Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 79/80 (1922)

Heft: 25

Artikel: Beiträge zur Berechnung von Eisenbeton-Querschnitten auf einheitlicher tabellarischer Grundlage

Autor: Pasternak, P.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-38105

Band 79. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. Nr. 25.

Beiträge zur Berechnung von Eisenbeton-Querschnitten auf einheitlicher tabellarischer Grundlage.

Von Ing. *P. Pasternak*, Privatdozent an der E. T. H., Zürich.

(Schluss von Seite 267.)

II. Berechnung des einseitig zugbewehrten Querschnittes.

Im ersten Teil dieser Arbeit, vom doppelt bewehrten Rechteckquerschnitt handelnd, habe ich eine, hier wiederholte, Tabelle I der Koeffizienten

$$\left.\begin{aligned} \xi &= \frac{n}{n+\gamma}, \quad \varrho = 1 - \frac{\xi}{3}, \\ K_1 &= \frac{\xi}{2}\left(1 - \frac{\xi}{3}\right), \quad K_2 = \frac{K_1}{\gamma}, \quad \mu = \frac{50\,\xi}{\gamma} \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

veröffentlicht und darauf hingewiesen, dass sie sich als natürliche und allgemeine Grundlage für die Berechnung von Eisenbetonquerschnitten erweist. Beim doppelt bewehrten Rechteckquerschnitt kam dies, in der erwähnten Arbeit, deutlich zum Ausdruck. Es sollen nun auch, auf derselben Grundlage und unter besonderer Berücksichtigung der schweizerischen Normen, die *einseitig* bewehrten Querschnitte kurz zusammengefasst, behandelt werden.

Die Tabelle I hat den Vorzug, sämtliche Koeffizienten (1) als *rationale* Funktionen *ganzzahliger* $\gamma = \frac{\sigma_e}{\sigma_b}$ Werte zu geben. Kämen, für die verschiedenen Länder, mehr als zwei Dehnungmasse n (15 und 20) in Frage, so wäre die Wahl von ξ als unabhängiger Variabeln und die Aufstellung einer Tabelle folgender Werte vorteilhafter:

$$\frac{\gamma}{n} = \frac{1-\xi}{\xi}, \; K_1 = \frac{\xi}{2}\left(1 - \frac{\xi}{3}\right), \; n K_2 = \frac{\xi}{(1-\xi)} K_1, \; n\mu = \frac{50\,\xi^2}{(1-\xi)} \quad (2)$$

Eine solche Tabelle könnte, da sie unabhängig von n ist, in allen Ländern als Universal-Tabelle benützt werden. Uebrigens zeigt die Gegenüberstellung der Formeln (1) und (2), dass man Tabellen und Graphiken der ersten Art, also z. B. die für $n = 20$ berechnete Tabelle I, ohne in Betracht fallende Mehrarbeit, auch für andere n benützen kann. Dies ist schon in meiner ersten Arbeit gezeigt worden und soll noch weiter unten, an einem Beispiel, näher erläutert werden.

1. Reine Biegung.

Berechnung der Spannungen:

Gegeben: $M, b, h, \mu = \frac{100 f}{bh}$ gesucht: σ_b und σ_e. Man entnimmt der Tabelle I die zum gegebenen μ zugehörigen γ und K_1 oder K_1 und K_2-Werte und hat dann sehr einfach

$$\left.\begin{aligned} \sigma_b &= \frac{M}{W_b} = \frac{M}{K_1\, bh^2}\,^{1)}, \quad \sigma_e = \gamma\, \sigma_b \\ &\text{oder auch} \\ \sigma_e &= \frac{M}{W_e} = \frac{M}{K_2\, bh^2}\,^{1)} \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

1. Beispiel: $M = 27{,}55$ tm, $b = 0{,}40$, $h = 0{,}95$ m, $f = 6\,\phi\,30 = 42{,}41$ cm², $b\,h = 0{,}4 \cdot 0{,}95 = 0{,}380$, $bh^2 = 0{,}95 \cdot 0{,}38 = 0{,}361$, $\mu = \frac{4241}{3800} = 1{,}116\,\%$ $\frac{M}{bh^2} = \frac{27{,}55}{0{,}361} = 76{,}4$ t/m², $\gamma = 22 - \frac{34}{79} = 21{,}57$, $K_1 = 2{,}00 - 0{,}418 \cdot 0{,}04 = 2{,}017$

$$\sigma_b = \frac{76{,}4}{2{,}017} = 37{,}9 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_e = 21{,}57 \cdot 37{,}9 = 817 \text{ kg/cm}^2 \text{ oder } \sigma_e = \frac{76{,}4}{93{,}7} = 0{,}816 \text{ t/cm}^2$$

[1]) Die Koeffizienten K_1 und K_2 entsprechen dem Zahlwert $^1/_6$ beim homogenen Querschnitt.

Die Berechnung erfolgt genügend genau mit dem Rechenschieber. In der Tabelle sind die 10 fachen K_1 und die 10 000 fachen K_2-Werte angegeben, so dass man, bei Angabe von b und h in Meter und M in t/m, σ_b in kg/cm² und σ_e in t/cm² erhält.

Bemessungsaufgaben:

1. Fall: Gegeben M, σ_b, σ_e also auch γ; gesucht b, h und f. Von den Abmessungen des Nutzquerschnittes ist gewöhnlich b oder h gegeben oder kann gewählt werden.

Die Gleichungen $M = \sigma_b K_1\, bh^2 = \sigma_e K_2\, bh^2$ liefern bei Wahl einer der Abmessungen die andere, worauf dann auch f aus $f = \frac{\mu\, bh}{100}$ bestimmt ist. M gehört zum gegebenen γ.

Beispiel 2: $M = 19{,}7$ t/m, $b = 0{,}35$ m, $\sigma_e = 1000$ kg/cm²
$h = ?$ $f = ?$ $\sigma_b = 35$ „

$$\gamma = \frac{1000}{35} = 28{,}57, \quad K_1 = 1{,}763 + 0{,}43 \cdot 31\,^{1)} = 1{,}776$$

$$\mu = 0{,}704 + 0{,}017 = 0{,}721, \quad M = 19{,}7 = 35 \cdot 1{,}776\, bh^2 = 62{,}1\, bh^2 \text{ t/m}$$

$$h = \sqrt{\frac{19{,}7}{0{,}35 \cdot 62{,}1}} = \sim 0{,}95 \text{ m}$$

$$f = 0{,}721 \cdot \frac{95 \cdot 35}{100} = \sim 23{,}95 \text{ cm}^2$$

Noch einfacher ist die Berechnung, wenn b gesucht ist. Zur Bestimmung von h sind besondere Dimensionierungsformeln von der Form $h = \alpha \sqrt{\frac{M}{b}}$ und entsprechende

[1]) der letzten Einheit von K.

Tabelle I, Koeffizienten der rechteckigen, einseitig zugbewehrten Eisenbeton-Querschnitte für $n = 20$.

