

# Vom Skiweitsprung und seiner Mechanik

Autor(en): **Straumann, R.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ski : Jahrbuch des Schweizerischen Ski-Verbandes = Annuaire de l'Association Suisse des Clubs de Ski**

Band (Jahr): **22 (1927)**

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-541414>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Vom Skiweitsprung und seiner Mechanik.

## 1. Einleitung.

Im Jahrbuch «Ski» 1926 machte ich den Versuch, durch Beobachtungen von Flugbahnen die Mechanik des modernen Skiweitsprunges zu erklären und vor allem dem Einfluss des Luftwiderstandes die ihm gebührende Achtung zu verschaffen. Von bekannten aerodynamischen Untersuchungen an Flügelmodellen übernommenen Widerstandsfaktoren wurden einige zur Berechnung von Flugbahnen beim Skiweitsprung verwendet und deren Verwendbarkeit durch Vergleich mit beobachteten Flugbahnen nachgeprüft. Aus der Untersuchung der Flugbahn mit Berücksichtigung der verschiedenen Körperstellungen des Springers ergaben sich Folgerungen, die für die Weiterentwicklung des Skiweitsprunges ausschlaggebend sein werden:

1. Der Anlauf soll in tiefer Hocke mit nach hinten verlegtem Gewicht erfolgen.

2. Der Absprung soll aus der tiefen Hocke durch ein blitzschnelles Vorschnellen in die starke Vorlage erfolgen.

3. Die Vorlage soll während des Fluges durch zunehmendes Abknicken des Oberkörpers beibehalten werden.

4. Als Idealprofil für die Aufsprungbahn wurde eine Flugbahn vorgeschlagen, die der vorgesehenen grössten Sprungweite entspricht.

Für die einwandfreie Beobachtung und Festlegung der Flugbahn standen die erforderlichen Mittel nicht zur Verfügung, so dass nicht nur den eingesetzten Widerstandsfaktoren sondern auch der Nachprüfung der Flugbahnen die wünschenswerte Präzision und Zuverlässigkeit mangelte.

Damit die im Jahrbuch 1926 vorgeschlagene Berechnungsmethode präzise und zuverlässig wird, müssen die Luftwiderstandsfaktoren eines Skispringers bekannt sein. Zur Untersuchung der fehlenden aerodynamischen Daten wurde ein Springermodell angefertigt (Fig. 1) und zur Untersuchung an die Aerodynamische Versuchsanstalt in Göttingen eingesandt.

## 2. Untersuchung des Springermodelles.

Das Modell entspricht in allen Abmessungen genau den Ausmassen eines Springers mit angeschnallten Ski auf ca.  $\frac{1}{4}$  der natürlichen Grösse reduziert. Zum bessern Verständnis der nachfolgend beschriebenen Versuche und Versuchsergebnisse sei hier kurz erläutert, wie Modelle aerodynamisch untersucht werden.

Die aerodynamischen Kräfte, die auf einen sich in der Luft bewegenden Körper wirken, sind bedingt durch die Dichte der Luft, die geometrischen Formen des Körpers und die *Relativgeschwindigkeit* des Körpers gegen die Luft. Die Widerstandskräfte sind allgemein:  $R = KSV^2$  wo  $R =$  Widerstand,  $S =$  Oberfläche des Modelles,  $K$  eine der Form und der Lage des Körpers entsprechende Konstante und  $V$  die Relativgeschwindigkeit des Körpers gegen die Luft ist. Es ist nun Aufgabe des Versuches, den Faktor  $K$  zu bestimmen. Der Körper wird zu diesem Zwecke an empfindlichen Wagen aufgehängt, so dass sowohl die Kräfte parallel zur Relativbewegung wie auch senkrecht dazu gemessen werden können. Da es sich hier um eine *Relativgeschwindigkeit*  $V$  handelt, kann zur Ausführung der Messungen der Körper in einer Aufhängung ruhen und sich die Luft mit der Geschwindigkeit  $V$  gegen ihn bewegen. Die auf den Körper wirkenden Kräfte sind in diesem Falle dieselben, wie wenn sich der Körper mit der Geschwindigkeit  $V$  in ruhender Luft bewegen würde. Fig. 1 zeigt das Springermodell im Windkanal der Versuchsanstalt aufgehängt. Die Luft wird aus dem Luftkanal, dessen Oeffnung hinter dem Modell sichtbar ist, gegen den Springer geblasen. Es kann nun z. B. die Widerstandskraft  $R$  parallel zur Windrichtung gemessen werden, ebenso wird die Geschwindigkeit  $V$  und die Fläche  $S$  gemessen, so dass  $K$  bestimmt werden kann.

Für einen geometrisch ähnlichen Körper von der Fläche  $S_1$ , der sich mit der Geschwindigkeit  $V_1$  bewegt, ist der auf ihn wirkende Widerstand  $R_1 = KS_1V_1^2$ .

Durch dieses Verfahren ist es somit möglich, für einen beliebigen sich in der Luft bewegenden Körper die Widerstandskräfte an einem ihm ähnlichen Modell im Luftkanal zu bestimmen.

Für die Untersuchung des Springermodelles machen wir folgende Voraussetzung: Die Ski liegen parallel zur Bewegungsrichtung (es ist dies die einzig mögliche Lage, die den Flug nicht stört).

Es sollen folgende Aufgaben gelöst werden:

1. Welches ist die aerodynamisch günstigste Körperhaltung und Vorlage des Springers.
2. Welches die günstigste Vorlage für:
  - a) gestreckten Körper (Fall I);
  - b) aufgerichteten und abgeknickten Körper (Fall II);
  - c) leicht gewölbten Körper (Fall III).
3. Welches sind die zur Berechnung der Flugbahnen erforderlichen Einheitswiderstände:

$Ca$  = Einheitswiderstand senkrecht zur Bewegungsrichtung

$Cw$  = » parallel » »

4. Wie ist die Lage und Richtung des Luftwiderstandes in Bezug auf den Körper des Springers.

Zur Lösung der gestellten Aufgaben wurde das Springermodell in der durch die Kurvenblätter I, II und III gegebenen Lagen untersucht.

Gemessen wurden bei den verschiedenen Springerhaltungen der Auftrieb  $A$  senkrecht zur Windrichtung, Widerstand  $W$  parallel zur Windrichtung und das Moment  $M$  um den Fussdrehpunkt. Die Beiwerte ergeben sich aus den Bezeichnungen:

$$Ca = \frac{A}{qF}; Cw = \frac{W}{qF}; Cm = \frac{M}{qFh}; Cr = \sqrt{Ca^2 + Cw^2}$$

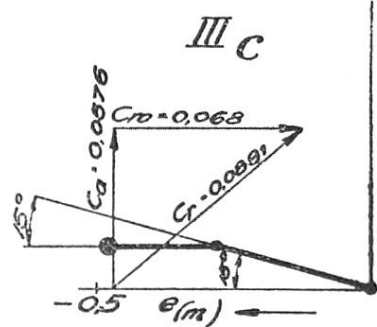
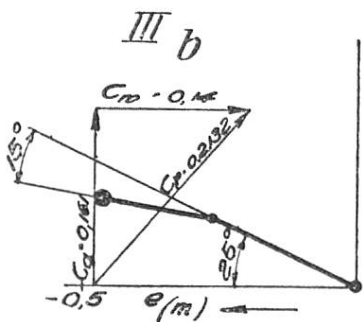
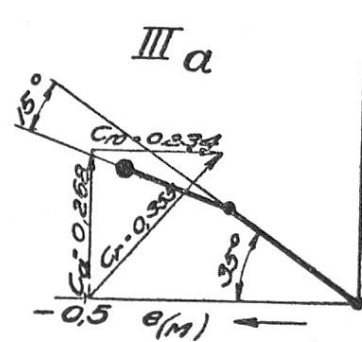
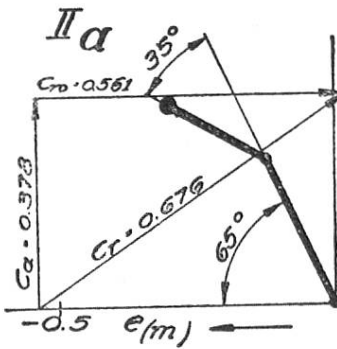
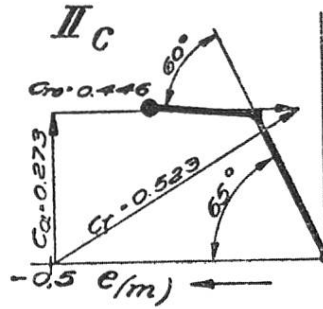
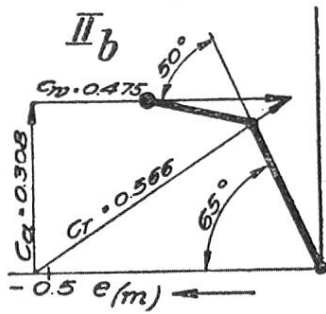
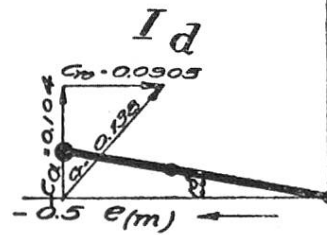
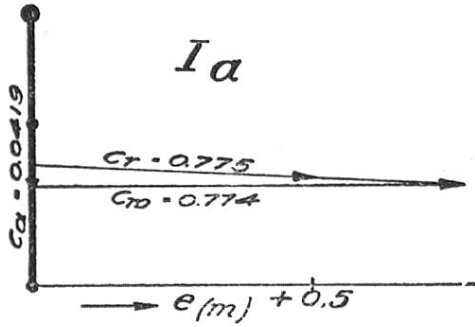
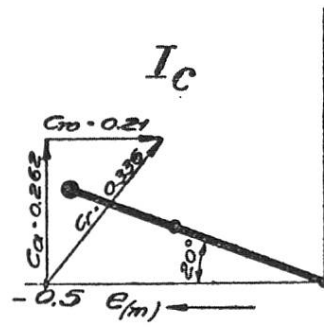
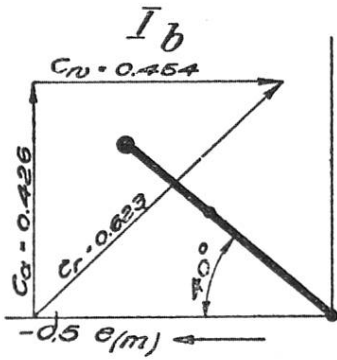
$e$  ist der Abstand des Angriffspunktes des Auftriebs vom Fussdrehpunkt  $e = \frac{Cm}{Ca} \cdot h$ ;  $F$  ist die Fläche  $h$ ,  $b$ ,  $h$  die Höhe vom

Scheitel bis zum Fussdrehpunkt,  $b$  Schulterbreite,  $q = \frac{\rho}{2} \cdot V^2$  = Staudruck der Geschwindigkeit,  $\rho = ca. \frac{1}{8}$  = Luftdichte.

*Auszug aus dem Versuchsprotokoll.*

	$A$ kg	$W$ kg	$Ca$ ,	$Cw$ ,	$Cm$ ,	$Cr$	$em$
Versuche I							
$a$	0,125	2,311	0,0419	0,774	—0,344	0,775	4,02
$b$	1,272	1,356	0,426	0,454	—0,469	0,623	—0,54
$c$	0,785	0,626	0,262	0,210	—0,268	0,336	—0,501
$d$	0,312	0,271	0,104	0,0905	—0,102	0,138	—0,48
Versuche II							
$a$	1,128	1,676	0,378	0,561	—0,414	0,676	—0,537
$b$	0,920	1,418	0,308	0,475	—0,328	0,566	—0,522
$c$	0,815	1,332	0,273	0,446	—0,276	0,523	—0,495
Versuche III							
$a$	0,802	0,686	0,268	0,234	—0,268	0,3555	—0,490
$b$	0,480	0,419	0,161	0,140	—0,157	0,2132	—0,478
$c$	0,172	0,203	0,0576	0,068	—0,055	0,0891	—0,467

Die aus den Versuchen berechneten Einheitskräfte sind auf den Kurvenblättern eingesetzt nach Richtung und Grösse.



### 3. Verwertung der Versuchsergebnisse.

Zur Beantwortung der Aufgabe 1 (beste Körperhaltung und Vorlage) konstruiere ich die Polare  $C_a = f(C_w)$  entsprechend den Versuchen I, II, III (Fig. 2). Die Polare I kann vollständig konstruiert werden vom Anstellwinkel  $\alpha = 0^\circ$  bis  $90^\circ$ . Polare II und III im Bereich von  $6^\circ$  bis  $40^\circ$ .

