

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 14 (1923)  
**Heft:** 1

**Artikel:** Berechnung einfacher Abspannmaste und Eckmaste aus Holz  
**Autor:** Edler, Robert  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1060356>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 03.04.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

dass man z. B. auch unter Benützung der Formel (35) bzw. (36) die Lichtgeschwindigkeit bestimmen kann. Auch diese müsste auf der rechten Seite den Faktor  $\varepsilon$  enthalten, was dann im elektromagnetischen Mass den Koeffizienten  $\frac{1}{c^2}$  liefert. Unser Beispiel möge aber genügen, um den Weg zu kennzeichnen. Zugleich wollen wir es bei dieser einen, rein wissenschaftlichen Anwendung der Elektronenröhren bewenden lassen. Es möge hier genügen, die Grundlagen besprochen zu haben, auf denen sich das Verständnis der Vorgänge bei den überaus zahlreichen praktischen Anwendungen der Elektronenröhren aufbaut.

## Berechnung einfacher Abspannmaste und Eckmaste aus Holz.

Von Prof. Ing. Robert Edler, Wien.

Der Autor entwickelt in vorliegender Abhandlung ein Berechnungsverfahren für einfache Abspann- und Eckmaste aus Holz und untersucht, unter besonderer Berücksichtigung der Schweizerischen Bundesvorschriften (1908) betr. Starkstromanlagen, ob sich solche in Fernleitungen einbauen lassen u. welchen Biegemomenten solche Maste noch gewachsen sind. Anhand graphischer Darstellungen und Tabellen erleichtert der Verfasser dem Leitungsbauer die Berechnung solcher Maste.

L'auteur développe un mode de calcul pour les poteaux terminus et des poteaux d'angle en bois. Il examine si, étant donné les prescriptions fédérales de 1908, des poteaux de ce genre peuvent être utilisés pour des lignes de transport d'énergie et à quels moments de flexion ils peuvent résister. Il donne des tableaux et des diagrammes pour faciliter leur calcul.

### 1. Einleitung.

In der vorliegenden Abhandlung soll ein Berechnungsverfahren für einfache Abspannmaste und Eckmaste aus Holz entwickelt werden, wobei auf den Einfluss der Mastdurchbiegung Rücksicht genommen und die hierbei eintretende Verringerung des Seilzuges der Leitungen infolge des Nachgebens der Mastspitze in Rechnung gezogen werden soll. Wenn auch einfache Holzmasten (ohne Streben) nur für einen verhältnismässig kleinen Spitzenzug  $P$  (Fig. 1), bzw. nur für geringe Biegemomente geeignet sind, solange man sich auf die gewöhnlich vorkommenden Mastdurchmesser (bis etwa  $D_u = 25$  bis 30 cm am Fussende [„Stockdurchmesser“]) (Fig. 1) beschränken und schwerere Stangen vermeiden will, da sie wesentlich schwieriger zu beschaffen, sowie zu befördern und zu behandeln und auch viel teurer sind, so ist es doch wichtig, festzustellen, ob sich solche einfache Abspannmaste und Eckmaste aus Holz in die Fernleitungen einbauen lassen und welchen Biegemomenten sie bei Berücksichtigung einer angemessenen zulässigen Durchbiegung noch gewachsen sind; man kann aus derartigen Feststellungen den sicheren Schluss ziehen, dass viele Zweigleitungen, die von den Ueberlandleitungen (Hauptleitungen) abzweigen und zur Energieversorgung der seitlich gelegenen Gemeinden und der sonstigen Verbrauchsstellen besonders in ländlichen Gebieten dienen, in vielen Fällen

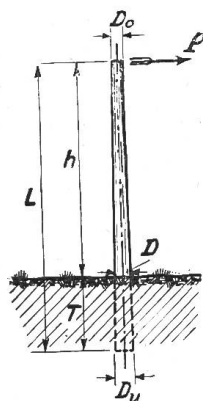


Fig. 1

noch ganz zweckmässig mit Holzmasten ausgeführt werden können, besonders wenn sie mit entsprechenden Stangenfüssen (Betonsockel mit Eiseneinlagen)<sup>1)</sup> ausgerüstet werden; auch Eisenmastfüsse<sup>2)</sup> oder Mastfüsse aus besonders widerstandsfähigem, mit Teeröl getränktem Hartholz<sup>3)</sup> wie Eiche oder Buche, finden vorteilhaft Anwendung,

- 1) Stangensockel „Universal“ der Internat. Siegartbalken-Gesellschaft in Luzern, Schweiz. „Delta“-Mastfuss der Gebrüder Himmelsbach in Freiburg in Baden.
- 2) Gesellschaft der L. v. Rollschen Eisenwerke in Gerlafingen, Schweiz (Eisenrohr). Eisenwerk Witkowitz in Mähren (4 Quadrant-Eisen, verschraubt).
- 3) Standard-Mast der Gebrüder Himmelsbach in Freiburg in Baden.

um die Lebensdauer der Maste zu erhöhen, das Auswechseln derselben zu erleichtern oder jene Maste, deren Fussende schadhaf geworden ist, noch jahrelang weiter verwenden zu können. Die Feststellung der Grenzen der Anwendungsmöglichkeit solcher einfacher Maste führt dann ohne weiteres zur Besprechung jener Hilfsmittel, welche zur Verstärkung der Maste dienen (Doppelmaste, Maste mit Streben, Bockmaste [A-Maste], Pyramiden und Rahmengestänge); die Besprechung dieser *verstärkten Holzmastkonstruktionen* möge einer besonderen Abhandlung vorbehalten bleiben; ebenso sollen hier die *einfachen Tragmaste* in der geraden Linie, bei denen der Leitungszug in der Richtung der Linie zu beiden Seiten des Mastes wirkt und sich daher aufhebt, so dass nur der Winddruck auf die Leitungen und auf den Mast selbst, quer zur Leitungsrichtung in Frage kommt, unberücksichtigt bleiben und in einer später folgenden Abhandlung besprochen werden.

## 2. Geringster Mastdurchmesser; zulässiges und natürliches Verjüngungsverhältnis; Mastlänge.

Die schweizerischen Bundesvorschriften, betreffend Erstellung und Instandhaltung der elektrischen Starkstromanlagen (vom 14. Februar 1908) enthalten folgende Bestimmungen:

### B. Freileitungen. — 1. Allgemeines.

#### Art. 52.

„1. Der Durchmesser von Weichholzstangen darf nicht weniger betragen als

	am Fussende	am Kopfende
bis zu 8 m Länge . . . . .	18 cm . . . . .	12 cm . . . . .
bei 10 m „ . . . . .	20 cm . . . . .	13 cm . . . . .
„ 12 m „ . . . . .	22 cm . . . . .	14 cm . . . . .
„ 14 m „ . . . . .	24 cm . . . . .	15 cm . . . . .
„ 16 m „ . . . . .	26 cm . . . . .	16 cm . . . . .
„ 18 m „ . . . . .	28 cm . . . . .	16 cm . . . . .
„ 20 m „ . . . . .	30 cm . . . . .	16 cm <sup>1)</sup> . . . . .

2. Für den Durchmesser am Fussende wird im einzelnen eine Toleranz von 5% eingeräumt, jedoch sollen im Durchschnitt die vorgeschriebenen Minimalzahlen eingehalten werden.
3. Bei gestellten Stangen kommt als Durchmesser am Fussende der Durchmesser des gefährdetsten Querschnittes, als Länge die Höhe über diesem Querschnitt in Betracht.
4. Für den Durchmesser am Kopfende kommt nur die totale Länge der Stangen in Betracht.

### 2. Niederspannungsleitungen.

#### Art. 65.

Die Höhe der Drähte über dem Boden soll in der Regel mindestens 5,5 m betragen.