γ $\sigma_e : \sigma_b$	ξ $x = \xi \cdot h$	ϱ $h - \frac{x}{3} = \varrho \cdot h$	k_1 $\sigma_b = \frac{M}{k_1 bh^2}$	k_2 $\sigma_e = \frac{M}{k_2 bh^2}$	μ $f_e = \mu bh$	γ	ξ	ϱ	k_1	k_2	μ
5	0,800	0,733	293	587	8,00	58	256	914_5	1172	202	221
6	769	743_6	286	477	641	59	253	915_6	1159	196_4	214_5
7	741	753	279	398	529	60	250	917	1146	1910	208
8	714	762	272	340	446	61	247	918	1133	1857	202
9	690	770	265_5	295	383	62	244	919	1120	1807	197
10	667	778	259	259	333	63	241	920	1108	1759	191_2
11	645	785	253	230	293	64	238	921	1096	1712	186
12	625	792	247	206	260	65	235	921_6	1084	1668	181
13	606	798	242	186,0	233	66	232_5	922	1073	1625	176_2
14	588	804	236	168,9	210	67	230	923	1061	1584	171_5
15	571	809_5	231	154,2	190_5	68	227	924	1050	1544	1671
16	556	815	226	141,5	174	69	225	925	1039	1506	163
17	540_5	820	222	130,3	159	70	222	926	1029	1470	159
18	526	824_5	217	120,6	146_2	71	220	927	1018	1434	155
19	513	829	212_6	111,9	135	72	217	927_5	1008	1400	151
20	500	833	208	104,2	125	73	215	928	998	1367	147_3
21	488	837	204	97,3	116_1	74	213	929	988	1336	144
22	476	841	200	91,0	108_2	75	210_5	930	979	1305	140_4
23	465	845	$1{,}96_5$	85,4	101_1	76	208	930_5	969	1275	137_1
24	454_5	848	$1{,}92_8$	80,4	947	77	206	931	960	1247	134
25	444	852	1,893	75,7	889	78	204	932	951	1219	131
26	435	855	1,859	715	836	79	202	932_7	942	1192	128
27	425_5	858	1826	676	788	80	200	933	933	1167	125
28	417	861	1794	641	744	81	198	934	925	1142	122_2
29	408	864	1763	608	704	82	196_1	934_6	916	1117	120
30	400	867	1733	578	667	83	194_2	935	908	1094	117
31	392	869	1704	550	632_5	84	192_3	936	900	1071	114_5
32	385	872	1677	524	601	85	1905	936_5	892	1049	112
33	377	874	1649	500	572	86	1887	937	884	1028	110
34	370	876_5	1623	477	545	87	1870	938	876	1007	107_4
35	364	879	1598	457	519	88	1852	938	869	987	105_2
36	357	881	1573	437	496	89	1835	939	861	968	103_1
37	351	883	1549	419	474	90	1820	939	854	949	101_0
38	345	885	1526	402	454	91	1802	940	847	931	990
39	339	887	1503	385	434_6	92	1786	940	840	913	970_5
40	333	889	1481	370	417	93	1770	941	833	895	951_5
41	328	891	1460	356	400	94	1754	941_5	826	879	933
42	322_6	892_5	1439	343	384	95	1740	942	818	861	915
43	317	894	1419	330	369	96	1724	942_5	812_5	846	898
44	312_5	896	1400	318	355	97	1710	943	806	831	881
45	308	897	1381	307	342	98	1695	943_5	800	816	865
46	303	899	1362	296	329	99	1681	944	793	801	849
47	298_5	900_5	1344	286	317_6	100	1667	944	787	787	833
48	294	902	1326	276	306	101	1653	945	781	773	818
49	290	903_4	1309	267	296	102	1640	945	775	760	804
50	286	905	1293	259	286	103	1630	946	769	746_5	789
51	282	906	1276	250	276	104	1613	946	763	734	775
52	278	907	1260	242	267	105	1600	947	757	721	762
53	274	909	1245	234	258	106	1590	947	751	709	749
54	270	910	1230	228	250	107	1575	947_5	746	697	736
55	267	911	1215	221	242	108	1562	948	740	685	723
56	263	912	1200	214	235	109	1550	948	735	674	711
57	260	913	1186	208	228	110	1538	949	730	663	699

Tabellen aufgestellt worden. Bei der Berechnung mit dem Rechenschieber ist es aber einerlei, ob ein Koeffizient *vor* oder *unter* dem Wurzelzeichen steht. Ich halte deswegen besondere Bemessungstafeln für nicht notwendig, umsomehr, da sie nur für ganz bestimmte Spannungswerte gegeben werden können.

2. Fall: Gegeben M, b, h, $\sigma_{e\,\mathrm{zul}}$: gesucht f und σ_b.

Dies ist der wichtigste und häufigste Bemessungsfall der Praxis. Gewöhnlich wird er durch Schätzung des innern Hebelarmes gelöst. In der Tat darf man, wenn die Betondruckspannung nicht bedeutend kleiner wie die zulässige ist, ϱ als zum γ_{zul} gehörig, der Tabelle entnehmen; denn aus der ϱ-Kolonne ersieht man, dass diese Werte sich nur sehr wenig mit γ ändern.

Bei sehr geringen Betondruckspannungen, also kleinen Angriffsmomenten und starken Platten und Balken, ist aber die Näherungsrechnung unwirtschaftlich und sollte durch die genaue Berechnung ersetzt werden, die mit Hülfe der Tabelle I sich ungemein einfach gestaltet.

Aus dem Ansatz

$$M = \sigma_{e\,\mathrm{zul}}\, K_2\, bh^2 \text{ folgt } K_2 = \frac{M}{\sigma_{e\,\mathrm{zul}}\, bh^2}$$

Die Tafel liefert die prozentuale Bewehrung μ und mit K_1 oder γ auch σ_b.

3. Beispiel: $M = 5{,}2$ tm, $b = 0{,}32$, $h = 1{,}05$ m. Zulässige Spannungen: $\sigma_e = 1200$, $\sigma_b = 40$, $\gamma_{\mathrm{zul}} = 30$

$$bh = 0{,}336,\ bh^2 = 0{,}353,\ K_2 = \frac{5{,}2}{0{,}353 \cdot 1{,}2} = 12{,}28$$

$$\mu = 0{,}131 + \frac{9}{28}3 = \sim 0{,}132,\ f = 0{,}132 \cdot 33{,}6 = 4{,}43 \text{ cm}^2$$

$$\gamma = 78 - \frac{9}{28} = 77{,}68,\ \sigma_b = \frac{1200}{77{,}68} = \sim 15{,}5 \text{ kg/cm}^2$$

Die Näherungsrechnung gibt, mit $\gamma = 30 : \varrho = 0{,}867$,

$$f = \frac{5{,}2}{0{,}867 \cdot 1{,}05 \cdot 1{,}2} = \frac{5{,}2}{1{,}092} = 4{,}76 \text{ cm}^2$$ d. h. 7,5 % Mehrbedarf an Eisen.

Folgt aus der Tabelle das zu K_2 zugehörige $\gamma < \gamma_{\mathrm{zul}}$, also $\sigma_b > \sigma_{\mathrm{zul}}$ und soll trotzdem, aus irgend welchen Gründen, an einer *einseitigen* Zugbewehrung festgehalten werden, so berechnet man

$$K_1 = \frac{M}{\sigma_{b\,\mathrm{zul}}\, bh^2}$$

und liest in der Tabelle, wie oben, die zugehörigen γ und μ ab. Meistens ist in diesem Falle eine Doppelbewehrung wirtschaftlicher. Ich verweise diesbezüglich auf die vorhergehende Arbeit.

Die S. B. B.-Vorschriften gestatten eine Ueberschreitung der normalen zulässigen Betondruckspannungen nach den Formeln:

$$\left.\begin{array}{ll}
\text{Hochbau:} & \\
\sigma_b = 40 + 0{,}1\ (1200 - \sigma_e) & \text{im max. } 60 \text{ kg/cm}^2 \\
\text{Strassenbrücken:} & \\
\sigma_b = 35 + 0{,}075\ (1000 - \sigma_e) & \text{„ „ } 50 \text{ „} \\
\text{Eisenbahnbrücken:} & \\
\sigma_b = 30 + 0{,}05\ (800 - \sigma_e) & \text{„ „ } 40 \text{ „}
\end{array}\right\} \quad (4)$$

wenn also gleichzeitig die zulässigen Eisenzugspannungen 1200, 1000, 800 auf bezw. 1000, 800 und 600 kg/cm² ermässigt werden. Man kann demnach in der Schweiz, bis zu den obigen Grenzen, mit einer *einseitigen* Zugbewehrung auskommen. Es sei daran erinnert, dass obige Formeln, die ein wirtschaftliches Konstruieren ermöglichen, in folgender Tatsache ihre Begründung finden:

Ein bis zum Bruch belasteter Eisenbetonbalken geht, bei den üblichen Bewehrungsprozenten der Praxis immer zu Grunde durch Ueberschreiten der Streckgrenze der Zugeisen und *nicht* durch Ueberwinden der Betondruckfestigkeit.

Gewöhnlich ist der Nutzquerschnitt $b\,h$ gegeben. Für ein rasches Bestimmen der Zugbewehrung, bei Ueberschreiten der gewöhnlichen zulässigen Druckspannung dient die Tabelle II. Sie liess sich rasch mit Hülfe der grundlegenden Tabelle I und den aus (4) sich ergebenden Formeln

Tabelle II, zur Berechnung rechteckiger, einseitig zugbewehrter Querschnitte bei Ueberschreitung der normalen zulässigen Druckspannung.

