Das RDA-Verfahren, ein Streuwertverfahren für unvollkommene Bündel

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

Von **U. Herzog** und **A. Lotze**, Stuttgart

DK 621.395.347

Mit 11 Bildern

Übersicht

Wird ein Zufallsverkehr A einem Bündel mit $N < \infty$ Leitungen und der Erreichbarkeit $k \leq N$ angeboten, so hat dessen Verlustwahrscheinlichkeit B zur Folge, daß ein Verkehrswert $R = A \cdot B$ nicht verarbeitet wird und überläuft. Dieser Überlaufverkehr R hat andere statistische Eigenschaften als Zufallsverkehr. Er muß deshalb noch durch eine weitere Größe charakterisiert werden nämlich durch seine Varianz V oder seinen Streuwert $D = (V - R)$.

Für Zufallsverkehr gilt $V = R$ und $D = 0$,

für Überlaufverkehr gilt $V > R$ und $D > 0$.

Für Koppelanordnungen mit vollkommener Erreichbarkeit ($k = N$) ist diese Frage eingehend untersucht worden, u. a. durch *G. Bretschneider* [1, 2] und *R. I. Wilkinson* [3]. Die Streuwert-Theorie von *Bretschneider* und die Equivalent Random Theory von *Wilkinson* liefern gleiche Ergebnisse für V und D. Die beiden Verfahren ermöglichen die einfache Berechnung eines Sekundärbündels mit vollkommener Erreichbarkeit, welchem Überlaufverkehr (R, D) angeboten wird. Für spezielle Typen von einstufigen Koppelanordnungen mit unvollkommener Erreichbarkeit sind ebenfalls Lösungen zur Berechnung von V bzw. D angegeben worden [2, 4].

Das im folgenden behandelte neue RDA-Verfahren [5] befaßt sich mit einstufigen Koppelanordnungen unvollkommener Erreichbarkeit ($k < N$) und beliebigen Mischungstyps. Für Streuwertverkehr stellen sich folgende zwei Aufgaben, die durch das RDA-Verfahren gelöst werden:

1. Berechnung des Streuwerts D von Überlaufverkehr
Ist die Leitungszahl N_1, Erreichbarkeit k_1, Blockierungs- bzw. Verlustwahrscheinlichkeit B_k und der Überlaufverkehr R bekannt, so läßt sich in einfacher Weise der Streuwert D bzw. die Varianz V dieses Überlaufverkehrs berechnen oder aus Tabellen [8] ablesen. Für den Sonderfall des vollkommenen Bündels ($k_1 = N_1$) liefert das Verfahren die gleichen Werte V, D wie [1, 2, 3].

2. Berechnung von Sekundärbündeln
A. Wird dieser Überlaufverkehr (R, D) einem Sekundärbündel mit der Erreichbarkeit k_2 und dem vorgeschriebenen Verlust B_2 angeboten, so kann anhand von Diagrammen dessen Leitungszahl $N_2 = f$ (k_2, B_2, R, D) einfach und schnell ermittelt werden. Auch der Verlust $B_2 = f$ (k_2, N_2, R, D) eines Sekundärbündels mit der Erreichbarkeit k_2 und N_2 Abnehmerleitungen kann mit Hilfe dafur berechneter RDA-Tafeln [7] bestimmt werden.

Die Theorie ist in [5, 6] ausführlich behandelt worden. Im folgenden wird die Anwendung des RDA-Verfahrens auf die Praxis anhand von Beispielen beschrieben. Das Verfahren hat besondere Bedeutung fur die Bündelberechnung in Netzen, die Leitweglenkung und Überlaufbündel besitzen, wie z. B. das Netz der deutschen Landesfernwahl [10, 13].

Zahlreiche Verkehrstests, die auf einer elektronischen Datenverarbeitungsanlage der Deutschen Forschungs-Gemeinschaft durchgeführt wurden, bestätigen die Genauigkeit des Verfahrens.

1. Die Berechnung des Streuwertes D

Einer einstufigen Koppelanordnung mit unvollkommener Erreichbarkeit — meist kurz als Mischung bezeichnet — werde ein Zufallsverkehr A angeboten. Die Abnehmerleitungszahl sei N_1, die Erreichbarkeit $k_1 < N_1$. Durch Rechnung (z. B. [7, 9]) oder Messung sei die Verlustwahrscheinlichkeit B_k und damit auch der Überlaufverkehr $R = A \cdot B_k$ der Mischung bekannt. Die in [5, 6] behandelte Theorie des RDA-Verfahrens liefert für den Streuwert D dieses Verkehrsrestes folgende Formeln:

$$\text{unterer Grenzwert:} \quad D_{\mathrm{I}} = p \cdot R^2 \cdot \frac{k_1}{N_1}; \tag{1}$$

$$\text{oberer Grenzwert:} \quad D_{\mathrm{II}} = D_{\mathrm{I}} \cdot \left\{1 + \frac{N_1 - k_1}{g \cdot k_1}\right\}; \tag{2}$$

$$\text{arithm. Mittelwert} \quad D_{\mathrm{m}} = D_{\mathrm{I}} \cdot \left\{1 + \frac{0,5}{g}(N_1/k_1 - 1)\right\}; \tag{3a}$$

$$= D_{\mathrm{I}} \cdot \left\{1 + \frac{0,5}{M_1}(1 - k_1/N_1)\right\}. \tag{3b}$$

Dabei bedeutet:

N_1 Leitungszahl des unvollkommenen Bundels,
k_1 Erreichbarkeit des unvollkommenen Bündels,
g Anzahl der Zubringerteilgruppen,
$M_1 = g \cdot k_1/N_1$ Mischungsverhältnis,
$R = A \cdot B_k$ Überlaufverkehr,
p Spitzigkeitskoeffizient des Überlaufverkehrs.

