese Einflüsse somit auch zukünftig berücksichtigt bleiben, selbst wenn die Kundenzufriedenheit nicht zur Neuberechnung der Übergangswahrscheinlichkeiten herangezogen wird, sondern lediglich als Einflussgröße auf die Übergangswahrscheinlichkeiten wirkt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei großen Unterschieden zwischen den dem Kundensegment immanenten Nutzungsstrukturen und der an diese Nutzungsstrukturen angepassten Tarife voraussichtlich eine Häufung von negativen Konsumentenrenten auftritt und mit einem starken Abfallen der Übergangswahrscheinlichkeit einhergeht. Für den Fall, dass aufgrund der bedingten Kundenzufriedenheiten einzelne bedingte Übergangswahrscheinlichkeiten schnell gegen Null streben, kann im Umkehrschluss zumindest die Erkenntnis abgeleitet werden, dass basierend auf den in den unterschiedlichen Tarifen realisierten Dienstgüteleveln und der mit diesen einhergehenden unterschiedlich wahrgenommenen Dienstgüte die Nutzer der Segmente nicht zum Wechsel animiert werden können.

Aufgrund der durch die dynamische Betrachtung geschaffenen Flexibilität kann der dargestellte Ansatz auch Kundenabwanderungen durch die Abbildung eines Nichtkundensegments sowie der Übergangswahrscheinlichkeiten aus den einzelnen Segmenten hin zum Nichtkundensegment in die Modellierung mit einbeziehen.⁸¹⁹ Sind die Übergangswahrscheinlichkeiten zwischen den Segmenten und die jeweilige Segmentgröße geklärt, so gilt es, die Nachfrage nach den verschiedenen Datenübertragungsdienstleistungen basierend auf der Segmentstruktur abzuleiten.

⁸¹⁹ Vgl. zur Literatur zu Kundenabwanderung Ausführungen zu Churn-Modellen oder Hazard-Modellen z. B. in BRAUN/SCHWEIDEL [Churn] S. 881 ff.

4.4 Modell zur kundenwertorientierten Analyse der Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistungen

4.4.1 Customer-Lifetime-Value-Berechnung bei dynamischem Kundenwechselverhalten

Um die Cashflow-Ströme, die den verschiedenen Kundensegmenten zugeordnet werden können, vergleichbar zu machen, bietet sich, wie in Kapitel 4.2.1. bereits aufgezeigt, die Berechnung von Kundenwerten unter Berücksichtigung von dynamischen Kundenwechselverhalten an. Um dies zu realisieren, gilt es zunächst, den Customer Lifetime Value für das mittels inhomogenen stochastischen Prozessen abgebildete Wechselverhalten zu modellieren. Für den erwarteten Customer Lifetime Value gelte weiterhin, dass sich dieser aus der Zustandsmenge, der Übergangsmatrix sowie dem Cashflow zusammensetzt:

$$\begin{aligned}
 CLV(\cdot) = & \begin{pmatrix} \bar{p}_{1,1,0} & \cdots & \bar{p}_{1,K,0} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{p}_{K,1,0} & \cdots & \bar{p}_{K,K,0} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} cf_{1,1}(\cdot) \\ \vdots \\ cf_{K,1}(\cdot) \end{pmatrix} \cdot \prod_{t=1}^1 (1 + r_t)^{-1} \\
 & + \begin{pmatrix} \bar{p}_{1,1,0} & \cdots & \bar{p}_{1,K,0} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{p}_{K,1,0} & \cdots & \bar{p}_{K,K,0} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \bar{p}_{1,1,1} & \cdots & \bar{p}_{1,K,1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{p}_{K,1,1} & \cdots & \bar{p}_{K,K,1} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} cf_{1,2}(\cdot) \\ \vdots \\ cf_{K,2}(\cdot) \end{pmatrix} \cdot \prod_{t=1}^2 (1 + r_t)^{-1} \\
 & + \cdots \\
 & + \begin{pmatrix} \bar{p}_{1,1,0} & \cdots & \bar{p}_{1,K,0} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{p}_{K,1,0} & \cdots & \bar{p}_{K,K,0} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \bar{p}_{1,1,1} & \cdots & \bar{p}_{1,K,1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{p}_{K,1,1} & \cdots & \bar{p}_{K,K,1} \end{pmatrix} \cdot \dots \\
 & \quad \cdot \begin{pmatrix} \bar{p}_{1,1,t} & \cdots & \bar{p}_{1,K,t} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{p}_{K,1,t} & \cdots & \bar{p}_{K,K,t} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} cf_{1,t}(\cdot) \\ \vdots \\ cf_{K,t}(\cdot) \end{pmatrix} \cdot \prod_{t=1}^t (1 + r_t)^{-1} \\
 & + \cdots
 \end{aligned} \tag{97}$$

Der segmentspezifische Cashflow $cf_{k,t}$ von Segment k zum Zeitpunkt t basiert auf Formel 63 und damit dem segmentspezifischen *Entgelt* $(\Psi_{k,t}^{Gesamt}, \Psi_t)$ des das Kundensegment k repräsentierenden typischen Kunden zum Zeitpunkt t sowie den zugehörigen auszahlungsgleichen Kosten. Die Zustandsmenge beinhaltet alle potenziell von Kunden möglichen einzunehmenden Zustände und resultiert aus der Anzahl der Kundensegmente, ermittelt auf Basis der im Rahmen der Segmentierung festgelegten Kri-

terien und damit der segmentspezifischen in Anspruch genommenen Datenübertragungsdienstleistungen sowie der von diesen Diensten benötigten Quality-of-Service-Level. Der Customer-Lifetime-Value-Vektor in Formel 93, der den CLV eines typischen Kunden des k -ten Segments beinhaltet, setzt sich, wie für das Kundenwechselverhalten bereits gezeigt, aus der multiplikativen Verknüpfung der Übergangsmatrizen, die die bedingten Wahrscheinlichkeiten zusammenfassen, sowie dem Vektor der Cashflows zusammen, sodass für den nun zu betrachtenden inhomogenen Fall, der gleichzeitig die Entwicklung der Übergangswahrscheinlichkeiten $p_{ij,\tilde{t}}(z_{ij,\tilde{t}})$, die abhängig von der Kundenzufriedenheit $z_{ij,\tilde{t}}$ sind, insgesamt berücksichtigt.⁸²⁰ Der zusätzliche Index \tilde{t} wird benötigt, um die Übergangswahrscheinlichkeiten von 1 bis zum laufenden t zu multiplizieren.

Während der der Abzinsung dienende Produkt-Term analog zum Fall der bereits in den Grundlagen beschriebenen Berechnung weiterhin bestehen bleibt und die sich ebenfalls potenziell mit der Zeit variierenden Zinssätze einbezieht, wird durch die Berücksichtigung der Veränderungen der Übergangswahrscheinlichkeiten im Zeitablauf, resultierend aus der auf stochastischen Nachfragen basierenden Zufriedenheitskalkulation, eine umfassende Bestimmung des Customer-Lifetime-Value-Vektors möglich, die sich dann wie folgt verkürzt darstellt lässt:

$$CLV(\cdot) = \sum_{t=1}^{\infty} \prod_{\tilde{t}=1}^t \left[\begin{pmatrix} \bar{p}_{1,1,\tilde{t}-1} & \cdots & \bar{p}_{1,K,\tilde{t}-1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{p}_{K,1,\tilde{t}-1} & \cdots & \bar{p}_{K,K,\tilde{t}-1} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} cf_{1,t}(\cdot) \\ \vdots \\ cf_{K,t}(\cdot) \end{pmatrix} \cdot (1+r_t)^{-1} \right] \quad (98)$$

4.4.2 Berechnung eines Kundenwerts bei dynamischem

Kundenwechselverhalten als Basis zur Optimierung der Bepreisung

Die Berechnung der Kundenwerte für den Fall des dynamischen Wechselverhaltens ist in Anlehnung an die vorangehend für eben diesen Fall dargestellte Customer-Lifetime-Value-Berechnung vorzunehmen. Dazu gilt es, in der bereits für den Fall mit konstanten Übergangswahrscheinlichkeiten vorgestellten, folgenden Gleichung

$$CE = \sum_{t=1}^{\infty} \left[\begin{pmatrix} cf_{1,t} \\ \vdots \\ cf_{K,t} \end{pmatrix}^T \cdot \begin{pmatrix} \bar{p}_{1,1,t-1} & \cdots & \bar{p}_{1,K,t-1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{p}_{K,1,t-1} & \cdots & \bar{p}_{K,K,t-1} \end{pmatrix}^T \cdot \begin{pmatrix} g_{1,t-1} \\ \vdots \\ g_{K,t-1} \end{pmatrix} \right] \cdot \prod_{\tilde{t}=1}^t (1+r_t)^{-1} \quad (99)$$

⁸²⁰ Vgl. f. ENGELBRECHT [Kundenwertorientiertes] S. 166

die zeitpunktspezifischen Segmentgrößen mitzuberücksichtigen. Zur Ermittlung der jeweiligen Segmentgröße wird die in der Vorperiode bestehende Segmentgröße mit den zeitpunktspezifischen Übergangswahrscheinlichkeiten multipliziert. Die zeitpunktspezifischen Übergangswahrscheinlichkeiten wiederum resultieren aus dem Produkt der bis zum jeweiligen betrachteten Zeitpunkt t vorhandenen Übergangswahrscheinlichkeiten und sind letztlich von der Kundenzufriedenheit abhängig.

Aufbauend auf den bereits identifizierten Nutzersegmenten gilt es, abhängig von den in den jeweiligen Perioden zu erwartenden segmentspezifischen Nutzerstrukturen, einen Cashflow-Vektor CF_t zu ermitteln, der die für das Segment typischen Cashflows $cf_{k,t}$ eines Kunden des Segments $k \in \{1, 2, \dots, K\}$ zum Zeitpunkt t beinhaltet. Diese seien durch das auf Basis eines das Segment repräsentierenden, typischen Kunden berechnete, erwartete segmentspezifische $Entgelt_{k,t}$ des Kundensegments k zum Zeitpunkt t spezifiziert; andernfalls wären diese gemäß der Cashflow-Berechnung mit in die Berechnung einzubeziehen. Das Entgelt wiederum hängt erneut gemäß des für das einzelne Segment zugewiesenen Tarifs von der segmentspezifischen, nutzerstrukturabhängigen Inanspruchnahme $\Psi_{k,t}^{Gesamt}$ sowie der gesamten Nachfrage nach Datenübertragungsdienstleistungen Ψ_t ab, wenn in der Bepreisung der Inanspruchnahme von diesem Segment mitberücksichtigt wird, ob ein Kapazitätsengpass im Datenübertragungsnetz vorliegt, und ist somit $Entgelt_{k,t}(\Psi_{k,t}^{Gesamt}, \Psi_t)$. Dies setzt jedoch voraus, dass davon ausgegangen wird, dass eine hinreichend große Kundenanzahl für das Segment existiert, sodass aufgrund des Gesetzes der großen Zahlen das für den das Segment repräsentierenden Kunden erwartete Entgelt zur Berechnung herangezogen werden kann, das aus der für das Kundensegment ermittelten Inanspruchnahme der Datenübertragungsdienstleistungen resultiert.

4.5 Notwendigkeit der simulativen Abbildung des Modells zur Optimierung der Bepreisung

Das Modell liefert zunächst eine Basis, um eine kundenwertorientierte Analyse für eine differenzierte Bepreisung der Datenübertragungsdienstleistungen für unterschiedliche Kundensegmente über einen langen Zeitraum durchführen zu können. Um dieses Modell sodann zur Entscheidungsunterstützung für das Preismanagement nutzen zu können, kommen aufgrund der Komplexität keine analytischen Lösungen des Modells zur Anwendung, sondern es ist eine Implementierung des Modells in einer Simulationsumgebung vonnöten. Die Notwendigkeit einer simulationsbasierten Analyse dieses Modells resultiert aus der Modellierung der Nachfrage als stochastische Einflussgröße und der damit einhergehenden Komplexität des Modells, aufgrund derer keine

mathematischen, analytischen Lösungen angestrebt werden können. Insbesondere die basierend auf dem Modell angestrebte Optimierung der Bepreisung kann erst durch die aus der Simulation resultierenden nochmals erweiterten Analysemöglichkeiten, z. B. der Möglichkeit der Bildung von verschiedenen Szenarien, realisiert werden.

So besteht im Folgenden die Herausforderung, den inhomogenen stochastischen Prozess simulativ abzubilden, um eine Analyse der Wirksamkeit der Steuerungsmechanismen der gewählten Bepreisung zu untersuchen sowie Möglichkeiten zur Optimierung der Bepreisung im Sinne einer Entscheidungsunterstützung für das Preismanagement abzuleiten.



5 Entwicklung eines Simulationstools zur kundenwertorientierten Optimierung der Bepreisung

5.1 Simulationen als Informationsbasis zur Analyse von Modellen

5.1.1 Kernidee von Simulationen mathematischer Modelle

Simulationen dienen der experimentellen Analyse einer modellgestützten und daher zwingend abstrakten Abbildung realer Objekte und deren komplexer Zusammenhänge, um bei Veränderungen der Einflüsse Einblicke in deren Wirkungen auf das abgebildete System zu erlangen.⁸¹⁸ Das System ist entsprechend durch die Menge der abgebildeten Elemente und deren Wechselwirkungen, die Struktur sowie das Umfeld definiert, wobei jedes abgebildete Element einem Untersystem entspricht und nicht zwingend ein reales Objekt sein muss.⁸¹⁹ Dementsprechend hat zunächst eine Abbildung der die realen Objekte charakterisierenden Entitäten⁸²⁰ und der zwischen diesen bestehenden Zusammenhänge in Form eines mathematischen Modells zu erfolgen, um dieses in ein logisch lauffähiges Computerprogramm zu überführen, mit dem das abgebildete System analysiert werden kann.⁸²¹ Die zur Charakterisierung heranzuziehenden Parameter können entsprechend der ihnen im System immanenten Bestimmtheit in exogene und endogene Parameter klassifiziert werden.⁸²² Die exogenen Parameter stellen dabei die Inputgrößen des Modells dar, werden also nicht durch das Modell determiniert, sondern entweder durch den Modellerstellenden angenommen oder basierend auf den Ergebnissen empirischer Studien als gegeben betrachtet, während die endogenen Parameter in Simulationen als Output in Form von Zustandsgrößen oder Ergebnisgrößen aufzufassen sind, die das Modell determiniert.

Die Kernidee von Simulationen ist insbesondere, die bei der Analyse eines Systems auftretenden Probleme zu lösen, die auf die Komplexität und daher nicht exakte Lösbarkeit des Modells, resultierend aus z. B. nicht-linearen Wechselwirkungen, stochas-

⁸¹⁸ Vgl. BLEUEL [Monte Carlo] S. 371, LAW [Simulation] S. 3, MCHANEY [Computer Simulation] S. 2, KHEIR [Simulation] S. 3, MAKINIA [Simulation] S. 45. LAW [Simulation] S. 247 stellt fest, dass ein Simulationsmodell unabhängig vom Aufwand, der bei der Modellierung betrieben wird, immer nur eine Approximation des realen Systems sein kann, auch wenn ein Zusammenhang zwischen der Zeit und damit dem in die Modellierung investierten Aufwand und dem Level der erreichten Realitätstreue angenommen werden kann. Vgl. zur Balance zwischen Simplizität und Realitätsnähe in computerbasierten Modellen BURTON/OBEL [Validity] S. 57 ff.

⁸¹⁹ Vgl. FORRESTER [Systemtheorie] S. 9, KAAZ [Formalisierung] S. 539, SAUERBIER [Simulationssysteme] S. 17

⁸²⁰ Entitäten sind sich während der Simulationsdurchführung dynamisch verändernde Objekte, die vom Simulationsprogramm entsprechend der ihnen mittels Attributen zugewiesenen Charakteristika erzeugt werden (vgl. SUHL/MELLOULI [Optimierungssysteme] S. 285, BANKS ET AL. [Simulation] S. 91).

⁸²¹ Vgl. LAW [Simulation] S. 246

⁸²² Vgl. f. SAAM/GAUTSCHI [Modellbildung] S. 39, OSTERTAG [Supply-Chain-Koordination] S. 161 f.

tischen Einflüssen oder dynamischen Abhängigkeiten, zurückzuführen sind, indem Zufallszahlen für die Inputgrößen basierend auf den diesen zugewiesenen Verteilungsfunktionen berechnet werden, sodass dann eine auf Häufigkeitsverteilungen fußende Analyse der Outputgrößen durchgeführt werden kann, die Kenntnisse über das Systemverhalten zulässt.⁸²³ Demnach können Simulationen als computergestützte Analysemethode von mathematischen Erklärungsmodellen basierend auf dem experimentellen Durchspielen verschiedenster Parameterkonstellationen unter Rückgriff auf generierte Zufallszahlen für die Inputparameter verstanden werden und werden auch als Monte-Carlo-Methode bzw. Monte-Carlo-Simulation bezeichnet.⁸²⁴

Der Erkenntnisgewinn, der mit der Simulation angestrebt wird, kann, je nach konkreter Ausgestaltung des Modells, von der Analyse veränderter Einflussfaktoren durch Berücksichtigung von bestehenden Risiken, der dem System immanenten Unsicherheit bis hin zur Optimierung unter Berücksichtigung eben dieser Einflussfaktoren und sich wiederum daran anschließender Sensitivitätsanalysen zur Bewertung der Stabilität einer potenziell gefundenen Lösung reichen.⁸²⁵ Darüber hinaus ist auch durch die prognostizierte Entwicklung von Einflussgrößen eine Analyse der potenziellen Entwicklung des gesamten Systems und damit eine Prognose des zukünftigen Systemverhaltens denkbar.

Der Allgemeinheitsgrad der Erkenntnisse, die aus einer solchen Simulation abgeleitet werden können, hängt direkt vom Simulationsumfang ab und resultiert damit aus den im Zuge der Modellbildung getroffenen spezifischen Annahmen bezüglich der Ausgestaltung der Modelleinflussgrößen und der mit diesen einhergehenden Modellgüte sowie der Methodik, die zur Generierung der Pseudo-Zufallszahlen herangezogen wird.⁸²⁶ Der Simulationsumfang hängt direkt von der gewählten Anzahl der durchgeführten Simulationsläufe ab und ist durch das entsprechend des vom Anwender gewünschten, zu erreichenden Konfidenzniveau bedingt. Zur Generierung der Zufallszahlen stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung,⁸²⁷ deren Vorstellung jedoch nicht im Fokus der hiesigen Betrachtung liegt, mit denen unabhängig und identisch

⁸²³ Vgl. f. BAUMEISTER [Lebenszyklus] S. 174, KÜLL/STÄHLY [Simulation] S. 2, SUHL/ MELLOULI [Optimierungssysteme] S. 279

⁸²⁴ Vgl. CHOI/KANG [Simulation] S. 12, GENTLE [Monte Carlo] S. 279, KROESE/TAIMRE/ BOTEV [Monte Carlo Methods] S. XVII, NIEDERREITER [Monte Carlo] S. 2

⁸²⁵ Vgl. f. KHEIR [Simulation] S. 3, KÜLL/STÄHLY [Simulation] S. 2 sowie zur detaillierten Beschreibung von Sensitivitätsanalysen SATELLI ET AL. [Sensitivity Analysis] S. 1 ff.

⁸²⁶ Vgl. f. BAUMEISTER [Lebenszyklus] S. 174, LAW [Simulation] S. 246 f.

⁸²⁷ Vgl. zur Übersicht und vertiefenden Betrachtung möglicher Zufallszahlengenerationsmethoden EVANS/OLSON [Simulation] S. 81 ff., KROESE/TAIMRE/BOTEV [Monte Carlo Methods] S. 1 ff., LAW [Simulation] S. 426 ff., L'ECUYER [Random] S. 1 ff.

verteilte Pseudo-Zufallszahlen⁸²⁸ über das Intervall $[0, 1]$ generiert werden können, um im zweiten Schritt beliebig verteilte Zufallszahlen und Zufallsvektoren zu ermitteln. Die einfachste Methode zur Ermittlung der gewünschten Verteilung für die Attribute der Entitäten ist die Inversionsmethode, die durch Bilden der inversen Verteilungsfunktion eine Transformation der generierten unabhängig identisch verteilten Pseudo-Zufallszahlen in die gewünschte Verteilung vornimmt.⁸²⁹ Da folgend jedoch nicht die grundlegende Programmierung des Zufallszahlengenerators im Fokus steht, wird auf die in der genutzten Software zugrundeliegende Ermittlung der Zufallszahlen zurückgegriffen.

5.1.2 Zentrale Merkmale von Simulationsmodellen

Die Ausgestaltung des zeitlichen Verlaufs der Veränderung des Simulationsmodells und damit die Transformationsregeln für die Zustandswechsel der Entitäten bilden ein zentrales Merkmal, anhand dessen sich Simulationsmodelle charakterisieren und in statische sowie dynamische Modelle differenzieren lassen.⁸³⁰ Ein statisches Modell repräsentiert dabei entweder ein bestimmtes System zu jeweils einem bestimmten Zeitpunkt oder ein System, bei dem die Zeit schlicht keine Rolle spielt, und ist dementsprechend zeitunabhängig ausgestaltet. Dynamische Modelle hingegen zeichnen sich dadurch aus, dass eine Entwicklung im Zeitverlauf stattfindet, indem zeitabhängige Prozesse fokussiert werden, die sich entsprechend der Berücksichtigung der Zeitabhängigkeit wiederum in diskrete und kontinuierliche Simulationsmodelle unterteilen lassen.

Bei diskreten Simulationsmodellen finden die Systemzustandsänderungen im Zeitverlauf unmittelbar zu separaten Zeitpunkten und damit sprunghaft statt, während zwischen diesen beiden Zeitpunkten das System unverändert bleibt.⁸³¹ Somit findet eine Systemveränderung pro Zeitschritt statt, sodass dies einer Zerlegung des Betrachtungszeitraums in Intervalle entspricht.⁸³² Unterschieden werden kann zwischen der prozessorientierten, der ereignisorientierten sowie der zeit- bzw. periodenorientierten

⁸²⁸ Es wird von Pseudo-Zufallszahlen gesprochen, da diese von deterministischen Algorithmen erzeugt werden und somit prinzipiell reproduzierbare Zufallszahlen generiert werden können, wenn der zugrunde gelegte Generationsalgorithmus und der Initialisierungswert angegeben werden, sodass eine strikte Überprüfbarkeit der auf der Simulation gewonnenen Ergebnisse vorgenommen werden kann (Vgl. GENTLE [Monte Carlo] S. 230, MÜLLER-GRONBACH/NOVAK/RITTER [Monte Carlo-Algorithmen] S. 2).

⁸²⁹ Vgl. L'ECUYER [Random] S. 2.

⁸³⁰ Vgl. f. LAW [Simulation] S. 5, BAUMEISTER [Lebenszyklus] S. 176, EVANS/OLSON [Simulation] S. 6.

⁸³¹ Vgl. f. LAW [Simulation] S. 6 f., HEDTSTÜCK [Simulation] S. 22.

⁸³² Vgl. OSTERTAG [Supply-Chain-Koordination] S. 163 f.

Simulation, die sich hinsichtlich des Simulationszeitfortschritts zwischen dem Programmaufruf und dessen Abschluss unterscheiden.⁸³³ So ist bei der prozessorientierten Simulation während der Programmbearbeitung ein Zeitfortschritt möglich, während die ereignisorientierten Simulationen auf einer Abfolge der Ereignisse basiert, die selbst jedoch keine Zeit in Anspruch nehmen, sodass die Simulationszeit erst nach vollständiger Abarbeitung der innerhalb eines Schrittes durchzuführenden Objektdienste voranschreitet; ein „Warten“ ist daher nur durch die Auslösung eines zu einem späteren Zeitpunkt stattfindenden Ereignisses möglich. Die ereignisorientierte Simulation zeichnet sich insbesondere durch die aus ihrer Eigenschaft resultierende einfachere Verwaltung im Vergleich zur prozessorientierten Variante aus.⁸³⁴ Im Rahmen der periodenorientierten Simulation werden die Zustandsänderungen hingegen immer in äquidistanten Zeitschritten ermittelt, um nach Abschluss aller Berechnungen die Simulationsuhr einen Schritt vorzustellen.⁸³⁵ Diese ermöglicht durch die frei wählbare Intervalllänge eine sehr flexible Skalierung der zeitlichen Granularität und bietet darüber hinaus eine einfache Umsetzung von wiederkehrenden Berechnungen.

Im Gegensatz zu diesen diskreten dynamischen Simulationen findet bei den kontinuierlichen Modellen eine im Zeitverlauf gleichmäßige Veränderung der Parameter statt, bei der typischerweise über Differentialgleichungen der Zusammenhang zwischen der Veränderungsrate der sich verändernden Variablen und dem Zeitfortschritt abgebildet ist, sodass damit in diesem Fall nicht davon ausgegangen wird, dass innerhalb eines Zeitintervalls keine Ereignisse eintreten.⁸³⁶ Diese kontinuierlichen dynamischen Modelle werden aufgrund der ihnen immanenten Abbildungskomplexität ebenfalls durch Bilden kleiner Zeitschritte approximiert.⁸³⁷ Die Komplexität resultiert aus der fehlenden Möglichkeit zur Ermittlung aller Werte der Zustandsvariablen für alle Zeitpunkte in Abhängigkeit der Werte zum Zeitpunkt 0 sowie der damit einhergehenden nicht möglichen Ermittlung einer analytischen Lösung.

Resultierend aus der modelltheoretischen Konzeption der Nachfrage nach den verschiedenen Datenübertragungsdienstleistungen wird diese als diskrete zeitorientierte Simulation umgesetzt, bei der das zu den Zeitpunkten zu simulierende Ereignis, die Ankunftsrate der Nachfragen nach Datenübertragungsdienstleistungen ist, das um weitere Charakteristika für die nachgefragten Datenübertragungsdienstleistungen

⁸³³ Vgl. f. SAUERBIER [Simulationssysteme] S. 32 f., SPANIOL/HOFF [Simulation] S. 7 ff.

⁸³⁴ Vgl. SAUERBIER [Simulationssysteme] S. 34., PIDO [Simulation] S. 105

⁸³⁵ Vgl. HEDTSTÜCK [Simulation] S. 30 f.

⁸³⁶ Vgl. BAUMEISTER [Lebenszyklus] S. 176, LAW [Simulation] S. 707

⁸³⁷ Vgl. f. LAW [Simulation] S. 707, der ebenda auch auf die zur Approximation heranzuziehenden Algorithmen verweist.

ergänzt wird.⁸³⁸ Entsprechend soll auch für die folgende Customer-Equity-basierte Analyse der Bepreisung priorisierter Datenübertragungsdienste zur Realisierung einer Abbildung des Systems auf eine diskrete kontinuierliche Simulation zurückgegriffen werden.

5.1.3 Möglichkeiten einer computerbasierten Umsetzung von Simulationsmodellen

Die Kernidee von Simulationen, mittels Zufallszahlen eine umfassende Analyse von komplexen Systemen, für die die Möglichkeit des Findens einer exakten analytischen Lösung bzw. der Analyse des Modellverhaltens nicht besteht, durchzuführen, führt zur Generierung einer umfangreichen Datenbasis, deren Erfassung zur Analyse notwendig ist, sodass eine EDV-technische Problemmodellierung und Durchführung der Simulation nahe liegt.⁸³⁹ Die EDV-technische Implementierung basiert prinzipiell auf einem von drei Modellierungsansätzen: Denen, die auf einer selbst oder auch fremd programmierten Individual-Software fußen, denen, die auf eine spezielle Standard-Simulationssoftware zurückgreifen, oder denen, die den sogenannten Spreadsheets-Simulationen zuzuordnen sind.⁸⁴⁰

Der Vorteil und gleichzeitig auch der Nachteil der programmierten Individual-Software resultiert aus der Möglichkeit, eine vollumfängliche einzelfallspezifische Programmierung vornehmen zu können, schließlich eröffnet dies eine maßgeschneiderte problemstellungsspezifische Lösung, gilt jedoch gleichzeitig als Herausforderung, da dies einen hohen Implementierungsaufwand mit sich bringt. Die zahlreichen auf dem Markt erhältlichen Standard-Simulationssoftware-Pakete hingegen lassen sich in generalisierende Simulationssoftware und problemspezifische Software differenzieren.⁸⁴¹ Letztere sind für eine ganz spezifische Problemstellung konzipiert,⁸⁴² sodass diese aufgrund der Problemstellungsfokussierung meist einfach zu nutzen sind.⁸⁴³ Erstere hingegen sind basierend auf einer grafischen Aufbereitung der Entitäten, denen einzelne Attribute zur Quantifizierung der Charakteristika zugewiesen werden können, modular aufgebaut und können meist entweder durch Rückgriffsmöglichkeiten auf

⁸³⁸ Vgl. FROST/MELAMED [Traffic Modelling] S. 71, die feststellen, dass die Mehrheit der eingesetzten Tools zur Simulation von Datenverkehr auf Discrete Event Simulation aufbauen.

⁸³⁹ Vgl. BAUMEISTER [Lebenszyklus] S. 176. Vgl. zur Klassifikation von Simulationssoftware LAW [Simulation] S. 183.

⁸⁴⁰ Vgl. ff. BAUMEISTER [Lebenszyklus] S. 176, ROBINSON [Simulation] S. 52 f.,

⁸⁴¹ Vgl. LAW [Simulation] S. 183, ROBINSON [Simulation] S. 52 oder BANKS ET AL. [Simulation] S. 119, die zwischen generellen Programmiersprachen, spezifischen Simulationsprogrammiersprachen und Simulationsumgebungen differenzieren.

⁸⁴² LAW [Simulation] S. 213, der ebenda gängige Simulationssoftwarepakete auflistet.

⁸⁴³ Vgl. ROBINSON [Simulation] S. 52 f.

bereits bestehende Programmstrukturen oder durch Ergänzung eigenständiger Programmierungen erweitert werden, sodass eine Abbildung von deutlich weiter gefassten Problemstellungen realisiert werden kann.⁸⁴⁴ Diese zeichnen sich darüber hinaus meist durch eine hardwareunabhängige Konzeptionierung aus.

Die Spreadsheet-Simulationen, die durch das Einbinden zusätzlicher Plug-Ins in Tabellenkalkulationsprogramme, z. B. Microsoft Excel, die Standardfunktionen des Tabellenkalkulationsprogramms um Möglichkeiten zur Durchführung von Monte-Carlo-Simulationen erweitern, gehören zwar nicht unbedingt zu den naheliegenden Möglichkeiten zur Umsetzung einer Simulation, bieten jedoch aufgrund der in der Regel bereits umfangreichen Funktionsumfänge der Basissoftware, deren Nutzung weiterhin möglich ist, vielfältige Einsatzmöglichkeiten bei einfacher Handhabung.⁸⁴⁵ Dies gilt insbesondere für die Handhabung von vorwiegend mathematisch relativ einfachen Problemstellungen, während die Implementierung von komplexeren Algorithmen zwar deutlich schwieriger ist,⁸⁴⁶ jedoch durchaus realisiert werden kann; relativ einfach ist die zeitbasierte diskrete Simulation in den Spreadsheets zu realisieren,⁸⁴⁷ indem z. B. einzelnen Zeilen jeweils ein zu betrachtendes Zeitintervall zugewiesen wird,⁸⁴⁸ sodass gerade eben diese für die Abbildung des Modells zur Customer-Equity-basierten Analyse der Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistungen notwendige Simulationsform realisiert werden kann. Insbesondere eignen sich die Plug-Ins zur Spreadsheet-Simulation, um auf einfache Art und Weise Verteilungsfunktionen oder stochastische Prozesse in die Simulation einzubinden, die standardmäßig nicht in dem jeweiligen Tabellenkalkulationsprogramm hinterlegt sind.⁸⁴⁹ Plug-Ins wie z. B. @Risk oder auch RiskKit bieten Möglichkeiten, mittels derer einzelnen Tabellenzellen verschiedene Wahrscheinlichkeitsverteilungen zugewiesen werden können, oder erlauben zwischen einzelnen Zellen bestehende Abhängigkeiten auch in Form von Korrelationsverhältnissen in der Simulation als Inputgrößen abzubilden.

Unter Rückgriff auf die im Zuge der Modellierung des Zielsystems festgestellten stochastischen Eigenschaften verschiedener voneinander abhängiger Komponenten ist entsprechend eine Analyse basierend auf einer Simulation angestrebt.

⁸⁴⁴ Vgl. PANNEERSELVAM/SENETHILKUMAR [Simulation] S. 184, ROBINSON [Simulation] S. 53

⁸⁴⁵ Vgl. BAUMEISTER [Lebenszyklus] S. 178, BECKER/PARKER [Simulation] S. 277

⁸⁴⁶ Vgl. BECKER/PARKER [Simulation] S. 277, LAW [Simulation] S. 717

⁸⁴⁷ Vgl. ROBINSON [Simulation] S. 53

⁸⁴⁸ Vgl. BANKS ET AL. [Simulation] S. 36

⁸⁴⁹ Vgl. f. BAUMEISTER [Lebenszyklus] S. 178

5.2 Aufbau eines Simulationstools mit Fallstudie

5.2.1 Struktureller Aufbau des Simulationstools

Um die kundenwertorientierte Optimierung der von einem Datenübertragungsdienstleistungsanbieter offerierten Tarife entsprechend basierend auf dem in Kapitel 4 dargestellten Modell zur Analyse simulativ umzusetzen, wird auf eine Spreadsheet-Simulation unter Verwendung der von RiskKit 6 zusätzlich in Excel eingebundenen Verteilungsfunktionen sowie Analyse- und Simulationsmöglichkeiten zurückgegriffen. Dabei werden die einzelnen betrachteten Zeitpunkte zeilenweise implementiert, indem jeder Zeile jeweils ein betrachteter Zeitpunkt zugewiesen wird, während die Berechnung der einzelnen zu diesem Zeitpunkt zugehörigen Ereignisse spaltenweise erfolgt. Entsprechend werden alle zu einem Zeitpunkt erfolgenden Berechnungen stets in einer Zeile durchgeführt. Durch Rückgriffe auf darüber liegende Zeilen kann auf Daten vorangegangener Zeitpunkte zurückgegriffen werden, sodass letztlich bei Zugrundelegen der Annahme eines bestimmten zeitlichen Abstands, der zwischen zwei aufeinanderfolgenden Zeitpunkten existiert, gleichfalls Zeitpunkt- als auch Periodenbetrachtungen realisiert sind. Da mit steigender Zeitpunktzahl die Menge der in einem Excelsheet befindlichen Daten schnell einen Umfang erreicht, bei der Excel bei der Berechnung aufgrund der großen Datenmenge keine zufriedenstellende Laufzeit oder gar eine Bearbeitung der Datenmenge überhaupt nicht mehr gewährleistet, wird pro Simulationsschritt ein Tag mit 1.440 Zeilen (60 Min. · 24 Std.) pro Excel-Sheet mit simulationsrelevanten Daten simuliert, sodass für jede Minute des Tages Daten simuliert werden. Um die langfristige Simulation zu ermöglichen, werden via eines mit VBA⁸⁵⁰ programmierten Makros⁸⁵¹, das zwischen jedem einzelnen Simulationsschritt ausgeführt wird, die auch über den einzelnen Tag hinaus benötigten Daten für den nächsten Tag in weiteren, speziell zu diesem Zweck angelegten Spalten gespeichert und zur Verfügung gestellt. So findet die Übertragung der am Ende des vorangegangenen Tages bestehenden Kundensegmentstruktur auf den ersten Zeitpunkt des nächsten Tages statt. Ferner lässt sich im Rahmen der Entgeltermittlung für Kontingentsgrenzen, die einen Zeitraum von mehr als einem Tag umfassen, gleichfalls eine Übertragung der bereits in Anspruch genommenen Kontingente mit einem Makro realisieren. Die Übertragung ist

⁸⁵⁰ VBA steht für „Visual Basic for Applications“ und ist der Programmiersprache Visual Basic zuzuordnen, ergänzt um Objektmodelle der einzelnen Anwendungen, in denen die Ausführung des VBA-Codes stattfindet (Vgl. SPONA [VBA-Programmierung] S. 29); in dem hier betrachteten Falle MS Excel.

⁸⁵¹ Als Makro wird die Zusammenfassung wiederholt auftretender Kommandos zu einer Einheit – in diesem Falle erfolgt die Zusammenfassung und Dokumentation der auszuführenden Kommandos in der Programmiersprache VBA – verstanden (KOFER/NEBELO [Excel] S. 6).

wie im Anhang in Abbildung 72 dargestellt in VBA umgesetzt; die Namensgebung des zwischen den Simulationsläufen auszuführenden Makros ist durch das verwendete Simulationstool vorgegeben und ist zwingend „BeforeEachRun“, damit das Tool erfasst, dass das Makro vor jedem Simulationsschritt auszuführen ist.

Zur Analyse der Ergebnisse des Modells sind durch den Nutzer sogenannte Outputzellen zu definieren, die die vom Nutzer als Modellergebnisse definierten Werte enthalten. Diese Werte sind direkt oder indirekt von den in jedem Simulationsschritt ermittelten Zufallszahlen abhängig und werden für jeden Simulationsschritt gespeichert und nach Abschluss der Simulation in einem separaten Analyse-Excel-Blatt ausgegeben. Zur näheren Auswertung der für die Outputzellen ermittelten Einzelwerte werden von dem Excel-Add-in verschiedene Standardstatistiken in einem weiteren Analyse-Blatt ausgegeben, zu denen u. a. der Mittelwert, die Standardabweichung und die Varianz, der Variationskoeffizient, das Minimum und das Maximum sowie verschiedene frei definierbare Konfidenzintervalle gehören. Darüber hinaus liefern Schiefe und Kurtose einen weiteren Einblick in die Form der Verteilung der Outputgrößen. Neben den statistischen Kennzahlen bietet das Programm ferner die Möglichkeit, die im jeweiligen Simulationsschritt für die Outputzelle realisierten Werte grafisch aufzubereiten, um dem Anwender weitere Einschätzungen über Charakteristika, die nicht über die Standardstatistiken abgedeckt sind, zu ermöglichen. Denkbar ist hier z. B., dass einzelne Werte nicht vorkommen und gerade das Fehlen dieser Werte weitere Rückschlüsse zuließe oder, dass die Form der Verteilung der Werte der Outputzellen Rückschlüsse darüber zulässt, dass diese einer bestimmten Verteilungsfunktion unterliegen. Diese oder ähnliche Fälle können dazu führen, dass der Anwender sich entschließt, weiterführende statistische Analysen des Outputs – unter Rückgriff auf die gespeicherten Einzelwerte der Outputzellen – durchzuführen. Im Folgenden werden zunächst die zu den Zeitpunkten zu erfolgenden Berechnungen vorgestellt, bevor im Anschluss die für die Analyse, die über viele verschiedene Zeitpunkte erfolgt, notwendigen Implementierungsschritte und -möglichkeiten dargestellt werden.

5.2.2 Möglichkeiten zur Ermittlung kundensegmentspezifischer Parameter der Nachfrage nach Datenübertragungsdienstleistungen

Um die Nachfrage nach Datenübertragungsdienstleistungen im Rahmen einer computergestützten Simulation abzubilden, wird auf die Idee des von GARCIA/HACKBARTH entwickelten CASUAL-Modell⁸⁵² zurückgegriffen.⁸⁵³ Dieser Ansatz sieht vor, den identifi-

⁸⁵² CASUAL steht in dem Falle für Cube of Access, Services, Users for free Assignment.

⁸⁵³ Vgl. GARCIA/HACKBARTH [Estimating] S. 741 f.

zierten Nutzertypen jeweils die Parameter zuzuweisen, die deren Dienst- und Verkehrsparameter näher spezifizieren.⁸⁵⁴ Dieses Vorgehen entspricht einer Bottom-up-Modellierung des Datenverkehrsaufkommens, wenn die identifizierten einzelnen segmentspezifischen Nutzercharakteristika zu einer Gesamtnachfragebetrachtung transformiert werden.⁸⁵⁵ Um dies zu realisieren, ergibt sich die gesamte Verkehrsnachfrage entsprechend der bereits in Kapitel 4.3.2 vorgenommenen modelltheoretischen Überlegung zur Nachfragemodellierung aus dem Nutzungsverhalten der Endnutzer. So werden gerade auch die Informationen abgebildet, die benötigt werden, um einen kundensegmentspezifischen Cashflow zu berechnen. Unter Rückgriff auf die in Kapitel 2.3.3 identifizierten Kundensegmente sei folgend von vier Kundensegmenten ausgegangen, deren Nutzungscharakteristika zunächst zu quantifizieren sind, um deren anwendungsspezifische Nachfragekurven für alle Segmente zu modellieren, die sodann in segment- und servicelevelspezifische Nachfragen überführt werden können, so wie dies bereits in Kapitel 4.3.2 modelliert wurde. Die Anzahl der Kundensegmente und die betrachteten Anwendungen mit den jeweiligen Nachfragemengen basieren auf Nachfrageschätzungen, da kein direkter Zugang zu den vertraulichen Daten der Datenübertragungsanbieter vorliegt, jedoch bietet das Modell die Möglichkeit, tatsächliche Nachfragedaten der Anbieter einzubinden.⁸⁵⁶

Entsprechend der auf der Pareto-Verteilung basierenden Modellierung der Nachfrage der Kundensegmente zugrunde zu legenden Formel 58 gilt es, einen Wert für α anzunehmen, der, wie in Abbildung 39 für die Werte zwischen 0,1 und 2 bei fixiertem $\lambda_{k,t,\hat{s}_{k,\hat{a}}} = 2$ ersichtlich, über die Ausprägung der Wahrscheinlichkeit des Modus und das Abklingverhalten und damit die Tail-Eigenschaft entscheidet. Eine veränderte Tail-Eigenschaft spiegelt sich auch durch einen veränderten Erwartungswert μ wider, sodass der Erwartungswert, wie bereits in Kapitel 4.3.3.2.3 festgestellt und in der Abbildung 39 im sehr langsamen Abklingverhalten zu erahnen wird, für Werte $\alpha \leq 1$ nicht ermittelbar ist. Für $\lambda_{k,t,\hat{s}_{k,\hat{a}}} = 2$ und $\alpha = 1,01$ beträgt der Erwartungswert $\mu_{\alpha=1,01} = 202$, für $\alpha = 1,1$ bereits $\mu_{\alpha=1,1} = 22$ und schließlich für $\alpha = 2$ $\mu_{\alpha=2} = 4$, wobei jedoch zu beachten ist, dass für $\alpha = 2$ die Heavy-Tail-Eigenschaft nicht länger erfüllt ist und daher für α ein Wert aus dem Intervall $]0, 2[$ zu wählen ist. In der Abbildung 39 ist der Modus, der $\lambda_{k,t,\hat{s}_{k,\hat{a}}}$ entspricht, an der Stelle $x = 2$ gut zu erkennen. Zu erkennen ist auch, dass

⁸⁵⁴ Vgl. HACKBARTH/KULENKAMPFF/PLÜCKEBAUM [Kostenmodell] S. 26 f.

⁸⁵⁵ Vgl. HACKBARTH/KULENKAMPFF/PLÜCKEBAUM [Kostenmodell] S. 25, FROST/MELAMED [Traffic Modelling] S. 71

⁸⁵⁶ Vgl. HACKBARTH/KULENKAMPFF/PLÜCKEBAUM [Kostenmodell] S. 18, die in dem von ihnen entworfenen Kostenermittlungsmodell ebenfalls auf Schätzungen zurückgreifen und auf S. 213 auf die Vertraulichkeit der nutzersegment- und anwendungsspezifischen Daten zu Nachfragemengen hinweisen.

unabhängig vom gewählten α durch $\lambda_{k,t,\hat{s}_{k,\hat{a}}}$ die untere Grenze festgelegt wird, ab der $\psi_{k,t,\hat{s}_{k,\hat{a}}} = 0$ ist. Im Folgenden sei der Einfachheit halber für alle Kundensegmente ein einheitlicher Wert für α gewählt, sodass $\alpha = 1,5$ gilt.

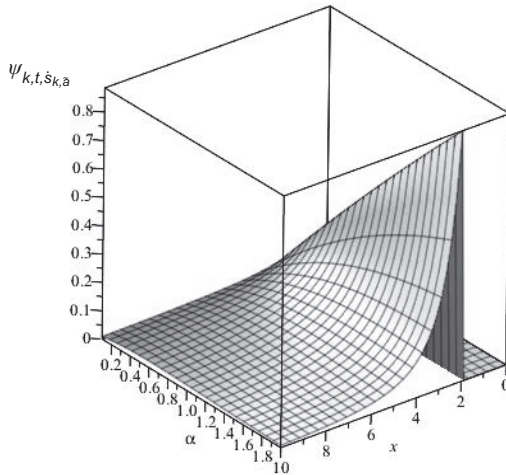


Abbildung 39: Abbildung von Heavy-tailed Nachfragefunktionen für variierende α -Werte

Der Modus $\lambda_{k,t,\hat{s}_{k,\hat{a}}}$ ist über die semilogarithmische Zahlungsbereitschaftsfunktion und die aus dieser abgeleiteten, negativ exponentiellen preisabhängigen Nachfragefunktion für die verschiedenen Dienstgütelevel gemäß Formel 58 zu modellieren, sodass einerseits der Verlauf der Nachfragekurve realistisch abgebildet wird und darüber hinaus auch der Verlauf der Zahlungsbereitschaftskurve berücksichtigt wird. Dazu gilt es, die kundensegmentspezifischen Formparameter $a_{k,\hat{s}_{k,\hat{a}}}$ und $b_{k,\hat{s}_{k,\hat{a}}}$ ⁸⁵⁷ festzulegen. Abbildung 40 zeigt links den Einfluss des Formparameters $b_{k,\hat{s}_{k,\hat{a}}}$ für das Intervall $[0,05; 0,5]$ bei konstantem $a_{k,\hat{s}_{k,\hat{a}}} = 1.000$, während rechterhand die Nachfragekurven für Variationen des Formparameters $a_{k,\hat{s}_{k,\hat{a}}}$ im Intervall $[100; 1.000]$ mit konstantem $b_{k,\hat{s}_{k,\hat{a}}} = 0,25$ dargestellt sind. $b_{k,\hat{s}_{k,\hat{a}}}$ kann somit, wie in Abbildung 40 erkennbar, im Kontext der negativ exponentiellen Nachfrage nach Datenübertragungsdienstleistungen bei der Modellierung von anwendungsspezifischen Nachfragen als maßgeblicher Einflussfaktor zur Abbildung des Abklingverhaltens der Zahlungsbereitschaft verstanden werden.

⁸⁵⁷ Es wird an dieser Stelle zunächst darauf verzichtet, die Komplexität des Modells durch einen stochastischen Formparameter weiter zu erhöhen, sodass folgend auf einen deterministischen Parameter zurückgegriffen wird.

D. h. mit einem Ansteigen des $b_{k,\hat{s}_{k,\hat{a}}}$ -Werts nimmt die Nachfrage bei steigenden Preisen schneller ab und der Kunde kann entsprechend als preissensibler bezeichnet werden. Der Formparameter $a_{k,\hat{s}_{k,\hat{a}}}$ spiegelt hingegen die maximal nachgefragte Menge wider, also die dem Preis 0 funktional zugewiesene Menge, und muss somit den jeweils angenommenen konkreten Werten für die kundensegmentspezifischen Nachfragen nach den identifizierten Anwendungen entsprechen. Weiterhin sei entsprechend der im Zuge der Diskussion von Flatrate-Tarifen thematisierten Problematik davon ausgegangen, dass die Nachfrage, die dem Datenübertragungsdienstleister für Flatrate-Tarife bekannt ist, der entspricht, die das Kundensegment maximal nachfragt.

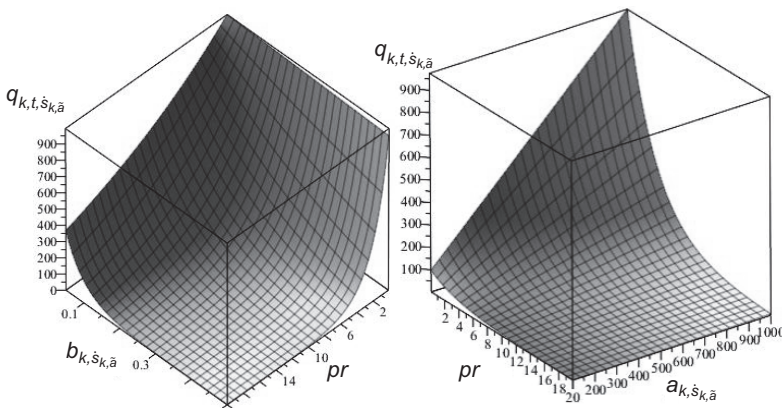


Abbildung 40: Auswirkungen der Variation von Formparametern auf die negativ exponentielle Nachfragekurve

Um die nachgefragte Menge für die einzelnen betrachteten Anwendungen und damit den Formparameter $a_{k,\hat{s}_{k,\hat{a}}}$, der die Nachfrage nach den jeweiligen Anwendungen der einzelnen Kundensegmente festlegt, zu bestimmen, wäre idealerweise auf die Verkehrsdaten vom jeweiligen Datenübertragungsdienstleister zurückzugreifen.⁸⁵⁸ Da diese Daten, die den Datenübertragungsdienstleistungsanbietern zur Verfügung stehen, folgend nicht vorliegen und Studien fehlen, die eine Koppelung einer Segmentierung anhand des Nutzungsverhaltens mit einer Quantifizierung der zu den spezifischen Nutzungscharakteristika zugehörigen Datenmengen vornehmen, werden folgend Schätzungen für die identifizierten Kundensegmente vorgenommen. Im Optimum lassen sich diese Schätzwerte jedoch durch vom Dienstleistungsanbieter mittels „Deep Packet Inspection“ zu einzelnen Anwendungen erhobene Daten ersetzen.

⁸⁵⁸ Vgl. HACKBARTH/KULENKAMPFF/PLÜCKEBAUM [Kostenmodell] S. 20

Um Schätzungen für den Formparameter der zu betrachtenden QoS-Level zu ermitteln, wird einerseits auf die von der SANDERVINE INC. erhobenen Daten, die einen Überblick über die zehn datenintensivsten Anwendungen zur Spitzenlastzeit geben, sowie die dort ebenfalls gebildeten drei Video-on-Demand-Nutzertypen zurückgegriffen.⁸⁵⁹ Bei letzteren erfolgt die Angabe der Kapazitätsinanspruchnahmen jedoch nicht länger für die Spitzenlastzeit, sondern wird als Inanspruchnahme pro Monat quantifiziert. Da auch darüber hinaus vorliegende Daten die potenzielle Kapazitätsinanspruchnahme innerhalb eines Tages bzw. eines Monats quantifizieren, wird zunächst das segment-spezifische Nutzungsprofil über die in einem Monat genutzten anwendungsspezifischen Datenübertragungsdienstleistungen spezifiziert, um eine einheitliche Basis zur Gewinnung von Rückschlüssen über die Zusammensetzung des segmentspezifischen Datenverkehrs zu haben.

Neben den von SANDERVINE INC. erhobenen Daten zur Ermittlung einer segmentspezifischen, durchschnittlichen Kapazitätsinanspruchnahme pro Monat wird auf anwendungsspezifische, durchschnittliche Datenübertragungsmengen zurückgegriffen,⁸⁶⁰ ohne jedoch darüber hinaus nochmals zu differenzieren, mit welchem Endgerät, sei es der Computer bzw. Laptop, das Tablet oder das Smartphone, die Nutzung innerhalb des Heimnetzwerks vorgenommen wird, da die Daten gesammelt, ohne diese Spezifizierung über das Next Generation Network übermittelt werden. Die Datenmengen werden in Verbindung mit den in Kapitel 2.3.3 festgehaltenen segmentspezifischen Nutzungscharakteristika in mengenbasierte und segmentspezifische Inanspruchnahmen der Datenübertragungsdienstleistung pro Monat transformiert, so wie dies in Abbildung 41 umgesetzt ist. Dazu gilt, dass die Nutzungsintensität der Anwendungen vom höchsten Kundensegment 1 hin zum niedrigsten Kundensegment 4 abnimmt und darüber hinaus vom höchsten Kundensegment, entsprechend der Definition des Omnivoren, alle Datenübertragungsdienste in Anspruch genommen werden, während die niedrigste Gruppe nur ausgewählte Anwendungen nutzt. Die für die Nachfragemodellierung notwendige Quantifizierung der Datenmengen erfolgt sodann auf Basis der durchschnittlichen Nutzungsdauer einer Anwendung und der Multiplikation dieser kundensegmentspezifischen Anwendungsnutzungszeit mit der durchschnittlichen, mit dieser Anwendung verbundenen Menge an Datenübertragungsdienstleistungen, gemessen in GB/Monat. Zwar ist der Umfang der Nutzung der Sprachdienste von den beiden

⁸⁵⁹ Vgl. SANDERVINE INCORPORATED [Internet Report] S. 5 ff.

