

Säulen haben bei einer Höhe von 5 m einen Querschnitt von 200 . 280 mm; sie tragen eine balkenlose Decke (Pflzdecke) von 36 . 106 m im Grundriß und haben dem Erdbeben standgehalten, das 1926 zwei Drittel der Stadt im Laufe weniger Minuten in Trümmer verwandelt hat.

Ing. KARL BRAUSEWETTER, Prag:

Meine Herren! Im Berichte des Herrn Vortragenden sowie in der Wechselrede wurde auch die Frage der Ausführung und Betonierung von Säulen mit starker Bewehrung angeschnitten. Auch an unser Unternehmen trat diese Frage heran. Die Verwendung von flüssigem Beton haben wir untersagt, da sich mit einem solchen Beton niemals die vorgeschriebenen Würfelfestigkeiten erreichen lassen. Dichte Bewehrung und starke Verbügelung muß angeordnet werden, wenn die Wirtschaftsüberlegungen eine solche Ausführung für vorteilhaft erweisen oder wenn die Bauherrschaft nur einen beschränkten Säulenquerschnitt zuläßt. Solche Säulen lassen sich mit plastischem Beton nicht betonieren, wenn sie fertig geflochten verlegt sind. Es wurde daher so vorgegangen, daß die Längseisen der Säulen in der richtigen Lage festgehalten wurden, jeweils eine entsprechende geringe Schicht von Beton eingeworfen und gestampft und hierauf ein Bügel über die Säuleneisen gelegt und in seine vorgeschriebene Lage heruntergedrückt wurde. Dann kommt wieder eine Schicht Beton und ein Bügel. Die Ausführung dieser Arbeit muß von einem verlässlichen Eisenbieger oder Vorarbeiter überwacht werden. Es ist also möglich, auch stark verbügelte Säulen richtig zu bewehren und zu betonieren. Um nicht mißverstanden zu werden, sei noch ausdrücklich bemerkt, daß diese Art der Säulenerstellung natürlich nur eine Ausnahme ist und nur dann angewendet wird, wenn die Bügel dicht sind und den Säulenquerschnitt unterschneiden.

Dr. Ing. EUGENIO MIOZZI, Straßenamtschef für die Provinzen von Bolzano, Trento und Belluno:

#### Die rationelle Bestimmung der Stützlinie bei Gewölben

Schon von alters her hat das Studium der entwerfenden Ingenieure stets der Linienführung der mittleren Stützlinie der Gewölbe gegolten. Abgesehen von vielen genauen und komplizierten Arten, den Verlauf der Stützlinie durch Kreisbögen mit mehreren Mittelpunkten, durch erhöhte oder gedrückte oder sonst deformierte Ellipsen, Korbbögen oder Zykloiden zu erhalten, Systeme, welche, wie DEGRAND sagte, mehr eine geometrische Spielerei vorstellen, als sie der wirklichen konstruktiven Notwendigkeit entsprechen, sind nach Studien von IVAN VILLARCEAU, CARVALLO und SAINT GUILHEM Studien, welche aus der Zeit zwischen 1840 und 1860 stammen und welche den Zweck hatten, die Möglichkeit festzusetzen, theoretisch die Linienführung der inneren und der äußeren Leibung der Bögen derart zu bestimmen, daß die Kräfte gleichmäßig auf die verschiedenen Querschnitte verteilt werden, auch mehrere Brücken ausgeführt worden, wie z. B. die Brücke von Garganta Aucha in Spanien, die über den Cimone (33 m) und in Pique (40 m), Frankreich.

Wenn auch diese ersten Studien noch der Kritik unterliegen, waren sie immerhin die ersten Beispiele, wo versucht wurde, den Bögen jene Form zu geben, bei welcher das Material am günstigsten ausgenützt wird und wobei das Eigengewicht und die Nutzlast berücksichtigt erscheinen.

TOURTAÏ (1886) schlägt vor, nicht die mittlere Stützlinie festzulegen, sondern die innere und nachher die äußere Leibung des Bogens. Er schlägt daher die Annahme vor, den Bogen auf eine sehr kleine Stärke zurückzuführen und nimmt dann, um zur wirklichen Stärke des Bogens zu gelangen, an, daß dieser aus mehreren übereinander gelegten Ringen besteht, wovon ein jeder den  $n$ /Teil der Last trägt.

Er kommt auf diese Weise zu einer äußerst komplizierten Formel, nach welcher er den Bogen von Boucicaut über Saône konstruiert hat.

