

Verkehrstheoretische Fragen bei der Gestaltung internationaler Fernwählnetze¹⁾

Mitteilung aus dem Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung der Technischen Hochschule Stuttgart

Von A. Lotze, Stuttgart

DK 621.395.74.001.2 (21)

Mit 13 Bildern

1. Einleitung und Aufgabenstellung

Die Fernsprechverkehrstheorie soll unter anderem dazu beitragen, daß zwei wichtige Forderungen erfüllt werden, die an weltweite Fernsprechwählnetze gestellt werden müssen:

1. Wirtschaftlich hohe Ausnutzung teurer Weiterverkehrs-bündel bei gleichzeitig vorgeschriebener Verkehrsgüte.
2. Elastizität bei Überlastung — d. h. möglichst geringer Anstieg der Besetztfälle und damit der Verlustwahrscheinlichkeit — in einem Transitamt.

Diese beiden Forderungen sind nicht gleichzeitig optimal erfüllbar. Je höher die Bündelausnutzung im Falle planmäßiger Belastung getrieben werden kann, desto geringer sind die Reserven, welche das Netz für unerwartete Zusatzbelastungen noch enthalten kann. Ein sinnvoller Kompromiß muß deshalb angestrebt werden.

2. Netzform und Verkehrslenkung

Wir vernachlässigen zunächst die Forderung 2 und streben lediglich eine hohe Bündelausnutzung an. Dazu erinnern wir uns an drei Eigenschaften von Fernsprech-leitungs-bündeln (s. Bild 1):

- a) Für einen festen Wert der Verlustwahrscheinlichkeit B — z. B. für $0,01 \triangleq 1\%$ — steigt die Leitungsausnutzung y/N mit der Bündelgröße N an.
- b) Gleichfalls steigt y/N mit der Erreichbarkeit k der Wähler an, welche dieses Bündel absuchen.
- c) Für gegebene Erreichbarkeit k und feste Leitungszahl N steigt die Ausnutzung y/N mit dem zugelassenen Verlust B sehr beträchtlich an.

Aufgrund dieser drei Eigenschaften werden Netzform und Verkehrslenkung des internationalen Netzes in ähnlicher Weise hierarchisch organisiert, wie dies vom deutschen Landesfernwahlnetz her bekannt ist (vgl. Bild 2).

Die Durchgangsvermittlungen des weltweiten Fernwählnetzes — Center of Transit/Centre de Transit — sind ähnlich den Zentral-, Haupt- und Knoten-Vermittlungsstellen der deutschen Landesfernwahl gegliedert in drei Kategorien:

Höchsten Rang besitzen die Durchgangsämter der Gruppe CT1 für internationalen Verkehr. Sie sollen möglichst untereinander voll vermascht sein. (Das internationale CT1 für Westeuropa und die an das Mittelmeer angrenzenden Länder wird z. B. London sein (siehe Bild 3); das CT1 für Nordamerika ist New York.)

¹⁾ Nach einem Vortrag auf der NTG-Fachtagung „Weltweiter Fernsprechverkehr“ vom 15. bis 17. 9. 1965 in München.

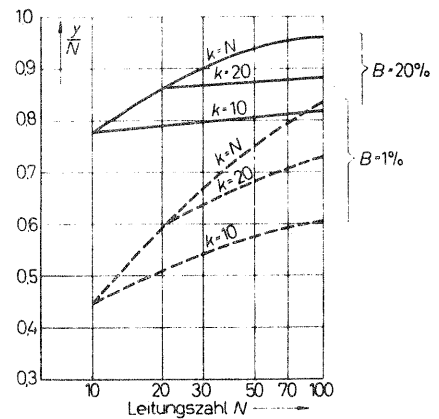


Bild 1. Mittlere Leitungsausnutzung y/N bei angebotenem Zufallsverkehr in Abhängigkeit von der Erreichbarkeit k , dem zugelassenen Verlust B und der Leitungszahl N des Bündels

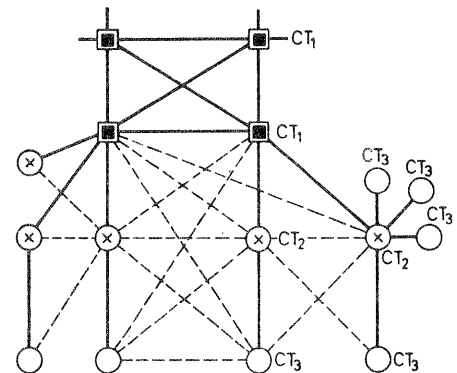


Bild 2. Netzform des künftigen weltweiten Wählnetzes

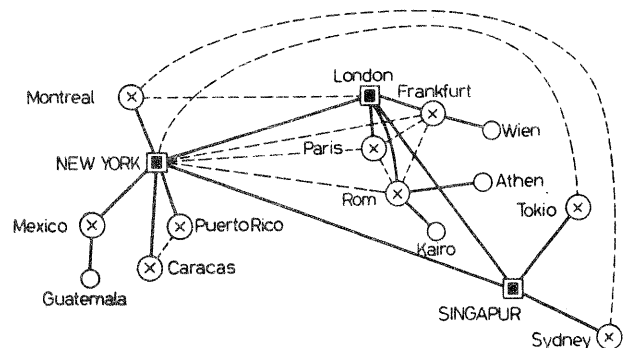


Bild 3. Beispiel für Querwege — — — und Letzwege — — — im internationalen Wählnetz. (Die Skizze gibt voraussichtlich nicht die endgültige Einteilung in CT₁, CT₂, usw. wieder!)

Sternförmig an jedes CT1 sind Durchgangsämter vom Range CT2 desselben „Fernsprechkontinents“ angeschlossen. (Auf London sind z. B. Paris, Rom, Frankfurt/Main und andere CT2-Ämter abgestützt.)

