

Digitale KommunikationssystemeKlausur am 26.6.2000, 8.00 Uhr - 10.00 Uhr
Prof. Dr.-Ing. D. Wermser

Punkte:

Note:

Name: _____

Vorname: _____

Matr.-Nr.: _____

Anzahl der abgegebenen Blätter:

+ 10 Aufgabenblätter
(inkl. Anhang)

Für die Klausur sind außer einem Taschenrechner keine Unterlagen oder Hilfsmittel zugelassen. Bitte jedes Blatt mit Namen und Nummer der bearbeiteten Aufgabe kennzeichnen.

Blätter ohne Namensangabe können nicht gewertet werden !**Vorbemerkung zu allen Aufgaben:**

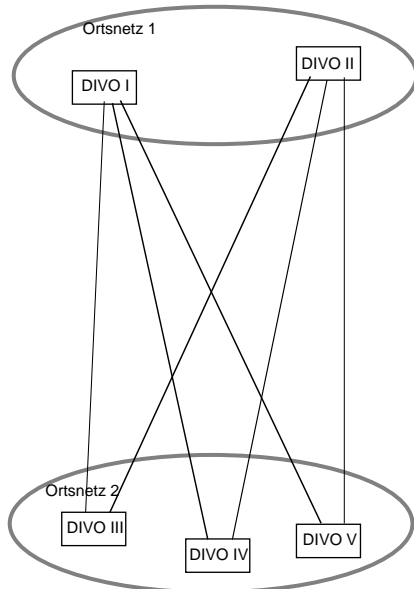
Soweit in Aufgaben auf konkrete Kommunikationssysteme (wie z.B. ISDN, GSM, DQDB oder Ethernet) eingegangen wird, ist es nicht erforderlich exakt die spezifisch für diese Systeme definierten Begriffe zu verwenden. Andere von Ihnen gewählte Begriffe, die die entsprechenden Vorgänge, Mechanismen, Funktionen etc. eindeutig beschreiben, sind ebenso zulässig.

1. Eine gedächtnislose Nachrichtenquelle erzeuge die nachfolgenden Symbole mit den angegebenen Symbolwahrscheinlichkeiten:

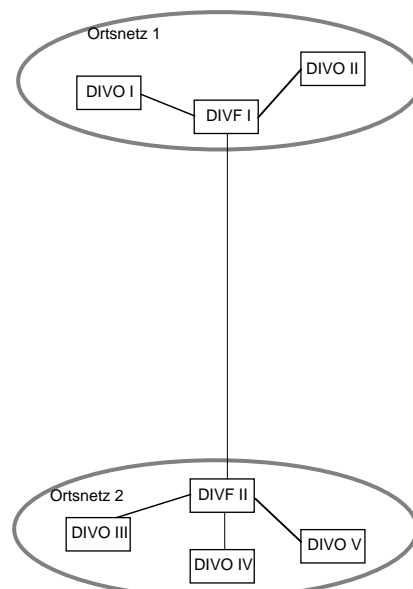
| Symbol | b_0 | b_1 | b_2 | b_3 | b_4 | b_5 | b_6 | b_7 | b_8 |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Symbol-wahrscheinlichkeit | 0,009 | 0,4 | 0,001 | 0,05 | 0,04 | 0,26 | 0,12 | 0,04 | 0,08 |
| Codewörter (Huffman-Code) | | | | | | | | | |

- a.) Bestimmen Sie einen Huffman-Code für diese Quelle.
- b.) Bestimmen Sie die mittlere Codewortlänge, die sich nach Anwendung des von Ihnen bestimmten Huffman-Codes auf die Quelle ergibt.
2. Wodurch ist es bei sogenannten "Intelligenten Netzen" den (ISDN-)Vermittlungssystemen möglich, nicht-geografische Rufnummern (z.B. 0800-er Dienste) zu bedienen ?
- Bitte beschreiben Sie stichwortartig den prinzipiellen Ablauf beim Rufaufbau für diese Art von Rufnummern.