LEGAY (1900) hält sich an den Linien, „catenoide“ genannt, bei welchen er mit speziellen Tafeln die Elemente je nach der Tragfähigkeit und nach der Pfeilhöhe des Bogens berechnet.

TOLKMITT nimmt als mittlere Stützlinie die Seillinie aus dem Eigengewicht der Brücke und aus der halben äußeren Last an. Diese Art der Linienbestimmung nach TOLKMITT ist jene, welche im allgemeinen in der Praxis am meisten angewendet wird. Sie entspricht ganz gut, wenn im Bogen nur Beanspruchungen stattfinden, die vom Eigengewicht und von Belastungen herrühren, dann stellt die Annahme des mit der halben fremden Last gleichmäßig verteilt belasteten Bogens genügend genau die Mitte zwischen dem Minimum und dem Maximum der Belastung vor.

Aber außer dem Eigengewicht und der fremden Last wirken auf das Gleichgewicht des Systems noch andere Kräfte ein, welche neue Beanspruchungen hervorrufen, und das sind:

1. die elastische Zusammenziehung des Bogens;
2. das Schwinden des Betons oder des Mörtels in den steinernen Brücken;
3. die elastische Deformierung der Widerlager;
4. der Unterschied zwischen der Temperatur zur Zeit des Betonierens und der mittleren Jahrestemperatur;
5. die periodischen Änderungen in der Temperatur überhaupt.

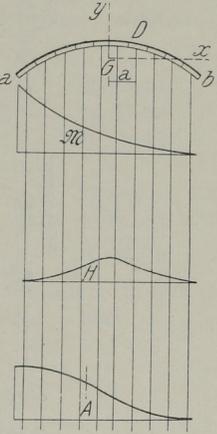


Abb. 1

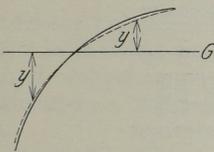


Abb. 2

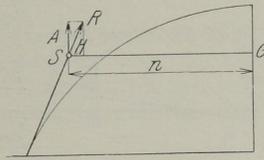


Abb. 3

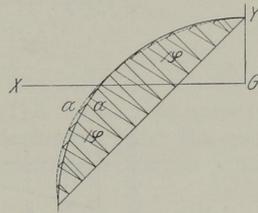


Abb. 4

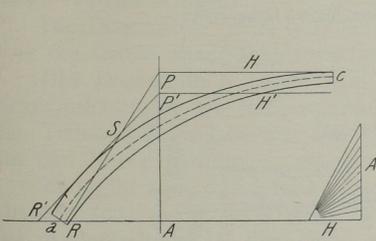


Abb. 5

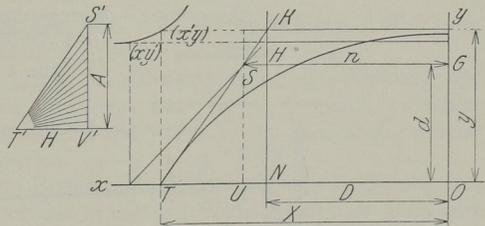


Abb. 6

Alle diese Ursachen zieht TOLKMITT in seinen Ausführungen nicht in Betracht: Daraus ergibt sich, daß die auf diese Weise bestimmte Achse der Brücke nicht den Hauptanforderungen entspricht, d. h. daß die Achse möglichst wenig von allen möglichen Drucklinien abweichen soll. Es ist gut, in die Größe dieser Ursachen Einsicht zu gewinnen.



Ich beziehe mich hiebei auf den Bau einer Brücke bei Belluno über die Piave, welche ich vor kurzem ausgeführt habe; sie hat eine Bogenlänge von 72 m und eine Pfeilhöhe von 9 m.

Würde die Drucklinie nach TOLKMITS bestimmt werden, so würde man folgende Erhöhung der Beanspruchung auf der inneren Leibung beim Widerlager erhalten (in kg pro cm<sup>2</sup>):

1. für die elastische Zusammenziehung ..... kg 14,27
  2. für das Schwinden des Betons ..... kg 13,02
  3. für die Deformierung der Widerlager ..... kg 2,43
  4. Änderungen zwischen der Betonierungs- und mittleren Jahres-  
temperatur ..... kg —,—
  5. Periodische Temperatursänderungen  $\pm 15^{\circ}$  ..... kg 15,63
- Zusammen ..... kg 45,35

während das Eigengewicht und die Belastungen, für sich allein berechnet, in dem gleichen Punkt nur eine Maximalbeanspruchung von 34,58 kg verursachen.