⁸⁶⁰ Vgl. auch fortfolgend zu durchschnittlichen anwendungsbezogenen Datenübertragungsmengen AT&T [Calculator], SASKTEL [Calculator], T-MOBILE USA INC. [Calculator], VERIZON [Calculator] und insbesondere auch den Rechner von CABLE ONE INC. [Calculator], der für drei Nutzersegmente bereits vordefinierte Werte bereitstellt.

hohen Kundensegmenten mit den gleichen Größen angesetzt, unterscheidet sich jedoch hinsichtlich der Nutzung der Qualität der Video-Telefonie und damit der mit diesen Diensten verbundenen Datenmengen, sodass unterstellt wird, dass das höchste Kundensegment eine stärkere Affinität zur Nutzung aller zur Verfügung stehenden Möglichkeiten auch bezüglich der Auflösung von Video-Diensten hat. Auch im Zuge der Schätzung der Video-on-Demand-Nutzung sei davon ausgegangen, dass das erste und zweite Kundensegment im gleichen Umfang Videos in der Standardauflösung (SD) schauen. Diese Annahme resultiert daraus, dass einerseits z. B. Youtube-Videos oder in Facebook eingebundene Videos bislang überwiegend in SD angeboten werden, während die als Online-Videotheken agierenden Video-on-Demand-Anbieter die Filme und Serien in verschiedenen Auflösungen bereitstellen, sodass hier das höchste Kundensegment vor allem bei Video on Demand auf höhere Qualitäten zurückgreift und die Datenübertragungsdienstleistungen, die auf SD-Videos zurückzuführen sind, ausschließlich aus Youtube und in normale Homepages eingebetteten Videos resultiert. Das zweite Kundensegment wiederum greift auch auf die SD-Videos der Video-on-Demand-Anbieter zurück. Bei der Berechnung der mit der Nutzung dieser Anwendungen verbundenen Datenübertragungsmengen wird für Videos in Standardauflösung davon ausgegangen, dass diese 650 MB/Std. beanspruchen, während für HD-Qualität mit 2 GB/Std. gerechnet wird, auch wenn 3D-Filme in HD bereits Datenübertragungsdienstleistungen von bis zu 4,7 GB/Std. in Anspruch nehmen und Ultra-HD-Filme für bis zu 7 GB/Std. verantwortlich sein werden.⁸⁶¹

Vergleichbar zur Gestaltung der Nutzungscharakteristika der Telefonie- und Video-Anwendungen sei auch für die Quantifizierung der Nachfragemenge resultierend aus der Nutzung von Musik-Streaming-Anwendungen sowie des Web-Browsen und der Nutzung von E-Mails und File-Sharing-Anwendungen wie z. B. BitTorrent vorgegangen, deren Werte für das zweite bis vierte Kundensegment überwiegend in Anlehnung an die von CABLE ONE INC. bereits für drei Nutzersegmente vordefinierten Nutzungscharakteristika quantifiziert sind, während die Nutzungsintensität der Anwendungen und damit die Menge der in Anspruch genommenen Datenübertragungsdienstleistungen für das erste Kundensegment nochmals deutlich über den Werten des zweiten Kundensegments liegen und damit die in der Analyse der SANDAVINE INC. festgestellte extensive Nutzung der VoD-Anwendungen auch auf die Nutzung der anderen Datenübertragungsdienstleistungen übertragen wird.⁸⁶²

⁸⁶¹ Vgl. z. B. NETFLIX [Data Usage]

⁸⁶² Vgl. CABLE ONE INC. [Calculator] sowie SANDAVINE INC. [Internet Report] S. 5

	Anwendungsart		Einheiten	Kunden-segment I	Kunden-segment II	Kunden-segment III	Kunden-segment IV
QoS-Level 1	Sprachdienste		Min./Monat	300	300	120	60
			GB/Monat	0,2197	0,2197	0,0879	0,0440
	Video-Telefonie und Konferenzanwendungen	SD	Min./Monat	0	60	0	0
			GB/Monat	0	0,4688	0	0
		HD	Min./Monat	60	0	0	0
			GB/Monat	0,7031	0	0	0
	Online Gaming		Min./Tag	60	0	0	0
			GB/Monat	0,4395	0	0	0
QoS-Level 2	Video on Demand & IP-TV	SD	Min./Tag	30	30	10	0
			GB/Monat	9,5215	9,5215	3,1738	0
		HD	Min./Tag	180	60	10	0
			GB/Monat	180	60	10	0
	Musik Streaming		Min./Tag	180	180	60	0
			GB/Monat	5,2734	5,2734	1,7578	0
QoS-Level 3	BitTorrent	$\frac{GB}{Monat}$	25	2	0,5	0,2	
QoS-Level 4	E-Mail		Mails/Tag	100	50	20	5
			GB/Monat	0,0172	0,0086	0,0034	0,0009
	Web Browsing		Min./Tag	180	120	60	20
			GB/Monat	1,3184	0,8789	0,4395	0,1465

Abbildung 41: Segmentspezifische Inanspruchnahme und optimales Servicelevel⁸⁶³

Die Anwendungen, die bezüglich der bereits in Abbildung 11 festgestellten Anforderungen an die Dienstgüte der Datenübertragung vergleichbar sind, seien so wie bereits in Abbildung 42 ersichtlich, in vier Dienstgüteklassen gebündelt: die „Interactive-Klasse“, die „Multimedia-Klasse“, die „Critical-Klasse“ sowie die „Less-Critical-Klasse“, die gleichzeitig auch die „Best-Effort-Klasse“ umfasst und die in Abbildung 42 dargestellten Anwendungen mit den zugehörigen Parametern beinhalten.⁸⁶⁴ Im Unterschied zur dort vorgenommenen Einteilung wird als dritte Klasse jedoch die File-Sharing-

⁸⁶³ Vgl. HACKBARTH/KULENKAMPFF/PLÜCKEBAUM [Kostenmodell] S. 32 ff., die ebenfalls auf eine Verkehrsmatrix zurückgreifen, mittels derer gleichfalls eine Zuweisung der nachgefragten Datenmengen zu den identifizierten Nutzersegmenten vorgenommen wird.

⁸⁶⁴ Vgl. JAY/PLÜCKEBAUM [QoS] S. 85 f., BRENNER ET AL. [Qualität] S. 31, JAY ET AL. [Next Generation] S. 77 sowie EKLUND ET AL. [802.16] S. 104 zum non-real-time polling service als eigene Klasse, die hier dem File-Sharing entspricht.

Klasse mit Mindestanforderungen an die Bandbreite und an die Paket-Verlustwahrscheinlichkeit definiert, sodass die der Critical-Klasse zugehörigen Anwendungen durch Reduktion der Paketverlustwahrscheinlichkeit in der Interactive-Klasse enthalten sind.

Qualitätsklasse	Anwendungen	Parameter
Interactive	Telefonie Video-Telefonie Konferenzanwendungen Online Gaming	Bandbreite 16 - 500 KB/s
		Delay 100-200 ms
		Jitter < 30 ms
		Packet Loss < 0,1%
Multimedia	IP-TV Video on Demand Audio Streaming	Bandbreite 384 KB/s - 14MB/s
		Delay 400-1.000 ms
		Jitter < 1.000 ms
		Packet Loss < 0,1 %
File-Sharing	FTP basierte Anwendungen BitTorrent	Bandbreite 16 KB/S - Maximum
		Delay < 2.000 ms
		Jitter n. a.
		Packet Loss < 1%
Best Effort	E-Mail Downloads Web-Browsing	Bandbreite Bis Maximum
		Delay < 2.000 ms
		Jitter n. a.
		Packet Loss n. a.

Abbildung 42: Aufteilung der Anwendungen in einem Qualitätsklassenkonzept mit vier Klassen⁸⁶⁵

Um sodann den Formparameter für die einzelnen segment- und dienstgüteklassen-spezifischen Nachfragen abzuleiten, sind die mit den Anwendungen verbundenen Datenaufkommen zu einem geschätzten, durchschnittlichen Tagesverbrauch $\bar{q}_{k, \hat{s}_{k, \hat{a}}}$ zu summieren. Eben dieser geschätzte Tagesverbrauch ist folgend als der durchschnittlich zu erwartende Tagesverbrauch angenommen und dient zur Ermittlung des zur Nachfragemodellierung benötigten Formparameters $a_{k, \hat{s}_{k, \hat{a}}}$, so wie dies gemäß Formel 53 vorzunehmen ist.

Dementsprechend resultiert aus den in Abbildung 42 dargestellten segmentspezifischen Nachfragen pro Monat der verschiedenen Anwendungen die in Abbildung 43 übersichtsmäßig dargestellten segment- und anwendungsspezifischen erwarteten Nachfragemengen pro Tag.

⁸⁶⁵ In Anlehnung an BRENNER ET AL. [Qualität] S. 31

Anwendung	Segment 1	Segment 2	Segment 3	Segment 4
Sprache	7,50 MB	7,50 MB	3,00 MB	1,50 MB
SD-Video-Tel.	0,00 MB	16,00 MB	0,00 MB	0,00 MB
HD-Video-Tel.	24,00 MB	0,00 MB	0,00 MB	0,00 MB
Gaming	15,00 MB	3,75 MB	0,00 MB	0,00 MB
SD-VoD	325,00 MB	325,00 MB	108,33 MB	10,83 MB
HD-VoD	6144,00 MB	2048,00 MB	341,33 MB	0,00 MB
Musik	180,00 MB	180,00 MB	60,00 MB	0,00 MB
BitTorrent	853,33 MB	68,27 MB	17,07 MB	3,41 MB
Browsing	45,00 MB	30,00 MB	15,00 MB	5,00 MB
E-Mail	0,59 MB	0,29 MB	0,12 MB	0,03 MB

Abbildung 43: Segmentspezifische Nachfragemengen pro Tag

In der Zahlungsbereitschaftsfunktion sind die Parameter $a_{k,\hat{s}_{k,\hat{a}}}$ und $b_{k,\hat{s}_{k,\hat{a}}}$ wiederum maßgeblich für die Bestimmung der maximalen Zahlungsbereitschaft $zb_{k,\hat{s}_{k,\hat{a}}}^{\max}$ verantwortlich, da diese aus $\left[a_{k,\hat{s}_{k,\hat{a}}} / (b_{k,\hat{s}_{k,\hat{a}}}) \right] + o_{k,\hat{s}_{k,\hat{a}}}$ resultiert, so wie dies bereits in Formel 27 festgehalten ist; mit $o_{k,\hat{s}_{k,\hat{a}}}$ als von der nachgefragten Menge unabhängigen Zahlungsbereitschaft. Da die Nachfrage jedoch von den Datenübertragungsdienstleistungsanbietern wesentlich einfacher zu beobachten ist als die für die einzelnen Dienstgütelevel bestehenden Zahlungsbereitschaften und daher auch vorangehend $a_{k,\hat{s}_{k,\hat{a}}}$ bestimmt wurde, sei folgend davon ausgegangen, dass dieser funktionale Zusammenhang zur Ermittlung der Werte für $b_{k,\hat{s}_{k,\hat{a}}}$ herangezogen werden kann. Es wird davon ausgegangen, dass für die Datenübertragungsdienstleistungen keine gesonderte Zahlungsbereitschaft für die bloße Bereitstellung besteht, sodass $o_{k,\hat{s}_{k,\hat{a}}} = 0$ angenommen werden kann. Wird darüber hinaus davon ausgegangen, dass sich aus den bereits bei den Datenübertragungsdienstleistern bestehenden Tarifstrukturen, z. B. die bei den aktuellen Flatrate-Tarifen bestehende Bepreisung, eine durchschnittliche Preisobergrenze eines Segments ermittelt lässt, so lägen diese Daten dem jeweiligen Datenübertragungsdienstleistungsanbieters vor und es ließe sich für $b_{k,\hat{s}_{k,\hat{a}}}$ ein Wert ableiten.

Da diese zur Ermittlung des Formparameters $b_{k,\hat{s}_{k,\hat{a}}}$ erforderlichen Daten jedoch von Datenübertragungsdienstleistern nicht veröffentlicht werden und somit folgend nicht vorliegen, sei folgend für die einzelnen Nachfrageverläufe von beispielhaft gewählten maximalen segmentspezifischen Zahlungsbereitschaften pro Tag $zb_{k,\hat{s}_{k,\hat{a}}}^{\max}$ ausgegangen, sodass sich die Formparameter $b_{k,\hat{s}_{k,\hat{a}}}$ entsprechend der Ermittlung der maximalen Zahlungsbereitschaft auf Basis der folgenden Formel ergeben.⁸⁶⁶

⁸⁶⁶ Vergleiche zur Ermittlung von Zahlungsbereitschaft für Datenübertragungsdienstleistungen Kapitel 4.3.1.1 und Quellen darin.

$$b_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}} = \frac{a_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}}{zb_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}^{\max}} \quad (100)$$

Entsprechend erfolgt die Skalierung der maximalen Zahlungsbereitschaft gleichfalls auf die pro Tag erwartete durchschnittliche Kapazitätsinanspruchnahme, sodass sich die in der folgenden Tabelle angegebenen Zahlungsbereitschaften ergeben, die der Berechnung des Formparameters $b_{k,\hat{s}_{k,\tilde{a}}}$ zugrunde gelegt sind.

Anwendung	Segment 1	Segment 2	Segment 3	Segment 4
Sprache	0,001975135	0,005599502	0,011012195	0,144397635
SD-Video-Tel.	$2,63351 \cdot 10^{-14}$	0,011945604	$3,67073 \cdot 10^{-13}$	$9,62651 \cdot 10^{-12}$
HD-Video-Tel.	0,006320431	$7,466 \cdot 10^{-14}$	$3,67073 \cdot 10^{-13}$	$9,62651 \cdot 10^{-12}$
Gaming	0,003950269	0,002799751	$3,67073 \cdot 10^{-13}$	$9,62651 \cdot 10^{-12}$
SD-VoD	0,085589164	0,242645088	0,397662585	1,042871808
HD-VoD	1,618030235	1,529037355	1,252943038	$9,62651 \cdot 10^{-12}$
Musik	0,04740323	0,134388049	0,220243893	$9,62651 \cdot 10^{-12}$
BitTorrent	0,224726422	0,050967912	0,062647152	0,32858484
Browsing	0,011850807	0,022398008	0,055060973	0,48132545
E-Mail	0,000154307	0,000218731	0,000430164	0,002820266

Abbildung 44: Angenommene erwartete durchschnittliche Zahlungsbereitschaften der Segmente und Anwendungen pro Tag

Zur Abbildung der anwendungs- und segmentspezifischen Nachfragen wird jedoch nicht auf eine einzige, für jedes Segment mit einer Zufallszahl ermittelte anwendungs-spezifische Nachfrage zurückgegriffen, da in diesem Falle aufgrund der Heavy-Tail-Eigenschaft beim Vorliegen einer sehr hohen Nachfrage nach einer bestimmten Anwendung die Abarbeitung der Warteschlange – zumindest bei der folgend angestrebten Betrachtung von Minutenabständen – unrealistisch lange dauern würde.

Um den Effekt eines aus einer einzelnen kundenspezifischen Nachfragekurve kurzfristig sehr hohen Datenaufkommens zu kompensieren, wird auf 100 Einzelverteilungen für jede Anwendung zurückgegriffen. Dies ist notwendig, da im Zuge der Betrachtung von Kundensegmenten eine von einem Kunden sehr große Nachfrage durch die Nachfragen der weiteren Nutzer des Segments relativiert wird. Je größer die Kundengruppen sind, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit dafür, dass im Verhältnis zu der insgesamt nachgefragten Menge nach Datenübertragungsdienstleistungen außerordentlich große Nachfragen einzelner Nutzer signifikant zu einem Anstieg der gesamten Nachfragemenge führen, und desto kleiner ist die Wahrscheinlichkeit, dass alle Nutzer des Kundensegments gleichzeitig eine außergewöhnlich große Nachfrage haben.

Mit der Modellierung von 100 Einzelverteilungen wird zwar bezogen auf die Komplexität der Simulation wieder ein Schritt in Richtung der Einzelkundenbetrachtung gegangen, jedoch scheint dies angesichts der insgesamt weiterhin bestehenden Komplexitätsreduktion vertretbar zu sein. Um die unterschiedliche Anzahl der in einem Segment befindlichen Nutzer zu berücksichtigen, werden die 100 einzelnen Zufallszahlen entsprechend des Anteils der Nutzer des jeweiligen Segments an der Kundengesamtheit verteilt und gemäß der in Kapitel 5.2.1 für die verschiedenen Segmente definierten dienstgütelevelspezifischen Nachfragefunktionen zeitpunktspezifisch ermittelt.⁸⁶⁷ Damit wird direkt berücksichtigt, dass die Analyse auf Kundensegmentebene erfolgt und entsprechend eine größere Kundenzahl Einfluss auf die jeweilige Nachfrage nimmt; zur Umsetzung in der Simulation vergleiche im Anhang Abbildung 76.

Die einzelnen Nachfragekurven basieren, dem Gedanken einer segmentbasierten Betrachtung folgend, jedoch nicht auf für jede Verteilungsfunktion eigenen spezifischen Nutzungsstrukturen oder gesonderten Nutzenfunktionen, sondern werden weiterhin auf einer für die Segmente berechneten Größe fußen und fließen ausschließlich als durchschnittliche von einem Segment k für das Dienstgütelevel s nachgefragten Datenmenge in die Berechnung des zum Zeitpunkt t bestehenden Datenaufkommens ein. Andernfalls würde die Berechnungskomplexität gegen die der Einzelkundenbetrachtung streben, die jedoch nicht angestrebt wird.

Die sodann vorliegenden Daten ermöglichen die Bestimmung der segmentspezifischen Nachfragen zum jeweiligen Zeitpunkt t für den Fall, dass keine kurzfristigen Preisanpassungen realisiert werden, und ließen sich sowohl über das Type-of-Service- bzw. Traffic-Class-Feld im Header der Datenpakete ohne maßgebliche Auswirkung auf die QoS-Parameter vom Datenübertragungsdienstleistungsanbieter auslesen.⁸⁶⁸ Damit ist der Anbieter in der Lage, entsprechend dieser Spezifikation eine Priorisierung vorzunehmen,⁸⁶⁹ sodass ein dienstgütelevelspezifisches Datenaufkommen zu bestimmen ist. Eben dieses kann sodann zur Berechnung des Nutzens der tatsächlich realisierten Dienstgüter herangezogen werden.

⁸⁶⁷ Eine weitere Ausweitung der Anzahl der Verteilungsfunktionen scheint angesichts des Berechnungsaufwands und der damit verbundenen Computerprozessorbeanspruchung sowie der daraus resultieren Rechenzeit der einzelnen Funktionen nicht erstrebenswert.

⁸⁶⁸ Vgl. HACKBARTH/KUHLENKAMPFF/PLÜCKEBAUM [Kostenmodell] S. 33 und zur praktischen Realisierung in IP-Netzen CISCO [QoS] S. 92. Sollte eine kurzfristige Anpassung der Preise ermöglicht werden, so wäre diese über die nach Formel 66 erfolgende multiplikative Verknüpfung mit $b_{k,\hat{s},\hat{a}}$ mit einzubeziehen.

⁸⁶⁹ Vgl. z. B. AMSIX [QoS], die QoS-Garantien mittels MPLS sichern.

5.2.3 Ermittlung der aggregierten Nachfrage nach Datenübertragungsdienstleistungen im Simulationstool

Zur simulativen Abbildung des Datenverkehrs zu diskreten Zeitpunkten ist die Nachfrage der einzelnen Segmente, die basierend auf den in Kapitel 5.2.1 modellierten Nachfragecharakteristika ermittelt wird, zu aggregieren und die Kapazitätsbeschränkung innerhalb der einzelnen Dienstgütelevel zu berücksichtigen. Die Arbitrationslogik, die in dem Simulationsmodell folgend zur Bedienung der verschiedenen Warteschlangensysteme zugrunde gelegt sei, basiert auf dem Class-Based-Weighted-Fair-Queuing-Algorithmus und ermöglicht eine Priorisierung von einzelnen einer Dienstklasse zugewiesenen Datenpaketen, ohne jedoch niedrigere Prioritätslevel vollumfänglich bei Kapazitätsengpässen zu diskriminieren, da jedem Servicelevel grundsätzlich eine vorab definierte Übertragungskapazität zugesichert ist.

Der Algorithmus, der die Bedienstrategie abbildet, ist dazu so aufgebaut, dass die in niedrigeren Dienstgüteklassen innerhalb einer Zeitscheibe verbleibenden freien Kapazitäten immer zunächst an das höchste QoS-Level, Level 1, weitervererbt werden. Auf diese Weise ist eine zusätzliche priorisierte Behandlung von hohen Klassen realisiert, da erst, wenn in der höchsten Klasse keine Kapazitätsengpässe bestehen, eventuelle in der Zeitscheibe verbleibende Kapazitäten auf die nächst niedrigere Klasse übergehen. Da bei der Implementierung aufgrund der gleichzeitig zu erfolgenden Berechnung aller Warteschlangenlängen keine sequenzielle Zuteilung der Ressourcen möglich ist, gilt es den Algorithmus so zu implementieren, dass die Vorgehensweise eine parallele, also zeitgleiche, Verteilung der Ressourcen ermöglicht. Dies konnte, so wie dies die in Abbildung 45 dargestellten Excel-Formeln wiedergeben, realisiert werden, indem zuerst errechnet wird, in welchem Umfang die Nachfrage der aktuellen Periode, zuzüglich potenziell noch aus vorangegangenen Perioden bestehenden Warteschlangen, die dem Dienstgütelevel prinzipiell für die Zeitscheibe zugewiesene Kapazität über- bzw. unterschreitet. Von einem Kapazitätsbedarf wird immer dann gesprochen, wenn die Nachfrage größer als die vorhandene Kapazität ist, bzw. von einem Kapazitätsüberschuss, wenn die Kapazität größer als die Nachfrage ist. Für den Fall, dass die aggregierte Nachfrage über alle Servicelevel größer als die für alle Serviceklassen vorhandenen Kapazitäten ist, werden die servicelevelspezifischen Warteschlangenlängen für den Fall der zugrunde gelegten Bedienstrategie bestimmt.

Die Warteschlangen sind für Datenübertragungsdienstleistungen zwingend größer gleich 0, da die zu einem bestimmten Zeitpunkt nicht in Anspruch genommenen Kapazitäten verfallen und nicht zu einem späteren Zeitpunkt erneut verwendet werden können, um zu diesem späteren Zeitpunkt etwaig bestehende Kapazitätsengpässe

auszugleichen. Daher ermittelt sich beim Class-Based-Weighted-Fair-Queueing-Algorithmus mit fixierten Kapazitäten für die einzelnen Servicelevel pro Zeitscheibe die Warteschlangenlänge vom höchsten QoS-Level, an das alle potenziell in niedrigeren Leveln bestehende Kapazitätsüberschüsse zuerst vererbt werden, indem das Maximum von 0 und des Minimums aller möglichen Summenkombinationen der Kapazitätsüberschüsse bzw. Kapazitätsbedarfe ermittelt wird; vergleiche dazu auch Abbildung 45. Denn sollte die für das höchste Servicelevel vorgehaltene Kapazität nicht ausreichen, um die Nachfrage zu bedienen, so entsteht nur dann eine Warteschlange, wenn die in den anderen QoS-Level potenziell ungenutzten Kapazitäten nicht zur Deckung des Kapazitätsbedarfs ausreichen und damit die Summe des im höchsten Servicelevel bestehenden Kapazitätsbedarfs nicht durch Kapazitätsüberschüsse in niedrigeren Segmenten negativ wird. Sofern für alle Summenkombinationen Kapazitätsüberschüsse das Ergebnis des Minimums sind und damit der höchste negative Wert im Minimum ausgegeben wird, gibt die Maximierung die 0 als Warteschlangenlänge zurück.

Zur Bestimmung der Warteschlangenlänge des zweiten QoS-Levels wird zunächst, so wie in Abbildung 45 dargestellt, geprüft, ob ein Kapazitätsbedarf existiert; ist dies nicht der Fall, wird als Warteschlangenlänge 0 ausgegeben. Andernfalls wird geprüft, ob in den übrigen QoS-Level gleichfalls überall Kapazitätsbedarfe vorliegen, da dann die Warteschlangenlänge genau dem Kapazitätsbedarf des zweiten QoS-Level entspricht. Trifft beides nicht zu, so wird geprüft, ob die in den anderen Servicelevel bestehenden Überkapazitäten dazu ausreichen, um die im ersten Servicelevel bestehenden Kapazitätsbedarfe zu decken, da genau dann die Warteschlangenlänge des zweiten QoS-Level sich aus der Summe des Kapazitätsbedarfs des ersten und zweiten QoS-Level abzüglich des von den beiden niedrigeren QoS-Level an die oberen weitervererbten Kapazitätsüberschusses errechnet; dabei wird mit der Maximierung erneut die Nebenbedingung der Nichtnegativität der Warteschlangenlänge gesichert. Reichen die Kapazitätsüberschüsse hingegen nicht aus, um den Kapazitätsbedarf des höchsten QoS-Levels zu decken, so kann der zu diesem Zeitpunkt bestehende Kapazitätsbedarf nicht reduziert werden, sodass die Warteschlange dem Kapazitätsbedarf entspricht.

Zur Bestimmung der Warteschlangenlänge des dritten QoS-Level wird analog zum Vorgehen bei der Bestimmung der zweiten Warteschlangenlänge, gleichfalls in einem ersten Schritt, so wie in der in Abbildung 45 zur Übersicht dargestellten Excel-Formel ersichtlich, geprüft, ob ein Kapazitätsbedarf besteht, andernfalls wird die Warteschlangenlänge auf 0 gesetzt. Besteht hingegen ein Kapazitätsbedarf so wird geklärt, ob in den übrigen QoS-Level Kapazitätsüberschüsse vorhanden sind, denn erneut kann nur

dann der im dritten QoS-Level bestehende Kapazitätsbedarf gesenkt werden, wenn in mindestens einem Level ein Kapazitätsüberschuss vorliegt. Entsprechend wird die Warteschlange dann in Höhe des im dritten QoS-Level bestehenden Kapazitätsbedarfs ausgewiesen, wenn keine Kapazitätsüberschüsse in den übrigen QoS-Level bestehen. Für den Fall, dass Kapazitätsüberschüsse bestehen, wird geprüft, ob ein Kapazitätsüberschuss im niedrigsten QoS-Level besteht und nach Abzug des Kapazitätsüberschusses des niedrigsten QoS-Level von der Summe der Kapazitätsbedarfe der höheren QoS-Level ein Kapazitätsüberschuss bestehen bleibt, da in diesem Fall die Warteschlangenlänge aus dem Maximum von 0 und der Summe der in allen QoS-Level bestehenden Kapazitätsbedarfe bzw. Kapazitätsüberschüsse entspricht; erneut wird mit der Maximierungsfunktion sichergestellt, dass keine negative Warteschlangenlänge ausgewiesen wird. Sollte jedoch der Fall auftreten, dass im niedrigsten QoS-Level Kapazitätsbedarf besteht, in den beiden höheren jedoch Kapazitätsüberschüsse vorliegen, so ergibt sich die Warteschlangenlänge für das dritte QoS-Level aus dem Maximum von 0 und der Summe der Kapazitätsüberschüsse der höheren QoS-Level und dem Kapazitätsbedarf des dritten QoS-Levels. In allen übrigen Fällen ist die Warteschlangenlänge gleich dem Kapazitätsbedarf des dritten QoS-Levels.

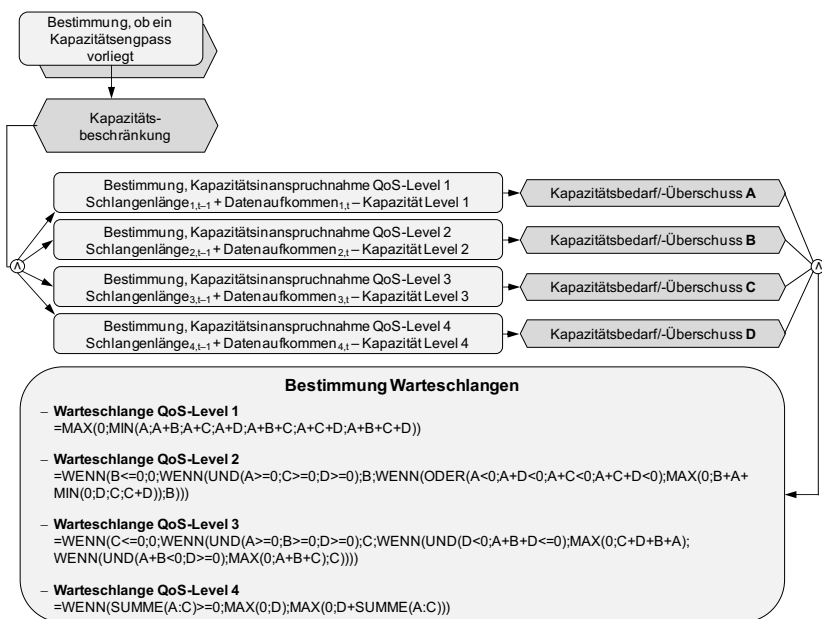


Abbildung 45: Excelbasierte Implementierung eines Round-Robin-Algorithmus für 4 Warteschlangen

Zur Ermittlung der Warteschlangenlänge des vierten QoS-Levels wird zunächst geprüft, ob in der Summe für die höheren QoS-Level ein Kapazitätsbedarf oder ein Kapazitätsüberschuss besteht, so wie dies zur Übersicht in Abbildung 45 mit der in Excel implementierten Formel gleichfalls ersichtlich wird. Besteht ein Kapazitätsbedarf, also die Summe ist größer als 0, so ist die Warteschlangenlänge mit 0 für den Fall eines Kapazitätsüberschusses wiederzugeben und beträgt für den Fall eines Kapazitätsbedarfs die Warteschlangenlänge gleich dem Bedarf. Eben dies wird mit dem Maximum von 0 und dem in dem vierten QoS-Level bestehenden Kapazitätsbedarf bzw. Überschuss gebildet. Besteht hingegen ein Kapazitätsüberschuss in den höheren QoS-Level, so resultiert die ausgewiesene Warteschlangenlänge aus dem Maximum aus 0 (falls der Bedarf in QoS-Level vier niedriger ist als der Überschuss der höheren QoS-Level) bzw. dem Bedarf in QoS-Level vier abzüglich des Kapazitätsüberschusses aller höheren Level.

Im Rahmen der gewählten Bedienstrategie ließe sich die Bevorteilung von höheren Prioritätslevel nochmalig verstärken, indem für die höheren Prioritätsklassen größere Kapazitäten vorgehalten werden als dies entsprechend der auf Vergangenheitswerten gebildeten Erwartungswerte der Nachfrage notwendig wäre. In der abgebildeten Simulation wird eine Verteilung der Übertragungskapazität gemäß Abbildung 46 vorgenommen.

	QoS-Level 1	QoS-Level 2	QoS-Level 3	QoS-Level 4
Prozentualer Anteil an der Gesamtkapazität	5 %	80 %	10 %	5 %

Abbildung 46: Beispielhafte Verteilung der Gesamtkapazität auf vier QoS-Level

Auf diese Weise kann die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Kapazitätsengpasses in einem der beiden hohen Level, deren Nutzen resultierend aus der Inanspruchnahme der Datenübertragungsdienstleistung besonders anfällig für Dienstgüteeinbußen ist, verringert werden. Gleichzeitig wird erneut ersichtlich, dass bei dem gewählten Verfahren keine statischen Dienstgütegarantien realisiert werden können, sondern ausschließlich stochastische Garantien zugesichert werden können.

5.2.4 Möglichkeiten zur Ermittlung der kundensegmentspezifischen Formparameter der Nutzenfunktionen für die Fallstudie

Die Ermittlung des kundensegment- und anwendungsspezifischen Nutzens erfolgt auf Basis der im Zuge der Simulation des Datenaufkommens eingeführten und der Sicherung der Dienstgüte dienenden QoS-Level, entsprechend der in Kapitel 4.3.1.3 identifizierten und für Datenübertragungsdienstleistungen dargestellten sigmoidalen

Nutzenfunktionen.⁸⁷⁰ Diese von einer die Dienstgüte spezifizierenden Spitzenkennzahl $d_{t, f_k(\hat{s}_{k, \hat{a}})}$ abhängigen Nutzenfunktionen sind jeweils für die einzelnen Kundensegmente k und Anwendungen $\hat{s}_{k, \hat{a}}$ so zu definieren, dass mit den Formparametern der in Formel 34 festgehaltenen Funktion die in Abbildung 34 visualisierten Charakteristika der Nutzenfunktionen für die vier Anwendungstypen in Abhängigkeit der QoS-Level beschrieben werden; um die Komplexität der Simulation nicht zusätzlich zu erhöhen, sei von deterministischen Formparametern ausgegangen. Ferner wird im Folgenden zur Vereinfachung nicht jeder einzelnen Anwendung eine separate Nutzenfunktion zugewiesen, sondern es wird, so wie dies in Abbildung 41 dargestellt ist, den in einer Gruppe zusammengefassten Anwendungen je eine für alle in der Gruppe gültige, gleiche Nutzenfunktion zugewiesen.

Während sich die für die jeweilige Gruppe identifizierten anwendungsspezifischen Nutzenfunktionen in Abhängigkeit der Dienstgüte in mindestens drei Formparametern unterscheiden, findet die Differenzierung der Nutzenfunktionen innerhalb einer Anwendungsgruppe zwischen den einzelnen Segmenten über den Formparameter $\hat{a}_{k, \hat{s}_{k, \hat{a}}}$ statt. Der Wert des Parameters $\hat{a}_{k, \hat{s}_{k, \hat{a}}}$ nimmt für alle Dienstgütelevel vom Kundensegment IV, das niedrigere Anforderungen an die Dienstgüte der Datenübertragung hat als das Kundensegment I, zu, sodass zwischen den verschiedenen Segmenten kleine Unterschiede bezüglich der an die realisierte Dienstgüte gestellten Anforderungen existieren. So kann berücksichtigt werden, dass Nutzer aus Kundensegmenten, die weniger dienstgütesensitive Anwendungen in Anspruch nehmen, insgesamt mit geringerer Sensitivität auf Dienstgüteschwankungen reagieren, als dies für extensive Nutzer der Fall ist.

Um aus der simulativ ermittelten Nachfrage sowie den mit den Formparametern spezifizierten Nutzenfunktionen, die in Abbildung 48 mittels Maple geplottet sind, den tatsächlich realisierten Nutzen des Kundensegments abzuleiten, ist die Ermittlung der die Dienstgüte erfassenden Spitzenkennzahl, z. B. des Virtual Delay, notwendig. Da im Zuge der Simulation ausschließlich die Warteschlangenlänge zu den betrachteten Zeitpunkten in den jeweiligen Klassen erfasst wird, sind aus dieser Information Rückschlüsse auf die realisierte Dienstgüte zu ziehen. Da der in der Simulation implementierte CBWFQ-Algorithmus (class-based weighted fair queueing) in der Realität eine Beschränkung der Schlangenlänge vorweist, die hier jedoch vernachlässigt werden soll, bei deren Überschreitung Datenpakete verworfen werden,⁸⁷¹ führt eine Warteschlange sowohl zur Erhöhung des Package Delay und der Jitter-Werte, als auch zu

⁸⁷⁰ Vgl. DASILVA [Pricing] S. 3

⁸⁷¹ Vgl. CISCO [QoS] S. 93

einer Reduktion der Ankunftswahrscheinlichkeit der Daten und damit nochmals zu einer Reduktion der Dienstgüte. Alle drei die Dienstgüte charakterisierenden Größen, die gemäß der Definition des Virtual Delay zunächst gleichermaßen Einfluss auf d haben, müssen entsprechend der Definition der Inputgrößen der Formel 34 vorliegen.

	Kundensegment	Parameter $\hat{a}_{k,s_k,\bar{a}}$	Parameter $\hat{b}_{k,s_k,\bar{a}}$	Parameter $\hat{o}_{k,s_k,\bar{a}}$
Level 1	Segment I	0,40	50,00	9,00
	Segment II	0,45	50,00	9,00
	Segment III	0,50	50,00	9,00
	Segment IV	0,55	50,00	9,00
Level 2	Segment I	0,65	7,00	4,00
	Segment II	0,70	7,00	4,00
	Segment III	0,75	7,00	4,00
	Segment IV	0,80	7,00	4,00
Level 3	Segment I	1,55	4,00	3,00
	Segment II	1,60	4,00	3,00
	Segment III	1,65	4,00	3,00
	Segment IV	1,70	4,00	3,00
Level 4	Segment I	1,15	9,00	1,70
	Segment II	1,20	9,00	1,70
	Segment III	1,25	9,00	1,70
	Segment IV	1,30	9,00	1,70

Abbildung 47: Formparameter für Nutzenfunktionen der Kundensegmente

Vereinfachend wird folgend die Berechnung des Dienstgüteparameters $d_{t,s}(\Psi_t)$ für ein bestimmtes vom Datenübertragungsdienstleistungsanbieter angebotenes Servicelevel s in Abhängigkeit der gesamten Nachfrage zum Zeitpunkt t basierend auf der Warteschlangenlänge $w_{t,s}(\Psi_t)$ vorgenommen. Es gilt die Annahme, dass $d_{t,s}(\Psi_t)$ ab einer Nachfrage, die größer als die Kapazität $Kapa_{t,s}^{gesamt}$ ist, linear zur Überlastung steigt, da so davon ausgegangen wird, dass für Datenpakete, die länger als eine Periode in der Warteschlange befindlich sind, die realisierte Dienstgüte fällt. Dies entspricht der Idee, dass längere Übertragungszeiten zu einer Verringerung der Dienstgüte führen, da einerseits die Wahrscheinlichkeit für den Paketverlust steigt, wenn davon ausgegangen wird, dass ab einer bestimmten Warteschlangenlänge Datenpakete verworfen werden, und andererseits mit steigender Warteschlangenlängen die Wahrscheinlichkeit für starke Schwankungen von $D_{Jitter,t}$ auftreten. Eben diese Faktoren sind gerade für ein

Sinken der Dienstgüte gemäß des Virtual Delay verantwortlich. Folgend ist entsprechend die vereinfachende Annahme bezüglich der Berechnung des Dienstgüteparameters getroffen, sodass dieser wie in Formel 101 ermittelt wird:

$$d_{t,s}(\cdot) = \frac{w_{t,s}(\Psi_t) + w_{t-1,s}(\Psi_{t-1})}{Kapa_{s,t}^{gesamt}} \quad (101)$$

$$\forall s \in \{1, 2, \dots, S\}, \forall t \in \{1, 2, \dots, T\}$$

Bei der Wahl der den Dienstgüteparameter erfassenden Funktion sollte die Dauer der Zeitspanne, die zwischen zwei aufeinander folgenden Zeitpunkten verstreicht, mitberücksichtigt werden, indem für längere Zeiträume ein schnelleres Absinken der Dienstgüte realisiert wird, so wie dies in dem mit Formel 101 umgesetzten Fall vorgenommen wird, als in den Fällen, in denen sehr kleine Zeitabstände zwischen den jeweils betrachteten Zeitpunkten bestehen. Wird die Nachfrage beispielsweise jeweils in Millisekunden-Abständen betrachtet, kann auch für den Fall von unbeschränkten Warteschlangenlängen bei kurzfristig wesentlich größeren Warteschlangen für Multimediaendienste eine hinreichende Dienstgüte garantiert werden. Dies gilt jedoch nicht für längere Betrachtungszeiträume wie den im folgenden Simulationsmodell abgebildeten Fall, bei dem eine Minute zwischen zwei aufeinander folgenden Zeitpunkten verstreicht.

Die in Abbildung 48 mit Maple geplotteten Funktionsverläufe aller 16 Nutzenfunktionen sind, im Unterschied zu den in Abbildung 34 abgebildeten Verläufen, unter Berücksichtigung der in Abbildung 42 dargestellten Charakteristika der einzelnen QoS-Level gebildet worden. Die Funktionen der unelastischen und intoleranten Anwendungen, die in Abbildung 48 oben links dargestellt sind, sind für alle Nutzersegmente entsprechend weit in Ordinatenrichtung nach links verschoben, da, sobald die servicelevelspezifische Gesamtnachfrage gegen die dem Servicelevel zugewiesene Kapazität strebt, die die Dienstgüte repräsentierende Größe $d_{t,s}(\Psi_t)$ ansteigt und der Nutzen entsprechend fällt. Der schnelle Abfall des Nutzens resultiert in diesem Fall daraus, dass zur Realisierung des maximal möglichen Nutzens einerseits niedrige Jitter-Werte realisiert werden müssen und darüber hinaus keine Warteschlange bzw. nur extrem kurze Warteschlangen bestehen dürfen, damit keine Datenpakete verworfen werden und somit die Paketverlustwahrscheinlichkeit minimiert werden kann.

Der Nutzen beeinflusst, wie in Formel 54 festgelegt, indirekt die Nachfragefunktion, da der Nutzen Einfluss auf die Höhe des Modus nimmt und somit Einfluss auf die kurzfristige Nachfrageentwicklung hat. Die Wechselwirkung zwischen dem Nutzen und dem langfristigen Kundenverhalten resultiert hingegen aus dem indirekten Einfluss des

Nutzens auf die Kundenzufriedenheit und damit auf das langfristige Kundenwechselverhalten, da der Nutzen direkten Einfluss auf die Zahlungsbereitschaft hat. Die Umsetzung von Letzterem steht folgend im Fokus.

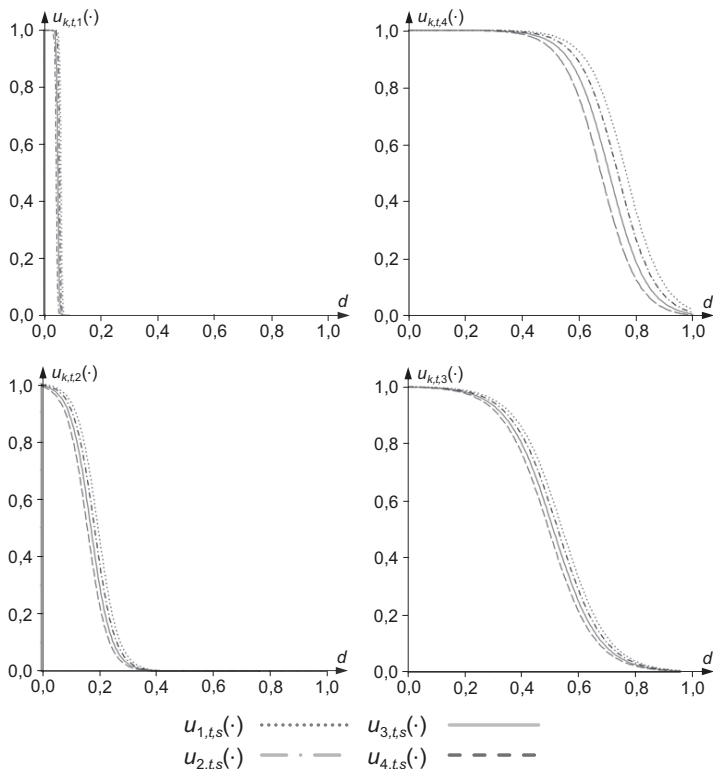


Abbildung 48: Funktionsverläufe der Nutzenfunktionen für alle Segmente und Dienstgütelevel

5.2.5 Ermittlung der Kundenzufriedenheit zur Modellierung des Kundenwechselverhaltens im Simulationsmodell

Die Umsetzung der in Kapitel 4.3.4.3.2 modellierten Abhängigkeit des Wechselverhaltens von der Kundenzufriedenheit im Simulationsmodell ist in mehreren Teilschritten vorzunehmen. Zunächst hat die in den verschiedenen Tarifen unterschiedlich erfolgende Zuweisung der anwendungsspezifischen Nachfragen nach Datenübertragungsdienstleistungen zu den vom Datenübertragungsdienstleister angebotenen Service-

leveln für jedes Segment für alle Tarife zu erfolgen, so wie dies im Analysemodell mit Formel 59 allgemein und im Speziellen in Formel 88 vorgenommen wird. Entsprechend ist, ausgehend von der spezifischen Nachfrage eines Kundensegments, gleichfalls eine Ermittlung der diesem Kundensegment zugehörigen, hypothetischen Nachfragemengen nach den vom Datenübertragungsdienstleister angebotenen Serviceleveln gemäß der in den anderen Tarifen erfolgenden Zuweisung der Anwendungen auf die QoS-Level vorzunehmen (vgl. im Anhang Abbildung 76 Tabellenblatt „Modell“ Spalte BCN bis BFB). Dies ist notwendig, da die Ermittlung der hypothetischen Konsumentenrenten auf die hypothetischen Entgelte zurückgreift und zur Ermittlung von eben diesen die Information benötigt wird, in welchem Umfang der Kunde die QoS-Level im Falle eines anderen Tarifs in Anspruch genommen hätte. Um alle Möglichkeiten abzubilden, müssen insgesamt pro Segment 12 hypothetische, servicelevel- und segmentspezifische Nachfragemengen bestimmt werden, sodass insgesamt für alle Segmente folglich 48 Spalten zur Bestimmung dieser notwendig sind. Die Berechnung der hypothetischen Entgelte basiert sodann auf den Tarifen der anderen Segmente.

Neben den hypothetischen Nachfragemengen sind ferner die hypothetischen Nutzenfunktionen zu ermitteln, auf denen die Berechnung der zugehörigen hypothetischen Zahlungsbereitschaften fußt. Zur Berechnung der hypothetischen Nutzenfunktion der in Anspruch genommenen Anwendungen wird auf die dem jeweiligen Segment für diese Anwendung zugewiesene Nutzenfunktion zurückgegriffen. Sodann wird allerdings die Dienstgüte bei der Ermittlung herangezogen, die für die betrachtete Anwendung in anderen Tarifen realisiert worden wäre, sodass insgesamt je Segment 30 hypothetische Nutzenfunktionen – für jede der 10 möglichen Anwendungen der Nutzen, der in den drei anderen Segmenten realisiert worden wäre – zu berechnen sind (vgl. im Anhang Abbildung 76 Tabellenblatt „Modell“ z. B. Spalte BON-BQA). Diese Nutzenfunktionen fließen direkt in die Bestimmung der pro Segment 3 hypothetischen Zahlungsbereitschaften ein (vgl. im Anhang Abbildung 76 Tabellenblatt „Modell“ z. B. Spalte BUX-BWK).

In einem weiteren Schritt auf dem Weg hin zur Ermittlung der Veränderung des Kundenwechselverhaltens hat eine Transformation der verschiedenen Zeitskalen zu erfolgen, um die in größeren Zeitintervallen erfolgende Berechnung der Übergangswahrscheinlichkeiten in Einklang mit der in kurzen Zeitintervallen erfolgenden Nachfrageermittlung und der dazugehörigen Ermittlung der bedingten Kundenzufriedenheitsbestimmung zu bringen. Im Folgenden wird zunächst davon ausgegangen, dass sich die Kundensegmentgrößen nur tageweise ändern, da für eine ausreichend große Kundenanzahl mit potenziell an jedem beliebigen Tag startenden Kundenbeziehungen diese

gleichfalls über alle Tage verteilt enden können, sodass entsprechend die an einem Tag durchschnittliche bedingte Kundenzufriedenheit maßgeblich für die Berechnung der veränderten Übergangswahrscheinlichkeiten ist. Diese Annahme wird getroffen, da auch bei der folgend intendierten Betrachtung auf Segmentebene der Segmentwechsel nur von einem auf den anderen Tag vollzogen werden kann. Mindestvertragslaufzeiten können bei dieser Betrachtung für große Segmente vernachlässigt werden, da entsprechend des Gesetzes der großen Zahlen eine Gleichverteilung der Kündigungszeitpunkte über alle Monate und Tage angenommen werden kann, sodass sich die Segmentgröße auch bei Mindestvertragslaufzeit tageweise ändern wird; mit der getroffenen Annahme wird jedoch auch davon ausgegangen, dass keine Kündigungsfristen bestehen, da andernfalls eine verzögerte Wirkung der Unzufriedenheit auf die Kundenanzahl bestehen müsste. Zwar ließe sich dies prinzipiell auch in dem vorgestellten Simulationsmodell realisieren, indem die bedingten Übergangswahrscheinlichkeiten nicht unmittelbar Einfluss auf die am Folgetag bestehenden Kundensegmentgrößen haben, sondern erst entsprechend der Dauer der Kündigungsfrist zwischengespeichert werden müssten, bis zu dem Zeitpunkt, zu dem die Kündigungsfrist verstrichen ist; der Einfachheit halber soll jedoch zunächst auf die Implementierung dieses Aspekts verzichtet werden.

Die Verbindung der Zahlungsbereitschaft mit der Kundenzufriedenheit erfolgt sodann im Zuge der Berechnung der Kundenzufriedenheit gemäß Formel 84, in die die Konsumentenrente und das Entgelt einfließen und die ihrerseits wiederum unter Rückgriff auf Formel 91 in die Berechnung der Veränderung der Übergangswahrscheinlichkeiten einfließt und somit die langfristige Wechselwirkung zwischen Datenaufkommen, Kundensegmentgrößen sowie der Kundenzufriedenheit abbildet. Dazu ist für jedes Kundensegment sowohl das hypothetische Entgelt als auch die hypothetische Zahlungsbereitschaft zu ermitteln. Entsprechend sind zunächst die servicelevelspezifischen Nachfragen gemäß der in den anderen Tarifen vom Datenübertragungsanbieter vorgenommenen bestehenden Zuweisung zu den angebotenen Serviceleveln vorzunehmen.

5.2.6 Ermittlung der Cashflows für die Tarife der Fallstudie

5.2.6.1 Ermittlung der Erlöse pro Zeitpunkt zur Cashflow-Ermittlung

Um die Möglichkeiten aufzuzeigen, die eine Customer-Equity-basierte Analyse zur Optimierung der vom Datenübertragungsdienstleistungsanbieter offerierten Tarife eröffnet, gilt es, die zu analysierenden Tarife abzubilden sowie basierend auf der durchschnittlich für einen Kunden eines Segments zu erwartenden Nachfrage sowie der

Anzahl der in dem Segment befindlichen Kunden auf die vom Datenübertragungsdienstleister mit dem Kundensegment zu erzielenden Erlöse zu schließen. Die notwendige Erfassung der Entgelte erfolgt in zwei Schritten: zuerst werden die mengen- oder auch nachfrageabhängigen Preise im Simulationsmodell implementiert, um in einem zweiten Schritt, in dem auch sogleich das durchschnittliche QoS-levelspezifische Entgelt eines Kunden bestimmt wird, die Rahmenbedingungen, wie z. B. Kontingentierungen oder ähnliche Bedingungen, die im Rahmen der tarifbasierten Entgeltberechnung zu berücksichtigen sind, einzubinden. Die so berechneten Entgelte werden sodann zur Ermittlung der zeitpunktspezifischen Erlöse des Segments herangezogen und darüber hinaus werden basierend auf den ermittelten, realisierten Entgelten die durchschnittlichen erwarteten Preise berechnet, die wiederum in der Folgeperiode zur Nachfragebestimmung heranzuziehen sind.