### 3. Hochspannungsleitungen.

#### Art. 68.

Die tiefsten Punkte der untersten Leitungsdrähte sollen sich mindestens 6 m, und bei Kreuzungen und Parallelführungen mit Strassen, Fahrwegen und öffentlichen Plätzen mindestens 7 m über dem Boden befinden.“

Da als Tiefe  $T$  der Eingrabung (vergl. Fig. 1) mindestens 1,5 m<sup>2)</sup> angenommen werden muss (Begründung folgt im 4. Abschnitt), und da man ferner bei dem

<sup>1)</sup> Nach den Freileitungsnormen des V.D.E. vom Jahre 1914, 1919 und 1921 (vergl. E.T.Z. 1913, 1919, 1920, 1921) und des E.T.V. Wien (vergl. E. u. M. 1919) dürfen für Hochspannungsleitungen nur Maste mit der „Kopfstärke“  $D_0 \geq 15$  bis 18 cm verwendet werden. (Näheres folgt im 3. Abschnitt.)

<sup>2)</sup> Vergl. Freileitungsvorschriften des E.T.V. Wien, welche 1,5 bis 2,5 m vorschreiben, mindestens aber  $\frac{1}{7}$  der Mastlänge  $L$ .

grössten nach Art. 61 der Schweizerischen Bundesvorschriften zulässigen Mastabstand (Spannweite  $a$ ) von 50 m (für Holzmaste) mit einem grössten Durchhange (bei  $+ 40^{\circ}\text{C}$  oder bei  $0^{\circ}$  mit Schneelast) von etwa 0,75 m zu rechnen hat, so erhält man mit einer Höhe der Mastkopfausrüstung von 0,75 m, die wohl kaum unterschritten werden dürfte, als *Mindestlänge  $L$  eines Holzmastes für Hochspannungsleitungen* (Fig. 1) den Wert:

$$L \geq 1,5 + 6,0 + 0,75 + 0,75 = 9,0 \text{ Meter} \tag{1}$$

Andererseits kommen *einfache* Holzmaste (ohne Verstärkung durch Streben u. dergl.) in grösseren Längen als etwa 15 m selten vor, so dass die oben erwähnte obere Grenze des Mastdurchmessers am Fussende (Stockdurchmesser  $D_u \doteq 30 \text{ cm}$ ) nur selten überschritten wird.

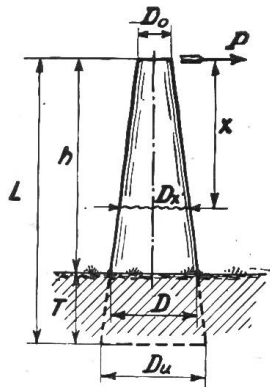


Fig. 2

Von besonderem Interesse ist nun der Zusammenhang zwischen dem Kopfdurchmesser  $D_0$ , dem Fussdurchmesser  $D_u$  und der Mastlänge  $L$ , der in der Fig. 2 in stark übertriebenem Masse zum Ausdruck kommt.

Auf der ganzen Mastlänge  $L$  nimmt der Durchmesser von  $D_u$  auf  $D_0$  ab, so dass sich die *relative Durchmesserabnahme (Verjüngungsverhältnis  $v$ )*:

$$v = \frac{D_u - D_0}{L} \tag{2}$$

ergibt. Dieser Wert hängt vom Wuchs der Bäume ab und ist auch nicht bei allen Holzarten gleich gross, ja selbst bei derselben Holzart je nach dem Standorte des Baumes (im Gebirge oder im Flachlande) verschieden gross (*natürliches Verjüngungsverhältnis*). Der Zahlenwert der Durchmesserabnahme liegt zumeist zwischen 0,5 cm für 100 cm Länge bis 0,8 cm für 100 cm Länge und erreicht bisweilen sogar 1 cm für 100 cm Länge.<sup>1)</sup>

Für die im Art. 52, 1. angegebenen Fuss- und Kopfdurchmesser der Maste erhält man folgende, den Schweizerischen Bundesvorschriften entsprechende Werte:

Es sei hierzu erwähnt, dass es üblich ist, den Berechnungen ein Verjüngungsverhältnis  $v = \frac{0,7}{100}$  bis  $\frac{0,75}{100}$  zugrunde zu legen, was mit den Werten der Tabelle 1 in Uebereinstimmung steht.<sup>2)</sup>

Das Verjüngungsverhältnis der Maste nach den Schweizerischen Starkstromvorschriften von 1908. Tabelle 1

$D_0$ . . cm	12	13	14	15	16	16	16
$D_u$ . . cm	18	20	22	24	26	28	30
$L$ . . cm	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
$v = \frac{D_u - D_0}{L}$	$\frac{0,75}{100}$	$\frac{0,7}{100}$	$\frac{0,667}{100}$	$\frac{0,643}{100}$	$\frac{0,625}{100}$	$\frac{0,667}{100}$	$\frac{0,7}{100}$

Es ist nun erforderlich, festzustellen, ob das *natürliche Verjüngungsverhältnis* den Anforderungen hinsichtlich der *Sicherheit der Maste* entspricht, da ein stark verjüngter Träger von kreisförmigem Querschnitte (etwa wie in Fig. 2) auch *oberhalb* des Durchmessers  $D$ , welcher der Berechnung zugrunde gelegt ist, abrechnen kann, wie die nachstehende Rechnung zeigt.

<sup>1)</sup> Vergl. Ing. W. Kinberg, Bestimmung der Dimensionen der Holzmaste für elektrische Freileitungen, E. u. M. 1917, Seite 345; Ing. W. Kinberg, Ueber die Wahl geeigneter Holzmaste für elektrische Freileitungen. E. u. M. 1919, Heft 2; Prof. Ing. R. Edler, Zur Berechnung der Holzmaste für elektrische Freileitungen, E. u. M. 1919, Heft 28; Ing. W. Kinberg, Beitrag zur Normalisierung der Holzmaste für elektrische Freileitungen, E. u. M. 1920, Heft 3. (Weitere Literaturangaben folgen am Schlusse der vorliegenden Abhandlung.)

<sup>2)</sup> Vergl. auch: Dipl. Ing. Paul Neumann (Darmstadt), Berechnung hölzerner Einfach- und Doppelmaste mit Stützisolatoren, E. T. Z. 1920, Heft 21, Seite 405 (Referat in E. u. M. 1920, Seite 485).

Im Abstände  $x$  cm von der Mastspitze (Fig. 2) wird durch den Spitzenzug  $P$ , den man sich als die resultierende Kraft aus dem Zug aller Leitungen und aus dem Winddruck denken kann, das Biegemoment

$$M_x = P x = \frac{\pi}{32} D_x^3 p_b \quad (3)$$

hervorgerufen.<sup>1)</sup>

Gemäss der Definition des Verjüngungsverhältnisses  $v$  (Gleichung 2) ist aber:

$$v = \frac{D_x - D_0}{x} \quad (4)$$

somit

$$D_x = D_0 + v x \quad (5)$$

daher wird aus (Gl. 3):

$$p_b = \frac{32 P x}{\pi D_x^3} = \frac{32 P x}{\pi (D_0 + v x)^3} \quad (6)$$

Um den Ort für das Maximum der Beanspruchung  $p_b$  zu bestimmen, hat man die Gleichung (6) nach  $x$  zu differenzieren<sup>2)</sup> und dann  $\frac{d p_b}{d x} = 0$  zu setzen. Es ist

$$\frac{d p_b}{d x} = \frac{32 P}{\pi} \frac{(D_0 + v x)^3 \cdot 1 - x \cdot 3 (D_0 + v x)^2 \cdot v}{(D_0 + v x)^6} = 0$$

die *Bedingungsgleichung* für die Bestimmung des *Ortes* der *höchsten Beanspruchung*  $p_m$ ; daraus folgt, da der Nenner nicht  $\infty$  werden kann:

$$(D_0 + v x)^3 - 3 x v (D_0 + v x)^2 = 0$$

Diese Bedingungsgleichung führt zu drei Lösungen, von denen jedoch nur *eine* brauchbar ist, da  $x$  nicht negativ sein kann:

$$D_0 + v x - 3 x v = 0$$

$$x_1 = \frac{D_0}{v 2} \quad (7)$$

Ist also die freie Masthöhe  $h$  (über Erde) grösser als  $x_1 = \frac{D_0}{v 2}$ , dann liegt der gefährliche Querschnitt oberhalb des Erdbodens, und zwar im Abstände  $x_1 = \frac{D_0}{2 v}$  von der Mastspitze.

