

Informatik – Fachberichte

- Band 133: B. Freisleben, Mechanismen zur Synchronisation paralleler Prozesse. VIII, 357 Seiten. 1987.
- Band 134: Organisation und Betrieb der verteilten Datenverarbeitung. 7. GI-Fachgespräch, München, März 1987. Herausgegeben von F. Peischl. VIII, 219 Seiten. 1987.
- Band 135: A. Meier, Erweiterung relationaler Datenbanksysteme für technische Anwendungen. IV, 141 Seiten. 1987.
- Band 136: Datenbanksysteme in Büro, Technik und Wissenschaft. GI-Fachtagung, Darmstadt, April 1987. Proceedings. Herausgegeben von H.-J. Schek und G. Schlageter. XII, 491 Seiten. 1987.
- Band 137: D. Lienert, Die Konfigurierung modular aufgebauter Datenbanksysteme. IX, 214 Seiten. 1987.
- Band 138: R. Männer, Entwurf und Realisierung eines Multiprozessors. Das System „Heidelberger POLYP“. XI, 217 Seiten. 1987.
- Band 139: M. Marhöfer, Fehlerdiagnose für Schaltnetze aus Modulen mit partiell injektiven Pfadfunktionen. XIII, 172 Seiten. 1987.
- Band 140: H.-J. Wunderlich, Probabilistische Verfahren für den Test hochintegrierter Schaltungen. XII, 133 Seiten. 1987.
- Band 141: E. G. Schukat-Talamazzini, Generierung von Worthypothesen in kontinuierlicher Sprache. XI, 142 Seiten. 1987.
- Band 142: H.-J. Novak, Textgenerierung aus visuellen Daten: Beschreibungen von Straßenszenen. XII, 143 Seiten. 1987.
- Band 143: R. R. Wagner, R. Traunmüller, H. C. Mayr (Hrsg.), Informationsbedarfsermittlung und -analyse für den Entwurf von Informationssystemen. Fachtagung EMISA, Linz, Juli 1987. VIII, 257 Seiten. 1987.
- Band 144: H. Oberquelle, Sprachkonzepte für benutzergerechte Systeme. XI, 315 Seiten. 1987.
- Band 145: K. Rothermel, Kommunikationskonzepte für verteilte transaktionsorientierte Systeme. XI, 224 Seiten. 1987.
- Band 146: W. Damm, Entwurf und Verifikation mikroprogrammierter Rechnerarchitekturen. VIII, 327 Seiten. 1987.
- Band 147: F. Belli, W. Görke (Hrsg.), Fehlertolerierende Rechen-systeme / Fault-Tolerant Computing Systems. 3. Internationale GI/ITG/GMA-Fachtagung, Bremerhaven, September 1987. Proceedings. XI, 389 Seiten. 1987.
- Band 148: F. Puppe, Diagnostisches Problemlösen mit Expertensystemen. IX, 257 Seiten. 1987.
- Band 149: E. Paulus (Hrsg.), Mustererkennung 1987. 9. DAGM-Symposium, Braunschweig, Sept./Okt. 1987. Proceedings. XVII, 324 Seiten. 1987.
- Band 150: J. Halin (Hrsg.), Simulationstechnik. 4. Symposium, Zürich, September 1987. Proceedings. XIV, 690 Seiten. 1987.
- Band 151: E. Buchberger, J. Retti (Hrsg.), 3. Österreichische Artificial-Intelligence-Tagung. Wien, September 1987. Proceedings. VIII, 181 Seiten. 1987.
- Band 152: K. Morik (Ed.), GWAI-87. 11th German Workshop on Artificial Intelligence. Geseke, Sept./Okt. 1987. Proceedings. XI, 405 Seiten. 1987.
- Band 153: D. Meyer-Ebrecht (Hrsg.), ASST'87. 6. Aachener Symposium für Signaltheorie. Aachen, September 1987. Proceedings. XII, 390 Seiten. 1987.
- Band 154: U. Herzog, M. Paterok (Hrsg.), Messung, Modellierung und Bewertung von Rechen-systemen. 4. GI/ITG-Fachtagung, Erlangen, Sept./Okt. 1987. Proceedings. XI, 388 Seiten. 1987.
- Band 155: W. Brauer, W. Wahlster (Hrsg.), Wissensbasierte Systeme. 2. Internationaler GI-Kongreß, München, Oktober 1987. XIV, 432 Seiten. 1987.