Das Simulationsmodell bietet prinzipiell gleichermaßen die Möglichkeit, Tarife zu berücksichtigen, die auf Preisen pro nachgefragter Mengeneinheit basieren, bei denen keine Differenzierung zwischen dem Bestehen eines Kapazitätsengpasses und dem Nichtbestehen vorgenommen wird, oder auch solchen Tarifen, bei denen diese Differenzierung existiert. Um die Differenzierung darüber hinaus auch für die verschiedenen vom Datenübertragungsanbieter angebotenen QoS-Level zu realisieren, werden für jedes QoS-Level zwei eigene Spalten angelegt, in der die Preise pro in Anspruch genommener Mengeneinheit hinterlegt werden können, sodass nicht nur zwischen den Preisen, die ohne Vorliegen eines Engpasses erhoben werden, und denen, die bei Bestehen eines Engpasses vom Kunden zu entrichten sind, unterschieden werden kann, sondern auch eine Differenzierung der Preise, die für die verschiedenen QoS-Level zu zahlen sind, im Modell implementiert werden kann. Da darüber hinaus zeilenweise die Zeitpunkte betrachtet werden, ist sowohl die statische Bepreisung mit fixierten Preisen als auch eine dynamische, nachfragesensitive Bepreisung implementierbar, wenn für Erstere eine deterministische Größe und für letztere eine Formel die funktionale Abhängigkeit des Preises von der Nachfrage, sei es der aktuellen oder auch aus einer der Vorperioden (so ist auch die tageszeitabhängige Bepreisung möglich), formelgebunden in der entsprechenden Zelle einbindet.

Auch die bisher weit verbreitete Tariform, bei dem eine Flatrate zur Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistungen herangezogen wird, kann durch eine direkte Verteilung des Flatratepreises auf die Anzahl der Zeitpunkte, die betrachtet werden, im Simulationsmodell abgebildet werden, wenn anschließend dieser für den Zeitpunkt ermittelte Preis nicht mit der Inanspruchnahme multipliziert wird. Sollte der Datenübertragungsdienstleister dem Nutzer ferner einen Tarif anbieten, in dem er nur ein

begrenztes Kontingent zur Nutzung einzelner QoS-Level für das tariflich festgelegte Intervall zur Verfügung stellt, so wie dies in Kapitel 3 dargelegt ist, so kann im Simulationsmodell in den Spalten, in denen die engpassspezifischen Preise erfasst werden, der Preis angesetzt werden, der nach Überschreitung der Kontingentgrenze der Bepreisung zugrunde gelegt ist. Da das abgebildete Simulationsmodell keine explizite Einzelkundenbetrachtung intendiert, gilt es zur Ermittlung der aus dieser Tarifform resultierenden Entgelte eine Annahme bezüglich der Inanspruchnahme zu treffen.

Mit der nicht vorhandenen expliziten Einzelkundenbetrachtung des Simulationsmodells kann entsprechend auch nicht für einen einzelnen Kunden geprüft werden, ob dieser das für die Periode verfügbare Kontingent bereits aufgebraucht hat, bevor in der nächsten Periode wieder ein neues Kontingent – im Regelfall in der gleichen Höhe – bereitgestellt wird. Bei der Erfassung solcher Tarife im Rahmen des Simulationsmodells wird davon ausgegangen, dass zu allen Zeitpunkten stets geprüft wird, ob von dem jeweils betrachteten Zeitpunkt ausgehend, innerhalb des von diesem Zeitpunkt aus zurückliegenden Kontingentgültigkeitszeitraums, also des Zeitraums für den die Kontingentierung Gültigkeit hat, und der in der Regel mit dem Abrechnungsintervall übereinstimmt, eine Überschreitung stattgefunden hat. Zur Berechnung der aus der Überschreitung der Kontingentgrenze resultierenden Erlöse wird das Ergebnis der Division der über die Kontingentgrenze hinaus in Anspruch genommenen Datenübertragungsdienstleistungen durch die Zusatzkontingentgröße auf die nächste natürliche Zahl gerundet und anschließend der gerundete Wert mit dem Preis des Zusatzkontingents multipliziert. Die Berechnung erfolgt somit analog zu der für die Einzelkunden-sicht festgehaltenen Formel 16.

Zur Ermittlung der Erlöse auf Segmentebene kann für mengenbasierte Bepreisungen auf die segment- und servicelevelspezifischen Nachfragen, die aus der Multiplikation der aus den Einzelverteilungen gewonnenen durchschnittlichen segment- und servicelevelspezifischen Nachfragemengen mit der Kundenanzahl resultiert, zurückgegriffen werden. Die Ermittlung der Erlöse für Flatrate-Tarife hat direkt auf Basis der Kundenanzahl zu erfolgen. Erlöse aus Tarifen, bei denen eine Kontingentierung vorgenommen wird, sind hingegen als Kombination aus der für die Flatrate-Tarife erfolgenden kundenanzahlbasierten Berechnung sowie der mengenbasierten Berechnung zu ermitteln. Für diesen Fall wird im ersten Schritt der Basispreis mit der Kundenanzahl multipliziert. Im zweiten Schritt wird die Inanspruchnahme zusätzlicher Kontingente berechnet, indem die in der Kontingentgültigkeitsperiode insgesamt in Anspruch genommene Kapazität abzüglich der Größe des Basiskontingents durch die Zusatzkontingentgröße dividiert wird.

5.2.6.2 Abbildung der der Fallstudie zugrunde liegenden Tarife

5.2.6.2.1 Ausgestaltung einer tarifbasierten Zuweisung von Anwendungen zu den angebotenen Serviceleveln

Im Folgenden sei von einem Anbieter ausgegangen, der vier Tarife anbietet, die ausgewählte Ideen aus den zur Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistungen mit differenzierten QoS-Level identifizierten Tarifen aufgreifen. Es wird davon ausgegangen, dass eine Differenzierung der in den einzelnen Kundensegmenten angebotenen Dienstgüte beim Auftreten von Kapazitätsengpässen stattfindet, indem der zum Segment gehörende Tarif eine segmentspezifische Zuweisung der Anwendungen zu den einzelnen vom Datenübertragungsdienstleister angebotenen QoS-Leveln vornimmt, sodass die ursprüngliche Intention, die der Nutzung der Differenzierung der angebotenen Datenübertragungsdienstleistungen zur Schaffung neuer Tarife zur Steigerung der Erlöse des zu analysierenden Datenübertragungsdienstleisters zugrunde liegt, aufgegriffen ist.

Tarif 1 bietet in der folgenden Betrachtung die umfassendste QoS-Sicherung durch Zuweisung der betrachteten Anwendungen zu den Prioritätsleveln, die fast allen Anwendungen die bestmögliche QoS-Sicherung gewährleisten sollen; die Ausnahme ist das Musikstreaming, das nur im QoS-Level 3 übertragen wird, obwohl eine Übertragung in QoS-Level 2 zur durchgängigen Sicherstellung der geforderten Dienstgüte notwendig wäre. Tarif 2 bietet den Daten, die von Sprach- bzw. SD- und HD-Videotelefonie-Anwendungen generiert werden, weiterhin die optimale Datenübertragungsklasse, weist jedoch den Daten, die aus der Nutzung von Gaming- und VoD-Anwendungen resultieren, nicht länger die optimale Klasse zu, sondern bietet diesen bei Kapazitätsengpässen nur eine geringere Dienstgüte. Im dritten Tarif findet die Übertragung der aus den Sprachdiensten resultierenden Daten weiterhin im höchsten und damit für diese Daten optimalen Prioritätslevel statt. Die Daten aller Videotelefonie-, Gaming- und Video-on-Demand-Anwendungen werden zwar weiterhin besser gestellt, als dies mit einer reinen Best-Effort-Weiterleitung gewährleistet wäre, jedoch wird nicht länger die für die Anwendungen benötigte optimale QoS beim Auftreten von Kapazitätsengpässen mit der in diesem Tarif erfolgenden Zuweisung zu den Servicelevel sichergestellt. Der Tarif 4 hingegen übermittelt ausschließlich die Sprachanwendungen im höchsten Prioritätslevel, alle weiteren Daten überträgt der Dienstleister für Kunden in diesem Tarif ausschließlich im niedrigsten Prioritätslevel mit Best-Effort, sodass im Falle von Kapazitätsengpässen außer für die Sprachanwendung nicht zwingend die von den Anwendungen zur Befriedigung der Kundenbedürfnisse notwendige Dienstgüte sichergestellt werden kann.

Anwendung	Tarif 1	Tarif 2	Tarif 3	Tarif 4
Sprache	1	1	1	1
SD-Video-Telefonie	1	1	3	4
HD-Video-Telefonie	1	1	3	4
Gaming	1	2	3	4
SD-VoD	2	3	3	4
HD-VoD	2	3	3	4
Musik	3	3	4	4
BitTorrent	3	3	4	4
Browsing	4	4	4	4
E-Mail	4	4	4	4

Abbildung 49: Tarifbasierte Zuweisung der Anwendungen zu den vom Datenübertragungsdienstleister angebotenen Serviceleveln

5.2.6.2.2 Ausgestaltung der den Tarifen zugrunde liegenden Preise in der Fallstudie

Entsprechend der Differenzierung der Datenübertragungsdienstleistung erfolgt auch eine Differenzierung in der Bepreisung der zu übertragenden Daten. Gemäß der für Next Generation Networks mit differenzierten QoS-Level identifizierten Möglichkeiten, insbesondere der Realisierung einer höheren Dienstgüte für die in höheren QoS-Level übertragenen Daten, sei davon ausgegangen, dass sich die Gewährleistung einer höheren Dienstgüte in einem im Vergleich zum Best-Effort-Level höheren Preis pro zu übertragender Datenmenge widerspiegelt.

Den Nutzern aus Segment 4 ist daher im Simulationsmodell beispielhaft folgend mit Tarif 4 ein linearer Tarif zugewiesen, bei dem die Differenzierung der Datenübertragungsdienstleistung zwischen den Sprachdiensten und allen weiteren Datenübertragungsdienstleistungen erfolgt, sodass einerseits ein Preis pro zu übertragender Datenmenge für die Daten resultierend aus Sprachdiensten und andererseits für die Übertragung der Daten aller weiteren Anwendungen existiert. Der Tarif weist entsprechend der ihm zugrunde liegenden Bedingungen (siehe Kapitel 5.2.6.2.1) alle zu übertragenden Daten dem QoS-Level 4 zu, die nicht von Sprachanwendungen generiert werden, sodass diese Daten im Best-Effort-Level übermittelt werden. Die Daten, die von Sprachanwendungen generiert werden, sind hingegen dem QoS-Level 1 zugewiesen.

Dem Tarif 3 des Segments 3 liegt im Unterschied zum Tarif des Segments 4 für die Nutzung der Datenübertragungsklassen eine Flatrate-Bepreisung mit Kontingentierung zugrunde. Allerdings erfolgt die Kontingentierung auf aggregierter Ebene nur für

die Daten, die nicht von Sprachanwendungen generiert sind, während für die Bepreisung aller auf Sprachanwendungen zurückzuführenden Daten eine Flatrate ohne Kontingentierung gilt. Die darüber hinaus erfolgende differenzierte Übermittlung der anwendungsspezifischen Daten,⁸⁷² die nicht von Sprachanwendungen erzeugt werden, wird nicht in der Bepreisung gesondert berücksichtigt, sondern bietet für den Kunden vielmehr einen zusätzlichen Anreiz, in das potenziell teurere Flatrate-Preismodell zu wechseln, da dies einen geringfügigen Vorteil im Falle von Kapazitätsengpässen im Vergleich zum linearen Tarif offeriert.

Die beiden Tarife von Segment 3 und 4 spiegeln die aktuell weit verbreiteten Tarife wider, denn auch diese nehmen eine Differenzierung der Datenübertragungsdienstleistungen vor, ohne dies jedoch dem Kunden direkt zu kommunizieren, da die der Bepreisung zugrunde liegende Maßeinheit die Differenzierung verschleiert; so wird die Übertragung von Daten, die aus der Inanspruchnahme von Sprachdiensten resultieren, zeitbasiert abgerechnet, während das für die Daten, die durch die Nutzung aller anderen Anwendungen generiert werden, zu erhebende Entgelt basierend auf den von den Anwendungen generierten, zu übertragenden Datenmengen ermittelt wird. In beiden Fällen wird jedoch mit der deutschlandweit erfolgenden flächendeckenden Umstellung auf Voice-over-IP auch für die Übertragung der von Sprachanwendungen generierten Informationen auf den Versand mittels IP-Datenpaketen zurückgegriffen.⁸⁷³

Die beiden für die Segmente 1 und 2 auszugestaltenden Tarife greifen hingegen die in Kapitel 3.3 beschriebene Entwicklung auf, nicht nur zwischen von Sprachanwendungen generierten Daten und Daten von anderen Anwendungen zu unterscheiden, sondern eine feingranularere Differenzierung anzustreben, bei der die mit den IP-Datenpaketen verschickten Informationen gemäß der ihnen zugrunde liegenden Anwendungen dem zur Sicherung der Dienstgüte optimalen QoS-Level zugewiesen werden können. Neben einer differierenden Zuweisung der Anwendungen zu den einzelnen Servicelevels besteht der wesentliche Unterschied zwischen den beiden Tarifen darin, dass der Tarif 2, der der Bepreisung von Segment 2 zugrunde liegt, auf statische Preise für Kontingente, die für die einzelnen QoS-Level pro Abrechnungsperiode zugrundegelegt sind, basiert und daher als eine Erweiterung der für Segment 3 eingeführten Bepreisung von Nutzungs-Kontingenten darstellt, während der beispielhaft für

⁸⁷² Vgl. zur Übersicht der Zuordnung der Anwendungen zu den vom Datenübertragungsdienstleister angebotenen Servicelevel Abbildung 49.

⁸⁷³ Die DEUTSCHE TELEKOM AG plant die begonnene vollständige Umstellung auf IP-basierter Datenübertragung aller in Deutschland bestehenden Festnetzanschlüsse bis 2018 abgeschlossen zu haben und rechnet damit, dass dies auch auf europäischer Ebene zu diesem Zeitpunkt realisiert ist (vgl. DEUTSCHE TELEKOM AG [Geschäftsbericht 2014] S. 70).

das Segment 1 gewählte Tarif noch einen Schritt weitergeht und der Preis für die nach Ausschöpfen der Basis-Kontingente zusätzlich buchbaren Kontingente zur Garantie der benötigten Dienstgüte bei Kapazitätsengpässen in Abhängigkeit der Nachfrage ausgestaltet ist.

QoS-Level	Tarif 1	Tarif 2	Tarif 3	Tarif 4
Level 1	Kontingentierte Flat-rate mit Priorisierung bei Kapazitätsengpässen und dynamischen Preisen	Kontingentierte Flat-rate mit statischen Preisen	Kontingentierte Flat-rate mit statischen Preisen	linear
Level 2	Kontingentierte Flat-rate mit Priorisierung bei Kapazitätsengpässen und dynamischen Preisen	Kontingentierte Flat-rate mit statischen Preisen	Kann nicht in Anspruch genommen werden	Kann nicht in Anspruch genommen werden
Level 3	Kontingentierte Flat-rate mit Priorisierung bei Kapazitätsengpässen und dynamischen Preisen	Kontingentierte Flat-rate mit statischen Preisen	Kann nicht in Anspruch genommen werden	Kann nicht in Anspruch genommen werden
Level 4	Kontingentierte Flat-rate mit statischen Preisen	Kontingentierte Flat-rate mit statischen Preisen	Kontingentierte Flat-rate mit statischen Preisen	linear

Abbildung 50: Beispielhafte Ausgestaltung der Tarife

Mit Tarif 1 ist folglich eine dynamische Bepreisung gemäß des in Kapitel 3.3.3.2 vorgestellten Tarifs für die bei Kapazitätsengpässen bestehenden Kontingente nach dem Ausschöpfen der inkludierten Kontingente realisiert. Da folgend davon auszugehen ist, dass die Anwendungen, denen ein Best-Effort-Service und damit QoS-Level 4 zur vollumfänglichen Befriedigung der Nutzerbedürfnisse genügt und entsprechend nutzerseitig auch kein Nutzenverlust bei Kapazitätsengpässen zu erwarten ist, findet für QoS-Level 4 keine Differenzierung zwischen Kontingenten, die in Anspruch genommen werden, wenn keine Kapazitätsengpässe bestehen, und solchen Kontingenten, die nur dann in Anspruch genommen werden, wenn Kapazitätsengpässe bestehen, statt. Die Dynamik ist dementsprechend bezogen auf einen langen Zeitraum auszugestalten, sodass analog zur Ermittlung der Kontingentinanspruchnahme mittels eines VBA-Makros die Übertragung des Preises aus dem vorangegangenen Simulationsschritt, in dem der Vortag abgebildet ist, jeweils auf den nächsten Simulationsschritt und damit auf den neuen Tag vorgenommen werden muss. Die zu den Tarifen gehörenden Preise, die in dem Simulationsbeispiel herangezogen werden, basieren auf der maximalen Zahlungsbereitschaft. Die Preise der einzelnen Dienstgütelevel werden zunächst gemäß der für diese erwarteten durchschnittlichen Kapazitätsinanspruch-

nahmen berechnet. Dies stellt sicher, dass die erwarteten Entgelte die Zahlungsbereitschaft nicht übersteigen und folglich die auf der Zahlungsbereitschaft und dem erwarteten Preis basierende negativ exponentielle Nachfragefunktion gemäß Formel 54 in Verbindung mit Formel 100 für einen Nutzenfunktionswert von 1, der einer vollumfänglichen Befriedigung der an die Dienstgüte gestellten Bedürfnisse entspricht, gegen die durchschnittliche erwartete Nachfrage strebt. Die auf dieser Überlegung berechneten Preise werden in Abbildung 51 übersichtsweise dargestellt.

		QoS 1		QoS 2		QoS 3		QoS 4	
		ohne Engpass	mit Engpass	ohne Engpass	mit Engpass	ohne Engpass	mit Engpass	ohne Engpass	
Tarif 1	regulär	Euro/ Zeiteinheit	1,736·10 ⁻⁴	1,736·10 ⁻⁴	2,315·10 ⁻⁴	2,315·10 ⁻⁴	1,110·10 ⁻⁴	1,427·10 ⁻⁴	5,833·10 ⁻⁵
		MB/Monat	2.048	1.024	204.800	102.400	25.600	512	2.048
	zusätzlich	Euro/ Zeiteinheit	1,302·10 ⁻⁴	2,604·10 ⁻⁴	1,736·10 ⁻⁶	3,472·10 ⁻⁶	6,660·10 ⁻⁶	1,332·10 ⁻⁵	4,375·10 ⁻⁵
		MB/ Zeiteinheit	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024
Tarif 2	regulär	Euro/ Zeiteinheit	3,472·10 ⁻⁴		2,315·10 ⁻⁵		3,662·10 ⁻⁴		6,597·10 ⁻⁵
		MB/Monat	1.024		512		81.920		1.024
	zusätzlich	Euro/ Zeiteinheit	5,086·10 ⁻⁴		1,356·10 ⁻⁶		6,866·10 ⁻⁶		9,896·10 ⁻⁵
		MB/ Zeiteinheit	100		20		1.024		1.024
Tarif 3	regulär	Euro/ Zeiteinheit	2,315·10 ⁻⁴						4,236·10 ⁻⁴
		MB/Monat	512						40.960
	zusätzlich	Euro/ Zeiteinheit	4,630·10 ⁻⁴						8,472·10 ⁻⁴
		GB/Monat	512						1.024
Tarif 4	regulär	Euro/ Mengen- einheit	2,222·10 ⁻¹		0		0		8,646·10 ⁻³
		Mengenein- heit in MB	1						1

Abbildung 51: Beispielhafte Ausgestaltung der Bepreisung der Tarife

Als „regulär“ werden die Preise bezeichnet, die für das Basiskontingent anfallen, während als „zusätzlich“ die Preise bezeichnet werden, die nach Überschreitung der im Basiskontingent enthaltenen Mengen anfallen. Die in der Abbildung als „pro Zeiteinheit“ bezeichneten Größen beziehen sich auf die im Simulationsmodell gewählte Granularität. Sie spiegeln dementsprechend die Anzahl der betrachteten Zeitpunkte wider, die pro Tag modelliert sind. Da in der Simulation davon ausgegangen wird, dass zwischen den einzelnen betrachteten Zeitpunkten jeweils eine Minute liegt, sind pro Tag $24 \text{ Std.} \cdot 60 \text{ Min.} = 1.440 \text{ Zeitpunkte}$ abgebildet.

Es wird davon ausgegangen, dass sich die mit der Flatrate verbundene monatliche Zahlung prinzipiell gleichmäßig auf alle Zeitpunkte verteilen lässt. Letztere Annahme folgt der der Flatrate-Bepreisung zugrunde liegenden Idee, dass die Kontingente stets für einen fixierten Zeitraum gelten, meist einen Monat, und das Kontingent im nächsten Zeitraum wieder voll zur Verfügung gestellt wird. Entsprechend wird der Preis des Basiskontingents auf $1.440 \cdot 30 = 32.400 \text{ Zeitpunkte}$ verteilt. Aus diesem Grund fallen die in der Abbildung 51 ausgewiesenen Preise so niedrig aus.

5.2.7 Ermittlung des Kundenwerts auf Kundensegmentebene im Simulationstool

Die Ermittlung des Customer Equity für jedes Kundensegment baut auf den pro Simulationsschritt erfolgenden Berechnungen der pro Tag generierten Erlöse und damit den Cashflows pro Tag auf. Entsprechend ist zunächst erneut eine Übertragung der an einem Tag angefallenen Cashflows auf den Folgetag notwendig, um eine langfristige Betrachtung gemäß der in Formel 100 intendierten Berechnung zu realisieren. Die ferner in der Formel vorgenommene Berechnung der Segmentgröße sowie der sich verändernden Übergangswahrscheinlichkeiten erfolgen in separaten Spalten. Die Segmentgrößen beeinflussen schließlich nicht nur die prognostizierten Cashflows, sondern sind gleichfalls für die Berechnung des Datenaufkommens von Bedeutung, sodass eine separierte Berechnung selbst dann sinnvoll ist, wenn eine in einer Spalte gebündelte Berechnung möglich wäre, um die auf den Kundensegmentgrößen aufbauende Ermittlung des Datenaufkommens zu gewährleisten. Für die jeweils am Tagesende bestehenden Kundensegmentgrößen ist dementsprechend eine Übertragung der bestehenden Größen mittels eines Makros auf den Folgetag notwendig,⁸⁷⁴ sodass eine kontinuierliche Veränderung erfasst und die anvisierte Analyse realisiert werden kann.

⁸⁷⁴ Vgl. Anhang 1, in dem das gesamte, kommentierte Makro abgebildet ist.

5.3 Optimierung der kundenwertorientierten Bepreisung im Rahmen der Fallstudie

5.3.1 *Potenziale des Simulationstools zur kundenwertbasierten Optimierung der Bepreisung*

Das vorgestellte Analysemodell umfasst die von STILLER ET AL. für die Analyse geforderte Berücksichtigung der Wechselwirkungen, die ein Datenübertragungsdienstleistungsanbieter beim Anbieten mehrerer miteinander potenziell konkurrierender Tarifangebote zu berücksichtigen hat und die darüber hinaus aus den unterschiedlichen Fristigkeiten der Betrachtung resultieren, wie der kurz- bis mittelfristig zu beobachtenden Wirkung der Bepreisung auf die Auslastung und der langfristig zu erreichenden Optimierung bezogen auf das intendierte Ziel einer kundenwertorientierten Unternehmenssteuerung.⁸⁷⁵ Die Potenziale, die das vorgestellte Modell zur Optimierung von Datenübertragungsdienstleistungstarifen bietet, sind vielfältig und basieren auf der Analyse des mittels der Simulation ermittelten Outputs des Modells. Die Möglichkeiten zur Analyse reichen von der ausschließlichen Betrachtung der Kundenzufriedenheit eines Kunden mit einem spezifischen betrachteten Tarif über die Möglichkeit des Vergleichs der mit verschiedenen Tarifen zu erzielenden Erlöse für einen typischen Kunden unter Berücksichtigung seiner Nutzungsstruktur bis hin zur kundenwertbasierten Analyse des langfristigen Unternehmenserfolgs stets mit dem Ziel, eine Optimierung der Bepreisung anzustreben.

Die ersten beiden Analysemöglichkeiten implizieren, dass Veränderungen der Segmentgrößen im Simulationsmodell nicht berücksichtigt werden. In diesem Falle wird folglich von statischen Segmentgrößen und damit einer konstanten Kundenstruktur ausgegangen, sodass nach der Abbildung des zu analysierenden Tarifs sowohl eine Berechnung der Kundenzufriedenheit als auch der mit dem Tarif vom Datenübertragungsdienstleister zu erzielenden Erlöse im Simulationsmodell vorgenommen werden kann. Es lassen sich entweder durch eine Variation der Preise oder der Zuweisung der Anwendungen zu den einzelnen Serviceklassen die bestehenden Wechselwirkungen zwischen den Serviceklassen und der Kundenzufriedenheit auch für den Fall ableiten, bei dem keine Erweiterung des zu analysierenden Tarifs um die differenzierte Datenübertragungsdienstleistung vorgenommen wird, sondern ausschließlich die aus der neuen Zuweisung resultierende Dienstgüteveränderung Einfluss auf die Kundenzufriedenheit hat. Aus den auf diese Weise gewonnenen Erkenntnissen lässt sich für den Datenübertragungsdienstleistungsanbieter unmittelbar ableiten, welche Service-

⁸⁷⁵ Vgl. Kapitel 4.1 und STILLER ET AL. [Cumulus] S. 9

klassenzuweisung zu einer potenziellen Erhöhung der Übergangswahrscheinlichkeit in ein anderes Kundensegment führen kann. Entsprechend ist die Wahrscheinlichkeit des Übergangs in das gemäß des ermittelten Kundenwerts vorteilhafte Kundensegment zu stärken. Auf diese Weise lässt sich sukzessive das als vorteilhaft identifizierte Kundensegment mit Kunden aus anderen Segmenten anreichern.

Mit dem Simulationsmodell lassen sich neben den bereits dargestellten Analysemöglichkeiten ferner für statische Kundensegmentgrößen verschiedene Tarife nebeneinander betrachten. Die aus den Tarifen folgenden Erlöse, die innerhalb eines Segmentes erzielt werden, können in diesem Fall direkt miteinander verglichen werden, jedoch ohne dabei die zwischen den Tarifen bestehenden Wechselwirkungen in die Vorteilhaftigkeitsbeurteilung durch den Datenübertragungsdienstleistungsanbieter einzubeziehen. Interdependenzen, die zwischen den einzelnen Tarifen bestehen und aus dem Umstand resultieren, dass ein Datenübertragungsdienstleistungsanbieter im Regelfall mehrere Tarife gleichzeitig für verschiedene Kundensegmente anbietet, zwischen denen die Kunden entsprechend ihrer Bedürfnisse wechseln können, werden hingegen im Rahmen der kundenwertorientierten Analyse berücksichtigt.

Die Vielfalt der Analysemöglichkeiten resultiert auch aus der gewählten excelbasierten Implementierung, bei der prinzipiell jede Zelle, die direkt oder indirekt auf den durch Zufallszahlen generierten Werten basiert, als Outputzelle definiert werden kann. Die Outputzellen beinhalten die Modellergebnisse, deren Werte für jeden Simulationsschritt festgehalten und für die eine Vielzahl an Standardstatistiken ausgegeben werden, zu denen u. a. der Mittelwert, die Standardabweichung und die Varianz, das Minimum und das Maximum sowie die Konfidenzintervalle gehören.

Im Folgenden wird anhand beispielhaft gewählter Tarife die Mächtigkeit des Modells demonstriert und eine Validierung seiner Funktionalitäten vorgenommen. Da es nicht das eine optimale Tarifschema für einen Datenübertragungsanbieter gibt, wird im Folgenden entsprechend nicht intendiert, ein universell gültiges Tarifschema zu ermitteln.⁸⁷⁶ Vielmehr gilt es, so wie bereits im Zuge der Identifizierung von Herausforderungen bei der Bepreisung von Datenübertragungsdienstleistungen beschrieben, die Differenzierung der Bepreisung stets auch im Gesamtkontext der mit der Entgeltermittlung für diese Differenzierung verbundenen Transaktionskosten zu sehen, also den Kosten der Arbitragevermeidung die Vorteile einer Tarifverfeinerung und den damit erhofften höheren Erlöse gegenüberzustellen. Es lässt sich jedoch nicht ein uniformer Differenzierungsgrad bestimmen, ab dem die Transaktionskosten die durch die

⁸⁷⁶ Vgl. ff. KNEIPS [Preisregulierung] S. 9

Differenzierung gewonnenen Erlöse kompensieren, sodass das Simulationsmodell zur Analyse der beispielhaft gewählten Kombinationen und zur Beurteilung der Vorteilhaftigkeit von potenziellen Alternativen geeignet ist.

5.3.2 Analyse des Einflusses der bereitgestellten Übertragungskapazität auf die Kundenzufriedenheit der Fallstudie

Um eine bei gegebener Kundenstruktur bestehende Optimierung der vom Datenübertragungsdienstleistungsanbieter bereitgestellten Übertragungskapazitäten zu erreichen, gilt es zunächst zu analysieren, welchen Einfluss eine Veränderung der bereitgestellten Übertragungskapazitäten auf die modelltheoretisch erfasste Wechselwirkung hat, die zwischen der bereitgestellten Übertragungskapazität und der Kundenzufriedenheit besteht. Entsprechend des zugrunde liegenden Modells, werden zunächst zwei verschiedene Fälle analysiert:

- eine Variation der gesamten vom Datenübertragungsdienstleister bereitgestellten Übertragungskapazität,
- eine Variation der Verteilung der gesamten Datenübertragungsqualität auf die im Modell implementierten vier QoS-Level.

Um die Wirkung zu veranschaulichen, werden bei gleichbleibender Kundensegmentstruktur zunächst zwei Szenarios betrachtet, die sich hinsichtlich der insgesamt zur Verfügung stehenden Datenübertragungskapazität pro Zeiteinheit unterscheiden, ohne dass eine Variation der prozentualen Verteilung auf die QoS-Level vorgenommen wird, so wie es in der nachstehenden Abbildung ersichtlich ist.

	Gesamtkapazität [MB/Zeiteinheit]	QoS-Level 1	QoS-Level 2	QoS-Level 3	QoS-Level 4
Szenario I	17.000	5,0 %	80,0 %	10,0 %	5,0 %
Szenario II	14.000	5,0 %	80,0 %	10,0 %	5,0 %

Abbildung 52: Variation der Gesamtkapazität bei gleichbleibender prozentualer Verteilung auf die QoS-Level

Wie in der nachfolgenden Abbildung 53 aufgezeigt, führt die Reduktion der Datenübertragungskapazität erwartungsgemäß zu einem Anstieg der Häufigkeit der Kapazitätsengpässe im zweiten Szenario. Auffällig ist, dass bei Bestehen eines Kapazitätsengpasses die durchschnittlich über einen Tag zu erwartenden Warteschlangenlängen in QoS-Level 2 und 3 abnehmen, gleichzeitig jedoch die dazugehörigen Standardabweichungen steigen.

		ø-liche Warteschlangenlänge an einem Tag [MB/Zeitpunkt]				ø-liche Häufigkeit
		QoS-Level 1	QoS-Level 2	QoS-Level 3	QoS-Level 4	
Mittelwert	Szenario I	3,325	3.914,085	5.138,733	1.268,105	143,989
	Szenario II	1,512	2.210,066	4.070,301	1.242,968	300,014
Standardabweichung	Szenario I	50,075	4.677,932	2.220,757	22.607,047	108,551
	Szenario II	11,617	5.843,712	5.962,073	10.643,678	113,408

Abbildung 53: Gegenüberstellung der Häufigkeit des Auftretens einer Warteschlange und deren durchschnittliche Länge für die beiden betrachteten Szenarien

Um die sinkenden durchschnittlichen Warteschlangenlängen zu verstehen, dient die detaillierte Betrachtung der Quantile, die beispielhaft für QoS-Level 2 vorgenommen wurde. Diese Daten liefert das Simulationsmodell als Output. Sie werden für die beiden Szenarien in der folgenden Abbildung grafisch als Säulen aufbereitet, deren Skalierung auf der linken Ordinate abgetragen ist. So ist ersichtlich, dass durch die Reduktion der Übertragungskapazität, die pro Zeiteinheit zur Verfügung steht, bereits in zehn Prozent der betrachteten Fälle eine Zunahme der Häufigkeit des Bildens einer Warteschlange, die für beide Szenarien je als Linie in der Abbildung mit Skalierung auf der rechten Ordinate eingebunden sind, um 56% zu verzeichnen ist, während in zehn Prozent der betrachteten Fälle die Warteschlangenlänge jedoch nur um 39 % zurückgeht. Da die verfolgte Kennzahl nur die durchschnittliche Warteschlangenlänge eines Tages als Output wiedergibt, ist davon auszugehen, dass sich durch die Reduktion der Datenübertragungskapazität deutlich häufiger kürzere Warteschlangen bilden, die in der Durchschnittsbetrachtung die weiterhin auftretenden langen Warteschlangen kompensieren. Eben dies spiegeln auch die Werte der Quantilsbetrachtung wider.

Die Reduktion der Gesamtübertragungskapazität führt dazu, dass die durchschnittliche bedingte Kundenzufriedenheit eines Tages im ersten Szenario, für das eine höhere Übertragungskapazität angenommen wird, überwiegend einen höheren Wert für die bedingte Kundenzufriedenheit aufweist als im zweiten Szenario, bei dem eine reduzierte Gesamtübertragungskapazität zur Verfügung gestellt wird.⁸⁷⁷

⁸⁷⁷ Die in Abbildung 55 für Segment 3 auftretende potenzielle Vorteilhaftigkeit von Szenario II resultiert aus den mit der Simulation einhergehenden Unterschiede in der Nachfrage.

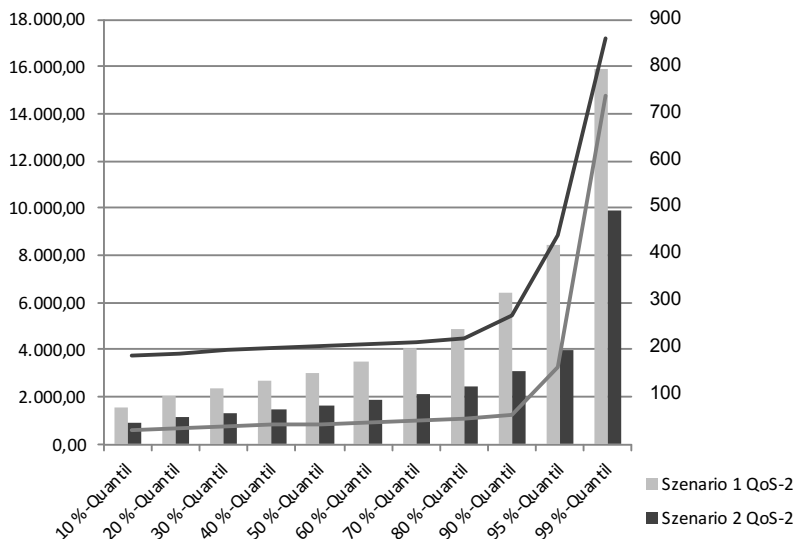


Abbildung 54: Simulativ ermittelte Warteschlangenlänge in Verbindung mit der Häufigkeit des Auftretens einer Warteschlange pro Tag

In Abbildung 55 wird beispielhaft für Kundensegment 2 die im eigenen Segment realisierte sowie die hypothetischen Zufriedenheiten eines Kunden aus Kundensegment 2 in den anderen Segmenten abgebildet. So ist der Wechsel hin zu Kundensegment 1 weiterhin sehr attraktiv, da die bedingte Kundenzufriedenheit in den meisten Fällen, in denen Kapazitätsengpässe auftreten, in Segment 1 aufgrund der zur Segment 2 differierenden Zuweisung der Anwendungen zu den QoS-Levels eine Besserstellung in Segment 1 für den Kunden aus Segment 2 zu erwarten ist. Diese Besserstellung geht auch in der vorgenommenen Durchschnittsbetrachtung mit einer deutlich höheren bedingten Zufriedenheit zu den Zeitpunkten einher, zu denen Engpässe bestehen.

		ø-liche bedingte Kundenzufriedenheit			
		Segment 1	Segment 2	Segment 3	Segment 4
Mittelwert	Szenario I	3,6529152	0,9926810	1,0133663	1,0000000
	Szenario II	3,3183359	0,9890371	1,0178209	1,0000000
Standardabweichung	Szenario I	51,3880460	0,0098943	0,2283313	0,0000000
	Szenario II	14,6383188	0,0184263	0,2755303	0,0000000

Abbildung 55: Gegenüberstellung der durchschnittlichen bedingten Kundenzufriedenheiten von Kundensegment 2 bei sich ändernder Gesamtkapazität

Neben der Variation der Gesamtkapazität lässt sich auch bei gleichbleibender Gesamtkapazität eine Veränderung der Kundenzufriedenheit realisieren, indem die Verteilung der Gesamtkapazität auf die QoS-Level verändert wird. In der folgenden Grafik werden die beiden Szenarien betrachtet, bei denen sich die Verteilung der Kapazität verändert, die Gesamtkapazität jedoch gleich bleibt. Insbesondere findet eine Verschiebung von der in Szenario 1 gewählten hohen Gewichtung des QoS-Levels 2 hin zum QoS-Level 1 statt.

	Gesamtkapazität	QoS-Level 1	QoS-Level 2	QoS-Level 3	QoS-Level 4
Szenario I	17.000	5,0 %	80,0 %	10,0 %	5,0 %
Szenario III	17.000	45,0 %	45,0 %	5,0 %	5,0 %

Abbildung 56: Variation der Verteilung der QoS-Level bei gleichbleibender Gesamtkapazität

Wie bereits bei der Veränderung der Gesamtkapazität gezeigt, ist in Abbildung 57 ersichtlich, dass eine Veränderung der den QoS-Level zugewiesenen Kapazitäten zu einer Veränderung der Kundenzufriedenheit führt. Durch die Erhöhung der Kapazität, die QoS-Level 1 zur Verfügung gestellt wird, erfolgt eine stärkere Priorisierung der Daten, die von Anwendungen generiert werden, die auf eine kontinuierliche Sicherstellung der von den Anwendungen erforderten Dienstgüte angewiesen sind. Durch den der Berechnung der bedingten Kundenzufriedenheit zugrunde liegenden Vergleich des potenziell in anderen Segmenten als realisierbar angesehenen Nutzens im Vergleich zu dem im eigenen Segment realisierten Nutzen, erwartet der Kunde, der Anwendungen in Anspruch nimmt, die in QoS-Level 1 übertragen werden sollen, insbesondere in Kundensegment 1 eine Besserstellung durch einen geringeren Nutzenverlust an den Zeitpunkten, an denen Kapazitätsengpässe vorliegen. Der Anstieg der Standardabweichungen der durchschnittlichen bedingten Kundenzufriedenheit von Kundensegment 2 zeigt, dass es bei Warteschlangenbildung zu einem starken Anstieg des im Segment 1 als realisierbar angesehenen Nutzens und einer damit einhergehenden Steigerung der bedingten Kundenzufriedenheit kommt.

		ø-liche bedingte Kundenzufriedenheit			
		Segment 1	Segment 2	Segment 3	Segment 4
Mittelwert	Szenario I	3,652915	0,992681	1,013366	1,000000
	Szenario III	7,714610	0,992895	1,016416	1,000000
Standardabweichung	Szenario I	51,388046	0,009894	0,228331	0,000000
	Szenario III	226,958465	0,015350	0,282159	0,000000

Abbildung 57: Durchschnittliche bedingte Kundenzufriedenheiten von Kundensegment 2 bei Veränderung der Verteilung der Gesamtkapazität auf die QoS-Level

Neben der Kundenzufriedenheit, die sich in den Szenarios I bis III verändert, verändern sich auch die in Kundensegment 1 generierten Erlöse, wenn häufiger Kapazitätsengpässe auftreten. Es gilt jedoch als unwahrscheinlich, dass die Bundesnetzagentur den Vorstoß eines Anbieters billigen wird, sollte dieser vorhandene Übertragungskapazitäten Kunden bewusst vorenthalten, um Kapazitätsengpässe zu verursachen und Kunden so zur Nutzung höherer QoS-Level zu bewegen.

5.3.3 Analyse des Einflusses der Kundenstruktur auf das Datenverkehrsaufkommen der Fallstudie

Ein vom Datenübertragungsdienstleister intendiertes Ziel ist die optimierte Kapazitätsauslastung in Verbindung mit der Maximierung des Customer Equity. Um dies zu realisieren, ist eine Fokussierung auf die Kundensegmente notwendig, die in besonders hohem Maße zur Wertsteigerung beitragen. Um gezielt die Kunden dieser Segmente zu halten, ist es denkbar, diesen Segmenten stets die optimale Dienstgüte bereitzustellen. Andererseits wären die Tarife der Segmente, die den geringsten Anteil zur Wertsteigerung beitragen, so auszugestalten, dass die Übertragung der Daten dieser Segmente in einem niedrigeren als dem optimalen QoS-Level vorgenommen wird, das zur vollumfänglichen Befriedigung der an die Datenübertragungsdienstgüte gestellten Bedürfnisse notwendig wäre. Auf diese Weise ließe sich die Wechselwilligkeit zu einem anderen Anbieter oder in ein für den Datenübertragungsdienstleister lukrativeres Segment direkt beeinflussen. Entsprechend gilt es zunächst zu klären, in welchem Umfang eine veränderte Kundenstruktur im vorliegenden Simulationsmodell Einfluss auf das Datenverkehrsaufkommen hat. Um Wechselwirkungen zwischen der Kundenstruktur und dem Datenaufkommen unter der Berücksichtigung der Größe der einzelnen Segmente zu analysieren, wird in Szenario VI eine Variation der Segmentgrößen vorgenommen. Dazu wird bei gleichbleibender Gesamtkundenzahl, die in dem Beispiel auf 10.000 Kunden fixiert ist, eine Reallokation von Kunden aus einem Segment in ein anderes vorgenommen. Dies zeigt Abbildung 58.

	Segment 1	Segment 2	Segment 3	Segment 4
Szenario I	1.000 Kunden	2.000 Kunden	5.000 Kunden	2.000 Kunden
Szenario IV	2.000 Kunden	3.000 Kunden	3.000 Kunden	2.000 Kunden

Abbildung 58: Variation der Verteilung der Kunden auf die Kundensegmente

Es zeigt sich, dass entsprechend der dem Modell zugrunde liegenden Annahmen bezüglich des Nutzerverhaltens eine Zunahme der durchschnittlichen Anzahl von Kapazitätsengpässen an einem Tag zu verzeichnen ist, wenn bei gleichbleibender Gesamtkundenzahl die Anzahl der im Segment 1 und im Segment 2 befindlichen Kunden

steigt. Dabei resultieren die Kapazitätsengpässe daraus, dass mit der Vergrößerung des ersten beiden Segmente just die beiden Segmente mehr Kunden haben, die in besonders hohem Umfang Datenübertragungsdienstleistungen in Anspruch nehmen. Auffällig ist, dass der Anstieg der durchschnittlichen Häufigkeit des Auftretens von Kapazitätsengpässen im Vergleich zum Szenario mit der reduzierten Datenübertragungskapazität einerseits damit einher geht, dass die Warteschlangenlängen insgesamt länger sind, und andererseits die Standardabweichungen der Warteschlangenlänge in QoS-Level 1 bis 3 deutlich sinken. Letzteres zeigt, dass im Szenario mit der veränderten Kundenstruktur für den Fall, dass Kapazitätsengpässe bestehen, eine geringere Variation des zu diesen Zeitpunkten bestehenden Datenaufkommens vorliegt.

		ø-liche Warteschlangenlänge an einem Tag [MB/Zeitpunkt]				ø-liche Häufigkeit [MB/Zeitpunkt]
		QoS- Level 1	QoS- Level 2	QoS- Level 3	QoS- Level 4	
Mittelwert	Szenario I	3,325	3.914,085	5.138,733	1.268,105	143,989
	Szenario II	1,512	2.210,066	4.070,301	1.242,968	300,014
	Szenario IV	1,978	3.157,630	5.076,774	2.315,693	533,368
Standardabweichung	Szenario I	50,075	4.677,932	2.220,757	22.607,047	108,551
	Szenario II	11,617	5.843,712	5.962,073	10.643,678	113,408
	Szenario IV	9,840	2.869,131	1.274,183	46.306,088	75,074

Abbildung 59: Vergleich der durchschnittlichen Warteschlangenlängen bei variierenden Segmentgrößen

Darüber hinaus ist erkennbar, dass nicht nur die Häufigkeit von Kapazitätsengpässen zunimmt, sondern auch die durchschnittliche Warteschlangenlänge mit der Zunahme des Anteils der in Kundensegment 1 befindlichen Kunden an der Gesamtheit der Kunden ansteigt.

5.3.4 Analyse des Einflusses der Dienstgüte auf das Datenaufkommen der Fallstudie

Zur isolierten Analyse des Einflusses, den die dem Kunden offerierte Dienstgüte in Form von Quality of Service auf die Kundenstruktur hat, erfolgt ein Vergleich zweier Szenarios, bei denen die den Tarifen zugrundegelegten QoS-Level variieren. Um von dieser Änderung auf die Auswirkungen auf die Kundenstruktur schließen zu können, sind die basierend auf der Kundenzufriedenheitsfunktion ermittelten segmentspezifischen bedingten Kundenzufriedenheiten der beiden Szenarien miteinander zu vergleichen. Die Veränderungen der ursprünglich in Abbildung 49 für Szenario I angenommenen QoS-Level-Zuweisungen führt zu den in der folgenden Abbildung 60 dargestellten

Werten; in Klammern sind zur besseren Vergleichbarkeit die alten Werte angegeben. Für Tarif 1 werden die vormals in QoS-Level 2 übertragenen Video-On-Demand-Anwendungen nun ebenfalls dem höchsten QoS-Level 1 zugewiesen und auch Musik-Anwendungen werden in Szenario V für Tarif 1 im höheren QoS-Level 2 übertragen. Tarif 2 hingegen überträgt nur Daten, die von Sprachanwendungen, von Browsing sowie von E-Mailing generiert werden, im selben QoS-Level wie dies im Referenzszenario I der Fall ist. Alle anderen Anwendungen von Tarif 2 werden im Vergleich zum Referenzszenario im nächst niedrigeren QoS-Level übertragen. Für Tarif 3 werden Daten, die von Video-On-Demand-Anwendungen generiert werden im Vergleich zum Referenzszenario nun im niedrigsten QoS-Level übertragen. Die Zuweisung der QoS-Level ändert sich hingegen nicht für Tarif 4.

Anwendung	Tarif 1	Tarif 2	Tarif 3	Tarif 4
Sprache	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)
SD-Video-Tel.	1 (1)	2 (1)	3 (3)	4 (4)
HD-Video-Tel.	1 (1)	2 (1)	3 (3)	4 (4)
Gaming	1 (1)	3 (2)	3 (3)	4 (4)
SD-VoD	1 (2)	4 (3)	4 (3)	4 (4)
HD-VoD	1 (2)	4 (3)	4 (3)	4 (4)
Musik	2 (3)	4 (3)	4 (4)	4 (4)
BitTorrent	3 (3)	4 (3)	4 (4)	4 (4)
Browsing	4 (4)	4 (4)	4 (4)	4 (4)
E-Mail	4 (4)	4 (4)	4 (4)	4 (4)

Abbildung 60: Variation der tarifbasierten Zuweisung der Anwendungen zu den QoS-Levels

Durch die veränderte Zuweisung der Anwendungen zu den QoS-Levels erfolgt eine Reallokation der im jeweiligen QoS-Level zu übertragenden Datenmengen. Entsprechend verändert sich die Häufigkeit der Engpässe so, wie in Abbildung 61 dargestellt. Es zeigt sich, dass hierbei eine feingranulare Abstimmung zwischen der Veränderung der QoS-Level und der einem Level pro Zeiteinheit zugewiesenen Kapazitäten notwendig ist. Es gilt unerwünschte Effekte zu verhindern. Dies ist hier der Fall, wenn in Szenario V zwar die Anwendungen des Kundensegments 1 überwiegend im höchsten QoS-Level übertragen werden, es jedoch in diesem QoS-Level deutlich häufiger zur Bildung einer Warteschlange kommt und es durch die Warteschlangenbildung zu Einbußen in der realisierten Dienstgüte besonders dienstgütesensitiver Anwendungen kommt und damit die bedingte Kundenzufriedenheit entsprechend abnimmt. Dies resultiert aus der zugrunde liegenden Arbitrationslogik, bei der zunächst jedem QoS-Level ein fester Kapazitätsanteil der Gesamtkapazität pro Zeiteinheit zugewiesen wird

und die QoS-Level-spezifischen nicht in Anspruch genommenen Kapazitäten zunächst immer dem höchsten QoS-Level weitervererbt werden. Die zu diesem Zeitpunkt vorhandenen Restkapazitäten werden sodann stufenweise dem nächstniedrigeren QoS-Level vererbt.

		Ø-liche Häufigkeit des Auftretens einer Warteschlange an einem Tag				
		QoS-Level 1	QoS-Level 2	QoS-Level 3	QoS-Level 4	insgesamt
Mittelwert	Szenario I	0,051	25,733	121,702	31,347	143,989
	Szenario V	8,447	0,002	34,613	72,960	108,838

Abbildung 61: Gegenüberstellung der durchschnittlichen Häufigkeit des Auftretens von Warteschlangen bei veränderter QoS-Level-Zuweisung der Anwendungen

Mit der Veränderung der Häufigkeit des Auftretens einer Warteschlange geht in diesem Fall einher, dass sich der Mittelwert der Warteschlangenlänge eines Tages verändert, so wie dies in Abbildung 62 dargestellt ist.

		Ø-liche Warteschlangenlänge an einem Tag			
		QoS-Level 1	QoS-Level 2	QoS-Level 3	QoS-Level 4
Mittelwert	Szenario I	3,325	3.914,085	5.138,733	1.268,105
	Szenario V	3.651,168	12,297	9.105,030	8.846,225

Abbildung 62: Gegenüberstellung der durchschnittlichen Warteschlangenlänge bei veränderter QoS-Level-Zuweisung der Anwendungen

Mit der veränderten Häufigkeit des Auftretens von Kapazitätsengpässen in den verschiedenen QoS-Levels geht zudem eine veränderte bedingte Kundenzufriedenheit einher. Ebendies ist folgend in Abbildung 63 für Kundensegment 2 beispielhaft für die beiden Szenarien, die sich ausschließlich in der veränderten Zuweisung der Anwendungen auf die QoS-Level unterscheiden, festgehalten.

		Ø-liche bedingte Kundenzufriedenheit			
		Segment 1	Segment 2	Segment 3	Segment 4
Mittelwert	Szenario I	2,12109526	0,99310825	1,01239867	1,00000000
	Szenario IV	1,00000000	1,00039358	0,99920853	1,00000000

Abbildung 63: Gegenüberstellung der durchschnittlichen bedingten Kundenzufriedenheit bei veränderter QoS-Level-Zuweisung der Anwendungen

So ist insbesondere die Veränderung der durchschnittlichen bedingten Kundenzufriedenheit eines Tages zu Kundensegment 1 deutlich zurückgegangen. Dies resultiert unmittelbar daraus, dass im Falle eines Kapazitätsengpasses nun nicht länger in

Kundensegment 1, das vermeintlich mit einer anwendungsspezifisch optimalen Zuweisung der Anwendungen zu den QoS-Leveln aufwartet, tatsächlich eine Besserstellung des Kunden aus Kundensegment 2 zu erwarten ist. Dass der Wert auf 1 zurückfällt, ist vielmehr sogar ein Indiz dafür, dass nicht länger positive Konsumentenrenten für einen Kunden von Segment 2 beim Wechsel in Segment 1 erreicht werden können.