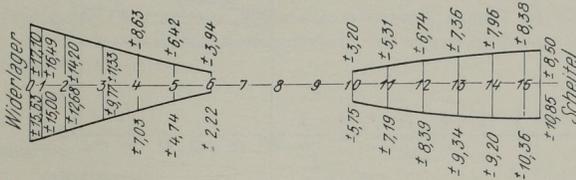


Diagramm E: Temperaturbeanspruchungen bei  $\pm 15^{\circ}$

Abb. 10

Dieses Beispiel zeigt klar, daß nach der Methode TOLKMITS nur ein Teil der Kräfte in Betracht gezogen wird, und zwar der kleinere Teil. Es ist aber notwendig, auch die erstgenannten fünf Beanspruchungen bei der Bestimmung der Bogenachse heranzuziehen, wenn man möglichst günstige Gleichgewichtsbedingungen schaffen will.

Es ist daher eine kurze Prüfung dieser Beanspruchungen notwendig, welche man berechtigterweise die „Nebenspannungen“ (Parasite) nennt, weil sie keinen wirklichen Nutzen bringen.

Die Diagramme A B C D E (siehe die Abb. 1, 8, 9, 10) bringen Aufklärung über die Größe dieser Beanspruchungen in dem oben erwähnten Falle.

Das Diagramm R (siehe Abb. 1) bringt zusammenfassend die Wirkung der Beanspruchungen der Nebenspannungen und zeigt klar einen Vergleich zwischen den Teilen A F, welche aus den Belastungen, und jenen Teilen B C D E, welche aus den Nebenspannungen erhalten werden.

Es ergibt sich, daß letztere in einem Bogen nach TOLKMITS eine Erhöhung des Druckes sowohl auf der Innenleibung in der Nähe des Widerlagers, als auch auf der Außenleibung in der Nähe des Scheitels hervorrufen. Die Drucklinie erniedrigt sich gegen die Widerlager zu und steigt gegen den Scheitel zu.

Diese Betrachtungen erlauben, ohne weiters die Eigenschaften der neuen gesuchten Achse näher zu bestimmen: d. h. die letztere muß gegenüber der Achse nach TOLKMITS die Eigenschaft haben, daß sich die Drucklinie gegen die Widerlager erhöht und gegen den Scheitel zu senkt.

Wir können jetzt annehmen, daß wir kleine Änderungen in den Ordinaten der nach TOLKMITS bestimmten Stützlinie vornehmen, und zwar derart, daß hiebei

sowohl die Belastungen wie die Lage des elastischen Schwerpunktes unverändert bleiben.

Die nähere Betrachtung der nachfolgenden Formel (Abb. 1)

$$H_{p=1} = - \frac{\frac{b}{D} \sum (x-a) \cdot y \cdot w}{\frac{b}{a} y^2 w + \sum \frac{b}{a} \frac{ds}{F}}$$

welche die Elemente für das Diagramm der horizontalen Schubkräfte ergibt, sagt ohne weiters, daß diese Änderungen auch Änderungen in der Größe der horizontalen Schubkraft hervorrufen; und eine Vorführung, welche hier in der Fußnote 1 ausgeführt ist, bestätigt Folgendes:

