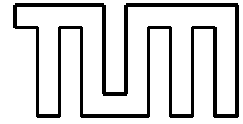


INSTITUT FÜR INFORMATIK
der Technischen Universität München



Lehrstuhl VIII – Rechnerkommunikation – Prof. Dr. E. Jessen

Lastprognose und Lastmodell für das G-WiN

Helmut Gogl



Oktober 1999

Abschlußbericht zum Projekt

Lastprognose und Lastmodell für das G-WiN

in Zusammenarbeit mit dem Verein zur Förderung eines Deutschen Forschungsnetzes (DFN).

Lastprognose und Lastmodell für das G-WiN

Helmut Gogl

Institut für Informatik
Technische Universität München, Germany
gogl@informatik.tu-muenchen.de

Stichwörter

B-Win, Ringstruktur, Grenzdurchsatz, Hauptverkehrsstunde, Lastprognose, traditionelle Last, innovative Last, Last-/Leistungsmodell, G-WiN

Zusammenfassung

Das Ziel des Projektes „Lastprognose und Lastmodell für das G-WiN“ liegt darin die Planung des entstehenden B-WiN Nachfolgenetzes G-WiN (Gigabit Wissenschaftsnetz) zu unterstützen. Zu diesem Zweck wurde zunächst ein einfaches Modell des B-WiN implementiert und damit anschließend eine Analyse der aktuell im B-WiN vorliegenden Lastsituation sowie der zurückliegenden Lastentwicklung in den Jahren 1997 und 1998 vorgenommen. Die in dieser Analyse gewonnenen Erkenntnisse wurden im weiteren Verlauf des Projektes für eine rückblickende Bewertung älterer Lastprognosen verwendet, welche während der Planungsphase des B-WiN vor dessen Einführung entstanden sind. Unter Berücksichtigung der dabei festgestellten Abweichungen zwischen Istzustand und prognostiziertem Sollzustand des B-WiN erfolgte schließlich eine Prognose der bei Einführung des G-WiN im März 2000 zur erwartenden Verkehrslast. Dabei wurde sowohl die Entwicklung der traditionellen Last (IP-Datenverkehr) als insbesondere auch die aufgrund neuer Netzapplikationen zu erwartende innovative Last berücksichtigt. Die erstellte Lastprognose wurde schließlich zum Abschluß des Projektes zusammen mit einer aktualisierten Version des erstellten B-WiN Modells verwendet, um aus der Betrachtung verschiedener Leistungsmodelle einen Dimensionierungsvorschlag für das G-WiN abzuleiten.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Aufgabenstellung	1
2	Analyse der aktuellen Lastsituation im B-WiN	3
2.1	Vorgehensweise	3
2.2	Verkehrsmatrix mit internationalem Verkehr	5
2.2.1	Durchsatzstärkste Knoten	8
2.2.2	Durchsätze auf den Netzsegmenten:	9
2.2.3	Grenzdurchsatz	13
2.3	Verkehrsmatrix ohne internationalen Verkehr	16
2.3.1	Durchsatzstärkste Knoten	16
2.3.2	Durchsätze auf den Netzsegmenten	18
2.3.3	Grenzdurchsatz	22
2.4	Hauptverkehrsstunde (HVS)	24
2.4.1	Zeitliche Lage der HVS	25
2.4.2	Durchsatzmittel und Spitzendurchsatz in der HVS	26
2.4.3	Überhöhung des Durchsatzes in der HVS	28
2.4.4	Anteil der HVS am Tagesvolumen	30
2.5	Lastentwicklung	32
2.5.1	Gesamtverkehr, Auslands- und Inlandsverkehr	32
2.5.2	Überregionaler/regionaler Verkehr mit Auslandsanteil	34
2.5.3	Überregionaler/regionaler Verkehr ohne Auslandsanteil	37
3	Bewertung der B-WiN Studien von 1994/1995	41
3.1	Einschränkungen	41
3.2	Vergleich Soll-/Istzustand	42
3.3	Folgerungen	48

4	Lastprognose und Lastmodell	51
4.1	Traditionelle Last	51
4.2	Innovative Last	56
4.2.1	Einfache interpersonelle Kommunikation	57
4.2.2	Interpersonelle Kooperation (CSCW)	59
4.2.3	Metacomputing	61
4.2.4	Entfernte Steuerung/Überwachung von Prozessen	62
4.2.5	Signal-/Meßwertverarbeitung und Visualisierung	63
4.2.6	Digitale Bibliotheken und Telelearning	64
4.2.7	Neue Zugangstechniken (xDSL)	64
4.3	Gesamtprognose und Lastmodell	67
5	Leistungsmodelle	71
5.1	Aktualisierung des B-WiN Modells	71
5.2	Leistungsbetrachtung bei 622 Mb/s bzw. 2.4 Gb/s	77
5.3	Leistungsbetrachtung bei erhöhtem Auslandsverkehrsanteil	83
5.4	Dimensionierungsvorschlag für das G-WiN	90
6	Zusammenfassung	93
A	Programmdokumentation	97
A.1	Implementierung des B-WiN Modells	97
A.2	Perl Quelltext zum B-WiN Modell	101
A.3	Auswerteroutinen in SPLUS	131
A.4	SPLUS Quelltexte der Auswerteroutinen	134
A.4.1	traf.plot()	134
A.4.2	hvs.calc()	135
A.4.3	prognose()	138
A.4.4	forecast()	139

Kapitel 1

Einleitung und Aufgabenstellung

Seit Anfang 1996 steht als Netzinfrastruktur für die Wissenschaft und Forschung in Deutschland das durch den DFN-Verein¹ betriebene Breitbandwissenschaftsnetz (B-WiN) zur Verfügung. Dieses Hochgeschwindigkeitsnetzwerk mit Anschlußbandbreiten bis 155 Mb/s hat sich in den letzten Jahren hervorragend bewährt. Um jedoch den stetig wachsenden Netzverkehr und die Anforderungen neuer Netzapplikationen auch in Zukunft gerecht werden zu können, ist es nötig das B-WiN im Frühjahr 2000 durch ein leistungsfähigeres Netzwerk zu ersetzen. Dieses neue Netzwerk mit dem Namen G-WiN (Gigabit Wissenschaftsnetz) soll bereits bei seiner Einführung mit Übertragungsbandbreiten von 2.4 Gb/s arbeiten und während seiner Betriebszeit durch Erweiterung auf etwa vierfache Leistung ausgebaut werden.

Der Zweck des Projektes „Lastprognose und Lastmodell für das G-WiN“ besteht in der Unterstützung der Spezifikation und Planung des entstehenden B-WiN Nachfolge-Netzes G-WiN. Im Hinblick auf diese Zielsetzung soll Wissen bereitgestellt werden, welches sowohl für die Planung als auch für die Bewertung unterschiedlicher Realisierungsalternativen des G-WiN verwendet werden kann.

Zur Bearbeitung dieser Aufgabenstellung wurde das Projekt in folgende 3 Abschnitte unterteilt:

1. Bewertung älterer B-WiN Lastprognosen
2. Lastprognose/Lastmodell für das G-WiN
3. Leistungsmodell für das G-WiN

Bei der Planung des derzeit betriebenen B-WiN wurde 1994 von E. Jessen ein grobes Last- und Leistungsmodell entworfen. Diese Studie wurde im Jahre 1995 mit Hilfe neuerer Meßdaten zum Netzdurchsatz aktualisiert. Zum Auftakt des Projektes soll zunächst eine rückblickende Bewertung dieser beiden Studien vorgenommen werden. Das Ziel dieser Bewertung liegt darin herauszufinden wo die Abweichungen des heutigen B-WiN in Bezug auf den prognostizierten Zustand liegen und welche Gründe es für diese Abweichungen gibt. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse sollen in der Folge bei der neuen Lastprognose für das G-WiN berücksichtigt werden, um so deren Genauigkeit zu erhöhen.

Die wesentlichen Abweichungen der älteren Studien werden mit Hilfe einer Gegenüberstellung zwischen der für das B-WiN prognostizierten und der im Zeitraum von Anfang

¹Verein zur Förderung eines Deutschen Forschungsnetzes e. V.

1997 bis heute vorliegenden Lastsituation ermittelt. In Kapitel 2 wird dazu zunächst ein einfaches Modell des B-WiN implementiert welches anschließend für eine detaillierte Analyse der aktuell im B-WiN beobachteten Lastsituation verwendet wird. Die eigentliche Bewertung der älteren Studien folgt anschließend in Kapitel 3 in Form eines Vergleichs von prognostiziertem Soll- und festgestelltem Istzustand des B-WiN.

Im zweiten Projektabschnitt bestand die Aufgabe darin, aus der in bisherigen ATM Netzen sowie in DFN-Gbit-Testbeds und anderen Gbit-Szenarien (z.B. vBNS) beobachteten Last eine Prognose für die im Frühjahr 2000 zu erwartende Lastsituation im G-WiN abzuleiten. In Kapitel 4 werden dazu zwei Teilprognosen durchgeführt. Die erste befaßt sich mit einer Extrapolation der traditionellen Verkehrslast (IP-Datenverkehr) auf Basis von gemessenen Lastprofilen des B-WiN aus den Jahren 1997 und 1998. In der zweiten geht es um die Schätzung der aufgrund von neuen, innovativen Netzapplikationen zu erwartenden Netzlast, wobei zur Abschätzung des jeweiligen Bandbreitenbedarfs einer Anwendung vor allem auf Informationen aus der Literatur zurückgegriffen wird. Beide Prognosen werden am Ende von Kapitel 4 zu einer Gesamtprognose bzw. einem Lastmodell für das G-WiN zusammengefaßt.

Kapitel 5 befaßt sich mit dem dritten Projektabschnitt in welchem auf Basis der Erkenntnisse aus den ersten beiden Projektteilen ein Vorschlag zur Dimensionierung des G-WiN gewonnen wird. Um dabei das im ersten Projektabschnitt implementierte B-WiN Modell mit aktuellen Meßdaten zur B-WiN Verkehrslast weiterverwenden zu können werden zunächst an dem Modell einige Aktualisierungen vorgenommen, da sich die Topologie und das Routing des B-WiN während des Projektverlaufs wesentlich geändert haben. Mit Hilfe des aktualisierten Modells wird im Anschluß daran untersucht wie sich unterschiedliche, leistungsmäßig stark ausgebaute Versionen des B-WiN unter der für das Frühjahr 2000 prognostizierten Verkehrslast bezüglich Grenzdurchsatz, mittlerem Durchsatz in der HVS und Spitzendurchsatz in der HVS verhalten. Besonderes Augenmerk wird dabei auf den Einfluß eines erhöhten Auslandsverkehrsanteiles gelegt. Aus einer Gegenüberstellung der betrachteten Leistungsmodelle wird abschließend eine Empfehlung für die leistungsmäßige Dimensionierung des G-WiN abgeleitet.

Kapitel 2

Analyse der aktuellen Lastsituation im B-WiN

2.1 Vorgehensweise

Um einen Vergleich zwischen der in [JESSEN, 1994][JESSEN, 1995] prognostizierten Last und beobachteten Istzustands zu ermöglichen (vgl. Kapitel 3), ist es nötig eine Bestandsaufnahme der derzeit im B-WiN vorhandenen Lastsituation vorzunehmen. Ziel dieses Abschnittes ist es, die dabei angewandte Vorgehensweise zu erläutern. Diese besteht in der Hauptsache darin, analog zu den beiden erwähnten Studien, auf Basis einer Verkehrsmatrix den Gesamtdurchsatz auf den einzelnen Verbindungsleitungen (Trunkleitungen) zwischen den Knotenstandorten des B-WiN zu ermitteln. Als für diesen Zweck nötige Verkehrsmatrix wird die monatlich auf dem WWW-Server des B-WiN-Labors (vgl. [BWiNLAB, 1998]) veröffentlichte Standort-Standort-Matrix verwendet¹. Im Unterschied zu den älteren Studien erfolgt die Auswertung dieser Verkehrsmatrix nicht manuell, sondern durch Software. Dadurch ist es ohne großen Aufwand möglich, die aus der Verkehrsmatrix ableitbaren Lastparameter für sämtliche auf dem WWW-Server des B-WiN-Labors verfügbaren Verkehrsmatrizen zu berechnen und somit deren zeitliche Entwicklung darzustellen.

In den Tabellen 2.1 und 2.2 ist beispielhaft die Standort-Standort Matrix für Juli 1998 dargestellt. Tabelle 2.1 zeigt dabei alle Durchsätze zwischen den einzelnen B-WiN Knotenstandorten absolut in GBytes, während in Tabelle 2.2 die Durchsätze relativ zum Gesamtdurchsatz zu sehen sind. Neben den 10 mit Städtenamen bezeichneten Netzknoten sind in den Tabellen 3 weitere Knoten *IPgate*, *TEN34* und *Unknown* aufgeführt. *IPgate* steht dabei für den Aufpunkt der Transatlantikverbindung nach USA und *TEN34* für den Aufpunkt zum europäischen TEN Netzwerk. Unter der Bezeichnung *Unknown* wurden jeweils die Durchsätze angegeben, welche bei der Datenerfassung keinem Sender bzw. keinem Empfänger zugeordnet werden konnten.

In den folgenden beiden Abschnitten 2.2 und 2.3 wird die vorgestellte Standort-Standort-Matrix verwendet, um zwei modifizierte Verkehrsmatrizen zu erstellen, welche die Betrachtung des Lastaufkommens mit und ohne internationalem Verkehrsanteil erlauben. Daraufaufgehend werden für jede dieser neuen Matrizen basierend auf einem zugrunde gelegtem

¹In der Standort-Standort-Matrix ist nur der IP Datenverkehrsanteil erfaßt, nicht aber Verkehr der direkt über ATM (z.B. ATM PVC Dienst) abgewickelt wird. Mit Gesamtdurchsatz ist deshalb im Folgenden der Gesamtdurchsatz bezüglich des vom B-WiN transportierten IP Verkehrs gemeint.

	Berlin	Frankfurt	Hamburg	Hannover	IPgate	Karlsruhe	Köln	Leipzig	München	Nürnberg	Stuttgart	TEN34	Unkown	Summe
Berlin	956.91	282.81	150.99	346.83	555.33	83.42	156.73	159.95	95.89	42.20	43.46	514.70	116.87	3506.10
Frankfurt	385.72	1372.76	327.35	501.65	722.04	618.62	1304.23	445.85	466.86	651.47	310.52	561.98	103.94	7772.99
Hamburg	87.61	182.28	1421.92	200.27	627.73	129.20	178.63	81.43	73.80	18.75	31.08	495.15	89.41	3617.25
Hannover	154.88	423.79	232.14	699.48	713.99	283.28	573.95	203.81	156.65	139.96	165.83	532.56	84.60	4364.90
IPgate	1397.29	1655.96	1542.21	1539.38	19.81	233.14	4657.30	1631.58	1736.07	1661.33	1227.35	6.34	233.79	19661.56
Karlsruhe	75.07	426.40	137.41	303.79	1025.09	266.60	276.01	159.99	121.66	97.84	47.33	836.30	103.11	3876.60
Köln	104.49	623.30	212.01	497.81	1522.41	224.82	1562.21	167.26	136.82	105.27	103.08	1182.23	296.91	6738.61
Leipzig	146.71	323.31	98.39	244.33	700.95	135.78	212.27	659.63	73.11	62.10	67.86	684.55	97.99	3506.98
München	76.59	242.78	89.77	206.96	691.46	117.78	177.78	87.65	308.89	212.84	74.52	453.58	92.11	2832.71
Nürnberg	42.21	252.32	27.94	118.23	661.11	92.36	89.17	164.51	927.83	1444.04	106.35	448.17	1865.43	6239.67
Stuttgart	35.79	361.70	49.04	193.20	596.14	103.93	204.48	67.32	95.30	76.10	55.52	448.68	73.38	2360.58
TEN34	528.23	641.86	923.61	553.74	3.84	1043.94	1586.00	656.03	593.39	772.27	445.74	5.17	107.85	7861.68
Unkown	873.76	237.34	516.90	376.41	124.68	147.59	799.47	361.78	117.66	590.23	610.84	74.60	743.91	5595.17
Summe	4865.27	7046.61	5729.68	5782.08	7964.56	5600.47	11778.22	4846.81	4903.92	5874.39	3289.47	6244.03	4009.31	77934.81

Tabelle 2.1: Original Standort-Standort-Matrix für Juli 98 vom WWW-Server des B-WiN-Labors. Alle Durchsätze absolut in GBytes.

	Berlin	Frankfurt	Hamburg	Hannover	IPgate	Karlsruhe	Köln	Leipzig	München	Nürnberg	Stuttgart	TEN34	Unkown	Summe
Berlin	1.23	0.36	0.19	0.45	0.71	0.11	0.20	0.21	0.12	0.05	0.06	0.66	0.15	4.50
Frankfurt	0.49	1.76	0.42	0.64	0.93	0.79	1.67	0.57	0.60	0.84	0.40	0.72	0.13	9.97
Hamburg	0.11	0.23	1.82	0.26	0.81	0.17	0.23	0.10	0.09	0.02	0.04	0.64	0.11	4.64
Hannover	0.20	0.54	0.30	0.90	0.92	0.36	0.74	0.26	0.20	0.18	0.21	0.68	0.11	5.60
IPgate	1.79	2.12	1.98	1.98	0.03	3.02	5.98	2.09	2.23	2.13	1.57	0.01	0.30	25.23
Karlsruhe	0.10	0.55	0.18	0.39	1.32	0.34	0.35	0.21	0.16	0.13	0.06	1.07	0.13	4.97
Köln	0.13	0.80	0.27	0.64	1.95	0.29	2.00	0.21	0.18	0.14	0.13	1.52	0.38	8.65
Leipzig	0.19	0.41	0.13	0.31	0.90	0.17	0.27	0.85	0.09	0.08	0.09	0.88	0.13	4.50
München	0.10	0.31	0.12	0.27	0.89	0.15	0.23	0.11	0.40	0.27	0.10	0.58	0.12	3.63
Nürnberg	0.05	0.32	0.04	0.15	0.85	0.12	0.11	0.21	1.19	1.85	0.14	0.58	2.39	8.01
Stuttgart	0.05	0.46	0.06	0.25	0.76	0.13	0.26	0.09	0.12	0.10	0.07	0.58	0.09	3.03
TEN34	0.68	0.82	1.19	0.71	0.00	1.34	2.04	0.84	0.76	0.99	0.37	0.01	0.14	10.09
Unkown	1.12	0.33	0.66	0.48	0.16	0.19	1.03	0.46	0.15	0.76	0.78	0.10	0.95	7.18
Summe	6.24	9.04	7.35	7.42	10.22	7.19	15.11	6.22	6.29	7.54	4.22	8.01	5.14	100.00

Tabelle 2.2: Original Standort-Standort-Matrix für Juli 98 vom WWW-Server des B-WiN-Labors. Alle Durchsätze in % relativ zum Gesamtdurchsatz.

IP Routing die Durchsätze auf den Verbindungsleitungen zwischen den Knotenstandorten bestimmt.

2.2 Verkehrsmatrix mit internationalem Verkehr

An der Standort-Standort-Matrix aus dem vorhergehenden Abschnitt werden nun folgende 4 Modifikationen vorgenommen:

1. Addition von 7 % AAL Overhead
2. Addition von 10 % ATM Overhead
3. Anteilige Umlage des *Unknown* Verkehrs
4. Zusammenfassung der Knoten *IPgate*, *TEN34* und *Frankfurt*

AAL-Overhead

Die in den Standort-Standort-Matrizen des B-WiN-Labors angegebenen Durchsätze werden durch Verkehrsmessungen auf IP-Ebene, d.h. durch Abfrage der im B-WiN eingesetzten IP-Router ermittelt. Laut B-WiN-Labor werden bei den Messungen die transportierten Bytes pro IP-Paket inklusive Header berücksichtigt. Deshalb fehlen in diesen Durchsatzdaten sowohl der Overhead aus der ATM Adaptionsschicht AAL (ATM Adaption Layer) als auch der durch die ATM-Schicht verursachte Overhead.

Der Overhead auf AAL-Ebene hat zwei Ursachen. Die erste besteht darin, daß IP-Pakete nicht direkt unter Nutzung der ATM-Schicht transportiert werden können. Es ist vielmehr nötig die Pakete in der AAL-Schicht in AAL-Frames zu verpacken². Im Falle des B-WiN besitzt jeder dieser Frames einen Trailer von 8 Byte Länge in welchem beispielsweise Informationen über Prüfsumme und Länge des Frames gespeichert sind. Weiterhin muß zum Transport auf der ATM-Schicht die Länge eines jeden Frames ein Vielfaches von 48 Byte (= Payload einer einzelnen ATM-Zelle) betragen. Ist dies nicht der Fall, so wird der Frame mit Hilfe von Füllbytes entsprechend verlängert. Darin liegt ein weiterer Grund für den AAL-Overhead.

Um den im B-WiN auftretenden AAL-Overhead zu bestimmen wurden Messungen aus dem Projekt „Verkehrsstatistiken und Anwendungsprofile in ATM Netzen“ (vgl. [GOGL, 1998B]) verwendet. Es wurden jeweils die mittlere AAL-Framelänge (≈ 327 Bytes) und die mittlere IP-Paketlänge (≈ 305 Bytes) bestimmt. Der mittlere AAL-Overhead ergibt sich daraus nach folgender Formel:

²Bei Verwendung von MPOA (Multi Protocol Over ATM, vgl. RFC1483/RFC1577) würde sich weiterer Verpackungsoverhead ergeben. Dies ist im B-WiN nicht der Fall, da IP-Pakete direkt in AAL-Frames verpackt werden.

$$\begin{aligned}
\text{Overhead}_{\text{AAL}} &= \frac{\text{mittl. Framelänge} - \text{mittl. IP-Paketlänge}}{\text{mittl. IP-Paketlänge}} \\
&= \frac{327 \text{ Bytes} - 305 \text{ Bytes}}{305 \text{ Bytes}} \\
&\approx \underline{\underline{7\%}}
\end{aligned} \tag{2.1}$$

ATM-Overhead

Der ATM-Overhead wird durch das dem B-WiN zugrunde liegende ATM-Transportsystem verursacht, und muß für die Betrachtung des Durchsatzes auf ATM-Ebene (d.h. den Trunkleitungen zwischen den einzelnen Knotenstandorten) berücksichtigt werden. Als zweite Modifikation der Standort-Standort-Matrix wurden deshalb alle aufgeführten Durchsätze um 10 % erhöht. Diese 10 % Aufschlag ergeben sich aus dem Verhältnis der Längen von Zell-Header und Zell-Payload:

$$\text{Overhead}_{\text{ATM}} = \frac{\text{Länge Zell-Header}}{\text{Länge Zell-Payload}} = \frac{5 \text{ Bytes}}{48 \text{ Bytes}} \approx \underline{\underline{10\%}} \tag{2.2}$$

Unknown Traffic

Der dritte Schritt besteht darin, die in der Standort-Standort-Matrix unter *Unknown* aufgeführten Durchsätze anteilig auf die restlichen bekannten Sender zu verteilen. Dazu wurden für jede Zeile bzw. Spalte der Standort-Standort-Matrix die relativen Anteile der einzelnen Standorte an der Zeilen- bzw. Spaltensumme (reduziert um den *Unknown* Anteil) bestimmt. Entsprechend dieser relativen Anteile wurde schließlich der *Unknown* Anteil pro Zeile/Spalte auf die Elemente einer Zeile/Spalte umgelegt.

Auslandsanbindung

Die vierte Modifikation betrifft die Durchsätze der Knoten *IPgate*, *TEN34* und *Frankfurt*, welche alle drei im Knoten *Frankfurt* zusammengefaßt wurden. Der Grund für dieses Vorgehen ist, daß sich die Knoten *IPgate* und *TEN34* physikalisch in Frankfurt befinden und in der Standort-Standort-Matrix nur aufgrund ihrer Funktion als Aufpunkte für Auslandsverbindungen als eigenständige Netzknoten erscheinen.

In den Tabellen 2.3 und 2.4 ist das Ergebnis zu sehen, welches sich nach Anwendung der obigen vier Modifikationen auf die Standort-Standort-Matrix aus Abschnitt 2.1 ergibt. Im Vergleich zur ursprünglichen Matrix mit 12 Knotenstandorten sind nun nur noch 10 Standorte aufgeführt und die Summe der Durchsätze hat sich nach Berücksichtigung des AAL-/ATM-Overheads von 77 935 GByte auf 91 729 GByte erhöht.

Die relative Standort-Standort-Matrix in Tabelle 2.4 wird im Folgenden analog zu [JESSEN, 1995] als Matrix G_{ij} der prozentualen Durchsätze bezeichnet. Es gelten die folgenden Beziehungen:

	Berlin	Frankfurt	Hamburg	Hannover	Karlsruhe	Köln	Leipzig	München	Nürnberg	Stuttgart	Summe
Berlin	1423.80	1694.68	203.38	455.12	105.29	206.25	211.97	120.74	57.47	65.13	4543.83
Frankfurt	3379.71	6198.93	3691.15	3338.47	4965.60	9738.74	3552.41	3449.37	4122.39	2921.90	45358.68
Hamburg	129.41	1618.58	1899.99	260.64	161.68	233.15	107.04	92.13	25.33	46.24	4574.20
Hannover	227.76	2065.87	308.67	905.75	352.63	745.36	266.56	194.54	188.16	245.65	5500.95
Karlsruhe	111.07	2845.42	183.93	396.08	334.23	360.90	210.67	152.17	132.41	70.53	4797.41
Köln	156.90	4212.84	288.47	660.04	286.82	2077.17	223.94	174.15	144.79	155.89	8381.01
Leipzig	217.30	2128.03	131.86	318.96	170.45	277.91	869.69	91.57	84.14	101.24	4391.16
München	113.88	1736.19	120.83	271.36	148.53	233.77	116.06	388.64	289.61	111.60	3530.47
Nürnberg	82.28	2333.32	50.52	209.69	159.18	158.48	293.91	1596.38	2632.61	208.45	7724.82
Stuttgart	53.15	1760.10	65.92	252.98	130.88	268.51	89.02	119.73	103.41	83.05	2926.75
Summe	5895.26	26593.96	6944.72	7069.09	6815.29	14300.24	5941.27	6379.43	7780.32	4009.69	91729.27

Tabelle 2.3: Modifizierte Standort-Standort-Matrix für Juli 98 mit internationalem und nationalem Verkehrsanteil. Alle Durchsätze absolut in GBytes.

	Berlin	Frankfurt	Hamburg	Hannover	Karlsruhe	Köln	Leipzig	München	Nürnberg	Stuttgart	Summe
Berlin	1.55	1.85	0.22	0.50	0.11	0.22	0.23	0.13	0.06	0.07	4.95
Frankfurt	3.68	6.76	4.02	3.64	5.41	10.62	3.87	3.76	4.49	3.19	49.45
Hamburg	0.14	1.76	2.07	0.28	0.18	0.25	0.12	0.10	0.03	0.05	4.99
Hannover	0.25	2.25	0.34	0.99	0.38	0.81	0.29	0.21	0.21	0.27	6.00
Karlsruhe	0.12	3.10	0.20	0.43	0.36	0.39	0.23	0.17	0.14	0.08	5.23
Köln	0.17	4.59	0.31	0.72	0.31	2.26	0.24	0.19	0.16	0.17	9.14
Leipzig	0.24	2.32	0.14	0.35	0.19	0.30	0.95	0.10	0.09	0.11	4.79
München	0.12	1.89	0.13	0.30	0.16	0.25	0.13	0.42	0.32	0.12	3.85
Nürnberg	0.09	2.54	0.06	0.23	0.17	0.17	0.32	1.74	2.87	0.23	8.42
Stuttgart	0.06	1.92	0.07	0.28	0.14	0.29	0.10	0.13	0.11	0.09	3.19
Summe	6.43	28.99	7.57	7.71	7.43	15.59	6.48	6.95	8.48	4.37	100.00

Tabelle 2.4: Modifizierte Standort-Standort-Matrix für Juli 98 mit internationalem und nationalem Verkehrsanteil. Alle Durchsätze in % relativ zum Gesamtdurchsatz.

$$g_{s_i} = \sum_i g_{ij} \quad \text{proz. Sendedurchsatz in Knoten } i \quad (2.3)$$

$$g_{e_j} = \sum_j g_{ij} \quad \text{proz. Empfangsdurchsatz in Knoten } j \quad (2.4)$$

$$g_{s_{i^*}} = g_{s_i} - g_{ii} \quad \text{proz. überregionaler Sendedurchsatz in } i \quad (2.5)$$

$$g_{e_{j^*}} = g_{e_j} - g_{jj} \quad \text{proz. überregionaler Empfangsdurchsatz in } j \quad (2.6)$$

$$g_{s^*} = g_{e^*} = \sum_i g_{s_{i^*}} = \sum_j g_{e_{j^*}} \quad \text{proz. überregionaler Durchsatz} \quad (2.7)$$

$$g_{s'} = g_{e'} = \sum_i g_{ii} \quad \text{proz. regionaler Durchsatz} \quad (2.8)$$

Durch Anwendung von (2.7) ergibt sich aus Tabelle 2.4 der gesamte prozentuale überregionale Sende- und Empfangsdurchsatz zu

$$\sum_i g_{s_{i^*}} = \sum_j g_{e_{j^*}} \approx \underline{\underline{81.7 \%}}.$$

Der regionale Verkehrsanteil liegt nach (2.8) bei nur

$$\sum_i g_{ii} \approx \underline{\underline{18.3 \%}}.$$

2.2.1 Durchsatzstärkste Knoten

Aus der Matrix G_{ij} lassen sich mit Hilfe von (2.3) und (2.4) die durchsatzstärksten Knoten ermitteln. Beschränkt man sich bei dieser Auswahl auf die vier wichtigsten, so erhält man Frankfurt gefolgt von Köln, Nürnberg und Hannover. Tabelle 2.5 zeigt für jeden dieser vier Knoten den prozentualen Sende- und Empfangsdurchsatz.

Am Standort Frankfurt macht sich mit einem Sendedurchsatz von knapp 50 % des Gesamtdurchsatzes der starke Einfluß der USA- sowie der TEN-Anbindung bemerkbar, welcher zum großen Teil auch noch für die knapp 16 % Empfangsdurchsatz des Knotens Köln verantwortlich sein dürfte.

Ein Grund für die relativ hohen Durchsätze von Nürnberg und Hannover ist nicht offensichtlich. Interessant ist jedoch, daß sich beide Knoten auf der Ringstruktur des B-WiN fast genau gegenüberliegen. Eventuell konzentrieren sich die (gegenläufigen) Transitverkehrsströme des Ringes in diesen beiden Knoten stärker als in den restlichen Knoten.

Knoten	Sendedurchsatz g_{s_i}	Knoten	Empfangsdurchsatz g_{e_j}
Frankfurt	49.5 %	Frankfurt	29.0 %
Köln	9.1 %	Köln	15.6 %
Nürnberg	8.4 %	Nürnberg	8.5 %
Hannover	6.0 %	Hannover	7.7 %

Tabelle 2.5: Sende- und Empfangsdurchsätze der vier durchsatzstärksten Standorte im B-WiN für Juli 98 (unter Berücksichtigung von Auslandsverkehr). Alle Angaben relativ zum Gesamtdurchsatz.

2.2.2 Durchsätze auf den Netzsegmenten:

Um die Belastung der einzelnen Netzsegmente des B-WiN zu bestimmen, ist es nötig, die Durchsätze auf den Verbindungsleitungen (Trunkleitungen) zwischen den einzelnen Knotenstandorten zu berechnen. Für diese Berechnung ist zusätzlich zu der vorhandenen prozentualen Durchsatzmatrix G_{ij} eine Routingstrategie festzulegen.

Als Grundlage für die Festlegung des Routings wird die topologische Struktur des B-WiN (Stand: Juli 1998) verwendet. Wie in Abbildung 2.1 zu sehen ist, handelt es sich dabei im wesentlichen um ein Ringnetz mit 10 Knotenstandorten, wobei zwischen den Standorten Berlin und Frankfurt sowie Köln und Karlsruhe zusätzlich jeweils eine Direktverbindung realisiert wurde.

Das für die nachfolgenden Berechnungen gewählte Routing basiert auf folgender Strategie:

1. Verbindungen mit kürzestem Weg von 1 und 2 Segmenten werden auf diesem Weg realisiert.
2. Verbindungen mit kürzestem Weg von 3 und 4 Segmenten werden so realisiert, daß sich ein etwa gleicher Durchsatz auf den höchstbelasteten Segmenten ergibt.
3. Alle Verbindungen welche den Knoten Frankfurt nicht zum direkten Ziel haben werden an Frankfurt vorbei geroutet.

Die beiden ersten Festlegungen sind identisch zu den in [JESSEN, 1994], [JESSEN, 1995] gewählten. Die dritte Festlegung ist neu und soll gewährleisten den Knoten Frankfurt von Transitverkehr freizuhalten, da dieser Knoten durch seine Funktion als Aufpunkt für die Auslandsanbindungen bereits stark belastet ist.

Die beschriebene Routingstrategie stimmt zum Großteil mit dem beim Betrieb des B-WiN verwendeten Routing überein. Eine Abweichung ist jedoch durch das im B-WiN eingesetzte dynamische Routingprotokoll OSPF (Open Shortest Path First) gegeben, welches in der hier vorgenommenen statischen Analyse nicht nachgebildet werden kann.

In den nachfolgenden beiden Tabellen 2.6 und 2.7 ist zu sehen, welche Segmentdurchsätze h_{ij} sich auf den 12 Trunkleitungen zwischen den Knotenstandorten ergeben. Dabei stellt Tabelle 2.6 die absoluten Durchsätze in GBytes und Tabelle 2.7 die prozentualen Durchsätze bezogen auf den Gesamtdurchsatz dar. Die Berechnung der aufgeführten

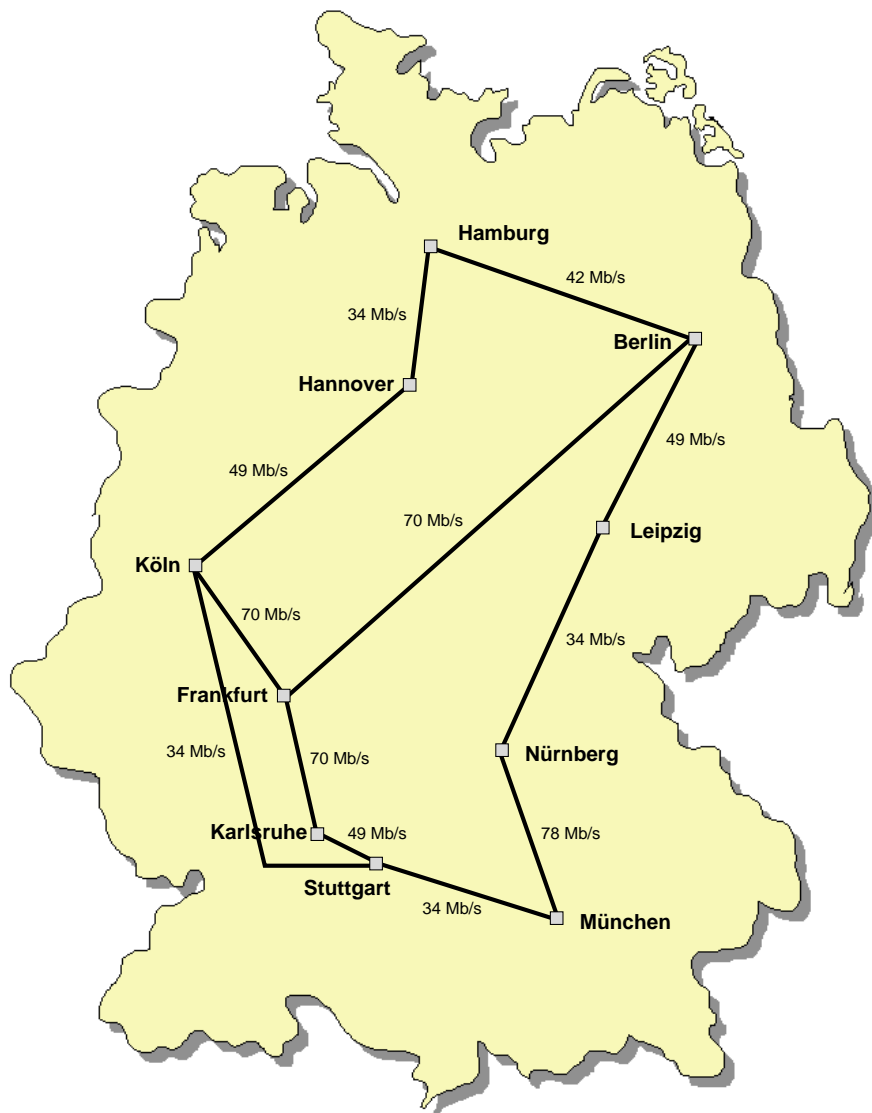


Abbildung 2.1: Graphische Übersicht der topologischen Struktur des B-WiN und Leitungskapazitäten der Netzsegmente (Stand: Juli 1998).

	Berlin	Frankfurt	Hamburg	Hannover	Karlsruhe	Köln	Leipzig	München	Nürnberg	Stuttgart	Summe
Berlin	-	7774.61	5387.77	-	-	-	9138.56	-	-	-	22300.93
Frankfurt	14745.66	-	-	-	11336.87	13077.21	-	-	-	-	39159.74
Hamburg	3035.82	-	-	1891.74	-	-	-	-	-	-	4927.56
Hannover	-	-	1910.31	-	-	4251.37	-	-	-	-	6161.68
Karlsruhe	-	6341.70	-	-	-	-	-	-	-	7989.03	14330.73
Köln	-	6278.71	-	5838.08	-	-	-	-	-	1762.39	13879.18
Leipzig	5870.89	-	-	-	-	-	-	-	5501.96	-	11372.85
München	-	-	-	-	-	-	-	-	1484.90	3747.59	5232.49
Nürnberg	-	-	-	-	-	-	3784.40	3146.96	-	-	6931.35
Stuttgart	-	-	-	-	5011.73	2469.84	-	4934.49	-	-	12416.06
Summe	23652.37	20395.02	7298.07	7729.82	16348.61	19798.41	12922.95	8081.44	6986.86	13499.00	136712.57

Tabelle 2.6: Durchsätze auf den Trunkleitungen für Juli 98 unter Berücksichtigung von internationalem und nationalem Verkehr. Alle Durchsätze absolut in GBytes.

	Berlin	Frankfurt	Hamburg	Hannover	Karlsruhe	Köln	Leipzig	München	Nürnberg	Stuttgart	Summe
Berlin	-	5.69	3.94	-	-	-	6.68	-	-	-	16.31
Frankfurt	10.79	-	-	-	8.29	9.57	-	-	-	-	28.64
Hamburg	2.22	-	-	1.38	-	-	-	-	-	-	3.60
Hannover	-	-	1.40	-	-	3.11	-	-	-	-	4.51
Karlsruhe	-	4.64	-	-	-	-	-	-	-	5.84	10.48
Köln	-	4.59	-	4.27	-	-	-	-	-	1.29	10.15
Leipzig	4.29	-	-	-	-	-	-	-	4.02	-	8.32
München	-	-	-	-	-	-	-	-	1.09	2.74	3.83
Nürnberg	-	-	-	-	-	-	2.77	2.30	-	-	5.07
Stuttgart	-	-	-	-	3.67	1.81	-	3.61	-	-	9.08
Summe	17.30	14.92	5.34	5.65	11.96	14.48	9.45	5.91	5.11	9.87	100.00

Tabelle 2.7: Durchsätze auf den Trunkleitungen für Juli 98 unter Berücksichtigung von internationalem und nationalem Verkehr. Alle Durchsätze in % relativ zum Gesamtdurchsatz auf allen Trunkleitungen.

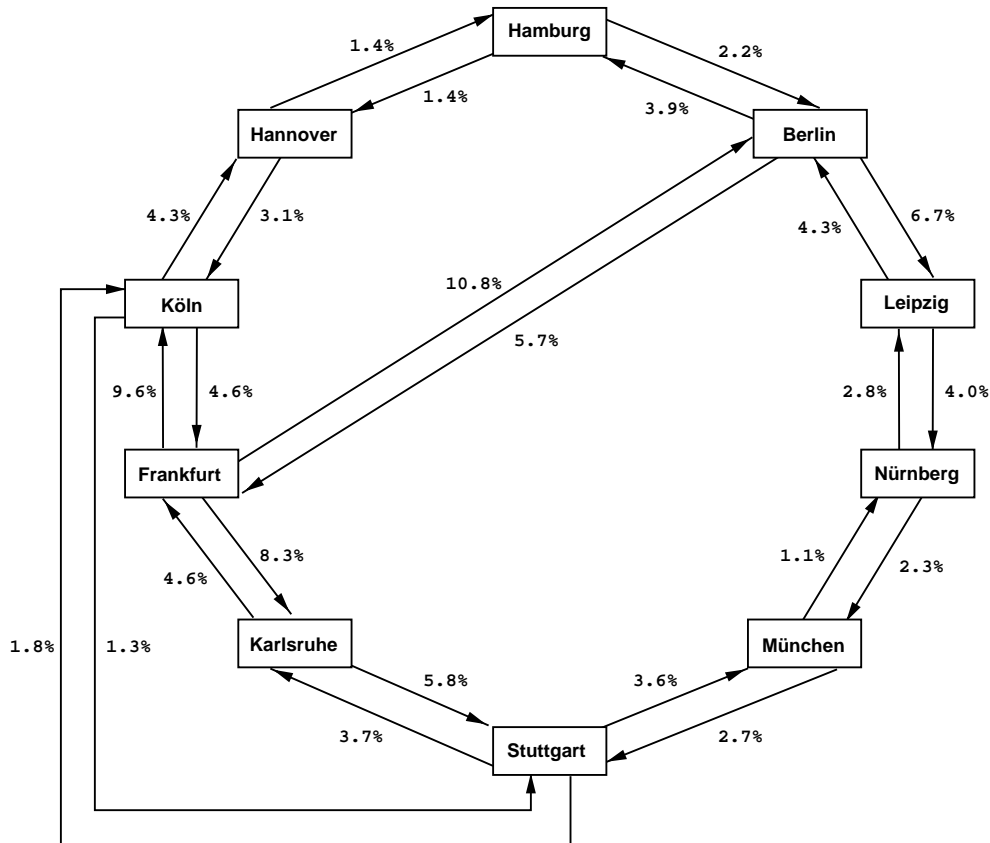


Abbildung 2.2: Graphische Übersicht der prozentualen Durchsätze auf den Trunkleitungen unter Berücksichtigung von internationalem und nationalem Verkehr.

Werte erfolgte durch Überlagerung der Durchsätze g_{ij} unter Berücksichtigung des oben gewählten Routings. Trotz des nicht berücksichtigten OSPF Routings zeigen die auf Basis der Verkehrsmatrix berechneten Trunkleitungsdurchsätze gute Übereinstimmung mit Messungen, welche durch das B-WiN-Labor direkt auf Trunkleitungsebene durchgeführt werden. Darüber hinaus ist, im Gegensatz zu diesen Messungen, nur mit der Berechnung der Trunkleitungsdurchsätze über die Verkehrsmatrix eine Differenzierung zwischen internationalem und nationalem Verkehrsanteil möglich.

Zur besseren Übersicht sind die prozentualen Trunkleitungsdurchsätze in Abbildung 2.2 nochmals graphisch dargestellt. Daraus und aus den vorhergehenden Tabellen läßt sich entnehmen, auf welchen Leitungen sich die höchsten Segmentdurchsätze ergeben. In Tabelle 2.8 wurden die 6 am höchsten belasteten Leitungen zusammengestellt. Auffallend an der Tabelle ist, daß bei allen 6 aufgeführten Verbindungsleitungen der Knoten Frankfurt jeweils einmal als Sender und einmal als Empfänger beteiligt ist. Der höchste Segmentdurchsatz ist mit 10.8 % auf der Strecke Frankfurt-Berlin zu finden, dicht gefolgt von den Strecken Frankfurt-Köln mit 9.6 % sowie Frankfurt-Karlsruhe mit 8.3 %. In diesen hohen Durchsätzen mit Ausgangspunkt Frankfurt spiegelt sich der große Einfluß von Auslandsverkehr (vornehmlich aus USA) wieder, welcher über Frankfurt von Knotenstandorten im B-WiN empfangen wird.

Ähnlich verhält es sich in der Gegenrichtung, d.h. mit Verkehr welcher aus dem B-WiN

Leitung	Durchsatz h_{ij} rel.	Durchsatz h_{ij} abs.
Frankfurt-Berlin	10.8 %	13781 GBytes
Berlin-Frankfurt	5.7 %	7266 GBytes
Frankfurt-Köln	9.6 %	12222 GBytes
Köln-Frankfurt	4.6 %	5866 GBytes
Frankfurt-Karlsruhe	8.3 %	10595 GBytes
Karlsruhe-Frankfurt	4.6 %	5927 GBytes

Tabelle 2.8: Relative und absolute Durchsätze auf den drei höchstbelasteten Trunkleitungspaaren des B-WiN für Juli 98 (unter Berücksichtigung von Auslandsverkehr).

über Frankfurt ins Ausland transportiert wird. In analoger Reihenfolge zu vorher ist der höchste Segmentdurchsatz mit 5.7 % auf der Strecke Berlin-Frankfurt zu finden, gefolgt von den Strecken Köln-Frankfurt und Karlsruhe-Frankfurt mit jeweils 4.6 %. Das Verhältnis zwischen Empfangs- und Sendedurchsatz bewegt sich bei den 3 Trunkleitungspaaren um den Faktor 2. Somit läßt sich abschätzen, daß im B-WiN etwa doppelt soviel Verkehr aus dem Ausland empfangen als ins Ausland gesendet wird.

2.2.3 Grenzdurchsatz

In den Studien [JESSEN, 1994] und [JESSEN, 1995] wurde für die Leistungsbetrachtung ein Ringnetz zugrundegelegt, bei welchem für die Ringsegmente eine Leitungskapazität $K = K_{ij}$ von einheitlich 34 Mb/s bzw. 140 Mb/s angenommen wurde. Der Grenzdurchsatz C_{HKN} des Hochgeschwindigkeits Kernnetzes ließ sich in diesem homogenen Fall einfach aus dem Quotienten von Leitungskapazität K und prozentualen Durchsatz $g_{engp} = \max_{ij} \{h_{ij}\}$ der den Engpaß bildenden Leitung ermitteln:

$$C_{HKN} = \frac{K}{g_{engp}} \quad (2.9)$$

Die im B-WiN eingesetzten Leitungskapazitäten für Juli 98 lassen sich aus Abbildung 2.1 entnehmen. Wie man sieht, sind die Kapazitäten der einzelnen Leitungen stark unterschiedlich, wobei vor allem der Bereich um den Knoten Frankfurt, begründet durch die Auslandsanbindung, höhere Übertragungskapazitäten aufweist. Um in dieser Situation den Grenzdurchsatz des Netzes zu bestimmen ist es nötig diese unterschiedlichen Leitungskapazitäten zu berücksichtigen. Zu diesem Zweck wird Gleichung 2.9 etwas verallgemeinert:

$$C_{HKN} = \min_{ij} \left\{ \frac{K_{ij}}{h_{ij}} \right\} \quad (2.10)$$

Der Grenzdurchsatz des Netzes ergibt sich nach Gleichung 2.10 nun also durch Berechnung des Grenzdurchsatzes bezüglich jeder Leitung und anschließender Selektion des Minimums

	Berlin	Frankfurt	Hamburg	Hannover	Karlsruhe	Köln	Leipzig	München	Nürnberg	Stuttgart
Berlin	-	1230.91	1065.73	-	-	-	733.04	-	-	-
Frankfurt	649.00	-	-	-	844.14	731.80	-	-	-	-
Hamburg	1891.39	-	-	2457.12	-	-	-	-	-	-
Hannover	-	-	2433.24	-	-	1575.71	-	-	-	-
Karlsruhe	-	1509.04	-	-	-	-	-	-	-	838.51
Köln	-	1524.18	-	1147.45	-	-	-	-	-	2637.46
Leipzig	1141.04	-	-	-	-	-	-	-	844.83	-
München	-	-	-	-	-	-	-	-	7181.34	1240.32
Nürnberg	-	-	-	-	-	-	1228.26	3388.54	-	-
Stuttgart	-	-	-	-	1336.65	1882.00	-	941.99	-	-

Tabelle 2.9: Grenzdurchsatz des Gesamtnetzes in Mb/s für Juli 98 bezogen auf die einzelnen Netzsegmente und unter Berücksichtigung von internationalem und nationalem Verkehr.

aller erhaltener Grenzdurchsätze. Der so ermittelte Grenzdurchsatz ist der Durchsatz, bei welchem die zugehörige Leitung als erste vor allen anderen überlastet und damit zum Engpaß im Netz wird.

In Tabelle 2.9 ist das Ergebnis zu sehen, welches sich nach Anwendung von Gleichung 2.10 auf die Tabelle 2.7 der prozentualen Segmentdurchsätze h_{ij} ergibt. Die Tabelle zeigt für jedes Netzsegment den berechneten Grenzdurchsatz des Gesamtnetzes. Als Minimum aller Grenzdurchsätze ergibt sich ein Durchsatz von 649 Mb/s auf der Strecke Frankfurt-Berlin.