Jedes CT2 versorgt seinerseits eine Anzahl sternförmig angeschlossener Durchgangsamter der Kategorie CT3, so z. B. das CT2-Amt Frankfurt, die CT3-Ämter Luxemburg, Wien u. a.

Da aber kurze Querverbindungen bei guter Leitungsausnutzung in der Regel wirtschaftlicher sein werden als längere Verbindungen über eine große Anzahl von CT's im Grundnetz, werden auch hier, ähnlich wie bei der Landesfernwahl, Querwege eingerichtet:

Die Masse des internationalen Verkehrs wird vom CT3 des Abgangslandes zuerst einem — und alternativ möglichst noch weiteren — Querwegen angeboten, welche unmittelbarer zum Ziel führen als ein Weg im Grundnetz.

Das Grundnetz besteht also aus den Letztwegen, welche die von den Querwegen überlaufenden Restverkehre sammeln. Querwege — insbesondere solche mit kleinen Bündeln — sollen mit hohen Verlusten, d. h. mit hohen Überlaufwahrscheinlichkeiten, betrieben werden, damit auch sie hoch ausgenutzt werden können. Letztwege dagegen müssen mit kleinen Verlusten betrieben werden. Wegen der besseren Ausnutzung sind hier große Bündelstärken erwünscht.

Nach diesem Überblick über Netzform und Verkehrslenkung sollen nun jene verkehrstheoretischen Einzelfragen behandelt werden, von deren Kenntnis und Beachtung sowohl die wirtschaftliche Ausnutzung als auch die Elastizität des Netzes abhängen. Im folgenden wird hierzu nur über Ergebnisse verkehrstheoretischer Untersuchungen berichtet; daraus werden die notwendigen Folgerungen gezogen. Die theoretischen Grundlagen, aus denen diese Ergebnisse gewonnen werden, finden sich u. a. in [1 bis 13].

3. Verkehrstheoretische Eigenschaften von Netzen mit alternativer Leitweglenkung

3.1. Der Streuwert von Restverkehr

Wir betrachten Restverkehre, welche von dem abgesuchten Querleitungs-bündel nicht verarbeitet werden, also dort keine freie Abnehmerleitung erreichen und deshalb auf ein nachfolgendes Bündel (z. B. den Letztweg) überlaufen. Ein solcher Restverkehr R besteht aus einzelnen, zeitlich oft getrennten Verkehrsspitzen, welche nur in jenen Zeitintervallen überlaufen, während derer die erreichbaren Leitungen des abgesuchten Querbündels gerade blockiert sind.

Die unterschiedlichen statistischen Eigenschaften von Zufallsverkehr einerseits und einem derartigen Restverkehr andererseits kann man ausreichend genau charakterisieren durch die Parameter Mittelwert R und Varianz V (bzw. Streuwert D) des Restverkehrs.

Für Zufallsverkehr A gilt:

$$\text{Varianz } V = \text{Angebotsmittelwert } A,$$

$$\text{Streuwert } D = (V - A) = 0.$$

Für Überlaufverkehr R gilt:

$$\text{Varianz } V > R,$$

$$\text{Streuwert } D > 0.$$

Schon 1954 hat Bretschneider [10, 11] für vollkommen erreichbare Leitungsbündel den Streuwert D als Funk-

tion von Angebot und Leitungszahl berechnet und tabelliert. Außerdem wurde in [11, 12] gezeigt, daß man mit diesem Verfahren auch jene vollkommenen „Sekundärbündel“ einfach berechnen kann, denen solche streuwertbehaftete Restverkehre angeboten werden (z. B. Letztwege). Ein sehr ähnliches Verfahren stammt von Wilkinson [13]. Eine allgemeine Lösung für die Berechnung des Streuwerts von Verkehrsresten hinter einstufigen Koppelanordnungen mit vollkommener oder unvollkommener Erreichbarkeit ist in dieser Zeitschrift veröffentlicht worden [3]. Außerdem wurde in [6] eine Lösung zur Streuwertberechnung hinter Koppelanordnungen beliebiger Stufenzahl hergeleitet.

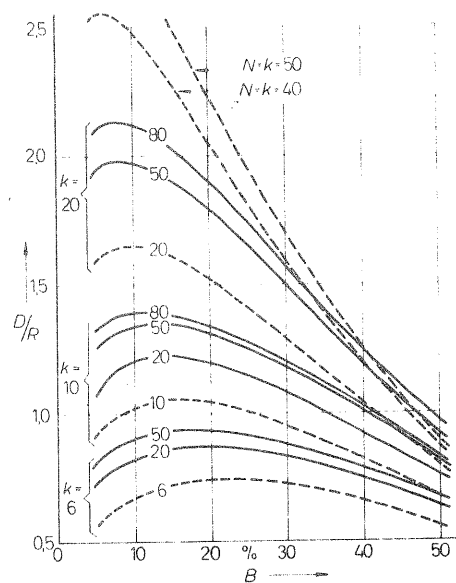


Bild 4. Der Relative Streuwert D/R des Restverkehrs hinter Primärbündeln als Funktion von deren Erreichbarkeit k , Leitungszahl N und Überlaufwahrscheinlichkeit B

Einige Zahlenwerte des relativen Streuwerts D/R zeigt Bild 4. Über dem Verlust B ist dort für verschiedene Werte der Erreichbarkeit k — und innerhalb eines k -Wertes für verschiedene Bündelgrößen — der relative Streuwert D/R aufgetragen. Man erkennt deutlich folgende Eigenschaften:

- Bei gleichbleibendem Verlust B wächst der relative Streuwert D/R mit der Bündelgröße.
- Ferner wächst D/R sehr stark mit zunehmender Erreichbarkeit k . Den größten relativen Streuwert haben Bündel mit vollkommener Erreichbarkeit.
- Mit zunehmendem Verlust erreicht D/R ein Maximum — das etwa bei $A = 0,9 \cdot N$ liegt [2] —, um dann beim Grenzwert $B = 1,0 \cong 100\%$ wieder den Wert 0 zu erreichen. Dies ist auch plausibel, da ein 100%ig überlaufendes Angebot den Charakter von Zufallsverkehr haben muß.