*Polare I:* Der Springer liegt mit gestrecktem Körper in der Luft, bekannt sind die Werte von  $C_a$  und  $C_w$ , den Anstellwinkeln  $10^\circ, 20^\circ, 40^\circ, 90^\circ$  entsprechend. Es ist nun derjenige Anstellwinkel der beste für den  $C_a/C_w$  am grössten ist, d. h. für den die den Springer tragende Komponente  $C_a$  möglichst gross ist im Verhältnis zum bremsenden Widerstand  $C_w$ . Die Lösung wird graphisch durch den Berührungspunkt, der durch 0 gelegten Tangente an die Polare gegeben (Punkt C, Fig. 2). Durch Markieren der Anstellwinkel auf der Polare

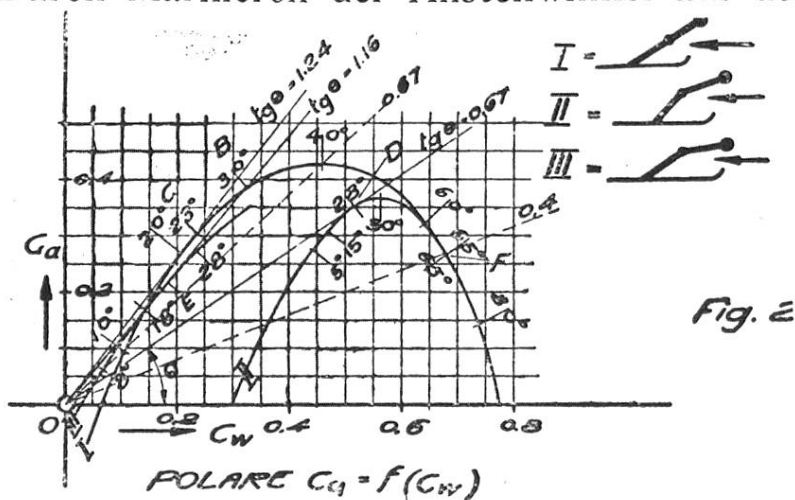


Fig. 2

ergibt sich durch Interpolation der Anstellwinkel in Punkt C  $\alpha = 23^\circ$ . Die Polare ist zwischen  $\alpha = 15^\circ$  und  $30^\circ$  ziemlich flach, so dass der Springer während des Fluges den Anstellwinkel zwischen  $15^\circ$  und  $30^\circ$  variieren kann, ohne dass die Grösse  $\text{tg } \theta = C_a/C_w$ , d. h. der aerodynamische Wirkungsgrad wesentlich beeinflusst wird. Das Maximum für  $\text{tg } \theta$  beträgt  $\text{tg } \theta = 1,24$  für  $\alpha = 23^\circ$  Grad. Die Polare gibt im fernern für  $\alpha = 15^\circ$  und  $30^\circ$   $\text{tg } \theta = 1,16$ . Es folgert sich hieraus der wichtige Satz:

*Für die gestreckte Körperhaltung gibt  $23^\circ$  Vorlage (gegen Flugrichtung) den besten aerodynamischen Wirkungsgrad, d. h. die gestreckteste, längste Flugbahn.*

Die Vorlage kann sich ohne wesentlichen Einfluss auf den Flug zwischen  $15^\circ$  und  $30^\circ$  verändern.

*Polare II:* Der Springer steht mit  $65^\circ$  gegen die Flugrichtung und verändert die Abknickung des Oberkörpers von  $5^\circ$  bis  $30^\circ$ , gemessen wird bei  $5^\circ, 15^\circ$  und  $30^\circ$ . Die Polare II entspricht diesen Messungen. Punkt  $65^\circ$  muss mit Punkt  $65^\circ$

der Polare I zusammenfallen. Die durch 0 gelegte Tangente berührt die Polare II in Punkt D bei  $\alpha = 28^\circ$   $tg \theta$  beträgt für diesen Punkt  $tg \theta = 0,67$ .

Es folgert aus obigen Feststellungen:

Für die geknickte Körperhaltung soll der Oberkörper mit der Flugrichtung einen Winkel von  $28^\circ$  bilden; er kann ohne wesentlichen Einfluss zwischen  $20^\circ$  und  $30^\circ$  variieren.

*Polare III*: Der Springer ist leicht gewölbt (schwach abgeknickt); gemessen wurde  $\alpha = 8^\circ, 18^\circ, 28^\circ$ . Die Tangente an die Polare durch 0 gelegt berührt bei  $\alpha = 23^\circ$ . Für  $\alpha = 23^\circ$  beträgt  $tg \theta = 1,16$ . Für den Anstellwinkel ist somit die gleiche Regel anzuwenden, wie für die gestreckte Körperhaltung (Polare I). Frage 2 ist somit beantwortet.

Zur Beantwortung von Frage 1 vergleichen wir Grösse  $tg \theta$  für die drei Punkte C, D, E.  $tg \theta$  ist im Punkte E am grössten, d. h. *die gestreckte Körperhaltung ist aerodynamisch günstiger als die geknickte Haltung*.

*Die beste Lage des Springers ist somit: gestreckter Körper bei  $23^\circ$  Vorlage.*

Der Vergleich der Polare I und II gibt uns noch folgende wertvolle Aufklärung: Ein *Hochspringer* kann seine Flugbahn dadurch verbessern, dass er unmittelbar nach dem Absprung den Oberkörper auf  $28^\circ$  Anstellwinkel abknickt (Fig. 3). Da-

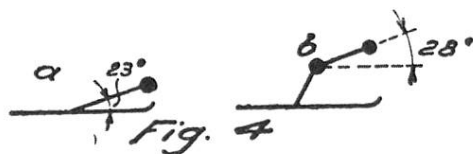


durch verbessert er im Falle unseres Beispiels  $tg \theta$  von 0,4 auf 0,67 und streckt damit seine Flugbahn ganz erheblich. Anlässlich der Berechnung der Flugbahnen wurden einige dieser Kurven, die den verschiedenen Körperhaltungen entsprachen, verglichen. Verfolgen wir an Polare I und II das Beispiel von Fig. 3. Der Flug mit gestrecktem Körper und  $65^\circ$  Vorlage entspricht Punkt F auf Polare I, hier beträgt  $Ca = 0,27$ ,  $Cw = 0,678$ ,  $tg \theta = \frac{Ca}{Cw} = 0,4$ . Nach Abknicken des Ober-

körpers in Vorlage  $65^\circ/28^\circ$  entspricht der Flug Punkt D auf Polare II mit folgenden Faktoren:  $Ca = 0,365$ ,  $Cw = 0,54$   $tg \theta = 0,67$ , mit andern Worten wird der bremsende Widerstand durch das Abknicken kleiner, der sprungverlängernde Auftrieb grösser. Vorliegendes Untersuchungsergebnis erklärt, weshalb Springer mit dieser Technik oft erfolgreich sind. Wie wir später zeigen werden, erleichtert das Abknicken des Oberkörpers das Vordrehen des Körpers in die starke Vorlage;

es ist sogar nach erfolgtem Hochsprung eine notwendige Bedingung, wenn aerodynamisch wirksame Vorlage erreicht werden soll.

Allgemein können wir nach obiger Untersuchung sagen: jede Körperhaltung ist aerodynamisch wirksam (sprungverlängernd), wenn der Anstellwinkel des Oberkörpers gegen die Flugrichtung zwischen  $20^\circ$  und  $30^\circ$  liegt (Fig. 4). Zwischen den Lagen  $a$  und  $b$  in Fig. 4 sind eine ganze Anzahl Zwischenlagen möglich.



Die Beantwortung der Frage 3 finden wir im Versuchsprotokoll oder durch die Polare I bis III, die die Ermittlung von  $C_a$ ,  $C_w$ ,  $C_r$  für alle möglichen Punkte der Kurve erlauben.

Frage 4 wird beantwortet durch Versuchsprotokoll und die Kurventafeln I, II, III.

#### 4. Berechnung der Flugbahnen.

Nachdem nun  $C_a$  und  $C_w$  zuverlässig bestimmt sind, ist es möglich, nach der im Jahrbuch 1926 gegebenen Methode Flugbahnen zu berechnen. Nach Beobachtungen vom letzten Winter trifft es sehr oft zu, dass der Springer während des Fluges seine Vorlage so verändert, dass er bis unmittelbar vor der Landung mit konstantem Einfallswinkel gegen die Flugrichtung durch die Luft gleitet.

Nehmen wir vorläufig an, der Springer gleite ohne Absprung von der Schanze weg in die Luft. Die Flugbahn ist in diesem Falle bestimmt durch die Abgangsgeschwindigkeit  $V_0$  von der Schanze, durch die Neigung  $\beta_0$  der Schanze, durch die Körperhaltung, die Masse  $m$  des Springers und seine Oberfläche  $F$  (Totalhöhe  $h$  mal Schulterbreite).

In einem beliebigen Punkt der Flugbahn  $L-L$  können wir die Kräfte parallel und senkrecht zur Flugbahn oder längs der  $x$ - und  $y$ -Achse wirkend nach Fig. 5 aufzeichnen. Es ist dabei  $\beta$  = Neigung der Flugbahn gegen den Horizont  $Q$  das Gewicht des Springers,  $V$  die Fluggeschwindigkeit und  $R$  = Luftreaktion,  $\operatorname{tg} \theta = \frac{C_a}{C_w}$ . (Je nach Körperhaltung und Vorlage aus der entsprechenden Polare bestimmbar.)

Es ist ferner  $\varphi = 90 - (\beta + \theta)$ . Die Oberfläche eines Springers in natürlicher Grösse  $a \cdot b = 1 \text{ m}^2$ .

Wir führen die nachfolgenden Rechnungen durch nach



der allgemeinen Formel:  $R = Kr \cdot S \cdot V^2$ ,  $Kr = \frac{\rho}{2} \cdot Cr$ , wo  $\rho$  = Luftdichte, somit:  $Kr = 0,0625 Cr$ .

Die Modellversuche liefern:  $Cr$ ,  $Ca$ ,  $Cw$  usw. Wir können somit schreiben:  $Kr = 0,0625 Cr$ ,  $Ka = 0,0625 \cdot Ca$ ,  $Kw = 0,0625 Cw$ .

Für die Oberfläche  $F = 1 \text{ m}^2$  reduziert sich die allgemeine Widerstandsformel in  $R = Kr \cdot V^2$ .

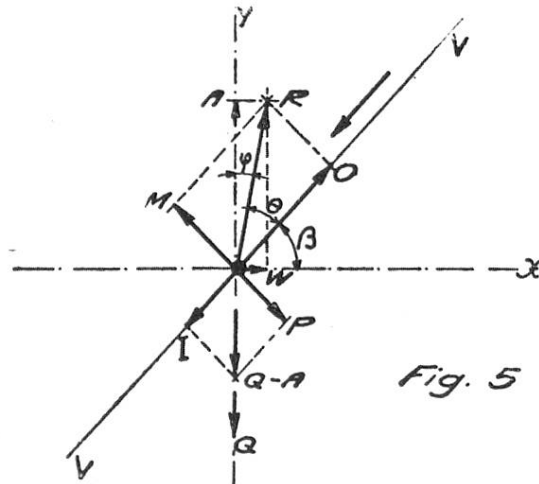


Fig. 5

Nach Fig. 5 können wir schreiben:

$$\begin{aligned} M &= R \cdot \sin \theta \\ Q &= R \cdot \cos \theta \\ A &= R \cdot \cos \varphi \quad \varphi = 90 - (\beta + \theta) \\ A &= R \cdot \sin (\beta + \theta) \\ : \operatorname{tg} \theta &= \frac{Ka}{Kw} = \frac{Ca}{Cw} \end{aligned}$$

Nach der im Jahrbuch 1926 vorgeschlagenen Berechnungsmethode schreiben wir für die Bewegung senkrecht zur Flugrichtung:

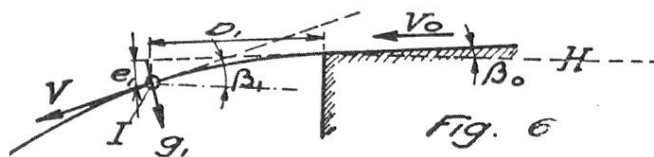


Fig. 6

$$R = Kr \cdot V^2$$

$$A = R \cdot \sin (\beta + \theta)$$

$$P = (Q - A) \cdot \cos \beta$$

$$\gamma = \frac{P}{m}$$

$$t_1 = \frac{D_1}{V_0}$$

$$e_1 = \frac{1}{2} \gamma t_1^2$$

$$g_1 = \gamma t_1$$

Wo  $m$  = Masse des Springers,  $t_1$  die Zeit, die der Springer braucht für die Elementarstrecke  $D_1$ ,  $e_1$  die Abweichung senkrecht zur Strecke  $D_1$  während der Zeit,  $t_1 g_1$  die Geschwindigkeit dieser Abweichung.