Der *Bruch* erfolgt also sicher *oberhalb des Erdbodens*, d. h. im freien Teile des Mastes in einem Durchmesser  $D_x < D$  (vergl. Fig. 2), falls  $h > x_1$  ist; in diesem Falle führt also die übliche Berechnung des Durchmessers  $D$  an der Erdoberfläche zu einer Verringerung jenes Sicherheitsgrades, den man der Berechnung zugrunde zu legen wünscht.

Um diesen Fall auszuschliessen, muss man daher die *Bedingung* erfüllen:

$$h \geq x_1 \quad h \geq \frac{D_0}{2 v} \quad (8)$$

Nach Gleichung (2) und (4) findet man leicht:

$$h = \frac{D - D_0}{v} \quad (9)$$

<sup>1)</sup>  $M_x$  ..... kg·cm ..... Biegemoment,  
 $P$  ..... kg ..... resultierender (ideeller) Spitzenzug,  
 $D_x$  ..... cm ..... Mastdurchmesser des konischen Mastes im Abstände  $x$  cm vom Kopfe,  
 $p_b$  ..... kg/cm<sup>2</sup> ..... zulässige Biegebeanspruchung des Holzes.

daher ergibt sich gemäss Bedingung (8):

$$\frac{D - D_0}{v} \leq \frac{D_0}{2v} \quad D \leq 1,5 D_0 \quad (10)$$

Die Bedingungsgleichung (10) muss erfüllt sein, wenn die grösste Beanspruchung  $p_b$  des Mastes nicht oberhalb der Erdoberfläche erfolgen soll.

In den meisten Fällen kann die Tiefe  $T$  der Eingrabung (Fig. 1 und 2) mit  $\frac{1}{6}$  der ganzen Mastlänge  $L$  angenommen werden, so dass also <sup>1)</sup>:

$$T \doteq \frac{L}{6} \quad h \doteq \frac{5}{6} L \quad h \doteq 5 T \quad (11)$$

(Die Berechnung der Tiefe der Eingrabung  $T$  folgt im vierten Abschnitt; dort werden auch die entsprechenden Normen und Vorschriften für die Schweiz, für Deutschland und für Oesterreich zur Sprache kommen).

Man erhält leicht aus Gleichung (9) und (11):

$$h = \frac{5}{6} L = \frac{5}{6} \frac{D_u - D_0}{v} \quad (12)$$

so dass sich aus der Bedingungsgleichung (8) die folgende Beziehung ergibt:

$$\frac{5}{6} \frac{D_u - D_0}{v} \leq \frac{D_0}{2v} \quad \frac{5}{3} D_u \leq \frac{8}{3} D_0 \quad D_u \leq 1,6 D_0 \quad \left( \text{für } T = \frac{L}{6} \right) \quad (13)$$

Es ist nun von Interesse, die Bestimmungen des Art. 52 der Schweizerischen Bundesvorschriften (vergl. auch Tabelle 1) mit der Bedingungsgleichung (13) zu vergleichen; man erhält:

Das Verhältnis von Fussdurchmesser zu Kopfdurchmesser von Masten nach den schweizerischen Starkstromvorschriften von 1908. Tabelle 2

$D_0$ cm	12	13	14	15	16	16	16
$D_u$ cm	18	20	22	24	26	28	30
$D_u : D_0$	1,5	1,54	1,57	1,6	1,625	1,75	1,875

$$\frac{D_u}{D_0} \leq 1,6$$

$$\frac{D_u}{D_0} > 1,6$$

Die vorgeschriebenen Maststärken am Fussende und am Kopfende entsprechen also bei den schwächeren Masten durchaus der Bedingung (13); bei dem Maste 16/26 cm kann man die Zahlen noch gelten lassen; die beiden letzten Maste sollten aber besser mit den Stärken 18/28 cm und 20/30 cm festgelegt werden, was wohl auch den grossen Mastlängen (18 m und 20 m, schwere Bäume) mehr entspricht. Es kann jedoch nochmals darauf hingewiesen werden, dass *Einfach*maste von mehr als 16 m Länge (16/26 cm) kaum Anwendung finden, da sie sehr teuer sind und schwer befördert werden können und da ihre Imprägnierung sehr kostspielige Anlagen erfordert.

Es ist jedenfalls richtiger, anstatt der besonders schweren langen Einzelmaste entsprechend verstärkte Gestänge (Doppelmaste, Bockmaste, Pyramiden, Rahmen, verstreute Maste) zu verwenden.

Aus dem Grenzwerte (Gleichung 13) für das Durchmesser Verhältnis am Fussende und am Kopfende lässt sich nun für die verschiedenen vorkommenden Verjüngungsverhältnisse  $v = \frac{0,6}{100}, \frac{0,7}{100}, \frac{0,8}{100}$  aus der Gleichung (2) die Mastlänge  $L$  be-

<sup>1)</sup> Das Zeichen  $\doteq$  bedeutet „ungefähr gleich“.

rechnen, bei der ein Bruch oder doch eine Ueberanstrengung oberhalb der Erdoberfläche nicht zu befürchten ist. Man findet leicht nach Gleichung (2):

$$D_u = D_0 + vL$$

somit bei Beachtung der Bedingung (13)

$$L \leq \frac{0,6 D_0}{v} \quad (14)$$

Man erhält also folgende Uebersicht der Grenzwerte für die Mastlänge  $L$ . (Die Tabelle gilt für  $T = \frac{1}{6} L$ )

Tabelle 3

$D_0$	$v = \frac{0,5}{100}$	$\frac{0,6}{100}$	$\frac{0,7}{100}$	$\frac{0,8}{100}$	$\frac{0,9}{100}$	$\frac{1,0}{100}$
cm	$L \leq 120 D_0$	$L \leq 100 D_0$	$L \leq 85,7 D_0$	$L \leq 75 D_0$	$L \leq 66,7 D_0$	$L \leq 60 D_0$
Grösste Mastlänge (cm)						
12	1440	1200	1029	900	800	720
13	1560	1300	1115	975	867	780
14	1680	1400	1200	1050	934	840
15	1800	1500	1286	1125	1000	900
16	1920	1600	1372	1200	1067	960
17	2040	1700	1458	1276	1135	1020
18	2160	1800	1543	1350	1200	1080

Diese Grenzwerte der Mastlänge  $L$  (Tabelle 3) für verschiedene Durchmesser  $D_0$  an der Mastspitze und für verschiedene Verjüngungsverhältnisse  $v$  sind in der Fig. 3 eingetragen; dabei sind auch jene Werte aufgenommen (Tabelle 1), die den Bestimmungen des Art. 52 der Schweizerischen Bundesvorschriften entsprechen. Man erkennt, dass bis zur Mastlänge  $L = 1600$  cm die Vorschriften recht glücklich gewählt wurden; insbesondere ist die Möglichkeit erkennbar, bei den kürzeren Stangen (8 m, 9 m, 10 m) auch mehr konisch gewachsene Bäume zu verwenden, während bei den längeren Stangen (10 m bis 16 m) ein schlankerer Wuchs der Stangen verlangt wird. Diese vielleicht seinerzeit (1908) ohne rechnerische Grundlage und mehr aus langer Erfahrung aufgestellte Forderung entspricht durchaus den natürlichen Wachstumsverhältnissen, denn hohe Bäume zeigen zumeist einen wesentlich schlankeren Wuchs (Fichten, Tannen, Lärchen), als kleinere Bäume, bei denen eine grössere Mannigfaltigkeit im Verjüngungsverhältnis anzutreffen ist.

