

**Zeitschrift:** IABSE publications = Mémoires AIPC = IVBH Abhandlungen  
**Band:** 7 (1943-1944)

**Artikel:** Stabilität der auf Druck beanspruchten Platten im elastischen und plastischen Bereich: Versuchsbericht  
**Autor:** Kollbrunner, C.F.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-8000>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 17.05.2025

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

# **STABILITÄT DER AUF DRUCK BEANSPRUCHTEN PLATTEN IM ELASTISCHEN UND PLASTISCHEN BEREICH (Versuchsbericht).**

STABILITE DES DALLES COMPRIMÉES DANS LES DOMAINES  
ÉLASTIQUE ET PLASTIQUE (RAPPORT SUR LES ESSAIS).

STABILITY IN THE ELASTIC AND PLASTIC ZONES OF SLABS  
SUBJECTED TO PRESSURE (REPORT OF TESTS).

Dr. sc. techn. C. F. KOLLBRUNNER, Zürich.

Zur Vervollständigung der am Institut für Baustatik an der E. T. H. Zürich durchgeführten Stabilitätsversuche über das Ausknicken zentrisch und exzentrisch belasteter Rechteckstäbe<sup>1)</sup> und das Ausbeulen der auf Druck beanspruchten freistehenden Winkel<sup>2)</sup> wurden in obgenanntem Institut große Versuchsserien über die Ausbeulung von Platten durchgeführt.

Die vorliegende Publikation ist ein reiner Versuchsbericht; sie bezweckt lediglich die schon vor längerer Zeit durchgeführten Versuche bekannt zu machen und die Resultate den Theorien von BLEICH und CHWALLA gegenüber zu stellen. Auf die Frage Isotropie oder Anisotropie wie auch auf die Anpassung der Theorie an die Versuchsergebnisse werde ich an anderer Stelle zurückkommen.

Im Unterschied zur Knickung eines ganzen (zusammengesetzten) Stabes, bei der sich die Stabachse deformiert, behält der Stab bei der Ausbeulung seine Achse bei, der Knickvorgang spielt sich in einer Formänderung der Wandungen ab. Eigentliche Knickerscheinungen und Ausbeulungen sind Stabilitätsprobleme; sie haben das gemeinsame Merkmal, daß die ursprüngliche Form von einer bestimmten Belastung an nicht mehr stabil ist, sondern zugunsten der verbeulten Form verlassen wird; es findet ein Gleichgewichtswechsel statt.

Es ist möglich, daß, bevor ein Stab als Ganzes versagt (Ausknickung), die dünnen Platten, aus denen er gebildet ist, in einen unstabilen Gleichgewichtszustand geraten (Ausbeulung), so daß eine „Zerstörung“ des ganzen Stabes eintritt.

Als Erster untersuchte G. H. BRYAN die Stabilität der durch gleichförmig verteilte Druckkräfte, deren Richtung in die Plattenebene fällt, beanspruchten, rings frei drehbar gelagerten Platten. Weitere Fälle wurden von S. TIMOSHENKO, H. REISSNER, A. SOMMERFELD und H. RODE behandelt. Alle diese Veröffentlichungen haben jedoch nur beschränkte Gültigkeit, da sie Bean-

<sup>1)</sup> C. F. KOLLBRUNNER, Zentrischer und exzentrischer Druck von an beiden Enden gelenkig gelagerten Rechteckstäben aus Avional M und Baustahl. Der Stahlbau 1938, Heft 4, 5 und 6.

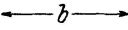
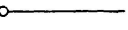
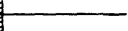
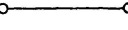
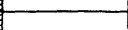
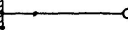
<sup>2)</sup> C. F. KOLLBRUNNER, Das Ausbeulen des auf Druck beanspruchten freistehenden Winkels. Mitteilung Nr. 4 aus dem Institut für Baustatik an der E. T. H. Verlag A. G. Gebr. Leemann & Co., Zürich.

spruchungen über die Proportionalitätsgrenze hinaus nicht berücksichtigen. F. BLEICH entwickelte zum ersten Male eine auch oberhalb der Proportionalitätsgrenze gültige Theorie, die für den Fall der einseitig gelenkig gelagerten andererseits vollständig freien Platte vom Verfasser durch Versuche an über 500 Winkeleisen nachkontrolliert und der Wirklichkeit angepaßt wurde<sup>2)</sup>.

Aus Gründen der mathematischen Zugänglichkeit wurde die für die Ausbeulung ungünstigste Annahme gemacht, daß die gedrückten Plattenränder frei drehbar gelagert seien. An den anderen beiden Kanten können dagegen beliebige Grenzbedingungen erfüllt werden.

### 1. Allgemeine Theorie nach F. Bleich. (Orthogonale anisotrope Platte).<sup>3)</sup>

Die Platte ist an den Rändern  $b$  gelenkig gelagert, an den Rändern  $a$  kann sie folgende Randbedingungen erfüllen:

| Fall<br>Cas<br>Case |                                                                                     |                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I.                  |    | Kanten gänzlich frei.<br><i>Les arêtes complètement libres.</i><br>Edges quite free.                                                                                                                |
| II.                 |    | Kanten einerseits gelenkig gelagert, andererseits gänzlich frei.<br><i>Une arête articulée, l'autre complètement libre.</i><br>Edges with hinged support on one side, quite free on the other.      |
| III.                |  | Kanten einerseits fest eingespannt, andererseits gänzlich frei.<br><i>Une arête totalement encastrée, l'autre complètement libre.</i><br>Edges held fixed on one side, quite free on the other.     |
| IV.                 |  | Kanten beiderseits gelenkig gelagert.<br><i>Les deux arêtes articulées.</i><br>Edges on both sides with hinged support.                                                                             |
| V.                  |  | Kanten beiderseits fest eingespannt.<br><i>Les deux arêtes totalement encastrées.</i><br>Edges on both sides held fixed.                                                                            |
| VI.                 |  | Kanten einerseits fest eingespannt, andererseits gelenkig gelagert.<br><i>Une arête articulée, l'autre totalement encastrée.</i><br>Edges held fixed on one side, with hinged support on the other. |