Parallel zur Flugrichtung haben wir:

$$\begin{aligned}
 O &= Kw \cdot V^2, (Q-A) \cdot \sin \beta & n &= \text{Beschleunigung} \\
 n &= \frac{0}{m} & \frac{g_1}{V_1} &= \text{tg } w & V_1 &= \text{Geschwindigkeit in} \\
 & & & & & \text{Punkt I (Fig. 6)} \\
 V_1 &= V_0 - nt_1 & \beta_1 &= \beta_0 + w & \beta &= \text{ist der Winkel gegen} \\
 & & & & & \text{Horizont der Geschwin-} \\
 & & & & & \text{digkeit in Punkt I.}
 \end{aligned}$$

Die Grössen  $Cr$  und  $Cw$  wurden der Polare (Fig. 2) entnommen, die der zur Berechnung vorausgesetzten Körperhaltung des Springers entspricht. Durch die Festsetzung der Berechnung für weitere Teildistanzen  $D$  nach obigem Schema wird die Flugbahn berechnet.

Diese Methode hat den Vorteil, sehr genaue Resultate zu liefern, wenn die Abschnitte  $D$  klein gewählt werden. Sie hat den weitem Vorteil, dass alle Variablen im Verlaufe der Rechnung beliebig verändert werden können, entsprechend einer Veränderung der Körperhaltung des Springers und so für alle möglichen Sonderfälle die Flugbahn berechnet werden kann. Das Verfahren hat aber den Nachteil, etwas umständlich zu sein.

## 2. Analytische Methode.

Nach Fig. 5 ergeben sich die Bewegungsgleichungen:

$$\begin{aligned}
 m \frac{d^2y}{dt^2} &= Kr \cdot V^2 \sin (\beta + \theta) - Q \\
 m \frac{d^2x}{dt^2} &= Kr \cdot V^2 \cos (\beta + \theta)
 \end{aligned}
 \quad \text{wo } V^2 = \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dx}{dt}\right)^2$$

Während des Fluges verändern sich aber sowohl  $\beta$  wie auch  $\theta$  und mit  $\theta$  auch  $Kr$ .

Damit die Aufgabe für die praktisch intervenierenden Fälle gelöst werden kann, seien folgende Voraussetzungen gemacht:

1. Der Springer führt seinen Körper so, dass sich der Anstellwinkel während des ganzen Fluges so ändert, dass  $\theta$  klein bleibt und z. B. zwischen  $30^\circ$  und  $0^\circ$  liegt.

$\alpha$  würde in diesem Falle sich zwischen  $20^\circ$  und  $40^\circ$  befinden. (Am Anfang des Fluges klein, gegen die Landung hin grösser.)

Aus der Polare I (Fig. 2) ist ersichtlich, dass mit grösser werdenden  $\alpha$   $Cr = O-B$  grösser wird. Für eine Variation von  $\alpha$  von  $20^\circ$  bis  $40^\circ$  variiert  $\text{tg } \theta$  von 0,34 bis 0,62. Aus einer nach Methode I berechneten Flugbahn ist ersichtlich, dass  $\beta$  mit der Zeit rasch wächst, so dass der Winkel  $\varphi = 90 - (\beta + \theta)$  klein bleibt.

Es lässt sich ferner berechnen, dass die unter obigen Vor-

aussetzungen eintretenden Veränderungen von  $A$  und  $W$  sehr klein sind im Verhältnis zur Kraft  $Q - A$ ; auch ändert sich die Fluggeschwindigkeit auf der für uns in Frage kommenden Flugdauer wenig, so dass unter obiger Voraussetzung sowohl  $A$  wie auch  $W$  als Konstante eingesetzt werden können.

Es geht aus Vergleich der Polare I und II hervor, dass durch Abknicken des Oberkörpers  $Cr$  mit grösser werdendem  $\alpha$  annähernd konstant gehalten werden kann, ebenso  $\theta$ .

Das Abknicken des Oberkörpers mit zunehmender Sprungweite entspricht durchaus der Wirklichkeit. Es wird meistens so gesprungen.

Als Bewegungsgleichungen kann man nun schreiben:

$$m \frac{d^2y}{dt^2} = Q - A \quad A = Kr \cdot Vo^2 \cdot \cos \varphi \quad \varphi = 15^\circ$$

Aus der Polare ergibt sich für  $Cr$  der mittlere Wert  $Cr = 0,45$ ,  $Kr = 0,45$ , somit  $A = 0,0281 \cdot Vo^2 \cdot 0,966 = 0,027 \cdot Vo^2$   
 $0,0625 = 0,0281$

$$\boxed{A = 0,027 \cdot Vo^2} \quad (1)$$

ferner:  $m \frac{d^2x}{dt^2} = -W$ ,  $W = Kr \cdot Vo^2 \cdot \sin \varphi$  für  $\varphi = 15^\circ$  und  
 $Kr = 0,0281$

$$W = 0,0281 \cdot 0,259 \cdot Vo^2 = 0,0073 \cdot Vo^2$$

$$\boxed{W = 0,0073 \cdot Vo^2} \quad (2)$$

Für die Bewegung parallel zu  $x$ -Achse folgt

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -W, \quad \frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{W}{m} = \frac{dVx}{dt}$$

$$dVx = -\frac{W}{m} dt$$

$$Vx = -\int_0^t \frac{W}{m} = -\frac{W}{m} t + C_1. \quad \text{Es ist für } t = 0 \quad V = Vo, \text{ somit } C_1 = Vo.$$

$$\boxed{Vx = Vo - \frac{W}{m} t} \quad (3)$$

Es ist dies die Geschwindigkeit längs der  $x$ -Achse zur Zeit  $t$ . Der in der Zeit  $t$  zurückgelegte Weg  $x$  ergibt sich aus:

$$Vx = \frac{dx}{dt} = Vo - \frac{W}{m} t$$

$$x = Vo \int_0^t dt - \frac{W}{m} \int_0^t t dt$$

$$x = V_0 t - \frac{W}{2m} \cdot t^2 + C_2 \quad \text{für } t = 0 \text{ ist } x = 0 \text{ somit } C_2 = 0$$

$$\boxed{x = V_0 t - \frac{W}{2m} \cdot t^2} \quad (4)$$

Bewegungen parallel zur y-Achse

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = Q - A$$

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = \frac{Q - A}{m} = \frac{dV_y}{dt}$$

$$V_y = \frac{Q - A}{m} \int_0^t dt = \frac{Q - A}{m} t + C_1, \quad \text{für } t = 0, V_y = 0, \text{ somit } C_1 = 0,$$

$$\boxed{V_y = \frac{Q - A}{m} \cdot t} \quad (5)$$

$$\text{für } y \text{ ergibt sich } y = \frac{Q - A}{m} \int_0^t t dt = \frac{Q - A}{m} t^2 + C_3, \quad \text{für } t = 0, y = 0, C_3 = 0,$$

$$\boxed{y = \frac{Q - A}{2m} t^2} \quad (6) \quad t = \sqrt{\frac{2m}{Q - A} y}$$

Durch Substitution dieses Wertes  $t$  in 4) erhalten wir die Gleichung der Flugbahn:

$$x = V_0 \sqrt{\frac{2m}{Q - A} y} - \frac{W}{2m} \cdot \frac{2my}{Q - A}$$

$$\boxed{x = V_0 \cdot \sqrt{\frac{2m}{Q - A} y} - \frac{W}{Q - A} \cdot y} \quad (7)$$

Durch Substitution von  $W$  und  $A$  durch ihre Werte:

$$x = V_0 \sqrt{\frac{2m y}{Q - 0,027 V_0^2}} - \frac{0,0073 V_0^2}{Q - 0,027 V_0^2} \cdot y$$

Für die Geschwindigkeit in einem beliebigen Punkt der Flugbahn schreiben wir:

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

$$V^2 = \left( V_0 - \frac{W}{m} t \right)^2 + \left( \frac{Q - A}{m} t \right)^2$$

$$\boxed{V^2 = \frac{t^2}{m^2} [W^2 + (Q - A)^2] - \frac{2t}{m} V_0 \cdot W + V_0^2} \quad (8)$$

oder in Funktion der Fallhöhe  $y$



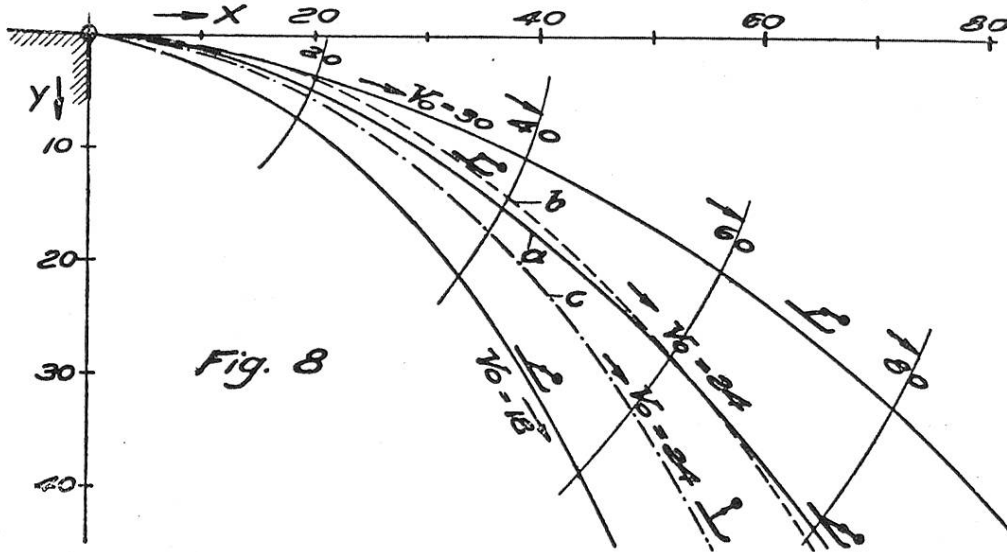
$$y = \frac{6x^2}{V_0^2} + \frac{30 - V_0}{100} \cdot x \quad (12)$$

bei der die  $x$ -Achse im Horizont liegt.

Die mit 12 erhaltenen Bahnen stimmen genau in den Grenzen  $V_0 = 18$  bis  $30$  m und für Sprungweiten  $\delta$  max =  $80$  m.

### 5. Einfluss verschiedener Körperhaltungen auf die Flugbahn.

Fig. 8 zeigt eine Flugbahn  $a$  I nach Polare I berechnet (mit gestrecktem Körper). Flugbahn  $b$  ist berechnet mit abgeknicktem Oberkörper, Flugbahn  $c$  mit senkrecht zur Flugrichtung stehendem, gestrecktem Körper.



Alle Bahnen ohne Absprung, um den Einfluss der Körperhaltung allein zur Geltung zu bringen.

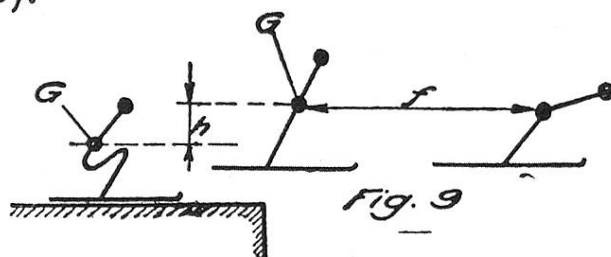
Es bestätigen diese Kurven die praktische Erfahrung, dass bis zu Sprungweiten von  $60$  m gestreckt und geknickt in richtiger Vorlage dieselben Sprungweiten erzielt werden. Wobei der Sprung nach Körperhaltung  $a$  grössere Landungsgeschwindigkeit mit kleinerem Einfallswinkel gibt als Flug  $b$ , wo mit grösserem Winkel und kleinerer Geschwindigkeit gelandet wird. Die Kurven zeigen auch, dass sich die Flugbahnen durch die Körperhaltung wenig verändern, wenn die Vorlage so gehalten ist, dass die Anstellwinkel immer grösser als  $20^\circ$  und nie grösser als  $40^\circ$  sind. Der aufgerichtete Körper gibt, wie zu erwarten ist, eine viel kürzere Flugbahn.