3. Unten sind zwei Alternativen für die Verbindung von zwei Ortsnetzen dargestellt, von denen eines zwei und das andere drei DIVOs hat:



Alternative A



Alternative B

Die Verbindungen innerhalb der Ortsnetze (zwischen DIVOs bzw. DIVOs und DIVFs) seien ebenso wie die Kapazität aller beteiligten Vermittlungsstellen so ausgelegt, daß die hieraus resultierende Besetztwahrscheinlichkeiten zu 0 angesetzt werden können.

Zur Vereinfachung wird angenommen, daß abgehender Verkehr nur von Ortsnetz 1 in Richtung Ortsnetz 2 auftritt und nicht in umgekehrter Richtung. Fernverbindungen können von DIVOs innerhalb von Ortsnetzen nicht weitervermittelt werden.

An DIVO I seien 600 Teilnehmer angeschlossen, an DIVO II 1100 Teilnehmer. Das gerichtete Verkehrsaufkommen zur Hauptverkehrsstunde sei:

| Verkehrsquelle / -ziel | Verkehrsaufkommen |
|------------------------|--------------------|
| DIVO I => DIVO III | 8 mE / Teilnehmer |
| DIVO I => DIVO IV | 8 mE / Teilnehmer |
| DIVO I => DIVO V | 6 mE / Teilnehmer |
| DIVO II => DIVO III | 10 mE / Teilnehmer |
| DIVO II => DIVO IV | 7 mE / Teilnehmer |
| DIVO II => DIVO V | 5 mE / Teilnehmer |

- Wieviele Kanäle müssen die eingezeichneten Leitungsbündel zur Verbindung der Ortsnetze mindestens haben, damit in keinem Fall eine Besetztwahrscheinlichkeit $> 2\%$ auftritt?
- Welche Alternative ist hinsichtlich der insgesamt benötigten Kanalzahl zur Verbindung der Ortsnetze günstiger?
Warum? (Stichwort genügt!)

4. Abrechnung in digitalen leitungsvermittelten Kommunikationnetzen (ISDN)
- a.) Erläutern Sie stichpunktartig die prinzipiellen Vorgänge, die zur Erzeugung und Verarbeitung der abrechnungsrelevanten Daten in modernen Telekommunikationssystemen wie ISDN (Schmalband-ISDN) notwendig sind.
 - b.) Wie wurden früher (elektromechanische Wählsysteme) die abrechnungsrelevanten Daten im Netz erzeugt ? Welche Nachteile hat dies für die Tarifierungsmöglichkeiten durch Betreiber der Netze ?
5. Was ist ein Cross-Connect (Digital-Kanalverteiler) ?
- a.) Welche Funktion haben Cross-Connects in Telekommunikationssystemen ?
 - b.) Warum kommt Cross-Connects in modernen Telekommunikationssystemen und einem durch Wettbewerb geprägten Umfeld eine zunehmende Bedeutung zu ?
6. Bei der Analyse von Vermittlungsverfahren kann unterschieden werden zwischen
- I. zentralvermittelten gegenüber dezentralvermittelten Systemen,
 - II. leitungsvermittelten gegenüber paketvermittelten Verfahren,
 - III. verbindungsorientierten gegenüber verbindungslos arbeitenden Verfahren.
- Bitte erläutern Sie jeweils stichwortartig die Vor- und Nachteile dieser Alternativen im Hinblick auf verschiedene Anwendungen wie
- a.) Telefonie oder Datenkommunikation,
 - b.) Individualkommunikation oder Verteildienste.
7. Welche spezifischen Probleme treten in ATM-Vermittlungssystemen wegen der Zulassung von Verbindungen mit variablen Bitraten auf ?
- Welche Ansätze zur Beherrschung dieser Probleme sind Ihnen bekannt ?

8. Auf einer Übertragungsstrecke wird eine Sicherung gegen Übertragungsfehler mit dem ARQ-Verfahren durchgeführt. Um die Fehlererkennung auf der Empfängerseite zu ermöglichen, wird den Nachrichtenblöcken $M(x)$ auf der Senderseite eine Rahmenprüfsumme ($FCS = \text{Frame Check Sequence}$) angehängt, die als CRC-Code (Cyclic Redundancy Check) berechnet wird. Das für die Berechnung des CRC-Codes verwendete Generatorpolynom $G(x)$ ist unten gegeben.

Wird die unten gegebene empfangene Bitfolge $T(x)$ als fehlerhaft erkannt oder nicht ?