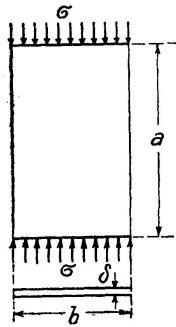


Fig. 1

Fig. 2

Aufbauend auf der Theorie der orthogonal anisotropen Platte erhielt F. BLEICH folgende Ausbeulformel:

$$\sigma_k = p \left( \frac{\pi^2 \cdot E}{12(1 - \bar{m}^2)} \right) \cdot \left( \frac{\delta}{b} \right)^2 \sqrt{\tau} + q \left( \frac{\pi^2 \cdot E}{12(1 - \bar{m}^2)} \right) \cdot \left( \frac{\delta \cdot a}{b^2} \right)^2 \cdot \frac{1}{n^2} + \left( \frac{\pi^2 \cdot E}{12(1 - \bar{m}^2)} \right) \cdot \left( \frac{\delta}{a} \right)^2 \cdot n^2 \cdot \tau \quad (1)$$

Darin bedeuten:

- $E$  == Elastizitätsmodul.
- $\bar{m}$  == Querkürzungsverhältnis (für Metalle  $\bar{m} = 0,3$ ).
- $b$  == Totale Blechbreite.
- $a$  == Totale Blechlänge.
- $\delta$  == Blechdicke

<sup>3)</sup> F. BLEICH, Theorie und Berechnung der eisernen Brücken. Verlag von Julius Springer, Berlin 1924.

$n$  = Anzahl der Halbwellen.

$\tau$  = Knickzahl. Für Rechteckquerschnitte  $\tau = \frac{4 \frac{E'}{E}}{\left(1 + \sqrt{\frac{E'}{E}}\right)^2}$

$E'$  = Veränderlicher Elastizitätsmodul  $E' = \frac{d\sigma}{d\varepsilon}$

Die Koeffizienten  $p$  und  $q$  sind aus den Randbedingungen zu bestimmen. Man erhält:

|          |             |             |                   |
|----------|-------------|-------------|-------------------|
| Fall I   | $p = 0,000$ | $q = 0,000$ | EULER             |
| Fall II  | $p = 0,425$ | $q = 0,000$ | F. BLEICH         |
| Fall III | $p = 0,570$ | $q = 0,125$ | F. BLEICH         |
| Fall IV  | $p = 2,000$ | $q = 1,000$ | F. BLEICH         |
| Fall V   | $p = 2,500$ | $q = 5,000$ | F. BLEICH         |
| Fall VI  | $p = 2,270$ | $q = 2,450$ | C. F. KOLLBRUNNER |

Die Unsicherheit, mit der Gleichung (1) behaftet ist, liegt im willkürlich gewählten Beiwert  $\sqrt{\tau}$ , sowie in der Annahme eines von  $\sigma_k$  unabhängigen Wertes der POISSON'schen Zahl  $\bar{m}$ . Der Einfluß einer eventuellen Änderung von  $\bar{m}$  ist, da diese Größe nur wenig schwanken kann, sehr gering und kann daher vernachlässigt werden. Durch Versuche an auf Druck beanspruchten Winkeln fand ich, daß die BLEICH'sche Endformel mit  $\sqrt{\tau}$  zu große Werte ergab, d. h. für diejenigen Ausdrücke, für welche beide Plattenrichtungen von Einfluß sind, ergibt der Beiwert  $\sqrt{\tau}$  eine zu kleine Abhängigkeit von der Plastizität. Der wahre Beiwert muß zwischen  $\tau$  und  $\sqrt{\tau}$  liegen.

Den für die Praxis wichtigsten Wert, die minimale kritische Ausbeulspannung,  $\min \sigma_k$  erhält BLEICH zu (Fig. 3)

$$\min \sigma_k = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot \sqrt{\tau}}{12(1 - \bar{m}^2)} \cdot \left(\frac{\delta}{b}\right)^2 \cdot [p + 2\sqrt{q}] \quad (2)$$

$$\alpha_0 = n \sqrt[4]{\frac{\tau}{q}} \quad (3)$$

$$\alpha' = \sqrt[4]{\frac{\tau}{q}} \cdot \sqrt{n(n+1)} \quad (4)$$

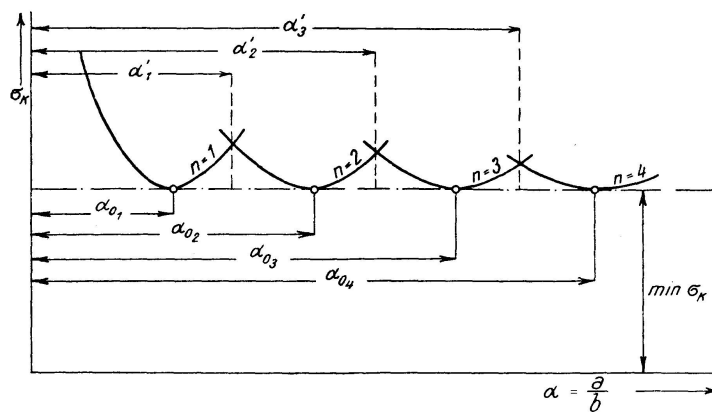


Fig. 3



## 2. Allgemeine Theorie nach Chwalla. (Isotrope Platte).<sup>4)</sup>

E. CHWALLA setzte auch nach Überschreitung der Proportionalitätsgrenze Isotropie voraus und erhält demzufolge folgende Formeln:

$$\sigma_k = p \left( \frac{\pi^2 \cdot E}{12(1 - \bar{m}^2)} \right) \cdot \left( \frac{\delta}{b} \right)^2 \cdot \tau + q \left( \frac{\pi^2 \cdot E}{12(1 - \bar{m}^2)} \right) \cdot \left( \frac{\delta \cdot a}{b^2} \right)^2 \cdot \frac{1}{n^2} \cdot \tau + \left( \frac{\pi^2 \cdot E}{12(1 - \bar{m}^2)} \right) \cdot \left( \frac{\delta}{a} \right)^2 \cdot n^2 \cdot \tau \quad (5)$$

Minimale kritische Ausbeulspannung nach E. CHWALLA:

$$\min \sigma_k = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot \tau}{12(1 - \bar{m}^2)} \cdot \left( \frac{\delta}{b} \right)^2 \cdot [p + 2\sqrt{q}] \quad (6)$$

$$\alpha_0 = n \sqrt[4]{\frac{1}{q}} \quad (7)$$

$$\alpha' = \sqrt[4]{\frac{1}{q}} \cdot \sqrt{n(n+1)} \quad (8)$$

## 3. Versuchsdurchführung.

Die Versuchsplatten wurden in einem Knickrahmen belastet<sup>2)</sup>. Dieser besteht aus zwei ineinanderlaufenden starren Rahmen, die die Zugkraft in eine Druckkraft verwandeln. Die Parallelführung der Preßplatten wurde während der Versuche jeweils geprüft und als genau befunden. Da der Knickrahmen die Kraft durch eine Hebelübertragung erhält (Übersetzung 1:10), kann dieselbe einer sofortigen Ausbeulung folgen; man hat somit die gleichen Verhältnisse wie in der Praxis.

Die gelenkige und starre Lagerung der Plattenkanten  $a$  wurde durch kleine Stahlreiter, die entweder als Gelenke oder als starre Einspannungen dienen konnten und die sich zwischen zwei Stahlschienen bewegten, erreicht.

Da die Meßeinrichtung nur dazu diente, den Moment des Ausbeulens festzuhalten, verzichtete man auf eine genaue Bestimmung der räumlichen Deformationen und beschränkte sich darauf, den „plötzlichen“ Auftritt der Deformationen zu bestimmen. Die Deformationen wurden durch Spiegelung eines Stabes im Blech erhalten. Bei der Ausbeulung spiegelt sich der gerade Stab in Wellenform, wobei die Anzahl der Halbwellen gut abgelesen werden kann. Die auftretenden Dehnungen wurden mit Huggenberger Tensometern Mod. B gemessen (Übersetzung 1:1000). Bei einigen Versuchen wurden die Deformationen mit Huggenberger Meßuhren mit 1:100 mm Teilung bestimmt (Fig. 4, 5).

### Vorbereitungsarbeiten.

1. Einstellung der Preßplatten des Knickrahmens auf die Länge des Versuchsbleches (Last-Kraft-Hebel nahezu horizontal).
2. Knickrahmen durch Bewegung des Last-Kraft-Hebels bei eingestellten Preßplatten leer hin und her bewegen. Ölen des Knickrahmens und der Last-Kraft-Hebel-Führung.

<sup>4)</sup> E. CHWALLA, Das allgemeine Stabilitätsproblem der gedrückten durch Randwinkel verstärkten Platte. Ingenieur Archiv, Band V, 1934.

3. Genaues winkelrechtes Bearbeiten der Kanten  $b$  des Versuchsbleches (Endflächen senkrecht zu den Kanten  $a$ ).
4. Messung der Länge des Versuchsbleches.
5. Befestigung der Reiter für die Randbedingungen (gelenkige Lagerung oder feste Einspannung).
6. Zentrierung des Versuchsbleches im Knickrahmen.
7. Anbringung der Führungsschienen für die Reiter.
8. Anbringung des Stahlstabes zur Spiegelung im Versuchsblech.
9. Anbringung der Tensometer und eventuell der Meßuhren.

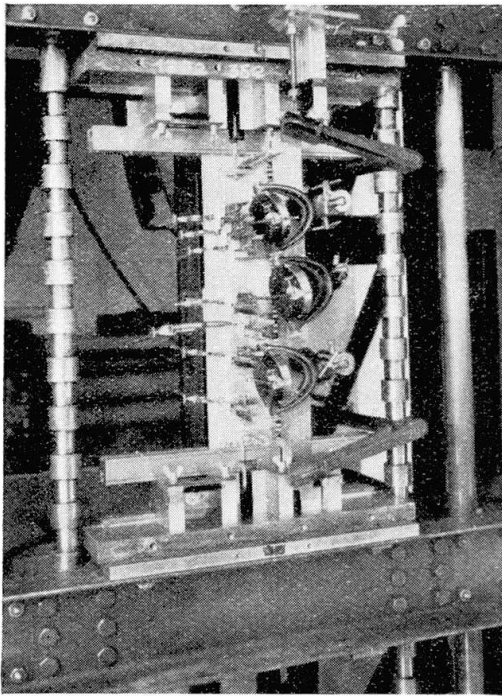


Fig. 4

(Fall II, Kanten  $a$  einerseits gelenkig gelagert, andererseits gänzlich frei).  
Messung der Dehnungen mit Tensometern und der Verformungen mit Meßuhren.  
(2e cas, une arête articulée, l'autre complètement libre). Mesure des extensions au moyen de tensomètres et des déformations au moyen de comparateurs à cadran.  
(Case II, edges  $a$  with hinged support on one side, quite free on the other).  
Measuring the elongations with extensometers and the deformations with dial gauges.

