

ENTWURF UND BERECHNUNG
VON FLUGZEUGEN
VON DIPL.-ING. GERHARD OTTO

BAND IVb

SCHWIMMWERK

MIT 117 ABBILDUNGEN
UND 6 TAFELN

C. J. E. VOLCKMANN NACHF. E. WETTE
BERLIN-CHARLOTTENBURG 2

1942

ENTWURF UND BERECHNUNG VON FLUGZEUGEN

Band I: TRAGFLÜGEL

Band II: RUMPF

Band III: LEITWERK

Band IVa: FAHRWERK

Band IVb: SCHWIMMWERK

Band V: FLUGMOTORANLAGE

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	5
Erklärung allgemeiner Formelgrößen	6
I. Beanspruchungsgruppen und Rechenfaktoren	7
1. Beanspruchungsgruppen	7
2. Die angreifende resultierende Stoßkraft	7
a) Lage und Richtung	7
b) Größe	10
II. Die anzunehmende Belastung nach Bauvorschriften	13
III. Berechnung der äußeren Kräfte am Schwimmer Dornier Do 22	24
1. Symmetrischer Bugstoß, Stufenstoß, Heckstoß	26
2. Einseitige Beanspruchung	30
3. Exzentrische Stoßbeanspruchung	31
4. Schräge exzentrische Stoßbeanspruchung	34
IV. Berechnung des Schwimmergestells Dornier Do 22	42
1. Fall 301: Symmetrischer Stufenstoß	42
2. Fall 300: Symmetrischer Bugstoß	45
3. Fall 302: Symmetrischer Heckstoß	47
4. Fall 370: Exzentrischer Bugstoß, schräg von außen	50
5. Fall 372: Exzentrischer Heckstoß, schräg von außen	53
V. Festigkeitsnachweis zur Schwimmerdimensionierung Dornier Do 22	56
1. Bodenlängsträger	56
2. Schwimmerbeplankung (Spant 8 bis 9)	60
3. Annahme eines ungünstigen Falles für Bugbeplankung	63
4. Schwimmerbeplankung (Spant 16 bis 17)	66
5. Annahme eines ungünstigen Falles für Heckbeplankung	68
6. Festigkeit der Decksüberbrückung	71
VI. Konstruktionsbeispiele und -einzelheiten	71
1. Beschreibung eines Zentral- und eines Stützwimmers	71
2. Allgemeine und vergleichende Betrachtungen	83
a) Schwimmer	83
b) Schwimmergerüste	86

	Seite
VII. Allgemeine Grundlagen für Seeflugzeugberechnungen . .	90
1. Das Froudesche Modellgesetz	90
2. Der Start	92
3. Formgebung und Lage der Stufe; statische Schwimmstabilität	94
4. Herabsetzung der Spritzwasserbildung	98
5. Zusammenfassende Gegenüberstellung für Schwimmerform und Schwimmwerksanordnung	99
a) Schwimmerform und Konstruktion	99
b) Schwimmwerksanordnung	100
6. Wind- und Seegangtabelle	101
Literatur	102

Tafel I: Symmetrischer Stufenstoß ($P_{sich} = 6195 \text{ kg}$)

Tafel II: Symmetrischer Bugstoß ($P_{sich} = 3202,5 \text{ kg}$)

Tafel III: Symmetrischer Heckstoß ($P_{sich} = 1630 \text{ kg}$)

Tafel IV: Exzentrischer Bugstoß, schräg von außen

Tafel V: Exzentrischer Heckstoß, schräg von außen

Tafel VI: Dornier Do 22-Schwimmer

Berichtigung

Für die Bausicherheitszahlen in den Stabkrafttabellen der Tafeln I und II, IV und V muß j (statt s bzw. S) wie bei Tafel III eingesetzt werden.

Vorwort

Den vorliegenden Band verdankt der Leser in erster Linie dem Entgegenkommen der Geschäftsleitung der Dornier-Werke G. m. b. H., Friedrichshafen a. B. Ganz besonders danke ich selbst für das persönliche liebenswürdige Verständnis, das Herr Dr. Dornier diesem Teil meiner Buchreihe „Entwurf und Berechnung von Flugzeugen“ entgegenbrachte.

Die Dornier-Werke G. m. b. H. ist seit jeher nicht nur als gediegene Firma für Projektierung und Ausführung von Flugbooten bekannt, sondern hat mit Schwimmerflugzeugen auch guten Absatz auf dem ausländischen Markt gehabt.

Das hier zum Teil mit verschiedenen Fluggewichten durchgerechnete Beispiel der Do 22 ist mehrfach ins Ausland geliefert worden. Das behandelte Schwimmerwerksystem ist sehr gebräuchlich und zum Studium praktisch.

Die Abbildungen im Abschnitt VI stellten freundlicherweise die Heinkel-Flugzeugwerke zur Verfügung.

Der bisher mitangekündigte Band VI „Statik“ dieser Reihe wird nach dem Kriege als 3. Band der Neuauflage der „Konstruktionselemente für den Flugzeugbau“ erscheinen und viele praktische Beispiele enthalten.

Halle (Saale), Januar 1942

Gerhard Otto

Erklärung allgemeiner Formelgrößen

- A (kg) Hydrostatischer Auftrieb.
 a (cm) Abstand der Stoßkraft vom Schwerpunkt.
 b_B (cm) Bootsbodenbreite.
 b_{St} (m/s²) Stoßgeschwindigkeit.
 c_0 (—) Gewichtskennzahl.
 c_1 (—) Beanspruchungskennzahl.
 c_2 (—) Kielungskennzahl.
 F_p (m²) Stoßfläche am Schwimmer.
 I_x, I_y, I_z (kg m s²) Trägheitsmomente.
 i_x, i_y, i_z (cm) Trägheitsradien.
 l_v (cm) Vorschiffsänge.
 M (cmkg) Moment.
 $m = \frac{G}{g}$ (kg s²/m) Masse des Flugzeugs.
 m_{red} (kg/s²/m) Reduzierte Masse des Flugzeugs.
 P_L (kg) Kraft im Langsprofil eines Spantquerschnittes.
 Q (kg) Querkraft.
 $q (= \tau \cdot s)$ (kg/cm) Schubfluß.
 $S (= F \cdot a)$ (cm³) Statisches Moment.
 v_w (m/s) Geschwindigkeit bei Start oder Landung auf dem Wasser.
 W_x (cm³) Widerstandsmoment.
 x, y, z Hauptschwerachsen.
 x_0, y_0 (cm) Koordinaten des Durchdringungspunktes einer exzentrischen Stoßkraft in der jeweiligen Ebene.
 β_K (...°) Kiellängsneigungswinkel.
 $\gamma_x, \gamma_y, \gamma_z$ (...°) Richtungswinkel.
 ε (1/s²) Drehwinkelbeschleunigung.
 λ (—) Schlankheitsgrad eines Stabes.
 ξ, η, ζ Kielkantenfeste Koordinaten.
 τ (kg/cm²) Schubspannung.
 τ_d (kg/cm²) Torsionsspannung.

I. Beanspruchungsgruppen und Rechenfaktoren

Bevor auf die nach Bauvorschriften anzunehmende Belastung näher eingegangen wird, müssen einige grundlegende Richtlinien und Bestimmungsstücke besprochen werden.

Soweit in Zukunft überhaupt irgendein Teil des Schwimmwerks nach den vorliegenden Bauvorschriften 1936 dimensioniert wird, gilt das nur für Flugzeuge, für die geringe bis normale Seefähigkeit gefordert wird. Darüber hinaus ist nichts ausgesagt.

Für Flugzeuge mit höherer Seefähigkeit sowie für Stummel- und Stützwimmer, die bei einer gedachten Schwimmlage des Flugzeugs mit zur Wasseroberfläche senkrechter Stellung der Flugzeug-Hochachse zum Eintauchen kommen, sind für die anzusetzenden Kräfte besondere Vereinbarungen mit der Prüfstelle zu treffen.

1. Beanspruchungsgruppen

Nach den Bauvorschriften gehören zur

Beanspruchungsgruppe I: Wasserflugzeuge, die vorzugsweise zu Abflug und Landung in ruhigen Gewässern bestimmt sind,

Beanspruchungsgruppe II: Wasserflugzeuge, die zu Abflug und Landung im Seegang bestimmt sind.

2. Die angreifende resultierende Stoßkraft

a) Lage und Richtung

Für Berechnungen am Schwimmwerk gelten die kielkantenfesten Koordinaten ξ , η , ζ ähnlich wie im Band IVa „Fahrwerk“ die erdbodenfesten Koordinaten x , y , z , so daß also mit den Hauptschwerachsen

x, y, z am Flugzeug drei Arten von Achsensystemen eingeführt worden sind, von denen für Land- bzw. Wasserflugzeuge je zwei gelten (Abb. 1).

Die ζ -Koordinate ist senkrecht zu x und geht durch den Schnitt zwischen Hauptstufe und Kielkante; ferner ist die $\xi\zeta$ -Ebene parallel zur Symmetrieebene xz .

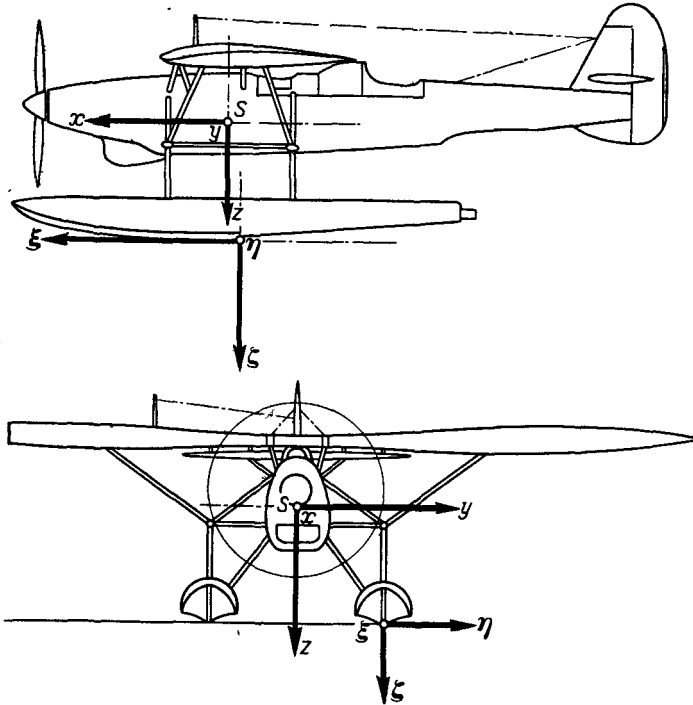


Abb. 1. Koordinatenachsen für Schwimmerflugzeuge (Chance-Vought-Corsair mit Zentralschwimmer)

Bei der Schwimmer- oder Flugbootberechnung werden hauptsächlich Bugstoß, Stufenstoß (an der Hauptstufe) und Heckstoß unterschieden (Abb. 2).

An diesen drei Hauptbeanspruchungsstellen sind für die angreifenden Stoßkräfte, die gleichmäßig verteilt zu denken sind, Stoßflächenstreifen

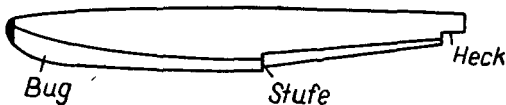


Abb. 2. Bug, Stufe und Heck am Schwimmer

F_{St} anzunehmen, die von zwei zur ξ -Achse senkrechten Ebenen und der Kimmkante begrenzt werden (Abb. 3).

Der Wasserdruck wirkt also gleichmäßig verteilt und in jedem Flächenelement des Stoßflächenstreifens senkrecht zum Schwimmerboden.

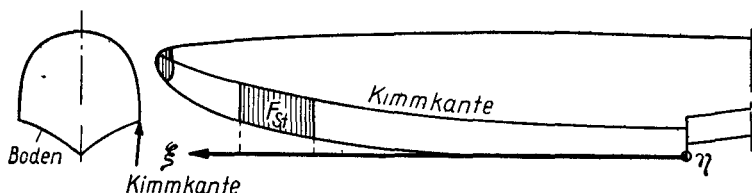


Abb. 3. Begrenzung der Stoßfläche

Die Projektionen dieser Stoßflächen auf die $\xi\eta$ -Ebene, über deren Größe in den Bauvorschriften bestimmte Beträge angegeben werden, sollen in Zukunft kurz mit F_p bezeichnet werden.

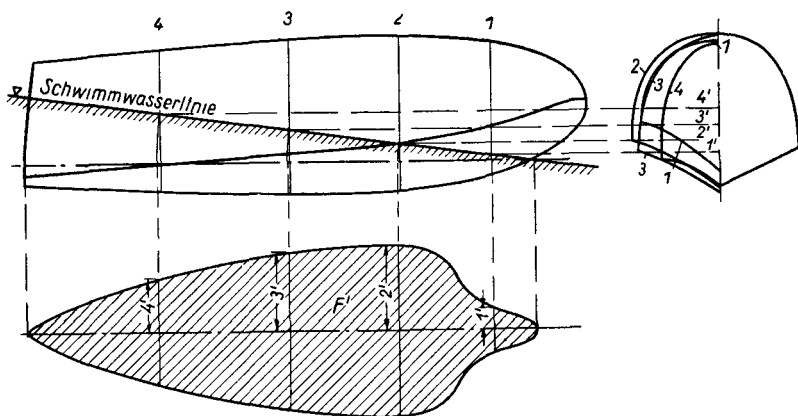


Abb. 4.

Konstruktion der von der Schwimmwasserlinie eingeschlossenen Lastangriffsfläche

1. F_p ist gleich 12,5 % der von der Schwimmwasserlinie eines Schwimmers oder Flugbootes eingeschlossenen Fläche anzusetzen (Abb. 4).

2. F_p ist gleich der Projektion einer Stoßfläche auf die $\xi\eta$ -Ebene anzusetzen, bei der die zwei zur ξ -Achse senkrechten Begrenzungsebenen einen Abstand b_B haben, der gleich der Boden-

breite an der Stelle des Angriffspunktes der Stoßkraftresultierenden¹⁾ ist (Abb. 5).

Von diesen beiden Werten F_p ist bei der Rechnung stets der größte Wert einzusetzen, d. h. 12,5 % der nach Abb. 4 gefundenen Fläche F'

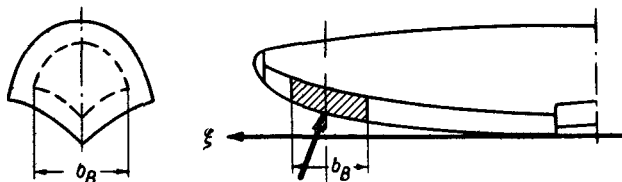


Abb. 5. Im Abstand b_B begrenzte Stoßfläche

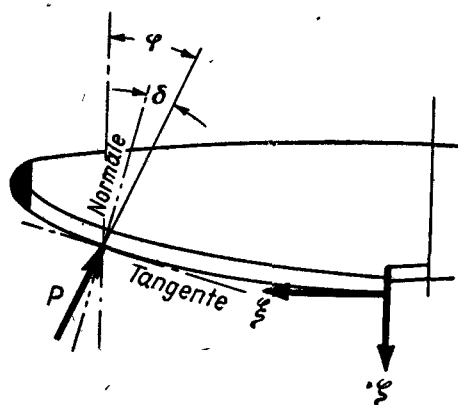


Abb. 6. Neigungswinkel der Stoßkraft P

oder die in der Breite b_B nach Abb. 5 gefundene Fläche.

Die Richtung der angreifenden Stoßkraft ist durch die Neigungswinkel φ und δ bestimmt.

φ ist der Winkel, um den die zur xz -Ebene parallele Komponente der Stoßkraft gegen die ζ -Achse nach hinten geneigt ist, und δ derjenige, um den die Stoßkraft gegen die Schwimmer- oder Bootsbodennormale nach hinten gerichtet ist (Abb. 6).

b) Größe

Da es ganz selten oder gar nicht vorkommt, daß die Stoßkraft am Schwimmwerk so angreift, daß sie durch den Schwerpunkt des Flugzeugs geht, so ist im allgemeinen:

$$P = m_{\text{red}} \cdot b_{\text{st}}$$

Dabei ist m_{red} die in bezug auf die Stoßrichtung reduzierte Masse des Flugzeugs²⁾:

$$m_{\text{red}} = \tau \cdot \frac{G}{g} = \tau \cdot m$$

¹⁾ Die resultierende Einzelkraft läßt sich leicht aus der gleichmäßig verteilten Belastung bilden.

²⁾ Vgl. Bd. IVa „Fahrwerk“ und BfF. 36, S. 39, 1213.

und τ der Reduktionsfaktor:

$$\tau = \left[1 + \frac{a^2}{i_x^2} \cos^2 \gamma_x + \frac{a^2}{i_y^2} \cos^2 \gamma_y + \frac{a^2}{i_z^2} \cos^2 \gamma_z \right]^{-1}$$

Mit a wird der Abstand der Stoßkraft vom Flugzeugschwerpunkt bezeichnet; i_x, i_y, i_z bedeuten die Hauptträgheitsradien, und $\gamma_x, \gamma_y, \gamma_z$ sind Richtungswinkel zwischen einer — auf der durch Schwerpunkt und Kräfte resultierende bestimmten Ebene im Schwerpunkt senkrecht stehenden — Normalen und den Hauptschwerachsen x, y, z .

Die an der Stoßangriffsstelle anzusetzende Stoßbeschleunigung b_{st} wird angegeben mit:

$$b_{st} = k (c_0 \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot v_w^{1,5}) \equiv k \cdot e' \quad [m/s^2]$$

k ist eine Konstante, die für einige Belastungsfälle (siehe Abschnitt II) auch als Funktion vom Längsneigungswinkel β_k des Kiels im Bereich einer unmittelbar am Heck bzw. an der zweiten Stufe angesetzten Stoßfläche F_p angegeben ist.

Die Konstante k ist für alle Bug- und Stufenstoßfälle ein fester Zahlenwert und für Heckstoß vom Kiellängsneigungswinkel β_K abhängig.

c_0 ist eine Gewichtskennzahl von der Größe

$$c_0 = \frac{1 + \chi}{1 + \chi + \chi^2}, \text{ wobei } \chi = G^{0,25} \text{ ist.} \quad [G \text{ in } t]$$

c_1 als Beanspruchungskennzahl wird für

Beanspruchungsgruppe I gleich 0,54 und für

Beanspruchungsgruppe II gleich 0,70.

c_2 ist eine Kielungskennzahl, die verschiedene Boden- und Kielformen berücksichtigt. Sie wird nach der Tabelle auf S. 12 bestimmt.

Für v_w soll der bei Landung oder Start auf dem Wasser sich von beiden ergebende größere Wert in m/s eingesetzt werden.

Bei allen anderen Bodenformen sind besondere Vereinbarungen mit der Prüfstelle zu treffen.

e' ist das sogenannte sichere Stoßvielfache.

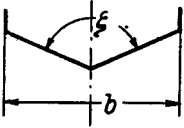
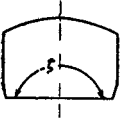
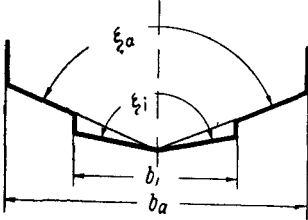
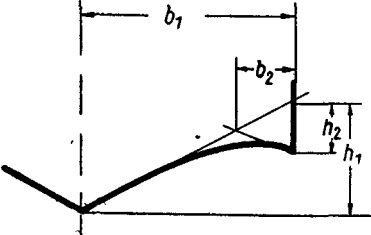
In den Bauvorschriften von 1928 war das sichere Stoßvielfache mit

$$e = c_0 \cdot c_1 \cdot \frac{1 + a}{1 + a + a^2} \cdot v_L^{1,5}$$

angegeben, wobei man den ähnlichen Aufbau der Formeln erkennt.

Bei der unter dem folgenden Abschnitt II zu berechnenden äußeren Belastung am Schwimmwerk handelt es sich um sichere Kräfte.

Kielungskennzahl

Bodenform	Kielungskennzahl c_2
 <p data-bbox="120 381 349 442">Abb. 7 Geradlinige Kielung</p>	$c_2 = \frac{\xi}{\pi}$
 <p data-bbox="104 640 365 702">Abb. 8 Sonderfall: Flachboden</p>	$c_2 = 1 \quad (\xi = \pi = 180^\circ)$
 <p data-bbox="42 1009 423 1095">Abb. 9 Längsgestufter Boden und geradlinige Kielung</p>	$c_2 = \frac{\xi_i}{\pi} \quad \dots \quad \text{für } b_i \geq \frac{2}{3} b_a$ $= \frac{1}{\pi} \left[\xi_a + (\xi_i - \xi_a) \frac{3 b_i}{2 b_a} \right] \quad \text{für } b_i \leq \frac{2}{3} b_a$
 <p data-bbox="64 1414 400 1476">Abb. 10 Wellenbinderförmige Kielung</p>	$c_2 = 1 - \frac{2}{\pi} \cdot \frac{h_1}{b_1} + 0,8 \frac{h_2}{b_1} \sqrt{\frac{b_1}{b_2} - 0,4}$

Die äußere Belastung wird für die einzelnen Fälle wie im Band IVa „Fahrwerk“ an Typenbildern des späteren Berechnungsbeispiels Dornier Do 22 kenntlich gemacht.

II. Die anzunehmende Belastung nach Bauvorschriften

Die Bauvorschriften unterscheiden:

- I. Symmetrische Stöße und
- II. Unsymmetrische Stöße.

Die unsymmetrische Stoßkraftbeanspruchung unter II zerfällt in die Gruppen A und B¹⁾, und zwar:

- A. Stoß an dem bzw. an einem der Hauptschwimmkörper und
- B. Stoß an einem Flügelstützschwimmer.

Abschnitt II A ist der umfangreichste. Er zerfällt in die Untergruppen 1 und 2:

- 1. Außermittiger Stoß parallel zur Symmetrieebene und
- 2. Außermittiger Stoß schräg zur Symmetrieebene.

Schreibt man diese Gliederung noch einmal auf mit den Ziffern aller in Frage kommenden Fälle — jedoch ohne diese näher zu beschreiben —, dann ergibt sich folgendes Bild:

I. Symmetrischer Stoß.

Fall 300, 301, 302²⁾

II. Unsymmetrischer Stoß.

A. Stoß an dem bzw. einem der Hauptschwimmkörper.

1. Außermittiger Stoß parallel zur Symmetrieebene z x:

Fall 350, 351, 352 ³⁾	Fall 360, 361, 362	Fall 365, 366, 367
a) Einseitiger Stoß in einer Kiellinie.	b) Stoß auf einer äußeren Schwimmerseite.	c) Stoß auf einer inneren Schwimmerseite.

¹⁾ Nach BfF.: a und b.

²⁾ Die drei unter I und II A aufeinanderfolgenden, jedesmal eingerahmten Fälle bedeuten der Reihe nach: Bugstoß, Stufenstoß, Heckstoß.

³⁾ Die doppelt gerahmten Fälle gelten nur für Zweischwimmerflugzeuge und Doppelflugboote.

2. Außermittiger Stoß schräg zur Symmetrieebene $z x$:

Fall 370, 371, 372

a) Stoß auf einer äußeren Schwimmerseite mit Seitenstoß.

Fall 375, 376, 377

b) Stoß auf einer inneren Schwimmerseite mit Seitenstoß.

B. Stoß an einem Flügelstützschwimmer durch dessen Formschwerpunkt.

Fall 390, 391, 392

a) Stoß von unten.

b) Mit Stoß von vorn.

c) Mit Seitenstoß.

I. Symmetrischer Stoß.

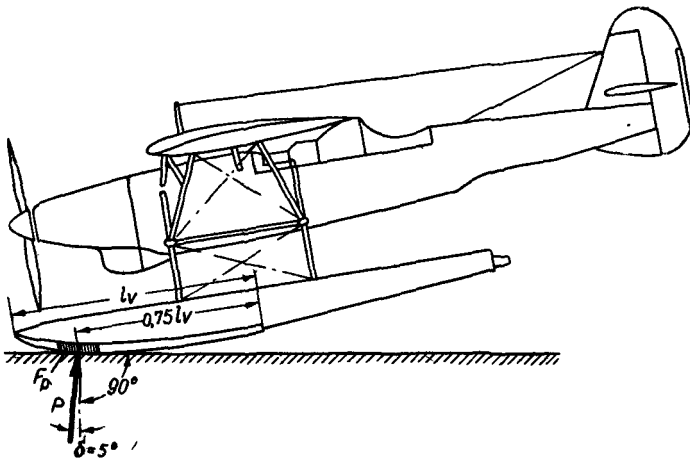


Abb. 11. Fall 300 Bugstoß

Die Stoßkraftresultierende liegt in der Symmetrieebene des Flugzeugs.

$$P = m_{\text{red}} \cdot k(e'); \quad k = 1$$

$$P = m_{\text{red}} (c_0 \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot v_w^{1,5})$$

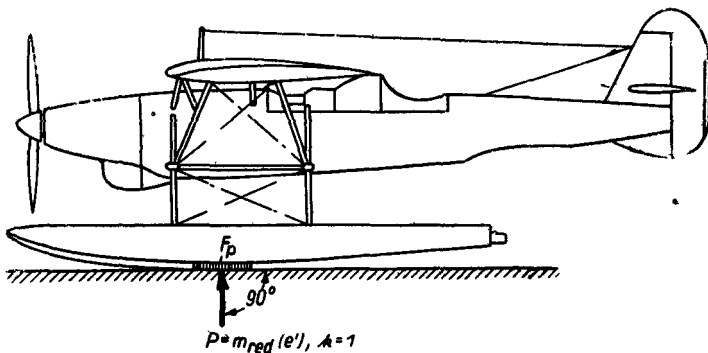


Abb. 12. **Fall 301** Stufenstoß

$$P = m_{\text{red}} \cdot c_0 \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot v_w^{1,5}$$

Sollte P in diesem Fall zufällig durch den Schwerpunkt gehen, so ist der Reduktionsfaktor $\tau = 1$ (vgl. S. 10).

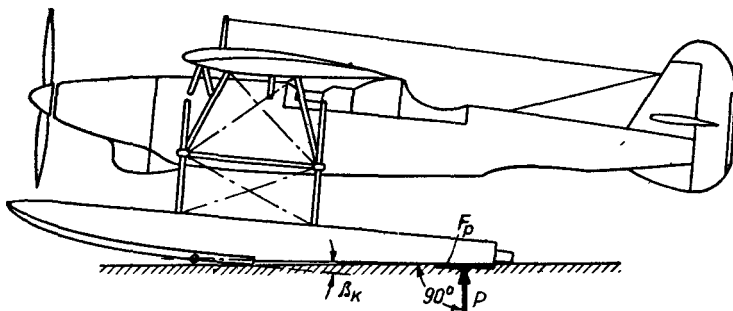


Abb. 13 a. **Fall 302** Heckstoß bei einer Stufe

$$P = m_{\text{red}} \cdot k(e'); \quad k = 1 \left(1 - 5 \frac{\beta_K}{\pi} \right)$$

$$P = m_{\text{red}} \left(1 - 5 \frac{\beta_K}{\pi} \right) (e')$$

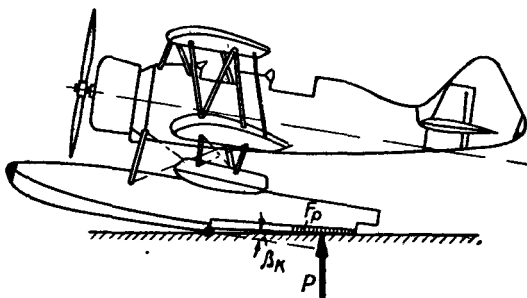


Abb. 13 b. **Fall 302** Heckstoß bei zwei Stufen

$$P = m_{\text{red}} \left(1 - 5 \frac{\beta_K}{\pi} \right) (e')$$

· In den Fällen 300 bis 302 ist die Gesamtstoßkraft am Flugzeug berechnet worden, die bei Zentralschwimmerflugzeugen insgesamt eingeht,

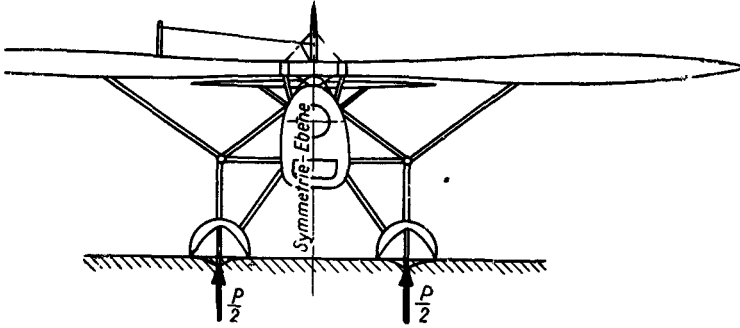


Abb. 14. Verteilung der symmetrischen Stoßkraft

jedoch bei Doppelschwimmerflugzeugen pro Schwimmer, also je zur Hälfte, anzusetzen ist (Abb. 14).

II. Unsymmetrischer Stoß.

A 1. Außermittiger Stoß parallel zur Symmetrieebene an dem bzw. einem der Hauptschwimmkörper.

a) Einseitiger Stoß in einer Kiellinie.

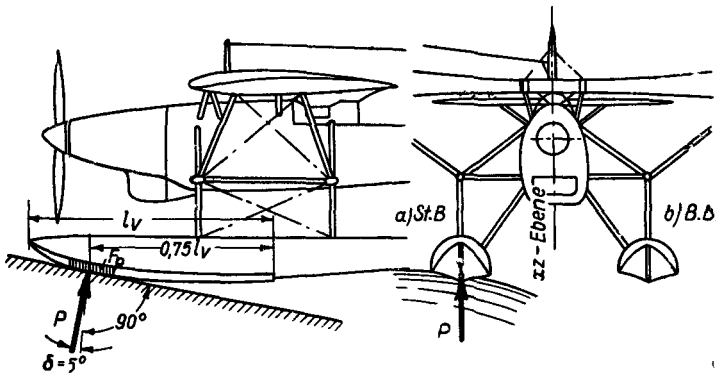


Abb. 15. Fall 350 Einseitiger Bugstoß parallel zur xz-Ebene

Für die Fälle ab 350 bis 392 werden die Einzelzustände a) und b) unterschieden, die einer Belastung am Steuerbordschwimmkörper bzw. am Backbordschwimmkörper entsprechen.

$$P = m_{\text{red}} \cdot 0,7 (e')$$

$$= m_{\text{red}} \cdot 0,7 \cdot c_0 \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot v_w^{1,5}$$

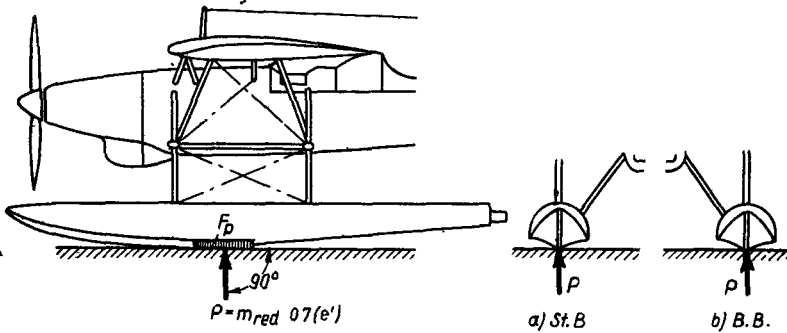


Abb. 16. Fall 351 Einseitiger Stufenstoß parallel zur xz-Ebene

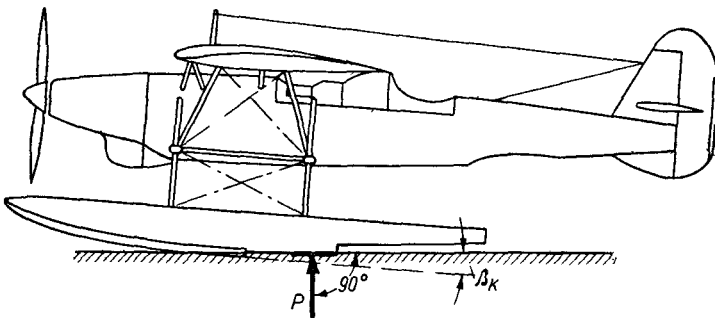


Abb. 17. Fall 352 Einseitiger Heckstoß parallel zur xz-Ebene am zwei-stufigen Schwimmer

Für unsymmetrischen Heckstoß am einstufigen Schwimmer vgl. Abb. 13a.

$$P = m_{\text{red}} \cdot 0,7 \left(1 - 5 \frac{\beta_K}{\pi} \right) (e')$$

b) Exzentrischer Stoß auf einer äußeren Schwimmerseite.