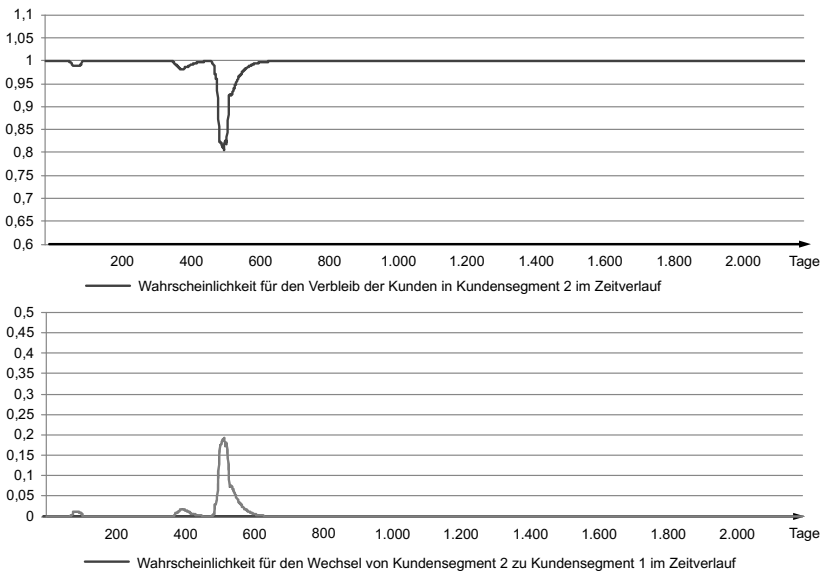


Abbildung 64: Veränderung der Übergangswahrscheinlichkeiten von Kundensegment 2 im Zeitverlauf

Durch den Vergleich der für das Kundensegment ermittelten bedingten Zufriedenheiten lässt sich identifizieren, in welchem Segment der Kunde bei der zugrunde liegenden eigenen Nachfrage und unter Berücksichtigung der gesamten Nachfrage aller Kundensegmente die höchste Zufriedenheit hätte erreichen können. So ist für die beispielhaft für Segment 2 vorgenommene Darstellung der durchschnittlichen bedingten Kundenzufriedenheit für Szenario VI ersichtlich, dass der Kunde aus Segment 2 in seinem Kundensegment die höchste durchschnittliche bedingte Kundenzufriedenheit erreicht. Entsprechend führt dies zu einem Sinken der Wahrscheinlichkeit für seinen Übergang in ein anderes Kundensegment. Eben dies wird auch in der folgenden Abbildung 64 nochmals deutlich, in der die Veränderung der Übergangswahrscheinlichkeiten von Kundensegment 2 im Zeitverlauf dargestellt ist. So zeigt sich, dass entsprechend der bedingten Kundenzufriedenheiten die Wahrscheinlichkeiten für einen

Übergang von Kundensegment 2 in Kundensegment 1 genau dann steigt, wenn die Wahrscheinlichkeit für den Verbleib in Kundensegment 2 fällt bzw. vice versa. Ferner zeigt sich, dass die Übergangswahrscheinlichkeiten stets nur zeitweise von den Ereignissen beeinflusst werden und dann entsprechend zurück auf die Basisübergangswahrscheinlichkeit fallen.

5.3.5 Analyse der Steuerungswirkung der Bepreisung auf Kundensegmentstrukturen der Fallstudie

Um das Potenzial der Bepreisung zur kundenwertorientierten Steuerung des Netzbetreibers voll auszuschöpfen, findet eine Dynamisierung der Preise des Kundensegments 1, das das Kundensegment mit der höchsten Nachfrage darstellt, statt. Da in den bisherigen Analysen stets von fixierten Kundensegmentgrößen ausgegangen wurde, gilt es zunächst diese Fixierung aufzuheben. Auf diese Weise wird verhindert, dass durch die parallele Flexibilisierung der Übergangswahrscheinlichkeiten und der damit verbundenen Kundensegmentgrößen als auch der Preise das veränderte Modellverhalten nicht analysierbar ist und die Wirkung der Dynamisierung der Preise verborgen bliebe. Aus diesem Grund wird in einem ersten Schritt die Flexibilisierung der Kundensegmentgrößen vorgenommen, bevor in einem zweiten Schritt die Abhängigkeit der Preise von der Kundennachfrage im Simulationsmodell berücksichtigt wird.

Abbildung 65 zeigt die Veränderung der Segmentgrößen für das erste und das zweite Kundensegment. Die Fluktuation kommt in diesem Fall bereits zustande, wenn keine dynamische Bepreisung vorliegt. Es wird deutlich, dass aufgrund der ausschließlichen Betrachtung der beim Datenübertragungsdienstleister bestehenden Kundensegmente keine weiteren Kundenwechsel aus Kundensegment 1 in ein anderes Kundensegment zustande kommen. Entsprechend steigt die Größe des Kundensegments um die aus Kundensegment 2 abwandernden Kunden an und erreicht genau dann den maximalen Wert, nachdem alle Kunden aus Kundensegment 2 in Kundensegment 1 gewechselt sind. Dass keine Wechsel aus Kundensegment 1 hin zu anderen Kundensegmenten erfolgen, resultiert aus dem Umstand, dass für die beispielhaft gewählten Tarife ein Wechsel von Kundensegment 1 hin zu anderen Kundensegmenten nicht interessant ist. Da ein Bezug von Datenübertragungsdienstleistungen im gleichen Umfang für einen Kunden aus Segment 1 beim Wechsel in ein anderes Kundensegment mit deutlich höheren Kosten verbunden wäre und darüber hinaus in den anderen Tarifen nicht die erforderliche Dienstgüte bereitgestellt wird, finden keine Wechsel der Kunden aus Kundensegment 1 in die anderen Kundensegmente statt, die im gewählten Beispiel angenommen sind.

Das durch die Flexibilisierung der Kundensegmentgröße im Simulationsmodell dokumentierte vollständige Wechseln der Kunden aus Kundensegment 2 hin zu Kundensegment 1 resultiert daraus, dass Kunden aus Kundensegment 2 aufgrund einer Überschreitung der im Basiskontingent enthaltenen Datenübertragungsmengen in Kundensegment 1 wechseln, da sowohl das Basiskontingent des Tarifs von Kundensegment 1 größer ist als auch die Zusatzkontingente günstiger sind und somit dieser Tarif vorteilhafter als der von Segment 2 ist. Gleiches gilt für die Zeitpunkte, zu denen Kapazitätsengpässe bestehen und die Kunden aus Kundensegment 2 in Kundensegment 1 eine höhere bedingte Kundenzufriedenheit als realisierbar ansehen.

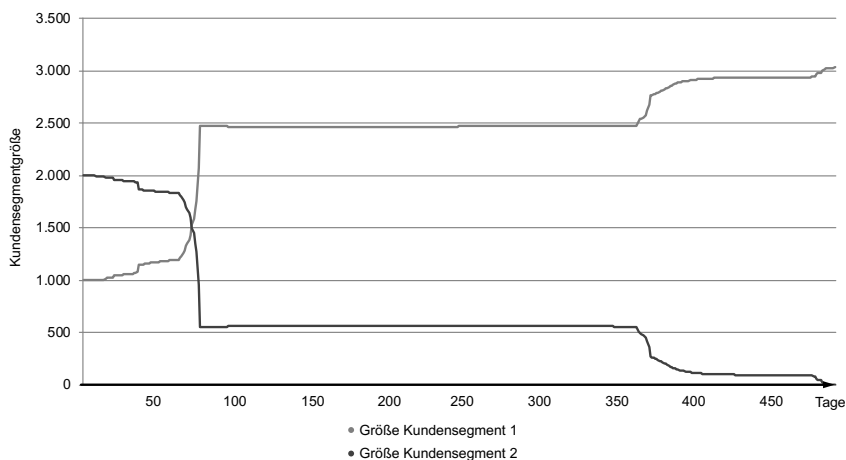


Abbildung 65: Kundensegmentgrößen von Kundensegment 1 und Kundensegment 2 im Zeitverlauf

Die Wechselwahrscheinlichkeit steigt darüber hinaus weiter an, da durch die steigende Anzahl der im Kundensegment 1 befindlichen Kunden gleichzeitig auch die Anzahl der Zeitpunkte, zu denen Kapazitätsengpässe bestehen, weiter zunimmt. Eben dies zeigte sich auch bereits in der Szenariobetrachtung bei Gegenüberstellung zweier unterschiedlicher Verteilungen der Kunden über die Kundensegmente hinweg. Mit dem Anstieg der Anzahl der Zeitpunkte, zu denen Kapazitätsengpässe bestehen, nimmt zugleich die Zufriedenheit der im Segment 1 befindlichen Kunden ab. Aufgrund der geschlossenen Betrachtung ist an dieser Stelle festzustellen, dass die Kunden gewissermaßen im Kundensegment 1 „gefangen“ sind. So ist ein Wechsel in ein niedrigeres Kundensegment unattraktiv, gleichfalls steht jedoch kein Kundensegment zur Verfügung, das eine höhere Kundenzufriedenheit verspricht.

Um das Wechselverhalten von Kundensegment 2 weiter zu analysieren, wird auf zwei Abbildungen zurückgegriffen, die ausschließlich die durchschnittliche bedingte Kundenzufriedenheit von Kundensegment 2 im Zeitverlauf aufzeigen. Abbildung 66 zeigt die durchschnittliche bedingte Kundenzufriedenheit von Kundensegment 2 in Kundensegment 2 und damit die auf Basis der realisierten Konsumentenrente im Verhältnis zur prognostizierten Konsumentenrente ermittelte bedingte Kundenzufriedenheit. Für eine verbesserte Lesbarkeit der Grafiken wurden die Ordinaten logarithmisch skaliert. Es zeigt sich, dass kurzfristige starke Schwankungen in den durchschnittlichen bedingten Kundenzufriedenheiten für einen starken Anstieg der Wechselnden aus Kundensegment 2 verantwortlich sind. So sind die starken Schwankungen der bedingten Kundenzufriedenheit von Kundensegment 2 in Bezug zu Kundensegment 1 gleichermaßen auffällig wie die bedingte Kundenzufriedenheit von Kundensegment 2 in Bezug zu Kundensegment 2, wenngleich letztere eine weniger starke Amplitude erreicht.

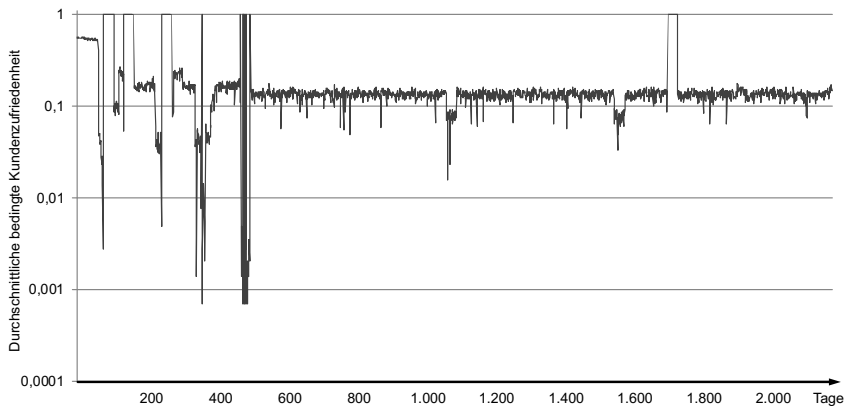


Abbildung 66: Durchschnittliche bedingte Kundenzufriedenheit von Kundensegment 2 in Kundensegment 2

Abbildung 67 visualisiert die durchschnittliche bedingte Kundenzufriedenheit von Kundensegment 2 in Kundensegment 1 im Zeitverlauf und damit die von Kundensegment 2 antizipierte in Kundensegment 1 zu realisierende Kundenzufriedenheit. Um die durchschnittliche bedingte Kundenzufriedenheit abermals weiter aufzuschlüsseln, kann in einem weiteren Schritt auf die pro Simulationsschritt erfassten Daten der in Kundensegment 2 realisierten Konsumentenrenten zurückgegriffen werden, die in Abbildung 68 abgebildet sind.

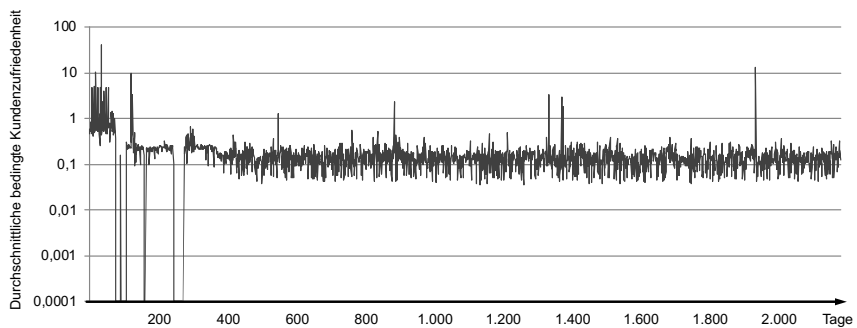


Abbildung 67: Durchschnittliche bedingte Kundenzufriedenheit von Kundensegment 2 in Kundensegment 1

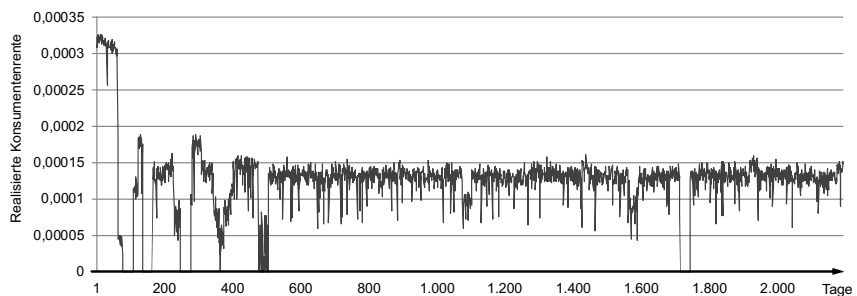


Abbildung 68: Realisierte Konsumentenrente von Kundensegment 2

Die Veränderung der Kundensegmentgrößen und die daraus resultierende veränderte Kundenzufriedenheit haben gleichfalls unmittelbaren Einfluss auf die durchschnittlichen bedingten Kundenzufriedenheiten von Kundensegment 3. Wie in Abbildung 69 ersichtlich, führt jeder neuerliche Zustrom zu Kundensegment 1 zu einem direkten negativen Effekt auf die durchschnittliche bedingte Kundenzufriedenheit. Dieser Effekt ist auf die gestiegene Anzahl der Zeitpunkte zurückzuführen, zu denen Engpässe vorliegen. Da die Inanspruchnahme von Datenübertragungsdienstleistungen von Kunden aus Kundensegment 1 deutlich größer ist, treten folglich mit steigender Kundenzahl bei gleichbleibender Kapazität häufiger Kapazitätsengpässe auf.

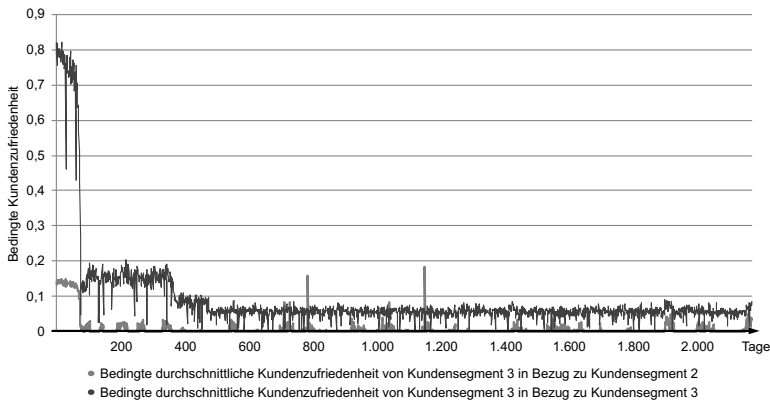


Abbildung 69: Durchschnittliche bedingte Kundenzufriedenheiten von Kundensegment 3

Eine Dynamisierung der Preise der Datenübertragungsdienstleistungen von Kundensegment 1 führt sodann dazu, dass insbesondere die Preise des QoS-Levels mit dem höchsten Datenaufkommen nahezu linear ansteigen. Entsprechend ist zwar davon auszugehen, dass weitere Wechsel hin zu Kundensegment 1 im Zeitverlauf unattraktiver werden, jedoch aufgrund der Problematik, dass über die beim Datenübertragungsdienstleister bestehenden Kundensegmente hinaus keine Kundensegmente im Modell abgebildet sind, insgesamt eine Abkehr von Kundensegment 1 nicht stattfinden kann, da die in den niedrigeren Kundensegmenten zu entrichtenden Entgelte nochmals deutlich höher ausfallen.

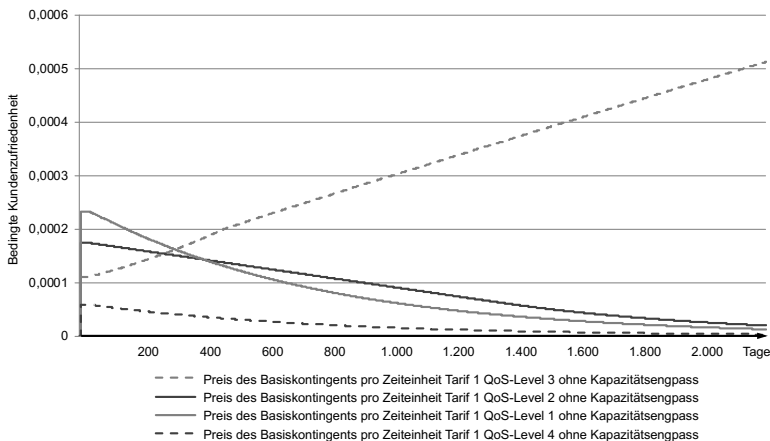


Abbildung 70: Dynamische Preise im Zeitverlauf

In Abbildung 70, in der die Preisentwicklung abgebildet ist, steigen die Preise erwartungsgemäß dadurch an, dass die Nachfrage höher ist als die in den Basiskontingenten enthaltenen Volumina bzw. der Preis für das Kontingent fällt, wenn die in Anspruch genommenen Volumina kleiner sind als die im Basiskontingent enthaltenen Volumina. Während die Preise für die QoS-Level 1, 2 sowie 4 fallen, steigt der Preis für die Nutzung der Datenübertragungsdienstleistung von QoS-Level 3.

Die starke Zunahme des Preises für die Nutzung von QoS-Level 3 resultiert aus der im Zeitverlauf angestiegenen Inanspruchnahme der Datenübertragungsdienstleistungen in diesem QoS-Level. Dies verdeutlicht Abbildung 71.

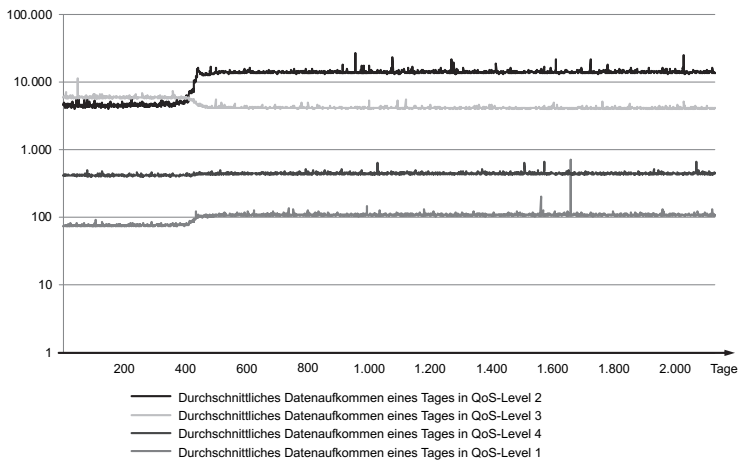


Abbildung 71: Überblick über das durchschnittliche Datenaufkommen eines Tages für die vier QoS-Level



6 Weiterentwicklung des Modells zur Optimierung von Investitionsentscheidungen über den Netzausbau

Das entwickelte Modell zur Analyse der Bepreisung der Datenübertragungsdienstleistungen erweist sich hinsichtlich seiner Einsatzmöglichkeiten als äußerst vielseitig. Durch die Fixierung ausgewählter oder vielfältiger Inputparameter kann durch deren gezielte Veränderung die Wechselwirkung mit den Outputgrößen, sei es das Datenaufkommen, die Kundenzufriedenheit oder die Veränderung des Wechselverhaltens, gezielt beobachtet werden. Basierend auf diesen Beobachtungen lassen sich sodann für den Datenübertragungsdienstleistungsanbieter Handlungsempfehlungen zur Optimierung seiner Bepreisung ableiten. So bildet das Modell Wechselwirkungen ab, die zwischen der Bepreisung, der Zahlungsbereitschaft, dem aus der Größe der Kundensegmente resultierenden Datenaufkommen, der Variabilität der zugrundegelegten Nutzungsstrukturen, der Kundenzufriedenheit und dem mit diesem verbundenen Wechselverhalten und der darauf aufbauenden Veränderung der Kundenstruktur sowie dem Customer Equity existieren.

Hinsichtlich der weiteren Entwicklung scheint sich zunächst eine Einbettung des Modells in eine flexiblere Programmierungsumgebung als das um RiskKit erweiterte MS Excel anzubieten. Auf diese Weise dürfte insbesondere die sehr lange Rechenzeit bei vielen Simulationsschritten verkürzt werden. Dies wiederum bietet die Möglichkeit, eine automatisierte Erfassung der Outputgrößen auch bei einer großen Anzahl an Simulationsläufen zu implementieren. Auch bietet eine Umsetzung mit z. B. Java den Vorteil, nur die Datenmengen in Datenbanken zwischenspeichern, die tatsächlich für die weitere Berechnung notwendig sind, während die in MS Excel gewählte Umsetzung stets alle Daten von 1.440 Zeitpunkten vorhält. Allein dieser Vorteil dürfte die Rechenzeit derart verkürzen, dass mit den frei werdenden Kapazitäten z. B. eine Einzelkundenbetrachtung für Netzwerke mit einer überschaubaren Nutzeranzahl realisierbar würde.

Neben den aus der Verbesserung der technischen Umsetzung resultierenden Möglichkeiten könnte im Zuge einer Weiterentwicklung des Modells die Abbildung der gleichfalls in dieser Arbeit dargestellten komplexen Tarifförmlichkeiten in dem Modell angestrebt werden, um diese miteinander hinsichtlich ihrer Vorteilhaftigkeit zu vergleichen. Sodann ist die Implementierung eines Algorithmus zur Optimierung der Kundenstruktur denkbar. Darüber hinaus wäre die Implementierung eines Algorithmus anzustreben, der dem Datenübertragungsdienstleister entweder für die aktuell angebotenen Tarife optimale Preise ausgibt oder der sogar die Tarifstruktur optimiert, indem der

Algorithmus dem Datenübertragungsdienstleister beim Finden einer für die jeweiligen Kundensegmente optimalen Tarifforn unterstützt. Besonders erstrebenswert wäre eine parallele Optimierung der angebotenen Tariffornen und der innerhalb dieser jeweils gewählten Preise. Dazu wäre z. B. eine Optimierung der Preise für jede Kombination der potenziell in Frage kommenden Tariffornen entsprechend der maximal angestrebten Tariffanzahl auszugestalten und im Anschluss eine Auswahlentscheidung bezüglich der zu präferierenden Kombination zu treffen.

Anhang

Sub AfterEachRun()

'Tastenkombination: Strg+Ü

' --- START: Kopieren der Tagessummen der Kapazitätsinanspruchnahmen ---

' --- START: Nummerieren des Laufindex ---

Range("BHX4").Select 'In Zelle BHX4 steht der Laufindex

If ActiveCell = 58 Then

ActiveCell = ActiveCell - 57

Else

ActiveCell = ActiveCell + 1

End If

' --- ENDE: Nummerierung Laufindex ---

' --- START: Kopieren der Tagessumme der Kapazitätsinanspruchnahme in die richtige Zeile ---

Laufindex = Range("BHX4").Value 'Zuweisung des Namens "Laufindex" zur Zelle BHX4

Range("BEM1451:BHQ1451").Select 'Auswahl der Zellen, die die Tagessumme der Kapazitätsinanspruchnahme enthalten und die auf den nächsten Tag zu übertragen sind

Selection.Copy

Cells(Laufindex + 6, 1581).Select '[Cells(Zeile, Spalte)] auswählen der Zelle, in die kopiert wird

'in den beiden folgenden Zeilen: ausschließliches kopieren der Werte

Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _

:False, Transpose:=False

' --- ENDE: Kopieren Tagessumme ---

' --- START: Löschen der Zeile des 31. Tages ---

Range("BHU100:BKY100").Select 'kopieren eines leeren Bereichs, um mit diesen leeren Zellen die

Selection.Copy 'zu löschenden Felder zu überschreiben

If Laufindex <= 29 Then

Cells(Laufindex + 29 + 6, 1581).Select

ActiveSheet.Paste

Else

Cells(Laufindex - 29 + 6, 1581).Select

ActiveSheet.Paste

End If

Application.CutCopyMode = False

' --- ENDE: Löschen der Zeile des 31. Tages ---

' --- ENDE: Kopieren der Tagessummen der Kapazitätsinanspruchnahmen ---

Abbildung 72: Überblick über das zwischen den Simulationsschritten auszuführende Makro 1

```

'--- START: Kopieren der Übergangswahrscheinlichkeiten für den nächsten Tag ---
'--- START: Speichern der neu berechneten Übergangswahrscheinlichkeiten ---
Laufindex = Range("BHX4").Value 'Zuweisung des Namens "Laufindex" zur Zelle BHX4
Range("CGS11:CHH11").Select 'Auswahl der Zellen, die die Übergangswahrscheinlichkeit enthalten und auf den
                             nächsten Tag zu übertragen sind

Selection.Copy
Cells(Laufindex + 24, 2229).Select '[Cells(Zeile, Spalte)] auswählen der Zelle, in die kopiert wird
                                   'in den beiden folgenden Zeilen: Ausschließliches kopieren der Werte

Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
'--- ENDE: Speichern der neu berechneten Übergangswahrscheinlichkeit ---

'--- START: Löschen der Zeile des 31. Tages ---
Range("CGS19:CHH19").Select 'kopieren der Backup-Felder, um mit diesen die
Selection.Copy 'nicht länger gültigen Übergangswahrscheinlichkeiten zu überschreiben
If Laufindex <= 29 Then
    Cells(Laufindex + 29 + 24, 2229).Select
    ActiveSheet.Paste
Else
    Cells(Laufindex - 29 + 24, 2229).Select
    ActiveSheet.Paste
End If
Application.CutCopyMode = False
'--- ENDE: Löschen der Zeile des 31. Tages ---

'--- START: Übertragung der durchschnittlichen Übergangswahrscheinlichkeit ---
Range("CGS8:CHH8").Select
Selection.Copy
Range("CGS7").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Application.CutCopyMode = False
'--- ENDE: Übertragung der durchschnittlichen Übergangswahrscheinlichkeit ---
'--- ENDE: Kopieren der Übergangswahrscheinlichkeiten für den nächsten Tag ---

'--- START: Kopieren der Segmentgröße für den nächsten Tag ---
Range("BAX9:BBA9").Select
Selection.Copy
Range("BBP7").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
'--- ENDE: Kopieren der Segmentgröße für den nächsten Tag ---

```

Abbildung 72: Überblick über das zwischen den Simulationsschritten auszuführende Makro 1
(Fortsetzung)

```
' --- START: Kopieren der Cashflows auf den nächsten Tag ---
Range("CHK9:CHZ9").Select
Selection.Copy
Range("CHK8").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Application.CutCopyMode = False
' --- ENDE: Kopieren der Cashflows auf den nächsten Tag ---

' --- START: Kopieren der Preise von Tarif 1 für den nächsten Tag ---
Range("CIL8:CIR8").Select
Selection.Copy
Range("CIL7").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Application.CutCopyMode = False
' --- ENDE: Kopieren der Preise von Tarif 1 für den nächsten Tag ---

' --- START: Durchnummerieren der Simulationsläufe ---
Range("CID10").Select 'In Zelle CDH10 steht der Simulationsschritt
ActiveCell = ActiveCell + 1
' --- ENDE: Durchnummerieren der Simulationsläufe ---

End Sub 'AfterEachRun()
```

Abbildung 72: Überblick über das zwischen den Simulationsschritten auszuführende Makro 1
(Fortsetzung)⁸⁷⁷

⁸⁷⁷ Durch das Setzen von einem Apostroph am Zeilenanfang wird diese als Kommentar behandelt und es wird der in der Zeile stehende Befehl nicht ausgeführt. Auf diese Weise lässt sich die Dynamisierung der Bepreisung und/oder der Kundensegmentstruktur in der Simulation ein- bzw. ausschalten.

Sub Löschen()

```
' Löschen Makro
```

```
' --- START: Zurücksetzen des Laufindex der Kontingentausschöpfung auf 0 ---
```

```
Range("BHX4").Select
```

```
ActiveCell.FormulaR1C1 = "0"
```

```
Range("BHU7:BKY71").Select
```

```
Selection.ClearContents
```

```
' --- Ende: Zurücksetzen des Laufindex ---
```

```
' --- START: Zurücksetzen des Laufindex zur Zählung des Simulationsschrittes ---
```

```
Range("CID10").Select
```

```
ActiveCell.FormulaR1C1 = "0"
```

```
Range("CHK8:CHZ8").Select
```

```
Selection.ClearContents
```

```
' --- Ende: des Zurücksetzens ---
```

```
' --- START: Zurücksetzen der Segmentgrößen ---
```

```
Range("BBP2:BBS2").Select
```

```
Selection.Copy
```

```
Range("BBP7").Select
```

```
ActiveSheet.Paste
```

```
Application.CutCopyMode = False
```

```
' --- Ende: Zurücksetzen der Segmentgrößen ---
```

```
' --- START: Zurücksetzen der Übergangswahrscheinlichkeiten ---
```

```
Range("CGS19:CHH19").Select
```

```
Selection.Copy
```

```
Range("CGS7").Select
```

```
ActiveSheet.Paste
```

```
Application.CutCopyMode = False
```

```
' --- ENDE: Zurücksetzen der Übergangswahrscheinlichkeiten ---
```

```
' --- START: Zurücksetzen des Zwischenspeicherns der Übergangswahrscheinlichkeiten ---
```

```
Range("CGS19:CHH19").Select
```

```
Selection.Copy
```

```
Range("CGS25:CGS82").Select
```

```
ActiveSheet.Paste
```

```
Application.CutCopyMode = False
```

```
' --- ENDE: Zurücksetzen des Zwischenspeicherns der Übergangswahrscheinlichkeiten ---
```

Abbildung 73: Überblick über Makro 2 zum Zurücksetzen der Felder auf Ausgangswerte für neuen Simulationslauf

```
'--- START: Zurücksetzen der Preise für Tarif 1 ---  
Range("CID11:CIS11").Select  
Selection.Copy  
Range("CID7").Select  
ActiveSheet.Paste  
Application.CutCopyMode = False  
'--- ENDE: Zurücksetzen der Preise für Tarif 1 ---  
  
'--- START: Aktualisieren aller Zellen ---  
Calculate  
'--- ENDE: Aktualisieren aller Zellen ---  
  
End Sub
```

Abbildung 73: Überblick über Makro 2 zum Zurücksetzen der Felder auf Ausgangswerte für neuen Simulationslauf (Fortsetzung)

Zur Realisierung der Verteilung der 100 Dummy-Variablen entsprechend der zugrunde liegenden Kundenstruktur im Simulationsmodell werden 100 Spalten mit je einer Dummy-Variablen in Excel eingeführt, die die prozentuale Verteilung der Kundensegmente in Segmentzahlen überführt, sodass bei z. B. 10 % in Segment 1, 20 % in Segment 2, 50 % in Segment 3 und 20 % in Segment 4 genau 10 Dummy-Variablen den Wert 1 annehmen, die nächsten 20 Dummy-Variablen den Wert 2, 50 Dummy-Variablen den Wert 3 sowie die letzten 20 Dummy-Variablen den Wert 4. Dazu wird auf folgende Formeln zurückgegriffen:

Für die erste Dummy-Variable gilt:

=WENN(CZ7*DA7>=1;1;WENN(DB7*CZ7>=1;2;WENN(DC7*CZ7>=1;3;4)))

mit CZ7 := Anzahl der Dummy-Variablen

mit DA7 := prozentualer Anteil Segment 1

mit DB7 := prozentualer Anteil Segment 2

mit DC7 := prozentualer Anteil Segment 3

mit DD7 := prozentualer Anteil Segment 4

Für die zweite Dummy-Variable gilt hingegen:

=WENN(\$CZ7*\$DA7-ZÄHLENWENN(\$DG7;1)>=1;1;WENN(\$DB7*\$CZ7-ZÄHLENWENN(\$DG7;2)>=1;2;WENN(\$DC7*\$CZ7-ZÄHLENWENN(\$DG7;3)>=1;3;\$DD7*\$CZ7-ZÄHLENWENN(\$DG7;4))))

mit DG7 := Dummy-Variable 1

Die dritte und alle folgenden Dummy-Variablen bauen auf der Formel zur Bestimmung des Wertes entsprechend der Formel zur Bestimmung des Werts der zweiten Dummy-Variable auf, indem nun innerhalb eines Bereichs gezählt wird, wie oft bereits das Kundensegment bereits den vorangegangenen Dummy-Variablen zugewiesen wird, sodass Folgendes gelte:

=WENN(\$CZ7*\$DA7-ZÄHLENWENN(\$DG7:DH7;1)>=1;1;WENN(\$DB7*\$CZ7-ZÄHLENWENN(\$DG7:DH7;2)>=1;2;WENN(\$DC7*\$CZ7-ZÄHLENWENN(\$DG7:DH7;3)>=1;3;WENN(\$DD7*\$CZ7-ZÄHLENWENN(\$DG7:DH7;4)>=1;4;0))))

mit DG7:DE7 := Dummy-Variable 1 bis Dummy-Variable 2

In den folgenden 97 Spalten, in denen die übrigen 97 Dummy-Variablen bestimmt werden, wird sodann jeweils der Bereich, in dem gezählt wird, um die Zelle der vorangegangenen Dummy-Variable erweitert.

Abbildung 74: Realisierung der Verteilung der 100 Dummy-Variablen entsprechend der zugrunde liegenden Kundenstruktur im Simulationsmodell

Output	Differenziert nach		
	Segment	Anwendung	QoS-Level
Durchschnittliche Nachfrage in MB	X	X	
Datenaufkommen in MB			X
Warteschlangenlänge in MB			X
Durchschnittliche Häufigkeit des Auftretens einer Warteschlange am Tag			X
Bestimmung der Menge der übertragenen Daten in den vergangenen 29 Tagen	X	X	(X)
Service- und Segmentspezifische Entgelte	X		X
Realisierte Konsumentenrente	X		
Prognostizierte Konsumentenrente	X		
Hypothetische Konsumentenrente	X+		
Durchschnittliche bedingte Konsumentenrente	X+		
Bedingte Kundenzufriedenheit basierend auf durchschnittlichen Konsumentenrenten	X+		
Übergangswahrscheinlichkeiten des jeweiligen Tages	X+		
Segmentgröße des jeweiligen Tages	X		
X Differenzierung wird vorgenommen (X) Differenzierung wird vorgenommen. Darüber hinaus, Unterscheidung zwischen den Zeitpunkten, bei denen Kapazitätsengpässe bestehen und denen, zu denen keine Engpässe existieren. X+ Differenzierung wird vorgenommen. Es werden alle Segmente betrachtet und für jedes Segment wird die Kennzahl, die den Vergleich zu anderen Segmenten wiedergibt, abgebildet.			

Abbildung 75: Überblick über die gewählten Outputfelder

Tabellenblatt	Spalte (Spalte aus der die Beispielformel kommt)	Zeile (Zeile aus der die Beispielformel kommt)	Funktion
Aktivitätsindex	A	2–1.441	Werte: Nummerierung der Zeitpunkte von 1 bis 1440
Aktivitätsindex	B	2–1.441 (3)	Berechnung: Uhrzeit als Dezimalzahl =B2+1/60
Aktivitätsindex	C	2–1.441	Werte: mit Maple ermittelte Werte gemäß Formel 53
Tarife	C–L	5	Beschriftung: Name der Anwendung
Tarife	B	6–9	Beschriftung: Name des Tarifs (-> Tarif I bis Tarif IV)
Tarife	C–L	6–9	Werte: Zuweisung des QoS-Levels in dem die Daten für den jeweiligen Tarif übertragen werden mit der Zahl 1 bis 4
Tarife	B	16	Beschriftung
Tarife	C	16	Wert: Anzahl der betrachteten Zeitpunkte
Tarife	B	21–24	Beschriftung: Name des Tarifs (-> Tarif I bis Tarif IV)
Tarife	C–F	20	Beschriftung: Zuweisung von QoS-Level 1 bis 4
Tarife	C–F (C)	21–24 (21)	Berechnung: Erwartete Kapazitätsanspruchnahme pro Monat =SUMMEWENN(\$C6:\$L6;1;Nutzungsstruktur\$C15:\$L15)
Tarife	B	38–41	Beschriftung: Name des Tarifs (-> Tarif I bis Tarif IV)
Tarife	C–F	37	Beschriftung: Zuweisung von QoS-Level 1 bis 4
Tarife	C–F	38–41	Werte: Zusammensetzung des monatlichen Entgelts nach QoS-Level
Tarife	B–D	48–63	<p>Beschriftung: Aufspaltung für jeden Tarif I bis Tarif IV (Spalte B) in reguläres Basis- bzw. Zusatzkontingent (Spalte C) und dies wiederum in Euro pro Zeiteinheit bzw. Menge pro Zeiteinheit</p> <pre> graph LR A[Tarif I] --> B[Basiskontingent] A --> C[Zusatzkontingent] B --> D[Euro/Zeiteinheit] B --> E[Menge/Zeiteinheit] C --> F[Euro/Zeiteinheit] C --> G[Menge/Zeiteinheit] </pre>
Tarife	E–L	46–47	<p>Beschriftung: Aufspaltung für jedes QoS-Level in mit bzw. ohne Kapazitätsengpass</p> <pre> graph LR A[QoS-Level] --> B[Mit Kapazitätsengpass] A --> C[Ohne Kapazitätsengpass] </pre>
Tarif	E–L	48–63	Werte: entsprechen denen die in Abbildung XX festgehalten sind.
Nutzenfunktionsparameter	B–C	4–7 9–12 14–17 19–22	<p>Beschriftung: QoS-Level aufgespalten in Spalte C für jedes Kundensegment</p> <p>QoS-Level 1 aufgesplittet in Spalte C für jedes Kundensegment QoS-Level 2 aufgesplittet in Spalte C für jedes Kundensegment QoS-Level 3 aufgesplittet in Spalte C für jedes Kundensegment QoS-Level 4 aufgesplittet in Spalte C für jedes Kundensegment</p>

Abbildung 76: Überblick über den Aufbau des Excel-Simulationstools

Tabellenblatt	Spalte (Spalte aus der die Beispielformel kommt)	Zeile (Zeile aus der die Beispielformel kommt)	Funktion
Nutzenfunktionsparameter	D	4–22	Werte: Formparameter á
Nutzenfunktionsparameter	E	4–22	Werte: Formparameter ð
Nutzenfunktionsparameter	F	4–22	Werte: Formparameter ó
Nutzenfunktionsparameter	G	4–22	Werte: Formparameter ù
Nutzenfunktionsparameter	H	4–22	Werte: Formparameter ð
Nutzungsstruktur	C–U	2	Beschriftung: Name der Anwendung, pro Anwendung zwei Spalten, außer für die in Spalte Q ausgewiesenen Datenmengen, die aus BitTorrent resultieren, für die nur eine Spalte vorgehalten ist.
Nutzungsstruktur	C–U	4	Beschriftung Zeit pro zugrunde gelegtem Betrachtungszeitraum und in der zweiten Spalte die daraus resultierende Kapazitätsinanspruchnahme pro Monat, außer für die in Spalte Q ausgewiesenen Datenmengen, die aus BitTorrent resultieren, für die nur eine Spalte vorgehalten ist und für die direkt die Menge pro Monat angegeben wird.
Nutzungsstruktur	C–L	21	Beschriftung: Name der Anwendung, pro Anwendung eine Spalte
Nutzungsstruktur	B	23–26	Beschriftung: pro Zeile ein Kundensegment
Nutzungsstruktur	C–L	23–26	Werte: Umrechnung der Menge pro Monat in MB pro Tag und damit Formparameter a der Nachfragefunktion
Nutzungsstruktur	C–F	42	Beschriftung: pro Spalte ein QoS-Level
Nutzungsstruktur	B	43–46	Beschriftung: pro Zeile ein Kundensegment
Nutzungsstruktur	C–F	43–46	Werte: Maximale Zahlungsbereitschaft pro QoS-Level
Nutzungsstruktur	C–L	31	Beschriftung: Name der Anwendung, pro Anwendung eine Spalte
Nutzungsstruktur	B	32–35	Beschriftung: pro Zeile ein Kundensegment
Nutzungsstruktur	C–L (C)	32–35 (32)	Berechnung: Umwandlung der pro Monat und QoS-Level als Input definierten maximalen Zahlungsbereitschaft der Kundensegments in eine maximale Zahlungsbereitschaft für die je zehn Anwendungen $=(((C23/SUMMEWENN(Tarife!C6:$L6;Tarife!C6;Nutzungsstruktur!C23:$L23)))*WENN(Tarife!C6=1;Nutzungsstruktur!C43;WENN(Tarife!C6=2;Nutzungsstruktur!D43;WENN(Tarife!C6=3;Nutzungsstruktur!E43;Nutzungsstruktur!F43))))/30$
Nutzungsstruktur	B	39	Wert: α für die Ermittlung der anwendungsspezifischen Nachfragen

Abbildung 76: Überblick über den Aufbau des Excel-Simulationstools (Fortsetzung)

Tabellenblatt	Spalte (Spalte aus der die Beispiel-formel kommt)	Zeile (Zeile aus der die Beispiel-formel kommt)	Funktion
Modell	C-AP	3	Beschriftung: Nutzenfunktion zur Berechnung von Lambda in Abhängigkeit des Dienstgüteparameters d
Modell	C-AP	5	Beschriftung: Pro vier Spalten eine Anwendung
Modell	C-AP	6	Beschriftung: Pro Anwendung für jedes Segment je eine Spalte
Modell	C-AP (C)	7-1.446 (8)	Berechnung: =1/(1+EXP(Nutzenfunktionsparameter!\$E\$4*(-Nutzenfunktionsparameter!\$F\$4*(WENN(Tarife!\$C\$6=1;Modell!\$BCL7;WENN(Tarife!\$C\$6=2;Modell!\$BCM7;WENN(Tarife!\$C\$6=3;Modell!\$BCN7;Modell!\$BCO7)))))+Nutzenfunktionsparameter!\$D\$4)))+Nutzenfunktionsparameter!\$H\$4
Modell	AS-BH	3	Beschriftung: Erwarteter Preis
Modell	AS-BH	5	Beschriftung: Pro vier Spalten ein QoS- Level
Modell	AS-BH	6	Beschriftung: Pro QoS-Level für jedes Segment je eine Spalte
Modell	AS-BH (AS)	7-1.446 (8)	Verweis auf die in einer deutlich späteren Spalte erfolgende Berechnung. =BLB7
Modell	BK-CX	3	Beschriftung: Formparameter $\hat{a}_{k,s}$
Modell	BK-CX	5	Beschriftung: Pro vier Spalten eine Anwendung
Modell	BK-CX	6	Beschriftung: Pro Anwendung für jedes Segment je eine Spalte
Modell	BK-CX (BK)	7-1.446 (8)	Verweis auf die im Tabellenblatt Nutzungsstruktur festgelegten Werte =Nutzungsstruktur!\$C\$23
Modell	DA-EN	3	Beschriftung: Formparameter $\hat{b}_{k,s}$
Modell	DA-EN	5	Beschriftung: Pro vier Spalten eine Anwendung
Modell	DA-EN	6	Beschriftung: Pro Anwendung für jedes Segment je eine Spalte
Modell	DA-EN (DA)	7-1.446 (8)	Berechnung der Formparameter $\hat{b}_{k,s}$ =BK8/Nutzungsstruktur!\$C\$32
Modell	EQ-GD	3	Beschriftung: negativ exponentielle Nachfrage $q_{k,s}$
Modell	EQ-GD	5	Beschriftung: Pro vier Spalten eine Anwendung
Modell	EQ-GD	6	Beschriftung: Pro Anwendung für jedes Segment je eine Spalte
Modell	EQ-GD (EQ)	7-1.446 (8)	Berechnung der Nachfrage $q_{k,s}$ =WENN(C8>0;BK8*EXP((-1)*(DA8*(WENN(Tarife!\$C\$6=1;AS8;WENN(Tarife!\$C\$6=2;AW8;WENN(Tarife!\$C\$6=3;BA8;BE8))))/(Modell!C8));0)*1024

Abbildung 76: Überblick über den Aufbau des Excel-Simulationstools (Fortsetzung)

Tabellenblatt	Spalte (Spalte aus der die Beispiel-formel kommt)	Zeile (Zeile aus der die Beispiel-formel kommt)	Funktion
Modell	EQ-GD	3	Beschriftung: Berechnung Lambda der Pareto-Verteilung
Modell	EQ-GD	5	Beschriftung: Pro vier Spalten eine Anwendung
Modell	EQ-GD	6	Beschriftung: Pro Anwendung für jedes Segment je eine Spalte
Modell	EQ -GD (EQ)	7-1.446 (8)	Berechnung der Lambda der Pareto-Verteilung =EQ8*((Nutzungsstruktur!\$C\$39-1)/Nutzungsstruktur!\$C\$39)*(Aktivitätsindex!\$C3/Aktivitätsindex!\$E\$1)
Modell	HW	3	Beschriftung: Dummy-Anzahl
Modell	HW	7 (7) (8)	Wert: 100 100 =HW7
Modell	HX-IA	3	Beschriftung: Prozentuale Segmentgröße, in jeder Spalte ein Segment
Modell	HX-IA (HX)	7-1.446 (8)	Verweis auf die in späteren Spalten erfolgende Berechnung =BAX\$16
Modell	ID-LY	3	Beschriftung: Verteilung der Dummy-Variablen entsprechend der Segmentgrößen
Modell	ID-LY	6	Beschriftung: Dummy 1 – Dummy 100
Modell	ID-LY (ID, IE und IF)	7-1.446 (8)	Berechnung: Zuweisung einer Segmentnummer (1 – 4) =WENN(HW8*HX8>=1;1;WENN(HY8*HW8>=1;2;WENN(HZ8*HW8>=1;3;4))) =WENN(\$HW8*\$HX8-ZÄHLENWENN(\$ID8;1)>=1;1;WENN(\$HY8*\$HW8-ZÄHLENWENN(\$ID8;2)>=1;2;WENN(\$HZ8*HW8-ZÄHLENWENN(\$ID8;3)>=1;3;IA8*\$HW8-ZÄHLENWENN(\$ID8;4)))) Ab Spalte IE sind alle Formeln wie folgt aufgebaut: =WENN(\$HW8*\$HX8-ZÄHLENWENN(\$ID8;IE8;1)>=1;1;WENN(\$HY8*\$HW8-ZÄHLENWENN(\$ID8;IE8;2)>=1;2;WENN(\$HZ8*\$HW8-ZÄHLENWENN(\$ID8;IE8;3)>=1;3;WENN(\$IA8*\$HW8-ZÄHLENWENN(\$ID8;IE8;4)>=1;4;0))))
Modell	ME-AYM	3	Beschriftung: Nachfragebestimmung pro Dummy
Modell	ME-AYM	5-6	Pro Anwendung 100 Spalten am Stück (nummeriert in Zeile 5), für jeden Dummy eine Spalte (nummeriert in Zeile 6)
Modell	ME-AYM (ME)	7-1.446 (8)	Berechnung: Nachfrage resultierend aus einer der 10 Anwendungen des jeweiligen Dummy =WENN(ISTZAHL(Pareto_variate(Nutzungsstruktur!\$C\$39;WENN(ID8=1;\$GG8;WENN(ID8=2;\$GH8;WENN(ID8=3;\$GI8;\$GJ8)))));Pareto_variate(Nutzungsstruktur!\$C\$39;WENN(ID8=1;\$GG8;WENN(ID8=2;\$GH8;WENN(ID8=3;\$GI8;\$GJ8)))));0,003)

Abbildung 76: Überblick über den Aufbau des Excel-Simulationstools (Fortsetzung)

Tabellenblatt	Spalte (Spalte aus der die Beispiel-formel kommt)	Zeile (Zeile aus der die Beispiel-formel kommt)	Funktion
Modell	AYP-BAC	3	Beschriftung: Bestimmung der durchschnittlichen anwendungs- und segmentspezifischen Nachfrage pro Kunde resultierend aus der Dummy-Betrachtung
Modell	AYP-BAC	5	Beschriftung: pro zehn Spalten ein Segment
Modell	AYP-BAC	6	Beschriftung: pro Segment für jede Anwendung je eine Spalte
Modell	AYP-BAC (AYP)	7-1.446 (8)	Berechnung =SUMMEWENN(\$ID7:\$LY7;1;\$MB7:\$PW7)/(HW7*HX7)
Modell	BAF-BAU	3	Beschriftung: Bestimmung der durchschnittlichen servicelevel- und segmentspezifische Nachfragen pro Kunde
Modell	BAF – BAU	5	Beschriftung: pro vier Spalten ein Segment
Modell	BAF-BAU	6	Beschriftung: pro Segment für jedes der vier QoS-Level je eine Spalte
Modell	BAF-BAU	7-1.446	Berechnung unter Berücksichtigung der Zuweisung der Anwendungen zu den einzelnen QoS-Leveln gemäß der im Tabellenblatt Tarife hinterlegten Verteilung: =SUMMEWENN(Tarife!\$C\$6:\$L\$6;1;Modell!\$AYP8:\$AYY8)
Modell	BAX-BBM	3	Beschriftung: Bestimmung der Segmentgröße des Folgetages
Modell	BAX-BBM	5	Beschriftung: pro vier Spalten ein Segment
Modell	BAX-BBM	6	Beschriftung: pro Segment für jedes der vier QoS-Level je eine Spalte
Modell	BAX-BBM (BAX)	7	Berechnung: =\$BBP\$7*\$CGS\$10
Modell	BAX, BBB, BBF, BBJ (BAX)	8	Berechnung: Summe der neuen Segmentgröße des Folgetages =SUMME(BAX7;BBB7;BBF7;BBJ7)
Modell	BAX-BBA	10	Berechnung: Runden der neuen Segmentgrößen, da Personen nicht beliebig teilbar =WENN(BAX8>BBP7+0,85;RUNDEN(BAX8;0);WENN(BAX8<BBP7-0,85;RUNDEN(BAX8;0);BBP7))
Modell	BAX-BBA	11	Berechnung: Prüfung, ob Kundengesamtzahl weiterhin unverändert (resultiert daraus, dass bestehende Kunden betrachtet werden): =WENNFEHLER(WENN(SUMME(\$BAX\$10:\$BBB\$10)=SUMME(\$BBP\$7:\$BBB\$7);BAX10;BBP7);BBP7)
Modell	BAX-BBM	14	Formeln, die beim Makro Löschen wieder in BAX – BBM Zeile 7 gesetzt werden

Abbildung 76: Überblick über den Aufbau des Excel-Simulationstools (Fortsetzung)