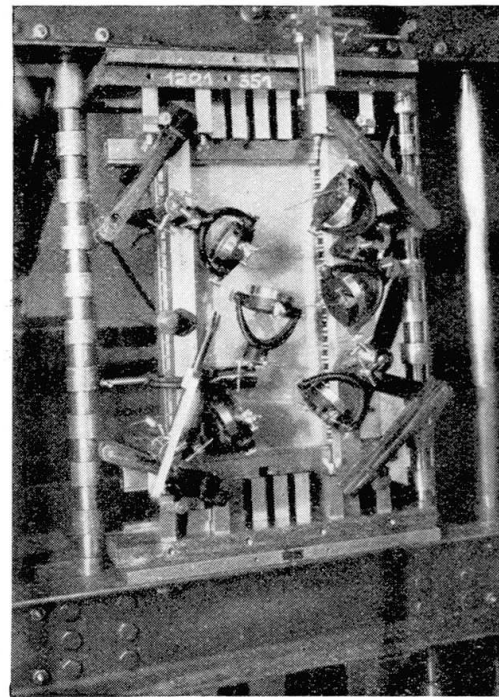


Fig. 5

(Fall V, Kanten  $a$  beiderseits fest eingespannt). Bestimmung der Deformationen mit Meßuhren.  
(5e cas, les deux arêtes totalement encastrées). Détermination des déformations au moyen de comparateurs à cadran.  
(Case V, edges  $a$  held fixed on both sides.) Determining the deformations with dial gauges.

### Eigentlicher Versuch:

1. Langsame Belastung des Versuchsbleches durch Aufbringung der Gewichte am Lasthebel. Kontrolle mit Tensometern, ob die Spannungsverteilung über den Querschnitt gleichmäßig ist.
2. Entlastung bis zu einer Minimallast durch Auffangen der Gewichte mit Kran. Solange man sich im elastischen Bereich befindet, müssen die gemessenen Dehnungen (Tensometer) wieder vollständig zurückgehen.
3. Mehrfache Belastung und Entlastung. In der Regel wurde die Vorbelastung bis zu  $\frac{3}{4}$  der errechneten Ausbeullast gesteigert.

4. Damit sich die Reiter in den Führungsschienen nicht verklemmen können, sondern ohne Kraftübertragung auf die Schienen leicht gleiten, wurden diese Schienen bei der Be- und Entlastung stets leicht angeklopft.
5. Langsame Mehrbelastung bis das Versuchsblech ausbeult.

#### Nach - Versuch:

Weiterbelastung bis das Versuchsblech die Last nicht mehr trägt und endgültig ausweicht.

Der Moment der Ausbeulung war jeweils durch einen typischen Sprung des gespiegelten Stabes von der geraden Form in die Wellenform gut ersichtlich.

Die Spannungs-Verkürzungs-Diagramme wurden an kurzen Versuchsblechen bestimmt. Sämtliche Versuchsbleche waren aus Avional M (Aluminium-Industrie A.G., Neuhausen).

Im Ganzen wurden 358 Versuche ausgeführt, nämlich:

|          |            |                                                                                                         |                                  |
|----------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Fall II  |            | 10 Versuche zur Kontrolle der Winkelversuche <sup>2)</sup>                                              |                                  |
| Fall III | Serie I    | $b = 19,7 \text{ cm}$<br>für $a = 20, 30, 40, 50 \text{ cm}$<br>und $\delta = 0,1, 0,3, 0,4 \text{ cm}$ | je 3 Versuche, Total 36 Versuche |
|          | Serie II   | $b = 9,7 \text{ cm}$<br>für $a = 20, 30, 40, 50 \text{ cm}$<br>und $\delta = 0,2, 0,3, 0,4 \text{ cm}$  | je 3 Versuche, Total 36 Versuche |
|          | Serie III  | $b = 5,7 \text{ cm}$<br>für $a = 20, 30, 40, 50 \text{ cm}$<br>und $\delta = 0,1, 0,2 \text{ cm}$       | je 3 Versuche, Total 24 Versuche |
| Fall IV  | Serie IV   | $b = 20,2 \text{ cm}$<br>für $a = 20, 30, 40, 50 \text{ cm}$<br>und $\delta = 0,1, 0,2, 0,3 \text{ cm}$ | je 3 Versuche, Total 36 Versuche |
|          | Serie V    | $b = 10,2 \text{ cm}$<br>für $a = 20, 30, 40, 50 \text{ cm}$<br>und $\delta = 0,1, 0,2, 0,3 \text{ cm}$ | je 3 Versuche, Total 36 Versuche |
|          | Serie VI   | $b = 6,2 \text{ cm}$<br>für $a = 20, 30, 40, 50 \text{ cm}$<br>und $\delta = 0,1, 0,2 \text{ cm}$       | je 3 Versuche, Total 24 Versuche |
| Fall V   | Serie X    | $b = 4,4 \text{ cm}$<br>für $a = 20, 30, 40, 50 \text{ cm}$<br>und $\delta = 0,1, 0,2 \text{ cm}$       | je 3 Versuche, Total 24 Versuche |
|          | Serie XI   | $b = 9,4 \text{ cm}$<br>für $a = 20, 30, 40, 50 \text{ cm}$<br>und $\delta = 0,1, 0,2 \text{ cm}$       | je 3 Versuche, Total 24 Versuche |
|          | Serie XII  | $b = 19,4 \text{ cm}$<br>für $a = 20, 30, 40, 50 \text{ cm}$<br>und $\delta = 0,1, 0,2 \text{ cm}$      | je 3 Versuche, Total 24 Versuche |
| Fall VI  | Serie VII  | $b = 20,3 \text{ cm}$<br>für $a = 20, 30, 40, 50 \text{ cm}$<br>und $\delta = 0,1, 0,2, 0,3 \text{ cm}$ | je 3 Versuche, Total 36 Versuche |
|          | Serie VIII | $b = 10,3 \text{ cm}$<br>für $a = 20, 30, 40, 50 \text{ cm}$<br>und $\delta = 0,1, 0,2 \text{ cm}$      | je 3 Versuche, Total 24 Versuche |
|          | Serie IX   | $b = 5,3 \text{ cm}$<br>für $a = 20, 30, 40, 50 \text{ cm}$<br>und $\delta = 0,1, 0,2 \text{ cm}$       | je 3 Versuche, Total 24 Versuche |

