ABC des Fliegens



10

J. Seifert

STRECKENFLUG

ABC DES FLIEGENS

BAND 10

STRECKENFLUG

TAKTIK UND TECHNIK

JOCHEM SEIFERT

STRECKENFLUG
TAKTIK UND TECHNIK

VERLAG SPORT UND TECHNIK
1960

Redaktionsschluß: 13. 1. 1960

Herausgegeben vom Verlag Sport und Technik, Neuenhagen bei Berlin

Alle Rechte vorbehalten. Printed in Germany

Lizenz-Nr.: 545/26/60

Druck: VEB (K) Buch- und Werkdruckerei Mylau/Netzschkau i. V. (III/26/8)

Vorwort

Der Autor hat mit seiner Arbeit „Streckenflug — Taktik und Technik“, die auf eine Anregung des Kameraden Wilhelm Lienemann zurückgeht, eine fühlbare Lücke in der Segelflugliteratur der Deutschen Demokratischen Republik geschlossen.

Der Segelflug hat in den vergangenen Jahren eine kaum für möglich gehaltene Entwicklung genommen. Die Zeiten sind längst vorbei, in denen mit einem einfachen Schalenkreuz-Anemometer als Geschwindigkeitsmesser und einem auf dem Oberschenkel des Piloten festgeschnallten Höhenmesser Höchstleistungen im Segelflug aufgestellt werden konnten.

Heute ist der im Vorteil, der im entscheidenden Moment genaue Kenntnisse über sein Flugzeug sowie über die Technik und Taktik des Streckenfluges besitzt und diese in die Waagschale werfen kann.

Die vorliegende Broschüre ist vor allem für die Kameraden der Gesellschaft für Sport und Technik von Wert, die mit einem Segelflugzeug den jeden Flieger faszinierenden Begriff „Thermik“ erleben wollen. Auch findet der Streckenfluganfänger Hinweise für seinen ersten Flug. Der Fortgeschrittene bekommt hier einen Teil des erforderlichen Rüstzeuges dargeboten, das ihn befähigt, hervorragende Leistungen zu Ehren unserer Republik zu erzielen.

Wie die Aneignung jeder Fertigkeit, so erfordert auch die Erarbeitung dieser Erkenntnisse ein großes Maß von Aufmerksamkeit und Ausdauer.

Dresden, im Januar 1960

Gerhard Wissmann

1. Allgemeine Ratschläge und Taktik des Streckenfluges

Dieser Abschnitt dient den Kameraden, die noch keinen Streckenflug durchgeführt haben, als Helfer und Berater. Es wird Grundsätzliches über die Vorbereitung und die Durchführung eines erfolgreichen Fluges zum Erfüllen einer Bedingung für das Segelflieger-Leistungsabzeichen in Silber dargelegt.

Die Anregung dazu ergab sich aus der Notwendigkeit, den im Segelflug schon fortgeschrittenen Kameraden bei der Durchführung ihrer ersten Streckenflüge zu helfen. Gleichzeitig wird aber auch eine zusammenfassende Übersicht der Probleme, die bei Streckenflügen häufig auftreten, gegeben. Gute Hilfe bei dieser Arbeit war das von den polnischen Fliegerkameraden E. Makula, St. Skrydlewsky und St. Wielgus im Verlag der Liga der Soldatenfreunde herausgegebene Buch „Der Segelstreckenflug".

Für bereits versierte Streckenflieger ist dieser Abschnitt eine Wiederholung; er dient zur Vorbereitung des Abschnittes 2 „Technik des Streckenfluges".

1.1 Der Start zum Streckenflug

Die ersten Überlandflüge begannen nur vom Hang aus durch Gummiseilstart. Hierbei war es am schwierigsten, thermischen Anschluß zu finden. Durch Einführung des Autoschlepps und später des Windenschlepps wurde diese Bedingung wesentlich erleichtert. Die beste Lösung des Starts zum Streckenflug ist heute der Flugzeugschlepp. Bei dieser Startart fällt die Suche nach der Thermik weg, da wir die Möglichkeit haben, immer und überall auszukuppeln.