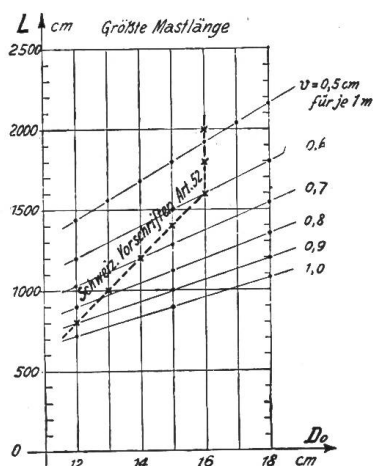


Fig. 3

Es ist aber jedenfalls bemerkenswert, dass regelmässig gewachsene, gesunde Bäume Verhältnisse ihrer Abmessungen aufweisen, die im wesentlichen der Bedingungsgleichung (14) und der Tabelle 3 entsprechen; dies ist wieder ein Beweis dafür, dass in der Natur die Grundgesetze immer wieder zu ihrem Rechte kommen und dass die Natur in der Ausnutzung der Baustoffe sehr sparsam umgeht.

### 3. Berechnung der auf den Mast einwirkenden Kräfte und Momente: Seilzug und Winddruck. – Wahl des Sicherheitsgrades gegen Bruch. – Grösse der zulässigen Beanspruchung.

Die Schweizerischen Bundesvorschriften betreffend Starkstromanlagen von 1908 enthalten folgende Bestimmungen, die hierher gehören:

#### Art. 59.

1. „Alle Tragwerke sind so stark zu bemessen, dass sich unter Berücksichtigung des in ungünstigstem Sinne wirkenden Winddruckes und der maximalen Zugbeanspruchung durch die Leitungsdrähte für alle Teile die in Art. 60 angegebene Sicherheit gegen Bruch ergibt.“
2. „Der Berechnung sind die in Art. 60 angegebenen Rechnungsannahmen zugrunde zu legen.“

#### Art. 60.

„Den statischen Berechnungen der Tragwerke sind folgende Annahmen zugrunde zu legen:

1. a) Die Leitung befinde sich in *normalem Betriebszustand* und es wirke der *Winddruck* im ungünstigsten Sinne. Der in den Leitungsdrähten vorhandene Zug betrage  $\frac{1}{5}$  ihrer Bruchfestigkeit.
- b) Auf die Tragwerke wirke statt des sonst beidseitig vorhandenen ein *einseitiger Zug*, der nach Eintritt der weiteren Durchbiegung der Tragkonstruktion noch 5% des gemäss *lit. a)* zu bestimmenden Zuges der Leitungsdrähte betrage und ausserdem der Winddruck im ungünstigsten Sinne.
2. Der Winddruck auf 1 m<sup>2</sup> winkelrecht getroffener Fläche betrage 100 kg; für zylindrische Flächen betrage der Winddruck  $\frac{7}{10}$  desjenigen auf ebene Flächen. Bei der Berechnung der Beanspruchung der Tragwerke infolge des Winddruckes auf die Leitungsdrähte sind letztere als starre Verbindungen zu betrachten.
3. Das spezifische Gewicht des Betons soll für die Berechnung zu höchstens 2,2 (kg/dm<sup>3</sup>), dasjenige des Holzes zu höchstens 0,75 (kg/dm<sup>3</sup>) angenommen werden.
4. Sowohl unter den in *lit. a)*, als unter den in *lit. b)* der Ziffer 1 gemachten Annahmen sollen Tragwerke aus *Holz* mindestens *vierfache*, solche aus Eisen mindestens *dreifache* Sicherheit gegen Bruch bieten.“

Wie immer auch die Einzelkräfte, herrührend vom Seilzug und vom Winddruck, auf den Mast einwirken mögen, so werden sie sich stets durch den *ideellen Spitzenzug*  $P$  und durch die *Vertikalkraft*  $V$  ersetzen lassen; der Spitzenzug  $P$  ruft das Biegemoment (Fig. 4)

$$M_b = Ph = \frac{\pi}{32} D^3 p_b \quad (15)$$

hervor, so dass man nach entsprechender Wahl der zulässigen Biegebungsbeanspruchung  $p_b$  des Holzes den Durchmesser  $D$  an der Erdoberfläche berechnen kann.

Häufig ist auch der umgekehrte Weg bequemer, indem man verschiedene Werte für  $D$  annimmt und dann nach entsprechender Wahl der Beanspruchung  $p_b$  jenes Biegemoment  $M_b$  bestimmt, dem der Mast noch standhalten kann; dieses Moment kann man dann erforderlichen Falles leicht durch die freie Mastlänge  $h$  und durch den Spitzenzug  $P$  ausdrücken.

Die Wahl der zulässigen Biegebungsbeanspruchung  $p_b$  ist nicht schwierig, da zahlreiche, hinreichend genaue Versuchsergebnisse vorliegen, aus denen man die *Biegebungsfestigkeit*  $K_b$  kg/cm<sup>2</sup> der zumeist verwendeten Holzarten entnehmen kann.

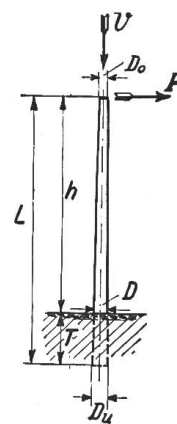


Fig. 4

Für den Leitungsbau kommen vor allem Maste aus Kiefernholz, Fichtenholz, Lärchenholz, selten aus Buchen-, Eichen-, Kastanienholz in Frage; Bäume aus Waldungen mittlerer Höhenlage weisen Festigkeitszahlen von 500 bis 600 kg/cm<sup>2</sup> auf, wie Biegungsversuche zeigten;<sup>1)</sup> das Holz ist dabei als lufttrocken vorausgesetzt. Maste, die von frisch gefällten Bäumen stammen und noch sehr viel Feuchtigkeit enthalten, haben geringere Festigkeitszahlen, ebenso ausgesprochene „Talhölzer“, die sich als weniger widerstandsfähig erweisen, als Gebirghölzer, die ja schon während ihres Wachstums durch Stürme und durch grössere Schneelasten stärker beansprucht werden, so dass schwächlichere Bäume früher zugrunde gehen.

Man kann also mit einer Biegefestigkeit von etwa

$$K_b = 550 \text{ bis } 560 \text{ kg/cm}^2 \quad (16)$$

rechnen; die Proportionalitätsgrenze ist nicht ganz scharf ausgeprägt, liegt aber zumeist bei 0,3 bis 0,4 der Bruchfestigkeit  $K_b$ . Die Forderung der Schweizerischen Bundesvorschriften Art. 60, 1. 4., welche bei Holzmasten eine vierfache Sicherheit gegen Bruch verlangt, ist also ganz gerechtfertigt, da es dann auch bei mässigen Ueberlastungen noch nicht zur Ueberschreitung der Proportionalitätsgrenze und daher auch noch nicht zu bleibenden Dehnungen kommen kann.