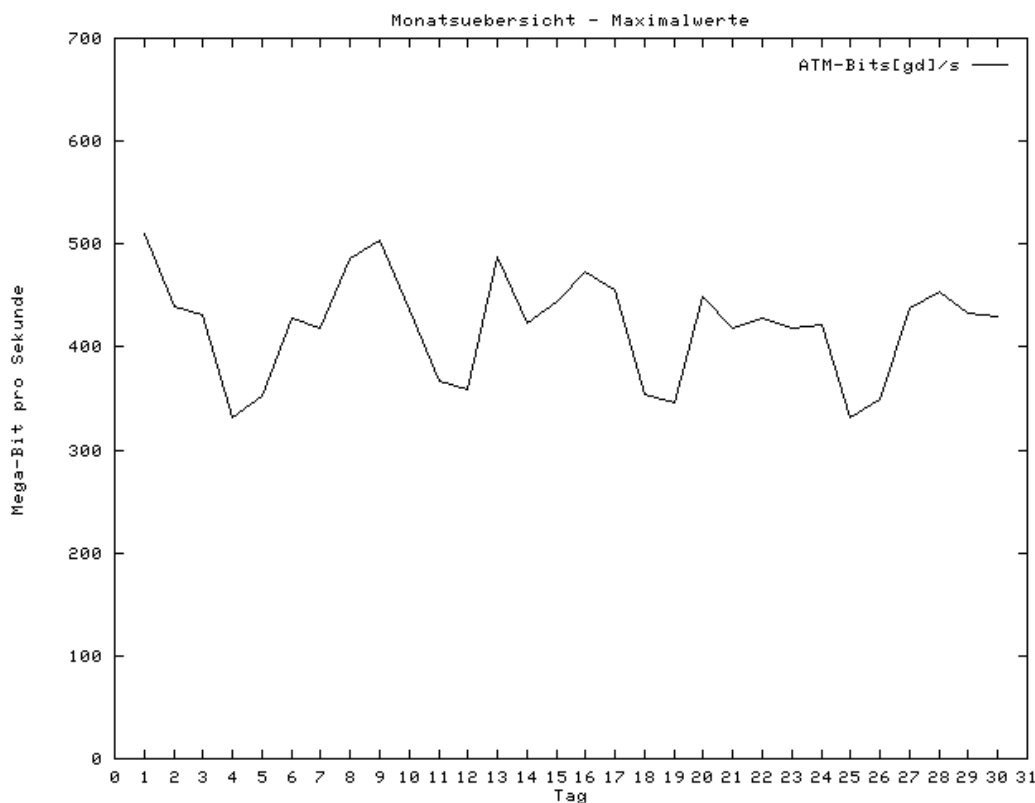


Abbildung 2.3: Maximaler Gesamtnetzdurchsatz des B-WiN für Juli 98.

Zum Vergleich ist in Abbildung 2.3 eine Grafik mit dem maximalen Gesamtnetzdurchsatz des B-WiN für Juli 98 dargestellt (vgl. [BWiNLAB, 1998]). In der Grafik ist für jeden Tag der höchste gemessene Durchsatz auf ATM-Ebene eingetragen³. Wie man sieht liegen die erreichten Spitzenwerte knapp über 500 Mb/s, der Mittelwert bewegt sich um 400 Mb/s.

Betrachtet man weitere Messungen des B-WiN Labors, z.B. für September 98 so zeigen sich Spitzenwerte mit bis zu 650 Mb/s. Eine neue Berechnung des Grenzdurchsatzes für September 98 lieferte einen Wert von 837 Mb/s, diesmal mit dem Netzsegment Frankfurt-Köln als Engpaß. Dieser im Vergleich zum Juli erhöhte Grenzdurchsatz hat seine Ursache in der Erweiterung der Kapazitäten einiger Netzsegmente. So wurde beispielsweise die Kapazität der Verbindung zwischen Frankfurt und Berlin, welche im Juli noch den Engpaß des Netzes darstellte, im September von 70 Mb/s auf 95 Mb/s erhöht. Für die Verbindun-

³Wie bei allen Durchsatzmessungen des B-WiN-Labors, die in dieser Untersuchung verwendet werden, lag die zeitliche Auflösung der Messungen bei 15 Minuten.

gen zwischen Frankfurt und Köln bzw. Frankfurt und Karlsruhe erfolgte eine Aufstockung von 70 Mb/s auf 83 Mb/s bzw. 82 Mb/s.

2.3 Verkehrsmatrix ohne internationalen Verkehr

Die in den Abschnitten 2.2.1 bis 2.2.3 durchgeführten Untersuchungen bezüglich der aktuellen Lastsituation im B-WiN wurden unter Berücksichtigung von internationalem und nationalem Verkehr vorgenommen. Um herauszufinden, welchen Einfluß die Auslandsanbindungen auf das Lastszenario im B-WiN ausüben, werden in den folgenden Abschnitten die gleichen Untersuchungen nochmals durchgeführt, jedoch mit dem Unterschied, daß diesmal der internationale Verkehrsanteil nicht berücksichtigt wird.

Als Ausgangsbasis der Berechnungen dient analog zu Abschnitt 2.1 die Standort-Standort-Matrix für Juli 1998. Diese Matrix wurde zunächst dahingehend abgeändert, daß die Sende- und Empfangsdurchsätze der Knoten *IPgate* und *TEN34* jeweils den Wert 0 erhielten. Somit war der internationale Verkehrsanteil aus der Matrix eliminiert. Im nächsten Schritt wurden die unter 2.2 beschriebenen 4 Modifikationen vorgenommen als deren Ergebnis schließlich die für die Berechnungen nötige Verkehrsmatrix ohne internationalen Verkehr vorlag.

Die Tabellen 2.10 und 2.11 zeigen die Verkehrsmatrix sowohl mit absoluten als auch relativen Durchsatzwerten. Im Vergleich zur Verkehrsmatrix mit internationalem Verkehr (vgl. Tabelle 2.3) ist der Gesamtdurchsatz von 91 729 GBytes auf 38 354 GBytes gesunken. Dies entspricht einer Reduzierung von 58 % und macht einmal mehr deutlich, wie stark der B-WiN Verkehr durch den Auslandsanteil geprägt ist.

Analog zu Abschnitt 2.1 wird im Folgenden die Standort-Standort-Matrix mit den relativen Durchsatzwerten (vgl. Tabelle 2.11) als Matrix G_{ij} der prozentualen Durchsätze bezeichnet.

2.3.1 Durchsatzstärkste Knoten

Aus der Matrix G_{ij} lassen sich mit Hilfe der Gleichungen (2.3) und (2.4) aus Abschnitt 2.1 die durchsatzstärksten Knoten ermitteln. Analog zur entsprechenden Betrachtung mit internationalem Verkehr beschränken wir uns auf die Auswahl der vier wichtigsten Knoten. Wie in Tabelle 2.12 zu sehen ist, erhält man die Knoten Frankfurt, Nürnberg, Köln und Hannover. Dabei handelt es sich um dieselben Standorte, welche sich bereits bei der Betrachtung mit internationalem Verkehr als durchsatzstärkste Knoten ergaben, wobei jedoch in der Reihenfolge der Knoten insgesamt als auch in der Reihenfolge getrennt nach Sende- und Empfangsdurchsatz Unterschiede vorhanden sind.

Die vier sendestärksten Knoten sind nach Tabelle 2.12: Frankfurt gefolgt von Köln, Nürnberg und Hannover. Für die Empfangsdurchsätze dagegen gilt die Reihenfolge Köln, Frankfurt, Nürnberg und Hannover. Vergleicht man die Durchsätze in den Fällen mit und ohne internationalem Verkehr etwas genauer, so ist ohne internationalen Verkehr eine viel gleichmäßigere Lastverteilung unter den Knoten festzustellen. Deutlich wird dies, indem

	Berlin	Frankfurt	Hamburg	Hannover	Karlsruhe	Köln	Leipzig	München	Nürnberg	Stuttgart	Summe
Berlin	1423.80	360.55	203.38	455.12	105.29	206.25	211.97	120.74	57.47	65.13	3209.69
Frankfurt	564.42	1716.28	432.87	645.92	765.53	1684.20	579.86	576.37	871.08	457.72	8294.24
Hamburg	129.41	230.42	1899.99	260.64	161.68	233.15	107.04	92.13	25.33	46.24	3186.05
Hannover	227.76	532.94	308.67	905.75	352.63	745.36	266.56	194.54	188.16	245.65	3968.02
Karlsruhe	111.07	540.01	183.93	396.08	334.23	360.90	210.67	152.17	132.41	70.53	2492.00
Köln	156.90	803.15	288.47	660.04	286.82	2077.17	223.94	174.15	144.79	155.89	4971.31
Leipzig	217.30	410.00	131.86	318.96	170.45	277.91	869.69	91.57	84.14	101.24	2673.13
München	113.88	309.26	120.83	271.36	148.53	233.77	116.06	388.64	289.61	111.60	2103.55
Nürnberg	82.28	438.09	50.52	209.69	159.18	158.48	293.91	1596.38	2632.61	208.45	5829.59
Stuttgart	53.15	460.10	65.92	252.98	130.88	268.51	89.02	119.73	103.41	83.05	1626.75
Summe	3079.97	5800.80	3686.44	4376.54	2615.22	6245.70	2968.71	3506.42	4529.01	1545.51	38354.33

Tabelle 2.10: Modifizierte Standort-Standort-Matrix für Juli 98 ohne internationalen Verkehrsanteil. Alle Durchsätze absolut in GBytes.

	Berlin	Frankfurt	Hamburg	Hannover	Karlsruhe	Köln	Leipzig	München	Nürnberg	Stuttgart	Summe
Berlin	3.71	0.94	0.53	1.19	0.27	0.54	0.55	0.31	0.15	0.17	8.37
Frankfurt	1.47	4.47	1.13	1.68	2.00	4.39	1.51	1.50	2.27	1.19	21.63
Hamburg	0.34	0.60	4.95	0.68	0.42	0.61	0.28	0.24	0.07	0.12	8.31
Hannover	0.59	1.39	0.80	2.36	0.92	1.94	0.69	0.51	0.49	0.64	10.35
Karlsruhe	0.29	1.41	0.48	1.03	0.87	0.94	0.55	0.40	0.35	0.18	6.50
Köln	0.41	2.09	0.75	1.72	0.75	5.42	0.58	0.45	0.38	0.41	12.96
Leipzig	0.57	1.07	0.34	0.83	0.44	0.72	2.27	0.24	0.22	0.26	6.97
München	0.30	0.81	0.32	0.71	0.39	0.61	0.30	1.01	0.76	0.29	5.48
Nürnberg	0.21	1.14	0.13	0.55	0.42	0.41	0.77	4.16	6.86	0.54	15.20
Stuttgart	0.14	1.20	0.17	0.66	0.34	0.70	0.23	0.31	0.27	0.22	4.24
Summe	8.03	15.12	9.61	11.41	6.82	16.28	7.74	9.14	11.81	4.03	100.00

Tabelle 2.11: Modifizierte Standort-Standort-Matrix für Juli 98 ohne internationalen Verkehrsanteil. Alle Durchsätze in % relativ zum Gesamtdurchsatz.

Knoten	Sendedurchsatz g_{s_i}	Knoten	Empfangsdurchsatz g_{e_j}
Frankfurt	21.6 %	Köln	16.3 %
Nürnberg	15.2 %	Frankfurt	15.1 %
Köln	13.0 %	Nürnberg	11.8 %
Hannover	10.4 %	Hannover	11.4 %

Tabelle 2.12: Sende- und Empfangsdurchsätze der vier durchsatzstärksten Standorte im B-WiN für Juli 98 (ohne Berücksichtigung von Auslandsverkehr). Alle Angaben relativ zum Gesamtdurchsatz.

man die Verhältnisse r_s und r_e der Durchsätze zwischen dem stärksten und schwächsten der vier Knoten (jeweils für Sende- und Empfangsrichtung) betrachtet:

$$r_s = \frac{\max_i \{g_{s_i}\}}{\min_i \{g_{s_i}\}} \quad (2.11)$$

$$r_e = \frac{\max_i \{g_{e_i}\}}{\min_i \{g_{e_i}\}} \quad (2.12)$$

Nach Anwendung der Gleichungen 2.11 und 2.12 auf die Tabellen 2.5 bzw. 2.12 ergeben sich folgende Verhältnisse r_s und r_e mit und ohne Berücksichtigung von internationalem Verkehrsanteil:

Verhältnis	mit int. Verkehr	ohne int. Verkehr
r_s	8.3	2.1
r_e	3.8	1.4

Tabelle 2.13: Gefälle unter den durchsatzstärksten Knotenstandorten für Sende- und Empfangsrichtung mit und ohne internationalem Verkehrsanteil.

Tabelle 2.13 zeigt, daß bei Berücksichtigung von Auslandsverkehr der durchsatzstärkste Knoten etwa 8 mal mehr Daten sendet und knapp 4 mal mehr Daten empfängt als der schwächste unter den vier betrachteten Standorten. Im Fall ohne Auslandsverkehr sind die Verhältnisse ausgeglichener. Der durchsatzstärkste Knoten sendet hier nur etwa 2 mal so viel und empfängt nur 1.4 mal so viel als der schwächste Knoten.

2.3.2 Durchsätze auf den Netzsegmenten

In Abschnitt 2.2.2 wurden die Durchsätze h_{ij} auf den einzelnen Netzsegmenten des B-WiN für Juli 98 unter Berücksichtigung von internationalem und nationalem Verkehrsanteil bestimmt. Zu diesem Zweck wurde die Matrix der prozentualen Durchsätze G_{ij} und eine

bestimmte Routing Strategie verwendet. In diesem Abschnitt werden die Durchsätze der Netzsegmente nun für den Fall ohne internationalen Verkehrsanteil berechnet, wobei die erwähnte Routing Strategie unverändert beibehalten wird.

Das Ergebnis der Berechnungen ist in den Tabellen 2.14 und 2.15 dargestellt. Die erste Tabelle zeigt die auf den Trunkleitungen ermittelten Durchsätze h_{ij} absolut in GBytes. Ein Vergleich mit der entsprechenden Tabelle 2.6 aus Abschnitt 2.2.2 ergibt, daß sich durch den Wegfall des Auslandsverkehrs die Summe aller Trunkleitungsdurchsätze von 136 713 GByte auf 51 601 GByte reduziert hat. Dies entspricht einem Rückgang von 62 %. Das sind nochmals 4 % mehr als bei der unter 2.3 gefundenen Durchsatzreduzierung in der Standort-Standort Matrix selbst. Im B-WiN macht somit der Auslandsverkehr fast $\frac{2}{3}$ des auf den Trunkleitungen transportierten Datenvolumens aus.

Die zweite oben erwähnte Tabelle 2.15 gibt die Trunkleitungsdurchsätze relativ zum Gesamtdurchsatz auf allen Trunkleitungen wieder. Im Vergleich zur entsprechenden Tabelle 2.7 mit internationalem Verkehrsanteil fallen die berechneten Durchsätze der einzelnen Trunkleitungen etwas gleichmäßiger aus. Dies ist ein Ergebnis, welches nach Wegfallen der ungleichmäßigen Belastung des Netzes durch den im Raum Frankfurt eingespeisten Auslandsverkehr zu erwarten war.

Zur besseren Übersicht sind die prozentualen Durchsätze h_{ij} auf den Trunkleitungen in Abbildung 2.4 passend zur Ringtopologie des B-WiN nochmals graphisch dargestellt. Daraus und aus den bereits besprochenen beiden Tabellen läßt sich leicht entnehmen, auf welchen Leitungen sich die höchsten Segmentdurchsätze ergeben.

In Tabelle 2.16 wurden davon die 6 am stärksten belasteten Leitungspaare zusammengestellt. Der höchste Segmentdurchsatz ist mit 6.1 % am Gesamtvolumen auf der Strecke Köln-Hannover zu finden, gefolgt von den Strecken Berlin-Leipzig mit 5.7 % sowie Karlsruhe-Stuttgart mit 5.1 %. Im Unterschied zur Betrachtung der Segmentdurchsätze unter Abschnitt 2.2.2 bei welcher die höchstbelasteten Strecken alle als gemeinsamen Endpunkt den Knoten Frankfurt aufwiesen, ist in diesem Fall kein solcher Knoten vorhanden. Dies ist wiederum auf die insgesamt gleichmäßigere Auslastung des Netzes und insbesondere das Fehlen starker Verkehrskonzentrationen zurückzuführen.

	Berlin	Frankfurt	Hamburg	Hannover	Karlsruhe	Köln	Leipzig	München	Nürnberg	Stuttgart	Summe
Berlin	-	1439.05	2129.49	-	-	-	2914.69	-	-	-	6483.23
Frankfurt	2448.22	-	-	-	1799.62	2330.12	-	-	-	-	6577.96
Hamburg	1647.66	-	-	1891.74	-	-	-	-	-	-	3539.40
Hannover	-	-	1910.31	-	-	2718.44	-	-	-	-	4628.74
Karlsruhe	-	1309.38	-	-	-	-	-	-	-	2651.84	3961.22
Köln	-	1336.08	-	3145.53	-	-	-	-	-	1762.39	6244.00
Leipzig	2257.63	-	-	-	-	-	-	-	2250.65	-	4508.27
München	-	-	-	-	-	-	-	-	1484.90	2320.67	3805.57
Nürnberg	-	-	-	-	-	-	1889.17	3146.96	-	-	5036.12
Stuttgart	-	-	-	-	2284.82	2469.84	-	2061.48	-	-	6816.13
Summe	6353.51	4084.52	4039.79	5037.27	4084.44	7518.39	4803.86	5208.44	3735.55	6734.89	51600.65

Tabelle 2.14: Durchsätze auf den Trunkleitungen für Juli 98 ohne internationalen Verkehr. Alle Durchsätze absolut in GBytes.

	Berlin	Frankfurt	Hamburg	Hannover	Karlsruhe	Köln	Leipzig	München	Nürnberg	Stuttgart	Summe
Berlin	-	2.79	4.13	-	-	-	5.65	-	-	-	12.56
Frankfurt	4.74	-	-	-	3.49	4.52	-	-	-	-	12.75
Hamburg	3.19	-	-	3.67	-	-	-	-	-	-	6.86
Hannover	-	-	3.70	-	-	5.27	-	-	-	-	8.97
Karlsruhe	-	2.54	-	-	-	-	-	-	-	5.14	7.68
Köln	-	2.59	-	6.10	-	-	-	-	-	3.42	12.10
Leipzig	4.38	-	-	-	-	-	-	-	4.36	-	8.74
München	-	-	-	-	-	-	-	-	2.88	4.50	7.38
Nürnberg	-	-	-	-	-	-	3.66	6.10	-	-	9.76
Stuttgart	-	-	-	-	4.43	4.79	-	4.00	-	-	13.21
Summe	12.31	7.92	7.83	9.76	7.92	14.57	9.31	10.09	7.24	13.05	100.00

Tabelle 2.15: Durchsätze auf den Trunkleitungen für Juli 98 ohne internationalen Verkehr. Alle Durchsätze in % relativ zum Gesamtdurchsatz auf allen Trunkleitungen.

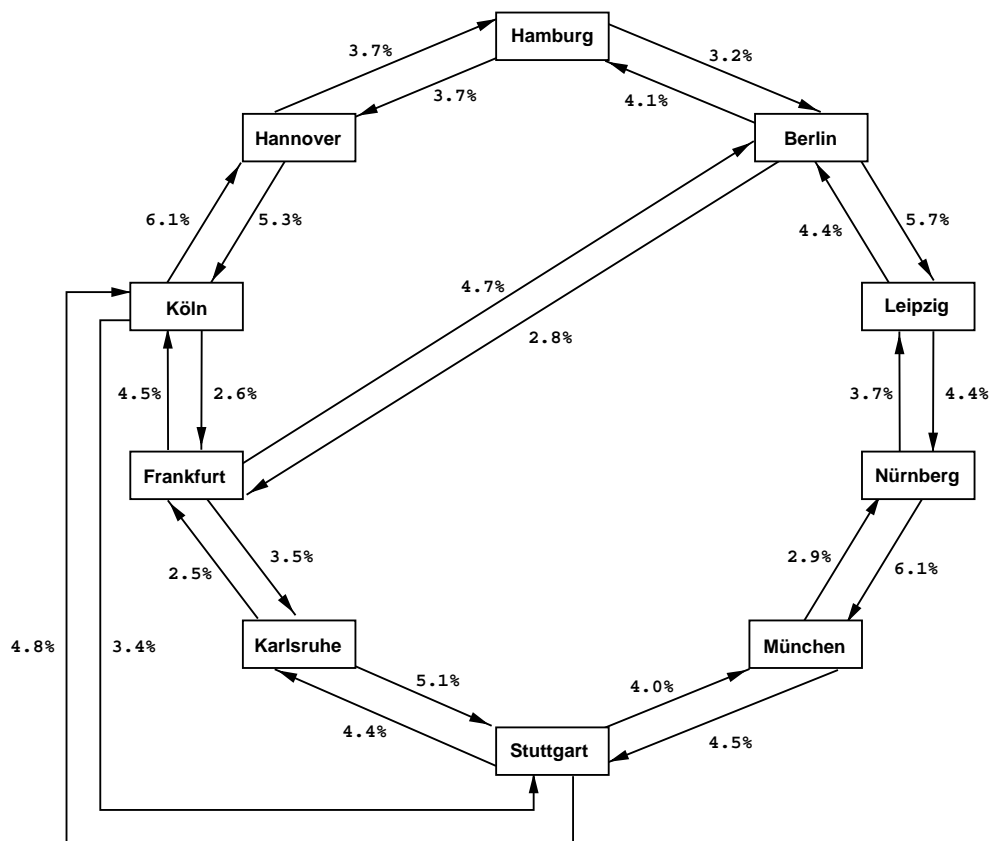


Abbildung 2.4: Graphische Übersicht der prozentualen Durchsätze auf den Trunkleitungen für Juli 98 ohne Berücksichtigung von internationalem Verkehr.

Leitung	Durchsatz h_{ij} rel.	Durchsatz h_{ij} abs.
Köln-Hannover	6.1 %	3146 GBytes
Hannover-Köln	5.3 %	2718 GBytes
Berlin-Leipzig	5.7 %	2915 GBytes
Leipzig-Berlin	4.4 %	2258 GBytes
Karlsruhe-Stuttgart	5.1 %	2652 GBytes
Stuttgart-Karlsruhe	4.4 %	2285 GBytes

Tabelle 2.16: Relative und absolute Durchsätze auf den drei höchstbelasteten Trunkleitungs-paaren des B-WiN für Juli 98 (ohne Berücksichtigung von Auslandsverkehr).

Um die unterschiedliche Belastung der Trunkleitungen für die Fälle mit und ohne internationalem Verkehrsanteil etwas genauer zu charakterisieren wird im Folgenden für beide Situationen das Verhältnis zwischen den Durchsätzen der höchst- und niedrigstbelasteten Trunkleitung aus obiger Auswahl betrachtet. Die Vorgehensweise ist dabei analog zur der in Abschnitt 2.3.1 durchgeführten Analyse der durchsatzstärksten Knoten. Das interessierende Verhältnis r_{td} der Trunkleitungsdurchsätze h_{ij} lautet wie folgt:

$$r_{td} = \frac{\max_{ij}\{h_{ij}\}}{\min_{ij}\{h_{ij}\}} \quad (2.13)$$

Nach Anwendung der Gleichung 2.13 auf Tabelle 2.16 (bzw. Tabelle 2.15) ergeben sich folgende Verhältnisse r_{td} mit und ohne Berücksichtigung von internationalem Verkehrsanteil:

Verhältnis	mit int. Verkehr	ohne int. Verkehr
r_{td} (6 Leitungen)	2.4	1.4
r_{td} (24 Leitungen)	9.8	2.4

Tabelle 2.17: Gefälle zwischen den höchst- und niedrigstbelasteten Trunkleitungen mit und ohne internationalem Verkehrsanteil.

Tabelle 2.17 zeigt, daß bei Berücksichtigung von Auslandsverkehr die höchstbelastete Trunkleitung 2.4 mal mehr Daten transportiert als die niedrigstbelastete unter den 6 betrachteten Leitungen. Im Fall ohne Auslandsverkehr dagegen liegt das Verhältnis bei nur 1.4. Erweitert man die Betrachtung von den 6 höchstbelasteten Leitungen auf alle 24 vorhandenen Trunkleitungen, so erhält man mit internationalem Verkehr ein Verhältnis von 9.8 und ohne internationalem Verkehr von 2.4. Insgesamt zeigt sich also auch hier wieder eine deutlich ungleichmäßigere Belastung des Netzes durch den Einfluß des internationalen Verkehrsanteiles.

2.3.3 Grenzdurchsatz

In diesem Abschnitt wird untersucht wie sich der Grenzdurchsatz des B-WiN verändert, wenn die durch den Auslandsverkehr verursachte Netzlast entfällt. Die Vorgehensweise dabei ist völlig analog zu Abschnitt 2.2.3, in welchem der Grenzdurchsatz des Netzes unter Berücksichtigung des internationalen Verkehrsanteiles ermittelt wurde. Wie gewohnt werden als Grundlage Meßdaten für Juli 98 verwendet und die verwendete Routing Strategie sowie die eingesetzten Leitungskapazitäten bleiben unverändert.

In Tabelle 2.18 ist das Ergebnis zu sehen, welches man nach Anwendung von Gleichung 2.10 auf die Tabelle 2.15 der prozentualen Segmentdurchsätze h_{ij} erhält. Als Minimum aller Grenzdurchsätze, und damit als maximaler Grenzdurchsatz des Gesamtnetzes, ergibt sich ein Wert von 710 Mb/s auf der Strecke Stuttgart-Köln. Dieser Wert liegt nur um 61

	Berlin	Frankfurt	Hamburg	Hannover	Karlsruhe	Köln	Leipzig	München	Nürnberg	Stuttgart
Berlin	-	2510.02	1017.72	-	-	-	867.48	-	-	-
Frankfurt	1475.38	-	-	-	2007.12	1550.16	-	-	-	-
Hamburg	1315.33	-	-	927.41	-	-	-	-	-	-
Hannover	-	-	918.40	-	-	930.11	-	-	-	-
Karlsruhe	-	2758.59	-	-	-	-	-	-	-	953.46
Köln	-	2703.46	-	803.82	-	-	-	-	-	995.48
Leipzig	1119.95	-	-	-	-	-	-	-	779.52	-
München	-	-	-	-	-	-	-	-	2710.52	756.00
Nürnberg	-	-	-	-	-	-	928.68	1278.97	-	-
Stuttgart	-	-	-	-	1106.62	710.34	-	851.05	-	-

Tabelle 2.18: Grenzdurchsatz des Gesamtnetzes in Mb/s für Juli 98 bezogen auf die einzelnen Netzsegmente ohne Berücksichtigung von internationalem Verkehr.

Mb/s über den in Abschnitt 2.2.3 (für den Fall mit internationalem Verkehr) ermittelten 649 Mb/s, welche sich aus einem Engpaß auf der Strecke Frankfurt-Berlin ergaben.

Trotz des in den vorangegangenen Abschnitten festgestellten gleichmäßigeren Lastbildes bei Fehlen des internationalen Verkehrsanteiles kann das Netz also nicht wesentlich mehr Verkehr bewältigen. Ein Vergleich der Tabellen 2.9 und 2.18 liefert den Grund für dieses Verhalten:

Im Fall mit internationalem Verkehr ergeben sich die Engpässe im Netz vor allem auf solchen Strecken, die über das gewählte Routing für die Abwicklung des Auslandsverkehrs in Empfangsrichtung bestimmt sind (z.B. Frankfurt-Berlin, Frankfurt-Köln, Frankfurt-Karlsruhe, Karlsruhe-Stuttgart usw.). Dabei handelt es sich vorwiegend um leistungsmäßig gut ausgebaute Strecken.

Im Fall ohne internationalen Verkehr werden vor allem die weniger gut ausgebauten Strecken mit (nur) 34 Mb/s (wie z.B. Stuttgart-Köln, München-Stuttgart, Leipzig-Nürnberg usw.) zum Engpaß.

Der Grund für den nur wenig besseren Grenzdurchsatz bei Wegfallen des internationalen Verkehrsanteiles liegt somit also darin, daß das Netz auf die ungleichmäßige Belastung zugeschnitten ist und bei gleichmäßigerer Netzlast freie Kapazitäten brachliegen⁴. Dies ist einerseits ein Hinweis dafür, daß das Netz derzeit gut auf die Bewältigung des Auslandsverkehrs abgestimmt ist, andererseits aber auch dafür, daß bei der Planung des G-WiN das durch den Auslandsverkehr verursachte Ungleichgewicht unbedingt berücksichtigt bzw. über Möglichkeiten zu einer gleichmäßigeren Verteilung der durch den Auslandsverkehr entstehenden Last nachgedacht werden sollte.

2.4 Hauptverkehrsstunde (HVS)

In den Studien [JESSEN, 1994] und [JESSEN, 1995] konnte die Lastsituation während der Hauptverkehrsstunde (HVS) aus Mangel an entsprechendem Datenmaterial nur grob geschätzt werden. Für die in diesem Abschnitt durchgeführte Analyse der HVS liegen im Gegensatz dazu sowohl Meßdaten des B-WiN-Labors als auch Meßdaten aus dem Projekt „Verkehrsstatistiken und Anwendungsprofile in ATM Netzen“ (vgl. [GOGL, 1998A]) vor. Beide Quellen werden im Folgenden herangezogen um nachstehende Charakteristika der HVS im B-WiN zu ermitteln:

1. Die zeitliche Lage der HVS
2. Das Durchsatzmittel und den Spitzendurchsatz während der HVS
3. Die mittlere Überhöhung des Durchsatzes während der HVS
4. Den Anteil der HVS am Tagesdurchsatz

⁴Im realen Netz würden brachliegende Kapazitäten durch Mechanismen wie OSPF genutzt werden können, dies kann jedoch wie bereits mehrmals erwähnt in der hier durchgeführten statischen Analyse nicht berücksichtigt werden.

2.4.1 Zeitliche Lage der HVS

Um die zeitliche Lage der Hauptverkehrstunde zu ermitteln betrachten wir Messungen zu den Tagesdurchsätzen im Juli 98. Tabelle 2.19 zeigt für den Zeitraum vom 1.7.98 bis 31.7.98 jeweils das täglich vom B-WiN empfangene bzw. gesendete Datenvolumen in GByte und für die Empfangsrichtung den Beginn der HVS sowie den mittleren Durchsatz während dieser in Mb/s.

Datum	Summe		HVS empf. Daten	
	empfangen [GByte]	gesendet [GByte]	Beginn	Durchsatz [Mb/s]
Mi: 1. 7.98	2523.59	1854.60	13:30	309.75
Do: 2. 7.98	2483.75	1819.28	14:00	307.77
Fr: 3. 7.98	2330.76	1681.35	14:15	312.43
Sa: 4. 7.98	1810.53	1194.35	19:15	210.59
So: 5. 7.98	1827.81	1209.86	22:30	227.38
Mo: 6. 7.98	2412.65	1724.38	16:00	304.65
Di: 7. 7.98	2449.50	1790.27	11:00	302.58
Mi: 8. 7.98	2464.21	1856.53	15:30	317.45
Do: 9. 7.98	2447.31	1825.49	15:45	348.93
Fr: 10. 7.98	2352.51	1745.55	14:15	291.27
Sa: 11. 7.98	1862.63	1410.05	0:15	211.29
So: 12. 7.98	1865.26	1337.22	19:15	228.21
Mo:13. 7.98	2414.46	1858.82	9:45	288.93
Di: 14. 7.98	2455.59	1819.33	10:45	308.26
Mi: 15. 7.98	2438.26	1873.86	15:45	316.89
Do: 16. 7.98	2489.82	1854.75	16:30	308.86
Fr: 17. 7.98	2505.36	1825.15	14:15	317.62
Sa: 18. 7.98	1903.77	1315.80	0:15	218.03
So: 19. 7.98	1806.91	1200.26	22:00	218.05
Mo:20. 7.98	2391.34	1733.99	15:45	313.68
Di: 21. 7.98	2364.28	1719.15	10:45	286.19
Mi: 22. 7.98	2399.67	1742.69	14:45	299.65
Do: 23. 7.98	2370.56	1706.66	13:30	289.35
Fr: 24. 7.98	2312.38	1648.25	13:45	286.28
Sa: 25. 7.98	1720.85	1185.90	15:15	201.49
So: 26. 7.98	1740.44	1174.84	23:00	216.47
Mo:27. 7.98	2378.91	1768.10	14:00	303.81
Di: 28. 7.98	2476.34	1846.22	14:15	323.32
Mi: 29. 7.98	2453.60	1797.95	14:00	310.28
Do: 30. 7.98	2426.53	1790.93	15:00	301.62
Fr: 31. 7.98	2289.72	1739.65	14:45	282.43
Summe	70169.29	51051.22		

Tabelle 2.19: Sende-/Empfangsdurchsätze, Hauptverkehrsstunden der Empfangsrichtung und deren mittlere Durchsätze für Juli 98 [BWINLAB, 1998].

Die in der dritten Spalte der Tabelle aufgeführten Startzeiten der HVS schwanken relativ stark und decken dabei den gesamten Bereich von spät vormittags bis spät nachts ab. Eine genauere Betrachtung ergibt allerdings, daß die Variation der zeitlichen Lage der HVS einer gewissen Regelmäßigkeit unterliegt. So tritt die HVS von Montag bis Freitag

gehäuft im Zeitraum von 13⁰⁰ bis 16⁰⁰ Uhr auf, während an den Wochenenden für das Auftreten der HVS eher der Zeitraum zwischen 19⁰⁰ und 23⁰⁰ Uhr in Frage kommt.

In [GOGL, 1998A] erfolgte die Bestimmung der HVS anhand von Bandbreitenmessungen, welche am B-WiN Anschluß des Leibniz Rechenzentrums (LRZ) in München durchgeführt wurden und die Analyse des gesamten durch das Münchner Hochschulnetz erzeugten Verkehrs erlaubten. Ein Vergleich zwischen obigen Ergebnissen und den Aussagen in [GOGL, 1998A] bezüglich der zeitlichen Lage der HVS zeigt gute Übereinstimmung.

Die HVS trat in der damaligen Untersuchung Werktags ebenfalls gehäuft im Zeitraum zwischen 13⁰⁰ bis 16⁰⁰ Uhr und am Wochenende in den Nachtstunden auf. Als Grund für die unterschiedliche Lage der HVS an Werktagen und Wochenenden wurden automatisch laufende Aktualisierungen von Servern vermutet, welche vorwiegend nachts angestoßen werden. Den Bandbreitenmessungen zufolge produzieren solche Server über einen Zeitraum von etwas über 1 Stunde sehr hohe Last, welche die an den Wochenenden tagsüber während einer 1 Stunde auftretende Last häufig übertrifft. Dies führt dann bei Ermittlung der HVS über alle 24 Stunden eines Tages dazu, daß sich die HVS spät abends ergibt.

Insgesamt lassen obige Übereinstimmungen darauf schließen, daß bezüglich der zeitlichen Lage der HVS nur geringe bis gar keine Unterschiede zwischen der Situation an den Kundenanschlüssen und dem Kernnetz des B-WiN bestehen.

2.4.2 Durchsatzmittel und Spitzendurchsatz in der HVS

Wie bereits erwähnt ist in Tabelle 2.19 für jeden Tag im Juli 98 neben dem jeweiligen Beginn der Hauptverkehrsstunde in Empfangsrichtung auch deren mittlerer Durchsatz angegeben. Betrachtet man die Werktage wieder getrennt von den Wochenenden, so ergeben sich für Montag bis Freitag Werte zwischen 282 Mb/s und 318 Mb/s und für Samstag/Sonntag Werte zwischen 201 Mb/s und 228 Mb/s.

Für die Hauptverkehrsstunde in Senderichtung lagen leider keine Daten des B-WiN Labors in Zahlenform vor. Es existiert jedoch zu jedem Tag eine graphische Übersicht des Tagesdurchsatzes mit einer Auflösung von 15 Minuten, in welcher Sende- und Empfangsrichtung getrennt erfaßt sind. Für den 15.7.98 ist die entsprechende Graphik in Abbildung 2.5 dargestellt. Aus der Graphik ist ersichtlich, daß sich die Kurvenformen von Sende- und Empfangsrichtung sehr stark gleichen. Im Weiteren wird deshalb angenommen, daß die Hauptverkehrsstunden von Sende- und Empfangsrichtung in etwa zur gleichen Zeit auftreten.

Aus den 31 zu Juli 98 gehörenden Graphiken konnte ermittelt werden, daß in der Hauptverkehrsstunde in Senderichtung Montag bis Freitag jeweils zwischen 205 Mb/s und 250 Mb/s übertragen wurden und Samstag/Sonntag Werte zwischen 135 Mb/s und 165 Mb/s auftraten. Um zusätzlich zu den bereits angegebenen Wertebereichen auch eine feste Schätzgröße für den mittleren Durchsatz in der HVS zu erhalten wurde getrennt für Werktage und Wochenden der Mittelwert aus allen zur Verfügung stehenden Tageswerten für Juli 98 gebildet. Das Ergebnis ist in Tabelle 2.20 zu sehen. Der mittlere Durchsatz während der HVS in Senderichtung liegt demnach an Werktagen bei 230 Mb/s und am Wochendende bei 150 Mb/s. Für die Empfangsrichtung gelten entsprechend die Werte 306 Mb/s und 216 Mb/s. Der Sendedurchsatz erreicht somit 0.75 % (Mo – Fr) bzw.

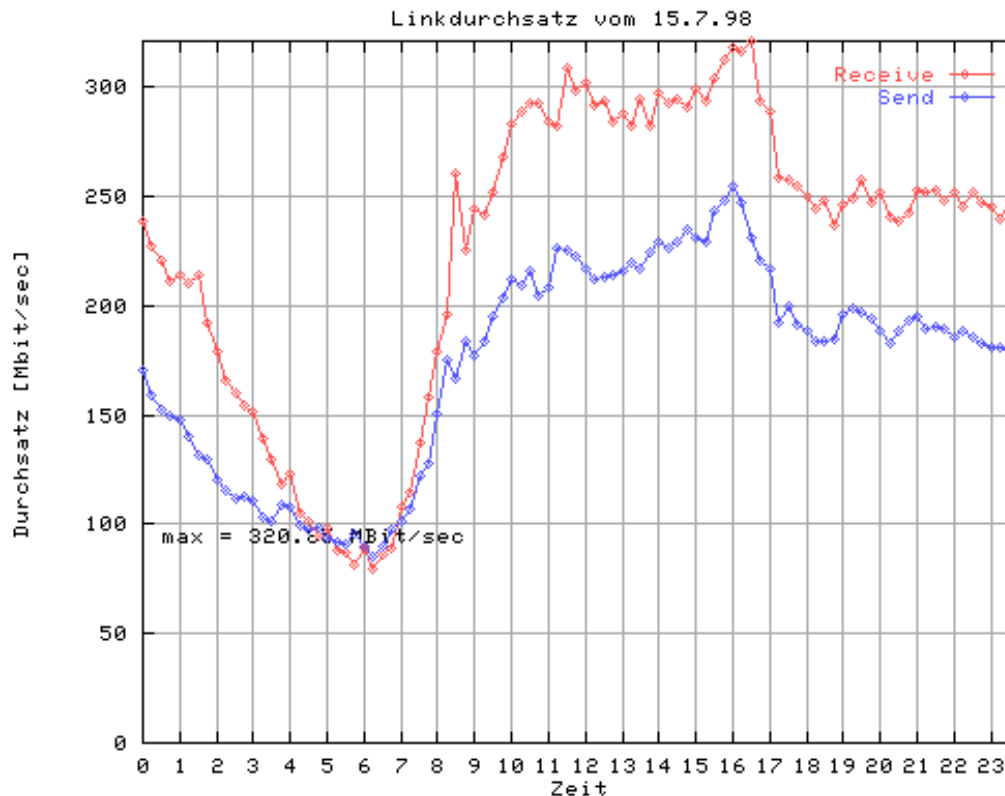


Abbildung 2.5: Graphische Darstellung von Sende- und Empfangsdurchsatz für Mittwoch den 15.07.98 [BWiNLAB, 1998].

0.65 % (Sa, So) des Empfangsdurchsatzes. Setzt man wie oben angedeutet voraus, daß die Hauptverkehrsstunden von Sende- und Empfangsrichtung in etwa zur gleichen Zeit auftreten, so ist es sinnvoll die Durchsätze für beide Richtungen zu addieren. Wie man Tabelle 2.20 entnehmen kann erhält man somit für die HVS an Werktagen einen mittleren Gesamtdurchsatz von 536 Mb/s und analog für die Wochenenden von 366 Mb/s.

	Mo – Fr	Sa, So
Sendedurchsatz [Mb/s]	230	150
Empfangsdurchsatz [Mb/s]	306	230
Summe [Mb/s]	536	366

Tabelle 2.20: Durchsätze in der Hauptverkehrsstunde gemittelt über den gesamten Monat Juli 98 jeweils getrennt nach Werktagen und Wochenenden.

Der in der Hauptverkehrsstunde auftretende Spitzendurchsatz soll stellvertretend nur für den 15.7.98 beleuchtet werden, da sich für die restlichen Tage des Monats qualitativ die gleichen Ergebnisse zeigen. In Abbildung 2.5 unten links ist der für diesen Tag in Empfangsrichtung gemessene Spitzendurchsatz mit 321 Mb/s angegeben. Wie man der Graphik weiterhin entnehmen kann trat dieser Tageshöchstwert während der HVS auf und ist somit gleichzeitig der Spitzendurchsatz der HVS in Empfangsrichtung. Als mittleren Durchsatz für die Empfangsrichtung während der HVS am 15.7.98 kann man aus Tabel-

le 2.19 einen Wert von 317 Mb/s entnehmen. Dies bedeutet, daß der Spitzendurchsatz während der HVS nur wenig über dem mittleren HVS Durchschnitt liegt.

Eine mögliche Erklärung für dieses Ergebnis könnte darin liegen, daß der mittlere Durchschnitt in der HVS bereits so nahe am möglichen Grenzdurchsatz liegt, daß keine höheren Spitzendurchsätze mehr möglich sind. Jedoch lieferte die Berechnung des Grenzdurchsatzes des B-WiN für Juli 98 in Abschnitt 2.2.3 einen Wert von 649 Mb/s. Die 317 Mb/s Spitzendurchsatz der HVS in Empfangsrichtung zusammen mit dem entsprechenden Wert der Senderichtung von 240 Mb/s (aus Abbildung 2.5) ergeben jedoch nur 557 Mb/s Spitzendurchsatz für beide Richtungen zusammen. Demnach wäre also noch Spielraum für höhere Spitzendurchsätze in der HVS vorhanden, welcher aber anscheinend nicht genutzt werden kann.

2.4.3 Überhöhung des Durchschnittes in der HVS

Eine weitere interessante Charakteristik der HVS ist durch die Überhöhung des mittleren Durchschnittes während der HVS im Vergleich zum mittleren Durchschnitt des entsprechenden Tages gegeben. Zur Berechnung dieser Charakteristik sind für jeden untersuchten Tag der mittlere Tagesdurchschnitt und der mittlere Durchschnitt während der zugehörigen HVS nötig. Diese Daten konnten aus den beiden vorhergehenden Abschnitten 2.4.1 und 2.4.2 übernommen bzw. abgeleitet werden und sind zur besseren Übersicht auf der linken Hälfte von Abbildung 2.6 graphisch dargestellt. Die Darstellung erfolgte dabei jeweils getrennt für die Durchschnitts in Senderichtung, die Durchschnitts in Empfangsrichtung und für den Gesamtdurchschnitt, d.h. die Summe aus beiden Richtungen⁵.

Für alle drei Fälle wurde pro Tag das Verhältnis zwischen dem Durchschnittsmittel der entsprechenden HVS und dem mittleren Tagesdurchschnitt berechnet. Die für den Monat Juli 98 resultierenden Werte sind auf der rechten Seite von Abbildung 2.6 wiederum in Form von Graphiken zu sehen. Aus den entsprechenden Graphen kann man zunächst erkennen, daß sich die berechneten Verhältnisse für alle drei berücksichtigten Fälle in etwa im gleichen Wertebereich bewegen. Weiterhin ist offensichtlich, daß die minimalen Überhöhungen mit einem Wert von ca. 1.2 ausschließlich an den Wochenenden (vgl. 4./5., 11./12., 18./19., 25./26.) auftreten. Die maximalen Überhöhungen erreichen Werte von 1.5 und treten durchwegs nur an Werktagen auf. Um das Verhältnis über den gesamten Monat zu berechnen wurde der Mittelwert der Tagesverhältnisse gebildet. Dieser ist in den Graphiken jeweils durch eine gestrichelte Linie angedeutet. In allen drei Fällen ergab sich dabei ein Wert von 1.3 (gerundet auf die 1. Nachkommastelle).

Insgesamt ergibt sich nach dieser Auswertung, daß der mittlere Durchschnitt in der HVS im schlimmsten Fall um den Faktor 1.5 über dem mittleren Tagesdurchschnitt liegt. Interessant ist an dieser Stelle wiederum ein Vergleich mit Ergebnissen aus [GOGL, 1998A]. Dort wurde die während der HVS vorliegende Situation an einer einzelnen Anschlußleitung zum B-WiN analysiert. Auf dieser Anschlußleitung lag zeitweise in Senderichtung zusätzlich zum IP Datenverkehr noch Verkehr aus Videoübertragungen vor. Für die Überhöhung des Durchschnittes während der HVS ergab sich in Senderichtung mit Videoverkehr ein Wert

⁵Dabei wurde wieder vorausgesetzt, daß die Hauptverkehrsstunden in Sende- und Empfangsrichtung in etwa zur gleichen Zeit auftreten

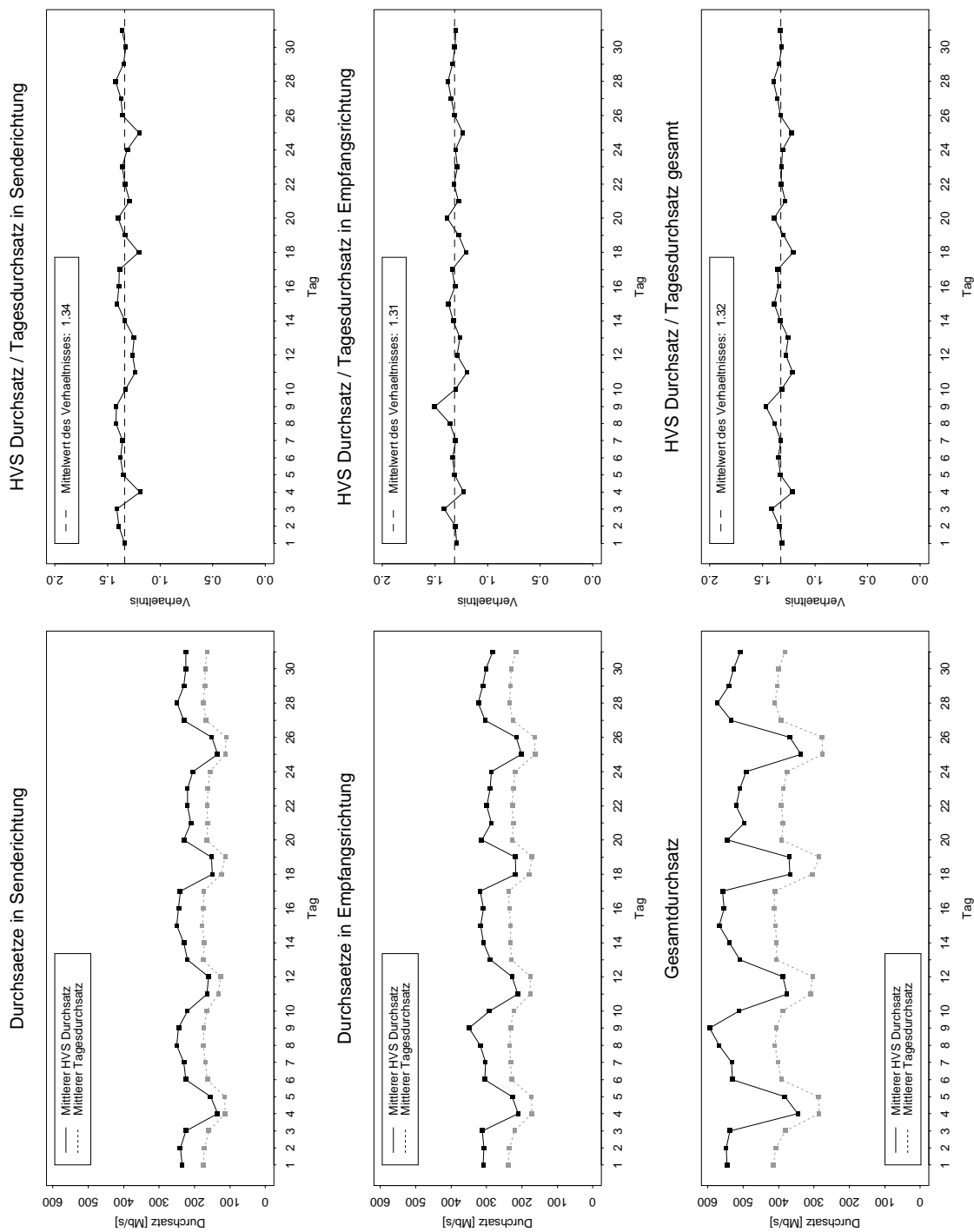


Abbildung 2.6: Vergleich der mittleren Durchsätze in der Hauptverkehrsstunde mit den mittleren Tagesdurchsätzen für Juli 98.

von etwa 2.5. Ohne Videoverkehr wurden in Sende- und Empfangsrichtung an Werktagen Werte von etwa 1.7 und an Wochenenden von etwa 1.5 erreicht.