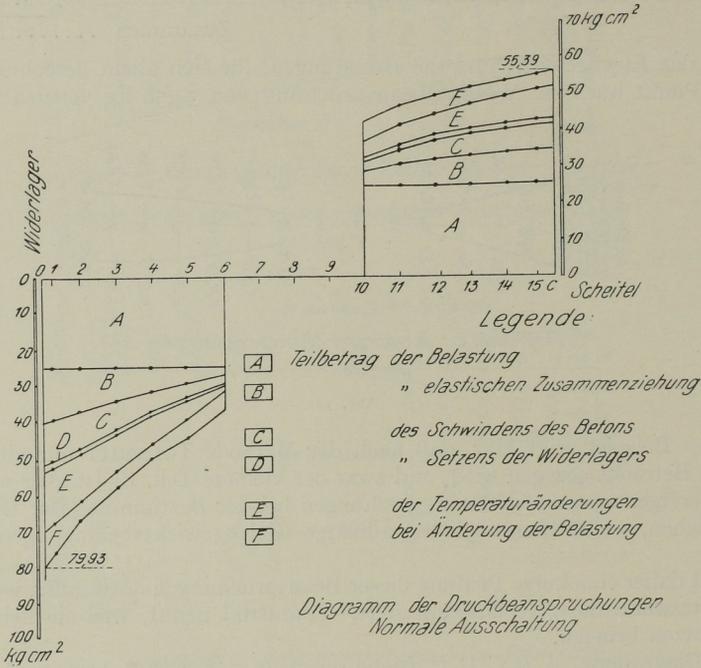


Abb. 11

I. daß eine Erhöhung der so (durch Verschiebung der Achse) erhaltenen horizontalen Schubkraft die mittlere Drucklinie bei den Widerlagern erhöht und im Scheitel erniedrigt, womit man das erhält, was gesucht wurde;

<sup>1</sup> Es ist notwendig, einige bekannte Tatsachen und Betrachtungen vorzuschicken:

Bei einem gegebenen Bogen  $ab$ , der Einfachheit halber symmetrisch, werden die geometrischen Eigenschaften bestimmt, und zwar (Abb. 1):

I. Das Diagramm  $M$  der Momente der Kämpferkräfte des linken Auflagers mit Bezug auf den Schwerpunkt der elastischen Kräfte für eine Kraft gleich 1, gestellt auf sämtliche folgende Abschnitte

$$M_{p=1} = \frac{\frac{b}{D} \sum (x-a) w}{\frac{b}{a} \sum w}$$

und zwar stellt es die Ordinate des Diagrammes  $M$  für den Abschnitt  $D$  mit der Abszisse  $a$  vor.

II. daß eine solche Erhöhung der horizontalen Schubkraft auch erhalten werden kann, indem die Ordinaten der nach TOLKMITT erhaltenen Stützlinie — bezogen auf ein rechtwinkliges Ordinaten-system, dessen Nullpunkt mit dem elastischen Schwerpunkt zusammenfällt — verringert werden.

Wenn die voll gezogene Linie die Achse nach TOLKMITT vorstellt, so bringt die punktierte Linie gegenüber der ersten den Vorteil, die Nebenspannungen vollständig oder teilweise auszugleichen (Abb. 2).

Damit nach der Deformierung der gleichmäßige Verlauf der mittleren Stützlinie erhalten bleibt, d. h. daß dieselbe keine Unterbrechungen oder plötzliche Krümmungsänderungen aufweist, kann diese Deformation am leichtesten auf

2. Das Diagramm  $H$  stellt die horizontalen Schubkräfte für die Kraft = 1 vor, gestellt auf sämtliche Abschnitte

$$H_{p=1} = - \frac{\sum_D^b (x-a) y w}{\sum_a^b y^2 \cdot w + \sum_a^b \frac{ds}{F}}$$

Sie ergibt die Ordinate des Diagrammes  $H$  für den Abschnitt  $D$  und die Abszisse  $a$ .

3. Diagramm  $A$  für die vertikalen Auflagerkräfte des linken Auflagers für die Kraft = 1, gestellt auf nachfolgende Abschnitte

$$A_{p=1} = \frac{\sum_D^b (x-a) x \cdot w}{\sum_a^b x^2 \cdot w}$$

ergibt die Ordinate des Diagrammes  $A$  für den Abschnitt  $D$  mit der Abszisse  $a$  (wobei der Bogen in Abschnitte geteilt wurde).

$x$  = Abszisse des Schwerpunktes der verschiedenen Abschnitte.

$y$  = Ordinate der Schwerpunkte der verschiedenen Abschnitte (bezogen auf ein rechtwinkliges Koordinatensystem, welches seinen Nullpunkt im Schwerpunkt der elastischen Kräfte  $G$  hat).

$a$  = Abszisse des Querschnittes von welchem man  $M$ ,  $H$ ,  $A$  bestimmt.

$w$  = elastisches Gewicht des Abschnittes.

$ds$  = Länge des Abschnittes.

$F$  = Fläche des mittleren Querschnittes des Abschnittes.