(Nach den Schweizerischen Vorschriften vom 26. November 1915)

γ	Hochbauten M/bh^2	σ_b	σ_e	Strassenbrücken M/bh^2	σ_e	σ_b	Eisenbahnbrücken M/bh^2	σ_b	σ_e	μ $f=\frac{\mu bh}{100}$
15							92,5	40	600	1,905
16				113,2	50	800	88,0	38,9	622	1,736
16,67	133,7	60	1000							1,638
17	131,3	59,3	1008	107,1	48,4	823	83,8	37,8	643	1,590
18	124,0	57,1	1028	101,6	46,8	842	79,9	36,8	663	1,462
19	117,3	55,2	1049	96,4	45,4	863	76,3	35,9	682	1,350
20	111,1	53,3	1066	91,7	44,0	880	72,9	35,0	700	1,25
21	105,4	51,6	1084	87,25	42,7	897	69,7	34,2	717	1,161
22	100,2	50,0	1100	83,15	41,5	913	66,8	33,4	734	1,082
23	95,3	48,5	1115,5	79,3	40,4	929	64,0	32,6	749	1,011
24	90,75	47,1	1130	75,8	39,3	943	61,4	31,8	763	0,947
25	86,5	45,7	1142,5	72,4	38,3	958	58,9	31,1	778	0,889
26	82,6	44,5	1157	69,3	37,3	970	56,6	30,4	791	0,836
26,67							55,1	30	800	0,804
27	78,96	43,2	1166	66,4	36,4	983				0,788
28	75,5	42,1	1179	63,7	35,5	994				0,744
28,57				62,1	35,0	1000				0,721
29	72,3	41	1189							0,704
30	69,3	40	1200	M in t/m	, σ_b und	σ_e in	kg/cm²	, b und h	in m	0,667

$$m = \frac{M}{bh^2} = \frac{160\,K_1}{1 + 0{,}1\,\gamma},\ \frac{110\,K_1}{1 + 0{,}075\,\gamma},\ \frac{70\,K_1}{1 + 0{,}05\,\gamma} \quad (5)$$

berechnen. Die K_1 und μ konnten für ganzzahlige γ unmittelbar der Tabelle I entnommen werden. Die zugehörigen Betondruckspannungen folgen aus der Formeln (5), durch Weglassen von K_1 und die Zugspannungen aus $\sigma_e = \gamma\,\sigma_b$.

4. Beispiel: Hochbaubalken $M = 23{,}5$ tm, $b = 0{,}30$, $h = 0{,}82$ m, $b\,h = 0{,}246$ m², $b\,h^2 = 0{,}2017$ m³, $\frac{M}{bh^2} = \frac{23{,}5}{0{,}2017} = 116{,}5$

Interpolations-Multiplikator (Intervall $\gamma = 19 \div 20$)

$$i = \frac{0{,}8}{6{,}2} = 0{,}129.$$

$$\begin{aligned}
\gamma = 19{,}129,\quad \mu &= 1{,}35 - 0{,}129 \cdot 0{,}1 = 1{,}337\ \% \\
f &= 1{,}337 \cdot 24{,}6 = \sim 32{,}9 \text{ cm}^2 \\
\sigma_b &= 55{,}2 - 0{,}129 \cdot 1{,}9 = 55 \text{ kg/cm}^2 \\
\sigma_e &= 19{,}129 \cdot 55 = \sim 1050 \quad \text{„}
\end{aligned}$$

Die Berechnung der Spannungen kann natürlich auch unterbleiben.

2. *Biegung mit Axialkraft.*

Bemessung der Bewehrung bei gegebenem Nutzquerschnitt b h.

Eine einseitige, bis zur zulässigen Zugspannung $\sigma_{e\,\mathrm{zul}}$ voll ausgenützte Zugbewehrung ist in diesem Fall nur dann wirtschaftlich, wenn $\sigma_b < \sigma_{b\,\mathrm{zul}}$ sich ergibt. Da man σ_b, also auch γ, von vornherein nicht kennt, bietet die algebraische Bestimmung von f insofern eine Schwierigkeit, als man zur Bestimmung von γ (oder auch ξ) auf eine Gleichung dritten Grades gelangt. Auf eine *verblüffend einfache und doch genaue* Weise löst sich diese Bemessungsaufgabe mit Hülfe der Tabelle I. Man kann nämlich für die einseitige Zugbewehrung f unmittelbar den einfachen und leicht zu übersehenden Ausdruck anschreiben

$$f = \mu\,\frac{bh}{100} \mp \frac{P}{\sigma_{e\,\mathrm{zul}}} \quad (6)$$

μ ist darin der Tabellenwert, welcher zu $K_2 = \frac{M_e}{\sigma_{e\,\mathrm{zul}}\, bh^2}$ gehört. Das zweite, von vornherein bekannte Glied, tritt mit dem obern oder untern Zeichen in die Formel, je nachdem P eine Druck- oder Zugkraft bedeutet. Gleichung (6) kann auch durch Spezialisierung der Gleichungen (2) der vorigen Abhandlung erhalten werden: Mit

$$m = \frac{M_e}{\sigma_b\, bh^2} = K_1 \text{ wird } \mu_d = 0$$

und $$\mu_z = \mu \mp \frac{100\,p}{\gamma}.$$

Multipliziert man mit $\frac{bh}{100}$ aus, so erhält man (6) unter Berücksichtigung von $p = \frac{P}{\sigma_b\, bh}$ und $\gamma\,\sigma_b = \sigma_e$.

5. Beispiel: $b = 0{,}80$, $d = 1{,}00$, $h = 0{,}95$ m, $\sigma_{b\,zul} = 45$, $\sigma_{e\,zul} = 1200$, M_o (inbezug Querschnittsmitte) $= +30{,}5$ t/m

$P = +64$ t (Druckkraft)

$M_e = +30{,}5 + 64 \cdot 0{,}45 = 59{,}3$ t/m

$bh = 0{,}76$ m², $bh^2 = 0{,}722$ m³, $K_2 = \frac{59{,}3}{0{,}722 \cdot 1{,}2} = 68{,}5$

$\gamma = 26 + \frac{30}{39} = 26{,}77$, $\sigma_b = \frac{1200}{26{,}77} = 44{,}8$ kg/cm² $(< \sigma_{b\,zul})$

$\mu = 0{,}788 + 0{,}23 \cdot 0{,}048 = 0{,}799\,\%$

$f = 0{,}799 \cdot 76 - \frac{64{,}0}{1{,}2} = 60{,}7 - 53{,}3 = 7{,}4$ cm²

Wäre P eine Zugkraft, die symmetrisch zur angenommenen Druckkraft wirken müsste, so bliebe alles genau gleich bis auf $f = 60{,}7 + 53{,}3 = 114$ cm²

Ergibt sich $\sigma_b > \sigma_{b\,zul}$, so ist gewöhnlich eine Doppelbewehrung wirtschaftlicher. Soll trotzdem eine einseitige Zugbewehrung angeordnet werden, so tritt in die Formel (6) das zu $K_1 = \frac{M_e}{\sigma_b\, bh^2}$ gehörige μ der Tabelle I. Ein Beispiel erübrigt sich.

Berechnung der Spannungen:

Setzt man in die Formel (6) $\sigma_e = \frac{M_e}{K_2\, bh^2}$ ein und berücksichtigt $\frac{M_e}{P} = e$, so geht sie über in

$$\mu_s = \mu \mp \frac{h}{e}(100\,K_2), \quad \text{wo} \quad \frac{100 f}{bh} = \mu_s \qquad (6a)$$

Man hat also in der Tabelle I diejenigen einander zugehörigen μ und K_2 aufzusuchen, welche die Gleichung (6a) erfüllen. Die entsprechenden K_1 und γ-Werte liefern

$$\sigma_b = \frac{M_e}{K_1\, bh^2}, \quad \sigma_e = \gamma\,\sigma_b\,.$$

6. Beispiel: b, h, e und P wie im Beispiel (5), $f = 5\,\Phi\,26 = 26{,}55$ cm²

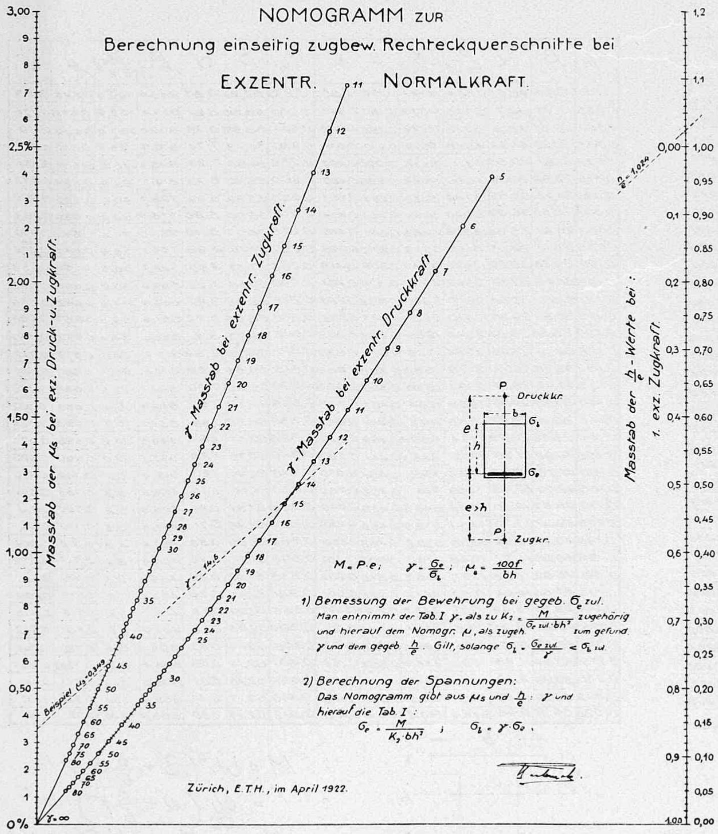


Abb. 7. Nomogramm zur Berechnung einseitig zugbewehrter Rechteck-Querschnitte bei exzentrischer Normalkraft.