- Band 156: M. Paul (Hrsg.), GI-17. Jahrestagung. Computerintelligenter Arbeitsplatz im Büro. München, Oktober 1987. Proceedings. XIII, 934 Seiten. 1987.
- Band 157: U. Mahn, Attributierte Grammatiken und Attributierungs-algorithmen. IX, 272 Seiten. 1988.
- Band 158: G. Cyranek, A. Kachru, H. Kaiser (Hrsg.), Informatik und „Dritte Welt“. X, 302 Seiten. 1988.
- Band 159: Th. Christaller, H.-W. Hein, M. M. Richter (Hrsg.), Künstliche Intelligenz. Frühjahrsschulen, Dassel, 1985 und 1986. VII, 342 Seiten. 1988.
- Band 160: H. Mäncher, Fehltolerante dezentrale Prozeßautomatisierung. XVI, 243 Seiten. 1987.
- Band 161: P. Peini, Synchronisation in zentralisierten Datenbanksystemen. XII, 227 Seiten. 1987.
- Band 162: H. Stoyan (Hrsg.), Begründungsverwaltung. Proceedings, 1986. VII, 153 Seiten. 1988.
- Band 163: H. Müller, Realistische Computergraphik. VII, 146 Seiten. 1988.
- Band 164: M. Eulenstein, Generierung portabler Compiler. X, 235 Seiten. 1988.
- Band 165: H.-U. Heiß, Überlast in Rechensystemen. IX, 176 Seiten. 1988.
- Band 166: K. Hörmann, Kollisionsfreie Bahnen für Industrieroboter. XI, 157 Seiten. 1988.
- Band 167: R. Lauber (Hrsg.), Prozeßrechensysteme '88. Stuttgart, März 1988. Proceedings. XIV, 799 Seiten. 1988.
- Band 168: U. Kastens, F. J. Rammig (Hrsg.), Architektur und Betrieb von Rechensystemen. 10. GI/ITG-Fachtagung, Paderborn, März 1988. Proceedings. IX, 405 Seiten. 1988.
- Band 169: G. Heyer, J. Krems, G. Görz (Hrsg.), Wissensarten und ihre Darstellung. VIII, 292 Seiten. 1988.
- Band 170: A. Jaeschke, B. Page (Hrsg.), Informatikanwendungen im Umweltbereich. 2. Symposium, Karlsruhe, 1987. Proceedings. X, 201 Seiten. 1988.
- Band 171: H. Lutterbach (Hrsg.), Non-Standard Datenbanken für Anwendungen der Graphischen Datenverarbeitung. GI-Fachgespräch, Dortmund, März 1988. Proceedings. VII, 183 Seiten. 1988.
- Band 172: G. Rahmstorf (Hrsg.), Wissensrepräsentation in Expertensystemen. Workshop, Herrenberg, März 1987. Proceedings. VII, 189 Seiten. 1988.
- Band 173: M. H. Schulz, Testmuster-generierung und Fehlersimulation in digitalen Schaltungen mit hoher Komplexität. IX, 165 Seiten. 1988.
- Band 174: A. Endrös, Rechtsprechung und Computer in den neun-ziger Jahren. XIX, 129 Seiten. 1988.
- Band 175: J. Hülsemann, Funktioneller Test der Auflösung von Zugriffskonflikten in Mehrrechnersystemen. X, 179 Seiten. 1988.
- Band 176: H. Trost (Hrsg.), 4. Österreichische Artificial-Intelligence-Tagung. Wien, August 1988. Proceedings. VIII, 207 Seiten. 1988.
- Band 177: L. Voelkel, J. Pliquett, Signaturanalyse. 223 Seiten. 1989.
- Band 178: H. Göttler, Graphgrammatiken in der Softwaretechnik. VIII, 244 Seiten. 1988.
- Band 179: W. Ameling (Hrsg.), Simulationstechnik. 5. Symposium. Aachen, September 1988. Proceedings. XIV, 538 Seiten. 1988.
- Band 180: H. Bunke, O. Kübler, P. Stucki (Hrsg.), Mustererkennung 1988. 10. DAGM-Symposium, Zürich, September 1988. Proceedings. XV, 361 Seiten. 1988.
- Band 181: W. Hoepfner (Hrsg.), Künstliche Intelligenz. GWAI-88, 12. Jahrestagung. Eringersfeld, September 1988. Proceedings. XII, 333 Seiten. 1988.
-