Bitte begründen Sie Ihre Antwort.

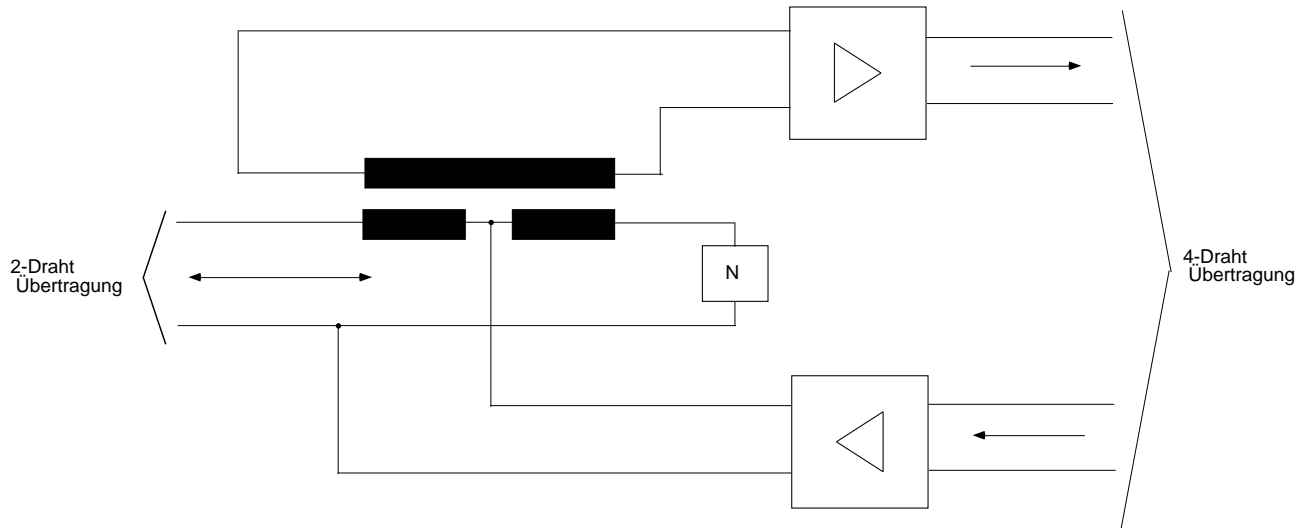
| | | | | | | | | | | | |
|------|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T(x) | | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
|------|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

| | | | | |
|-------|---|---|---|---|
| G(x): | 1 | 0 | 1 | 1 |
|-------|---|---|---|---|

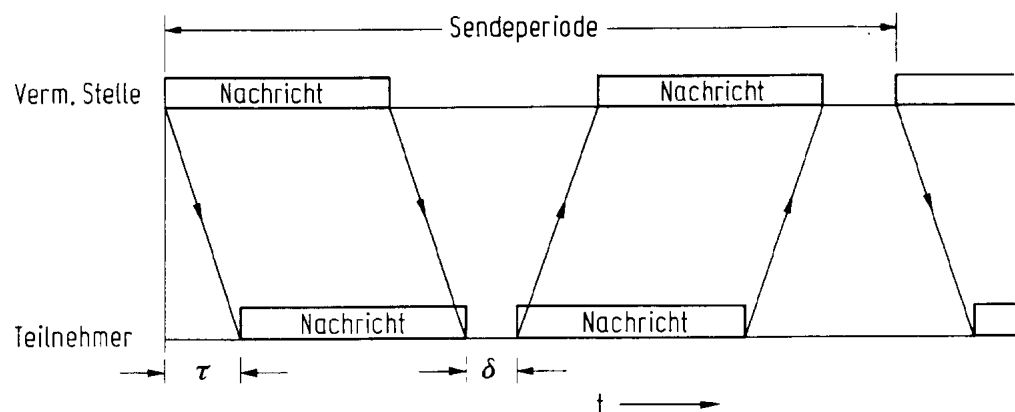
A full page of blank graph paper with a uniform grid of small squares. The grid consists of 20 columns and 20 rows, creating a total of 400 small square units. The lines are thin and black, set against a white background. There are no margins, text, or other markings on the page.