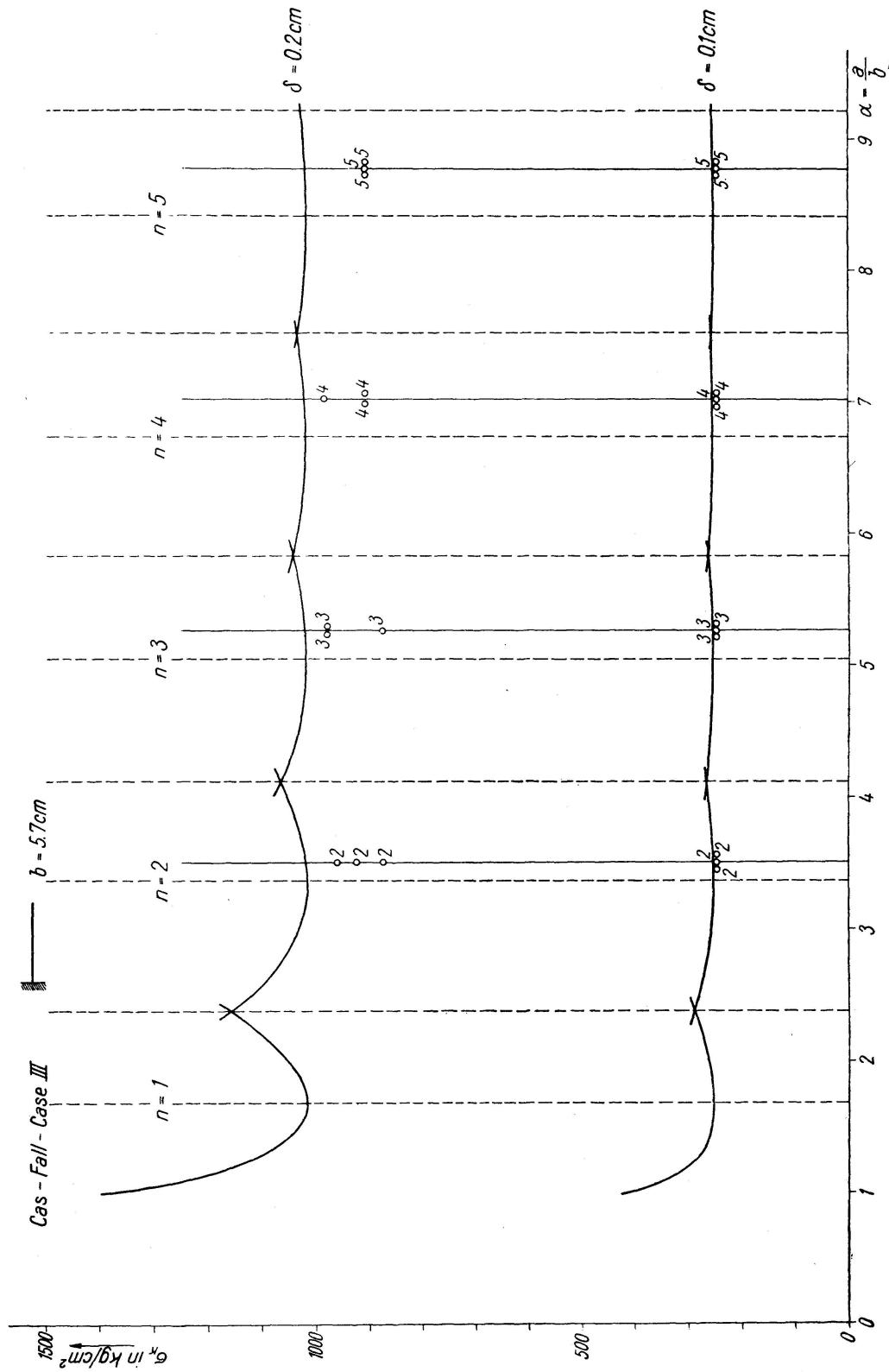


Fig. 6

#### 4. Versuchsergebnisse.

Die Versuchsergebnisse liegen im elastischen Bereich, für welchen sich die Formeln von BLEICH und CHWALLA decken, mit verschwindend kleinen Ausnahmen stets etwas unterhalb den rechnerisch ermittelten Werten, d. h. sie bestätigen die Theorie auffallend gut. Im unelastischen Bereich liegen sowohl die Ausbeulspannungen wie auch die Anzahl der Halbwellen zwischen den theoretischen Werten von BLEICH und CHWALLA.