Um aus den entwickelten Formeln die Flüge für diesen Fall zu berechnen, setzt man  $\Theta = 0$ ,  $\varphi = 90 - \beta$ ,  $o = R$ ,  $C_w = C_r$ . Der Verlauf der Rechnung bleibt im übrigen derselbe.

## 6. Einfluss des Absprunges auf die Flugbahn.

### 1. Hochsprung mit Abknicken:

Beim Hochsprung wird durch den Sprung in die Höhe der Schwerpunkt des Springers gehoben. Die Flugbahn verläuft dann so, wie wenn die  $x$ -Achse um den Weg  $h$  gehoben würde (Fig. 9).



Dieser Absprung verlegt die Flugbahn höher, ohne die Form der Bahn zu beeinflussen, da keine der die Form bestimmenden Grössen dadurch eine Aenderung erleidet.

Die Gleichung der Flugbahn wird:

$$Xh = V_0 \sqrt{\frac{2m}{Q-A}} \cdot \sqrt{y+h} - \frac{W}{Q-A} (y+h) \text{ oder } yh = \frac{6x^2}{V_0^2} + \frac{30-V_0}{100} \cdot x - h$$

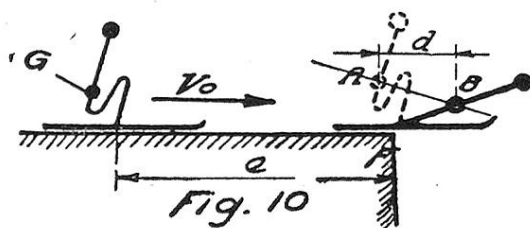
2. Kippsprung: Ich nenne den Sprung in die starke Vorlage so:

Hier hat der Absprung eine ganz andere Wirkung: der Schwerpunkt des Springers bewegt sich durch den Absprung von A nach B, d. h. der Springer verschiebt den Schwerpunkt in Bezug auf seinen Fussdrehpunkt um die Distanz  $d = A - B$ .

Rechnerisch kann der Absprung so erfasst werden:

Es sei  $V_0$  die Geschwindigkeit des Schwerpunktes vor dem Absprung,  $V_1$  die Geschwindigkeit nach dem Absprung.

Es sei ferner  $e$  der für den Absprung nötige Weg,  $t$  die der Strecke entsprechende Fahrzeit.



$$\text{Es ist: } t = \frac{e}{V_0}$$

Der Schwerpunkt  $G$  erhält im Verhältnis zum Fussdrehpunkt  $F$  eine Beschleunigung in der  $G$  während der Zeit  $t$  von A nach B verlegt wird. Nehmen wir an, die Beschleunigung sei gleichmässig. Es wird so: aus  $d = \frac{1}{2} \gamma t^2$  die Beschleunigung  $\gamma$ .

$$\gamma = \frac{2d}{t^2}$$

$$U = \sqrt{2 \gamma d} = 2 \frac{d}{t} \quad V_1 = V_0 + U$$

Wenn z. B.  $V_0 = 24$   $e = 12$  m  $d = 0,6$  m

$$t = 0,5 \quad U = 2 \cdot \frac{0,6}{0,5} = 2,4 \text{ m}$$

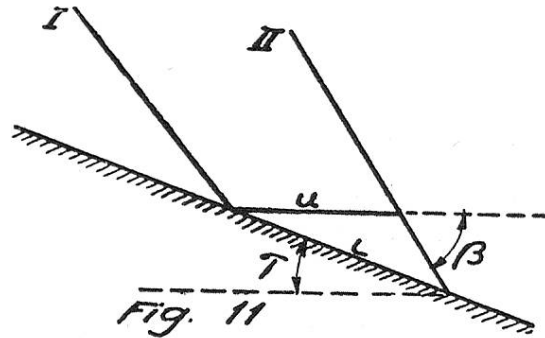
Im Falle unseres Beispiels erhöht somit der Springer durch den *Kippsprung* seine Geschwindigkeit von 24 auf 26,4 m. Der Kippsprung gibt somit die Flugbahn:

$$xk = \left( V_0 + 2 \frac{d}{t} \right) \cdot \sqrt{\frac{2m}{Q-A} y} - \frac{W}{Q-A} \cdot y$$

oder nach 12:

$$yk = \frac{6x^2}{\left( V_0 + 2 \frac{d}{t} \right)^2} + \frac{30 - \left( V_0 + 2 \frac{d}{t} \right)}{100} x$$

Die Längendifferenz  $L$  der beiden Sprünge errechnet sich wie folgt: aus Fig. 11) sind I und II die beiden Flugbahnen,



$u = xk - xh$ ,  $\tau$  der Winkel der Aufsprungbahn gegen Horizont und  $\beta$  der Winkel der Flugbahn gegen Horizont. Aus Fig. 11) geht hervor:

$$L = u \cdot \frac{\sin \beta}{\sin (\beta - \tau)}$$

Zusammenfassend: für Hochsprung:

$$xh = V_0 \sqrt{\frac{2m}{Q-A} (y+h)} - \frac{W}{Q-A} \cdot (y+h) \quad (14)$$

für Kippsprung:

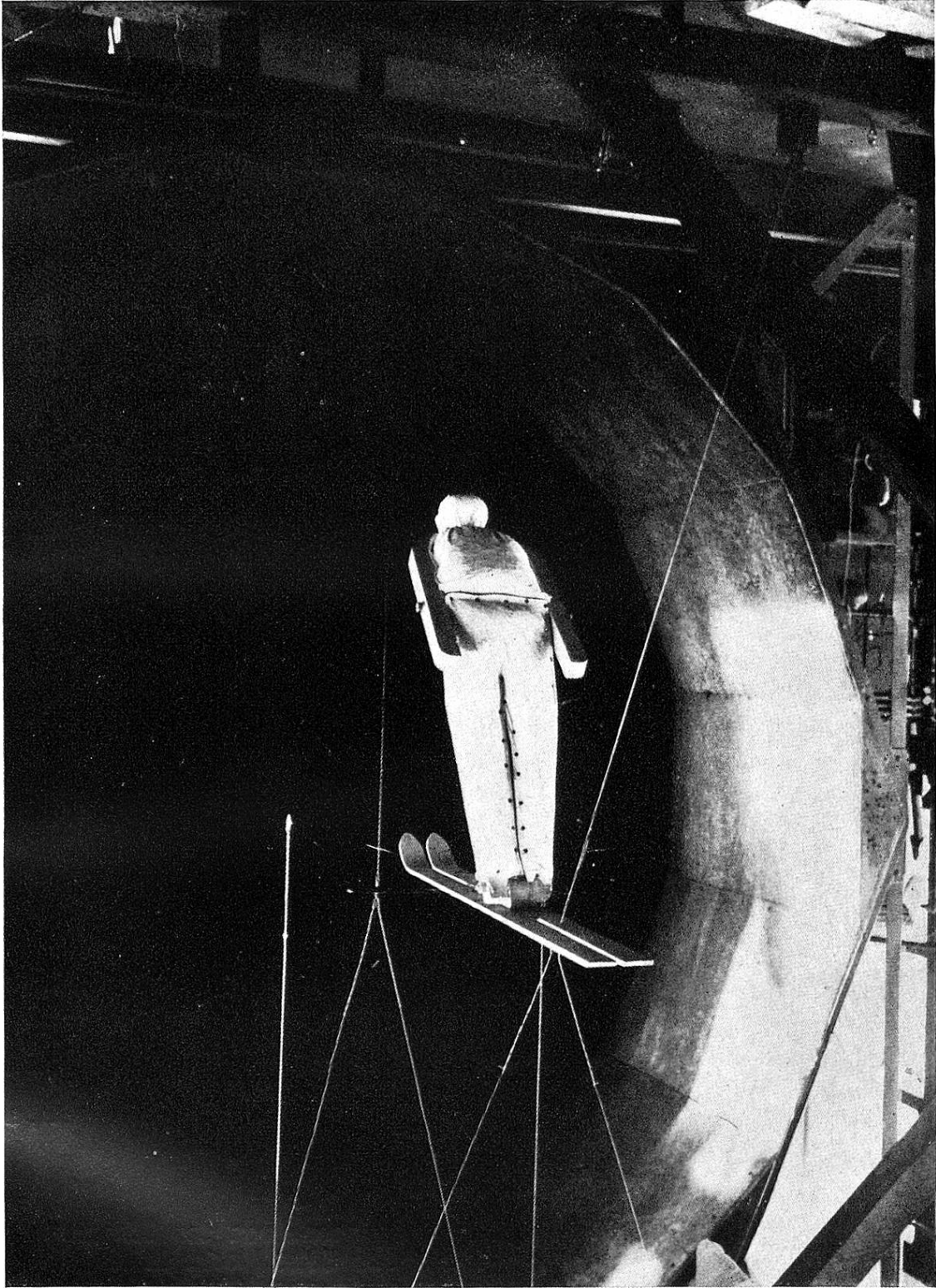
$$xk = \left( V_0 + 2 \frac{d}{t} \right) \sqrt{\frac{2m}{Q-A} y} - \frac{W}{Q-A} y$$

Längendifferenz:

$$xk - xh = u$$

$$L = u \cdot \frac{\sin \beta}{\sin (\beta - \tau)} = (xk - xh) \cdot \frac{\sin \beta}{\sin (\beta - \tau)} \quad (15)$$





Springermodell



Jeck, Basel

*Trojani in Kippsprung.*

Typisch für den Kippsprung ist das «Wegkippen» von der Schanze mit dem Absatz d. h. der Absprung erfolgt aus tiefer Hocke in die starke Vorlage auf der ganzen Fussohle oder besser «vom Absatz» im Gegensatz zum alten Absprung, der «aus den Zehen erfolgte» (Fussballe als Drehpunkt). Man bemerke wie Trojani auch nach dem Absprung mit dem ganzen Fuss auf den Skiern steht.

*Diskussion des Ergebnisses:*  $L$  wird um so grösser, je mehr sich  $\tau$  an  $\beta$  nähert, je kleiner  $(\beta - \tau) =$  Einfallswinkel auf die Bahn ist. Der Kippsprung wirkt um so vorteilhafter, je besser das Aufsprungprofil der Flugbahn angepasst ist, d. h. auf gewölbter Aufsprungbahn kommt der Kippsprung besser zur Geltung als auf Bahn mit geradlinigem Verlauf des Aufsprunghanges.

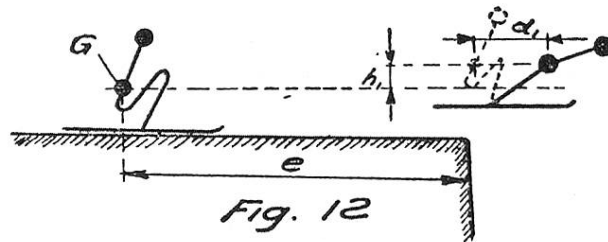


Fig. 12

Dieser wichtige Satz erklärt, weshalb Springer an Schanzen mit geradliniger Aufsprungbahn und grossem Einfallswinkel keine oder geringe Längenunterschiede zeigen (Pilatuschanze, Jungfrauschanze, Julierschanze, Schanze in Château d'Oex usw.), währenddem dieselben Leute an modernen Weitsprunganlagen (Olympiaschanze, Erzenbergschanze) Unterschiede bis zu 6 m zu Gunsten des Kippsprunges zeigen. Der Kippsprung hat den weitem Vorteil für sich, dass er gestrecktere Flugbahnen mit kleineren Landungswinkeln erzeugt und dadurch grössere Standsicherheit bei der Landung.

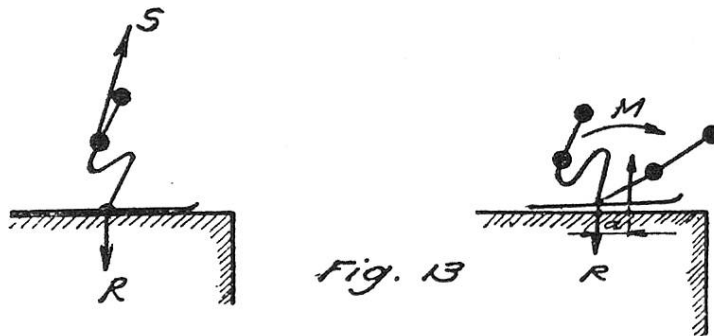


Fig. 13

Der Kippsprung hat mechanisch nur Vorteile gegenüber dem Hochsprung. Er unterscheidet sich vom Hochsprung mechanisch dadurch, dass er die *kinetische Energie* des Springers erhöht (Geschwindigkeitserhöhung), währenddem der Hochsprung die *potentielle Energie* erhöht (Höherverlegung der Flugbahn). Sowohl aerodynamisch wie auch ballistisch ist aber die Geschwindigkeitserhöhung um 1 bis 3 Sekundenmeter weitaus wirksamer als die Höhverlegung des Scheitels der Flugbahn um 0,6 bis 1 m.