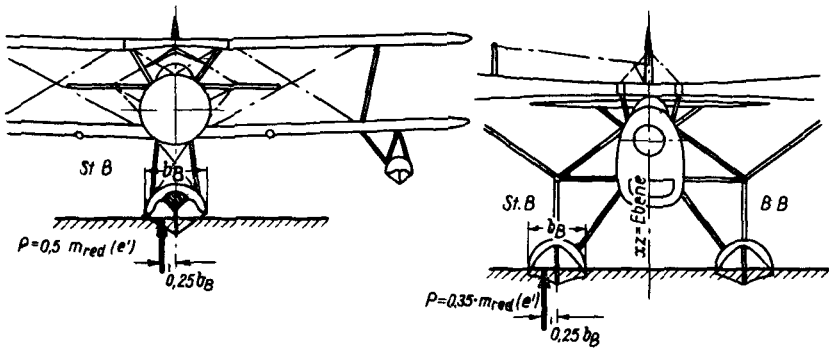


Abb. 18. Fall 360 Exzentrischer Bugstoß, außen ($\parallel xz$)

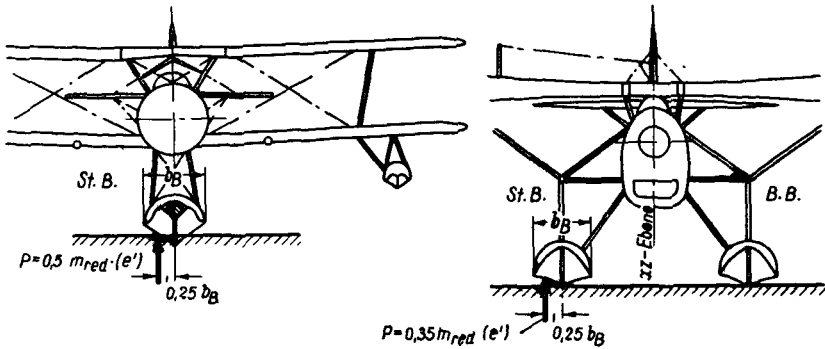


Abb. 19. Fall 361 Exzentrischer Stufenstoß, außen ($\parallel xz$)

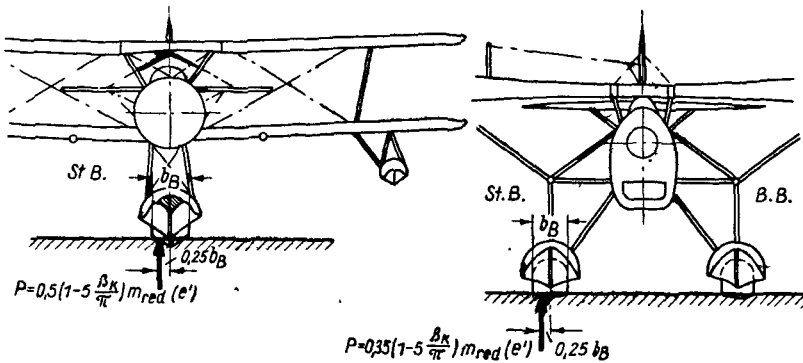


Abb. 20. Fall 362 Exzentrischer Heckstoß, außen ($\parallel xz$)

Für die Fälle 360 bis 362 ist die Wirkungslinie der Stoßkraft parallel zur xz - bzw. $\xi\zeta$ -Ebene nach außen und um $0,25 b_B$ von der Kiellinie verschoben. In der Seitenansicht (vgl. Abb. 11) gilt auch hier für den Bugstoß ein Neigungswinkel δ von 5° gegen die Schwimmkörpernormale. Diese Fälle gelten für Flugboote, Zentralschwimmer und Doppelschwimmkörper. $k = 0,5$ für einen und $0,35$ für zwei Hauptschwimmkörper und φ entsprechend Fall 300, 301, 302.

c) Exzentrischer Stoß auf einer inneren Schwimmerseite.

Die nachfolgenden Fälle 365, 366 und 367 gelten nur für Zweischwimmerflugzeuge oder Doppelflugboote. Die Größen und Richtungen der angreifenden Kräfte sind genau dieselben wie in den Fällen 360, 361, 362; nur die Angriffspunkte sind auf der Schwimmkörper-Innenseite um $0,25 b_B$ von der Kiellinie verschoben.

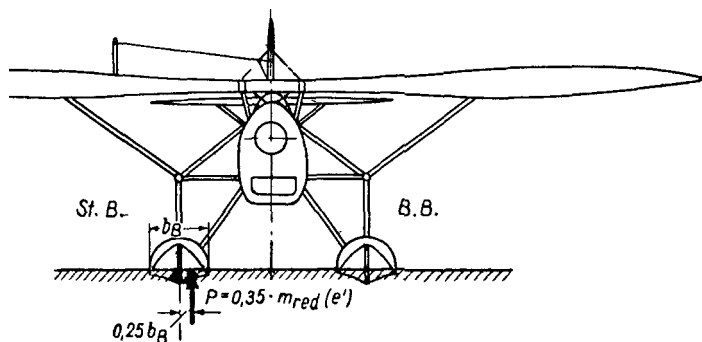


Abb. 21. Fall 365 Exzentrischer Bugstoß, innen ($\parallel xz$)

Die Neigungswinkel φ und ζ entsprechen den Fällen 300, 301, 302. Für die übrigen Fälle (vgl. die ähnlichen Abb. 19 und 20) werden nur die Stoßkräfte angegeben.

Fall 366 Exzentrischer Stufenstoß, innen ($\parallel xz$):

$$P = 0,35 \cdot m_{red} \cdot (e')$$

Fall 367 Exzentrischer Heckstoß, innen ($\parallel xz$):

$$P = 0,35 \left(1 - 5 \frac{r_K}{\pi} \right) m_{red} \cdot (e')$$

A 2. Außermittiger Stoß schräg zur Symmetrieebene.

a) Stoß auf einer äußeren Seite mit Seitenstoß.

Die Stoßkraft P , die in allen bisherigen Fällen in der Vorderansicht des Flugzeugs nur als Parallele zur z -Achse erscheint, ist in Wahrheit fast nie zu dieser parallel, sondern infolge der verschiedenen Schwimmböden gegen z geneigt und stellt schon eine Resultierende aus P_x und P_z dar; jedoch treten P_x und P_z bei der Ermittlung der äußeren Kräfte am Schwimmkörper nicht so stark hervor.

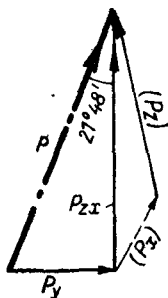


Abb. 22. Stoßkraft P aus P_y und P_z

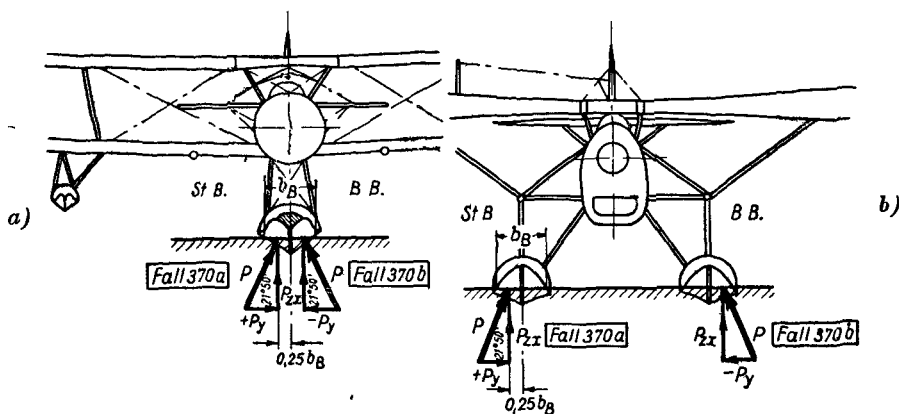
Die Stoßkräfte wirken in den Fällen 370, 371, 372 an einem oder zwei Hauptschwimmkörpern wie in den Fällen 360, 361, 362, aber mit der zugeordneten Komponente P_y im Abstände $\pm 0,25 b_B$ a) am Steuerbordschwimmer, b) am Backbordschwimmer,

wobei $P_y = 0,4 P_{zx}$ sein soll (Abb. 22), also $\frac{P_y}{P_{zx}} = 0,4$.

Der Neigungswinkel der angreifenden resultierenden Kraft P wird für den $\tan 0,4$ mit $21^\circ 48' \sim 21^\circ 50'$ ermittelt.

P liegt also räumlich geneigt und erscheint daher in keiner Zeichenebene in „wahrer Größe“.

Abb. 23 zeigt nun, wie bei Flugzeugen mit einem oder zwei Schwimmkörpern die räumliche Resultierende (P) liegt; für den exzentrischen



$$P_{zx} = 0,5 \cdot m_{red} \cdot (e')$$

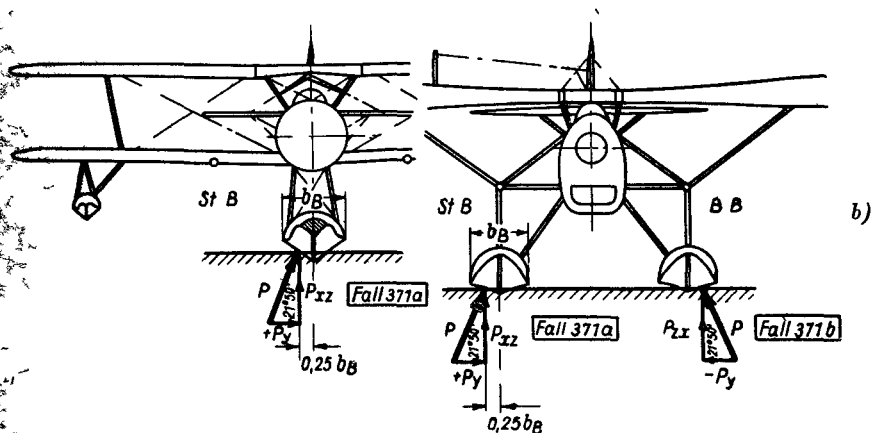
$$P_y = \pm 0,2 \cdot m_{red} \cdot (e')$$

$$P_{zx} = 0,35 \cdot m_{red} \cdot (e')$$

$$P_y = \pm 0,14 \cdot m_{red} \cdot (e')$$

Abb. 23. Fall 370 Exzentrischer Bugstoß, schräg von außen

Stoß schrag von vorn ist P_{zx} wie früher gegen die Bootsboden normale um $\zeta = 5^\circ$ geneigt, womit auch der entsprechende Neigungswinkel φ gegen die ζ -Achse folgt, und hat den Abstand $\xi = 0,75 l$ von der Hauptstufe für Fall 370.



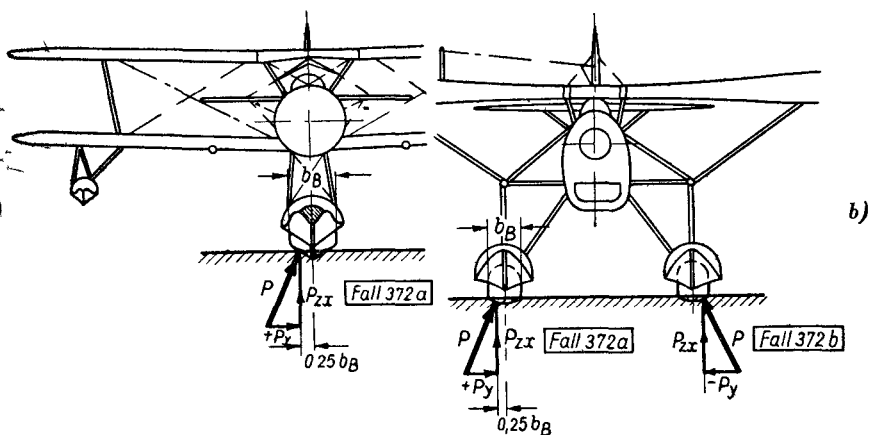
$$P_{zx} = 0,5 \cdot m_{\text{red}} \cdot (e')$$

$$P_y = \pm 0,2 \cdot m_{\text{red}} \cdot (e')$$

$$P_{zx} = 0,35 \cdot m_{\text{red}} \cdot (e')$$

$$P_y = \pm 0,14 \cdot m_{\text{red}} \cdot (e')$$

Abb 24 **Fall 371** Exzentrischer Stufenstoß, schrag von außen



$$P_{zx} = 0,5 \left(1 - 5 \frac{\beta_K}{\pi} \right) m_{\text{red}} (e')$$

$$P_y = \pm 0,2 \left(1 - 5 \frac{\beta_K}{\pi} \right) m_{\text{red}} (e')$$

$$P_{zx} = 0,35 \left(1 - 5 \frac{\beta_K}{\pi} \right) m_{\text{red}} (e')$$

$$P_y = \pm 0,14 \left(1 - 5 \frac{\beta_K}{\pi} \right) m_{\text{red}} (e')$$

Abb. 25. **Fall 372** Exzentrischer Heckstoß, schrag von außen

b) Stoß auf einer inneren Schwimmerseite mit Seitenstoß.

Die Fälle 375, 376, und 377 (Exzentrische Stöße schräg von innen) gelten nur für Doppelflugboote und Zweischwimmerflugzeuge; sie unterscheiden sich außer der Angriffsrichtung in der Größe der Komponente P_y .

$$P_y = \mp 0,2 P_{zx}$$

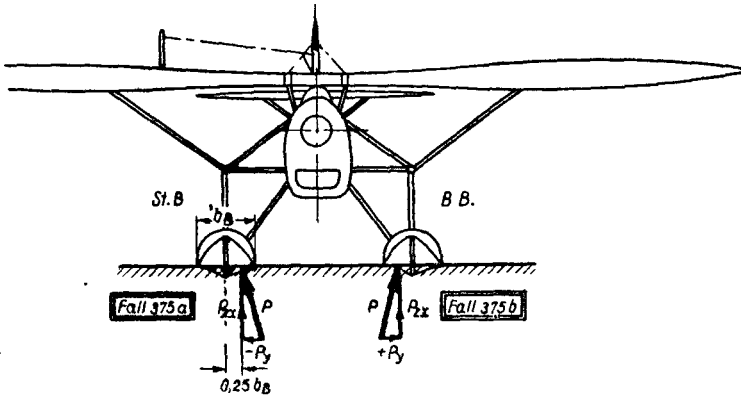


Abb. 26. Fall 375 Exzentrischer Bugstoß, schräg von innen

$$P_{zx} = 0,35 m_{\text{red}} (e')$$

$$P_y = \mp 0,07 m_{\text{red}} (e')$$

Fall 376 Exzentrischer Stufenstoß, schräg von innen

$$P_{zx} = 0,35 m_{\text{red}} (e')$$

$$P_y = \mp 0,07 m_{\text{red}} (e')$$

Fall 377 Exzentrischer Heckstoß, schräg von innen

$$P_{zx} = 0,35 \left(1 - 5 \frac{\beta_K}{\pi} \right) m_{\text{red}} (e')$$

$$P_y = \mp 0,07 \left(1 - 5 \frac{\beta_K}{\pi} \right) m_{\text{red}} (e')$$

Abb. 26 zeigt das Prinzipielle; für die übrigen Fälle wurden nur die Kräfte angeschrieben. Für Fall 375 ist wieder δ mit 5° und $\zeta = 0,75 l_v$ zu berücksichtigen.

B. Stoß an einem Flügelstützschwimmer.

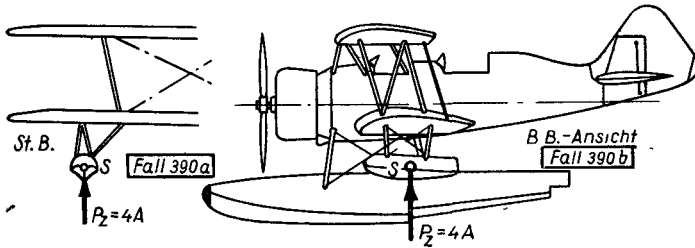


Abb. 27. **Fall 390** Senkrechter Stoß an einem Stützschwimmer¹⁾

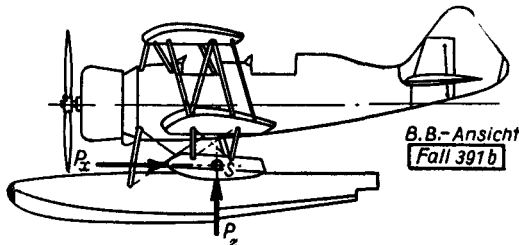


Abb. 28. **Fall 391** Schräger Stoß an einem Stützschwimmer

Die resultierende Stoßkraft wird gebildet aus P_x und P_z :

$$P_x = P_z = 2 \sqrt{2} \cdot A$$

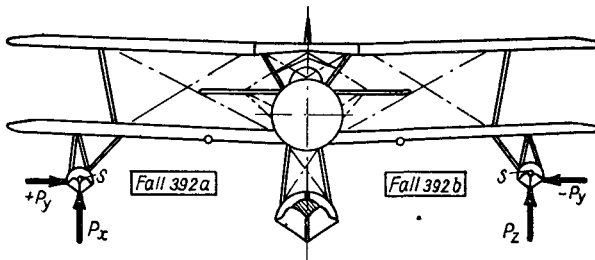


Abb. 29. **Fall 392** Schräger Stoß von außen an einem Stützschwimmer

$$P_z = 2 A \text{ und } P_y = \pm 2 A$$

Ist das Volumen eines Stützschwimmers $V \geq 1 \text{ m}^3$, so sind im Sinne der Ziffer 1326 der BfF. exzentrische Parallelstöße entsprechend den Fällen 350, 351, 352 mit der Prüfstelle zu vereinbaren.

Damit wären die wesentlichen Punkte der Belastungsfälle allgemein erfaßt. Es bleibt noch einiges über die Wasserkraftverteilung zu sagen (vgl. Ziffer 1550, BfF., S. 69).

¹⁾ $A = V \cdot \gamma$.

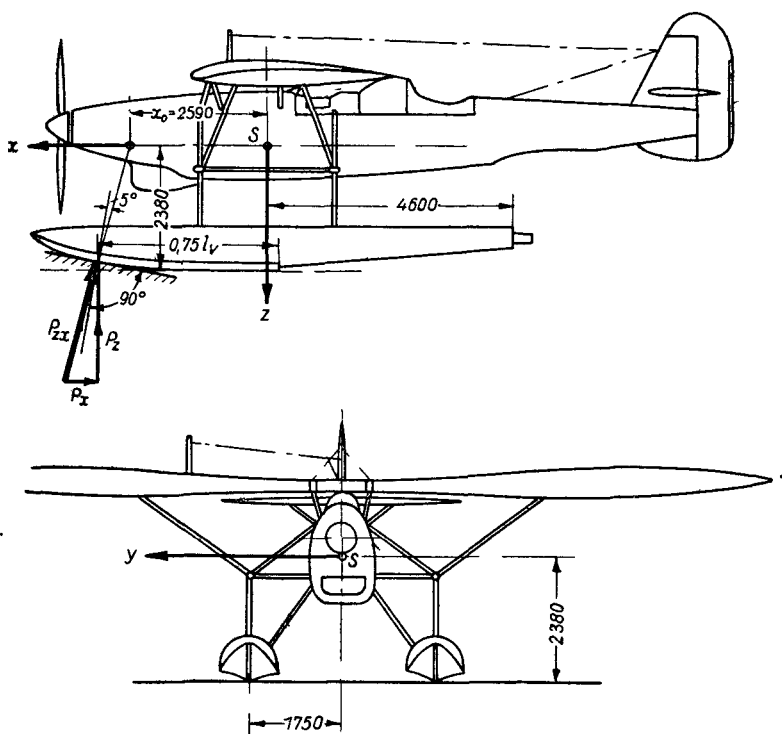


Abb. 31. Festlegung des Schwerpunkts und der Stoßkraft im Fall 300

bestimmen. Die Do 22 besitzt wellenbinderförmige Kielung vor der Stufe und dahinter geradlinige bis zum Heck. Bei der Bestimmung der reduzierten Masse muß berücksichtigt werden, daß die jeweilige Stoßkraft-Wirkungslinie in vielen Fällen die $x y$ -Ebene im Abstand x_0 und y_0 vom Schwerpunkt schneiden wird, womit die in dem Ausdruck für m_{red} vorkommenden Produkte $a^2 \cdot \cos^2 \gamma_x$, $a^2 \cdot \cos^2 \gamma_y$ und $a^2 \cdot \cos^2 \gamma_z$ in die Werte

$$\begin{aligned} (a \cdot \cos \gamma_x)^2 &= \frac{y_0^2}{1 + (P_x/P_z)^2 + (P_y/P_z)^2}, \\ (a \cdot \cos \gamma_y)^2 &= \frac{x_0^2}{1 + (P_x/P_z)^2 + (P_y/P_z)^2}, \\ (a \cdot \cos \gamma_z)^2 &= \frac{(y_0 P_x/P_z - x_0 P_y/P_z)^2}{1 + (P_x/P_z)^2 + (P_y/P_z)^2} \end{aligned}$$

übergehen (s. BfF., S. 40).

Wenn man P_x , P_y und P_z zunächst auch nicht kennt, so kann man trotzdem bei bekannter Richtung der Stoßkraft P_{zx} diese z. B. nach

Für die Bemessung von Schwimmkörperbereichen, die nicht über den Stellen der Stoßflächen F_p liegen, gelten folgende Ergänzungsbestimmungen (vgl. Abb. 30):

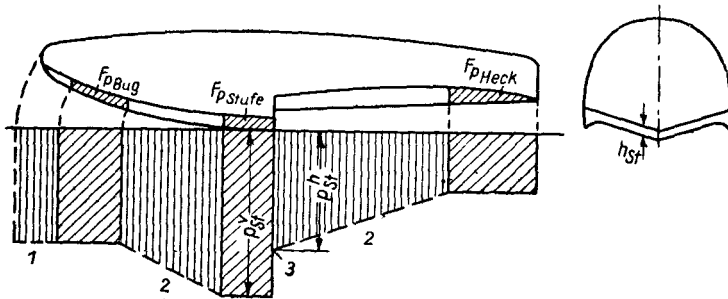


Abb. 30. Die an den einzelnen Stellen der Schwimmkörper-Bodenfläche anzusetzenden Wasserdrücke

1. Zwischen der Schwimmerspitze und der vorderen Begrenzungsebene von $F_{p\text{ Bug}}$ ist der Bodendruck gleich dem an der Bugstoßfläche anzusetzenden Bodendruck.

2. Zwischen den einander zugekehrten Begrenzungsebenen der Stoßflächen $F_{p\text{ Bug}}$, $F_{p\text{ Stufe}}$ und $F_{p\text{ Heck}}$ ändert sich der Bodendruck geradlinig.

3. Unmittelbar hinter der Stufe ist der Bodendruck:

$$p_{st}^h = \left(1 - 5 \frac{h_{st}}{b_{st}} - \beta_K\right) p_{st}^v, \text{ jedoch } \geq 0,5 p_{st}^v; \text{ dabei bedeuten:}$$

p_{st}^v = anzusetzender Bodendruck unmittelbar vor der Stufe,

b_{st} = Spantbreite an der Stufe,

h_{st} = Stufenhöhe im Stufenmitte, wenn diese wenigstens über die halbe Breite konstant ist.

Andernfalls besondere Vereinbarung mit der Prüfstelle, desgl. auch für den Bodendruck im Bereich einer eventuellen zweiten Stufe.

III. Berechnung der äußeren Kräfte am Schwimmer Dornier Do 22

Die Berechnung wird für ein Fluggewicht von 3700 kg durchgeführt und der Schwerpunkt gemäß Abb. 31 festgelegt. Das Flugzeug soll der Beanspruchungsgruppe I genügen für vorzugsweise Abflug und Landung in ruhigem Gewässer. Weiter lassen sich Gewichts- und Kielungskennzahl

Die größere der Lande- oder Startgeschwindigkeit ist mit

$$v_w = 25,96 \text{ [m/s]}$$

angegeben. Die Stoßbeschleunigung ist also:

$$\begin{aligned} b_{st} &= k_{zx} (c_0 \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot v_w^{1,5}) \\ &= 1 (0,554 \cdot 0,54 \cdot 0,835 \cdot 25,96^{1,5*}) \\ &= 33,1 \text{ [m/s}^2\text{]} \end{aligned}$$

Die reduzierte Masse:

$$\begin{aligned} m_{red} &= m \cdot \frac{1}{1 + \frac{a^2}{i_y^2} \cdot \cos^2 \gamma_y} \\ &= \frac{3700}{9,81} \frac{1}{1 + \frac{6,35}{6,71}} = 193,8, \end{aligned}$$

wobei

$$a^2 \cdot \cos^2 \gamma_y = \frac{x_0^2}{1 + (P_x/P_z)^2 + (P_y/P_z)^2} = \frac{2,59^2}{1 + \underbrace{\left(\frac{7,1}{30}\right)^2}_{0,0562} + 0} = 6,35$$

$$P_y = 0, \text{ daher } P_y/P_z = 0$$

Die sichere Stoßkraft ergibt sich zu:

$$\begin{aligned} P_{sich} &= m_{red} \cdot b_{st} \\ &= 193,8 \cdot 33,1 = 6405 \text{ [kg]} \quad \text{für 2 Schwimmer} \end{aligned}$$

Fall 301 Symmetrischer Stufenstoß.

An der Stufe ist die Schwimmerbodenform schon mehr geradlinig, und die Kielungskennzahl wird in Abhängigkeit vom Bodenwinkel:

$$c_2 = \frac{\zeta}{\pi} = \frac{149^\circ}{180^\circ} = 0,83$$

Damit ändert sich die Stoßbeschleunigung:

$$\begin{aligned} b_{st} &= 1 (0,554 \cdot 0,54 \cdot 0,83 \cdot 132,3) \\ &= 32,85 \text{ [m/s}^2\text{]} \end{aligned}$$

Die Resultierende für Stufenstoß geht zufällig genau durch den Schwerpunkt (vgl. Abb. 31), also wird:

$$\begin{aligned} P_{sich} &= m \cdot b_{st} \\ &= \frac{3700}{9,81} \cdot 32,85 = 12390 \text{ [kg]} \quad \text{für 2 Schwimmer} \end{aligned}$$

*) $25,96^{1,5} = 25,96^{3/2} = \sqrt{25,96^3} = 132,3 \text{ [m/s]}.$

den Richtungen z und x zerlegen und sofort bei beliebigem Maßstab den schon genügenden Quotienten P_x/P_z berechnen.

Bei symmetrischer Stoßkraftbeanspruchung wird P_y meist zu Null, damit auch der Quotient P_y/P_z .

Die drei Hauptträgheitsmomente werden von der Firma Dornier mit

$$I_x = 1284 \text{ [kg m}^2\text{]},$$

$$I_y = 2532 \text{ [kg m}^2\text{]},$$

$$I_z = 3213 \text{ [kg m}^2\text{]}$$

angegeben. Aus

$$i = \sqrt{\frac{I}{m_{\text{vorh}}}}$$

erhält man die Hauptträgheitsradien

$$i_x = \sqrt{\frac{1284 \cdot 9,81}{3700}} = 1,84 \text{ [cm]},$$

$$i_y = \sqrt{\frac{2532 \cdot 9,81}{3700}} = 2,59 \text{ [cm]},$$

$$i_z = \sqrt{\frac{3213 \cdot 9,81}{3700}} = 2,92 \text{ [cm]}.$$

In der Gleichung für m_{red} treten die Quadrate

$$i_x^2 = 3,4,$$

$$i_y^2 = 6,7,$$

$$i_z^2 = 8,5 \quad \text{auf.}$$

Die Gewichtskennzahl folgt aus:

$$c_0 = \frac{1 + \chi}{1 + \chi + \chi^2} \quad \text{mit} \quad \chi = G^{0,25} = 3,7^{0,25} \text{ bzw. } 3,7^{\frac{1}{4}} = \sqrt[4]{3,7}$$

$$0,25 \log 3,7 = 0,25 \cdot 0,568 = 0,142, \text{ Numerus} = 1,386$$

$$c_0 = \frac{1 + 1,386}{1 + 1,386 + 1,386^2} = 0,554$$

Die Beanspruchungskennzahl für Beanspruchungsgruppe I ist:

$$c_1 = 0,54$$

1. Symmetrischer Bugstoß, Stufenstoß, Heckstoß

Betrachten wir im weiteren den Fall 300, Symmetrischer Bugstoß, so wird bei wellenbinderförmiger Kielung die Kielungskennzahl:

$$c_2 = 0,835$$

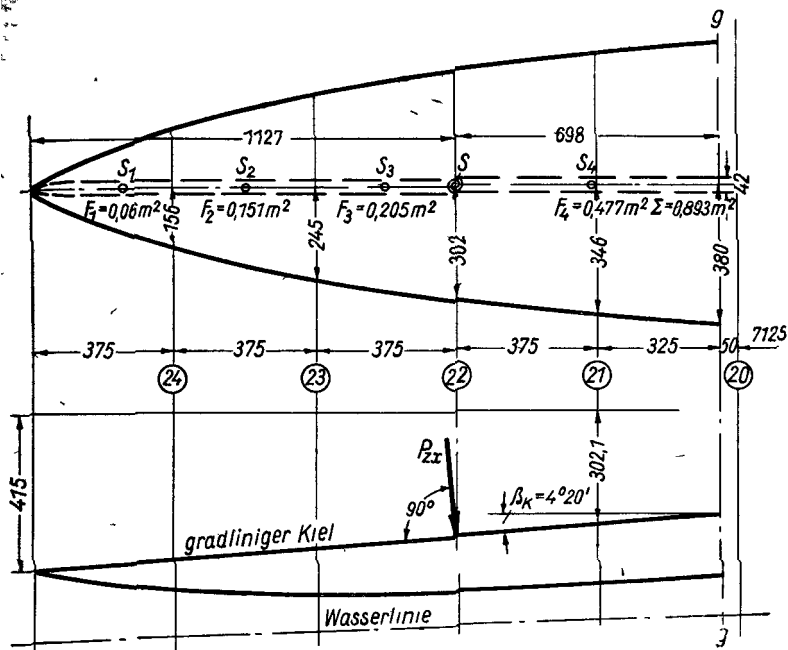


Abb. 33. Bestimmung des Angriffspunktes der resultierenden Heckstoßkraft

Abstand des Gesamtschwerpunktes von der Achse $g \div g$

$$= \frac{623}{0,893} = 698 \text{ [mm]}$$

Die Stoßkraft greift also um 1127 mm ab Schwimmerhinterkante an und schneidet aus der negativen x-Achse das Stück $x_0 = -3475$ mm heraus (Abb. 34).

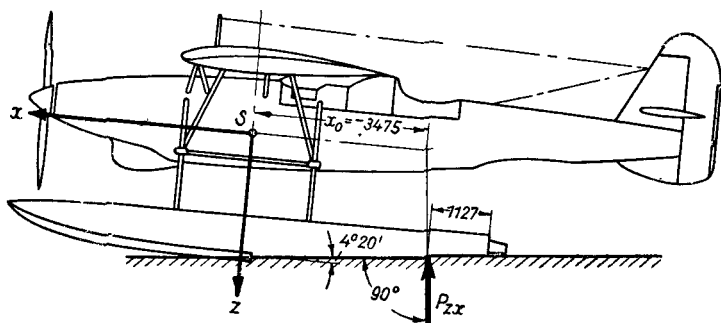
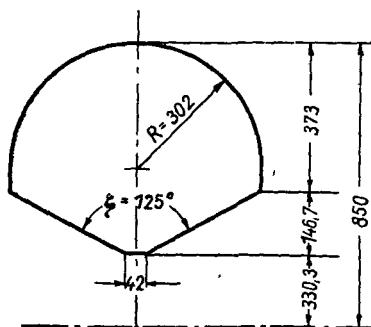


Abb. 34. Bestimmung von x_0 für Fall 302

Fall 302: y_0 wird für symmetrischen Stoß = 0.

Fall 352: Einseitiger Stoß; also wird ($y_0 = 1,75$ m).



Fall 302 Symmetrischer Heckstoß.

Die Kielung ist geradlinig, und der Bodenwinkel beträgt 125° ; daher wird die Kielungskennzahl (Abb. 32):

$$c_2 = \frac{\xi}{\pi} = \frac{125^\circ}{180^\circ} = 0,694$$

und die Stoßbeschleunigung:

Abb. 32. Spant 22

$$\begin{aligned} b_{st} &= 1 \left(1 - 5 \frac{\beta_K}{\pi} \right) (c_0 \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot v_w^{1,5}), \text{ wobei } \beta_K = 4^\circ 20' = 4,33^\circ \\ &= 1 \left(1 - 5 \frac{4,33}{180} \right) (0,554 \cdot 0,54 \cdot 0,694 \cdot 132,3) \\ &= (1 - 0,12) 27,45 = 24,17 \text{ [m/s}^2\text{]} \end{aligned}$$

Um den Angriffspunkt der Stoßkraft bestimmen zu können, muß die von der Schwimmwasserlinie eingeschlossene Fläche ermittelt (vgl. Abb. 33) und 12,5 % derselben genommen werden.

Die von der Schwimmwasserlinie des gesamten Schwimmers eingeschlossene Fläche beträgt:

$$F_w = 7,146 \text{ [m}^2\text{]}$$

und 12,5% davon

$$= 0,125 \cdot 7,146 = 0,893 \text{ [m}^2\text{]}$$

0,893 m² entsprechen einer auf die x y-Ebene projizierten Bodenfläche bis 50 mm vor Spant 20 (Abb. 33).

Nach Bestimmung der Teilflächenschwerpunkte zwischen den Spanten bildet man die Summe der statischen Momente der Flächen um die Achse g ÷ g und findet den Gesamtschwerpunkt S, in dem dann senkrecht zur Kiellinie die resultierende Stoßkraft angreift.