Informatik-Fachberichte 217

Herausgeber: W. Brauer
im Auftrag der Gesellschaft für Informatik (GI)

Martin Zieher

Kopplung von Rechnernetzen

Techniken zu Planung, Entwurf,
Vermessung und Leistungsoptimierung



Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York
London Paris Tokyo Hong Kong

Autor

Martin Zieher

Schönfeldstraße 5, D-7500 Karlsruhe 1

CR Subject Classification (1987): C.2.0-3, C.2.5, C.4

ISBN-13:978-3-540-51873-0 e-ISBN-13:978-3-642-75209-4

DOI: 10.1007/978-3-642-75209-4

CIP-Titelaufnahme der Deutschen Bibliothek.

Zieher, Martin: Kopplung von Rechnernetzen: Techniken zu Planung, Entwurf, Vermessung und Leistungsoptimierung / Martin Zieher. - Berlin; Heidelberg; New York; London; Paris; Tokyo: Springer, 1989

(Informatik-Fachberichte; 217)

ISBN-13:978-3-540-51873-0 (Berlin ...) brosch.

NE: GT

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der Fassung vom 24. Juni 1985 zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1989

Vorwort

Die Vergangenheit bei Rechnernetzen ist durch die Entwicklung und Normung verschiedenartiger Netztypen mit anwendungsspezifischen Eigenschaften sowohl bei *Lokalen Netzen* (LAN) als auch bei *Weitverkehrsnetzen* (WAN) gekennzeichnet.

Heute steht der Zusammenschluß beliebiger LAN und WAN zu einem sogenannten *Internetzwerk* im Mittelpunkt des Interesses und ist Gegenstand zahlreicher Forschungs- und Normungsaktivitäten (ECMA, IEEE, OSI). Dabei ergeben sich eine Fülle von Problemen bezüglich Architektur und Funktionalität sowie Leistungsfähigkeit und Stabilität eines Internetzwerks.

Dieses Buch gibt den Inhalt meiner im Februar 1989 von der Universität Karlsruhe angenommenen Dissertation mit dem Titel "Techniken zur Entwurfsplanung und Leistungsoptimierung heterogener Netzwerke" wieder. Sie befaßt sich sowohl mit Funktions- als auch mit Leistungsaspekten eines Internetzwerks und behandelt entwickelte Methoden und Werkzeuge für seine Planung, Entwurfsunterstützung, Leistungsanalyse und Optimierung. Das Buch beginnt mit einer zusammenfassenden Darstellung aller heute bekannten Techniken zur Kopplung von Netzen sowie bisher genormter Internetzwerkmodelle mit ihren verschiedenen Typen von Koppelsystemen, arbeitet ihre Eigenschaften heraus und gibt dem Netzwerkplaner Richtlinien für die optimale Auslegung eines Netzzusammenschlusses unter Berücksichtigung der Eigenschaften der zu verknüpfenden Teilnetze an die Hand. Danach folgt ein Überblick über heute bekannte Methoden und Werkzeuge zur Leistungsbewertung von Netzwerken, bei dem ihre Einsatzbereiche und -grenzen aufgezeigt sowie Anforderungen an zukünftige Werkzeuge zur Modellierung und Vermessung von Internetzwerken abgeleitet werden.

Als Hauptbestandteile der Dissertation werden das entwickelte und realisierte verteilte Leistungmeßsystem *NETMON* (NETwork MONitor) sowie das simulative Modellierungssystem *NETSIM* (NETwork SIMulator) behandelt. *NETMON* ist ein Werkzeug zur Vermessung, Funktions- und Leistungsanalyse realer Internetzwerke, *NETSIM* ein Werkzeug zur Entwurfsplanung und Leistungsprognose zukünftiger sowie zur Optimierung bereits realisierter Internetzwerke.

Abschließend wird eine Anwendungsmethodik für den kombinierten Einsatz der beiden Werkzeuge *NETMON* und *NETSIM* vorgestellt, und als exemplarisches Anwendungsbeispiel wird ihr Einsatz bei der Entwurfsplanung, Realisierung und Leistungsoptimierung eines prototypischen Internetzwerks aus gekoppelten LAN und WAN behandelt.