*Kombination von Hoch- und Kippsprung:*

Ich setze als selbstverständlich voraus, es werde in aerodynamisch richtiger Haltung gesprungen. Nehmen wir nun an, der Springer springe kombiniert mit Hoch-Kippsprung. Gleichung 6 wird in diesem Falle:

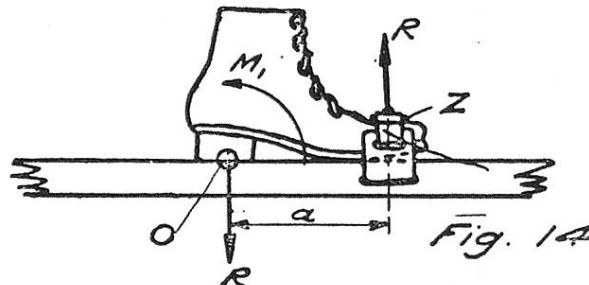
$$x_1 = (V_0 + 2 \frac{d_1}{t_1}) \sqrt{\frac{2 m}{Q - A} (y + h_1)} - \frac{W}{Q - A} (y + h_1)$$

es sei:  $\frac{2 d_1}{t_1} = q_1$

$$x_1 = (V_0 + q_1) \sqrt{\frac{2 m}{Q - A} (y + h_1)} - \frac{W}{Q - A} (y + h_1)$$

Für den Absprung steht in den Beinmuskeln des Springers eine bestimmte Energie zur Verfügung. Diese Energie kann verwendet werden, entweder zur Erzeugung einer Beschleunigung in Richtung  $S$  (Hochsprung) oder zur Erzeugung eines Drehmomentes  $M$  (Kippsprung). Beim kombinierten Sprung wird diese verfügbare Energie geteilt und sowohl zum Abstoss  $S$  wie auch zur Kippe  $M$  verwendet. Es werden nun beim Kippsprung nur z. T. dieselben Muskeln verwendet wie beim Hochsprung, weshalb möglich erscheint, den Gesamtenergiezuwachs beim kombinierten Sprung grösser zu gestalten. Es ist somit möglich, dass bei richtiger Kombination von Hoch- und Kippsprung  $X_1$  gleich oder sogar grösser werden kann als  $X_k$ , d. h.:

*Die richtige Kombination von Kipp- und Hochsprung liefert dieselbe oder unter Umständen noch grössere Sprungweite wie der reine Kippsprung, vorausgesetzt, dass das Kippmoment nicht wesentlich hinter demjenigen des reinen Kippsprunges zurückbleibt.*



Auch beim kombinierten Sprung muss somit das Hauptgewicht auf das Kippen verlegt werden. Es dürfte praktisch sehr schwer sein, beim kombinierten Sprung dieselbe Geschwindigkeitssteigerung zu erzielen wie beim reinen Kippsprung. Der kombinierte Sprung wird aber immer die härtere Landung bringen und somit die Beine stärker belasten als der Kippsprung.

*Grössere Beanspruchung der Bindung durch den Kippsprung.*

Das für den Kippsprung unentbehrliche Moment  $M$  erzeugt ein Reaktionsmoment  $M_1$  auf die Zehenriemen  $Z$  und durch den Absatz auf die Ski in  $O$  eine Reaktion  $R$ .

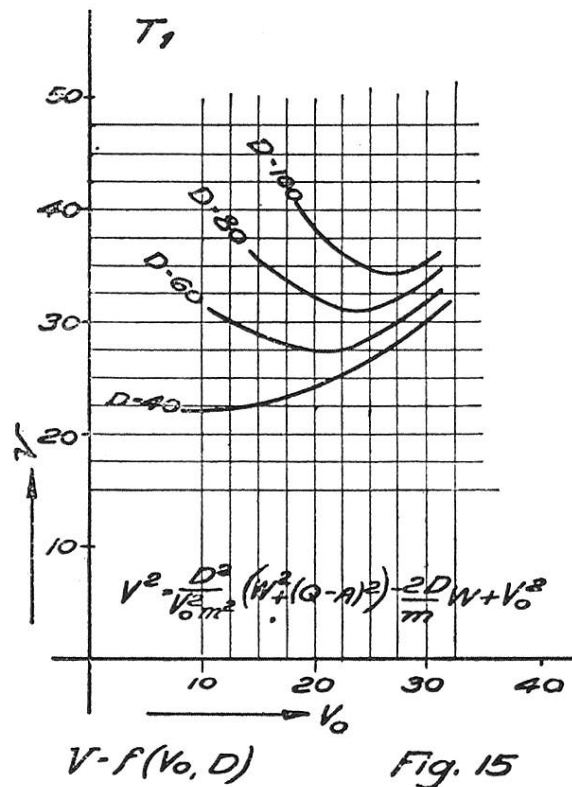
$$R \cdot a = M_1 = -M$$

*Die Bindung muss für Kippsprung besonders solid ausgeführt sein.*

## 7. Von der Landungsgeschwindigkeit.

Es scheint ohne weiteres klar, dass bei weiten Sprüngen danach getrachtet werden muss, dass die Landungsgeschwindigkeit und der Einfallswinkel klein werden.

Die Parameterdarstellung der Geschwindigkeit (7) lässt sich überführen in eine Funktion  $V = f(V_0, D)$ , wo der Parameter  $D$  die Sprunglänge  $D = V_0 t$  darstellt, somit  $t = \frac{D}{V_0}$ , wo  $V_0$  die Abgangsgeschwindigkeit ist, die für die in Betracht kommenden Sprunglängen nicht sehr verschieden ist vom Durchschnitt der Fluggeschwindigkeit, die mit zunehmender Fallhöhe etwas grösser wird.



in  $V^2 = \frac{t^2}{m^2} [W^2 + (Q-A)^2] - \frac{2t}{m} \cdot V_0 \cdot W + V_0^2$  setze ich

$$t = \frac{D}{V_0}$$

$$V^2 = \frac{D^2}{V_0^2 m^2} [W^2 + (Q-A)^2] - \frac{2D}{m} \cdot W + V_0^2$$

es sei  $V_D^2 = U$

damit die Geschwindigkeit  $V$  auf die Distanz  $D$  minimal wird, setzen wir das Differential  $U' = 0$  und lösen in  $V_0 = f(D)$  es folgt:

$$U' = 2 V_0 - \frac{2}{V_0^3} \left(\frac{D}{m}\right)^2 [W^2 + (Q-A)^2] = 0$$

$U'' > 0$  somit minimum

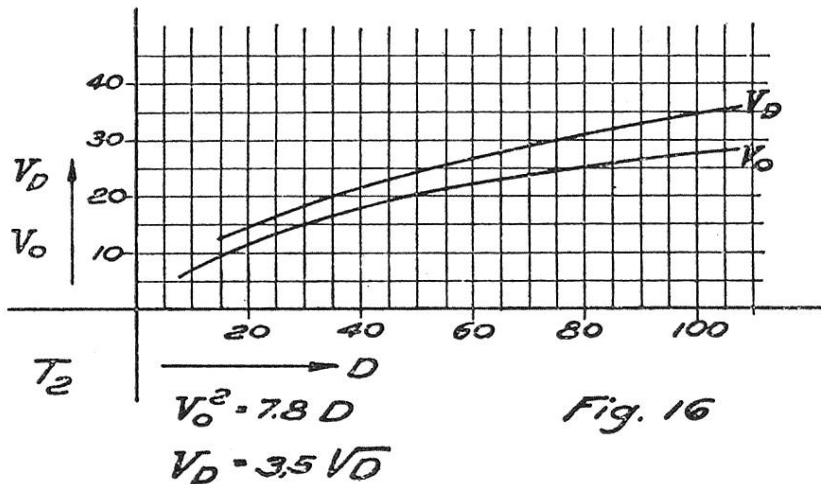
$$2 V_0^4 = 2 \left(\frac{D}{m}\right)^2 [W^2 + (Q-A)^2] = 0$$

$$V_0^2 = \frac{D}{m} \sqrt{W^2 + (Q-A)^2} \quad (15)$$

Das aus 15 errechnete  $V_0$  ist die Anfangsgeschwindigkeit derjenigen Flugbahn, die für die Sprunglänge  $D$  die kleinste Landungsgeschwindigkeit  $V_D$  gibt.

In (15) sind  $Q$  und  $M$  Konstante,  $W$  und  $A$  variieren im Geschwindigkeitsbereich der uns interessiert, wenig. Wir ersetzen sie in 15) durch ihre Mittelwerte und finden:

$$V_0^2 = 7,8 \cdot D \quad (16)$$



Es ist somit für die Distanz  $D$  diejenige Flugbahn die beste, deren Anfangsgeschwindigkeit  $V_0$  der Bedingung 16 genügt. Ist z. B. die Distanz  $D = 60$  m, so ist aus 16)  $V_0 = 21,6$  m. Die Sprungbahn sollte damit für die Maximaldistanz 60 so gebaut sein, dass die Flugbahn  $V = 21,6$  das Profil bei 60 m schneidet. Die Landungsgeschwindigkeit errechnet sich wie folgt:

$$V_D^2 = D \frac{D}{7,8 D} \frac{D}{m^2} [W^2 + (Q-A)^2] - \frac{2 D}{m} \cdot W + 7,8 D \quad (17)$$

$$V_D = 3,5 \sqrt{D}$$

durch Einsetzen der Mittelwerte von  $W$  m.  $A$ .  
Auf Distanz  $D = 60$  m landet der Springer mit  $V_0 = 27$  m.

### 8. Vom Anlauf.

Es sei eine Anlaufbahn  $C D$  mit Neigung  $\alpha$   
 $Q = P \cdot \sin(\alpha - 2)$  wenn wir den Reibungswinkel Holz —  
 $q = g \cdot \sin(\alpha - 2)$  Schnee =  $2^\circ$  annehmen.

Die Geschwindigkeit  $V$  tendiert gegen eine Grenzgeschwindigkeit  $V_2$ , für welche Gleichgewicht herrscht, d. h.  $V$  Konstant =  $V_2$  bleibt. Es ist somit die Bewegungsgleichung:

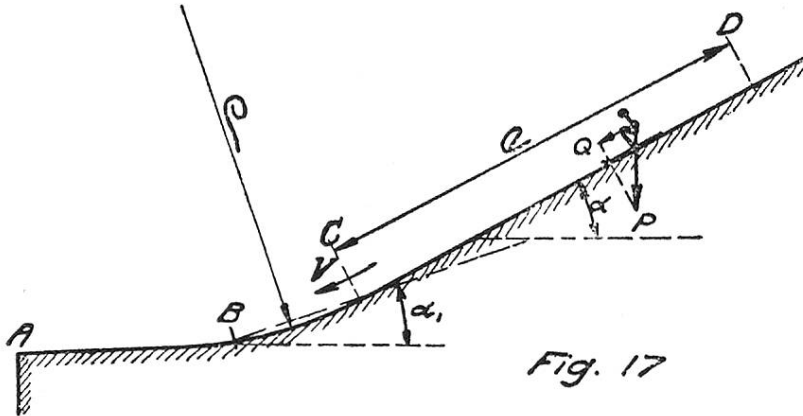


Fig. 17

$$m \frac{dv}{dt} = Q - Q \left( \frac{V}{V_2} \right)^2 \quad \text{für } V = V_2 \quad \frac{dv}{dt} = 0; \quad \frac{Q}{m} = q$$

durch Integration:

$$e = \int_0^1 V dt = \frac{V_2}{2q} \int_0^1 \frac{d(V^2)}{V_2^2 - V^2}$$

$$e = \frac{V_2^2}{2q} \cdot \ln \frac{V_2^2}{V_2^2 - V^2} \quad (18)$$

Wo  $V$  = Geschwindigkeit in C und  $e$  = Anlauflänge.