Teilflächen [m ²]	Hebelarme bis g ÷ g [mm]	Momente
1	2	1 : 2
0,060	1575	94
0,151	1250	189
0,205	880	180
0,477	335	160
Σ: 0,893		623

$$(a \cdot \cos \gamma_z)^2 = \frac{(y_0 \cdot P_x/P_z)^2}{1 + (P_x/P_z)^2} = \frac{1,75^2 \cdot 0,237^2}{1 + 0,0562} = 0,163$$

$$m_{\text{red}} = \frac{3700}{9,81} \cdot \frac{1}{1 + \frac{2,9}{3,4} + \frac{6,33}{6,71} + \frac{0,163}{8,52}} = 134$$

$$P_{\text{sich}} = 0,7 \cdot 134 \cdot 0,554 \cdot 0,54 \cdot 0,835 \cdot 132,3 = 3100 \text{ [kg]} \quad e'$$

Fall 351

Einseitiger Stufenstoß, parallel z x-Ebene.

$$P = m_{\text{red}} \cdot 0,7 (e')$$

$$m_{\text{red}} = m \cdot \frac{1}{1 + \frac{y_0^2}{i_x^2}} = \frac{3700}{9,81} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1,75^2}{3,4}} = 198,4$$

$c_2 = 0,83$ für geradlinige Kielung

$$P_{\text{sich}} = 198,4 \cdot 0,7 \cdot 0,554 \cdot 0,54 \cdot 0,83 \cdot 132,3 = 4562,5 \text{ [kg]} \quad e'$$

Fall 352

Einseitiger Heckstoß, parallel z x-Ebene.

$$P = m_{\text{red}} \cdot 0,7 \cdot \left(1 - 5 \frac{\beta_k}{\pi}\right) \cdot (e')$$

$$m_{\text{red}} = \frac{3700}{9,81} \cdot \frac{1}{1 + \frac{3,04}{3,4} + \frac{12,006}{6,7} + \frac{0,0175}{8,5}} = \frac{3700}{9,81} \cdot \frac{1}{3,68} = 102,5$$

$$P_{\text{sich}} = 102,5 \cdot 0,7 \cdot 24,17 = 1845 \text{ [kg]}$$

3. Exzentrische Stoßbeanspruchung

Fall 360

Exzentrischer Bugstoß, außen (\parallel x z) (Abb. 35).

Exzentrizität: $\eta' = 0,25 \cdot b_B = 0,25 \cdot 0,916 = 0,229 \sim 0,23 \text{ [m]}$

$$y_0 = \eta' + \frac{1}{2} \text{ Schwimmerabstand} = 0,23 + 1,75 = 1,98 \text{ [m]}$$

$$c_0 = 0,554; c_1 = 0,54; c_2 = 0,835; v_w^{3/2} = 132,3$$

$$(a \cdot \cos \gamma_x)^2 = \frac{y_0^2}{1 + (P_x/P_z)^2} = \frac{1,98^2}{1 + 0,0562} = 3,71$$

$$(a \cdot \cos \gamma_y)^2 \dots \dots \text{wie Fall 350} = 6,33$$

$$(a \cdot \cos \gamma_z)^2 = \frac{(y_0 \cdot P_x/P_z)^2}{1 + (P_x/P_z)^2} = \frac{1,98 \cdot 0,237^2}{1 + 0,056} = 0,208$$

Die Hilfsgrößen von Fall 352 werden jetzt schon berechnet und in Klammern gesetzt.

Die Größen $(a \cdot \cos \gamma_x)^2$, $(a \cdot \cos \gamma_y)^2$, $(a \cdot \cos \gamma_z)^2$ berechnet man aus der Lage von P_{zx} zum Schwerpunkt mit:

$$(a \cdot \cos \gamma_x)^2 = \frac{y_0^2}{1 + (P_x/P_z)^2 + (P_y/P_z)^2} = \frac{0 \text{ bzw. } (1,75^2)}{1 + (-0,0758^2) + 0} = 0 \text{ bzw. } (3,04)$$

$$(a \cdot \cos \gamma_y)^2 = \frac{x_0^2}{1 + (P_x/P_z)^2 + (P_y/P_z)^2} = \frac{(-3,475)^2}{1 + 0,00575} = 12,006$$

$$(a \cdot \cos \gamma_z)^2 = \frac{(y_0 \cdot P_x/P_z - x_0 \cdot P_y/P_z)^2}{1 + (P_x/P_z)^2 + (P_y/P_z)^2} \\ = \frac{0 \text{ bzw. } [(1,75) \cdot 0,0758 - 0]^2}{1,00575} = 0 \text{ bzw. } (0,0175)$$

Alle Produkte mit dem Faktor P_y/P_z sind Null, da $P_y = 0$ ist.

Die resultierende Stoßkraft wird:

$$P_{\text{stch}} = m_{\text{red}} \cdot b_{\text{st}} \\ = \frac{G}{g} \cdot \frac{1}{1 + 0 + \frac{12,006}{iy^2} + 0} \cdot 24,17 = \frac{3700}{9,81} \cdot \frac{24,17}{1 + \frac{12,006}{6,7} + 0} \\ = \frac{377 \cdot 24,17}{2,79} = 3270 \text{ [kg]}$$

Die bisherigen Rechnungen ergaben als Stoßkräfte für zwei Schwimmer:

Fall 300, Bugstoß, 6405 kg; Fall 301, Stufenstoß, 12390 kg; Fall 302, Heckstoß, 3270 kg,

wovon für die Berechnung am Schwimmergerüst pro Seite nur die Hälfte als wirksam anzusetzen ist, also:

3202,5 kg, d. h. 3,2 t für Bugstoß; 6195 kg, d. h. 6,2 t für Stufenstoß; 1635 kg, d. h. 1,63 t für Heckstoß.

2. Einseitige Beanspruchung

Fall 350

Einseitiger Bugstoß, parallel z x-Ebene.

$$P = m_{\text{red}} \cdot 0,7 (e') \quad (\text{Lage der Stoßkraft wie in Abb. 31})$$

$c_2 = 0,835$ für wellenbinderförmige Kielung

$$(a \cdot \cos \gamma_x)^2 = \frac{y_0^2}{1 + (P_x/P_z)^2} = \frac{1,75^2}{1 + 0,0562} = 2,90$$

$$(a \cdot \cos \gamma_y)^2 = \frac{x_0^2}{1 + (P_x/P_z)^2} = \frac{2,59^2}{1 + 0,0562} = 6,33$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{stch}} &= 0,35 \cdot m_{\text{red}} \cdot (e') \\
 &= 0,35 \cdot 171,5 \cdot 0,554 \cdot 0,54 \cdot 0,83 \cdot 132,3 \\
 &= 1972 \text{ [kg]}
 \end{aligned}$$

Die Heckstoßfälle 352, 362, 367 werden kaum maßgebend und daher weggelassen. Wesentlich ändert sich auch nur y_0 .

Fall 365 Exzentrischer Bugstoß, innen ($|| \text{ x z}$).

Vgl. Fall 360! P greift statt außen innen an.

$$\eta' = 0,25 \text{ b}_B = 0,23 \text{ [m]} \text{ wie im Fall 360,}$$

$$\text{jedoch } y_0 = 1,75 - \eta' = 1,75 - 0,23 = 1,52 \text{ (m)}$$

$$(a \cdot \cos \gamma \text{ x})^2 = \frac{y_0^2}{1 + (P_x/P_z)^2} = \frac{1,52^2}{1 + 0,0562} = 2,19$$

$$(a \cdot \cos \gamma \text{ y})^2 \dots \text{ wie Fall 350} = 6,33$$

$$(a \cdot \cos \gamma \text{ z})^2 = \frac{(y_0 \cdot P_x/P_z)^2}{1 + (P_x/P_z)^2} = \frac{(1,52 \cdot 0,237)^2}{1 + 0,0562} = 0,123$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{stch}} &= 0,35 \cdot m_{\text{red}} \cdot (e') \\
 &= 0,35 \cdot \frac{3700}{9,81} \cdot \frac{1}{1 + \frac{2,19}{3,4} + \frac{6,33}{6,71} + \frac{0,123}{8,52}} (0,554 \cdot 0,54 \cdot 0,835 \cdot 132,3) \\
 &= 0,35 \cdot 144,8 (e') \\
 &= 1675 \text{ [kg]}
 \end{aligned}$$

Fall 366 Exzentrischer Stufenstoß, innen ($|| \text{ x z}$).

Vgl. Fall 361!

$$\eta' = 0,27 \text{ [m]} \text{ wie im Fall 361}$$

$$y_0 = 1,75 - \eta' = 1,75 - 0,27 = 1,48 \text{ [m]}$$

$$m_{\text{red}} = \frac{3700}{9,81} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1,48^2}{3,4}} = 229,4$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{stch}} &= 0,35 \cdot m_{\text{red}} \cdot (e') \\
 &= 0,35 \cdot 229,4 \cdot 0,554 \cdot 0,54 \cdot 0,83 \cdot 132,3 \\
 &= 2637,5 \text{ [kg]}
 \end{aligned}$$

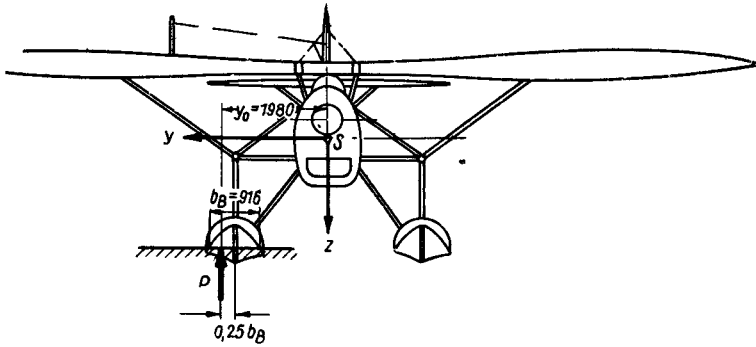


Abb. 35. Bestimmung von y_0 für Fall 360

$$\begin{aligned}
 P_{\text{stich}} &= 0,35 \cdot m_{\text{red}} \cdot (e') \\
 &= 0,35 \cdot \frac{3700}{9,81} \cdot \frac{1}{1 + \frac{3,71}{3,40} + \frac{6,33}{6,71} + \frac{0,208}{8,520}} (0,554 \cdot 0,54 \cdot 0,835 \cdot 132,3) \\
 &= 0,35 \cdot 123,2 \cdot (e') = 1425 \text{ [kg]}
 \end{aligned}$$

Fall 361 Exzentrischer Stufenstoß, außen ($\parallel x z$).

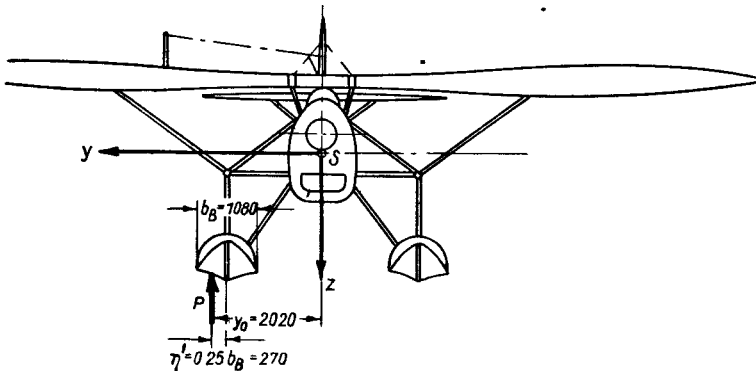


Abb. 36. Bestimmung von y_0 für Fall 361

$$\eta' = 0,25 b_B = 0,25 \cdot 1080 = 270 \text{ bzw. } 0,27 \text{ [m].}$$

$$y_0 = \eta' + 1,75 = 0,27 + 1,75 = 2,02 \text{ [m]}$$

$$\begin{aligned}
 m_{\text{red}} &= \frac{3700}{9,81} \cdot \frac{1}{1 + \frac{y_0^2}{i_x^2}} \\
 &= \frac{3700}{9,81} \cdot \frac{1}{1 + \frac{2,02^2}{3,4}} = 171,5
 \end{aligned}$$

Fall 371 Exzentrischer Stufenstoß, schräg von außen.

$$y_0 \sim y_{0(370)} = 1,12 \text{ [m]}$$

Das Dreieck aus der Resultierenden P_{zy} und den Komponenten P_z und P_y steht senkrecht zur x-Achse, daher ist $P_x = 0$.

$$(a \cdot \cos \gamma_x)^2 = \frac{y_0^2}{1 + (P_y/P_z)^2} = \frac{1,12^2}{1 + 0,1681} = 1,081$$

$$m_{\text{red}} = \frac{3700}{9,81} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1,081}{3,4}} = 286$$

$$P_{zy} = P_{\text{slch}} = 0,35 \cdot m_{\text{red}} \cdot (e') \\ = 0,35 \cdot 286 \cdot 0,554 \cdot 0,54 \cdot 0,83 \cdot 132,3 = 3288,5 \text{ [kg]}$$

$$P_z = 3052 \text{ [kg]}$$

$$P_y = 0,4 P_{zx} \text{ (bzw. } = 0,4 P_z, \text{ da } P_x = 0 \text{ ist)} \\ = 0,4 \cdot 3052 = 1221 \text{ [kg]}$$

Fall 372 Exzentrischer Heckstoß, schräg von außen.

$$P_{zx} = 0,35 \left(1 - 5 \frac{\beta_K}{\pi} \right) m_{\text{red}} (e')$$

$$P_y = \pm 0,14 \left(1 - 5 \frac{\beta_K}{\pi} \right) m_{\text{red}} (e')$$

$$\beta_K = 4^\circ 20' = 4,33^\circ; \quad 1 - 5 \frac{\beta_K}{\pi} = 1 - 5 \frac{4,33}{180} = 1 - 0,12 = 0,88$$

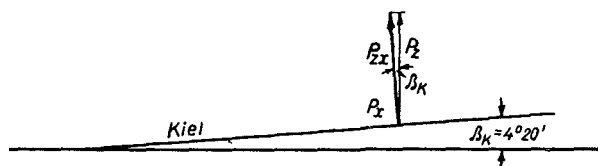


Abb. 38. Lage der Stoßkraft P_{zx}

$$\cos \beta = \frac{P_z}{P_{zx}}; \quad P_z = P_{zx} \cdot \cos \beta;$$

$$\sin \beta = \frac{P_x}{P_{zx}}; \quad P_x = -P_{zx} \cdot \sin \beta; \quad P_y = +0,4 P_{zx} \text{ (vgl. oben)}$$

$$b_{st} = 0,35 \left(1 - 5 \frac{\beta_K}{\pi} \right) (c_0 \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot v_w^{1,5}) \text{ (vgl. Fall 302)}$$

$$= 0,35 \cdot 0,88 \cdot 0,554 \cdot 0,54 \cdot 0,694 \cdot 132,3$$

$$= 0,35 \cdot 24,17$$

$$= 8,46 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

4. Schräge exzentrische Stoßbeanspruchung

Fall 370 Exzentrischer Bugstoß, schräg von außen.

x_0 wie im Fall 300: 2,59 [m]

y_0 nach Zeichnung: 1,12 [m]

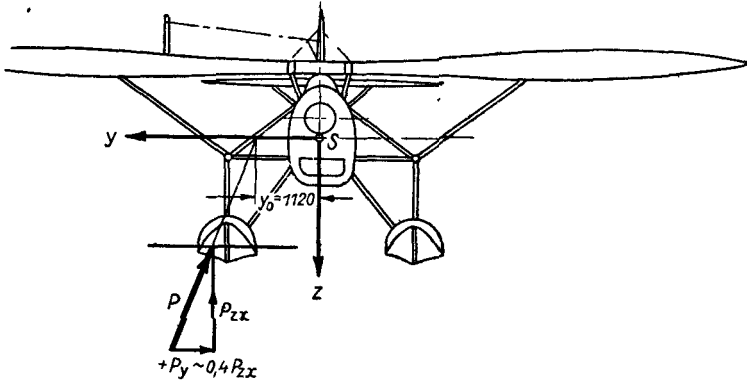


Abb. 37. Bestimmung von y_0 für Fall 370

Vgl. auch Fall 300 (Abb. 31)!

$$(a \cdot \cos \gamma_x)^2 = \frac{y_0^2}{1 + (P_x/P_z)^2 + (P_y/P_z)^2} = \frac{1,12^2}{1 + 0,0562 + 0,41^2} = 1,025$$

$$(a \cdot \cos \gamma_y)^2 = \frac{x_0^2}{1 + (P_x/P_z)^2 + (P_y/P_z)^2} = \frac{2,59^2}{1 + 0,0562 + 0,1681} = 5,480$$

$$(a \cdot \cos \gamma_z)^2 = \frac{(y_0 \cdot P_x/P_z - x_0 \cdot P_y/P_z)^2}{1 + (P_x/P_z)^2 + (P_y/P_z)^2} = \frac{(1,12 \cdot 0,237 - 2,59 \cdot 0,41)^2}{1 + 0,0562 + 0,1681} = 0,520$$

$$P_{\text{stch}} = 0,35 \cdot m_{\text{red}} \cdot (e')$$

$$= 0,35 \cdot \frac{3700}{9,81} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1,025}{3,4} + \frac{5,48}{6,71} + \frac{0,52}{8,52}} (0,554 \cdot 0,54 \cdot 0,835 \cdot 132,3)$$

$$= 0,35 \cdot 173,09 (e')$$

$$= 2002 \text{ [kg]}$$

$$P_x = 0,23 \cdot 2002 \cdot \frac{1}{\sqrt{1,16}} = 427,5 \text{ [kg]}$$

$$P_y = 0,4 \cdot 2002 \cdot \frac{1}{1,08} = 743,5 \text{ [kg]}$$

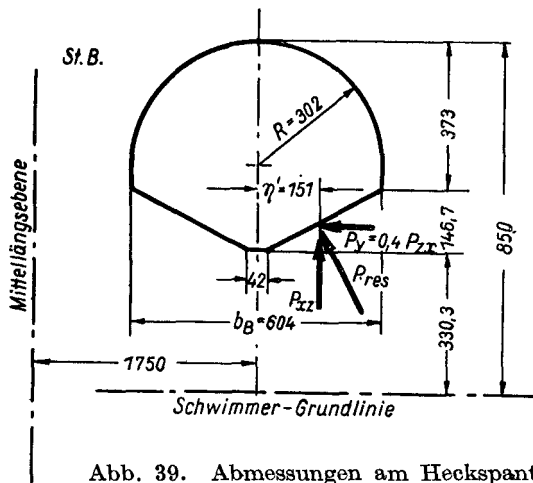
$$P_z = 0,975 \cdot 2002 \cdot \frac{1}{1,08} = 1812,5 \text{ [kg]}$$

$$m_{\text{red}} = \frac{3700}{9,81} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1,0465}{3,4} + \frac{10,35}{6,71} + \frac{1,4724}{8,52}} = \frac{3700}{9,81 \cdot 3,0231} = 124,76$$

$$\mathbf{P}_{\text{zrich}} = \mathbf{P}_{\text{zx}} \cdot \cos \beta = 1055 \cdot 0,997 = 1051 \text{ [kg]}$$

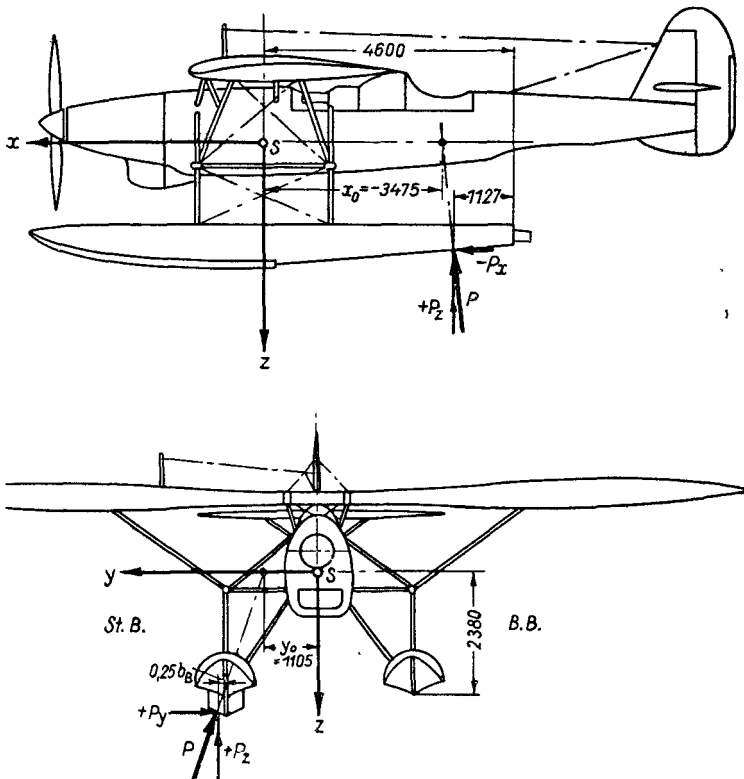
Fall 375

$$(a \cdot \cos \gamma_x)^2 = \frac{y_0^2}{1 + (P_x/P_z)^2 + (P_y/P_z)^2} = \frac{1,95^2}{1 + 0,0557 + 0,0421} = 3,464$$



Für die Berechnung von m_{red} sind in Abb. 40 die Abstände x_0 und y_0 bestimmt mit:

$$\begin{aligned} x_0 &= -3,475 \text{ [m]} \\ \text{und } y_0 &= +1,105 \text{ [m]} \\ (a \cdot \cos \gamma_x)^2 &= \frac{y_0^2}{1 + (P_x/P_z)^2 + (P_y/P_z)^2} \\ &= \frac{1,105^2}{1 + 0,0758^2 + 0,4013^2} \\ &= \frac{1,105^2}{1,1667} \\ &= 1,0465 \end{aligned}$$



= — 3,475

3,806

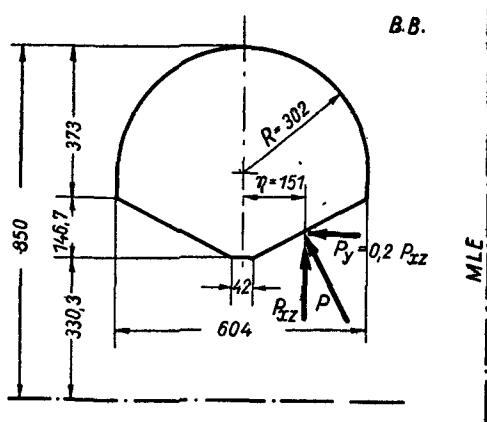


Abb. 42. Spant mit Heckstoß

$$\cos \gamma_z)^2 = \frac{(y_0 \cdot P_x / P_z - x_0 \cdot P_y / P_z)^2}{1 + (P_x / P_z)^2 + (P_y / P_z)^2} = \frac{(3,475 \cdot 0,2005 - 1,995 \cdot 0,0758)}{1,0458}$$

$$= 0,69$$

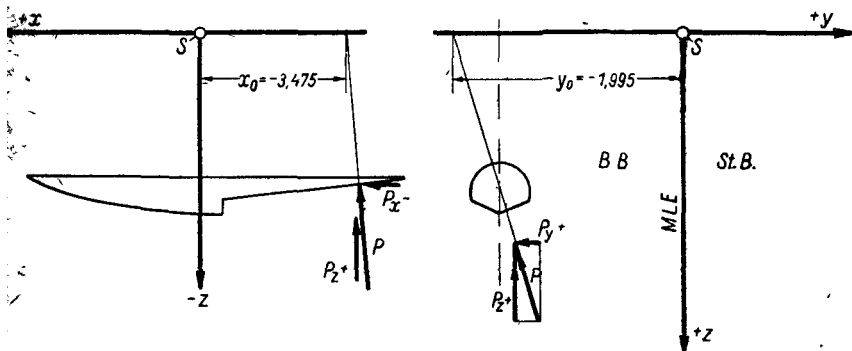


Abb. 43. Kräfte für exzentrischen Heckstoß mit Seitenstoß von innen.

$$\begin{aligned} m_{\text{red}} &= \frac{3700}{9,81} \cdot \frac{1}{1 + \frac{3,806}{3,4} + \frac{11,547}{6,71} + \frac{0,690}{8,52}} \\ &= \frac{3700}{9,81} \cdot \frac{1}{3,921} \\ &= 96,18 \end{aligned}$$

$$(a \cdot \cos \gamma_y)^2 = \frac{x_0^2}{1 + (P_x/P_z)^2 + (P_y/P_z)^2} = \frac{2,59^2}{1 + 0,0557 + 0,0421} = 6,110$$

$$(a \cdot \cos \gamma_z)^2 = \frac{(y_0 P_x/P_z - x_0 P_y/P_z)^2}{1 + (P_x/P_z)^2 + (P_y/P_z)^2} = \frac{(1,95 \cdot 0,236 - 2,59 \cdot 0,205)^2}{1 + 0,0557 + 0,0421} = 0,0046$$

$$\begin{aligned} m_{\text{red}} &= \frac{3700}{9,81} \cdot \frac{1}{1 + \frac{3,464}{3,4} + \frac{6,11}{6,71}} \\ &= \frac{3700}{9,81} \cdot \frac{1}{1 + 1,019 + 0,911} \\ &= 128,7 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{zx} &= 0,35 \cdot m_{\text{red}}(e') \\ &= 0,35 \cdot 128,7 (0,554 \cdot 0,54 \cdot 0,835 \cdot 132,3) \\ &= 1490 \text{ [kg]} \\ P_y &= -0,07 \cdot m_{\text{red}} \cdot (e') = 298 \text{ [kg]} \end{aligned}$$

Fall 376

Exzentrischer Stufenstoß, schräg von innen.

$P_x = 0$ aus den gleichen Gründen wie im Fall 371.

$$y_0 = 1930$$

$$\begin{aligned} (a \cdot \cos \gamma_x)^2 &= \frac{y_0^2}{1 + (P_y/P_z)^2} = \frac{1,93^2}{1 + 0,04} = 3,58 \\ m_{\text{red}} &= \frac{3700}{9,81} \cdot \frac{1}{1 + \frac{3,58}{3,4}} = 183,7 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{zx} &= 0,35 \cdot m_{\text{red}} \cdot (e') \\ &= 0,35 \cdot 183,7 \cdot 0,554 \cdot 0,54 \cdot 0,835 \cdot 132,3 \\ &= 2112 \text{ [kg]} \\ P_z &= 2072 \text{ [kg]} \\ P_y &= \mp 0,07 \cdot m_{\text{red}} \cdot (e') \\ &= \mp 0,07 \cdot 183,7 \cdot (e') \\ &= \mp 425 \text{ [kg]} \end{aligned}$$

Fall 377

Exzentrischer Heckstoß, schräg von innen.

Vgl. Fall 372!

$$\begin{aligned} b_{\text{st}} &= 0,35 \left(1 - 5 \frac{\beta_K}{\pi} \right) c_0 \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot v_w^{1,5} \\ &= 0,35 \cdot 0,88 \cdot 27,4 \\ &= 8,46 \text{ [m/s}^2\text{]} \end{aligned}$$

$$P_x = -0,0755 P_{zx}$$

$$P_y = 0,2 P_{zx}$$

$$P_z = 0,997 P_{zx}$$

$$y_0 = -1,995$$

$$x_0 = -3,475$$

$$(a \cdot \cos \gamma_x)^2$$

$$= \frac{y_0^2}{1 + (P_x/P_z)^2 + (P_y/P_z)^2}$$

$$= \frac{(-1,995)^2}{1 + 0,0057 + 0,0401}$$

$$= 3,806$$

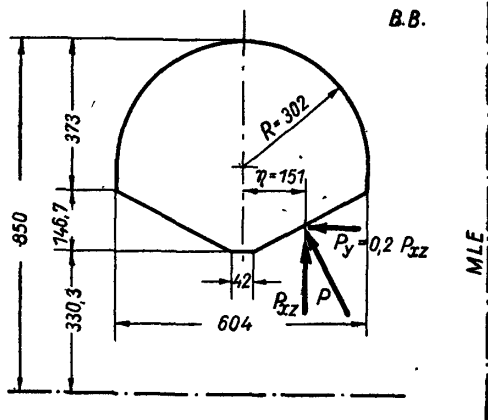


Abb. 42. Spant mit Heckstoß

$$(a \cdot \cos \gamma_y)^2 = \frac{x_0^2}{1 + (P_x/P_z)^2 + (P_y/P_z)^2} = \frac{(-3,475)^2}{1,0458} = 11,547$$

$$(a \cdot \cos \gamma_z)^2 = \frac{(y_0 \cdot P_x/P_z - x_0 \cdot P_y/P_z)^2}{1 + (P_x/P_z)^2 + (P_y/P_z)^2} = \frac{(3,475 \cdot 0,2005 - 1,995 \cdot 0,0758)^2}{1,0458} = 0,69$$

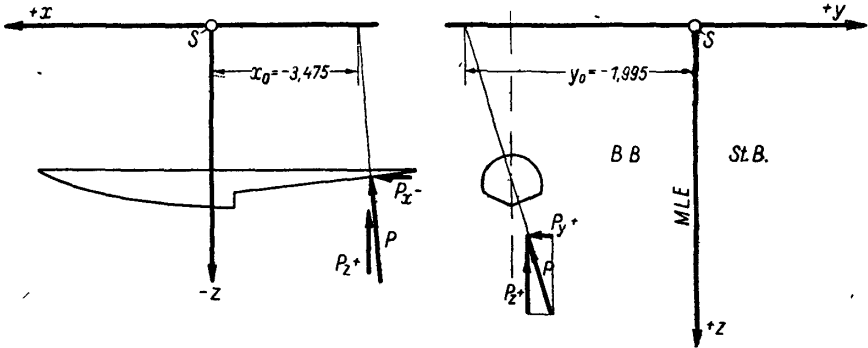
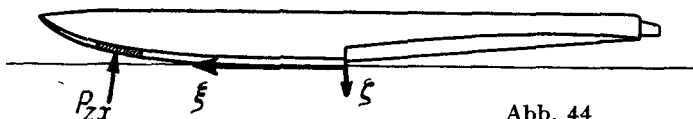
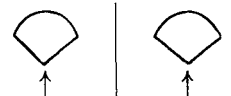



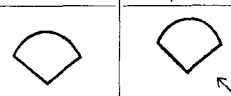
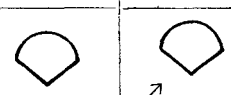














Abb. 43. Kräfte für exzentrischen Heckstoß mit Seitenstoß von innen

$$\begin{aligned} m_{\text{red}} &= \frac{3700}{9,81} \cdot \frac{1}{1 + \frac{3,806}{3,4} + \frac{11,547}{6,71} + \frac{0,690}{8,52}} \\ &= \frac{3700}{9,81} \cdot \frac{1}{3,921} \\ &= 96,18 \end{aligned}$$

Stoßkrafttabelle

Bugstoße		 Abb. 44		P_{sicher} [kg] pro Schwimmer	P_{Bruch} [kg] pro Schwimmer ($j = 1,55$)
Fall 300	Symmetrischer Bugstoß an zwei Schwimmern			3202,5	4960
350	Einseitiger Bugstoß \parallel x z-Ebene an einem Schwimmer			3100	4800
360	Exzentrischer Bugstoß, außen (\parallel x z), an einem Schwimmer			1425	2210
365	Exzentrischer Bugstoß, innen (\parallel x z), an einem Schwimmer			1675	2595
370	Exzentrischer Bugstoß, schrag von außen, an einem Schwimmer			$P_x = 427,5$ $P_y = 743,5$ $P_z = 1812,5$	$P_x = 663$ $P_y = 1151$ $P_z = 2810$
375	Exzentrischer Bugstoß, schrag von innen, an einem Schwimmer			$P_{zx} = 1490$ $P_y = 298$	$P_{zx} = 2310$ $P_y = 462$

Fall 301	Symmetrischer Stufenstoß an zwei Schwimmern			6195	9600
351	Einseitiger Stufenstoß x z-Ebene an einem Schwimmer			4562,5	7070
361	Exzentrischer Stufenstoß, außen (x z), an einem Schwimmer			1972	3060
366	Exzentrischer Stufenstoß, innen (x z), an einem Schwimmer			2637,5	4080
371	Exzentrischer Stufenstoß, schräg von außen, an einem Schwimmer			$P_x = 0; P_y = 1221;$ $P_z = 3052$	$P_y = 1892$ $P_z = 4725$
376	Exzentrischer Stufenstoß, schräg von innen, an einem Schwimmer			$P_x = 0; P_y = 425;$ $P_z = 2072$	$P_y = 658$ $P_z = 3205$

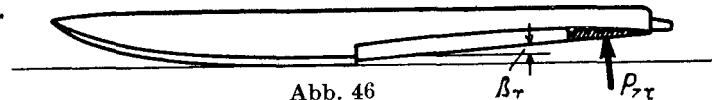










Abb. 46

β_τ

$P_{z\tau}$

Fall 302	Symmetrischer Heckstoß an zwei Schwimmern			$P_{zx} = 1635$	$P_{zx} = 1912$
352	Unsymmetrischer Heckstoß Symmetrieebene an einem Schwimmer			$P_{zx} = 1845$	
372	Exzentrischer Heckstoß, schräg von außen, an einem Schwimmer			$P_x = -80$ $P_y = 422$ $P_z = 1051$	$P_x = -124$ $P_y = 654$ $P_z = 1630$
377	Exzentrischer Heckstoß, schräg von innen, an einem Schwimmer			$P_x = 61,5$ $P_y = 162,4$ $P_z = 811$	$P_x = 95,3$ $P_y = 252$ $P_z = 1258$

$$P_{z_x} = 0,35 \cdot 96,18 \cdot 0,88 \cdot 27,4 \\ = 812 \text{ [kg]}$$

$$P_x = -0,0755 P_{z_x} \\ = -0,0755 \cdot 812 = 61,5 \text{ [kg]}$$

$$P_y = 0,2 \cdot 812 = 162,4 \text{ kg}$$

$$P_z = 0,997 \cdot 812 = 811,0 \text{ [kg]}$$

$$P_{res} = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2} \\ = \sqrt{3782,25 + 26393,7 + 657721} \\ = 830 \text{ [kg]}$$

Nachdem die sicheren Stoßkräfte teilweise mit ihren Komponenten in vorstehender Rechnung bestimmt worden sind, sind sie noch einmal in der Tabelle auf Seite 40/41 zusammengestellt.

Zur Projektierung von normal ausgebildeten Schwimmern kann wie beim Muster Do 22 mit schädlichen Widerstandsbeiwerten von

$$c_w = 0,15 \div 0,25$$

und bei Stützschwimmern mit

$$c_w = 0,20 \div 0,30$$

gerechnet werden.