3.2. Berechnung von „Sekundärbündeln“, denen Streuwertverkehr angeboten wird

Verständlicherweise beeinflusst der Streuwert der angebotenen Restverkehre die Leitungszahl N eines Letztweges. Je „spitziger“ der dem Letztweg zufließende Restverkehr R , mit anderen Worten je größer D/R ist, desto größer ist auch der Leitungsmehrbedarf ΔN bei

vorgeschriebenem Verlust B_2 und bei gleichem Mittelwert R des angebotenen Restverkehrs (Überlauf-Verkehrs). Die Bestimmung von ΔN nach dem in [1, 2] beschriebenen Verfahren ist in der Praxis sehr einfach (vgl. auch die Tabellenwerke [7, 8]).

Bild 5 zeigt als Beispiel den Leitungsmehrbedarf ΔN_2 eines vollkommen erreichbaren Letztweges, dem Streuwertverkehr angeboten wird. Man benötigt z. B. für angebotenen Zufallsverkehr von $A = 30$ Erlang bei $B_2 = 1\%$ $N = 41$ Leitungen. Für einen Restverkehr gleichen Mittelwerts, d. h. mit $R = 30$ Erlang und dem relativen Streuwert $D/R = 2$ beträgt nach Bild 5 der Leitungsmehrbedarf $\Delta N = 11$ Leitungen; es werden also 52 Leitungen, mithin 26,8% mehr, benötigt.

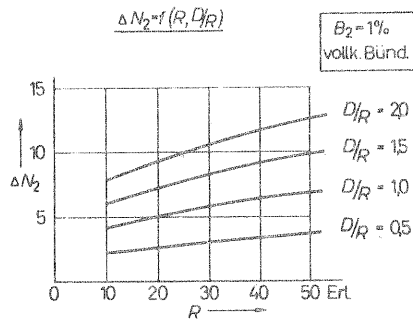


Bild 5. Der Leitungsmehrbedarf ΔN_2 eines vollkommenen Bündels mit dem Sollverlust $B_2 = 1\%$, wenn Überlaufverkehr ($R, D > 0$) anstelle von Zufallsverkehr ($A, D = 0$) angeboten wird

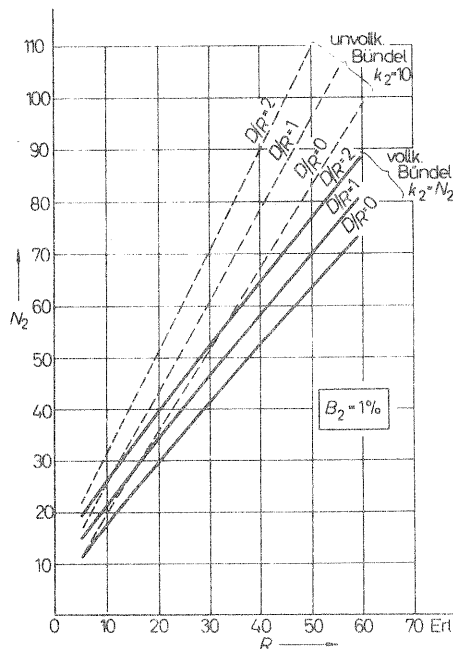


Bild 6. Die benötigte Leitungszahl N_2 für einen vorgeschriebenen Verlust $B_2 = 1\%$ bei angebotenen Überlaufverkehr R_1 mit unterschiedlichem relativem Streuwert D/R . ($D/R = 0$ entspricht Zufallsverkehr)

Ist der Letztweg unvollkommen erreichbar (z. B. mit $k = 10$), so wird (siehe Bild 6) im gleichen Falle sogar $N = 71$ (statt 52 bei $D = 0$); d. h. es ist $\Delta N = 19$, und man benötigt 36,5% mehr Leitungen als bei angebotenen Zufallsverkehr gleichen Mittelwerts.

Anhand von Bild 4, 5 und 6 läßt sich feststellen:

- a) Vollkommen erreichbare Querwege liefern Restverkehre mit dem größten relativen Streuwert;

- b) vollkommen erreichbare Letztwege verarbeiten angebotenen Streuwertverkehr mit dem kleinsten Leistungsmehrbedarf.

Mit den neuen Streuwertverfahren können in Zukunft Wählnetze, welche mit alternativer Leitweglenkung und mit Überlaufverkehren arbeiten, in jedem Falle richtig, d. h. unter Berücksichtigung des Streuwerts, bemessen werden.

In der Vergangenheit ist bei der Berechnung von Netzen mit alternativer Leitweglenkung der Einfluß des Streuwerts auf den Leistungsbedarf der Bündel, welchen Restverkehre angeboten werden, häufig vernachlässigt worden.

Diese Vernachlässigung bewirkt, daß bei planmäßiger Belastung solcher Bündel deren wirklicher Verlust erheblich über dem geplanten Wert liegen kann.