Es ist ferner:  $Q_2 = Kw \cdot S^1 \cdot V_2^2$  zum Springer in geduckter Anlaufhaltung entspricht:  $S = 0,55 \text{ m}^2$

$Kw$  nach Versuch) = 0,046. Für das Gewicht  $P = 80 \text{ kg}$ :

$$V_2 = \sqrt{\frac{Q}{Kw \cdot S}}$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{P \cdot \sin(\alpha - 2)}{0,046 \cdot 0,55}} = 56,2 \sqrt{\sin(\alpha - 2)} \quad (19)$$

$$q = 9,81 \cdot \sin(\alpha - 2)$$

Durch Substitution von  $V_2$  in (18):

$$e = 370 \cdot \log \cdot \frac{V_2^2 - V^2}{V_2^2} \quad (20)$$

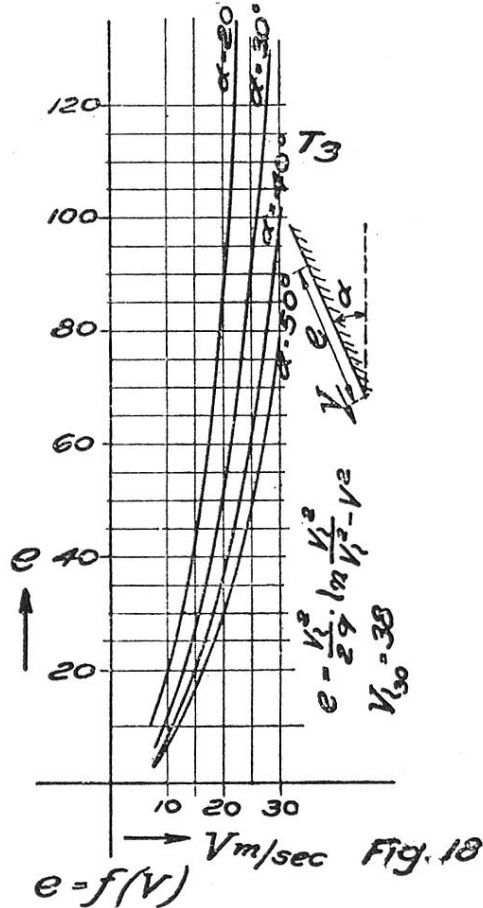
Fig. 18 gibt die aus 19) und 20) errechneten Werte  $e = f(V)$  für die Anlauf-Neigung  $\alpha = 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ$ .

Diese Kurve erlaubt somit die Ermittlung der Anlauflänge und Neigung, wenn die Geschwindigkeit  $V$  auf der Schanze bekannt ist.

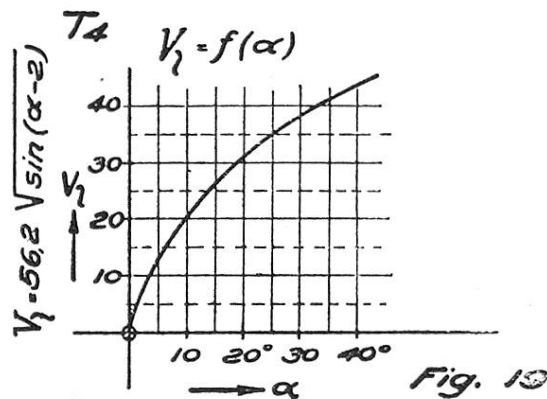
Als Grenzgeschwindigkeit finden wir:

für $\alpha = 30^\circ$	$V_2 = 38$ m
$\alpha = 25^\circ$	$V_2 = 35$ »
$\alpha = 20^\circ$	$V_2 = 31,2$ m
$\alpha = 15^\circ$	$V_2 = 26,6$ »
$\alpha = 10^\circ$	$V_2 = 20,4$ »
$\alpha = 5^\circ$	$V_2 = 12,8$ »

Fig 19



Der Uebergang auf die Schanze B—C. Der Uebergang soll so gehalten werden, dass  $V_2$ , das dem Durchschnittsgefäll  $\alpha_1$  entspricht, nicht kleiner ist als die Geschwindigkeit  $V$  in C; ist diese Bedingung erfüllt, so wirkt das Stück B—C nicht bremsend. Das geradlinig verlaufende Absprungstück A—B hat wenig Neigung ( $5^\circ$  bis  $8^\circ$ ). Die entsprechende Geschwindig-





keit  $V_2$  ist 13 m. Das Stück  $A—B$  wird somit immer bremsen und *ist deshalb so kurz wie möglich zu bauen*, d. h. nicht länger als die nötige Strecke für den Absprung bei grosser Geschwindigkeit. Erfahrungsgemäss (Erzenbergschanze, Berninaschanze) genügen 12 bis 15 m für  $A—B$  für Geschwindigkeiten von 20 bis 25 m.

*Druck im Uebergang B:*

Wenn  $m =$  Masse des Springers und  $\varrho =$  Radius des Ueberganges, so ist der Druck  $D =$

$$D = \frac{m V^2}{\varrho} \text{ für } m = 8,15, V = 23 \text{ m und } \varrho = 60 \text{ m wird}$$

$D = 72 \text{ kg}$ . Dieser Druck ist zu gross und wirkt störend auf den Absprung.

Wenn wir erfahrungsgemäss  $D = 50 \text{ kg}$  als zulässig starken Schanzendruck annehmen, so wird

$$\varrho = \frac{m V^2}{D} = \frac{8,15 \cdot 23^2}{50} = 85 \text{ m}$$

Es sollte somit für Schanzen mit Sprungweiten von 60 m und mehr, d. h. mit  $V = 23$  bis 25 m mit  $\varrho$  nicht kleiner gegangen werden als 80 m, sonst wirkt der Uebergang *störend und ermüdend auf den Springer und verhindert ihn, die volle Energie in den Absprung zu legen!*

Es sei hier noch darauf hingewiesen, wie falsch die vielfach verbreitete Auffassung ist, der Uebergang könne bei grossen Anlagen ebenso scharf und kurz gehalten werden wie bei Schanzen für Sprunglängen von 30 m. Folgendes Beispiel zeigt den Irrtum zahlenmässig: Es sei bei einer kleinen Anlage (Julierschanze)  $V = 18$ ,  $p = 50 \text{ m}$ ,

$$\text{somit der Druck } D = \frac{8,15 \cdot 18^2}{50} = 53 \text{ kg}$$

$$\text{für } V = 22 \text{ m: } D = \frac{8,15 \cdot 22^2}{50} = 79 \text{ kg}$$

$$\text{für } V = 25 \text{ m: } D = 102 \text{ kg.}$$

Bei einer Geschwindigkeitssteigerung von 18 auf 25 m wird der Druck nahezu verdoppelt. *Bei der für grosse Sprünge notwendigen hohen Geschwindigkeit (23 bis 25 m) kann ein zu grosser Schanzendruck verhängnisvoll werden.* Verfehlen des Abspringens, rückwärts Rotation mit Sturz auf Kopf oder Rücken! Das oben Gesagte gilt ebenfalls für den Uebergang in den Auslauf.

## 9. Von der Stabilität des Fluges.

Kurvenblätter I, II, III geben hierüber Aufschluss. Durch den Vergleich von I— $b$  mit II— $a, b, c$  ergibt sich, dass sich

die Luftreaktion ( $Cr$ ) mit zunehmendem Abknicken gegen den Fussdrehpunkt hin bewegt. Durch das Abknicken kann somit das durch den Luftwiderstand erzeugte Drehmoment um den Schwerpunkt des Springers reduziert oder gar annulliert werden. In diesem Falle ist  $Cr$  durch den Schwerpunkt gelegt, das Gleichgewicht kann in dieser Lage durch leichte Hilfen stabilisiert werden. Die aerodynamisch gute Körperlage II  $a$  hat somit den weitem Vorteil der grössern Stabilität!

Der Hochspringer kann sich nur dank dieses Abknickens bei grosser Geschwindigkeit in die Vorlage arbeiten. Das Abknicken wird für ihn zur Notwendigkeit!

I— $b$  und I— $c$  zeigen deutlich, dass, wo mit starker, gestreckter Vorlage gelandet wird, ein aufrichtendes Drehmoment das Aufrichten des Körpers bei der Landung erleichtert; wird demnach das Kreuz hohl gezogen, so wird nicht nur  $Cr$  grösser, sondern auch sein Abstand vom Fussdrehpunkt und somit das aufrichtende Drehmoment.

Aus oben gesagtem folgert:

*Zur Vergrösserung der Vorlage knicke den Oberkörper stark ab. Zur Verminderung der Vorlage und zum Aufrichten des Körpers bei der Landung strecke den Körper oder ziehe das Kreuz ein!*

#### 10. Vom Einfallswinkel bei der Landung und der Neigung der Aufsprungbahn.

Der längste Sprung ist entschieden der schwierigste; es sollen deshalb für diesen die günstigsten Landungsbedingungen geschaffen werden.

*Frage I.* Welches ist die günstigste Neigung der Flugbahn bei der Landung?

*Frage II.* Welches ist das günstigste Gefälle der Aufsprungbahn im Punkt der Landung?

Es sei die Maximalsprunglänge  $D$  gegeben. Wir berechneten im Abschnitt 7, dass für die günstigste Landung die Flugbahn mit  $V_0 = \sqrt{7, 8 D}$  gesprungen werden müsse.

Somit  $\frac{V_0^2}{D} = 7, 8$ .

Für die Flugbahnneigung  $\beta$  berechneten wir in Abschnitt 4,

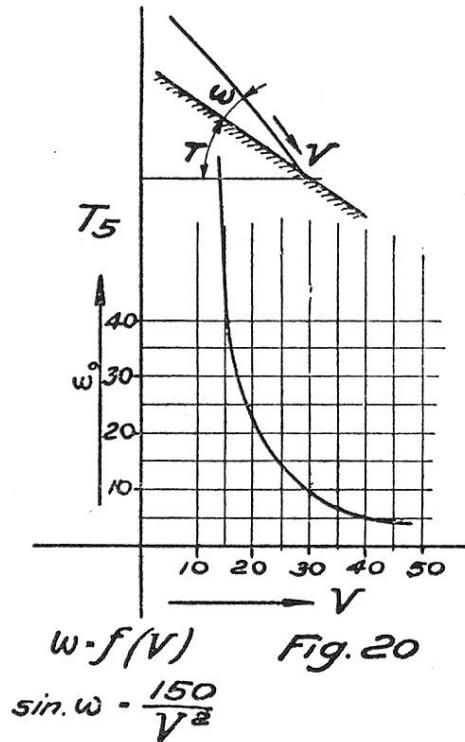
Formel 9:  $\beta = \beta_0 + \varphi$ ,  $\text{tg } \varphi = \frac{(Q - A) \cdot t}{mV_0 - Wt}$  durch Einsetzen der

Mittelwerte:  $Q - A = 63$ ,  $W = 4,5$ ,  $m = 8,15$ ,  $\text{tg } \varphi =$

$$\frac{63 t}{8,15V_0 - 4,5t} \text{ wenn } t = \frac{D}{V_0} \text{ tg } \varphi = \frac{63}{\frac{V_0}{D} \left( 8,15V_0 - 4,5 \frac{D}{V_0} \right)} =$$

$\frac{63}{8,15 \frac{V_0^2}{D} - 4,5}$ , für  $\frac{V_0^2}{D} = 7,8$  (Bedingung für günstigste Lan-

dung) wird  $\operatorname{tg} \varphi = 0,1065$   $\varphi = 43^\circ, 20'$  für  $\beta_0 = 6^\circ$ , somit rund  $\beta = 49^\circ$ . Frage I ist beantwortet.