$e = \frac{59{,}3}{64} = 0{,}927$, $\frac{h}{e} = \frac{0{,}95}{0{,}927} = 1{,}024$

$\mu_s = \frac{2655}{7600} = 0{,}349\,\%$

$\gamma = 14$: $\mu = 2{,}10$ $\qquad \gamma = 15$: $\mu = 1{,}905$

also $\quad -100\,\frac{h}{e}\,K_2 = 1{,}73 \qquad -100\,\frac{h}{e}\,K_2 = 1{,}580$

$0{,}37 \qquad 0{,}325$

$\gamma = 14 + \frac{21}{45} = 14{,}467$

$K_1 = 2{,}36 - 0{,}467 \cdot 0{,}05 = 2{,}34$,

$\sigma_b = \frac{59{,}3}{0{,}722 \cdot 2{,}34} = 35{,}2$ kg/cm²,

$\sigma_e = 35{,}2 \cdot 14{,}467 = \sim 509$ kg/cm²

Noch viel rascher gelangt man zu den Spannungen, wenn man γ dem Nomogramm der Abbildung 7 entnimmt[1]), dessen Konstruktion, nach den Ausführungen der vorigen Abhandlung keiner besonderen Erklärungen mehr bedarf. Man hat nur zu bedenken, dass die Gleichung (6a), in μ_s und $\frac{h}{e}$ die lineare Form besitzt:

$$\underset{(\mu)}{f_2(\gamma)} = \pm \underset{(100\,K_2)}{f_1(\gamma)}\,\frac{h}{e} + \mu_s$$

Das Nomogramm konnte also graphisch, auf die besprochene Weise mit den Tabellenwerten μ und K_2 aufgetragen werden. Für das behandelte Beispiel entnimmt man ihm $\gamma = 14{,}5$ und der Tabelle $K_1 = 2{,}335$. Es wird jetzt $\sigma_b = \frac{59{,}3}{0{,}722 \cdot 2{,}335} = 35{,}25$, also praktisch gleich dem obigen genauen Wert.

Man kann natürlich das Nomogramm auch mit Vorteil für die *Bemessung der Bewehrung* benützen. Der Tabelle entnimmt man wie früher γ als entsprechenden Wert zu $K_2 = \frac{M_e}{\sigma_{e\,zul}\, bh^2}$ bezw. $K_1 = \frac{M_e}{\sigma_{b\,zul}\, bh^2}$ und hierauf dem Nomogramm μ_s. Bei Zugkräften kann das Nomogramm nur für $\frac{h}{e} \leq 1$ benützt werden.

3. Benützung der Tabelle I für andere Dehnungsmasse.

Wird ξ als unabhängige Variable gewählt, so können bei einem andern n, die ξ und K_1-Kolonnen als frei von n, ungeändert gelassen werden. Die Einsicht, dass $n\,\mu$, $\gamma : n$ und $n\,K_2$ ebenfalls *nur* von ξ abhängen, zeigt den einfachen Weg, wie Tabelle I bei $n \neq 20$, und zwar bei allen besprochenen Aufgaben, benützt werden kann.

Berechnung der Spannungen für ein beliebig angenommenes n.

Die gegebenen Bewehrungsprozente seien mit μ' und die zur Spannungsermittlung notwendigen Koeffizienten mit K_1' und γ' bezeichnet.

Man berechnet mit dem Rechenschieber aus $20\,\mu = n\,\mu'$ $\qquad \mu = n\,\frac{\mu'}{20}$

und entnimmt der Tabelle die zugehörigen K_1 und γ-Werte. Man hat hierauf $K_1' = K_1$ und aus $\frac{\gamma'}{n} = \frac{\gamma}{20}$, $\gamma' = \frac{n}{20}\,\gamma'$ und kann jetzt mit den Formeln (2) die Spannungen berechnen.

7. Beispiel: Es seien die Spannungen des Balkens im Beispiel (1) für ein Dehnungsmass $n = 15$ zu berechnen

$\mu = \frac{15}{20}\,\mu' = 0{,}75 \cdot 1{,}116 = 0{,}8375\,\%$

$\gamma = 26 - \frac{1{,}5}{53} = 25{,}97 \qquad \gamma' = 0{,}75 \cdot 25{,}97 = \sim 19{,}5$

$K_1 = K_1' = 1{,}859 + 0{,}028 \cdot 34 = \sim 1{,}86$

$\sigma_b = \frac{76{,}4}{1{,}86} = 41{,}1\ (37{,}9)$ kg/cm²

$\sigma_e = 19{,}5 \cdot 41{,}1 = \sim 800$ kg/cm² (817)

[1]) Vergl. Anmerkung auf S. 266 der vorigen Abhandlung.

Bemessung der Bewehrung:

Hält man z. B. $\sigma_{e\,\text{zul}}$ fest, so gilt

$$20\,K_2 = n\cdot K_2', \quad \text{also} \quad K_2 = \frac{n}{20}\,K_2' = \frac{n}{20}\,\frac{M}{\sigma_{e\,\text{zul}}\,b h^2}$$

Der Tabelle entnimmt man das zugehörige μ und hat hieraus

$$\mu' = \frac{20}{n}\,\mu.$$

Das Verfahren ist so einfach, dass weitere Beispiele überflüssig erscheinen. Natürlich kann auch das Nomogramm für Biegung mit Axialkraft bei einseitiger Zugbewehrung für jedes beliebige n benützt werden, mit der gezeigten einfachen Umrechnung der γ und μ.

4. ⊤-förmige Querschnitte.

Bei den gewöhnlichen Plattenbalken des Hochbaus, mit geringer Breite und Höhe der Stege, kann in der Druckzone der Beton im Steg vernachlässigt werden. Nicht selten gelangen aber, im Hoch- und Tiefbau, Plattenbalken mit hohen und breiten Stegen zur Ausführung. Man denke an die weitgespannten Ueberdeckungen von Maschinen-, Turn- und Schulräumen, an gerippte Fundamentplatten, an Balkenbrücken und dergl. In solchen Fällen ist die genannte Vernachlässigung unwirtschaftlich; sie zwingt oft, bei beschränkter Konstruktionshöhe zur Anordnung von Druckeisen, was besonders in der Schweiz, mit $n' = 10$, die Bauausführungen unnötig verteuert (vergl. Beispiel 11).

Die hier abgedruckten Tabellen III, IV und V gestatten in einfacher Weise die *genaue* Bemessung ⊤-förmiger Querschnitte nach der S. B. B.-Vorschriften und lassen auch in jedem konkreten Falle unmittelbar erkennen, ob die genannte Vernachlässigung zulässig ist. Sie konnten verhältnismässig leicht mit Hülfe der Tabelle I und folgendem, auf das Superpositionsgesetz sich stützenden, Grundgedanken berechnet werden:

Ein ⊤-förmiger Querschnitt, mit der neutralen Axe ausserhalb der Platte kann als Differenz zweier rechteckiger Querschnitte aufgefasst werden, mit derselben Spannung in der Zugbewehrung.

Bezeichnet M_s das Biegemoment (Querschnittmoment), das ein gegebener ⊤-Querschnitt bei gegebenen Randspannungen σ_b und σ_f, aufzunehmen imstande ist, so kann man für M_s mit den Bezeichnungen der Tabellenfigur und auf Grund des ausgesprochenen Satzes, unmittelbar den Ausdruck anschreiben

$$M_s = \sigma_f\,K_2\,b h^2 - \sigma_f\,K_2'\,(b-b')\,(h-d)^2 \tag{7a}$$

K_2 gehört zum gegebenen $\gamma = \frac{\sigma_f}{\sigma_b}$ und wird der Tabelle I entnommen. So ist z. B. für $\sigma_f = 1200$, $\sigma_b = 40$, $\gamma = 30$ und $K_2 = 57{,}8$ also $\sigma_f\,K_2 = 1{,}2 \cdot 57{,}8 = 69{,}3$.