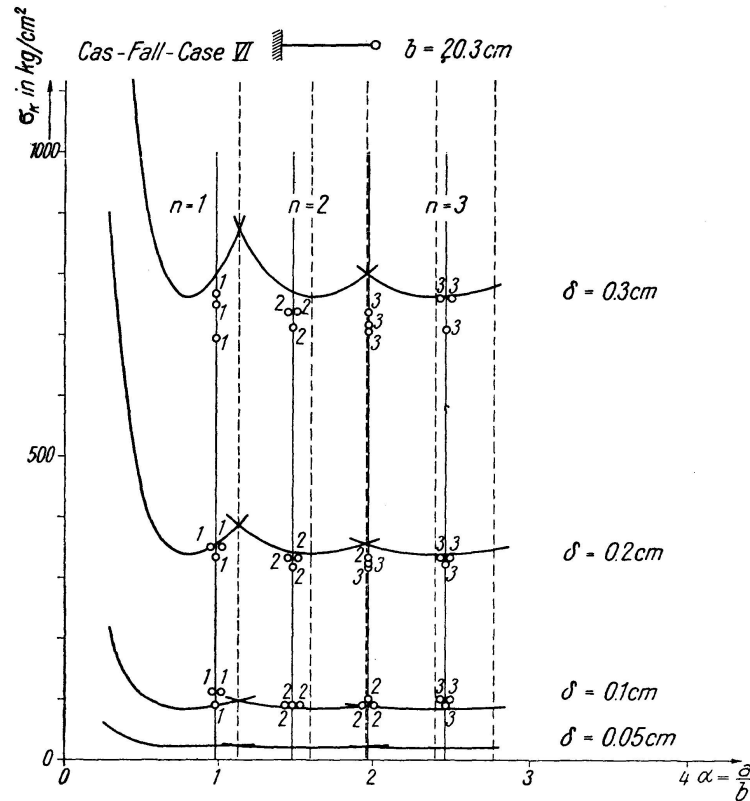


Fig. 7

Analog den Winkelversuchen<sup>2)</sup> tragen auch die Bleche, sofern sie im elastischen Bereich ausbeulen, noch eine große zusätzliche Last, oft sogar ein Mehrfaches der Ausbeullast, währenddem sie, sofern sie erst im plastischen Bereich ausbeulen, schon eine kleine Mehrbelastung nicht mehr tragen können, ja teilweise bei der Ausbeulung unter der Last „weggehen“.

Bei langen Blechen sind die vielen Halbwellen (Serien IX und X) nur in einem ganz bestimmten Stadium, nämlich kurz nach der Ausbeulung, gut sichtbar, und können nur dann mit absoluter Genauigkeit gezählt werden. Später dominieren einzelne Wellen, währenddem sich andere wieder verflachen. Bei den dominierenden Wellen „knickt“ dann schließlich das Blech bei weiterer Belastung.

Fig. 6 zeigt die Versuchsergebnisse für den Fall III, Serie III,  $b = 5,7 \text{ cm}$ . Die Ausbeulung fand sowohl bei  $\delta = 0,1 \text{ cm}$  wie auch bei  $\delta = 0,2 \text{ cm}$  im elastischen Bereich statt. Alle Versuchswerte liegen unterhalb den theoretischen Werten. Die Anzahl der Halbwellen stimmt überall mit den theoretisch berechneten überein.

Fig. 7 zeigt die Versuchsergebnisse für den Fall VI, Serie VII,  $b = 20,3 \text{ cm}$ . Die Ausbeulung fand für  $\delta = 0,1 \text{ cm}, 0,2 \text{ cm}$  und  $0,3 \text{ cm}$  im elastischen Be-