Die Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Telematik der Universität Karlsruhe im Rahmen des Kooperationsprojekts *HECTOR* (Heterogeneous Computers Together) zwischen der Universität Karlsruhe und der Firma IBM.

Dem Hauptbetreuer der Arbeit, Herrn Prof. Dr. O. Drobnik, sei an dieser Stelle mein besonderer Dank ausgesprochen für die vielen Diskussionen und wertvollen Anregungen, die wesentlich zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben.

Herrn Prof. Dr. G. Krüger sei zunächst für seine Tätigkeit als Korreferent und seine hilfreichen Ratschläge zur Gestaltung der Arbeit herzlich gedankt; vor allem aber hat er als

Leiter des Instituts für Telematik die Durchführung der Arbeit durch die Schaffung der dazu erforderlichen Rahmenbedingungen nachhaltig unterstützt.

Ebenfalls danken möchte ich den Projektmitarbeitern im IBM Forschungslabor Zürich für die sehr gute Zusammenarbeit und die vielen hilfreichen Diskussionen, namentlich den Herren Dr. W. Bux, D. Gantenbein, Dr. R. Hauser und Dr. E. Mumprecht sowie Frau Dr. L. Svobodova.

Auch gilt Herrn Dr. A. Lehmann und Frau Dr. H. Sczcebicka sowie den Studenten G. Recktenwald und A. Freiberg am Institut für Rechnerentwurf und Fehlertoleranz der Universität Karlsruhe mein Dank für die kollegiale Zusammenarbeit und Unterstützung bei der Anpassung von Teilen des dort entwickelten INT3-Systems an die Bedürfnisse der NETSIM-Benutzerschnittstelle.

Ganz besonders bedanken möchte ich mich schließlich noch bei allen Mitarbeitern des Instituts für Telematik für ihre kollegiale Hilfs- und Diskussionsbereitschaft sowie insbesondere allen Studenten, die zur Realisierung und Erprobung des prototypischen OSI-Transportsystems sowie der beiden Werkzeuge NETMON und NETSIM - oft weit über den Rahmen ihrer studentischen Arbeiten hinaus - ganz wesentlich beigetragen haben: O. Endriss, H. Greis, M. Hinsberger, S. Jauch, G. Klug, A. Nock, F. Roll, O. Rose, A. Schill, M. Steinbrunn und M. Zitterbart.