2.4.4 Anteil der HVS am Tagesvolumen

Zum Abschluß der Betrachtungen bezüglich der HVS wird in diesem Abschnitt noch untersucht, wieviel Prozent des pro Tag transportierten Datenvolumens auf die Zeitspanne während der Hauptverkehrsstunde entfallen. Zu diesem Zweck sind in Abbildung 2.7 (links) analog zum vorhergehenden Abschnitt für Senderichtung, Empfangsrichtung und beide Richtungen zusammen jeweils das pro Tag transportierte Datenvolumen und das in der HVS des entsprechenden Tages transportierte Volumen graphisch dargestellt.

Auf der rechten Seite der Abbildung ist entsprechend für alle drei Fälle der prozentuale Anteil der HVS zu sehen. Aus den Graphen läßt sich entnehmen, daß dieser Anteil nur geringen Schwankungen unterliegt. Sein Mittelwert über den gesamten Monat ergibt in allen drei Fällen einen Wert von 5.6 % (auf 1. Nachkommastelle gerundet). Das Maximum liegt knapp über 6 % und das Minimum etwa bei 5 %. Demnach transportierte das B-WiN also im Juli 98 während des HVS eines Tages maximal nur etwa 6 % der Tageslast.

Ähnlich zu den vorangegangenen Abschnitten wurde weiterhin wieder ein Vergleich zwischen den Daten des B-WiN Labors und Messungen aus [GOGL, 1998A] durchgeführt. Als Ergebnis für die Empfangsrichtung ergaben sich mit den Daten aus [GOGL, 1998A] Anteile der HVS am Tagesvolumen welche zwischen 6.5 % und 7.2 % lagen, bei einem Mittelwert (gebildet über den Zeitraum einer Woche) von 6.8 %. Für die Senderichtung ergaben sich Unterschiede zwischen Tagen an denen auf der untersuchten Leitung Videoverkehr vorhanden war. Ohne Videoverkehr wurden in guter Übereinstimmung mit der Empfangsrichtung Anteile zwischen 5.9 % und 7.7 % erreicht bei einem Mittelwert von 6.9 %. Bei zusätzlich vorhandenem Videoverkehr in der HVS erhöhten sich die Werte auf 9.9 % bis 11.4 % bei einem Mittelwert von 10.8 %.

Insgesamt ist der Volumenanteil während der HVS auf der untersuchten Anschlußleitung des LRZ also etwas höher als im Kernnetz des B-WiN. Die Abweichungen sind jedoch bis auf den schlecht vergleichbaren Fall mit Videoverkehr so gering, daß auch hier wieder Ergebnisse aus Messungen an einer einzelnen Anschlußleitung Rückschlüsse auf die Situation im Gesamtnetz erlauben würden.

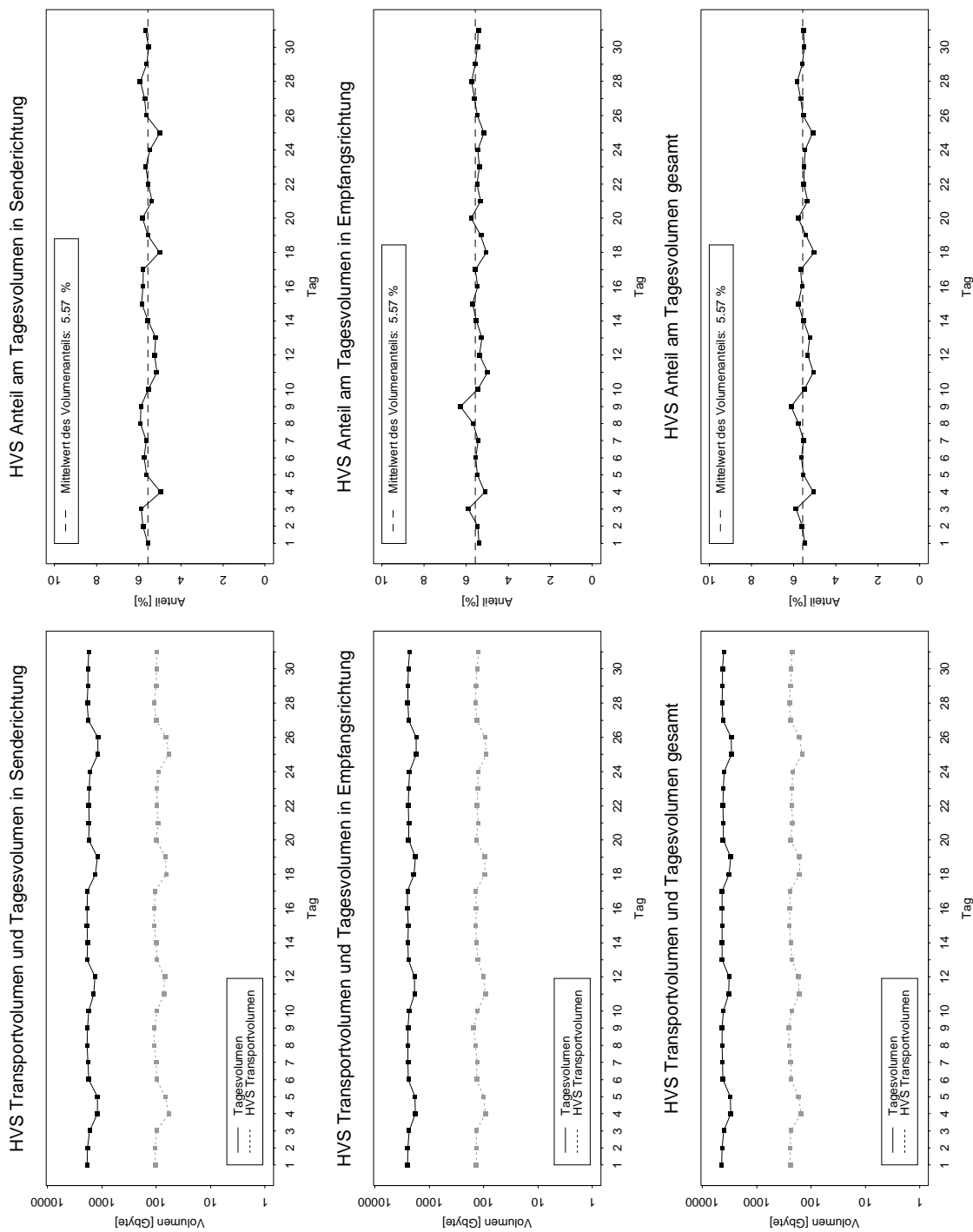


Abbildung 2.7: Vergleich des im Juli 98 pro Tag transportierten Datenvolumens mit dem während der zugehörigen HVS transportierten Volumen.

2.5 Lastentwicklung

Die während dieses Projektes entwickelte Software zur Untersuchung der Lastsituation im B-WiN wurde bisher in den Abschnitten 2.2 und 2.3 nur eingesetzt, um Analysen der Leistungsfähigkeit (Grenzdurchsatz, Engpässe, ...) des B-WiN durchzuführen. In diesem Abschnitt wird diese Software verwendet, um die Entwicklung der Gesamtlast im B-WiN seit Anfang 1997 zu untersuchen. Diese Betrachtung ist einerseits notwendig um einen Vergleich mit den alten Studien [JESSEN, 1994] und [JESSEN, 1995] zu erlauben. Andererseits dient sie der Vorbereitung von Teilen der Lastprognose in Abschnitt 4.

Die Entwicklung des Verkehrsaufkommens im B-WiN wird bezüglich folgender Verkehrsanteile untersucht:

- Gesamtverkehr
- Auslandsverkehr
- Inlandsverkehr
- Überregionaler/regionaler Verkehr (mit/ohne Auslandsanteil)

2.5.1 Gesamtverkehr, Auslands- und Inlandsverkehr

Es wird der Zeitraum von März 1997 bis Dezember 1998 (incl.) zugrunde gelegt. In Abbildung 2.8 (oben) ist für diese 22 Monate die Entwicklung des absoluten Volumens getrennt nach Gesamtverkehr, Auslandsverkehr und Inlandsverkehr graphisch dargestellt.

Aus der Graphik läßt sich entnehmen, daß das pro Monat transportierte Volumen bezüglich des Gesamtverkehrs von 31 485 GByte im März 1997 auf 106 047 GByte im Dezember 1998 gestiegen ist. Dies entspricht einer Steigerung um den Faktor 3.37 bezogen auf 22 Monate. Der mittlere⁶ monatliche Steigerungsfaktor lag für die betrachteten 10 Monate in 1997 bei 1.0583 für die restlichen 12 Monate in 1998 bei 1.0464.

Der mittlere Steigerungsfaktor hochgerechnet auf 12 Monate in 1997 lag bei 1.97 und für das Jahr 1998 bei 1.72. Das Volumen des Auslandsverkehrs stieg von 14 159 GByte im März 1997 auf 57 865 GByte im Dezember 1998. Wiederum bezogen auf alle 22 betrachteten Monate entspricht dies einem Steigerungsfaktor von 4.09. Der mittlere monatliche Steigerungsfaktor lag für 1997 bei 1.0908 und für 1998 bei 1.0355. Der mittlere Steigerungsfaktor des Auslandsverkehrs hochgerechnet auf 12 Monate in 1997 lag bei 2.84 und für das Jahr 1998 bei 1.52.

Bezüglich des nationalen Verkehrsanteiles stieg das Transportvolumen von 17 326 GByte im März 1997 auf 48 182 GByte im Dezember 1998. Bezogen auf den gesamten Zeitraum entspricht die einer Steigerung um den Faktor 2.78. Der mittlere monatliche Steigerungsfaktor lag in 1997 bei 1.0229 und in 1998 bei 1.0617. Der mittlere Steigerungsfaktor hochgerechnet auf 12 Monate in 1997 ergibt sich zu 1.31 und für die Monate in 1998 zu 2.05.

⁶Zur Mittelung von Steigerungs- bzw. Wachstumsfaktoren wird im Folgenden jeweils der geometrische Mittelwert verwendet.

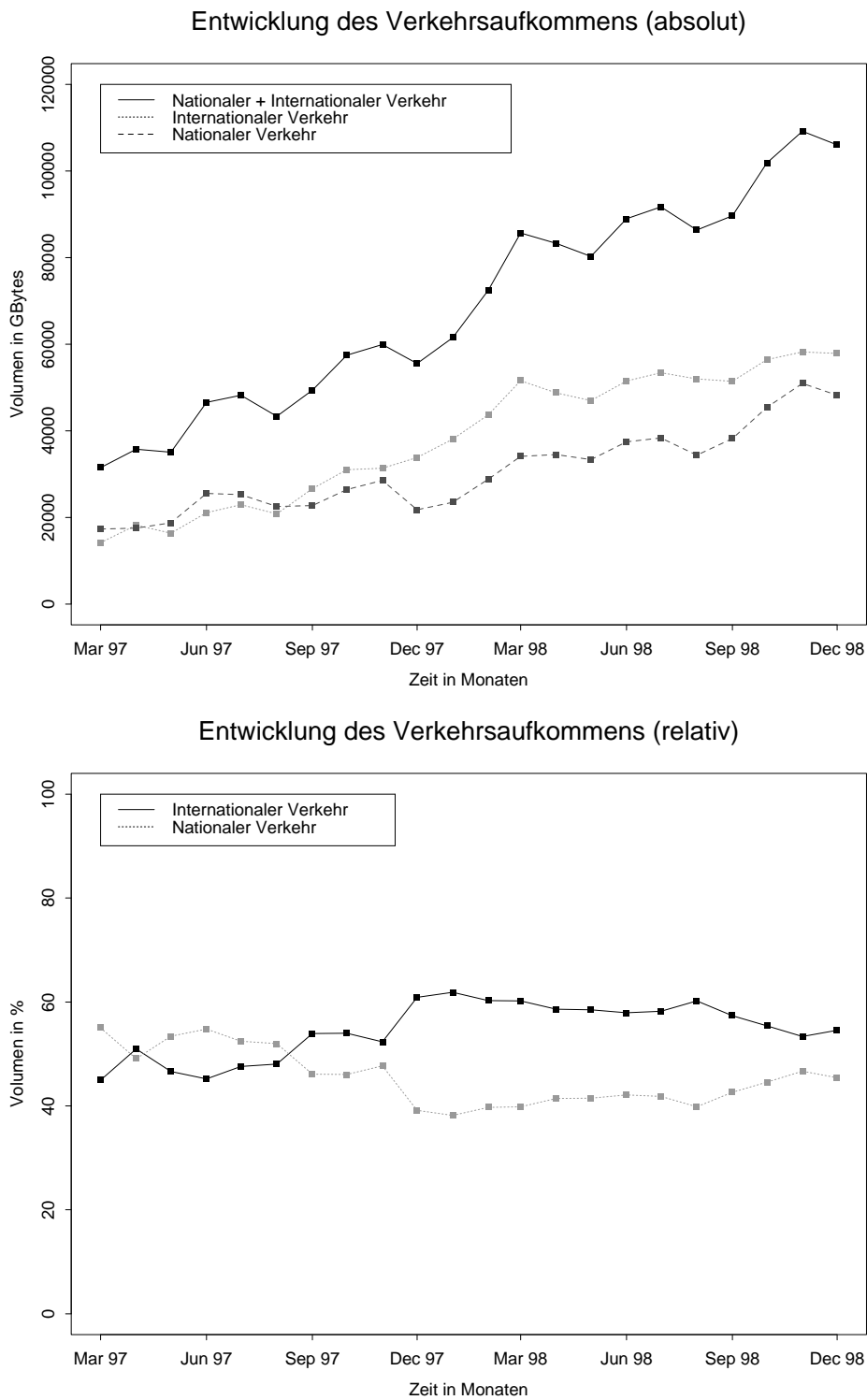


Abbildung 2.8: Entwicklung des Gesamtverkehrs sowie des internationalen und nationalen Verkehrsanteiles seit März 1997 (absolut und relativ).

	Gesamtverkehr	Auslandsverkehr	Inlandsverkehr
Steigerungsfaktor 03.97 - 12.98	3.37	4.09	2.78
mittl. monatlicher Faktor 03.97 - 12.97	1.0583	1.0908	1.0229
mittl. monatlicher Faktor 01.98 - 12.98	1.0464	1.0355	1.0617
mittl. Steigerungsfaktor 01.97 - 12.97	1.97	2.84	1.31
mittl. Steigerungsfaktor 01.98 - 12.98	1.72	1.52	2.05

Tabelle 2.21: Steigerungsfaktoren getrennt nach Gesamtverkehr, Auslands- und Inlandsverkehr und für verschiedene Zeitabschnitte.

Zur besseren Übersicht sind die genannten Werte in Tabelle 2.21 nochmals zusammengestellt. Ein Vergleich der Steigerungsfaktoren aller drei betrachteter Verkehrsanteile liefert folgende Ergebnisse: Das Gesamtverkehrsvolumen stieg in 1997 etwas stärker als in 1998. Dies ist vor allem auf den Auslandsverkehrsanteil zurückzuführen, welcher in 1997 erheblich höhere Steigerungen aufweist als in 1998. Für den Inlandsverkehrsanteil ist die Situation genau umgekehrt. Der Inlandsverkehr wuchs demnach in 1998 stärker als in 1997.

Über den Zeitraum von knapp 2 Jahren betrachtet und auf einprägsame Zahlenwerte reduziert, ergibt sich für den Gesamtverkehr ein Wachstumsfaktor von etwa 1.85 pro Jahr, der Auslandsverkehr nimmt jährlich etwa mit einem Faktor von 2.1 zu und der Inlandsverkehr steigt jährlich mit einem Faktor von etwa 1.6.

In Abbildung 2.8 (unten) ist die Entwicklung des internationalen und nationalen Verkehrsanteiles nochmals relativ zum Gesamtverkehrsaufkommen dargestellt. Aus der Graphik kann man entnehmen, daß der nationale Verkehrsanteil im Zeitraum zwischen Juni 1997 und August 1998 von 55 % auf 40 % zurückgegangen, und seit September 1998 wieder leicht auf 45 % angestiegen ist. Die Kurve des internationalen Verkehrsanteiles verhält sich spiegelbildlich dazu. So stieg der internationale Verkehrsanteil zwischen Juni 1997 und August 1998 von 45 % auf 60 %, und sank bis Dezember 1998 zurück auf 55 %. Über den gesamten Zeitraum betrachtet ergibt sich zwischen internationalem und nationalem Verkehrsanteil ein mittleres Verhältnis von 55 % zu 45 %.

2.5.2 Überregionaler/regionaler Verkehr mit Auslandsanteil

Als überregionaler Verkehr wird in dieser Untersuchung Verkehr bezeichnet, welcher zwischen den 10 betrachteten Knotenstandorten fließt. Regionaler Verkehr ist dementsprechend derjenige Verkehr, welcher lokal zwischen den an einen Knotenstandort angeschlossenen Einrichtungen transportiert wird. Im Folgenden wird nun zunächst die Entwicklung des überregionalen bzw. regionalen Verkehrsaufkommens unter Mitberücksichtigung des Auslandsverkehrsanteiles analysiert.

Entsprechend der vorangegangenen Diskussion des Gesamt-, Auslands- und Inlandsverkehrs wird als Zeitraum wieder der Bereich von März 1997 bis Dezember 1998 (incl.) zugrunde gelegt. In Abbildung 2.9 (oben) ist die Entwicklung des absoluten Verkehrsaufkommens getrennt nach überregionalem und regionalem Anteil dargestellt. Daraus läßt sich entnehmen, daß der überregionale Verkehrsanteil von 24 395 GByte im März 1997 bis auf 87 582 GByte im Dezember 1998 gestiegen ist. Dies entspricht einer Steigerung

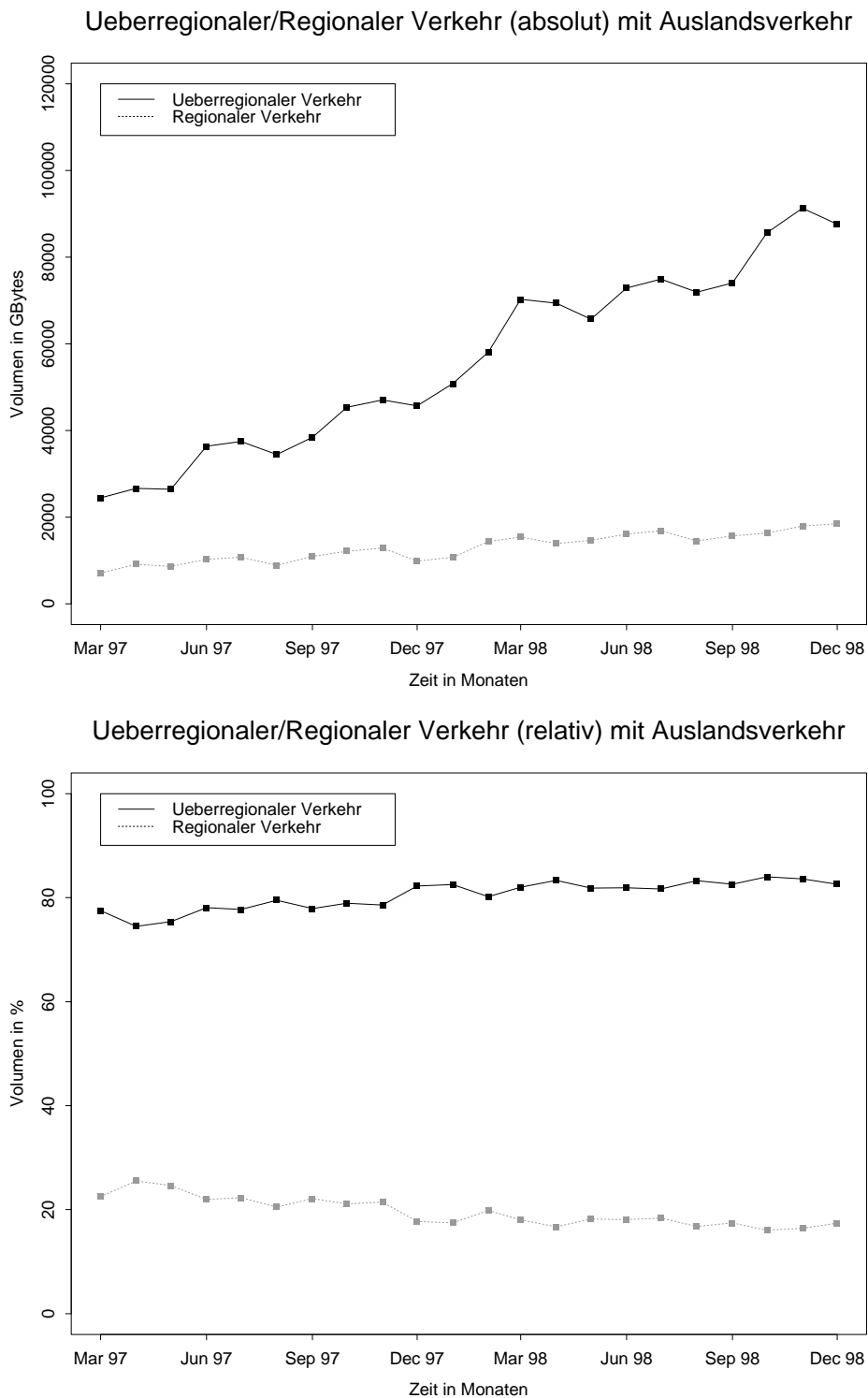


Abbildung 2.9: Entwicklung des überregionalen Verkehrsvolumens seit März 1997 (absolut und relativ) unter Berücksichtigung von nationalem und internationalem Verkehr.

um den Faktor 3.59 bezogen auf den Betrachtungszeitraum von 22 Monaten. Der mittlere monatliche Steigerungsfaktor lag für die Monate in 1997 bei 1.0647 und für die Monate in 1998 bei 1.0465. Hochgerechnet auf 12 Monate in 1997 ergibt sich damit ein mittlerer Steigerungsfaktor von 2.12 und entsprechend für 1998 von 1.72. Die erhaltenen Werte liegen sehr nah an den entsprechenden Werten welche für den Gesamtverkehr ermittelt wurden. Dies ist auch nicht verwunderlich, da der überregionale Verkehr bei Berücksichtigung des Auslandsverkehrs dem Gesamtverkehr reduziert um den anteilmäßig relativ geringen regionalen Anteil entspricht.

Aus Abbildung 2.9 (oben) läßt sich weiterhin die Entwicklung des regionalen Verkehrsanteiles entnehmen. Dieser stieg von 7 089 GByte im März 1997 auf 18 465 GByte im Dezember 1998. Der entsprechende Steigerungsfaktor liegt damit bei 2.60. Die mittlere monatliche Steigerung in 1997 ergibt sich zu 1.0334 und für die Monate in 1998 zu 1.0462. Für den gesamten Zeitraum in 1997 ergibt sich ein mittlerer Steigerungsfaktor von 1.48 und entsprechend für das Jahr 1998 von 1.72.

	Überregionaler Verkehr	Regionaler Verkehr
Steigerungsfaktor 03.97 - 12.98	3.59	2.60
mittl. monatlicher Faktor 03.97 - 12.97	1.0647	1.0334
mittl. monatlicher Faktor 01.98 - 12.98	1.0465	1.0462
mittl. Steigerungsfaktor 01.97 - 12.97	2.12	1.48
mittl. Steigerungsfaktor 01.98 - 12.98	1.72	1.72

Tabelle 2.22: Steigerungsfaktoren bei Berücksichtigung von Auslandsverkehr getrennt nach überregionalem und regionalem Verkehr für verschiedene Zeitabschnitte.

Zur besseren Übersicht sind die genannten Werte in Tabelle 2.22 zusammengestellt. Ein Vergleich der Steigerungsfaktoren beider betrachteter Verkehrsanteile liefert folgende Ergebnisse: Der überregionale Verkehr stieg in 1997 stärker als in 1998. Für den regionalen Verkehrsanteil ergibt sich die umgekehrte Situation, denn dieser wuchs in 1998 stärker als in 1997. Über den kompletten Zeitraum von knapp 2 Jahren betrachtet und auf einprägsame Zahlenwerte reduziert ergibt sich für den überregionalen Verkehr ein Wachstumsfaktor von etwa 1.9 pro Jahr, der regionale Verkehr nimmt jährlich etwa mit einem Faktor von 1.6 zu.

In Abbildung 2.9 (unten) ist die Entwicklung des überregionalen und regionalen Verkehrsanteiles nochmals relativ zum Gesamtverkehrsaufkommen dargestellt. Aus der Graphik kann man entnehmen, daß der überregionale Verkehrsanteil von 74 % im Juni 1997 auf einen Maximalwert von 84 % im Oktober 1998 angewachsen ist, und im Dezember 1998 wieder leicht unter diesem bei 83 % lag. Die Kurve des regionalen Verkehrsanteiles verhält sich spiegelbildlich dazu. So fiel der regionale Verkehrsanteil zwischen Juni 1997 und Oktober 1998 von 26 % auf 16 %, und lag im Dezember 1998 schließlich bei 17 %. Über den gesamten Zeitraum betrachtet ergibt sich zwischen überregionalem und regionalem Verkehrsanteil ein mittleres Verhältnis von 80 % zu 20 %.

2.5.3 Überregionaler/regionaler Verkehr ohne Auslandsanteil

In diesem Teilabschnitt wird analog zum Vorhergehenden die Entwicklung von überregionalem und regionalem Verkehr betrachtet. Dabei wird diesmal jedoch das durch den Auslandsverkehr verursachte Verkehrsaufkommen nicht mitberücksichtigt. Man erhält auf diese Weise einen Überblick über das Verhältnis von überregionalem zu regionalem Verkehr im rein nationalen Verkehrsanteil.

Für die geschilderte Situation zeigt Abbildung 2.10 (oben) die Entwicklung des absoluten Verkehrsaufkommens getrennt nach überregionalem und regionalem Anteil. Aus der Graphik läßt sich entnehmen, daß der überregionale Verkehrsanteil im März 1997 11 904 GByte betrug und bis Dezember 1998 auf 34 677 GByte angewachsen ist. Dies entspricht einer Steigerung um den Faktor 2.91 bezogen auf den Betrachtungszeitraum von 22 Monaten. Der mittlere monatliche Steigerungsfaktor lag für die Monate in 1997 bei 1.0185 und für die Monate in 1998 bei 1.0693. Für den gesamten Zeitraum in 1997 ergibt sich damit ein mittlerer Steigerungsfaktor von 1.24 und entsprechend für 1998 von 2.23.⁷

Aus Abbildung 2.10 (oben) läßt sich darüber hinaus die Entwicklung des regionalen Verkehrsanteiles entnehmen. Dieser stieg von 5 423 GByte im März 1997 auf 13 505 GByte im Dezember 1998. Der entsprechende Steigerungsfaktor liegt damit bei 2.49. Die mittlere monatliche Steigerung in 1997 ergibt sich zu 1.0320 und für die Monate in 1998 zu 1.0450. Für den gesamten Zeitraum in 1997 erhält man einen mittleren Steigerungsfaktor von 1.46 und entsprechend für das Jahr 1998 von 1.70.

	Überregionaler Verkehr	Regionaler Verkehr
Steigerungsfaktor 03.97 - 12.98	2.91	2.49
mittl. monatlicher Faktor 03.97 - 12.97	1.0185	1.0320
mittl. monatlicher Faktor 01.98 - 12.98	1.0693	1.0450
mittl. Steigerungsfaktor 01.97 - 12.97	1.24	1.46
mittl. Steigerungsfaktor 01.98 - 12.98	2.23	1.70

Tabelle 2.23: Steigerungsfaktoren ohne Berücksichtigung von Auslandsverkehr getrennt nach überregionalem und regionalem Verkehr für verschiedene Zeitabschnitte.

Tabelle 2.22 faßt die gefundenen Steigerungsfaktoren nochmals zusammen. Ein Vergleich der Faktoren der betrachteten Verkehrsanteile liefert: Der überregionale Anteil des Inlandsverkehrs stieg in 1998 deutlich stärker als in 1997. Für den regionalen Anteil ergibt sich ein ähnliches Bild, denn auch dieser wuchs in 1998 stärker als in 1997. Über den kompletten Zeitraum von knapp 2 Jahren betrachtet und auf einprägsame Zahlenwerte

⁷Dem aufmerksamen Leser wird nicht entgangen sein, daß sich die Kurven für den absoluten regionalen Verkehrsanteil in Abbildung 2.9 und 2.10 leicht unterscheiden, obwohl das „Weglassen“ des Auslandsverkehrs auf den regionalen Verkehrsanteil keinen Einfluß haben dürfte. Der Grund für diese Abweichung zwischen den beiden Kurven liegt in der Zusammenlegung der Knoten *IPGate* und *TEN34* im Knoten *Frankfurt* (s. Abschnitt 2.2). Durch diese Zusammenlegung ist nach der hier verwendeten Definition Verkehr zwischen diesen 3 Knoten regional. Die Elimination des Auslandsverkehrs (s. Abschnitt 2.3) entspricht einem „Abschalten“ der Knoten *IPGate* und *TEN34*. Dadurch vermindert sich der lokale Verkehr am Knoten *Frankfurt* und der regionale Verkehr insgesamt.

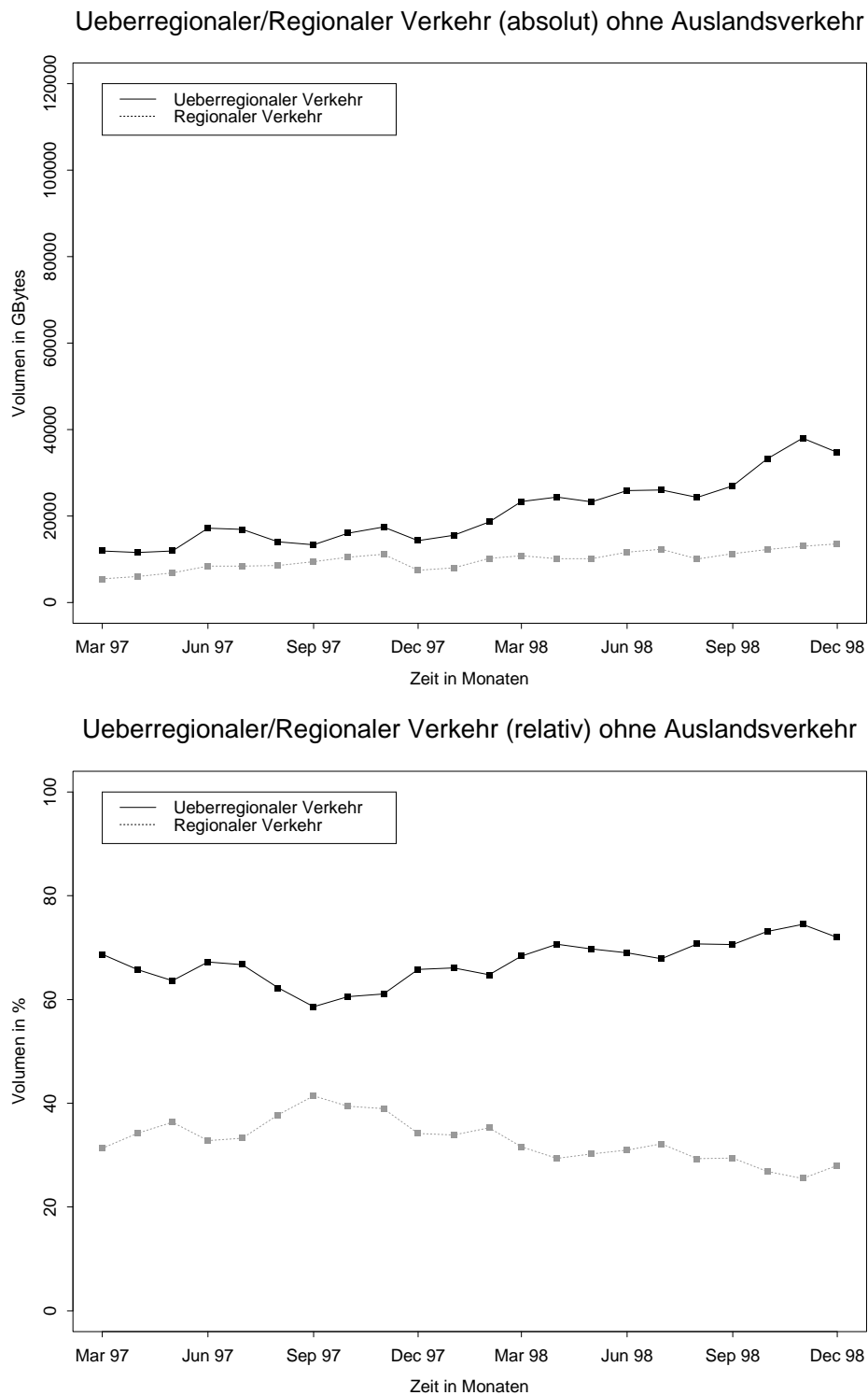


Abbildung 2.10: Entwicklung des überregionalen Verkehrsvolumens seit März 1997 (absolut und relativ) ohne Berücksichtigung von internationalem Verkehr.

reduziert ergibt sich für den überregionalen Anteil des Inlandsverkehrs ein Wachstumsfaktor von etwa 1.7 pro Jahr, der regionale Anteil nimmt jährlich etwa mit einem Faktor von 1.6 zu.

In Abbildung 2.9 (unten) ist die Entwicklung des überregionalen und regionalen Anteiles des Inlandsverkehrs nochmals relativ zum Gesamtverkehrsaufkommen dargestellt. Aus der Graphik kann man entnehmen, daß der überregionale Verkehrsanteil von 69 % im März 1997 auf einen Minimalwert von 59 % im September 1997 gefallen, und bis November 1998 auf 74 % angestiegen ist. Die Kurve des regionalen Verkehrsanteiles verhält sich spiegelbildlich dazu. So stieg der regionale Verkehrsanteil zwischen März 1997 und September 1997 von 31 % auf 41 %, und lag im November 1998 schließlich bei 26 %. Über den gesamten Zeitraum betrachtet ergibt sich zwischen überregionalem und regionalem Verkehrsanteil ein mittleres Verhältnis von 67 % zu 33 %.

Kapitel 3

Bewertung der B-WiN Studien von 1994/1995

Die in Kapitel 2 durchgeführte Analyse der aktuellen Lastsituation im B-WiN soll in diesem Abschnitt dazu dienen eine rückblickende Bewertung der B-WiN Studien von 1994 bzw. 1995 durchzuführen. Ziel dieser rückblickenden Bewertung ist es die Genauigkeit der neuen Lastprognose (s. Kapitel 4) für das entstehende G-WiN zu erhöhen. Zu diesem Zweck ist es nötig festzustellen, inwieweit die Prognosen in den älteren Studien zutrafen, wo eventuelle Abweichungen lagen und wodurch diese Abweichungen begründet waren. Als Vorgehensweise bietet sich ein Vergleich zwischen dem prognostizierten Soll- und dem aktuell beobachteten Istzustand des B-WiN an.

3.1 Einschränkungen

Vor der eigentlichen Bewertung der Studien soll hier kurz darauf eingegangen werden, welchen Einschränkungen der angestrebte Vergleich zwischen Soll- und Istzustand unterliegt. In diesem Zusammenhang sind hauptsächlich 3 Bereiche zu nennen, die einen Vergleich der Studien erschweren:

- Unterschiedliche Betrachtungszeiträume
- Unterschiedliche Annahmen über die Netztopologie
- Unterschiedliche Annahmen über Leitungskapazitäten

Unterschiedliche Betrachtungszeiträume

In den Studien [JESSEN, 1994] und [JESSEN, 1995] wurde ausgehend von den Jahren 1994 bzw. 1995 eine Lastprognose für das Jahr 1996 vorgenommen. Für die Analyse der aktuellen Verkehrslast des B-WiN in Kapitel 2 stand Datenmaterial aus dem Zeitraum von März 1997 bis Dezember 1998 zur Verfügung¹. Bei einem Vergleich der Lastsituation muß deshalb berücksichtigt werden, daß zwischen den gegenübergestellten Betrachtungszeiträumen eine Lücke von ca. 1 Jahr vorhanden ist.

¹Anmerkung: Das auf dem Web-Server des B-WiN Labors zur Verfügung gestellte Datenmaterial wird monatlich ergänzt, so daß derzeit bereits zusätzlich Daten für die Monate Januar und Februar 1999 verfügbar wären.

Unterschiedliche Annahmen über die Netztopologie

Als Netztopologie wurden in [JESSEN, 1994] und [JESSEN, 1995] Ringe mit 6 bzw. 8 Knoten angenommen. Die im Frühjahr 1997 im B-WiN verwendete Topologie entsprach im Gegensatz dazu einem Ring mit 10 Knoten, wobei zwischen den Knoten *Frankfurt* und *Berlin* sowie *Köln* und *Stuttgart* zusätzliche Verbindungen vorhanden waren. Aussagen über Grenzdurchsätze und Leitungsauslastungen müssen deshalb unter Berücksichtigung unterschiedlicher Topologieannahmen bewertet werden.

Unterschiedliche Annahmen über Leitungskapazitäten

Für die Segmente der im letzten Absatz erwähnten Ringtopologien wurden in [JESSEN, 1994] und [JESSEN, 1995] einheitliche Leitungskapazitäten von 34 Mb/s (bzw. 140 Mb/s in einer alternativen Realisierung) zugrunde gelegt. Tatsächlich wurde in den Monaten März und April 1997 für die meisten Strecken im B-WiN auch eine Leitungskapazität von 34 Mb/s verwendet. Die einzigen Ausnahmen bildeten die Verbindungen zwischen *München* und *Nürnberg*, welche mit 155 Mb/s betrieben wurden. Während des restlichen für die Analyse der aktuellen Lastsituation des B-WiN verwendeten Zeitraums ab Mai 1997 wurden die Leitungskapazitäten jedoch kontinuierlich ausgebaut. Dabei kamen in zunehmendem Maße unterschiedliche Leitungskapazitäten für die einzelnen Verbindungsstrecken zum Einsatz. Die aktuelle Situation im B-WiN hat sich damit bereits weit von einem Ring mit homogenen Leitungskapazitäten entfernt. Auch dieser Sachverhalt sollte bei einem Vergleich mit den älteren Studien nicht unberücksichtigt bleiben.

3.2 Vergleich Soll-/Istzustand

In diesem Abschnitt wird nun der eigentliche Vergleich zwischen der prognostizierten Lastsituation und dem aktuell beobachteten Istzustand durchgeführt. Neben der Lastprognose selbst soll dabei auch versucht werden einige den Prognosen zugrundeliegende Annahmen über die Verkehrssituation zu überprüfen. Insgesamt werden dabei folgende Bereiche betrachtet:

- Anteil der HVS an der Tageslast
- Grenzdurchsatz betrachteter Realisierungsmodelle
- Anteile von regionalem/überregionalem und nationalem/internationalem Verkehr
- Prognostizierte Gesamtlast

Anteil der HVS an der Tageslast

Die Kenntnis des in der HVS transportierten, prozentualen Lastanteiles δ_{HVS} ist nötig, um eine Beziehung zwischen dem mittleren Tagesdurchsatz D_T und dem Durchsatz D_{HVS}

während der HVS zu erhalten. Diese Beziehung ist wiederum wichtig, um aus dem mittleren Tagesdurchsatz die Auslegung eines Netzwerkes in der HVS planen zu können².

Die Umrechnung zwischen D_T und D_{HVS} beruht dabei auf folgenden beiden Formeln (vgl. [JESSEN, 1994] Abschnitt 2.2):

$$D_{HVS} = \delta_{HVS} * 24 * D_T \quad (3.1)$$

$$D_T = \frac{D_{HVS}}{\delta_{HVS} * 24} \quad (3.2)$$

Dabei sind D_T und D_{HVS} in derselben Einheit, z.B. Mb/s, anzugeben.

Mangels geeigneter Unterlagen wurde in den Studien [JESSEN, 1994] und [JESSEN, 1995] geschätzt, daß im Netz in der Hauptverkehrsstunde 15 % der Tageslast erbracht werden. Die in Abschnitt 2.4.4 angestellten Untersuchungen ergaben, daß dieser Wert wesentlich niedriger angesetzt werden sollte. So ergab die Auswertung des transportierten Verkehrsvolumens für Juli 1998, daß der Anteil der HVS an der Tageslast nur etwa 6 % beträgt. Eine vergleichende Untersuchung von Messungen aus [GOGL, 1998A], welche an der Anschlußleitung zwischen B-WiN und LRZ in *München* durchgeführt wurden, lieferte in guter Übereinstimmung dazu einen Anteil von knapp 7 %. Dieser erhöhte sich jedoch auf knapp 11 %, falls an dem betrachteten Tag auf der untersuchten Leitung Videoübertragungen (zwischen den Standorten *München* und *Erlangen*) stattfanden (s. Abschnitt 2.4.4). Insgesamt betrachtet erscheint deshalb für δ_{HVS} ein Wert von 10 % vertretbar. Die Formeln 3.1 und 3.2 lassen sich nach dieser Festlegung vereinfachen zu:

$$D_{HVS} = 0.10 * 24 * D_T = 2.40 * D_T \quad (3.3)$$

$$D_T = \frac{D_{HVS}}{0.10 * 24} = 0.42 * D_{HVS} \quad (3.4)$$

Grenzdurchsatz betrachteter Netzkonfigurationen

In den Studien [JESSEN, 1994] und [JESSEN, 1995] wurde für verschiedene Netzkonfigurationen³ eine Analyse des jeweils erreichbaren Grenzdurchsatzes vorgenommen, um so die Leistungsfähigkeit unterschiedlicher Realisierungen des damals in Planung befindlichen B-WiN abschätzen zu können. Von diesen Konfigurationen werden hier nur die damals betrachteten Ringkonfigurationen auf Basis von 6 (1994) und 8 (1995) ATM/Router Knoten und 34 Mb/s Verbindungsleitungen zum Vergleich herangezogen, da diese in grober Näherung am ehesten der im Frühjahr 1997 vorliegenden Netzstruktur des B-WiN entsprechen.

²Das Verhältnis zwischen mittlerem Tagesdurchsatz und HVS Durchsatz wird in diesem Abschnitt bezüglich Kalendertagen festgelegt. Es findet also keine differenzierte Betrachtung von Werktagen und Wochenenden statt.

³Insgesamt wurden 6 unterschiedliche Konfigurationen betrachtet: IP-Routernetz, virtuelles Netz unter Nutzung von Datex-M und ATM/Routernetz mit jeweils 34 Mb/s bzw. 140 Mb/s auf den Verbindungsleitungen zwischen den Knotenstandorten.

In [JESSEN, 1994] wurde, basierend auf der für 1996 prognostizierten Verkehrslast, für einen 34 Mb/s Ring mit 6 Knoten und unter Berücksichtigung des internationalen Verkehrsanteiles ein Grenzdurchsatz von knapp 300 Mb/s ermittelt. In der überarbeiteten Studie von 1995 wurde dieser Wert für einen 34 Mb/s Ring mit 8 Knoten und unter Verwendung einer aktualisierten Durchsatzmatrix nach unten korrigiert auf 222 Mb/s.

Zum Vergleich sollen nun die Verhältnisse Anfang 1997 betrachtet werden. Dazu zeigt Abbildung 3.1 die Entwicklung des B-WiN Grenzdurchsatzes von März 1997 bis Januar 1999 für die Fälle mit und ohne Berücksichtigung des internationalen Verkehrsanteiles.

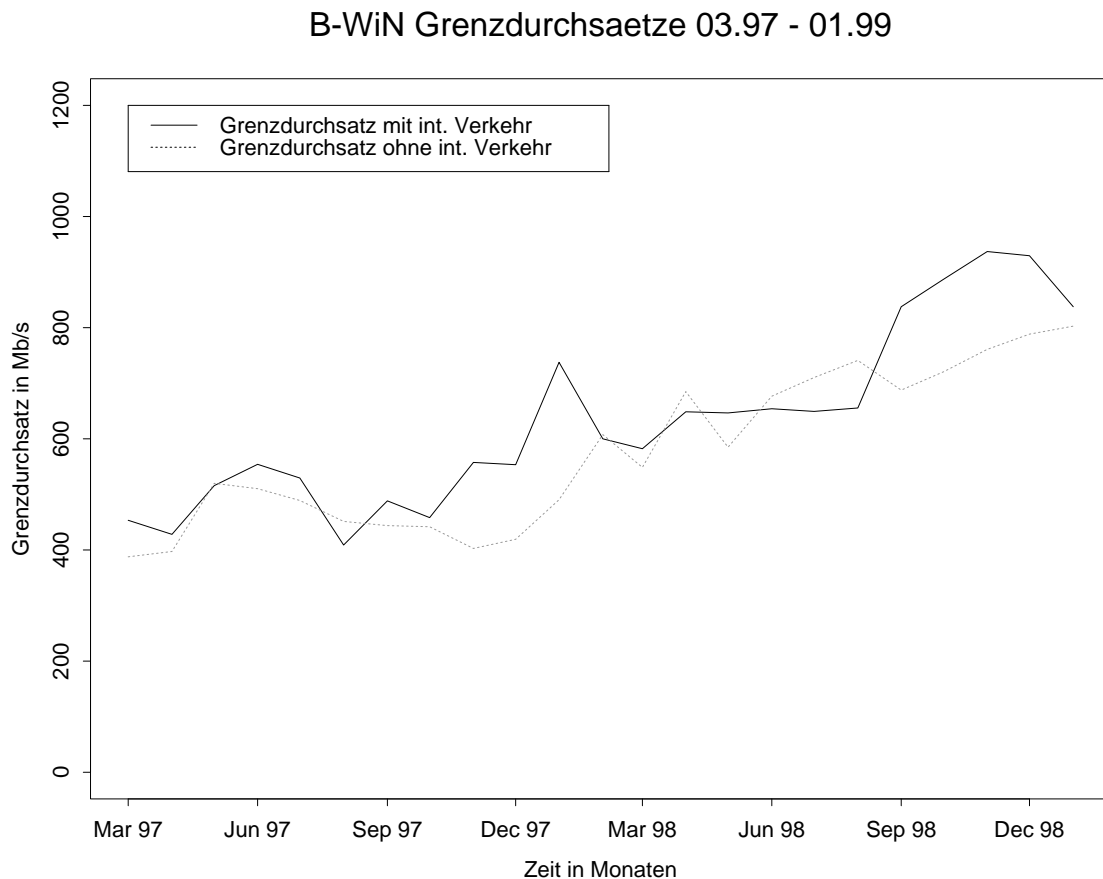


Abbildung 3.1: Entwicklung des B-WiN Grenzdurchsatzes von März 1997 bis Januar 1999 mit und ohne Berücksichtigung des internationalen Verkehrsanteiles.

Die Netztopologie entsprach im Frühjahr 1997 einem 34 Mb/s Ring mit 10 Knoten, wobei zwischen den Knoten *Frankfurt* und *Berlin*, sowie *Köln* und *Stuttgart* zusätzliche Verbindungen mit 34 Mb/s vorhanden waren. Darüber hinaus stand zwischen den Knoten *München* und *Nürnberg* eine Leitungskapazität von 155 Mb/s zur Verfügung. Die in Abbildung 3.1 dargestellten Werte wurden nach dem in den Abschnitten 2.2.3 und 2.3.3 beschriebenen Verfahren unter Berücksichtigung der monatlichen Verkehrsmatrix berechnet. Es handelt sich dabei also analog zu den Studien von 1994 und 1995 nicht um gemessene Grenzdurchsätze! Aus der Abbildung läßt sich entnehmen, daß der Grenzdurchsatz unter Berücksichtigung des internationalen Verkehrsanteils im März und April

1997 etwas über 400 Mb/s lag und sich ab Ende 1997 bzw. Anfang 1998 simultan zum kontinuierlichen Ausbau der Leitungskapazitäten des B-WiN bis auf 800 Mb/s im Januar 1999 erhöhte.

Vergleicht man die Werte von März/April 1997 mit den älteren Studien, so liegt die Studie von 1994 um 100 Mb/s und die Studie von 1995 um 178 Mb/s unter den für das Frühjahr 1997 ermittelten Grenzdurchsätzen. Ein Grund für diese Abweichungen liegt sicherlich darin, daß die für 1997 beschriebene Netzstruktur mit den zusätzlichen Verbindungen *Frankfurt/Berlin* und *Köln/Stuttgart* etwas leistungsfähiger war als die in [JESSEN, 1994] und [JESSEN, 1995] zugrundegelegten reinen Ringtopologien. Weiterhin läßt das etwas sprunghafte Verhalten der Graphen in Abbildung 3.1 sowie der hauptsächlich auf Verwendung einer neuen Durchsatzmatrix beruhende Unterschied zwischen [JESSEN, 1994] und [JESSEN, 1995] vermuten, daß die Leistungsanalyse auf Basis von Grenzdurchsätzen relativ stark auf Änderungen des Lastbildes reagiert.