K_2' entnimmt man ebenfalls der Tabelle I als gehörig zu

$$\gamma' = \frac{x}{x-d}\,\gamma = \frac{\gamma}{1-\frac{d}{h}\cdot\frac{1}{\xi}}.$$

Beispielsweise wird für $\gamma = 30$ $\quad \gamma' = \dfrac{30}{1-2{,}5\,\frac{d}{h}} = f\left(\frac{d}{h}\right)$

Führt man die abkürzenden Bezeichnungen ein:

$$\alpha = \sigma_f\left(1-\frac{d}{h}\right)^2 K_2' = f_1\left(\frac{d}{h}\right), \quad \beta = \sigma_f\,K_2 - \alpha = f_2\left(\frac{d}{h}\right)$$

so nimmt (7a) die einfache Form an

$$M_s = b h^2\left(\beta + \frac{b'}{b}\,\alpha\right) \tag{7b}$$

Für gegebenes $\frac{d}{h}$ entnimmt man β und α den Tabellen III÷V.

Das zweite Glied gibt den Einfluss des Steges und kann bei gewöhnlichen Deckenbalken vernachlässigt werden.

Durch die gleiche Uebereinanderlagerung zweier rechteckiger Querschnitte findet man, mit Hilfe der Tabelle I, die M_s zugehörige Zugbewehrung f_s. Setzt man $\mu_s = \frac{100\,f_s}{b\,h}$,

ferner $\quad \nu = \left(1-\frac{d}{h}\right)\mu_z' \quad \mu = \mu_z - \nu,$

Tab. III. Koeffizienten T-förmiger Eisenbeton-Querschnitte
$\sigma_e = 1200$, $\sigma_b = 40$, $n = 20$, $x > d$.

d/h	β	$\frac{\beta}{(d/h)^2}$	α	$\frac{\alpha}{(d/h)^2}$	μ	ν	d/h	β	$\frac{\beta}{(d/h)^2}$	α	$\frac{\alpha}{(d/h)^2}$	μ	ν
0,05	18,26	7310	51,1	20420	0,158	0,509	0,230	59,03	1116	10,30	194,7	0,547	0,120
0,055	19,91	6590	49,42	16330	0,168	0,499	0,235	59,67	1080	9,66	174,4	0,554	0,113
0,060	21,51	5975	47,82	13284	0,186	0,481	0,240	60,28	1045	9,05	157,1	0,560	0,107
0,065	23,17	5484	46,16	10926	0,199	0,468	0,245	60,89	1014	8,44	140,6	0,567	0,100
0,070	24,65	5031	44,68	9119	0,213	0,454	0,250	61,45	983,2	7,88	126,1	0,573	0,094
0,075	26,10	4640	43,23	7686	0,227	0,440	0,255	62,01	953,6	7,32	112,6	0,579	0,088
0,080	27,64	4319	41,69	6314	0,240	0,427	0,260	62,54	925,1	6,79	100,4	0,585	0,082
0,085	29,14	4033	40,19	5562	0,253	0,414	0,265	63,04	897,7	6,29	89,6	0,591	0,076
0,090	30,67	3786	38,66	4770	0,268	0,399	0,270	63,53	871,5	5,80	79,6	0,597	0,070
0,095	32,10	3557	37,23	4125	0,280	0,387	0,275	63,99	846,1	5,34	70,6	0,602	0,065
0,100	33,37	3337	35,96	3596	0,292	0,375	0,280	64,43	821,8	4,90	62,5	0,607	0,060
0,105	34,73	3150	34,60	3139	0,305	0,362	0,285	64,86	798,5	4,47	55,0	0,612	0,055
0,110	35,97	2973	33,36	2757	0,316	0,351	0,290	65,26	776	4,07	48,4	0,617	0,050
0,115	37,19	2812	32,14	2430	0,328	0,339	0,295	65,63	754,1	3,70	42,5	0,621	0,046
0,120	38,48	2672	30,85	2142	0,341	0,326	0,300	66,00	733,3	3,33	37,0	0,625	0,042
0,125	39,75	2544	29,58	1893	0,352	0,315	0,305	66,34	713,1	2,99	32,1	0,630	0,037
0,130	40,80	2414	28,53	1688	0,363	0,304	0,310	66,66	693,6	2,67	27,8	0,633	0,034
0,135	42,21	2316	27,12	1488	0,376	0,291	0,315	66,95	674,7	2,38	24,0	0,637	0,030
0,140	43,33	2211	26,00	1326	0,387	0,280	0,320	67,24	656,6	2,09	20,4	0,640	0,027
0,145	44,42	2113	24,91	1185	0,397	0,270	0,325	67,50	639,1	1,83	17,3	0,644	0,023
0,150	45,49	2022	23,84	1060	0,408	0,259	0,330	67,75	622,1	1,58	14,5	0,647	0,020
0,155	46,45	1933	22,88	952,5	0,417	0,250	0,335	67,98	605,7	1,35	12,0	0,649	0,017
0,160	47,40	1852	21,93	856,6	0,427	0,240	0,340	68,17	589,7	1,16	10,0	0,652	0,015
0,165	48,46	1780	20,87	766,6	0,437	0,230	0,345	68,37	574,4	0,96	8,1	0,654	0,013
0,170	49,45	1711	19,88	687,8	0,447	0,220	0,350	68,54	559,5	0,79	6,4	0,657	0,010
0,175	50,38	1645	18,95	618,7	0,456	0,211	0,355	68,69	545,0	0,64	5,1	0,659	0,008
0,180	51,25	1582	18,08	557,8	0,466	0,201	0,360	68,82	531,0	0,51	3,9	0,660	0,007
0,185	52,19	1525	17,14	500,8	0,475	0,192	0,365	68,95	517,5	0,38	2,8	0,662	0,005
0,190	53,03	1469	16,3	451,5	0,483	0,184	0,370	69,05	504,4	0,28	2,0	0,663	0,004
0,195	53,86	1416	15,47	406,7	0,492	0,175	0,375	69,14	491,7	0,19	1,4	0,664	0,003
0,200	54,66	1367	14,67	366,8	0,501	0,166	0,380	69,21	479,3	0,12	0,8	0,665	0,002
0,205	55,45	1319	13,88	330,3	0,508	0,159	0,385	69,26	467,3	0,07	0,5	0,666	0,001
0,210	56,22	1275	13,11	297,3	0,517	0,150	0,390	69,30	455,6	0,03	0,2	0,6666	0,000
0,215	56,96	1232	12,37	267,6	0,524	0,143	0,395	69,32	444,3	0,007	0,04	0,6666	0,000
0,220	57,66	1191	11,67	241,1	0,532	0,135	0,400	69,33	433,3	0,00	0,00	0,667	0,000
0,225	58,36	1153	10,97	216,7	0,539	0,128							

$$M = bh^2\left(\beta + \frac{b'}{b}\alpha\right)$$
$$f = \frac{bh}{100}\left(\mu + \frac{b'}{b}\nu\right)$$
$$\frac{M}{bd^2} = \frac{\beta}{(d/h)^2} + \frac{\alpha}{(d/h)^2}$$

Tab. IV. Koeffizienten T-förmiger Eisenbeton-Querschnitte
$\sigma_e = 1000$, $\sigma_b = 35$, $n = 20$, $x > d$.