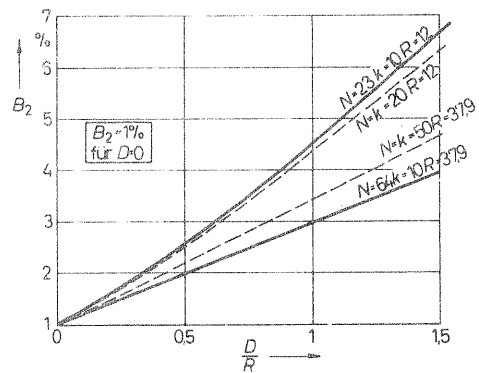


Bild 7. Der Anstieg des Verlustes B_2 als Funktion des relativen Streuwerts D/R bei Sekundärbündeln, deren Leitungszahl N_2 für $B = 1\%$ und $D/R = 0$ (Zufallsverkehr) bemessen wurde

Bild 7 zeigt als Beispiel zwei Leitungsbündel mit vollkommener Erreichbarkeit bzw. mit der Erreichbarkeit $k = 10$, denen je 37,9 Erlang Restverkehr und ferner zwei andere Bündel ($k = N$ bzw. $k = 10$), denen je 12 Erlang Restverkehr angeboten werden. Alle vier Bündel sind nach den Verlusttabellen für Zufallsverkehr auf $B = 1\%$ Verlust bemessen worden. Mit wachsendem relativem Streuwert steigen die tatsächlichen Verluste an. Bei einem — in der Praxis schon recht häufigen — relativen Streuwert $D/R = 1,5$ stellen sich je nach Bündel bereits tatsächliche Verluste zwischen 4,0% und 6,7% ein. Man erkennt daraus, daß eine „streuwertgerechte“ Bemessung solcher Bündel nicht zu umgehen ist, wenn man sich über die wirkliche Verkehrsgüte keiner Selbsttäuschung hingeben will.

3.3. Wirtschaftliche Aufteilung des Verkehrs auf Querwege und Letztwege

Man kann — gemäß Abschnitt 3.1. und 3.2. — in einfacher Weise sowohl Verkehrsrest und Streuwert von Querwegen berechnen wie auch Zweitwege und/oder Letztwege für vorgeschriebene Verluste richtig, d. h. streuwertgerecht, dimensionieren.

Offen ist die Frage, in welcher Weise man den Fernsprechverkehr wirtschaftlich am vorteilhaftesten transportiert, nämlich einerseits über Querwege und andererseits — mit dem überlaufenden Verkehrsrest — über den Letztweg.

Diese Aufteilung hängt von dem sogenannten Kostenfaktor q ab. Er gibt das Verhältnis der Kosten eines Sprechweges im Letztweg zu jenem eines Sprechweges auf dem Querwegbündel an. Auch bei allen Planungen im Landesfernwählnetz wird mit Hilfe des Kostenfaktors q und verkehrstheoretischer Tabellen die wirtschaftlichste Aufteilung berechnet. Das bisherige Verfahren kann aufgrund der neuen Streuwerttheorie für unvollkommene Bündel [1 bis 9] ohne Mehraufwand bei der Planung noch verbessert werden. Zur Streuwerttheorie unvollkommener Bündel und zum neuen Verfahren der optimalen Netzberechnung erscheinen besondere Veröffentlichungen in dieser Zeitschrift [3, 5].

3.4. Der effektive Verlust B_{eff}

Querwege und Letztwege sind jetzt nach Angebotswerten, Restverkehren, Erreichbarkeiten und Leitungszahlen bestimmt. Damit liegt je Netzknotenpunkt, d. h. je Transitamt, auch die Verlustwahrscheinlichkeit fest, mit der eine Durchgangsverbindung mit bestimmtem Ziel dort „verlorengeht“, d. h. auf keinem weiterführenden Querweg oder Letztweg eine freie Leitung erreichen kann.

Ein oder mehrere Querwegbündel bieten ihre Restverkehre einem Letztweg an (evtl. wird dem Letztweg außerdem auch noch Zufallsverkehr angeboten). Hat das Querwegbündel einer betrachteten Verbindung die Verlustwahrscheinlichkeit B_1 (also einen Restverkehr $R_1 = A_1 \cdot B_1$) und hat der Letztweg die Verlustwahrscheinlichkeit B_2 — die natürlich nur den Restverkehr R_1 unserer Verkehrsbeziehung betrifft —, so ist der effektive Verlust der betrachteten Verkehrsbeziehung

$$B_{eff} = B_1 \cdot B_2.$$

Bei zwei Querwegen in Serie und anschließendem Letztweg würde der effektive Verlust

$$B_{eff} = B_{11} \cdot B_{12} \cdot B_2$$

betragen.

Auf diese Beziehung kommen wir im nächsten Abschnitt wieder zurück.

3.5. Überlastungsfaktor, Restfaktor und Verlustfaktor von Querleitungsbündeln

Überlastung kann z. B. dann auftreten, wenn ein Transatlantik-Kabel vorübergehend ausfällt, ein Verstärkeramt gestört ist oder ein Standsatellit durch Meteoriten außer Betrieb gesetzt wird. Stets wird der Verkehr der gestörten Trasse über Ersatzwege fließen und diese zusätzlich belasten, häufig überlasten.

Es soll nun untersucht werden, wie sich in Überlastungsfällen die Verluste ändern.

Wir definieren zunächst das Überlastungsverhalten von Querweg- und Letztwegbündeln durch einige Kennwerte (siehe Bild 8).

Das Überangebot (evtl. Unterangebot) an einem Querweg wird durch den Überlastungsfaktor

$$\alpha_1 = \frac{A_{ist}}{A_{plan}}$$

beschrieben (Bild 8).