Um entsprechende Leistungsanalysen dennoch im weiteren Verlauf dieser Untersuchung für die Bewertung verschiedener G-WiN Leistungsmodelle einsetzen zu können scheint es empfehlenswert diese Analysen auf Lastprofile unterschiedlicher (entsprechend hochgerechneter) Verkehrsmatrizen aus der Vergangenheit anzuwenden, um so eine breitere Beurteilungsbasis zu schaffen.

Anteile von regionalem/überregionalem und nationalem/internationalem Verkehr

In die Lastprognosen von 1994/1995 gingen bestimmte Annahmen über die prozentualen Anteile von regionalem/überregionalem⁴ und nationalem/internationalem Verkehr am Gesamtverkehrsaufkommen ein. Diese Annahmen werden nun den in Abschnitt 2.5 für den Zeitraum von März 1997 bis Dezember 1998 ermittelten Werten gegenübergestellt (vgl. Tabelle 3.1).

	Regionaler Anteil [%]	Überregionaler Anteil [%]	Nationaler Anteil [%]	Internationaler Anteil [%]
Studie 1994	42	58	75	25
Studie 1995	23	77	67	33
Situation 1997	22	78	50	50
Situation 1998	18	82	42	58

Tabelle 3.1: Prozentuale Anteile von regionalem/überregionalem und nationalem/internationalem Verkehr am Gesamtverkehrsaufkommen.

Zur Einschätzung des regionalen/überregionalen Anteiles ist zu sagen, daß der überregionale Anteil in [JESSEN, 1994] mit 58 % noch leicht unterschätzt worden ist. In der überarbeiteten Studie [JESSEN, 1995] wurde dann aber bereits mit einem Wert von 77 % gearbeitet, welcher fast genau dem in dieser Untersuchung für 1997 gefundenen Wert

⁴Zur Erinnerung sei hier nochmals kurz angemerkt, daß mit überregionalem Verkehr in dieser Untersuchung der zwischen Knotenstandorten fließende Verkehr bezeichnet wird, wohingegen mit regionalem Verkehr der lokale Verkehr gemeint ist, welcher zwischen Einrichtungen mit Anschluß am selben Knotenstandort stattfindet.

von 78 % entspricht. In 1998 ist der überregionale Verkehrsanteil nochmals etwas angestiegen, so daß sich als aktuelle Einschätzung ein Verhältnis von 18 % zu 82 % zwischen regionalem und überregionalem Verkehr ergibt⁵.

Der Anteil des internationalen Verkehrsaufkommens wurde in beiden Studien unterschätzt. Mit nur 25 % in [JESSEN, 1994] jedoch in größerem Maße als mit den in [JESSEN, 1995] verwendeten 33 %. Im Vergleich dazu ergaben die Untersuchungen in Abschnitt 2.5.1, daß der Auslandsverkehr in 1997 im Mittel für 50 % und in 1998 im Mittel sogar für 58 % des Gesamtverkehrsaufkommens im Kernnetz des B-WiN verantwortlich war.

Desweiteren ist anzumerken, daß sowohl in [JESSEN, 1994] als auch in [JESSEN, 1995] bezüglich Sende- und Empfangsrichtung von volumenmäßig symmetrischem Auslandsverkehr ausgegangen wurde. Im Gegensatz dazu wurde in Abschnitt 2.2.2 nachgewiesen, daß im B-WiN etwa doppelt soviel (Faktor: 1.9) Verkehr aus dem Ausland empfangen als ins Ausland gesendet wird. Die Annahme von symmetrischem Auslandsverkehr scheint somit nicht mehr angebracht.

In diesem Zusammenhang sei weiterhin angemerkt, daß alle in der aktuellen Untersuchung durchgeführten Analysen Verkehrsmatrizen verwenden, welche auf Messungen des B-WiN Labors in Erlangen basieren. In diesen Analysen wird somit die Asymmetrie des Auslandsverkehrs automatisch mitberücksichtigt.

Prognostizierte Gesamtlast

Der Hauptgrund für die Durchführung der Studien [JESSEN, 1994] und [JESSEN, 1995] bestand darin, eine Prognose der zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme des B-WiN Anfang 1996 zu transportierenden Gesamtlast zu erstellen. Zu diesem Zweck wurden zunächst für verschiedene Anwendungen/Lastelemente die jeweils zu erwartenden HVS Durchsätze geschätzt. Dabei wurden auch einige neue Netzapplikationen miteinbezogen, von denen man annahm, daß sie neben der traditionellen Datenkommunikation im zukünftigen B-WiN eine Rolle spielen würden. Tabelle 3.2 gibt einen Überblick über die im damaligen Lastmodell verwendeten Lastelemente und Durchsätze:

Der für 1996 zu erwartende HVS Gesamtdurchsatz D_{HDN} ⁶ ergab sich mit dem vorgestellten Lastmodell aus [JESSEN, 1994] als Summe der Durchsätze der einzelnen Lastelemente zu 370 Mb/s. In diesem Wert war jedoch die durch Auslandsverkehr verursachte Verkehrslast noch nicht enthalten. Um den damals auf 25 % geschätzten Auslandsanteil mitzuberechnen, wurden die Durchsätze aus Tabelle 3.2 um jeweils 25 % erhöht, so daß sich schließlich für die HVS ein prognostizierter Gesamtdurchsatz von 463 Mb/s ergab⁷. Für die Studie [JESSEN, 1995] wurde das Lastmodell aus [JESSEN, 1994] beibehalten. Bei der Berechnung des HVS Gesamtdurchsatzes wurde jedoch ein Auslandsanteil

⁵Die genannten Zahlen beziehen sich alle auf die Betrachtung des Verkehrs unter Berücksichtigung von Auslandsverkehr.

⁶Abkürzung HDN: Hochgeschwindigkeitsnetz

⁷Es werden hier aus den Studie [JESSEN, 1994] und [JESSEN, 1995] nur die Werte angeführt, welche sich ohne die damals ebenfalls berücksichtigte Abwicklung von Fernsprechverkehr über das B-WiN ergaben. Der Grund dafür ist, daß bis heute das B-WiN nicht für den Transport von Fernsprechverkehr aus den angeschlossenen Einrichtungen verwendet wird.

Lastelement	HVS Durchsatz [Mb/s]
Videokonferenzen	177
Lehr-/Lernsysteme	20.1
Bildzugriffe	1.8
Videozugriffe	57.5
Bibliotheken/Informationssysteme	47.9
Video/Audio Mail	4.8
Traditionelle Datenkommunikation	60.7
D_{HDN}	370

Tabelle 3.2: Annahmen über Durchsätze einzelner Lastelemente aus [JESSEN, 1994] sowie sich als Summe ergebender Gesamtdurchsatz D_{HDN} .

von 33 % berücksichtigt, so daß sich der für 1996 geschätzte Gesamtdurchsatz auf 492 Mb/s erhöhte.

In Tabelle 3.3 sind die prognostizierten Gesamtdurchsätze den Anfang 1997 und Anfang 1998 gemessenen Durchsätzen in der HVS gegenübergestellt. Demnach transportierte das B-WiN Anfang 1997 in der HVS 255 Mb/s. Bis Mitte 1997 stieg der Gesamtdurchsatz auf etwa 320 Mb/s und erreichte Anfang 1998 einen Wert von 460 Mb/s. Insgesamt läßt sich daraus erkennen, daß die für 1996 erwartete Gesamtlast in beiden Studien zu hoch eingeschätzt wurde:

	HVS Durchsatz [Mb/s]
1994er Prognose für 1996	463
1995er Prognose für 1996	492
Situation 1997	255
Situation 1998	460

Tabelle 3.3: Vergleich des für 1996 prognostizierten HVS Durchsatz mit der Situation in 1997 und 1998.

Der Hauptgrund für die Überschätzung der Gesamtlast in den beiden Prognosen liegt in der Gewichtung der Lastelemente im Lastmodell aus [JESSEN, 1994]. Betrachtet man in Tabelle 3.2 die Lastaufteilung zwischen innovativen Anwendungen wie Videokonferenzen, Lehr-/Lernsystemen, ... und traditioneller Datenkommunikation, so ergibt sich ein Verhältnis von 84 % zu 16 % zugunsten der innovativen Anwendungen. Rückblickend kann man aus heutiger Sicht sagen, daß im Gegensatz dazu die innovative Last im B-WiN weit weniger stark zugenommen hat, als damals angenommen. Die Situation entwickelte sich vielmehr so, daß aufgrund der, vor allem in den letzten 3 bis 4 Jahren, stark zunehmenden Nutzung des WWW der größte Teil (60 % – 80 %) der heute im B-WiN vorhandenen Verkehrslast auf eine eher der traditionellen Datenkommunikation (HTTP-Protokoll) zuzurechnenden Anwendung zurückgeht.

3.3 Folgerungen

Im vorhergehenden Abschnitt wurden Annahmen über die Verkehrslast sowie Ergebnisse der Lastprognosen aus den Studien [JESSEN, 1994] und [JESSEN, 1995] mit der von Anfang 1997 bis heute beobachteten Verkehrssituation im B-WiN verglichen. Aus diesem Vergleich sollen nun zum Abschluß dieses Kapitels einige Folgerungen abgeleitet werden, welche für die weitere Arbeit dieser Studie in Kapitel 4 (Lastprognose) von Nutzen sein werden.

Die in [JESSEN, 1994], [JESSEN, 1995] sowie dieser neuen Studie (vgl. Kapitel 2) durchgeführten Leistungsanalysen bezüglich des B-WiN Grenzdurchsatzes im Verlauf dieser Untersuchung in ähnlicher Weise für die Abschätzung der Leistungsfähigkeit verschiedener Realisierungsformen des entstehenden G-WiN eingesetzt werden. Während der Verwendung dieser Analysen und aus der rückblickenden Bewertung der älteren Studien wurde jedoch ersichtlich, daß der berechnete Grenzdurchsatz (natürlich) in starkem Maße von der zugrundegelegten Verkehrsmatrix abhängt. Wird die Berechnung wie in [JESSEN, 1994] und [JESSEN, 1995] nur einmal für die Verkehrsmatrix eines bestimmten Monats durchgeführt, so ist die Aussage über den möglichen Grenzdurchsatz direkt an die spezifische Lastsituation dieses Monats gekoppelt. Falls diese Lastsituation im Vergleich zu anderen Monaten untypisch ist, so erhält man auch einen Grenzdurchsatz, der nicht wirklich die zu erwartende Leistungsfähigkeit des untersuchten Netzwerkes widerspiegelt. Um die Gefahr solcher „Ausreißer“ zu verringern, sollten deshalb in dieser Studie soweit möglich verschiedene Leistungsmodelle für das G-WiN unter Verwendung mehrerer Verkehrsmatrizen unterschiedlicher Monate betrachtet werden. Als Vorgehensweise bietet sich dabei die Hochrechnung von Verkehrsmatrizen aus dem Zeitraum von März 1997 bis Februar 1999 auf die prognostizierte Situation für Anfang 2000 an.

In den Studien [JESSEN, 1994] und [JESSEN, 1995] wurde die durch den Auslandsverkehr innerhalb des B-WiN verursachte Verkehrslast jeweils zunächst geschätzt und anschließend mit der getrennt davon prognostizierten inländischen Verkehrslast verrechnet. Aufgrund fehlender Meßdaten war man damals auf Schätzungen angewiesen und ging zudem davon aus, daß sich der Auslandsverkehr bezüglich des transportierten Volumens in Sende- und Empfangsrichtung symmetrisch verhält. In diesem Zusammenhang wurde im vorhergehenden Abschnitt gezeigt, daß dabei der Auslandsanteil unterschätzt wurde, und darüber hinaus auch die Annahme von symmetrischem Auslandsverkehr heute nicht mehr gegeben ist. Beide Punkte müssen in der zu erstellenden Lastprognose in Kapitel 4 berücksichtigt werden. Dies sollte auf einfache Weise möglich sein, da die Teilprognose der traditionellen Last auf Basis von monatlichen Verkehrsmatrizen der Jahre 1997, 1998 und 1999 erfolgen wird. Somit fließen sowohl der richtige Auslandsanteil, als auch die Asymmetrie des Auslandsverkehrs automatisch in die zu erstellende Prognose ein. Dabei wird allerdings davon ausgegangen, daß keine innovativen Lasten wie etwa Videokonferenzen zum Auslandsanteil beitragen. Falls Anzeichen dafür vorhanden sind, daß solche Anwendungen in größeren Maße im G-WiN nicht nur deutschlandweit betrieben werden, so müssen diese getrennt in der Prognose berücksichtigt werden.

Wie in Abschnitt 3.2 erläutert lag der Hauptgrund für die Überschätzung der in [JESSEN, 1994] und [JESSEN, 1995] für den Start des B-WiN in 1996 prognostizierten Verkehrslast in der zu starken Betonung des innovativen Lastanteiles. Gerade aber die-

se innovativen Lasten haben sich während des Betriebes des B-WiN deutlich schwächer entwickelt als erwartet. Ein Grund dafür mag darin liegen, daß die Kapazität des B-WiN zeitweise für manche dieser Anwendungen einfach nicht ausgereicht hätte. Der Hauptgrund für das Fehlen solcher innovativen Anwendungen ist aber sicherlich im technischen Umfeld des B-WiN zu suchen. Damit ist gemeint, daß technisch mögliche Anwendungen nicht verwendet werden, weil die zusätzlich zu einem schnellen Transportnetz nötige Infrastruktur in den angeschlossenen Einrichtungen nicht entsprechend ausgebaut ist.

Als interessantes Beispiel mag trotz seines relativ geringen Lastanteiles das in [JESSEN, 1994] bereits berücksichtigte Versenden von Voice- bzw. Videomails dienen. Diese Anwendung würde an das Transportnetz keine Anforderungen stellen, die nicht auch bereits für das Versenden gewöhnlicher E-Mails erfüllt sein müssen. Dennoch ist diese Anwendung nicht verbreitet. Die Gründe dafür sind, daß die meisten Arbeitsplatzrechner eben schlichtweg nicht mit einer Videokamera ausgerüstet sind und eine Aufnahmemöglichkeit für Voice-Mails zwar häufig (physisch) vorhanden aber meistens nicht konfiguriert, dem Benutzer nicht zugänglich ist oder von der zum E-Mail Versand verwendeten Software nicht unterstützt wird. Dies ist aber nur die halbe Wahrheit. Neben den technischen Gründen muß man sich nämlich auch Fragen, welchen Vorteil Voice- bzw. Video-Mails tatsächlich gegenüber der gewöhnlichen E-Mail haben. Ist es für viele Benutzer wirklich angenehmer Texte (auch längere) in einer womöglich geräuschbelasteten Büroumgebung in ein Mikrofon zu sprechen, anstatt eine textuelle E-Mail zu verfassen. Weitere Fragen in diesem Zusammenhang wären: Wie sieht es mit Korrekturmöglichkeiten aus? Wie druckt man Voice-Mails aus? Und ist es wirklich angenehm zusätzlich zu Telefongesprächen auch noch die Voice-Mails der Arbeitskollegen zu hören? Dieses Beispiel verdeutlicht, daß neben der eigentlich technischen Machbarkeit zur Beurteilung der zukünftigen Verbreitung einer Netzapplikation auch immer wieder hinterfragt werden muß, ob es sich bei neuen Anwendungen um Spielereien oder wirklich sinnvolle Innovationen handelt.

Ein weiteres Problem bei der Einschätzung neuer Netzapplikationen besteht darin, daß es zwar noch relativ einfach ist, die von einer einzelnen Applikation verursachte Last zu bestimmen. Die Bestimmung der von der gesamten Anwendungsklasse verursachten Teillast ist hingegen nur möglich, wenn man weiß wieviele Anwendungen der Klasse gleichzeitig benutzt werden. Die dafür notwendigen Fallzahlen abzuschätzen ist jedoch sehr schwierig. Deshalb erscheint die Durchführung einer Prognose der innovativen Last aus der heutigen Situation heraus leider nicht viel weniger spekulativ als in den Studien [JESSEN, 1994] und [JESSEN, 1995].

Insgesamt kann man man als Schlußfolgerung ziehen, daß besonderes Augenmerk auf das Verhältnis zwischen innovativer und traditioneller Last gelegt werden muß. In diesem Zusammenhang erscheint aus jetziger Sicht ein Verhältnis von 60 % traditionellem Lastanteil zu 40 % innovativen Lastanteil als vernünftige Annahme für die Lastprognose in Kapitel 4.

Kapitel 4

Lastprognose und Lastmodell

Ziel dieses Kapitels ist es, eine Prognose der zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme des G-WiN im März 2000 vorliegenden Lastsituation zu erstellen. Die Prognose soll dabei zur Beschreibung der Last sowohl daß im März 2000 transportierte Monatsvolumen, als auch den in der HVS zu erwartenden mittleren Durchsatz verwenden. Die Vorgehensweise zur Erstellung der Prognose gliedert sich in zwei Bereiche. Zunächst wird in Abschnitt 4.1 ermittelt, welche Lastentwicklung aus heutiger Sicht für den im Folgenden als traditionelle Last bezeichneten IP Datenverkehr zu erwarten ist. Anschließend folgt in Abschnitt 4.2 die Abschätzung der durch neue Anwendungen verursachten Verkehrslast, welche im Weiteren als innovative Last bezeichnet wird. Beide Teilprognosen werden schließlich in Abschnitt 4.3 zu einer Gesamtprognose bzw. einem Lastmodell für das G-WiN zusammengefaßt.

4.1 Traditionelle Last

Die Prognose der traditionellen Teillast wird in diesem Abschnitt auf Basis der in den Jahren 1997 und 1998 beobachteten Lastentwicklung vorgenommen. Zu diesem Zweck wurden während der Analysen der Lastentwicklung in Abschnitt 2.5 neben mittleren jährlichen Wachstumsfaktoren des B-WiN Verkehrs auch bereits für beide Jahre die sich zwischen den Monaten ergebenden Wachstumsfaktoren W_f ermittelt¹. Aufbauend auf diesen monatlichen Wachstumsfaktoren W_{f_i} ($i = 0, \dots, 11$)² und deren geometrischen Mittelwerten \overline{W}_f werden folgende 6 Prognosen für den traditionellen Lastanteil betrachtet:

- Prognose basierend auf den W_{f_i} aus 1997.
- Prognose basierend auf den gemittelten W_{f_i} aus 1997/1998.
- Prognose basierend auf den W_{f_i} aus 1998.
- Prognose basierend auf dem \overline{W}_f aus 1997.
- Prognose basierend auf dem gemittelten \overline{W}_f aus 1997/1998.
- Prognose basierend auf dem \overline{W}_f aus 1998.

¹Aufgrund fehlender Volumendaten für Dezember 1996 und Januar 1997 wurden für die Wachstumsfaktoren zwischen Dezember 1996 und Januar 1997 sowie Januar 1997 und Februar 1997 derselbe Faktor wie zwischen Februar 1997 und März 1997 verwendet.

²Für 12 Monate existieren 12 Wachstumsfaktoren, da der Übergang Dezember → Januar mitberücksichtigt werden muß.

Bei den ersten 3 Prognosen werden also zur Schätzung der zukünftigen Last jeweils die in der Vergangenheit gemessenen Lastprofile direkt verwendet. Der Grund für dieses Vorgehen liegt in der Feststellung, daß die Verläufe der Lastprofile aus den Jahren 1997 und 1998 eine gewisse Ähnlichkeit aufweisen. Die Darstellung in Abbildung 4.1 soll diesen Umstand anhand eines Vergleiches der Lastprofile von 1997 und 1998 verdeutlichen. Zur Erstellung der Graphen beider Jahre wurden dabei zwischen den pro Jahr verfügbaren 12 gemessenen Monatsvolumina zusätzliche Punkte durch eine Spline-Interpolation eingefügt, um die jeweilige Kurvenform besser sichtbar zu machen. Unter der Voraussetzung, daß während des Jahres 1999 keine tiefgreifenden Umstrukturierungen des B-WiN stattfinden, sollte auch das Profil von 1999 einen ähnlichen Verlauf zeigen.

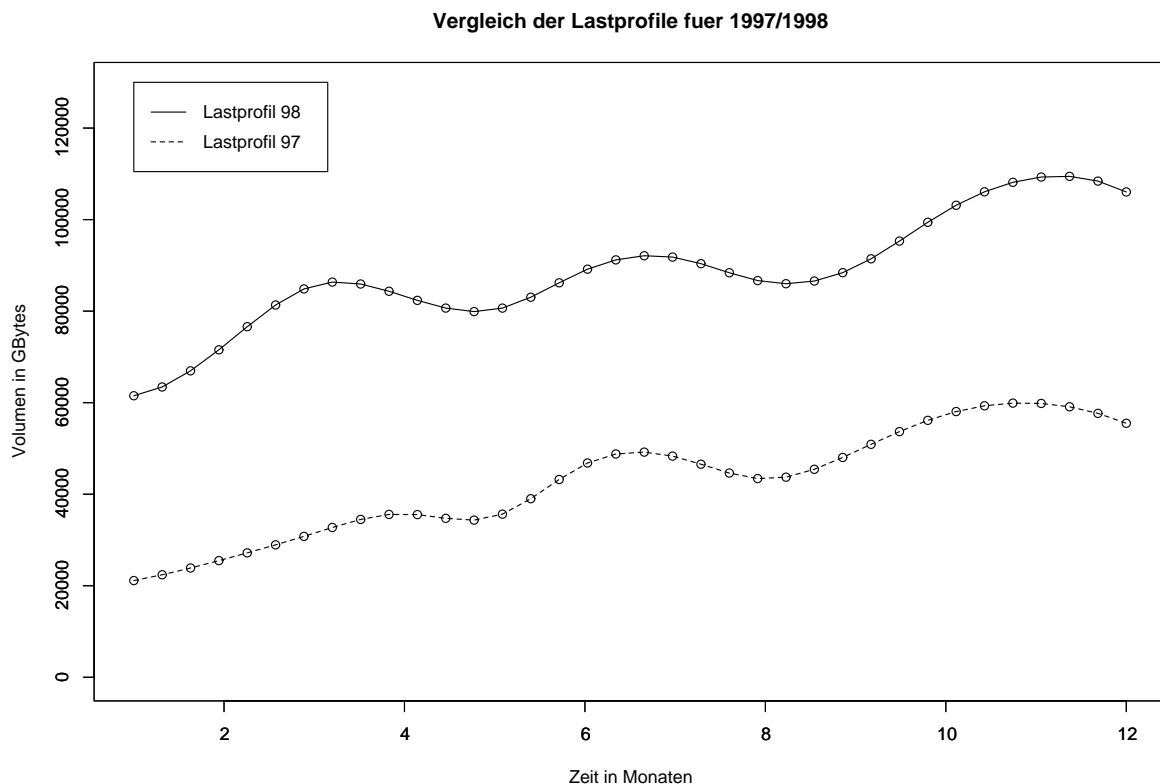


Abbildung 4.1: Vergleich der B-WiN Lastprofile von 1997 und 1998.

Die Berechnung des zu erwartenden Lastvolumens V_{L_i} des i -ten Monats eines Jahres aus dem gegebenen Volumen $V_{L_{i-1}}$ des vorangegangenen Monats $i - 1$ erfolgt für die ersten 3 Prognosen durch nachstehende Formel:

$$V_{L_i} = V_{L_{i-1}} * W_{f_{j-1}} \quad i = 1, 2, 3, \dots; \quad j = i \bmod 12 \quad (4.1)$$

Ein Index von 0 ($i - 1$ bzw. $j - 1$ bei $i = 1$) referenziert dabei den Monat Dezember des Vorjahres bzw. den Wachstumsfaktor des Übergangs Dezember \rightarrow Januar. Damit läßt sich ausgehend vom Lastvolumen eines bestimmten Monats sukzessive die zu erwartende Last für nachfolgende Monate ermitteln.

Für die letzten 3 der oben genannten Prognosen werden die Lastprofile der Vergangenheit nicht direkt zur Schätzung der zukünftigen Last herangezogen, sondern es wird jeweils pro Jahr und für beide Jahre zusammen aus den monatlichen Wachstumsfaktoren W_{f_i} ein einzelner mittlerer monatlicher Wachstumsfaktor \overline{W}_f ermittelt. Die sukzessive Berechnung der zukünftigen Last entspricht in diesen Fällen einem sogenannten Autoregressiven Modell (AR-Modell) in seiner einfachsten Form:

$$V_{L_i} = V_{L_{i-1}} * \overline{W}_f \quad i = 1, 2, 3, \dots \quad (4.2)$$

Mit jedem der 6 Prognosemodelle wurde ausgehend vom einem einzigen (!) Startwert, dem Lastvolumen im März 1997 (31485 GByte), das im März 2000 zu erwartende Lastvolumen ermittelt. Die entsprechenden Graphen bezüglich der von den Modellen jeweils über den genannten Zeitraum prognostizierten Lastentwicklung sind in Abbildung 4.2 anhand von 4 Graphiken dargestellt. Diese Graphiken enthalten neben den Graphen für die prognostizierte Lastentwicklung auch jeweils einen Graphen für das von März 1997 bis Februar 1999 monatlich im B-WiN gemessene Lastvolumen.

In der Graphik links oben ist das Ergebnis der Prognose auf Basis des Lastprofiles von 1997 zu sehen. Aufgrund der Verwendung dieses Lastprofiles verlaufen die Graphen von gemessener und prognostizierter Last zunächst deckungsgleich bis incl. Dezember 1997. Im anschließenden Bereich der ersten Jahreshälfte von 1998 hätte das Modell die real gemessene Last etwas unterschätzt, im restlichen Verlauf in der zweiten Jahreshälfte von 1998 und weiter bis incl. Februar 1999 jedoch meist etwas überschätzt. Die Abweichung zwischen prognostiziertem und gemessenem Lastvolumen lag im Januar 1999 bei 16 016 GByte (= 14 %) und im Februar 1999 bei 14 913 GByte (= 13 %).

Die Graphik links unten zeigt die Verhältnisse bei gleichem Ausgangsvolumen von März 1997, jedoch unter Anwendung der Prognose auf Basis des gemittelten Lastprofiles von 1997/1998. Wie man leicht erkennen kann, unterschätzt dieses Modell die reale Lastentwicklung, wobei sich die Abweichung jedoch in Grenzen hält und der Kurvenverlauf für den Vergleichszeitraum relativ gut vorausgesagt worden wäre. Im Januar 1999 betrug die Abweichung 16 016 GByte (= 14 %) und im Februar 4 369 GByte (= 3.7 %).

In der nächsten Graphik (rechts oben) wurde für die Prognose das Lastprofil von 1998 verwendet. Wie man sieht, liegt dabei das prognostizierte Verkehrsaufkommen für den Vergleichszeitraum noch weiter unter dem real gemessenen als bei dem im vorhergehenden Absatz besprochenen „Mischprofil“. Erst am Ende des Vergleichszeitraumes (Februar 1999) findet eine Annäherung statt. Für dieses Modell liegt die Abweichung im Januar 1999 bei 34 722 GByte (= 30 %) und im Februar 1999 bei 20 855 GByte (= 18 %).

Als Ergebnis der Betrachtung dieser 3 Prognosemodelle kann man folgern, daß die reale Last umso mehr unterschätzt wurde je größer der Einfluß des Lastprofiles von 1998 war. In diesem Zusammenhang zeigte eine genauere Untersuchung, daß der Mittelwert der monatlichen Wachstumsfaktoren des Jahres 1998 mit 1.0464 unter dem Mittelwert von 1997 mit 1.0583 lag³. Das Verkehrsvolumen nahm also in 1998 weniger stark zu als

³Man beachte, daß diese Faktoren exponentiell in die Berechnung eingehen, so daß sich bereits kleine Unterschiede relativ stark auswirken.

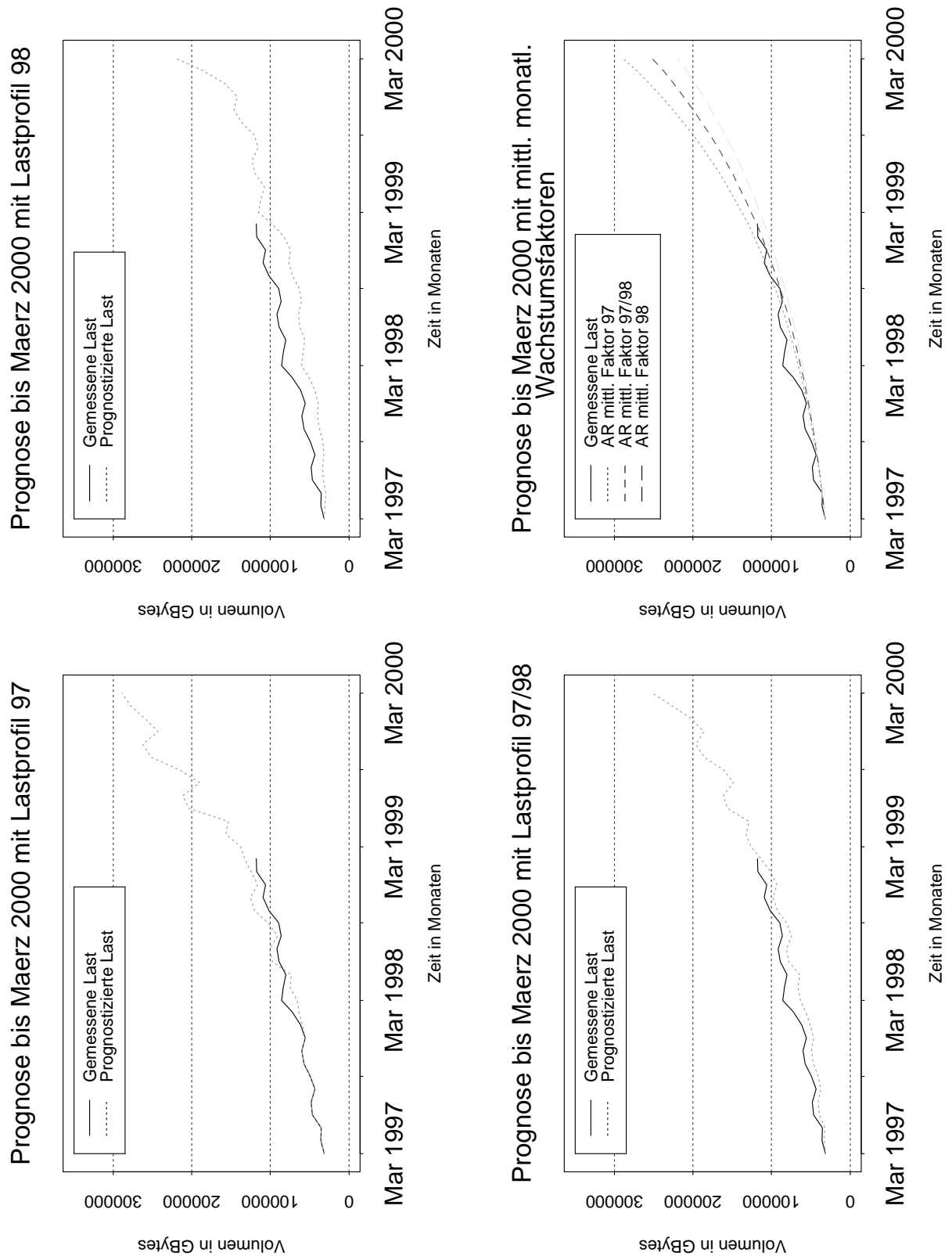


Abbildung 4.2: Gemessene Last des B-WiN von März 1997 bis März 1999 sowie Prognosen des traditionellen Lastanteiles für März 2000 anhand der Lastprofile der Jahre 1997 und 1998 sowie deren mittleren monatlichen Wachstumsfaktoren.

in 1997. Weiterhin konnte für beide Jahre ein sehr leichter aber dennoch feststellbarer Abwärtstrend in den monatlichen Wachstumsfaktoren festgestellt werden. Dieser mittels einer Regressionsgerade ermittelte Trend war in 1998 dreimal so stark als in 1997. Insgesamt ist also das geringere Wachstum der Verkehrslast in 1998 dafür verantwortlich, daß sich bei den Prognosen ausgehend von Anfang 1997 mit dem Lastprofil von 1998 eine Unterschätzung der Verkehrslast ergab.

Die letzte, in Abbildung 4.2 unten rechts, dargestellte Graphik faßt die Ergebnisse der auf Basis des AR-Modells (vgl. Gleichung 4.2) berechneten Prognosen zusammen. Neben den 3 gestrichelt gezeichneten Graphen für die AR-Modelle mit mittleren monatlichen Faktoren von 1997, 1997/1998 und 1998 enthält die Graphik wiederum auch den Graphen für die bis Februar 1999 gemessene Verkehrslast. Betrachtet man wieder den Vergleichszeitraum von März 1997 bis März 1999, so liegen die Kurven der prognostizierten Lastentwicklung in allen 3 Fällen dicht an der Kurve der gemessenen Last. Es ist jedoch auch ersichtlich, daß in allen 3 Fällen bis etwa Juli 1998 die reale Last leicht unterschätzt worden ist. Weiterhin entstehen aufgrund der Verwendung fester, mittlerer Wachstumsfaktoren exponentielle Lastkurven. Mit diesen ist, im Gegensatz zu den ersten 3 betrachteten Prognosemodellen, die Modellierung von lokalen, sprunghaften Lastentwicklungen nicht möglich. Aus der Graphik erkennt man darüberhinaus, daß die prognostizierten Lastkurven, entsprechend ihren unterschiedlich hohen mittleren Wachstumsfaktoren, immer weiter auseinander laufen und gewissermaßen einen „Vorhersagetrichter“ bilden. Dabei bewegt sich die gemessene Last, ab etwa August 1998, innerhalb der durch die Prognosen von 1997 und 1998 gebildeten Trichterränder und schwankt währenddessen um die auf das AR-Modell mit dem mittleren Wachstumsfaktor aus 1997/1998 zurückgehende Lastkurve.

In obiger Diskussion der einzelnen Prognosemodelle fehlt bisher die Betrachtung der durch das jeweilige Modell für März 2000 geschätzten Lastsituation. Diese soll im Folgenden nachgeholt werden. Dazu sind in Tabelle 4.1 das jeweils pro Modell (P1 – P6) geschätzte monatliche Lastvolumen V_L sowie der daraus resultierende mittlere Tagesdurchsatz D_T und der mittlere Durchsatz in der HVS D_{HVS} zu einer Übersicht zusammengefaßt:

Prognosemodell	März 2000		
	Lastvolumen	Tagesdurchsatz	HVS Durchsatz
	V_L [GByte]	D_T [Mb/s]	D_{HVS} [Mb/s]
P1: Lastprofil 97	288 682	949	2 277
P2: Lastprofil 97/98	251 814	828	1 986
P3: Lastprofil 98	219 653	722	1 732
P4: Mittl. monatl. Faktor 97	288 682	949	2 277
P5: Mittl. monatl. Faktor 97/98	251 814	828	1 986
P6: Mittl. monatl. Faktor 98	219 653	722	1 733

Tabelle 4.1: Vergleich des für März 2000 auf Basis unterschiedlicher Prognosen der Entwicklung des IP Datenverkehrs zu erwartenden Lastaufkommens.

Die in der Tabelle aufgeführten mittleren Tagesdurchsätze D_T (in der Einheit Mb/s) wurden dabei aus dem prognostiziertem Lastvolumen V_L (in der Einheit GByte) nach folgender Formel ermittelt:

$$D_T = V_L * \frac{1024 * 8}{30 * 24 * 3600} * 1.04 \quad (4.3)$$

Ein Vergleich der für Juli 1998 gemessenen mittleren Tagesdurchsätze und dem aus dem in Juli 1998 transportierten Monatsvolumen errechneten mittleren Tagesdurchsatz ergab, daß der errechnete Tagesdurchsatz für die Wochentage von Montag bis Freitag um 4 % zu niedrig war. Dieser Effekt kommt durch die niedrigeren Durchsätze an den Wochenenden zustande. Um dies auszugleichen, wurde am Ende von Gleichung 4.3 der zusätzliche Korrekturfaktor 1.04 angefügt. Aus den erhaltenen mittleren Tagesdurchsätzen ergaben sich die mittleren Durchsätze in der HVS nach der Gleichung 3.1 aus Abschnitt 3.2.

Nach Tabelle 4.1 reichen die für März 2000 prognostizierten Lastvolumina V_L von 220 TByte aus den Prognosen P3/P6 bis zu einem um 31 % höheren Wert von 289 TByte aus den Prognosen P1/P4. Für den Tagesdurchsatz D_T ergibt sich entsprechend ein Bereich zwischen 722 Mb/s und 949 Mb/s und für den HVS Durchsatz D_{HVS} ein Bereich zwischen 1 733 Mb/s und 2 278 Mb/s. Für die weitere Verwendung zur Erstellung einer Gesamtprognose bzw. eines Lastmodells in Abschnitt 4.3 wurde die Prognose P1 bzw. P4 mit den höchsten Schätzwerten ausgewählt. Der Grund für diese Auswahl liegt darin, daß zum Zeitpunkt der Einführung einer neuen Netzwerkgeneration zusätzlich zu der bis dahin erfolgten schrittweisen Zunahme des Netzverkehrs mit einem sprunghaften Anstieg der Verkehrslast zu rechnen ist (vgl. die Situation bei Einführung des B-WiN in 1996). Es erscheint daher nicht empfehlenswert, auf zu konservative Modelle zu setzen.

4.2 Innovative Last

Inhalt dieses Abschnittes ist die Prognose des, bei Einführung des G-WiN im März 2000, zusätzlich zum IP Datenverkehr zu erwartenden Lastanteiles, welcher auf die Verwendung von neuen, innovativen Netzapplikationen zurückzuführen sein wird. Zur Durchführung dieser Prognose sind zwei Schritte notwendig. Der erste besteht darin, eine Auswahl der zu berücksichtigenden Applikationen zu treffen und festzustellen, welche Bandbreitenanforderung jeweils bei Ausführung einer Einzelnen dieser neuen Anwendungen benötigt wird. Im zweiten Schritt geht es darum, den Bandbreitenbedarf jeweils einer gesamten Anwendungsklasse zu ermitteln, d.h. abzuschätzen wieviele Anwendungen des gleichen Typs bzw. derselben Klasse simultan aktiv sein werden (Fallzahlen).

Um Erfahrung im Umgang mit Übertragungsraten im Bereich von 622 Mb/s - 2.4 Gb/s sowie innovativen Anwendungen zu sammeln, werden seit 1998 durch den DFN-Verein sogenannte Gigabit Testbeds betrieben. Ein für diese Untersuchung sehr interessanter Aspekt dieser Testbeds ist, daß von den darin erprobten Anwendungen soweit möglich die jeweiligen Lastcharakteristika ermittelt werden sollen. Derzeit liegen jedoch diesbezüglich noch keine Ergebnisse vor, so daß die hier durchgeführte Untersuchung vor allem auf Informationen aus der Literatur angewiesen ist. Während der in diesem Zusammenhang durchgeführten Literaturrecherche stellte sich jedoch bald heraus, daß nur wenige (brauchbare) Untersuchungen zum Bandbreitenbedarf neuer Netzapplikationen verfügbar sind. Bezüglich der Ermittlung von Fallzahlen der Anwendungen einer Klasse ist die Situation

noch unbefriedigender, da hier praktisch keine Informationen vorliegen. Insgesamt müssen deshalb bei einigen Anwendungen sowohl Fallzahlen als auch jeweiliger Bandbreitenbedarf geschätzt werden, so daß die Prognose wie bereits in Abschnitt 3.3 angedeutet, einen etwas spekulativen Charakter erhält.

Im Folgenden werden die in der Prognose berücksichtigten Applikationen kurz vorgestellt. Dabei wird versucht die einzelnen Applikationen entsprechend ihres Anwendungsbereichs in unterschiedliche Klassen einzuordnen. Zu jeder Anwendung werden ihr jeweiliger Bandbreitenbedarf sowie die für die HVS geschätzte Anzahl gleichzeitig aktiver Instanzierungen angegeben.

4.2.1 Einfache interpersonelle Kommunikation

Telefonie:

Die Integration von gewöhnlicher Telefonie in vorhandene bzw. neu entstehende Datenetze stellte bei der Planung des B-WiN (vgl. [JESSEN, 1994], [JESSEN, 1995]) noch einen der Kernaspekte dar, da man sich dadurch eine Einsparungsmöglichkeit bei den Telefonkosten zwischen den deutschen Wissenschaftseinrichtungen erhoffte. Aufgrund des seit Anfang 1998 auf dem Telekommunikationssektor zu beobachtenden Preiskampfes hat sich die Bedeutung der Sprachintegration aus Sicht der Kosteneinsparung jedoch deutlich reduziert.

Der Vollständigkeit halber soll hier dennoch die im G-WiN für die Sprachintegration vorzusehende Bandbreite abgeschätzt werden. In Tabelle 4.2 sind dazu die wichtigsten standardisierten und für die Sprachübertragung in Frage kommenden Audiocodierungsverfahren kurz charakterisiert. Weiterhin ist in der letzten Spalte der Tabelle als wichtigste Information die für den jeweiligen Audiostandard resultierende Übertragungsrate angegeben:

Standard	Sample-Frequenz/ [kHz]	Quantisierung [bit]	Übertragungsrate [kb/s]
G.711	8	8	64
G.722	16	14	64
G.723.1	8	16	6.3 oder 5.3
G.728	8	10	16
G.729	8	16	8
GSM	8	13	13

Tabelle 4.2: Resultierende Übertragungsraten von standardisierten Kodierungsverfahren für Audio [JUNG & WARNECKE, 1998].

Die in der Tabelle aufgeführten Bandbreitenanforderungen reichen von 13 kb/s beim GSM Verfahren bis 64 kb/s bei den Standards G.711 und G.722. Dabei würde die Sprachqualität von G.711 der von ISDN entsprechen. Bei Verwendung des Standards G.722 wäre diese bei gleichen Bandbreitenanforderungen sogar noch deutlich besser⁴. Selbst bei sehr

⁴Hier wird jeweils vorausgesetzt, daß keine störenden Netzeinflüsse wie Delay, Jitter, etc. auftreten.

hoher Sprachqualität sind also pro geführtem Telefongespräch nur 64 kb/s notwendig⁵. In Zukunft sind hier aber mit Blick auf die zunehmende Verbesserung der Kodierungsverfahren aus dem Mobilfunkbereich auch bei hoher Sprachqualität sogar noch deutlich niedrigere Werte zu erwarten. Es wird weiterhin angenommen, daß in der HVS gleichzeitig 2000 Gespräche stattfinden. Der durch Sprachintegration im G-WiN zu erwartende Durchsatz ergibt sich damit zu:

$$D_{Tel} = 0.064 \text{ Mb/s} * 2000 = 128 \text{ Mb/s} \quad (4.4)$$

Videotelefonie:

Bei der Videotelefonie werden zusätzlich zur Sprache auch Bewegtbilder der Teilnehmer mit Hilfe eines Datennetzes übertragen. Um eine Abgrenzung zum Bereich der Videokonferenzen zu schaffen sollen bei dieser Anwendung normalerweise 2, maximal aber höchstens 3 Teilnehmer miteinander kommunizieren. Dabei bewegt sich die angestrebte Bildqualität im unteren bis mittleren Bereich. Die Bildinformation wird im Vergleich zum gewöhnlichen Fernsprechen als komfortable Zugabe betrachtet, die aber darüber hinaus für die Abwicklung des Gesprächs nicht zwingend notwendig wäre⁶. Die für eine Anwendung mit diesen Charakteristika derzeit typischen Übertragungsprotokolle und Bandbreitenanforderungen sind in der folgenden Tabelle 4.3 zusammengefaßt:

Standard	Technik	Übertragungsrates [kb/s]
H.320	z.B. ISDN	64 – 128
H.261	z.B. IP-Lösungen	> 100

Tabelle 4.3: Protokolle für Videotelefonie und resultierende Übertragungsrates [ARMBRÜSTER & WIMMER, 1992], [BÖTTGER, 1998], [JUNG & WARNECKE, 1998].

Für die hier angestellten Betrachtungen soll die benötigte Bandbreite pro Video-Verbindung bei 128 kb/s liegen. Weiterhin wird angenommen, daß von den oben bei der Sprachintegration erwähnten 2000 gleichzeitig stattfindenden Gesprächen 200 unter Verwendung von Videotelefonie ablaufen. Die gewählten 128 kb/s sollen dabei jeweils zusätzlich zum Audioanteil allein für den Videoanteil anfallen⁷. Unter diesen Annahmen ergibt sich er durch die Videotelefonie verursachte Datendurchsatz $D_{V\text{Tel}}$ zu:

$$D_{V\text{Tel}} = 128 \text{ Kb/s} * 200 = 25.6 \text{ Mb/s} \quad (4.5)$$

Zusammenfassung von (4.4) und (4.5):

⁵Hier wird vorausgesetzt, daß nur jeweils ein Teilnehmer gleichzeitig spricht. Die 64 kb/s fallen also abwechselnd in Sende- bzw. Empfangsrichtung an. Die Verhältnisse bei Konferenzschaltungen (1 Sprecher

Anwendung	Einzelthroughput [Mb/s]	Fallzahl	Teillast [Mb/s]
Telefonie	0.064	2000	128.0
Videotelefonie	0.128	200	25.6
Summe			153.6

4.2.2 Interpersonelle Kooperation (CSCW)

Videokonferenzen:

Unter der Anwendung Videokonferenz wird hier die audiovisuelle Kommunikation von mehreren Teilnehmern verstanden, wobei die Übertragung von Bildinformation bei größerer Teilnehmerzahl (≥ 4) eine für die Synchronisation bzw. Identifikation der Teilnehmer notwendige Ergänzung darstellt. Im Gegensatz zur weiter oben betrachteten Videotelefonie soll dabei eine gute bis sehr gute Bildqualität verwendet werden. Zusätzlich zu den Bewegtbildern der Teilnehmer fallen Bildinformationen an, welche z.B. bei Verteilung von Arbeitsdokumenten an die Teilnehmer übertragen werden müssen. Die durch diesen Teilbereich der Videokonferenzanwendung verursachte Last wird jedoch nicht in diesem Abschnitt berücksichtigt, sondern innerhalb einer eigenen Applikation (Whiteboard-Anwendung) im nachfolgenden Abschnitt.

Für den beschriebenen Videokonferenztyp sind in Tabelle 4.4 einige der gängigen Protokolle bzw. Kodierungsverfahren zusammen mit den resultierenden Übertragungsraten aufgelistet:

Standard	Übertragungsrate [Mb/s]
H.261	0.384 – 2.0
MPEG	1.5
MPEG2	4.0 – 8.0

Tabelle 4.4: Kodierungsverfahren für Videoübertragung und resultierende Übertragungsraten [FRANTZEN, 1997].

Es wird angenommen, daß zur HVS 20 Videokonferenzen gleichzeitig stattfinden⁸. Diese teilen sich auf in 15 Videokonferenzen mit guter (1 Mb/s) und 5 mit sehr guter Bildqualität (5 Mb/s). Dabei sollen im Durchschnitt an jeder Videokonferenz 3 Personen beteiligt sein. Unter diesen Annahmen sind pro Videokonferenz 6 Video- und 2 (jeweils aktive) Audiokanäle nötig. Die für die Audiokanäle benötigte Bandbreite soll weiterhin bereits in der

→ mehrere Zuhörer) werden hier vernachlässigt.

⁶Anmerkung: Vervollständigung des Telefoniedienstes.

⁷Die in Tabelle 4.3 aufgeführten Raten beinhalten im Gegensatz zur hier gewählten Vorgehensweise Audio + Video. D.h. für die Betrachtungen hier wird eine etwas bessere Videoqualität als in Tabelle 4.3 angenommen

⁸Die Anzahl von nur 20 (höherwertigen) Videokonferenzen scheint vertretbar, da für (einfache) Videotelefonie bereits 200 simultan aktive Verbindungen eingeplant sind.

Schätzung für die Sprachintegration (s. oben) enthalten sein. Für den bezüglich Videokonferenzen noch zu berücksichtigenden Bandbreitenbedarf ergibt sich somit:

$$D_{VKonf} = (15 * 6 * 1 + 5 * 6 * 5) \text{ Mb/s} = 240 \text{ Mb/s} \quad (4.6)$$

Whiteboard-Anwendung:

Umfaßt den Austausch und die gemeinsame, gleichzeitige Bearbeitung von Dokumenten durch verschiedene, örtlich voneinander entfernte Personen. Die Dokumente können dabei in Papierform vorliegen oder bereits elektronisch erfaßt sein. Dabei verursachen Dokumente in Papierform bei der Übertragung normalerweise einen höheren Bandbreitenbedarf, da diese nur als eingescannte Graphik elektronisch zugänglich gemacht werden können⁹. Dokumente, welche bereits auf elektronischem Weg erstellt und gespeichert wurden besitzen dagegen gewöhnlich von Haus aus ein kompaktes Format.

Die Verwendung dieser Applikationsart wird (in ihrer interaktiven Ausprägung) erst sinnvoll in Kombination mit einer der bereits besprochenen Anwendungen Sprachintegration, Videotelefonie oder Videokonferenz. Die für die Realisierung der Whiteboard-Anwendung nötigen Transferdienste für Daten, Text, Graphiken und Bilder erfordern dabei typischerweise Bandbreiten im Bereich von 100 Kb/s bis zu 10 Mb/s (vgl. [FRANTZEN, 1997], [WRIGHT, 1992]). Da die jeweilige Information schnell an die Teilnehmer (z.B. einer Videokonferenz) verteilt werden muß, treten diese Bandbreitenbedarfe jeweils nur kurzzeitig auf.