IV. Berechnung des Schwimmergestells Dornier Do 22

1. Fall 301: Symmetrischer Stufenstoß

Zunächst soll der Fall 301, Symmetrischer Stufenstoß, behandelt werden, da er der einfachste von allen ist, insbesondere auch, was die Zeichnung des Kräfteplans betrifft¹⁾. Der Stoß geht genau durch den Schwerpunkt, so daß die Reaktionskräfte am Schwimmergerüst aus Flügel, Seeausrüstung, Schwimmergerüst und Schwimmer sich sehr leicht berechnen lassen. Das entsprechende Stoßvielfache ergibt sich aus:

$$e_{sich} = \frac{\text{Stufenstoß [kg]}}{\text{halbes Fluggewicht [kg]}} = \frac{6195}{1850} = 3,35$$

Die sicheren Reaktionskräfte bzw. Lasten der vier genannten Positionen erhält man aus den mit dem sicheren Stoßvielfachen e multiplizierten Gewichtsanteilen pro Seite des Flugzeugs. Aus Symmetriegründen genügt es, nur das halbe Schwimmergerüst zu betrachten und die sicheren Lasten entsprechend zu bestimmen.

¹⁾ Vgl. Tafel I—V am Ende des Buches.

Die einfachen Gewichte der Positionen betragen:

Pos. 1 Flügel	= 490 kg
„ 2 Schwimmergerüst	= 95 kg
„ 3 Seeausrüstung	= 31 kg
„ 4 Schwimmer	= 290 kg

Die Reaktionskräfte des Stufenstoßes betragen:

$$P_1 = 3,35 \cdot \frac{490}{2} = 820 \text{ kg}$$

$$P_2 = 3,35 \cdot \frac{95}{2} = 159 \text{ kg}$$

$$P_3 = 3,35 \cdot \frac{31}{2} = 52 \text{ kg}$$

$$P_4 = 3,35 \cdot \frac{290}{2} = 485 \text{ kg (vgl. Abb. 47)}$$

Tafel I zeigt den Hergang der Kräfteermittlung am Schwimmergestell. Nachdem das Gerüst auch für die weiteren Fälle in einem geeignet großen Maßstab in Seiten-, Drauf- und Vorderansicht pausfähig mit den nötigen Maßen versehen worden ist, wird die Vorlage mehrmals

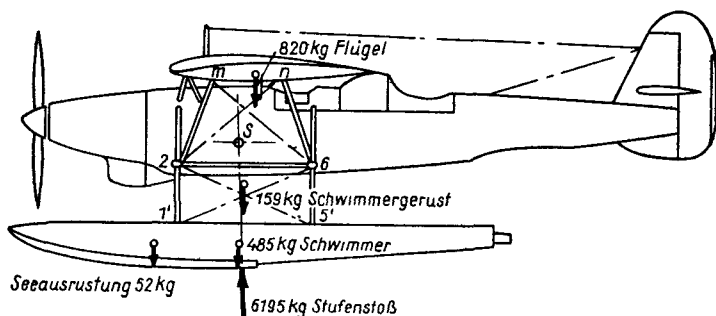


Abb. 47. Symmetrischer Stufenstoß mit Reaktionskräften

gepaust, um für jeden einzelnen Fall die Kräfte eintragen und die Kräftepläne zeichnen zu können. Es empfiehlt sich dabei, gleich neben den Projektionen des Gestells ein derartig beschaffenes Ersatzsystem einzutragen, daß die dauernde Ermittlung der „wahren Stablängen“ und Kräfte erspart bleibt, wie es hier z. B. geschehen ist.

Die sicheren Lasten für Schwimmergerüst (159 kg) und Tragflügel (820 kg) werden auf die entsprechenden Knotenpunkte 2, 6 bzw. m, n im Verhältnis der Hebelarme verteilt (vgl. Abb. 48 und 49).

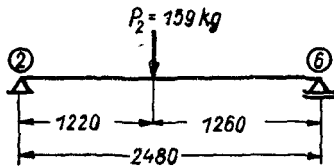


Abb. 48. Lastverteilung von P_2

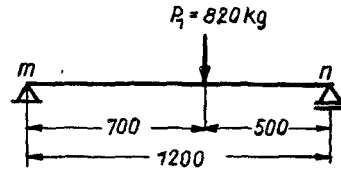


Abb. 49. Lastverteilung von P_1

Schwimmergerüst:

$$\text{Knoten 2} = \frac{159 \cdot 1,26}{2,48} = 81 \downarrow$$

$$\text{Knoten 6} = \frac{159 \cdot 1,22}{2,48} = 78 \downarrow$$

Tragflügel:

$$\text{Knoten m} = \frac{820 \cdot 0,5}{1,2} = 342 \downarrow$$

$$\text{Knoten n} = \frac{820 \cdot 0,7}{1,2} = 478 \downarrow$$

Diese Lasten werden in die Seitenansicht und die beiden Vorderansichten eingetragen.

Aus P_3 und P_4 und dem Stufenstoß selbst lassen sich dann mit Hilfe des Momentengleichgewichts um Knoten 1' bzw. 5' die Stabkräfte 1/2 und 5/6 sofort bestimmen. Man erhält für die vordere Schwimmerabstützung im Stab 1/2 aus $\Sigma M_{5'}$:

$$V = \frac{-52 \cdot 2,96 - 485 \cdot 1,37 + 6195 \cdot 1,36}{2,48} = \frac{-154 - 665 + 8410}{2,48} = 3060 \text{ [kg]}$$

und für die hintere Schwimmerabstützung im Stab 5/6 aus $\Sigma M_{1'}$:

$$H = \frac{6195 \cdot 1,12 - 485 \cdot 1,11 + 52 \cdot 0,48}{2,48} = \frac{6930 - 538 + 25}{2,48} = 2598 \text{ (kg)}$$

Diese Kräfte können schon in die Stabkrafttabelle eingetragen werden. Jetzt werden die Teilkräftepläne I und II zur Bestimmung der äußeren Kräfte an den Strebenendpunkten m, n und den Baldachinholmknotenpunkten p, q in der Draufsicht des Systems gezeichnet. Das Gleichgewicht um Knoten m ergibt + 495 kg, — 610 kg für p, m und um Knoten n: + 690 kg, — 845 kg für q, n.

Im Teilplan III werden 845 kg in Richtung des Riegels m, n und der Hinterstrebe zerlegt, desgleichen 610 kg in Richtung der Vorderstrebe, des Kabels und wiederum m, n.

Durch weitere Zerlegung in III ergeben sich Knotenlasten für 2 und 6 mit 820 kg und 630 kg.

Aus der Zwischenermittlung IV (betr. Gleichgewicht um Knoten 2 in der Draufsicht des Systems) ergibt sich eine weitere Knotenlast für 2 und die Kraft im Kabel 2/7.

Die Ermittlungen in V und VI zeigen dann sehr anschaulich die Bestimmung der Kräfte in den Streben 2/3 bzw. 6/7 und 2/4 bzw. 6/8. In der Stabkrafttabelle der Tafel I sind alle Werte zusammengestellt.

2. Fall 300: Symmetrischer Bugstoß

$$P_{\text{sich}} = 3202,5 \text{ kg } \uparrow$$

$$e_{\text{sich}} = \frac{P}{G/2} = \frac{3202,5}{1850} = 1,73$$

Die Reaktionskräfte des Bugstoßes betragen:

$$1. \text{ Flügel} \quad P_1 = 1,73 \cdot \frac{490}{2} = 424 \text{ kg } \downarrow$$

$$2. \text{ Schwimmergerüst} \quad P_2 = 1,73 \cdot \frac{95}{2} = 82 \text{ kg } \downarrow$$

$$3. \text{ Seeausrüstung} \quad P_3 = 1,73 \cdot \frac{31}{2} = 27 \text{ kg } \downarrow$$

$$4. \text{ Schwimmer} \quad P_4 = 1,73 \cdot \frac{290}{2} = 251 \text{ kg } \downarrow$$

Aus dem Moment der Bugstoßkraft um den Schwerpunkt ergeben sich eine Drehwinkelbeschleunigung ε und Trägheitskräfte P_y (Abb. 50).

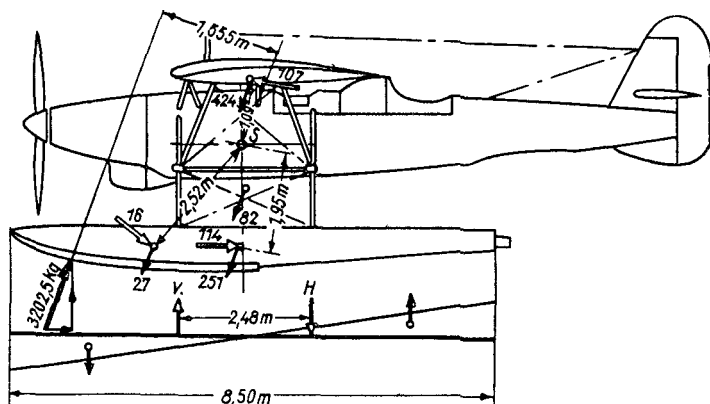


Abb. 50. Symmetrischer Bugstoß mit Reaktionskräften

Wie im Fall 301 sollen aus den Kräften P_3 , P_4 und dem Bugstoß die Anschlußkräfte für die Knoten 1' und 5' bzw. auch die Stabkraft 1/2 bestimmt werden. Die Stabkraft 5/6 läßt sich erst später bestimmen,

da aus der Zugkraft infolge Bugstoßes im Kabel 2/5' noch eine Vertikal-
komponente für 5/6 eingeht. Es ist ferner leicht einzusehen, daß Kabel
1'/6 infolge Bugstoßes spannungslos wird, desgleichen auch Kabel 2/7.

Zuvor müssen noch die Schiebe- und Trägheitskräfte für Pos. 3 und 4
in horizontale und vertikale Komponenten zerlegt werden (vgl. Tafel II).
Für die vordere Schwimmerabstützung bzw. die Stabkraft 1/2 ergibt sich:

$$\begin{aligned} V_{1,2} &= \frac{3100 \cdot \overbrace{(2,48 + 1,13)}^{3,61} - 860 \cdot 0,6 - \overbrace{(10+25)}^{35} \cdot 2,96 - \overbrace{(12-8)}^4 \cdot 0,3 - 235 \cdot 1,37 - \overbrace{(114-68)}^{46} \cdot 0,3}{2,48} - 170 \\ &= \frac{11200 - 516 - 104 - 1,2 - 322 - 13,8}{2,48} - 170 \\ &= \frac{10243}{2,48} - 170 = 4135 - 170 \\ &= 3965 \text{ [kg]} \end{aligned}$$

und für die hintere Schwimmerabstützung:

$$\begin{aligned} H_{5,6} &= \frac{-3100 \cdot 1,13 + 860 \cdot 0,6 + 35 \cdot 0,48 + 4 \cdot 0,3 - 235 \cdot 1,11 + 46 \cdot 0,3}{2,48} + 170 \\ &= \frac{-3500 + 516 + 16,8 + 1,2 - 261 + 13,8}{2,48} + 170 \\ &= -\frac{3213}{2,48} + 170 = -1296 + 170 \\ &= -1126 \text{ [kg]} \end{aligned}$$

Die Summe der Längskräfte beträgt:

$$\Sigma L_H = 860 + 12 - 8 + 114 - 85 = 893 \text{ [kg]}$$

Es bleibt noch die Verteilung der Vertikalkomponenten der Reaktions-
kräfte für Tragflügel (405 kg) auf m, n und für Schwimmergerüst (79 kg)
auf 2,6.

Mit den aus Fall 301 bereits bekannten Hebelparmen (vgl. Abb. 48, 49)
ergibt sich für Schwimmergerüst:

$$\text{Knoten } 2 = \frac{79 \cdot 1,26}{2,48} = 40 \text{ kg } \downarrow$$

$$\text{Knoten } 6 = 79 - 40 = 39 \text{ kg } \downarrow$$

und Tragflügel:

$$\text{Knoten } m = \frac{405 \cdot 0,5}{1,2} = 169 \text{ kg } \downarrow$$

$$\text{Knoten } n = 405 - 169 = 236 \text{ kg } \downarrow$$

In den Kräfteplänen I und II werden die Teilkräfte am Tragflügel
entsprechend Holm- und Strebenrichtung zerlegt, um die Anschluß-

... für III zu erhalten. In III werden 415 kg in Richtung m, n und Vorderstrebe und 297 kg in Richtung Vorderstrebe, Kabel und Querstrebe (m, n) zerlegt.

Unter IV und V werden die in Richtung 2/6 wirkenden Längskräfte von 3/6 (Kabel) und 6/7 zerlegt und entsprechend auch die Kraft im Kabel 2/5' bestimmt.

Es ist damit alles gegeben, um die restlichen Stabkräfte abschieben zu können.

3. Fall 302: Symmetrischer Heckstoß

$$P_{\text{sich}} = 1635 \text{ kg } \uparrow$$

$$e_{\text{sich}} = \frac{1635}{1850} = 0,88$$

Die Reaktionskräfte für Heckstoß ergeben sich zu:

1. Flügel $P_1 = 0,88 \cdot \frac{490}{2} = 215 \text{ kg } \downarrow$
2. Schwimmergerüst $P_2 = 0,88 \cdot \frac{95}{2} = 42 \text{ kg } \downarrow$
3. Seeausrüstung $P_3 = 0,88 \cdot \frac{31}{2} = 13,6 \text{ kg } \downarrow$
4. Schwimmer $P_4 = 0,88 \cdot \frac{290}{2} = 127,4 \text{ kg } \downarrow$

Der Heckstoß ergibt ein Moment um den Schwerpunkt; es entstehen eine Drehwinkelbeschleunigung ε_y und Trägheitskräfte P_y (Abb. 51).

$$M_y = 2 \cdot 1635 \cdot 2,965 = 9680 \text{ [mkg]}$$

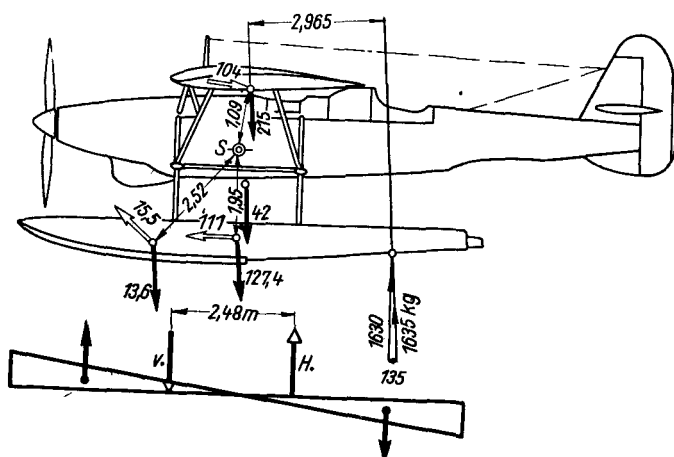


Abb. 51. Symmetrischer Heckstoß mit Reaktionskräften

Das Moment um die Querachse beträgt:

$$M_y = 2 \cdot P \cdot a = 2 \cdot 3202,5 \cdot 1,555 = 9955 \text{ [mkg]}$$

und die Drehwinkelbeschleunigung ε_y :

$$\varepsilon_y = \frac{M_y}{I_y} = \frac{9955}{2532} = 3,935 \sim 3,94 \text{ [1/s}^2\text{]}$$

Es folgen die Massenträgheitskräfte aus Drehung um die Querachse mit:

$$1. \text{ Flügel } P_{y_1} = \frac{m}{2} \cdot a \cdot \varepsilon = \frac{490}{2 \cdot 9,81} \cdot 1,09 \cdot 3,94 = 107 \text{ [kg]}$$

$$2. \text{ Schwimmergerüst } a=0, \text{ daher } P_{y_2} = 0 \text{ [kg]}$$

$$3. \text{ Seeausrüstung } P_{y_3} = \frac{31}{2 \cdot 9,81} \cdot 2,52 \cdot 3,94 = 16 \text{ [kg]}$$

$$4. \text{ Schwimmer } P_{y_4} = \frac{290}{2 \cdot 9,81} \cdot 1,95 \cdot 3,94 = 114 \text{ [kg]}$$

$$V = -H = \frac{m \cdot l_{\text{schw.}}^2}{2 \cdot 12} \cdot \frac{\varepsilon}{2,48} = \frac{290 \cdot 8,5^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 12} \cdot \frac{3,94}{2,48} = \pm 141 \text{ [kg]}$$

Die Drehwinkelbeschleunigung folgt aus:

$$\varepsilon_y = \frac{M_y}{I_y} = \frac{9680}{2532} = 3,82 \text{ [1/s}^2\text{]}$$

Trägheitskräfte:

$$1. \text{ Flügel } P_{y_1} = \frac{m}{2} \cdot a \cdot \varepsilon = \frac{490}{2 \cdot 9,81} \cdot 1,09 \cdot 3,82 = 104 \text{ [kg]}$$

$$2. \text{ Schwimmergerüst } P_{y_2} = 0 \text{ [kg]}$$

$$3. \text{ Seeausrüstung } P_{y_3} = \frac{31}{2 \cdot 9,81} \cdot 2,52 \cdot 3,82 = 15,5 \text{ [kg]}$$

$$4. \text{ Schwimmer } P_{y_4} = \frac{290}{2 \cdot 9,81} \cdot 1,95 \cdot 3,82 = 111 \text{ [kg]}$$

$$V = -H = \frac{m \cdot l_{\text{schw.}}^2}{2 \cdot 12} \cdot \frac{\varepsilon}{2,48} = \frac{145 \cdot 8,5^2}{12 \cdot 9,81} \cdot \frac{3,82}{2,48} = \pm 137 \text{ [kg]}$$

Nachdem Pos. 3, 4 und der Heckstoß in entsprechende Komponenten zerlegt worden sind, werden wie vor die Kräfte V und H in der vorderen bzw. hinteren Schwimmerabstützung berechnet (vgl. Tafel III).

Aus ΣM_y folgt:

$$\begin{aligned} V &= -1630 \cdot \frac{1,775}{2,48} + 135 \cdot \frac{0,43}{2,48} + (9,6 \overset{-3,9}{-} 13,5) \cdot \frac{0,3}{2,48} + (12 \overset{+10,9}{-} 1,1) \cdot \frac{0,3}{2,48} \\ &\quad - 127 \cdot \frac{1,37}{2,48} + (111 \overset{+101,5}{-} 10,5) \cdot \frac{0,3}{2,48} + 104 \\ &= -1166 + 23,4 - 4,7 + 1,3 - 70 + 12,3 + 104 = -1099,7 \\ &= -1100 \text{ [kg]} \end{aligned}$$

Aus ΣM_I , folgt:

$$\begin{aligned} H &= 1630 \cdot \frac{4,255}{2,48} - 135 \cdot \frac{0,43}{2,48} + 3,9 \cdot \frac{0,48}{2,48} - 10,9 \cdot \frac{0,3}{2,48} \\ &\quad - 127 \cdot \frac{1,11}{2,48} - 101,5 \cdot \frac{0,3}{2,48} - 104 \\ &= 2800 - 23,4 + 0,8 - 1,3 - 56,8 - 12,3 - 104 = + 2603 \\ &= + 2603 \text{ [kg]} \end{aligned}$$

Die Summe der Längskräfte beträgt:

$$\Sigma L_H = - 135 + 10,5 - 111 - 12 + 1,1 = - 246,4 \text{ [kg]}$$

Die sicheren Lasten für Schwimmergerüst und Tragflügel müssen im Verhältnis der Hebelarme auf die Knoten m, n und 2, 6 verteilt werden:

$$\text{Knoten } 2 = \frac{42 \cdot 1,26}{2,48} = 21,35 \downarrow$$

$$\text{Knoten } 6 = \frac{42 \cdot 1,22}{2,48} = 20,65 \downarrow$$

$$\text{Knoten } m = \frac{240 \cdot 0,5}{1,2} = 100 \downarrow$$

$$\text{Knoten } n = \frac{240 \cdot 0,7}{1,2} = 140 \downarrow$$

Diese Lasten sind in die Seitenansicht und die beiden Vorderansichten einzutragen, so daß die eigentliche Kräfteermittlung in Tafel III in der üblichen Weise beginnen kann.

Für die nachfolgenden Fälle 370 und 372, Exzentrischer Bug- bzw. Heckstoß schräg von außen, wird dem Leser Gelegenheit gegeben, sich selbst zu üben.

Die äußeren Kräfte der zwei genannten Fälle sollen für ein Fluggewicht von 3350 kg (statt 3700 kg) und nach den Bauvorschriften von 1930 (statt 1936) angegeben werden.

In dieser Form wurde die folgende Rechnung bereits früher von der Firma Dornier durchgeführt.

Der Leser findet dafür die genaue Lösung durch Rechnung und Zeichnung auf Tafel IV und V. Diese kann nach Anfertigung zweier Systemzeichnungen für die neuen Kräfte nach BfF. 1936 und das höhere Fluggewicht von 3700 kg wiederholt werden.

Für das Fluggewicht 3350 kg lauten die Trägheitsmomente¹⁾:

$$I_x = 1320 \text{ kg m}^2 \text{ (statt } 1284 \text{ kg m}^2 \text{ bei } 3700 \text{ kg)}$$

$$I_y = 1900 \text{ kg m}^2 \text{ (statt } 2532 \text{ kg m}^2 \text{ bei } 3700 \text{ kg)}$$

$$I_z = 2755 \text{ kg m}^2 \text{ (statt } 3213 \text{ kg m}^2 \text{ bei } 3700 \text{ kg)}$$

¹⁾ Daß I_x für $G = 3350$ kg größer wird als für $G = 3700$ kg, ist durch die ganz andere Massenverteilung des 3,7-t-Flugzeugs zu erklären.

Für das sichere Stoßvielfache ist bei einseitiger Landung des Flugzeugs die auftretende Stoßkraft durch das ganze Gewicht des Flugzeugs zu dividieren.

Die Größen der drei Komponenten nach BfF. 1936, mit denen die Ermittlung der Stabspannungen für $G = 3700$ kg und die entsprechenden Trägheitsmomente durchgeführt werden soll, werden den Abb. 52 und 55 zur Vermeidung von Irrtümern in Klammern beigelegt.

4. Fall 370: Exzentrischer Bugstoß, schräg von außen

$$P_{\text{sich}} = 1300 \text{ kg/Schwimmer}$$

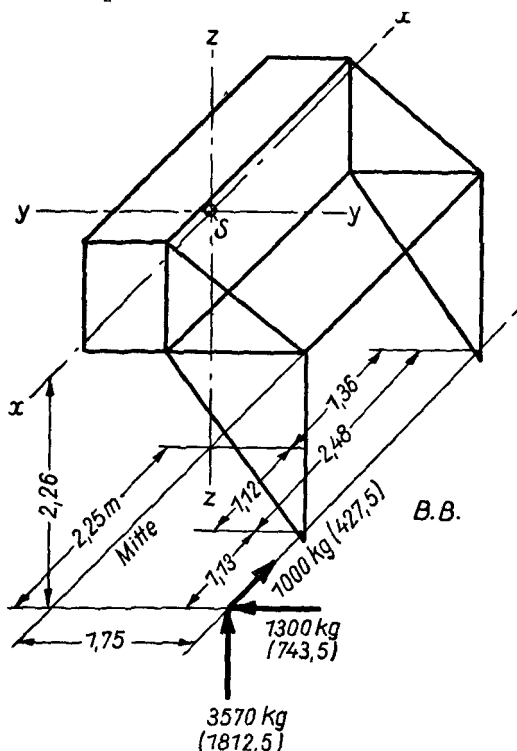
$$e_{\text{sich}} = \frac{1300}{3350} = 0,388$$

Die Momente um die drei Hauptträgheitsachsen erzeugen je zwei Stoßkraftkomponenten in zu diesen senkrechten Ebenen.

$$M_x = 3570 \cdot 1,75 - 1300 \cdot 2,26 = 6250 - 2940 = 3310 \text{ [mkg]}$$

$$M_y = 3570 \cdot 2,25 - 1000 \cdot 2,26 = 8035 - 2260 = 5770 \text{ [mkg]}$$

$$M_z = 1300 \cdot 2,25 - 1000 \cdot 1,75 = 2925 - 1750 = 1175 \text{ [mkg]}$$



Die drei entsprechenden Winkelbeschleunigungen betragen:

$$\varepsilon_x = \frac{3310}{1320} = 2,5 \text{ [1/s}^2\text{]}$$

$$\varepsilon_y = \frac{5770}{1900} = 3,04 \text{ [1/s}^2\text{]}$$

$$\varepsilon_z = \frac{1175}{2755} = 0,427 \text{ [1/s}^2\text{]}$$

Reaktionskräfte des Seitenstoßes:

Schwimmer:

$$P_4 = 0,388 \cdot \frac{290}{2} = 56 \text{ [kg]}$$

Seeausrüstung:

$$P_3 = 0,388 \cdot \frac{31}{2} = 6 \text{ [kg]}$$

Abb. 52. **Fall 370b** Schräger Bugstoß auf B.B.

Trägheitskräfte aus Drehung um die Längsachse:

$$\text{Schwimmer: } P_4' = \frac{m}{2} \cdot a \cdot \varepsilon = \frac{290}{2 \cdot 9,81} \cdot 2,62 \cdot 2,5 = 97 \text{ [kg]}$$

$$\text{Seeausrüstung: } P_3' = \frac{31}{2 \cdot 9,81} \cdot 2,62 \cdot 2,5 = 10 \text{ [kg]}$$

Flügel:

Bei 16 m Spannweite und bei Annahme gleichmäßiger Verteilung des Flügelgewichts über die Spannweite wird die Massenkraft

$$P' = \pm \frac{1018^1 \cdot 2,5}{2 \cdot 5,43} = \pm 234 \text{ [kg]}$$

Trägheitskräfte aus Drehung um die Hochachse:

$$\text{Schwimmer: } P_{z_4}''' = \frac{m}{2} \cdot a \cdot \varepsilon_z = \frac{290}{2 \cdot 9,81} \cdot 1,75 \cdot 0,427 = 11 \text{ [kg]}$$

$$V = -H = \frac{145 \cdot 8,5^2}{9,81 \cdot 12} \cdot \frac{0,427}{2,48} = 15 \text{ [kg]}$$

Die Reaktions- und Trägheitskräfte um die Querachse werden ohne Rechnung wie folgt angegeben:

Reaktionskräfte: Flügel $P_1 = 272 \text{ kg}$, Schwimmergerüst $P_2 = 52 \text{ kg}$,

Seeausrüstung $P_3 = 17 \text{ kg}$, Schwimmer $P_4 = 160 \text{ kg}$

Trägheitskräfte: $P_{y_1} = 83 \text{ kg}$, $P_{y_3} = 12,5 \text{ kg}$, $P_{y_4} = 88 \text{ kg}$, $V = -H = 110 \text{ kg}$

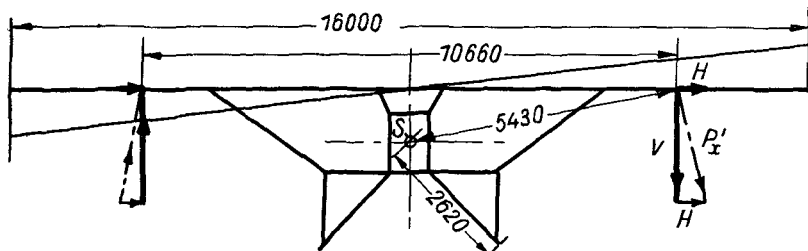


Abb. 53. Kräfte am Flügel für Stoß von außen schräg

Vordere Schwimmerabstützung, vertikal:

$$V_v = 3570 \frac{3,61}{2,48} - 1000 \frac{0,6}{2,48} - 30 \frac{2,96}{2,48} - 5 \frac{0,3}{2,48} - 57 \frac{0,3}{2,48} - 219 \frac{1,37}{2,48} - 110$$

$$= 5195 - 242 - 36 - 1 - 7 - 121 - 110 = 4678 \text{ [kg]}$$

horizontal:

$$Q_0 = 1300 \cdot \frac{361}{248} \cdot \frac{13}{183} + 14 \frac{137}{248} \cdot \frac{45}{183} - 15 \frac{45}{183} = 135 + 2 - 4 = 133 \text{ [kg]}$$

$$Q_u = 1300 \cdot \frac{361}{248} \cdot \frac{170}{183} + 14 \frac{137}{248} \cdot \frac{138}{183} - 15 \frac{138}{183} = 1758 + 6 - 11 = 1753 \text{ [kg]}$$

¹⁾ Massenträgheitsmoment des Flügels.

Hintere Schwimmerabstützung, vertikal:

$$V_h = -3570 \frac{113}{248} + 30 \frac{48}{248} + 5 \frac{30}{248} + 1000 \frac{60}{248} + 57 \frac{30}{248} - 219 \frac{111}{248} + 110$$

$$= -1625 + 6 + 1 + 242 + 7 - 98 + 110 = -1357 \text{ [kg]}$$

horizontal:

$$Q_0 = 15 \frac{30}{167} + 14 \frac{111}{248} \cdot \frac{30}{167} = 3 + 1 = 4 \text{ [kg]}$$

$$Q_u = -1300 \frac{113}{248} + 15 \frac{137}{167} + 14 \frac{111}{246} \cdot \frac{137}{167} = -593 + 12 + 5 = -576 \text{ [kg]}$$

Längskräfte:

$$L_H = 1000 + 5 + 57 = 1062 \text{ [kg]}$$

Die Stabkräfte können somit ermittelt werden (Tafel IV).

Es müssen noch die Biegemomente in der vorderen Schwimmerabstützung berechnet werden (Abb. 54).

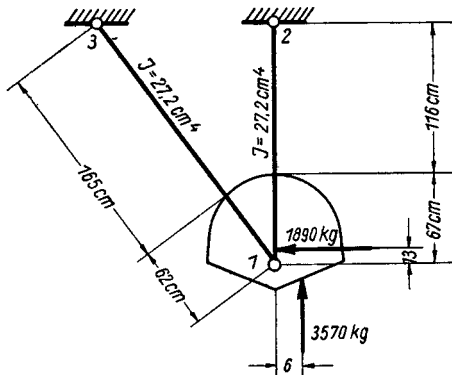
Das Moment um 1 aus Seitenstoß ergibt:

$$M = 1890 \cdot 1,55 \cdot 13 = 38100 \text{ cmkg (Bruch)}$$

und das Moment aus exzentrischem Bugstoß:

$$M = 3570 \cdot 1,55 \cdot 6 = 33200 \text{ cmkg (Bruch)}$$

$$\Sigma M = 38100 + 33200 = 71300 \text{ cmkg}$$



Das Moment im Stab 1/2 beträgt:

$$M = \left[\frac{71300 \cdot \frac{27,2}{116}}{\frac{27,2}{116} + \frac{27,2}{165}} \right] \cdot \frac{116}{(67 + 116)}$$

$$= 26500 \text{ cmkg}$$

und im Stab 1/3:

$$M = \frac{71300 \cdot \frac{27,2}{165}}{0,3995} \cdot \frac{165}{(165 + 62)}$$

$$= 21400 \text{ cmkg}$$

Abb. 54. Momente in den Gerüststreben
1/2 und 1/3

Für die Beanspruchung der hinteren Schwimmerabstützung wird der exzentrische Heckstoß, schräg von außen, maßgebend.

5. Fall 372: Exzentrischer Heckstoß, schräg von außen

$$P_{\text{stich}} = 780 \text{ kg/Schwimmer}$$

$$e_{\text{stich}} = \frac{780}{3350} = 0,233$$

Die Momente und Winkelbeschleunigungen errechnen sich wie im Fall 370.

$$M_x = 1820 \cdot 1,75 - 780 \cdot 2,09 = 3185 - 1630 = 1555 \text{ [mkg]}$$

$$M_y = 1820 \cdot 3,135 - 140 \cdot 2,09 = 5703 - 293 = 5410 \text{ [mkg]}$$

$$M_z = 780 \cdot 3,135 - 140 \cdot 1,75 = 2445 - 245 = 2200 \text{ [mkg]}$$

$$\varepsilon_x = \frac{1555}{1320} = 1,18 \text{ [1/s}^2\text{]}$$

$$\varepsilon_y = \frac{5410}{1900} = 2,85 \text{ [1/s}^2\text{]}$$

$$\varepsilon_z = \frac{2200}{2755} = 0,8 \text{ [1/s}^2\text{]}$$

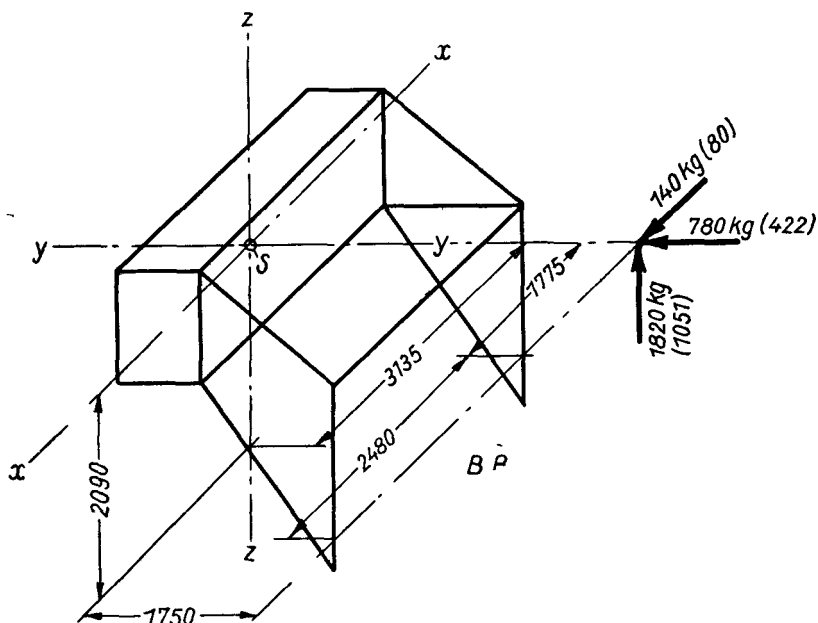


Abb. 55. Fall 372b Schräger Heckstoß auf B. B.