Karlsruhe, im Juni 1989

M. Zieher

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 1.1 | Typen von Netzen | 1 |
| 1.2 | Zusammenschluß von Netzen | 3 |
| 1.3 | Ziele der Arbeit | 5 |
| 1.4 | Gliederung der Arbeit | 5 |
| 2 | Kopplung und Leistungsbewertung von Netzen | 7 |
| 2.1 | Kopplung von Netzen | 7 |
| 2.1.1 | Geschichtete Kommunikationssysteme: OSI-RM | 7 |
| 2.1.2 | Architekturmodell einer Netzkopplung | 9 |
| 2.1.3 | Techniken zur Netzkopplung | 10 |
| 2.1.4 | Internetzwerk-Modelle | 12 |
| 2.1.5 | Protokollarchitekturen von OSI-Transportsystemen | 18 |
| 2.1.6 | Zusammenfassung | 21 |
| 2.2 | Leistungsbewertung von Netzen | 22 |
| 2.2.1 | Methoden zur Leistungsbewertung | 22 |
| 2.2.2 | Stand der Forschung | 26 |
| 2.2.3 | Anforderungen an zukünftige Werkzeuge | 35 |
| 3 | Paradigma für ein OSI-Transportsystem | 37 |
| 3.1 | Struktur und Komponenten | 37 |
| 3.2 | Realisierung | 38 |
| 3.2.1 | Architektur von Netzknoten | 38 |
| 3.2.2 | Repeater | 39 |
| 3.2.3 | MAC-Layer-Bridge | 40 |
| 3.2.4 | OSI-Gateway | 41 |
| 3.2.5 | Endsysteme | 46 |
| 3.3 | Zusammenfassung | 47 |
| 4 | Verteiltes Leistungsmeßsystem NETMON | 48 |
| 4.1 | Architektur und Komponenten | 48 |
| 4.1.1 | Entwurfskriterien | 48 |
| 4.1.2 | Struktur und Komponenten | 49 |
| 4.1.3 | Funktionsprinzipien | 51 |
| 4.2 | Realisierung | 52 |
| 4.2.1 | Monitor-Einheit | 53 |
| 4.2.2 | Laststeuerungs-Einheit | 55 |
| 4.2.3 | Kommunikations-Einheit | 56 |
| 4.2.4 | Steuerungs-Einheit | 56 |
| 4.2.5 | Auswertungs-Einheit | 58 |
| 4.3 | Kenngrößen | 61 |
| 4.3.1 | Leistungsfähigkeit | 61 |
| 4.3.2 | Meßfehler | 63 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 4.4 | Anwendungen | 64 |
| 4.4.1 | Voraussetzungen | 64 |
| 4.4.2 | Vermessung des HECTOR-TS | 65 |
| 4.5 | Zusammenfassung | 66 |
| 5 | Simulatives Modellierungssystem NETSIM | 68 |
| 5.1 | Architektur | 68 |
| 5.1.1 | Entwurfskriterien | 68 |
| 5.1.2 | Modellstruktur | 69 |
| 5.1.3 | Systemstruktur | 70 |
| 5.2 | Modellierung der Netzwerk-Komponenten | 72 |
| 5.2.1 | Endsysteme | 72 |
| 5.2.2 | Netze | 81 |
| 5.2.3 | Koppelsysteme | 83 |
| 5.3 | Vereinfachte Ersatzmodelle | 85 |
| 5.3.1 | Entwurfskriterien | 85 |
| 5.3.2 | Endsystem | 87 |
| 5.3.3 | Koppelsystem | 90 |
| 5.3.4 | Lokale Netze | 100 |
| 5.3.5 | Öffentliche Netze | 103 |
| 5.4 | Realisierung | 103 |
| 5.4.1 | Simulationspaket RESQ2 | 103 |
| 5.4.2 | Benutzerschnittstelle | 106 |
| 5.4.3 | Modelle der Datenbank | 115 |
| 5.4.4 | Kenngößen | 115 |
| 5.5 | Zusammenfassung | 117 |
| 6 | Anwendung von NETMON und NETSIM | 119 |
| 6.1 | Methodik der Anwendung | 119 |
| 6.1.1 | Auslegungsplanung | 119 |
| 6.1.2 | Entwurfsunterstützung | 120 |
| 6.1.3 | Implementierungstest | 121 |
| 6.1.4 | Leistungsanalyse und Optimierung | 121 |
| 6.2 | Planung | 122 |
| 6.2.1 | OSI-Transportprotokoll Klasse 4 | 123 |
| 6.2.2 | MAC-Protokolle | 128 |
| 6.3 | Entwurfsunterstützung | 133 |
| 6.3.1 | MAC-Layer-Bridge | 133 |
| 6.3.2 | OSI-Gateway: Dienstanpassungen | 137 |
| 6.4 | Implementierungstest | 145 |
| 6.5 | Leistungsanalyse und Optimierung | 146 |
| 6.5.1 | MAC-Layer-Bridge | 146 |
| 6.5.2 | OSI-Gateway | 150 |
| 7 | Zusammenfassung und Bewertung | 158 |
| 7.1 | Behandelter Problembereich | 158 |
| 7.2 | Problemlösungen | 159 |
| 7.2.1 | Richtlinien für den Netzzusammenschluß | 159 |
| 7.2.2 | Modellierungssystem NETSIM | 160 |
| 7.2.3 | Leistungsmeßsystem NETMON | 161 |
| 7.2.4 | Anwendungen | 162 |
| 7.3 | Ausblick | 163 |

| | | |
|----------|--|------------|
| A | Anhang | 165 |
| A.1 | RESQ-Symbolnotation | 166 |
| A.2 | RESQ-Modelle für Endsysteme | 167 |
| A.2.1 | Detailliertes Modell | 167 |
| A.2.2 | Vereinfachtes Ersatzmodell | 182 |
| A.3 | RESQ-Modelle für Lokale Netze | 184 |
| A.3.1 | IEEE-Token Ring | 184 |
| A.3.2 | FDDI-Token Ring | 189 |
| A.3.3 | Ethernet | 194 |
| A.4 | RESQ-Modelle für Koppelsysteme | 196 |
| A.4.1 | MAC-Layer-Bridge | 196 |
| A.4.2 | OSI-Gateway | 198 |
| A.4.3 | Vereinfachtes Ersatzmodell eines Koppelsystems | 200 |
| | Literaturverzeichnis | 202 |
| | Abkürzungen und Symbole | 213 |