Man darf also in der Gleichung (15) den Wert:

$$p_b = \frac{K_b}{4} = \frac{560}{4} = 140 \text{ kg für } 1 \text{ cm}^2 \quad (17)$$

als noch zulässig einsetzen und erhält damit:

$$M_b = Ph = \frac{\pi}{32} D^3 140 = 13,74 D^3 \text{ (kg cm)} \quad (18)$$

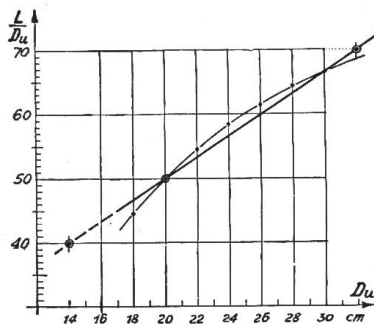


Fig. 5

zu Tabelle 4

Der Durchmesser  $D$  an der Erdoberfläche, der in der Gleichung (18) vorkommt, muss nun, um eine allgemeine Lösung der Aufgabe möglich zu machen, zu der freien Masthöhe  $h$ , zu der ganzen Mastlänge  $L$ , zum Durchmesser am Kopfende ( $D_0$ ) und am Fussende ( $D_u$ ), zur Einbautiefe  $T$  und zum Verjüngungsverhältnis in entsprechende Beziehungen gebracht werden.

Hierzu dienen die Gleichungen (2, 9, 11, 12, 13, 14) sowie die Tabelle 1, aus der man folgende Uebersicht ableiten kann:

Längenverhältnis der Maste nach den Schweizerischen Bundesvorschriften.

Tabelle 4

$D_u$ cm	18	20	22	24	26	28	30
$L$ cm	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
$\frac{L}{D_u}$	44,5	50,0	54,5	58,3	61,5	64,3	66,7

Der Zusammenhang zwischen  $(L:D_u)$  und  $D_u$  wird übersichtlich, wenn man die Werte gemäss Fig. 5 graphisch darstellt; die Punkte bestimmen eine flache Kurve, die sich bei Vernachlässigung des kleinsten Wertes für  $D_u$ , welcher praktisch wenig Bedeutung hat, nahezu durch eine gerade Linie  $y = ax + b$  darstellen lassen, wobei  $x = D_u$  und  $y = (L:D_u)$  anzunehmen ist. Bestimmt man die Gleichung der Geraden aus den Einzelwerten  $x_1 = 20$ ,  $y_1 = 50$  und  $x_2 = 32$ ,  $y_2 = 70$ , dann wird  $a = \frac{5}{3}$  und  $b = \frac{50}{3}$ , so dass man mit hinreichender Genauigkeit den Zusammenhang zwischen  $L$  und  $D_u$  in die Form kleiden kann:

<sup>1)</sup> Vergl. „Hütte“; ferner E. u. M. 1919, Heft 2.

$$3 \frac{L}{D_u} = 5 (D_u + 10) \quad (\text{Masse in cm}) \quad (19)$$

für normale Verhältnisse erhält man daher unter Berücksichtigung der Gleichungen (11) (2) und (9) folgende zusammengehörige Werte, die wohl den meisten in der Praxis vorkommenden Fällen entsprechen werden:

Tabelle 5

$D_u$ cm	$L$ (Gl. 19) cm	$h = \frac{5}{6} L$ (Gl. 11) cm	$v = \frac{0,6}{100}$		$v = \frac{0,7}{100}$		$v = \frac{0,8}{100}$	
			$D_0$ cm	$D$ cm	$D_0$ cm	$D$ cm	$D_0$ cm	$D$ cm
16	(693)	(578)	11,84	15,31	11,15	15,20	10,46	15,08
18	840	700	12,96	17,16	12,12	17,02	11,28	16,88
20	1000	833	14,00	19,00	13,00	18,83	12,00	18,67
22	1173	977	14,96	20,83	13,79	20,64	12,62	20,44
24	1360	1134	15,84	22,64	14,48	22,42	13,12	22,18
26	1560	1300	16,64	24,44	15,08	24,18	13,52	23,92
28	1773	1478	17,36	26,23	15,59	25,95	13,82	25,64
30	2000	1667	18,00	28,00	16,00	27,68	14,00	27,33

Tabelle 5 zeigt, dass der Durchmesser  $D$  an der Erdoberfläche für die praktisch wichtigen Verjüngungsverhältnisse  $v = 0,006$  bis  $0,008$  nahezu unabhängig von  $v$  ist, vorausgesetzt, dass man der Berechnung den Durchmesser  $D_u$  am Fussende (Stammende, Stockdurchmesser) zugrunde legt.

Der Durchmesser  $D_0$  am Kopfende des Mastes („Zopfdurchmesser“) weist begreiflicherweise ziemlich verschiedene Dimensionen auf; darin liegt eine Bekräftigung der von Dir. Ing. W. Kienberg<sup>1)</sup> aufgestellten Forderung, die Holz-maste nicht nach dem Durchmesser an der Mastspitze (Zopfdurchmesser  $D_0$ ), sondern nach dem Durchmesser  $D_u$  am Fussende (Stockdurchmesser) in den Handel zu bringen.

Der Verkauf der Maste nach dem Zopfdurchmesser  $D_0$  verursacht bei nicht genau zutreffender Annahme des Verjüngungsverhältnisses entweder eine *Ueberschätzung der Festigkeit* und daher *Gefahren*, wenn der Mast schlanker ist als angenommen wurde, — oder es ergibt sich eine *Holzverschwendung*, wenn der Mast eine grössere Durchmesserzunahme aufweist, als dies der Berechnung zugrunde gelegt wurde.

Aus der Tabelle 5 kann man folgende Mittelwerte ableiten, die den meisten Fällen der Praxis entsprechen werden, wenn man die Biegungsbeanspruchung  $p_b = 140 \text{ kg}$  für  $1 \text{ cm}^2$  zulässt:

Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Fig. 6 eingetragen, die es möglich macht, auch beliebige Zwischenwerte abzulesen und jede vorkommende Aufgabe mit einer für praktische Zwecke ausreichenden Genauigkeit sofort ohne Rechnung zu lösen.

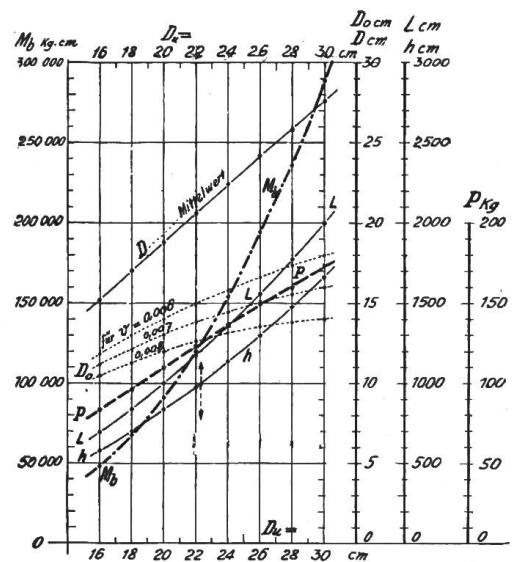


Fig. 6  
zu Tabelle 5 und 6

1) E. u. M. 1920, Heft 3.

Bei der Berechnung des *Winddruckes* ist nach dem § 60 (1., Absatz 2) für zylindrische Flächen die „*Abrundungsziffer*“ 0,7 zu berücksichtigen. Man kann dieselbe in folgender Weise ableiten:

Nach *Grashof* besteht zwischen der *Windgeschwindigkeit*  $v$  m/Sek. und dem *spezifischen Winddruck*  $w$  kg/m<sup>2</sup> die Beziehung (vergl. „*Hütte*“, Band I):

$$w = 0,122 v^2 \quad (20)$$

Man erhält folgende Werte, die als gute Anhaltspunkte dienen können, falls der Wind die betreffende Fläche winkelrecht trifft (Tabelle 7).