Bitte tragen Sie notwendige Berechnungsschritte in das oben gegebene Raster ein, um die Korrektur zu erleichtern.

9. Bitte erläutern Sie die Funktionsweise der unten dargestellten analogen Gabelschaltung. Warum ist diese Gabelschaltung für die Duplex-Übertragung digitaler Signale über eine Zweidraht-Verbindung (Teilnehmeranschlußleitung bei ISDN) nicht ausreichend ?



10. Unten ist ein Prinzip-Diagramm zur Duplex-Übertragung über ein Zweidraht-Medium mittels "Time-Division-Duplex" (TDD) gegeben.



Berechnen Sie die pro Übertragungsrichtung im Mittel verfügbare Nutzbitrate, wenn

- das Zweidrahtmedium eine Übertragungsrate von 1 Mbit/s hat,
- die Laufzeit $\tau = 150 \mu\text{s}$ beträgt,
- das Schutzintervall mit $\delta = 100 \mu\text{s}$ festgelegt ist und
- die übertragenen Nachrichtenblöcke einen Umfang von 1000 Bit haben.

11. LAN-Protokolle, die auf der MAC-Schicht nach dem "reinen Aloha-Prinzip" arbeiten, haben einen schlechten Durchsatz bei höherem Verkehrsaufkommen.
 - a.) Welche Verbesserungen des Aloha-Verfahrens sind Ihnen bekannt, die zu einem höheren Durchsatz führen ?
 - b.) Erläutern Sie die Unterschiede des typischen Ablaufs der Wettbewerbsphase (Contention Phase) für das reine Aloha-Prinzip und die von Ihnen benannten Verbesserungen.

12. Welche Eigenschaft muß ein Code mit unterschiedlichen Codewortlängen für die verschiedenen Symbole haben, damit die Symbole nach der Übertragung ohne Trennzeichen zurückgewonnen werden können ?

Bitte erläutern Sie, wie man diese Eigenschaft überprüfen kann.

13. Von welchen Kenngrößen eines linearen analogen Kanals hängt die (theoretisch) auf einem Kanal maximal übertragbare Bitrate ab ?

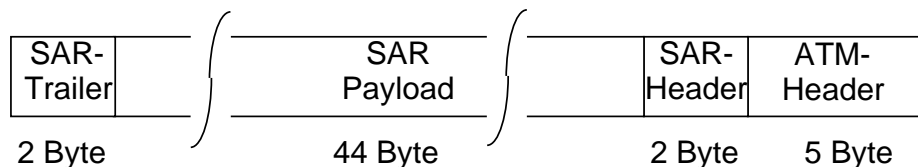
14. Skizzieren Sie den prinzipiellen Verlauf der im Mittel maximal erzielbaren Verkehrslast pro Kanal eines Bündels zwischen zwei Vermittlungsstellen (in Erlang) in Abhängigkeit von der Bündelgröße. Bitte die Koordinatenachsen beschriften.

Von welcher Vorgabe hängt der Verlauf der Kurve ab ?

15. Vermittlungsstellen für leitungsvermittelte Kommunikationsnetze
 - a.) Skizzieren Sie den prinzipiellen Aufbau einer Vermittlungsstelle im ISDN (DIVF).
 - b.) Welches sind die wesentlichen Aufgaben / Funktionen der von Ihnen unter a.) genannten (funktionalen) Module einer VSt (DIVF) ?

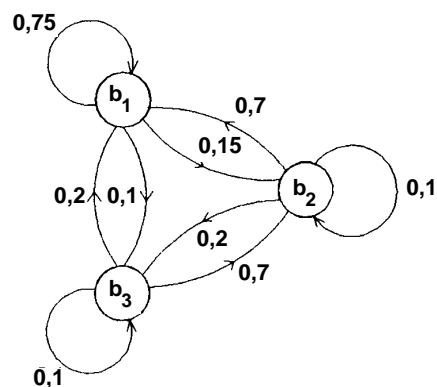
16. Signallaufzeit in ATM-Systemen
 - a.) Welche Netzelemente tragen in einem ATM-Netz (Breitband-ISDN) zu den Verzögerungen der zu übertragenden Nutzdatenströme bei ?
 - b.) Kennzeichnen Sie jeweils, ob es sich um fixe und/oder variable Verzögerungszeiten handelt.
 - c.) Wodurch sind die von Ihnen angegebenen Verzögerungen bedingt ?