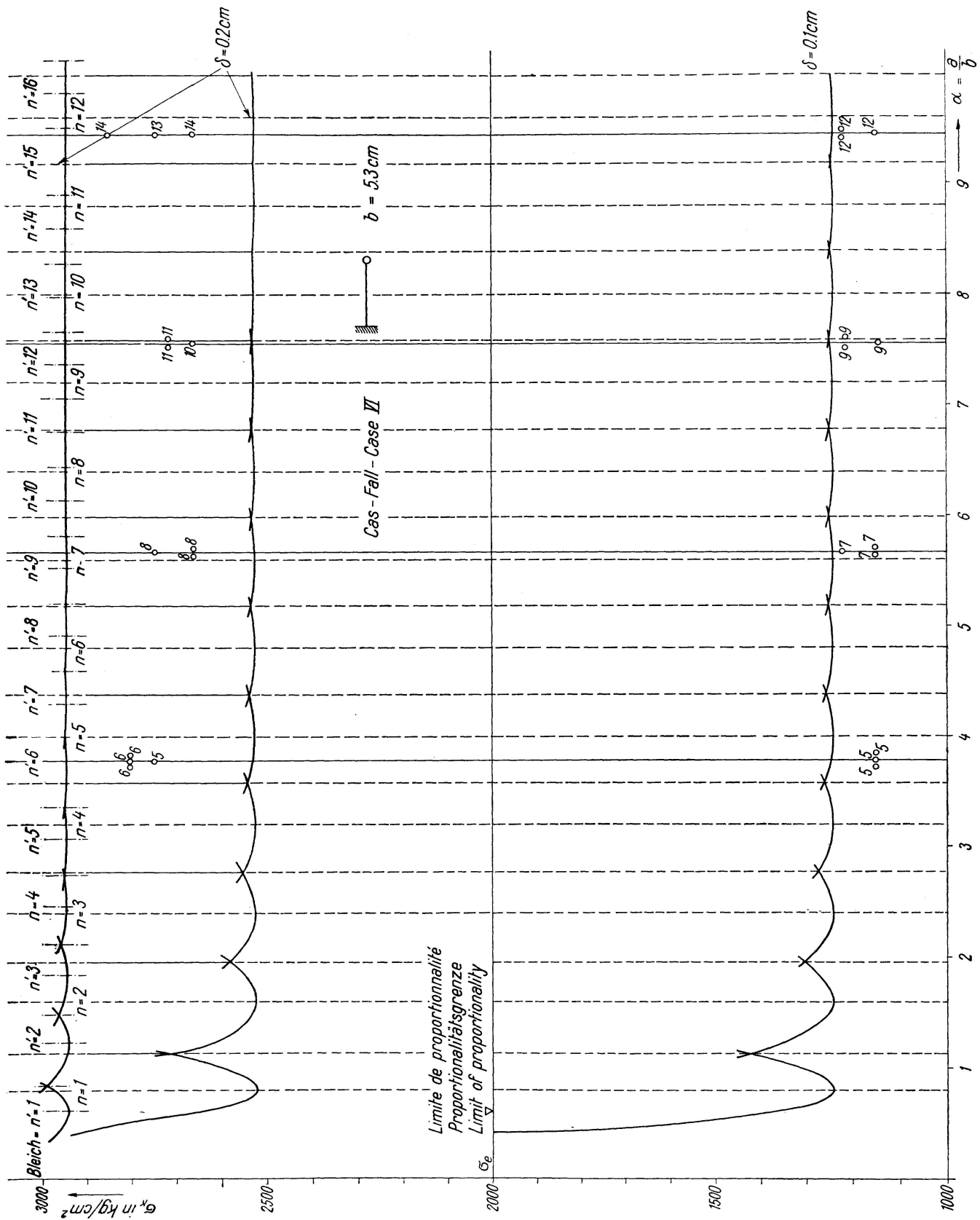
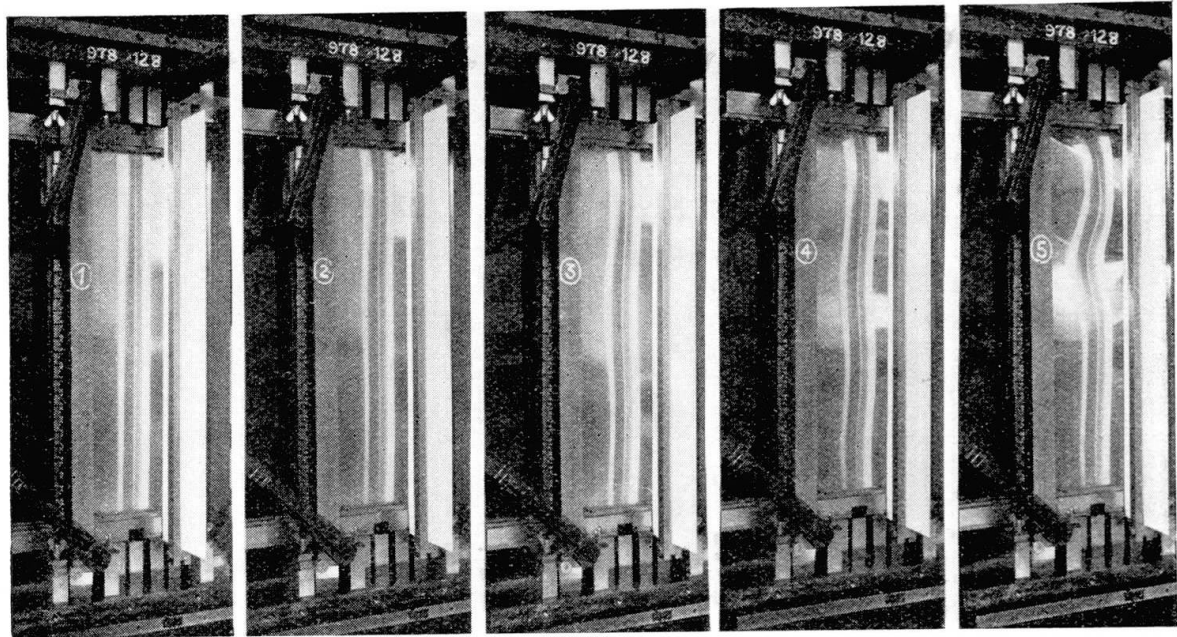
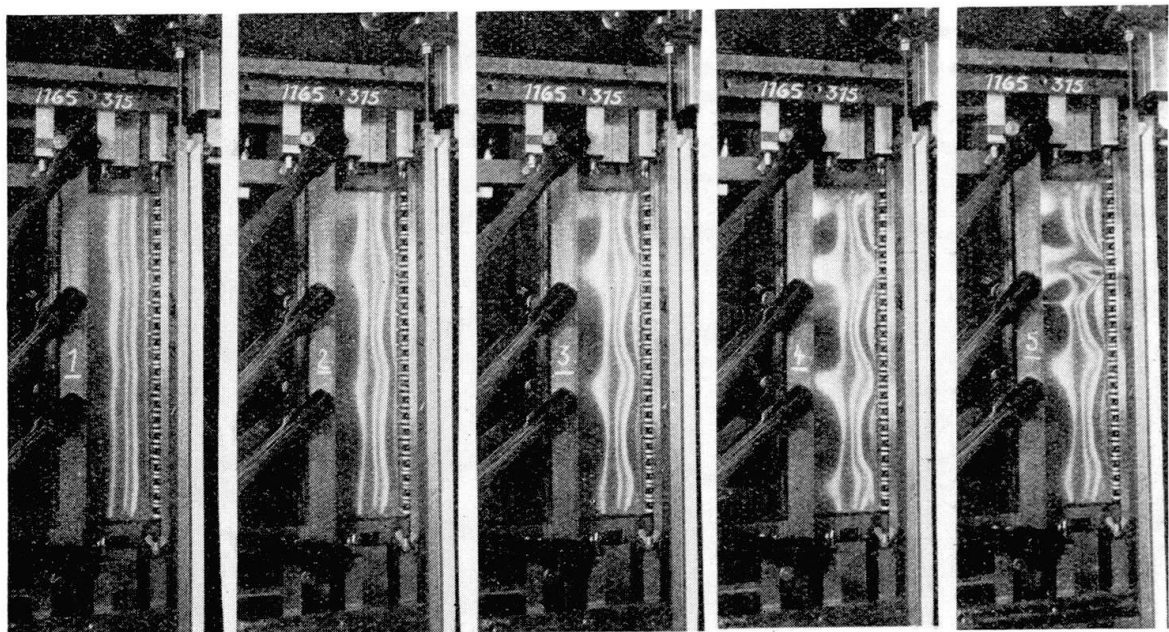