Die Reaktions- und Trägheitskräfte um die Querachse werden benannt mit

$$P_1 = 153, P_2 = 26, P_3 = 9, P_4 = 79$$

$$P_{y_1} = 85, P_{y_2} = 11,5, P_{y_3} = 83, V_4 = -H_4 = 102$$

Reaktionskräfte des Seitenstoßes:

$$\text{Schwimmer: } P_4 = 0,233 \cdot \frac{290}{2} = 34 \text{ [kg]}$$

$$\text{Seeausrüstung: } P_3 = 0,233 \cdot \frac{31}{2} = 4 \text{ [kg]}$$

Trägheitskräfte aus Drehung um die Längsachse (vgl. Abb. 53):

$$\text{Schwimmer: } P_{x_1}' = \frac{m}{2} \cdot a \cdot \varepsilon_x = \frac{290}{2 \cdot 9,81} \cdot 2,62 \cdot 1,18 = 46 \text{ [kg]}$$

$$\text{Seeausrüstung: } P_{x_1}' = \frac{31}{2 \cdot 9,81} \cdot 2,62 \cdot 1,18 = 5 \text{ [kg]}$$

$$\text{Schwimmergerüst: } P_{x_1}' = \frac{95}{2 \cdot 9,81} \cdot 1,65 \cdot 1,18 = 10 \text{ [kg]}$$

$$\text{Flügel: } P_x' = \frac{1018^1) \cdot 1,18}{2 \cdot 5,43} = \pm 110 \text{ [kg]}$$

Trägheitskräfte aus Drehung um die Hochachse:

$$\text{Schwimmer: } P_{z_1}''' = \frac{m}{2} \cdot \dot{a} \cdot \varepsilon_z = \frac{290}{2 \cdot 9,81} \cdot 1,75 \cdot 0,8 = 20 \text{ [kg]}$$

$$V = -H = \frac{145 \cdot 8,5^2}{9,81 \cdot 12} \cdot \frac{0,8}{2,48} = 28 \text{ [kg]}$$

Vordere Schwimmerabstützung, vertikal:

$$\begin{aligned} V_v &= -1820 \frac{177,5}{248} - 6 \frac{296}{248} + 9 \frac{30}{248} - 110 \frac{137}{248} + 96 \frac{30}{248} + 102 + 140 \frac{43}{248} \\ &= -1302 - 7 + 1 - 61 + 12 + 102 + 24 = -1231 \text{ [kg]} \end{aligned}$$

horizontal:

$$Q_0 = 780 \frac{177,5}{248} \cdot \frac{31}{183} - 28 \frac{45}{183} = 95 - 7 = 88 \text{ [kg]}$$

$$Q_u = 780 \frac{177,5}{248} \cdot \frac{152}{183} - 28 \frac{138}{183} = 463 - 21 = 442 \text{ [kg]}$$

Längskräfte:

$$\Sigma L_H = 140 + 96 + 9 = 245 \text{ kg}$$

Hintere Schwimmerabstützung, vertikal:

$$\begin{aligned} V_h &= 1820 \frac{425,5}{248} + 6 \frac{48}{248} - 9 \frac{30}{248} - 110 \frac{111}{248} - 96 \frac{30}{248} - 102 - 140 \frac{43}{248} \\ &= 3122 + 1 - 1 - 49 - 12 - 102 - 24 = +2935 \text{ [kg]} \end{aligned}$$

horizontal:

$$Q_0 = 780 \frac{425,5}{248} \cdot \frac{17}{167} - 28 \frac{30}{167} = 135 - 5 = 130 \text{ [kg]}$$

¹⁾ Vgl. Fall 370.

$$Q_u = 780 \frac{425,5}{248} \cdot \frac{150}{167} - 28 \frac{137}{167} = 1203 - 23 = 1180 \text{ [kg]}$$

Die Stabkräfte werden auf Tafel V gefunden.

Das Moment um 5 ergibt:

$$M = 1338 \cdot 1,55 \cdot 17 = 35250 \text{ cmkg (Bruch)}$$

und aus 1820 kg:

$$M = 1820 \cdot 1,55 \cdot 6 = 16920 \text{ cmkg (Bruch)}$$

$$\Sigma M = 35250 + 16920 = 52170 \text{ cmkg}$$

Das Moment im Stab 5/6 beträgt:

$$M = \left[\frac{52170 \cdot \frac{20,4}{115}}{\frac{20,4}{115} + \frac{20,4}{165}} \right] \cdot \frac{115}{167} = 21200 \text{ cmkg}$$

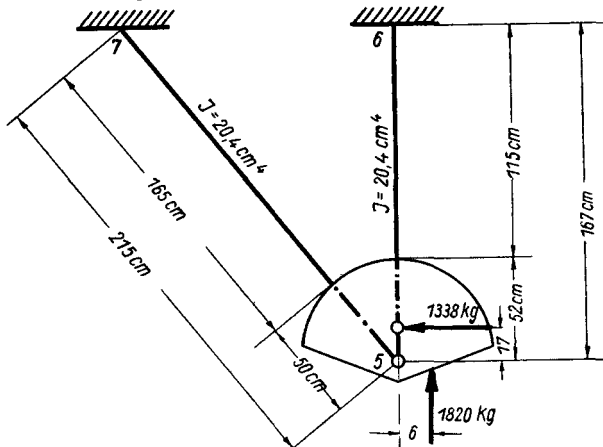


Abb. 56. Momente in den Stäben 5/6 und 5/7

und im Stab 5/7:

$$M = \frac{52170 \cdot \frac{20,4}{165}}{0,301} \cdot \frac{165}{215} = 16450 \text{ cmkg}$$

Für die Beanspruchung der vorderen Schwimmerabstützung war die exzentrische Buglandung mit Stoß von außen maßgebend. Zum Schluß der Abschnitte werden alle Stabkräfte für die einzelnen Landefälle und auch einige Flugfälle (die hier nicht berechnet wurden) zusammengestellt, so daß im Anschluß daran die Dimensionierung beginnen kann.

V. Festigkeitsnachweis zur Schwimmerdimensionierung Dornier Do 22

Der Festigkeitsnachweis zur Schwimmerdimensionierung wird mit den Kräften der Stoßkrafttabelle aus Abschnitt III, z. T. auch mit angenommenen Kräften aus alten Bauvorschriften durchgeführt, wobei sich interessante Resultate herausstellen. Die in zwei Fällen eingesetzten Kräfte für „Einseitigen Bug- bzw. Heckstoß mit Seitenstoß“ entsprechen den Lastannahmen 1933 und liegen gegenüber den heute entsprechend maßgebenden Kräften der Fälle „Exzentrischer Bug- bzw. Heckstoß, schräg von außen (oder innen)“ sehr hoch. In den übrigen drei Fällen geht die Ermittlung nach Bauvorschriften 1936.

1. Bodenlängsträger

Der Bodenlängsträger wird für die maximale Beanspruchung Fall 301 „Symmetrischer Stufenstoß“ untersucht unter der Annahme, daß der

Stoß zu $\frac{2}{3}$ vom Träger aufgenommen und an Spant 10, 12 und 13 weitergeleitet wird; außer 11 sind diese Schottspanten.

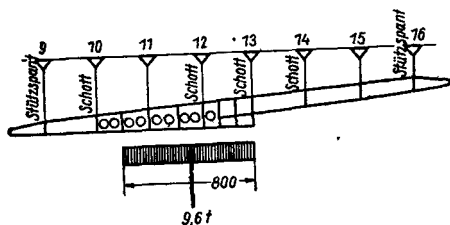


Abb. 57. Bodenlängsträgerbelastung

$$P_{Br} = 9600 \text{ [kg]}$$

Die Schwimmerbreite ist an der Angriffsstelle der Stoßkraft $a = 1,08 \text{ m}$. Die Bodendruckfläche sei mit $1,14 \text{ m}^2$ planimetriert.

Es ergibt sich also eine gleichmäßig verteilte Belastung von

$$p_{Br} = \frac{9,6}{1,14} = 8,4 \text{ [t/m}^2\text{]}$$

und die Länge der Belastungsfläche:

$$l = \frac{8,4}{9,6 \cdot 1,08} = 0,8 \text{ [m]}$$

$$\begin{aligned} \delta_{0a} &= \frac{1}{3} \cdot 1 \cdot 12250 \cdot 35 + \frac{80 \cdot 45^3}{24 \cdot 70} (2 \cdot 70^2 - 45^2) \\ &= 142915 + 750000 = 892915 \end{aligned}$$

(Fortsetzung s. Seite 58)

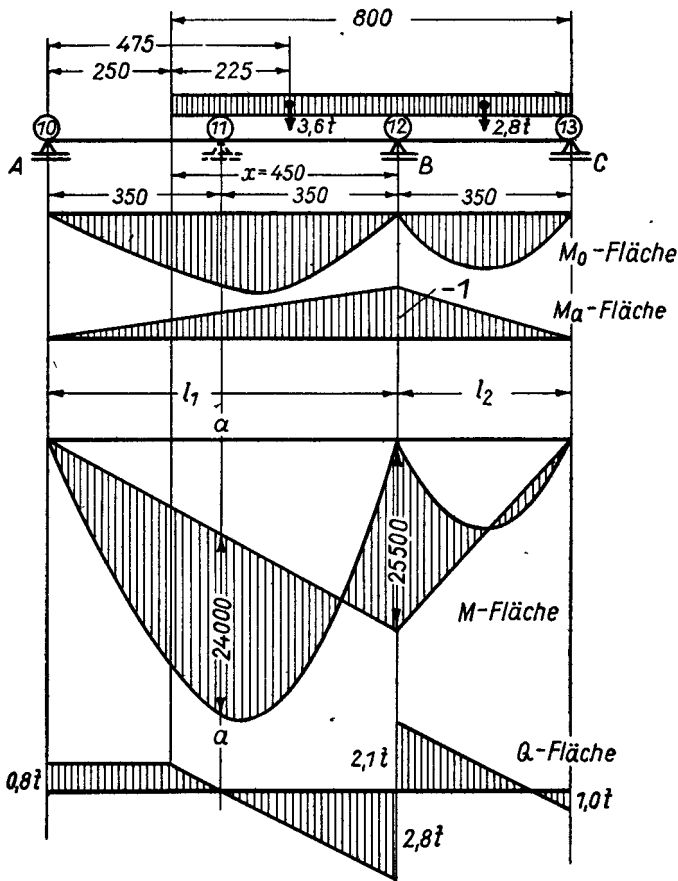


Abb. 58. Bestimmung der Momente und Querkräfte am Träger

$$p = \frac{2}{3} \cdot \frac{9,6}{0,8} = 8 \text{ [t/m]} = 80 \text{ [kg/cm]}$$

$$8 \cdot 0,45 = 3,6 \text{ [t]}; 8 \cdot 0,35 = 2,8 \text{ [t]}$$

$$l_1 = 70 \text{ cm}, l_2 = 35 \text{ cm}, x = 45 \text{ cm}$$

Zur Erklärung der nächsten Zeilen siehe Bd. VI „Statik“.

Angenommen: $M_a = 1 \text{ [cmkg]}$

$$\text{Moment infolge Feldbelastung: } M_{0B-C} = \frac{p \cdot l^2}{8} = \frac{80 \cdot 35^2}{8} = 12250 \text{ [kgcm]}$$

$$\delta_{aa} = \frac{1}{3} \cdot 35 + \frac{1}{3} \cdot 70 = 35$$

$$X_a = \frac{\delta_{0a}}{\delta_{aa}} = \frac{892915}{35} = 25500 \text{ [cmkg]}$$

$$A = 3,6 \cdot \frac{22,5}{70} - \frac{25,5}{70} = 0,8 \text{ [t]}$$

$$B = 3,6 \cdot \frac{47,5}{70} + \frac{25,5}{70} + \frac{25,5}{35} + \frac{2,8}{2} = 4,9 \text{ [t]}$$

$$C = \frac{2,8}{2} - \frac{25,5}{35} = 1,0 \text{ [t]}$$

Im Schnitt bei Spant 11 (a — a) werden $M = 24000 \text{ cmkg}$ gemessen. Die Querkraft Q ist Null (Abb. 58).

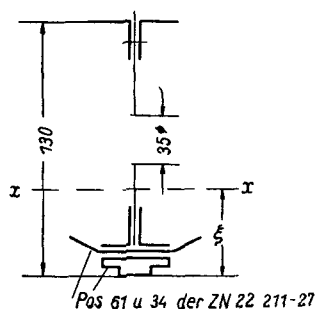


Abb. 59. Bodenlängsträger
bei Spant 11
(Steg: 120/1,2 — Ø 35)

Die Festigkeit des Bodenlängsträgerprofils (Abb. 59) soll bei Spant 11 auf Biegung geprüft werden. — Wohlgermerkt versteht der Statiker unter Dimensionierung eines Profils oder Baugliedes erst die Auffindung einer günstigsten Querschnitts- bzw. Trägerform. Hier liegen die Verhältnisse durch das vorgegebene Beispiel umgekehrt. Weit schwieriger ist eine Dimensionierung, wenn gar keine Anhaltspunkte vorliegen.

Es muß die Schwerachse und das Trägheitsmoment des Profils berechnet werden.

b	h	F	ξ'	F · ξ'	a	F · a ²	I _{eigen}
└─ 20 · 20	2,0	1,54	12,3	18,90	6,9	73,5	0,57
1,2	42,5	0,51	10,8	5,50	5,4	14,9	0,77
1,2	42,5	0,51	3,1	1,58	2,3	2,7	0,77
└─ 18 · 18	1,2	0,66	1,5	0,99	3,9	10,0	0,25
60	1,4	0,84	0,9	0,75	4,5	17,0	—
Leiste	—	1,16	0,4	0,46	5,0	29,0	—
		5,22		28,18		147,1	2,36

$$F = 5,22 \text{ cm}^2; I = 147,1 + 2,36 = 149,46 \text{ cm}^4$$

$$\xi = \frac{28,18}{5,22} = 5,4 \text{ cm}$$

Widerstandsmomente:

$$W_{x_u} = \frac{149,46}{5,4} = 27,7 \text{ cm}^3$$

$$W_{x_o} = \frac{149,46}{7,6} = 19,7 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{b_u} = \frac{M}{W} = - \frac{24000}{27,7} = - 866 \text{ [kg/cm}^2\text{]} \text{ (Werkstoffe: 3125.6}^1\text{), 3116.5}^2\text{)}$$

$$\sigma_{b_o} = + \frac{24000}{19,7} = + 1220 \text{ [kg/cm}^2\text{]} \text{ (Werkstoff: 3125.4}^3\text{)}$$

Schnitt bei Spant 12 (Abb. 60):

Biegemoment $M_b = 25500 \text{ cmkg}$; Trägerhöhe $h = 13,5 \text{ cm}$; Querkraft $Q = 2,8 \text{ t}$.

$$F_{\text{Obergurt}} = 1,54 + 0,24 = 1,78 \text{ cm}^2$$

$$F_{\text{Untergurt}} = 1,43 + 1,16 + 0,84 = 3,43 \text{ cm}^2$$

$$\text{Lochabzug } 2 \varnothing 3,5/3,4 + 4 \varnothing 3,5/2,8 = 0,63 \text{ cm}^2$$

$$F_{\text{Untergurt}} = 3,43 - 0,63 = 2,8 \text{ cm}^2$$

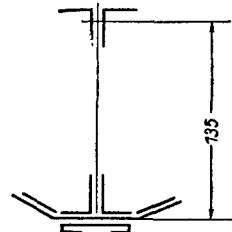


Abb. 60.
Profil bei Spant 12

$$\sigma_u = \frac{25500}{13,5 \cdot 2,8} = + 680 \text{ [kg/cm}^2\text{]} \text{ (3125.6; 3116.5)}$$

$$\sigma_o = - \frac{25500}{13,5 \cdot 1,78} = - 1060 \text{ [kg/cm}^2\text{]} \text{ (3125.4)}$$

Die Druckkraft wird im Obergurt durch Flächenpressung übertragen und die Zugkraft im Untergurt durch die durchlaufenden Teile Pos. 61, 34 der Zeichnungsnummer 22. 211—27.

$$F_{\text{Steg}} = 14 \cdot 0,12 = 1,68 \text{ cm}^2$$

$$\tau = \frac{Q}{F} = \frac{2800}{1,68} = 1665 \text{ kg/cm}^2 \text{ (3116.5); } \tau_{\text{zul}} = 2340 \text{ kg/cm}^2$$

Im Durchzug Bö 42 DIN L 401:

$$Q = 2400 \text{ kg; } F = 0,12 \text{ (14 — 3,2)} = 0,12 \cdot 10,8 = 1,3 \text{ cm}^2$$

$$\tau = \frac{2400}{1,3} = 1850 \text{ kg/cm}^2 \text{ (3116.5)}$$

Im folgenden wird ein Versuchsträger dem Schwimmerlängsträger gegenübergestellt. Der erste hat eine Trägerhöhe $h = 238 \text{ mm}$, einen Durchzug $d_{\varnothing} = 100 \text{ mm}$ und eine Blechstärke $\delta = 1,22 \text{ mm}$.

¹⁾ DM 31 vergütet und kaltverfestigt.

²⁾ 681 ZB^{1/2} plattiert, vergütet und nachgerichtet.

³⁾ DM 31 vergütet.

$$h - d = 138 \text{ [mm]}; F = 1,68 \text{ cm}^2$$

$$\tau = \frac{3100}{1,68} = 1850 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

Wie ersichtlich, betrug die aufgenommene Querkraft $Q = 3100 \text{ kg}$. Es ergeben sich daraus die Verhältnisse:

$$\frac{h}{d} = \frac{238}{100} = 2,38 \text{ und } \frac{\delta}{h} = \frac{1,22}{238} = \frac{1}{195}$$

Der Schwimmerlängsträger hat im Durchzug Bö 42 eine Trägerhöhe $h = 140 \text{ mm}$, einen Durchzug $d_{\varnothing} = 32 \text{ mm}$ und eine Blechstärke $\delta = 1,2 \text{ mm}$.

$$h - d = 108 \text{ [mm]}; F = 1,30 \text{ cm}^2$$

$$\tau = \frac{2400}{1,30} = 1850 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

Die auftretende Querkraft war $Q = 2400 \text{ kg}$; siehe vorher.

Es bestehen die Verhältnisse:

$$\frac{h}{d} = \frac{140}{32} = 4,38 \text{ und } \frac{\delta}{h} = \frac{1,2}{140} = \frac{1}{116}$$

Die Gegenüberstellung zeigt, daß der Schwimmerträger in allen Teilen günstiger ist, so daß die Übertragung der Querkraft durch das gelochte Stegblech Pos. 50 gewährleistet ist.

Anschluß der Querkraft an Spant 12:

$$Q = 2800 \text{ kg}; 14 \times \text{Niet } 4^{\varnothing}; N = \frac{2800}{14} = 200 \text{ kg/Niet}$$

2. Schwimmerbeplankung (Spant 8 bis 9)

Die Schwimmerbeplankung zwischen Spant 8 und 9 soll auf Festigkeit für die Beanspruchung durch Fall „Symmetrischer Bugstoß“ untersucht werden.

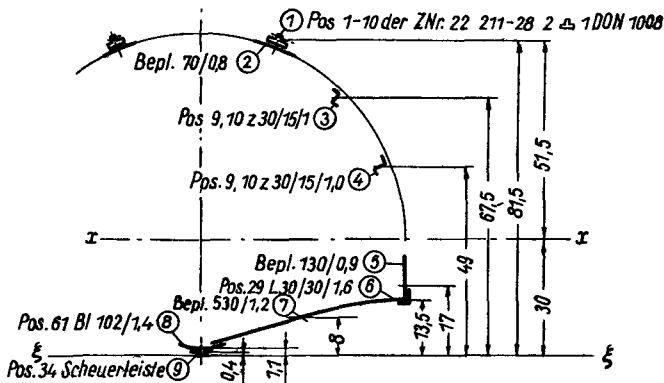





Abb. 61. Querschnitt des Schwimmers zwischen Spant 8 und 9

Zu diesem Zweck werden der mittlere Spantquerschnitt aufgezeichnet, die Profil- und Blechpositionen herangeschrieben und die Gesamtschwerachse ermittelt (Abb. 61). Durch die Stoßkraft entsteht ein Biegemoment um den Systempunkt des Anschlußspantes 9.

Pos.	Benennung	F	ξ'	$F \cdot \xi'$	a	$F \cdot a^2$	I_{eigen}
1	2 · 2,74	5,48	81,5	447,0	51,5	14600	3,0
2	2 Bleche 70 · 0,8	1,12	80,5	90,0	50,5	2860	
3	2  30 · 15 · 1,0	1,24	67,5	83,7	37,5	1740	
4	2  30 · 15 · 1,0	1,24	49,0	60,8	19,0	448	
5	2 Bleche 130 · 0,9	2,34	17,0	39,8	13,0	396	3,8
6	2  30 · 30 · 1,6	1,80	13,5	24,3	16,5	490	1,5
7	2 Bleche 530 · 1,2	12,72	8,0	102,0	22,0	6160	
8	1 Blech 102 · 1,4	1,43	1,1	1,6	28,9	1200	
9	Scheuerleiste	1,16	0,4	0,5	29,6	1020	
		28,53		849,6		28914	8,3

$$F = 28,53 \text{ cm}^2; I = 28914 + 8,3 = 28922 \text{ [cm}^4\text{]}$$

$$\xi = \frac{849,6}{28,53} = 30 \text{ cm}$$

$$W_{x_u} = \frac{28922}{30} = 964 \text{ cm}^3$$

$$W_{x_o} = \frac{28922}{51,5} = 562 \text{ cm}^3$$

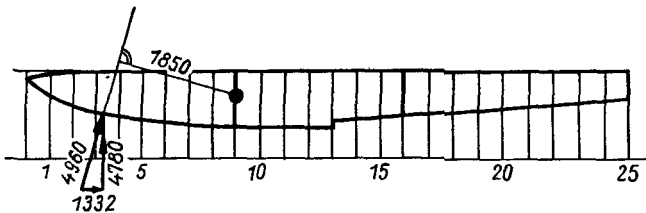


Abb. 62. Bugstoß am Schwimmer

$$M_b = 4960 \cdot 1,85 = 9180 \text{ mkg bzw. } 918000 \text{ cmkg}$$

$$Q = 4780 \text{ kg}$$

$$\sigma_{b_o} = - \frac{918000}{562} = - 1630 \text{ [kg/cm}^2\text{]} \quad (3125.6)$$

$$\sigma_{b_u} = \frac{918000}{964} = + 950 \text{ [kg/cm}^2\text{]} \quad (3125.6; 3116.5)$$

Es folgt die Ermittlung der zulässigen Knickspannung nach Johnson für Profile Pos. 1 ÷ 10 der Zeichnung 22.211—28 zwischen Spant 8 und 9.

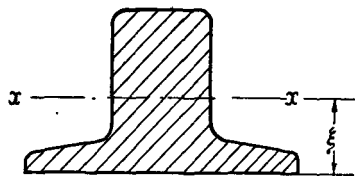


Abb. 63. Profilquerschnitt

b	h	F	ξ'	$F \cdot \xi'$	a	$F \cdot a^3$	I_{eigen}
1,2	0,225	0,27	0,112	0,0302	0,708	0,135	0,73
1,1	2,0	2,20	1,000	2,2	0,18	0,071	
1,3	0,225	0,29	0,112	0,03	0,708	0,145	
		2,76		2,262		0,351	0,73

$$\xi = \frac{2,262}{2,76} = 0,82 \text{ cm}; I_x = 0,351 + 0,73 = 1,081 \text{ cm}^4$$

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{F}} = \sqrt{\frac{1,081}{2,76}} = 0,626 \text{ cm}$$

$$l = 30 \text{ cm}; \lambda = \frac{l}{i_x} = \frac{30}{0,626} = 48 \text{ entsprechend } \sigma_K = -2360 \text{ kg/cm}^2$$

Die von Spant 3 bis 9 auftretende Längskraft $L = 1332 \text{ kg}$ erhöht in der Druckzone bzw. dem Bootsdeck die Beanspruchung auf:

$$\sigma_{\text{ges}} = -1630 - \frac{1332}{28,53} = -1630 - 47 \approx -1677 \text{ [kg/cm}^2\text{]} (3125.6)$$

Im allgemeinen wird zwar mit sicheren Spannungen und sicheren Kräften gerechnet; da hier aber mit Bruchkräften und Bruchspannungen gerechnet wurde, kann man einen gewissen Dimensionierungsüberschuß errechnen. Die zugehörige Bruchspannung für 3125.6 beträgt in diesem Falle 2360 kg/cm^2 , also:

$$\ddot{U} = \frac{2360}{1677} = 29 \% \left(2360 - 1677 = 683; \frac{683}{23,6} = 29 \right)$$

Untersuchung des Profils Pos. 9, 10 (Z Nr. 22.211—27) im Punkt 3:

$M_b = 918000 \text{ cmkg}$. Das statische Moment wird:

$$S = F \cdot a = 1,24 \cdot 37,5 = 46,5 \text{ cm}^3$$

$$I_{\text{Spant}} = 28922 \text{ cm}^4$$

Die Stabkraft im Einzelprofil ergibt sich aus:

$$P_L = \frac{M \cdot S}{I} = \frac{918000 \cdot 46,5}{28922} = 1480 \text{ [kg]}$$

$$\sigma = -\frac{1480}{1,24} = -1190 \text{ [kg/cm}^2\text{]} \quad (3116.4)$$

$$i_x = 1,17 \text{ cm}; l = 30 \text{ cm}; \lambda = \frac{l}{i_x} = 25,6 \text{ entsprechend}$$

$$\sigma_K = 2120 \text{ kg/cm}^2 \text{ ergibt: } \ddot{U} = \frac{2120}{1190} = 44 \%$$

Anschluß des Profils bei Spant 9:

$$\text{Kraft je Profil } P' = -\frac{1480}{2} = -740 \text{ kg}$$

$$3 \times \text{Niet } 4\varnothing + 1 \times \text{Niet } 3\varnothing; \text{ Nietkraft} = \frac{740}{3 + 0,56} = 208 \text{ kg/Niet}$$

Untersuchung des Blechstoßes im Boden bei Spant 9:
Nietung nach DoN 680.

3,5 \varnothing ; Teilung t = 16 mm, 2reihig, Blechstärke s = 0,12.

$$\begin{aligned} \text{Kraft pro Teilung } P &= \sigma \cdot s \cdot t \\ &= 950^1) \cdot 0,12 \cdot 1,6 = 182 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$N_{3,5} = \frac{182}{2} = 91 \text{ kg/Niet}$$

3. Annahme eines ungünstigen Falles für Bugbeplankung

Es soll angenommen werden, daß die Beplankung zwischen Spant 8 und 9 ungünstig durch einen Bugstoß mit Seitenstoß beansprucht wird, bei dem die seitliche Stoßkraft 50 % der Vertikalkomponente der Bugkraft beträgt. Nach Abb. 62 betrug $P_V = 4780 \text{ kg}$; also wird $P_H = 0,5 \cdot 4780 = 2390 \text{ kg}$.

P_H erzeugt bei Spant 9 ein Biegemoment von:

$$M_H = 2390 \cdot 210 = 501000 \text{ [cmkg]}$$

Die Beanspruchung aus symmetrischer Buglandung mit 918000 cmkg bzw. 4960 kg zeigt der vorstehende Abschnitt 2.

Der Horizontalstoß wird vom Schwimmerboden aufgenommen. Dieser ist in Abb. 64 aufgezeichnet. Zur Ermittlung der Biegespannungen muß das Trägheitsmoment tabellarisch errechnet werden.

¹⁾ Siehe S. 61 unten.

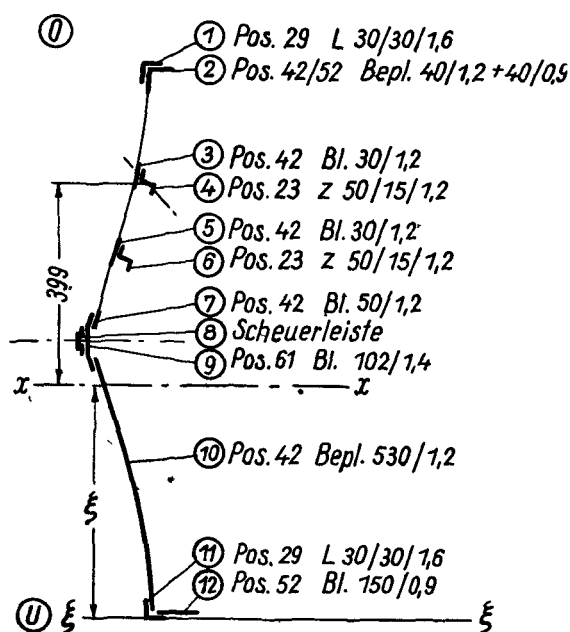


Abb. 64. Schwimmerboden mit Profilen

Pos.	Benennung	F	ξ'	$F \cdot \xi'$	a	$F \cdot a^2$	I_{eigen}
1	L 30 · 30 · 1,6	0,90	109	98,0	62,5	3520	1490
2	Blech 40 · 1,2 + 40 · 0,9	0,84	109	91,6	62,5	3280	
3	Blech 30 · 1,2	0,36	88	31,7	41,5	620	
4	L 50 · 15 · 1,2	1,00	86,4	86,4	39,9	1590	
5	Blech 30 · 1,2	0,36	72,2	26,0	25,7	238	
6	L 50 · 15 · 1,2	1,00	70,6	70,6	24,1	580	
7	Blech 50 · 1,2	0,60	59,5	35,7	13,0	101	
8	Scheuerleiste	1,16	55,0	63,8	8,5	84	
9	Blech 102 · 1,4	1,43	55,0	78,6	8,5	103	
10	Beplankung 530 · 1,2	6,36	27,2	173,0	19,3	2370	
11	L 30 · 30 · 1,6	0,90	0,8	0,72	45,7	1880	
12	Blech 150 · 0,9	1,35	—	—	46,0	2860	
		16,26		756,12		17 226	

$$\xi = \frac{756,12}{16,26} = 46,5 \text{ [cm]}$$

$$I_x = 17226 + 1490 = 18716 \text{ [cm}^4\text{]}$$

$$W_x = \frac{18716}{63,5} = 295 \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$W_{x_u} = \frac{18716}{46,5} = 403 \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$\sigma_{b_o} = - \frac{501000}{295} = - 1700 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

$$\sigma_{b_u} = + \frac{501000}{403} = + 1245 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

Durch Überlagerung der Spannungen aus dem Biegemoment der Vertikalkraft (V, 2) ergeben sich folgende Beanspruchungen:

Spannung im Winkel Pos. 29 aus M_b :

$$\sigma = + 950 \cdot \frac{16,5}{30} = + 522 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{ges} = 522 + 1245 = 1767 \text{ [kg/cm}^2\text{]} \quad (3116,5)$$

$$\sigma_{ges} = 522 - 1700 = - 1178 \text{ [kg/cm}^2\text{]} \quad (3116,5)$$

Untersuchung des Bodenlängsprofils Pos. 23 in Punkt 4:

$$\lceil 50 \cdot 15 \cdot 1,2; F = 1,0 \text{ cm}^2 \text{ (vgl. Abb. 64)}$$

Die Druckkraft im Profil wird gefunden aus:

$$P_D = \frac{M(F \cdot a)}{I} = \frac{501000 [1,0 (86,4 - 46,5)]}{18716} = - 1070 \text{ [kg]}$$

$$\sigma_d = \frac{P}{F} = - \frac{1070}{1,0} = - 1070 \text{ kg/cm}^2; i = 1,85 \text{ cm}; l = 30 \text{ cm};$$

$$\lambda = \frac{l}{i} = \frac{30}{1,85} = 16,2 \text{ entsprechend } \sigma_K = 2200 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

Anschluß des Profils bei Spant 9:

$$P_D = - 1070 \text{ kg}; 3 \times \text{Niet } 4 \varnothing + 2 \times \text{Niet } 3,5 \varnothing$$

$$\text{Nietkraft} = \frac{1070}{3 + 2 \cdot 0,765} = 236 \text{ kg/Niet}$$

Beanspruchung der Behütung durch P_v , P_H und Torsionsmoment M_D bei Spant 9 (Abb. 65):

$$P_v = 4780 \text{ kg}, \quad P_H = 2390 \text{ kg}$$

$$M_d = P_v \cdot a = 4780 \cdot 0,27 = 1290 \text{ [mkg]}$$

a) aus Torsion:

$$F = \frac{54,5^2 \cdot \pi}{2} + 15,5 \cdot 109 + \frac{11,5 \cdot 109}{2} = 6937 \text{ [cm}^2\text{]}$$

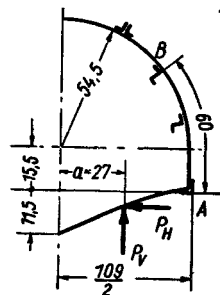


Abb. 65. Kräfte bei Spant 9

Der Schubfluß aus dem Torsionsmoment wird:

$$q = \boxed{\tau \cdot s = \frac{M}{2F}} = \frac{129000}{2 \cdot 6937} = 9,3 \text{ [kg/cm]}$$

$$s_{\text{vorh}} = 0,9 \text{ mm, also:}$$

$$\tau_d = \frac{9,3}{0,09} = 103 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

b) durch Querkraft Q_V :

Zur Aufnahme der Querkraft ist der Beplankungsanteil A ÷ B eingesetzt (Bepl. Pos. 52: $s = 0,9 \text{ mm}$; $h = 60 \text{ cm}$).

$$Q_V = \frac{P_V}{2} = \frac{4780}{2} = 2390 \text{ kg}$$

Es kommt als Querkraftanteil aus dem Torsionsmoment hinzu:

$$Q_{M_d} = \tau \cdot s \cdot h = q \cdot h = 9,3 \cdot 60 = 558 \text{ [kg]}$$

$$Q_{\text{ges}} = 2390 + 558 = 2948 \text{ [kg]}$$

$$\sigma = \frac{Q_{\text{ges}}}{\frac{h}{2} \cdot s} = \frac{2 \cdot 2948}{60 \cdot 0,09} = + 1092 \text{ [kg/cm}^2\text{]} \quad (3116,5)$$

c) durch Querkraft Q_H :

Q_H wird durch den Boden aufgenommen; hinzu kommt ein Querkraftanteil aus M_d .

$$Q_{M_d} = q \cdot h = 9,3 \cdot 109 = 1012 \text{ kg, wobei } q \text{ der Schubfluß ist.}$$

$$Q_{\text{ges}} = 2390 + 1012 = 3402 \text{ [kg]}$$

Beplankung Pos. 42: $s = 1,2 \text{ mm}$; $h = 105 \text{ cm}$

$$\sigma = \frac{2 \cdot 3402}{105 \cdot 0,12} = 540 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

Die maximale Zugbeanspruchung im Boden aus P_H und P_V ist:

$$\sigma_{\text{ges}} = + 1767^1) \text{ kg/cm}^2, \text{ also:}$$

$$\sigma_{\text{ges}} = \sqrt{\left(\frac{540}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{540}{\sqrt{2}} + 1767\right)^2} = 2180 \text{ [kg/cm}^2\text{]} \quad (3116,5)$$

4. Schwimmerbeplankung (Spant 16 bis 17)

Die Schwimmerbeplankung wird zwischen Spant 16 und 17 für „Symmetrische Hecklandung“ untersucht. (Der Hebelarm von der Stoßkraft am Spant 22 bis Spant 16 beträgt 224 cm.)