Es wird angenommen, daß während der Hauptverkehrsstunde gleichzeitig jeweils 20 durch Whiteboard-Anwendungen initiierte Datentransfers stattfinden. Dabei sollen 10 der Transfers jeweils einen Bandbreitenbedarf von 1 Mb/s, 7 einen Bedarf von 2 Mb/s und 3 einen Bedarf von 5 Mb/s aufweisen. Unter diesen Annahmen ergibt sich der insgesamt durch die Whiteboard-Anwendung verursachte Durchsatz D_{WBoard} zu:

$$D_{WBoard} = (10 * 1 + 7 * 2 + 3 * 5) \text{ Mb/s} = 39 \text{ Mb/s} \quad (4.7)$$

Virtual Reality (VR):

Eine virtuelle Umgebung ermöglicht dem Benutzer Zugriff zu Informationen, die andernfalls am gegebenen Ort oder zur gegebenen Zeit nicht verfügbar wären. Sie stützt sich dabei auf natürliche Aspekte der menschlichen Wahrnehmung, indem sie visuelle Information in drei räumlichen Dimensionen einsetzt. Darüber hinaus kann sie diese Information mit weiteren sensorischen Reizen oder zeitlichen Veränderungen anreichern [WANN & MON-WILLIAMS, 1996]. VR ermöglicht es zwei oder mehr Personen an verschiedenen Orten miteinander zu kommunizieren und dabei gemeinsam und interaktiv

⁹Der Bandbreitenbedarf ist hier natürlich wieder stark von der gewünschten Darstellungsqualität abhängig.

auf dem gleichen Datenmaterial zu arbeiten oder Simulationen durchzuführen. Zu diesem Zweck benötigt VR Hochleistungsrechner und Hochgeschwindigkeitsnetzwerke.

Die Einschätzungen des für solche Anwendungen notwendigen Bandbreitenbedarfs reichen aufgrund des allgemeinen Ansatzes und der fast beliebig zu steigernden Komplexität der VR von 20 Mb/s bis 10 Gb/s. Für die Planung des G-WiN wird davon ausgegangen, daß diese relativ neue Anwendung kurzfristig keine bedeutende Rolle spielen wird. Nach einem sehr konservativen Ansatz wird deshalb angenommen, daß in der HVS gleichzeitig 5 VR-Anwendungen aktiv sind, wobei jede einen Bandbreitenbedarf von 20 Mb/s aufweist. Der in der Lastprognose auf VR entfallende Durchsatz D_{VR} berechnet sich somit zu:

$$D_{VR} = 5 * 20 \text{ Mb/s} = 100 \text{ Mb/s} \quad (4.8)$$

Zusammenfassung von (4.6), (4.7) und (4.8):

Anwendung	Einzelthroughput [Mb/s]	Fallzahl	Teillast [Mb/s]
Videokonferenz	6 / 30	15 / 5	240
Whiteboard	1 / 2 / 5	10 / 7 / 3	39
Virtual Reality	20	5	100
Summe			379

4.2.3 Metacomputing

Rechnerkopplung:

Unter Metacomputing versteht man allgemein den Zusammenschluß einzelner vernetzter Rechensysteme zu einem leistungsfähigeren virtuellen Rechensystem, welches sich nach außen hin als homogene Einheit darstellt. Durch Kopplung der leistungsfähigsten Supercomputer beispielsweise soll Forschern Rechenleistung in einem Umfang zur Verfügung gestellt werden, wie es auf einem einzelnen Höchstleistungsrechner alleine nicht möglich ist.

Leider existieren in der Literatur nur wenige Untersuchungen dazu, welche Bandbreitenanforderungen für die Kommunikation zwischen Supercomputern bei spezifischen Anwendungen (z.B. Berechnung von Klimamodellen, verteilte Bildverarbeitung, etc.) typisch sind. In den verfügbaren Untersuchungen (vgl. [DUNIGAN, 1996], [NIEDERBERGER, 1996]) wird meist durch Versenden von Nachrichten getestet, welchen Durchsatz der jeweils verwendete Supercomputer in Abhängigkeit von unterschiedlicher Transportblockgröße der Nachrichten auf seiner Kommunikationsverbindung nach außen erreicht. Die Ergebnisse solcher Tests belegen einerseits, daß abhängig von der verwendeten Netzwerktechnologie (Ethernet, FDDI, ATM, HIPPI, ...) durchaus Durchsätze in Höhe von 60 % – 80 % des Maximaldurchsatzes erreicht werden können. Andererseits wurden in den wenigen Tests, welche den Bandbreitenbedarf bei Abarbeitung „echter“

Anwendungen untersuchten deutlich niedrigere Durchsätze beobachtet. Diese bewegten sich beispielsweise bei Verwendung einer OC-12 ATM (622 Mb/s) Verbindung zwischen 2 Intel Paragon Systemen im Bereich von 16 Mb/s – 32 Mb/s (vgl. [DUNIGAN, 1996]).

Die Kopplung von entfernten Workstationclustern über ein WAN zum Zwecke der Bündelung der Rechenleistung fällt als neue Netzapplikation ebenfalls in den Bereich Metacomputing. Nach Untersuchungen mit verteilt rechnenden Applikationen in [TAKEFUSA ET AL., 1997] bewegen sich die dabei erreichbaren Durchsätze im Bereich von 15 Mb/s – 48 Mb/s.

Für die Lastprognose wird deshalb pro Kopplung von Supercomputern bzw. Workstationclustern ein Durchsatz von 50 Mb/s (für beide Richtungen zusammen) angenommen, wobei in der HVS jeweils 5 dieser Kopplungen gleichzeitig aktiv sein sollen. Daraus ergibt sich ein zu berücksichtigender Durchsatz $D_{RConnect}$ von:

$$D_{RConnect} = 5 * 50 \text{ Mb/s} = 250 \text{ Mb/s} \quad (4.9)$$

LAN-to-LAN Kopplung:

Eine Anwendung die nur noch ganz am Rande in den Bereich Metacomputing fällt ist in der für den Benutzer transparenten Kopplung von lokalen Netzwerken mit Hilfe eines Weitverkehrsnetzes gegeben. Sinnvoll ist dies, wenn beispielsweise zwei örtlich getrennte Arbeitsgruppen mit spezifischen Fähigkeiten in einem übergreifenden Projekt auf gemeinsames Datenmaterial zugreifen müssen.

Für diese Anwendung wird ein Bandbreitenbedarf von 5 Mb/s pro Benutzer angenommen. Außerdem sollen während der HVS jeweils 10 Benutzer gleichzeitig eine LAN-to-LAN Verbindung nutzen. Daraus ergibt sich ein Durchsatz $D_{LANConnect}$ von:

$$D_{LANConnect} = 10 * 5 \text{ Mb/s} = 50 \text{ Mb/s} \quad (4.10)$$

Zusammenfassung von (4.9) und (4.10):

Anwendung	Einzel durchsatz [Mb/s]	Fallzahl	Teillast [Mb/s]
Rechnerkopplung	50	5	250
LAN-to-LAN Kopplung	5	10	50
Summe			300

4.2.4 Entfernte Steuerung/Überwachung von Prozessen

Rechenprozesse:

In diesem Paragraph wird der Bandbreitenbedarf betrachtet, welcher zur Steuerung von Rechenprozessen benötigt wird, die aufgrund der hohen benötigten Rechenleistung auf

einem Superrechner durchgeführt werden müssen. Der Rücktransport der mit den Rechenergebnissen entstehenden (evtl. großen) Datenmengen soll dabei nicht zeitkritisch sein. Es wird angenommen, daß zur HVS gleichzeitig 50 solcher entfernter Rechenprozesse kontrolliert werden müssen. Dabei sollen 20 einen Bandbreitenbedarf von 1 Mb/s, weitere 20 einen Bandbreitenbedarf von 2 Mb/s und die restlichen 10 einen Bandbreitenbedarf von je 4 Mb/s aufweisen. Damit ergibt sich insgesamt für die entfernte Steuerung von Rechenprozessen ein geschätzter Durchsatz D_{RCalc} von:

$$D_{RCalc} = (20 * 1 + 20 * 2 + 10 * 4) \text{ Mb/s} = 100 \text{ Mb/s} \quad (4.11)$$

Allgemeine Prozesse (Teleexperimente):

Einige wissenschaftliche Forschungszweige (Astronomie, Kernphysik, ...) benötigen große, teure Instrumente, welche ein einzelnes Forschungsinstitut oftmals weder finanzieren noch vollständig nutzen kann. Dieser Umstand hat zur Schaffung von gemeinschaftlich genutzten Einrichtungen geführt, wobei deren Verwendung gewöhnlich von den Wissenschaftlern eine Reise zum und einen längeren Aufenthalt am Standort der jeweiligen Einrichtung erfordert. Dieser Aufwand läßt sich Vermeiden durch Netzapplikationen, welche unter dem Stichwort Teleexperimente zusammengefaßt werden. Diese Netzapplikationen umfassen die Nutzung teurer Laboreinrichtungen sowie die ferngesteuerte Inspektion von technischen Systemen (Process Monitoring) von entfernten Standorten aus.

Für diese Art der Prozeßsteuerung werden analog zur oben betrachteten Steuerung von Rechenprozessen ebenfalls jeweils 50 simultan in der HVS aktive Instanzen angenommen. Der pro Instanz anfallende Bandbreitenbedarf wird jedoch niedriger angesetzt. Dabei soll für 20 Steuerungen ein Durchsatz von 64 kb/s, für weitere 20 ein Durchsatz von 128 kb/s und für die restlichen 10 ein Durchsatz von 512 kb/s ausreichen. Damit ergibt sich insgesamt ein Durchsatz D_{RCtrl} von:

$$D_{RCtrl} = (20 * 0.064 + 20 * 0.128 + 10 * 0.512) \text{ Mb/s} \approx 9 \text{ Mb/s} \quad (4.12)$$

Zusammenfassung von (4.11) und (4.12):

Anwendung	Einzeldurchsatz [Mb/s]	Fallzahl	Teillast [Mb/s]
Entf. Rechenproz.	1/2/4	20/20/10	100
Entf. allg. Proz.	0.064/0.128/0.512	20/20/10	9
Summe			109

4.2.5 Signal-/Meßwertverarbeitung und Visualisierung

Die Weiterentwicklung von Meß- und Sensortechnik in Forschungsgebieten wie Astronomie, Medizin oder Geowissenschaften führt zu einer zeitlich und örtlich zunehmend

verfeinerten Signalerfassung. Bei der Analyse entsprechender Meßdaten fallen sehr große Datenmengen an, welche häufig nur noch interaktiv in graphisch aufbereiteter Form untersucht und bewertet werden können. Die für diese graphische Aufbereitung notwendigen Ressourcen an Rechenleistung und Arbeitsspeicher werden auf absehbare Zeit nur von Hochleistungsrechnern zur Verfügung gestellt werden können. Dagegen sind für die eigentliche Echtzeit Darstellung der graphisch aufbereiteten Daten in Form komplexer dreidimensionaler Visualisierungen sehr leistungsfähige Graphikworkstations notwendig. Aus dieser Situation ergibt sich die Forderung nach einer leistungsfähigen Anbindung von Graphikworkstations an den eigentlichen Rechnerserver ([GEMSE97, 1997], Projekt II.1.9).

Es wird angenommen, daß in der HVS jeweils 3 solcher Anwendungen aktiv sind, bei denen große Datenströme mit je 100 Mb/s vom Rechnerserver zur jeweiligen Visualisierungsworkstation fließen. Darüber hinaus wird davon ausgegangen, daß zusätzlich 40 weitere Datenströme für kleinere Visualisierungen aktiv sind. Davon 20 jeweils mit 128 kb/s und 20 mit 512 kb/s.

Insgesamt ergibt sich damit für den Bereich der Signal-/Meßwertverarbeitung und Visualisierung ein Durchsatz D_{DVis} von:

$$D_{DVis} = (3 * 100 + 20 * 0.128 + 20 * 0.512) \text{ Mb/s} \approx 313 \text{ Mb/s} \quad (4.13)$$

4.2.6 Digitale Bibliotheken und Telelearning

Die Realisierung von Anwendungen wie digitalen Bibliotheken oder Telelearning läßt sich im Wesentlichen auf eine Kommunikation zwischen Benutzern und Mediaservern reduzieren. Dabei stellen die Mediaserver auf Abruf Daten der Kategorien Text, Audio und Video zur Verfügung. Die Datenströme in Richtung vom Mediaserver zum Benutzer erfordern deswegen Übertragungsbandbreiten in ähnlicher Höhe wie sie in Abschnitt 4.2.2 für Videokonferenzen und Whiteboard-Anwendungen veranschlagt wurden. In Richtung vom Benutzer zum Mediaserver fallen hingegen nur geringe Durchsätze zur Übermittlung der jeweiligen Benutzeranfragen an.

Für die Hauptverkehrsstunde wird davon ausgegangen, daß gleichzeitig jeweils 100 Kommunikationsbeziehungen zu Mediaservern bestehen. Von diesen sollen 60 für den Transport von Text und Standbildern Bandbreitenanforderungen von 256 kb/s aufweisen. Weitere 30 sollen für den Transport von Audio und Video 1 Mb/s benötigen. Die restlichen 10 Kommunikationsbeziehungen verwenden Übertragungsraten von 4 Mb/s. Damit ergibt sich insgesamt für diese Anwendungsklasse ein Durchsatz D_{MServ} von:

$$D_{MServ} = (60 * 0.256 + 30 * 1 + 10 * 4) \text{ Mb/s} \approx 85 \text{ Mb/s} \quad (4.14)$$

4.2.7 Neue Zugangstechniken (xDSL)

Unter xDSL (xDSL-Verfahren Digital Subscriber Line) sind verschiedene Technologien zur Datenübertragung auf TP-Kabeln (Twisted Pair) zu verstehen. xDSL wird vorwiegend

im Anschlußbereich der Telefonnetze, der sog. „Last Mile“, eingesetzt und stellt über entsprechende Modulationsverfahren und Codierungen Bandbreiten zur Verfügung, die für interaktive Videodienste genutzt werden können. Basis für alle xDSL-Verfahren sind die verdrehten Telefonkabel im Anschlußbereich. Die verschiedenen xDSL-Verfahren sind anwendungsspezifisch geprägt und eignen sich wie beispielsweise ADSL für Verteildienste und interaktive Videodienste. xDSL-Verfahren wie das VDSL können für hochauflösendes HDTV verwendet werden und bieten Übertragungsgeschwindigkeiten von bis zu 52 Mb/s. Neben den genannten Verfahren gibt es noch DSL, IDSL, RADSL, SDSL, HDSL und CDSL, die alle anwendungsspezifische Merkmale aufweisen (vgl. [GLE99, 1999]).

Im Folgenden wird erörtert, inwieweit aufgrund dieser neuen Übertragungstechniken für den Accessbereich mit einer Zunahme der Verkehrslast im G-WiN zu rechnen ist.

xDSL für Einzelzugänge:

Die Nutzung des B-WiN durch Studenten und Wissenschaftler¹⁰ von deren privaten Rechnern zu Hause aus (z.B. Abends und am Wochenende) erfolgt derzeit durch Anbindung über den WiNShuttle-Dienst des DFN oder über Einwahlserver in den jeweiligen Wissenschaftseinrichtungen und Hochschulen. Als Zugangstechnik werden Modems und ISDN-Anschlüsse mit Übertragungsraten zwischen 56 kb/s und 128 kb/s verwendet. Abbildung 4.3 zeigt am Beispiel des Einwahlservers des LRZ in München, wie sich die Nutzung solcher B-WiN Zugänge zeitlich über den Tag verteilt:

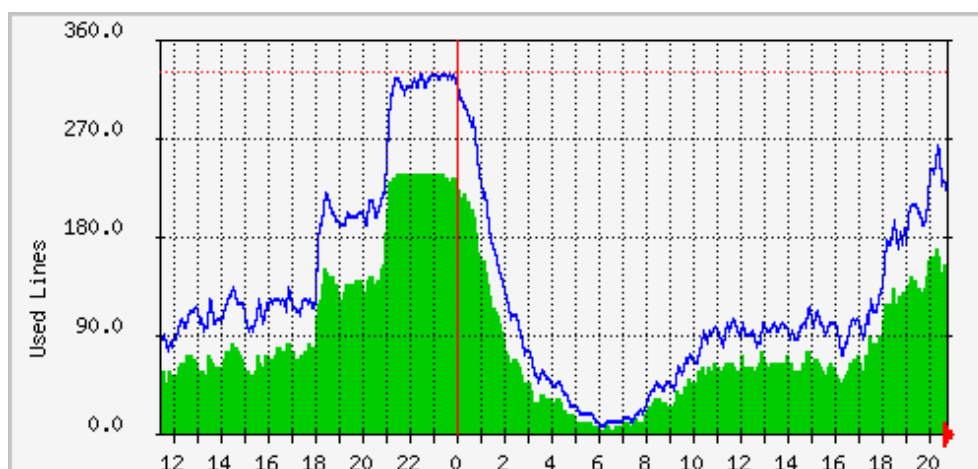


Abbildung 4.3: Verteilung der Nutzung des Einwahlservers am Leibniz Rechenzentrum in München vom 4.2.1999 11:00 Uhr bis 5.2.1999 21:00 Uhr [LRZ99, 1999]. Der obere Graph gibt die Nutzung aller Leitungen (ISDN + Modem) wieder, der untere (ausgefüllte) Graph nur die der Modemzugänge.

Aus der Abbildung kann man leicht erkennen, daß die Hauptnutzung der Einwahlzugänge abends und nachts in der Zeit zwischen 18:00 Uhr und 02:00 erfolgt, wobei vor allem aufgrund der günstigeren Telefongebühren ab 21:00 eine Zunahme der Verbindungen zu

¹⁰Die Zahl der Wissenschaftler und Studenten in Deutschland wird auf etwa 10^6 geschätzt.

beobachten ist. Somit spielt die durch Einwahlzugänge verursachte Verkehrslast derzeit während der HVS des B-WiN (vgl. Abschnitt 2.4.1) keine Rolle.

Die Verfügbarkeit von xDSL Zugängen mit evtl. anders gestalteter Tarifpolitik könnte jedoch zu einer Verlagerung dieses Nutzungsprofils in die Tagesstunden führen. Allerdings wäre in dieser Situation auch zu bedenken, daß die Nutzung solcher Einwahlzugänge gewöhnlich bereits eine Rechenerlaubnis z.B. an einer Hochschule voraussetzt und somit bei Verwendung von xDSL keine zusätzlichen (neuen) Nutzer auftreten. Anstatt z.B. bei einer Literaturrecherche Netzlast von einem Hochschulrechner aus zu erzeugen würde die entsprechende Netzlast bei einem zu Hause arbeitenden Studenten eben von seinem Privatrechner aus verursacht.

Aufgrund dieser Betrachtungen wurde entschieden, daß die durch Benutzung von Einzelzugängen auf Basis von xDSL verursachte Verkehrslast in der Lastprognose nicht weiter berücksichtigt wird¹¹.

xDSL für Gemeinschaftszugänge:

Zusätzlich zu den im letzten Abschnitt besprochenen Einzelzugängen ist die xDSL Technik vor allem interessant im Hinblick auf die Realisierung von Gemeinschaftszugängen mit Transferraten von wenigen Mb/s. Bezüglich des G-WiN kommt dabei der Anbindung von Schulen eine große Bedeutung zu. In diesem Zusammenhang sind die jüngsten Verlautbarungen der Telekom AG zu xDSL von Interesse:

Geschäftskunden sollen bereits ab April 1999 über „T-Interconnect“ angeschlossen werden, allerdings zunächst nur in den Großstädten Berlin, Bonn, Dortmund, Düsseldorf, Frankfurt am Main, Hamburg, Hannover, Köln, München und Stuttgart. Bis zum Jahresende will die Telekom 43 Ortsnetze mit den Breitbandanschlüssen ausrüsten. T-Interconnect wird in vier Bandbreitenkombinationen angeboten, die in Downstream zwischen 1,5 Mb/s und 6 Mb/s und im Upstream zwischen 160 Kb/s und 576 Kb/s erreichen; abgerechnet wird nach der durchschnittlich genutzten Bandbreite [HEISE99, 1999].

Somit ist abzusehen, daß bereits in der Anfangsphase des G-WiN eine Anschlußmöglichkeit für Schulen über xDSL gegeben sein wird. Für die Prognose wird von 200 Schulen ausgegangen, welche über xDSL Zugang zum G-WiN erhalten und durchschnittlich einen Bandbreitenbedarf von je 1 Mb/s aufweisen. Damit ergibt sich insgesamt ein Durchsatz D_{xDSL} von:

$$D_{xDSL} = 200 * 1 \text{ Mb/s} = 200 \text{ Mb/s} \quad (4.15)$$

¹¹In diesem Zusammenhang ist anzumerken, daß die durch die derzeitigen Techniken (Modem/ISDN) erzeugte Last bereits in der Prognose der traditionellen Verkehrslast (vgl. Abschnitt 4.1) berücksichtigt ist.

4.3 Gesamtprognose und Lastmodell

In diesem Abschnitt werden die Teilprognosen für die traditionelle und innovative Verkehrslast aus den Abschnitten 4.1 und 4.2 zu einer Gesamtprognose bzw. einem Lastmodell für das GWiN zusammengefaßt. Tabelle 4.5 zeigt dazu nochmals die Daten aus beiden Teilprognosen im Überblick:

Anwendung	Einzeldurchsatz [Mb/s]	Fallzahl	Teillast [Mb/s]
Trad. IP Datenverkehr	–	–	2277
Telefonie	0.064	2000	128.0
Videotelefonie	0.128	200	25.6
Videokonferenz	6 / 30	15 / 5	240
Whiteboard	1 / 2 / 5	10 / 7 / 3	39
Virtual Reality	20	5	100
Rechnerkopplung	50	5	250
LAN-to-LAN Kopplung	5	10	50
Entf. Rechenproz.	1/2/4	20/20/10	100
Entf. allg. Proz.	0.064/0.128/0.512	20/20/10	9
Datenvisualisierung	0.128/0.512/100	20/20/3	313
Mediaserver	0.256/1/4	60/30/10	85
xDSL	1	200	200
Summe			3817.6

Tabelle 4.5: Überblick der Gesamtprognose bzw. des Lastmodells für das G-WiN bezüglich März 2000.

Für die traditionelle, durch den IP Datenverkehr verursachte Last wird aus Kapitel 4.1 die Prognose P4 verwendet. Diese lieferte bezüglich des im März 2000 zu erwartenden HVS Durchsatzes einen Wert von 2 277 Mb/s. Für die innovative Last wird die Summe der Teillasten aller in Abschnitt 4.2 betrachteten Anwendungen bzw. Anwendungsklassen gebildet, welche einen HVS Durchsatz von 1 539.6 Mb/s ergibt. Insgesamt beträgt der bei Einführung des G-WiN im Frühjahr 2000 zu erwartende HVS Durchsatz D_{GWiN} somit:

$$D_{GWiN} = 2277 \text{ Mb/s} + 1539.6 \text{ Mb/s} = 3816.6 \text{ Mb/s} \quad (4.16)$$

Als mittlerer Tagesdurchsatz D_{TGWiN} folgt daraus nach Gleichung 3.4 ein Wert von:

$$D_{TGWiN} = \frac{3816.6 \text{ Mb/s}}{0.10 * 24} = 1590.25 \text{ Mb/s} \quad (4.17)$$

Nach Umformung der Gleichung 4.3 ergibt sich damit für März 2000 ein Gesamttransportvolumen V_{GWiN} von:

$$V_{GWiN} = 1590.25 \text{ Mb/s} * \frac{30 * 24 * 3600 \text{ s} * 1.04}{1024 * 8} = 523291.64 \text{ GByte} \quad (4.18)$$

Im Vergleich dazu lag das im Februar 1999 vom B-WiN transportierte Volumen bei 100320.4 GByte. Für das G-WiN wird also nach obigen Prognosen erwartet, daß es bereits in 1 Jahr pro Monat ein um den Faktor 5.2 höheres Lastvolumen zu bewältigen haben wird als das heutige B-WiN. Bei dieser Last handelt es sich um reine Anwendungslast. Dies bedeutet, daß eventuell durch den Einsatz spezifischer Netzprotokolle bzw. deren Overhead im G-WiN entstehende Last darin noch nicht berücksichtigt ist.

Ein weiterer interessanter Aspekt bei Betrachtung obiger Prognose ist das Verhältnis zwischen traditioneller und innovativer Last bezogen auf den Durchsatz in der HVS. Der Anteil δ_{TL} an traditioneller Last ergibt sich zu:

$$\delta_{TL} = \frac{2277 \text{ Mb/s}}{3817.6 \text{ Mb/s}} * 100 \% = 59.6 \% \quad (4.19)$$

Daraus folgt für die innovative Last ein Anteil δ_{IL} von 40.4 %. Diese Anteile entsprechen somit beinahe exakt dem in Abschnitt 3.3 nach Bewertung der Studien [JESSEN, 1994] und [JESSEN, 1995] angestrebten 60/40 Verhältnis.

Als Abschluß der Lastprognose soll hier noch kurz ein Vergleich der gefundenen Ergebnisse mit einer im November 1998 von Prof. E. Jessen für September 2000 aufgestellten Prognose der G-WiN Last durchgeführt werden. Die erwähnte Prognose ist dazu in Tabelle 4.6 dargestellt. Diese Prognose erwartet für den Durchsatz in der HVS einen um 768 Mb/s höheren Wert von insgesamt 4585 Mb/s. Dies ist zum Einen auf den mit September 2000 im Vergleich zu März 2000 um 6 Monate späteren Prognosezeitraum zurückzuführen. Ein weiterer Grund ist der in dieser Prognose für die Abwicklung asynchroner Massendatentransporte veranschlagte Durchsatz von 200 Mb/s (vgl. Tabelle 4.6). Da solche Transporte bereits im B-WiN stattfinden und diese nicht für die HVS relevant sind, wurden sie in der aktuellen Prognose nicht explizit berücksichtigt, sondern sind implizit in der Teilprognose für die traditionelle Last enthalten. Berücksichtigt man beide Punkte, so liegen die Ergebnisse der Prognosen relativ dicht beieinander.

Typ		Bezeichnung, Beispiel	Fallzahl	Durchsatz je Fall [Mb/s]	Produkt [Mb/s]	Kommentar
Realzeit	entfernt	Fernsteuerung von Rechenprozessen	50	2	100	
		Zugang zu Mediaservern	10	4	40	B-WiN(94): 120 Mb/s
		Zugang zu Daten	80	0,5	40	
		Signalverarbeitung	3	100	300	
		Meßwertverarbeitung	20	0,1	2	
	verteilt	Fernsteuerung/ Visualisierung anderer Prozesse	50	0,1	5	
		Verteiltes Rechnen (Metacomputing)	5	50	250	„Alle 10 s 50 MB“
		Interpersonelle Kommunikation	2.000	0.064	128	B-WiN(94): 152 Mb/s
		Interpersonelle Kommunikation (CSCW)	200	1	200	B-WiN(94): 236 Mb/s
		Interpersonelle Kommunikation (CSCW)	200	0,1	20	
nicht Realzeit	Asynchrone Massendatentransporte		5	20	100	Nicht signifikant in Hauptverkehrsstunde (HVS)
	Neue Zugangstechniken (xDSL, z.B. Schulen)		10	20	200	
	Konventionelle Last extrapoliert (September 98: 600 Mb/s)	200	1	200	200	
Summe					4.585	B-WiN(94): (ATM, mit Fernsprechen: 576 Mb/s (HVS))

Tabelle 4.6: Lastprognose für das G-WiN für September 2000 (E. Jessen, 11.10.98). Annahmen: 10^6 Wissenschaftler und Studenten; 10 große/200 mittlere/400 kleinere Anwendungseinrichtungen; Alle Daten in der Hauptverkehrsstunde (HVS), ohne Protokollaufschläge! Bei B-WiN mit IP/ATM/SDH.

Kapitel 5

Leistungsmodelle

In den vorangegangenen Abschnitten dieser Untersuchung wurde, ausgehend von der im B-WiN während der Jahre 1997 und 1998 beobachteten Netzlast, eine Prognose des für März 2000 zu erwartenden Lastaufkommens erstellt. Ziel des vorliegenden Kapitels ist es nun basierend auf dieser Lastprognose abzuschätzen, wie das neu entstehende G-WiN bezüglich seiner Leistungsfähigkeit zu dimensionieren ist, um die prognostizierte Last bewältigen zu können. Zu diesem Zweck wird anhand des in Kapitel 2 entwickelten und implementierten B-WiN Modells analysiert, welche Transportkapazität durch eine drastische Erhöhung der derzeit im B-WiN verwendeten Leitungskapazitäten von unter 100 Mb/s auf Werte von 622 Mb/s bzw. 2488 Mb/s unter Beibehaltung der aktuellen B-WiN Topologie zur Verfügung gestellt werden könnte. Insbesondere wird dabei auch untersucht, wie sich eine signifikante Erhöhung des Auslandsverkehrs auf die Lastsituation und die Leistungsfähigkeit des Netzwerkes auswirkt. Aus den gewonnenen Erkenntnissen wird schließlich ein Dimensionierungsvorschlag für das entstehende Gigabit Wissenschaftsnetz abgeleitet.

5.1 Aktualisierung des B-WiN Modells

Bevor das in Kapitel 2 entwickelte B-WiN Modell für die Leistungsbetrachtungen in diesem Kapitel verwendet werden kann, sind an dem Modell einige Aktualisierungen durchzuführen. Der Grund für diese Aktualisierungen liegt darin, daß im März 1999 die topologische Struktur des B-WiN in großen Teilen geändert wurde, um den Durchsatz des Netzes zu optimieren. Bei dieser Leistungsoptimierung wurde als einer der größten Eingriffe in die B-WiN Struktur der Aufpunkt für die USA Anbindung von *Frankfurt* nach *Hannover* verlagert. Die nach Durchführung der Änderungen resultierende aktuelle Topologie des B-WiN ist in Abbildung 5.1 dargestellt.

Durch die Optimierungsmaßnahmen im Frühjahr 1999 hat sich für das B-WiN im Vergleich zu den Jahren 1997 und 1998 eine veränderte Routingstrategie ergeben. Anders als in Abschnitt 2.2.2 beschrieben wird nun beispielsweise Verkehr, welcher den neuen USA Aufpunkt *Hannover* nicht zum direkten Ziel hat, nicht mehr an Hannover vorbei geroutet, sondern der Knoten *Hannover* ist ebenfalls als Transitknoten erlaubt. Insgesamt werden mit dem neuen Routing Verbindungen konsequent auf dem kürzesten Weg zwischen zwei Knotenstandorten realisiert.

Um also mit dem im ersten Projektteil entwickelten B-WiN Modell Leistungsberechnungen auf aktuellen, ab März 1999 gemessenen Standort-Standort Verkehrsmatrizen des

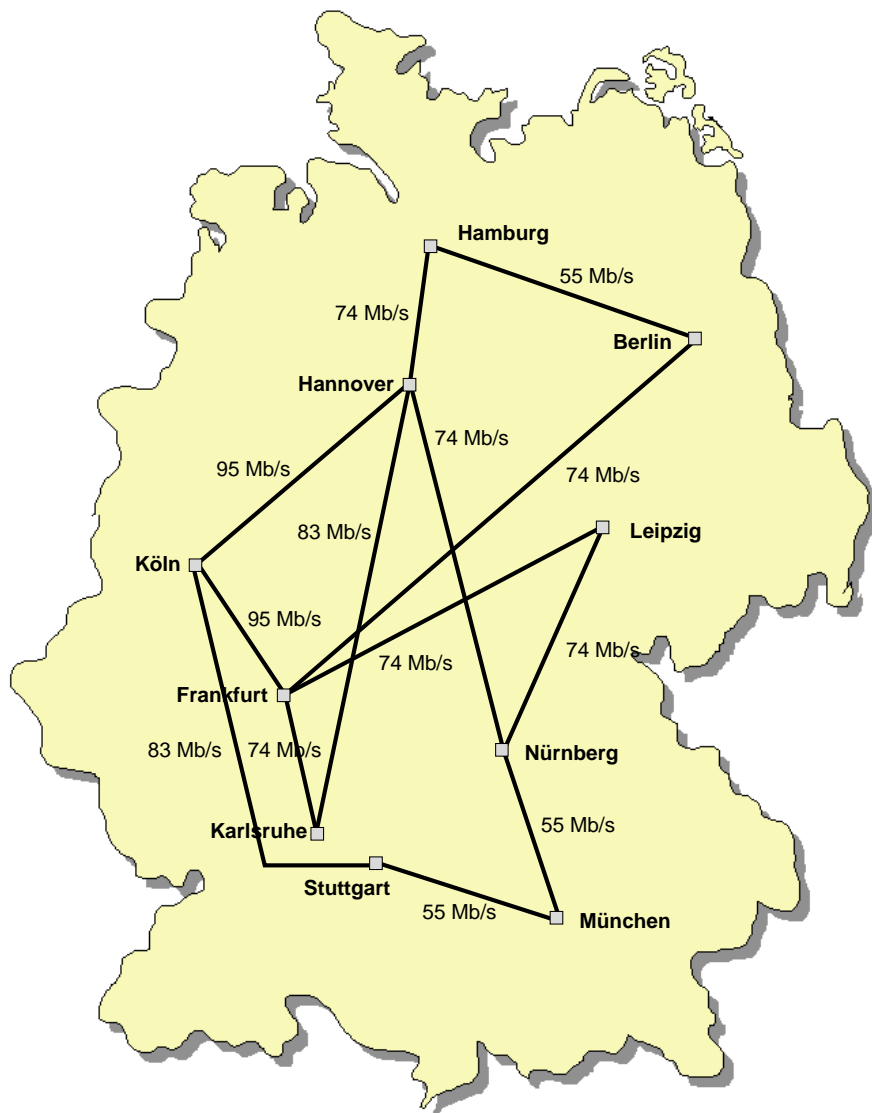


Abbildung 5.1: Graphische Übersicht der topologischen Struktur des B-WiN sowie der Leitungskapazitäten der Netzsegmente (Stand: Juni 1999).

Verbindung	OSPF Kosten
ZR-Hamburg ↔ ZR-Hannover	400
ZR-Hamburg ↔ ZR-Berlin	400
ZR-Hannover ↔ ZR-Köln	400
ZR-Hannover ↔ ZR-Karlsruhe	400
ZR-Hannover ↔ ZR-Nürnberg	600
ZR-Köln ↔ ZR-Frankfurt	425
ZR-Köln ↔ ZR-Stuttgart	400
ZR-Frankfurt ↔ ZR-Leipzig	500
ZR-Frankfurt ↔ ZR-Karlsruhe	400
ZR-Frankfurt ↔ ZR-Berlin	450
ZR-Stuttgart ↔ ZR-München	400
ZR-München ↔ ZR-Nürnberg	400
ZR-Nürnberg ↔ ZR-Leipzig	400

Tabelle 5.1: Zur Steuerung des OSPF Routings verwendete Kosten für Verbindungen zwischen den Zentralen Routern (ZR) der B-WiN Knotenstandorte (Stand: Juli 1999). Die Kosten sind für beide Verbindungsrichtungen eines Standortpaares jeweils symmetrisch.

B-WiN Labors in Erlangen durchführen zu können mußte zunächst das neue Routing bestimmt und anschließend in das Modell integriert werden. Zur Bestimmung des Routings war es nötig für jeden der 10 Knotenstandorte die kürzesten Wege zu jedem der anderen 9 Knotenstandorte zu berechnen, wobei die Wahl zwischen zwei gleichwertigen Wegen durch Vorgabe von Kosten für die Verbindungsleitungen zwischen benachbarten Knotenstandorten geregelt wird. Diese vorgegebenen Kosten sind für alle 10 Knotenstandorte des B-WiN in Tabelle 5.1 entsprechend dem Stand von Juli 1999 aufgelistet. Zusammen mit der gegebenen B-WiN Topologie aus Abbildung 5.1 und den Leitungskosten wurde die Berechnung der kürzesten Wege im B-WiN mit Hilfe von Dijkstra's *shortest path* Algorithmus bewältigt, welcher auch dem im B-WiN verwendeten dynamischen Routing Protokoll OSPF (Open Shortest Path First) zugrunde liegt.

In den Abbildungen 5.2 und 5.3 sind die Ergebnisgraphen des *shortest path* Algorithmus für alle 10 Knotenstandorte des B-WiN dargestellt. Zur leichteren Orientierung wurden die Knoten und Kanten der abgebildeten Graphen so angeordnet, daß sie der aus Abbildung 5.1 bekannten aktuellen Topologie des B-WiN ähneln. In jedem Graphen ist ein Knoten vorhanden, welcher etwas dunkler als die restlichen Knoten gefärbt ist. Dieser Ausgangsknoten kennzeichnet jeweils den B-WiN Standort, für welchen die kürzesten Pfade zu allen anderen Zielknoten im Graphen bestimmt werden. An den (gerichteten) Kanten zwischen den Knoten sind jeweils die Verbindungskosten aus Tabelle 5.1 angetragen.

Nach Ablauf des Algorithmus ist in jedem Knoten vermerkt, welche Kosten insgesamt auf dem kürzesten Pfad vom Ausgangsknoten bis zu diesem Knoten anfallen. Weiterhin wurden alle diejenigen Kanten im Graphen, welche Teil eines kürzesten Pfades zwischen zwei Knoten sind, im Vergleich zu den restlichen Kanten aufgehellt. Somit läßt sich der kürzeste Pfad zwischen dem Ausgangsknoten und einem bestimmten Zielknoten einfach dadurch aus dem Graphen ablesen, daß man ausgehend vom dunkler gefärbten Ausgangs-

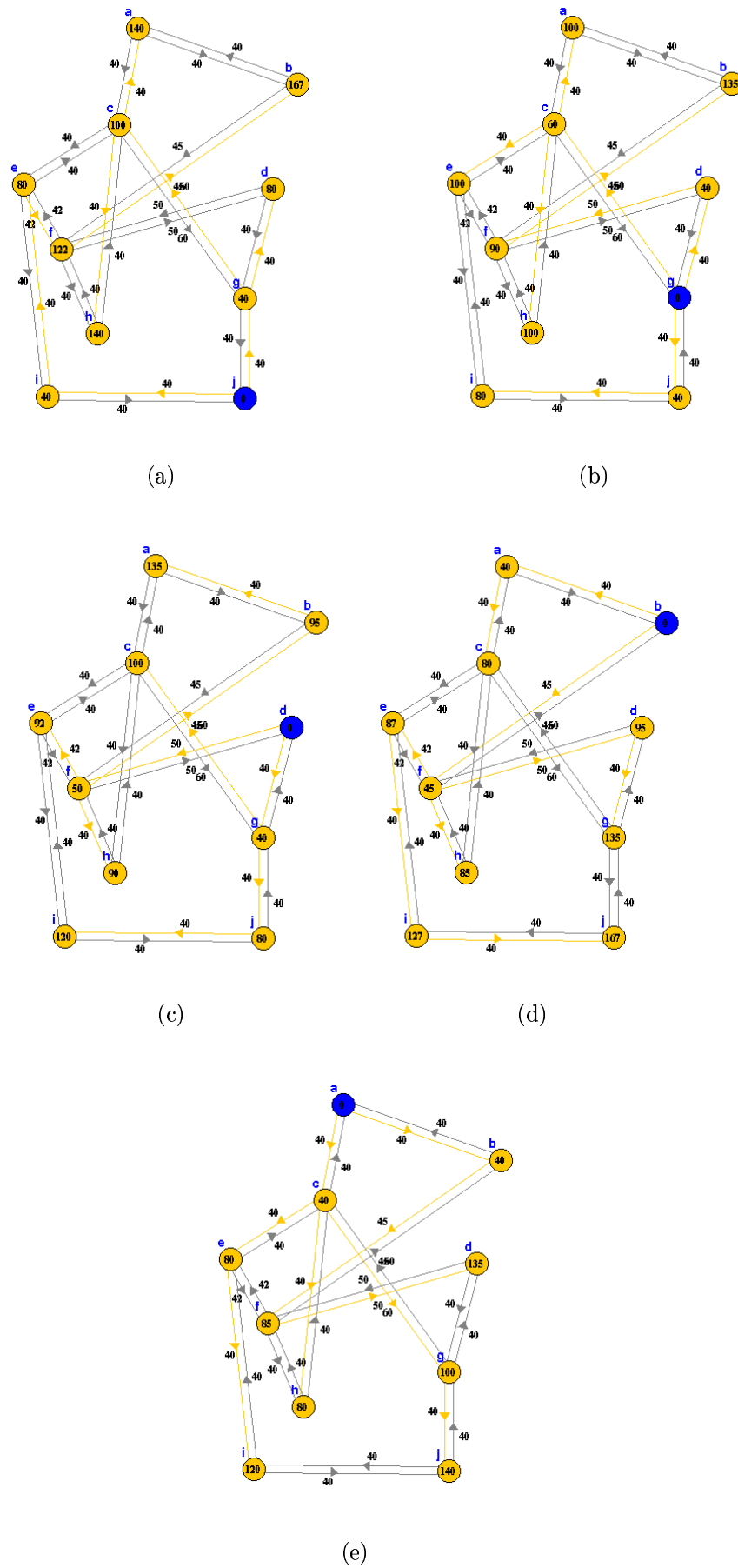


Abbildung 5.2: Berechnung des OSPF Routings für die Knoten München (a), Nürnberg (b), Leipzig (c), Berlin (d) und Hamburg (e).

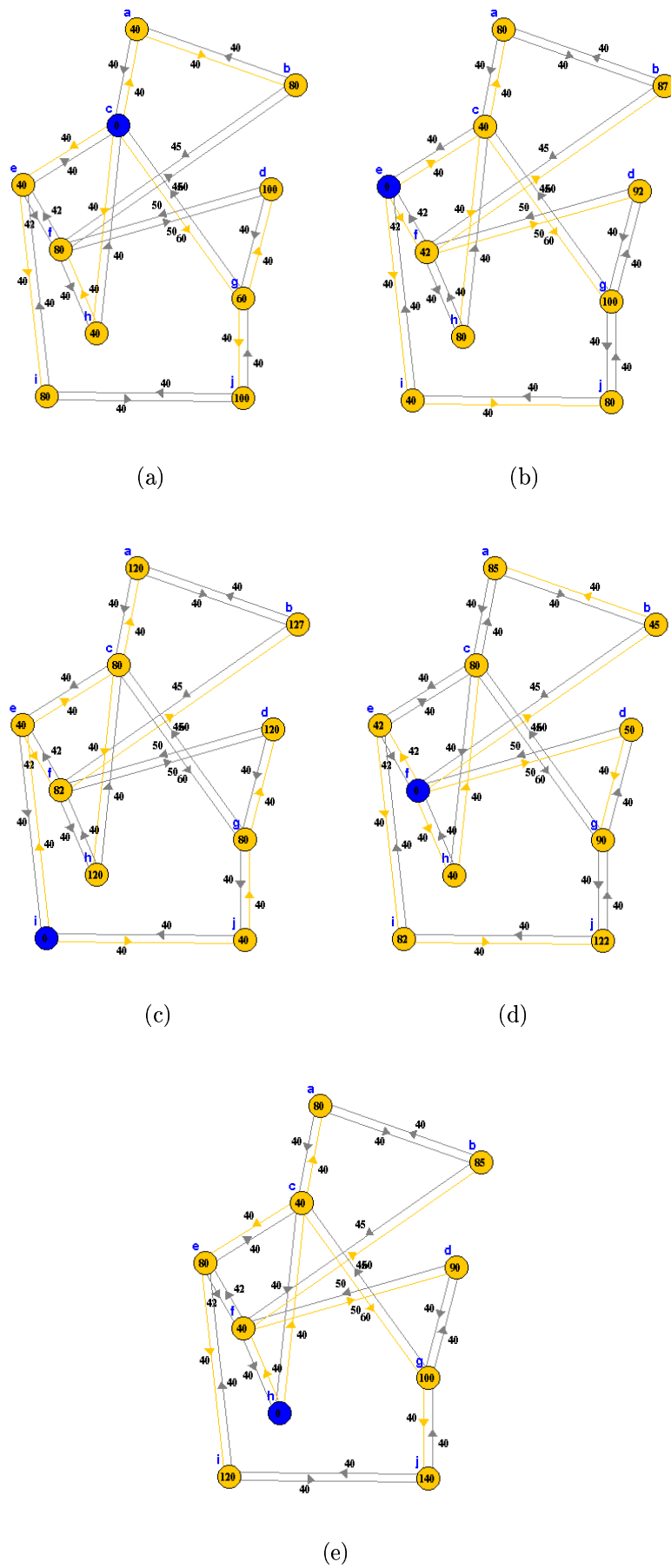


Abbildung 5.3: Berechnung des OSPF Routings für die Knoten *Hannover* (a), *Köln* (b), *Stuttgart* (c), *Frankfurt* (d) und *Karlsruhe* (e).

	(1) Berlin	(2) Frankfurt	(3) Hamburg	(4) Hannover	(5) ipgate	(6) Karlsruhe	(7) Köln	(8) Leipzig	(9) München	(10) Nürnberg	(11) Stuttgart	(12) TEN34
(1) Berlin	1,1	1,2	1,3	1,3,4	1,3,4	1,2,6	1,2,7	1,2,8	1,2,7,11,9	1,2,8,10	1,2,7,11	1,2
(2) Frankfurt	2,1	2,2	2,1,3	2,6,4	2,6,4	2,6	2,7	2,8	2,7,11,9	2,8,10	2,7,11	2,2
(3) Hamburg	3,1	3,1,2	3,3	3,4	3,4	3,4,6	3,4,7	3,1,2,8	3,4,10,9	3,4,10	3,4,7,11	3,1,2
(4) Hannover	4,3,1	4,6,2	4,3	4,4	4,4	4,6	4,7	4,10,8	4,10,9	4,10	4,7,11	4,6,2
(5) ipgate	4,3,1	4,6,2	4,3	4,4	4,4	4,6	4,7	4,10,8	4,10,9	4,10	4,7,11	4,6,2
(6) Karlsruhe	6,2,1	6,2	6,4,3	6,4	6,4	6,6	6,4,7	6,2,8	6,4,10,9	6,4,10	6,4,7,11	6,2
(7) Köln	7,2,1	7,2	7,4,3	7,4	7,4	7,4,6	7,7	7,2,8	7,11,9	7,4,10	7,11	7,2
(8) Leipzig	8,2,1	8,2	8,2,1,3	8,10,4	8,10,4	8,2,6	8,2,7	8,8	8,10,9	8,10	8,10,9,11	8,2
(9) München	9,11,7,2,1	9,11,7,2	9,10,4,3	9,10,4	9,10,4	9,10,4,6	9,11,7	9,10,8	9,9	9,10	9,11	9,11,7,2
(10) Nürnberg	10,8,2,1	10,8,2	10,4,3	10,4	10,4	10,4,6	10,4,7	10,8	10,9	10,10	10,9,11	10,8,2
(11) Stuttgart	11,7,2,1	11,7,2	11,7,4,3	11,7,4	11,7,4	11,7,4,6	11,7	11,9,10,8	11,9	11,9,10	11,11	11,7,2
(12) TEN34	2,1	2,2	2,1,1,3	2,6,4	2,6,4	2,6	2,7	2,8	2,7,11,9	2,8,10	2,7,11	2,2

Tabelle 5.2: Routingtabelle für das B-WiN (Stand: Juni 1999). Die Aufpunkte für die USA (IPgate) bzw. TEN (TEN34) Anbindung fallen mit den Standorten *Hannover* bzw. *Frankfurt* zusammen und besitzen jeweils dieselben Routingeinträge. Es existieren somit anstatt 12 nur 10 reale B-WiN Standorte.

	Berlin	Frankfurt	Hamburg	Hannover	IPgate	Karlsruhe	Köln	Leipzig	München	Nürnberg	Stuttgart	TEN34	Unknown	Summe
Berlin	5777,63	789,77	1269,27	2286,34	3120,89	512,27	1135,32	1184,92	961,36	282,97	451,16	3742,39	1876,02	23390,33
Frankfurt	2538,46	6830,54	2807,89	3827,41	5637,80	3335,43	7250,58	3342,90	3079,05	3488,73	2109,06	5904,26	1960,10	52112,22
Hamburg	799,39	529,58	2984,08	1398,72	3723,95	686,12	1021,11	487,11	561,38	225,07	344,57	3713,08	2243,15	18717,32
Hannover	1548,62	1144,94	1871,57	4194,20	3860,34	1209,97	3332,08	1663,40	1691,84	807,35	1149,47	4073,46	3086,03	29633,27
IPgate	819,42	8536,82	9249,84	10494,85	4609,08	9450,51	22504,75	10851,64	8897,61	7340,85	8840,50	721,61	5086,34	110635,83
Köln	1031,03	1232,19	673,82	1101,94	4406,97	1269,12	1294,04	1015,34	597,14	400,70	414,65	3636,40	1569,97	17933,84
Leipzig	982,90	1289,75	927,04	1927,47	5900,79	1321,58	2097,44	7281,25	786,15	708,49	1278,13	9539,03	4567,92	46267,14
München	2676,32	976,86	1269,34	1761,24	3645,34	925,90	1897,30	1081,99	2895,47	1472,57	1479,40	2861,53	2039,54	24978,82
Nürnberg	226,66	1264,29	314,28	592,88	1881,38	401,07	862,80	869,25	617,2,10	7203,81	1568,35	1843,51	5846,66	29047,03
Stuttgart	573,72	1043,89	834,36	1027,29	3002,56	640,25	1690,63	812,25	2888,72	789,70	816,18	3791,35	2422,47	20333,38
TEN34	4851,01	5440,15	6452,62	4420,40	240,16	7194,95	12141,80	8461,12	4123,17	2797,52	5992,07	282,44	3110,32	65509,74
Unknown	5703,96	5667,87	3033,30	3703,39	143,33	2685,37	11549,91	5367,81	2678,39	3438,41	4167,76	3232,27	3232,27	51444,73
Summe	35324,71	36339,48	33454,46	40315,08	44710,83	30991,21	75493,79	44174,12	36730,22	29482,81	29568,20	46418,21	40088,66	523291,79

Tabelle 5.3: Für März 2000 extrapolierte Standort-Standort Verkehrsmatrix basierend auf der Standort-Standort Verkehrsmatrix von Juni 1999 und der Lastprognose aus Kapitel 4. Alle Durchsätze absolut in GBytes.