d/h	β	α	$\frac{\beta}{(d/h)^2}$	$\frac{\alpha}{(d/h)^2}$	μ	ν	d/h	β	α	$\frac{\beta}{(d/h)^2}$	$\frac{\alpha}{(d/h)^2}$	μ	ν
0,05	15,96	46,21	6384	18484	0,164	0,557	0,235	52,80	9,37	955,9	169,6	0,588	0,133
0,055	17,47	44,7	5776	14776	0,180	0,541	0,240	53,36	8,81	926,4	152,9	0,595	0,126
0,060	18,87	43,3	5242	12029	0,195	0,526	0,245	53,39	8,27	898,0	137,8	0,602	0,119
0,065	20,29	41,88	4803	9913	0,210	0,511	0,250	54,43	7,74	870,9	123,8	0,610	0,111
0,070	21,61	40,56	4411	8278	0,224	0,497	0,255	54,94	7,23	845,0	111,2	0,617	0,104
0,075	22,98	39,19	4086	6968	0,239	0,482	0,260	55,42	6,75	819,7	99,8	0,623	0,098
0,080	24,25	37,92	3789	5925	0,254	0,467	0,265	55,88	6,29	795,7	89,6	0,629	0,092
0,085	25,58	36,59	3540	5064	0,267	0,454	0,270	56,34	5,83	773,0	80,0	0,636	0,085
0,090	26,81	35,86	3308	4363	0,281	0,440	0,275	56,77	5,40	750,5	71,4	0,642	0,079
0,095	28,10	34,07	3113	3775	0,295	0,426	0,280	57,18	4,99	729,0	63,6	0,647	0,074
0,100	29,28	32,89	2928	3289	0,308	0,413	0,285	57,57	4,60	708,7	56,6	0,653	0,068
0,105	30,45	31,72	2762	2877	0,320	0,401	0,290	57,95	4,22	689,0	50,2	0,658	0,063
0,110	31,67	30,50	2617	2521	0,334	0,387	0,295	58,26	3,91	669,4	44,9	0,662	0,059
0,115	32,80	29,37	2480	2221	0,347	0,374	0,300	58,65	3,52	651,6	39,1	0,667	0,053
0,120	33,83	28,34	2349	1968	0,358	0,363	0,305	58,97	3,2	633,9	34,4	0,672	0,049
0,125	34,91	27,26	2234	1745	0,371	0,350	0,310	59,29	2,88	617,8	30,0	0,677	0,044
0,130	35,98	26,19	2129	1550	0,383	0,338	0,315	59,58	2,59	600,6	26,1	0,681	0,040
0,135	37,03	25,14	2031	1379	0,396	0,325	0,320	59,85	2,32	584,1	22,6	0,685	0,036
0,140	37,99	24,18	1938	1234	0,407	0,314	0,325	60,10	2,07	569,0	19,6	0,689	0,032
0,145	39,00	23,17	1855	1102	0,418	0,303	0,330	60,35	1,82	554,1	16,7	0,693	0,028
0,150	39,92	22,25	1774	989,0	0,429	0,292	0,335	60,57	1,60	539,7	14,2	0,696	0,025
0,155	40,89	21,28	1702	886	0,441	0,280	0,340	60,78	1,39	525,7	12,0	0,699	0,022
0,160	41,78	20,39	1632	796	0,451	0,270	0,345	60,97	1,20	512,0	10,1	0,702	0,019
0,165	42,72	19,45	1569	714	0,462	0,259	0,350	61,15	1,02	499,3	8,3	0,703	0,016
0,170	43,57	18,60	1508	643,6	0,473	0,248	0,355	61,31	0,86	486,5	6,8	0,707	0,014
0,175	44,41	17,76	1450	579,9	0,483	0,238	0,360	61,46	0,71	474,3	5,5	0,710	0,011
0,180	45,23	16,94	1395	522,6	0,493	0,228	0,365	61,59	0,58	462,4	4,3	0,712	0,009
0,185	45,96	16,21	1343	473,6	0,502	0,219	0,370	61,71	0,46	450,8	3,4	0,714	0,007
0,190	46,82	15,35	1297	426,2	0,512	0,209	0,375	61,82	0,35	439,7	2,5	0,715	0,006
0,195	47,53	14,64	1250	384,9	0,521	0,200	0,380	61,91	0,26	428,8	1,8	0,717	0,004
0,200	48,28	13,89	1207	347,2	0,531	0,190	0,385	61,99	0,18	418,1	1,2	0,718	0,003
0,205	48,96	13,21	1165	314,4	0,539	0,182	0,390	62,05	0,12	407,9	0,8	0,719	0,002
0,210	49,67	12,50	1126	283,5	0,548	0,173	0,395	62,10	0,07	398,1	0,4	0,720	0,001
0,215	50,34	11,83	1089	255,9	0,557	0,164	0,400	62,14	0,03	388,4	0,2	0,7205	0,0005
0,220	50,98	11,19	1053	231,2	0,565	0,156	0,405	62,16	0,01	378,9	0,06	0,721	0,000
0,225	51,60	10,57	1019	208,8	0,573	0,148	0,410	62,17	0,00	369,8	0,00	0,721	0,000
0,230	52,21	9,96	986,8	188,2	0,581	0,140	0,412	62,17	0,00	366,0	0,00	0,721	0,000

1. $M = bh^2\left(\beta + \frac{b'}{b}\alpha\right)$ tm
2. $f = \frac{bh}{100}\left(\mu + \frac{b'}{b}\nu\right)$ cm²
3. $\frac{M}{bd^2} = \frac{\beta}{(d/h)^2} + \frac{b'}{b}\,\frac{\alpha}{(d/h)^2}$ tm²

wo μ_z und μ_z' die γ, bezw. γ' zugehörigen Bewehrungsprozente der Tabelle I bedeuten, so überblickt man leicht die Richtigkeit der einfachen Formel

$$\mu_s = \mu + \frac{b'}{b}\,\nu, \qquad (8)$$

wo wieder das zweite Glied den Einfluss des Steges gibt und in gewöhnlichen Fällen weggelassen werden kann. μ und ν sind einfache Funktionen von $\frac{d}{h}$ und finden sich in den Tabellen III bis V.

Die genannten Tabellen lösen 4 wichtige Bemessungsaufgaben.

1. Gegeben alle Abmessungen des Plattenbalkens und die zulässigen Randspannungen.

Gesucht M_s und f_s. Dieser Fall kommt vor, wenn bei gegebenem Biegemoment $M > M_s$, das Moment $(M - M_s)$ bestimmt werden soll, welches, bei erschöpftem Beton, von einer Druck- und zusätzlichen Zugbewehrung aufgenommen werden muss.

8. Beispiel: Plattenbalken einer Strassenbrücke, $\sigma_e = 1$ t/cm², $\sigma_b = 35$ kg/cm².

$$b = 1{,}80,\quad b' = 0{,}40,\quad d = 0{,}14,\quad h = 1{,}15 \text{ m}.$$

$$\frac{d}{h} = \frac{0{,}14}{1{,}15} = \sim 0{,}122\ (0{,}1217);\quad \frac{b'}{b} = \frac{0{,}40}{1{,}80} = 0{,}222;$$

$$bh = 2{,}07 \text{ m}^2,\quad bh^2 = 2{,}38 \text{ m}^3.$$

Tabelle IV gibt: $\beta = 33{,}83 + 0{,}4 \cdot 1{,}08 = 34{,}26$
$\alpha = 28{,}34 - 0{,}43 \quad = 27{,}91$

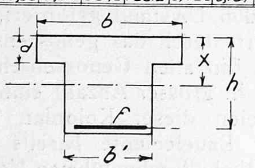
$$\beta + \frac{b'}{b}\,\alpha = 34{,}26 + 0{,}222 \cdot 27{,}91 = 40{,}46$$

$$M_s = 40{,}46 \cdot 2{,}38 = 96{,}3 \text{ t/m}.$$
$$\mu = 0{,}358 + 0{,}4 \cdot 0{,}013 = 0{,}363,$$
$$\nu = 0{,}363 - 0{,}005 = 0{,}358$$
$$\mu_s = 0{,}363 + 0{,}222 \cdot 0{,}358 = 0{,}4425\ \%$$
$$f_s = 0{,}4425 \cdot 207 = 91{,}6 \text{ cm}^2$$