Der „Spitzigkeitskoeffizient" p des Überlaufverkehrs ist eine Funktion der Verlustwahrscheinlichkeit B_k und der Erreichbarkeit k_1. Er kann aus den Diagrammen in Bild 1 a, b, c abgelesen werden.

Die Formel (3) für den mittleren Streuwert D_m[1]) wird in der Regel benutzt. Sie genügt allen Genauigkeitsanforderungen der Praxis.

Beispiel 1:

a) Gegeben sei ein unvollkommenes Bündel mit $N_1 = 30$ Abnehmerleitungen mit der Erreichbarkeit $k_1 = 6$, sowie mit dem Mischungsverhältnis $M = 2,5$.
Wird ein Zufallsverkehr von 17,62 Erlang angeboten, so ergibt sich aus den bekannten Verlusttafeln $B_k = f$

[1]) Falls die Anzahl g der Zubringerteilgruppen einer Mischung und damit ihr Mischungsverhältnis M_1 zum Zeitpunkt der Berechnung von D noch nicht bekannt ist, verwendet man für Gleichung (3 b) das kleinste Mischungsverhältnis M_1 min, welches nach den Richtlinien der DBP für die betreffende Erreichbarkeit k_1 zulässig ist (siehe z. B. Tabelle in [7]). Wie Gleichung (3 b) zeigt, liegt der so berechnete Wert D_m „auf der sicheren Seite".