Die Landungsgeschwindigkeit der Flugbahn  $V_0 = \sqrt{7,8 D}$  ist gegeben bei der Sprunglänge  $D$  durch (17)  $V_D = 3,5 \sqrt{V_D}$

für $D = 40$ m	$V_D = 22$
$D = 60$ »	$V_D = 27$
$D = 80$ »	$V_D = 31$
$D = 100$ »	$V_D = 35$

aus  $\sin \omega = \frac{150}{V_D^2}$  wird

für $D = 40$ m	$\omega = 19^\circ$	$\tau = \beta_D + \omega$
$D = 60$ »	$\omega = 12^\circ$	
$D = 80$ »	$\omega = 9^\circ$	
$D = 100$ »	$\omega = 7^\circ$	

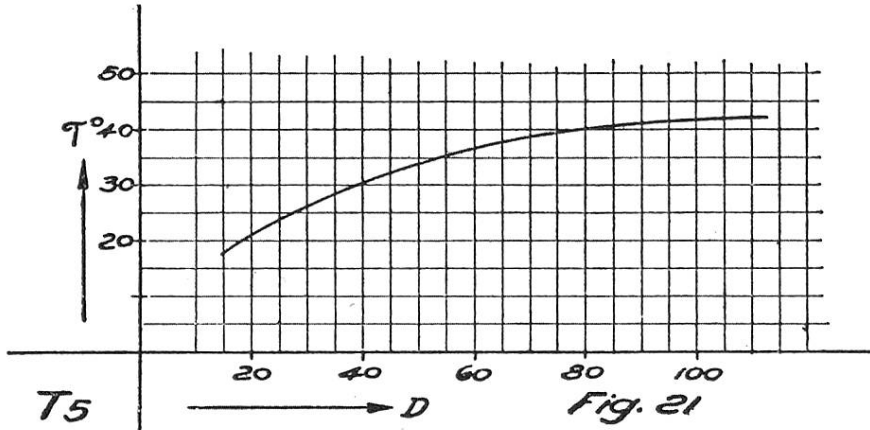
Günstigste Bahnneigung  $\tau$  für maximale Sprungweite  $D$ :

$D = 40$ m	$\tau = 30^\circ$
$D = 60$ »	$\tau = 37^\circ$
$D = 80$ »	$\tau = 40^\circ$
$D = 100$ »	$\tau = 42^\circ$

Frage II ist somit beantwortet.

## II. Flugbahnen:

Fig. 22 gibt eine Anzahl nach (7) berechnete Flugbahnen. Es ist zu berücksichtigen, dass die  $x$ -Achse der Fig. 22 derart auf ein Sprungschanzprofil zu legen ist, dass Punkt 0 auf der Absprungkante liegt und  $o-x$  in der Ebene der Absprungsfläche der Sprungschanze. Hat z. B. die Sprungschanze  $6^\circ$  Neigung, so ist auch die  $o-x$ -Achse mit  $6^\circ$  Neigung auf das Profil zu legen.



### 12. Idealprofile.

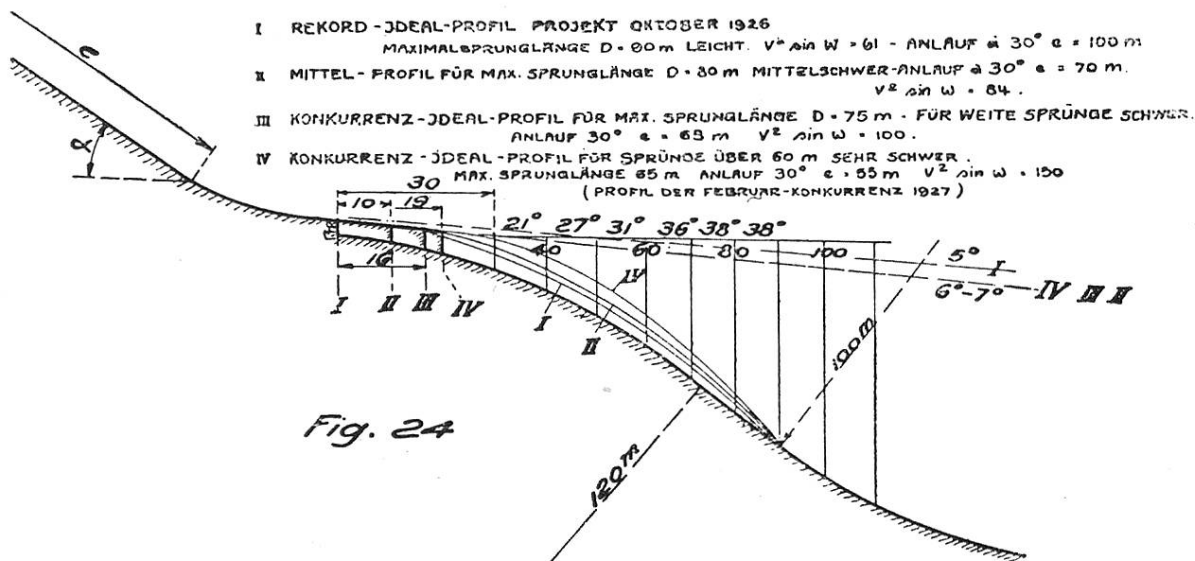
Fig. 23 gibt drei Weitsprungprofile, die für die Maximalsprunglänge  $D$  minimale Landungsgeschwindigkeit aufweisen. Diese Profile stellen für die gegebenen Sprunglängen  $D$  diejenigen Lösungen dar, die für den Springer am wenigsten gefährlich sind. Sie entsprechen den Bedingungen, die durch vorliegende Theorie und Versuche als am zweckmässigsten festgelegt werden.

### 13. Praktische Anwendungen.

1. Fig. 24 zeigt als Beispiel den Werdegang der Olympiaschanze St. Moritz. Die Idealprofile wie sie oben beschrieben sind, müssen als schwere Konkurrenzprofile bezeichnet werden, weil sie gegen die Maximalsprunglänge ziemlich viel «Luft» und starken «Druck» geben. Sie haben aber den Vorteil, für die gegebene Sprunglänge das Minimum an Anlauf zu verlangen und durch die minimale Landungsgeschwindigkeit den Springer weniger zu gefährden als irgend ein anderes Profil bei gleicher Sprunglänge. Bei diesem Profil ist  $V^2 \geq 100$ .

Ganz anders sieht das Profil aus, wenn in erster Linie *Rekordsprungweiten* erzielt werden müssen. Hier muss im Gegensatz zur Schanze für schwere Konkurrenzen der Druck beim Aufsprung *möglichst klein* gehalten werden. Es bedingt dies einen kleinern Einfallswinkel, was erreicht werden kann

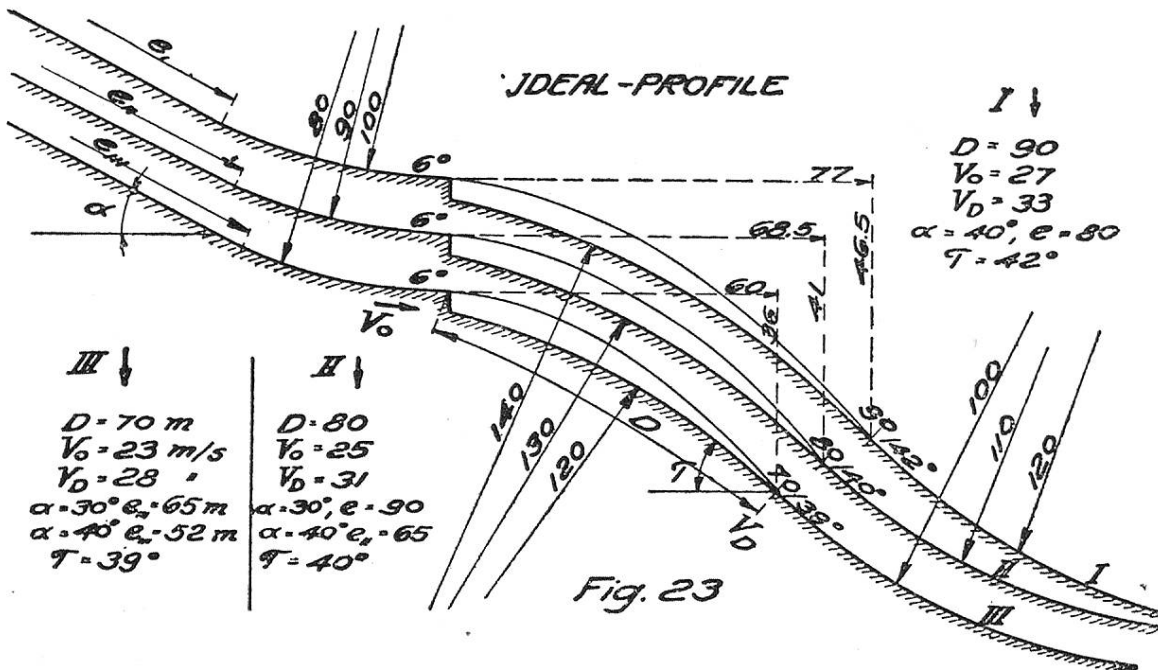
durch: a) Zurücksetzen der Schanze, Erhöhung der Geschwindigkeit; b) durch stärkeres «Hängen» der Schanze und erhöhte Geschwindigkeit. Wenn  $\omega$  der Landungswinkel und  $V$  die Geschwindigkeit ist, so muss für Rekordschanzen  $V^2 \sin \omega \leq 100$  sein.



Profil I mit Flugbahn I der Fig. 24 zeigt das Rekordsprungprofil wie es im Herbst 1926 entsprechend der mir gestellten Aufgabe (Maximalsprunglänge von 80—90 m) projektiert und ausgeführt wurde. Die Lösung war folgende: 1. Schanze mit  $5^\circ$  Neigung, 3 m hoch; 2. Aufsprungprofil I; 3. Anlauf bei  $30^\circ$  Neigung, 100 m lang. *Nachprüfung* durch die vorliegenden Untersuchungsergebnisse: Die Flugbahn I, Fig. 24, entspricht der Flugbahn  $V_0 = 28$  der Tabelle T 6. Tabelle T 1 oder T 2 geben für  $V_0 = 28$  die Landungsgeschwindigkeit  $V_D = 35$  m.  $\omega = 5^\circ$ ,  $\sin \omega V^2 = 61$ ; der Druck ist somit sehr gering. Kippsprung vorausgesetzt, ist für  $V_0 = 28$  auf der Schanze 26 m Fahrt nötig. Tabelle T 3 gibt für  $V = 26$  und Anlaufneigung  $\alpha = 30^\circ$  die Anlauflänge  $e = 100$  m. Das Projekt wird somit durch des Ergebnis der Göttinger Modellversuche als richtig bestätigt. Bevor der Anlauf fertig gebaut war (er konnte infolge des Winterbeginnes nur auf ca. 45 m à  $30^\circ$  gebaut werden), wurde gegen die grossen Sprungweiten opponiert. Es wurde infolge dessen die Schanze 15 m vorgeschoben. Uebergang und Schanze wurden durch das Verschieben zu lang, somit bremsend. Das Anlaufstück  $e$  war mit 45 m auch für die Stellung III der Schanze zu kurz (geht aus der Tabelle T 1 bis T 6 hervor). Auf die Konkurrenz vom 14. Februar 1927 wurde die Schanze auf Punkt IV (Fig. 24) vorgeschoben, d. h. 19 m gegenüber dem Projekt I (nicht 30 m, wie in der Presse behauptet worden

ist). Auch der Anlauf wurde vorgeschoben, so dass die Anlaufstrecke à 30° bis 40° Neigung 52 m Länge aufwies.

*Nachprüfung der Lösung IV:* Diese Nachprüfung zeigt, dass Profil IV sich bis an ein kleines Stück am Ende der Aufsprungbahn mit Profil III der Fig. 23 deckt.



Mit Hilfe einer durchsichtigen Tabelle T 6 lässt sich leicht nachprüfen, dass die Olympiaschanze durch Verschieben der Sprungkante zwischen I und IV zwischen den Extremen Rekordschanze (die auch Wischschanze sein muss) Profil I und der schweren Konkurrenzschanze Profil IV beliebig variiert werden kann, ohne dass am ganzen Aufsprungprofil ein Spatenstich nötig wird. Die Anlauflänge  $e$  muss aber genügend gross sein (für Projekt I,  $e = 100 \text{ m}$ ). Das Aufsprungprofil IV kann sehr gut in das Idealprofil III übergeführt werden. Diese Aufsprungbahn weist auf ihrer ganzen Länge gleichmässigen, normalstarken Druck auf. Die 70 m Flugbahn  $V_0 = 23 \text{ m}$  bringt den Kipp-Hochspringer an die Grenze des Stehvermögens; der reine Kippsprung kann bis 70 m noch gut gestanden werden. Das Profil III wird mit 65—70 m ausgesprungen. Beim Profil wie es heute ist, mit 36° bis 38° Maximalneigung, liegt die Grenze des Stehvermögens um 65 m Sprunglänge; der Kippspringer wird weiter stehen als der Hochspringer.

Bei 60 m Sprunglänge wird das Profil durch die Flugbahn  $V_0 = 22 \text{ m}$  geschnitten. Die am Februarspringen verfügbare Anlauflänge mit 30° Neigung betrug 52 m (nach Profilaufnahme Troeger vom 5. März 1927). Kurventafel  $T_3$  gibt für  $\alpha = 30^\circ$  und  $e = 52$ ,  $V = 20$ . Der Absprung von Wuilleu-

mier ist ein Kippsprung, der die Geschwindigkeit um 2 bis 3 m erhöht. Wuilleumier flog somit mit erhöhter Geschwindigkeit, d. h. mit  $V_0 = 22$  m bis 23 m von der Sprungschanze weg. Es entspricht dies seinem 61 m Sprung.