Tab. V. Koeffizienten T-förmiger Eisenbeton-Querschnitte

$\sigma_e = 800,\ \sigma_b = 30,\ n = 20,\ x > d.$

d/h	β	α	$\frac{\beta}{(d/h)^2}$	$\frac{\alpha}{(d/h)^2}$	μ	γ	d/h	β	α	$\frac{\beta}{(d/h)^2}$	$\frac{\alpha}{(d/h)^2}$	μ	γ
0,05	13,74	41,37	5496	16548	0,175	0,628	0,240	46,43	8,68	806,0	150,7	0,648	0,155
0,055	15,00	40,11	4959	13260	0,192	0,611	0,245	46,93	8,18	781,8	136,3	0,655	0,148
0,060	16,23	38,88	4509	10801	0,208	0,595	0,250	47,41	7,70	758,6	123,2	0,664	0,139
0,065	17,41	37,7	4121	8924	0,224	0,579	0,255	47,86	7,25	736,1	111,5	0,671	0,132
0,070	18,46	36,65	3768	7480	0,240	0,563	0,260	48,31	6,80	714,5	100,6	0,679	0,124
0,075	19,79	35,32	3519	6280	0,254	0,549	0,265	48,74	6,37	694,0	90,7	0,686	0,117
0,080	20,91	34,20	3267	5344	0,271	0,532	0,270	49,15	5,96	674,3	81,8	0,693	0,110
0,085	22,02	33,09	3048	4580	0,286	0,517	0,275	49,54	5,57	654,9	73,6	0,700	0,103
0,090	23,14	31,97	2855	3945	0,301	0,502	0,280	49,93	5,18	636,6	66,0	0,707	0,096
0,095	24,18	30,93	2679	3427	0,316	0,487	0,285	50,30	4,81	619,2	59,2	0,713	0,090
0,100	25,24	29,87	2524	2987	0,331	0,472	0,290	50,65	4,46	602,4	53,0	0,719	0,084
0,105	26,27	28,84	2383	2616	0,346	0,457	0,295	50,99	4,12	586,0	47,3	0,725	0,078
0,110	27,23	27,88	2250	2304	0,359	0,444	0,300	51,31	3,80	570,0	42,2	0,731	0,072
0,115	28,23	26,88	2135	2033	0,373	0,430	0,305	51,61	3,50	554,8	37,6	0,736	0,067
0,120	29,21	25,90	2028	1798	0,387	0,416	0,310	51,91	3,20	540,4	33,3	0,741	0,062
0,125	30,12	24,99	1928	1599	0,400	0,403	0,315	52,19	2,92	526,1	29,4	0,747	0,056
0,130	31,07	24,04	1838	1422	0,412	0,391	0,320	52,45	2,66	512,2	26,0	0,751	0,052
0,135	32,01	23,10	1756	1267	0,425	0,378	0,325	52,72	2,39	499,2	22,6	0,756	0,047
0,140	32,86	22,25	1677	1135	0,438	0,365	0,330	52,94	2,17	486,2	19,9	0,761	0,042
0,145	33,70	21,41	1603	1018	0,451	0,352	0,335	53,16	1,95	473,6	17,4	0,765	0,038
0,150	34,53	20,58	1535	914,8	0,463	0,340	0,340	53,37	1,74	461,6	15,0	0,769	0,034
0,155	35,85	19,76	1472	822,6	0,475	0,328	0,345	53,58	1,53	450,0	12,8	0,773	0,030
0,160	36,14	18,97	1412	741	0,487	0,316	0,350	53,76	1,35	439,0	11,0	0,776	0,027
0,165	36,93	18,18	1356	667,8	0,499	0,304	0,355	53,93	1,18	427,9	9,4	0,779	0,024
0,170	37,68	17,43	1304	603,1	0,511	0,292	0,360	54,09	1,02	417,4	7,9	0,782	0,021
0,175	38,45	16,66	1255	543,9	0,522	0,281	0,365	54,24	0,87	407,2	6,5	0,785	0,018
0,180	39,19	15,92	1209	491,1	0,533	0,270	0,370	54,37	0,74	397,2	5,4	0,788	0,015
0,185	39,86	15,25	1165	445,6	0,543	0,260	0,375	54,50	0,61	387,6	4,3	0,790	0,013
0,190	40,57	14,54	1124	402,8	0,554	0,249	0,380	54,61	0,50	378,3	3,5	0,793	0,010
0,195	41,21	13,90	1083	365,4	0,564	0,239	0,385	54,71	0,40	369,0	2,7	0,795	0,008
0,200	41,85	13,26	1046	331,6	0,574	0,229	0,390	54,80	0,31	360,2	2,0	0,797	0,006
0,205	42,52	12,59	1012	299,6	0,584	0,219	0,395	54,88	0,23	351,8	1,5	0,798	0,005
0,210	43,13	11,98	9782	271,7	0,594	0,209	0,400	54,94	0,17	343,4	1,1	0,799	0,004
0,215	43,72	11,39	945,8	246,5	0,604	0,199	0,405	55,00	0,11	335,3	0,7	0,801	0,002
0,220	44,30	10,81	915,2	223,3	0,613	0,190	0,410	55,04	0,07	327,4	0,4	0,802	0,001
0,225	44,88	10,23	886,4	202,0	0,622	0,181	0,415	55,07	0,04	319,8	0,2	0,802	0,001
0,230	45,39	9,72	857,9	183,7	0,631	0,172	0,420	55,1	0,005	312,3	0	0,803	0,000
0,235	45,93	9,18	831,6	166,2	0,639	0,164	0,4285	55,11	0	300,5	0	0,803	0,000



$$M = bh^2\left(\beta + \frac{b'}{b}\alpha\right) \ \text{t/m}$$
$$f = \frac{bh}{100}\left(\mu + \frac{b'}{b}\nu\right) \ \text{cm}^2$$
$$\frac{M}{bd^2} = \frac{\beta}{(d/h)^2} + \frac{\alpha}{(d/h)^2} \ \text{t/m}^2$$

Bei Vernachlässigung der Druckzone im Steg könnte derselbe Balken nur ein Moment

$$M = 34{,}26 \cdot 2{,}38 = 81{,}5 \text{ t/m aufnehmen}$$

(14,4 % weniger)

Zugehörige Bewehrung $f = 0{,}363 \cdot 207 = \sim 75{,}2$ cm².

2. Gegeben M, h, d, b'; ges. b. Dieser Fall tritt z. B. ein bei der Berechnung der Unterzüge de-Molin und Ast'scher Rippendecken (dalles nervées).

Um für den Unterzug eine Druckplatte zu gewinnen, müssen über dem Unterzug und auf eine gesuchte Breite b die Hohlräume zwischen den Rippen ausgefüllt werden.

Aus der Grundformel (7) folgt

$$b = \frac{M - b' h^2 \alpha}{\beta h^2},$$

wobei α und β, als zum gegebenen $\frac{d}{h}$ gehörig, der massgebenden Tabelle entnommen werden.

9. Beispiel: Weitgespannter Hochbauunterzug, eine Rippendecke tragend: $M = 74{,}5$ t/m, $h = 0{,}95$, $b' = 0{,}50$,
Höhe der Rippen $d = 0{,}20$ m, $b = ?$

$$\frac{d}{h} = \frac{0{,}20}{0{,}95} = \sim 0{,}21,\quad b' h^2 = 0{,}5 \cdot 0{,}95^2 = 0{,}452 \text{ m}^3.$$

Der Tabelle III entnimmt man: $\alpha = 13{,}11$; $\beta = 56{,}22$,

$$\alpha\, b' h^2 = 0{,}452 \cdot 13{,}11 = 5{,}93$$
$$\beta h^2 = 56{,}22 \cdot 0{,}9025 = 50{,}6$$
$$b = \frac{74{,}5 - 5{,}92}{50{,}6} = 1{,}36 \text{ m } (1{,}47).$$

In Klammern ist die notwendige Plattenbreite bei Vernachlässigung von α angegeben. Die starke Platte bedingt den geringen Unterschied.

3. Gegeben M, h, b, b'; ges. d. Ein häufiger Fall, wenn eine vorhandene Platte zur Aufnahme der innern Druckkraft nicht ausreicht und auf einer gewählten oder konstruktiv gegebenen Breite b verstärkt werden soll. Aus (7) folgt

$$m = \frac{M}{bh^2} = \beta + \frac{b'}{b}\,\alpha.$$

Man sucht also in der massgebenden Tabelle diejenigen β und α derselben Zeile, welche diese Gleichung befriedigen. Aus dem zugehörigen $\frac{d}{h}$ folgt d.

10. Beispiel: Hochbaubalken: $M = 38{,}4$ t/m, $h = 0{,}65$, $b' = 0{,}30$, $b = 1{,}60$, $d = ?$

$$bh = 1{,}04 \text{ m}^2,\quad bh^2 = 0{,}676 \text{ m}^3\quad \frac{M}{bh^2} = \frac{38{,}4}{0{,}676} = 56{,}8$$

$$\frac{d}{h} = 0{,}210 + \frac{58}{78} \cdot 0{,}05 = 0{,}2137,\quad d = 0{,}2137 \cdot 0{,}65 = \sim 0{,}14 \text{ m}$$

Die Berücksichtigung von α ist hier nicht nötig, weil ein Steg normaler Abmessungen vorliegt.

4. In vielen Fällen weitgespannter Hochbau-Ueberdeckungen ist eine möglichst geringe Höhe der Plattenbalken aus konstruktiven oder ästhetischen Gründen erwünscht; es sollen aber andererseits unwirtschaftliche Druckeisen vermieden werden. Man hat also bei gegebenem Biegemoment, gegebenen Plattenabmessungen b, d und gewählter Rippenbreite b', die Nutzhöhe h so zu bestimmen, dass beide Randspannungen ihre zulässige Grenze erreichen.

Aus (7b) folgt die Beziehung:

$$\frac{M}{bd^2} = \frac{\beta}{(d/h)^2} + \frac{b'}{b}\,\frac{\alpha}{(d/h)^2} \qquad (9)$$

Die Werte $\frac{\beta}{(d/h)^2}$ und $\frac{\alpha}{(d/h)^2}$ sind in der Tabelle III÷V angegeben und eine leichte Interpolation liefert diejenigen Werte, welche die Gleichuung (9) erfüllen. Aus dem entsprechenden $\frac{d}{h}$ erhält man das gesuchte h.