Tüs 2

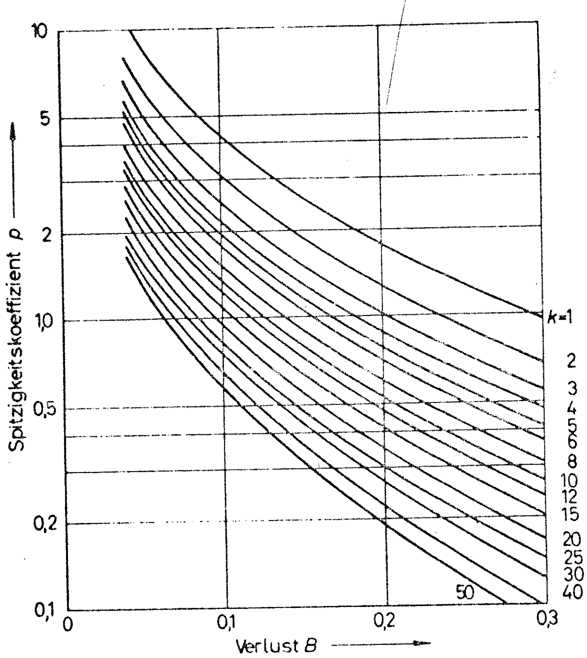


Bild 1a. Spitzigkeitskoeffizient des Überlaufverkehrs

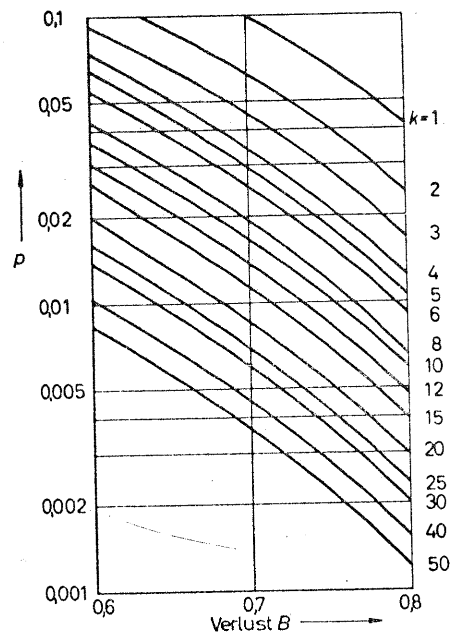


Bild 1c. Spitzigkeitskoeffizient des Überlaufverkehrs

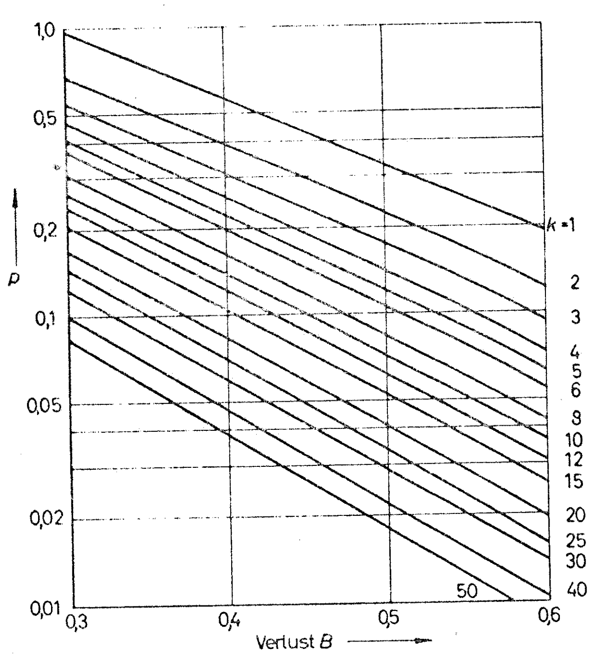


Bild 1b. Spitzigkeitskoeffizient des Überlaufverkehrs

A	N	10	11	40	200
	k	10	10	10	10
5,0	R	0,09		0,00	0,00
	D	0,07		0,00	0,00
35,0	R	25,36		4,64	0,00
	D	8,38		5,16	0,00
40,0	R	30,31		7,92	0,00
	D	8,64		8,56	0,00
45,0	R	35,27		11,66	0,00
	D	8,83		11,91	0,00
100,0	R	90,11		62,20	0,12
	D	9,55		29,88	0,08

Bild 2. Ausschnitt aus den D-Tafeln [8]

(A, N, k) — [7, 9] — eine Verlustwahrscheinlichkeit von $B_k = 5\,\%$. Der Überlaufverkehr beträgt deshalb $R = 0{,}881$ Erlang.

b) Mit $k_1 = 6$ und $B_k = 5\,\%$ erhält man aus Bild 1a den Spitzigkeitskoeffizienten $p = 3{,}75$.

Formel (1) für die untere Grenze von D liefert damit den Wert

$$D_\mathrm{I} = p \cdot R^2 \cdot \frac{k_1}{N_1} = 3{,}75 \cdot (0{,}881)^2 \cdot \frac{6}{30} = 0{,}582\,.$$

Aus Gleichung (3) erhält man:

$$D_\mathrm{m} = D_\mathrm{I} \cdot \left\{1 + \frac{0{,}5}{2{,}5} \cdot \left(1 - \frac{6}{30}\right)\right\} = 0{,}675\,.$$

Noch einfacher ist die Bestimmung des Streuwerts mit Hilfe der D-Tafeln ([8], siehe Ausschnitt in Bild 2): Für vorgegebene Werte von A, k_1 und N_1 kann man direkt den Überlaufverkehr R und dessen Streuwert D_I ablesen. Gleichung (3a) liefert dann den gesuchten Streuwert D_m.

Beispiel 2:

Gegeben sei eine Mischung mit den Daten

$N_1 = 40, \quad A = 40{,}16$ Erlang,

$k_1 = 10, \quad M = 2.$

Durch lineare Interpolation zwischen den Tabellenwerten in Bild 2 bei $A = 40$ und $A = 45$ Erlang erhält man:

Überlaufverkehr $R = 8{,}03$ Erlang,

Streuwert $D_\mathrm{I} = 8{,}66$,

Also Streuwert $D_\mathrm{m} = 10{,}3$.

2. Bemessung unvollkommener Sekundärbündel

2.1. *Bestimmung der Leitungszahl N_2 für vorgeschriebenen Verlust B_2 anhand von Diagrammen*

Werden mehrere — statistisch unabhängige — Überlaufverkehre (R_i, $D_{m\,i}$) gemeinsam einem nachfolgenden Zweitweg (einer „Sekundärmischung") angeboten, so wird dieses Gesamtangebot beschrieben durch das Wertepaar ($\bar{R}, \bar{D}$):

$$\bar{R} = \sum^{i} R_i$$

und

$$\bar{D}_m = \sum^{i} D_{m\,i}$$

bzw. den relativen Streuwert $\dfrac{\bar{D}_m}{\bar{R}}$.

Vorgeschrieben werde die Erreichbarkeit k_2 und die Verlustwahrscheinlichkeit des Sekundärbündels

$$B_2 = \frac{R_2}{\bar{R}}\,.$$

Gesucht wird die Leitungszahl N_2. Diese Leitungszahl des Sekundärbündels wird um eine Anzahl ΔN Leitungen größer sein als die Leitungszahl N_0 im Falle eines angebotenen Zufallsverkehrs mit gleichem Mittelwert $\bar{R}$ (jedoch Streuwert $\bar{D} = 0$), also

$$N_2\,(\bar{R}, \bar{D}, B_2, k_2) = N_0\,(\bar{R}, B_2, k_2) + \Delta N\,.$$

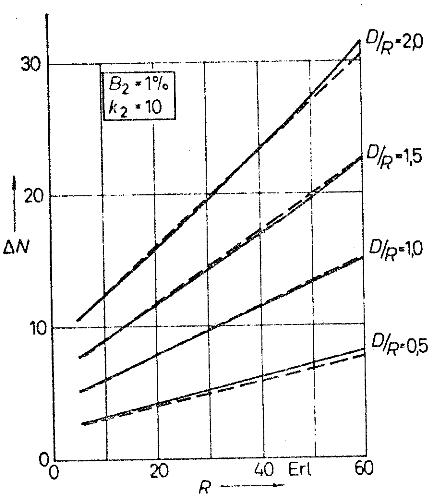


Bild 3. Leitungsmehrbedarf ΔN eines unvollkommen erreichbaren Sekundärbündels ($k_2 = 10$, $B_2 = 1\,\%$)

Für $k_2 = 10$ und $B_2 = 1\,\%$ ist in Bild 3 der Leitungsmehrbedarf ΔN als Funktion von R und D/R aufgetragen.