Tabellenblatt	Spalte (Spalte aus der die Beispiel-formel kommt)	Zeile (Zeile aus der die Beispiel-formel kommt)	Funktion
Modell	BAX-BBA	13	Beschriftung: Bestimmung der Dummy-Verteilung des aktuellen Tages
Modell	BAX-BBA (BAX)	15	Berechnung =RUNDEN(BBP8/SUMME(\$BBP\$8:\$BBS\$8);2)
Modell	BAX-BBA (BAX)	16	Berechnung: um sicherzustellen, dass auch nach dem vorangegangenen Runden weiterhin mindestens 1 Dummy für jedes Segment verbleibt, wird folgendes Vorgehen gewählt, bei dem der Differenzbetrag zu 100 % dem prozentual größten Segment zugerechnet wird: =WENN(BAX15=0;0,01;WENN(ODER(BAY15=0;BAZ15=0;BBA15=0);WENN(BAX15=MAX(\$BAX\$15:\$BBA\$15);BAX15-ZÄHLENWENN(\$BAX\$15:\$BBA\$15;0)*0,01;BAX15);BAX15))
Modell	BBP-BBS	3	Beschriftung: Segmentgröße
Modell	BBP-BBS	6	Beschriftung: pro Spalte ein Segment
Modell	BBP-BBS (BBP)	7 (8)	Werte: Segmentgröße -> Werte werden über das Makro nach jedem Simulationsschritt in Zeile 7 übertragen =\$BBP\$7
Modell	BBV-BCO	3	Beschriftung Warteschlangenberechnung *Dieser Teil des Modells ist auch ausführlich bereits im Textteil aufbereitet.
Modell	BBV-BBY	5	Beschriftung: Summe Datenaufkommen
Modell	BBV-BBY	6	Beschriftung: pro Spalte wird das summierte Datenaufkommen eines QoS-Levels erfasst
Modell	BBV-BBY	7 (8)	Berechnung: =WENNFEHLER(SUMME(BAF8*\$BBP8;BAJ8*\$BBQ8;BAN8*\$BBR8;BAR8*\$BBS8);0)+WENN(BCH7<=0;0;WENN(BCH7<BBZ7;BCH7;BBZ7))
Modell	BBZ-BCC	5	Beschriftung: Übertragungskapazität
Modell	BBZ-BCC	6	Beschriftung: pro Spalte ein QoS-Level
Modell	BBZ	1	Wert: Gesamtübertragungskapazität
Modell	BBZ-BCC	4	Werte: Prozentuale Verteilung der Gesamtkapazität auf die QoS-Level
Modell	BBZ-BCC (BBZ)	7-1.446 (8)	Berechnung der Kapazität des QoS-Levels =BBV8-BBZ8
Modell	BCD-BCG	5	Beschriftung: Kapazitätsbedarf
Modell	BCD-BCG	6	Beschriftung: pro Spalte ein QoS-Level

Abbildung 76: Überblick über den Aufbau des Excel-Simulationstools (Fortsetzung)

Tabellenblatt	Spalte (Spalte aus der die Beispiel-formel kommt)	Zeile (Zeile aus der die Beispiel-formel kommt)	Funktion
Modell	BCH-BCK	5	Beschriftung: Warteschlangenlängen
Modell	BCH-BCK	6	Beschriftung: pro Spalte ein QoS-Level
Modell	BCH-BCK	7–1.446	<p>Beispiel für Warteschlangenberechnung QoS-Level 1 in Spalte BCH: $=\text{MAX}(0;\text{MIN}(\text{BCD8};\text{BCD8}+\text{BCE8};\text{BCD8}+\text{BCF8};\text{BCD8}+\text{BCG8};\text{BCD8}+\text{BCE8}+\text{BCF8};\text{BCD8}+\text{BCE8}+\text{BCG8};\text{BCD8}+\text{BCE8}+\text{BCF8}+\text{BCG8}))$</p> <p>Beispiel für Warteschlangenberechnung QoS-Level 2 in Spalte BCI $=\text{WENN}(\text{BCE8}<=0;0;\text{WENN}(\text{UND}(\text{BCD8}>0;\text{BCF8}>0;\text{BCG8}>0);\text{BCE8};\text{WENN}(\text{ODER}(\text{BCD8}<0;\text{BCD8}+\text{BCG8}<0;\text{BCD8}+\text{BCF8}<0;\text{BCD8}+\text{BCF8}+\text{BCG8}<0);\text{MAX}(0;\text{BCE8}+\text{BCD8}+\text{MIN}(0;\text{BCG8};\text{BCF8};\text{BCF8}+\text{BCG8}));\text{BCE8})))$</p> <p>Beispiel für Warteschlangenberechnung QoS-Level 3 in Spalte BCJ $=\text{WENN}(\text{BCF8}<=0;0;\text{WENN}(\text{UND}(\text{BCD8}>0;\text{BCE8}>0;\text{BCG8}>0);\text{BCF8};\text{WENN}(\text{UND}(\text{BCG8}<0;\text{BCD8}+\text{BCE8}+\text{BCG8}<0);\text{MAX}(0;\text{BCF8}+\text{BCG8}+\text{BCE8}+\text{BCD8});\text{WENN}(\text{UND}(\text{BCD8}+\text{BCE8}<0;\text{BCG8}>0);\text{MAX}(0;\text{BCD8}+\text{BCE8}+\text{BCF8});\text{BCF8})))$</p> <p>Beispiel für Warteschlangenberechnung QoS-Level 4 in Spalte BCK $=\text{WENN}(\text{SUMME}(\text{BCD8};\text{BCF8})>0;\text{MAX}(0;\text{BCG8});\text{MAX}(0;\text{BCG8}+\text{SUMME}(\text{BCD8};\text{BCF8})))$</p>
Modell	BCP	6	Beschriftung: Stau
Modell	BCP	7–1.446	<p>Berechnung: in jeder Zeile wird geprüft, ob in einer der QoS-Level ein Kapazitätsengpass besteht. $=\text{WENN}(\text{SUMME}(\text{BCH8};\text{BCK8})>0;1;0)$</p>
Modell	BCL-BCO	5	Beschriftung: QoS-Berechnung
Modell	BCL-BCO	6	Beschriftung: pro Spalte ein QoS-Level
Modell	BCL-BCO	7–1.446	<p>Berechnung: Überführen der Warteschlangenlänge in die Dienstgüte als Ersatz für den in der Realität stattdessen einzubindenden virtual delay zur Bestimmung der Dienstgüte $=\text{WENN}(\text{BCH8}<=0;1;\text{WENN}(\text{BCH8}<\text{BBZ8};1-(\text{BCH8}/\text{BBZ8});0))$</p>
Modell	BCR-BEE	3	Beschriftung: Ermittlung der realisierten Zahlungsbereitschaft
Modell	BCR-BEE	5	Beschriftung: pro vier Spalten eine Anwendung
Modell	BCR-BEE	5	Beschriftung: pro Anwendung für jedes der vier Segmente je eine Spalte
Modell	BCR-BEE (BCR)	7–1.4467 (8)	<p>Berechnung: $=\text{WENN}(\text{UND}(0<(\text{EQ7}/1024);(\text{EQ7}/1024)<=\text{BK8});((\text{EQ7}/1024)/\text{DA8}*(1+\text{LN}(\text{BK8})-\text{LN}(\text{EQ7}/1024))))*\text{C8};\text{WENN}(\text{EQ7}/1024=0;0;((\text{BK8}/\text{DA8})*\text{C8})))*(\text{Aktivitätindex!}\\$C3/\text{Aktivitätsindex!}\\$E\\$1)$</p>

Abbildung 76: Überblick über den Aufbau des Excel-Simulationstools (Fortsetzung)

Tabellenblatt	Spalte (Spalte aus der die Beispiel-formel kommt)	Zeile (Zeile aus der die Beispiel-formel kommt)	Funktion																																										
Modell	BEG-BEJ	5	Beschriftung: Summe Zahlungsbereitschaft																																										
Modell	BEG-BEJ	6	Beschriftung: pro Spalte Segment																																										
Modell	BEG-BEJ (BEG)	7-1.4467 (8)	Berechnung: =SUMME(BEB8;BDX8;BDT8;BDP8;BDL8;BDH8;BDD8;BCZ8;BCV8;BCR8)																																										
Modell	BEM-BFF	3	Beschriftung: Segment 1 – Hypothetische, servicelevel- und segmentspezifische Zahlungsbereitschaft																																										
Modell	BEM-BFF	5	Beschriftung: die ersten 8 Spalten Segment 1, dann pro vier Spalten ein Segment																																										
Modell	BEM-BFF	5	<div>Beschriftung: für Segment 1 werden acht Spalten benötigt, da immer abwechselnd QoS-Level ohne Engpass und mit Engpass abgebildet werden. Für Segment 2 bis Segment 4 wird je Spalte ein QoS-Level abgebildet.</div> <table><tr><th colspan="8">Segment 1</th><th colspan="2">Segment 2</th><th colspan="2">Segment 3</th><th colspan="2">Segment 4</th></tr><tr><td>QoS-1 - OHNE</td><td>QoS-1 - MIT</td><td>QoS-2 - OHNE</td><td>QoS-2 - MIT</td><td>QoS-3 - OHNE</td><td>QoS-3 - MIT</td><td>QoS-4 - OHNE</td><td>QoS-4 - MIT</td><td>QoS-1</td><td>QoS-2</td><td>QoS-3</td><td>QoS-4</td><td>QoS-1</td><td>QoS-2</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	Segment 1								Segment 2		Segment 3		Segment 4		QoS-1 - OHNE	QoS-1 - MIT	QoS-2 - OHNE	QoS-2 - MIT	QoS-3 - OHNE	QoS-3 - MIT	QoS-4 - OHNE	QoS-4 - MIT	QoS-1	QoS-2	QoS-3	QoS-4	QoS-1	QoS-2														
Segment 1								Segment 2		Segment 3		Segment 4																																	
QoS-1 - OHNE	QoS-1 - MIT	QoS-2 - OHNE	QoS-2 - MIT	QoS-3 - OHNE	QoS-3 - MIT	QoS-4 - OHNE	QoS-4 - MIT	QoS-1	QoS-2	QoS-3	QoS-4	QoS-1	QoS-2																																
Modell	BEM-BFF (BEM & BEN)	7-1.4467 (8)	<div>Zur Berechnung der Nachfrage ohne Kapazitätsengpass: =WENN(SUMME(\$BCH8:\$BCK8)=0;SUMMEWENN(Tarife!\$C\$6:\$L\$6;1;Modell!\$AYP8:\$AYY8);0)</div> <div>Zur Berechnung der Nachfrage mit Kapazitätsengpass: =WENN(SUMME(\$BCH8:\$BCK8)>0;SUMMEWENN(Tarife!\$C\$6:\$L\$6;1;Modell!\$AYP8:\$AYY8);0)</div> <div>Berechnung der Nachfrage, wenn keine Differenzierung bezüglich des Vorliegens eines Kapazitätsengpasses besteht: =SUMMEWENN(Tarife!\$C\$7:\$L\$7;1;Modell!\$AYP8:\$AYY8)</div>																																										
Modell	BEM-BFF (BEM)	1.445	<div>Berechnung der Nachfrage pro Tag. {=SUMME(WENN(ISTZAHL(BEM7:BEM1450);BEM7:BEM1450))}</div>																																										
Modell	BFH-BGA	3	Beschriftung: Segment 2 – Hypothetische, servicelevel- und segmentspezifische Zahlungsbereitschaft																																										
Modell	BFH-BGA	5-1.4467	Aufbau erfolgt analog zu dem für Segment 1 gewählten																																										
Modell	BGC-BGV	3	Beschriftung: Segment 3 – Hypothetische, servicelevel- und segmentspezifische Zahlungsbereitschaft																																										
Modell	BGC-BGV	5-1.4467	Aufbau erfolgt analog zu dem für Segment 1 gewählten																																										
Modell	BGX-BHQ	3	Beschriftung: Segment 4 – Hypothetische, servicelevel- und segmentspezifische Zahlungsbereitschaft																																										
Modell	BGX-BHQ	5-1.4467	Aufbau erfolgt analog zu dem für Segment 1 gewählten																																										

Abbildung 76: Überblick über den Aufbau des Excel-Simulationstools (Fortsetzung)

Tabellenblatt	Spalte (Spalte aus der die Beispiel-formel kommt)	Zeile (Zeile aus der die Beispiel-formel kommt)	Funktion																																										
Modell	BHU-BIN	3	Beschriftung: Bestimmung der Kontingentausschöpfung der vergangenen 29 Tage für Segment 1																																										
Modell	BHU-BIN	5	Beschriftung: die ersten 8 Spalten Segment 1, dann pro vier Spalten ein Segment																																										
Modell	BHU-BIN	5	<div>Beschriftung: für Segment 1 werden acht Spalten benötigt, da immer abwechselnd QoS-Level ohne Engpass und mit Engpass abgebildet werden. Für Segment 2 bis Segment 4 wird je Spalte ein QoS-Level abgebildet.</div> <table><tr><th colspan="8">Segment 1</th><th colspan="2">Segment 2</th><th colspan="2">Segment 3</th><th colspan="2">Segment 4</th></tr><tr><td>QoS-1 - OHNE</td><td>QoS-1 - MIT</td><td>QoS-2 - OHNE</td><td>QoS-2 - MIT</td><td>QoS-3 - OHNE</td><td>QoS-3 - MIT</td><td>QoS-4 - OHNE</td><td>QoS-4 - MIT</td><td>QoS-1</td><td>QoS-2</td><td>QoS-3</td><td>QoS-4</td><td>QoS-1</td><td>QoS-2</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	Segment 1								Segment 2		Segment 3		Segment 4		QoS-1 - OHNE	QoS-1 - MIT	QoS-2 - OHNE	QoS-2 - MIT	QoS-3 - OHNE	QoS-3 - MIT	QoS-4 - OHNE	QoS-4 - MIT	QoS-1	QoS-2	QoS-3	QoS-4	QoS-1	QoS-2														
Segment 1								Segment 2		Segment 3		Segment 4																																	
QoS-1 - OHNE	QoS-1 - MIT	QoS-2 - OHNE	QoS-2 - MIT	QoS-3 - OHNE	QoS-3 - MIT	QoS-4 - OHNE	QoS-4 - MIT	QoS-1	QoS-2	QoS-3	QoS-4	QoS-1	QoS-2																																
Modell	BHU-BIN	7-79	Werte werden über Makro eingetragen																																										
Modell	BIP-BJI	3	Beschriftung: Bestimmung der Kontingentausschöpfung der vergangenen 29 Tage für Segment 2																																										
Modell	BIP-BJI	5-1.4467	Aufbau erfolgt analog zu dem für Segment 1 gewählt																																										
Modell	BJK-BKD	3	Beschriftung: Bestimmung der Kontingentausschöpfung der vergangenen 29 Tage für Segment 3																																										
Modell	BJK-BKD	5-1.4467	Aufbau erfolgt analog zu dem für Segment 1 gewählt																																										
Modell	BKF-BKY	3	Beschriftung: Bestimmung der Kontingentausschöpfung der vergangenen 29 Tage für Segment 4																																										
Modell	BKF-BKY	5-1.4467	Aufbau erfolgt analog zu dem für Segment 1 gewählt																																										

Abbildung 76: Überblick über den Aufbau des Excel-Simulationstools (Fortsetzung)

Tabellenblatt	Spalte (Spalte aus der die Beispiel-formel kommt)	Zeile (Zeile aus der die Beispiel-formel kommt)	Funktion
Modell	BLB–BLQ	3	Beschriftung: Segment 1 – servicelevel- und segmentspezifisches Entgelt sowie die hypothetischen Entgelte
Modell	BLB–BLQ	5	Beschriftung: pro vier Spalten ein Segment
Modell	BLB–BLQ	6	Beschriftung: pro Segment für jedes der vier QoS-Level je eine Spalte
Modell	BLB–BLQ (BLB–BLE)	7–1.4467 (8)	<p>Berechnung Segment 1 QoS-Level 1</p> <p>=SUMME(\$CID\$7:\$CIE\$7)+WENN(UND(SUMME(\$BHU\$7:\$BHU\$64;\$BEM\$7:\$BEM8)>=Tarife!\$E\$49;SUMME(\$BHV\$7:\$BHV\$64;\$BEN\$7:\$BEN8)>=Tarife!\$F\$49);(AUFRUNDEN((SUMME(\$BHU\$7:\$BHU\$64;\$BEM\$7:\$BEM8)-Tarife!\$E\$49)/Tarife!\$E\$51;0)*\$CID\$7))+((AUFRUNDEN((SUMME(\$BHV\$7:\$BHV\$64;\$BEN\$7:\$BEN8)-Tarife!\$F\$49)/Tarife!\$F\$51;0)*\$CIE\$7));WENN(SUMME(\$BHU\$7:\$BHU\$64;\$BEM\$7:\$BEM8)>=Tarife!\$E\$49;(AUFRUNDEN((SUMME(\$BHU\$7:\$BHU\$64;\$BEM\$7:\$BEM8)-Tarife!\$E\$49)/Tarife!\$E\$51;0)*\$CID\$7);WENN(SUMME(\$BHV\$7:\$BHV\$64;\$BEN\$7:\$BEN8)>=Tarife!\$F\$49;(AUFRUNDEN((SUMME(\$BHV\$7:\$BHV\$64;\$BEN\$7:\$BEN8)-Tarife!\$F\$49)/Tarife!\$F\$51;0)*\$CIE\$7);0)))</p> <p>Berechnung Segment 1 QoS-Level 2</p> <p>=SUMME(\$CIF\$7:\$CIG\$7)+WENN(UND(SUMME(\$BHW\$7:\$BHW\$64;\$BEO\$7:\$BEO8)>=Tarife!\$G\$49;SUMME(\$BHX\$7:\$BHX\$64;\$BEP\$7:\$BEP8)>=Tarife!\$H\$49);(AUFRUNDEN((SUMME(\$BHW\$7:\$BHW\$64;\$BEO\$7:\$BEO8)-Tarife!\$G\$49)/Tarife!\$G\$51;0)*\$CIF\$7)+(AUFRUNDEN((SUMME(\$BHX\$7:\$BHX\$64;\$BEP\$7:\$BEP8)-Tarife!\$H\$49)/Tarife!\$H\$51;0)*\$CIG\$7);WENN(SUMME(\$BHW\$7:\$BHW\$64;\$BEO\$7:\$BEO8)>=Tarife!\$G\$49;(AUFRUNDEN((SUMME(\$BHW\$7:\$BHW\$64;\$BEO\$7:\$BEO8)-Tarife!\$G\$49)/Tarife!\$G\$51;0)*\$CIF\$7);WENN(SUMME(\$BHX\$7:\$BHX\$64;\$BEP\$7:\$BEP8)>=Tarife!\$H\$49;(AUFRUNDEN((SUMME(\$BHX\$7:\$BHX\$64;\$BEP\$7:\$BEP8)-Tarife!\$H\$49)/Tarife!\$H\$51;0)*\$CIG\$7);0)))</p> <p>Berechnung Segment 1 QoS-Level 3</p> <p>=SUMME(\$CIH\$7:\$CII\$7)+WENN(UND(SUMME(\$BHY\$7:\$BHY\$64;\$BEQ\$7:\$BEQ8)>=Tarife!\$I\$49;SUMME(\$BHZ\$7:\$BHZ\$64;\$BER\$7:\$BER8)>=Tarife!\$J\$49);(AUFRUNDEN((SUMME(\$BHY\$7:\$BHY\$64;\$BEQ\$7:\$BEQ8)-Tarife!\$I\$49)/Tarife!\$I\$51;0)*\$CIH\$7)+(AUFRUNDEN((SUMME(\$BHZ\$7:\$BHZ\$64;\$BER\$7:\$BER8)-Tarife!\$J\$49)/Tarife!\$J\$51;0)*\$CII\$7);WENN(SUMME(\$BHY\$7:\$BHY\$64;\$BEQ\$7:\$BEQ8)>=Tarife!\$I\$49;(AUFRUNDEN((SUMME(\$BHY\$7:\$BHY\$64;\$BEQ\$7:\$BEQ8)-Tarife!\$I\$49)/Tarife!\$I\$51;0)*\$CIH\$7);WENN(SUMME(\$BHZ\$7:\$BHZ\$64;\$BER\$7:\$BER8)>=Tarife!\$J\$49;(AUFRUNDEN((SUMME(\$BHZ\$7:\$BHZ\$64;\$BER\$7:\$BER8)-Tarife!\$J\$49)/Tarife!\$J\$51;0)*\$CII\$7);0)))</p> <p>Berechnung Segment 1 QoS-Level 4</p> <p>=SUMME(\$CIJ\$7:\$CIJ\$7)+WENN(UND(SUMME(\$BIA\$7:\$BIA\$64;\$BES\$7:\$BES8)>=Tarife!\$K\$49;SUMME(\$BIB\$7:\$BIB\$64;\$BET\$7:\$BET8)>=Tarife!\$L\$49);(AUFRUNDEN((SUMME(\$BIA\$7:\$BIA\$64;\$BES\$7:\$BES8)-Tarife!\$K\$49)/Tarife!\$K\$51;0)*\$CIJ\$7)+(AUFRUNDEN((SUMME(\$BIB\$7:\$BIB\$64;\$BET\$7:\$BET8)-Tarife!\$L\$49)/Tarife!\$L\$51;0)*\$CIJ\$7);WENN(SUMME(\$BIA\$7:\$BIA\$64;\$BES\$7:\$BES8)>=Tarife!\$K\$49;(AUFRUNDEN((SUMME(\$BIA\$7:\$BIA\$64;\$BES\$7:\$BES8)-Tarife!\$K\$49)/Tarife!\$K\$51;0)*\$CIJ\$7);WENN(SUMME(\$BIB\$7:\$BIB\$64;\$BET\$7:\$BET8)>=Tarife!\$L\$49;(AUFRUNDEN((SUMME(\$BIB\$7:\$BIB\$64;\$BET\$7:\$BET8)-Tarife!\$L\$49)/Tarife!\$L\$51;0)*\$CIJ\$7);0)))</p>

Abbildung 76: Überblick über den Aufbau des Excel-Simulationstools (Fortsetzung)

Tabellenblatt	Spalte (Spalte aus der die Beispiel-formel kommt)	Zeile (Zeile aus der die Beispiel-formel kommt)	Funktion
Modell	BLS–BMH	3	Beschriftung: Segment 2 – servicelevel- und segmentspezifisches Entgelt sowie die hypothetischen Entgelte
Modell	BLS–BMH	5	Beschriftung: pro vier Spalten ein Segment
Modell	BLS–BMH	6	Beschriftung: pro Segment für jedes der vier QoS-Level je eine Spalte
Modell	BLS–BMH (BLW–BLZ)	7–1.4467 (8)	<p>Berechnung Segment 2 QoS-Level 1 $=\text{WENN}(\text{SUMME}(\\$BIX\\$7:\\$BIX\\$64;\\$BFP\\$7:\\$BFP\\$8)<=\text{Tarife!}\\$E\\$53;\text{Tarife!}\\$E\\$52;\text{Tarife!}\\$E\\$52+(\text{AUFRUNDEN}((\text{SUMME}(\\$BIY\\$7:\\$BIX\\$64;\\$BFP\\$7:\\$BFP\\$8)-\text{Tarife!}\\$E\\$53)/\text{Tarife!}\\$E\\$55;0))*\text{Tarife!}\\$E\\$54))$</p> <p>Berechnung Segment 2 QoS-Level 2 $=\text{WENN}(\text{SUMME}(\\$BIY\\$7:\\$BIY\\$64;\\$BFQ\\$7:\\$BFQ\\$8)<=\text{Tarife!}\\$G\\$53;\text{Tarife!}\\$G\\$52;\text{Tarife!}\\$G\\$52+(\text{AUFRUNDEN}((\text{SUMME}(\\$BIY\\$7:\\$BIY\\$64;\\$BFQ\\$7:\\$BFQ\\$8)-\text{Tarife!}\\$G\\$53)/\text{Tarife!}\\$G\\$55;0))*\text{Tarife!}\\$G\\$54))$</p> <p>Berechnung Segment 2 QoS-Level 3 $=\text{WENN}(\text{SUMME}(\\$BIZ\\$7:\\$BIZ\\$64;\\$BFR\\$7:\\$BFR\\$8)<=\text{Tarife!}\\$I\\$53;\text{Tarife!}\\$I\\$52;\text{Tarife!}\\$I\\$52+(\text{AUFRUNDEN}((\text{SUMME}(\\$BIZ\\$7:\\$BIZ\\$64;\\$BFR\\$7:\\$BFR\\$8)-\text{Tarife!}\\$I\\$53)/\text{Tarife!}\\$I\\$55;0))*\text{Tarife!}\\$I\\$54))$</p> <p>Berechnung Segment 2 QoS-Level 4 $=\text{WENN}(\text{SUMME}(\\$BJA\\$7:\\$BJA\\$64;\\$BFS\\$7:\\$BFS\\$8)<=\text{Tarife!}\\$K\\$53;\text{Tarife!}\\$K\\$52;\text{Tarife!}\\$K\\$52+(\text{AUFRUNDEN}((\text{SUMME}(\\$BJA\\$7:\\$BJA\\$64;\\$BFS\\$7:\\$BFS\\$8)-\text{Tarife!}\\$K\\$53)/\text{Tarife!}\\$K\\$55;0))*\text{Tarife!}\\$K\\$54))$</p>
Modell	BMJ–BMY	3	Beschriftung: Segment 3 – servicelevel- und segmentspezifisches Entgelt sowie die hypothetischen Entgelte
Modell	BMJ–BMY	5	Beschriftung: pro vier Spalten ein Segment
Modell	BMJ–BMY	6	Beschriftung: pro Segment für jedes der vier QoS-Level je eine Spalte
Modell	BMJ–BMY (BMR–BM)	7–1.4467 (8)	<p>Berechnung Segment 3 QoS-Level 1 $=\text{WENN}(\text{SUMME}(\\$BJW\\$7:\\$BJW\\$64;\\$BGO\\$7:\\$BGO\\$8)<=\text{Tarife!}\\$E\\$57;\text{Tarife!}\\$E\\$56;\text{Tarife!}\\$E\\$56+(\text{AUFRUNDEN}((\text{SUMME}(\\$BJW\\$7:\\$BJW\\$64;\\$BGO\\$7:\\$BGO\\$8)-\text{Tarife!}\\$E\\$57)/\text{Tarife!}\\$E\\$59;0))*\text{Tarife!}\\$E\\$58))$</p> <p>Wert Segment 3 QoS-Level 2 ist immer: 0</p> <p>Wert Segment 3 QoS-Level 3 ist immer: 0</p> <p>Berechnung Segment 3 QoS-Level 4 $=\text{WENN}(\text{SUMME}(\\$BJX\\$7:\\$BJX\\$64;\\$BGP\\$7:\\$BGP\\$8)<=\text{Tarife!}\\$K\\$57;\text{Tarife!}\\$K\\$56;(\text{AUFRUNDEN}((\text{SUMME}(\\$BJX\\$7:\\$BJX\\$64;\\$BGP\\$7:\\$BGP\\$8)-\text{Tarife!}\\$K\\$57)/\text{Tarife!}\\$K\\$59;0))*\text{Tarife!}\\$K\\$58)+\text{Tarife!}\\$K\\$56)$</p>

Abbildung 76: Überblick über den Aufbau des Excel-Simulationstools (Fortsetzung)

Tabellenblatt	Spalte (Spalte aus der die Beispiel-formel kommt)	Zeile (Zeile aus der die Beispiel-formel kommt)	Funktion
Modell	BNA-BNP	3	Beschriftung: Segment 4 – servicelevel- und segmentspezifisches Entgelt sowie die hypothetischen Entgelte
Modell	BNA-BNP	5	Beschriftung: pro vier Spalten ein Segment
Modell	BNA-BNP	6	Beschriftung: pro Segment für jedes der vier QoS-Level je eine Spalte
Modell	BNA-BNP (BNM-BNP)	7-1.4467 (8)	Berechnung Segment 4 QoS-Level 1 =Tarife!\$E\$60*BHN8 Wert Segment 4 QoS-Level 2 ist immer: 0 Wert Segment 4 QoS-Level 3 ist immer: 0 Berechnung Segment 4 QoS-Level 4 =Tarife!\$K\$60*BHQ8
Modell	BNS-BNV	3	Beschriftung: Segment 1 – Summe realisiertes und hypothetische Entgelte
Modell	BNS-BNV	5	Beschriftung: pro Spalte ein Segment
Modell	BNS-BNV (BNS)	7-1.4467 (8)	Berechnung: =SUMME(BLB8:BLE8)
Modell	BNX-BOA	3	Beschriftung: Segment 2 – Summe realisiertes und hypothetische Entgelte
Modell	BNX-BOA	5	Beschriftung: pro Spalte ein Segment
Modell	BNX-BOA (BOA)	7-1.4467 (8)	Berechnung: =SUMME(BLS8:BLV8)
Modell	BOC-BOF	3	Beschriftung: Segment 3 – Summe realisiertes und hypothetische Entgelte
Modell	BOC-BOF	5	Beschriftung: pro Spalte ein Segment
Modell	BOC-BOF (BOC)	7-1.4467 (8)	Berechnung: =SUMME(BMJ8:BMM8)
Modell	BOH-BOK	3	Beschriftung: Segment 4 – Summe realisiertes und hypothetische Entgelte
Modell	BOH-BOK	5	Beschriftung: pro Spalte ein Segment
Modell	BOH-BOK (BOH)	7-1.4467 (8)	Berechnung: =SUMME(BNA8:BND8)

Abbildung 76: Überblick über den Aufbau des Excel-Simulationstools (Fortsetzung)

Tabellenblatt	Spalte (Spalte aus der die Beispiel-formel kommt)	Zeile (Zeile aus der die Beispiel-formel kommt)	Funktion
Modell	BON-BQA	3	Beschriftung: Hypothetischer Nutzen Segment 1
Modell	BON-BQA	5	Beschriftung: pro vier Spalten eine Anwendung
Modell	BON-BQA	6	Beschriftung: pro Anwendung für jedes Segment je eine Spalte
Modell	BON-BQA (BON)	7-1.4467 (8)	Berechnung des hypothetischen Nutzens =1/(1+EXP(Nutzenfunktionsparameter!\$E\$4* (-Nutzenfunktionsparameter!\$F\$4*(WENN(Tarife!\$C\$6=1 ;Modell!\$BCL7;WENN(Tarife!\$C\$6=2;Modell!\$BCM7;WENN(Tarife!\$C \$6=3;Modell!\$BCN7;Modell!\$BCO7)))))+Nutzenfunktionsparameter!\$D \$4)))+Nutzenfunktionsparameter!\$H\$4
Modell	BQC-BRP	3	Beschriftung: Hypothetischer Nutzen Segment 2
Modell	BQC-BRP	5	Beschriftung: pro vier Spalten eine Anwendung
Modell	BQC-BRP	6	Beschriftung: pro Anwendung für jedes Segment je eine Spalte
Modell	BQC-BRP	7-1.4467	Berechnung erfolgt analog zu der für Segment 1 dargestellten Formel
Modell	BRR-BTE	3	Beschriftung: Hypothetischer Nutzen Segment 3
Modell	BRR-BTE	5	Beschriftung: pro vier Spalten eine Anwendung
Modell	BRR-BTE	6	Beschriftung: pro Anwendung für jedes Segment je eine Spalte
Modell	BRR-BTE	7-1.4467	Berechnung erfolgt analog zu der für Segment 1 dargestellten Formel
Modell	BTG-BUT	3	Beschriftung: Hypothetischer Nutzen Segment 4
Modell	BTG-BUT	5	Beschriftung: pro vier Spalten eine Anwendung
Modell	BTG-BUT	6	Beschriftung: pro Anwendung für jedes Segment je eine Spalte
Model	BTG-BUT	7-1.4467	Berechnung erfolgt analog zu der für Segment 1 dargestellten Formel

Abbildung 76: Überblick über den Aufbau des Excel-Simulationstools (Fortsetzung)

Tabellenblatt	Spalte	Zeile	Funktion
Modell	BUX-BWK	3	Beschriftung: Hypothetische Zahlungsbereitschaft Segment 1
Modell	BUX-BWK	5	Beschriftung: pro vier Spalten eine Anwendung
Modell	BUX-BWK	6	Beschriftung: pro Anwendung für jedes Segment je eine Spalte
Modell	BUX-BWK (BUX)	7-1.4467 (8)	Berechnung: =WENN(UND(0<{SEQ7/1024};{SEQ7/1024}<=SBK7);(((SEQ7/1024)/DA7)*(1+LN(SBK7)-LN((SEQ7/1024))))*BON8;WENN((SEQ7/1024)=0;0;{SBK7/\$DA7}*BON8))* (Aktivitätsindex!\$C3/Aktivitätsindex!\$E\$1)
Modell	BWM-BWP	3	Beschriftung: Summe hypothetische Zahlungsbereitschaften Segment 1
Modell	BWM-BWP	6	Beschriftung: für jedes Segment eine Spalte
Modell	BWM-BWP (BWM)	7-1.4467 (8)	Berechnung: =SUMME(BWH8;BWD8;BVZ8;BVV8;BVR8;BVN8;BVJ8; BVF8;BVB8;BUX8)
Modell	BWS-BYF	3	Beschriftung: Hypothetische Zahlungsbereitschaft Segment 2
Modell	BWS-BYF	5	Beschriftung: pro vier Spalten eine Anwendung
Modell	BWS-BYF	6	Beschriftung: pro Anwendung für jedes Segment je eine Spalte
Modell	BWS-BYF	7-1.4467	Berechnung erfolgt analog zu der für Segment 1 dargestellten Formel
Modell	BYH-BYK	3	Beschriftung: Summe hypothetische Zahlungsbereitschaften Segment 2
Modell	BYH-BYK	6	Beschriftung: für jedes Segment eine Spalte
Modell	BYH-BYK	7-1.4467	Berechnung erfolgt analog zu der für Segment 1 dargestellten
Modell	BYN-CAA	3	Beschriftung: Hypothetische Zahlungsbereitschaft Segment 3
Modell	BYN-CAA	5	Beschriftung: pro vier Spalten eine Anwendung
Modell	BYN-CAA	6	Beschriftung: pro Anwendung für jedes Segment je eine Spalte
Modell	BYN-CAA	7-1.4467	Berechnung erfolgt analog zu der für Segment 1 dargestellten Formel
Modell	CAC-CAF	3	Beschriftung: Summe hypothetische Zahlungsbereitschaften Segment 2
Modell	CAC-CAF	6	Beschriftung: für jedes Segment eine Spalte
Modell	CAC-CAF	7-1.4467	Berechnung erfolgt analog zu der für Segment 1 dargestellten
Modell	CAI-CBV	3	Beschriftung: Hypothetische Zahlungsbereitschaft Segment 4
Modell	CAI-CBV	5	Beschriftung: pro vier Spalten eine Anwendung
Modell	CAI-CBV	6	Beschriftung: pro Anwendung für jedes Segment je eine Spalte
Modell	CAI-CBV	7-1.4467	Berechnung erfolgt analog zu der für Segment 1 dargestellten Formel
Modell	CBX-CCA	3	Beschriftung: Summe hypothetische Zahlungsbereitschaften Segment 2
Modell	CBX-CCA	6	Beschriftung: für jedes Segment eine Spalte
Modell	CBX-CCA	7-1.4467	Berechnung erfolgt analog zu der für Segment 1 dargestellten

Abbildung 76: Überblick über den Aufbau des Excel-Simulationstools (Fortsetzung)

Tabellenblatt	Spalte (Spalte aus der die Beispiel-formel kommt)	Zeile (Zeile aus der die Beispiel-formel kommt)	Funktion
Modell	CCD-CCS	3	Beschriftung: Durchschnittlicher Preis
Modell	CCD-CCS	5	Beschriftung: pro vier Spalten ein QoS-Level
Modell	CCD-CCS	6	Beschriftung: pro QoS-Level für jedes der vier Segmente je eine Spalte
Modell	CCD-CCS	7-1.4467 (8)	Berechnung: =MIN(WENNFEHLER(BLB8/SUMME(BEM8:BEN8);BLB8);BLB8)
Modell	CCU-CCX	3	Beschriftung: Prognostizierte Entgelte
Modell	CCU-CCX	5	Beschriftung: Pro Spalte ein Segment
Modell	CCU-CCX	7-1.4467	Verweis: =BNS7
Modell	CDC-CEP	3	Beschriftung: prognostizierte Zahlungsbereitschaft
Modell	CDC-CEP	5	Beschriftung: pro vier Spalten eine Anwendung
Modell	CDC-CEP	6	Beschriftung: pro Anwendung für jedes Segment je eine Spalte
Modell	CDC-CEP (CDC)	7-1.4467 (8)	Berechnung: =WENN(UND(0<{(EQ7/1024);(EQ7/1024)<=BK7);(((EQ7/1024)/DA7*(1+LN(BK7)-LN((EQ7/1024)))))*\$C7);WENN((EQ7/1024)=0;0;((BK7/DA7))*\$C7))* (Aktivitätsindex!\$C2/Aktivitätsindex!\$E\$1)
Modell	BWM-BWP	3	Beschriftung: Summe prognostizierte Zahlungsbereitschaft
Modell	BWM-BWP	6	Beschriftung: für jedes Segment eine Spalte
Modell	BWM-BWP (BWM)	7-1.4467 (8)	Berechnung: =SUMME(CEM8;CEI8;CEE8;CEA8;CDW8;CDS8;CDO8;CDK8;CDG8;CDC8)
Modell	CEZ-CFY	3	Beschriftung: Konsumentenrenten
Modell	CEZ-CFC	5	Beschriftung: Realisierte Konsumentenrenten
Modell	CEZ-CFC	6	Beschriftung: für jedes Segment eine Spalte
Modell	CEZ-CFC	7-1.4467 (8)	Berechnung: =BEG8-BNS8
Modell	CFE-CFH	5	Beschriftung: Prognostizierte Konsumentenrenten
Modell	CFE-CFH	6	Beschriftung: für jedes Segment eine Spalte
Modell	CFE-CFH (CFE)	7-1.4467 (8)	Berechnung: =CER8-CCU8

Abbildung 76: Überblick über den Aufbau des Excel-Simulationstools (Fortsetzung)

Tabellenblatt	Spalte (Spalte aus der die Beispiel-formel kommt)	Zeile (Zeile aus der die Beispiel-formel kommt)	Funktion
Modell	CFJ-CFY	3	Beschriftung: Hypothetische Konsumentenrente
Modell	CFJ-CFY	5	Beschriftung: pro vier Spalten ein Segment
Modell	CFJ-CFY	6	Beschriftung: pro Segment zur Zuweisung der hypothetischen Konsumenten für jedes der vier Segmente je eine Spalte
Modell	CFJ-CFY (CFJ)	7-1.4467 (8)	Berechnung: =BWM8-BNS8
Modell	CFJ-CFY (CFJ)	1.453	Summe der hypothetischen Konsumentenrenten eines Tages, die größer 0 sind: =SUMMEWENN(CFJ7:CFJ1446;">0";CFJ7:CFJ1446)
Modell	CFJ-CFY (CFJ)	1.454	Berechnung durchschnittliche hypothetische Konsumentenrente eines Tages: =WENN(ZÄHLENWENN(CFJ7:CFJ1446;">0")>0;CFJ1453/ZÄHLENWENN(CFJ7:CFJ1446;">0");0)
Modell	CGA-CGP	3	Beschriftung: Bedingte Kundenzufriedenheit im Durchschnitt
Modell	CGA-CGP	5	Beschriftung: pro vier Spalten ein Segment
Modell	CGA-CGP	6	Beschriftung: pro Segment zur Zuweisung der bedingten Kundenzufriedenheit für jedes der vier Segmente je eine Spalte
Modell	CGA-CGP (CGA)	7-1.4467 (8)	Berechnung: =WENN(CFE8=0;0;WENN(ODER(CEZ8<0;CFE8<0);1;CEZ8/CFE8))
Modell	CGA-CGP (CGA)	1.453	Berechnung der Summe der bedingten Kundenzufriedenheiten eines Tages: {=SUMME(WENN(ISTZAHL(CGA9:CGA1452);CGA9:CGA1452)) }
Modell	CGA-CGP (CGA)	1.454	Berechnung der durchschnittlichen bedingten Kundenzufriedenheiten eines Tages: =WENN(ZÄHLENWENN(CGA7:CGA1446;">0")>0;CGA1453/ZÄHLENWENN(CGA7:CGA1446;">0");0)*WENN(CEZ1452>0;CEZ1452/1440;1)
Modell	CGA-CGP (CGA)	1.456	Berechnung der bedingten Kundenzufriedenheiten eines Tages basierend auf den Durchschnittswerten der positiven Konsumentenrenten: =WENN(CFE1456=0;0;CEZ1456/CFE1456)
Modell	CGR	4	Laufindex
Modell	CGR	5	Verweis: =CID10

Abbildung 76: Überblick über den Aufbau des Excel-Simulationstools (Fortsetzung)

Tabellenblatt	Spalte (Spalte aus der die Beispiel-formel kommt)	Zeile (Zeile aus der die Beispiel-formel kommt)	Funktion																																
Modell	CGS-CHH	3	Beschriftung: Berechnung neue Übergangswahrscheinlichkeit																																
Modell	CGS-CHH	5	Beschriftung: pro vier Spalten ein Segment																																
Modell	CGS-CHH	6	<div>Beschriftung: für jedes Segment werden pro Spalte je ein Segment, in das gewechselt werden könnte, eingetragen. Es folgt:</div> <table><tr><th colspan="4">Segment 1</th><th colspan="4">Segment 2</th><th colspan="4">Segment 3</th><th colspan="4">Segment 4</th></tr><tr><td>Seg 1</td><td>Seg 2</td><td>Seg 3</td><td>Seg 4</td><td>Seg 1</td><td>Seg 2</td><td>Seg 3</td><td>Seg 4</td><td>Seg 1</td><td>Seg 2</td><td>Seg 3</td><td>Seg 4</td><td>Seg 1</td><td>Seg 2</td><td>Seg 3</td><td>Seg 4</td></tr></table>	Segment 1				Segment 2				Segment 3				Segment 4				Seg 1	Seg 2	Seg 3	Seg 4	Seg 1	Seg 2	Seg 3	Seg 4	Seg 1	Seg 2	Seg 3	Seg 4	Seg 1	Seg 2	Seg 3	Seg 4
Segment 1				Segment 2				Segment 3				Segment 4																							
Seg 1	Seg 2	Seg 3	Seg 4	Seg 1	Seg 2	Seg 3	Seg 4	Seg 1	Seg 2	Seg 3	Seg 4	Seg 1	Seg 2	Seg 3	Seg 4																				
Modell	CGS-CHH	7	Bedingte Übergangswahrscheinlichkeit der aktuellen Periode																																
Modell	CGS-CHH (CGS)	8	<div>Bedingte Übergangswahrscheinlichkeit für die nächste Periode, deren Werte mittels Makro zwischen den Simulationsschritten in CGS7-CHH7 kopiert werden.</div> <div>Die folgende Berechnung dient, wie bereits im Modell beschrieben, der Normierung auf 1 der durchschnittlich in den vorangegangenen 30 Tagen realisierten Übergangswahrscheinlichkeiten:</div> <div>=WENN(\$CGR\$5<58;CGS7;CGS\$12-(SUMME(\$CGS\$12:\$CGV\$12)-1)*((CGS\$12)/(SUMME(\$CGS\$12:\$CGV\$12))))</div>																																
Modell	CGS-CHH (CGS)	10	<div>Neuberechnung der Übergangswahrscheinlichkeiten basierend auf den für diesen Tag realisierten bedingten Kundenzufriedenheiten</div> <div>Berechnung:</div> <div>=CGS7*CGS14-((SUMMENPRODUKT(\$CGS\$14:\$CGV\$14;CGS7:\$CGV7)-1)*((CGS7*CGS14)/(SUMMENPRODUKT(\$CGS\$14:\$CGV\$14;CGS7:\$CGV7))))</div>																																
Modell	CGS-CHH (CGS)	12	<div>Berechnung der durchschnittlichen Übergangswahrscheinlichkeit der vergangen 30 Tage:</div> <div>=(SUMME(CGS25:CGS753;CGS10)/59</div>																																
Modell	CGR	14	Skalierungsfaktor = 1/(15^365) = 0,000182648																																
Modell	CGS-CHH (CGS)	14	<div>Berechnung der um den Skalierungsfaktor korrigierten bedingten Kundenzufriedenheit</div> <div>Berechnung:</div> <div>=\$CGR\$14*CGA1454</div>																																
Modell	CHK-CHZ	3	Beschriftung: Berechnung Customer Equity																																
Modell	CHK-CHZ	5	Beschriftung: pro vier Spalten ein Segment																																
Modell	CHK-CHZ	6	Beschriftung: für jedes Segment werden pro Spalte je ein QoS-Level eingetragen																																
Modell	CHK-CHZ (CHK)	7	<div>Berechnung der Entgelte des jeweiligen Segments für das jeweilige Servicelevel des aktuellen Tages.</div> <div>=BLB1451*(\$HW7*\$HX7)</div>																																

Abbildung 76: Überblick über den Aufbau des Excel-Simulationstools (Fortsetzung)

Tabellenblatt	Spalte (Spalte aus der die Beispiel-formel kommt)	Zeile (Zeile aus der die Beispiel-formel kommt)	Funktion																								
Modell	CHK-CHZ	8	Zellen, in die mittels Makro die Werte des bis einschließlich des aktuellen Tages realisierten Customer Equity kopiert werden																								
Modell	CHK-CHZ (CHK)	9	Berechnung des bis einschließlich des aktuellen Tages realisierten Customer Equity. =(CHK7+CHK8)*(1+\$CHK\$12)^\$CHK\$11																								
Modell	CHK	11	Berechnung des Barwert-Faktors: =WENN(CID10>363;WENN(CID10/364=ABRUNDEN(CID10/364;0);(-1)*CID10/364;1);1)																								
Modell	CHK	12	Zinssatz																								
Modell	CID-CIS	3	Beschriftung: Berechnung der Preise von Tarif 1 für den folgenden Tag																								
Modell	CID-CIS	4-6	<div>Beschriftung: Spalte: CID-CIK CIL-CIS</div> <table><tr><th colspan="4">Basiskontingent</th><th colspan="4">Zusatzkontingent</th></tr><tr><th>QoS-Level 1</th><th>QoS-Level 2</th><th>QoS-Level 3</th><th>QoS-Level 4</th><th>QoS-Level 1</th><th>QoS-Level 2</th><th>QoS-Level 3</th><th>QoS-Level 4</th></tr><tr><td>ohne Engp. mit Engp.</td><td>ohne Engp. mit Engp.</td><td>ohne Engp. mit Engp.</td><td>ohne Engp. mit Engp.</td><td>ohne Engp. mit Engp.</td><td>ohne Engp. mit Engp.</td><td>ohne Engp. mit Engp.</td><td>ohne Engp. mit Engp.</td></tr></table>	Basiskontingent				Zusatzkontingent				QoS-Level 1	QoS-Level 2	QoS-Level 3	QoS-Level 4	QoS-Level 1	QoS-Level 2	QoS-Level 3	QoS-Level 4	ohne Engp. mit Engp.	ohne Engp. mit Engp.	ohne Engp. mit Engp.	ohne Engp. mit Engp.	ohne Engp. mit Engp.	ohne Engp. mit Engp.	ohne Engp. mit Engp.	ohne Engp. mit Engp.
Basiskontingent				Zusatzkontingent																							
QoS-Level 1	QoS-Level 2	QoS-Level 3	QoS-Level 4	QoS-Level 1	QoS-Level 2	QoS-Level 3	QoS-Level 4																				
ohne Engp. mit Engp.	ohne Engp. mit Engp.	ohne Engp. mit Engp.	ohne Engp. mit Engp.	ohne Engp. mit Engp.	ohne Engp. mit Engp.	ohne Engp. mit Engp.	ohne Engp. mit Engp.																				
Modell	CID-CIS (CID)	7	Verweis auf Tabellenblatt „Tarife“, in dem die Ausgangspreise hinterlegt sind: =TarifelE\$48																								
Modell	CID	10	Durchnummerierung des Simulationsschrittes. Die Erhöhung des Wertes von einem auf den anderen Tag um je 1 erfolgt automatisch durch die im Makro hinterlegte Vorschrift.																								
Modell	CID-CIS (CID)	15	Berechnung der Veränderung des Preises. Die Veränderung wird erst ab dem 30 Tag vorgenommen, da bis zu diesem Zeitpunkt in dem Simulationsmodell keine Nachfrage für den vorangegangenen Monat vorliegt und entsprechend die Basis zur Berechnung fehlt. =WENN(\$CID\$10<30;0;WENN(SUMME(\$BHU\$7:\$BHU\$64;\$BEM\$1451)>=TarifelE\$49;TarifelM\$48;(-1)*TarifelM\$48))																								
Modell	CID-CIS (CID)	16	Berechnung des Preises für den Folgetag, der mittels Makro in Zeile 7 übertragen wird. =WENN(CID10>30;MAX(SUMME(CID7+CID15+CID21);TarifelM\$48);CID7)																								

Abbildung 76: Überblick über den Aufbau des Excel-Simulationstools (Fortsetzung)

Literaturverzeichnis

- Ahlert**, Dieter und Carsten **Schulze-Bentrop**: [Pricing] Pricing of Solutions. Münster 2010.
- Ahmad**, Khalid: [Sourcebook] Sourcebook of ATM an IP Internetworking. New York 2002.
- Allen**, Arnold O.: [Queuing Theory] Probability, Statistics, and Queuing Theory with Computer Science Applications with Computer Science Applications. 2. Aufl., Boston et al. 1990.
- Altenburger**, Otto: [Entscheidungsorientiert] Der entscheidungsorientierte Kostenbegriff. In: Kostenrechnungspraxis, Jg. 1976, S. 149-156.
- Adas**, Abdelnaser: [Traffic Models] Traffic Models in Broadband Networks. In: IEEE Communications Magazine, 1997, 35. Jg., Nr. 7, S. 82-89.
- Altman**, Elitan et al.: [games in telecommunication] A survey on networking games in telecommunications. In: Computers & Operations Research, 2006, 33. Jg., Nr. 2, S. 286-311.
- Altman**, Eitan, Konstantin **Avrachenkov** und Urtzi **Ayesta**: [Discriminatory] A survey on discriminatory processor sharing. In: Queueing systems, 2006, 53. Jg., Nr. 1-2, S. 53-63.
- Altmann**, Jörn und Karyen **Chu**: [Usage] How to charge for network services—flat-rate or usage-based? In: Computer Networks, 2001, 36. Jg., Nr. 5, S. 519-531.
- Altmann**, Jörn, Björn **Rupp** und Pravin **Varaiya**: [User Behavior] Effects of pricing on Internet user behavior. In: Netnomics, 2001, 3. Jg., Nr. 1, S. 67-84.
- Alvarez**, Santiago: [QoS] QoS for IP/MPLS Networks. Indianapolis 2006.
- Alvestrand**, Harald Tveit: [IETF] A Mission Statement for the IETF. 2004. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://www.ietf.org/rfc/rfc3935.txt>
- AMSIX (Amsterdam Internet Exchange)**: [Datenaufkommen] Statistics. Aggregated traffic on all AMS-IX connected networks ports. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <https://ams-ix.net/technical/statistics>
- AMSIX (Amsterdam Internet Exchange)**: [QoS] Service Level Agreement. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2ereftS>

- Anderson**, Eugene W., Claes **Fornell** und Donald R. **Lehmann**: [Customer Satisfaction] Customer satisfaction, market share, and profitability: findings from Sweden. In: The Journal of Marketing, 1994, 58. Jg., Nr. 3, S. 53-66.
- Anderson**, Eugene W., Claes **Fornell** und Sanal K. **Mazvancheryl**: [Customer] Customer satisfaction and shareholder value. In: The Journal of Marketing, 2004, 68. Jg., Nr. 4, S. 172-185.
- Anderson**, Theodore W. und Leo A. **Goodman**: [Markov] Statistical inference about Markov chains. In: The Annals of Mathematical Statistics, 1957, 28. Jg., Nr. 1, S. 89-110.
- Anderson**, Eugene W. und Mary W. **Sullivan**: [Customer Satisfaction] The antecedents and consequences of customer satisfaction for firms. In: Marketing science, 1993, 12. Jg., Nr. 2, S. 125-143.
- Anderson**, Rolph E.: [Dissatisfaction] Consumer dissatisfaction: the effect of disconfirmed expectancy on perceived product performance. In: Journal of Marketing Research, 1973, 10. Jg., Nr. 1, S. 38-44.
- Armitage**, Seth: [Cost of Capital] The Cost of Capital. Intermediate Theory. Cambridge 2005.
- Armstrong**, Mark und John **Vickers**: [Non-linear] Competitive non-linear pricing and bundling. In: The Review of Economic Studies, 2010, 77. Jg., Nr. 1, S. 30-60.
- Arndt**, Gerhard: [Dienste] Einführung. In: Handbuch für die Telekommunikation. Hrsg. von V. Jung, H.-J. Warnecke. Berlin et al. 2002, S. 3/3-3/8.
- Arnold**, Dieter et al. (Hrsg.): [Handbuch] Handbuch Logistik. 2. Aufl., Berlin, Heidelberg 2004.
- Arnold**, Dieter und Kai **Furmans**: [Materialfluss] Materialfluss in Logistiksystemen. 4. Aufl., Berlin, Heidelberg 2005.
- Ash**, R. Gerald: [Traffic Engineering] Traffic Engineering and QoS-Optimization of Integrated Voice and Data Networks. San Francisco 2007.
- AT&T** (Hrsg.): [Geschäftsbericht 2013] Mobilizing our world. AT&T Inc. 2013 Annual Report. Dallas 2014.
- AT&T** (Hrsg.): [Calculator] Estimate your monthly usage. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://www.att.com/att/datacalculator/>

- Avlonitis**, George J., and **Kostis A. Indounas**: [Pricing] Pricing objectives and pricing methods in the services sector. In: Journal of Services Marketing, 2005, 19. Jg., Nr. 1, S. 47-57.
- Bachran**, Thomas, Frank E. **Schneider** und Christian **de Waal**: [Routing] Mehrrobbersysteme in der vernetzten Operationsführung. In: Ergonomie und Mensch-Maschine-Systeme. Hrsg. von L. Schmidt, C. M. Schlick, J. Grosche. Berlin, Heidelberg 2008, S. 307-331.
- Backhaus**, Klaus et al.: [Multivariate Analysen] Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung. 13. Aufl., Berlin 2011.
- Badach**, Anatol: [VoIP] Voice over IP. Die Technik. Grundlagen, Protokolle, Anwendungen, Migration, Sicherheit. 3. Aufl., München, Wien 2007.
- Badach**, Anatol und Erwin **Hoffmann**: [IP-Netze] Technik der IP-Netze. Funktionsweise, Protokolle und Dienste. 2. Aufl., München, Wien 2007.
- Badia**, Leonardo und Michele **Zorzi**: [Dynamic Utility] Dynamic utility and price based radio resource management for rate adaptive traffic. In: Wireless Networks, 2008, 14. Jg., Nr. 6, S. 803-814.
- Bärwald**, Werner: [Praxislexikon] Expert Praxislexikon Telekommunikationstechnologien. Netze, Dienste, Anwendungen. Renningen 2009.
- Bailey**, Joseph P., Jose **Nagel** und S. **Raghavan**: [Charging] Ex-Post Internet Charging. In: Telecommunications Modeling, Policy, and Technology. Operations Research/Computer Science Interfaces Series, Nr. 44. Hrsg. von S. Raghavan, B. Golden und E. Wasil. New York 2008, S. 59-79.
- Balderjahn**, Ingo: [Preisbereitschaft] Erfassung der Preisbereitschaft. In: Handbuch Preispolitik. Strategien, Planung, Organisation, Umsetzung. Hrsg. von H. Diller und A. Hermann. Wiesbaden 2003. S. 387-404.
- Bamberg**, Günter, Adolf G. **Coenenberg** und Michael **Knapp**: [Entscheidungslehre] Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre. 14. Aufl., München 2011.
- Bangsow**, Steffen: [Fertigungssimulation] Fertigungssimulation mit Plant Simulation and SimTalk. Anwendungen und Programmierung mit Beispielen und Lösungen.
- Banks**, Jerry et al.: [Simulation] Discrete-Event System Simulation. Harlow 2014.
- Baran**, Anne-Kathrin et al.: [Netzneutralität] Netzneutralität als Regulierungsziel. Eine ordnungspolitische und juristische Analyse. Unter besonderer Berücksichtigung des Entwurfs des Bundeswirtschaftsministeriums für eine Verordnung zur Gewähr-

- leistung der Netzneutralität. Freiburg 2013. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2f9oBhK>
- Barreiros**, Miguel and Peter **Lundqvist**: [Networks] QoS-enabled Networks. Tools and Foundations. Chichester, 2011.
- Bartholomew**, David J.: [Stochastic Processes] Mobility Measurement Revisited. In: James S. Coleman. Hrsg. von J. Clark. London, Washington D.C. 1996, S. 161-174.
- Bateson**, John E. G.: [Service] Why We Need Service Marketing. In: Conceptual and Theoretical Developments in Marketing. Hrsg. von O. C. Ferrell, S. W. Brown und C. W. Lamb Jr. Proceedings Series der American Marketing Association, Chicago 1979, S.131-146.
- Baum**, Dieter: [Grundlagen] Grundlagen der Warteschlangentheorie. Berlin, Heidelberg 2013.
- Baumeister**, Alexander: [Lebenszykluskosten] Lebenszykluskosten alternativer Verfügbarkeitsgarantien im Anlagenbau. Wiesbaden 2008.
- Baumeister**, Alexander und Thomas **Alt**: [Verweildauerprognose] Verweildauerprognose in der Kundendeckungsbeitragsrechnung. In: Wirtschaftswissenschaftliches Studium (WiSt), 2010, 39. Jg., Nr. 9, S. 456-458.
- Baumeister**, Alexander, Claudia **Floren** und Ulrike **Sträßer**: [Controlling] Controlling mit SAP Business ByDesign. Erfolgsmanagement im Mittelstand. München 2014.
- Baumeister**, Alexander, Markus **Ilg** und Clemens **Werkmeister**: [Systeme] Systeme des Controllings. In: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. Theorie und Politik des Wirtschaftens in Unternehmen. Hrsg. von M. Schweitzer und A. Baumeister. 11. Aufl., München 2015, S. 981-1.030.
- Beck**, Astrid: [Web 2.0] Web 2.0: Konzepte, Technologie, Anwendungen. In: HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik, 2007, 44. Jg., Nr. 3, S. 5-16.
- Becker**, Katrin und Jim **Parker**: [Simulation] The Guide to Computer Simulations and Games. Indianapolis 2012.
- Becker**, Konrad und **Institut für neue Kulturtechnologien** (Hrsg.): [Infosphäre] Politik der Infosphäre. World-Infomaiton.org. Opladen 2003.
- Beichelt**, Frank: [Prozesse] Stochastische Prozesse für Ingenieure. Stuttgart, 1997.
- Beinhocker**, Eric D.: [Origin of Wealth] The Origin of Wealth. Evolution, Complexity, and the Radical Remaking of Economics. Boston, Mass. 2006.