Normale Werte für Einfachmaste.

Tabelle 6

$D_u$ cm	$L$ cm	$h$ cm	$D$ Mittelwert cm	Biegemoment $Ph = M_b = 13,74 D^3$ (abgerundet) kg cm	Spitzenzug $P = \frac{M_b}{h}$ kg
16	(693)	(578)	15,2	48 200	83,4
18	840	700	17,0	67 500	96,5
20	1000	833	18,8	91 200	109,5
22	1173	977	20,6	120 000	123,0
24	1360	1134	22,4	154 400	136,2
26	1560	1300	24,2	194 600	149,7
28	1773	1478	25,8	236 000	159,7
30	2000	1667	27,6	289 000	173,4

Bei *geneigten* Flächen macht sich der Einfluss des Neigungswinkels  $\alpha$  der Fläche gegen die Windrichtung bemerkbar; die Ansichten darüber sind noch nicht endgültig geklärt,<sup>1)</sup> doch kann die Formel von *Newton* als praktisch ausreichend genau benutzt werden.

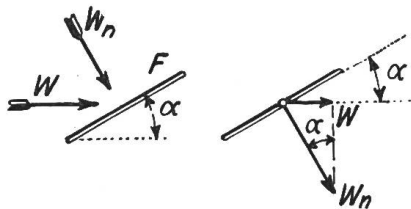


Fig. 7

In der Fig. 7 bedeutet:

$W$  in kg den gesamten Winddruck in der Windrichtung.

$w_1$  in kg/m<sup>2</sup> den spezifischen Winddruck in der Windrichtung.

$W_n$  in kg den gesamten Winddruck normal zur Angriffsfläche  $F$  (m<sup>2</sup>).

$w$  in kg/m<sup>2</sup> den spezifischen Winddruck normal zur Angriffsfläche  $F$  (m<sup>2</sup>).

Nach *Newton* ist:

$$W_n = w_1 F = (w \sin^2 \alpha) F \quad (21)$$

daher wird:

$$W = W_n \sin \alpha = w F \sin^3 \alpha \quad (22)$$

Man erhält daher für die praktisch wichtigsten Formen der Angriffsflächen folgende Werte:

I. *Prisma*:

a) Windrichtung normal zu einer Seitenfläche (Fig. 8):

$$W = w A L \sin^3 90^\circ = w A L \quad (23)$$

b) Windrichtung um 45° gegen die Seitenfläche geneigt (d. i. in der Richtung der Diagonale, Fig. 9):

$$W = 2 w L A \sin^3 45^\circ = \frac{w A L}{\sqrt{2}} \quad (24)$$

<sup>1)</sup> Vergl. „*Hütte*“, Band I, Winddruck.

Tabelle 7

Spezifischer Winddruck $w$ kg/m <sup>2</sup>	$v = \sqrt{\frac{w}{0,122}}$ m/Sek.
25	14,32
50	20,25
75	24,8
100	28,65
125	32,0
150	35,07

II. Zylinder (Fig. 10):

Auf das Flächenelement  $dF$  wirkt der Winddruck  $dW = w dF \sin^3 \alpha$  (nach Gleichung 22); nun ist

$$dF = LR d\alpha \tag{25}$$

daher

$$dW = wLR \sin^3 \alpha d\alpha \tag{26}$$

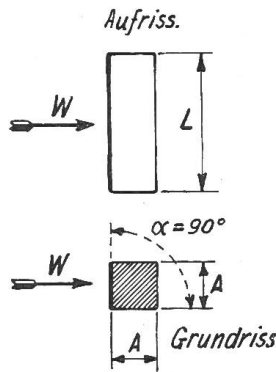


Fig. 8

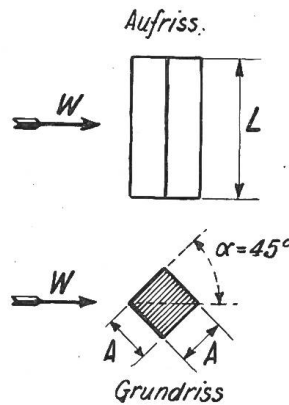


Fig. 9

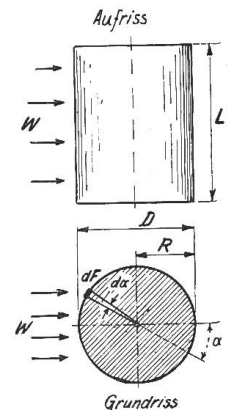


Fig. 10

Man erhält daher für den Winddruck:

$$W = wLD \int_0^{\pi/2} \sin^3 \alpha d\alpha = \frac{2}{3} wDL \tag{27}$$

somit ist:

$$\frac{W}{DL} = 0,667 w \dots \text{kg/cm}^2 \tag{28}$$

Vergleicht man damit die schweizerischen Bundesvorschriften § 60, 1., Absatz 2, in denen die Abrundungsziffer 0,7 vorgeschrieben wird (ebenso auch in den Vorschriften des V. D. E., Berlin und des E. T. V. Wien), so wird man nach dem Ergebnis der Theorie die Vorschriften auch in dieser Hinsicht als gerechtfertigt ansehen.

\* \* \*

Gegenüber dem überwiegenden Einflusse des Biegemomentes  $M_b = Ph$  tritt die Wirkung der Vertikalkraft  $V$  zurück (vergl. Fig. 11), die unter der Einwirkung des Gewichtes der Leitungen, der Isolatoren und des übrigen Tragwerkes („Mastkopfausrüstung“) den Mast in axialer Richtung belastet und ihn auf Knickung beansprucht; in geringem Masse wirkt auch das Eigengewicht des Mastes in gleichem Sinne.

Ist  $P_k$  (kg) die Knicklast (beim Bruch ist für Holz etwa der Wert 560 kg/cm<sup>2</sup> anzunehmen), dann ist die Vertikalkraft bei  $n$ -facher Sicherheit gegen Knickung (nach Euler):

$$V = \frac{P_k}{n} = \frac{1}{n} \frac{\pi^2 JE}{4 h^2} \tag{29}$$

dabei ist:

$$J = \frac{\pi}{64} D^4 \tag{30}$$

das äquatoriale Trägheitsmoment des Mastquerschnittes an der Einspannstelle (Erdoberfläche);  $h$  ist die freie Mastlänge und  $E$  (kg/cm<sup>2</sup>) der Elastizitätsmodul (für Holz ist  $E \doteq 110\,000$  kg/cm<sup>2</sup>).

Innerhalb der Proportionalitätsgrenze gilt nach dem Gesetze von Hooke:

$$\varepsilon = \frac{\lambda}{l} = \alpha p = \frac{p}{E} \quad (31)$$

dabei ist  $l$  (cm) die ursprüngliche Länge,  $\lambda$  (cm) die Verlängerung unter dem Einflusse der Beanspruchung  $p$  (kg/cm<sup>2</sup>);  $\varepsilon$  ist die „relative“ Dehnung,  $\alpha$  der Dehnungskoeffizient (nach *Bach*) und  $E$  (kg/cm<sup>2</sup>) der Elastizitätsmodul.