Das maßgebende Biegemoment wird:

$$M_b = 1910 \cdot 224 = 427500 \text{ cm/kg}$$

$$Q = 1910 \text{ kg}$$

¹⁾ Siehe S. 65.

$$\xi = \frac{656,8}{22,64} = 29 \text{ cm};$$

$$I = 14814,8 + 10,6 \\ = 14824 \text{ [cm}^4\text{]}$$

$$W_{x_s} = \frac{14824}{36} = 412 \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$W_{x_u} = \frac{14824}{29} = 510 \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$\sigma_{b_o} = \frac{M}{W} = - \frac{427500}{412} \\ = -1138 \text{ [kg/cm}^2\text{]} \\ (3125.6)$$

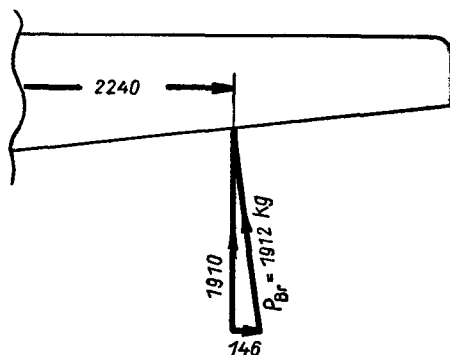


Abb. 66.

$$\sigma_{b_u} = + \frac{427500}{510} = +840 \text{ [kg/cm}^2\text{]} \quad (3116.5)$$

$$i = 0,626 \text{ cm (siehe S. 62); } l = 32 \text{ cm; } \lambda = \frac{l}{i} = 51; \sigma_K = 2280 \text{ kg/cm}^2$$

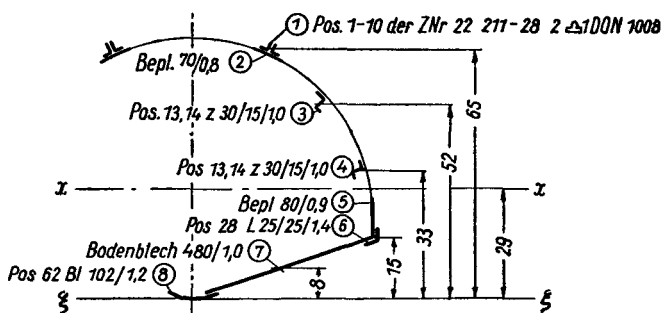


Abb. 67. Spantquerschnitt

Pos.	Benennung	F	ξ'	$F \cdot \xi'$	a	$F \cdot a^2$	I_{eigen}
1	2 · 2,74	5,48	65	356,0	36	7100,0	3,0
2	2 Bleche 70 · 0,8	1,12	64	71,7	35	1370,0	
3	2 30 · 15 · 1,0	1,24	52	64,5	23	656,	
4	2 30 · 15 · 1,0	1,24	33	41,0	4	19,8	
5	2 Bleche 80 · 0,9	1,44	19	27,3	10	144,0	7,6
6	2 25 · 25 · 1,4	1,30	15	19,5	14	255,0	
7	2 Bleche 480 · 1,0	9,60	8	76,8	21	4240,0	
8	1 Blech 102 · 1,2	1,22	—	—	29	1030,0	
		22,64		656,8		14814,8	10,6

Die im Heckteil auftretende Längskraft $L = 146$ kg erhöht in der Druckzone (Bootsdeck) die Beanspruchung auf:

$$\sigma_{\text{ges}} = -1138 - \frac{146}{22,64} = -1144 \text{ [kg/cm}^2\text{]} \quad (3125.6)$$

Untersuchung des Profils Pos. 13, 14 (ZNr. 22.211 — 27) in Punkt 3:

$$M_b = 427500 \text{ cmkg, statisches Moment } S = 1,24 \cdot 23 = 28,5 \text{ cm}^3, \\ I_{\text{Spant}} = 14824 \text{ cm}^4$$

Stabkraft für beide Stäbe:

$$P_D = -\frac{427500}{14824} \cdot 28,5 = -821 \text{ [kg]}$$

$$\sigma_d = -\frac{821}{1,24} = -662 \text{ [kg/cm}^2\text{]} \quad (3116.4)$$

$$i = 1,17 \text{ cm; } l = 32 \text{ cm; } \lambda = \frac{l}{i} = 27,3 \text{ entsprechend } \sigma_K = 2000 \text{ kg/cm}^2$$

Anschluß des Profils bei Spant 16:

$$\text{Kraft je Profil: } P' = \frac{821}{2} = 410,5 \text{ kg}$$

$$3 \times \text{Niet } 4\varnothing + 1 \times \text{Niet } 3,5\varnothing; \text{ Nietkraft} = \frac{410,5}{3 + 1 \cdot 0,56} = 115 \text{ kg/Niet}$$

Wie unter V, 3 kann die Beplankung wieder für einen besonders ungünstigen Fall zwischen Spant 16 und 17 untersucht werden.

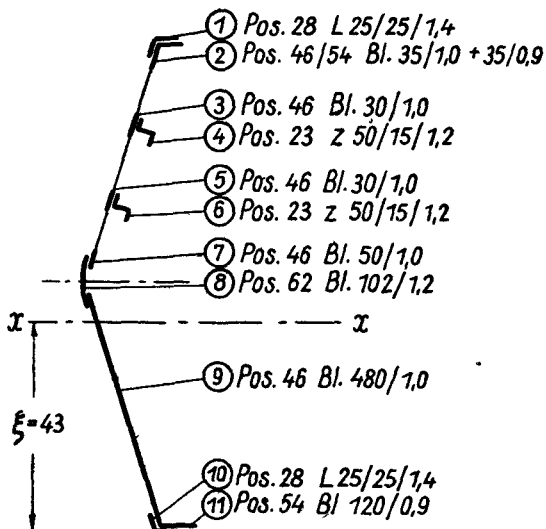


Abb. 68. Spantbodenquerschnitt (16, 17)

5. Annahme eines ungünstigen Falles für Heckbeplankung

$$P_V = 1910 \text{ kg;}$$

$$P_H = 0,5 \cdot 1910 = 955 \text{ kg}$$

$$M_{b_V} = 427500 \text{ cmkg;}$$

$$M_{b_H} = 955 \cdot 224 \\ = 214000 \text{ cmkg}$$

$$\xi = \frac{520,6}{12,16} = 43 \text{ cm;}$$

$$I = 11481,5 + 925 \\ = 12406 \text{ [cm}^4\text{]}$$

Pos.	Benennung	F	ξ'	$F \cdot \xi'$	a	$F \cdot a^2$	I_{eigen}
1	$\angle 25 \cdot 25 \cdot 1,4$	0,65	98,3	64,0	55,3	1990	925
2	Blech-35 · 1 + 35 · 0,9	0,66	98,3	65,0	55,3	2020	
3	Blech 30 · 1	0,30	82	24,0	39,0	455	
4	$\angle 50 \cdot 15 \cdot 1,2$	1,00	80	80,0	37,0	1370	
5	Blech 30 · 1	0,30	66,8	20,0	23,8	170	
6	$\angle 50 \cdot 15 \cdot 1,2$	1,00	64,8	64,8	21,8	475	
7	Blech 50 · 1	0,50	54,0	27,0	11,0	60	
8	Blech 102 · 1,2	1,22	49,5	60,4	6,5	51,5	
9	Blech 480 · 1	4,80	24,0	115,0	19,0	1730,0	
10	$\angle 25 \cdot 25 \cdot 1,4$	0,65	0,7	0,4	42,3	1160	
11	Blech 120 · 0,9	1,08	—	—	43,0	20000	
		12,16		520,6		11481,5	925

$$W_{x_0} = \frac{12406}{56} = 222 \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$W_{x_u} = \frac{12406}{43} = 290 \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$\sigma_{b_0} = - \frac{214000}{222} = -965 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

$$\sigma_{b_u} = \frac{214000}{290} = +738 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

Bei Überlagerung mit den Spannungen aus M_{b_v} treten folgende Beanspruchungen auf (Spannung im Winkel Pos. 28):

$$\sigma = 840 \frac{14}{29} = 405$$

$$\sigma_{\text{ges}} = 405 + 738 = 1143 \text{ [kg/cm}^2\text{]} \quad (3116.5)$$

$$\sigma_{\text{ges}} = 405 - 965 = -560 \text{ [kg/cm}^2\text{]} \quad (3116.5)$$

Untersuchung des Bodenlängsprofils Pos. 23 in Punkt 4:

$$\angle 50 \cdot 15 \cdot 1,3; F = 1,0 \text{ cm}^2$$

$$\text{Druckkraft } P_D = - \frac{214000 \cdot 1,0 \cdot 37}{12406} = -640 \text{ [kg]}$$

$$\sigma_d = - \frac{640}{1,0} = -640 \text{ [kg/cm}^2\text{]}; i = 1,85 \text{ cm}; l = 32 \text{ cm}; \lambda = \frac{1}{i} = 17,3$$

entsprechend $\sigma_K = 2180 \text{ kg/cm}^2$

Anschluß des Profils bei Spant 16:

$$P_D = -640 \text{ kg}; 3 \times \text{Niet } 4^\circ + 1 \times \text{Niet } 3,5^\circ$$

$$\text{Nietkraft} = \frac{640}{3 + 0,765} = 170 \text{ kg/Niet}$$

Beanspruchung der Beplankung durch P_V , P_H und M_d bei Spant 16:

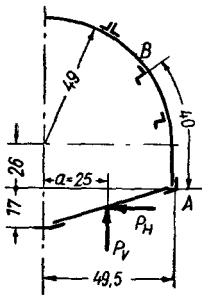


Abb. 69. Spantquerschnitt

$$P_V = Q_V = 1910 \text{ kg}$$

$$P_H = Q_H = 955 \text{ kg}$$

$$M_d = P_V \cdot Q = 1910 \cdot 0,25 = 477 \text{ [mkg]}$$

a) aus Torsion:

$$F = \frac{49^2 \cdot \pi}{2} + 2,6 \cdot 99 + 49,5 \cdot 17$$

$$= 3770 + 257 + 842 = 4869 \text{ cm}^2$$

$$\tau \cdot s = q = \frac{477}{2 \cdot 4869} = 4,9 \text{ [kg/cm]}$$

$$s_{\text{vorh}} = 0,9 \text{ mm, also:}$$

$$\tau_d = \frac{4,9}{0,09} = \underline{54} \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

b) durch Querkraft Q_V :

Anteil A ÷ B dient zur Querkraftaufnahme (Pos. 56: $s = 0,9 \text{ mm}$; $h = 40 \text{ cm}$).

$$Q_V = \frac{P_V}{2} = \frac{1910}{2} = 955 \text{ kg}$$

Der Querkraftanteil aus M_d wird mit

$$Q_{M_d} = \tau \cdot s \cdot h = q \cdot h = 4,9 \cdot 40 = 196 \text{ [kg]}$$

addiert, so daß man erhält:

$$Q_{\text{ges}} = 955 + 196 = 1151 \text{ [kg]}$$

$$\sigma = \frac{2 \cdot 1151}{40 \cdot 0,09} = + \underline{640} \text{ [kg/cm}^2\text{]} \quad (3116,5)$$

c) durch Querkraft Q_H :

Q_H wird durch den Boden aufgenommen, hinzu kommt noch ein Anteil aus M_d :

$$Q_{M_d} = q \cdot h = 4,9 \cdot 99 = 485 \text{ [kg]} \quad (q = \text{Schubfluß})$$

$$Q_{\text{ges}} = 955 + 485 = 1440 \text{ [kg]}$$

Beplankung Pos. 46: $s = 1,0 \text{ mm}$; $h = 95 \text{ cm}$

$$\sigma = \frac{2 \cdot 1440}{0,1 \cdot 95} = \underline{313} \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

Die maximale Zugbeanspruchung im Boden aus P_H und P_V ist:

$$\sigma = 1143^1) \text{ kg/cm}^2, \text{ also:}$$

¹⁾ Siehe S. 69.

$$\sigma_{\text{ges}} = \sqrt{\left(\frac{313}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{313}{\sqrt{2}} + 1143\right)^2} = \underline{1380} \text{ [kg/cm}^2\text{]} \quad (3116.5)$$

6. Festigkeit der Decksüberbrückung

Die Schwimmer-Verschlußleisten (22. 211 — 27) wurden als Druckgurt bei der Schwimmerbeplankung untersucht. Die zulässigen Spannungen wurden an keiner Stelle überschritten.

Stoß der inneren Verschlußleisten bei Spant 9:

$$M_b = 918000 \text{ cmkg}; \quad I_{\text{Spant}} = 28922 \text{ cm}^4$$

$$S_{\text{Leiste}} = F \cdot a = 1,04 \cdot 51,5 = \underline{53,6} \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$P_D = \frac{918000 \cdot 53,6}{28922} = \underline{1695} \text{ [kg]}$$

$$4 \times \text{Niet } 4\varnothing + 3 \times \text{Niet } 5\varnothing$$

$$N = \frac{1695}{4 + 3 \cdot 1,56} = \underline{196} \text{ kg/Niet}$$

$$N = \frac{1695}{3 + 4 \cdot 0,64} = \underline{305} \text{ kg/Niet}$$

Da die äußere Verschlußleiste zugleich Stoßlasche ist (3 Duralniete $5\varnothing$), erhöht sich an dieser Stelle die Spannung um:

$$\sigma = \frac{3 \cdot 305}{1,7} = \underline{538} \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

$$\sigma_{\text{ges}} = -1677 + 538 = \underline{-1139} \text{ [kg/cm}^2\text{]} \quad (\text{siehe S. 62})$$

Diese Spannung tritt nur bei Spant 9 auf, braucht aber nicht als Knickspannung gewertet zu werden.

VI. Konstruktionsbeispiele und -einzelheiten

Die Konstruktion des Berechnungsbeispiels ist z. T. aus Tafel VI ersichtlich. Die zeichnerische Darstellung ist derart klar, daß von einer weiteren Beschreibung abgesehen wird. Gleichfalls interessant ist das Zentralschwimmerflugzeug „Chance-Vought-Corsair“ (1934), das mit zwei Stütزشwimmern ausgerüstet als katapultierfähiger Borderkunder gebaut worden ist. Als Baustoff wurde fast durchweg Alclad verwendet.

1. Beschreibung eines Zentral- und eines Stütزشwimmers

Der in Abb. 70 dargestellte Zentralschwimmer gehört der Mittellängsschott-Bauweise an und ist durch 2 geschottete Hauptspanten in 6 Räume unterteilt. In Deutschland ist diese Bauweise nicht so üblich

und bei der Eigenart der Wellenbildung auf Nord- und Ostsee nicht so zweckmäßig, dagegen sehr in Amerika. Der Zentralschwimmer hat ein Volumen von $3,4 \text{ m}^3$ und ein Gewicht mit Beschlägen von $G = 168 \text{ kg}$. Aus dem Volumen kann man Schlüsse auf das Fluggewicht ziehen.

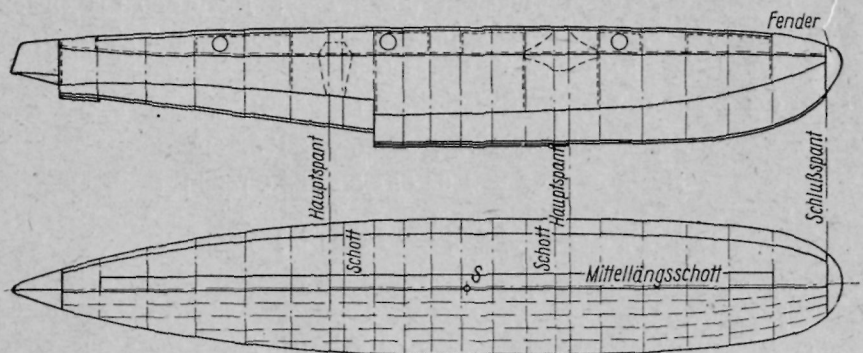


Abb. 70. Übersichtszeichnung des Zentralschwimmers Chance-Vought-Corsair

Der Schwimmer ist zweistufig und stark gekielt, besonders vor der ersten Stufe, so daß die Landung im Seegang gut ist. Die Konstruktion ist echt amerikanisch-serienmäßiger Natur, z. B. Verwendung gleicher Spant-, Bodenlängs- und Aussteifungsprofile von Bug bis Heck, was im Hinblick auf Massenfertigung nicht verwundert. Die Profile sind offene U-, Z-, V- und T-Profile und treten nur am Schwimmerboden

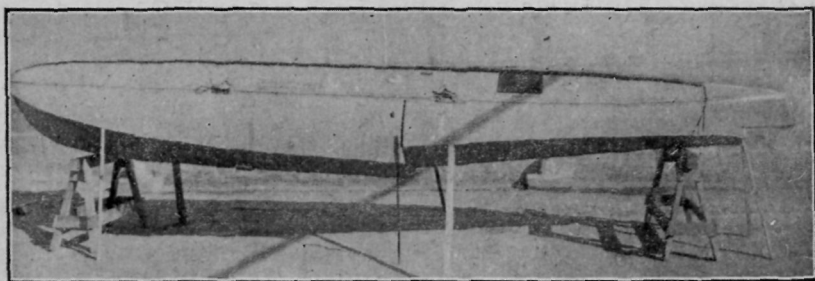


Abb. 71. Chance-Vought-Corsair-Zentralschwimmer

als Preßprofile auf (\sqcap); die übrigen sind gezogen. Auffallend ist neben der Quetschnietung die vielfache Verwendung von Schrauben (halbrund M 4) für das Schwimmerdeck; dieses ist fast von Bug bis Heck gänzlich abschraubbar. Gleichfalls sind die Katapultbeschlagklötze an der

1. Stufe und am Kiel verschraubt. Trotz einiger in den Luftstrom hineinragenden Teile ist die aerodynamische Ausbildung des Schwimmers sehr gut (Abb. 71).

Bei Ausfall eines Schottraums durch Beschuß oder Leckschlagen ist die Querstabilität schon beeinträchtigt, so daß die prinzipielle Bauweise nicht überall sehr gut zu nennen ist.

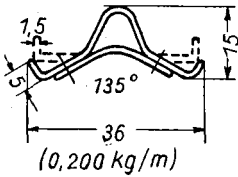


Abb. 72.
Spantprofil a

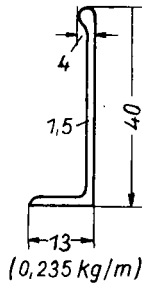


Abb. 73.
Spantprofil b

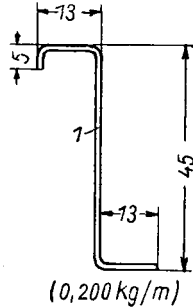


Abb. 74.
Spantprofil c

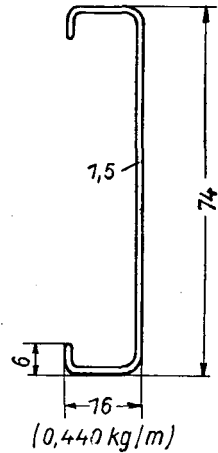


Abb. 75.
Spantprofil d

Die Spanten (s. Abb. 87, 88) haben einen mittleren Abstand von 310 mm; ihr Aufbau ist außerordentlich einfach. Die eigentlichen Halbspannten (Spantteilung durch das Mittellängsschott) zeigen je vier gleiche Profile (Abb. 72—75).

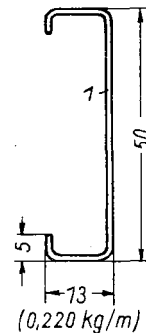
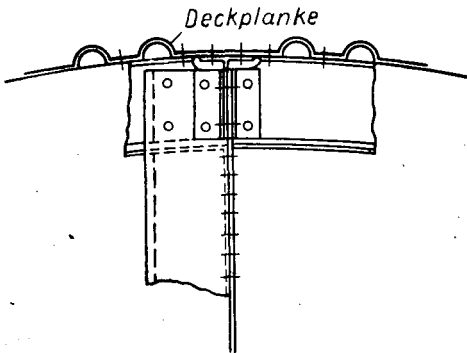


Abb. 76. Spantobergurt- und Längsschottverbindung Abb. 77. Bodenwrange d'

Es gibt also wenig Stellen, wo sich Kondenswasser sammeln kann, so daß der Korrosion vorgebeugt ist. Der ganze Schwimmer ist gut belüftet.

Das Profil der Abb. 73 dient zur Aussteifung des Mittellängsschotts und besitzt einen Wulst zur Verstärkung der Beulfestigkeit. Es sitzt nur einseitig auf dem Längsschott (Abb. 76)¹⁾ und tritt auf B. B. nur in kurzen Winkelstücken zum Anschluß von Profil a und der Bodenwrange d' (Abb. 77) auf, deren Profil gewalzt und nicht gebördelt ist.

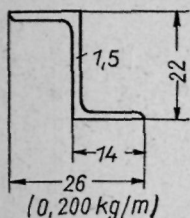


Abb. 78. Bodenlängsprofil e

Die Bodenwrangen sitzen auf den gepreßten Bodenlängsprofilen, Z-Profilen (Abb. 78), auf und sind nicht mit diesen vernietet (Abb. 79).

Die Stege von Profil d' und e sind mit dreieckigen Winkeln als Eckaussteifung versehen und vernietet,

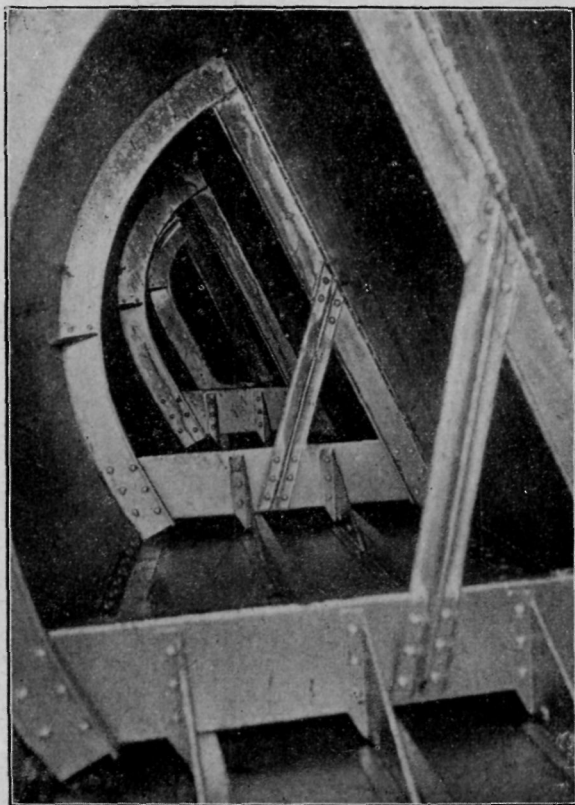


Abb. 79. Normalspanten

¹⁾ Siehe S. 73.

wodurch ein idealer Bodenstrak mit den Z-Profilen erreicht wird. Das lästige Anpassen und Schneiden von Schmiegen fällt also weg (Abb. 80).

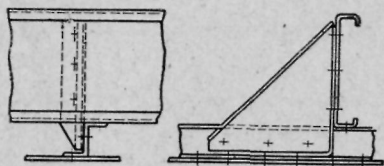


Abb. 80. Bodenwrange und Bodenprofil mit Eckaussteifung

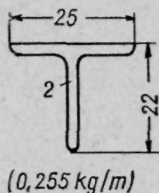


Abb. 81.
Profil f

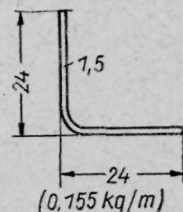


Abb. 82.
Kimmholmprofil g

Der Deckholm bzw. das Längsschott-Obergurtprofil (Abb. 81) sitzt einseitig auf dem Schott und bildet mit dem Mitteldeck und der Deckplanke einen guten Druckgurt (s. Abb. 76). Der Kimmkantenholm (Abb. 82)

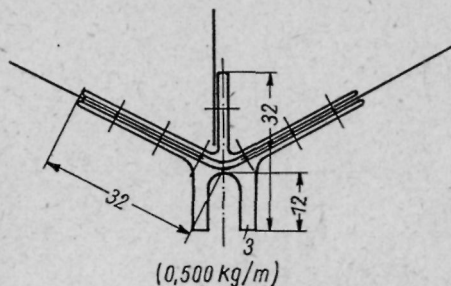


Abb. 83. Kielprofil h

wird von einem gekanteten Winkelprofil gebildet. Man sieht, wie reich die Konstruktion an verschiedenen Profilen ist; dafür wird jedes aber

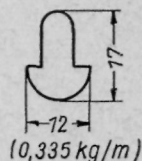


Abb. 84.
Scheuerleistenprofil i

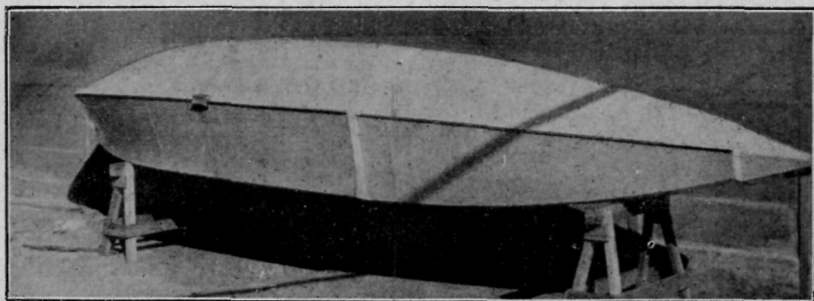


Abb. 85. Zentralschwimmerboden

nur mit gleichen Abmessungen verwendet. Das Kielprofil ist geschlitzt und steht in Verbindung mit einem gewinkelten T-Profil (Abb. 83). An beiden werden die Bodenhaut und das Längsschott vernietet.

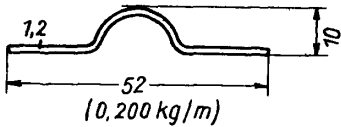


Abb. 86. Längsprofil j für Beplankung

Für ungewolltes Auflaufen auf felsigem Grund bzw. Korallenriffen ist das steife Schlitzprofil gewählt mit nicht umfassender, sondern innenliegender Scheuerleiste (Abb. 84). Diese Scheuerleiste ist aber nur stellenweise eingelegt (Abb. 85).

Die Seitenbeplankung ist auf B. B. und St. B. durch ein außen sitzendes Längsprofil ausgesteift (Abb. 86).

Der Aufbau der beiden Schottspanten geht aus Abb. 88—90 hervor.

Diese tragen auch die Anschlußbeschläge (Abb. 91 und 92) für das Schwimmergestell.

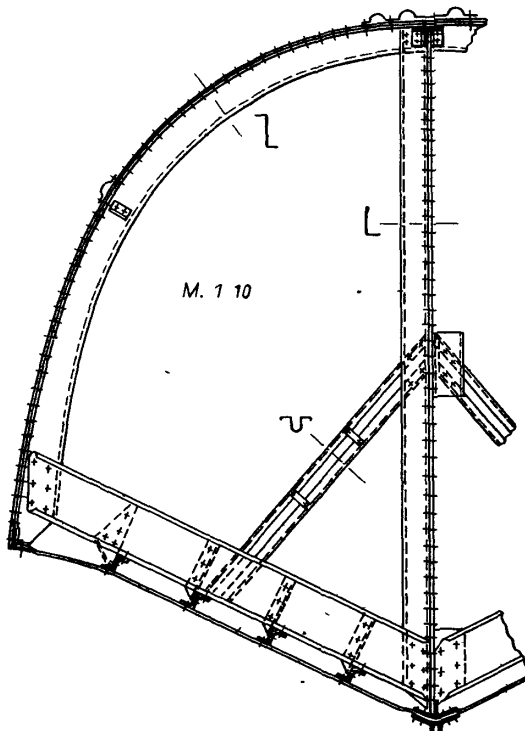


Abb. 87. Konstruktion eines Normalspantes

Der linke Beschlag besitzt einen Schleppbügel für die Schleppleine bzw. deren Befestigung. Die Schleppleine wird von dort aus durch

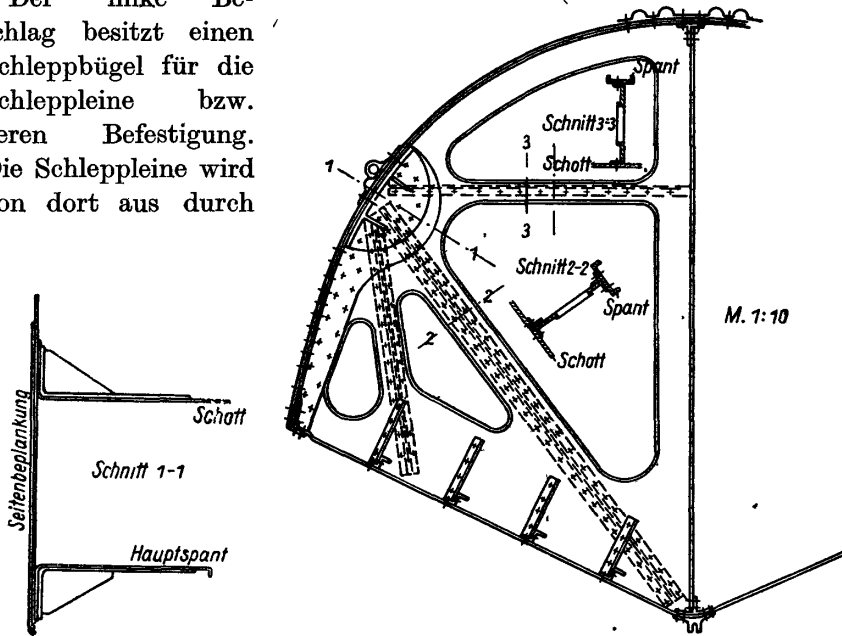


Abb. 88. Konstruktion eines Hauptspantes

die am Bug in der Nähe des Fenders befestigte Kreuzklampe geführt (Abb. 93).

Der Fender ist aus Kork und mit einem Leinenüberzug am vordersten Schottspant verschraubt. Er dient zur Aufnahme von Stößen an Landungsstegen usw.

Die in Abb. 91 und 92 gezeigten Anschlußbeschläge sind aus Stahl, im Gesenk geschmiedet und mit 4 Bolzen verschraubt. In Abb. 92 ist die Ausführung des Handlochdeckels sichtbar.

Die schon in Abb. 85 erkennbaren Katapultbeschläge sind noch einmal vergrößert wiedergegeben worden (Abb. 94 und 95).

Der Stützwchwimmer ist in Längs- und Spantenriß in Abb. 96 dargestellt. Insgesamt mit Gerüst erscheint er in Abb. 97 und 98.

Der Vollständigkeit halber ist das statische System des Zentralschwimmergerüsts rekonstruiert (Abb. 99); ferner sind nochmals die Strebenanschlüsse deutlicher herausgezeichnet (Abb. 100).