- Bendrath, Ralf** und **Milton Mueller**: [Deep Packet Inspection] The end of the net as we know it? Deep packet inspection and internet governance. In: *New Media & Society*, 2011, 13. Jg., Nr. 7, S. 1142-1160.
- Beran, Jan**: [Long-memory] *Statistics for Long-memory Processes*. New York 1994.
- Berger, Arthur W.** und **Ward Whitt**: [Extending] Extending the Effective-bandwidth concept to networks with priority classes. In: *IEEE Communications Magazine*, 1998, 36. Jg., Nr. 8, S. 78-84.
- Berger, Paul D.**, und **Nada I. Nasr**: [CLV] Customer lifetime value: Marketing models and applications. In: *Journal of Interactive Marketing*, 1998, 12. Jg., Nr. 1, S. 17-30.
- Bergstrom, Ted** und **Jeffrey K. MacKie-Mason**: [Peak-Load] Some simple analytics of peak-load pricing. *The Rand Journal of Economics*, 1991, Jg. 22, Nr. 2, S. 241-249.
- Besbes, Omar** und **Assaf Zeevi**: [Pricing] Dynamic pricing without knowing the demand function: Risk bounds and near-optimal algorithms. In: *Operations Research*, 2009, 57. Jg., Nr. 6, S. 1407-1420.
- Bieg, Hartmut, Heinz Kußmaul** und **Gerd Waschbusch**: [Externes] *Externes Rechnungswesen*. 6. Aufl., München 2012.
- Bieg, Hartmut** und **Heinz Kußmaul**: [Investition] *Investitions- und Finanzierungsmanagement*. 3. Band, Finanzwirtschaftliche Entscheidungen. München 2000.
- Bitran, Gabriel** und **René Caldentey**: [Pricing Models] An overview of pricing models for revenue management. In: *Manufacturing & Service Operations Management*, 2003, 5. Jg., Nr. 3, S. 203-229.
- Blake, Steven** et al.: [RFC 2475] An Architecture for Differentiated Services. 1998. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://www.ietf.org/rfc/rfc2475.txt>
- Blattberg, Robert C.** und **John Deighton**: [Customer Equity] Manage marketing by the customer equity test. *Harvard business review*, 1996, 74. Jg., Nr. 4, S. 136-144.
- Bleis, Christian**: [Kostenrechnung] *Kostenrechnung und Kostenrelevanz. Praxisanwendungen, Aufgaben, Lösungen*. München 2007.
- Böhmer, Wolfgang**: [VPN] *VPN. Virtual Privat Networks. Kommunikationssicherheit in VPN- und IP-Netzen über GPRS und WLAN*. 2. Aufl., München, Wien 2005.
- Bohn, R.E., M.C Caramanis** und **F.C. Schweppe**: [Optimal Pricing] Optimal pricing in electrical networks over space and time. In: *Rand Journal of Economics*, 1984, 15. Jg., Nr. 3, S. 360-376.

- Bolte**, Daniel: [Preiscontrolling] Instrumente des Preiscontrollings. Instrumentelle Unterstützung des Preismanagements unter Berücksichtigung der Marktgegebenheiten im heterogenen Oligopol. Hamburg 2008.
- Borella**, Michael S., Vandana **Upadhyay** und Ikhlaz **Sidhu**: [Pricing DiffServ] Pricing framework for a differential services Internet. In: European Transactions on Telecommunications, 1999, 10. Jg., Nr. 3, S. 275-288.
- Bouras**, Christos und Afrodite **Sevasti**: [SLA-based] SLA-based QoS pricing in DiffServ networks. In: Computer Communications, 2004, 27. Jg., Nr. 18, S. 1868-1880.
- Bouras**, Christos und Afrodite **Sevasti**: [Pricing] Pricing QoS over transport networks. In: Internet Research, 2004, 14. Jg., Nr. 2, S. 167-174.
- Braden**, Robert T., David **Clark** und Scott **Shenker**: [RFC 1633] Integrated Services in the Internet Architecture. An Overview. 1994. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2erdaSM>
- Brady**, Michael K., J. Joseph **Cronin Jr** und Richard R. **Brand**: [Service Quality] Performance-only measurement of service quality: a replication and extension. In: Journal of business research, 2002, 55. Jg., Nr. 1, S. 17-31.
- Brandtzæg**, Petter Bae: [Typology] Towards a unified Media-User Typology (MUT): A meta-analysis and review of the research literature on media-user typologies. In: Computers in Human Behavior, 2010, 26. Jg., Nr. 5, S. 940-956.
- Brandtzæg**, Petter Bae, Jan **Heim** und Amela **Karahasanović**: [Typology] Understanding the new digital divide. A typology of Internet users in Europe. International In: Journal of human-computer studies, 2011, 69. Jg., Nr. 3, S. 123-138.
- Braun**, Robert und Werner **Esswein**: [Modellierung] Eine Methode zur Konzeption von Forschungsdesigns in der konzeptuellen Modellierungsforschung. In: Data Warehousing 2006 – Integration, Informationslogistik und Architektur. Hrsg. von J. Schelp, R. Winter, U. Frank, B. Rieger und K. Turowski. Bonn 2006, S. 143-172.
- Braun**, Michael und David A. **Schweidel**: [Churn] Modeling customer lifetimes with multiple causes of churn. In: Marketing Science, 2011, 30. Jg., Nr. 5, S. 881-902.
- Braun**, Torsten und Thomas **Staub**: [End-to-End] Motivation and Basics. In: End-to-End Quality of Service Over Heterogeneous Networks. Hrsg. von T. Braun, M. Diaz, J. E. Gabeiras und T. Staub. Berlin, Heidelberg 2008, S. 1-22.

- Breidert, Christoph:** [Willingness-to-Pay] Estimation of Willingness-to-Pay. Theory, Measurement and Application. Wien 2005.
- Brenner, Walter, et al.:** [Qualität] Qualität im Internet: technische und wirtschaftliche Entwicklungsperspektiven. Institut für Wirtschaftsinformatik, Universität St. Gallen 2007.
- Breyer, Friedrich:** [Mikroökonomik] Mikroökonomik. Eine Einführung. Berlin, Heidelberg 2011.
- Briscoe, Bob. A:** [Fairer and Faster] Fairer, faster internet. In: Spectrum, IEEE, 2008, 45. Jg., Nr. 12, S. 42-47.
- Broda, Stephan:** [Marketing-Praxis] Marketing-Praxis: Ziele, Strategien, Instrumentarien. 2. Aufl., Wiesbaden 2005.
- Bruhn, Manfred:** [Determinanten] Determinanten des Kaufverhaltens im Dienstleistungsbereich. In: Revenue Management aus der Kundenperspektive. Grundlagen, Problemfelder und Lösungsstrategien. Hrsg. von T. Tomczak, W. Heidig. Wiesbaden 2014, S. 19-43.
- Bruhn, Manfred et al.:** [Wertorientiertes] Wertorientiertes Relationship Marketing: Vom Kundenwert zum Customer Lifetime Value. In: Die Unternehmung, 2000, 54. Jg., Nr. 3, S. 167-187.
- Bruhn, Manfred und Heribert Meffert:** [Handbuch] Handbuch DienstleistungsMarketing. Planung – Umsetzung – Kontrolle. Wiesbaden 2012.
- Bruno, Anthony:** [CCIE] CCIE Routing and Switching. Exam certification Guide. The official preparation guide for CCIE Routing and switching written exam. Indianapolis 2003.
- BT Group Plc.** (Hrsg.): [LRIC] Long Run Incremental Cost Model Relationships and Parameters 2011. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2eMbZQI>
- Bundesministerium der Justiz** (Hrsg.): [Telekommunikationsgesetz] Telekommunikationsgesetz. Ausfertigungsdatum 22.06.2004, Stand 03.05.2012 | 985.
- Bundesnetzagentur:** [Abschlussbericht] Bericht der Bundesnetzagentur vom 14. Juni 2013 zur Tarifänderung der Deutschen Telekom AG für Internetzugänge vom 02. Mai 2013. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2eMhUFB>
- Bundesnetzagentur:** [Stellungnahme] Fragen zu Netzneutralität und Netzfreiheit. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2eeGIKW>

- Burton** Richard M. und **Børge Obel**: [Validity] The validity of computational models in organization science: From model realism to purpose of the model. In: Computational & Mathematical Organization Theory, 1995, 1. Jg., Nr. 1, S. 57-71.
- Buschhüter**, Michael und Andreas **Striegel**: [IFRS] Internationale Rechnungslegung. IFRS Praxis. Wiesbaden 2009.
- Buschhüter**, Michael und Andreas **Striegel**: [Kommentar] Kommentar. Internationale Rechnungslegung IFRS. Wiesbaden 2011.
- Cable ONE Inc.**: [Calculator] Estimate your web usage. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/1OvsY4H>
- Cadotte**, Ernest R., Robert B. **Woodruff** und Roger L. **Jenkins**: [Models] Expectations and norms in models of consumer satisfaction. In: Journal of Marketing Research, 1987, 24. Jg., Nr. 3, S. 305-314.
- Cao**, Zhiruo Und Ellen W. **Zegura**. [Utility Max-Min] Utility max-min: An application-oriented bandwidth allocation scheme. In: IEEE INFOCOM'99 Proceedings. Eighteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. 1999, Nr. 2, S. 793-801.
- Caruana**, Albert: [Loyalty] Service loyalty: the effects of service quality and the mediating role of customer satisfaction. In: European Journal of Marketing, 2002, 36. Jg., Nr. 7/8, S. 811-828.
- Carey**, Malachy und Ashok **Srinivasan**: [Externalities] Externalities, average and marginal costs, and tolls on congested networks with time-varying flows. In: Operations research, 1993, 41. Jg., Nr. 1, S. 217-231.
- Casaca**, Augusto: [QoS] Quality of Service in Information Networks. In: Information Technology. Selected Tutorials. Hrsg. von R. Reis. Boston, Dordrecht, London 2004, S. 1-21.
- Casilari**, Eduardo, et al.: [Modelling] Modelling of individual and aggregate web traffic. In: High Speed Networks and Multimedia Communications. Lecture Notes in Computer Science, Volume 3079. Berlin, Heidelberg, 2004. S. 84-95.
- Cassandras** Christos G. und Stéphane **Lafortune**: [Discrete] Introduction to Discrete Event Systems. 2. Aufl., New York 2010.
- Cavanaugh**, Joseph E., Yazhen **Wang** und J. Wade **Davis**: [Self-Similar] Locally Self-Similar Processes and their Wavelet Analysis. In: Handbook of Statistics. Hrsg. von D. N. Shanbhag und C. R. Rao. 21. Aufl., Amsterdam 2003. S. 93-136.

- Chang**, Xinjie und David W. **Petr**: [Pricing] A survey of pricing for integrated service networks. In: Computer communications, 2001, 24. Jg., Nr. 18, S. 1.808-1.818.
- Chantelau**, Klaus und René **Brothuhn**: [Client-Server-Systeme] Multimediale Client-Server-Systeme. Heidelberg 2009.
- Chao**, Hung-po: [Peak-Load Pricing] Peak load pricing and capacity planning with demand and supply uncertainty. The Bell Journal of Economics, 1983, 14 Jg., Nr. 1, S. 179-190.
- Chao**, Jonathan H. und Xiaolei **Guo**: [Quality of Service] Quality of Service Control in High-Speed Networks. New York 2002.
- Charzinski**, Joachim, Johannes Färber und Norbert **Vicari**: [Lastmodellierung] Verkehrsmessungen und Lastmodellierung im Internet. In: Praxis der Informationsverarbeitung und Kommunikation, 2002, 25. Jg., Nr. 2, S. 64-72.
- Chen**, Ching-Fu und Fu-Shian **Chen**: [Behavioral Intention] Experience quality, perceived value, satisfaction and behavioral intentions for heritage tourists. In: Tourism management, 2010, 31. Jg., Nr. 1, S. 29-35.
- Chen**, Shigang and Klara **Nahrstedt**: [QoS Overview] An overview of quality of service routing for next-generation high-speed networks: problems and solutions. In: IEEE Network, 1998, 12. Jg., Nr. 6, S. 64-79.
- Chiang**, Wen-Chyuan, Jason CH **Chen** und Xiaojing **Xu**: [Revenue Management] An overview of research on revenue management: current issues and future research. In: International Journal of Revenue Management, 2007, 1. Jg., Nr. 1, S. 97-128.
- Choi**, Byoung Kyu und Donghun **Kang**: [Simulation] Modeling and simulation of discrete-event systems. Hoboken 2013.
- Choi**, Hyoung-Kee und John O. **Limb**: [Behavioral Model] A behavioral model of web traffic. In: Seventh International Conference on Network Protocols, IEEE, Proceedings (ICNP'99). 1999. S. 327-334.
- Choi**, Jin Seek und Bong Sue **Suh**: [Queueing] Design and Analysis of a Virtual Output Queueing Based Windowing Scheduling Scheme for IP Switching Systems. In: Proceedings of 7th IEEE International Conference on High Speed Networks and Multimedia Communications (HSNMC), June/July 2004, Toulouse. Hrsg. von Z. Mammeri und P. Lorenz. Berlin, Heidelberg 2004, S. 268-279.

- Choudhury**, Gagan L., David M. **Lucantoni** und Ward **Whitt**: [Squeezing] Squeezing the most out of ATM. In: IEEE Transactions on Communications, 1996, 44. Jg., Nr. 2, S. 203-217.
- Chu**, S-I. und S-C. **Chang**: [Time-of-day] Time-of-day Internet-access management by combining empirical data-based pricing with quota-based priority control. In: IET communications, 2007, 1. Jg., Nr. 4, S. 587-596.
- Ciampi**, Antonio und Jamshid **Etezadi-Amoli**: [Hazards] A general model for testing the proportional hazards and the accelerated failure time hypotheses in the analysis of censored survival data with covariates. In: Communications in Statistics-Theory and Methods, 1985, 14. Jg., Nr. 3, S. 651-667.
- Ciccarelli**, Patrick und Christina **Faulkner**: [Networking] Networking foundations. Technology Fundamentals for IT Success. San Francisco, London 2004.
- Cisco Internet Business Solutions Group (Hrsg.)**: [Pricing] Moving Toward Usage-Based Pricing. A Connected Life Market Watch Perspective. März 2012.
- Cisco Systems (Hrsg.)**: [Bytescale] Chart: Byte scale, from petabyte to yottabyte. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/1pBn5YC>
- Cisco Systems (Hrsg.)**: [QoS] Cisco IOS Quality of Service Solutions Configuration Guide. Release 12.2. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2f4ySxj>
- Cisco Systems (Hrsg.)**: [Zettabyte] The Zettabyte Era – Trends and Analysis. Cisco Visual Networking Index. San Jose, CA, 2010. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2dV3eVp>
- Cisco Systems (Hrsg.)**: [VNI 2007] Global IP Traffic Forecast and Methodology, 2006–2011. Updated January 14, 2008. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2f9ruPL>
- Cisco Systems (Hrsg.)**: [VNI 2008] Cisco Visual Networking Index. Forecast and Methodology, 2007–2012. June 16, 2008. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2fwBwyB>
- Cisco Systems (Hrsg.)**: [VNI 2009] Cisco Visual Networking Index. Forecast and Methodology, 2008–2013. June 9, 2009. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2erj46h>
- Cisco Systems (Hrsg.)**: [VNI 2010] Cisco Visual Networking Index. Forecast and Methodology. 2009–2014, June 2, 2010. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://stanford.io/2f4zBOY>

- Cisco Systems (Hrsg.):** [VNI 2011] Cisco Visual Networking Index. Forecast and Methodology, 2010–2015. June 1, 2011. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2f0ETgH>
- Cisco Systems (Hrsg.):** [VNI 2012] Cisco Visual Networking Index. Forecast and Methodology, 2011–2016. May 30, 2012. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2dV7J20>
- Cisco Systems (Hrsg.):** [VNI 2013] Cisco Visual Networking Index. Forecast and Methodology, 2012–2017. May 29, 2013. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/1aEeHMi>
- Cisco Systems (Hrsg.):** [VNI 2014] Cisco Visual Networking Index. Forecast and Methodology, 2013–2018. June 10, 2014. Online (letzter Zugriff: 06.08.2017): <http://bit.ly/2wj3iDL>
- Cisco Systems (Hrsg.):** [VNI 2015] Cisco Visual Networking Index. Forecast and Methodology 2014–2019. May 27, 2015. Online (letzter Zugriff: 06.08.2017): <http://bit.ly/2vbfRkF>
- Cisco Systems (Hrsg.):** [VNI 2015 Updated] Cisco Visual Networking Index. Forecast and Methodology 2015–2020. Updated: 01.06.2016 Doc.-ID: 1465272001663118. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/295yXfL>
- Cisco Systems (Hrsg.):** [VNI 2016] Cisco Visual Networking Index. Forecast and Methodology 2016–2021. June 7, 2016. Online (letzter Zugriff: 06.08.2017): <http://bit.ly/2vtNOzu>
- Cisco Systems (Hrsg.):** [VNI 2017] Cisco Visual Networking Index. Forecast and Methodology 2017–2022. June 6, 2017. Online (letzter Zugriff: 06.08.2017): <http://bit.ly/2udCXFS>
- Clark, David D:** [Expected Capacity] A model for cost allocation and pricing in the Internet. In: Internet Economics. Hrsg. von L. W. McKnight und J. P. Bailey. Cambridge 1997, S. 155–68 sowie im Journal of Electronic Publishing, 1995, 1. Jg., Nr. 1&2. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2fwxsye>
- Clemenz und Götz:** [Kritische Analyse] Die Festlegung der Zusammenschaltungsentgelte auf Basis der Forward Looking Long Run (Average) Incremental Costs (FL-LRAIC) - Eine kritische Analyse. Online (letzter Aufruf 31.10.2016): <http://bit.ly/2e4zksV>
- Coenenberg, Adolf G., Thomas M. Fischer und Thomas Günther:** [Kostenrechnung] Kostenrechnung und Kostenanalyse. 8 Aufl., Stuttgart 2012.

- Coenenberg**, Adolf G., Axel **Haller** und Wolfgang **Schultze**: [Jahresabschluss] Jahresabschluss und Jahresabschlussanalyse. Betriebswirtschaftliche, handelsrechtliche, steuerrechtliche und internationale Grundlagen – HGB, IAS/IFRS, US-GAAP, DRS. 23. Aufl., Stuttgart 2014.
- Cocchi**, Ron, et al.: [Priority Pricing] A study of priority pricing in multiple service class networks. In: ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 1991, 21. Jg., Nr. 4, S. 123-130.
- Cocchi**, Ron, et al.: [Pricing] Pricing in computer networks: Motivation, formulation, and example. In: IEEE/ACM Transactions on Networking (TON), 1993, 1. Jg., Nr. 6, S. 614-627.
- Colbe**, Walter Busse von, Nils **Crasselt** und Bernhard **Pellens (Hrsg.)**: [Rechnungswesen] Lexikon des Rechnungswesen. Handbuch der Bilanzierung und Prüfung, der Erlös-, Finanz-, Investitions- und Kostenrechnung. 5. Aufl., München 2011.
- Coleman**, James Samuel: [Mathematical] Introduction to mathematical sociology. New York et al., 1964.
- Coombs**, Clyde H., Robyn M. **Dawes** and Amos **Tversky**: [Mathematical Psychology] An Introduction to Mathematical Psychology. Englewood Cliffs 1970.
- Cottin**, Claudia und Sebastian **Döhler**: [Risikoanalyse] Risikoanalyse. Modellierung, Beurteilung und Management von Risiken mit Praxisbeispielen. 2. Aufl., Wiesbaden 2013.
- Courcoubetis**, Costas et al.: A study of simple usage-based charging schemes for broadband networks. In: Telecommunication Systems, 2000, 15. Jg., Nr. 3-4, S. 323-343. Preprint-Version, Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2f43UFQ>
- Courcoubetis**, Costas und Richard **Weber**: [Pricing] Pricing communication networks: economics, technology, and modeling. West Sussex 2003.
- Courcoubetis**, Costas, Vasilios A. **Siris** und George D. **Stamoulis**: [Pricing] Integration of pricing and flow control for available bit rate services in ATM networks. In: IEEE Global Telecommunications Conference, Communications: The Key to Global Prosperity. GLOBECOM'96. 1996, S. 644-648.
- Crovella**, Mark E. und Azer **Bestavros**: [Self-Similarity] Self-Similarity in World Wide Web Traffic. Evidence and Possible Causes. In: IEEE/ACM Transactions on Networking, 1997, 5. Jg., Nr. 6, S. 835-846.

- Crovella**, Mark E., Murad S. **Taqqu** Azer **Bestavros**: [Heavy-Tailed] Heavy-Tailed probability distributions in the World Wide Web. In: A Practical Guide to Heavy Tails. Statistical Techniques and Applications. Hrsg. von R. J. Adler, R. E. Feldman und M. S. Taqqu. Boston, Basel, Berlin 1998, S. 3-26.
- Cronin Jr**, J. Joseph, Michael K. **Brady** und G. Tomas M. **Hult**: [Effects] Assessing the effects of quality, value, and customer satisfaction on consumer behavioral intentions in service environments. In: Journal of retailing, 2000, 76. Jg., Nr. 2, S. 193-218.
- Currence**, Mark et al.: [Pricing] A causal analysis of usage-based billing on IP networks. Colorado, 2000. PDF-Version, Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2eLOPdv>
- Cuthbert**, L. G. and J. C. **Sapanel**: [ATM] Atm. The Broadband Telecommunications Solution. London 1993.
- Dainotti**, Alberto, Antonio **Pescapè** und Kimberly C. **Claffy**: [Traffic Classification] Issues and future directions in traffic classification. In: Network, IEEE, 2012, 26. Jg., Nr. 1, S. 35-40.
- Dasgupta**, Prithviraj und Rajarshi **Das**: [Dynamic Pricing Algorithms] Dynamic service pricing for brokers in a multi-agent economy. In: Fourth International Conference on Multi Agent Systems. Proceedings IEEE, 2000, 4. Jg., S. 375-376.
- DaSilva**, Luiz A.: [Pricing] Pricing for QoS-enabled networks: A survey. In: Communications Surveys & Tutorials, IEEE, 2000, 3. Jg., Nr. 2, S. 2-8.
- DaSilva**, Luiz A., David W. **Petr** und Nail **Akar**: [Pricing] Equilibrium pricing in multi-service priority-based networks. In: IEEE Proceedings GLOBECOM'97. Global Telecommunications Conference, 1997, Nr. 3, S. 1373-1377.
- Davies**, Joseph: [IPv6] Understanding IPv6. Covers Windows 8 and Windwos Server 2012. 3. Aufl., Sebastopol, California.
- Day**, Ralph L.: [Consumer Satisfaction] Extending the concept of consumer satisfaction. In: Advances in consumer research, 1977, 4. Jg., Nr. 1, S. 149-154.
- Dean**, Tamara: [Network] Network. Network Guide to Networks. 5. Aufl., Boston 2009.
- DE-CIX**: [Datenaufkommen] Traffic Statistics. Online (letzter Aufruf: 11.03.2015): <http://www.de-cix.net/about/statistics/>
- Demange**, Gabrielle, David **Gale** und Marilda **Sotomayor**: [Multi-Item] Multi-item auctions. The Journal of Political Economy, 1986, 94. Jg., Nr. 4, S. 863-872.

- Dembowski, Klaus:** [Netzwerke] Netzwerke Magnum. Kompakt, Komplett, Kompetent. München 2004.
- Dembowski, Kalus:** [Lokale Netze] Lokale Netze. Handbuch der kompletten Netzwerktechnik. München 2007.
- Demers, Alan, Srinivasan Keshav und Scott Shenker:** [Fair Queuing] Analysis and Simulation of a Fair Queueing Algorithm. In: Internetworking: Research and Experience, 1990, 19. Jg. Nr. 4, S. 3-26.
- Demichelis, C. und P. Chimento:** [Packet Delay Variation] IP Packet Delay Variation Metric for IP Performance Metrics (IPPM). RFC 3393. Hrsg. von The Internet Society, 2002. Online (letzter Zugriff: 09.08.2012): <http://bit.ly/2f4LiWf>
- Deng, Zhaohua et al.:** [Loyalty] Understanding customer satisfaction and loyalty: An empirical study of mobile instant messages in China. In: International Journal of Information Management, 2010, 30. Jg., Nr. 4, S. 289-300.
- Deutsche Telekom AG:** [Antworten 1] Anlage zur Antwort auf das Schreiben der Bundesnetzagentur vom 26.04.2013 zur Bandbreitenbegrenzung und Netzneutralität. 15 Mai 2013. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2fw9OIA>
- Deutsche Telekom AG (Hrsg.):** [Geschäftsbericht 2013] Anatomie der digitalen Zukunft. Das Geschäftsjahr 2013. Bonn 2014.
- Deutsche Telekom AG (Hrsg.):** [Geschäftsbericht 2014] Architektur der digitalen Zukunft. Das Geschäftsjahr 2014. Bonn 2015.
- Deutsche Telekom AG:** [SpeedOn] Speed Option Lite. Online (letzter Zugriff: 05.02.2016): <http://bit.ly/18zOFZs>
- Deutsche Telekom AG:** [Website] <https://www.t-mobile.de/>
- Dewenter, Ralf und Justus Haucap:** [Access Pricing] Access Pricing. Theory and Practice. Amsterdam 2007.
- Dickgreber, Florian et al.:** [Telekommunikation] Telekommunikation 2020: Ein Ausblick. Hrsg. von AT Kearney Inc. 2014. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2f0dgEi>
- Diller, Hermann:** [Preispolitik] Preispolitik. 4. Aufl. Stuttgart 2008.
- Di Sorte, Dario, Mauro Femminella und Gianluca Realì:** [Charge] A Novel Approach to Charge for IP Services with QoS Support. In: Journal of Network and Systems Management 2006, 14. Jg., Nr. 2, S. 279-312.

- Djonova-Popova**, Iskra und Oliver B. **Popov**: [Congestion Control] Congestion Control Strategies. In: Network Empowerment. Proceedings of the NATO Advanced Networking Workshop on Engineering the Network. Hrsg. von O. B. Popov. Budapest, 2004, S. 13-26.
- Dobson**, Gregory und Shlomo **Kalish**: [Pricing] Positioning and pricing a product line. In: Marketing Science, 1988, 7. Jg., Nr. 2, S. 107-125.
- Domschke**, Wolfgang und Andreas **Drexl**: [Operations Research] Einführung in Operations Research 7. Aufl. 2007, Berlin, Heidelberg New York.
- Dostalek**, Libor und Alena **Kabelova**: [TCP/IP] Understanding TCP/IP. A clear and comprehensive guide to TCP/IP protocols. Birmingham 2006.
- Doyle**, Jeff: [Routing] Routing TCP/IP. Volume I. A detailed examination of interior routing protocols. CCIE No. 1919. Indianapolis 1998.
- Drèze**, Xavier und André **Bonfrer**: [Customer Equity] Moving from customer lifetime value to customer equity. In: Quantitative Marketing and Economics, 2009, 7. Jg., Nr. 3, S. 289-320.
- Du**, Rex Yuxing, Wagner A. **Kamakura** und Carl F. **Mela**: [Customer Wallet] Size and share of customer wallet. In: Journal of Marketing, 2007, 71. Jg., Nr. 2, S. 94-113.
- Dürst**, Martin J. und Max **Mühlhäuser**: [Informatik-Handbuch] Datenkompression. In: Informatikhandbuch. Hrsg. von P. Rechenberg und G. Pomberger. 4. Aufl., München, Wien 2006, S. 259-276.
- Dwyer**, Robert F.: [CLV] Customer lifetime valuation to support marketing decision making. In: Journal of direct marketing, 1989, 3. Jg., Nr. 4, S. 8-15.
- Dye**, Mark A., Rick **McDonald** und Antoon W. **Rufi**: [Netzwerkgrundlagen] Netzwerkgrundlagen. CCNA Exploration Companion Guide. München 2008.
- Eberling**, Gunter: [Kundenwertmanagement] Kundenwertmanagement. Konzept zur wertorientierten Analyse und Gestaltung von Kundenbeziehungen. Wiesbaden 2002.
- Eberspächer**, Jörg: [Kommunikationsprotokolle] Kommunikationsprotokolle. In: Handbuch für die Telekommunikation. Hrsg. von V. Jung, H.-J. Warnecke. 2. Aufl., Berlin et al. 2002, S. 1/63-1/84.
- Eberspächer**, Jörg: [Traffic Engineering] Traffic Engineering. In: Handbuch für die Telekommunikation. Hrsg. von V. Jung, H.-J. Warnecke. 2. Aufl., Berlin et al. 2002, S. 1/104-1/124.

- Eberspächer, Jörg** und Josef **Glasmann**: [QoS-Architekturen] QoS-Architekturen und Ressourcenmanagement im Intranet. In: Real Time Enterprise in der Praxis. Fakten und Ausblick. Hrsg. von B. Kuhlin und H. Thielmann. Berlin, Heidelberg 2005. S. 185-212.
- Eckert, Claudia**: [IT-Sicherheit] IT-Sicherheit: Konzepte, Verfahren, Protokolle. München 2005.
- Economides, Nicholas**: [Economics of Networks] The Economics of Networks. In: International Journal of Industrial Organization, 1996, 14. Jg., Nr. 6, S. 673-699.
- Edell, Richard J.** und Pravin **Varaiya**: [Flat Rate Pricing Problem] Providing Internet access: What we learn from INDEX. In: IEEE Network, 1999, 13. Jg., Nr. 5, S. 18-25. Seitenangaben der Zitation beziehen sich auf PDF-Version (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2fw747T>
- Edell, Richard J.**, Nick **McKeown** und Pravin **Varaiya**: [Billing] Billing users and pricing for TCP. In: IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1995, 13. Jg., Nr. 7, S. 1162-1175.
- Eggert, Andreas** und Wolfgang **Ulaga**: [CPV] Customer perceived value: a substitute for satisfaction in business markets? In: Journal of Business & Industrial Marketing, 2002, 17. Jg., Nr. 2/3, S. 107-118
- Ehrenberg, Andrew Samuel Christopher**: [Repeat-Buying] Repeat-buying. Theory and applications. Amsterdam 1972.
- Ehrenberg, Andrew Samuel Christopher**: [Markov] An appraisal of Markov brand-switching models. In: Journal of Marketing Research, 1965, 2. Jg., Nr. 4, S. 347-362.
- Ehrenberg, Andrew Samuel Christopher**: [Pattern] The pattern of consumer purchases. In: Applied Statistics, 1959, 8. Jg., Nr. 1, S. 26-41.
- Van Eimeren, Birgit** und Beate **Frees**: [Onlinestudie 2012] Ergebnisse der ARD/ZDF-Onlinestudie 2012. In: Media Perspektiven, 2012, 7. Jg., S. 362-379.
- Eklund, Carl et al.**: [802.16] IEEE Standard 802.16: A Technical Overview of the WirelessMAN™ Air Interface for Broadband Wireless Access. In: IEEE communications magazine, 2002, 40. Jg., Nr. 6, S. 98-107.
- El-Khatib, Khalil Mehdi**: [QoS] A QoS Content Adaptation Framework for Nomadic Users. Diss., Ottawa, 2005. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2f8Y58c>

- Ellanti, Manohar et al.:** [Next Generation Networks] Next Generation Transport Networks. Data, Management, and Control Planes. New York 2005.
- Eller, Frank:** [Visual C#] Visual C# 2010. Grundlagen, Programmier Techniken, Datenbanken. München 2010.
- Ellis, Juanita, Charles Pursell und Joy Rahman:** [Communications] VoIP Technology. In: Communications Engineering Desk Referenz. Hrsg. von E. Dahlman, S. Parkvall, J. Skold, P. Beming, A. Bovik, B. Fette, K. Jack, F. Dowla, C. DeCusatis, E. da Silva, L. M. Correia, P. Chou, M. van der Schaar, R. Kitchen, D. Dobkin, D. Bensky, J. Ellis, C. Pursell, J. Rahman, L. Guibas und F. Zhao. Oxford 2009, S. 189-200.
- Elmaghraby, Wedad und Pinar Keskinocak:** [Dynamic Pricing] Dynamic pricing in the presence of inventory considerations: Research overview, current practices, and future directions. In: Management Science, 2003, 49. Jg., Nr. 10, S. 1287-1309.
- Elwalid, Anwar I. und Debasis Mitra:** [Effective Bandwidth] Effective bandwidth of general Markovian traffic sources and admission control of high speed networks. In: IEEE/ACM Transactions on Networking (TON), 1993, 1. Jg., Nr. 3, S. 329-343.
- Engelbrecht, Andreas:** [Kundenwertorientiert] Kundenwertorientiertes Kampagnenmanagement im CRM. Hamburg 2007.
- Ergen, Mustafa:** [Broadband] Mobile Broadband. Including WiMax and LTE. New York 2009.
- Europäische Union:** [Amtsblatt L124] Empfehlung der Kommission vom 7. Mai 2009 über die Regulierung der Festnetz- und Mobilfunk-Zustellungsentgelte in der EU. In: Amtsblatt der Europäischen Union, L 124, 2009/396/EG, S. 67-74.
- Evans, John und Clarence Filsfil:** [MPLS] Deploying IP and MPLS QoS for Multiservice Networks. Theory and Practice. San Francisco 2007.
- Evans, James Robert und David Louis Olson:** [Simulation] Introduction to Simulation and Risk Analysis. 2. Aufl., Upper Saddle River 2002.
- Ewert, Ralf und Alfred Wagenhofer:** [Unternehmensrechnung] Interne Unternehmensrechnung. 7 Aufl., Berlin, Heidelberg 2008.
- Fader, Peter S. und Bruce G. S. Hardie:** [Probability] Probability models for customer-base analysis. In: Journal of Interactive Marketing, 2009, 23. Jg., Nr. 1, S. 61-69.
- Fader, Peter S., Bruce G. S. Hardie und Ka Lok Lee:** [RFM and CLV] Using iso-value curves for customer base analysis. In: Journal of Marketing Research, 2005, 42. Jg., Nr. 4, S. 415-430.

- Fallin**, Chris et al.: [Routing] Bufferless and Minimally-Buffered Deflection Routing. In: Routing Algorithms in Networks-on-Chip. Hrsg. von: M. Palesi und M. Daneshtalab. New York 2014, S. 241-276.
- Färber**, Johannes Wolfgang: [Modellierung] Modellierung von IP-basiertem Paketverkehr ausgewählter interaktiver Dienste. Stuttgart 2007.
- Fahrmeir**, Ludwig, Günter **Raßer** und Thomas **Kneib**: [Prozesse] Skript zur Vorlesung stochastische Prozesse. Institut für Statistik, Ludwig-Maximilians-Universität München. Überarbeitete Version vom 28. April 2011. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2eedTsQ>
- Falch**, Morten: [Cost Characteristics] Cost and demand characteristics of telecom networks. In: Telecom reform: principles, policies and regulatory practices. Hrsg. von H. Melody. Lyngby, 1997, S. 107-122.
- Falkner**, Matthias, Michael **Devetsikiotis** und Ioannis **Lambadari**: [Pricing] An overview of pricing concepts for broadband IP networks. In: IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2000, 3. Jg., Nr. 2, S. 2-13.
- Fandl**, Günter und Steffen **Blaga**: [Dienstleistungsproduktion] Aktivitätsanalytische Überlegungen zu einer Theorie der Dienstleistungsproduktion. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, Ergänzungsheft 1-2004, S. 1-18.
- Faßnacht**, Martin: [Preisdifferenzierung] Preisdifferenzierung bei Dienstleistungen: Implementierungsformen und Determinanten. Wiesbaden 1996.
- Faßnacht**, Martin und Rebecca **Winkelmann**: [Preisdifferenzierung] Bonusprogramme als Instrument der Preisdifferenzierung. In: Ganzheitliches Direktmarketing. Hrsg. von B. W. Wirtz und C. Burmann. Wiesbaden 2006, S. 453-478.
- Federal Communications Commission (FCC)**: [Protecting] FCC 14-61. Protecting and Promoting the Open Internet. GN Docket No. 14-28. Released May 15, 2014. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/1iZ2Tvp>
- Fehr**, Beverley und James A. **Russel**: [Emotion] Concept of emotion viewed from a prototype perspective. In: Journal of experimental psychology: General, 1984, 113. Jg., Nr. 3, S. 464-486.
- Fankhauser**, George, et al.: [Reservation-based] Reservation-based charging in an integrated services network. In: 4th INFORMS Telecommunications Conference, Boca Raton, Florida, USA. 1998. S. 305-309. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2eTyKQl>

- FCC** (Federal Communications Commission): [Net Neutrality] FCC adopts strong, sustainable rules to protect the open internet. Washington, 26. Februar 2015. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/1vCZbA8>
- Friedl**, Birgit: [Kostenrechnung] Kostenrechnung. Grundlagen, Teilrechnungen und Systeme der Kostenrechnung. 2. Aufl., München 2010.
- Fiedler**, Markus, Tobias **Hossfeld** und Phuoc **Tran-Gia**: [QoE] A Generic Quantitative Relationship between Quality of Experience and Quality of Service. In: IEEE Network, 2010, 24. Jg., Nr. 2, S. 36-41.
- Fink**, Andreas, Gabriele **Schneiderreit** und Stefan **Voß**: [Wirtschaftsinformatik] Grundlagen der Wirtschaftsinformatik. 2. Aufl., Heidelberg 2005.
- Fischer**, Jörg: [VoIP] VoIP-Praxisleitfaden. IP-Kommunikation für Sprache, Daten und Video planen, implementieren und betreiben. München, Wien 2008.
- Fischer**, Thomas M.: [EVA] Economic Value Added (EVA) – Informationen aus der externen Rechnungslegung zur internen Unternehmenssteuerung. 1998. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2eeeniE>
- Fornell**, Claes: [Customer Satisfaction] A national customer satisfaction barometer: the Swedish experience. In: The Journal of Marketing, 1992, 56. Jg., Nr. 1, S. 6-21.
- Fornell**, Claes et al.: [Customer Satisfaction] The American customer satisfaction index: nature, purpose, and findings. In: The Journal of Marketing, 1996, 60. Jg., Nr. 4, S. 7-18.
- Forrester**, Jay W.: [Systemtheorie] Grundzüge einer Systemtheorie. Wiesbaden 1972.
- Franke**, Günter und Herbert **Hax**: [Finanzwirtschaft] Finanzwirtschaft des Unternehmens und Kapitalmarkt. 5. Aufl., Berlin, Heidelberg, New York 2004.
- Freidank**, Carl-Christian: [Kostenrechnung] Kostenrechnung. Grundlagen des innerbetrieblichen Rechnungswesens und Konzepte des Kostenmanagements. 9. Aufl., München 2012.
- Freter**, Hermann: [Kundensegmentierung] Markt- und Kundensegmentierung. Kundenorientierte Markterfassung und –bearbeitung. 2. Aufl., Stuttgart 2008.
- Freiberg**, Jens und Norbert **Lüdenbach**: [Diskontierungszinssatz] Ermittlung des Diskontierungszinssatzes nach IAS 36. In: KoR, 2005, Nr. 11, Seite 479-487.
- Freyer**, Ulrich: [Nachrichtenübertragungstechnik] Nachrichtenübertragungstechnik. Grundlagen, Komponenten, Verfahren und Systeme der Telekommunikationstechnik. 6. Aufl., München 2009.

- Frieden, Rob:** [Primer] A Primer on Network Neutrality. In: *Intereconomics* 2008, 43. Jg., Nr. 1, S. 4-15.
- Frieden, Rob:** [Internet 3.0] Internet 3.0. Identifying Problems and Solutions to the Network Neutrality Debate. In: *International Journal of Communication* 2007, Jg. 1, Nr. 1, S. 461-492.
- Frohberg, Wolfgang:** [Telekommunikationstechnik] Telekommunikationstechnik. In: Taschenbuch der Nachrichtentechnik. Hrsg. von W. Frohberg, H. Kolloschie und H. Löffler. Leipzig 2008, S. 206-213.
- Frost, Victor. S. und Benjamin Melamed:** [Traffic Modeling] Traffic Modeling for Telecommunications Networks. In: *IEEE Communications Magazine*, 1994, 32. Jg., Nr. 3, S. 70-81.
- Fuchs, Patrick A. A.:** [Preisdifferenzierung] Operative Preisdifferenzierung. Ein Modell zur systematischen Preisindividualisierung im Bankgeschäft. Norderstedt 2008.
- Fulton, Hal:** [Stacks] The Ruby Way. 2. Aufl., Indianapolis 2003.
- Gabriel, Roland et al.:** [Kommunikationssysteme] Computergestützte Informations- und Kommunikationssysteme in der Unternehmung. Technologien, Anwendungen, Gestaltungskonzepte. 2. Aufl., Berlin, Heidelberg 2002.
- Gaede, Karl-Walter:** [Modelle] Zuverlässigkeit Mathematischer Modelle. München, Wien 1977.
- Galetzka, Michael:** [QoS] User-perceived quality of service in hybrid broadcast and telecommunication networks. In: 5th Workshop on Digital Broadcasting, 2004, 5. Jg., S. 39-44.
- Garbarino, Ellen und Mark S. Johnson:** [Customer] The different roles of satisfaction, trust, and commitment in customer relationships. In: *The Journal of Marketing*, 1999, 63. Jg, Nr. 2, S. 70-87.
- Garcia, Alberto E. und Klaus D. Hackbarth:** [Estimating] Approximation to a Behavioral Model for Estimating Traffic Aggregation Scenarios. In: *Journal of Universal Computer Science*, 2008, 14. Jg., Nr. 5, S. 731-744.
- Garcia, Alberto E., Laura Rodriguez und Klaus D. Hackbarth:** [Cost Models] Cost models for QoS-differentiated interconnecting and wholesale access in future generation networks. In: *Telecommunication Systems*, 2012, 51 Jg., Nr. 4, S. 221-231.
- Gedehus, Timm:** [Logistik] Logistik 1. Grundlagen, Verfahren und Strategien. 4. Aufl., Berlin, Heidelberg 2012.

- Gentle**, James E.: [Monte Carlo] Random Number Generation and Monte Carlo Methods. 2. Aufl., New York 2003.
- Georg**, Otfried: [Telekommunikationstechnik] Telekommunikationstechnik. Handbuch für Praxis und Lehre. 2. Aufl., Berlin, Heidelberg 2000.
- Gerpott**, Torsten J. und Stephan **Böhm**: [Preisbildung] Ansätze zur Preisbildung für Internet-Transportdienste. In: Wirtschaftsinformatik, 2000, 42. Jg., Nr. 3, S. 233-243.
- Giacomazzi**, Paolo, Igor **Stanojev** und Giacomo **Verticale**: [Service Level Pricing] A negotiation-based scheme for service level pricing for wireless access. In: Computer Communications, 2012, 35. Jg., Nr. 4, S. 444-453.
- Giese**, Joan L. und Joseph A. **Cote**: [Consumer Satisfaction] Defining consumer satisfaction. In: Academy of Marketing science review, 2000, 1. Jg., Nr. 1, S. 1-22.
- Gilland**, Wendel G. und Donald P. **Warsing**: [Customer Delay Costs] The Impact of Revenue-Maximizing Priority Pricing on Customer Delay Costs. In: Decision Sciences, 2009, 40. Jg., Nr. 1, S. 89-120.
- Gillespie**, und **Matthews**: [Service Provider] Handbuch Service Provider. Wie Sie den richtigen IT-Dienstleister finden. Weinheim 2002.
- Gizelis**, Christos A. und Dimitrios D. **Vergados**: [Pricing] A survey of pricing schemes in wireless networks. In: Communications Surveys & Tutorials, IEEE, 2011, 13. Jg., Nr. 1, S. 126-145.
- Gladen**, Werner: [Performance Measurement] Performance Measurement. Controlling mit Kennzahlen. 5. Aufl., Wiesbaden 2011.
- Gold**, Steven und Thomas **Pray**: [Modeling] Modeling Demand in Computerized business simulations. In: Guide to business gaming and experiential learning. Hrsg. von J. W. Gentry. East Brunswick 1990, S. 117-138.
- Goleniewski**, Lillian: [Telecommunications] Telecommunications Essentials. The Complete Global Source. Hrsg. von K. W. Jerret. 2. Aufl., Boston 2007.
- Gossen**, Hermann Heinrich: [Gesetze] Entwicklung der Gesetze des menschlichen Verkehrs, und der daraus fließenden Regeln für menschliche Handeln. Braunschweig 1854.
- Gottschalk**, Carsten und Robert **Schönau**: [Kommentierung] Analytisches Kostenmodell für das Breitbandnetz 2010. Kommentierung durch die 1 & 1 Internet AG. Online (Letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2dUKhST>

- Gouthier MHJ, S. Schmid:** [Kundenbeziehungen] Kunden und Kundenbeziehungen als Ressource von Dienstleistungsunternehmen. In: Die Betriebswirtschaft, 2001, 61. Jg., Nr. 2, S. 223-239.
- Graber, Andrea:** [Internet Pricing] Internet Pricing. Economic Approaches to Transport Service and Infrastructure. Bern 2005.
- Graller, Preston:** [Internet] How the internet works. 4. Aufl., Indianapolis 1998.
- Greenwood, Jeremy und Karen A. Kopecky:** [Konsumentenrente] Measuring the Welfare Gain from Personal Computers. In: Economic Inquiry, 2013, 51. Jg., Nr. 1, S. 336-347.
- Greenwood, Major und G. Udny Yule:** [Frequency Distributions] An inquiry into the nature of frequency distributions representative of multiple happenings with particular reference to the occurrence of multiple attacks of disease or of repeated accidents. In: Journal of the Royal Statistical Society, 1920, 83. Jg., Nr. 2, S. 255-279.
- Grimm, Christian und Georg Schlüchtermann:** [IP-Traffic] IP-Traffic. Theory and Performance. Berlin, Heidelberg 2010.
- Grohs, Klaus-Dieter:** [ATM] Asynchronous Transfer Mode (ATM). In: Handbuch für die Telekommunikation. Hrsg. von V. Jung und H.-J. Warnecke. 2. Aufl., Berlin et al. 2002, S. 3-154-157.
- Groll, Karl-Heinz:** [Kennzahlen] Das Kennzahlensystem zur Bilanzanalyse. Ergebniszahlen, Aktienkennzahlen, Risikokennzahlen. 2. Aufl., München, Wien 2004.
- Grundmann, Wolfgang:** [Operations Research] Operations Research. Formeln und Methoden. Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden 2002.
- Guirguis, Mina et al.:** [Reduction of QoS] Reduction of quality (RoQ) attacks on internet end-systems. In: INFOCOM 2005. 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings IEEE. 2005, S. 1362-1372. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2eTxsoP>
- Gupta, Alok, Dale O. Stahl und Andrew B. Whinston:** [Priority Pricing] An economic approach to networked computing with priority classes. In: Journal of Organizational Computing and Electronic Commerce, 1996, 6. Jg., Nr. 1, S. 71-95.
- Gupta, Alok, Dale O. Stahl und Andrew B. Whinston:** [Pricing] Priority Pricing of Integrated Services Networks. In: Internet Economics. Hrsg. von L. W. McKnight und J. P. Bailey. Cambridge 1997.