Fig. 8





a b c d e  
Fig. 9. Beiderseits gelenkig gelagertes Blech. — *Tôle articulée des deux côtés.*  
Sheet with hinged support on both sides.



a b c d e  
Fig. 10. Beiderseits fest eingespanntes Blech. — *Tôle totalement encastrée des deux côtés.*  
Sheet held fixed on both sides.

reich statt. Mit Ausnahme der Versuchswerte für  $\delta = 0,1$  cm (die bei sehr kleinen Lasten ausbeulen, bei welchen der Knickrahmen nicht genau spielt) liegen alle Versuchsergebnisse unterhalb den theoretischen Werten. Die Anzahl der Halbwellen stimmt überall mit den theoretisch berechneten überein. (Bei den 40 cm langen Platten ist die theoretische Halbwellenzahl gerade an der Grenze zwischen 2 und 3 Halbwellen. Die 0,1 cm dicken Platten beulten

in zwei, die 0,2 cm dicken in zwei oder drei und die 0,3 cm dicken in drei Halbwellen aus.)

Fig. 8 zeigt die Versuchsergebnisse für den Fall VI, Serie IX,  $b = 5,3$  cm. Für  $\delta = 0,1$  cm fand die Ausbeulung im elastischen, für  $\delta = 0,2$  cm im plastischen Bereich statt. Die Versuchswerte im elastischen Bereich liegen alle unterhalb den theoretischen Werten; die Anzahl der Halbwellen stimmt mit den berechneten überein. Sämtliche Versuchswerte im plastischen Bereich liegen zwischen den theoretischen Werten von BLEICH und CHWALLA, ebenso die Anzahl der auftretenden Halbwellen.

Fig. 9 zeigt die Versuchsanordnung für ein an den Rändern  $a$  beiderseits gelenkig gelagertes Blech  $b = 20,2$  cm,  $\delta = 0,1$  cm,  $a = 50$  cm (Fall IV, Serie IV). Fig. 9a zeigt den im Versuchsblech gerade gespiegelten Stab unterhalb der Ausbeullast ( $\sigma = 23$  kg/cm<sup>2</sup>), Fig. 9b das Ausbeulen in drei Halbwellen ( $\sigma = 70$  kg/cm<sup>2</sup>), 9c und 9d die Vergrößerung der Ausbeulungen bei Laststeigerung und die Ausbildung einer vierten Halbwelle, 9e das „Weggehen“ des Bleches unter der Traglast.

Fig. 10 zeigt die Versuchsanordnung für ein an den Rändern  $a$  beiderseits fest eingespanntes Blech  $b = 9,4$  cm,  $\delta = 0,1$  cm,  $a = 40$  cm (Fall V, Serie XI). Fig. 10a zeigt das Ausbeulen in sechs Halbwellen ( $\sigma = 508$  kg/cm<sup>2</sup>), 9b, c und d die Vergrößerung der Ausbeulungen bei Laststeigerung und Fig. 9e das „Weggehen“ des Bleches unter der Traglast.

### 5. Zusammenfassung.

An 358 Versuchen wurde das Ausbeulen von auf Druck beanspruchten Avional-Platten im elastischen und plastischen Bereich untersucht. Währenddem die Versuchsergebnisse im elastischen Gebiet gut mit der Theorie übereinstimmen, liegen dieselben im plastischen Bereich zwischen den theoretischen Werten von CHWALLA (isotrope Platte) und BLEICH (orthogonal anisotrope Platte). Daraus kann geschlossen werden, daß sich die Platten oberhalb der Proportionalitätsgrenze anisotrop verhalten, der von BLEICH eingeführte Beiwert  $\sqrt{\tau}$  jedoch die Verhältnisse nicht richtig charakterisiert.

### Résumé.

358 essais ont été entrepris sur des plaques en avional soumises à la compression afin d'étudier leur gauchissement dans le domaine élastique et plastique. Tandis que les résultats des essais dans le domaine élastique coïncident de manière satisfaisante avec la théorie, ils conduisent, dans le domaine plastique, à des valeurs comprises entre celles données théoriquement par CHWALLA (plaque isotrope) et BLEICH (plaque anisotrope orthogonale). On peut en conclure que les plaques, au-delà de la limite de proportionnalité, montrent un caractère nettement anisotrope, et que la grandeur  $\sqrt{\tau}$ , introduite par BLEICH, n'est pas à même de donner une interprétation suffisamment exacte de la chose.

### Summary.

358 tests were made on the bulging in the elastic and plastic zones of avional plates subjected to pressure. Whilst the test results in the elastic zone agree well with theory, those in the plastic zone lie between the theoretical values of CHWALLA (isotropic plate) and of BLEICH (orthogonal anisotropic plate). From this it can be concluded that the plates behave anisotropically above the limit of proportionality, but that the coefficient  $\sqrt{\tau}$  introduced by BLEICH is not absolutely characteristic of the circumstances.



Leere Seite  
Blank page  
Page vide