	Berlin	Frankfurt	Hamburg	Hannover	Karlsruhe	Koeln	Leipzig	Muenchen	Nuernberg	Stuttgart	Summe
Berlin	8753,28	6017,83	1784,26	7249,10	717,20	1704,09	1719,54	1327,60	408,54	668,40	30349,84
Frankfurt	10838,23	25487,63	12575,14	18457,28	14237,74	28163,05	16568,51	9593,04	8755,32	11618,97	156294,92
Hamburg	1257,17	5832,70	4366,80	7074,87	1000,14	1591,51	734,96	807,60	337,92	530,34	23534,00
Hannover	14433,29	20519,61	15273,07	26030,70	14532,56	37861,08	17720,27	14272,97	11454,66	14433,57	186531,77
Karlsruhe	646,10	6445,72	954,14	7301,34	1789,86	1955,57	1483,88	830,77	582,64	618,57	22608,59
Koeln	1589,16	15152,10	2530,48	16857,50	1937,91	13311,85	2593,18	1964,02	1041,83	1927,17	58904,91
Leipzig	1504,85	10108,99	1318,01	10461,60	1871,41	3181,77	10682,96	1098,23	768,77	1438,97	42435,56
Muenchen	4060,10	5170,79	1786,92	7198,96	1298,16	2851,62	1372,35	4004,38	2129,02	2188,78	32261,07
Nuernberg	387,36	4885,26	502,76	3745,06	639,31	1462,41	1430,06	9720,71	11798,02	2627,74	37198,71
Stuttgart	901,65	6737,14	1220,08	5552,90	932,39	2633,21	1224,66	4152,60	1184,81	1255,33	25794,98
Summe	44371,19	106337,77	42311,67	109929,33	38956,89	94716,16	55730,36	47771,91	38461,22	37307,84	615914,34

Tabelle 5.4: Für März 2000 extrapolierte modifizierte Verkehrsmatrix basierend auf der Verkehrsmatrix von Juni 1999 und der Lastprognose aus Kapitel 4. Alle Durchsätze absolut in GBytes.

knoten den aufgehellten Kanten bis zum gewünschten Zielknoten folgt. Führt man dies für jeweils alle 10 Knoten aller 10 Graphen aus den Abbildungen 5.2 und 5.3 durch, so erhält man 100 Pfade, welche den statischen Anteil des Routings im B-WiN beschreiben.

In Tabelle 5.2 sind diese 100 Pfade in Form einer Routingtabelle zusammengefaßt. Bei Betrachtung dieser Routingtabelle fällt auf, daß zusätzlich zu den erwähnten 10 Knotenstandorten Zeilen- und Spalteneinträge für zwei weitere Knoten existieren. Bei diesen Knoten handelt es sich um die Aufpunkte für die USA sowie die TEN Anbindung des B-WiN. Da sich diese Aufpunkte physisch in *Hannover* bzw. *Frankfurt* befinden, besitzen sie auch dieselben Routingeinträge wie die Standorte *Hannover* und *Frankfurt*. In der Tabelle sind die Knotenstandorte entsprechend ihrer Zeilen-/Spaltenposition von 1 bis 12 durchnummeriert. Die Routingeinträge in der Tabelle bestehen folglich nur noch jeweils aus einer Liste der Nummern aller Knoten, welche auf dem Weg vom jeweiligen Startknoten zum jeweiligen Zielknoten durchlaufen werden müssen. Start- und Zielknoten bilden dabei jeweils den Anfang und das Ende einer Liste. Es wird angenommen, daß das oben bestimmte Routing im B-WiN auch noch im März 2000 in dieser Form verwendet wird.

Für die nachfolgenden Untersuchungen ist zusätzlich zur Routingtabelle auch noch eine Standort-Standort-Verkehrsmatrix für März 2000 nötig. Eine entsprechende Verkehrsmatrix wurde ausgehend von der in der gemessenen Verkehrsmatrix für Juni 1999 vorliegenden Lastverteilung und dem in der Lastprognose aus Kapitel 4 für März 2000 prognostizierten monatlichen Gesamttransportvolumen von $V_{GWiN} = 523\,292$ GByte (vgl. Gleichung 4.18) extrapoliert. Das Ergebnis dieser Extrapolation ist in Tabelle 5.3 zu sehen. Die Verkehrsmatrix von Juni 1999 wurde als Basis gewählt um ein möglichst aktuelles Verkehrsbild des B-WiN einfließen zu lassen. Noch aktuellere Daten, welche für die Monate Juli 1999 und August 1999 verfügbar gewesen wären, wurden nicht verwendet, da diese Ferienmonate saisonal bedingt untypisch niedrigere Transportvolumina aufweisen und weiterhin eine im Juli 1999 vorgenommene Umstellung des vom B-WiN Labor verwendeten Meßverfahrens zu bisher ungeklärten Unstimmigkeiten in diesen Verkehrsmatrizen führte. Für die eigentlichen Berechnungen wird schließlich die in Tabelle 5.4 dargestellte modifizierte Verkehrsmatrix verwendet, in welcher der durch ATM verursachte Overhead berücksichtigt und die Knotenanzahl durch zusammenfassen der Auslandsanbindungen in den Knoten *Frankfurt* (TEN) bzw. *Hannover* (USA) reduziert wurde. Wie aus dieser Tabelle zu entnehmen ist, steigt durch die Berücksichtigung des ATM Overheads das zu bewältigende Gesamttransportvolumen V_{GWiN} auf 615 914 GByte an.

5.2 Leistungsbetrachtung bei 622 Mb/s bzw. 2.4 Gb/s

In diesem Abschnitt wird mit Hilfe des aktualisierten B-WiN Modells untersucht, inwieweit das für März 2000 prognostizierte Transportvolumen bei Beibehaltung der aktuellen B-WiN Topologie durch einen Ausbau der Leitungskapazitäten des B-WiN bewältigt werden könnte. Bei dieser Untersuchung werden 2 unterschiedliche Fälle betrachtet. Im ersten Fall wird die Kapazität aller Trunkleitungen zwischen den derzeit 10 B-WiN Standorten auf 622 Mb/s erhöht. Im zweiten Fall werden für alle Verbindungsstrecken Kapazitäten von 2 488 Mb/s verwendet. Die Leistungsabschätzung wird für beide Fälle durchgeführt, indem der zu erwartende Grenzdurchsatz des Netzes ermittelt wird. Bei allen Berechnun-

gen werden nationaler und internationaler Verkehrsanteil zusammen berücksichtigt. Eine getrennte Betrachtung dieser Anteile findet im Gegensatz zu den früheren Abschnitten 2.2 und 2.3 nicht statt.

Aus Abbildung 5.1 des vorhergehenden Abschnittes läßt sich entnehmen, daß die niedrigste derzeit (Stand: Juni 1999) im B-WiN verwendete Trunkleitungskapazität bei 55 Mb/s (z.B. auf den Strecken *München* ↔ *Nürnberg* oder *München* ↔ *Stuttgart*) und die höchste Trunkleitungskapazität bei 95 Mb/s (z.B. auf den Strecken *Köln* ↔ *Frankfurt* oder *Köln* ↔ *Hannover*) liegt. Eine Erhöhung der Leitungskapazitäten auf 622 Mb/s stellt somit bezogen auf einzelne Netzsegmente eine um den Faktor 6 bis 11 höhere Transportkapazität zur Verfügung. Bei der im zweiten Fall betrachteten Erhöhung auf 2 488 Mb/s liegen die Steigerungsfaktoren bereits zwischen 26 und 45. Da die Trunkleitungen aktuell im B-WiN nicht einheitlich dieselbe Kapazität aufweisen, werden sich für die Leistungssteigerung des Gesamtnetzes mittlere Faktoren ergeben, welche für die betrachteten Fälle zwischen den angegebenen Extremwerten von 6 und 11 bzw. 26 und 45 liegen.

Zur Berechnung des Grenzdurchsatzes sind die Durchsätze h_{ij} (vgl. Abschnitt 2.2.2) auf den Trunkleitungen bei gegebenem Lastvolumen nötig. Für das oben beschriebene Routing aus Tabelle 5.2 und die für März 2000 prognostizierte Verkehrsmatrix aus Tabelle 5.3 ergeben sich für diese Trunkleitungsdurchsätze die in den Tabellen 5.5 und 5.6 enthaltenen Werte. Die erste Tabelle zeigt dabei die absoluten Durchsätze in GBytes, während die zweite Tabelle die prozentualen Durchsätze bezogen auf den Gesamtdurchsatz aller Trunkleitungen enthält. Da für die Betrachtung der Fälle mit 622 Mb/s und 2 488 Mb/s dieselbe Verkehrsmatrix zugrunde gelegt wird, gelten diese Tabellen unverändert für beide Szenarien.

Zur besseren Übersicht und um einen Bezug zur Topologie des B-WiN herzustellen sind die prozentualen Trunkleitungsdurchsätze in Abbildung 5.4 nochmals graphisch dargestellt. Daraus und aus den vorangegangenen Tabellen läßt sich entnehmen, auf welchen Leitungen sich die höchsten Durchsätze ergeben. Diese sind mit 7.2 % und 7.0 % auf den Strecken *Hannover* → *Köln* bzw. *Frankfurt* → *Köln* zu finden. Vergleicht man die Verteilung der Durchsätze mit der in Abschnitt 2.2.2 betrachteten Situation so stellt man fest, daß sich die Last nach der Leistungsoptimierung des B-WiN im März 1999 gleichmäßiger auf die vorhandenen Netzsegmente verteilt. Weiterhin fällt auf, daß es durch die Aufteilung der Aufpunkte der USA und TEN Anbindung auf die Standorte *Hannover* und *Frankfurt* gelungen ist, die früher um den Raum Frankfurt vorhandene starke Verkehrskonzentration aufzulösen.

Nach Gleichung 2.10 aus Abschnitt 2.2.3 ergibt sich der Grenzdurchsatz des Netzes durch Berechnung des Grenzdurchsatzes bezüglich jeder Trunkleitung und anschließender Selektion des Minimums aller erhaltener Grenzdurchsätze. Es wird also ermittelt, bei welchem Gesamtdurchsatz welche Trunkleitung des Netzes als erste vor allen anderen überlastet und damit zum Engpaß im Netz wird. Führt man diese Berechnungen für die gegebene Verkehrsmatrix aus Tabelle 5.3 und Trunkleitungskapazitäten von 622 Mb/s bzw. 2 488 Mb/s durch, so erhält man die in den Tabellen 5.7 und 5.8 aufgeführten Werte. Es zeigt sich, daß in den angenommenen Konfigurationen eine Überlastung jeweils als erstes auf der Strecke *Hannover* → *Köln* auftritt. Im Falle von 622 Mb/s Trunkleitungen geschieht dies bei einem Grenzdurchsatz von 8 597 Mb/s, bei einer Trunkleitungskapazität von 2 488 Mb/s ergibt sich ein Grenzdurchsatz von 34 387 Mb/s.

	Berlin	Frankfurt	Hamburg	Hannover	Karlsruhe	Köln	Leipzig	München	Nürnberg	Stuttgart	Summe
Berlin	-	19130.85	22926.51	-	-	-	-	-	-	-	42057.37
Frankfurt	33820.61	-	-	-	35283.64	56256.92	32263.93	-	-	-	157625.09
Hamburg	22258.12	-	-	18591.47	-	-	-	-	-	-	40849.59
Hannover	-	-	36700.74	-	40860.28	58453.04	-	-	47048.35	-	183062.41
Karlsruhe	-	29095.32	-	30700.30	-	-	-	-	-	-	59795.61
Köln	-	36204.12	-	30073.00	-	-	-	-	-	42681.68	108958.79
Leipzig	-	23257.66	-	-	-	-	-	-	22931.43	-	46189.09
München	-	-	-	-	-	-	-	-	16394.88	18338.00	34732.88
Nürnberg	-	-	-	27095.19	-	-	27219.96	30796.99	-	-	85112.14
Stuttgart	-	-	-	-	-	30060.08	-	19446.73	-	-	49506.81
Summe	56078.72	107687.95	59627.26	106459.96	76143.92	144770.04	59483.89	50243.72	86374.65	61019.68	807889.79

Tabelle 5.5: Erwartete Durchsätze auf den Trunkleitungen für März 2000 unter Berücksichtigung von internationalem und nationalem Verkehr. Alle Durchsätze absolut in GBytes.

	Berlin	Frankfurt	Hamburg	Hannover	Karlsruhe	Köln	Leipzig	München	Nürnberg	Stuttgart	Summe
Berlin	-	2.37	2.84	-	-	-	-	-	-	-	5.21
Frankfurt	4.19	-	-	-	4.37	6.96	3.99	-	-	-	19.51
Hamburg	2.76	-	-	2.30	-	-	-	-	-	-	5.06
Hannover	-	-	4.54	-	5.06	7.24	-	-	5.82	-	22.66
Karlsruhe	-	3.60	-	3.80	-	-	-	-	-	-	7.40
Köln	-	4.48	-	3.72	-	-	-	-	-	5.28	13.49
Leipzig	-	2.88	-	-	-	-	-	-	2.84	-	5.72
München	-	-	-	-	-	-	-	-	2.03	2.27	4.30
Nürnberg	-	-	-	3.35	-	-	3.37	3.81	-	-	10.54
Stuttgart	-	-	-	-	-	3.72	2.41	-	-	-	6.13
Summe	6.94	13.33	7.38	13.18	9.43	17.92	7.36	6.22	10.69	7.55	100.00

Tabelle 5.6: Erwartete Durchsätze auf den Trunkleitungen für März 2000 unter Berücksichtigung von internationalem und nationalem Verkehr. Alle Durchsätze in % relativ zum Gesamtdurchsatz auf allen Trunkleitungen.

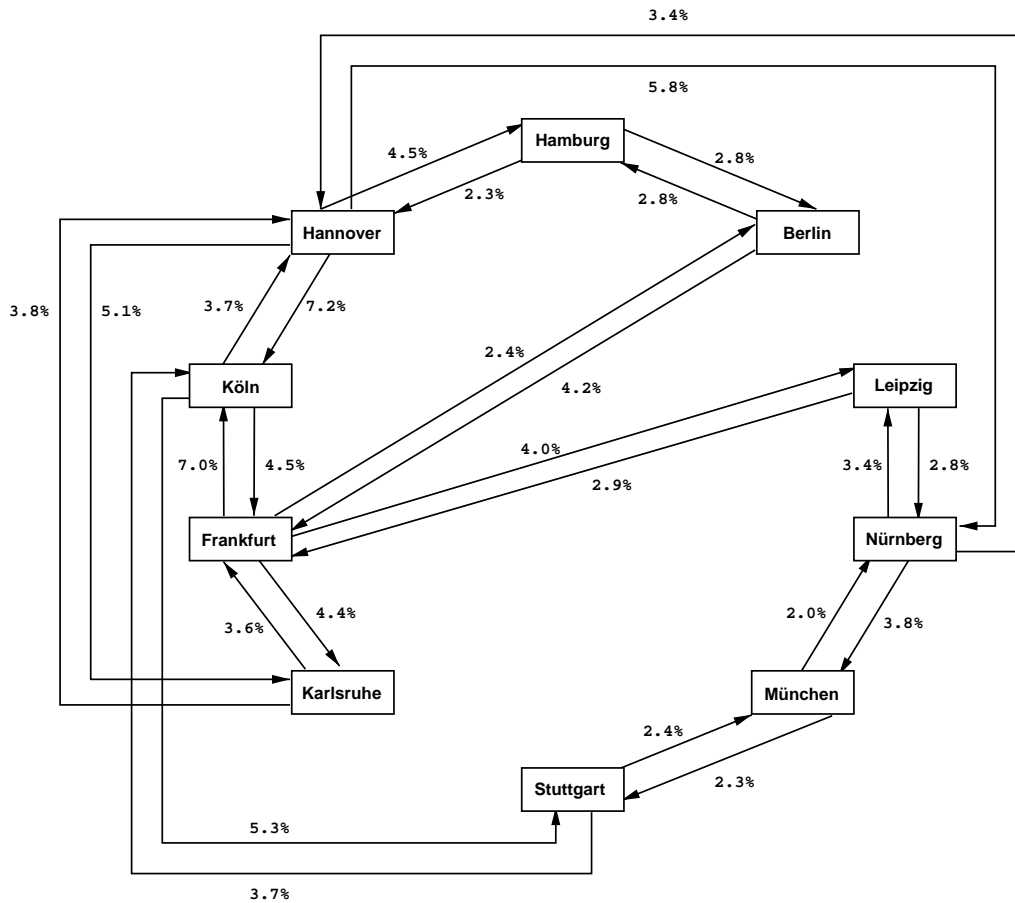


Abbildung 5.4: Graphische Übersicht der prozentualen Durchsätze auf den Trunkleitungen für März 2000 unter Berücksichtigung von internationalem und nationalem Verkehr.

Im Vergleich zu diesen Grenzdurchsätzen erreicht der im B-WiN derzeit gemessene maximale Durchsatz (Stand: Juni 1999) einen Wert von 820 Mb/s. Darauf bezogen ergibt sich also im Falle des 622 Mb/s Szenarios eine Leistungssteigerung um den Faktor 10.5 und im Falle des 2 488 Mb/s Szenarios um den Faktor 42. Allerdings handelt es sich bei den ermittelten Grenzdurchsätzen um Idealwerte. Da wie in Abschnitt 3.1 bereits erwähnt die Leistungsanalyse auf Basis von Grenzdurchsätzen relativ stark auf Änderungen des Lastbildes reagiert, könnte eine etwas ungünstigere Lastverteilung als die von Juni 1999 zugrunde gelegte bereits zu jeweils wesentlich niedrigeren Prognosen des Grenzdurchsatzes in beiden Szenarien führen.

Weiterhin wurde durch Betrachtung von Grenzdurchsätzen auf Basis von Verkehrsmatrizen verschiedener zurückliegender Monate und anschließendem Vergleich mit den entsprechenden Durchsatzmessungen am B-WiN festgestellt, daß das erstellte Modell dazu neigt den erzielbaren Grenzdurchsatz zu überschätzen. Um zu einer *worst case* Abschätzung des zu erwartenden Grenzdurchsatzes zu kommen werden die ermittelten Werte deshalb für die weiteren Betrachtungen jeweils um 20 % reduziert. Damit ergibt sich für den 622 Mb/s Fall ein Grenzdurchsatz von 6 878 Mb/s und für den 2 488 Mb/s Fall ein Grenzdurchsatz von 27 510 Mb/s. Bezogen auf die derzeitige Leistungsfähigkeit des B-WiN entspricht dies nun einer Leistungssteigerung um den Faktor 8.4 bzw. 33.5.

In der Lastprognose aus Abschnitt 4.3 setzt sich das für März 2000 zu erwartende Lastvolumen aus einem Anteil für die traditionelle Last und einem Anteil für neue innovative Last bei einem Verhältnis beider Lastanteile von 60 % zu 40 % zusammen. Für den zur Bewältigung dieser Gesamtlast in der HVS nötigen mittleren Netzdurchsatz wurde im selben Abschnitt (vgl. Tabelle 4.5) ein Wert von 3 818 Mb/s ermittelt. Dabei handelt es sich jedoch um den benötigten Nettodurchsatz. Um diesen in Bezug zu berechneten Werten aus dem verwendeten Modell setzen zu können muß noch der anfallende ATM Overhead von 17 % berücksichtigt werden. Es ergibt sich somit ein mittlerer Netzdurchsatz von 4467 Mb/s. Bezüglich des 622 Mb/s Szenarios entspricht dies bereits 65 % des erwarteten Grenzdurchsatzes, im Falle des 2 488 Mb/s Szenarios jedoch nur einem Anteil von 16 %. In beiden Fällen wäre also die Bewältigung des in der HVS zu erwartenden mittleren Netzdurchsatzes problemlos möglich.

Neben der Betrachtung des mittleren Netzdurchsatzes ist für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit eines gewählten Szenarios jedoch auch zu prüfen, ob in der HVS auftretende Lastspitzen ohne Probleme bewältigt werden können. In diesem Zusammenhang wird ausgehend von dem Lastmodell aus Abschnitt 4.2 angenommen, daß nach Einführung des G-WiN relativ kurzfristig in zunehmendem Maße innovative Applikationen aus dem Forschungsbereich vertreten sein werden, deren Charakteristik darin besteht kurzzeitig hohe Spitzendurchsätze zu verursachen. Aufgrund dieser Überlegungen und um wie schon bei der Festlegung des zu erwartenden Grenzdurchsatzes zu einer *worst case* Abschätzung zu gelangen wird im Folgenden angenommen, daß in der HVS Spitzendurchsätze auftreten können, welche um den Faktor 1.7¹ höher als der mittlere HVS Durchsatz liegen. Der zu bewältigende Spitzendurchsatz ergibt sich demnach zu 7 594 Mb/s. Im Falle des 622 Mb/s Szenarios würde damit der erwartete Grenzdurchsatz bereits um 716 Mb/s bzw. 9

¹Die moderate Steigerung um den Faktor 1.7 ist von der ebenfalls sehr moderaten im B-WiN gemessenen Steigerung um den Faktor 1.3 zwischen HVS Durchsatz und mittlerem Tagesdurchsatz abgeleitet (vgl. Abschnitt 2.4.3).

	Berlin	Frankfurt	Hamburg	Hannover	Karlsruhe	Köln	Leipzig	München	Nürnberg	Stuttgart
Berlin	-	26266.86	21918.18	-	-	-	-	-	-	-
Frankfurt	14858.03	-	-	-	14241.94	8932.37	15574.90	-	-	-
Hamburg	22576.37	-	-	27028.92	-	-	-	-	-	-
Hannover	-	-	13692.02	-	12298.19	8596.77	-	-	10680.66	-
Karlsruhe	-	17271.08	-	16368.16	-	-	-	-	-	-
Köln	-	13879.84	-	16709.59	-	-	-	-	-	11773.38
Leipzig	-	21606.10	-	-	-	-	-	-	21913.48	-
München	-	-	-	-	-	-	-	-	30650.27	27402.52
Nürnberg	-	-	-	18546.00	-	-	18460.99	16316.77	-	-
Stuttgart	-	-	-	-	-	16716.77	-	25840.20	-	-

Tabelle 5.7: Grenzdurchsatz des Gesamtnetzes in Mb/s für März 2000 bezogen auf die einzelnen Netzsegmente mit einer Kapazität von 622 Mb/s und unter Berücksichtigung von internationalem und nationalem Verkehr.

	Berlin	Frankfurt	Hamburg	Hannover	Karlsruhe	Köln	Leipzig	München	Nürnberg	Stuttgart
Berlin	-	105067.44	87672.72	-	-	-	-	-	-	-
Frankfurt	59432.10	-	-	-	56967.76	35729.47	62299.60	-	-	-
Hamburg	90305.48	-	-	108115.67	-	-	-	-	-	-
Hannover	-	-	54768.10	-	49192.76	34387.09	-	-	42722.65	-
Karlsruhe	-	69084.31	-	65472.64	-	-	-	-	-	-
Köln	-	55519.37	-	66838.36	-	-	-	-	-	47093.51
Leipzig	-	86424.42	-	-	-	-	-	-	87653.91	-
München	-	-	-	-	-	-	-	-	122601.10	109610.08
Nürnberg	-	-	-	74184.00	-	-	73843.96	65267.09	-	-
Stuttgart	-	-	-	-	-	66867.08	-	103360.79	-	-

Tabelle 5.8: Grenzdurchsatz des Gesamtnetzes in Mb/s für März 2000 bezogen auf die einzelnen Netzsegmente mit einer Kapazität von 2 488 Mb/s und unter Berücksichtigung von internationalem und nationalem Verkehr.

% überschritten. Somit wäre die 622 Mb/s Lösung also nicht in der Lage den benötigten Spitzendurchsatz zur Verfügung zu stellen. Im Falle des 2 488 Mb/s Szenarios entspricht ein Spitzendurchsatz von 7 636 Mb/s jedoch nur 28 % des ermittelten Grenzdurchsatzes, so daß bei diesem Szenario kein Engpaß im Netz zu befürchten wäre.

5.3 Leistungsbetrachtung bei erhöhtem Auslandsverkehrsanteil

In Abschnitt 2.5.1 wurde ermittelt, daß das durch den Auslandsverkehr im B-WiN Kernnetz verursachte Verkehrsaufkommen durchschnittlich 55 % des gesamten Verkehrsaufkommens im B-WiN ausmacht. Für diesen hohen Auslandsverkehrsanteil ist neben der Anbindung an das europäische TEN Netzwerk über den Knoten Frankfurt vor allem die vom Knoten *Hannover* ausgehende Transatlantik Anbindung nach USA verantwortlich. Bei den Leistungsbetrachtungen des vorangegangenen Abschnitts wurde die Zunahme des Auslandsverkehrsanteiles bis März 2000 und insbesondere des durch die USA Anbindung verursachten Verkehrsaufkommens bisher nur im Rahmen der Lastprognose und des Lastmodells aus Kapitel 4, d.h. im Rahmen der im B-WiN beobachteten monatlichen Steigerungsraten der Verkehrslast berücksichtigt. Nicht berücksichtigt wurden jedoch bisher überproportionale und sprunghafte Zunahmen des USA Verkehrs welche sich bis März 2000 durch Anhebung der zur Verfügung stehenden Leitungskapazität auf der derzeit unterdimensionierten USA Anbindung ergeben können. Die Betrachtung dieses Aspektes ist daher Ziel des vorliegenden Abschnittes.

Zur Untersuchung der Auswirkungen, welche eine Erhöhung der Leitungsbandbreite auf der USA Anbindung bezüglich des benötigten Gesamtdurchsatzes und des möglichen Grenzdurchsatzes haben wird, werden wiederum die beiden bereits aus dem vorangegangenen Abschnitt bekannten Fälle mit Trunkleitungskapazitäten im Kernnetz von 622 Mb/s bzw. 2488 Mb/s unterschieden. Für die Betrachtung der Situation im März 2000 wird angenommen, daß die Leitungskapazität der USA Anbindung auf maximal 300 Mb/s erhöht wird. Dabei ist zu beachten, daß wie in Abschnitt 2.2.2 ermittelt, etwa doppelt soviel Verkehr aus den USA empfangen als dorthin gesendet wird und daß deshalb die USA Anbindung im Gegensatz zu Früher seit April 1999 unterschiedliche Kapazitäten für die Sende- und die Empfangsrichtung aufweist. Weiterhin soll der von und nach USA transportierte Verkehr um den gleichen Faktor steigen wie die Leitungsbandbreite. Als Ausgangspunkt für die Berechnung dieses Steigerungsfaktors wird die Leitungskapazität der USA Anbindung von Juni 1999 zugrunde gelegt. Diese beträgt für die Senderichtung von Deutschland nach USA 90 Mb/s und für die Empfangsrichtung von USA nach Deutschland 148 Mb/s. Eine Erhöhung der Empfangskapazität von 148 Mb/s auf 300 Mb/s entspricht daher einer Steigerung um den Faktor 2.03. Die Senderichtung wird um denselben Faktor skaliert und steigt damit von 90 Mb/s auf 183 Mb/s (ganzzahlig gerundet).

Wie bereits weiter oben erwähnt wird angenommen, daß der USA Verkehr im gleichen Maß wie die Leitungskapazität zunimmt. Eine entsprechende Standort-Standort Verkehrsmatrix welche dieses erhöhte Lastvolumen berücksichtigt läßt sich deshalb aus der in Tabelle 5.3 unter Abschnitt 5.1 prognostizierten Verkehrsmatrix für März 2000 gewinnen, indem

	Berlin	Frankfurt	Hamburg	Hannover	IPgate	Karlsruhe	Köln	Leipzig	München	Nürnberg	Stuttgart	TEEN34	Unknown	Summe
Berlin	5777.63	789.77	1269.27	2286.34	6326.13	512.27	1135.32	1184.92	961.36	282.97	451.16	3742.39	1876.02	26595.35
Frankfurt	2638.46	6830.54	2807.89	3827.41	11427.97	3335.43	7250.58	3342.90	3079.05	3488.73	2109.06	5904.26	1960.10	57902.38
Hamburg	799.39	529.88	2984.08	1398.72	7548.55	686.12	1021.11	487.11	561.38	226.07	344.57	3713.08	2243.15	22541.91
Hannover	1548.62	1144.94	1871.57	4194.20	7825.01	1209.97	3332.08	1663.40	1691.84	807.35	1149.47	4073.46	3086.03	33597.94
IPgate	16604.23	17304.36	18749.68	21273.34	950.84	19156.44	48617.74	21996.57	18035.70	14880.10	17919.93	1462.72	10310.15	224261.80
Karlsruhe	423.59	1132.19	673.82	1101.94	8933.05	1269.12	1294.01	1015.34	597.14	400.70	414.65	3636.40	1569.97	22461.92
Köln	1031.03	1692.82	1767.05	3778.94	17591.01	1358.66	8716.07	1755.13	1395.63	708.49	1278.13	9339.03	4567.92	55179.91
Leipzig	982.90	1289.75	927.04	1927.47	11961.06	2097.44	7281.25	786.15	526.64	960.91	6236.38	3047.86	39346.43	
München	2676.32	976.86	1269.34	1761.24	7389.20	925.90	1897.30	1081.99	2895.47	1472.87	1475.40	2861.53	2039.54	28722.66
Nürnberg	226.66	1264.29	314.28	592.88	3813.61	401.07	862.80	869.25	617.10	7203.81	1568.35	1843.51	5846.66	30979.27
Stuttgart	573.72	1043.89	834.36	1027.29	6086.27	640.25	1690.63	812.25	2888.72	789.70	816.18	3791.35	2422.47	23417.08
TEEN34	4851.01	5440.15	6452.62	4420.40	486.81	7194.95	12141.80	8461.12	4125.17	2797.52	5992.07	282.44	3110.32	65756.38
Unknown	5703.96	5667.87	3033.30	3703.39	290.53	2685.37	11549.91	5367.81	2678.59	3438.41	4167.76	72.76	3232.27	51591.93
Summe	43737.52	45107.01	42954.30	51293.36	90630.04	40697.13	98606.79	55319.04	45868.30	37022.06	38647.64	47159.31	45312.46	682335.16

Tabelle 5.9: Für März 2000 extrapolierte Standort-Standort Verkehrsmatrix basierend auf der Standort-Standort Verkehrs-matrix von Juni 1999 und der Lastprognose aus Kapitel 4 sowie der Annahme, daß die USA Anbindung in Empfangsrichtung auf 300 Mb/s und in Senderichtung auf 183 Mb/s ausgebaut wurde. Alle Durchsätze absolut in GBytes.

	Berlin	Frankfurt	Hamburg	Hannover	Karlsruhe	Köln	Leipzig	München	Nürnberg	Stuttgart	Summe
Berlin	8373.54	5908.87	1729.02	11195.20	694.61	1622.31	1658.02	1293.78	394.26	638.42	33508.04
Frankfurt	10437.69	24790.04	12280.52	25578.09	13895.91	26986.89	16094.91	9419.85	8504.42	11177.07	159165.39
Hamburg	1191.13	5669.19	4186.55	11909.18	958.29	1500.71	701.44	778.37	322.76	501.62	27719.24
Hannover	25813.62	33202.32	27534.92	45582.96	27026.92	68558.01	32438.87	26011.21	21396.02	26434.16	333999.01
Karlsruhe	613.54	6263.34	917.30	12898.35	1719.73	1847.93	1419.84	808.10	557.94	586.39	27627.47
Köln	1511.70	14789.31	2436.98	27973.34	1865.22	12602.08	2485.57	1901.81	999.11	1830.23	68395.36
Leipzig	1433.86	9880.19	1271.64	18030.95	1804.54	3017.05	10257.63	1065.46	738.77	1368.87	48868.97
München	3880.51	5058.35	1729.93	11841.70	1256.05	2712.34	1514.69	3898.53	2052.66	2088.72	36033.50
Nürnberg	370.31	4746.11	486.10	6490.19	617.82	1392.06	1376.68	9444.96	11366.00	2508.64	38798.87
Stuttgart	858.16	6562.46	1175.37	9501.84	897.90	2494.40	1174.31	4021.87	1136.99	1192.88	29016.19
Summe	54484.08	116870.19	53748.32	181001.82	50737.00	122733.78	69121.96	58638.94	47468.93	48327.00	803132.02

Tabelle 5.10: Für März 2000 extrapolierte modifizierte Verkehrsmatrix basierend auf der Verkehrsmatrix von Juni 1999 und der Lastprognose aus Kapitel 4 sowie der Annahme, daß die USA Anbindung in Empfangsrichtung auf 300 Mb/s und in Senderichtung auf 183 Mb/s ausgebaut wurde. Alle Durchsätze absolut in GBytes.

die unter dem Knoten *IPgate* aufgeführten Spalten- bzw. Zeileneinträge dieser Tabelle mit dem berechneten Steigerungsfaktor von 2.03 multipliziert sowie die Spalten- bzw. Zeilensummen neu berechnet werden. Das Resultat dieser Berechnung ist in den Tabellen 5.9 und 5.10 zu sehen. Dabei zeigt Tabelle 5.9 die absoluten Durchsätze zwischen den B-WiN Standorten ohne die in 2.2 aufgeführten Modifikationen zur Berücksichtigung des durch den Transport über ATM verursachten Overheads und ohne die Zusammenlegung der Knoten *TEN34* und *Frankfurt* bzw. *IPgate* und *Hannover*. Ein Vergleich der Tabellen 5.3 und 5.9 zeigt, daß sich das Gesamtverkehrsaufkommen V_{GWiN} durch den fiktiven Ausbau der USA Anbindung um 30.4 % von 523 292 GByte auf 682 355 GByte erhöht hat. Dieselbe prozentuale Steigerung läßt sich natürlich auch aus einem Vergleich der zugehörigen modifizierten Verkehrsmatrizen in den Tabellen 5.4 und 5.10 ablesen in welchen jeweils der ATM Overhead mitberücksichtigt ist und mit welchen die eigentlichen Berechnungen durchgeführt werden. Demnach steigt das monatlich zu bewältigende Transportvolumen auf ATM Ebene von 615 914 GByte vor Erweiterung der USA Anbindung auf 803 132 GByte nach der Erweiterung.

Analog zu Abschnitt 5.2 sind für die Betrachtung des Grenzdurchsatzes unter der angenommenen Lastsituation zunächst die Durchsätze auf den Trunkleitungen zu ermitteln. Dabei gelten die vorgestellten extrapolierten Verkehrsmatrizen wie gewohnt sowohl für das 622 Mb/s als auch für das 2 488 Mb/s Szenario. Unter Berücksichtigung des Routings aus Tabelle 5.2 ergeben sich für die Trunkleitungsdurchsätze die in Tabelle 5.11 und Tabelle 5.12 aufgeführten Werte. Die erste Tabelle zeigt dabei die absoluten Durchsätze in GBytes während die zweite Tabelle die prozentualen Durchsätze bezogen auf den Gesamtdurchsatz aller Trunkleitungen enthält. Da für beide Szenarien dieselbe Verkehrsmatrix zugrunde gelegt wird, gelten die Tabellen mit den Trunkleitungsdurchsätzen ebenso für beide Fälle.

Aus den Tabellen läßt sich entnehmen, daß sich die höchsten Durchsätze auf den Leitungen rund um den USA Aufpunkt *Hannover* ergeben. Am stärksten belastet werden dabei die Strecke *Hannover* → *Köln* mit einem Anteil von 9.5 % am Gesamtdurchsatz aller Trunkleitungen sowie die Strecke *Hannover* → *Nürnberg* mit einem Anteil von 7.8 %. Danach folgen die Strecken *Hannover* → *Karlsruhe* mit 6.2 % und *Hannover* → *Hamburg* mit 5.7 %. Im Vergleich dazu weisen die restlichen Trunkleistungsstrecken deutlich niedrigere Belastungen auf, welche bis auf die Ausnahmen *Frankfurt* → *Köln* und *Frankfurt* → *Stuttgart* mit jeweils 5.1 % (auf 1 Nachkommastelle gerundet) sämtliche weniger als 4.5 % des Gesamtvolumens transportieren. Die Erhöhung des Auslandsverkehrs führt demnach zu einer Verkehrskonzentration im Raum Hannover und damit zu einer ungleichmäßigen Auslastung des Netzes. In Abbildung 5.5 sind die relativen Trunkleitungsdurchsätze aus Tabelle 5.11 zur besseren Übersicht nochmals graphisch entsprechend der derzeitigen B-WiN Topologie dargestellt.

Um die Auswirkung des erhöhten Auslandsverkehrs auf den Grenzdurchsatz des Netzes zu untersuchen wurde nach dem Verfahren aus Abschnitt 2.2.3 das Minimum der Grenzdurchsätze aller Trunkleitungen bestimmt. Diese Berechnung wurde sowohl für das 622 Mb/s Szenario als auch für das Szenario mit 2488 Mb/s durchgeführt. Die Ergebnisse für beide Fälle sind in den Tabellen 5.13 und 5.14 zu sehen. Wie aufgrund des im vorhergehenden Absatz erwähnten hohen Lastanteils von 9.5 % auf der Strecke *Hannover* → *Köln* zu erwarten war stellt diese Trunkleitung nun auch in beiden Szenarien jeweils

	Berlin	Frankfurt	Hamburg	Hannover	Karlsruhe	Köln	Leipzig	München	Nürnberg	Stuttgart	Summe
Berlin	-	18580.90	26476.38	-	-	-	-	-	-	-	45057.28
Frankfurt	32657.94	-	-	-	41973.15	54155.36	31258.47	-	-	-	160044.92
Hamburg	33375.38	-	-	27166.13	-	-	-	-	-	-	60541.52
Hannover	-	-	60094.22	-	65824.53	100820.88	-	-	83307.38	-	310047.00
Karlsruhe	-	41499.05	-	43189.11	-	-	-	-	-	-	84688.16
Köln	-	35146.06	-	44849.76	-	-	-	-	-	53783.33	133779.16
Leipzig	-	22523.71	-	-	-	-	-	-	30102.74	-	52626.45
München	-	-	-	-	-	-	-	-	20706.35	17617.44	38323.79
Nürnberg	-	-	-	41844.81	-	-	41620.98	41980.61	-	-	125446.40
Stuttgart	-	-	-	-	-	33141.34	-	18948.62	-	-	52089.95
Summe	66033.33	117749.73	86570.60	157049.81	107797.68	188117.57	72879.44	60929.23	134116.46	71400.77	1062644.62

Tabelle 5.11: Erwartete Durchsätze auf den Trunkleitungen für März 2000 unter Berücksichtigung von internationalem und nationalem Verkehr sowie Ausbau der USA Anbindung auf 300 Mb/s in Empfangs- und 148 Mb/s in Senderichtung. Alle Durchsätze absolut in GBytes.

	Berlin	Frankfurt	Hamburg	Hannover	Karlsruhe	Köln	Leipzig	München	Nürnberg	Stuttgart	Summe
Berlin	-	1.75	2.49	-	-	-	-	-	-	-	4.24
Frankfurt	3.07	-	-	-	3.95	5.10	2.94	-	-	-	15.06
Hamburg	3.14	-	-	2.56	-	-	-	-	-	-	5.70
Hannover	-	-	5.66	-	6.19	9.49	-	-	7.84	-	29.18
Karlsruhe	-	3.91	-	4.06	-	-	-	-	-	-	7.97
Köln	-	3.31	-	4.22	-	-	-	-	-	5.06	12.59
Leipzig	-	2.12	-	-	-	-	-	-	2.83	-	4.95
München	-	-	-	-	-	-	-	-	1.95	1.66	3.61
Nürnberg	-	-	-	3.94	-	-	3.92	3.95	-	-	11.81
Stuttgart	-	-	-	-	-	3.12	-	1.78	-	-	4.90
Summe	6.21	11.08	8.15	14.78	10.14	17.70	6.86	5.73	12.62	6.72	100.00

Tabelle 5.12: Erwartete Durchsätze auf den Trunkleitungen für März 2000 unter Berücksichtigung von internationalem und nationalem Verkehr sowie Ausbau der USA Anbindung auf 300 Mb/s in Empfangs- und 148 Mb/s in Senderichtung. Alle Durchsätze in % relativ zum Gesamtdurchsatz auf allen Trunkleitungen.

den Engpaß im betrachteten Netz dar. Bei einer Trunkleitungskapazität von 622 Mb/s ergibt sich somit ein Grenzdurchsatz von 6556 Mb/s und im Falle von Trunkleitungen mit 2 488 Mb/s von 26 223 Mb/s. Analog zu Abschnitt 5.2 werden diese idealen Werte um 20 % verringert um zu einer *worst case* Abschätzung zu gelangen. Damit resultieren für die beiden Grenzdurchsätze Werte von 5 245 Mb/s bzw. 20 978 Mb/s. Im Vergleich zu den entsprechenden Werten von 6 878 Mb/s bzw. 27 510 Mb/s aus Abschnitt 5.2 sind die Grenzdurchsätze durch die Erhöhung des USA Verkehrs damit um 24 % zurückgegangen. Bezogen auf einen Grenzdurchsatz im B-WiN von 820 Mb/s (Stand Juni 1999) entspricht dies einer Steigerung um den Faktor 6.4 bzw. 25.6. Weiterhin zeigt ein Vergleich der Werte aus den Tabellen 5.7 und 5.8 mit den Werten der Tabellen 5.13 und 5.14, daß auf einem Großteil aller Trunkleistungsstrecken ein entsprechender Rückgang des erzielbaren Grenzdurchsatzes stattgefunden hat. Die geminderte Leistungsfähigkeit ist somit also nicht allein ein Resultat der sehr hoch belasteten Strecke *Hannover* → *Köln* sondern auch der bereits weiter oben festgestellten und durch die USA Anbindung verursachten ungleichmäßigen Lastverteilung im Netz.

Im Folgenden werden die ermittelten Grenzdurchsätze ähnlich wie in Abschnitt 5.2 in Beziehung zum benötigten mittleren HVS Durchsatz und zum Spitzendurchsatz in der HVS gesetzt. Aus der modifizierten Verkehrsmatrix mit erhöhtem Auslandsverkehrsanteil in Tabelle 5.10 läßt sich zu diesem Zweck ein monatliches Lastvolumen (auf ATM Ebene) von $V_L = 803\,132$ GByte entnehmen. Nach Gleichung 4.3 berechnet sich daraus ein mittlerer Tagesdurchsatz D_T von

$$D_T = V_L * \frac{1024 * 8}{30 * 24 * 3600} * 1.04 = 2640 \text{ Mb/s.} \quad (5.1)$$

Daraus läßt sich nach Umformung von Gleichung 4.17 der mittlere Durchsatz D_{HVS} in der HVS bestimmen zu

$$D_{HVS} = D_T * 0.10 * 24 = 6336 \text{ Mb/s.} \quad (5.2)$$

Für das Szenario mit 622 Mb/s Trunkleitungskapazität folgt damit, daß bereits der im Mittel benötigte HVS Durchsatz um 1091 Mb/s bzw. um 21 % über dem ermittelten Grenzdurchsatz von 5 245 Mb/s liegt. In diesem Szenario würde also bei einem Ausbau der USA Anbindung auf 300 Mb/s und unter der für März 2000 prognostizierten Lastsituation das Netz während der HVS sehr häufig überlastet werden. Weiterhin stünde für etwaige zusätzliche Leistungsspitzen während der HVS überhaupt kein Spielraum mehr zur Verfügung. Im Hinblick auf das 2488 Mb/s Szenario entspricht ein mittlerer HVS Durchsatz von 6336 Mb/s dagegen nur 30 % der berechneten Grenzdurchsatzes von 20 978 Mb/s. Trotz des im Vergleich zu Abschnitt 5.2 durch den gestiegenen USA Verkehr verringerten Grenzdurchsatzes würde dieses Szenario die erwartete Netzlast also ohne Probleme bewältigen können.

Zur Betrachtung des Spitzendurchsatzes in der HVS wird wiederum angenommen, daß dieser um den Faktor 1.7 gegenüber dem mittleren HVS Durchsatz erhöht ist. Der Spitzendurchsatz ergibt sich damit zu 10 771 Mb/s. Daraus wird klar, daß solche Leistungsspitzen

	Berlin	Frankfurt	Hamburg	Hannover	Karlsruhe	Köln	Leipzig	München	Nürnberg	Stuttgart
Berlin	-	35572.28	24964.32	-	-	-	-	-	-	-
Frankfurt	20239.02	-	-	-	15747.33	12204.98	21145.15	-	-	-
Hamburg	19803.97	-	-	24330.48	-	-	-	-	-	-
Hannover	-	-	10998.81	-	10041.32	6555.83	-	-	7934.05	-
Karlsruhe	-	15927.23	-	15303.97	-	-	-	-	-	-
Köln	-	18806.23	-	14737.31	-	-	-	-	-	12289.40
Leipzig	-	29345.29	-	-	-	-	-	-	21956.97	-
München	-	-	-	-	-	-	-	-	31920.89	37517.65
Nürnberg	-	-	-	15795.63	-	-	15880.57	15744.53	-	-
Stuttgart	-	-	-	-	-	19943.82	-	34881.97	-	-

Tabelle 5.13: Grenzdurchsatz des Gesamtnetzes in Mb/s für März 2000 bezogen auf die einzelnen Netzsegmente mit einer Kapazität von 622 Mb/s und unter Berücksichtigung von internationalem und nationalem Verkehr, wobei die Kapazität der USA Anbindung in Empfangsrichtung auf 300 Mb/s und in Senderichtung auf 148 Mb/s erhöht wurde.

	Berlin	Frankfurt	Hamburg	Hannover	Karlsruhe	Köln	Leipzig	München	Nürnberg	Stuttgart
Berlin	-	142289.13	99857.29	-	-	-	-	-	-	-
Frankfurt	80956.10	-	-	-	62989.31	48819.91	84580.60	-	-	-
Hamburg	79215.87	-	-	97321.91	-	-	-	-	-	-
Hannover	-	-	43995.25	-	40165.27	26223.34	-	-	31736.20	-
Karlsruhe	-	63708.92	-	61215.90	-	-	-	-	-	-
Köln	-	75224.92	-	58949.25	-	-	-	-	-	49157.61
Leipzig	-	117381.18	-	-	-	-	-	-	87827.89	-
München	-	-	-	-	-	-	-	-	127683.56	150070.59
Nürnberg	-	-	-	63182.50	-	-	63522.29	62978.11	-	-
Stuttgart	-	-	-	-	-	79775.29	-	139527.86	-	-

Tabelle 5.14: Grenzdurchsatz des Gesamtnetzes in Mb/s für März 2000 bezogen auf die einzelnen Netzsegmente mit einer Kapazität von 2 488 Mb/s und unter Berücksichtigung von internationalem und nationalem Verkehr, wobei die Kapazität der USA Anbindung in Empfangsrichtung auf 300 Mb/s und in Senderichtung auf 148 Mb/s erhöht wurde.

das 622 Mb/s Szenario völlig überfordern würden. Im Falle des 2488 Mb/s Szenarios wären solche Leistungsspitzen zwar problemlos zu bewältigen, dennoch entspricht ein Spitzendurchsatz von 10 771 Mb/s bereits beträchtlichen 51 % des erwarteten Grenzdurchsatzes von 20 978 Mb/s.

5.4 Dimensionierungsvorschlag für das G-WiN

Die in den beiden vorangegangenen Abschnitten aus der Betrachtung verschiedener Lastsituationen und Leistungsmodelle gewonnenen Ergebnisse werden in diesem Abschnitt verwendet, um zu diskutieren wie leistungsfähig das entstehende Gigabit Wissenschaftsnetz ausgelegt werden sollte, damit es die in Zukunft zu erwartende Verkehrslast bewältigen kann. Dabei wird davon ausgegangen, daß sich die Netzwerktopologie des G-WiN zwar von der Topologie der bisher betrachteten Modellszenarien unterscheiden, sich aber dennoch die Leistungsfähigkeit des G-WiN bei ähnlicher Kapazität der Verbindungsleitungen zwischen den Netzwerkknoten auf ähnlichem Niveau wie in den bereits betrachteten Modellen bewegen wird. Weiterhin wird angenommen, daß sich auch im G-WiN eine ungleichmäßige Lastverteilung durch den starken Einfluß der USA Anbindung ergeben wird.