Ein Wert $\alpha_1 > 1$ bewirkt einen Anstieg der Verlust- (besser Überlauf-) Wahrscheinlichkeit B_1 des betreffen-

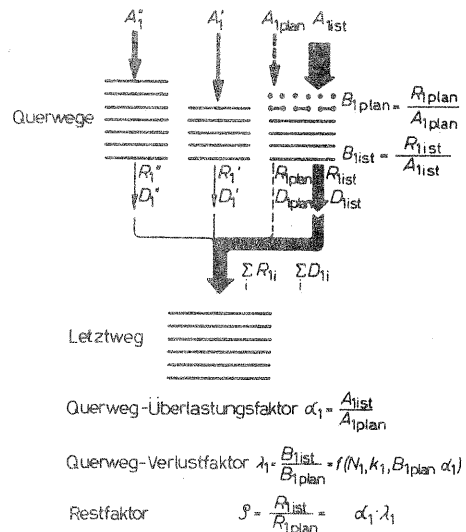


Bild 8. Die Überlastung von Querleitungsbündeln mit Überlauf

den Querweges. Weiter definieren wir als Verlustfaktor des Querweges

$$\lambda_1 = \frac{B_{1ist}}{B_{1plan}}$$

Den damit verbundenen Anstieg des Restverkehrs hinter unserem überlasteten Querwegbündel beschreiben wir entsprechend mit einem Restfaktor

$$\rho = \frac{R_{1ist}}{R_{1plan}} = \alpha_1 \cdot \lambda_1.$$

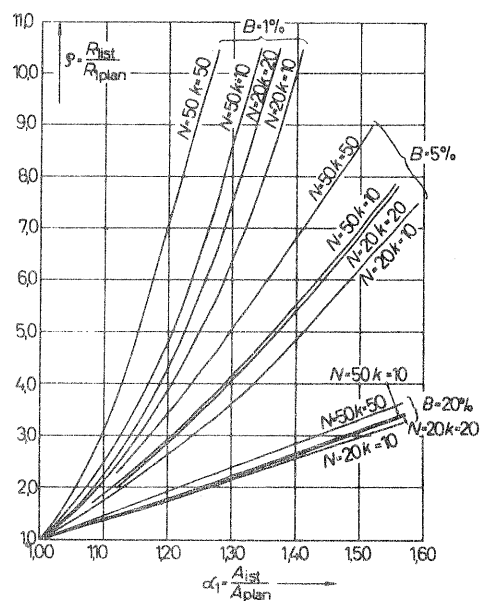


Bild 9. Der Restfaktor ρ als Funktion des Überlastungsfaktors α_1 (Primärbündel mit Zufallsangebot A_{ist}). Die eingetragenen Verlustwerte $B = 1\%, 5\%, 20\%$ entsprechen dem planmäßigen Angebot A_{plan} .

Damit ist ein Stichwort gefallen, dessen Bedeutung man in Bild 9 erkennen kann. Es zeigt mit $\rho = f(\alpha_1)$ den Anstieg des Restfaktors in Abhängigkeit vom Anstieg α_1 des Verkehrsangebots an einige Querwegbündel verschiedener Größe und Erreichbarkeit.

Betrachten wir zunächst den — seltenen — Fall, daß das Querwegbündel mit $B = 1\%$ betrieben wird, und

nehmen wir eine 30%ige Überlastung, d. h. $\alpha_1 = 1,3$, an. Dann wird für ($N = 50, k = 50$) der Restfaktor $\rho \approx 11$; d. h., daß dann hinter einem 50er-Bündel bereits ein Restverkehr überläuft, der 11mal größer ist als dessen Planwert!

Bei ($N = 20, k = 10$) ist im gleichen Falle immerhin noch $\rho \approx 6,5$.

Für einen planmäßigen Verlust $B = 5\%$ wird in diesen Fällen der Restfaktor $\rho = 5$ bzw. $\rho = 3,7$ und für $B = 20\%$ schließlich $\rho = 2,4$ bzw. $\rho = 2,2$.

Diese Vervielfachung des überlaufenden Restverkehrs bewirkt die Überlastung eines nachfolgenden 2. Querweges oder des Letztweges. Auch der relativ günstigste Fall in Bild 9 (planmäßig 20% Überlaufwahrscheinlichkeit) hat bei $\alpha_1 = 1,3$ noch eine Erhöhung des Restverkehrs auf mehr als das Doppelte des Planwertes zur Folge.

Wir können also aus diesem Diagramm folgende vier wichtigen Eigenschaften entnehmen:

1. Jeder Querweg mit Überlauf wirkt als sehr kräftiger „Überlastungsverstärker“ für ein nachfolgendes Bündel (z. B. den Letztweg).
2. Zwei Querwege in Serie wirken dementsprechend wie zwei „Überlastungsverstärker“ in Serie für einen an dritter Stelle folgenden Letztweg.
3. Hochbelastete Querwege, d. h. solche mit großer Überlaufwahrscheinlichkeit B_1 , haben kleinere, also günstigere Werte ρ .
4. Im Bereich sehr großer Werte $B_{1\text{plan}}$ unterscheiden sich vollkommen und unvollkommen erreichbare Querleitungsbündel bzgl. ρ nicht mehr so sehr wie bei kleinen Verlustwerten (wohl aber bzgl. des Streuwertes).

Es genügt also nicht, ein Netz mit alternativer Leitweglenkung wirtschaftlich optimal und streuwertgerecht zu bemessen. Man sollte — zumindest bei internationalen Wählnetzen — auch deren Überlastungseigenschaften prüfen und evtl. durch eine reichliche Bemessung einzelner Bündel dementsprechend verbessern (Leitungsreserven im Letztweg!).