Bildverzeichnis

| | | |
|----------|--|----|
| Bild 1. | ISO-Modell einer Schicht und deren Interaktionen | 8 |
| Bild 2. | Allgemeines Architekturmodell einer Netzkopplung | 10 |
| Bild 3. | Abbildung der Protokolldateneinheiten | 11 |
| Bild 4. | Abbildung der Dienstprimitive | 11 |
| Bild 5. | Einbettung von Protokolldateneinheiten | 12 |
| Bild 6. | OSI-Architekturmodell für den Netzzusammenschluß | 13 |
| Bild 7. | Erweiterung des OSI-Referenzmodells für lokale Netze | 16 |
| Bild 8. | Alternative OSI-Protokollarchitekturen zur Kopplung von LAN und WAN | 20 |
| Bild 9. | Methoden zur Leistungsbewertung | 22 |
| Bild 10. | Struktur und Komponenten des heterogenen Internetzwerks. | 38 |
| Bild 11. | Hardware-Struktur eines Netzwirknotens | 39 |
| Bild 12. | Struktur der MAC-Layer-Bridge zur Kopplung von zwei Token Ringen | 40 |
| Bild 13. | Struktur der Netzwirkdienst-Software im Gateway | 42 |
| Bild 14. | Pufferverwaltung der Netzwirkdienst-Software | 44 |
| Bild 15. | Struktur und Komponenten des Leistungsmeßsystems NETMON | 50 |
| Bild 16. | Funktionsprinzip des Monitoring | 51 |
| Bild 17. | Hard- und Softwarestruktur von NETMON-II | 53 |
| Bild 18. | Funktionale Struktur der Ereignis-Recorder-Hardware | 54 |
| Bild 19. | Struktur eines Ereignisrecords | 54 |
| Bild 20. | Funktionale Struktur der ZP-Karte | 55 |
| Bild 21. | Menü-Typen der NETMON-Benutzerschnittstelle und ihre Kopplung | 57 |
| Bild 22. | Histogramm bei einer Online-Auswertung | 58 |
| Bild 23. | Benutzeroberfläche der Online-Auswertung | 59 |
| Bild 24. | Auszug aus einer Ereignisliste | 60 |
| Bild 25. | Auszug aus einer Ereignispaarliste | 60 |
| Bild 26. | Kenngrößen der Monitorkomponente von NETMON | 62 |
| Bild 27. | Kenngrößen einer Laststeuereinheit bei NETMON | 63 |
| Bild 28. | Struktur des synthetischen Lastprogrammes SLP in Objektknoten | 65 |
| Bild 29. | Parametrisierung des synthetischen Lastprogrammes SLP für das Internetzwerkprotokoll | 66 |
| Bild 30. | Struktur eines abstrakten Netzwerkmodells | 69 |
| Bild 31. | Struktur und Komponenten des Modellierungssystems NETSIM | 70 |
| Bild 32. | Struktur eines Endsystems mit Funktionseinheiten | 72 |
| Bild 33. | Kontinuierliche und burstartige Ankunftsströme | 74 |
| Bild 34. | Modellierte Funktionen des OSI-Transportprotokolls Klasse 4 | 75 |
| Bild 35. | Modellierte Funktionen des verbindungslosen Internetzwerkprotokolls | 76 |
| Bild 36. | Modellierte Funktionen des Netzwirkzugriffs | 78 |
| Bild 37. | Struktur des CPU-Modells | 79 |
| Bild 38. | Funktionale Struktur eines LAN-Modells | 81 |
| Bild 39. | Funktionale Struktur eines WAN-Modells | 82 |
| Bild 40. | Struktur eines Bridge-Modells | 83 |
| Bild 41. | Struktur eines Gateway-Modells | 84 |
| Bild 42. | Vereinfachtes Ersatzmodell eines Endsystems | 87 |