Aus diesen Formeln ersieht man, daß in dem Falle, als leichte Änderungen in den Ordinaten der mittleren Stützlinie ( $y$ ) ausgeführt werden, und zwar derart, daß man die Belastungen und den elastischen Schwerpunkt unverändert läßt, sich Folgendes ergibt:

a) die vertikalen Auflagerkräfte, erhalten durch solche Belastungen, bleiben unverändert;

b) die Momente der linken Auflagerreaktionen, bezogen auf den Schwerpunkt der elastischen Kräfte, bleiben unverändert;

c) haben sich die horizontalen Schubkräfte folgendermaßen verändert:

$R$  bezeichnet den linken Auflagerdruck: in dem Schnittpunkt mit der durch  $G$  verlaufenden Horizontalen wird diese Kraft in  $A$  und  $H$  zerlegt (Abb. 3).

Daß Moment  $M$  der Kraft  $R$ , bezogen auf  $G$  ist  $A \times n$  (weil  $H$  ein Moment gleich null ergibt), daher  $n = \frac{M}{A}$ .

Wenn in den Ordinaten  $y$  kleine Änderungen vorgenommen werden, so daß die beiden vorgenannten Bedingungen (unveränderliche Lage) zutreffen, ändern sich  $M$  und  $A$  nicht, ebensowenig ändert sich  $n$  und es geht daraus Folgendes hervor:

In vorgenannten Bedingungen mit der kleinen Änderung der Stützlinie des Bogens dreht sich die Auflagerreaktion um den fixen Punkt  $S$ , wobei der Wert seiner Vertikalen unverändert bleibt, dagegen ändert sich die horizontale Schubkraft.

$ac$  = Halbbogen,  $R$  = die linke Auflagerreaktion (Abb. 5),  $H$  = die horizontale Schubkraft;  $R$  und  $H$  sind die ersten und letzten Seiten eines Seil-Polygons, welches wie auf dem Halb-

folgende Weise erhalten werden: Man erhält den Punkt *a* mit Zuhilfenahme des konstanten Winkels  $\varphi$  durch eine leichte Ordinatenänderung, wobei die Lage des Schwerpunktes *G* (und der *x*-Achse) unverändert bleiben muß (Abb. 4).

Die hintereinander folgenden Annäherungen werden daher nach der Größe des Winkels  $\varphi$  durchgeführt.

Wird der Winkel  $\varphi$  zu stark vergrößert, so verringern sich die größten Druckbeanspruchungen im Kämpfer und im Scheitel, aber es vergrößern sich dann auch jene der mittleren Querschnitte. Mit einiger Übung gelingt es leicht, den am besten entsprechenden Winkel  $\varphi$  zu bestimmen.

Im oben betrachteten Falle werden die TOLKMITTSchen Ordinaten, so wie es aus der Tabelle zu ersehen ist, wie folgt verändert:

bogen *ac* Lasten verbindet: durch ihren Schnittpunkt verläuft die Schwerpunktsachse der Lasten *A*.

Wenn die Mittellinie von *ac* eine Verschiebung erhält, so dreht sich die linke Widerlagerreaktion (Abb. 5) um den Punkt *S* und kommt in die Lage *R'*; die Lage von *A* bleibt unverändert und bleibt dieselbe als Schwerachse derselben Lasten. *P* kommt in *P'* und *H* in *H'*.

Die Verschiebung der Auflagerreaktion und die Verschiebung der Schubkraft im Scheitel sind daher gleichzeitig untereinander in Abhängigkeit.

Wenn das System auf den Punkt *O* bezogen wird, und zwar als Ursprung des rechtwinkligen Koordinatensystems (siehe Abb. 6), ist es leicht, den Zusammenhang zu bestimmen, welcher zwischen *X* (bestimmt durch den Schnittpunkt des Kämpferdruckes mit der Abszissenachse) und die Ordinate *Y* (bestimmt durch den Schnittpunkt der Drucklinie mit der Ordinatenachse) besteht.

Zieht man die zwei ähnlichen Dreiecke *T U S*, *S K H* in Betracht, so erhält man (Abb. 6)

$$\frac{d}{X-n} = \frac{Y-d}{n-D} \dots \dots \dots (1)$$

$$Y n - D X - Y n = \text{konstant} \quad (dn - dD - Dn).$$

Die Kurve, welche dieser Gleichung entspricht, ist eine Hyperbel, deren Asymptote parallel zu den Achsen gehen.