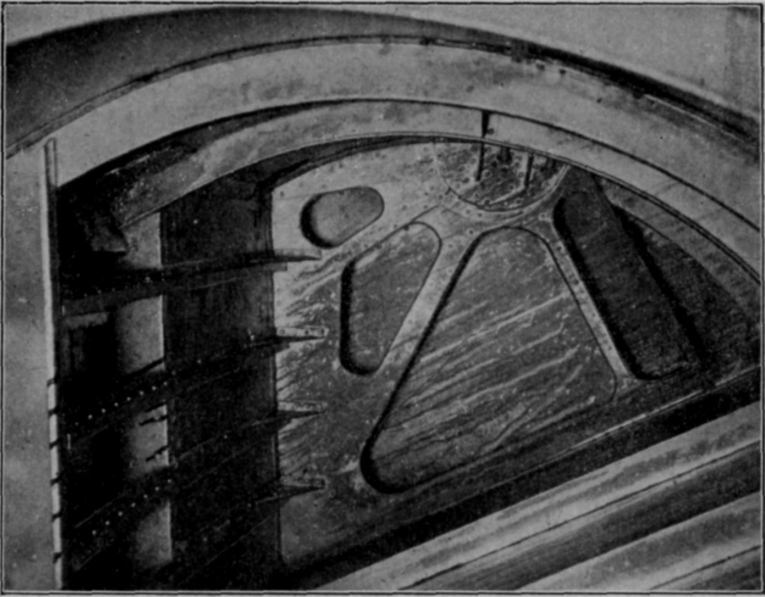


Abb. 89. Hauptschottspant

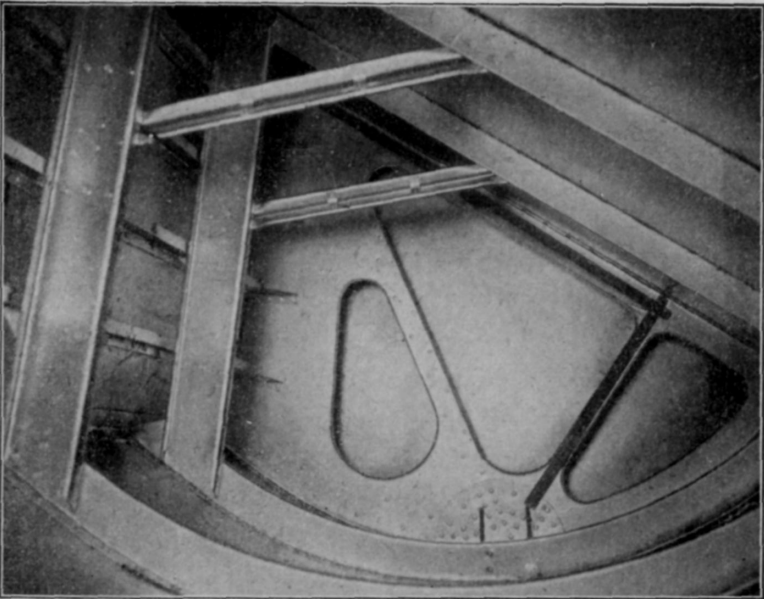


Abb. 90. Hauptschottspant

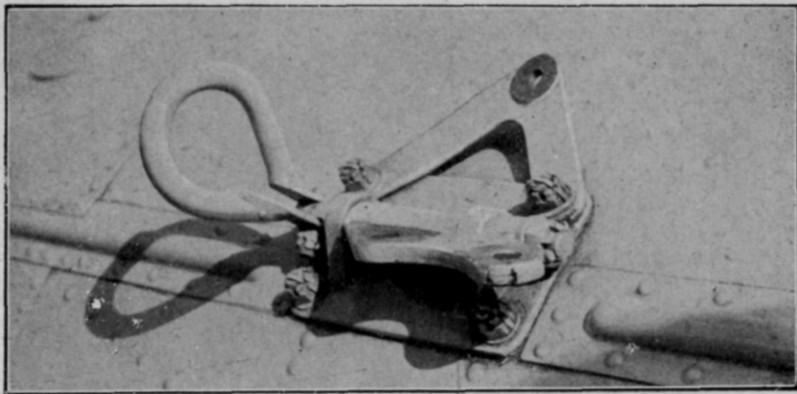


Abb. 91. Anschlußbeschlüge für Schwimmergestell

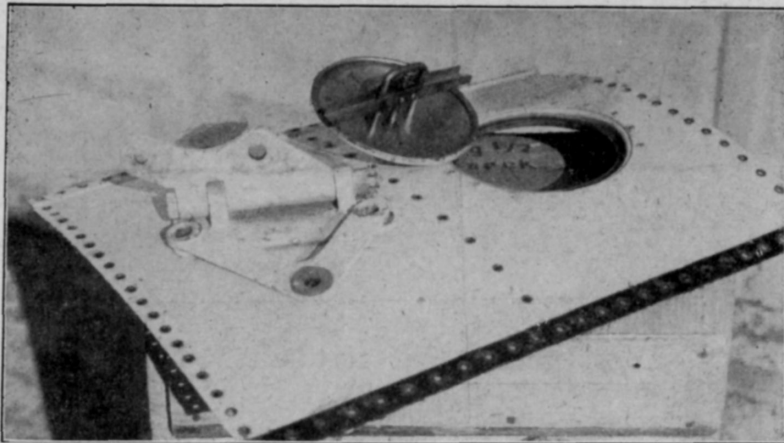


Abb. 92. Anschlußbeschlüge für Schwimmergestell

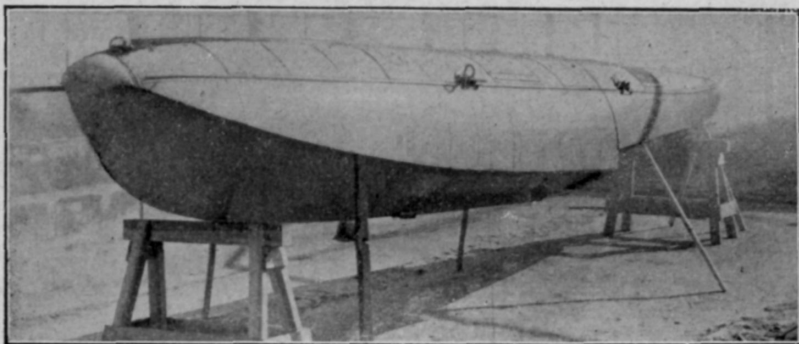


Abb. 93. Fender, Kreuzklampe und Schleppbügel am Schwimmer

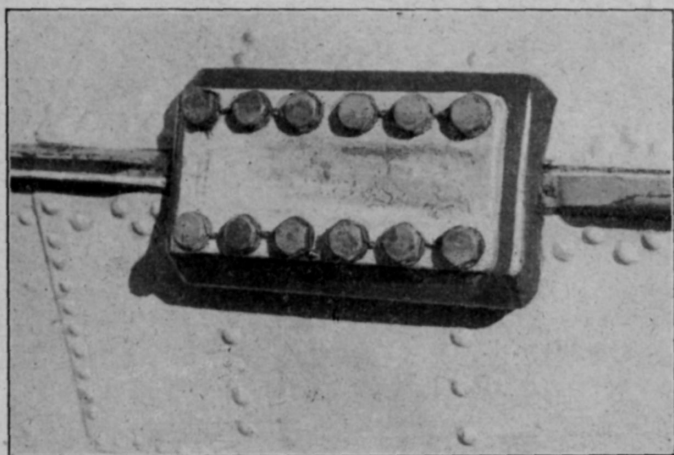


Abb. 94. Katapultbeschläge

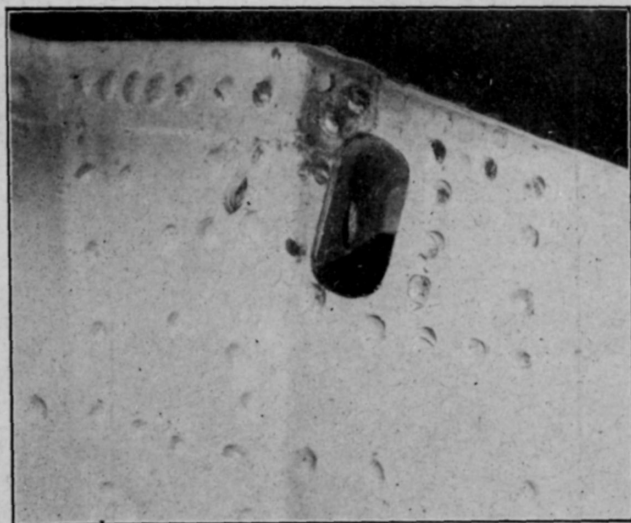


Abb. 95. Katapultbeschläge

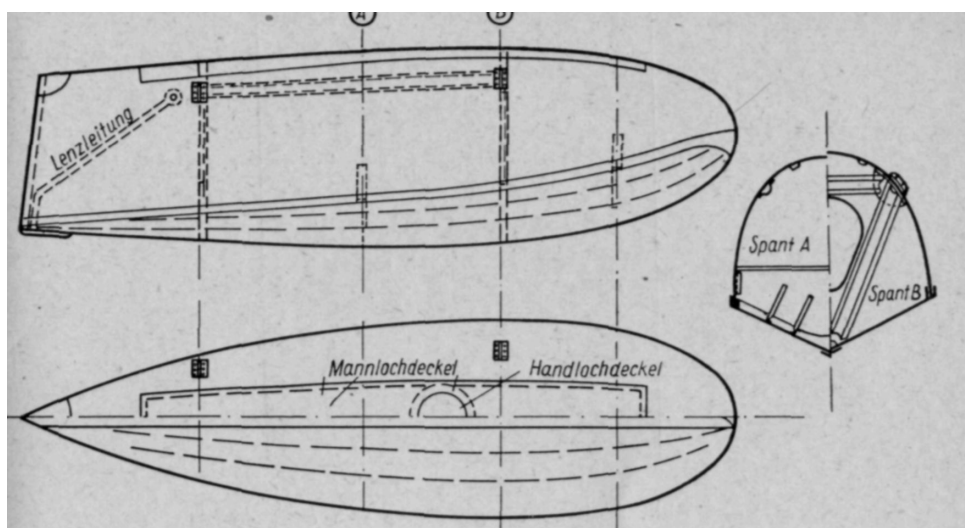


Abb. 96. Stützwimmer

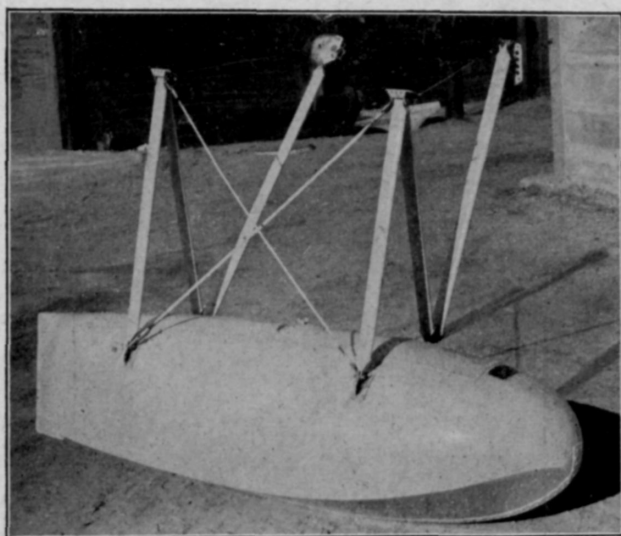


Abb. 97. Stützwimmer mit Gerüst

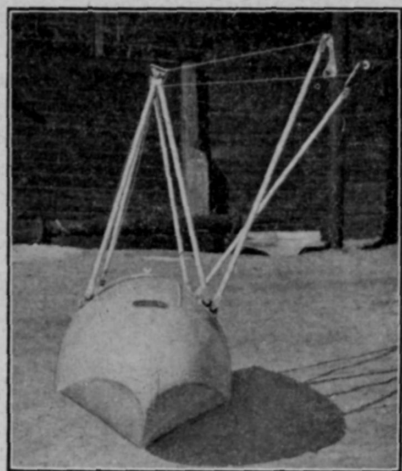


Abb. 98. Stützwimmer mit Gerüst

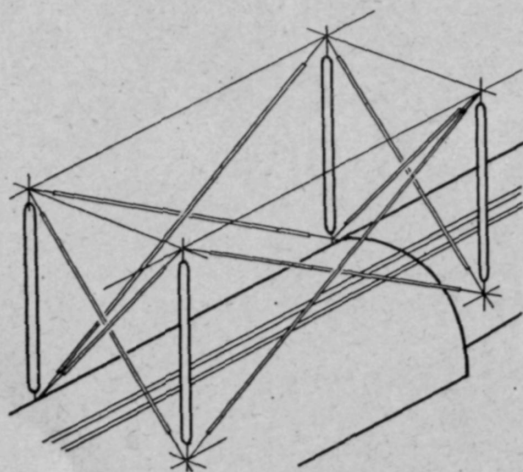


Abb. 99. Zentralschwimmergerüst

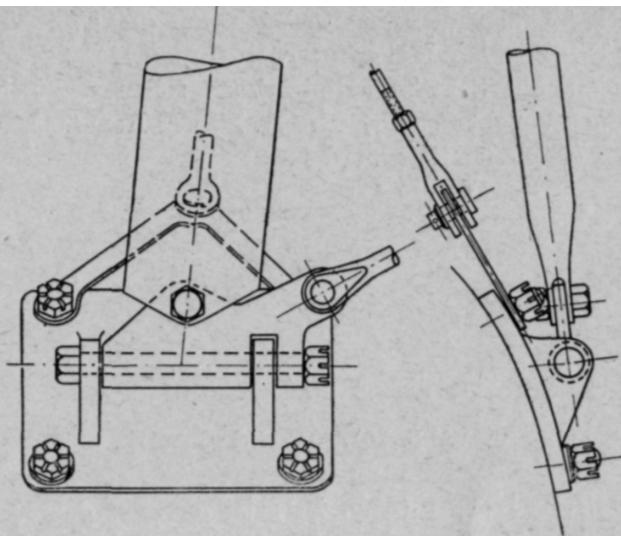


Abb. 100. Anschluß von Streben und Kabeln am Schwimmerbeschlag

2. Allgemeine und vergleichende Betrachtungen

a) Schwimmer

Ganz allgemein werden an Flugzeug-Schwimmkörper höhere Anforderungen als an Fahrwerke gestellt. Schwimmkörper sollen

1. gute Schwimmfähigkeit bei Wind und Seegang und
2. gute Start- und Landeeigenschaften zeigen.

Die erhöhte Rollgeschwindigkeit beim Abflug von Wasserflugzeugen ist mit normal gekielten Böden nicht zu erreichen.

Die heutigen Schwimmer sind stets mit Stufe in der Art der Gleitboote ausgebildet, um die erforderliche Geschwindigkeit zu erreichen.

Vielfach sind Schwimmkörper zweimal gestuft.

Die hintere Stufe soll stabilisierend wirken und der Gleitboden so, daß das Springen erst bei 90% der Abfluggeschwindigkeit aufkommt. Kleine Wellen und lange Dünung erleichtern den Start bzw. das „Auf-Stufe-Kommen“.

Die Wasserverdrängung der Hauptschwimmer oder des Bootes beim Eintauchen bis zu den nicht wasserdicht verschließbaren Öffnungen entspricht für Gruppe I dem 1,8 fachen, für Gruppe II dem 2,0 fachen Fluggewicht. Sichere Schwimmfähigkeit und Stabilität auf dem Wasser müssen noch bei Gruppe I vorhanden sein, wenn eine beliebige Abteilung vollgelaufen ist, bei Gruppe II, wenn zwei beliebige Abteilungen vollgelaufen sind.

Es können im folgenden mit Rücksicht auf den Umfang des Buches nur einige Beispiele herausgegriffen werden.

An interessanten Schwimmerlinienrissen sollen die Beispiele Edo-Waco, Chance-Vought-Corsair, NACA-Macchi-Rennflugzeug, Heinkel He 51 und He 42 diskutiert werden.

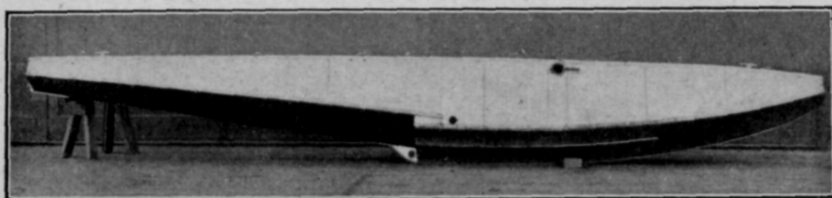


Abb. 101. Edo-Schwimmer

Der Edo-Schwimmer (Abb. 101) ist bis auf das stumpfe Heck aerodynamisch günstig und besitzt gute Längsstabilität infolge großer Völligkeit der Wasserlinienfläche. Durch die Nebenkiele (Abb. 102) wird die vom Wasser benetzte Fläche beim Gleiten verringert.

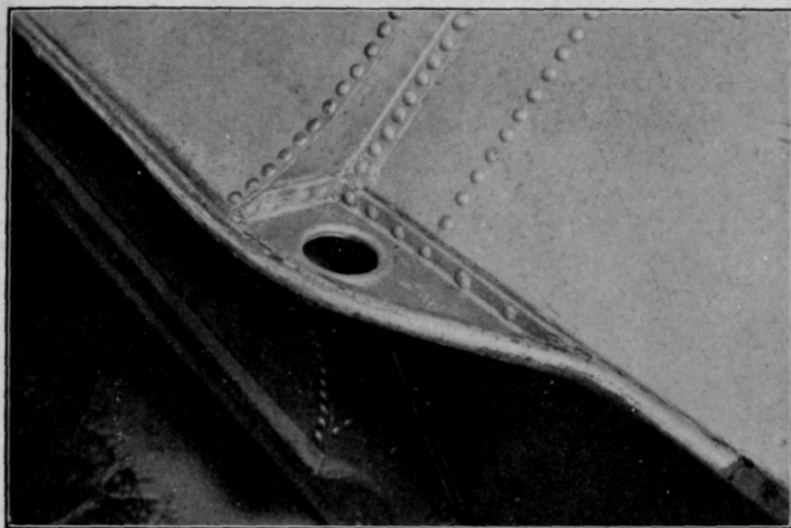


Abb. 102. Unterseite des Edo-Schwimmers

Im statischen Aufbau besteht der Edo-Schwimmer nur aus Spanten und einer volltragenden Beplankung. Holme treten nicht auf. Das Volumen eines Schwimmers beträgt 1750 l bei einem Gewicht von 87 kg. Der ver-

wendete Baustoff ist Alclad wie beim auf S. 71 ff. beschriebenen Chance-Vought-Schwimmer (vgl. auch Abb. 70). Der Inhalt des Zentralschwimmers beträgt, wie erwähnt, 3400 l bei 168 kg. Die Kielung ist wellenbinderförmig und der Gleitvorgang durch die hohe erste Stufe

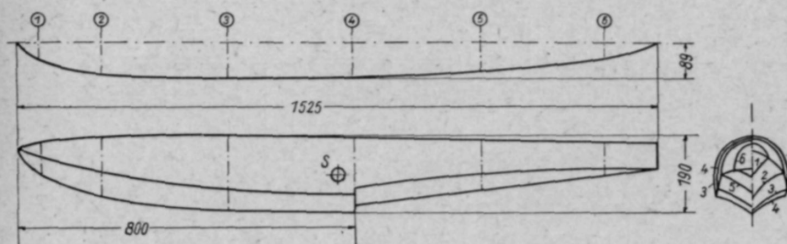


Abb. 103. Rennflugzeugschwimmer NACA.-Macchi

begünstigt. Die Bauweise wurde bereits beschrieben: Mittellängsschott als Biegungsträger mit zwei Querschotts, sonst offenen Halbspanten und Längsaussteifungen. Seine aerodynamische Formgebung ist besser als die des Edo-Schwimmers.

Der NACA-Macchi-Rennflugzeugschwimmer hat wellenbinderförmige, scharfe Kielung (Abb. 103) und eine aerodynamisch sehr günstige Formgebung. Die Längsstabilität ist durch verhältnismäßig geringe Völligkeit der Wasserlinienfläche nicht allzu groß. Die Spritzwasserbildung ist ziemlich stark.

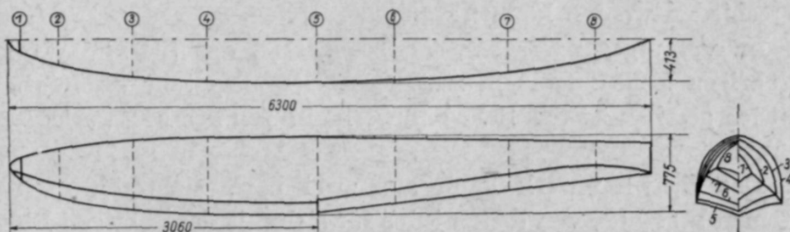


Abb. 104. Heinkel-Schwimmer He 51 W

Der in Abb. 104 sichtbare Schwimmer des Heinkel-Jagdeinsitzers He 51 hat ein Volumen von 1925 l und ein Gewicht von 88,2 kg. Seine aerodynamische Formgebung ist außerordentlich günstig; außerdem ist die Stufe niedrig ausgebildet. Das Spritzwasser ist bei Start und Landung gering, da die Kielung nicht sehr scharf und wellenbinderförmig ist. Die Längsstabilität ist gut, doch der Wasserwiderstand hoch, was aber

bei der Motorleistung und der eigentlich unbegrenzten Start- und Landefläche nichts ausmacht. Beim schnellen Einsitzer muß eben die aerodynamische Formgebung gut sein.

Das Flugzeugmuster He 42 gilt als Seeschulmaschine und bildet das Gegenstück zum Heinkel-, Kadett“ (He 72)¹⁾.

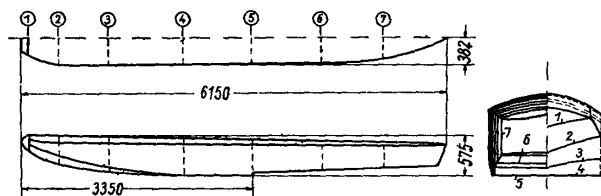


Abb. 105. Heinkel-Schwimmer He 42 W

Die Schwimmer der He 42 sind Holzschwimmer, leicht gekielt und besitzen flachen Boden (Abb. 105), für Beanspruchung in ruhigem Gewässer. Der stumpfe Fender erhöht den Luftwiderstand und verringert die Landegeschwindigkeit. Ein Schwimmer wiegt 124 kg.

b) Schwimmergerüste

Das Schwimmergestell bildet die Anschlußkonstruktion der Schwimmer zum Flugwerk und besteht im allgemeinen aus einem räumlichen Strebenfachwerk, das stellenweise durch Kabel ausgekreuzt ist. Im folgenden läßt sich leicht feststellen, daß prinzipiell drei Anordnungen unterschieden werden können:

1. Im vorausgegangenen Rechenbeispiel ist das Schwimmwerk mit der übrigen Zelle zu einem statischen Gesamtsystem vereinigt. Gewöhnlich gesehen ist das Schwimmwerk ein Teil des Flugwerks (s. DIN L 22).

2. Das Schwimmwerk kann aus zwei bzw. mehreren getrennten Systemen bestehen, von denen jedes für sich mit dem übrigen Flugzeug zusammenhängt.

3. Das Schwimmwerk kann mit dem übrigen Flugzeug aus zwei selbständigen statischen Systemen bestehen, die durch die Rumpfanschlüsse in Zusammenhang stehen.

Der Gruppe 1 gehören die meisten Flugzeugmuster an, z. B. He 9, 42, 51, 60. Diese Bauweise besitzt den Vorteil der Vergrößerung der statischen Bauhöhe. Die Kräfte, die von den räumlichen Strebenfach-

¹⁾ Vgl. Band IVa „Fahrwerk“.

werken aufgenommen werden, machen z. B. das Tragflügelgewicht geringer und ermöglichen die Verwendung dünnerer Flügelprofile.

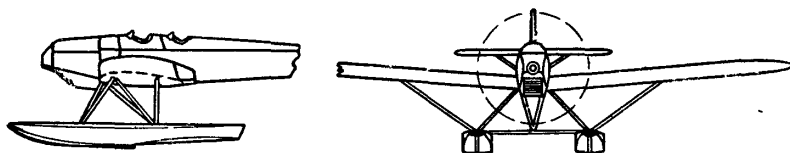


Abb. 106. Heinkel He 9

Immerhin ändert sich dadurch kaum das Gesamtgewicht des Flugzeugs bei entsprechender Beanspruchungsgruppe, da die Gesamtkräfte doch irgendwie aufgenommen werden müssen. Was z. B. an Flügelgewicht herausgeholt wird, wird an Streben- oder Rumpfgewicht vermehrt,

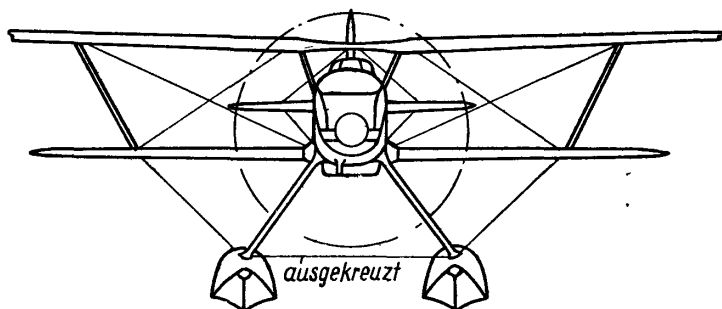
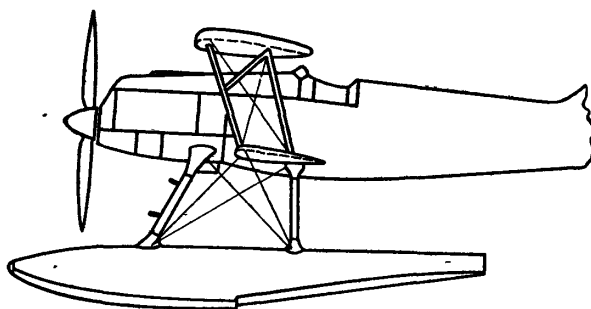


Abb. 107. See-Jagdeinsitzer Heinkel He 51

wenn man nicht ganz besonders günstige statische Systeme kennt. Mit Rücksicht auf gute aerodynamische Durchbildung eines Flugzeug-

musters kann man natürlich die Zahl der den Luftwiderstand erhöhenden Teile verringern, also Strebenfachwerke vereinfachen usw.; doch werden dann die Kräfte irgendwie anders aufgenommen werden müssen, und ein gewisses Mehrgewicht wird sich in einer anderen Baugruppe nicht vermeiden lassen. Vorausgesetzt sei auch, daß alle Teile so günstig angeordnet sind, daß eine gegenseitige Beeinflussung weitgehendst vermieden ist.

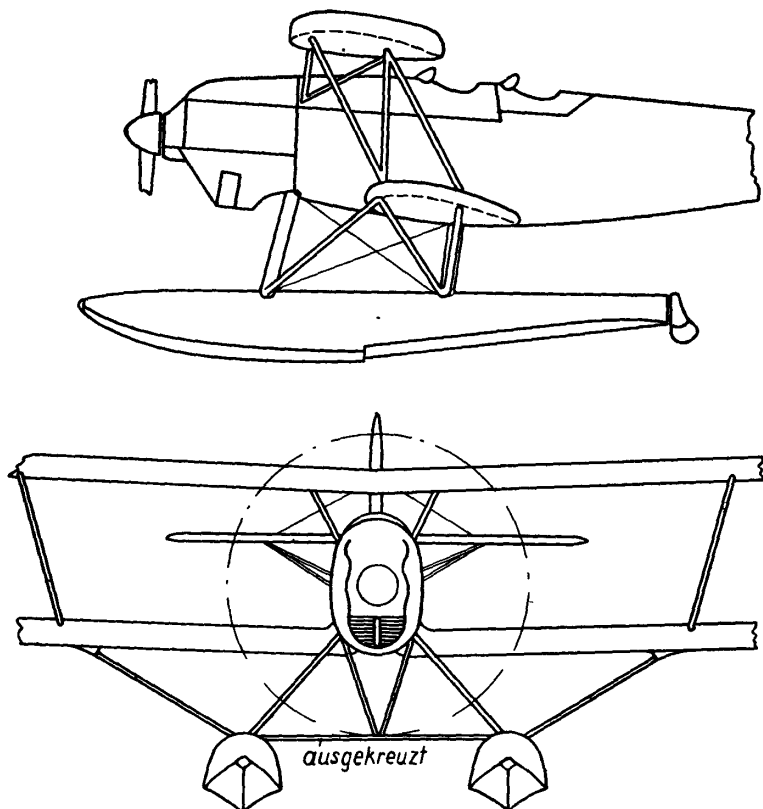


Abb. 108. See-Aufklärer Heinkel He 60

Abb. 106 zeigt die He 9. Das Schwimmwerk besteht als selbständiges statisches Teilsystem. Diese Ausführung ist selten, und man denkt dabei an ein auf Schwimmer gesetztes Landflugzeug.

Das Schwimmergestell der He 51 besteht aus 4 Hauptstreben und einer Anzahl von Kabelverspannungen (Abb. 107). Durch die geringe Strebenzahl im Flugwerk besitzt das Flugzeug geringstmöglichen Luftwiderstand. Die Tragwerkverspannung neben den N-Stielen ist aus

Gründen der Gesamtsteifigkeit erforderlich. Ganz ähnlich ist der Aufbau des See-Aufklärers He 60 (Abb. 108). Die Tragwerkverspannung fehlt hier, da das Schwimmwerk mit steifen N-Stielen abgefangen ist. Die

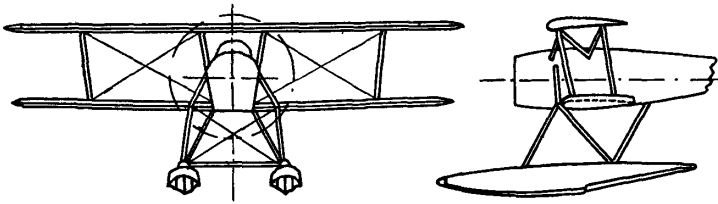


Abb. 109. Edo-Waco (USA.)

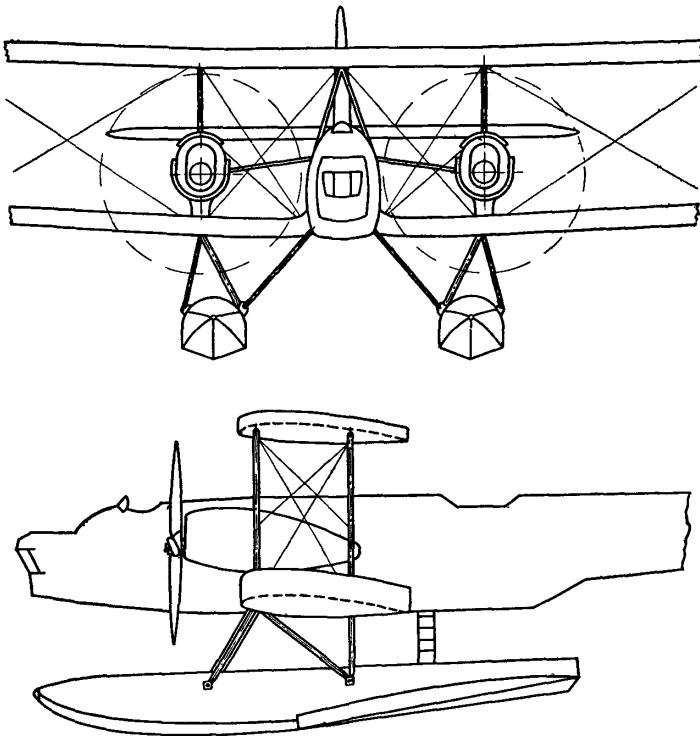


Abb. 110. See-Kampfflugzeug Heinkel He 59

hohe Schwimmergestellsteifigkeit ist notwendig, da die Maschine viel katapultiert wird.

Das Schwimmergestell des Flugzeugs Edo-Waco (Abb. 109) fällt fast unter Gruppe 3. Die Schwimmer sind durch zwei N-Stiele und

Ausleger an dem Rumpf angeschlossen. Durch Kabelauskreuzungen ist die Verbindung knicksteif.

Das Rechenbeispiel Do 22 ist ein Torpedoflugzeug. Tragflügel und Schwimmer sind gegen einen Rumpfausleger abgefangen; gewissermaßen ist der Rumpf künstlich verbreitert. Der Luftwiderstand ist sicher nicht unerheblich; doch sind die Knicklängen der Streben nicht allzu groß.

Zur Gruppe 2 gehört der stark gespannte, 2motorige Doppeldecker He 59 (Abb. 110). Man erkennt deutlich zwei getrennte Schwimmwerke. Die Schwimmer sitzen direkt unter den Motorgondeln und sind seitlich gegen den Rumpf abgestützt. Kabelauskreuzungen sind nicht vorhanden.

VII. Allgemeine Grundlagen für Seeflugzeugberechnungen

1. Das Froudesche Modellgesetz

Da die genaue Erfassung der Widerstandsverhältnisse von Schwimmern für die Startberechnung wichtig ist, muß sich der Konstrukteur schon beim Projekt mit Vorausberechnungen und Messungen befassen. Durch Modellschwimmer-Schleppversuche kommt man unter Anwendung des Froudeschen Modellgesetzes brauchbaren Resultaten ziemlich nahe. Vorausgesetzt wird, daß die Modelle der wirklichen Ausführung ähnlich gemacht werden. Die Auswertung der Meßergebnisse erfolgt dabei nach dem benannten Gesetz; nur zeigt es sich, daß der Lehrsatz von Reynolds nicht mehr erfüllt ist. Denn bei einer geometrisch hergestellten Verkleinerung ergibt sich ein relativ größerer Widerstand als bei der wirklichen Größenordnung, und zwar je kleiner das Modell, um so größer der Widerstand. Durch Vernachlässigung der Reibungskräfte ist diese Abweichung bedingt; doch liegen bereits Angaben über abzuziehende Reibungsanteile vor¹⁾. Eine absolute Ähnlichkeit läßt sich für Schleppversuche nicht erreichen; doch sollte man diese mit möglichst großen Modellen vornehmen.