3.6. Die Letztwegüberlastung

Wir betrachten einen Letztweg, dem mehrere Restverkehre zugeführt werden (siehe Bild 10). Der angebotene

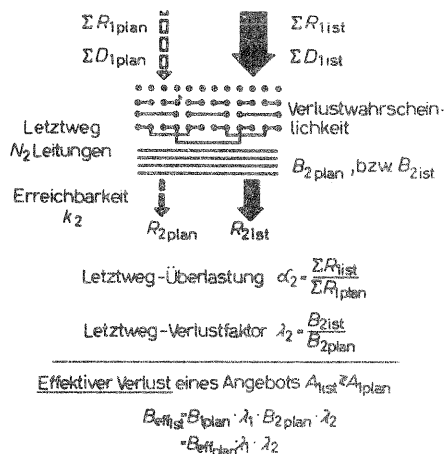


Bild 10. Die Überlastung von Letztwegen

Summenverkehr hat deshalb die Daten:

$$\begin{aligned} \text{Restverkehr} &= \sum R_{1\text{plan}} \\ \text{Streuwert} &= \sum D_{1\text{plan}} \end{aligned}$$

Werden nun eines oder mehrere Überlaufbündel überlastet, so wird dem Letztweg ein größerer Verkehr ($\Sigma R_{1\text{ist}}, \Sigma D_{1\text{ist}}$) angeboten. Wir definieren deshalb als

$$\text{Letztweg-Überlastung } \alpha_2 = \frac{\sum R_{1\text{ist}}}{\sum R_{1\text{plan}}}$$

und als

$$\text{Verlustfaktor des Letztweges } \lambda_2 = \frac{B_{2\text{ist}}}{B_{2\text{plan}}}$$

Der effektive Verlust jeder Verkehrsbeziehung, welche in dem betrachteten Transmitt diesen Letztweg mitbenutzt, steigt dadurch an. Es wird

$$B_{\text{eff ist}} = B_{1\text{plan}} \cdot \lambda_1 \cdot B_{2\text{plan}} \cdot \lambda_2$$

Der effektive Verlust einer Verkehrsbeziehung, deren eigene Querwege nicht überlastet werden, wird nur durch den Faktor λ_2 beeinflusst. Dagegen wird bei einer Verkehrsbeziehung, deren eigener Querweg überlastet ist, der effektive Verlust durch $\lambda_1 > 1$ und $\lambda_2 > 1$ erhöht.

In Bild 11 sind einige Kurven für den Verlustfaktor λ_2 eines Letztweges aufgetragen.

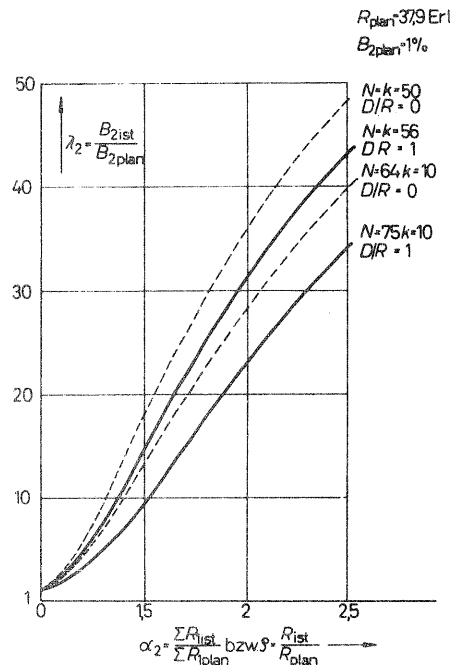


Bild 11. Der Verlustfaktor λ_2 von Letztwegen verschiedener Größe und Erreichbarkeit als Funktion der Angebotsüberlastung α_2 . Letztwege, die für Überlaufverkehr (D, R) richtig bemessen wurden, sind etwas weniger überlastungsempfindlich als solche Bündel, die sowohl planmäßig wie auch im Überlastungsfall mit Zufallsverkehr ($D/R = 0$) betrieben werden.

Verdoppelt sich z. B. der angebotene Restverkehr — ein Fall, der in der Praxis des öfteren vorkommen wird — und ist der relative Streuwert $D/R = 1$, so steigt der Verlust eines für 1% geplanten vollkommen erreichbaren Bündels mit $N = 56$ Leitungen von 1% auf 31,2% ($\lambda_2 = 31,2$).

Ein 75er-Bündel mit $k = 10$ bei gleichem Planwert 37,9 Erlang würde seinen Verlust B_2 von 1% auf 22,8% erhöhen. Selbstredend wächst dann auch der effektive Verlust B_{eff} um den Faktor $\lambda_2 = 22,8$.

3.7. Der Verlustanstieg reinen Grundverkehrs

Bis jetzt wurden nur Verkehrsbeziehungen betrachtet, welche über mindestens einen Querweg verfügen. Verkehrsbeziehungen, die keinen Querweg besitzen und deshalb ihr Zufallsangebot unmittelbar einem Letztweg des Grundnetzes zuführen, sind jedoch im Überlastungsfall besonders benachteiligt. Bild 12 zeigt dazu ein Beispiel.

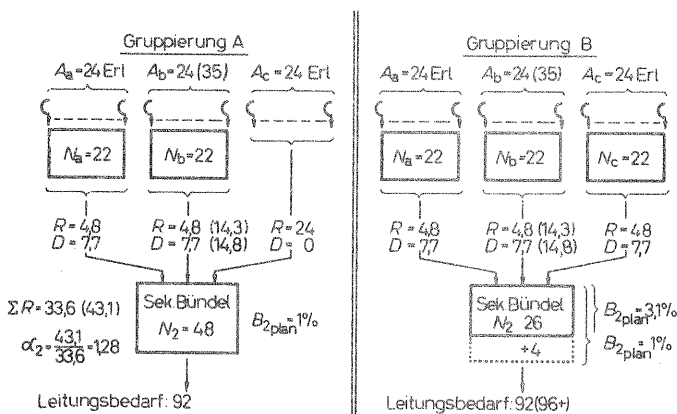


Bild 12. Zwei Gruppierungen für Querleitungsbündel und Letztweg. Die Gruppierung B vermeidet die Benachteiligung eines direkt an den Letztweg angebotenen Zufallsverkehrs im Überlastungsfall

Links wird eine Gruppierung A gezeigt, bei welcher zwei vollkommen erreichbare Querwege zu je 22 Leitungen ihren 20%-Restverkehr demselben Letztweg anbieten. Dazu kommt noch ein unmittelbares Zufallsangebot $A_c = 24$ Erlang. Deshalb hat der dem Letztweg angebotene Summenverkehr die Daten

$$\begin{aligned} \text{Restverkehr } R &= 33,6 \text{ Erlang,} \\ \text{Streuwert } D &= 15,4. \end{aligned}$$

Die Rechnung ergibt für einen Letztweg (Sekundär-Bündel) mit dem Verlust $B_2 = 1\%$ einen Bedarf von $N_2 = 48$ vollkommen erreichbaren Leitungen im Letztweg. Die Gesamtleitungszahl beträgt deshalb $22 + 22 + 48 = 92$ Leitungen.