11. Beispiel: Wir wählen den im Beispiel (8) berechneten Plattenbalken einer Strassenbrücke:

$$M = 96{,}3 \text{ t/m},\quad b = 1{,}80,\quad b' = 0{,}40,\quad d = 0{,}14 \text{ m},\quad \frac{b'}{b} = 0{,}222$$

$$bd^2 = 1{,}80 \cdot 0{,}14^2 = 0{,}0353\quad \frac{M}{bd^2} = \frac{96{,}3}{0{,}0353} = 2730$$

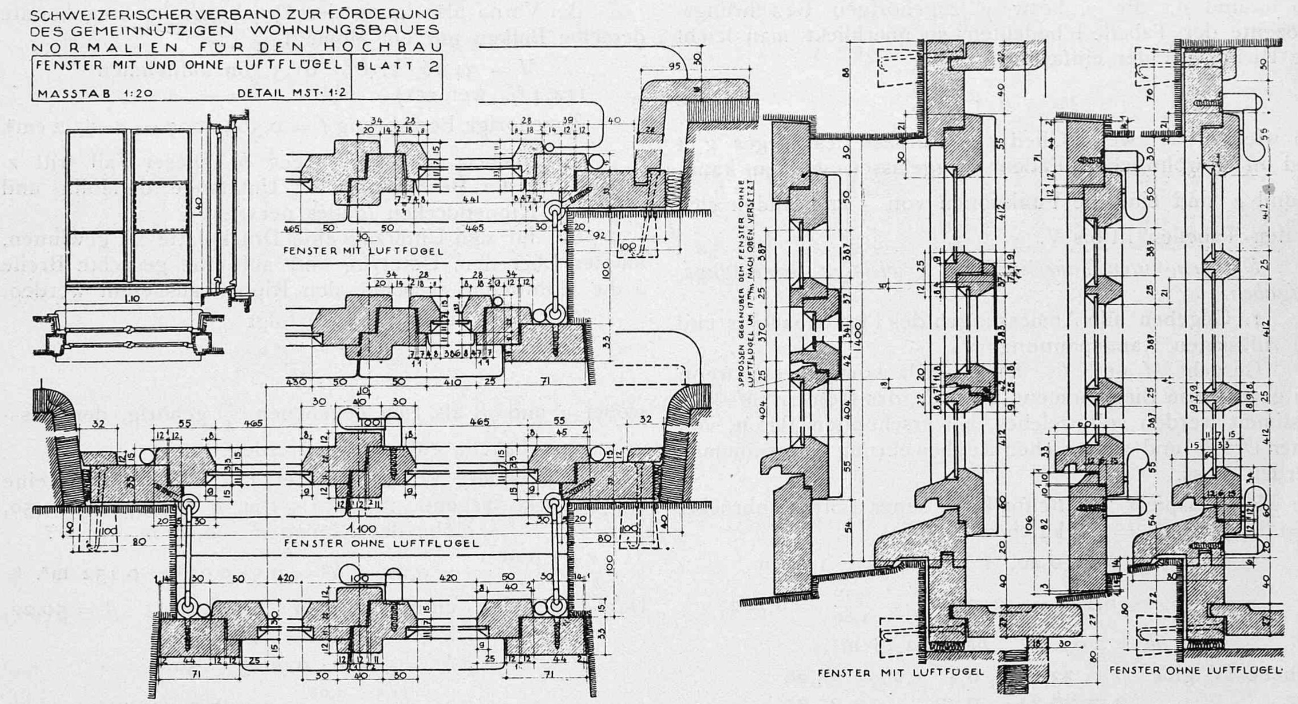


Abb. 1. Hochbau-Normalien für die deutsche Schweiz, Blatt 2, nach dem Plandruck-Original auf $^1/_3$ verkleinert. — Masstäbe 1 : 60 und 1 : 6.

$$\frac{d}{h} = 0{,}120 : \beta = 2349, \qquad \frac{d}{h} = 0{,}125 : \beta = 2234$$

$$+ \frac{b'}{b}\,\alpha = \frac{437}{2786} \qquad + \frac{b'}{b}\,\alpha = \frac{387}{2621}$$

also $\frac{d}{h} = 0{,}120 + 0{,}005\,\frac{56}{165} = 0{,}1217, \quad h = 1{,}15$

wie im Beispiel (8). Bei Vernachlässigung von α wird:

$$\frac{d}{h} = 0{,}105 + 0{,}005\,\frac{32}{145} = 0{,}106, \quad h = 1{,}32$$

also der Balken um *17 cm* höher. Wollte man trotzdem an der Nutzhöhe von 1,15 festhalten, so erhielte der Balken eine Druckbewehrung. Um die wirtschaftliche Bedeutung der *genauen* Bemessung besser zu erkennen, wollen wir den Mehrbedarf an Eisen, im behandelten Beispiel, berechnen, verursacht durch die Vernachlässigung von α. Mit den Rechenergebnissen des Beispiels 8 folgt für das Moment, welches durch eine Druck- und eine ergänzende Zugbewehrung aufzunehmen ist, der Wert

$$\Delta M = 96{,}3 - 81{,}5 = 14{,}8 \text{ t/m.}$$

Wählt man den Schwerpunkt der Druckbewehrung 5 cm unterhalb des äussern Plattenrandes, so berechnen sich

1. Ergänzende Zugbewehrung:

$$f_1 = \frac{14{,}8}{1{,}1 \cdot 1} = 13{,}45 \text{ cm}^2$$

2. Druckbewehrung:

$$x = \frac{n}{n+\gamma}\,h = 1{,}15\,\frac{20}{48{,}6} = 0{,}473 \text{ m}$$

Zulässige Spannung in den Druckeisen

$$\sigma_d = 10 \cdot 35\,\frac{423}{473} = 0{,}313 \text{ t/cm}^2$$

$$f' = \frac{14{,}8}{0{,}313} = 47{,}3 \text{ cm}^2$$

Einseitige Zugbewehrung bei Berücksichtigung der Druckzone im Steg 91,6 cm²

Doppelbewehrung bei Vernachlässigung der Druckzone im Steg 75,2 (aus Beispiel 8) $+ 13{,}45 + 47{,}3 = \sim 136$ cm²

Also Mehrbedarf an Eisen 48,5 %!

Die Beziehungen (7), (8) und (9) lassen sich natürlich wieder, und hier besonders einfach, mit Hülfe der Tabellenwerte nomographisch darstellen, wodurch die Interpolationsarbeit, besonders bei den Bemessungsaufgaben (3) und (4) erspart wird. Diese Nomogramme behalte ich mir vor.

Tabellen oder Graphiken für die Berechnung der Spannungen sind bei T-förmigen und eigentlich auch bei rechteckigen Querschnitten überflüssig. Da die rechengemässen Spannungen in Verbundquerschnitten nur Vergleichswerte darstellen, denen keine *wahre* Bedeutung zukommt, wäre es sehr zu begrüssen, wenn die zuständigen Kontrollbehörden in den verschiedenen Ländern endlich einmal auf die Forderung des Nachweises der Spannungen auf dem Gebiete der Eisenbetonkonstruktionen verzichten würden. Es läge sowohl im Interesse einer rationellen Projektverfassung als auch Kontrolle, wenn man sich mit der detaillierten Angabe der Bemessung begnügen könnte, auf Grund einheitlicher, behördlich geprüfter und anerkannter Bemessungstafeln.

Hochbau-Normalien des schweizer. Verbandes zur Förderung des gemeinnützigen Wohnungsbaues.

Mancher, der die hier auszugsweise zum Abdruck gebrachten Normalien zu Gesicht bekommt, wird den Vorwurf eines verspäteten Erscheinens erheben. Gewiss, die aussergewöhnlichen Verhältnisse, die zur Aufstellung der Normen Veranlassung gaben, haben sich sowohl in ihrem Auftreten wie Wiederabnehmen überstürzt, während die Ausarbeitung von ihrem Zweck wirklich dienenden und allen Anforderungen gerecht werdenden Normalienblätter ein gründliches Studium und damit einen gewissen Zeitaufwand erforderten.

Ihre Entstehung verdanken die Hochbau-Normalien, wie überhaupt die Normalisierung von Bau- und Maschinen-Elementen jener Zeit, da die Materialpreise, noch mehr aber die Arbeitslöhne schwindelnde Höhen erreichten, wo es galt, mit allen Mitteln Handarbeit auszuschalten, um die billiger und vor allem zuverlässiger arbeitende Maschine mehr in Wirksamkeit treten zu lassen. Die Massenfabrikation soll den Wohnungsbau verbilligen und dieses Bestreben wurde noch durch den Umstand gefördert, dass die private „Einzelbautätigkeit“ durch das genossenschaftliche Bauen abgelöst wurde. Ein allen Genossenschaftern genehmer Haustyp konnte so in grosser Anzahl einheitlich durchgeführt werden. In vielen dieser Kolonien wurde die Normalisierung einzelner Bauelemente bereits angewandt. Erst bei einer einheitlich durchgeführten Normali-