Die gestrichelte Kurve zeigt die Genauigkeit der nachstehenden linearen Näherung:

$$\Delta N = \frac{\bar{D}_m}{\bar{R}} \cdot \left\{ C_1 \cdot (\bar{R} - 20) + C_2 \right\}. \qquad (8)$$

Die von *R. Schehrer* [10] berechneten Koeffizienten C_1 und C_2 sind ihrerseits Funktionen von k_2 sowie B_2. Sie sind in Bild 4 und 5 dargestellt. Tabellen zur unmittelbaren Ablesung von $N_2 = f\,(k_2, B_2, R_1, D_1/R_1)$ werden z.Z. am Institut berechnet und können von dort bezogen werden.

Beispiel 3:

Einem unvollkommenen Sekundärbündel mit der Erreichbarkeit $k_2 = 10$ werde ein Überlaufverkehr

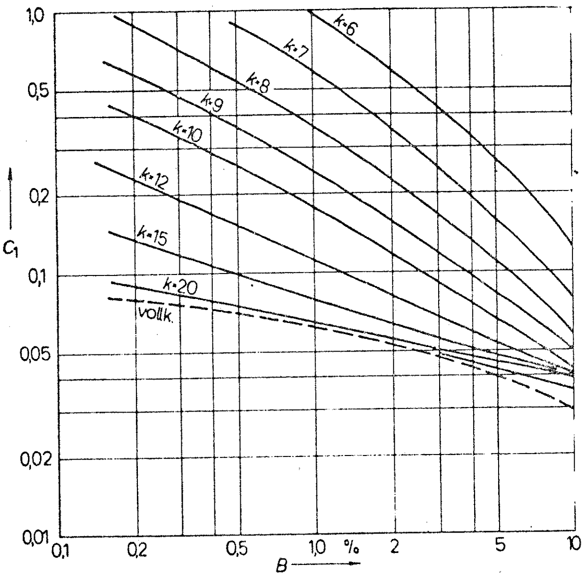


Bild 4. Diagramm des Koeffizienten C_1 zur Berechnung von ΔN

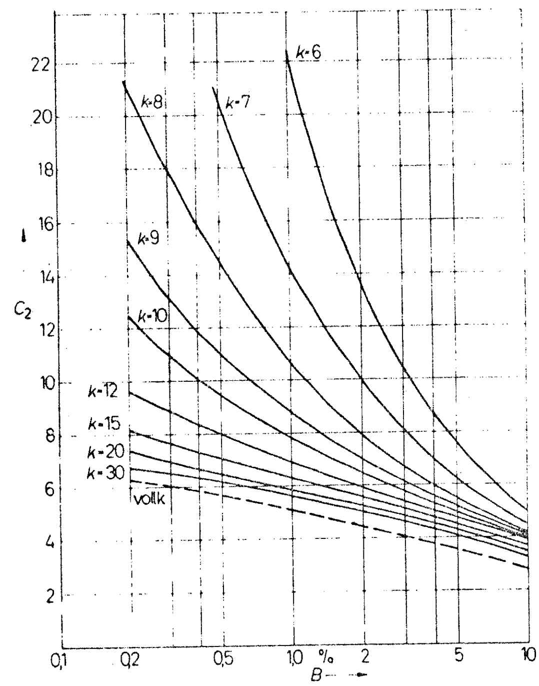


Bild 5. Diagramm des Koeffizienten C_2 zur Berechnung von ΔN

($\bar{R}, \bar{D}$) mit den Daten

$$\bar{R} = 50 \text{ Erlang}, \quad \bar{D}_m = 50, \quad \frac{\bar{D}_m}{\bar{R}} = 1$$

angeboten. Der Verlust des Sekundärbündels wird vorgeschrieben mit

$$B_2 = 0{,}01 = 1\,\%\,.$$

Das Diagramm Bild 3 liefert einen Leitungsmehrbedarf von

$$\Delta N = 13 \text{ Leitungen}\,.$$

Die für einen angebotenen Zufallsverkehr benötigte Leitungszahl N_0 wäre $N_0 = f\,(A = \bar{R}, k_2, B_2) = f\,(50/10, 0{,}01) = 83$ Leitungen, (ablesbar z. B. aus den Tafeln der MPJ-Verlustformel [7, 9]). Die tatsächlich benötigte Leitungszahl N_2 ist deshalb

$$N_2 = f\,(\bar{R}, \bar{D}, B_2, k_2) = N_0 + \Delta N = 83 + 13 = 96 \text{ Leitungen}\,.$$

Beispiel 4:

Einem vollkommenen Sekundärbündel werde ein Überlaufverkehr ($\overline{R} = 30$ Erl, $\overline{D} = 30$) angeboten. Vorgeschrieben sei die Verlustwahrscheinlichkeit

$$B_2 = 0{,}01 \mathrel{\hat{=}} 1\,\%\,.$$

Aus Bild 4 und 5 erhält man $C_1 = 0{,}062$ und $C_2 = 5{,}0$. Damit wird der Leitungsmehrbedarf

$$\Delta N = 1 \cdot \{(30\text{—}20) \cdot 0{,}062 + 5{,}0\} = 5{,}62 \text{ Leitungen}\,.$$

Die für einen angebotenen Zufallsverkehr benötigte Leitungszahl N_0 wäre $N_0 = f\ (A,\ B_2) = f\ (30/0{,}01) \approx$ 41 Leitungen (ablesbar z. B. aus den *Palm*-Tafeln [11] oder aus den Tafeln der MPJ-Verlustformel [7, 9]).