| | | |
|----------|--|-----|
| Bild 43. | Ermittlung der Bearbeitungszeit T_b als Funktion der Nachrichtenlänge L | 90 |
| Bild 44. | Vereinfachtes Ersatzmodell eines Koppelsystems | 91 |
| Bild 45. | Meßanordnung zur Ermittlung der Modell-Parameter eines End- oder Koppelsystems | 93 |
| Bild 46. | Maximaler Durchsatz D_{max} eines Übertragungskanals als Funktion der Nachrichtenlänge L | 95 |
| Bild 47. | Einfluß der Kanalinterferenz auf Durchsatz (oberes Diagramm) und Durchlaufverzögerung (unteres Diagramm) eines Übertragungskanals | 97 |
| Bild 48. | Einfluß der Verlustbehandlung auf Durchsatz (oberes Diagramm) und Durchlaufverzögerung (unteres Diagramm) eines Übertragungskanals | 98 |
| Bild 49. | Zeitlicher Verlauf der Bedienung bei Überlast | 99 |
| Bild 50. | Struktur eines LAN-Ersatzmodells | 100 |
| Bild 51. | Nachbildung der Token-Steuerung beim IEEE-Token Ring | 102 |
| Bild 52. | Struktur des Simulationspakets RESQ2 | 105 |
| Bild 53. | Gestaltung der Benutzerschnittstelle | 106 |
| Bild 54. | Graphikgestützte Konfiguration eines Netzwerkmodells | 107 |
| Bild 55. | Graphische Symbole der RESQ-Spezifikationsprache SETUP | 108 |
| Bild 56. | Auszug aus der Parameter-Datei DEMO.PAR zur Modellkalibrierung | 110 |
| Bild 57. | Auszug aus der Array-Datei DEMO.ARR zur Modellkalibrierung | 111 |
| Bild 58. | Struktur der RESQ-Jobvariablen in der Definitionsdatei JVDEF.PAR | 112 |
| Bild 59. | Auszug aus der Datei DEMO.RQ2RPLY zur Simulationssteuerung | 113 |
| Bild 60. | Detaillierte Modelle der NETSIM-Modelldatenbank | 115 |
| Bild 61. | Anzahl von RESQ-Nodes zur Modellierung verschiedener Modellkomponenten | 116 |
| Bild 62. | Maximale Anzahl Stationen beim Demonstrationsmodell DEMO | 117 |
| Bild 63. | Netzkonfiguration für die Analyse des Transportprotokolls | 123 |
| Bild 64. | Durchsatz der Internetz-Transportverbindungen bei statischer und adaptiver Flußsteuerung und Fehlerbehandlung | 126 |
| Bild 65. | Prozentsatz der Nachrichtenverluste des Internetzverkehrs | 126 |
| Bild 66. | Grundstruktur von Token- und Daten-Frame | 128 |
| Bild 67. | Einfluß der maximalen Token-Umlaufzeit T_{TRT} auf den Durchsatz des FDDI-Ringes | 130 |
| Bild 68. | Verweilzeiten bei prioritätsgesteuertem IEEE-Token Ring | 131 |
| Bild 69. | Prioritätssteuerung beim FDDI-Ring anhand der Token-Haltezeit T_{HT} | 132 |
| Bild 70. | Verweilzeiten bei starren und adaptiven Intervallgrenzen | 133 |
| Bild 71. | Durchsatz und Nachrichtenverluste bei Variation des Empfangspuffers | 135 |
| Bild 72. | Nachrichtenverweilzeit und Pufferauslastung bei priorisierter Send- und Empfangsoperation | 136 |
| Bild 73. | Funktionsprinzip einer Dienstanpassung im HECTOR-TS | 138 |
| Bild 74. | Übertragungskosten einer Datex-L-Verbindung | 139 |
| Bild 75. | NETSIM-Konfiguration zur Analyse des Datagrammdienstes über dem X.21-Netz | 140 |
| Bild 76. | Durchsatz (THROUGHPUT: Kbit/s) und Verweilzeit (PA_DEL : Sekunden) des Datagrammdienstes als Funktion der Verbindungsaufbauzeit ($CONN_T$: Sekunden) des Netzes | 141 |
| Bild 77. | NETSIM-Konfiguration zur Untersuchung der X.25-Dienstanpassung | 143 |
| Bild 78. | Einfluß von Haltezeit und Kanalzahl bei der X.25-Dienstanpassung | 144 |
| Bild 79. | Durchsatz der Bridge bei Simplex- und Duplexbetrieb | 147 |
| Bild 80. | Analyse der Nachrichtenweiterleitung in der Bridge mit NETMON | 148 |
| Bild 81. | Bearbeitungszeit und Grenzdurchsatz von Nachrichten in der Bridge | 149 |
| Bild 82. | Bearbeitungszeit T_b und Grenzdurchsatz D_g von Nachrichten als Funktion der Nachrichtenlänge L in Bridge und Gateway | 150 |