- Gupta**, Sunil et al.: [CLV] Modeling customer lifetime value. In: Journal of Service Research, 2006, 9. Jg., Nr. 2, S. 139-155.
- Gupta**, Sunil, Donald R. **Lehmann** und Jennifer Ames **Stuart**: [Valueing] Valuing Customers. In: Journal of Marketing research, 2004, 41. Jg., Nr. 1, S. 7-18.
- Guo**, Liang, Mark **Corvella** und Ibrahim **Matta**: [Heavy-Tails] TCP congestion control and heavy tails. Boston University Computer Science Department 2000, S. 1-11.
- Gustafsson**, Anders, Michael D. **Johnson** und Inger **Roos**: [Customer Satisfaction] The effects of customer satisfaction, relationship commitment dimensions, and triggers on customer retention. In: Journal of Marketing, 2005, 69. Jg., Nr. 4, S. 210-218.
- Gutenberg**, Erich: [Betriebswirtschaftslehre] Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre. 17. Aufl., Berlin 1984.
- Ha**, Sangtae, et al.: [TUBE] Pricing by timing: innovating broadband data plans. In: Proceedings of SPIE, Broadband Access Communication Technologies VI. Hrsg. von: B. Dingel, R. Jain und K. Tsukamoto. In: International Society for Optics and Photonics, 2012, Volume 8282. Online (Letzter Aufruf: 31.10.2016): <http://bit.ly/2eL-Sic2>
- Haaß**, Wolfgang-Dieter: [Handbuch] Handbuch der Kommunikationsnetze. Einführung in die Grundlagen und Methoden der Kommunikationsnetze. Berlin, Heidelberg 1997.
- Hackbarth**, Klaus, Gabriele **Kulenkampff** und Thomas **Plückebaum**: [Kostenmodell] Analytisches Kostenmodell für das Breitbandnetz. Studie für die Bundesnetzagentur. Version 2.1.1, Bad Honnef 2014.
- Häckelmann**, Heiko, Hans Joachim **Petzold** und Susanne **Strahinger**: [Kommunikationssysteme] Kommunikationssysteme. Technik und Anwendungen. Berlin, Heidelberg 2000.
- Hagen**, Silvia: [IPv6] IPv6. Grundlagen, Funktionalität, Integration. 2. Aufl., Maur 2009.
- Hall**, Eric A.: [Internet] Internet Core Protocols. The Definitive Guide. Sebastopol 2000.
- Haller**, Sabine: [Dienstleistungsmanagement] Dienstleistungsmanagement. Grundlagen, Konzepte, Instrumente. 5. Aufl., Berlin, Heidelberg 2012.
- Hallowell**, Roger: [Loyalty] The relationships of customer satisfaction, customer loyalty, and profitability: an empirical study. In: International Journal of Service Industry Management, 1996, 7. Jg., Nr. 4, S. 27-42.

- Hansen, Klaus:** [Markov-Prozesse] Prognose mithilfe von Markov-Prozessen. In: Prognoserechnung. Hrsg. von P. Mertens und S. Rässler. 7. Aufl., Berlin, Heidelberg 2012, S. 279-308.
- Hansen, Kristin:** [Sonderangebote] Sonderangebote im Lebensmitteleinzelhandel. Eine empirische Analyse für Deutschland. Göttingen 2006.
- Hardin, Gerrett:** [Tragedy] Tragedy of the Commons. In: Science, 1968, 162. Jg., Nr. 3859, S. 1243-1248.
- Hattingh, Christina und Tim Szigeti:** [End-to-End QoS] End-to-End QoS Network Design. Quality of Service in LANs, WANs, and VPNs. Best-practice QoS designs for protecting voice, video, and critical data while mitigating network denial-of-service attacks. Indianapolis 2005.
- Hau, Thorsten und Walter Brenner:** [Price Setting] Price Setting in Two-Sided Markets for Internet Connectivity. In: ICQT 2009, LNCS 5539, Network Economics for Next Generation Networks. Hrsg. von P. Reichl, B. Stiller und B. Tuffin. Berlin, Heidelberg 2009 S. 61-71.
- Hauke, Wolfgang und Otto Opitz:** [Mathematische Planung] Mathematische Unternehmensplanung. Eine Einführung. 2. Aufl., Norderstedt 2003.
- Hax, Herbert:** [Investitionstheorie] Investitionstheorie. 5. Aufl., Heidelberg 1993.
- Hayel, Yezekael und Bruno Tuffin:** [Pricing] Pricing for heterogeneous services at a discriminatory processor sharing queue. In: Networking 2005. Networking Technologies, Services, and Protocols; Performance of Computer and Communication Networks; Mobile and Wireless Communications Systems. 4th International IFIP-TC6 Networking Conference Waterloo, Canada, May 2-6, 2005 Proceedings. Lecture Notes in Computer Science, Volume 3462. Hrsg. von R. Boutaba et al. Berlin, Heidelberg, 2005, S. 816-827 .
- Hayel, Yezekael und Bruno Tuffin:** [Cumulus] A mathematical analysis of the cumulus pricing scheme. In: Computer networks, 2005, 47. Jg., Nr. 6, S. 907-921.
- Hayel, Yezekael, David Ross und Bruno Tuffin:** [Pricing] Less-than-best-effort services: Pricing and scheduling. In: INFOCOM 2004. Twenty-third Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. IEEE, 2004.
- He, Huan, Ke Xu, and Ying Liu:** [Pricing] Internet resource pricing models, mechanisms, and methods. In: Networking Science, 2012, 1. Jg., Nr. 1-4, S. 48-66.

- Hedtstück**, Ulrich: [Simulation] Simulation diskreter Prozesse. Berlin, Heidelberg 2013.
- Heidemann**, Julia, Nora **Kamprath** und Quirin **Görz**: [Customer Lifetime Value] Customer Lifetime Value: Entwicklungspfade, Einsatzpotenziale und Herausforderungen. In: Journal für Betriebswirtschaft, 2009, 59. Jg., Nr. 4, S. 183-199.
- Heidenreich**, Sven, Frank **Huber** und Johannes **Vogel**: [Flatrates] Flatrates und die Faszination grenzenlosen Konsums. Eine empirische Studie in der Mobilfunkbranche. Wiesbaden 2008.
- Heidenreich**, Sven und Katrin **Talke**: [Flatrate-Bias] Tarifwahl-Anomalien bei optionalen Mobilfunktarifen - Eine Analyse der Ursachen von Flatrate-Präferenz und Flatrate-Bias. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 64 (Mai), S. 280-307.
- Heidepriem**, Jürgen: [Prozessinformatik] Prozessinformatik 1. Grundzüge der Informatik. München 2000.
- Heinanen**, Juha et al.: [RFC 2597] Assured Forwarding PHB Group. 1999. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2f4d9FE>
- Heinrich**, Gert und Jürgen **Grass**: [Operations Research] Operations Research in der Praxis. München 2006.
- Heitmann**, Nina: [Stochastische Optimierung] Modellierung von Investitionsentscheidungen und Kraftwerksplanung unter Unsicherheit mittels stochastischer Optimierung und Multi-Agenten-Ansatz am Beispiel des deutschen Strommarkts. Dissertation Regensburg, Garching 2010. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2f0hhZt>
- Heitsch**, Holger: [Optimierungsprobleme] Stabilität und Approximation stochastischer Optimierungsprobleme. Dissertation, Berlin 2007. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2f0JNKA>
- Held**, Gilbert: [Quality] Quality of Service in a Cisco networking environment. West Sussex 2002.
- Henderson**, Tristan, Jon **Crowcroft** und Saleem **Bhatti**: [Congestion Pricing] Congestion Pricing. Paying your way in communication networks. In: IEEE Internet Computing, 2001, 5. Jg., Nr. 5, S. 85-89.
- Hendershott**, Terrence (Hrsg.): [Economics] Economics and Information Systems. Amsterdam 2006.

- Henn**, Hans-Wolfgang: [Geometrie] Elementare Geometrie und Algebra: Basiswissen Für Studium und Mathematikunterricht. Wiesbaden 2003.
- Hering**, Ekbert, Klaus **Bressler** und Jürgen **Gutekunst**: [Elektronik] Elektronik für Ingenieure und Naturwissenschaftler. 3. Aufl., Berlin, Heidelberg 2005.
- Hering**, Ekbert und Karl-Heinz **Molder** (Hrsg.): [Kommunikationstechnik] Grundwissen des Ingenieurs. 14. Aufl., München 2007.
- Hershberger**, John und Subhash **Suri**: [Vickrey] Vickrey pricing in network routing: Fast payment computation. In: Proc. of the 42nd IEEE Symposium on Foundations of Computer Science, 2001, S. 252-259.
- Herter**, Eberhard und Wolfgang **Lörcher**: [Nachrichtentechnik] Nachrichtentechnik. Übertragung, Vermittlung, Verarbeitung. 9. Aufl., München, Wien 2004.
- Heyde**, C. C. und E. **Seneta** (Hrsg.): [Statistics] Statisticians of the Centuries. New York 2001.
- Hilfer**, Rudolf: [Modelle] Stochastische Modelle für die betriebliche Planung. Göttingen 1984.
- Hilke**, Wolfgang: [Dienstleistung] Grundprobleme und Entwicklungstendenzen des Dienstleistungs-Marketing. In: Dienstleistungs-Marketing. Banken und Versicherungen – Freie Berufe – Handel und Transport – Nicht-erwerbswirtschaftlich orientierte Organisationen. Schriften zur Unternehmensführung, Band 35. Wiesbaden 1989, S. 5-44.
- Hillier**, Frederic S. und Gerald J. **Lieberman**: [Operations Research] Introduction to Operations Research. 7. Aufl., München, Wien 2002.
- Hippner**, Hajo: [CRM] CRM - Grundlagen, Ziele und Konzepte. In: Grundlagen des CRM. Hrsg. von H. Hippner und K. D. Wilde. Wiesbaden, 2006. S. 15-44.
- Hofstede**, Geert, et al.: [Goals] What goals do business leaders pursue? A study in fifteen countries. In: Journal of International Business Studies, 2002, S. 785-803.
- Hofstetter**, Reto und Klaus M. **Miller**: [Precision Pricing] Precision Pricing. Measuring Consumers' Willingness to Pay Accurately. Norderstedt 2009.
- Homburg**, Christian und Ruth **Stock-Homburg**: [Diskonfirmationsparadigma] Theoretische Perspektiven zur Kundenzufriedenheit. In: Kundenzufriedenheit. Konzepte – Methoden – Erfahrungen. Hrsg. von C. Homburg. Wiesbaden 2006, S. 17-51.

- Homburg**, Christian, Annette **Giering** und Frederike **Hentschel**: [Kundenzufriedenheit] Der Zusammenhang zwischen Kundenzufriedenheit und Kundenbindung. In: Die Betriebswirtschaft, 1999, 59. Jg., S. 174-195.
- Homburg**, Christian, Nicole **Koschate** und Wayne D. **Hoyer**: [Customer Satisfaction] Do Satisfied Customers Really Pay More? A Study of the Relationship between Customer Satisfaction and Willingness to Pay. In: Journal of Marketing, 2005, 69. Jg., Nr. 2, S. 84-96
- Homburg**, Christian, Viviana V. **Steiner** und Dirk **Totzek**: [Portfolio] Managing dynamics in a customer portfolio. In: Journal of Marketing, 2009, 73. Jg., Nr. 5, S. 70-89.
- Horrigan**, John B.: [Typology] A typology of information and communication technology users. Pew Internet Report. Washington, 2007.
- Horsch**, Jürgen: [Kostenrechnung] Kostenrechnung. Klassische und neue Methoden in der Unternehmenspraxis. Wiesbaden 2010.
- Horváth**, Peter: [Controlling] Controlling. 12. Aufl., München 2011.
- Hunkel**, Markus: [Preisdifferenzierung] Segmentorientierte Preisdifferenzierung für Verkehrsdienstleistungen. Ansätze für ein optimales Fencing. Wiesbaden 2001.
- Hunt**, Craig: [TCP/IP] TCP/IP-Netzwerk-Administration. 3. Aufl., Köln 2003.
- Hutzschenreuter**, Thomas: [Betriebswirtschaftslehre] Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. Grundlagen mit zahlreichen Praxisbeispielen. 3. Aufl., Wiesbaden 2009.
- IANA (Internet Assigned Numbers Authority)**: [Homepage] <http://www.iana.org/>
- Ickin**, Selim et al: [Effects] The effects of packet delay variation on the perceptual quality of video. In: Local Computer Networks (LCN), 2010 IEEE 35th Conference on. IEEE, 2010. S. 663-668.
- Initiative Europäischer Netzbetreiber** (Hrsg.): [Kommentierung] Analytisches Kostenmodell für das Breitbandnetz 2010. Studie für die Bundes Netz Agentur. Stellungnahme der Initiative Europäischer Netzbetreiber. Online (letzter Zugriff: 22.10.2012): <http://bit.ly/2f4b64D>
- Informationstechnische Gesellschaft (ITG)** (Hrsg.): [Verkehr] Begriffe der Nachrichtenverkehrslehre. ITG-Fachgruppe 5.2.1. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2fmz5iN>
- Inman**, J. Jeffrey, James S. **Dyer** und Jianmin **Jia**: [Regret] A generalized utility model of disappointment and regret effects on post-choice valuation. In: Marketing Science, 1997, 16. Jg., Nr. 2, S. 97-111.

International Engineering Consortium (Hrsg.): [Broadband] The Business of Broadband. Access and Applications: Business Strategies, Broadband Technologies, and Network Operations. Chicago, Illinois 2002.

Informationstechnische Gesellschaft (Hrsg.): [Nachrichtenverkehrstheorie] Begriffe der Nachrichtenverkehrstheorie. ITG-Fachgruppe 5.2.1. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2fmz5iN>

International Telecommunication Union (ITU) (Hrsg.): [Pricing] IP- based networks. Pricing of telecommunication services. Final Report Programme 4.1, Activity 4335 of the Operational Plan VAP 2002. Januar 2003.

International Telecommunication Union (ITU) (Hrsg.): [Quality of Service] Definitions of terms related to quality of service. In: Series E: Overall Network Operation, Telephone Service, Service Operation and Human Factors. Quality of telecommunication services: concepts, models, objectives and dependability planning - Terms and definitions related to the quality of telecommunication service. ITU-T Recommendation E.800, 09/2008 (Stand: 28.07.2012).

International Telecommunication Union (ITU) (Hrsg.): [QoS Parameters] Quality of Service Parameters for supporting service aspects. In: Series E: Overall Network Operation, Telephone Service, Service Operation and Human Factors. Quality of telecommunication services: concepts, models, objectives and dependability planning - Terms and definitions related to the quality of telecommunication service. ITU-T Recommendation E.800, 09/2008. (Stand: 28.07.2012).

International Telecommunication Union (ITU) (Hrsg.): [Service Quality Agreements] Framework for Service Quality Agreements. In: Series E: Telephone, Network and ISDN. Quality of service, network management and traffic engineering – Quality of telecommunication services: concepts, models, objectives and dependability planning – Terms and definitions related to the quality of telecommunication services. ITU-T Recommendation E.801, 10/1996. (Stand: 28.07.2012).

International Telecommunication Union (ITU) (Hrsg.): [Transmission Systems] One-way transmission time. In: Series G: Transmission Systems and Media, Digital Systems and Networks. International telephone connections and circuits – General Recommendations on the transmission quality for an entire international telephone connection. ITU-T Recommendation G.114, 11/2009. (Stand: 28.07.2012).

International Telecommunication Union (ITU) (Hrsg.): [Communications] Communications quality of service: A framework and definitions. In: Series G: Transmission

Systems and Media, Digital Systems and Networks. Quality of Service and performance. ITU-T Recommendation G.1000, 11/2001. (Stand: 28.07.2012).

International Telecommunication Union (ITU) (Hrsg.): [End-User] End-user multimedia QoS categories. In: Series G: Transmission Systems and Media, Digital Systems and Networks. Quality of Service and performance. ITU-T Recommendation G.1010, 11/2001. (Stand: 28.07.2012).

International Telecommunication Union (ITU) (Hrsg.): [Information Infrastructure] Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters. In: Series Y: Global Information Infrastructure, Internet Protocol Aspects and Next-Generation Networks. Internet protocol aspects – Quality of service and network Performance. ITU-T Recommendation Y.1540, 03/2011. (Stand: 28.07.2012).

International Telecommunication Union (ITU) (Hrsg.): [Network Performance] Network Performance objectives for IP-based services. In: Series Y: Global Information Infrastructure, Internet Protocol Aspects and Next-Generation Networks. Internet protocol aspects – Quality of service and network Performance. ITU-T Recommendation Y.1541, 12/2011. (Stand: 12.09.2012).

International Telecommunication Union (ITU) (Hrsg.): [General Overview] General overview of NGN. In: Series Y: Global Information Infrastructure, Internet Protocol Aspects and Next-Generation Networks. Next Generation Networks – Frameworks and functional architecture models. ITU-T Recommendation Y.2001, 12/2004. <http://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2001-200412-l/en>, (Stand: 28.07.2012).

Iyengar, Raghuram und Sunil **Gupta**: [Pricing] Nonlinear Pricing. In: Handbook of Pricing Research in Marketing. Hrsg. von V. R. Rao. Cheltenham 2010, S. 355-383.

Jacob, und **Jacob**: [Preisdifferenzierung] Preisdifferenzierung bei willkürlicher Teilung des Marktes und ihre Verwirklichung mit Hilfe der Produktdifferenzierung. In: Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik, 1/1972, S. 1-46.

Jacobson, Van, Kethleen **Nichols** und Kedarnath **Poduri**: [RFC2598] An Expedited Forwarding PHB. 1999. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2f4bboS>

Jaeck, Horst-Florian Teja: [Wertorientiertes] Wertorientiertes Management von Kundenbeziehungen. Berechnung des Customer Lifetime Value und Einsatz als Steuerungsgröße im CRM. Hamburg 2011.

Jah, Sanjay und Mahbub **Hassan**: [Engineering] Engineering Internet QoS. Norwood 2002.

- Jain**, Dipak und Siddhartha S. **Singh**: [Customer Lifetime Value] Customer lifetime value research in Marketing: A review and future directions. In: Journal of interactive Marketing, 2002, 16. Jg., Nr. 2, S. 34-46.
- Jain**, Ravi, Tracy **Mullen** und Robert **Hausman**: [PMP-Analyse] Analysis of Paris Metro pricing strategy for QoS with a single service provider. In: 9th International Workshop on Quality of Service– IWQoS 2001 Proceedings. Hrsg. von: L. Wolf, D. Hutchison und R. Steinmetz. Berlin, Heidelberg, 2001. S. 44-58.
- Jay**, Stephan und Thomas **Plückebaum**: [QoS] Strategien zur Realisierung von Quality of Service in IP-Netzen. Bad Honnef 2008.
- Jay**, Stephan et al.: [Next Generation] Next generation bitstream access. WIK Report for the Commission for Communications Regulation (ComReg). Bad Honnef 2007. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2dUKVQ9>
- Jerenz**, André: [Revenue] Revenue Management and Survival Analysis in the Automobile Industry. Hamburg 2008.
- Jin**, Nan und Scott **Jordan**: [Priority Pricing] On the feasibility of dynamic congestion-based pricing in differentiated services networks. In: IEEE/ACM Transactions on Networking (TON), 2008, 16. Jg., Nr. 5, S. 1001-1014.
- Johnson**, Michael D. und Claes **Fornell**: [Satisfaction] A framework for comparing customer satisfaction across individuals and product categories. In: Journal of economic psychology, 1991, 12. Jg., Nr. 2, S. 267-286.
- Johnson**, Norman L., Adrienne **Kemp** und Samuel **Kotz**: [Discrete] Univariate Discrete Distributions. 2. Aufl., New York 1993.
- Jones**, Stephan S. (Hrsg.): [Telecommunications] The Basics of Telecommunications. 5. Aufl., Chicago 2004.
- Jung**, Hans: [Betriebswirtschaftslehre] Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. 10. Aufl., München 2006.
- Jung**, Volker und Hans Jürgen **Warneke** (Hrsg.): [Telekommunikationshandbuch] Handbuch für die Telekommunikation. 2. Aufl., Berlin 2002.
- Kaaz**, M. A.: [Formalisierung] Zur Formalisierung der Begriffe: System, Modell, Prozess und Struktur. In: Angewandte Informatik, 1972, 14. Jg., Nr. 12, S. 537-544.
- Kalbfleisch**, John D. und Ross L. **Prentice**: [Failure] The statistical analysis of failure time data. John Wiley & Sons, 2011.

- Kahneman**, Daniel und Jackie **Snell**: [Utility] Predicting utility. In: Insights in decision making. A tribute to Hillel J. Einhorn. Hrsg. von R. M. Hogarth. Chicago 1990, S. 295-310.
- Kalló**, Noémi und Tomás **Koltai**: [Modelling] Increasing Customer Satisfaction in Queuing Systems with Rapid Modelling. In: Rapid Modelling and Quick Response. Intersection of Theory and Practice. Hrsg. von G. Reiner. London 2010, S. 119-130.
- Kammermann**, Markus: [Network Plus] ComTIA Network+. Fundierter Einstieg in das Thema Netze. Erläuterung aller Prüfungsthemen (N10-004). Mit aktuellen Vorbereitungsfragen zu jedem Thema. Heidelberg et al. 2010.
- Karagannis**, Thomas et al.: [Nonstationary] A Nonstationary Poisson View of Internet traffic. INFOCOM 2004. Twenty-third Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, 2004, 23. Jg., S. 1558-1569.
- Kasap**, Nihat, Berna Tektas **Sivrikaya** and Dursun **Delen**: [Pricing Strategies] Optimal pricing strategies for capacity leasing based on time and volume usage in telecommunication networks. Decision Sciences, 2013, 44. Jg., Nr. 1, S. 161-191.
- Kasera**, Sumit: [ATM Networks] ATM Networks. Concepts and Protocols. 2. Aufl., New Delhi 2008.
- Kauffman**, Stuart A.: [Origins] The Origins of Order. Self organization and self selection in evolution. New York, 1993.
- Keall**, Chris: [TelstraClear] TelstraClear calls limitless weekend 'very successful', InternetNZ 'disastrous'. The National Business Review. 5. Jg., 5. Dezember, 2011. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2eLUiRt>
- Keller**, Andreas: [Breitbandkabelnetz] Breitbandkabel und Zugangsnetze. Technische Grundlagen und Standards. 2. Aufl., Berlin 2011.
- Kelly**, Frank P.: [Effektive Bandwidth] On tariffs, policing and admission control for multiservice networks. In: Operations Research Letters, 1994, 15. Jg., Nr. 1, S. 1-9.
- Kelly**, Frank P.: [Charging] Charging and rate control for elastic traffic. In: European transactions on Telecommunications, 1997, 8. Jg., Nr. 1, S. 33-37.
- Kelly**, Frank P.: [Multi-Class Queues] Effective bandwidths at multi-type queues. In: Queueing Systems, 1991, 9. Jg., Nr.1-2, S. 5-15.
- Kelly**, Frank P., Aman K. **Maulloo** and David KH **Tan**: [Communication Networks] Rate control for communication networks: shadow prices, proportional fairness and

- stability. In: Journal of the Operational Research Society, 1998, 49. Jg., Nr. 3, S. 237-252.
- Kempf, Stefan Siebert** Gunnar und Oliver **Maßalski**: [Benchmarking] Benchmarking. Leitfaden für die Praxis. 3. Aufl., München 2008.
- Keon, Neil** und G. Anand **Anandalingam**: [Pricing] A New Pricing Model for Competitive Telecommunication Services Using Congestion Discounts. In: INFORMS Journal on Computing, 2005, 17. Jg., Nr. 2, S. 248-262.
- Kesidis, George, A. Das** und Gustavo **de Veciana**: [Usage-Based] On flat-rate and usage-based pricing for tiered commodity Internet services. In: 42nd IEEE Annual Conference on Information Sciences and Systems, 2008, 42. Jg., S. 304-308.
- Keuter, Maria, Martin Salaschek** and Meinald T. **Thielsch**: [Typologisierung] Typologie der deutschen Onlinebevölkerung. In: Mensch & Computer. 2012, S. 325-328.
- Kheir, Naim A.**: [Simulation] Systems Modeling and Computer Simulation. 2. Aufl., New York 1996.
- Kiefer, Roland**: [Quality of Service] Multimedia-Netze. In: Kompendium Medieninformatik. Mediennetze. Hrsg. von R. Schmitz et al.. Berlin, Heidelberg 2006, S. 126-182.
- Kilian, Thomas, Berthold H. Hass** und Gianfranco **Walsh**: [Web 2.0] Grundlagen des Web 2.0. In: Web 2.0. Neue Perspektiven für Marketing und Medien. Hrsg. von T. Kilian, H. B. Hass und G. Walsh. Berlin, Heidelberg 2008, S. 3-22.
- Killat, Ulrich**: [Kommunikationsnetze] Entwurf und Analyse von Kommunikationsnetzen. Wiesbaden 2011.
- Kim, Moon-Koo, Myeong-Cheol Park** und Dong-Heon **Jeong**: [Loyalty] The effects of customer satisfaction and switching barrier on customer loyalty in Korean mobile telecommunication services. In: Telecommunications Policy, 2004, 28. Jg., Nr. 2, S. 145-159.
- Kim, Namwoon, Vijay Mahajan** und Rajendra K. **Srivastava**: [Market Value] Determining the going market value of a business in an emerging information technology industry: The case of the cellular communications industry. In: Technological Forecasting and Social Change, 1995, 49. Jg., Nr. 3, S. 257-279.
- Kimms, Alf** und Robert **Klein**: [] Revenue Management im Branchenvergleich. In: ZfB – Special Issue 1/2005, Revenue Management. Hrsg. von G. Fandel und H. B. von Portatius. Wiesbaden 2005, S. 1-30.

- Klaus, Samuel:** [Deregulierung] DeRegulierung der netzbasierten Infrastruktur. Identifikation und Analyse von Lenkinstrumenten im Rahmen von De-/Regulierungsvorgängen in Primärinfrastruktursektoren. Norderstedt 2009.
- Kleiber, Christian und Samuel Kotz:** [Size Distributions] Statistical Size Distributions in Economics and Acuarial Sciences. Hoboken 2003.
- Klein, Robert:** [Conjoint-Analyse] Die Conjoint-Analyse. Eine Einführung in das Verfahren mit einem Ausblick auf mögliche sozialwissenschaftliche Anwendungen. In: Zentralarchiv für Empirische Sozialforschung, 2002, 50. Jg., Nr. 1, S. 7-45.
- Klein, Robert und Claudius Steinhardt:** [Revenue Management] Revenue Management. Grundlagen und Mathematische Methoden. Berlin / Heidelberg 2008.
- Kleinrock, Leonard:** [Information Flow] Information Flow in Large Communication Nets. In: RLE Quarterly Progress Report. Massachusetts Institute of Technology, July 1961. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2fwbbAE>
- Klemperer, Paul:** [Auctions] Auctions. Theory and Practice.
- Knieps, Günter:** [Pricing] Costing und Pricing in Netzindustrien. In: Schriftenreihe der Deutschen Verkehrswissenschaftlichen Gesellschaft. Investitionsentscheidungen und Kostenmanagement in Netzindustrien. Berlin 2003, S. 7-25
- Knieps, Günter:** [Netzökonomie] Netzökonomie. Grundlagen, Strategien, Wettbewerbspolitik. Wiesbaden 2007.
- Knieps, Günter:** [Wettbewerbsökonomie] Wettbewerbsökonomie. Regulierungstheorie, Industrieökonomie, Wettbewerbspolitik. 3. Aufl., Berlin et al. 2008.
- Knieps, Günter:** [Preisregulierung] Aktuelle Vorschläge zur Preisregulierung natürlicher Monopole. In: Diskussionsbeiträge, Universität Freiburg i. Br., Institut für Verkehrswissenschaft und Regionalpolitik, No. 105, 2005. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2eei2No>
- Koch, Helmut:** [Kostenrechnung] Grundprobleme der Kostenrechnung. Köln, Opladen 1966.
- Köhler, Clemens und Daniel Henkel:** [Netzneutralität] Partnerschaft für Netzneutralität. Neue Geschäftsmodelle ermöglichen die Monetarisierung der Netze. Detecon Management Report, Onlineportal, 2010, 11. Jg.
- König, Hartmut:** [Protocol Engineering] Protocol Engineering. Prinzip, Beschreibung und Entwicklung von Kommunikationsprotokollen. Wiesbaden 2003.

- Körber**, Torsten: [Novelle] TKG-Novelle 2011. Breitbandausbau im Spannungsfeld von Europäisierung, Regionalisierung und Netzneutralität. In: MMR, Multimedia und Recht, 2011, 14. Jg., Nr. 4, S. 215-221.
- Koffman**, Kerry G. und Andrew M. **Odlyzko**: [Moore's Law] Internet growth: Is there a "Moore's Law" for data traffic? In: Handbook of massive data sets, Vol. 4. Hrsg. von J. Abello, P. M. Pardalos und M. G. C. Resende. Dordrecht, 2002. S. 47-93.
- Kofler**, Michael und Ralf **Nebelo**: [Excel] Excel Programmieren. Abläufe automatisieren, Apps und Anwendungen entwickeln mit Excel 2007 bis 2013. München 2014.
- Kohlas**, Jürg: [Methoden] Stochastische Methoden des Operations Research. Stuttgart 1977.
- Kontek**, Krzysztof: [Decision Utility Theory] Decision Utility Theory: Back to von Neumann, Morgenstern, and Markowitz. Munich Personal RePEc Archive, München 2010. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2e5gjGQ>
- Koskinen**, Henri: [PMP] Paris Metro Pricing. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2dUKNQM>
- Kota**, Sastri L, **Palhavan**, Kaveh und Pentti A. **Leppänen**: [Broadband] Broadband Satellite Communications for Internet Access. Boston et al. 2003.
- Kozierok**, Charles M.: [TCP/IP] The TCP/IP-Guide. A comprehensive, Illustrated Internet Protocols Reference. San Francisco 2005.
- Kramer**, Glen and Gerry **Pesavento**: [Ethernet] Ethernet passive optical network (EPON): building a next-generation optical access network. In: IEEE Communications Magazine, 2002, 40. Jg, Nr. 2, S. 66-73.
- Kreiß**, Jens-Peter und Georg **Neuhaus**: [Zeitreihenanalyse] Einführung in die Zeitreihenanalyse. Berlin, Heidelberg 2006.
- Kridel**, Donald J., Dale E. **Lehman** und Dennis L. **Weisman**: [Option Value] Option value, telecommunications demand, and policy. Information Economics and Policy, 1993, 5. Jg., Nr. 2, S. 125-144.
- Kroese**, Dirk P., Thomas **Taimre** und Zdravko I. **Botev**: [Monte Carlo Methods] Handbook of Monte Carlo Methods. Hoboken 2011.
- Kruse**, Jörn: [Internet-Überlast] Internet-Überlast, Netzneutralität und Service-Qualität. In: Wirtschaftsdienst, 2008, 88. Jg., Nr. 3, S. 188-194.
- Kruse**, Jörn: [Network Neutrality] Network Neutrality and Quality of Service. In: Intereconomics, 2008, 43. Jg., Nr. 1, S. 25-30.

- Kühling**, Jürgen und Alexander **Elbracht**: [Kommunikationsrecht] Kommunikationsrecht. Heidelberg et al. 2008.
- Kühn**, Paul J.: [Next Generation Networks] Entwicklungen zum Next Generation Network. In: DFN Tagungsband. Heilbronn 2006
- Küll**, Roland und Paul **Stähly**: [Simulation] Zur Planung und effizienten Abwicklung von Simulationsexperimenten. In: Simulation als betriebliche Entscheidungshilfe. State of the Art und neue Entwicklungen. Hrsg. von J. Biethahn et al. Heidelberg 1999, S. 1-21.
- Küpper**, Hans-Ulrich: [Unternehmensrechnung] Unternehmensplanung und -steuerung mit pagatorischen oder kalkulatorischen Erfolgsrechnungen? In: Zeitschrift für Betriebswirtschaftliche Forschung, Sonderheft 34. Unternehmensrechnungen als Instrument der internen Steuerung. Hrsg. von T. Schildbach und F. W. Wagner. 1995, S. 19-50.
- Kütting**, Karlheinz und Claus-Peter **Weber**: [Bilanzanalyse] Die Bilanzanalyse. Beurteilung von Abschlüssen nach HGB und IFRS. 10. Aufl., Stuttgart 2010.
- Kütting**, Herbert und Martin J. **Sauer**: [Stochastik] Elementare Stochastik. Mathematische Grundlagen und didaktische Konzepte.
- Küveler**, Gerd und Dietrich **Schwoch**: [Informatik] Informatik für Ingenieure und Naturwissenschaftler 2. PC- und Mikrocomputertechnik, Rechnernetze. 5. Aufl., Wiesbaden 2007.
- Kuhn**, Johannes: [Netzneutralität] Amerikas angezählte Netzneutralität. Freies Internet. Sueddeutsche.de, 2. April 2014, <http://sz.de/1.1927624>.
- Kumaran**, Krishnan und Michel **Mandjes**: [Traffic Streams] Multiplexing regulated traffic streams. Design and performance. In: INFOCOM 2001 Proceedings. Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, 1. Jg., S. 527-536. Online (letzter Zugriff; 31.10.2016): <http://bit.ly/2f90DDs>
- Kuo**, Ying-Feng, Chi-Ming **Wu** und Wei-Jaw **Deng**: [Post-Purchase] The relationships among service quality, perceived value, customer satisfaction, and post-purchase intention in mobile value-added services. In: Computers in Human Behavior, 2009, 25. Jg., Nr. 4, S. 887-896.
- Kurose**, James F. und Keith W. **Ross**: [Computernetzwerke] Computernetzwerke: der Top-Down-Ansatz. 4. Aufl., München 2008.

- Kwok**, Yu-Kwong Ricky und Vincent K.N. **Lau**: [Mobile Computing] Wireless Internet and Mobile Computing. Hoboken 2007.
- LaBarbera**, Priscilla A. und David **Mazursky**: [Dynamic] A longitudinal assessment of consumer satisfaction/dissatisfaction: the dynamic aspect of the cognitive process. In: Journal of Marketing Research, 1983, 20. Jg., Nr. 4, S. 393-404.
- Labbi**, Abderahim et al.: [Customer Equity] Customer Equity and Lifetime Management. Finnair Case Study. Hrsg. von IBM Research GmbH. Rueschlikon. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2f0esYe>
- Lam**, Shun Yin et al.: [Loyalty] Customer value, satisfaction, loyalty, and switching costs: an illustration from a business-to-business service context. In: Journal of the Academy of Marketing Science, 2004, 32. Jg., Nr. 3, S. 293-311.
- Lambrecht**, Anja und Brend **Skiera**: [Ursachen] Ursachen eines Flatrate-Bias – Systematisierung und Messung der Einflussfaktoren. 2006. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2f4iFYV>
- Lange**, Christoph: [Energieverbrauch] Energieverbrauch von Telekommunikationsnetzen und Möglichkeiten zu dessen Reduzierung. ITG-Fachbericht-Photonische Netze, 2010.
- Larisch**, Dirk: [Netzwerktechnik] Netzwerktechnik. Das Einsteigerseminar Netzwerktechnik. 3. Aufl., Heidelberg et al. 2010.
- Laux**, Helmut: [Unternehmensführung] Wertorientierte Unternehmensführung und Kapitalmarkt. Fundierung von Unternehmenszielen und Anreize für ihre Umsetzung. Berlin, Heidelberg 2003.
- Laux**, Helmut: [Unternehmensziele] Bedingungen der Anreizkompatibilität, Fundierung von Unternehmenszielen und Anreize für deren Umsetzung, Working Paper Series: Finance & Accounting, Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt a. M., No. 80. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2eTzRj9>
- Laux** Helmut, Robert M. **Gillenkirch** und Heike Y. **Schenk-Mathes**: [Entscheidungstheorie] Entscheidungstheorie. 9. Aufl., Berlin, Heidelberg 2014.
- Law**, Averill M.: [Simulation] Simulation Modeling and Analysis. International Edition. 5. Aufl., New York 2015.
- Lazar**, Aurel A. und Nemo **Semret**: [Second Price Auction] The progressive second price auction mechanism for network resource sharing. In: 8th International

- Symposium on Dynamic Games, Maastricht, 1998. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2f91LqK>
- Le Boudec**, Jean-Yves und Patrick **Thiran**: [Network] Network Calculus. A Theory of Deterministic Queuing Systems for the Internet. Berlin, Heidelberg 2001.
- L'Ecuyer**, Pierre: [Random] Random number generation. Papers / Humboldt-Universität Berlin, Center for Applied Statistics and Economics (CASE), Nr. 2004,21. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2f9wbZF>
- Lehmann**, Armin, Ulrich **Trick** und Steffen **Oehler**: [NGN] NGN und Mehrwertdienste. Herausforderungen und Chancen. In: NTZ – Zeitschrift für Informations- und Kommunikationstechnik (Heft 6) 2006. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2fwcRu0>
- Leland**, Will E. et al.: [Self-Similarity] On the Self-Similarity Nature of Ethernet Traffic (Extended Version). In: IEEE/ACM Transactions on Networking, 1994, 2. Jg., Nr. 1, S. 1-15.
- Leland**, Will E. und D. V. **Wilson**: [Measurement] High time-resolution measurement and analysis of LAN traffic. Implications for LAN interconnection. In: Proc. IEEE INFOCOM 91, Bal Harbout, S. 1360-1366.
- Lenard**, Thomas M. und Randolph J. **May** (Hrsg.): [Net Neutering] Net Neutrality or Net Neutering. Should Broadband Internet Services Be Regulated. Berlin 2006.
- Li**, Shuqin, and Jianwei **Huang**: [Pricing] Price Differentiation for Communication Networks. to appear, IEEE Trans. Networking, 2013. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2fwd00D>
- Li**, Jiao et al.: [New Architecture] New Architecture of IP QOS Management Systems. In: Journal of Electronics, 2006, 23. Jg., Nr. 4, S. 580-583.
- Libai**, Barak, Das **Narayandas** and Clive **Humby**: [Customer Segment Value] Toward an Individual Customer Profitability Model A Segment-Based Approach. Journal of Service Research, 2002, 5. Jg., Nr. 1, S. 69-76.
- Lindberger**, Karl: [Balancing] Balancing quality of service, pricing and utilization in multiservice networks with stream and elastic traffic. In: Proceedings of the 16th International Teletraffic Congress. Edinburgh, 1999, 16. Jg., S. 1127-1136.
- Lipp**, Manfred: [MPLS] VPN – Virtuelle Private Netzwerke. Aufbau und Sicherheit. München 2001.

- Lissautzki**, Marius: [Kundenwert-Controlling] Kundenwert-Controlling: Telekommunikationsdienstleister kundenorientiert steuern. In: Controlling & Management (ZfCM), 2005, 49. Jg., Sonderheft 2, S. 84-92.
- Liu**, Chung-Tzer, Yi Maggie **Guo** und Chia-Hui **Lee**: [Switching] The effects of relationship quality and switching barriers on customer loyalty. In: International Journal of Information Management, 2011, 31. Jg., Nr. 1, S. 71-79.
- Liu**, Hai, Nirwan **Ansari** und Yun Q. **Shi**: [Broad Communications] MPEG Video traffic Models: Sequentially Modulated Self-Similar Processes. In: Broadband Communications. Convergence of Network Technologies. Hrsg. von D.H.K. Tsang und P.J. Kühn. IFIP TC6.2, Fifth International Conference on Broadband Communications, November 1999, Hong Kong, S. 62-72.
- Lorenz-Meyer**, Dirk: [Dienstleistung] Management industrieller Dienstleistungen. Wiesbaden 2004.
- Loshin**, Pete: [TCP/IP] TCP/IP clearly explained. 4. Aufl., San Francisco 2003.
- Louviere**, Jordan J.: [Decision Making] Analyzing decision making. Metric conjoint analysis. No. 67. Newbury Park et al., 2009.
- Low**, Steven H. und David E. **Lapsley**: [Basic Algorithm] Optimization flow control—I: basic algorithm and convergence. In: IEEE/ACM Transactions on Networking (TON), 1999, 7. Jg., Nr. 6, S. 861-874.
- Luce**, Mary F.: [Consumption Quantity] Buying More Than We Can Use: Factors Influencing Forecasts of Consumption Quantity. In: Advances in Consumer Research, 1992, 19. Jg., Nr. 1, S. 584-588.
- Luenberger**, David G. und Yinyu **Ye**: [Nonlinear Programming] Linear and Nonlinear Programming. 3. Aufl., New York 2008
- Luntovskyy**, Andriy, Dietbert **Gütter** und Igor **Melnyk**: [Planung] Planung und Optimierung von Rechnernetzen. Methoden, Modelle, Tools für Entwurf, Diagnose und Management im Lebenszyklus von drahtgebundenen und drahtlosen Rechnernetzen. Wiesbaden 2012.
- MacKie-Mason**, Jeffrey K., Liam **Murphy** und John **Murphy**: [Responsive] Responsive pricing in the Internet. In: Internet economics. Hrsg. von L. W. McKnight und J. P. Bailey. Cambridge 1997, S. 279-303.

- MacKie-Mason**, Jeffery K. und Hal R. **Varian**: [FAQ] Some FAQs about usage-based pricing. In: Computer Networks and ISDN Systems, 1995, 28. Jg., Nr. 1, S. 257-265. Auch online verfügbar (letzter Aufruf: 31.10.2016): <http://bit.ly/2eTylZ0>
- MacKie-Mason**, Jeffery K. und Hal R. **Varian**: [Pricing] Pricing the Internet. In: Public access to the Internet. Hrsg. von B. Kahin and J. Keller. 2. Aufl., Boston 1996, S. 269-314.
- Majumdar**, Sumit Kumar, Martin **Cave** und Ingo **Vogelsang** (Hrsg.): [Telecommunication Economics] Handbook of Telecommunications Economics: Technology evolution and the Internet. 2. Aufl., Amsterdam 2005.
- Makinia**, Jacek: [Simulation] Mathematical Modelling and Computer Simulation of Activated Sludge Systems. London 2010.
- Mandl**, Peter, Andreas **Bakomenko** und Johannes **Weiß**: [Datenkommunikation] Grundkurs Datenkommunikation. TCP/IP-basierte Kommunikation. Grundlagen, Konzepte und Standards. 2. Aufl., Wiesbaden 2010.
- Mandelbrot**, Benoit B.: [Fractal Geometry] The Fractal Geometry of Nature. New York 1983.
- Mandelbrot**, Benoit B. und Murad S. **Taqqu**: [Robust] Robust R/S analysis of long run serial correlations. In: Proceedings of the 42nd Session of the International Statistical Institute, Manila 1979, Book 2, S. 69-104.
- Mandelbrot**, Benoit B. und J. R. **Wallis**: [Computer experiments] Computer experiments with fractional Gaussian noises, Parts 1-3. In: Water Resources Research, 1969, 5. Jg., Nr. 1, S. 228-267.
- Mankiw**, Gregory N.: [Economics] Grundzüge der Volkswirtschaftslehre. 3. Aufl., Stuttgart 2004.
- Marbach**, Peter: [Static Priority] Analysis of a static pricing scheme for priority services. IN: IEEE/ACM Transactions on Networking (TON), 2004, 12. Jg., Nr. 2, S. 312-325.
- Martens**, Tobias von: [Revenue Management] Kundenwertorientiertes Revenue Management im Dienstleistungsbereich. Wiesbaden 2009.
- Martin**, Marcus R. W., Stefan **Reitz** und Carsten S. **Wehn**: [Risikomodelle] Kreditderivate und Kreditrisikomodelle. Eine mathematische Einführung. 2. Aufl., Wiesbaden 2014.
- Masak**, Dieter: [SOA] SOA? Serviceorientierung in Business und Software. Dordrecht 2007.

- Massy**, William F., David Bruce **Montgomery** und Donald G. **Morrison**: [Buying Behavior] Stochastic models of buying behavior. Cambridge 1970.
- Mayer**, Dorith: [Wechselverhalten] Wechselverhalten von industriellen Nachfragern. Empirische Untersuchung der Markenbindung im Industriegüterbereich. Wiesbaden 2009.
- Mayntz**, Renate: [Modellkonstruktion] Modellkonstruktion: Ansatz, Typen und Zweck. In: Formalisierte Modelle der Soziologie. Hrsg. von R. Mayntz. Neuwied am Rhein 1967.
- Mazursky**, David, Priscilla **LaBarbera** und Al **Aiello**: [Switch] When consumers switch brands. In: Psychology & Marketing, 1987, 4. Jg., Nr. 1, S. 17-30.
- McConnell**, John und Eric D. **Siegel**: [QoS Technology] Practical Service Level Management. Delivering High-Quality Web-Based Services. Measure, manage, and improve the speed and reliability of web services. Indianapolis 2004.
- McFadden**, Daniel: [Choice Behavior] Conditional logit analysis of qualitative choice behavior. In: Frontiers in Econometrics. Hrsg. von P. Zarembka. New York, London 1974, S. 105-142.
- McFadden**, Daniel: [Models] Econometric models for probabilistic choice among products. In: Journal of Business, 1980, 53. Jg., Nr. 3, 2. Teil S. 13-29.
- McGill**, Jeffrey I. und Garrett J. **Van Ryzin**: [Revenue Management] Revenue management: Research overview and prospects. In: Transportation science, 1999, 33. Jg., Nr. 2, S. 233-256.
- McHnane**, Roger: [Simulation] Computer Simulation. A Practical Perspective. San Diego 1991.
- McKnight**, Lee W. und Jahangir **Boroumand**: [Pricing] Pricing Internet services: after flat rate. In: Telecommunications Policy, 2000, 24. Jg., Nr. 6, S. 565-590.
- McKnight**, Lee W., und Jahangir **Boroumand**: [Challenges] Pricing internet services: Approaches and challenges. In: Computer, 2000, 33. Jg., Nr. 2, S. 128-129.
- Meddeb**, Aref: [Internet QoS] Internet QoS: Pieces of the Puzzle. In: IEEE Communications Magazine, 2010, 48. Jg., Nr. 1, S. 86-94.
- Medhi**, Deepankar und Karthikeyan **Ramasmy**: [Network Routing] Network Routing. Algorithms, Protocols and Architectures. San Francisco 2007.

- Meffert**, Heribert, Christoph **Burmann** und Manfred **Kirchgeorg**: [Unternehmensführung] Marketing. Grundlagen marktorientierter Unternehmensführung. 11. Aufl., Wiesbaden 2012.
- Meier**, Andreas und Henrik **Stromer**: [eBusiness] eBusiness und eCommerce. Management der digitalen Wertschöpfungskette. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg 2012.
- Meinel**, Christoph und Harald **Sack**: [WWW] WWW. Kommunikation, Internetworking, Web-Technologien. Berlin, Heidelberg 2004.
- Meinel**, Christoph und Harald **Sack**: [Kommunikation] Digitale Kommunikation: Vernetzen, Multimedia, Sicherheit. Berlin, Heidelberg 2009.
- Meintrup**, David und Stefan **Schäffler**: [Stochastik] Stochastik. Theorie und Anwendung. Berlin, Heidelberg 2005.
- Mellouk**, Abdelhamid: [End-To-End] Challenges for End-to-End Quality of Service over Heterogeneous Networks. In: Quality of Service Mechanisms In Next Generation Heterogeneous Networks. Hrsg. von A. Mellouk. London 2009, S. 1-19.
- Mertens**, Peter et al.: [Wirtschaftsinformatik] Grundzüge der Wirtschaftsinformatik. 9. Aufl., Berlin, Heidelberg 2005.
- Meyen**, Michael et al.: [Topology] The Internet in everyday life: A typology of Internet users. In: Media, Culture & Society, 2010, 32. Jg., Nr. 5, S. 873-882.
- Michel**, Stefan und Corina **Zellweger**: [Pricing] Pricing bei Dienstleistungen und Yield Management. In: Revenue Management aus der Kundenperspektive. Hrsg. von T. Tomczak, W. Heidig. Wiesbaden 2014, S. 43-62.
- Mikians**, Jakub, et al.: [Traffic Characterization] Towards a statistical characterization of the interdomain traffic matrix. In: NETWORKING, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 7290, 2012, 2. Teil, S. 111-123.
- Miller**, Mark A.: [Internet] Internet Technology Handbook. Optimizing the IP network. New Jersey 2004.
- Miller**, Philip M.: [TCP/IP] TCP/IP. The ultimate Protocol Guide. Complete 2 Volume Set. Boca Raton 2009.
- Minei**, Ina: [MPLS-DiffServ-TE] MPLS DiffServ-aware Traffic Engineering. Juniper Networks Inc. White Paper, 2004. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2f4hXeg>
- Minei**, Ina und Julian **Lucsek**: [MPLS] MPLS-Enabled Applications. Emerging Developments and New Technologies. 3. Aufl., Chichester 2011.

- Minoli, Daniel:** [VoIP] Voice over IPv6. Architectures for Next Generation Networks. Oxford 2006.
- Monroe, Kent B:** [Perceptions] Buyers' Subjective Perceptions of Price. In: Journal of Marketing Research (JMR), 1973, 10. Jg., Nr. 1, S. 70-80.
- Monroe, Kent B.:** [Pricing] Pricing. Making profitable Decisions. 3. Aufl., Boston 2003.
- Moorsel, Aad van:** Metrics for the Internet Age: Quality of Experience and Quality of Business. In: Fifth International Workshop on Performability Modeling of Computer and Communication Systems, Erlangen, 2001, S. 26-31.
- Morrison, Donald G. und David C. Schmittlein:** [NBD Model] Generalizing the NBD model for customer purchases: What are the implications and is it worth the effort? In: Journal of Business & Economic Statistics, 1988, 6. Jg., Nr. 2, S. 145-159.
- Mosler, Karl C. und Friedrich Schmid:** [Wahrscheinlichkeitsrechnung] Wahrscheinlichkeitsrechnung und schließende Statistik. 2. Aufl., Berlin, Heidelberg 2006.
- Müller, Günter, Torsten Eymann und Michael Kreutzer:** [Telematik-systeme] Telematik- und Kommunikationssysteme in einer vernetzten Wirtschaft. München, Wien, Oldenburg 2003.
- Müller-Bungert, Michael:** [Revenue Management] Revenue Management with Flexible Products. Models and Methods for the Broadcasting Industry. Berlin, Heidelberg 2007.
- Müller-Gronbach, Thomas, Erich Novak und Klaus Ritter:** [Monte Carlo-Algorithmen] Monte Carlo-Algorithmen. Berlin, Heidelberg 2012.
- Mürmann, Michael:** [Stochastische Prozesse] Wahrscheinlichkeitstheorie und stochastische Prozesse. Berlin, Heidelberg 2014.
- Mun, Youngson und Hyewon Keren Lee:** [IPv6] Understanding IPv6. New York 2005.
- Murphy, John und Liam Murphy:** [Bandwidth] Bandwidth Allocation By Pricing In ATM Networks. 1994.
- Murphy, Liam, John Murphy und Jeffrey K. MacKie-Mason:** [Smart Market] Feedback and efficiency in ATM networks. In: IEEE International Conference on Communications. ICC'96, Conference Record, Converging Technologies for Tomorrow's Applications. 1996, S. 1045-1049.
- Muth, John F.:** [Expectations] Rational expectations and the theory of price movements. In: Econometrica: Journal of the Econometric Society, 1961, 29. Jg., Nr. 3, S. 315-335.