17. Unten ist der prinzipielle Aufbau einer Nachricht bei Übertragung in einem ATM-Netz dargestellt.
- Welcher Schicht des ATM-Protokolls ist die Darstellung aufgrund des enthaltenen "Protokoll-Overheads" zuzuordnen ?
 - Wozu dienen die Felder "SAR-Header" und "SAR-Trailer", z.B. bei
 - der Übertragung von Sprachsignalen (Telefonie) ?
 - der Datenübertragung zwischen zwei über ein ATM-Netz gekoppelten LANs ?
 (Ein Beantwortung mit einigen Stichworten ist ausreichend, eine detaillierte grafische Darstellung der Vorgänge auf der entsprechenden Protokollschicht ist nicht erforderlich).



18. Erläutern Sie die Begriffe "verbindungsorientierter Dienst" und "verbindungsloser Dienst".
- Skizzieren Sie den typischen Ablauf einer Kommunikation zwischen zwei Teilnehmern / Endgeräten bei Nutzung
 - eines verbindungsorientierten Dienstes,
 - eines verbindungslosen Dienstes.
 - Nennen Sie Beispiele für verbindungslose und verbindungsorientierte Dienste/Netze aus den Bereichen LANs/MANs sowie leitungsgebundene Kommunikationsnetze (WANs).
 - Welche Systeme sind Ihnen bekannt, die sowohl verbindungsorientierte als auch verbindungslose Kommunikationsdienste anbieten ?
19. Welches sind die prinzipiellen Funktionsblöcke eines digitalen Nachrichtenübertragungssystems (ohne Vermittlungsfunktionen) ?
- Geben Sie jeweils mit einigen Stichworten die Aufgabe / Funktion der von Ihnen aufgeführten Funktionsblöcke an.

20. Gegeben ist eine gedächtnisbehaftete Nachrichten-Quelle (Markoff-Quelle 1.Ordnung) mit einem Vorrat von 3 Symbolen b_1 , b_2 und b_3 . Das Diagramm unten zeigt die Übergangswahrscheinlichkeiten zwischen den Zuständen b_1 , b_2 und b_3 .



- a.) Wie lässt sich mit Hilfe der Huffman Codierung die Redundanz dieser gedächtnisbehafteten Quelle reduzieren ?
 - b.) Führen Sie die unter a.) beschriebene Lösung durch.
21. Nennen Sie die typischen / wesentlichen Funktionen von Zeichengabesystemen
- a.) für die Verbindung Teilnehmer <-> DVO im ISDN
 - b.) für die Verbindung zwischen DIVs im ISDN