Die Froudesche Zahl ist durch den Ausdruck

$$F = \frac{v}{\sqrt{g \cdot b_{st}}}$$

gegeben, wobei v die Geschwindigkeit in m/s, g die Erdbeschleunigung und b_{st} die Schwimmerbreite an der Stufe in m bedeuten. Die Umrechnung der Meßergebnisse kann mittels nachstehender Tabelle vorgenommen werden.

¹⁾ ZFM. 1931, S. 265.

Umrechnungstabelle

	Zeichen für		Maß- ein- heit [—]	Übertragungs- maßstab	Ähnlichkeits- beziehung	Übertragung für Spalte 6
	Aus- führung	Modell				
Länge	L	l	m	λ	$L = l \cdot \lambda$	$\lambda = \lambda$
Zeit	T	t	s	τ	$T = t \cdot \tau$	$\tau = \sqrt{\lambda}$
Kraft	K	k	kg	κ	$K = k \cdot \kappa$	$\kappa = \lambda^3$
Moment	M'	m'	mkg	$\lambda \cdot \kappa$	$M' = m' \cdot \lambda \cdot \kappa$	$\lambda \cdot \kappa = \lambda^4$
Drehmoment	M _d	m _d	mkg	$\lambda \cdot \kappa$	$M_d = m_d \cdot \lambda \cdot \kappa$	$\lambda \cdot \kappa = \lambda^4$
Volumen	Vol	vol	m ³	λ^3	$\text{Vol} = \text{vol} \cdot \lambda^3$	λ^3
Masse	M	m	$\frac{\text{kgs}^2}{\text{m}}$	$\frac{\kappa \cdot \tau^2}{\lambda}$	$M = m \cdot \frac{\kappa \cdot \tau^2}{\lambda}$	$\frac{\kappa \tau^2}{\lambda} = \lambda^3$
Trägheitsmoment	I	i	cm ⁴	$\lambda^3 \cdot \kappa$	$I = i \cdot \lambda^3 \cdot \kappa$	$\lambda^3 \cdot \kappa = \lambda^5$
Geschwindigkeit	V	v	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	$\frac{\lambda}{\tau}$	$V = v \cdot \frac{\lambda}{\tau}$	$\frac{\lambda}{\tau} = \sqrt{\lambda}$
Beschleunigung	B	b	$\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	$\frac{\lambda}{\tau^2}$	$B = b \cdot \frac{\lambda}{\tau^2}$	$\frac{1}{b} = \text{const}$
Arbeit	A	a	mkg	$\lambda \cdot \kappa$	$A = a \cdot \lambda \cdot \kappa$	$\kappa = \lambda^3$
Leistung	N	n	$\frac{\text{mkg}}{\text{s}}$	$\frac{\lambda \cdot \kappa}{\tau}$	$N = n \cdot \frac{\lambda \cdot \kappa}{\tau}$	$\frac{\lambda \cdot \kappa}{\tau} = \lambda^{3,5} = \lambda^{7/2}$
Winkelgeschwindigkeit	Ω	ω	$\frac{1}{\text{s}}$	$\frac{1}{\tau}$	$\Omega = \omega \cdot \frac{1}{\tau}$	$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\sqrt{\lambda}}$
Winkelbeschleunigung	Ω'	ω'	$\frac{1}{\text{s}^2}$	$\frac{1}{\tau^2}$	$\Omega' = \omega' \cdot \frac{1}{\tau^2}$	$\frac{1}{\tau^2} = \frac{1}{\lambda}$

Vor Anwendung der Umrechnungstabelle wird vorausgesetzt, daß die Umrechnung der Meßergebnisse nur erfolgen kann, wenn Modell und Wirklichkeit zeitlich, geometrisch und kräftemäßig gänzlich ähnlichen Vorgängen unterworfen worden sind. Die benannten Maßstäbe sind also:

$$\text{Längenmaßstab: } \lambda = \frac{L}{l}$$

$$\text{Zeitmaßstab: } \tau = \frac{T}{t}$$

$$\text{Kräftemaßstab: } \kappa = \frac{K}{k}$$

2. Der Start

Zum Start ist die Überwindung des Gesamtwiderstandes, in dem auch der Wasserwiderstand enthalten ist, erforderlich. Flügelauftrieb, Schraubenzug und hydrodynamischer Auftrieb müssen mindestens so groß werden, daß das Fluggewicht G aufgehoben wird.

Durch die Stufung der Schwimmkörper ist schon eine wesentliche konstruktive Maßnahme zur Überwindung des Wasserwiderstandes gegeben. Der Schraubenzug beim Start wird in Kürze so groß, daß der hinter der Stufe liegende Teil eines Schwimmers oder Flugbootes alsbald aus dem Wasser gehoben wird, wodurch sich der Wasserwiderstand schon ganz erheblich verringert. Allmählich beginnt das Flugzeug mit dem Schwimmerboden auf der Wasseroberfläche zu gleiten, wobei der Wasserwiderstand sich weiter verringert und bei ständig zunehmender Geschwindigkeit das Flugzeug langsam abhebt und fliegt. Der Vorgang läßt sich leicht schildern; doch rechnerisch ist er nicht einfach zu erfassen.

Der Widerstand eines Schwimmers ist abhängig von seiner Form und um so größer, je tiefer er eintaucht, d. h. je höher er belastet ist. Es erhöht sich damit der Reibungswiderstand an ihm durch die vom Wasser benetzte Oberfläche — Widerstand und Auftrieb hängen vom Trimmwinkel (= Schwimmeranstellwinkel gegen Wasseroberfläche) ab, also auch der Tragflügel-Anstellwinkel. Dieser steht in Zusammenhang mit dem Momentengleichgewicht der Luft-, Wasser-, Schraubenzug- und Schwerkraft. Diese Verhältnisse müssen für den Start aber bekannt sein.

Auf dem Wasser wird ein Flugzeug durch den statischen Auftrieb seiner Schwimmer getragen, solange es in Ruhe ist. Diese tauchen so tief ein, bis die notwendige Verdrängung erreicht ist.

Dem beim Start wirksamen Schraubenzug setzt sich der Wasserwiderstand entgegen; da aber in der Regel der Schwimmerboden positive Anstellung hat, kommt ein hydrodynamischer Auftrieb hinzu — dabei sei der Auftrieb durch Luftkräfte an den Tragflügeln noch klein —, der das Flugzeug schon langsam aus dem Wasser hebt. Sobald die Schwimmkörper auf dem Boden vor der Stufe gleiten, ist die „kritische Geschwindigkeit“ erreicht. Diese soll bei 40 % der Abfluggeschwindigkeit liegen. Aus verschiedenen Veröffentlichungen¹⁾ ist zu entnehmen, daß der Flügelauftrieb dabei 16 % des Gesamtgewichts erreicht, so daß bei reinem Gleitvorgang (also statischer Auftrieb gleich Null) 84 % auf den hydrodynamischen Auftrieb entfallen.

¹⁾ Siehe Literaturverzeichnis auf S. 102/103.

Bei gleichem hydrodynamischen Anstellwinkel (Trimmwinkel) und gleicher Stufenbelastung ist der Gleitwiderstand konstant und unabhängig von der Geschwindigkeit¹⁾ (Abb. 111), so daß eine weitere Beschleunigung durch den verfügbaren Schraubenschub eintritt. Mit wachsender Geschwindigkeit wächst auch der Flügelauftrieb A_F ; der Gleitwiderstand wird geringer und beim Abheben gleich Null.

Durch den wachsenden Flügelauftrieb ändert sich die Stufenbelastung, desgleichen auch der Trimmwinkel α und das Moment. Die Widerstandsverhältnisse sind anders als vorher.

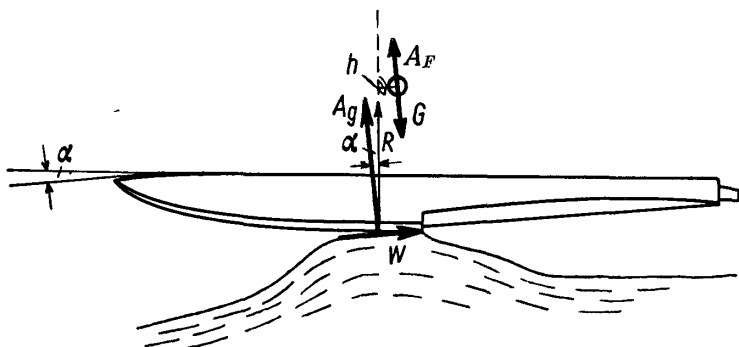


Abb. 111. Schwimmer im Gleitzustand. Die Stufenbelastung ist:

$$P_{st} = A_g = G - A_F = \frac{W}{\operatorname{tg} \alpha}, \text{ also:}$$

$$W = A_g \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

Da man nun vor der kritischen Geschwindigkeit durch Ziehen am Knüppel die Trimmlage nur wenig ändern kann, ist also bei der Konstruktion günstiger Widerstand bei günstigster Selbsttrimmung im unterkritischen Gebiet anzustreben. Die Ermittlung der Startzeit erfolgt am besten nach der Methode von Prof. Pröll auf graphischem Wege (Abb. 112). Wasserwiderstand, Schraubenschub und Luftwiderstand werden als Funktionen der Geschwindigkeit v aufgetragen. Der überschüssige Schraubenschub liegt dann zwischen den beiden Widerstandskurven. Ein Dreieck mit der Basis $v = 9,81 \text{ m/s}$ und der Höhe $G/2$ wird vom Nullpunkt aus gezeichnet. Es muß das Verhältnis $G/g = P_{st}/b$ erhalten bleiben. Durch Ziehen entsprechender Parallelen zu den Schenkeln des gleichschenkligen Dreiecks erhält man die halbe Startzeit

¹⁾ ZFM. 1931, S. 9.

in Sekunden. Die Startstrecke kann aus der Summe der mittleren Geschwindigkeit in jeder Sekunde errechnet werden. Man erkennt, daß der Start von der Größe des Wasserwiderstandes im kritischen

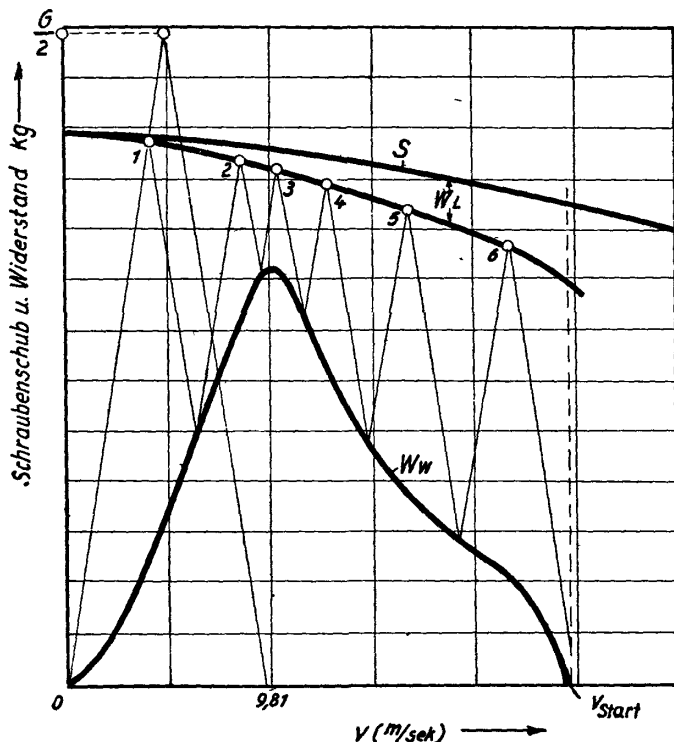


Abb. 112. Startdiagramm für Wasserflugzeuge nach Prof. Pröll

Punkt abhängt. Nach englischen Angaben soll der Schraubenzug beim Aufstufen 25% größer sein als der Wasserwiderstand¹⁾.

3. Formgebung und Lage der Stufe; statische Schwimmstabilität

Eine flachkantige Stufe ist schlechter als eine keilförmig auslaufende. Die Hauptstufe ist mit möglichst stumpfem und eine evtl. Nebenstufe mit spitzem Keil auszubilden. Bei der ersten Stufe muß darauf geachtet werden, daß der Gleitboden nicht zu sehr verringert wird.

Die beste Lage der Hauptstufe ist etwas hinter dem Gesamtschwerpunkt anzunehmen (Abb. 113). Liegt dieser zu weit vorn, so entstehen stark kopflastige Momente, die unter Umständen bei der Landung

¹⁾ Formgebung unter Wasser sehr wesentlich.

zum „Absaufen“ führen und beim Start die Schwimmer so weit eintauchen, daß der Widerstand jedes Abheben verhindert. Solche Fälle sind oft genug eingetreten. Liegt der Schwerpunkt hinter der Stufe, so entsteht ein schwanzlastiges Moment bei großem Trimmwinkel und

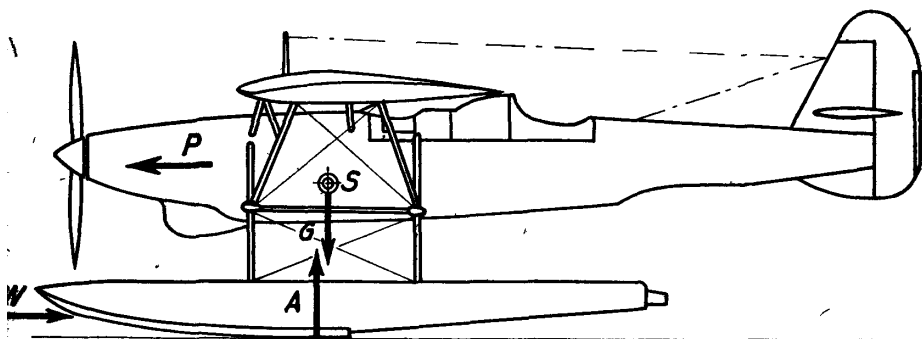


Abb. 113. Richtige Schwerpunktlage zur Stufe

vergrößertem Auftrieb (Abb. 114). Es besteht die Gefahr, daß durch den vermehrten hydrodynamischen Auftrieb das Flugzeug vor Erreichen der vollen Startgeschwindigkeit abhebt und zurückfällt. Derartige Sprungstarts müssen vermieden werden.

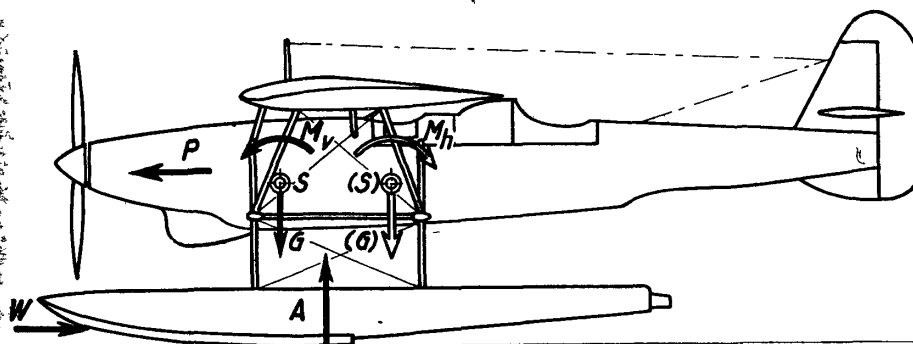


Abb. 114. Stufe zu weit hinten bzw. zu weit vorn

Für die folgenden Betrachtungen über statische Schwimmstabilität wird vorausgeschickt, daß Quer- und Längsneigung eines Schwimmkörpers mit den Ausdrücken Krängung und Trimmung gleichbedeutend sind.

Besonders die Tatsache, daß ein Wasserflugzeug nicht nur lufttüchtig, sondern auch seetüchtig sein muß, führt konstruktiv zu Kompromißlösungen. Manövrier- und Seefähigkeit müssen vor und nach der Landung ausreichend sein.

Es sollen Angaben über die Anfangsstabilität für einen Schwimmkörper gemacht werden¹⁾ (Abb. 115).

Mit x werde die Längsachse des Schwimmkörpers bezeichnet, ferner sei F_0 der Verdrängungsschwerpunkt für die aufrechte Lage, M_x der Schnittpunkt der Auftriebsresultierenden der geneigten Lage mit der Mittellängsebene — das sog. „Metazentrum“ —, I_x das Flächenträgheitsmoment der Wasserlinienfläche (W_L) in bezug auf die Längsachse und h_x die metazentrische Höhe vom Metazentrum bis zum Gewichtsschwerpunkt S . Man findet:

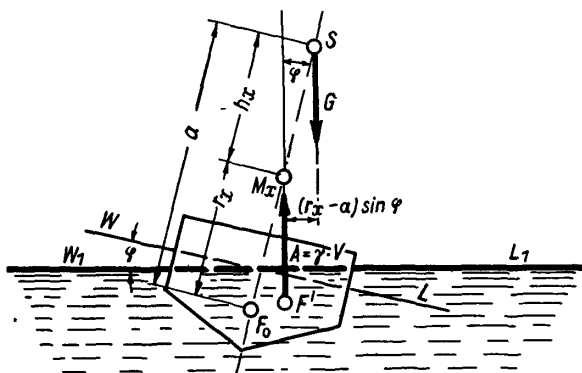


Abb. 115. Skizze zur Schwimmstabilität

Man findet:

$$r_x = \frac{I_x}{V}$$

und bemerkt, daß bei nur einem Schwimmkörper (außer wenn dieser sehr breit ist)

M_x immer unter S liegt bzw. das Kräftepaar aus A und G das Flugzeug bei Drehung aus der aufrechten Lage (Krängung) immer umstürzen wird.

Bei Drehungen um sehr kleine Winkel φ erhält man ein Moment

$$M = G \cdot h_x \cdot \sin \varphi = G (r_x - a) \cdot \sin \varphi$$

$G \cdot r_x \cdot \sin \varphi$ heißt das Moment der Form und

$G \cdot a \cdot \sin \varphi$ das Gewichtsmoment.

r_x ist fast immer kleiner als a , also wird $r_x - a = h_x$ negativ.

Setzt man für kleine Winkel:

$$\sin \varphi \approx \widehat{\varphi},$$

so kann man M mit

$$M = G \cdot h_x \cdot \widehat{\varphi}$$

angeben, so daß

¹⁾ DVL.-Jahrbuch 1933: Croseck, Schwimmstabilität.

$$\frac{dM}{d\varphi} = G \cdot h_x$$

wird und h_x für geringe Querneigungen proportional $\frac{dM}{d\varphi}$ ist.

Unter Auswahl anderer Indizes läßt sich für geringe Längsneigungen

$$h_y = \frac{dM}{d\chi} \cdot \frac{1}{G}$$

schreiben.

Für Zweischwimmerflugzeuge gilt:

$$r_x = \frac{2(I_x' + s^2 \cdot F)}{V},$$

wobei F die Wasserlinienfläche eines Schwimmkörpers, I_x' das Eigenträgheitsmoment von F um die Schwimmerlängsachse und s den Abstand des Wasserlinienflächen-Schwerpunkts von der Flugzeug-Mittellängsebene bedeuten.

I_x' ist sehr gering gegen $s^2 \cdot F$, so daß man

$$r_x = \frac{2s^2 \cdot F}{V}$$

setzen kann.

$$F = L \cdot B \cdot \alpha$$

L = Schwimmerlänge, B = Schwimmerbreite, α = Völligkeitsgrad der Wasserlinie. Endlich ergibt sich:

$$r_x = c \frac{s^2 \cdot L \cdot B}{V} \quad (c = 2\alpha \approx 1,45 \text{ bis } 1,7)$$

Man kann also die erforderliche Anfangsstabilität leicht durch Änderung des Schwimmerabstandes $2s$ erreichen. Für die Längsstabilität gilt:

$$r_y = \frac{2I_y}{V} \text{ und } I_y = c \cdot B \cdot L^3$$

Für Zentralschwimmer mit Stützschwimmern ist die Formel:

$$r_x = \frac{I_{x(\text{Boot})} + 2(i_x' + s^2 \cdot f)}{V},$$

bzw. da $i_x' \ll s^2 \cdot f$:

$$r_x \approx \frac{c \cdot L \cdot B^3 + 2s^2 \cdot f}{V} \quad \text{anzuwenden.}$$

f = WL-Fläche der Stützorgane, i_x' = Eigenträgheitsmoment von f und s = Schwerpunktsabstand von f bis zur Mittellängsebene. In der Literatur findet man vielfach die metazentrische Höhe als dimensionslose Stabilitätsbeizahl c_h .

$$c_h = \frac{h}{V^{1/3}}$$

Nach englischen Vorschlägen ist für Querstabilität:

$$c_{h_x} = 4 = \frac{h_x}{V^{1/3}}$$

und für Längsstabilität:

$$c_{h_y} = 6 = \frac{h_y}{V^{1/3}}$$

zu wählen. Für Dornier, Junkers und Rohrbach wurden ermittelt:

$$\text{Dornier: } c_{h_x} = \frac{h_x}{V^{0,21}} = 4,1 \div 6,9$$

$$\text{Junkers: } c_{h_x} = \frac{h_x}{V^{0,28}} = 4,6 \div 7,6$$

$$\text{Rohrbach: } c_{h_x} = \frac{h_x}{V^{0,26}} = 3,0 \div 5,0$$

Zum weiteren Studium wird der erwähnte Beitrag über Schwimmstabilität von Croseck empfohlen.

4. Herabsetzung der Spritzwasserbildung

Durch jede beliebige Form von Kielung tritt mehr oder weniger eine unerwünschte Spritzwasserbildung ein, und zwar um so mehr, je schärfer die Kielung ist. Spritzwasser gefährdet vor allem tiefliegende Luftschrauben, weshalb beim 4motorigen Flugboot Do 26 die hintere Triebwerksanlage beim Start etwas hochgekippt wird. Die Wellenbinderform

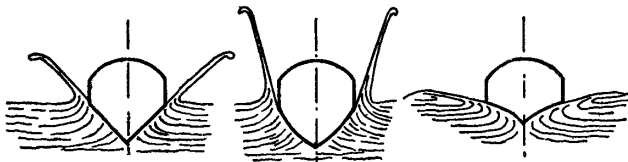


Abb. 116. Keilkielung Ovalkielung Wellenbinderkielung

ist die häufigste Schwimmerbodenkonstruktion, weil sie am ehesten Spritzwasser vermeidet (Abb. 116).

Ein steil hochgezogener Bug bei Wellenbinderboden ist einstweilen die beste Lösung. Abb. 71 und 85 zeigen, daß die Kielung danach zur Stufe hin flacher wird.

Hinter der Stufe kann die Kielung möglichst scharf sein, so daß das Wasser bald abreißt; ferner soll der Schränkungswinkel zwischen Gleitboden und Hinterschiff für guten Abwasserungswinkel 7° bis 15° betragen, wobei ein Verhältnis $\frac{l_v}{l_h}$ von 1,25 gewählt werden soll.

5. Zusammenfassende Gegenüberstellung für Schwimmerform und Schwimmwerksanordnung

a) Schwimmerform und Konstruktion

Flachbodenschwimmer	Gekielter Schwimmer
---------------------	---------------------

1. Gewicht:

Muß wegen höheren Landestoßes fester gebaut werden. Daher gewichtlich dem gekielten Schwimmer nicht überlegen.

Kann wegen geringen Landestoßes leichter gebaut werden und wird bei nicht zu scharfer Kielung leichter als der Flachbodenschwimmer.

2. Bauweise:

Eignet sich gut für Holzbau, schlechter für Metallbau.

Eignet sich besonders gut für Metallbau.

3. Abschottung:

Nur Querschotten.

Querschottung mit Mittellangschott vorteilhaft für Zweischwimmerflugzeuge.

4. Wasserwiderstand:

Großer infolge Stauwelle.

Kleiner wegen Hohlwelle, sofern Kielung nicht zu scharf ist.

5. Gleitboden:

Flach, daher sehr wirksam.

Gekielt, daher Wirksamkeit herabgesetzt. Kielung soll zur Stufe hin flacher werden.

6. Landestoß:

Großer; daher oft Hinterboden gekielt.

Kleiner.

7. Spritzwasser:

Erheblich.

Kann durch geeignete Bodenausbildung (Wellenbinder) vermindert werden. Starke Kielung bedeutet erhöhte Spritzwasserbildung.

8. Luftwiderstand:

Höher.

Geringer.

b) Schwimmwerksanordnung

Zweischwimmerflugzeuge	Zentralschwimmer mit Stützschwimmern
1. Schwimmstabilität:	
Querstabilität ausreichend. Längsstabilität bisweilen zu gering.	Bessere Stabilitätsverhältnisse; dafür aber schräge Ruhelage.
2. Steuerfähigkeit:	
Abhängig vom Schwimmerabstand; meistens ausreichend.	Behindert wegen einseitig eintauchenden Stützschwimmers (große Giermomente). Einseitige Wendigkeit gut wegen Stützschwimmerwiderstands.
3. Hochseefähigkeit:	
Ausreichend; jedoch sehr festes Schwimmergestell erforderlich.	Schlechter, da durch Seegang von einem Stützschwimmer auf den anderen geworfen. Starke Beanspruchungen und starke Luftkraftmomente wegen Krängung. Leichtes Unterschneiden der Stützschwimmer.
4. Gewicht:	
zwei Hauptschwimmer.	Ausgeglichen, da: ein Hauptschwimmer, der an sich leichter; dafür aber zwei Stützschwimmer.
5. Luftwiderstand:	
	Ausgeglichen.
6. Wasserwiderstand:	
Hoch, da zwei verhältnismäßig große Schwimmer im Wasser liegen.	Geringer, falls querstabil gerollt wird. Daher bessere Startfähigkeit. Wenn Stützschwimmer eintaucht, große Giermomente und höherer Wasserwiderstand.
7. Landung:	
Größere Gefahr exzentrischen Landestoßes im Seegang.	Leichtere Landung, da zentraler Landestoß, sofern die Stützschwimmer nicht von Wellen getroffen werden. Im letzteren Fall reißt Stützschwimmer leicht ab. Bei Verlust eines solchen ist mit Kentern zu rechnen. Hochklappbare Stützschwimmer neuerdings als vorteilhaft erkannt (Do 26).

Zweischwimmerflugzeuge

Zentralschwimmer mit Stutzschwimmern

8. Start:

Maschine bricht leicht aus. Fur Katapultstart geeignet.

Gilt dasselbe wie bei der Landung. Fur Katapultstart hervorragend geeignet.

9. Schwimmergestell:

Viele Streben und Verspannungen, ausgedehntes statisches System, oft statisch unbestimmt. Kann aber gut zur Vergrößerung der statischen Bauhöhe des Flugwerksystems herangezogen werden; daher günstig für Eindecker.

Sehr einfaches, festes Gestell, meist statisch bestimmt; leichter als Zweischwimmergestell, dafür aber zusätzliche Stutzschwimmergestelle. Eignet sich besonders für Doppeldecker.

6. Wind- und Seegangtabelle

km/h	Windstärke Beaufort	Wind-Tafel	Sinnbild
0	0	leiser Zug	
10	1	leicht schon fühlbar	
20	2	schwach Blätter und leichte Wimpel bewegt	
30	3	mäßig Wimpel gestreckt kleine Zweige bewegt	
40	4	frisch größere Zweige bewegt	
50	5	stark Wind an den Häusern hörbar	
60	6	stark schwächere Baumstämme bewegt	
70	7	sturmisch große Bäume bewegt, Gehen merklich erschwert	
80	8	Sturm leichte Gegenstände bewegen sich fort	
90	9	voller Sturm Bäume werden entwurzelt	
100	10	schwerer Sturm große Zerstörung	
110	11	Orkan, Verwüstung	
120	12		

und mehr Windstärke Beaufort = 1/2 max. Windgeschwindigkeit in m/s

Seegang	Seegang-Tafel
0	Seeglatte See
1	5 0,5 Schuppenwellen ohne Schaumkämme
2	35 0,75 Wellen kurz und ausgeprägter Kämme beginnen sich zu brechen Schaum von glasigem Aussehen
3	50-2 Wellen länger, weißer Schaumkämme zu anhaltendes Aussehen
4	75 4 Wellen sehr ausgeprägte lange Form weisse Schaumkämme stärkeres Geräusch wie beständiges Murmeln
5	100-6 Größere Wellenberge weisse Schaumkämme mit grösseren Flächen Brechen der See e g bl dumpfrollendes Geräusch
6	150-8 See türmt sich wird brechend, weisser Schaum in Streifen zur Windrichtung lung, liegendes Geräusch in grösserer Entfernung hörbar
7	200 10 Schaum in dichteren Streifen zur Windrichtung Rollen der See beginnt
8	Hohe Wellenberge mit längen sich überschneidenden Kammern grosse Schaumflächen in dichten weissen Streifen zur Windrichtung, Meeresoberfläche beinahe weiss Rollen der See stark
9	Wellen so hoch dass Schiffe in Wellentälern verschwinden Grosse Wellenkammern werden zu dichter Luft mit Licht so angefüllt dass Fernsicht fehlt

Abb. 117

Literatur

- DVL.-Jahrbuch 1927: Blenk-Liebers, Das Wertungsverfahren im Deutschen Seeflug-Wettbewerb 1926.
- DVL.-Jahrbuch 1928: Hoff, Das Großflugboot.
- DVL.-Jahrbuch 1928: Herrmann-Kempf-Klöß, Schleppversuche an Zweischwimmerpaaren.
- DVL.-Jahrbuch 1930: Pabst, Theorie des Landestoßes von Seeflugzeugen.
- DVL.-Jahrbuch 1931: Pabst, Theorie des Landestoßes von Seeflugzeugen.
- DVL.-Jahrbuch 1931: Taub, Beitrag zur Frage der Belastungsannahmen für den Landungsstoß von Seeflugzeugen.
- DVL.-Jahrbuch 1933: Pabst, Über ein Gerät zur Messung und Aufzeichnung des Seeganges.
- DVL.-Jahrbuch 1933: Croseck, Beitrag zur Frage der Schwimmstabilität der Wasserflugzeuge.
- DVL.-Jahrbuch 1937: Sottorf, Gestaltung von Schwimmwerken.
- DVL.-Jahrbuch 1937: Sottorf, Analyse experimenteller Untersuchungen über den Gleitvorgang an der Wasseroberfläche.
- DVL.-Jahrbuch 1937: Boccius, Eigenschwingungen der Seeflugzeuge im ruhigen Wasser.
- DVL.-Jahrbuch 1937: Mewes, Seegangsunterscheidungen im Seeflugwesen.
- DVL.-Jahrbuch 1937: Sottorf, Der Wassertragflugel in Anwendung auf das Seeflugzeug.
- ZFM. 1928: Pröll, Start schwerbelasteter Flugzeuge.
- ZFM. 1930: Schröder, Über die Bestimmung von Widerstand und Trimmoment bei gleitenden Wasserfahrzeugen.
- ZFM. 1931: v. Gronau, Seeflugzeug und Schiff.
- ZFM. 1931: Wagner, Über die Landung von Seeflugzeugen.
- ZFM. 1931: Schröder, Ein Übertragungsgesetz der Hydrodynamik und seine Anwendung bei der Untersuchung des Starts von Seeflugzeugen.
- ZFM. 1931: Seewald, Über Schwimmer und Schwimmerversuche.
- ZFM. 1931: Schwarzler, Flugzeugkatapulte.
- ZFM. 1932: Pabst, Schwimmwerksentwicklung und ihre versuchstechnischen Hilfsmittel.
- ZFM. 1932: Sottorf, Über den Einfluß des Modellmaßstabes bei der Untersuchung von Flugzeugschwimmern.
- ZFM. 1933: Kohler, Luftkräfte und Luftkraftmomente an einem Seeflugzeug auf dem Wasser.
- WGL. 1922: Dornier, Über Metall-Wasserflugzeuge.
- WGL. 1922: Hering-Lewe, Form und Festigkeit der Seeflugzeug-Unterbauten mit besonderer Berücksichtigung der Seefähigkeit.

- WGL. 1926: Dornier, Neuere Erfahrungen im Betrieb und Bau von Metallflugzeugen.
- WGL. 1926: Herrmann, Schwimmer und Flugbootkörper.
- WGL. 1926: Rumppler, Der Transozeanflug.
- WGL. 1927: Diemer, Flugboot und Seegang.
- Lufo III, S. 81: Rackwitz-Schmidt-Kramer, Über den Schutz von Sperrholz gegen Feuchtigkeitsaufnahme durch Paraffin Vorbehandlung.
- Lufo 1932: Thalau-Kußner, Entwicklung der Festigkeitsvorschriften für Flugzeuge.
- Lufo XIV; 4, 5, S. 157: Sottorf, Gestaltung von Schwimmwerken.
- Lufo XIII; 7, S. 224: Schmidt, Maßstabeinfluß bei Schleppversuchen von Schwimmwerken.
- Lufo-Jahrbuch 1935: Mewes, Die Stoßkräfte an Seeflugzeugen bei Starts und Landungen.
- Lufo-Jahrbuch 1935: Croseck, Forschung auf dem Gebiet des Seeflugwesens.
- Lufo-Jahrbuch 1936: Kempf, Bisher vorliegendes Material über Windstärken und Seegänge.
- Lufo-Jahrbuch 1937: Mewes, Seegangsunterscheidungen im Seeflugwesen.
- Lufo-Jahrbuch 1937: Sottorf, Der Wassertragflügel in Anwendung auf das Seeflugzeug.
- Lufo-Jahrbuch 1937: Tietjens, Das Tragflächenboot.
- „Luftwissen“, 1936, S. 329: Zur Entwicklung von Großflugbooten.
- Thalau-Teichmann, Aufgaben aus der Flugzeugstatik (Verlag Julius Springer, Berlin, 1933).
- Bauvorschriften für Flugzeuge 1936, 1933.