In der folgenden Tabelle 5.15 sind die wichtigsten Ergebnisse der Leistungsbetrachtungen aus den Abschnitten 5.2 und 5.3 zur besseren Übersicht nochmals zusammengefaßt. Dabei berücksichtigt die Tabelle die vier betrachteten Lastsituationen welche sich aus dem 622 Mb/s und dem 2488 Mb/s Szenario jeweils mit und ohne Ausbau der USA Anbindung auf 300 Mb/s ergeben. Für die vier verschiedenen Fälle ist die jeweils erreichte Leistungssteigerung im Vergleich zur Situation von Juni 1999, der jeweilige Grenzdurchsatz, die mittlere Auslastung außerhalb der HVS (nach Gleichung 4.17 zusätzlich zu den Abschnitten 5.2 und 5.3 berechnet), die mittlere Auslastung während der HVS sowie die maximale Auslastung des Netzes während der HVS angegeben:

	622 Mb/s Szenario		2488 Mb/s Szenario	
	USA 06/1999	USA 03/2000	USA 06/1999	USA 03/2000
Leistungssteigerung bzgl. 06/1999	8.5	6.4	33.5	25.5
Grenzdurchsatz in [Mb/s]	6878	5245	27510	20978
mittlere Auslastung außerhalb HVS [%]	27	50	7	13
mittlere Auslastung in der HVS [%]	65	121	16	30
maximale Auslastung in der HVS [%]	109	205	28	51

Tabelle 5.15: Überblick der Leistungsparameter zu den 4 betrachteten Last- bzw. Leistungsmodellen.

Legt man die in Abschnitt 4.3 für März 2000 prognostizierte Verkehrslast ohne erhöhten

Auslandsverkehr zugrunde, so kann man obiger Tabelle entnehmen, daß ein Netzwerk basierend auf Trunkleitungen mit einer Kapazität von 622 Mb/s trotz der im Vergleich zum heutigen B-WiN mehr als 8fachen Leistungsfähigkeit bereits an seine Grenzen stoßen würde. Zwar beträgt in diesem Fall die mittlere Auslastung während eines Tages nur 27 %, in der HVS steigt diese jedoch bereits auf 65 % und erreicht Leistungsspitzen welche mit einer maximalen Auslastung von 109 % bereits zu Transportengpässen im Netz führen. Diese Situation entspricht in etwa auch den derzeit im B-WiN vorherrschenden Verhältnissen. Eine Dimensionierung des G-WiN entsprechend dem betrachteten 622 Mb/s Szenario würde bezogen auf die zukünftige Netzlast also gerade ausreichen um die derzeitige Transportqualität aufrecht zu erhalten. Sie wäre jedoch nicht ausreichend, um zusätzlich zum täglichen Produktionsbetrieb die Entwicklung und Erforschung von neuartigen Netzwerkanwendungen mit hohen Spitzendurchsätzen zu erlauben bzw. zu fördern.

Darüber hinaus blieben auch ohne diese zusätzlichen Belastungen Engpässe auf der häufig überlasteten USA Anbindung erhalten. Zur Beseitigung der Engpässe auf dieser Auslandsanbindung wurde untersucht wie sich eine Verdoppelung der dafür verfügbaren Transportkapazität unter entsprechender Zunahme des USA Verkehrs auswirken würde. Es zeigte sich, daß diese Ausbaumaßnahme zunächst zu einer ungleichmäßigen Auslastung des Netzes und in der Folge zu einem verringerten Grenzdurchsatz führte. Bezogen auf das B-WiN (Stand Juni 1999) reduzierte sich die Leistungssteigerung des 622 Mb/s Szenarios von 8.5 auf den Faktor 6.4. Die mittlere Auslastung während eines Tages stieg dadurch auf 50 % und bereits die mittlere Auslastung während der HVS könnte mit 121 % nicht mehr bewältigt werden. Etwaige Lastspitzen während der HVS würden mit einer Auslastung von 205 % das Netz stark überlasten und damit zu einem deutlichen Rückgang der Transportqualität führen.

Betrachtet man beide 622 Mb/s Szenarien, so wäre eine Dimensionierung des G-WiN auf Basis von 622 Mb/s Verbindungsstrecken also nur ohne eine Verbesserung der USA Anbindung vertretbar. Auch in diesem Fall aber nur ohne wirklich einen qualitativen Fortschritt gegenüber dem jetzigen B-WiN zu erzielen. Dieses Szenario steht somit also gewissermaßen für den absolut nötigen Mindestausbau des B-WiN. Im Gegensatz dazu stellt das 2488 Mb/s Szenario mit einer nochmals um den Faktor 4 erhöhten Trunkleitungskapazität sicherlich die Obergrenze des bei Einführung des G-WiN benötigten Leistungsausbaus dar. Im Vergleich zum heutigen B-WiN liefert dieses Szenario ohne erweiterte USA Anbindung eine um mehr als den Faktor 33 höhere Leistung. Dies entspricht bezüglich des für März 2000 prognostizierten Lastaufkommens einer mittleren Auslastung von nur 7 % außerhalb der HVS. Während der HVS steigt die mittlere Auslastung auf einen Wert von 16 % und erreicht bei Auftreten von Lastspitzen bis zu 28 % des zur Verfügung stehenden Grenzdurchsatzes. Damit bietet dieses Szenario mehr als reichlich Spielraum für Forschungsaktivitäten welche zusätzlich zum normalen Produktionsbetrieb des Netzes durchaus beträchtliche Lastspitzen erzeugen dürften, ohne sich dabei auf Tageszeiten mit niedriger Last beschränken zu müssen. Betrachtet man dieses Szenario wiederum nach Erweiterung der USA Anbindung, so steigt die mittlere Auslastung während eines Tages auf 13 % und während der HVS auf 30 % an. Die maximale Auslastung während der HVS erreicht einen Wert von 51 %. Somit kommt es auch in dieser Situation zu keinerlei Engpässen. Vielmehr stehen weiterhin noch fast 50 % der Transportleistung für Forschungsaktivitäten zur Verfügung.

Insgesamt ergibt sich aus diesen Betrachtungen, daß ein auf 2488 Mb/s Trunkleitungen basierendes G-WiN zum Zeitpunkt seiner Einführung überdimensioniert sein wird, vor allem dann, wenn der USA Verkehr nicht im erwarteten Maß zunehmen sollte. Bei diesem Standpunkt sind allerdings noch zwei Punkte zu berücksichtigen. Erstens ist es nicht sinnvoll ein Netz so zu planen, daß es bereits zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme nahe seiner maximalen Leistungsfähigkeit arbeiten muß, da schließlich für die stetige Zunahme des Verkehrs noch Spielraum vorhanden sein sollte ohne in zu kurzen Abständen Erweiterungsmaßnahmen durchführen zu müssen. Zweitens handelt es sich wie bereits oben erwähnt sowohl beim heutigen B-WiN als auch beim zukünftigen G-WiN um Netzwerke welche gleichzeitig den normalen Produktionsbetrieb (z.B. WWW, FTP, E-Mail, ...) und Forschungsaktivitäten (z.B. Metacomputing, VR-Anwendungen, entfernte Datenvisualisierung, ...) unterstützen sollen. Das Problem dabei liegt darin, daß sich der für neue und innovative Netzapplikationen benötigte Durchsatz schlecht im voraus planen läßt da deren Lastcharakteristika noch gar nicht bekannt sind. Für den Forschungsbereich wäre daher eher ein Netzwerk sinnvoll welches ausschließlich für Forschungszwecke reserviert ist. In der Kombination mit dem Produktionsbetrieb läßt sich dies annähernd nur durch entsprechende Überkapazitäten erreichen welche garantieren, daß stets genügend freie Kapazität für Forschungsaktivitäten zur Verfügung steht.

Aus obiger Diskussion lassen sich für das G-WiN folgende beiden Dimensionierungsvorschläge ableiten: Um das G-WiN so zu dimensionieren, daß im Vergleich zum B-WiN der gesamte Produktionsbetrieb inklusive der USA Anbindung drastisch verbessert wird und außerdem keine Engpässe durch Lastspitzen in der HVS auftreten wäre ein Netzwerk basierend auf 1 244 Mb/s Trunkleitungen ausreichend. Dieses hätte dann die doppelte Leistungsfähigkeit wie das betrachtete 622 Mb/s Szenario und würde bereits etwas Spielraum für Forschungsaktivitäten bereitstellen. Um sowohl für den Produktionsbetrieb als auch für Forschungsaktivitäten eine optimale Arbeitsgrundlage zu schaffen wäre mit einem auf 2 488 Mb/s basierenden Netz nochmals eine Verdoppelung der Leistung zu erzielen. Erste Leistungspässe würden sich bei dieser Ausbaustufe und einer angenommenen jährlichen Verdoppelung des Verkehrs erst wieder in 2 bis 3 Jahren einstellen.

Kapitel 6

Zusammenfassung

Die Hauptaufgaben des Projektes „Lastprognose und Lastmodell für das G-WiN“ bestanden in der Prognose der bei Einführung des Gigabit Wissenschaftsnetzes G-WiN im Frühjahr 2000 zu erwartenden Verkehrslast sowie einer Abschätzung der zur Bewältigung dieser Verkehrslast nötigen Leistungsfähigkeit des G-WiN. In diesem Projektbericht wurden die während des Projektverlaufs zur Bewältigung dieser Aufgaben durchgeführten folgenden 4 Teilschritte erläutert:

1. Analyse der aktuellen Lastsituation im B-WiN
2. Bewertung der B-WiN Studien von 1994/1995
3. Prognose der G-WiN Last
4. Betrachtung verschiedener Leistungsmodelle

Der erste in Kapitel 2 präsentierte Teilschritt befaßte sich mit einer detaillierten Analyse der aktuell im B-WiN zu beobachtenden Lastsituation. Zu diesem Zweck wurde ein einfaches und relativ grobes Modell des B-WiN implementiert, welches anhand von vorgegebenen (gemessenen) Verkehrsmatrizen, Leitungskapazitäten und einem zugrundegelegten Routing die Durchführung von Leistungsanalysen (z.B. Bestimmung des Grenzdurchsatzes) sowie die Darstellung der zeitlichen Lastentwicklung getrennt für verschiedene Verkehrsanteile (Auslands-/Inlandsverkehr, regionaler/überregionaler Verkehr, Gesamtverkehr) erlaubte. Weiterhin wurden in Kapitel 2 die Verhältnisse in der HVS untersucht. Dies umfaßte die zeitliche Lage, Durchsatzmittel und Spitzendurchsatz, Überhöhung des Durchsatzes sowie Anteil der HVS am Tagesvolumen. Ursprünglich waren diese Untersuchungen nur als Vorbereitung der im zweiten Teilschritt durchzuführenden Bewertung älterer, in der Planungsphase vor Einführung des B-WiN durchgeführter Lastprognosen gedacht. Während der Bearbeitung des Projektes stellte sich jedoch heraus, daß diese Lastanalyse auch für die später folgenden Projektpunkte Lastprognose und Leistungsmodell wichtige Grundinformationen lieferte. Der Teilschritt wurde deshalb umfangreicher als geplant bearbeitet.

In Kapitel 3 folgte anschließend eine rückblickende Bewertung der für die Planung des B-WiN in den Jahren 1994 und 1994 durchgeführten Studien [JESSEN, 1994] und [JESSEN, 1995]. Ziel dieser rückblickenden Bewertung war es die Genauigkeit der neu zu erstellenden Lastprognose für das entstehende G-WiN zu erhöhen. Zu diesem Zweck war es nötig festzustellen, inwieweit die Prognosen in den älteren Studien zutrafen, wo eventuelle Abweichungen lagen und wodurch diese Abweichungen begründet waren. Die wichtigsten Erkenntnisse, welche sich daraus ergaben lauten wie folgt:

1. Der Anteil des Auslandsverkehrs am Gesamtverkehrsaufkommen des B-WiN Kernnetzes wurde in den älteren Studien mit nur 25 % bzw. 33 % zu niedrig eingeschätzt. In der heutigen Situation ergibt sich ein Anteil von durchschnittlich 55 %.
2. Es wurde in den älteren Studien davon ausgegangen, daß sich der Auslandsverkehr bezüglich des transportierten Volumens in Empfangs- und Senderichtung symmetrisch verhält. Im Gegensatz dazu ergibt sich in der heutigen Situation zwischen Empfangs- und Senderichtung ein Verhältnis von 2:1.
3. In den älteren Studien wurde eine höhere Verkehrslast prognostiziert, als später in Wirklichkeit auftrat. Der Hauptgrund für diese Überschätzung lag in einer zu starken Betonung des innovativen Lastanteiles, welcher in diesen Studien mit 84 % des Gesamtdurchsatzes veranschlagt wurde.

Bei der anschließend in Kapitel 4 durchgeführten Lastprognose wurde jeder dieser 3 Punkte berücksichtigt. Dadurch ergab sich insbesondere ein ausgeglicheneres Verhältnis zwischen traditioneller und innovativer Last von 60 % zu 40 %. Die Lastprognose in Kapitel 4 wurde in zwei Teilprognosen aufgeteilt. Davon lieferte die erste eine Abschätzung der traditionellen Last basierend auf einer Extrapolation der im B-WiN in den Jahren 1997 und 1998 beobachteten Lastentwicklung. Die zweite Teilprognose lieferte eine Abschätzung für die durch neue Netzapplikationen im G-WiN verursachte Netzlast. Dabei wurde zur Einschätzung des jeweiligen Bandbreitenbedarfs einer Anwendung vor allem auf Informationen aus der Literatur zurückgegriffen. Beide Teilprognosen wurden schließlich zu einer Gesamtprognose für März 2000 mit folgenden Ergebnissen zusammengefaßt:

Lastprognose für März 2000	
Monatliches Transportvolumen:	$V_{GWiN} = 523291.64$ GByte
Mittlerer Tagesdurchsatz:	$D_{TGWiN} = 1590.25$ Mb/s
Mittlerer Durchsatz in der HVS:	$D_{GWiN} = 3816.6$ Mb/s

Die in Kapitel 4 ermittelte Lastprognose wurde anschließend in Kapitel 5 zusammen mit einer aktualisierten Version des in Kapitel 2 implementierten B-WiN Modells (siehe Anhang A) verwendet um abzuschätzen, wie das neu entstehende G-WiN bezüglich seiner Leistungsfähigkeit zu dimensionieren ist, damit es die ab März 2000 erwartete Netzlast bewältigen kann. Zu diesem Zweck wurde untersucht, welche Transportkapazität sich durch eine drastische Anhebung der derzeit im B-WiN verwendeten Leitungskapazitäten von weniger als 100 Mb/s auf Werte von 622 Mb/s bzw. 2488 Mb/s unter dem erwarteten Lastbild erzielen läßt. Insbesondere wurde dabei für beide Ausbauszenarien auch analysiert, wie sich eine signifikante Erhöhung des durch die USA Anbindung verursachten Verkehrsaufkommens auf die Leistungsfähigkeit des Netzwerkes auswirkt.

Diese Betrachtungen führten zu folgenden Erkenntnissen:

1. Ein Netz auf Basis von Leitungskapazitäten mit 622 Mb/s würde bereits ohne erhöhten Auslandsverkehr während der HVS bei Auftreten von Lastspitzen an seine Grenzen stoßen. Bei Berücksichtigung von erhöhtem Auslandsverkehr wäre dieses Szenario bereits mit dem während der HVS im Mittel benötigten Durchsatz überfordert.

2. Im Vergleich dazu wäre ein Netzwerk mit Leitungskapazitäten von 1 244 Mb/s in der Lage auch bei erhöhtem Auslandsverkehr die in der HVS erwarteten Lastspitzen zu bewältigen.
3. Ein weiterer Ausbau auf Leitungskapazitäten von 2 488 Mb/s führt zu einem Netzwerk, welches zum Zeitpunkt seiner Einführung bezüglich der zu erwartenden Last überdimensioniert sein wird. Ein solcher Ausbau scheint gerechtfertigt, falls neben dem normalen Produktionsbetrieb des Netzes Wert auf ausreichende und jederzeit verfügbare Netzkapazitäten für Forschungsaktivitäten gelegt wird.

Anhang A

Programmdokumentation

A.1 Implementierung des B-WiN Modells

Die im Projekt „Lastprognose und Lastmodell für das G-WiN“ durchgeführten Berechnungen basieren zu einem Großteil auf Daten welche mit Hilfe des im ersten Projektteil realisierten B-WiN Modells aus gemessenen Verkehrsmatrizen gewonnen wurden. Die Implementierung dieses Modells erfolgte in der Programmiersprache PERL (Practical Extraction and Report Language). Neben der leichten Handhabung, Vielseitigkeit und Eignung zur Verarbeitung textueller Information war vor allem die durch PERL ermöglichte Plattformunabhängigkeit des erstellten B-WiN Modells ausschlaggebend für die Wahl dieser Sprache. Als Ergänzung zur Beschreibung der für die B-WiN Analyse in Kapitel 2 von dem Modell geforderten Funktionalitäten wie z.B. Modifikation vorhandener Verkehrsmatrizen, Berechnung von Trukleitungsdurchsätzen und Bestimmung des Grenzdurchsatzes in den Abschnitten 2.1 bis 2.2.3 dient dieser Abschnitt dazu um eine grobe Übersicht der Implementation des B-WiN sowie seiner Funktionsweise zu geben.

Die Arbeitsweise des B-WiN Modells läßt sich in folgende 3 Teilschritte gliedern:

1. Einlesen von Datensätzen zur Beschreibung von Topologie, Routing und Verkehrslast im B-WiN.
2. Vorbereitung der eingelesenen Daten und anschließende Berechnung gewünschter Ergebnisse, wie z.B. Grenzdurchsatz oder Lastprognose.
3. Ausgabe bzw. Speicherung der Berechnungen zum Zweck der nachfolgenden Weiterverarbeitung, z.B. Visualisierung.

Diese 3 Teilschritte sind im Hauptteil des zugehörigen PERL Quelltextes (vgl. Abschnitt A.2) durch Abstützung auf folgende 18 Unterroutinen realisiert:

1. Unterroutinen zum Einlesen von Datensätzen:

```
read_ntbl()      : Liest Tabelle mit Standort-Standort-Matrix ein.  
read_rtbl()     : Liest Tabelle mit Routinginformation ein.  
read_ttbl()     : Liest Tabelle mit Trunkleitungskapazitäten ein.
```

2. Unterroutinen zur Modifikation der Verkehrsmatrix:

`add_IP_TEN_F()` : Addiert IPgate+TEN Verkehr zu Frankfurt/Hannover.
`add_oh()` : Addiert ATM+AAL Overhead.
`add_unknown()` : Verteilt unbekanntes Verkehr auf gesamte Matrix.
`del_foreign()` : Löscht Auslandsverkehr aus Matrix.

3. Unterroutinen die Berechnungen ausführen:

`calc_regional()` : Berechnet Anteil an regionalem Verkehr.
`calc_truncs()` : Berechnet Auslastung der Trunkleitungen.
`calc_truncs_rel()` : Berechnet rel. Auslastung pro Trunkleitung.
`calc_truncs_lim()` : Berechnet Grenzdurchsatz pro Trunkleitung.
`tr_10nodes()` : Überroutine zu obigen `calc*` Routinen.
`sum_matrix()` : Bildet Summe über eine Matrix.
`calc_nodes2000()` : Berechnet Verkehrsmatrix für März 2000.

4. Unterroutinen für die Ausgabe von Ergebnissen:

`prnt_nodes()` : Ausgabe der Verkehrsmatrix in versch. Formaten.
`prnt_truncs()` : Ausgabe von Tabellen mit Trunkleitungsinformation.
`tr_10nodes()` : Steuert neben Berechnung auch Ausgabe.

5. Unterroutinen für Hilfszwecke:

`m_copy()` : Kopiert bel. große Matrizen.
`matrix_min_el()` : Liefert Minimum in einer Matrix.

Zu Beginn des Hauptprogramms mit dem Namen `bwin_calc` werden zunächst einige Ausgabedateien geöffnet, welche zur Aufnahme der Berechnungsergebnisse gedacht sind. Anschließend werden mit den unter Punkt 1 aufgeführten Routinen die originale Verkehrsmatrix (`read_ntbl()`) für ein oder mehrere Monate sowie die zugehörigen Tabellen für das Routing (`read_rtbl()`) und die Leitungskapazitäten (`read_ttbl()`) im B-WiN eingelesen sowie in einer absoluten und einer relativen Darstellung mit Hilfe der Unterroutine `prnt_nodes()` auf dem Bildschirm ausgegeben. Der Aufbau der einzulesenden Verkehrsmatrizen entspricht dabei der in Abschnitt 2.1 abgebildeten Tabelle 2.1. Die Tabellen für das Routing entsprechen in ihrem Aufbau Tabelle 5.2 aus Abschnitt 5.1 und die Tabellen mit den Trunkleitungskapazitäten entsprechen in ihrem Aufbau der Tabelle 2.9 aus Abschnitt 2.2.3 nur mit dem Unterschied, daß die Tabelleneinträge anstatt aus Grenzdurchsätzen aus Leitungskapazitäten bestehen.

Alle Tabellen tragen in ihrem Namen die Extension `.tbl`, verwenden als Trennzeichen beliebig viele Leerräume und erlauben das Einbringen von Kommentaren durch zeilenweises Voranstellen des Zeichens `#`. Die 3 verschiedenen Tabellenarten werden von `bwin_calc` relativ zu seiner eigenen Position an bestimmten Orten im Verzeichnisbaum erwartet. So müssen sich alle benötigten Verkehrsmatrizen im selben Verzeichnis wie `bwin_calc` befinden. Die Tabellen für das Routing und die Trunkleitungskapazitäten hingegen werden von `bwin_calc` in zwei Unterverzeichnissen mit den Verzeichnisnamen `Routing` und `Trunc_Capacities` erwartet.

Bei der Namensvergabe für die Verkehrs- und Trunkleitungsmatrizen wurde systematisch vorgegangen. So kennzeichnet beispielsweise folgender Name

```
1997_03.tbl
```

die Verkehrsmatrix für März 1997. Entsprechend ist die Tabelle mit den Trunkleitungskapazitäten für März 1997 durch den Namen

```
truncs_cap_1997_03.tbl
```

gekennzeichnet.

Die zu einer Verkehrsmatrix gehörenden Routing- und Trunkleitungstabellen werden von `bwin_calc` automatisch aus den oben erwähnten Unterverzeichnissen `Routing` und `Trunc.Capacities` gelesen. Der Aufruf von `bwin_calc` unter Verwendung der Verkehrsmatrix von März 1997 lautet somit schlicht:

```
bwin_calc 1997_03.tbl
```

Sollen mit einem Aufruf von `bwin_calc` Berechnungen auf mehreren Verkehrsmatrizen angestoßen werden so ist dies durch Verwendung eines Platzhalters im Namen der Verkehrsmatrix möglich. So führt beispielsweise der Aufruf

```
bwin_calc 1997*.tbl
```

dazu, daß `bwin_calc` seine Berechnungen nacheinander für alle Verkehrsmatrizen durchführt, welche für das Jahr 1997 verfügbar sind.

Nach dem Einlesen der benötigten Informationen zu Verkehrslast, Routing und Leitungskapazität werden im Hauptprogramm des B-WIN Modells zunächst mit Hilfe der unter obigem Aufzählungspunkt 2 aufgelisteten Unterroutrinen einige Modifikationen an der eingelesenen Verkehrsmatrix vorgenommen (vgl. Abschnitt 2.2 für Begründung). Dabei wird mit der Unteroutine `add_IP_TEN_F()` Verkehr welcher von den Auslandsanbindungen nach USA und zum TEN Network verursacht wird für Verkehrsmatrizen bis März 1999 im Knoten *Frankfurt* und für Verkehrsmatrizen ab März 1999 im Knoten *Hannover* zusammengefaßt. Anschließend erhöht der Aufruf der Unteroutine `add_oh()` die Durchsätze zwischen den Knotenstandorten um 17 % was dem in dieser Untersuchung ermittelten und durch die ATM und AAL Ebene verursachten Overhead entspricht. Darauf folgt als Abschluß der Modifikationen mit dem Aufruf von `add_unknown()` eine Umverteilung des in der originalen Verkehrsmatrix enthaltenen Verkehrsanteiles unbekannter Herkunft auf die Knotenstandorte entsprechend ihrem jeweiligen Anteil am Gesamttransportvolumen. Die so erhaltene modifizierte Verkehrsmatrix wird anschließend in einer absoluten und relativen Darstellung mit Hilfe der Unteroutine `prnt_nodes()` auf dem Bildschirm ausgegeben.

Im weiteren Programmverlauf werden die unter Punkt 3 aufgeführten Unterroutrinen dazu verwendet um die eigentlichen Modellrechnungen durchzuführen. Zunächst wird mit einem Aufruf von `sum_matrix()` bestimmt wie groß das Gesamttransportvolumen für die aktuell betrachtete Verkehrsmatrix ist. Danach folgt mit der Routine `calc_regional()` die Berechnung des absoluten und relativen Anteils von regionalem Verkehr an diesem Gesamttransportvolumen wovon sich schließlich auch die jeweils dazu komplementären Anteile des überregionalen Verkehrs ableiten. Mit Hilfe der Unterroutrinen `calc_truncs()`, `calc_truncs_lim()` und `calc_truncs_rel()` deren Aufruf über die Routine `tr_10nodes()` gesteuert wird folgt anschließend die Berechnung der absoluten und relativen Auslastung der Trunkleitungen in Form von 2 weiteren Matrizen die mittels der

Unteroutine `prnt_truncs()` auf dem Bildschirm dargestellt werden. Durch den Aufruf von `calc_truncs_lim()` ergibt sich daraus eine Matrix in welcher für jede Trunkleitung der Grenzdurchsatz bei vorgegebener Verkehrsmatrix enthalten ist. Aus dieser Matrix wird durch die Routine `matrix_min_el()` schließlich das Minimum selektiert, welches den erzielbaren Grenzdurchsatz des Gesamtnetzes wiedergibt.

Die genannten Berechnungen werden im Anschluß nochmals durchgeführt. In diesem zweiten Fall jedoch ohne Berücksichtigung des Verkehrs welcher im B-WiN durch die Auslandsanbindungen verursacht wird. Zu diesem Zweck wird aus einer mit der Unteroutine `m_copy()` erzeugten Kopie der aktuell bearbeiteten und bereits modifizierten (!) Verkehrsmatrix der durch die USA und die TEN Anbindung verursachte Verkehrsanteil gelöscht. Die dazu nötige Löschfunktion wird durch die Unteroutine `del_foreign()` zur Verfügung gestellt.

Die berechneten Werte werden jeweils auf dem Bildschirm ausgegeben und zusätzlich in eine der zu Anfang erwähnten Ausgabe- bzw. Ergebnisdateien geschrieben. Diese Ergebnisdateien, welche alle die Extension `.erg` aufweisen, sind in einem weiteren Unterverzeichnis mit dem Namen `Results` zusammengefaßt und durch folgende Namen gekennzeichnet:

```
max_thp_int.erg      : Grenzdurchsatz mit int. Verkehr.
max_thp_nat.erg     : Grenzdurchsatz ohne int. Verkehr.
traf_int_abs.erg    : Volumen abs. für int. Verkehr.
traf_int_rel.erg    : Volumen rel. für int. Verkehr.
traf_intnat_abs.erg : Volumen abs. für Gesamtverkehr.
traf_intnat_regabs.erg : Volumen abs. für regionalen Gesamtverkehr.
traf_intnat_regrel.erg : Volumen rel. für regionalen Gesamtverkehr.
traf_intnat_uerabs.erg : Volumen abs. für überreg. Gesamtverkehr.
traf_intnat_uerrel.erg : Volumen rel. für überreg. Gesamtverkehr.
traf_nat_abs.erg    : Volumen abs. für nat. Verkehr.
traf_nat_rel.erg    : Volumen rel. für nat. Verkehr.
traf_nat_regabs.erg : Volumen abs. für nat. regionalen Verkehr.
traf_nat_regrel.erg : Volumen rel. für nat. regionalen Verkehr.
traf_nat_uerabs.erg : Volumen abs. für nat. überreg. Verkehr.
traf_nat_uerrel.erg : Volumen rel. für nat. überreg. Verkehr
```

Werden, wie weiter oben beschrieben, mit einem Aufruf von `bwin_calc` Berechnungen auf mehreren Verkehrsmatrizen angestoßen, so sammeln sich die Ergebnisse dieser Berechnungen in der Reihenfolge der verwendeten Verkehrsmatrizen in obigen Ergebnisdateien. Die in Abschnitt A.3 beschriebenen, für das Statistikpaket SPLUS implementierten Auswertefunktionen erwarten diese Ergebnisdateien in dem genannten Verzeichnis `Results` und greifen direkt auf diese Dateien zu.

Ruft man das Programm `bwin_calc` ohne Angabe weiterer Parameter auf so meldet es sich mit folgender kurzen Beschreibung der möglichen Eingabeparameter bzw. eines korrekten Aufrufs zurück:

```
usage: bwin_calc [-tex] [-prognose] [file.tbl]
```

Aus dieser Beschreibung kann man entnehmen, daß neben der/den Eingabedatei(en) mit der/den Verkehrsmatrizen die beiden Optionen „-tex“ und „-prognose“ zur Verfügung

stehen. Wird die Option „-tex“ angegeben, so erfolgt die Ausgabe von Tabellen in einem Format, welches direkt in Dokumente übernommen werden kann die mit dem Textsatzsystem $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ erstellt werden. Bei Angabe der Option „-prognose“ wird nach Ausführung aller oben genannter Berechnungen noch auf Basis jeder bearbeiteten Verkehrsmatrix eine neue korrespondierende Verkehrsmatrix erstellt, welche eine Prognose der Lastverhältnisse im März 2000 darstellt.

Weitere Einzelheiten zu Funktionsweise und Implementation des B-WiN Modells können dem kommentierten Quelltext im folgenden Abschnitt entnommen werden.

A.2 Perl Quelltext zum B-WiN Modell

```
#!/usr/local/dist/bin/perl -w

use Getopt::Long;

# Definition of Variables.
my $nodes;           # Reference to Array with network nodes.
my $nodes_orig;     # Reference to original node matrix.
my $nodes_copy;     # Reference to backup Array for $nodes.
my $nodes2000;      # Reference to node table for March 2000.
my $ntbl_name;      # Name of processed node table file.
my $date;           # Reference to date Array[0, 1] = [year, month].
my $routes;         # Reference to Array with routing table.
my $truncs_cap;     # Reference to Array with trunc capacities.
my $regional_abs;
my $regional_rel;
my $total_traffic_int;
my $total_traffic_nat;
my $max_thp;
my $month;          # Index variable for node tables.
my $tex_mode = 0;   # Default is not to print TeX output.
my $prog_mode = 0;  # Default is not to prognose node matrix 2000.
my $res_path = "./Results/"; # Default path for results.
my $routing_path = "./Routing/"; # Default path for routing tables.
my $volume2000 = 523291.64; # Prognosed transport volumina for March 2000.

# Process command line options.
GetOptions("tex" => \$tex_mode, "prognose" => \$prog_mode);

# Tell them how to use you.
if ($#ARGV < 0)
{
    print STDOUT "usage: bwin_calc [-tex] [-prognose] [file.tbl]\n";
    exit 1;
}
```

```

# Open output files.
open(traf_intnat_abs, ">" . $res_path . "traf_intnat_abs.erg") ||
  die "$!: traf_intnat_abs.erg";
open(traf_nat_abs, ">" . $res_path . "traf_nat_abs.erg") ||
  die "$!: traf_nat_abs.erg";
open(traf_int_abs, ">" . $res_path . "traf_int_abs.erg") ||
  die "$!: traf_int_abs.erg";

open(traf_nat_rel, ">" . $res_path . "traf_nat_rel.erg") ||
  die "$!: traf_nat_rel.erg";
open(traf_int_rel, ">" . $res_path . "traf_int_rel.erg") ||
  die "$!: traf_int_rel.erg";

open(traf_intnat_regabs, ">" . $res_path . "traf_intnat_regabs.erg") ||
  die "$!: traf_intnat_regabs.erg";
open(traf_nat_regabs, ">" . $res_path . "traf_nat_regabs.erg") ||
  die "$!: traf_nat_regabs.erg";
open(traf_intnat_regrel, ">" . $res_path . "traf_intnat_regrel.erg") ||
  die "$!: traf_intnat_regrel.erg";
open(traf_nat_regrel, ">" . $res_path . "traf_nat_regrel.erg") ||
  die "$!: traf_nat_regrel.erg";

open(traf_intnat_uerabs, ">" . $res_path . "traf_intnat_uerabs.erg") ||
  die "$!: traf_intnat_uerabs.erg";
open(traf_nat_uerabs, ">" . $res_path . "traf_nat_uerabs.erg") ||
  die "$!: traf_nat_uerabs.erg";
open(traf_intnat_uerrel, ">" . $res_path . "traf_intnat_uerrel.erg") ||
  die "$!: traf_intnat_uerrel.erg";
open(traf_nat_uerrel, ">" . $res_path . "traf_nat_uerrel.erg") ||
  die "$!: traf_nat_uerrel.erg";

open(max_thp_int, ">" . $res_path . "max_thp_int.erg") ||
  die "$!: max_thp_int.erg";
open(max_thp_nat, ">" . $res_path . "max_thp_nat.erg") ||
  die "$!: max_thp_nat.erg";

foreach $month (@ARGV)
{
  # Extract date information.
  @date = split(/_/, substr($month, 0, length($month) - 4));

  # Read node table.
  ($nodes, $ntbl_name) = read_ntbl($month);
  $nodes_orig = m_copy($nodes);

  # Print node tables (with absolute and relative traffic between nodes).
  print "Original Standortmatrix mit Verkehrsaufkommen ";

```

```
print "für $ntbl_name (absolut):\n\n";

prnt_nodes($nodes, "abs", $tex_mode, ());

print "Original Standortmatrix mit Verkehrsaufkommen ";
print "für $ntbl_name (relativ):\n\n";
prnt_nodes($nodes, "rel", $tex_mode, ());

# Read routing table.
# read_ttbl automatically chooses the right routing for the processed month
# from the @date variable.
$routes = read_rtbl();

# Read capacities of trunc lines.
$truncs_cap = read_ttbl($month);

# Add AAL overhead (7 %) and ATM overhead (10 %) to each node and
# assign the unknown traffic to each node as well. Furthermore add
# the traffic of ipgate and TEN34 to Frankfurt.

# Add AAL overhead (7 %) to each node.
add_oh($nodes, 7);

# Add ATM overhead (10 %) to each node.
add_oh($nodes, 10);

# Assign unknown traffic to each node.
add_unknown($nodes);
$nodes_copy = m_copy($nodes);

# Add traffic of TEN34 to Frankfurt and traffic of ipgate to Frankfurt
# or Hannover depending on the processed month.
add_IP_TEN_F($nodes);

# Print the modified node tables (absolute and relative).
print "Berechnung mit internationalem Verkehr:\n\n";
print "Modifizierte Standortmatrix (+ATM_Oh/+Unknown/+IPgate&TEN34";
print "->Frankfurt) mit Verkehrsaufkommen für $ntbl_name (absolut):\n\n";
prnt_nodes($nodes, "abs", $tex_mode, qw(IPgate TEN34 Unknown));

# Print results on screen and to output files.
$total_traffic_int = sum_matrix($nodes, 2);
$regional_abs = calc_regional($nodes);
print "1: Gesamtverkehr: ",
sprintf("%.2f", $total_traffic_int), "\n";
print traf_intnat_abs $total_traffic_int, "\n";

print "2: Regionaler Verkehr: ",
sprintf("%.2f", $regional_abs), "\n";
```

```

print traf_intnat_regabs $regional_abs, "\n";

print "3: Überregionaler Verkehr: ",
sprintf("%.2f", $total_traffic_int - $regional_abs), "\n\n";
print traf_intnat_uerabs $total_traffic_int - $regional_abs, "\n";

print "Modifizierte Standortmatrix (+ATM_0h/+Unknown/+IPgate&TEN34->";
print "Frankfurt) mit Verkehrsaufkommen für $ntbl_name (relativ):\n\n";
prnt_nodes($nodes, "rel", $tex_mode, qw(IPgate TEN34 Unknown));
print "4: Regionaler Verkehr: ",
sprintf("%.2f", $regional_abs / $total_traffic_int * 100), "\n";
print traf_intnat_regrel $regional_abs / $total_traffic_int * 100, "\n";

print "5: Überregionaler Verkehr: ",
sprintf("%.2f", ($total_traffic_int - $regional_abs) /
$total_traffic_int * 100), "\n\n\n";
print traf_intnat_uerrel ($total_traffic_int - $regional_abs) /
$total_traffic_int * 100, "\n";

# Calculate and print trunc utilization for all 10 B-WiN nodes incl.
# international traffic.
tr_10nodes($nodes, $ntbl_name, $routes, $truncs_cap);

# Print maximum throughput on screen and to output file.
print "Grenzdurchsatz: ", sprintf("%.2f", $max_thp), "\n";
print max_thp_int $max_thp, "\n";
print "\n\n";

# Delete international traffic and print node matrices once more.
del_foreign($nodes_copy);

# Print the modified node tables (absolute and relative) for all 10
# B-WiN nodes without international traffic.
print "Berechnung ohne internationalen Verkehr:\n\n";
print "Modifizierte Standortmatrix (+ATM_0h/+Unknown) mit ";
print "Verkehrsaufkommen für $ntbl_name (absolut):\n\n";
prnt_nodes($nodes_copy, "abs", $tex_mode, qw(IPgate TEN34 Unknown));

# Print results on screen and to output files.
$total_traffic_nat = sum_matrix($nodes_copy, 2);
$regional_abs = calc_regional($nodes_copy);
print "6: Gesamtverkehr: ",
sprintf("%.2f", $total_traffic_nat), "\n";
print traf_nat_abs $total_traffic_nat, "\n";

print "7: Regionaler Verkehr: ",
sprintf("%.2f", $regional_abs), "\n";
print traf_nat_regabs $regional_abs, "\n";

```

```
print "8: Überregionaler Verkehr: ",
printf("%.2f", $total_traffic_nat - $regional_abs), "\n\n";
print traf_nat_uerabs $total_traffic_nat - $regional_abs, "\n";

print "Modifizierte Standortmatrix (+ATM_0h/+Unknown) mit ";
print "Verkehrsaufkommen für $ntbl_name (relativ):\n\n";
prnt_nodes($nodes_copy, "rel", $tex_mode, qw(IPgate TEN34 Unknown));
print "9: Regionaler Verkehr: ",
printf("%.2f", $regional_abs / $total_traffic_nat * 100), "\n";
print traf_nat_regrel $regional_abs / $total_traffic_nat * 100, "\n";

print "10: Überregionaler Verkehr: ",
printf("%.2f", ($total_traffic_nat - $regional_abs) /
$total_traffic_nat * 100), "\n\n\n";
print traf_nat_uerrel ($total_traffic_nat - $regional_abs) /
    $total_traffic_nat * 100, "\n";

tr_10nodes($nodes_copy, $ntbl_name, $routes, $truncs_cap);

# Print maximum throughput on screen and to output file.
print "Grenzdurchsatz: ", printf("%.2f", $max_thp), "\n";
print max_thp_nat $max_thp, "\n";
print "\n\n";

print "Abs. Anteil von nationalem / internationalem Verkehr am ";
print "Gesamtvolumen (GByte):\n\n";
print "11: Nationaler Anteil: ",
printf("%.2f", $total_traffic_nat), "\n";
print "12: Internationaler Anteil: ",
printf("%.2f", $total_traffic_int - $total_traffic_nat), "\n\n";
print traf_int_abs $total_traffic_int - $total_traffic_nat, "\n";

print "Rel. Anteil von nationalem / internationalem Verkehr am ";
print "Gesamtvolumen (%):\n\n";
print "13: Nationaler Anteil: ",
printf("%.2f", $total_traffic_nat / $total_traffic_int * 100), "\n";
print traf_nat_rel $total_traffic_nat / $total_traffic_int * 100, "\n";

print "14: Internationaler Anteil: ",
printf("%.2f", ($total_traffic_int - $total_traffic_nat) /
$total_traffic_int * 100), "\n";
print traf_int_rel ($total_traffic_int - $total_traffic_nat) /
    $total_traffic_int * 100, "\n";

# Calculate and print original (no ATM or AAL overhead!) node
# matrix estimated for March 2000.
if ($prog_mode)
{
    $nodes2000 = calc_nodes2000($nodes_orig, $volume2000);
```

```

        print "\n\nPrognostizierte Verkehrsmatrix fuer Maerz 2000:\n";
        print "(Basierend auf relativer Verkehrsmatrix von $ntbl_name ";
        print "und AR Lastprofil von 1997)\n\n";
        prnt_nodes($nodes2000, "abs", $tex_mode, "");
    }
}

# Close input files.
close(traf_intnat_abs);
close(traf_nat_abs);
close(traf_int_abs);

close(traf_nat_rel);
close(traf_int_rel);

close(traf_intnat_regabs);
close(traf_nat_regabs);
close(traf_intnat_regrel);
close(traf_nat_regrel);

close(traf_intnat_uerabs);
close(traf_nat_uerabs);
close(traf_intnat_uerrel);
close(traf_nat_uerrel);

close(max_thp_int);
close(max_thp_nat);

# -----
# -                               Definition of Subroutines                               -
# -----

# *****
# read_ntbl($path)
# Read node table from a file given by $path and return it together with the
# base name of the given input file in form of an array with each element
# (i, j) representing the amount of traffic in GByte transferred from node
# i to node j.
# *****
sub read_ntbl($)
{
    # Fetch the parameters.
    my ($path) = @_;

    # Local variables.
    my $node_name;
    my @date;
    my $line;

```

```
my $row;
my $col;
my @matrix;
my $element;

# Get base name of input file in order to return it as name of the
# node table which will be used for printing results.
if (substr($path, length($path) - 4, 4) eq ".tbl")
{
    $node_name = substr($path, 0, length($path) - 4);
}
else
{
    die "Node input file has wrong extension!";
}

# Open input file.
open(ntbl_FH, $path) || die "$!: $path";

# Read one line of the input file at a time.
$row = 0;
while(defined($line = <ntbl_FH>))
{
# Cut off newline.
chomp($line);

# Skip header lines starting with "#".
if (substr($line,0,1) ne "#")
{
    # Transform one line into a list.
    @fields = split(/\s+/, $line);

    # Eliminate spaces.
    @fields = grep { $_ ne /\s+/ } @fields;

    # Cut off first element (network node name).
    @fields = @fields[1..$#fields];

    # Write one row of the matrix.
    $col = 0;
    foreach $element (@fields)
    {
$matrix[$row][$col] = $element;
# print $matrix[$row][$col], " ";
$col++;
    }
#    print "\n";
    $row++;
}
}
```

```

}
}

# Close input file handle.
close(ntbl_FH);

# Return array reference to the read/extracted node matrix.
return (\@matrix, $node_name);
}

# *****
# read_rtbl($path)
# Read routing table from a file given by $path and return it in form of a
# list of references (rows) to lists of lists (columns).
# *****
sub read_rtbl()
{
    # Local variables.
    my $path;
    my $line;
    my @fields;
    my @matrix;

    # Open input file.
    if ($date[0] >= 1999 && $date[1] >= 3)
    {
        print "Verwende Routing von 1999_03:\n\n";
        $path = $routing_path . "routing99_03.tbl";
    }
    else
    {
        print "Verwende Routing von 1997_02:\n\n";
        $path = $routing_path . "routing97_9902.tbl";
    }
    open(rtbl_FH, $path) || die "$!: $path";

    # Read one line of the input file at a time.
    while(defined($line = <rtbl_FH>))
    {
# Cut off newline.
chomp($line);

# Skip header lines starting with "#".
if (substr($line,0,1) ne "#")
{
    # Transform one line into a list.
    @fields = split(/:/, $line);

```

```
# Eliminate spaces.
@fields = grep { $_ ne /\s+/ } @fields;

# Cut off first element (network node name).
@fields = @fields[1..$#fields];

# Make list of references to lists of lists.
push(@matrix, [ map { [ split(/,/ , $_) ] } @fields ] );
}
}

# Close input file handle.
close(rtbl_FH);

# Return list reference to the read/extracted list-matrix.
return \@matrix;
}

# *****
# read_ttbl($path)
# Read table of trunc line capacities from a file given by $path and return
# it in form of an array with each element (i, j) representing the capacity
# of the connection from node i to node j. These elements are 0 when no
# connection between i and j exists.
# *****
sub read_ttbl($)
{
    # Fetch the parameters.
    my ($path) = @_;

    # Local variables.
    my $line;
    my $row;
    my $col;
    my @matrix;
    my $element;

    # Build name of trunc capacity input file from name of node table.
    $path = "./Trunc_Capacities/truncs_cap_" . $path;
    if (substr($path, length($path) - 4, 4) ne ".tbl")
    {
        die "Trunc capacity input file has wrong extension!";
    }

    # Open input file.
    open(ttbl_FH, $path) || die "$!: $path";
}
```

```

# Read one line of the input file at a time.
$row = 0;
while(defined($line = <ttbl_FH>))
{
    # Cut off newline.
    chomp($line);

    # Skip header lines starting with "#".
    if (substr($line,0,1) ne "#")
    {
# Transform one line into a list.
@fields = split(/\s+/, $line);

# Eliminate spaces.
@fields = grep { $_ ne /\s+/ } @fields;

# Cut off first element (network node name).
@fields = @fields[1..$#fields];

# Write one row of the matrix.
$col = 0;
foreach $element (@fields)
{
    $matrix[$row][$col] = $element;
    # print $matrix[$row][$col], " ";
    $col++;
}
# print "\n";
$row++;
    }
}

# Close input file handle.
close(ttbl_FH);

# Return array reference to the read/extracted node matrix.
return (\@matrix);
}

# *****
# calc_truncs($nodes, $route)
# Calculate the utilization of the trunc lines that connect the network
# nodes given as reference in $nodes by applying the routing given in
# $route.
# *****
sub calc_truncs($$)
{

```

```
# Fetch the parameters.
my ($nodes, $routes) = @_;

# Local variables.
my $max_row;
my $max_col;
my $row_nodes;
my $col_nodes;
my $row_routes;
my $col_routes;
my $truncs;
my @matrix;
my $i;
my $j;
my $k;
my $sum_row;
my $sum_col;

# Get dimension of node matrix
$max_row = $#{@{$nodes}} - 2;
$max_col = $#{@{$nodes}[0]} - 2;

# Initialize result matrix with 0s.
for($i=0; $i<=$max_row + 1; $i++)
{
for($j=0; $j<=$max_col + 1; $j++)
{
    $matrix[$i][$j] = 0;
}
}

# Calculate result matrix.
for($i=0; $i<=$max_row; $i++)
{
    $row_routes = @{$routes}[$i];
for($j=0; $j<=$max_col; $j++)
{
    $col_routes = @$row_routes[$j];
    @truncs = @$col_routes;
for($k=0; $k< $#truncs; $k++)
{
    # Calculate traffic only for non diagonal elements.
    if ($truncs[$k]-1 != $truncs[$k+1]-1)
    {
$matrix[$truncs[$k]-1][$truncs[$k+1]-1] =
    $matrix[$truncs[$k]-1][$truncs[$k+1]-1] +
    @{$nodes}[$i]->[$j];
    }
}
}
}
}
```

```

        # Set diagonal elements to 0.
        else
        {
$matrix[$truncs[$k]-1][$truncs[$k+1]-1] = 0;
        }
    }
}

# Calculate sums.
$matrix[$max_row][$max_col] = 0;
for($i=0; $i<=$max_row; $i++)
{
    $sum_row = 0;
    $sum_col = 0;
    for($j=0; $j<=$max_col; $j++)
    {
$sum_row += $matrix[$i]->[$j];
$sum_col += $matrix[$j]->[$i];
    }
    $matrix[$i]->[$max_col + 1] = $sum_row;
    $matrix[$max_row + 1]->[$i] = $sum_col;
    $matrix[$max_row + 1]->[$max_col + 1] += $sum_row;
}

# Return array reference to result matrix.
return \@matrix;
}

# *****
# prnt_truncs($truncs)
# Print the utilization matrix for the trunc lines given by the reference
# $truncs.
# *****
sub prnt_truncs($$)
{
    # Fetch the parameters.
    my ($truncs, $prnt_lim) = @_;

    # Local variables.
    my $max_row;
    my $max_col;
    my $i;
    my $j;
    my @names;
    my $text;
    my $element;

```

```

# Get dimension of trunc matrix.
$max_row = ${@{$truncs}};
$max_col = ${@{$truncs}[0]};

# Print no sums if trunc limits are printed.
if ($prnt_lim)
{
    $max_row -= 1;
    $max_col -= 1;
}

# Initialize @names with the names of the network nodes.
@names = qw(Berlin Frankfurt Hamburg Hannover IPgate Karlsruhe Koeln
Leipzig Muenchen Nuernberg Stuttgart Unknown Summe);

# Print no sums if trunc limits are printed.
if ($prnt_lim) { pop(@names); }

# Print line with names of the nodes, skipping "IPgate" and "Unknown".
$text = pack('A11');
foreach $element (@names)
{
if(($element eq "IPgate") || ($element eq "Unknown")) { next; }
if ($tex_mode)
{
    $text = $text . sprintf("%11s", $element . "&");
}
else
{
    $text = $text . sprintf("%11s", $element . "|");
    if ($element eq "Stuttgart" && !$prnt_lim) { $text .= "|"; }
}
}
if ($tex_mode)
{
    print "&" . substr($text, 0, length($text) - 1) . "\\\\" . "\n";
}
else
{
    print "$text\n";
}

# Underline the names.
if ($tex_mode)
{
    print "\\hline\n\\hline";
}
else