TABLE Trunk-Loading Capacity, Based on Erlang B Formula, Full Availability

| Trunks | Grade of Service 1 in 1000 | | Grade of Service 1 in 500 | | Grade of Service 1 in 200 | | Grade of Service 1 in 100 | | Grade of Service 1 in 50 | | Grade of Service 1 in 20 | |
|--------|----------------------------|-------|---------------------------|-------|---------------------------|-------|---------------------------|-------|--------------------------|-------|--------------------------|-------|
| | UC | TU | UC | TU | UC | TU | UC | TU | UC | TU | UC | TU |
| 1 | 0.04 | 0.001 | 0.07 | 0.002 | 0.2 | 0.005 | 0.4 | 0.01 | 0.7 | 0.02 | 1.8 | 0.05 |
| 2 | 1.8 | 0.05 | 2.5 | 0.07 | 4 | 0.11 | 5.4 | 0.15 | 7.9 | 0.22 | 14 | 0.38 |
| 3 | 6.8 | 0.19 | 9 | 0.25 | 13 | 0.35 | 17 | 0.46 | 22 | 0.60 | 32 | 0.90 |
| 4 | 16 | 0.44 | 19 | 0.53 | 25 | 0.70 | 31 | 0.87 | 39 | 1.09 | 55 | 1.52 |
| 5 | 27 | 0.76 | 32 | 0.90 | 41 | 1.13 | 49 | 1.36 | 60 | 1.66 | 80 | 2.22 |
| 6 | 41 | 1.15 | 48 | 1.33 | 58 | 1.62 | 69 | 1.91 | 82 | 2.28 | 107 | 2.96 |
| 7 | 57 | 1.58 | 65 | 1.80 | 78 | 2.16 | 90 | 2.50 | 106 | 2.94 | 135 | 3.74 |
| 8 | 74 | 2.05 | 83 | 2.31 | 98 | 2.73 | 113 | 3.13 | 131 | 3.63 | 163 | 4.54 |
| 9 | 92 | 2.56 | 103 | 2.85 | 120 | 3.33 | 136 | 3.78 | 156 | 4.34 | 193 | 5.37 |
| 10 | 111 | 3.09 | 123 | 3.43 | 143 | 3.96 | 161 | 4.46 | 183 | 5.08 | 224 | 6.22 |
| 11 | 131 | 3.65 | 145 | 4.02 | 166 | 4.61 | 186 | 5.16 | 210 | 5.84 | 255 | 7.08 |
| 12 | 152 | 4.23 | 167 | 4.64 | 190 | 5.28 | 212 | 5.88 | 238 | 6.62 | 286 | 7.95 |
| 13 | 174 | 4.83 | 190 | 5.27 | 215 | 5.96 | 238 | 6.61 | 267 | 7.41 | 318 | 8.83 |
| 14 | 196 | 5.45 | 213 | 5.92 | 240 | 6.66 | 265 | 7.35 | 295 | 8.20 | 350 | 9.73 |
| 15 | 219 | 6.08 | 237 | 6.58 | 266 | 7.38 | 292 | 8.11 | 324 | 9.01 | 383 | 10.63 |
| 16 | 242 | 6.72 | 261 | 7.26 | 292 | 8.10 | 319 | 8.87 | 354 | 9.83 | 415 | 11.54 |
| 17 | 266 | 7.38 | 286 | 7.95 | 318 | 8.83 | 347 | 9.65 | 384 | 10.66 | 449 | 12.46 |
| 18 | 290 | 8.05 | 311 | 8.64 | 345 | 9.58 | 376 | 10.44 | 414 | 11.49 | 482 | 13.38 |
| 19 | 314 | 8.72 | 337 | 9.35 | 372 | 10.33 | 404 | 11.23 | 444 | 12.33 | 515 | 14.31 |
| 20 | 339 | 9.41 | 363 | 10.07 | 399 | 11.09 | 433 | 12.03 | 474 | 13.18 | 549 | 15.25 |
| 21 | 364 | 10.11 | 388 | 10.79 | 427 | 11.86 | 462 | 12.84 | 505 | 14.04 | 583 | 16.19 |
| 22 | 389 | 10.81 | 415 | 11.53 | 455 | 12.63 | 491 | 13.65 | 536 | 14.90 | 617 | 17.13 |
| 23 | 415 | 11.52 | 442 | 12.27 | 483 | 13.42 | 521 | 14.47 | 567 | 15.76 | 651 | 18.08 |
| 24 | 441 | 12.24 | 468 | 13.01 | 511 | 14.20 | 550 | 15.29 | 599 | 16.63 | 685 | 19.03 |
| 25 | 467 | 12.97 | 495 | 13.76 | 540 | 15.00 | 580 | 16.12 | 630 | 17.50 | 720 | 19.99 |
| 26 | 493 | 13.70 | 523 | 14.52 | 569 | 15.80 | 611 | 16.96 | 662 | 18.38 | 754 | 20.94 |
| 27 | 520 | 14.44 | 550 | 15.28 | 598 | 16.60 | 641 | 17.80 | 693 | 19.26 | 788 | 21.90 |

Ausschnitt aus Verkehrswerttabellen (Erlang B)

Teil I (1 bis 27 Kanäle im Bündel)