Weiters: Wenn man das Kräftepolygon betrachtet, so ersieht man, daß *T' S' U'* dem Dreieck *T K N* ähnlich ist und daher:

$$H = \frac{A(X-D)}{Y} \dots \dots \dots (2)$$

Aus diesen beiden Gleichungen erhält man folgende drei Formeln, welche *X* als Funktion von *Y*, *Y* als Funktion von *X*, *Y* als Funktion von *H* ergeben:

$$Y = d \frac{x-D}{X-n} \dots \dots \dots (3)$$

$$X = \frac{n Y - d D}{Y - d} = n + \frac{H d}{A} \dots \dots \dots (4)$$

$$Y = \frac{A(n-D)}{H} + d \dots \dots \dots (5)$$

Aus (5) ersieht man, daß sich *Y* verringert, wenn sich *H* vergrößert: Die Drucklinie erniedrigt sich im Scheitel.

Aus (4) (*Y* einsetzend) erhält man, daß sich der Wert von *X* auch vergrößert, wenn *H* vergrößert wird: Die Drucklinie erhöht sich im Kämpfer.

Aus der Formel

$$H_{p=1} = - \frac{\sum_a^b (x-a) y \cdot w}{\sum_a^b y^2 w + \sum_a^b \frac{ds}{F}}$$

ergibt sich, daß um *H* zu vergrößern, es genügt, *y* zu verringern (wobei *y* die Ordinate des Schwerpunktes der einzelnen Bogenabschnitte bedeutet, bezogen auf ein rechtwinkliges Koordinatensystem, dessen Ursprung der Schwerpunkt *G* der elastischen Kräfte ist [siehe Abb. 2]).

So ist bewiesen, was zu beweisen war.

Fortlaufende Nummer der Querschnitte	Abszisse	Ordinate		
		TOLKMITT für $\varphi = 0^0$	für $\varphi = 27^0$	für $\varphi = 44^0$
I	0,625	0,3343	0,340	0,360
2	2,500	1,3075	1,350	1,450
3	5,000	3,4925	2,585	2,735
4	7,500	3,5684	3,670	3,810
5	10,000	4,5386	4,615	4,735
6	12,500	5,5386	5,470	5,540
7	15,000	6,1736	6,180	6,200
8	17,500	6,8438	6,810	6,800
9	20,000	7,4188	7,335	7,250
10	22,500	7,9008	7,780	7,700
11	25,000	8,2914	8,155	8,020
12	27,500	8,5911	8,445	8,345
13	30,000	8,8058	8,700	8,590
14	32,500	8,9431	8,860	8,800
15	34,775	9,0000	8,950	8,940
C	35,800	9,0000	9,000	9,000

Und man erhält folgende Ergebnisse:

Elemente	für $\varphi = 0^0$	für $\varphi = 27^0$	für $\varphi = 44^0$	Anmerkung
$H = \text{kg}$	2 002 420	2 054 552	2 110 892	Nach Abb. 6
$X = \text{Meter}$	35,3716	35,6112	35,9215	
$Y = \text{Meter}$	9,0989	8,9978	8,9425	
Größte Druckspannung (kg pro $\text{cm}^2$ )	79 930	73 596	65 242	

Daraus folgt, daß durch Vergrößerung des Winkels  $\varphi$  sich auch der Wert von  $H$  vergrößert und die Drucklinie sich im Kämpfer wie im Scheitel verschiebt, und zwar entgegengesetzt jenem Sinne, welchen man bei solcher teilweiser Neutralisierung der Nebenspannungen erhält.

Das Ergebnis ist überzeugend: Die größte Druckspannung im oben erwähnten Falle bei der TOLKMITT-Kurve 80 kg pro  $\text{cm}^2$  senkte sich auf 65 kg pro  $\text{cm}^2$ : Ohne dieses Vorgehen hätte man um 25% größere Beanspruchungen erhalten.

Es ist somit bewiesen:

I. daß die TOLKMITTSche Achse, vielfach von den projektierenden Technikern angewendet, sich nicht am besten für den Entwurf eignet, weil sie nur die Beanspruchungen eines Teiles der Kräfte, nämlich nur der Lasten, berücksichtigt;

II. daß es möglich ist, durch geeignete Änderungen die TOLKMITTSche Achse zu verschieben, um auf diese Weise einen teilweisen Ausgleich auch der Nebenspannungen zu erhalten;

III. daß die Verschiebung der Achse darin besteht, daß man die TOLKMITTSche Kurve auf folgende Weise ändert: man nähert dieselbe an die durch den Schwerpunkt der elastischen Kräfte gezogene Horizontale in der oben erwähnten Weise;

IV. daß die Verringerung der Beanspruchungen durch diese Verschiebung ein für die Praxis bedeutendes Maß erreicht und daher von großem Vorteil ist.