Ein wesentlicher Faktor zum Gelingen des Streckenfluges ist der Zeitpunkt des Starts. Örtlich unterschiedlich beginnt die Bodenthermik meistens am Vormittag zwischen 10 und 11 Uhr. Da aber die Bedingungen für unseren Startplatz bekannt sind, müssen wir also zu diesem Zeitpunkt alle Vorbereitungen abgeschlossen haben und startbereit sein. Sobald sich die ersten Cumulus-Wölkchen in Platznähe am Himmel zeigen, werden die ersten Versuche unternommen. Bei gutem Rückseiten- oder Kaltfrontwetter liegen die Verhältnisse etwas anders, da hier größere Windgeschwindigkeiten vorherrschen und die Labilität nicht vom Boden ausgeht. Schon aus diesen wenigen Beispielen sehen wir,

daß ein guter Segelflieger unbedingt das Gebiet der Wetterkunde beherrschen muß, um jeweils die zu einem Streckenflug geeignete Wetterlage zu erkennen. Auf jeden Fall müssen wir uns entsprechend den Platzbedingungen rechtzeitig zum Start vorbereiten und die Maschine nicht erst aus der Halle holen, wenn die dicken Batzen schon eine Stunde am Himmel stehen. Die beim Start verlorengegangene Zeit fehlt bestimmt am Abend zum Erreichen des Zieles. Das Ergebnis ist dann meistens eine Außenlandung dicht vor dem Zielflugplatz. Es ist deshalb besser, zwei Stunden am Start auf Thermik zu warten und beim Auftreten der ersten Cumulus-Wölkchen zu starten, als zu spät mit den Startvorbereitungen zu beginnen und dann in der Eile die Hälfte zu vergessen. Durch einen überstürzten Start wird vielfach der ganze Flug nervös, und die Auswirkung ist frühzeitiges „Absaufen".

Jede Startart hat aber noch ihre spezifischen Besonderheiten. Wir wollen deshalb jede einzelne Startart näher betrachten.

1.11 Der Hangstart

Bei den uns zur Verfügung stehenden Hangfluggeländen lohnt es sich nur bei Wetterlagen vom Hang weg auf Strecke zu gehen, bei denen die Thermik vorwiegend durch Kaltfront oder Rückseite hervorgerufen wird. Da solche Wetterlagen mit größeren Windgeschwindigkeiten verbunden sind, können wir erst im Hangaufwind eine gute Ausgangshöhe erreichen. Treibt eine gutgezeichnete Cumulus-Wolke heran, so können nunmehr Vorstöße gegen den Wind unternommen werden. Da aber jeder Stützpunkt, der Hangschulung betreibt, eine Schleppwinde zur Verfügung hat, so wird besser ein Start von der Winde weg durchgeführt werden.

1.12 Der Windenstart

Auch beim Windenstart müssen wir unsere Taktik auf die jeweilige Wetterlage abstimmen. Bei Wetterlagen mit großer Labilität innerhalb der Luftmassen bei gleichzeitigem Auftreten größerer Windgeschwindigkeiten richten wir den Start so ein, daß wir gerade oben auskuppeln, wenn eine gute Cumulus-Wolke in 0,5 bis 2 km Entfernung zum Platz herangetragen wird. Diese Wolke fliegen wir an. Ist der unter ihr liegende Steigbereich gefunden, so beginnen wir zu kurbeln. Der Anflug nach vorn gegen den Wind hat den Vorteil, daß wir genügend Zeit haben, ehe der Wind uns zu weit hinter den Platz versetzt. Ist das mittlere

Steigen zu gering, oder sind wir aus dem „Bart" herausgefallen, so besteht immer noch die Möglichkeit, zum Platz zurückzufliegen.

Wird bei unserem Vorstoß gegen den Wind infolge zu geringer Höhe der Steigbereich der ausgesuchten Wolke nicht erreicht, so bringt uns der Wind ebenfalls gut zum Platz zurück. Bei ausgesprochen thermischen Wetterlagen ohne große Windgeschwindigkeiten (diese eignen sich gut zu Dreieckflügen) ist es leichter, in einem gefundenen Bart zu bleiben. Das Auffinden neuer Steigbereiche erfolgt durch Beobachten der Wolken, und sind keine vorhanden, durch Beobachtung unter uns liegenden Geländes. Starke Farbkontraste am Boden führen häufig zu thermischen Ablösungen. Am schwierigsten sind Start und Streckenflug bei reiner Trockenthermik mit tiefliegender Inversion. Hier können wir uns nur auf den Untergrund orientieren, um Steigbereiche zu finden und dabei immer größtmögliche Höhe halten.