| | |
|--|-----|
| Bild 83. Analyse der Nachrichtenweiterleitung im OSI-Gateway | 152 |
| Bild 84. Pufferkonfigurationen von Bild 85 | 154 |
| Bild 85. Einfluß der Pufferkonfiguration des Gateways | 155 |
| Bild 86. Effizienz von Optimierungsmaßnahmen beim OSI-Gateway anhand Durchsatz (MEAN_TP: KBytes/s) und Verweilzeit (MEAN_WT: ms) | 157 |
| Bild 87. Symbolnotation der RESQ-Nodes | 166 |
| Bild 88. Parameter der Funktionseinheit LAST | 167 |
| Bild 89. RESQ-Modellstruktur der Funktionseinheit LAST | 168 |
| Bild 90. Parameter der Funktionseinheit TP-4 | 169 |
| Bild 91. RESQ-Modellstruktur der Funktionseinheit TP-4 | 170 |
| Bild 92. Parameter der Funktionseinheit INP-CL | 171 |
| Bild 93. RESQ-Modellstruktur der Funktionseinheit INP-CL | 172 |
| Bild 94. Parameter der Funktionseinheit LLC-1 | 173 |
| Bild 95. RESQ-Modellstruktur der Funktionseinheit LLC-1 | 174 |
| Bild 96. Parameter der Funktionseinheit NETACC | 175 |
| Bild 97. RESQ-Modellstruktur der Funktionseinheit NETACC | 176 |
| Bild 98. Parameter der Funktionseinheit CPU | 177 |
| Bild 99. RESQ-Modellstruktur der Funktionseinheit CPU gemäß Nutzungsform NF1 | 178 |
| Bild 100. RESQ-Modellstruktur der Funktionseinheit CPU gemäß Nutzungsform NF2 | 179 |
| Bild 101. Parameter der Funktionseinheit AUSW | 180 |
| Bild 102. RESQ-Modellstruktur der Funktionseinheit AUSW | 181 |
| Bild 103. Parameter des vereinfachten Transport-Moduls TS | 182 |
| Bild 104. RESQ-Modellstruktur der Funktionseinheit TS für ein vereinfachtes Endsystem | 183 |
| Bild 105. Parameter eines IEEE-Token Ring-Modells | 184 |
| Bild 106. RESQ-Modellstruktur des detaillierten Modells für den IEEE-Token Ring | 185 |
| Bild 107. RESQ-Modellstruktur eines MAC-Moduls für den IEEE-Token Ring .. | 186 |
| Bild 108. Parameter eines vereinfachten IEEE-Token Ring-Modells | 187 |
| Bild 109. RESQ-Modellstruktur des Ersatzmodells für den IEEE-Token Ring ... | 188 |
| Bild 110. Parameter eines FDDI-Token Ring-Modells | 189 |
| Bild 111. RESQ-Modellstruktur des detaillierten Modells für den FDDI-Token Ring | 190 |
| Bild 112. RESQ-Modellstruktur des MAC-Moduls für den FDDI-Token Ring ... | 191 |
| Bild 113. Parameter eines vereinfachten FDDI-Token Ring-Modells | 192 |
| Bild 114. RESQ-Modellstruktur des Ersatzmodells für den FDDI-Token Ring ... | 193 |
| Bild 115. Parameter eines Ethernet-Modells | 194 |
| Bild 116. RESQ-Modellstruktur eines detaillierten Ethernet-Modells | 195 |
| Bild 117. Parameter eines detaillierten MAC-Bridge-Modells | 196 |
| Bild 118. RESQ-Modellstruktur des detaillierten Modells für eine MAC-Layer-Bridge | 197 |
| Bild 119. Parameter eines detaillierten OSI-Gateway-Modells zur Kopplung zweier LAN | 198 |
| Bild 120. RESQ-Modellstruktur des detaillierten Modells für ein OSI-Gateway ... | 199 |
| Bild 121. Parameter des vereinfachten Ersatzmodells für ein Koppelsystem | 200 |
| Bild 122. RESQ-Modellstruktur des Ersatzmodells für ein Koppelsystem | 201 |