Die tatsächlich benötigte Leitungszahl des vollkommenen Sekundärbündels beträgt

$$N_2 = f\,(\overline{R}, \overline{D}, B_2) = N_0 + \Delta N$$
$$= 41 + 5{,}62 = 46{,}62 \rightarrow 47 \text{ Leitungen}\,.$$

Bemerkung: Das in [2] beschriebene Streuwertverfahren für vollkommene Bündel liefert genau dasselbe Ergebnis.

Beispiel 5:

Einem unvollkommenen Sekundärbündel mit der Erreichbarkeit $k_2 = 8$ werde ein Überlaufverkehr mit den Daten

$\overline{R} = 50$ Erlang,

$\overline{D}_m = 25$,

$\dfrac{\overline{D}_m}{\overline{R}} = 0{,}5$

angeboten. Gesucht wird die Leitungszahl N_2 bei einem vorgeschriebenen Verlust von

$$B_2 = 0{,}005 \mathrel{\hat{=}} 5\,‰\,.$$

Die Diagramme in Bild 4 und 5 liefern für dieses Wertepaar (k_2, B_2) die Koeffizienten

$$C_1 = 0{,}54 \quad \text{und} \quad C_2 = 14{,}3\,,$$

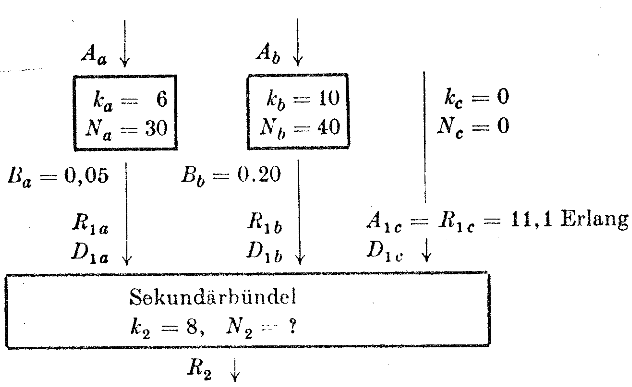
also ist der Leitungsmehrbedarf

$$\Delta N = 0{,}5 \cdot \{(50\text{—}20) \cdot 0{,}54 + 14{,}3\} = 15{,}25\,.$$

Die für einen angebotenen Zufallsverkehr benötigte Leitungszahl wäre $N_0 = f\ (A,\ k_2,\ B_2) = f\ (50,\ 8,\ 0{,}05) =$ 100 Leitungen. Deshalb ist die tatsächlich benötigte Leitungszahl $N_2 = f\ (\overline{R}, \overline{D}, B_2, k_2) = N_0 + \Delta N = 100 + 15{,}25$ $\rightarrow$ 116 Leitungen.

Beispiel 6:

Folgende Anordnung sei gegeben:



Der vorgeschriebene Verlust des Sekundärbündels betrage

$$B_2 = \frac{R_2}{\overline{R}} = \frac{R_2}{R_{1a} + R_{1b} + R_{1c}} = 0{,}02 \mathrel{\hat{=}} 2\,\%\,.$$

Die Leitungszahl N_2 soll berechnet werden.

A) Berechnung der Überlaufverkehrsdaten

Aus Beispiel 1 und 2 sind bereits die Daten der beiden Primärbündel bekannt. Deshalb gilt:

Überlaufende Verkehrsreste
$$R_{1a} = 0{,}881 \text{ Erlang}\,,\quad R_{1b} = 8{,}03 \text{ Erlang}\,,\quad R_{1c} = 11{,}1 \text{ Erlang}\,,$$

Streuwerte
$$D_{ma} = 0{,}675\,,\quad D_{mb} = 10{,}3\,,\quad D_{mc} = 0\,.$$

Für den an das gemeinsame Überlaufbündel angebotenen Summenverkehr erhält man damit:

Verkehrsrest: $\overline{R} = R_{1a} + R_{1b} + R_{1c} \approx 20$ Erlang,

Streuwert: $\overline{D}_m = D_{ma} + D_{mb} + D_{mc} \approx 11$,

Relativer Streuwert:

$$\frac{\overline{D}_m}{\overline{R}} = 0{,}55\,.$$

B) Berechnung der Leitungszahl N_2

Die Diagramme in Bild 4 und 5 liefern für das Wertepaar ($k_2 = 8$, $B_2 = 0{,}02$) die Koeffizienten

$$C_1 = 0{,}219 \text{ und } C_2 = 7{,}9\,.$$

Deshalb ist der Leitungsmehrbedarf nach Gleichung (8)

$$\Delta N = 0{,}55 \cdot \{C_1 \cdot (20\text{—}20) + 7{,}9\} = 4{,}35 \text{ Leitungen}\,.$$

Die für einen angebotenen Zufallsverkehr ($\overline{R} = A$) benötigte Leitungszahl wäre

$$N_0 = f\ (A,\ k_2,\ B_2) = f\ (20/8/0{,}02) = 35{,}4 \text{ Leitungen}\,.$$

Für die insgesamt erforderliche Leitungszahl N_2 des Sekundärbündels erhält man deshalb:

$$N_2 = N_0 + \Delta N = 35{,}4 + 4{,}35 = 39{,}75 \rightarrow 40 \text{ Leitungen}\,.$$

2.2. *Bestimmung des Verlustes B_2 mit Hilfe der RDA-Tafeln*

a) Es wird dieselbe Anordnung wie in Beispiel 6 betrachtet, jedoch sei die Leitungszahl $N_2 = 40$ bekannt und die Verlustwahrscheinlichkeit B_2 soll berechnet werden.

