

**Verkehrssteuerung in ATM-Netzen -
Untersuchung des Worst Case-Verkehrs
GCRA-konformer Zellströme**

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades

eines Doktor-Ingenieurs

des Fachbereichs Elektrotechnik

der FernUniversität-Gesamthochschule

in Hagen

von

PETER ROER

Hagen 1999

Eingereicht:	27. Januar 1999
Mündliche Prüfung:	20. April 1999
Hauptreferent:	Prof. Dr.-Ing. Firoz Kaderali
Korreferent:	Prof. Dr.-Ing. Ludwig Kittel

Berichte aus der Kommunikationstechnik
herausgegeben von Prof. Firoz Kaderali

Band 2

Peter Roer

**Verkehrssteuerung in ATM-Netzen -
Untersuchung des Worst Case-Verkehrs
GCRA-konformer Zellströme**

Shaker Verlag
Aachen 1999

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Roer, Peter:

Verkehrssteuerung in ATM-Netzen - Untersuchung des Worst Case-Verkehrs
GCRA-konformer Zellströme / Peter Roer.

- Als Ms. gedr. - Aachen : Shaker, 1999

(Berichte aus der Kommunikationstechnik herausgegeben
von Prof. Firoz Kaderali ; Bd. 2)

Zagl.: Hagen, Univ., Diss., 1999

ISBN 3-8265-6276-3

Copyright Shaker Verlag 1999

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen
oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungs-
anlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Als Manuskript gedruckt. Printed in Germany.

ISBN 3-8265-6276-3

ISSN 1437-7497

Shaker Verlag GmbH • Postfach 1290 • 52013 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Kommunikationssysteme des Fachbereichs Elektrotechnik der FernUniversität-Gesamthochschule in Hagen und am Forschungsinstitut für Telekommunikation (FTK).

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Firoz Kaderali für die Betreuung der Arbeit und die wertvollen Diskussionen und Anregungen. Herrn Prof. Dr.-Ing. Ludwig Kittel danke ich für die Übernahme des Korreferates und seine hilfreichen Hinweise.

Ferner bedanke ich mich bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Fachgebiets Kommunikationssysteme, die durch zahlreiche Diskussionen zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, insbesondere bei Oda Sans, Dagmar Sommer und Hagen Hagemann. Mein Dank gilt auch allen beteiligten studentischen Hilfskräften für die engagierte Unterstützung.

Hagen, im Mai 1999

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung und Übersicht	1
2 Grundlagen des ATM	4
2.1 Prinzip der Zellübermittlung in ATM-Netzen	4
2.2 ATM-Protokollreferenzmodell.....	8
2.3 Schnittstellen in ATM-Netzen	9
2.4 Dienste und Anwendungen im B-ISDN	11
2.5 Grundlagen des statistischen Multiplexens	13
3 Verkehrssteuerung in ATM-Netzen	17
3.1 Funktionen der Verkehrssteuerung in ATM-Netzen	17
3.2 Verkehrsvertrag	19
3.2.1 Verkehrsparameter.....	20
3.2.2 Dienstgüteparameter	22
3.3 Verkehrsparameterüberwachung	24
3.4 Dienstkategorien der ATM-Schicht.....	25
4 Der <i>Generic Cell Rate Algorithm</i> (GCRA)	28
4.1 Funktionsweise des GCRA	28
4.2 Definition von Verkehrsparametern mit dem GCRA	30
4.2.1 Definition der Spitzenzellrate <i>PCR</i>	31
4.2.2 Definition der <i>Sustainable Cell Rate SCR</i>	32
4.3 Konformitätsdefinitionen für die Dienstkategorien der ATM-Schicht	33
5 Leistungsbewertung und Dimensionierung des GCRA	34
5.1 Modellbildung	34
5.1.1 Modellierung des GCRA	35
5.1.2 Modellierung von Zellströmen mit variabler Zellrate	37
5.1.2.1 Stochastische ON/OFF-Modelle.....	38
5.1.2.2 Zeitdiskretes ON/OFF-Modell.....	39
5.1.2.3 Zeitkontinuierliches ON/OFF-Modell	41

5.2 Fluid Flow-Analyse des GCRA	45
5.2.1 Grundlagen der Fluid Flow-Analyse	45
5.2.2 Berechnung der Verletzungswahrscheinlichkeit	48
5.3 Weitere Methoden	50
5.3.1 Ereignisorientierte Simulation	50
5.3.2 Zeitdiskrete Analyse	50
5.4 Numerische Ergebnisse	51
5.4.1 Vergleich der Berechnungsmethoden	52
5.4.2 Einfluß der vorgeschlagenen Approximation	55
5.5 Dimensionierung des GCRA(T_S , τ_S)	58
5.6 Zusammenfassung	59
6 Worst Case-Verkehr GCRA-konformer Zellströme	60
6.1 Modell des ATM-Multiplexers mit GCRA-konformen Quellen	61
6.2 Quellenmodelle für GCRA-konformen Worst Case-Verkehr	64
6.3 Zeitdiskrete Analyse der Verlustwahrscheinlichkeit	69
6.3.1 Bisherige analytische Modelle	69
6.3.2 Grundlegende Annahmen im zeitdiskreten Modell	71
6.3.3 Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit mit kombinatorischen Methoden	74
6.3.4 Einige Spezialfälle	74
6.4 Zusammenfassung	81
7 Simulation eines ATM-Multiplexers mit GCRA-konformen Worst Case-Quellen	83
7.1 Simulationemethode bei periodischen Quellen	84
7.2 Homogene periodische ON/OFF-Quellen	86
7.3 Homogene periodische Quellen mit drei Zuständen	95
7.3.1 Vergleich mit periodischen ON/OFF-Quellen	96
7.3.2 Varianten der periodischen Quellen mit drei Zuständen	102
7.3.3 Vergleich der Verlustwahrscheinlichkeit und der komplementären Pufferfüllstandsverteilungsfunktion	103