- Myerson**, Roger B. und Mark A. **Satterthwaite**: [Mechanisms] Efficient mechanisms for bilateral trading. In: Journal of economic theory, 1983, 29. Jg., Nr. 2, S. 265-281.
- Nahmias**, Steven: [Operation Analysis] Production and Operations Analysis. 6. Aufl., Boston et al. 2009.
- Nagle**, Thomas T. und John E. **Hogan**: [Preispolitik] Strategie und Taktik in der Preispolitik. Profitable Entscheidungen treffen. 4. Aufl., München 2007.
- Nair**, Suresh K. und Ravi **Bapna**: [Yield Management] An application of yield management for internet service providers. In: Naval Research Logistics (NRL), 2001, 48. Jg., Nr. 5, S. 348-362.
- Nerdinger**, Friedemann W. und Christina **Neumann**: [Kundenzufriedenheit] Kundenzufriedenheit und Kundenbindung. In: Wirtschaftspsychologie. Hrsg. von K. Moser. Heidelberg 2007, S. 127-146.
- Netflix**: [Data Usage] Online (letzter Zugriff: 08.04.2015): <http://nflx.it/1misqNb>
- Neu**, Werner und Gabriele **Kulenkampff**: [LRIC] Long-Run Incremental Cost und Preissetzung im TK-Bereich – unter besonderer Berücksichtigung des technischen Wandels. WIK Diskussionsbeitrag Nr. 323. Bad Honnef 2009.
- Neumann**, Klaus und Martin **Morlock**: [Operations Research] Operations Research. 2. Aufl., München, Wien 2002.
- Nguyen**, Thuy T.T. und Grenville J. **Armitage**: [Pricing Schemes] Evaluating Internet Pricing Schemes. A Three-dimensional visual Model. In: ETRI Journal, 2005, 27 Jg., Nr. 1, S. 64-74.
- Nichols**, Kathleen et al.: [RFC 2474] Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers. 1998. www.ietf.org/rfc/rfc2474.txt (letzter Aufruf: 13.09.2012).
- Niederreiter**, Harlad: [Monte Carlo] Random Number Generation and Quasi-Monte Carlo Methods. In: NSF-CBMS Regional Conference Series in Applied Mathematics, Band. 63. Hrsg. von: Society for Industrial and Applied Mathematics. Philadelphia 1992.
- Nita**, H. Shah, Ravi M. **Gor** und Hardik **Soni**: [Operations Research] Operations research. 4. Aufl., New Delhi 2010.
- Niven**, Paul R.: [Balanced] Balanced Scorecard. Arbeitsbuch. 2. Aufl., Weinheim 2009.
- Nölle**, Jochen: [VoIP] Voice over IP. Grundlagen, Protokolle, Migration. 2. Aufl., Berlin 2005.

- Noergaard**, Tammy: [Embedded Systems] Embedded Systems Architecture. A Comprehensive Guide for Engineers and Programmers. Oxford 2005.
- Obermann**, Kristof und Martin **Horneffer**: [Datennetztechnologien] Datennetztechnologien für Next Generation Networks. Ethernet, IP, MPLS und andere. Wiesbaden 2009.
- Odlyzko**, Andrew M.: [Paris Metro Pricing] Paris metro pricing for the internet. In: Proceedings of the 1st ACM conference on Electronic commerce. ACM, 1999. S. 140-147.
- Odlyzko**, Andrew M.: [Traffic growth] Internet traffic growth: Sources and implications. In: Optical Transmission Systems and Equipment for WDM Networking II. Hrsg. von B. B. Dingel et al. eds., Proc. SPIE, (August) 2003, S. 1-15.
- OECD** (Hrsg.): [Pricing] Access Pricing in Telecommunications. Paris 2004.
- OECD** (Hrsg.): [Convergence] Convergence and Next Generation Networks. Ministerial Background Report. DSTI/ICCP/CISP(2007)2/Final. Seoul, 2008.
- Oehmichen**, Ekkehardt und Christian **Schröter**: [ONT] Die OnlineNutzerTypologie (ONT). In: Media Perspektiven, 2004, Nr. 8., S. 386-393.
- Olbrich**, Alfred: [Netze] Netze, Protokolle, Spezifikationen. Die Grundlagen für die erfolgreiche Praxis. Braunschweig, Wiesbaden 2003.
- Olifer**, Natalia und Victor **Olifer**: [Computer Networks] Computer Networks. Principles, Technologies and Protocols for Next Generation Networks. West Sussex 2006.
- Oliver**, Richard L.: [Disconfirmation] Effect of expectation and disconfirmation on post exposure product evaluations: An alternative interpretation. In: Journal of applied psychology, 1977, 62. Jg., Nr. 4, S. 480-486.
- Oliver**, Richard L.: [Satisfaction] Satisfaction: a behavioral perspective on the consumer. 2. Aufl., Sharpe 2010.
- Olshavsky**, Richard W. und John A. **Miller**: [Consumer Expectations] Consumer expectations, product performance, and perceived product quality. In: Journal of Marketing Research, 1972, 9. Jg., Nr. 1, S. 19-21.
- Oppenheimer**, Priscilla: [Top-Down] Top-Down Network Design. A systems analysis approach to enterprise network design. 3. Aufl., Indianapolis 2011.
- O'Reilly**, Tim: [Web 2.0 a] What is web 2.0. Zuerst veröffentlicht am 30.09.2005. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://oreil.ly/2ehSvD3>

- O'Reilly**, Tim: [Web 2.0 b] Design patterns and business models for the next generation of software. In: Communications and Strategies, 2007, 65. Jg., Nr. 1, S. 17-37.
- Ossadnik**, Wolfgang: [Controlling] Controlling. 4. Aufl., München 2009.
- Ostertag**, Ralph: [Supply-Chain-Koordination]
- Oziany**, Vitalis G., Neco **Ventura** und Eugene **Golovins**: [Pricing] A novel pricing approach to support QoS in 3G networks. In: Computer Networks, 2008, 52. Jg., Nr. 7, S. 1433-1450.
- Pan**, Wei, et al.: [Pricing] Dynamic pricing strategy of provider with different QoS levels in web service. In: Journal of Networks, 2009, 4. Jg., Nr. 4, S. 228-235.
- Panneerselvam**, R. und P. **Senethilkumar**: [Simulation] System Simulation, Modeling and Languages. Delhi 2013.
- Papadopouli**, Maria, Philippe **Owezarski** und Aiko **Pras** (Hrsg.): [Traffic Monitoring] Traffic Monitoring and Analysis. First International Workshop, TMA 2009, Aachen, Germany, May 11, 2009; proceedings. Berlin, Heidelberg 2009.
- Parasuraman**, Anantharathan, Valarie A. **Zeithaml** und Leonard L. **Berry**: [Measuring] SERVQUAL: A Multiple-Item Scale for Measuring Consumer Perceptions of Service Quality. In: Journal of retailing, 1988, 64. Jg., Nr. 1, S. 12-40.
- Parasuraman**, Anantharathan, Valarie A. **Zeithaml** und Leonard L. **Berry**: [Service Quality] A conceptual model of service quality and its implications for future research. In: Journal of Marketing, 1985, 49. Jg., Nr. 4, S. 41-50.
- Parris**, Colin, Srinivasan **Keshav** und Domenico **Ferrari**: [Pricing] A framework for the study of pricing in integrated networks. International Computer Science Institute, Berkeley 1992. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2fwcolf>
- Park**, Kun Ill.: [QoS in Packet Networks] QoS in Packet Networks. In: The Kulwer International Series in Engineering and Computer Science. Volume 779. Boston 2005.
- Park**, Kihong, Gitae **Kim** und Mark **Crovella**: [Relationship] On the relationship between file sizes, transport protocols, and self-similar network traffic. In: Proceedings 4th International Conference Network Protocols (ICNP '96), October 1996, S. 171-180.
- Parris**, Colin und Domenico **Ferrari**: [Resource-based] A resource based pricing policy for real-time channels in a packet-switching network. Berkeley, 1992. Online (Letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2fwdjbs>

- Paschalidis**, Ioannis Ch. und John N. **Tsitsiklis**: [Congestion] Congestion-dependent pricing of network services. In: Transactions on Networking, IEEE/ACM, 2000, 8. Jg., Nr. 2, S. 171-184.
- Patterson**, Paul G. und Richard A. **Spreng**: [Relationship] Modelling the relationship between perceived value, satisfaction and repurchase intentions in a business-to-business, services context: an empirical examination. In: International Journal of service Industry management, 1997, 8. Jg., Nr. 5, S. 414-434.
- Paxson**, Vern und Sally **Floyd**: [Failure of Poisson] Wide-Area Traffic. The Failure of Poisson Modeling. In: IEEE Transactions on Networking, 1995, 3. Jg., Nr. 3, S. 226-244.
- Pechtl**, Hans: [Preispolitik] Preispolitik. Stuttgart 2005.
- Pepels**, Werner: [Preismanagement] Produkt- und Preismanagement im Firmenkundengeschäft. München 2006.
- Pepels**, Werner: [Pricing] Einführung in das Preis- und Konditionenmanagement. Höhere Gewinne durch optimales Pricing. 2. Aufl., Berlin 2011.
- Pepels**, Werner: [Qualitätsmessung] Qualitäts- und Zufriedenheitsmessung als CRM-Basis. In: Effektives Customer Relationship Management. Instrumente, Einführungskonzepte, Organisation. Hrsg. von S. Helmke, M. F. Uebel und W. Dangelmaier. 4. Aufl. Wiesbaden 2008, S. 25-56.
- Perros**, Harry G.: [Networks] Connection-Orientated Networks. Sonet/ SDH, ATM and Optical Networks. Chichester 2005.
- Peterson**, Robert A.: [price-perceived quality] The price-perceived quality relationship: Experimental evidence. In: Journal of Marketing Research, 1970, 7 Jg., Nr. 4, S. 525-528.
- Peterson**, Lary L. und Bruce S. **Davie**: [Networks] Computer Networks. A Systems Approach. 5. Aufl., San Francisco 2011.
- Pfähler**, Wilhelm und Harald **Wiese**: [Unternehmensstrategien] Unternehmensstrategien im Wettbewerb. Eine spieltheoretische Analyse. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg 2008.
- Pfeifer**, Phillip E. und Robert L. **Carraway**: [Markov] Modeling customer relationships as Markov chains. In: Journal of interactive marketing, 2000, 14. Jg., Nr. 2, S. 43-55.

- Pfitzinger**, Elmar: [TQM] Der Weg von DIN EN ISO 9000 ff zu Total Quality Management (TQM). 2. Aufl., Berlin, Wien, Zürich 2002.
- Pidd**, Michael: [Simulation] Computer Simulation in Management Science. New York 2006.
- Pigou**, Arthur Cecil: [Economics] The Economics of Welfare. 3. Aufl., New Brunswick 2009.
- Pindyck**, Robert S. und Daniel **Rubinfeld**: [Mikroökonomie] Mikroökonomie. 7. Aufl., München 2009.
- Plevyak**, Thomas und Veli **Sahin**: [Next Generation Networks] Next Generation Telecommunication Networks, Services, and Management. Hoboken 2010.
- Portzig**, Frank: [Telekommunikation] Übertragungstechnik. In: Taschenbuch der Telekommunikation. Hrsg. von F. Bergmann, H.-J. Gerhardt und W. Froberg. 2. Aufl., München, Wien 2003. S. 95-151.
- Pratt**, Shannon P. und Roger J. **Grabowski**: [Costs of Capital] Cost of Capital. Applications and Examples. 3. Aufl., Hoboken 2008.
- Preißler**, Peter R.: [Kennzahlen] Betriebswirtschaftliche Kennzahlen. Formeln, Aussagekraft, Sollwerte, Ermittlungsintervalle. München 2008.
- Proebster**, Walter E.: [Rechnernetze] Rechnernetze. Technik, Protokolle, Systeme, Anwendungen. 2. Aufl., München, Wien 2002.
- Quendt**, Bernhard: [Steuerung] Agentenunterstützte Steuerung von Multimediasystemen. München 2000.
- Ramaswami**, Rajiv, Kumar N. **Sivarajan** und Galen H. **Sasaki**: [Networks] Optical Networks. A Practical Perspective. 3. Aufl., Burlington 2010.
- Rappaport**, Alfred: [Creating] Creating shareholder value: the new standard for business performance. New York, 1986.
- Rappaport**, Alfred: [Shareholder] Shareholder Value. Ein Handbuch für Manager und Investoren. 2. Aufl., Stuttgart 1999.
- Rathnow**, Peter: [Management] Management weltweit. Mit praxiserprobten Instrumenten zu Spitzenleistungen. München 2010.
- Rauber**, Thomas und Gudula **Rünger**: [Programmierung] Parallele und verteilte Programmierung. Berlin, Heidelberg 2000.

- Rehkopf, Stefan:** [Revenue Management] Revenue Management-Konzepte zur Auftragsannahme bei kundenindividueller Produktion. Am Beispiel der Eisen und Stahl erzeugenden Industrie. Wiesbaden 2006
- Reichl, Peter:** [Preismodellierung] Dynamische Verkehrs- und Preismodellierung für den Einsatz in Kommunikationssystemen. Dissertation RWTH Aachen, 2000. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://d-nb.info/961805013/34>
- Reichl, Peter, Claudia Linnhoff-Popien, Dirk Thißen:** [Nutzerinteressen] Einbeziehung von Nutzerinteressen bei der QoSbasierten Dienstvermittlung unter CORBA. Proc. of KiVS'97, Braunschweig 1997.
- Reichl, Peter et al.:** [Pricing Delemma] Retrospective Pricing Models for Internet Services: Solving the Flat Rate Dilemma "à la Flensburg". Proc. Messung, Modellierung und Bewertung MMB'01, September 2001.
- Reichl, Peter et al.:** [Cumulus] How to overcome the feasibility problem for tariffing internet services: the cumulus pricing scheme. In: Communications, 2001. In: IEEE International Conference on Communication, 2001, 9. Jg., S. 2079-2083.
- Reichmann, Thomas:** [Kennzahlen] Controlling mit Kennzahlen. Die systemgestützte Controlling-Konzeption mit Analyse- und Reportinginstrumenten. 8. Aufl., München 2011.
- Resnick, Sidney I.:** [Heavy-Tail] Heavy-Tail Phenomena. Probabilistic and Statistical Modeling. New York 2007.
- Reynders, Deon und Edwin Wright:** [TCP/IP] Practical TCP/IP and Ethernet networking. Oxford 2003.
- Rezaul, Karim Mohammed und Vic Grout:** [Tail Index] A Comparison of Methods for Estimating the Tail Index of Heavy-tailed Internet Traffic. In: Innovative Algorithms and Techniques in Automation, Industrial Electronics and Telecommunications. Hrsg. von T. Sobh et al. Dordrecht 2007, S. 219-22.
- Richards, Antony et al.:** [User Level] Mapping User Level QoS from a Single Parameter. In: Second IFIP/IEEE International Conference on Management of Multimedia Networks and Services, Versailles, November 1998. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2f92Miy>
- Riebel, Paul:** [Deckungsbeitragsrechnung] Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung. Grundfragen einer markt- und entscheidungsorientierten Unternehmensrechnung. 7. Aufl., Wiesbaden 1994.

- Riebel, Paul:** [Kostenbegriff] Überlegungen zur Formulierung eines entscheidungsorientierten Kostenbegriffs. In: Quantitative Ansätze in der Betriebswirtschaftslehre. Bericht von der wissenschaftlichen Tagung des Verbands der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e. V. Hrsg. von H. Müller-Merbach. München 1978, 10. Beitrag, S. 127-146.
- Riedl, Jens B.:** [Wertorientiertes] Unternehmungswertorientiertes Performance Measurement - Konzeption eines Performance Measure-Systems zur Implementierung einer Wertorientierten Unternehmungsführung. Wiesbaden 2000.
- Richert, Robert:** [Mikroökonomik] Mikroökonomik schnell erfasst. Berlin, Heidelberg 2010.
- Roberts, Jim:** [QoS Is Still an Issue] QoS Is Still an Issue, Congestion Pricing Is Not the Solution. In: Network Economics for Next Generation Networks. Hrsg. von P. Reichl, B. Stiller und B. Tuffin. Berlin, Heidelberg 2009. S. 1.
- Roberts, Jim W.:** [Internet Traffic] Internet Traffic, QoS, and Pricing. In: Proceedings of the IEEE, 2004, 92. Jg., Nr. 9, S. S. 1.389-1.399.
- Robinson, Stewart:** [Simulation] Simulation. The Practice of Model Development and Use. 2. Aufl., London et al. 2014.
- Rommelfanger, Heinrich:** [Mathematik] Mathematik für Wirtschaftswissenschaftler. Band 2. 5. Aufl., München 2002.
- Roppel, Carsten und Marc Lechterbeck:** [Networks] Evaluation of Delay Performance in ATM Networks. In: ATM, Networks and LANs. Noc '96: Networks and Optical Communications 1996. Hrsg. von D. W. Falkner und A. L. Harmer. Amsterdam 2006. S. 107-114.
- Rosanow, J. A.:** [Prozesse] Stochastische Prozesse. Eine Einführung. Berlin 1975.
- Rosen, Eric C., Arun Viswanathan und Ross Callon:** [RCF 3031] Multiprotocol Label Switching Architecture. 2001. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2f0mvo3>
- Roth, Alvin E.:** [Utility] The Shapley value as a von Neumann-Morgenstern utility. In: Econometrica: Journal of the Econometric Society, 1977, 45 Jg., Nr. 3 S. 657-664.
- Roth, Stefan:** [Preismanagement] Preismanagement für Leistungsbündel. Preisbildung, Bündelung und Delegation. Bayreuth 2005.
- Rothkopf, Michael H.:** [VCG] Thirteen reasons why the Vickrey-Clarke-Groves process is not practical. Operations Research, 2007, 55. Jg., Nr. 2, S. 191-197.

- Rudolf**, Simone: [Servicebasiert] Servicebasierte Planung und Steuerung der IT-Infrastruktur im Mittelstand. Ein Modellansatz zur Struktur der IT-Leistungserbringung. Wiesbaden 2009.
- Rudolf-Sipötz**, Elisabeth: [Kundenwert] Kundenwert: Konzeption – Determinanten – Management. Bamberg 2001.
- Ruiz**, David Martín et al.: [Service Value] Service value revisited: Specifying a higher-order, formative measure. In: Journal of Business Research, 2008, 61. Jg., Nr. 12, S. 1278-1291.
- Rullkötter**, Lydia: [Preismanagement] Rationalitätsdefizite im Preismanagement. Eine empirische Untersuchung. Berlin, Wien, Zürich 2009.
- Russell**, Travis: [Signaling] Signaling System 7. Get in-depth details on network-architecture, protocols, wireless, and security. Find new coverage of INAP, MAP, and using signaling as a data source. Learn to use SIGTRAN in VoIP Networks. 5. Aufl., New York 2006.
- Rust**, Roland T. und Richard L. **Oliver**: [Delight] Should we delight the customer? In: Journal of the Academy of Marketing Science, 2000, 28. Jg., Nr. 1, S. 86-94.
- Rust**, Roland T. und Anthony J. **Zahorik**: [Customer] Customer satisfaction, customer retention, and market share. In: Journal of retailing, 1993, 69. Jg., Nr. 2, S. 193-215.
- Rust**, Roland T., Valarie A. **Zeithaml** und Katherine N. **Lemon**: [Customer Equity] Driving customer equity. How customer lifetime value is reshaping corporate strategy. New York et al. 2001.
- Saam**, Nicole J. und Thomas **Gautschi**: [Modellbildung] Modellbildung in den Sozialwissenschaften. In: Handbuch Modellbildung und Simulation in den Sozialwissenschaften. Hrsg. von: N. Braun und N. J. Saam. Wiesbaden 2015, S. 15-60.
- Sairamesh**, Jakka, D. E. **Ferguson** und Yechiam **Yemini**: [Pricing] An approach to pricing, optimal allocation and quality of service provisioning in high-speed packet networks. In: IEEE Proceedings INFOCOM'95. Fourteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Bringing Information to People. 1995, Nr. 3, S. 1111-1119.
- Sandvine Incorporated ULC (Hrsg.)**: [Internet Report] Global Internet Phenomena Report 1H 2014. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/1jHpsW5>
- SaskTel**: [Calculator] Data usage calculator. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2eTB7mj>

- Sauerbier**, Thomas: [Simulationssysteme] Theorie und Praxis von Simulationssystemen. Eine Einführung für Ingenieure und Informatiker. Braunschweig, Wiesbaden 1999.
- Schäfer**, Andreas: [Verlässlichkeitsanalyse] Verlässlichkeitsanalyse paketvermittelnder Netzwerke mittels diskreter ereignisorientierter Simulation. Karlsruhe 2004.
- Schäfers**, Björn: [Preisgebote] Preisgebote im Internet. Neue Ansätze zur Messung individueller Zahlungsbereitschaften. Wiesbaden 2004.
- Schanz**, Günther: [Verhaltenstheoretisch] Grundlagen der verhaltenstheoretischen Betriebswirtschaftslehre. Mohr, 1977.
- Scherf**, Jürgen: [Computernetze] Grundkurs Computernetze. Eine kompakte Einführung in die Rechnerkommunikation. Anschaulich, verständlich, praxisnah. Wiesbaden 2006.
- Schlittgen**, Rainer: [Statistik] Einführung in die Statistik. Analyse und Modellierung von Daten. 12. Aufl., München 2012.
- Schmid**, Friedrich und Mark **Trede**: [Finanzmarktstatistik] Finanzmarktstatistik. Berlin, Heidelberg 2006.
- Schmidt**, Klaus D.: [Wahrscheinlichkeit] Maß und Wahrscheinlichkeit. 2. Aufl., Berlin, Heidelberg 2011.
- Schmidt**, Reinhard: [Segmentierung] Präferenzbasierte Segmentierung von Fondskäufern. Verbesserung der Kundenorientierung im Vertrieb. Wiesbaden 2006.
- Schmitt**, Jens Burkhard: [Network] Heterogenous Network Quality of Service Systems. Boston et al. 2001.
- Schmittlein**, David C., Albert C. **Bemmaor** und Donald G. **Morrison**: [NBD Model] Technical Note-Why Does the NBD Model Work? Robustness in Representing Product Purchases, Brand Purchases and Imperfectly Recorded Purchases. In: Marketing Science, 1985, 4. Jg., Nr. 3, S. 255-266.
- Schmittlein**, David C., Donald G. **Morrison** und Richard **Colombo**: [Customers] Counting Your Customers: Who-Are They and What Will They Do Next? In: Management science, 1987, 33. Jg., Nr. 1, S. 1-24.
- Schneider**, Dieter: [Rechnungswesen] Betriebswirtschaftslehre. Band 2: Rechnungswesen. 2. Aufl. München, Wien 1997.

- Schneider**, Nadine: [Kundenwertbasierte] Kundenwertbasierte Effizienzmessung. Der Beitrag von Marketingmaßnahmen zur Unternehmenswerterhöhung in der Automobilindustrie. Wiesbaden 2007.
- Schnell**, Gerhard und Bernhard **Wiedemann** (Hrsg.): [Bussysteme] Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozesstechnik. Grundlagen, Systeme und Trends der industriellen Kommunikation. 6. Aufl., Wiesbaden 2006.
- Schnetzer**, Uwe: [Revenue Management] Wirkung von Preisen und Werbung als Instrumente des Revenue Managements. Eine empirische Untersuchung am Beispiel von integrierten Reiseveranstaltern. In: Innovatives Markenmanagement, Band 40. Hrsg. von Ch. Burmann, M. Kirchgeorg. Wiesbaden 2012.
- Schön-Peterson**, Cornelia: [Preismanagement] Preismanagement für Telekommunikationsdienstleistungen. Modell- und methodenorientierter Ansatz zur Entscheidungsunterstützung. Wiesbaden 2003.
- Schreiner**, Rüdiger: [Computernetzwerke] Computernetzwerke. Von den Grundlagen zur Funktion und Anwendung. 3. Aufl., München 2009.
- Schubert**, Bernd.: [Conjoint] Conjoint-Analyse. In: Handwörterbuch des Marketing. Hrsg. von B. Tietz et al. 2. Aufl., Stuttgart 1995, S. 376-389.
- Schürmann**, Bernd: [Grundlagen] Grundlagen der Rechnerkommunikation. Technische Realisierung von Bussystemen und Rechnernetzen. Für alle IT-Studiengänge: Informatik, Elektrotechnik und Informationstechnik. Wiesbaden 2004.
- Schürmann**, Bernd: [Rechnerverbindungsstrukturen] Rechnerverbindungsstrukturen. Bussysteme und Netzwerke. Braunschweig, Wiesbaden 1997.
- Schulte**, Gerd: [Logistikmanagement] Material- und Logistikmanagement. 2. Aufl., München, Wien, Oldenburg 2001.
- Schulz**, Jan: [Kompressionsverfahren] Kompressionsverfahren für Video und Audio. In: Kompendium Medieninformatik. Mediennetze. Hrsg. von Roland Schmitz et al.. Berlin, Heidelberg 2006, S. 1-82.
- Schulze**, Timo, Karen **Gedenk** und Bernd **Skiera**: [Zahlungsbereitschaftsfunktionen] Segmentspezifische Schätzung von Zahlungsbereitschaftsfunktionen. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 2005, 57. Jg., Nr. 8, S. 401-422.
- Schulze**, Christian, Bernd **Skiera** und Thorsten **Wiesel**: [Linking] Linking Customer and Financial Metrics to Shareholder Value: The Leverage Effect in Customer-Based Valuation. In: Journal of Marketing, 76. Jg., Nr. 3, S. 17-32.

- Schweitzer**, Marcell: [Betriebswirtschaftslehre] Gegenstand und Methoden der Betriebswirtschaftslehre. In: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. Bd. 1: Grundfragen. Hrsg. von F. X. Bea und M. Schweitzer. 10. Aufl., Stuttgart 2009, S. 23-80.
- Schweitzer**, Marcell et al.: [Kostenrechnung] Systeme der Kosten- und Erlösrechnung. 11. Aufl., München 2016.
- Schweitzer**, Marcell und Markus **Schweitzer**: [Betriebswirtschaftslehre] Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre unter Rationalitäts- und Moralitätsaspekten. In: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. Theorie und Politik des Wirtschaftens in Unternehmen. Hrsg. von M. Schweitzer und A. Baumeister. 11. Aufl., Berlin 2015, S. 3-47.
- Scott**, Marcus J.: [Roots] Network Neutrality. The Roots of the Debate in the United States. In: Intereconomics, 2008, 43. Jg., Nr. 1, S. 30-37.
- Sedgewick**, Robert und Kevin **Wayne**: [Java] Einführung in die Programmierung mit Java. München 2011.
- Semret**, Nemo, et al.: [Pricing] Pricing, provisioning and peering: dynamic markets for differentiated Internet services and implications for network interconnections. In: IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2000, 18. Jg., Nr. 12, S. 2499-2513.
- Sen**, Soumya et al: [Time-Shifting] Incentivizing time-shifting of data: a survey of time-dependent pricing for internet access. In: IEEE Communications Magazine, 2012, 50. Jg., Nr. 11, S. 91-99.
- Sen**, Soumya et al: [Pricing] A survey of smart data pricing: Past Proposals, Current Plans, and Future Trends. In: ACM Computing Surveys (CSUR), 2013, 46. Jg., Nr. 2, S. 15:1-15:37.
- Serpanos**, Dimitros Nikolaou und Tilman **Wolf**: [Networks Systems] Architecture of Network Systems. Burlington, 2011.
- Shah**, Syed Ijlal Ali: [Quality of Service] Bringing Comprehensive Quality of Service Capabilities to Next-Generation Networks. White Paper, 2001, Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2eqQQZu>
- Shanmugarathinam**, G.: [Essentials] Essentials of TCP/IP. New Delhi, 2008.
- Sharma**, Vishal und Rakhi **Sharma**: [Web Switching] Web Switching. In: Enterprise Networking. Multilayer Switching & Applications. Hrsg. von V. Theoharakis und D. Serpanos. London 2002, S. 86 – 106.

- Sheluhin**, Oleg, Sergey M. **Smolskiy** und Andrey V. **Osin**: [Self-Similar] Self-Similar Processes in Telecommunicaitons. Chichester, 2007.
- Shen**, Zuo-Jun Max und Xuanming **Su**: [Revenue Management] Customer behavior modeling in revenue management and auctions: A review and new research opportunities. In: Production and operations management, 2007, 16. Jg., Nr. 6, S. 713-728.
- Sheng**, Hu, YangQuan **Chen** und TianShuang **Qiu**: [Fractional] Fractional Processes and Fractional-Order Signal Proccession. Techniques and Applications. London 2012.
- Shenker**, Scott: [Fundamental] Fundamental design issues for the future Internet. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1995, 13. Jg., Nr. 7, S. 1176-1188.
- Shenker**, Scott, et al.: [Pricing] Pricing in computer networks: Reshaping the research agenda. In: ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 1996, 26. Jg., Nr. 2, S. 19-43.
- Shinder**, Debrah Littlejohn: [Networking Essentials] Computer Networking Essentials. An essential guide to understanding networking theory, implementation, and interoperability. Indianapolis 2002.
- Shortle**, John et al.: [Telecommunication] Numerical Methods for Analyzing Queues with Heavy-tailed Distributions. In: Telecommunications network design and management. Hrsg. von G. Anandalingam und S. Raghavan. Boston, Dordrecht, London 2003, S. 193-207.
- Sieg**, Gernot: [Volkswirtschaftslehre] Volkswirtschaftslehre. Mit aktuellen Fallstudien. 4. Aufl. München 2012.
- Simon**, Hermann: [Preismanagement] Preismanagement. Wiesbaden 1982.
- Simon**, Hermann und Robert J. **Dolan**: [Power Pricing] Profit durch Power Pricing. Strategien aktiver Preispolitik. Das Handbuch für die optimale Preisgestaltung. Frankfurt, New York 1997.
- Simon**, Hermann und Martin **Faßnacht**: [Preismanagement] Preismanagement. Strategie, Analyse, Entscheidung, Umsetzung. 3. Aufl., Wiesbaden 2009.
- Simonson**, Itamar: [Variety-Seeking Behavior] The effect of purchase quantity and timing on variety-seeking behavior. In: Journal of Marketing Research, 1990, 27 Jg., Nr. 2, S. 150-162.

- Skala-Gast, Doris:** [Kundenzufriedenheit] Zusammenhang zwischen Kundenzufriedenheit und Kundenloyalität. Eine empirische Analyse am Beispiel der deutschen Automobilindustrie. Wiesbaden 2012.
- Skiera, Bernd:** [Preisdifferenzierung] Mengenbezogene Preisdifferenzierung bei Dienstleistungen. Wiesbaden 1999.
- Skurowski, Przemyslaw, Robert Wójcicki und Zbigniew Jerzak:** [IP Transmission] Evaluation of IP Transmission Jitter Estimators Using One-Way Active Measurement Protocol (OWAMP). In: Computer Networks. Communications in Computer and Information Science. 17th Conference, CN 2010 Proceeding. Hrsg. von A. Kwiecień, P. Gaj, P. Stera. Berlin, Heidelberg 2010 S. 153-162.
- Smith, David R.:** [Transmission] Digital Transmission Systems. 3. Aufl., Dordrecht 2004.
- Songhurst, D.J. (Hrsg.):** [Communication Networks] Charging Communication Networks. From Theory to Practice. Amsterdam 1999.
- Spaniol, Otto und Simon Hoff:** [Simulation] Ereignisorientierte Simulation: Konzepte und Systemrealisierung. Bonn 1995.
- Spreng Richard A. und Robert D. Mackoy:** [Satisfaction] An empirical examination of a model of perceived service quality and satisfaction. In: Journal of Retailing, 1996, 72. Jg., Nr. 2, S. 201-214.
- Spona, Helma:** [VBA-Programmierung] VBA-Programmierung mit Microsoft Office 2007. Heidelberg 2008.
- Spurgeon, Charles E.:** [Ethernet] Ethernet. The definitive guide. Sebastopol 2000.
- Srinivasan, Shuba und Dominique M. Hanssens:** [Firm Value] Marketing and firm value: metrics, methods, findings, and future directions. In: Journal of Marketing Research, 2009, 46. Jg., Nr. 3, S. 293-312.
- Srivastava, Rajenda K., Tasadduq A. Shervani und Liam Fahey:** [Shareholder Value] Market-Based Assets and Shareholder Value: A Framework for Analysis. In: Journal of Marketing, 1998, 62. Jg., Nr. 1, S. 2-18.
- Stahl, Heinz K., Kurt Matzler und Hans H. Hinterhuber:** [Linking] Linking customer lifetime value with shareholder value. In: Industrial Marketing Management, 2003, 32. Jg., Nr. 4, S. 267-279.
- Stahlknecht, Peter und Ulrich Hasenkamp:** [Wirtschaftsinformatik] Einführung in die Wirtschaftsinformatik. 11. Aufl., Berlin / Heidelberg 2005.

- Saltelli, Andrea et al.:** [Sensitivity Analysis] Global Sensitivity Analysis. The Primer. Chichester et al. 2008.
- Stein, Erich:** [Rechnernetze] Taschenbuch Rechnernetze und Internet. 3. Aufl., München 2008.
- Steinberg, Axel:** [Kostenrechnung] Die Kostenrechnung im Regiebetrieb. Das Beispiel der Hamburger Stadtreinigung. Göttingen 1978.
- Steiner, Michael:** [Präferenzmessung] Nachfrageorientierte Präferenzmessung. Bestimmung zielgruppenspezifischer Eigenschaftssets auf Basis von Kundenbedürfnissen. Wiesbaden 2007.
- Steiner, Viviana:** [Kundenwertmodellierung] Modellierung des Kundenwerts. Ein branchenübergreifender Ansatz. Mannheim 2008.
- Steinmann, Sascha:** [Kundenkontakte] Kundenkontakte und Kundenkontaktsequenzen im Multi Channel Marketing. Ausprägungen, Determinanten und Wirkungen. Wiesbaden 2011.
- Steinmetz, Ralf:** [Multimedia] Multimedia-Technologie. Grundlagen, Komponenten und Systeme. 3. Aufl., Berlin et al. 2000.
- Steinrücken, Torsten:** [Wirtschaftsförderung] Wirtschaftsförderung und Standortpolitik. Eine Einführung in die Ökonomik unternehmensorientierter Wirtschaftspolitik. Norderstedt 2011.
- Stiller, Burkhard, et al.:** [Content] Content pricing in the Internet. In: Computer Communications, 2004, 27. Jg., Nr. 6, S. 522-528.
- Stiller, Burkhard, et al.:** [Cumulus] The Cumulus Pricing Scheme and its integration into a generic and modular Internet Charging System for differentiated services. In: TIK-Report, Nr. 96, September 2000, S. 1-23.
- Stiller, Burkhard, et al.:** [Cumulus Pricing] A generic and modular internet charging system for the cumulus pricing scheme. In: Journal of Network and Systems Management, 2001, 9. Jg., Nr. 3, S. 293-325.
- Stiller, Burkhard, Peter Reichl und Simon Leinen:** [Classification] Pricing and cost recovery for internet services: practical review, classification, and application of relevant models. In: Netnomics, 2001, 3. Jg., Nr. 2, S. 149-171.
- Stücker, David:** [Kundenbeziehungen] Evaluierung und Steuerung von Kundenbeziehungen aus Sicht des unternehmenswertorientierten Controlling. Wiesbaden 2008.

- Sucky, Eric:** [Revenue Management] Revenue Management bei Auftragsfertigung. Ein Ansatz zur Kapazitätssteuerung. In: Logistik Management. Systeme, Methoden, Integration. Hrsg. von S. Voß, J. Pahl und S. Schwarze. Berlin, Heidelberg 2009, S. 77-96.
- Suhl, Leena und Taïeb Mellouli:** [Optimierungssysteme] Optimierungssysteme. Modelle, Verfahren, Software, Anwendungen. 2. Aufl., Berlin, Heidelberg 2009.
- Swan, John E. und Alice Atkins Mercer:** [Satisfaction] Consumer satisfaction as a function of equity and disconfirmation. In: Conceptual and Empirical Contributions to Consumer Satisfaction and Complaining Behavior. Proceedings of the Sixth Annual Conference on Consumer Satisfaction, Dissatisfaction, Hrsg. von: R. L. Day und H. K. Hunt. Bloomington 1981, S. 2-8.
- Taha, Hamdy A.:** [Operations Research] Operations Research: An Introduction. 9. Aufl., Upper Saddle River 2010.
- Talluri, Kalyan T. und Garrett J. van Ryzin:** [Revenue Management] The Theorie and Practice of Revenue Management. New York 2004.
- Tacke, Georg:** [Preisbildung] Nichtlineare Preisbildung. Höhere Gewinne durch Differenzierung. Wiesbaden 1989.
- Tam, Jackie L.M.:** [Customer Satisfaction] Customer satisfaction, service quality and perceived value: an integrative model. In: Journal of Marketing Management, 2004, 20. Jg., Nr. 7-8, S. 897-917.
- Tanenbaum, Andrew S.:** [Computernetzwerke] Computernetzwerke. 5. Aufl., München 2012.
- Taylor, Lester D. und Donald Kridel:** [Demand] Residential Demand for Access to the Telephone Network. In: Telecommunications Demand Modelling. Contributions to economic analysis. Hrsg. von: A. De Fontenay, M. H. Shugard und D. S. Sibley. Amsterdam et al. 1990, S. 105-117.
- Telefonica SA** (Hrsg.): [Geschäftsbericht 2013] Telefónica, S.A. Annual financial statements report for the year ended December 31, 2013. Madrid 2014.
- Thurner, W. Paul:** [Entscheidung] Wählen als rationale Entscheidung. Die Modellierung von Politikreaktionen im Mehrparteiensystem. München 1998.
- Thonemann, Ulrich:** [Management] Operations Management. Konzepte, Methoden und Anwendungen. 2. Aufl., München 2010.

- Tjhie**, Dedy Dewanto: [Wartesysteme] Zeitkritischer Verkehr in Wartesystemen von Hochgeschwindigkeitsnetzen. Modellbildung und Mathematische Analyse. München 1996.
- Tomsho**, Gregory: [Networking Essentials] Guide to Networking Essentials. 6. Aufl., Boston 2011.
- Tornambè**, Antonio: [System Theory] Discrete-Event System Theory. An Introduction. Singapore 1995.
- Terplan**, Kornel und Christian **Voigt**: [Cloud Computing] Cloud Computing. Heidelberg et al. 2011.
- T-Mobile USA Inc.**: [Calculator] Estimate Your Usage. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://t-mo.co/2e4O9f1>
- Tobies**, Isabel: [Preismodelle] Akzeptanz von Preismodellen im Systemgeschäft. Wiesbaden 2009.
- Train**, Kenneth E., Moshe **Ben-Akiva** und Terry **Atherton**: [self-selecting tariffs] Consumption patterns and self-selecting tariffs. The Review of Economics and Statistics, 1989, 71. Jg., Nr. 1, S. 62-73.
- Train**, Kenneth E., Daniel L. **McFadden** und Moshe **Ben-Akiva**: [Service Choices] The demand for local telephone service: A fully discrete model of residential calling patterns and service choices. The Rand Journal of Economics, 1987, 18. Jg., Nr. 1, S. 109-123.
- Trick**, Ulrich und Frank **Weber**: [Telekommunikationsnetze] SIP und Telekommunikationsnetze. Next Generation Networks und Multimedia over IP – konkret. 5. Aufl., Berlin et al. 2015.
- Troßmann**, Ernst und Alexander **Baumeister**: [Rechnungswesen] Internes Rechnungswesen. Kostenrechnung als Standardinstrument im Controlling. München 2015.
- Troßmann**, Ernst, Alexander **Baumeister** und Clemens **Werkmeister**: [Controlling] Fallstudien im Controlling. Lösungsstrategien für die Praxis. 3. Aufl., München 2013.
- Tse**, David N. C und Stephen V. **Hanly**: [Effective Bandwidth] Linear Multiuser Receivers: Effective Interference, Effective Bandwidth and User Capacity. In: IEEE Transaction on Information Theory, 45. Jg., Nr. 2, 1999, S. 641-657.
- Tucker**, Spencer A.: [Pricing] Pricing for higher profit. Criteria, Methods, Applications. New York et al., 1966.

- Varian**, Hal R.: [Mikroökonomik] Grundzüge der Mikroökonomik. 8. Aufl. München, Wien 2011.
- De Veciana**, G. und **J. Walrand**: [Effective Bandwidth] Effective Bandwidth. Call admission, traffic policing and filtering vor ATM networks. In: *Queueing Systems* 1995, 20. Jg., Nr. 1-2, S. 37-59.
- Verizon** (Hrsg.): [Geschäftsbericht 2010] 2010 Annual Report. Verizon Communications. New York 2011.
- Verizon**: [Calculator] Data Usage Calculator. Calculate your device usage to figure out which plan will best meet your needs. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://vz.to/18jfPJg>
- Vickrey**, William: [Auction] Counterspeculation, auctions, and competitive sealed tenders. In: *The Journal of finance*, 1961, 16. Jg., Nr. 1, S. 8-37.
- Villanueva**, Julian und Dominique M. **Hanssens**: [Customer Equity] Customer equity. Measurement, management and research opportunities. In: *Foundations and Trends in Marketing*. 1. Jg., Nr. 1, 2007, S. 1–95.
- Verma**, Pramode K. und **Ling Wang**: [VoIP] Voice over IP Networks. Quality of Service, Pricing and Security. Berlin, Heidelberg 2011.
- Vodafone** (Hrsg.): [Geschäftsbericht 2013] Empowering everybody to be confidently connected. Vodafone Group Plc. Annual Report 2014. Newbury 2014.
- Vornefeld**, Ulrich Bernhard: [Verkehrstheoretische Dimensionierung] Verkehrstheoretische Dimensionierungsverfahren für paketvermittelnde Mobilfunknetze. Mainz 2003.
- Voßbein**, Reinhard (Hrsg.): [Datenschutz] Datenschutz. Best Practices. Ausgewählte Lösungen für die Praxis. 5. Aufl., Heidelberg et al. 2010.
- Wagner**, Udo und Alfred **Taudes**: [Stochastic Models] Stochastic models of consumer behaviour. In: *European Journal of Operational Research*, 1987, 29. Jg., Nr. 1, S. 1-23.
- Waldmann**, Karl-Heinz und Ulrike M. **Stocker**: [Stochastische Modelle] Stochastische Modelle. Eine anwendungsorientierte Einführung. 8. Aufl., Berlin, Heidelberg 2013.
- Walker**, Joan und Moshe **Ben-Akiva**: [Random Utility Model] Generalized random utility model. In: *Mathematical Social Sciences*, 2002, 43. Jg., Nr. 3, S. 303-343.
- Walz**, Alexander: [Maple] Maple 7. Rechnen und Programmieren. 2. Aufl., München, Wien 2002.

- Wang, Zheng:** [QoS] Internet QoS. Architectures and Mechanisms for Quality of Service. San Francisco 2001.
- Wei, Jo-Ting, Shih-Yen Lin und Hsin-Hung Wu:** [RFM Model] A review of the application of RFM model." (2010): 4199-4206. In: African Journal of Business Management, Vol. 4, Nr. 19, pp. 4199-4206, December Special Review, 2010.
- Weinstein, Stephan:** [Multimedia] The Multimedia Internet. New York 2005.
- Welge, Martin und Andreas Al-Laham:** [Management] Strategisches Management: Grundlagen - Prozess – Implementierung. 3. Aufl., Wiesbaden 2001.
- Wessler, Markus:** [Operations Research] Operations Research. Grundlagen und praktische Anwendungen. In: Die Betriebswirtschaft, Studium + Praxis, Band 26. Renningen 2010.
- Westbook, Robert A. und Michael D. Reilly:** [Alternative] Value-percept disparity: an alternative to the disconfirmation of expectations theory of consumer satisfaction. In: Advances in consumer research, 1983, 10. Jg., Nr. 1, S. 256-261.
- Westbook, Robert A. und Richard L. Oliver:** [Consumer Satisfaction] The dimensionality of consumption emotion patterns and consumer satisfaction. In: Journal of Consumer Research, 1991, 18. Jg., Nr. 1, S. 84-91.
- Whitt, Ward:** [Effective Bandwidth] Tail Probabilities with statistical multiplexing and effective bandwidths for multi-class queues. In: Telecommunication Systems, 1993, 2. Jg., Nr. 1, S. 71-107.
- Wiese, Herbert:** [Internetprotokoll] Das neue Internetprotokoll IPv6. Mobilität, Sicherheit, unbeschränkter Adressraum und einfaches Management. München, Wien 2002.
- Wiesel, Thorsten und Bernd Skiera:** [Unternehmensbewertung] Unternehmensbewertung auf Kundenlebenswerten. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 2007, 59. Jg., Nr. 6, S. 706-731.
- Wille, Kai:** [Customer Equity]
- Willinger, Walter, Vern Paxson und Murad S. Taqqu:** [Self-Similarity] Self-Similarity and Heavy Tails. Structural Modeling of Network Traffic. In: A Practical Guide to Heavy Tails. Statistical Techniques and Applications. Hrsg. von R. J. Adler, R. E. Feldman und M. S. Taqqu. Bosten, Basel, Berlin 1998, S. 27-53.
- Wilson, Robert:** [Pricing] Nonlinear Pricing. New York 1993.

- Winkelmann, Peter:** [Marketing] Marketing und Vertrieb. Fundamente für die markt-orientierte Unternehmensführung. 6. Aufl. München 2008.
- Winzer, Peter:** [Kostenorientierte Bepreisung] Kostenorientierte Bestimmung von Preisen für den Zugang zu Telekommunikationsnetzen marktbeherrschender Unternehmen. Frankfurt am Main 2000.
- Wirtz, Jochen et al.:** [Revenue Management] Revenue management: resolving potential customer conflicts. In: Journal of Revenue and Pricing Management, 2003, 2. Jg., Nr. 3, S. 216-226.
- Wittern, Felix und Fabian Schuster:** [Kommentar TKG § 3] § 3 Nr. 24 Telekommunikationsdienste. In: Beck'scher TKG Kommentar. Hrsg. von M. Geppert, H.-J. Piepenbrock, R. Schütz und F. Schuster. München 2006, Rn. 47-49.
- Wittmann, Ralph und Martina Zitterbart:** [Communication] Multicast Communication. Protocols and Applications.
- Woodruff, Robert B.:** [Customer Value] Customer Value: The Next Source for Competitive Advantage. In: Journal of the academy of marketing science, 1997, 25. Jg., Nr. 2, S. 139-153.
- Woodruff, Robert B., Ernest R. Cadotte und Roger L. Jenkins:** [Modeling] Modeling consumer satisfaction processes using experience-based norms. In: Journal of Marketing Research, 1983, 20. Jg., Nr. 3, S. 296-304.
- Wöhe, Günter und Ulrich Döring:** [23. Betriebswirtschaftslehre] Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre. 23. Aufl., München 2008.
- Joe-Wong, Carlee, Sangtae Ha und Mung Chiang:** [Time-dependent] Time-dependent broadband pricing: Feasibility and benefits. In: 31st IEEE International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS), 2011. S. 288-298.
- Woratschek, Herbert und Stefan Roth:** [Preisbereitschaft] Die Ermittlung von Preisbereitschaften und Preisreaktionen als Basis zur Bestimmung des Kundenwerts. In: Kundenwert. Grundlagen, Innovative Konzepte, Praktische Umsetzung. Hrsg. von B. Günther und S. Helm. 3. Aufl., Wiesbaden 2006, S. 369-398.
- Wübben, Markus und Florian v. Wangenheim:** [Analysis] Instant customer base analysis: Managerial heuristics often "get it right". In: Journal of Marketing, 2008, 72. Jg., Nr. 3, S. 82-93.
- Xiao, Xipeng:** [Challenges of QoS] Technical, Commercial and Regulatory Challenges of QoS. Amsterdam, Boston 2008.

- Xiao**, Xipeng und Lionel M. **Ni**: [Internet QoS] Internet QoS: A big picture. In: IEEE Network, 1999, 13. Jg., Nr. 2, S. 8-18.
- Yamori**, Kyoko und Yoshiaki **Tanaka**: [Willingness-to-pay] Relation between willingness to pay and guaranteed minimum bandwidth in multiple-priority service. In: Communications, 2004 and the 5th International Symposium on Multi-Dimensional Mobile Communications Proceedings. The 2004 Joint Conference of the 10th Asia-Pacific Conference on. IEEE, 2004, S. 113-117.
- Yang**, Zhilin und Robin T. **Peterson**: [CPV] Customer perceived value, satisfaction, and loyalty: The role of switching costs. In: Psychology & Marketing, 2004, 21. Jg., Nr. 10, S. 799-822.
- Young**, Martin R., Wayne S. **DeSarbo** und Vicki G. **Morwitz**: [Modeling] The stochastic modeling of purchase intentions and behavior. In: Management Science, 1998, 44. Jg., Nr. 2, S. 188-202.
- Yuksel**, Murat und Shivkumar **Kalyanaraman**: [Pricing] Distributed dynamic capacity contracting: A congestion pricing framework for Diff-Serv. In: Management of Multimedia on the Internet. Proceedings of 5th IFIP/IEEE International Conference on Management of Multimedia Networks and Services, MMNS 2002. Hrsg. von K. C. Almeroth und M. Hasan. Berlin, Heidelberg, 2002. S. 198-210.
- Yuksel**, Murat und Shivkumar **Kalyanaraman**: [Effect] Effect of Pricing Intervals on Congestion-Sensitivity of Network Prices. In: Telecommunication Systems, 2005, 28. Jg., Nr. 1, S. 79-99.
- Zahn**, Markus: [Netzwerkprogrammierung] Unix-Netzwerkprogrammierung mit Threads, Sockets und SSL. Berlin, Heidelberg 2006.
- Zeithaml**, Valerie A.: [Perceived Quality] Consumer perceptions of price, quality, and value. A means-end model and synthesis of evidence. In: The Journal of Marketing, 1988, 52. Jg., Nr. 3, S. 2-22.
- Zeithaml**, Valerie A., Leonard L. **Berry** und Ananthanarayanan **Parasuraman**: [Consequences] The behavioral consequences of service quality. In: The Journal of Marketing, 1996, 60- Jg., Nr. 2, S. 31-46.
- Zeithaml**, Valerie A., Mary Jo **Bitner** und Dwayne D. **Gremler**: [Services] Services Marketing. Integrating Customer Focus Across the Firm. 4. Aufl., Boston 2006.
- Zeithaml**, Valerie A., Ananthanarayanan **Parasuraman** und Leonard L. **Berry**: [Strategies] Problems and strategies in services marketing. In: The Journal of Marketing, 1985, 49. Jg., Nr. 2, S. 33-46.

- Zhang**, Lixia, et al.: [RSVP a] Resource ReSerVation protocol (RSVP) - Version 1 functional specification. Hrsg. von R. T. Bradon, 1997. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2f93353>
- Zhang**, Lixia, et al.: [RSVP b] RSVP: A new resource reservation protocol. IEEE Network, 1993, 7. Jg., Nr. 5, S. 8-18.
- Zhang** Xiang-Sun: [Neural Networks] Neural Networks in Optimization. Nonconvex optimization and its applications. Dordrecht, 2010.
- Zhao**, Weibin, David **Olshchfski** und Henning G. **Schulzrinne**: [QoS-Overview] Internet quality of service: An overview. 2000. Online (letzter Zugriff: 31.10.2016): <http://bit.ly/2dUYxao>
- Zitzlsperger**, David Franz Sales: [NBD] NBD-Prognosemodelle im Kundenbeziehungsmanagement: Einordnung, Implementierung und praktische Anwendungsempfehlung. Wiesbaden 2013.