In Beispiel 6 wurden für die Daten des angebotenen Überlaufverkehrs folgende Werte berechnet:

$$\text{Mittelwert: } \overline{R} = \sum^{i} R_{1i} = 20{,}0 \text{ Erlang und}$$

$$\text{Streuwert: } \overline{D}_m = \sum^{i} D_{mi} = 11{,}0\,.$$

b) Jetzt muß eine geeignete „Ersatz-Primärmischung (EPM)" gesucht werden, welche die Erreichbarkeit k^* und die Leitungszahl N^* hat. Diese EPM muß folgende Eigenschaften besitzen:

- Überlaufverkehr $\overline{R}$,
- Streuwert $\overline{D}_m$.

- Das Verhältnis $\frac{N^*}{k^*}$ muß so gewählt werden, daß die EPM betrachtet werden darf als der zuerst abgesuchte Teil einer Gesamtmischung mit den folgenden Daten

  Angebot A^*,

  Leitungszahl $N_{ges} = N^* + N_2$,

  Erreichbarkeit $k_{ges} = k^* + k_2$.

Die RDA-Tafeln [7] liefern

$$(A^*, N_{ges}, k_{ges}) = f\left(R_1, \frac{N^*}{k^*}, \bar{D}_I\right),$$

es muß also noch N^*/k^* und $\bar{D}_I$ bestimmt werden (siehe die folgenden Abschnitte c, d):

c) Bekanntlich sollen gute Mischungen für geordnetes Absuchen eine Staffelgröße h besitzen, welche nicht einheitlich ist, sondern in Absuchrichtung zunimmt. Deshalb muß ein

$$\frac{N^*}{k^*} > \frac{N_2}{k_2}.$$

Der geeignete Wert N^*/k^* kann aus der Tabelle in Bild 6 entnommen werden.

N_2 \ k_2	6	8	10	12	14	16	18	20
10	3	2	1	—	—	—	—	—
20	6	4	3	3	2	2	2	1
30	9	6	4	4	3	2	2	2
40	12	8	6	5	4	3	3	3
50	14	10	7	6	5	4	4	4
60	18	12	9	8	6	5	5	4
80	20	16	12	10	9	7	6	6
100	25	18	14	12	10	9	8	7
120	—	20	18	16	14	10	9	8
140	—	—	20	18	16	12	10	10
160	—	—	—	20	18	14	12	12
180	—	—	—	—	20	16	14	12
200	—	—	—	—	—	18	16	14

Bild 6. Tabelle für das Verhältnis N^*/k^*

In unserem Beispiel ergibt sich mit ($k_2 = 8$, $N_2 = 40$) der Wert

$$\frac{N^*}{k^*} = 8.$$

d) Der aus Abschnitt a) bekannte Streuwert $\bar{D}_m$ muß noch umgerechnet werden in den vom Mischungsverhältnis der EPM unabhängigen unteren Grenzwert $\bar{D}_I$. Folgende Formel liefert in allen Fällen der Praxis hinreichend genaue Ergebnisse:

$$\bar{D}_I \approx 0{,}8\, D_m.$$

In unserem Beispiel erhalten wir deshalb

$$\bar{D}_I = 0{,}8 \cdot 11{,}0 = 8{,}8.$$

e) Schlägt man nun die RDA-Tafel für $N^*/k^* = 8$ (siehe Bild 7) auf, so findet man bei $R = 20$ Erlang und D_I =

		$N/k = 8$			
$R = AB$	N k	8 1	24 3	32 4	208 26
0,1	D A	0,00 0,95	0,02 5,98	0,03 9,79	0,13 147,66
10	D A	2,91 26,12	7,94 38,84	10,19 45,41	41,52 202,61
100	D A	6,03 107,45	17,75 122,36	23,45 129,83	130,71 296,19

Bild 7. Ausschnitt aus den RDA-Tafeln [7]

10,19 [1]) das folgende Wertetripel für die EPM:

Angebot $A^* = 45{,}41$ Erlang,

Leitungszahl $N^* = 32$,

Erreichbarkeit $k^* = 4$.