TABLE Trunk-Loading Capacity, Based on Erlang B Formula, Full Availability

| Trunks | Grade of Service 1 in 1000 | | Grade of Service 1 in 500 | | Grade of Service 1 in 200 | | Grade of Service 1 in 100 | | Grade of Service 1 in 50 | | Grade of Service 1 in 20 | |
|--------|-------------------------------|-------|------------------------------|-------|------------------------------|-------|------------------------------|-------|-----------------------------|-------|-----------------------------|-------|
| | UC | TU | UC | TU | UC | TU | UC | TU | UC | TU | UC | TU |
| 28 | 546 | 15.18 | 578 | 16.05 | 627 | 17.41 | 671 | 18.64 | 725 | 20.15 | 823 | 22.87 |
| 29 | 573 | 15.93 | 606 | 16.83 | 656 | 18.22 | 702 | 19.49 | 757 | 21.04 | 858 | 23.83 |
| 30 | 600 | 16.68 | 634 | 17.61 | 685 | 19.03 | 732 | 20.34 | 789 | 21.93 | 893 | 24.80 |
| 31 | 628 | 17.44 | 662 | 18.39 | 715 | 19.85 | 763 | 21.19 | 822 | 22.83 | 928 | 25.77 |
| 32 | 655 | 18.20 | 690 | 19.18 | 744 | 20.68 | 794 | 22.05 | 854 | 23.73 | 963 | 26.75 |
| 33 | 683 | 18.97 | 719 | 19.97 | 774 | 21.51 | 825 | 22.91 | 887 | 24.63 | 998 | 27.72 |
| 34 | 711 | 19.74 | 747 | 20.76 | 804 | 22.34 | 856 | 23.77 | 919 | 25.53 | 1033 | 28.70 |
| 35 | 739 | 20.52 | 776 | 21.56 | 834 | 23.17 | 887 | 24.64 | 951 | 26.43 | 1068 | 29.68 |
| 36 | 767 | 21.30 | 805 | 22.36 | 864 | 24.01 | 918 | 25.51 | 984 | 27.34 | 1104 | 30.66 |
| 37 | 795 | 22.03 | 834 | 23.17 | 895 | 24.85 | 950 | 26.38 | 1017 | 28.25 | 1139 | 31.64 |
| 38 | 823 | 22.86 | 863 | 23.97 | 925 | 25.69 | 981 | 27.25 | 1050 | 29.17 | 1175 | 32.63 |
| 39 | 851 | 23.65 | 892 | 24.78 | 955 | 26.53 | 1013 | 28.13 | 1083 | 30.08 | 1210 | 33.61 |
| 40 | 880 | 24.44 | 922 | 25.60 | 986 | 27.38 | 1044 | 29.01 | 1116 | 31.00 | 1246 | 34.60 |
| 41 | 909 | 25.24 | 951 | 26.42 | 1016 | 28.23 | 1076 | 29.89 | 1149 | 31.92 | 1281 | 35.59 |
| 42 | 937 | 26.04 | 981 | 27.24 | 1047 | 29.08 | 1108 | 30.77 | 1182 | 32.84 | 1317 | 36.58 |
| 43 | 966 | 26.84 | 1010 | 28.06 | 1078 | 29.94 | 1140 | 31.66 | 1215 | 33.76 | 1353 | 37.57 |
| 44 | 995 | 27.64 | 1040 | 28.88 | 1109 | 30.80 | 1171 | 32.54 | 1248 | 34.68 | 1388 | 38.56 |
| 45 | 1024 | 28.45 | 1070 | 29.71 | 1140 | 31.66 | 1203 | 33.43 | 1282 | 35.61 | 1424 | 39.55 |
| 46 | 1053 | 29.26 | 1099 | 30.54 | 1171 | 32.52 | 1236 | 34.32 | 1315 | 36.53 | 1459 | 40.54 |
| 47 | 1083 | 30.07 | 1129 | 31.37 | 1202 | 33.38 | 1268 | 35.21 | 1349 | 37.46 | 1495 | 41.54 |
| 48 | 1111 | 30.88 | 1159 | 32.20 | 1233 | 34.25 | 1300 | 36.11 | 1382 | 38.39 | 1531 | 42.54 |
| 49 | 1141 | 31.69 | 1189 | 33.04 | 1264 | 35.11 | 1332 | 37.00 | 1415 | 39.32 | 1567 | 43.54 |
| 50 | 1170 | 32.51 | 1220 | 33.88 | 1295 | 35.98 | 1364 | 37.90 | 1449 | 40.25 | 1603 | 44.53 |

Ausschnitt aus Verkehrswerttabellen (Erlang B) Teil II (28 bis 50 Kanäle im Bündel)