



**Universität Stuttgart**

Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung

Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. P. J. Kühn

**71. Bericht über verkehrstheoretische Arbeiten**

**Verbindungslose Datenkommunikation  
über ATM-Weitverkehrsnetze:  
Architekturen, Protokolle  
und Verkehrsleistung**

von

**Uwe Briem**

1998

# Inhaltsverzeichnis

|   |             |
|---|-------------|
| <b>Inhaltsverzeichnis</b>   | <b>iv</b>   |
| <b>Abkürzungen</b>  | <b>ix</b>   |
| <b>Formelzeichen</b>  | <b>xiii</b> |
| <b>1 Einleitung</b>   | <b>1</b>    |
| <b>2 Datenkommunikation und Diensteintegration</b>                      | <b>5</b>    |
| 2.1 Grundlagen der Datenkommunikation . . . . .                         | 5           |
| 2.1.1 Datendienste . . . . .  | 5           |
| 2.1.1.1 Klassifizierung . . . . .                                       | 5           |
| 2.1.1.2 Charakteristik des Datenverkehrs . . . . .                      | 7           |
| 2.1.2 Verbindungskonzepte . . . . .                                     | 8           |
| 2.1.3 Vermittlungsprinzipien . . . . .                                  | 10          |
| 2.1.4 Protokollmodelle . . . . .  | 11          |
| 2.1.4.1 Basis-Referenzmodell . . . . .                                  | 11          |
| 2.1.4.2 TCP/IP-Protokollfamilie . . . . .                               | 13          |
| 2.1.5 Datenkommunikationsnetze . . . . .                                | 14          |
| 2.1.6 Verkehrsmanagement in heutigen Weitverkehrs-Datennetzen . . . . . | 16          |
| 2.2 Architektur und Protokolle des Breitband-ISDN . . . . .             | 16          |
| 2.2.1 Das ATM-Übermittlungsverfahren . . . . .                          | 17          |
| 2.2.1.1 Prinzip . . . . .   | 17          |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 2.2.1.2  | Konzept der virtuellen Pfade . . . . .                               | 18        |
| 2.2.2    | Protokoll-Referenzmodell . . . . .                                   | 19        |
| 2.2.2.1  | Bitübertragungsschicht . . . . .                                     | 20        |
| 2.2.2.2  | ATM-Schicht . . . . .  | 21        |
| 2.2.2.3  | ATM-Anpassungsschicht . . . . .                                      | 24        |
| 2.2.3    | Verkehrsmanagement in ATM-Netzen . . . . .                           | 27        |
| 2.2.3.1  | Zellverlustkontrolle . . . . .                                       | 29        |
| 2.2.3.2  | Quellflußkontrolle . . . . .   | 30        |
| 2.2.3.3  | Verbindungsannahme . . . . .   | 31        |
| 2.2.3.4  | Formung des Verkehrs . . . . .                                       | 32        |
| 2.2.3.5  | Schnelle Ressourcenzuteilung . . . . .                               | 33        |
| 2.2.3.6  | Explizite Überlastanzeige . . . . .                                  | 33        |
| 2.2.3.7  | Weitere Verfahren . . . . .  | 34        |
| <b>3</b> | <b>Verbindungslose Datenkommunikation über ATM-Weitverkehrsnetze</b> | <b>37</b> |
| 3.1      | Indirekte Unterstützung mittels Ende-zu-Ende Verbindungen . . . . .  | 37        |
| 3.1.1    | Prinzip . . . . .  | 37        |
| 3.1.2    | Protokolle und Datendienste . . . . .                                | 39        |
| 3.1.2.1  | LAN-Emulation . . . . .  | 39        |
| 3.1.2.2  | IP über ATM . . . . .  | 41        |
| 3.1.3    | Verkehrsmanagement . . . . .   | 42        |
| 3.2      | Direkte Unterstützung mittels Connectionless Server . . . . .        | 43        |
| 3.2.1    | Prinzip . . . . .  | 43        |
| 3.2.2    | Protokolle und Datendienste . . . . .                                | 45        |
| 3.2.3    | Connectionless Server . . . . .                                      | 46        |
| 3.2.3.1  | Funktionalität . . . . .   | 46        |
| 3.2.3.2  | Protokollmodell . . . . .  | 47        |
| 3.2.3.3  | Vermittlungskonzepte . . . . .                                       | 49        |
| 3.2.4    | Verkehrsmanagement . . . . .   | 50        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>4 Verkehrsmodellierung, Methoden zur Leistungsbewertung und Vergleichskriterien</b> | <b>52</b> |
| 4.1 Grundlagen der Wahrscheinlichkeitstheorie . . . . .                                | 53        |
| 4.1.1 Zufallsvariable . . . . .  | 53        |
| 4.1.2 Verteilung und Verteilungsfunktion . . . . .                                     | 53        |
| 4.1.3 Charakteristische Größen einer Verteilung . . . . .                              | 53        |
| 4.1.4 Spezielle Verteilungen . . . . .   | 54        |
| 4.2 Modellierung . . . . .   | 56        |
| 4.2.1 Modellierung von ATM-Datenverkehrsströmen . . . . .                              | 56        |
| 4.2.2 Modell des ATM-Netzes . . . . .  | 59        |
| 4.2.3 Analytische Modelle . . . . .  | 60        |