Mit k^* und N^* erhält man die Gesamterreichbarkeit der Gesamtmischung

$$k_{ges} = k^* + k_2 = 4 + 8 = 12$$

und die Gesamt-Leitungszahl

$$N_{ges} = N^* + N_2 + 32 + 40 = 72.$$

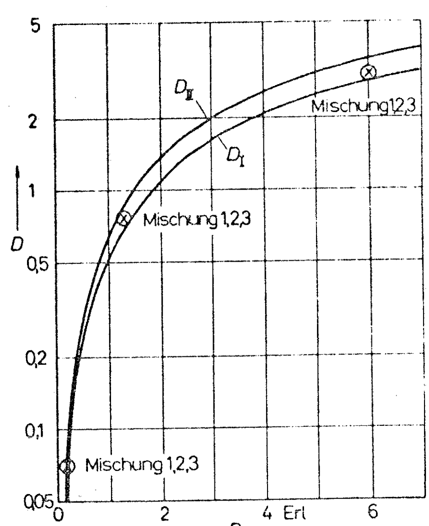


Bild 8a. Vergleich der RDA-Grenzkurven mit exakt berechneten Werten für kleine unvollkommene Bündel

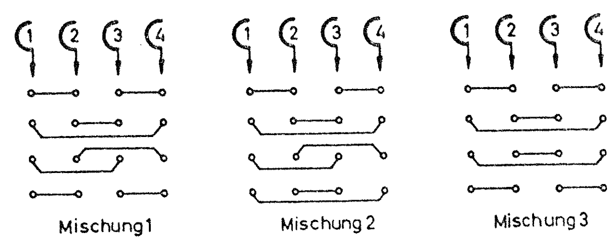


Bild 8b. Kleine unvollkommen erreichbare Bündel, welche noch exakt berechenbar sind [12]

[1]) Für tabellierte Werte von R benützt man jenes Wertepaar (D, A) der betreffenden Zeile, welches dem berechneten Wert D_I am nächsten liegt. (Der nächsthöhere Wert liegt stets auf der sicheren Seite).

Als nächstes bestimmt man den Verlust B_{ges} der Gesamtmischung mit Hilfe der Verlusttafeln (z. B. [7] in Teil A).

Mit $A^* = 45{,}41$ Erlang, $k_{ges} = 12$ und $N_{ges} = 72$ findet man

$$B_{ges} = 0{,}0094 \mathrel{\widehat{=}} 0{,}94\,\% .$$

Daraus erhält man die gesuchte Verlustwahrscheinlichkeit B_2 des Sekundärbündels zu

$$B_2 = \frac{A^*}{R_1} \cdot B_{ges} .$$

In unserem Beispiel wird

$$B_2 = \frac{45{,}41}{20{,}0} \cdot 0{,}0094 = 0{,}0213 \mathrel{\widehat{=}} 2{,}13\,\% .$$

3. Vergleich mit Verkehrstests und exakt berechneten Werten

Für sehr kleine unvollkommene Bündel wurden in [12] exakte Werte für den Überlaufverkehr R und dessen Streuwert D berechnet. Außerdem wurden zahlreiche Verkehrstests auf einer elektronischen Datenverarbeitungsanlage im Rechenzentrum der Technischen Hochschule Stuttgart durchgeführt. Der Vergleich mit den Verkehrstests und Rechenergebnissen bestätigte die Zuverlässigkeit des Verfahrens.

Einige Beispiele für den Streuwert zeigen die Bilder 8a, 9a und 10a (die zugehörigen Mischpläne siehe in Bild 8b, 9b, 10b). Ein Ergebnis für die Bemessung von Überlaufbündeln ist in Bild 11 angegeben.

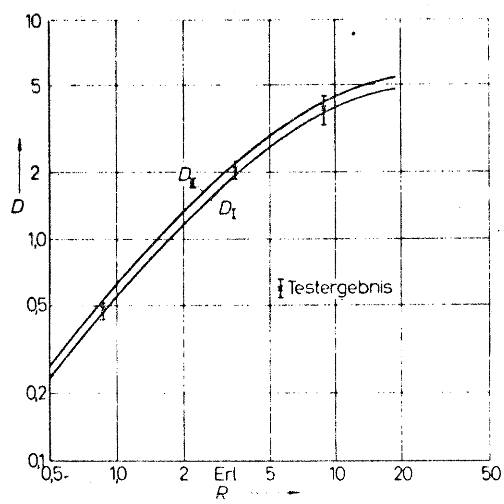


Bild 9a. Vergleich von Test- und RDA-Rechenergebnissen für die Mischung 4

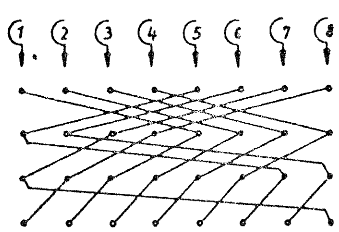


Bild 9b. Mischung 4 ($N = 8$, $k = 4$, $g = 8$)