Damit an der Olympiaschanze 70 m gesprungen werden kann, muss der Anlauf um 15 m verlängert werden, weil  $V_0 = 23$  m,  $e = 65$  m für  $\alpha = 30^\circ$ . Für  $\alpha = 40^\circ$  würde der Anlauf  $e = 50$  m.

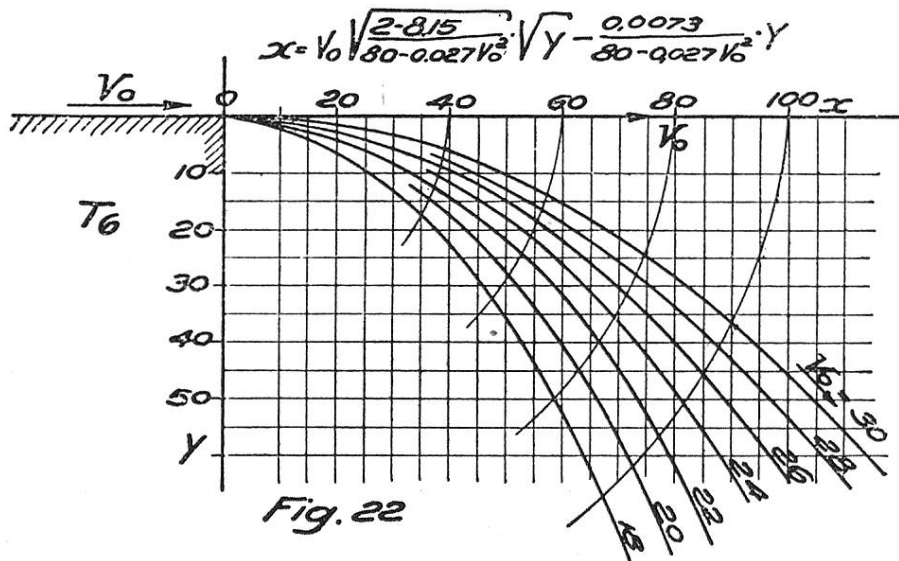
Durch Zurücksetzen der Absprungkante um 4 m wird der Landungswinkel kleiner. Die weitem Sprünge sind leichter zu stehen. Die Abgangsgeschwindigkeit  $V_0 = 24$  m. Es bedingt dies eine Verlängerung des Anlaufs auf  $e = 75$  m à  $30^\circ$ .

2. Durch Kopie der Flugbahntabelle T 6 (Fig. 22) auf durchsichtiges Papier kann obige Untersuchung leicht nachgeprüft werden. Die Tabellen T 1 bis T 6 geben den nötigen Aufschluss über die veränderlichen Grössen des Problems. Setzt man Tabelle T 6 mit Punkt 0 auf die Absprungkante des Profils III (Fig. 23), so kann durch Drehen der Flugbahnen um 0 festgestellt werden, wie bei verschiedener Neigung der Sprungschanze eine gewisse Sprunglänge  $D$  erreicht wird, mit verschiedenen den  $\beta_0$  entsprechenden Abgangsgeschwindigkeiten  $V_0$ . Man stellt fest, wie mit zunehmendem Hängen der Schanze für dieselbe Sprunglänge  $D$  die Geschwindigkeit  $V_0$  grösser wird. Aus Tabelle T 3 ist dann ersichtlich, wie für dieses  $V_0$  der Anlauf sein muss. Auch durch Zurückschieben der Sprungschanze, so dass der Punkt 0 der Tabelle T 6 auf der Absprungkante bleibt, wird festgestellt, dass für dieselbe Sprungweite  $D$   $V_0$  grösser wird entsprechend auch der aus T 3 ermittelte Anlauf. Man hat es so in der Hand, die Wirkung von Aenderungen an der Schanze zum voraus zu bestimmen. Das Verfahren zur Erlangung grösserer Sprungweiten, die Schanze stärker hängend zu machen und mit grösserer Geschwindigkeit und kleinern Einfallswinkeln zu springen, ist zur Erzielung von Rekordweiten angezeigt und ist bei der Berninaschanze mit Erfolg angewendet worden. *Es kann dies jedoch nur an Schanzen angewendet werden, wo unbeschränkter Anlauf zur Verfügung steht.*

Durch Nachprüfung des Profils der Berninaschanze mit Tabelle T 6 ergibt sich, dass für die grossen Sprungweiten die stark hängend präparierte Schanze ( $8^\circ$ ) eine gestreckte Flugbahn  $V_0 = 25$  bis 26 m verlangt; dadurch wird der Landungswinkel klein und die Grenze des Stehvermögens bis über 65 m verschoben. Der hier zur Verfügung stehende unbeschränkte Anlauf erlaubt diesen Kunstkniff zur Erzielung von Rekordweiten.

Aehnlich liegen die Verhältnisse bei der Erzenbergschanze in Langenbruck. Gegenwärtig deckt sich letztere mit dem Idealprofil III (Fig. 23). Sie ist somit nicht Rekord- sondern Konkurrenzschanze.

Startgeschwindigkeiten mit 25 bis 26 m bringen aber Landungsgeschwindigkeiten von 32 bis 34 m mit sich, die für den Springer anlässlich eines Sturzes verhängnisvoll werden können. Veranstalter von Konkurrenzen sollten sich dessen stets bewusst sein und durch Beschränkung des Anlaufes auf ein vernünftiges Mass die Gefährdung des Springers vermeiden.



## 2. Konstruktionsbeispiel.

**Aufgabe:** Es ist ein Profil zu entwerfen für Maximalsprungweite  $D = 80$  m.

**Lösung:** Tabelle T<sub>2</sub> gibt für  $D = 80$ ,  $V_0 = 25$  m. Auf der Flugbahntabelle T 6 bestimme ich auf dem Kreisbogen  $D = 80$  den Punkt  $V_0 = 25$  (mitten zwischen Kurve 26 m 24), ziehe die Flugbahn  $V_0 = 25$  durch diesen Punkt. Ferner ziehe ich die Tangente in diesem Punkt und mit der Tangente eine Gerade unter dem Winkel  $\beta = 49^\circ$  durch denselben Punkt  $D = 80$ ,  $V_0 = 25$ . Diese Gerade ist die Horizontale. Letztere ist mit den Flugbahnen so zu orientieren, dass sie auf der auszuführenden Profilzeichnung horizontal liegt. Die Sprungschanzkante ist bestimmt durch die Lage des Punktes 0 der Tabelle T 6, die Lage der 0—x-Linie der Tabelle T 6 zum Horizont bestimmt die Neigung der Sprungschanze. Von 0 vertikal trage ich die Höhe der Schanze = 4 m. Tafel T 5 gibt die Neigung  $T = 40^\circ$  für  $D = 80$  m, es ist dies die Neigung der Aufsprungbahn im Punkt  $D = 80$ . Mit einem Radius von  $R = 130$  m lege ich einen Kreisbogen durch den



Fusspunkt der Sprungschanze an die Linie  $T = 40^\circ$ . Schanze und Aufsprungprofil sind so konstruiert. Vom Punkt  $D = 80$  verlängere ich den Hang geradlinig mit  $40^\circ$  bis zu  $D = 90$  m. Von hier ein Kreisbogen mit  $R = 110$  m bis in die Ebene. Als Neigung der  $0-x$ -Achse finde ich  $6^\circ$ . Von 0 ziehe ich die Sprungschanze auf 15 m Länge geradlinig mit  $6^\circ$  Neigung, von dort ein Kreisbogen mit  $R = 90$  m bis in den geradlinigen Anlauf mit Neigung  $40^\circ$ . T 3 gibt als Anlauflänge für  $V_0 = 25$  und  $\alpha = 40^\circ$ ,  $e = 52$  m. Das Profil ist somit konstruiert. Profil II aus Fig. 23 entspricht diesem Beispiel.

#### 14. Schlussbemerkung.

1. Durch Modellversuche wurden die Widerstandsfaktoren eines Skispringers bestimmt.
2. Gestützt auf die Modellversuche wird eine neue Theorie des Skisprunges entwickelt.
3. Es werden die Bedingungen für minimale Landungsgeschwindigkeit bestimmt.
4. Der neue Absprung wird mechanisch untersucht und nachgewiesen, dass er sehr wirksam und für grosse Sprungweiten unentbehrlich ist. Er wird zum Unterschied vom Hochsprung *Kippsprung* genannt.
5. Die Theorie liefert folgende Regeln:
  - a) für jede Sprungweite kann ein Profil konstruiert werden, das die für diese Weite kleinste Landungsgeschwindigkeit ergibt d. h. für den Springer das Minimum von Gefährdung aufweist.
  - b) der Absprung soll als Kippsprung sofort in die starke Vorlage führen, mit einer Körperneigung gegen die Flugrichtung von  $20^\circ$  bis  $30^\circ$ , nie mehr als  $40^\circ$ .
  - c) der Hochspringer kann seine Flugbahn dadurch verbessern, dass er den Oberkörper unmittelbar nach erfolgtem Absprung abknickt und mit  $25^\circ$  bis  $30^\circ$  gegen die Flugrichtung anstellt.
  - d) Kipp- und Hochsprung können wirksam kombiniert werden. Auch hier liegt der Erfolg im starken Kippen.
  - e) Sprungschanzprofile sollen so gebaut werden, dass die Bedingungen der Tabellen T 2, T 5 und T 6 erfüllt sind. Durch Abweichen von diesen Bedingungen wird der Springer durch zu grossen Landungswinkel oder zu grosse Landungsgeschwindigkeit gefährdet!
6. Es werden als Beispiel drei Idealprofile konstruiert und erklärt.
7. Die Untersuchung des Profils der Olympiaschanze zeigt:

- a) Das projektierte Rekordsprungprofil I war richtig konstruiert. Es fehlte der halbe Anlauf.
- b) Das Profil IV der Februarkonkurrenz entspricht dem aus der Anwendung der Göttinger Versuchsergebnisse hervorgehenden Ideal-Konkurrenz-Profil III (Fig. 23) und ist für schwere Konkurrenz bis 65 m Sprunglänge geeignet.

Die zur verfügbaren Anlauflänge  $e = 52$  m errechnete Flugbahn  $V_0 = 22$  m deckt sich mit der durch Wuilleumier am Februarspringen gesprungenen Flugbahn (61 m); es herrscht somit vollkommene Uebereinstimmung zwischen den Göttinger Versuchsergebnissen und der praktisch gesprungenen Bahn.

- 8. Für ein normales Konkurrenzprofil kann als allgemeine Regel gesagt werden:
  - a) Projektionen von der Aufsprungbahn, von der Absprungkante bis zum Landungspunkt, des längsten Sprunges auf die Vertikale ( $Y$ ) und auf den Horizont ( $X$ ) müssen im Verhältnis sein:  $\frac{Y}{X} \leq 0,61$ , nie grösser
  - b) Neigung der Schanze =  $5^\circ$  bis  $7^\circ$ .
  - c) Das Aufsprungprofil ist ein Kreisbogen von ca. 120 m Radius. Der Anlauf hat sich nach der Sprungweite zu richten.
- 9. Die Stabilität des Fluges kann mit abgeknicktem Oberkörper leicht reguliert werden.

Durch vorliegende Arbeit hoffe ich sowohl den Springern wie auch den Erbauern von Sprunganlagen den richtigen Weg gewiesen zu haben. Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass jedes Abweichen von den Bedingungen des Idealprofils erhöhte Landungsgeschwindigkeit mit sich bringt, dass letztere mit wachsender Sprungweite verhältnismässig rasch zunimmt und dadurch den Springer gefährdet. Nach meinen Beobachtungen sind Landungsgeschwindigkeiten von über 30 m-Sek. für sehr gefährlich zu betrachten. Ich erachte es als eine ernste Pflicht der verantwortlichen Sportsbehörden, dafür zu sorgen, dass bei Gross-Sprunganlagen die für den Springer gefährlichen Grenzen nicht überschritten werden. Nachdem nun die Möglichkeit besteht, die Profile auf ihre Eigenschaften zu prüfen, ist es auch möglich, gewisse Normen festzulegen.

Waldenburg, im Mai 1927.

R. Straumann.