Auf der rechten Seite von Bild 12 ist die Gruppierung B skizziert. Hier wird auch das bisherige Zufallsangebot A_c zunächst einem eigenen Querleitungsbündel angeboten, obwohl dieser Verkehr auf der Trasse des Letztweges fließt! Der Letztweg (im Bild als Sekundär-Bündel bezeichnet) erhält jetzt nur noch einen Summen-Restverkehr von 3 mal 4,8 Erlang.

Hält man die Summe aller Leitungen, $N = 92$, konstant (d. h. jetzt $N_2 = 26$), so steigt der Verlust B_2 auf $3,1\%$. Fügt man dem Letztweg noch weitere 4 Leitungen zu, so bleibt der Sekundärverlust wie bei der Anordnung A bei $B_2 = 1\%$.

Bei beiden Gruppierungen werde nun das mittlere Querleitungsbündel um etwa 50% ($A_b = 35$ Erlang statt $A_b = 24$ Erlang) überlastet.

Die Gruppierung A (siehe auch Bild 13) hat ohne Überlastung den Verlust $B_{\text{eff } a, b} = 0,2 \cdot 0,01 \approx 0,2\%$ für die beiden Querweg-Angebote A_a und A_b . Der unmittelbare Grundverkehr hat $B_{\text{eff } c} = B_2 = 1\%$. Bei Überlastung wird $B_2 \approx 7,8\%$, was sich auf diesen Grundverkehr in vollem Umfang auswirkt; der Verlust steigt also hier auf $B_{\text{eff } c} = B_{2 \text{ lat}} = 7,8\%$!

Das nicht überlastete Querleitungsbündel hat jetzt einen effektiven Verlust von $B_{\text{eff } a} \approx 1,6\%$ und das überlastete Bündel $B_{\text{eff } b} \approx 3,2\%$.

Bei Gruppierung B haben alle 3 Angebote im Normalbetrieb den effektiven Verlust

$$B_{\text{eff}} \approx 0,6\% \text{ (92 Ltgn)}$$

oder

$$B_{\text{eff}} = 0,2\% \text{ (92 + 4 Ltgn).}$$

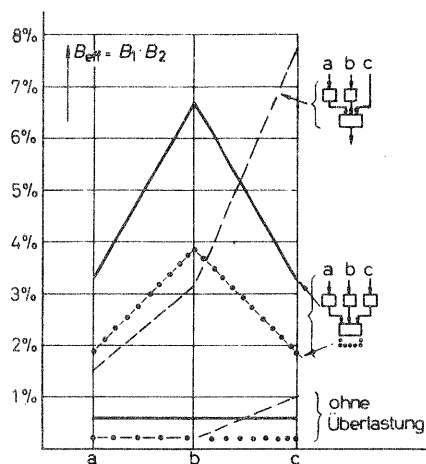


Bild 13. Effektive Verluste der Gruppierungen A und B in Bild 12 einerseits bei Normalbelastung und andererseits im Falle einer Überlastung des Querleitungsbündels b um 46% ($\alpha_1 = \frac{35}{24}$)

Bei Überlastung steigt der effektive Verlust des dafür verantwortlichen Angebots A_b auf $6,7\%$ (bzw. nur $3,8\%$). Die an der Überlastung nicht beteiligten Angebote A_a und A_c steigern dagegen ihren Verlust nur auf $3,3\%$ (bzw. $1,9\%$ bei $92 + 4$ Leitungen).

Schon an diesem Beispiel erkennt man:

1. Sehr hohe Verlustanstiege im Letztweg sind schon bei relativ kleinen Überlastungen eines Querwegs sehr leicht möglich. Die Auswirkung dieses Verlustanstiegs auf unmittelbar zugeführten Grundverkehr sind oft untragbar hoch.
2. Letztwege sollten deshalb nur mit Überlaufverkehr, aber prinzipiell nie gleichzeitig mit Grundverkehr gespeist werden (auch nicht um den Preis einer geringfügigen Leitungsersparnis).
3. Wächst der Letztwegverlust um den Faktor λ_2 an, so steigt auch der effektive Verlust mindestens um denselben Faktor.
4. Soll also der effektive Verlust B_{eff} im Überlastungsfall erträglich klein bleiben, so muß er für den normalen Betriebsfall extrem nieder gehalten werden!

Am wirtschaftlichsten erreicht man dies dadurch, daß man je Transitamt nicht einen, sondern wenigstens zwei Querwege absucht, bevor der betreffende Anruf auf den Letztweg überläuft.

3.8. Variabler Leitwegplan

Erfüllt man die in den vorangehenden Abschnitten gestellten Forderungen, so ist offenbar ein variabler Leitwegplan — zur „noch perfekteren“ Bündelausnutzung — nicht mehr zwingend notwendig. Er könnte lediglich beim Ausfall verkehrsstarker internationaler Kabel- oder Funktrassen erhöhte Sicherheit bieten. Dazu würde aber auch folgende Lösung voll ausreichen,

die keinen weitweiten Austausch von Verkehrsdaten und Momentanbelastungen erfordert (wie dies z. Z. auch diskutiert wird! [14]).