```

```

    {
        for($i=0; $i<length($text); $i++)
        {
print "-";
        }
    }
print "\n";

# Print the utilization matrix while skipping "IPgate" and "Unknown".
for($i=0; $i<=$max_row; $i++)
{
    if ($i == $max_row)
{
if ($tex_mode)
{
    print "\\hline";
}
else
{
    for($k=0; $k<length($text); $k++)
    {
        print "-";
    }
}
print "\n";
}

if (($names[$i] eq "IPgate") || ($names[$i] eq "Unknown")) { next; }
if ($tex_mode)
{
    print sprintf("%10s", $names[$i]), "&";
}
else
{
    print sprintf("%10s", $names[$i]), "|";
}

for ($j=0; $j<=$max_col; $j++)
{
    if (($names[$j] eq "IPgate") || ($names[$j] eq "Unknown")) { next; }
    if ($j == $max_col &! $tex_mode) { print "|"; }
    if (@{$struncs}[$i]->[$j] != 0)
    {
        print sprintf("%10.2f", @{$struncs}[$i]->[$j]);
    }
    else
    {
        print sprintf("%10s", "-- ");
    }
}
}

```

```

}
if ($tex_mode)
{
  if ($j != $max_col)
  {
    if ($j == $max_col-1 && $prnt_lim) { print "\\n\\hline"; }
    else
    {
print "&";
    }
  }
  else
  {
    print "\\n\\hline";
  }
}
else
{
  print "|";
}
}
print "\n";
}
print "\n";
}
}

```

```

# *****
# prnt_nodes($nodes, $prnt_mode, $tex_mode, @exceptions)
# Print the node matrix for the trunc lines given by the reference $nodes
# showing either relative or absolute amount of traffic transported between
# nodes depending on $prnt_mode = "rel" || "abs". In the list $exceptions
# the nodes for which no printing should be done can be specified by name.
# *****
sub prnt_nodes($$$$)
{
  # Fetch the parameters.
  my ($nodes, $prnt_mode, $tex_mode, @exceptions) = @_;

  # Local variables.
  my $sum;
  my $max_row;
  my $max_col;
  my $i;
  my $j;
  my $k;
  my @names;
  my $text;
  my $element;

```

```

# Get dimension of node matrix.
$max_row = $#{@{$nodes}};
$max_col = $#{@{$nodes}[0]};

# Get total amount of traffic.
$sum = @{$nodes}[$max_row]->[$max_col];

# Initialize @names with the names of the network nodes.
@names = qw(Berlin Frankfurt Hamburg Hannover IPgate Karlsruhe Koeln
Leipzig Muenchen Nuernberg Stuttgart TEN34 Unknown Summe);

# Print line with names of the nodes.
$text = pack('A11');
foreach $element (@names)
{
if (!grep(/$element/, @exceptions))
{
if ($tex_mode)
{
$text = $text . sprintf("%11s", $element . "&");
}
else
{
$text = $text . sprintf("%11s", $element . "|");
}
}
}
if ($element eq "Unknown" &! $tex_mode) { $text .= "|"; }
}
if ($tex_mode)
{
print "&" . substr($text, 0, length($text) - 1) . "\\\\" . "\n";
}
else
{
print "$text\n";
}

# Underline the names.
if ($tex_mode)
{
print "\\hline\n\\hline";
}
else
{
for($i=0; $i<length($text); $i++)
{

```

```
print "-";
    }
}
print "\n";

# Print the node matrix.
for($i=0; $i<=$max_row; $i++)
{
    # If actual column name is in @exceptions then skip column.
    if (grep(/$names[$i]/, @exceptions)) { next ; }

    # Print a line with "-" before the last row with the sums.
    if ($i == $max_row)
    {
if ($tex_mode)
{
    print "\\hline";
}
else
{
    for($k=0; $k<length($text); $k++)
    {
        print "-";
    }
}
print "\n";
    }

    # Print the node name as first element of a row.
    if ($tex_mode)
    {
print sprintf("%10s", $names[$i]), "&";
    }
    else
    {
print sprintf("%10s", $names[$i]), "|";
    }

    # Print the columns of one row of the node matrix.
    for($j=0; $j<=$max_col; $j++)
    {
# If actual row name is in @exceptions then skip row.
if (grep(/$names[$j]/, @exceptions)) { next ; }

# Print an extra "|" before the last column with the sums.
if ($j == $max_col &! $tex_mode) { print "|"; }

# Print the node values only if they aren't 0.
```

```

if(@{$nodes}[$i]->[$j] != 0)
{
    # Print node values either relative or absolute.
    if ($prnt_mode eq "rel")
    {
        print sprintf("%10.2f", @{$nodes}[$i]->[$j] / $sum * 100);
    }
    else
    {
        print sprintf("%10.2f", @{$nodes}[$i]->[$j]);
    }
}
else
{
    print sprintf("%10s", "-- ");
}
if ($tex_mode)
{
    if ($j != $max_col)
    {
        print "&";
    }
    else
    {
        print "\\ \\ \\n \\hline";
    }
}
else
{
    print "|";
}
    }
    print "\n";
}
print "\n";
}

# *****
# del_foreign(\$nodes)
# Delete traffic from and to foreign countries from node matrix.
# *****
sub del_foreign(\$)
{
    # Fetch the parameters.
    my ($nodes) = @_;

    # Local variables.
    my $max_row;

```

```
my $max_col;
my $ipgate;
my $TEN34;
my $i;
my $row;
my $col;
my $sum_row;
my $sum_col;

# Get dimension of node matrix.
$max_row = $#{@{$nodes}};
$max_col = $#{@{$nodes}[0]};

# Set rows and columns of ipgate and TEN34 to 0.
# These are rows 4 and 11 and columns 4 and 11 (counted from 0).
$ipgate = 4;
$TEN34 = 11;
for($i=0; $i<=$max_row; $i++)
{
    # Clear columns.
    @{$nodes}[$i]->[$ipgate] = 0;
    @{$nodes}[$i]->[$TEN34] = 0;

    # Clear rows.
    @{$nodes}[$ipgate]->[$i] = 0;
    @{$nodes}[$TEN34]->[$i] = 0;
}

# Update total sums.
@{$nodes}[$max_row]->[$max_col] = 0;
for($row=0; $row<=$max_row - 1; $row++)
{
    $sum_row = 0;
    $sum_col = 0;
    for($col=0; $col<=$max_col - 1; $col++)
    {
$sum_row += @{$nodes}[$row]->[$col];
$sum_col += @{$nodes}[$col]->[$row];
    }
    @{$nodes}[$row]->[$max_col] = $sum_row;
    @{$nodes}[$max_row]->[$row] = $sum_col;
    @{$nodes}[$max_row]->[$max_col] += $sum_row;
}
}

# *****
```

```

# calc_truncs_rel($truncs)
# Calculate the relative utilization matrix out of the absolute utilization
# given in $truncs.
# *****
sub calc_truncs_rel($)
{
    # Fetch the parameters.
    my ($truncs) = @_;

    # Local variables.
    my $max_row;
    my $max_col;
    my $i;
    my $j;
    my $sum;
    my @matrix;

    # Get dimension of trunc matrix.
    $max_row = ${@{$truncs}};
    $max_col = ${@{$truncs}[0]};

    # Initialize result matrix with 0s.
    for($i=0; $i<=$max_row; $i++)
    {
for($j=0; $j<=$max_col; $j++)
    {
        $matrix[$i][$j] = 0;
    }
    }

    # Sum up the amount of traffic carried on all trunc lines
    $sum = 0;
    for($i=0; $i<=$max_row - 1; $i++)
    {
for($j=0; $j<=$max_col - 1; $j++)
    {
        $sum += @{$truncs}[$i]->[$j];
    }
    }

    for($i=0; $i<=$max_row; $i++)
    {
for($j=0; $j<=$max_col; $j++)
    {
        $matrix[$i][$j] = @{$truncs}[$i]->[$j] / $sum * 100;
    }
    }
}

```

```

    # Return array reference to result matrix.
    return \@matrix;
}

# *****
# calc_truncs_lim($truncs_rel, $truncs_cap)
# Calculate the maximum throughput per trunc line from the rel. trunc line
# utilisation and the trunc capacities given in $truncs_rel and $truncs_cap.
# *****
sub calc_truncs_lim($$)
{
    # Fetch the parameters.
    my ($truncs_rel, $truncs_cap) = @_;

    # Local variables.
    my $max_row;
    my $max_col;
    my $i;
    my $j;
    my $sum;
    my @matrix;

    # Get dimension of trunc matrix.
    $max_row = $#{@{$truncs_rel}} - 1;
    $max_col = $#{@{$truncs_rel}[0]} - 1;

    # Initialize result matrix with 0s.
    for($i=0; $i<=$max_row + 1; $i++)
    {
        for($j=0; $j<=$max_col + 1; $j++)
        {
            $matrix[$i][$j] = 0;
        }
    }

    # Calculate maximum throughput: $truncs_cap[i,j] / $truncs_rel[i,j]
    for($i=0; $i<=$max_row; $i++)
    {
        for($j=0; $j<=$max_col; $j++)
        {
            if ((@{$truncs_cap}[$i]->[$j] != 0) && (@{$truncs_rel}[$i]->[$j] != 0))
            {
                $matrix[$i][$j] = @{$truncs_cap}[$i]->[$j] /
                    @{$truncs_rel}[$i]->[$j] * 100;
            }
        }
    }
}

```

```

    # Return array reference to result matrix.
    return \@matrix;
}

# *****
# sum_matrix($truncs, $cutoff)
# Calculate total amount of traffic transported.
# *****
sub sum_matrix($$)
{
    # Fetch the parameters.
    my ($truncs, $cutoff) = @_;

    # Local variables.
    my $max_row;
    my $max_col;
    my $i;
    my $j;
    my $sum;

    # Get dimension of trunc matrix.
    $max_row = ${@{$truncs}};
    $max_col = ${@{$truncs}}[0];

    # Sum up the amount of traffic carried on all trunc lines.
    $sum = 0;
    for($i=0; $i<=$max_row - $cutoff; $i++)
    {
for($j=0; $j<=$max_col - $cutoff; $j++)
    {
        # Don't add the diagonal elements.
        $sum += @{$truncs}[$i]->[$j];
    }
    }

    # Return array reference to result matrix.
    return $sum;
}

# *****
# calc_regional($nodes)
# Calculate the amount of regional / interregional traffic from the node
# matrix referenced by $nodes.
# *****

```

```
sub calc_regional($)  
{  
    # Fetch the parameters.  
    my ($nodes) = @_;  
  
    # Local variables.  
    my $max_row;  
    my $max_col;  
    my $i;  
    my $sum;  
  
    # Get dimension of node matrix.  
    $max_row = $#{@{$nodes}} - 1;  
  
    # Sum up the diagonal elements (= amount of regional traffic).  
    $sum = 0;  
    for($i=0; $i<=$max_row; $i++)  
    {  
        $sum += @{$nodes}[$i]->[$i];  
    }  
  
    # Return array reference to result matrix.  
    return $sum;  
}  
  
# *****  
# add_oh(\ $nodes, $percent)  
# For each node in the node matrix given by the reference \ $nodes increase  
# the sent and received traffic by $percent in order to take care of the  
# overhead introduced by ATM and AAL respectively.  
# *****  
sub add_oh(\ $$)  
{  
    # Fetch the parameters.  
    my ($nodes, $percent) = @_;  
  
    # Local variables.  
    my $row;  
    my $col;  
  
    # Increase each matrix entry by $percent.  
    foreach $row (@$nodes)  
    {  
        foreach $col (@$row)  
        {
```

```

    $col = $col * (1 + $percent / 100);
}
}

# *****
# add_unknown(\$nodes)
# Add the traffic from unknown senders to the node matrix given by \$nodes.
# *****
sub add_unknown(\$)
{
    # Fetch the parameters.
    my ($nodes) = @_;

    # Local variables.
    my $max_row;
    my $max_col;
    my $row;
    my $col;
    my $unk_unk;
    my $unk_rec;
    my $unk_snt;
    my $sum_row;
    my $unk_row;
    my $sum_col;
    my $unk_col;
    my $sum_total;
    my @matrix;

    # Get dimension of node matrix.
    $max_row = $#{@{$nodes}};
    $max_col = $#{@{$nodes}[0]};

    # Initialize temporary matrix with 0s.
    for($row=0; $row<=$max_row - 2; $row++)
    {
        for($col=0; $col<=$max_col - 2; $col++)
        {
            $matrix[$row][$col] = 0;
        }
    }

    #
    # Build temporary matrix for percentage of unknown traffic.
    #

```

```

# Some calculations for the spreading of traffic from unknown to unknown.
$sunk_unk = @{$nodes}[$max_row - 1]->[$max_col - 1];
$sum_total = @{$nodes}[$max_row]->[$max_col] -
              @{$nodes}[$max_row]->[$max_col - 1] -
              @{$nodes}[$max_row - 1]->[$max_col] + $sunk_unk;

# Calculation for received by unknown from known and sent by
# known to unknown.
for($row=0; $row<=$max_row - 2; $row++)
{
    # Calc sum of known (!) traffic sent per row.
    $sum_row = @{$nodes}[$row]->[$max_col];
    $sunk_row = @{$nodes}[$row]->[$max_col - 1];
    $sum_row -= $sunk_row;

for($col=0; $col<=$max_col - 2; $col++)
{
    # Calc sum of known (!) traffic received per column.
    $sum_col = @{$nodes}[$max_row]->[$col];
    $sunk_col = @{$nodes}[$max_row - 1]->[$col];
    $sum_col -= $sunk_col;

    if ($sum_row > 0 && $sum_col > 0 && $sum_total > 0)
    {
        $matrix[$row][$col] =
@{$nodes}[$row]->[$col] / $sum_row * $sunk_row +
@{$nodes}[$row]->[$col] / $sum_col * $sunk_col +
@{$nodes}[$row]->[$col] / $sum_total * $sunk_unk;
    }
}
}

# Add unknown traffic in temporary matrix to node matrix.
for($row=0; $row<=$max_row - 2; $row++)
{
for($col=0; $col<=$max_col - 2; $col++)
{
    @{$nodes}[$row]->[$col] += $matrix[$row][$col];
}
}

# Set unknown traffic in node matrix to 0 and update total sums.
for($row=0; $row<=$max_row - 1; $row++)
{
    for($col=0; $col<=$max_col - 1; $col++)
    {
@{$nodes}[$max_row - 1]->[$col] = 0;
@{$nodes}[$row]->[$max_col - 1] = 0;

```

```

    }
}

# Update total sums.
@{$nodes}[$max_row]->[$max_col] = 0;
for($row=0; $row<=$max_row - 1; $row++)
{
    $sum_row = 0;
    $sum_col = 0;
    for($col=0; $col<=$max_col - 1; $col++)
    {
$sum_row += @{$nodes}[$row]->[$col];
$sum_col += @{$nodes}[$col]->[$row];
    }
    @{$nodes}[$row]->[$max_col] = $sum_row;
    @{$nodes}[$max_row]->[$row] = $sum_col;
    @{$nodes}[$max_row]->[$max_col] += $sum_row;
}
}

# *****
# add_IP_TEN_F($nodes)
# Add the international traffic carried by the nodes IPgate and TEN34 to the
# nodes Frankfurt or Hannover.
# *****
sub add_IP_TEN_F(\$)
{
    # Fetch the parameters.
    my ($nodes) = @_;

    # Local variables.
    my $max_row;
    my $max_col;
    my $row;
    my $col;

    # Get dimension of node matrix.
    $max_row = $#{@{$nodes}};
    $max_col = $#{@{$nodes}[0]};

    if ($date[0] >= 99 && $date[1] >= 3)
    {
        # Add IPgate to Hannover.
        for($row=0; $row<=$max_row - 1; $row++)
        {
@{$nodes}[$row]->[$max_row - 10] += @{$nodes}[$row]->[$max_row - 9];
        }
    }
}

```

```

        for($row=0; $row<=$max_row - 1; $row++)
        {
@{$nodes}[$max_row - 10]->[$row] += @{$nodes}[$max_row - 9]->[$row];
        }
    }
    else
    {
        # Add IPgate to Frankfurt.
        for($row=0; $row<=$max_row - 1; $row++)
        {
@{$nodes}[$row]->[$max_row - 12] += @{$nodes}[$row]->[$max_row - 9];
        }
        for($row=0; $row<=$max_row - 1; $row++)
        {
@{$nodes}[$max_row - 12]->[$row] += @{$nodes}[$max_row - 9]->[$row];
        }
    }

    # Add TEN34 to Frankfurt.
    for($row=0; $row<=$max_row - 1; $row++)
    {
        @{$nodes}[$row]->[$max_row - 12] += @{$nodes}[$row]->[$max_row - 2];
    }
    for($row=0; $row<=$max_row - 1; $row++)
    {
        @{$nodes}[$max_row - 12]->[$row] += @{$nodes}[$max_row - 2]->[$row];
    }

    # Set IPgate/TEN34 traffic in node matrix to 0.
    for($row=0; $row<=$max_row - 1; $row++)
    {
        @{$nodes}[$row]->[$max_col - 2] = 0;
        @{$nodes}[$row]->[$max_col - 9] = 0;
        for($col=0; $col<=$max_col - 2; $col++)
        {
@{$nodes}[$max_row - 2]->[$col] = 0;
@{$nodes}[$max_row - 9]->[$col] = 0;
        }
    }

    # Update total sums.
    @{$nodes}[$max_row]->[$max_col] = 0;
    for($row=0; $row<=$max_row - 1; $row++)
    {
        $sum_row = 0;
        $sum_col = 0;
        for($col=0; $col<=$max_col - 1; $col++)
        {
$sum_row += @{$nodes}[$row]->[$col];

```

```

$sum_col += @{$nodes}[$col]->[$row];
    }
    @{$nodes}[$row]->[$max_col] = $sum_row;
    @{$nodes}[$max_row]->[$row] = $sum_col;
    @{$nodes}[$max_row]->[$max_col] += $sum_row;
}
}

# *****
# tr_10nodes($nodes, $routes)
# Calculate and print absolute and rel. amount of traffic transported on the
# trunks as well as absolute and rel. amount of regional and interregional
# traffic for all 10 network nodes in the B-WiN.
# *****
sub tr_10nodes($$$$)
{
    # Fetch the parameters.
    my ($nodes, $ntbl_name, $routes, $trunks_cap) = @_;

    # Local variables.
    my $trunks;
    my $sum;
    my $trunks_rel;
    my $trunks_lim;

    # Calculate utilization for each trunc line.
    $trunks = calc_trunks($nodes, $routes);

    # Calculate total amount of traffic transported.
    $sum = sum_matrix($trunks, 1);

    # Print absolute utilization of trunc lines.
    print "\nAuf den Trunkleitungen im Monat $ntbl_name transportiertes ";
    print "Volumen absolut (GBytes):\n\n";
    prnt_trunks($trunks, 0);

    # Print amount of total / regional / interregional traffic (abs.).
    print "Volumen insgesamt: ",
    sprintf("%.2f", $sum), " GByte\n";

    # Print relative utilization of trunc lines.
    print "\nAuf den Trunkleitungen im Monat $ntbl_name transportiertes ";
    print "Volumen relativ (%):\n\n";
    $trunks_rel = calc_trunks_rel($trunks);
    prnt_trunks($trunks_rel, 0);

    # Print maximum throughput per trunc line.
    print "\nGrenzdurchsatz auf den einzelnen Trunkleitungen basierend ";

```

```

print "auf Monat $ntbl_name (Mb/s):\n\n";
$struncs_lim = calc_truncs_lim($struncs_rel, $struncs_cap);
prnt_truncs($struncs_lim, 1);

# Calculate absolute maximum throughput.
$max_thp = matrix_min_el($struncs_lim);
}

# *****
# matrix_min_el($struncs)
# Returns minimal value of matrix given in $struncs.
# *****
sub matrix_min_el($)
{
    # Fetch the parameters.
    my ($struncs) = @_;

    # Local variables.
    my $max_row;
    my $max_col;
    my $i;
    my $j;
    my $min;

    # Get dimension of trunc matrix.
    $max_row = ${@{$struncs}};
    $max_col = ${@{$struncs}[0]};

    # Evaluate minimum.
    $min = 1000000;
    for($i=0; $i<=$max_row; $i++)
    {
        for($j=0; $j<=$max_col; $j++)
        {
if (@{$struncs}[$i]->[$j] > 0 && @{$struncs}[$i]->[$j] < $min)
        {
            $min = @{$struncs}[$i]->[$j];
        }
        }
    }

    return $min;
}

# *****
# m_copy($matrix)

```

```

# Return a reference on a copy of the matrix given by the refernce in $matrix.
# *****
sub m_copy($)
{
    # Fetch the parameters.
    my ($matrix) = @_;

    # Local variables.
    my $max_row;
    my $max_col;
    my $row;
    my $col;
    my @ret_matrix;

    # Get dimension of matrix.
    $max_row = ${@{$matrix}};
    $max_col = ${@{$matrix}[0]};

    # Copy matrix.
    for($row=0; $row<=$max_row; $row++)
    {
        for($col=0; $col<=$max_col; $col++)
        {
            $ret_matrix[$row][$col] = @{$matrix}[$row]->[$col];
        }
    }

    return \@ret_matrix;
}

```

```

# *****
# calc_nodes2000($nodes, $volume2000)
# Calculate node matrix for March 2000 based on the given node matrix in
# $nodes and the estimated traffic volume for March 2000 in $volume2000.
# *****
sub calc_nodes2000(\$$)
{
    # Fetch the parameters.
    my ($nodes, $volume2000) = @_;

    # Local variables.
    my $max_row;
    my $max_col;
    my $row;
    my $col;
    my $sum;

```

```
my $sum_row;
my $sum_col;
my @ret_matrix;

# Get dimension of node matrix.
$max_row = $#{@{$nodes}};
$max_col = $#{@{$nodes}[0]};

# Get total amount of traffic.
$sum = @{$nodes}[$max_row]->[$max_col];

# Scale matrix $nodes into matrix for March2000.
for($row=0; $row<=$max_row-1; $row++)
{
    for($col=0; $col<=$max_col-1; $col++)
    {
$ret_matrix[$row][$col] = @{$nodes}[$row]->[$col]/$sum * $volume2000;
    }
}

# Update total sums.
$ret_matrix[$max_row]->[$max_col] = 0;
for($row=0; $row<=$max_row-1; $row++)
{
    $sum_row = 0;
    $sum_col = 0;
    for($col=0; $col<=$max_col-1; $col++)
    {
$sum_row += $ret_matrix[$row]->[$col];
$sum_col += $ret_matrix[$col]->[$row];
    }
    $ret_matrix[$row]->[$max_col] = $sum_row;
    $ret_matrix[$max_row]->[$row] = $sum_col;
    $ret_matrix[$max_row]->[$max_col] += $sum_row;
}

# Return array reference to result matrix.
return \@ret_matrix;
}
```

A.3 Auswerteroutinen in SPLUS

Wie in in Abschnitt A.1 bei der Beschreibung der Implementation des B-WiN Modells erläutert wurde, legt das Modell die während seiner Ausführung berechneten Ergebnisse in verschiedenen Ausgabedateien ab, um sie für eine spätere Weiterverarbeitung zur Verfügung zu stellen. Während des Projektverlaufs bestand die Aufgabe der Weiterverar-

beitung der Berechnungsergebnisse in deren Visualisierung sowie der Ableitung weiterer Ergebnisse. Zu diesem Zweck wurden mit Hilfe des Statistikpaketes SPLUS folgende Funktionen realisiert:

- `traf.plot()`
- `hvs.calc()`
- `prognose()`
- `forecast()`

Die Funktion `traf.plot()` dient dazu die zeitliche Entwicklung des monatlichen Lastvolumens für den Gesamtverkehr, den überregionalen Verkehr und den regionalen Verkehr jeweils für die Fälle mit und ohne Berücksichtigung von Auslandsverkehr grafisch darzustellen. Die von dieser Funktion erzeugten Grafiken wurden in Kapitel 2.5 verwendet um die Lastentwicklung der drei erwähnten Verkehrsanteile zu veranschaulichen. Im wesentlichen liest die Funktion dazu die vom B-WiN Modell erzeugten Ergebnisdateien in separate Vektoren ein und plottet einen oder mehrere dieser Vektoren als Zeitreihe in ein Diagramm auf dessen x-Achse die Zeit in Monaten und auf dessen y-Achse das Lastvolumen in GByte angetragen wird.

Mit Hilfe der Funktion `hvs.calc()` wurde in Abschnitt 2.4.3 das Verhältnis zwischen dem Durchsatz in der HVS und dem Durchsatz mittleren Tagesdurchsatz getrennt für Sende- und Empfangsrichtung sowie für beide Richtungen zusammen untersucht. Die Abbildung 2.6 dieses Abschnittes wurde mit Hilfe von `hvs.calc()` erzeugt. Als Eingabedatei wurde dafür die Tabelle A.1 verwendet, welche für jeden Tag des Monats Juli 1998 den mittleren Tagesdurchsatz in Sende- und Empfangsrichtung sowie die Durchsätze in den jeweiligen Hauptverkehrsstunden enthält. Die Arbeit der Funktion `hvs.calc()` besteht darin den mittleren Tagesdurchsatz und den mittleren Durchsatz in der HVS graphisch gegenüberzustellen sowie deren Verhältnis zu berechnen und auch dieses graphisch zu visualisieren.

Die Funktionen `prognose()` und `forecast()` dienen wie in Abschnitt 4.1 beschrieben dazu, ausgehend von den Lastprofilen für die traditionelle IP Verkehrslast der Jahre 1997 und 1998, eine Prognose der Lastentwicklung für den Zeitraum bis März 2000 zu erstellen. Zu diesem Zweck enthält die Funktion `forecast()` die entsprechenden monatlichen Steigerungsfaktoren dieser Jahre und liefert für die Eingabeparameter Startdurchsatz, Startmonat und Vorhersagezeitraum in Monaten die geschätzte Verkehrslast für jeden Monat des Vorhersagezeitraums. Dabei kann die Prognose auf Basis des Lastprofils aus 1997, des Lastprofils aus 1998, einem Mischprofil aus beiden Jahren, mittleren Steigerungsfaktoren aus 1997, mittleren Steigerungsfaktoren aus 1998 oder aus mittleren Steigerungsfaktoren beider Jahre erfolgen. Die Funktion `prognose()` stützt sich auf die Funktion `forecast()` ab und erzeugt ausgehend von März 1997 für alle Monate bis März 2000 Schätzungen der Verkehrslast, wobei alle erwähnten Lastprofilvariationen berechnet und anschließend graphisch dargestellt werden. Die Abbildung 4.2 aus Abschnitt 4.1 wurde mit der Funktion `prognose()` erstellt.

RX	TX	HVS RX	HVS TX
2523.59	1854.60	309.75	235
2483.75	1819.28	307.77	240
2330.76	1681.35	312.43	225
1810.53	1194.35	210.59	135
1827.81	1209.86	227.38	155
2412.65	1724.38	304.65	225
2449.50	1790.27	302.58	230
2464.21	1856.53	317.45	250
2447.31	1825.49	348.93	245
2352.51	1745.55	291.27	220
1862.63	1410.05	211.29	165
1865.26	1337.22	228.21	160
2414.46	1858.82	288.93	220
2455.59	1819.33	308.26	230
2438.26	1873.86	316.89	250
2489.82	1854.75	308.86	245
2505.36	1825.15	317.62	240
1903.77	1315.80	218.03	150
1806.91	1200.26	218.05	152
2391.34	1733.99	313.68	230
2364.28	1719.15	286.19	210
2399.67	1742.69	299.65	220
2370.56	1706.66	289.35	220
2312.38	1648.25	286.28	205
1720.85	1185.90	201.49	135
1740.44	1174.84	216.47	151
2378.91	1768.10	303.81	230
2476.34	1846.22	323.32	249
2453.60	1797.95	310.28	230
2426.53	1790.93	301.62	225
2289.72	1739.65	282.43	225

Tabelle A.1: Mittlere Tagesdurchsätze und mittlere HVS Durchsätze für Juli 1998.

A.4 SPLUS Quelltexte der Auswerteroutinen

A.4.1 traf.plot()

```
"traf.plot"<-
function(...)
{
#####
# Read the traffic data into vectors
# and generate a time series for each.
#####
first.month <- "03/01/97"
traf.int.abs <- cts(scan("../Results/traf_int_abs.erg"), start = dates(
first.month), units = "months")
traf.int.rel <- cts(scan("../Results/traf_int_rel.erg"), start = dates(
first.month), units = "months")
traf.intnat.abs <- cts(scan("../Results/traf_intnat_abs.erg"), start =
dates(first.month), units = "months")
traf.intnat.regabs <- cts(scan("../Results/traf_intnat_regabs.erg"),
start = dates(first.month), units = "months")
traf.intnat.regrel <- cts(scan("../Results/traf_intnat_regrel.erg"),
start = dates(first.month), units = "months")
traf.intnat.uerabs <- cts(scan("../Results/traf_intnat_uerabs.erg"),
start = dates(first.month), units = "months")
traf.intnat.uerrel <- cts(scan("../Results/traf_intnat_uerrel.erg"),
start = dates(first.month), units = "months")
traf.nat.abs <- cts(scan("../Results/traf_nat_abs.erg"), start = dates(
first.month), units = "months")
traf.nat.regabs <- cts(scan("../Results/traf_nat_regabs.erg"), start =
dates(first.month), units = "months")
traf.nat.regrel <- cts(scan("../Results/traf_nat_regrel.erg"), start =
dates(first.month), units = "months")
traf.nat.rel <- cts(scan("../Results/traf_nat_rel.erg"), start = dates(
first.month), units = "months")
traf.nat.uerabs <- cts(scan("../Results/traf_nat_uerabs.erg"), start =
dates(first.month), units = "months")
traf.nat.uerrel <- cts(scan("../Results/traf_nat_uerrel.erg"), start =
dates(first.month), units = "months")

#####
# Plot the traffic data.
#####
ts.plot(traf.intnat.abs, traf.int.abs, traf.nat.abs, type = "o", lty =
1:3, pch = 15, main =
"Entwicklung des Verkehrsaufkommens (absolut)", xlab =
"Zeit in Monaten", ylim = c(0, 200000), ylab =
"Volumen in GBytes")
legend(dates(first.month), 200000, c(
```

```

"Nationaler + Internationaler Verkehr",
"Internationaler Verkehr", "Nationaler Verkehr"), lty = 1:3)
printgraph(file = "traf_abs.ps")
ts.plot(traf.int.rel, traf.nat.rel, type = "o", lty = 1:2, pch = 15,
ylim = c(0, 100), main =
"Entwicklung des Verkehrsaufkommens (relativ)", xlab =
"Zeit in Monaten", ylab = "Volumen in %")
legend(dates(first.month), 100, c("Internationaler Verkehr",
"Nationaler Verkehr"), lty = 1:2)
printgraph(file = "traf_rel.ps")
ts.plot(traf.intnat.uerabs, traf.intnat.regabs, type = "o", lty = 1:2,
pch = 15, main =
"Ueberregionaler/Regionaler Verkehr (absolut) mit Auslandsverkehr",
xlab = "Zeit in Monaten", ylim = c(0, 200000), ylab =
"Volumen in GBytes", ...)
legend(dates(first.month), 200000, c("Ueberregionaler Verkehr",
"Regionaler Verkehr"), lty = 1:2)
printgraph(file = "traf_uerreg_abs.ps")
ts.plot(traf.intnat.uerrel, traf.intnat.regrel, type = "o", lty = 1:2,
pch = 15, ylim = c(0, 100), main =
"Ueberregionaler/Regionaler Verkehr (relativ) mit Auslandsverkehr",
xlab = "Zeit in Monaten", ylim = c(0, 100), ylab =
"Volumen in %")
legend(dates(first.month), 100, c("Ueberregionaler Verkehr",
"Regionaler Verkehr"), lty = 1:2)
printgraph(file = "traf_uerreg_rel.ps")
ts.plot(traf.nat.uerabs, traf.nat.regabs, type = "o", lty = 1:2, pch =
15, main =
"Ueberregionaler/Regionaler Verkehr (absolut) ohne Auslandsverkehr",
xlab = "Zeit in Monaten", ylim = c(0, 200000), ylab =
"Volumen in GBytes", ...)
legend(dates(first.month), 200000, c("Ueberregionaler Verkehr",
"Regionaler Verkehr"), lty = 1:2)
printgraph(file = "traf_natuerreg_abs.ps")
ts.plot(traf.nat.uerrel, traf.nat.regrel, type = "o", lty = 1:2, pch =
15, ylim = c(0, 100), main =
"Ueberregionaler/Regionaler Verkehr (relativ) ohne Auslandsverkehr",
xlab = "Zeit in Monaten", ylab = "Volumen in %")
legend(dates(first.month), 100, c("Ueberregionaler Verkehr",
"Regionaler Verkehr"), lty = 1:2)
printgraph(file = "traf_natuerreg_rel.ps")
}

```

A.4.2 hvs.calc()

```

"hvs.calc" <-
function()
{

```

```

### Read data.
hvs.sdat <- scan("juli98_hvs.txt", skip = 1, what = list(numeric(0),
numeric(0), numeric(0), numeric(0)))
### Calculate means and ratios.
rx.daymean <- (hvs.sdat[[1]] * 1024 * 8)/(24 * 3600)
rx.hvsmean <- hvs.sdat[[3]]
tx.daymean <- (hvs.sdat[[2]] * 1024 * 8)/(24 * 3600)
tx.hvsmean <- hvs.sdat[[4]]
rxtx.daymean <- rx.daymean + tx.daymean
rxtx.hvsmean <- rx.hvsmean + tx.hvsmean
rx.ratio <- rx.hvsmean/rx.daymean
tx.ratio <- tx.hvsmean/tx.daymean
rxtx.ratio <- rxtx.hvsmean/rxtx.daymean
### Plot graphs.
par(mfrow = c(3, 2))
ymax.thp <- max(rxtx.hvsmean)
ymax.ratio <- 2
xaxp = c(1, 31, 30)
xlab = "Tag"
### Transmit direction TX.
tsplot(tx.hvsmean, tx.daymean, type = "o", pch = 15, ylim = c(0,
ymax.thp), xaxp = xaxp, xlab = xlab, ylab = "Durchsatz [Mb/s]",
main = "Durchsaetze in Senderichtung")
legend(1, ymax.thp, c("Mittlerer HVS Durchsatz",
"Mittlerer Tagesdurchsatz"), lty = 1:2)
tsplot(tx.ratio, type = "o", pch = 15, ylim = c(0, ymax.ratio), xaxp =
xaxp, xlab = xlab, ylab = "Verhaeltnis", main =
"HVS Durchsatz / Tagesdurchsatz in Senderichtung")
r.mean <- mean(tx.ratio)
abline(r.mean, 0, lty = 3)
legend(1, ymax.ratio, paste("Mittelwert des Verhaeltnisses: ",
as.character(round(r.mean, 2))), lty = 3)
### Receive direction RX.
tsplot(rx.hvsmean, rx.daymean, type = "o", pch = 15, ylim = c(0,
ymax.thp), xaxp = xaxp, xlab = xlab, ylab = "Durchsatz [Mb/s]",
main = "Durchsaetze in Empfangsrichtung")
legend(1, ymax.thp, c("Mittlerer HVS Durchsatz",
"Mittlerer Tagesdurchsatz"), lty = 1:2)
tsplot(rx.ratio, type = "o", pch = 15, ylim = c(0, ymax.ratio), xaxp =
xaxp, xlab = xlab, ylab = "Verhaeltnis", main =
"HVS Durchsatz / Tagesdurchsatz in Empfangsrichtung")
r.mean <- mean(rx.ratio)
abline(r.mean, 0, lty = 3)
legend(1, ymax.ratio, paste("Mittelwert des Verhaeltnisses: ",
as.character(round(r.mean, 2))), lty = 3)
### Sum of transmit and receive direction.
tsplot(rxtx.hvsmean, rxtx.daymean, type = "o", pch = 15, ylim = c(
0, ymax.thp), xaxp = xaxp, xlab = xlab, ylab =
"Durchsatz [Mb/s]", main = "Gesamtdurchsatz")

```

```
legend(1, 100, c("Mittlerer HVS Durchsatz", "Mittlerer Tagesdurchsatz"),
lty = 1:2)
tsplot(rxtx.ratio, type = "o", pch = 15, ylim = c(0, ymax.ratio), xaxp
= xaxp, xlab = xlab, ylab = "Verhaeltnis", main =
"HVS Durchsatz / Tagesdurchsatz gesamt")
r.mean <- mean(rxtx.ratio)
abline(r.mean, 0, lty = 3)
legend(1, ymax.ratio, paste("Mittelwert des Verhaeltnisses: ",
as.character(round(r.mean, 2))), lty = 3)
printgraph(file = "hvs_thp.ps")
### Calculate volumes and percentage of HVS throughput
tx.vol <- hvs.sdat[[2]]
tx.hvsvol <- (tx.hvsmean * 3600)/8/1024
tx.ratio <- tx.hvsvol/tx.vol * 100
rx.vol <- hvs.sdat[[1]]
rx.hvsvol <- (rx.hvsmean * 3600)/8/1024
rx.ratio <- rx.hvsvol/rx.vol * 100
rxtx.vol <- rx.vol + tx.vol
rxtx.hvsvol <- (rxtx.hvsmean * 3600)/8/1024
rxtx.ratio <- rxtx.hvsvol/rxtx.vol * 100
### Plot graphs.
ymax.vol <- max(rxtx.vol) + 3000
ymax.ratio <- max(0, 10)
tsplot(tx.vol, tx.hvsvol, type = "o", pch = 15, xaxp = xaxp, ylim = c(
1, ymax.vol), xlab = xlab, ylab = "Volumen [Gbyte]", main =
"HVS Transportvolumen und Tagesvolumen in Senderichtung", log
= "y")
legend(1, 5, c("Tagesvolumen", "HVS Transportvolumen"), lty = 1:2)
tsplot(tx.ratio, type = "o", pch = 15, ylim = c(0, ymax.ratio), xaxp =
xaxp, xlab = xlab, ylab = "Anteil [%]", main =
"HVS Anteil am Tagesvolumen in Senderichtung")
r.mean <- mean(tx.ratio)
abline(r.mean, 0, lty = 3)
legend(1, 10, paste("Mittelwert des Volumenanteils: ", as.character(
round(r.mean, 2)), "%"), lty = 3)
tsplot(rx.vol, rx.hvsvol, type = "o", pch = 15, xaxp = xaxp, ylim = c(
1, ymax.vol), xlab = xlab, ylab = "Volumen [Gbyte]", main =
"HVS Transportvolumen und Tagesvolumen in Empfangsrichtung",
log = "y")
legend(1, 5, c("Tagesvolumen", "HVS Transportvolumen"), lty = 1:2)
tsplot(rx.ratio, type = "o", pch = 15, ylim = c(0, ymax.ratio), xaxp =
xaxp, xlab = xlab, ylab = "Anteil [%]", main =
"HVS Anteil am Tagesvolumen in Empfangsrichtung")
r.mean <- mean(rx.ratio)
abline(r.mean, 0, lty = 3)
legend(1, 10, paste("Mittelwert des Volumenanteils: ", as.character(
round(r.mean, 2)), "%"), lty = 3)
tsplot(rxtx.vol, rxtx.hvsvol, type = "o", pch = 15, xaxp = xaxp, ylim
= c(1, ymax.vol), xlab = xlab, ylab = "Volumen [Gbyte]", main
```

```

= "HVS Transportvolumen und Tagesvolumen gesamt", log = "y")
legend(1, 5, c("Tagesvolumen", "HVS Transportvolumen"), lty = 1:2)
tsplot(rxtx.ratio, type = "o", pch = 15, ylim = c(0, ymax.ratio), xaxp
= xaxp, xlab = xlab, ylab = "Anteil [%]", main =
"HVS Anteil am Tagesvolumen gesamt")
r.mean <- mean(tx.ratio)
abline(r.mean, 0, lty = 3)
legend(1, 10, paste("Mittelwert des Volumenanteils: ", as.character(
round(r.mean, 2))), "%"), lty = 3)
printgraph(file = "hvs_vol.ps")
invisible(par(mfrow = c(1, 3)))
}

```

A.4.3 prognose()

```

"prognose"<-
function()
{
first.month <- "03/01/97"
real.traf <- cts(scan("../Results/traf_intnat_abs.erg"),
start = dates(first.month), units = "months")
fc.97 <- cts(forecast(real.traf[1], 3, 36, what = "97"), start = dates(
first.month), units = "months")
fc.98 <- cts(forecast(real.traf[1], 3, 36, what = "98"), start = dates(
first.month), units = "months")
fc.9798 <- cts(forecast(real.traf[1], 3, 36, what = "9798"), start =
dates(first.month), units = "months")
fc.m97 <- cts(forecast(real.traf[1], 3, 36, what = "m97"), start =
dates(first.month), units = "months")
fc.m9798 <- cts(forecast(real.traf[1], 3, 36, what = "m9798"), start =
dates(first.month), units = "months")
fc.m98 <- cts(forecast(real.traf[1], 3, 36, what = "m98"), start =
dates(first.month), units = "months")
par(mfrow = c(2, 2))
xlab <- "Zeit in Monaten"
ylab <- "Volumen in GBytes"
cex <- 0.69999999999999996
ts.plot(real.traf, fc.97, xlab = xlab, ylab = ylab, main =
"Prognose bis Maerz 2000 mit Lastprofil 97", ylim = c(0, 350000
), type = "l", lty = 1:2, cex = cex)
panel.grid(-1, 0)
legend(dates(first.month), 350000, c("Gemessene Last",
"Prognostizierte Last"), lty = 1:2, cex = cex)
printgraph(file = "prognose1.ps")
ts.plot(real.traf, fc.98, xlab = xlab, ylab = ylab, main =
"Prognose bis Maerz 2000 mit Lastprofil 98", ylim = c(0, 350000
), type = "l", lty = 1:2, cex = cex)

```

```

panel.grid(-1, 0)
legend(dates(first.month), 350000, c("Gemessene Last",
"Prognostizierte Last"), lty = 1:2, cex = cex)
printgraph(file = "prognose2.ps")
ts.plot(real.traf, fc.9798, xlab = xlab, ylab = ylab, main =
"Prognose bis Maerz 2000 mit Lastprofil 97/98", ylim = c(0,
350000), type = "l", lty = 1:2, cex = cex)
panel.grid(-1, 0)
legend(dates(first.month), 350000, c("Gemessene Last",
"Prognostizierte Last"), lty = 1:2, cex = cex)
printgraph(file = "prognose3.ps")
ts.plot(real.traf, fc.m97, fc.m9798, fc.m98, xlab = xlab, ylab = ylab,
main = "Prognose bis Maerz 2000 mit mittl. monatl.\nWachstumsfaktoren",
ylim = c(0, 350000), type = "l", lty = 1:4, cex = cex)
panel.grid(-1, 0)
legend(dates(first.month), 350000, c("Gemessene Last",
"AR mittl. Faktor 97", "AR mittl. Faktor 97/98",
"AR mittl. Faktor 98"), lty = 1:4, cex = cex)
printgraph(file = "prognose4.ps")
par(mfrow = c(1, 1))
}

```

A.4.4 forecast()

```

"forecast"<-
function(thp.first, start.month, pred.months, what)
{
month.factor97 <- c(1.069188, 1.070796,
1.0371140000000001, 1.1345540000000001, 0.9812319999999999,
1.3281970000000001, 1.0352859999999999, 0.8989428999999999,
1.1384920000000001, 1.1644140000000001, 1.04281,
0.92659939999999996)
month.factor98 <- c(1.108339, 1.1778010000000001, 1.1823939999999999,
0.97195050000000005, 0.96410180000000001, 1.107883, 1.031466,
0.94150180000000006, 1.037946, 1.136336, 1.07172,
0.97141869999999997)
if(what == "97") {
month.factor <- month.factor97
}
if(what == "98") {
month.factor <- month.factor98
}
if(what == "9798") {
month.factor <- (month.factor97 * month.factor98)^(1/2)
}
if(what == "m97") {
month.factor <- rep(prod(month.factor97)^(1/length(month.factor97)), 12)
}
}

```

```
if(what == "m98") {
month.factor <- rep(prod(month.factor98)^(1/length(month.factor98)), 12)
}
if(what == "m9798") {
month.factor <- rep(prod(c(month.factor97, month.factor98))
^(1/(length(month.factor97) + length(month.factor98))), 12)
}
index.factor <- start.month + 1
index <- 1:pred.months
pred <- c()
thp.new <- thp.first
for(i in index) {
if(index.factor > 12) {
index.factor <- 1
}
thp.new <- thp.new * month.factor[index.factor]
pred <- c(pred, thp.new)
index.factor <- index.factor + 1
}
pred <- c(thp.first, pred)
pred
}
```

Literaturverzeichnis

- [ARMBRÜSTER & WIMMER, 1992] Armbrüster, H. and Wimmer, K. (1992). Broadband Multimedia Applications Using ATM Networks: High-Performance Computing, High-Capacity Storage, and High-Speed Communications. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 10(9):1382 – 1396.
- [BÖTTGER, 1998] Böttger, C. (1998). Elektronische Beratung. *iX*, 1:122 – 129.
- [BWiNLAB, 1998] BWiNLab (1998). Das B-WiN-Labor Erlangen.
URL: <http://www-win.rrze.uni-erlangen.de>.
- [DUNIGAN, 1996] Dunigan, T. H. (1996). Performance of ATM/OC-12 on the Intel Paragon. *Mathematical Sciences Section, Oak Ridge National Laboratory*.
- [FRANTZEN, 1997] Frantzen, D. (1997). Transportprotokolle für Multimedienwendungen mit Dienstgüteanforderungen. *PIK*, 20(4):199 – 208.
- [GEMSE97, 1997] Gemse97 (1997). Projektvorschlag: Gigabit Environment München-Stuttgart-Erlangen (Gemse).
- [GLEX99, 1999] GLex99 (1999). Gateway Online-Lexikon. <http://www.gateway.de>.
- [GOGL, 1998A] Gogl, H. (1998a). Data Acquisition and Data Analysis in ATM based Networks. Technischer Bericht, Institut für Informatik, Technische Universität München, Bericht zum Meilenstein 11 des Projekts „Verkehrsstatistiken und Anwendungsprofile in ATM-Netzen“ in Zusammenarbeit mit dem DFN-Verein und der Deutschen Telekom, Technisches Zentrum Darmstadt.
- [GOGL, 1998B] Gogl, H. (1998b). Traffic Statistics and Application Profiles in ATM Networks (final report). Technischer Bericht, Institut für Informatik, Technische Universität München, Bericht zum Meilenstein 12 des Projekts „Verkehrsstatistiken und Anwendungsprofile in ATM-Netzen“ in Zusammenarbeit mit dem DFN-Verein und der Deutschen Telekom, Technisches Zentrum Darmstadt.
- [HEISE99, 1999] Heise99 (1999). Heise-Online News. <http://www.ix.de>.
- [JESSEN, 1994] Jessen, E. (1994). Grobes Last- und Leistungsmodell für ein Hochgeschwindigkeits-Wissenschaftsnetz für den Verein zur Förderung eines Deutschen Forschungsnetzes e. V. Technischer Bericht, Institut für Informatik, Technische Universität München.
- [JESSEN, 1995] Jessen, E. (1995). Grobes Last- und Leistungsmodell für ein Hochgeschwindigkeits-Wissenschaftsnetz für den Verein zur Förderung eines Deutschen Forschungsnetzes e. V. Technischer Bericht, Institut für Informatik, Technische Universität München. Ergänzung zur Fassung vom 30.03.94.

- [JUNG & WARNECKE, 1998] Jung, V. and Warnecke, H.-J. (1998). *Handbuch für die Telekommunikation*. H.-J. Warnecke.
- [LRZ99, 1999] LRZ99 (1999). WWW-Server des LRZ. <http://www.lrz-muenchen.de>.
- [NIEDERBERGER, 1996] Niederberger, R. (1996). Schnelle Netze für das Metacomputing. Anspruch und Wirklichkeit im RTB-NRW. *Forschungszentrum Jülich, Zentralinstitut für Angewandte Mathematik*.
- [TAKEFUSA ET AL., 1997] Takefusa, A., Matsuoka, S., Ogawa, H., Nakada, H., Takagi, H., Sato, M., Sekiguchi, S., and Nagashima, U. (1997). Multi-client LAN/WAN Performance Analysis of Ninf: a High-Performance Global Computing System. Technischer Bericht, Ochanomizu University.
- [WANN & MON-WILLIAMS, 1996] Wann, J. and Mon-Williams, M. (1996). What Does Virtual Reality NEED?: Human Factors Issues in the Design of Three-Dimensional Computer Environments. *International Journal of Human-Computer Studies*, 44(6):829 – 847.
- [WRIGHT, 1992] Wright, D. J. (1992). Strategic Impact of Broadband Telecommunications in Insurance, Publishing, and Health Care. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 10(9):1369 – 1381.