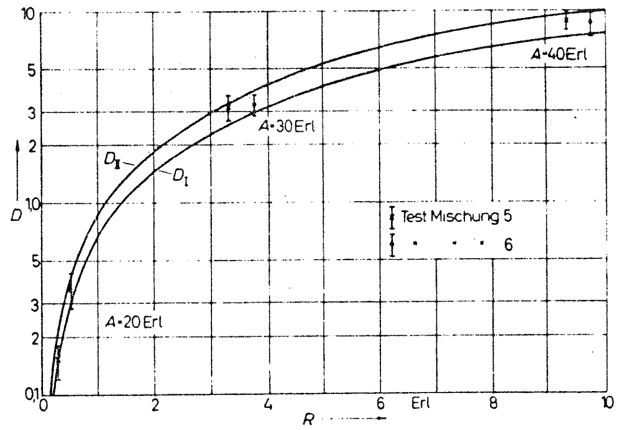


Bild 10a. Vergleich von Test und RDA-Rechnung für die Mischungen 5 und 6

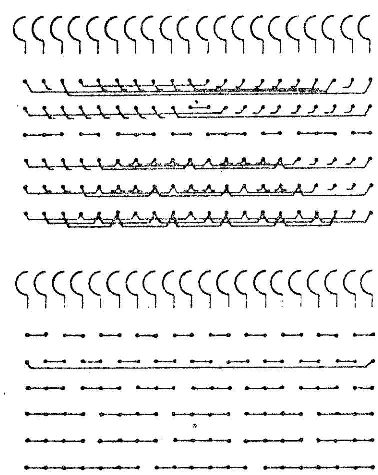
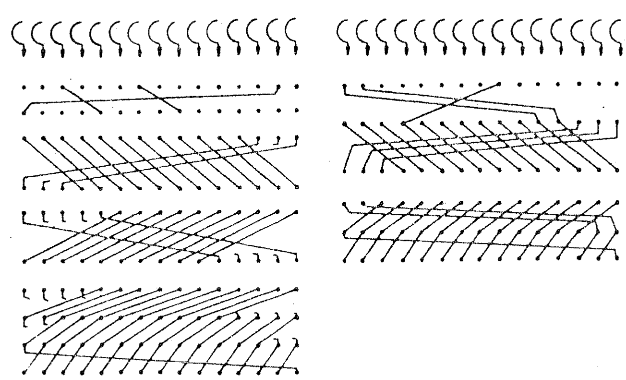


Bild 10b. Mischung 5 (oben) und Mischung 6 (beide Mischungen haben $N = 40$, $k = 6$, $g = 20$)



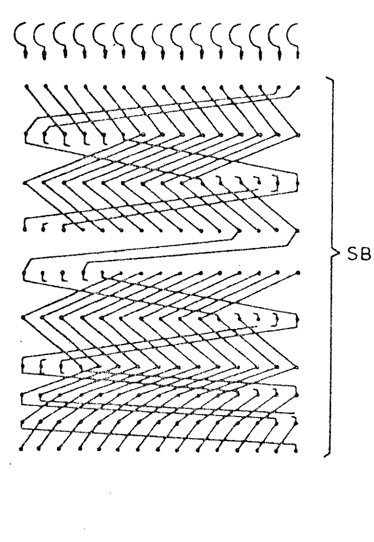


Bild 11. Anordnung mit 2 Querwegen und einem gemeinsamen Kennzahlweg (SB)
Simulationsergebnis für den Sekundärverlust: $B_2 = 0{,}005798 \pm 0{,}002$
Rechenergebnis nach dem RDA-Verfahren: $B_2 = 0{,}00576$

Schrifttumsverzeichnis

[1] G. *Bretschneider* und H. *Geigenberger:* Berechnung der Leitungszahlen von Überlaufbündeln. Bericht der Siemens & Halske AG., Oktober 1954.

[2] G. *Bretschneider:* Die Berechnung von Leitungsgruppen für überfließenden Verkehr in Fernsprechwählanlagen. Nachrichtentechn. Z. 9 (1956), S. 533.

[3] *R. I. Wilkinson* und *J. Riordan:* Theories for Toll Traffic Engineering in the USA. Presented at the first ITC 1955 Copenhagen and Bell Syst. techn. J. Nr. 35 (1956), S. 514.

[4] G. *Bretschneider:* Ein verallgemeinertes Verfahren zur Näherungsberechnung der Leistungsfähigkeit von Überlaufanordnungen. Nachrichtentechn. Z. 15 (1962), S. 639.

[5] *A. Lotze:* A Traffic Variance Method for Gradings of Arbitrary Type.
a) ITC London 1964, Document No. 8/80.
b) Post Off. Telecommun. J., Special Issue, Rep. of the Proc. of the Fourth Intern. Teletraffic Congr., London 1964, S. 50.

[6] *U. Herzog:* Näherungsverfahren zur Berechnung des Streuwertes von Überlaufverkehr hinter Mischungen. Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung der Techn. Hochschule Stuttgart, 1964.

[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 (RDA-Tafeln)). Herausgegeben vom 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). Tables for Variance Coefficient D and Overflow Traffic R of one stage gradings with limited access. Calculation of Secondary Routes in case of offered Overflow Traffic (R, D). Herausgegeben vom Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung der Techn. Hochschule Stuttgart, 1965.

[9] *A. Lotze* und *W. Wagner:* Table of the Modified Palm-Jacobaeus-Loss-Formula. Herausgegeben vom Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung der Techn. Hochschule Stuttgart, 1962.

[10] *R. Schehrer:* Die Berücksichtigung des Streuwerts bei der Bemessung von Kennzahlwegen in der Landesfernwahl. Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung der Techn. Hochschule Stuttgart, 1964.

[11] *C. Palm:* Table of the Erlang Loss Formula Kungl. Telestyrelsen, Stockholm 1954.

[12] G. *Bretschneider:* Die exakte Bestimmung der Verkehrsleistung kleiner unvollkommener Fernsprechbündel. Nachrichtentechn. Z. 16 (1963), S. 199.

[13] *H. Wahl:* Die Anwendung des Streuwertverfahrens bei der Planung von Fernsprechanlagen. Siemens-Z. 33 (1959), S. 17.

(Eingeg.: 18. März 1966)