Es würde genügen in wichtigen Transitämtern mit einem kleinen, wahrscheinlich handelsüblichen Digitalrechner die Verkehrs- und Belastungsstruktur aller Eingangs- und Ausgangsbündel des Transitamtes zu messen und laufend statistisch auszuwerten. Anhand dieser Statistik kann dann der Rechner im Überlastungsfall —, und nur dann — eines aus mehreren vorbereiteten Alternativ-Leitwegprogrammen in Kraft setzen.

Eine andere, wohl etwas aufwendigere Möglichkeit wäre auch die, daß der Rechner ein neues Leitwegprogramm im Überlastungsfall selbst nach vorgegebenen Richtlinien errechnet. Ein gewisses, begrenztes Frage- und Antwortspiel mit einigen benachbarten CT's kann u. U. dabei nötig sein, um gewissermaßen die Zustimmung der Nachbar-CT's zum Programmwechsel zu erhalten.

Ein laufender Austausch von Verkehrsdaten unter allen CT's eines weltweiten Netzes und eine laufend variable Leitweglenkung zur höchstmöglichen Netzausnutzung könnte aus mehreren Gründen zu einer sehr schlechten Lösung führen. Zwei Gründe seien genannt:

- a) Dieses Verfahren verleitet dazu, die für Überlastungsfälle offenbar ganz unentbehrlichen Reserven in den Letztwegen zugunsten einer perfekten Höchstaussnutzung aller Bündel zu vernachlässigen.
- b) Das Verfahren sieht für die laufende Übermittlung der Verkehrsparameter und der Zielinformation zwischen den CT's ein abgesondertes Datennetz vor. Die Wege, welche von den Zieldaten und den Daten zur Leitwegsteuerung im Netz durchlaufen werden, können gänzlich andere sein, als jener Leitweg, über den die betreffende Verbindung schließlich hergestellt wird.

Über die Wirkbreite einer Störung in einem derartigen zentralen Datennetz — oder in dessen hochzentralisierten Datenverarbeitungsanlagen — liegen noch keinerlei Untersuchungen vor. Die Ergebnisse in Abschnitt 3 dieser Arbeit (siehe die Restfaktoren und Überlastungsfaktoren) lassen aber befürchten, daß die Perfektion einer in dieser Weise hochzentralisierten internationalen Leitweglenkung im Falle von Überlastungen im Sprechwegenetz, oder auch bei Störungen innerhalb des abgesonderten Datennetzes, unter Umständen mit weltweiten Verkehrshemmungen teuer bezahlt werden müßte.

Schließlich sollte auch bedacht werden, daß im Falle internationaler politischer Spannungszustände ein

internationales separates Datennetz die Möglichkeit bieten könnte, durch systematische Einspeisung bestimmter Ziel- und Steuerinformationen den Weitverkehr anderer Länder innerhalb von Sekunden lahmzulegen.

Schriftumsverzeichnis

- [1] A. Lotze: A Traffic Variance Method for Gradings of Arbitrary Type.
a) ITC London 1964, Document No. 8/80;
b) Post Off. Telecommun. of the Proc. of the Fourth Internat. Teletraffic Congr., London 1964, S. 50.
- [2] U. Herzog: Näherungsverfahren zur Berechnung des Streuwerts von Überlaufverkehr hinter Mischungen. Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung der Techn. Hochschule Stuttgart, 1964.
- [3] U. Herzog und A. Lotze: Das RDA-Verfahren, ein Streuwertverfahren für unvollkommene Bündel. Nachrichtentechn. Z. 19 (1966), S. 640.
- [4] R. Schehrer: Die Berücksichtigung des Streuwerts bei der Bemessung von Kennzahlwegen in der Landesfernwahl. Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung der Techn. Hochschule Stuttgart, 1964.
- [5] A. Lotze und R. Schehrer: Die streuwertgerechte Bemessung von Leitungsbündeln in Wählnetzen mit Leitweglenkung. Erscheint demnächst in der Nachrichtentechn. Z.
- [6] U. Herzog: Die exakte Berechnung des Streuwertes von Überlaufverkehr hinter Koppelanordnungen beliebiger Stufenanzahl mit vollkommener bzw. unvollkommener Erreichbarkeit. Arch. elektr. Übertr. 20 (1966), S. 180.
- [7] A. Lotze: Tables for Overflow Variance Coefficient and Loss of Gradings and Full Available Groups. Tabellen für Streuwert und Verlust von einstufigen Koppelanordnungen mit unvollkommener und vollkommener Erreichbarkeit. Edited by Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung der Techn. Hochschule Stuttgart, 1964.
- [8] A. Lotze: Tafeln für Streuwert D und Überlaufverkehr R von einstufigen Koppelanordnungen mit unvollkommener Erreichbarkeit; Berechnung von Sekundärbündeln für angebotenen Überlaufverkehr (R, D). Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung der Techn. Hochschule Stuttgart, 1965.
- [9] A. Lotze und W. Wagner: Table of the Modified Palm-Jacobaeus-Loss-Formula. Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung der Techn. Hochschule Stuttgart, 1962.
- [10] G. Bretschneider und H. Geigenberger: Berechnung der Leitungszahlen von Überlaufbündeln. Bericht der Siemens & Halske AG., Oktober 1954.
- [11] G. Bretschneider: Die Berechnung von Leitungsgruppen für überfließenden Verkehr in Fernsprechwählanlagen. Nachrichtentechn. Z. 9 (1956), S. 533.
- [12] H. Wahl: Die Anwendung des Streuwertverfahrens bei der Planung von Fernsprechanlagen. Siemens-Z. 33 (1959), S. 17.
- [13] R. I. Wilkinson: Theories for Toll Traffic Engineering in the USA. Bell Syst. techn. J. 43 (1956), S. 514.
- [14] E. P. G. Wright: Freizügige Leitweglenkung. Elektr. Nachrichtenwesen 41 (1966), S. 52.

(Eingeg.: 18. März 1966)