Für Holz wird die Proportionalitätsgrenze nicht überschritten, solange

$$\lambda \leq \frac{7}{10000} l \text{ bis } \lambda \leq \frac{1}{1000} l; \text{ allgemein kann man also setzen:}$$

$$\lambda = C l \text{ für Holz } C \doteq \frac{1}{1000} \quad (32)$$

dann würde also für *Knickung allein* (aus Gleichung 31)<sup>1)</sup> unterhalb der Proportionalitätsgrenze:

$$p_k = E \frac{\lambda}{l} = E C \quad (33)$$

somit ergibt sich für die Vertikalkraft  $V$  bei  $n$ -facher Sicherheit gegen Knickung (nach Gleichung 29):

$$V = \frac{1}{n C} \frac{\pi^2}{4} \frac{J}{h^2} p_k \quad (34)$$

daher wird 
$$p_k = \frac{4 n C}{\pi^2} \frac{h^2}{J} V \text{ für Knickung allein.} \quad (35)$$

Andererseits ist 
$$p_b = \frac{32 P h}{\pi D^3} \text{ für Biegung allein.} \quad (36)$$

Bei gleichzeitiger Berücksichtigung der Biegung und der Knickung wird daher die Gesamtbeanspruchung:

$$p = p_b + p_k = \frac{32 P h}{\pi D^3} + \frac{4 n C}{\pi^2} \frac{64 h^2}{\pi D^4} V$$

$$p D^4 = \frac{32}{\pi} P h D + \frac{256}{\pi^3} (n C) V h^2 \quad (37)$$

Mit den Näherungswerten  $\frac{32}{\pi} \doteq 10$  und  $\frac{256}{\pi^3} \doteq 8$  wird daher:

$$p D^4 \doteq 10 P h D + 8 (n C) V h^2 \quad (38)$$

wobei man bei vierfacher Sicherheit und mit  $C = \frac{1}{1000}$  den Wert  $(n C) \doteq \frac{4}{1000}$  einsetzen kann, so dass sich ergibt:

$$p D^3 \doteq 10 P h + \frac{32}{1000} \frac{h}{D} V h \quad (39)$$

Da in dieser Formel der *erste* Summand der *Biegebungsbeanspruchung*  $p_b$ , der *zweite* Summand der *Knickungsbeanspruchung*  $p_k$  entspricht, so erhält man für das Verhältnis  $(p_b : p_k)$  den Wert:

$$\frac{p_b}{p_k} \doteq \frac{10 P h 1000 D}{32 h V h} = \frac{10 000 P D}{32 V h} \quad (40)$$

<sup>1)</sup>  $p_k$  = Knickungsbeanspruchung allein;  $p_b$  = Biegebungsbeanspruchung allein.

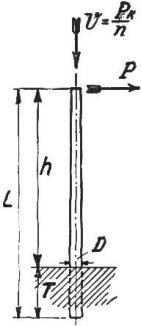


Fig. 11

für das Verhältnis  $D:h$  lassen sich aus der Tabelle 6 die entsprechenden Werte finden, so dass man leicht folgende Uebersicht berechnen kann:

Der in der Gleichung (40) vorkommende Zahlwert (10 000 : 32) ist ein Näherungswert; der genaue Zahlwert ergibt sich aus der Gleichung (37). Da nun gewöhnlich  $P > V$  ist (zumeist ist  $P = 2V$  bis  $5V$  oder mehr), so wird

Tabelle 8

( $p_b : p_k$ ) zwischen den Grenzen 17 bis 10, bzw. 42 bis 25 liegen, d. h. die Beanspruchung  $p_b$  infolge der Biegung allein ist etwa 10 mal bis 40 mal so gross wie die Beanspruchung infolge der Knickung allein.

Der Wert der Näherungsformeln (39) und (40) liegt nun vor allem darin, dass man den Anteil der Biegung an der

$D_u$ cm	$h$ cm	$D$ cm	$\frac{D}{h}$	$\frac{10000}{32} \cdot \frac{D}{h}$ Näherungswert (Gl. 40)	$\frac{9869,6}{32} \cdot \frac{D}{h}$ genauer Wert (Gl. 37)
16	(578)	15,2	1 : 38,0	8,23	8,11
18	700	17,0	41,1	7,60	7,50
20	833	18,8	44,3	7,05	6,96
22	977	20,6	47,4	6,60	6,51
24	1134	22,4	50,6	6,18	6,09
26	1300	24,2	53,8	5,81	5,73
28	1478	25,8	57,3	5,45	5,38
30	1667	27,6	60,4	5,18	5,11

Gesamtbeanspruchung  $p = p_b + p_k$  sehr rasch feststellen und berücksichtigen kann, so dass man sich dann für die eigentliche Berechnung nur auf die Gesetze der Biegefestigkeit zu stützen braucht, wobei die zulässige reine Biegebeanspruchung (nach Gleichung 36) bei vierfacher Sicherheit gegen Bruch mit dem Werte

$$p_b = 140 \frac{p_b}{p_b + p_k} = 140 \frac{\left(\frac{p_b}{p_k}\right)}{\left(\frac{p_b}{p_k}\right) + 1} \tag{41}$$

anzunehmen ist, der sich aus Gleichung (40) und aus der Tabelle 8 berechnen lässt, sobald die Vertikalkraft  $V$  bekannt ist.

\* \* \*

### Verstärkte Einfachmaste für grösseren Spitzenzug.

Die Tabelle 6 enthält Werte, die im wesentlichen den Schweizerischen Bundesvorschriften Art. 52, 1. entsprechen (vergl. auch die Tabelle 1); die Länge  $L$  und die freie Höhe  $h$  dieser Maste ist verhältnismässig gross, so dass sich auch nur recht kleine Durchmesser  $D_0$  an der Mastspitze ergeben wie z. B. die Tabelle 5 erkennen lässt (vergl. auch Fig. 6).

Es ist nun nicht ratsam, für Hochspannungsleitungen Maste mit kleinem Durchmesser  $D_0$  am Kopfende zu verwenden; so verlangen die Freileitungsnormen des V. D. E. Berlin und des E. T. V. Wien für Hochspannungsleitungen Maste mit dem kleinsten Durchmesser  $D_{0\min} = 15$  cm bzw. 17 und 18 cm. Es ist daher berechtigt, die bisherigen Ergebnisse mit dieser Forderung zu vergleichen und sie derselben nach Möglichkeit anzupassen.

In einfachster Weise kann man nach Fig. 12 den Mast auf den Durchmesser  $D_1 = D_{0\min} = 18$  cm bringen, wenn man ihn ohne Aenderung der übrigen Verhältnisse auf die Länge  $L_1$  abschneidet, d. h. also sein Kopfende um den Betrag  $(L - L_1)$  verkürzt, bis

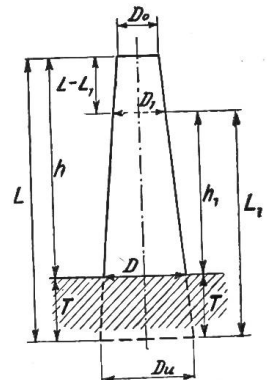


Fig. 12

eben der kleinste Durchmesser den Wert  $D_1 = 18$  cm erreicht. Es ist klar, dass sich hierzu nur an und für sich stärkere Maste (mit grösseren Werten  $D_u$  am Fussende) eignen werden, und es soll nun festgestellt werden, wo hier die praktisch verwertbaren Grenzwerte liegen.