7.4 Homogene periodische Quellen mit vier Zuständen	106
7.5 Heterogene Worst Case-Quellen	113
7.6 Zusammenfassung	116
8 Worst Case-Verkehr des GCRA bei Berücksichtigung einer CDV-Toleranz.....	118
8.1 Modellierung des Worst Case-Verkehrs	118
8.1.1 Modelle für Quellen mit konstanter Zellrate	119
8.1.2 Modelle für Quellen mit variabler Zellrate.....	120
8.2 Berechnung der Puffergrenze für Verlustfreiheit	125
8.3 Simulation des ATM-Multiplexers mit unabhängigen Quellen	130
8.3.1 Vergleich der verschiedenen Quellenmodelle	130
8.3.2 Einfluß der Quellparameter	136
8.4 Zusammenfassung	139
9 Zusammenfassung.....	141
10 Literaturverzeichnis	145
Anhang A: Eigenschaften der verwendeten Verteilungsfunktionen.....	154
Anhang B: Zwischenankunftszeitverteilung des zeitdiskreten ON/OFF-Modells	155
Anhang C: Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit des ATM- Multiplexers durch vollständiges Abzählen aller Verluste.....	156
Anhang D: Zur Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit bei einer Puffergröße von B_0-1 Zellen (Abschnitt 6.3.4)	159
Anhang E: Startzeitpunkt des letzten Bursts im Modell C	164

Abkürzungsverzeichnis

AAL	ATM Adaptation Layer
ABR	Available Bit Rate
ABT/DT	ATM Block Transfer / Delayed Transmission
ABT/IT	ATM Block Transfer / Immediate Transmission
ACR	Average Cell Rate
AF	Arrival First
ATM	Asynchronous Transfer Mode
<i>b</i>	Burstiness einer Quelle
B-ICI	B-ISDN Inter Carrier Interface
BCR	Block Cell Rate
B-ISDN	Broadband Integrated Services Digital Network
B-NT	Network Termination for B-ISDN
B-TA	Terminal Adaptor for B-ISDN
B-TE	Terminal Equipment for B-ISDN
CAC	Connection Admission Control
CBR	Constant Bit Rate
CCITT	Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique
CDV	Cell Delay Variation
CDVT	Cell Delay Variation Tolerance
CEQ	Customer Equipment
CER	Cell Error Ratio
CLP	Cell Loss Priority
CLR	Cell Loss Ratio
CMR	Cell Misinsertion Rate
CRC	Cyclic Redundancy Check
CTD	Cell Transfer Delay
D	Deterministic
DBR	Deterministic Bit Rate
DF	Departure First
FIFO	First In First Out
G	General
GCRA	Generic Cell Rate Algorithm
GFC	Generic Flow Control

GI	General Independent
HEC	Header Error Control
IBT	Intrinsic Burst Tolerance
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISO	International Organization for Standardization
ITU-T	International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector
LCT	Last Conformance Time
L_b	mittlere Burstlänge
LR	Link Rate
M	Markoff
maxCTD	Maximum Cell Transfer Delay
MBS	Maximum Burst Size
MCR	Minimal Cell Rate
MMDP	Markoff modulierter deterministischer Prozeß
MUX	Multiplexer
NNI	Network-Node Interface
NPC	Network Parameter Control
OAM	Operation and Maintenance
OSI	Open System Interconnection
PC	Priority Control
PCR	Peak Cell Rate
PM	Physical Medium
PNNI	Private Network Network Interface
PT	Payload Type
QoS	Quality of Service
SAR	Segmentation and Reassembly
SBR	Statistical Bit Rate
SCR	Sustainable Cell Rate
SECBR	Severely Errored Cell Block Ratio
TA	Terminal Adaptor
TAT	Theoretical Arrival Time
TC	Transmission Convergence
TE	Terminal Equipment
T_p	auf die Zelldauer normierter Zellabstand bei der Spitzenzellrate PCR

T_{PCR}	Zellabstand bei der Spitzenzellrate PCR
T_S	auf die Zelldauer normierter Zellabstand bei der Sustainable Cell Rate SCR
T_{SCR}	Zellabstand bei der Sustainable Cell Rate SCR
UBR	Unspecified Bit Rate
UNI	User Network Interface
UPC	Usage Parameter Control
VBR	Variable Bit Rate
VBR-nrt	Variable Bit Rate - non real time
VBR-rt	Variable Bit Rate - real time
VCI	Virtual Channel Identifier
VPI	Virtual Path Identifier