| 4.3 Methoden zur Leistungsbewertung . . . . .  | 61        |
| 4.3.1 Simulation . . . . .   | 61        |
| 4.3.2 Analytische Verfahren . . . . .  | 63        |
| 4.4 Vergleichskriterien . . . . .  | 65        |
| <b>5 Untersuchung des indirekten Ansatzes</b>  | <b>67</b> |
| 5.1 Klassifizierung der Verfahren zur Ressourcenzuteilung . . . . .                    | 67        |
| 5.2 Beschreibung und Realisierung der untersuchten Verfahren . . . . .                 | 73        |
| 5.2.1 Schnelle Bitratenreservierung . . . . .  | 73        |
| 5.2.1.1 Beschreibung . . . . .   | 73        |
| 5.2.1.2 Implementierungsaspekte . . . . .  | 75        |
| 5.2.2 Schnelle Pufferreservierung . . . . .  | 76        |
| 5.2.2.1 Beschreibung . . . . .   | 76        |
| 5.2.2.2 Implementierungsaspekte . . . . .  | 76        |
| 5.2.3 Ratenbasiertes ABR-Verfahren . . . . .   | 77        |
| 5.2.3.1 Beschreibung . . . . .   | 77        |
| 5.2.3.2 Implementierungsaspekte . . . . .  | 78        |
| 5.3 Modellierung und Analyse der untersuchten Verfahren . . . . .                      | 79        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 5.3.1    | Modell der ATM-Vermittlungsstelle . . . . .                          | 79         |
| 5.3.2    | Gesamtes Simulationsmodell . . . . .                                 | 80         |
| 5.3.3    | Analytische Untersuchungen . . . . .                                 | 83         |
| 5.3.3.1  | Analyse der schnellen Bitratenreservierung . . . . .                 | 83         |
| 5.3.3.2  | Analyse der schnellen Pufferreservierung . . . . .                   | 89         |
| 5.4      | Vergleichende Leistungsuntersuchung . . . . .                        | 95         |
| 5.4.1    | Wahl der Protokollparameter . . . . .                                | 96         |
| 5.4.2    | Verhalten unter verschiedenen Lastbedingungen . . . . .              | 100        |
| 5.4.3    | Einfluß der Netzparameter . . . . .                                  | 103        |
| 5.4.4    | Einfluß der Quellparameter . . . . .                                 | 105        |
| 5.5      | Bewertung der Verfahren . . . . .                                    | 107        |
| <b>6</b> | <b>Untersuchung des direkten Ansatzes</b>                            | <b>109</b> |
| 6.1      | Verkehrsmanagement innerhalb eines Connectionless Server . . . . .   | 109        |
| 6.2      | Mechanismen zum selektiven Verwerfen von Datenpaketen . . . . .      | 111        |
| 6.2.1    | Paketorientierte Vermittlung . . . . .                               | 111        |
| 6.2.2    | Zellorientierte Vermittlung . . . . .                                | 112        |
| 6.2.2.1  | Pufferreservierung auf Paketebene . . . . .                          | 114        |
| 6.2.2.2  | Bitratenreservierung auf Paketebene . . . . .                        | 114        |
| 6.2.2.3  | Belegungsschwellwerte . . . . .                                      | 116        |
| 6.3      | Modellierung des direkten Ansatzes . . . . .                         | 117        |
| 6.3.1    | Modell eines Connectionless Server . . . . .                         | 117        |
| 6.3.1.1  | Paketorientierte Vermittlung . . . . .                               | 118        |
| 6.3.1.2  | Zellorientierte Vermittlung . . . . .                                | 120        |
| 6.3.2    | Gesamtes Simulationsmodell . . . . .                                 | 120        |
| 6.4      | Vergleichende Leistungsbewertung . . . . .                           | 121        |
| 6.4.1    | Grundlegende Studien . . . . .                                       | 123        |
| 6.4.2    | Leistungsuntersuchung für kleine und mittlere Puffergrößen . . . . . | 126        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 6.4.2.1  | Normallastverhalten . . . . .  | 126        |
| 6.4.2.2  | Überlastverhalten . . . . .  | 128        |
| 6.4.2.3  | Pufferdimensionierung . . . . .  | 129        |
| 6.4.3    | Leistungsuntersuchung für große Puffer . . . . .   | 131        |
| 6.5      | Bewertung der Vermittlungskonzepte und Annahmemechanismen . . . . .  | 133        |
| <b>7</b> | <b>Zusammenfassung und Ausblick</b>  | <b>135</b> |
|          | <b>Literaturverzeichnis</b>  | <b>139</b> |
| <b>A</b> | <b>Berechnung verschiedener Größen bei schneller Bitratenreservierung</b>  | <b>152</b> |
| A.1      | Negativ-exponentiell verteilte Pausendauer . . . . .   | 152        |
| A.2      | Hyperexponentiell verteilte Pausendauer . . . . .  | 153        |
| <b>B</b> | <b>Berechnung verschiedener Größen bei schneller Pufferreservierung</b>  | <b>155</b> |
| B.1      | Mittlere Übertragungsdauer eines Datenbüschels im sendenden Netzzugangssystem bei idealer Übermittlung im ATM-Netz . . . . . | 155        |
| B.2      | Enderaten der Datenbüschelübertragungen in der ATM-Vermittlungsstelle . . . . .  | 156        |