Aus Fig. 12 kann man leicht folgende Verhältnisse finden:

$$D_u - D_1 = v L_1 D_1 \geq 18 \text{ cm} \quad (42)$$

unter Berücksichtigung von Gleichung (2) erhält man

$$L_1 \geq \left( L - \frac{18 - D_0}{v} \right) \quad (43)$$

Mit Berücksichtigung der Tabelle 5 erhält man daher:

Tabelle 9

$D_u$ cm	$L$ cm	$h$ cm	$v = \frac{0,6}{100}$			$v = \frac{0,7}{100}$			$v = \frac{0,8}{100}$		
			$D_o$ cm	$L_1 \geq$ cm	$h_1 =$ $h - (L - L_1)$ cm	$D_o$ cm	$L_1 \geq$ cm	$h_1 =$ $h - (L - L_1)$ cm	$D_o$ cm	$L_1 \geq$ cm	$h_1 =$ $h - (L - L_1)$ cm
16	(693)	(578)	11,84	- 334	- 449	11,15	- 285	- 400	10,46	- 249	- 364
18	840	700	12,96	0	- 140	12,12	0	- 140	11,28	0	0
20	1000	833	14,00	+ 333	+ 166	13,00	+ 285	+ 118	12,00	+ 250	+ 83
22	1173	977	14,96	+ 666	+ 470	13,79	+ 571	+ 375	12,62	+ 500	+ 304
24	1360	1134	15,84	+1000	+ 774	14,48	+ 857	+ 631	13,12	+ 750	+ 524
26	1560	1300	16,64	+1333	+1073	15,08	+1143	+ 883	13,52	+1000	+ 740
28	1773	1478	17,36	+1667	+1371	15,59	+1429	+1134	13,82	+1250	+ 955
30	2000	1667	18,00	+2000	+1667	16,00	+1714	+1381	14,00	+1500	+1167
32	2240	1867	18,56	+2333	+1960	16,32	+2000	+1627	14,08	+1750	+1377
34	2493	2080	19,04	+2667	+2254	16,55	+2286	+1873	14,06	+2000	+1587

Aus dieser Uebersicht können in Analogie mit der Tabelle 6 folgende Werte gefunden werden:

Verstärkte Einfachmaste.

Tabelle 10

$D_u$ cm	$D_1 \geq$ cm	Mittelwert $D$ cm	Biegemoment $M_b$ kg cm	$v = \frac{0,6}{100}$			$v = \frac{0,7}{100}$			$v = \frac{0,8}{100}$		
				$L_1 \geq$ cm	$h_1 \geq$ cm	Spitzenzug $P_1$ kg	$L_1 \geq$ cm	$h_1 \geq$ cm	Spitzenzug $P_1$ kg	$L_1 \geq$ cm	$h_1 \geq$ cm	Spitzenzug $P_1$ kg
(24)	18	22,4	154 400	1000	(774)	200	857	(631)	245	750	(524)	295
26	18	24,2	194 600	1333	1073	181	1143	883	220	1000	740	263
28	18	25,8	236 000	1667	1371	172	1429	1134	208	1250	955	247
30	18	27,6	289 000	2000	1667	173	1714	1381	209	1500	1167	248
32	18	29,4	349 000	2333	1960	178	2000	1627	215	1750	1377	254
34	18	31,1	413 000	2667	2254	183	2286	1873	220	2000	1587	260
Mittelwerte des Spitzenzuges $P_1$				Type für 180 kg			Type für 215 kg			Type für 250 kg		

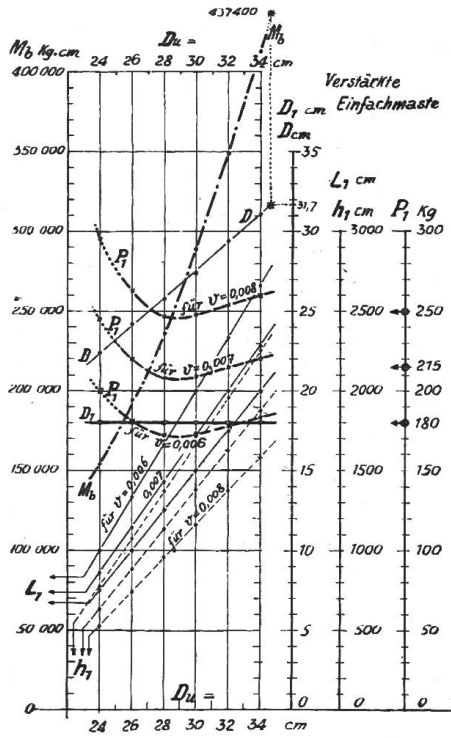


Fig. 13  
zu Tabelle 10

Aus der Tabelle 10 kann man das bemerkenswerte Ergebnis herauslesen, dass für Maste, deren Durchmesser  $D_u$  am Fussende in den Grenzen 26 bis 34 cm angenommen wird, die Verdopplung der Masthöhe bei allen vorkommenden Werten des Verjüngungsverhältnisses  $v$  (0,006 bis 0,008) an dem zulässigen Spitzenzug  $P_1$  kg nahezu gar nichts ändert, solange der Durchmesser  $D_1 = 18$  cm an der Mastspitze beibehalten wird, und wenn in jeder Reihe Maste mit demselben Verjüngungsverhältnis  $v$  miteinander verglichen werden.

Man erhält, wie dies in der Tabelle 10 angegeben ist, die Masttypen für den Spitzenzug 180 kg, 215 kg, 250 kg, je nach der Grösse des Verjüngungsverhältnisses  $v = 0,006$  bzw.  $v = 0,007$  bzw.  $v = 0,008$ . Die Ergebnisse der Tabelle 10 sind in der Fig. 13 übersichtlich dargestellt.

Vergleicht man die Tabelle 10 mit der Tabelle 6, dann findet man die vorgeschlagene Bezeichnungsweise „verstärkte Einfachmaste für grösseren Spitzenzug“ wohl ohne weiteres begreiflich; in derselben Weise erklärt der Vergleich der Fig. 13 mit der Fig. 6 den Vorteil der verstärkten (verkürzten) Maste. (Fortsetzung folgt.)

## Das Problem der parallel arbeitenden Transformatoren auf experimenteller Grundlage.

Von Dr. ing. Emil Wirz, Basel.

Der Autor legt in einem ersten theoretischen Teil dar, dass es bei parallel zu schaltenden Transformatoren nicht genügt, nur die Kurzschlussspannungen als Garantie für einen störungsfreien Parallelbetrieb vorzuschreiben, sondern, dass auch die Leerlaufkonstanten annähernd miteinander übereinstimmen müssen, wenn derselbe gewährleistet sein soll.

Er zeigt ferner in einem zweiten Teile, in welchem er die theoretischen Ergebnisse anhand von experimentellen Untersuchungen nachprüft, dass sich im allgemeinen Transformatoren mit Scheibenwicklungen besser zum Parallelbetrieb eignen als solche mit Zylinderwicklungen und dass bei gemischtem Betrieb in der Regel der Scheibentransformator die kleinere Kurzschlussspannung erhalten soll.

Pour commencer, l'auteur démontre dans la partie théorique que pour pouvoir garantir un bon fonctionnement en parallèle de deux transformateurs il ne suffit pas qu'ils aient la même tension de court-circuit mais qu'en plus il est nécessaire qu'ils présentent aussi approximativement les mêmes constantes pour la marche à vide.

En comparant les résultats théoriques avec les expériences il montre ensuite que les transformateurs avec enroulements à galettes conviennent généralement mieux pour la marche en parallèle que ceux à bobines cylindriques. Lorsqu'on fait usage des uns et des autres il faut choisir en général les transformateurs à galettes avec une moindre tension de court-circuit.

In der Betriebspraxis von Elektrizitätswerken und elektrischen Unternehmungen kommt es sehr häufig vor, dass die Betriebsleute vor die Aufgabe gestellt werden, in einem Netze oder Netzteil mehrere Transformatoren parallel zu schalten oder parallel arbeiten zu lassen.

Hierbei tritt dann die Frage auf, welche Bedingungen erfüllt sein müssen, um ein einwandfreies Zusammenarbeiten dieser parallel geschalteten Transformatoren sicherzustellen.