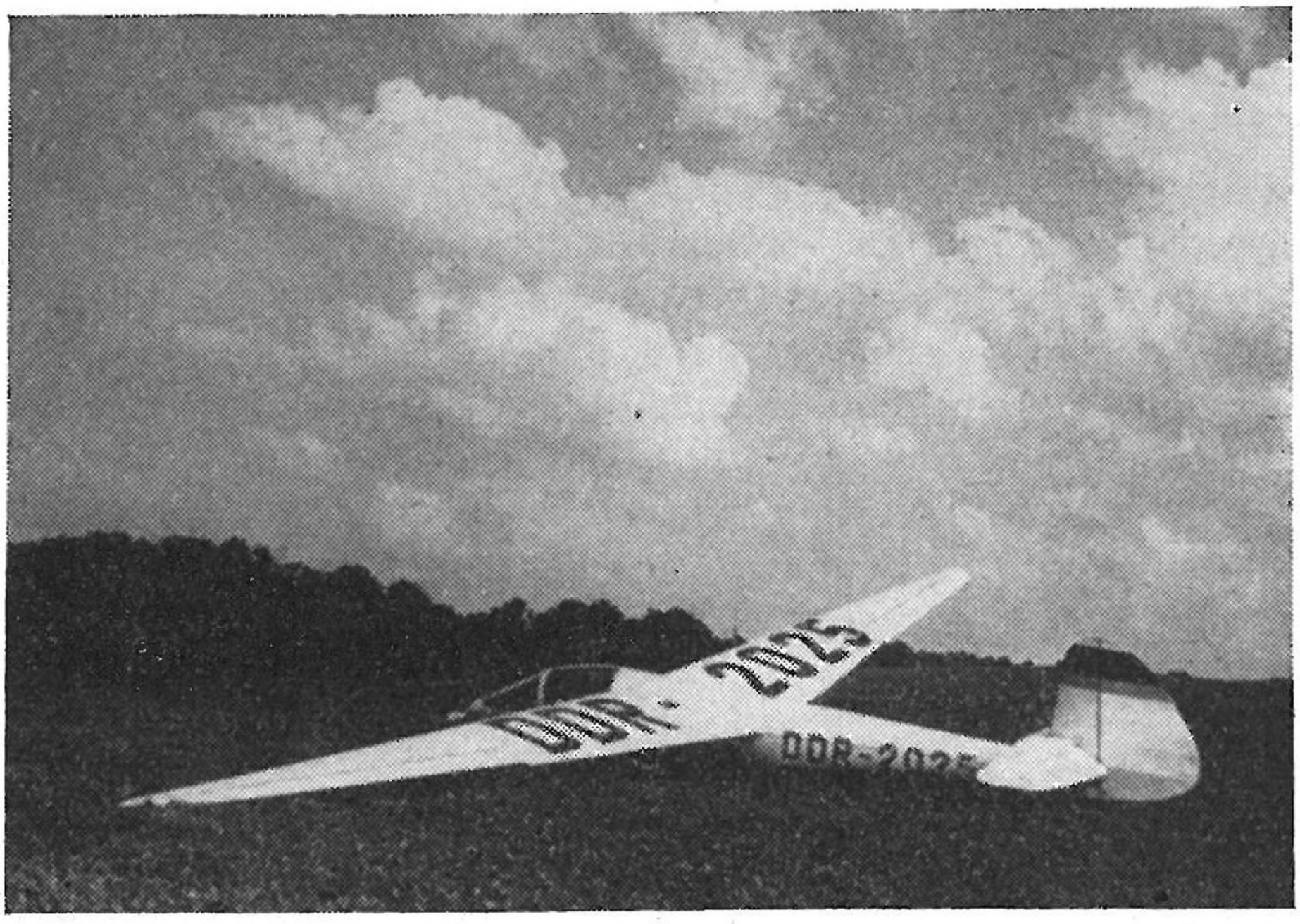


Bild 1. Leistungssegelflugzeug VT-425 „Sohaj 3"

Vor dem Abflug vom Platz ist es notwendig, bis an die Wolkenbasis (mit dem nötigen Sicherheitsabstand für Piloten ohne Wolkenflugberechtigung) beziehungsweise bis an die Inversion heranzukurbeln und dann auf Kurs zu gehen. Bei Wettbewerben gelten natürlich andere Bedingungen, und es bleibt dabei der Entscheidung des Piloten überlassen, wann er vom Platz abfliegt.

1.13 Der Flugzeugschlepp-Start

Der Flugzeugschlepp hat den großen Vorteil, daß der Segelflugpilot direkt im Steigen auskuppeln kann. Bei großen Windgeschwindigkeiten ist es zweckmäßig, weit gegen den Wind Thermik zu suchen und auch dort auszukuppeln. Damit vermeiden wir, genau wie beim Windenstart, ein zu großes Versetzen hinter den Platz.

Die Meinung, daß ein Flugzeugschlepp-Start zum Streckenflug möglichst hoch sein soll, ist nicht immer richtig. Beim Schlepp in größere Höhen (1000 bis 1500 m) hat der Pilot keine Möglichkeit, die thermischen Verhältnisse der niederen Schichten zu studieren, und wird wahrscheinlich „absaufen", wenn die anfängliche Schlepphöhe weg ist. Normalerweise kuppeln wir in 500 bis 700 m Höhe im Steigen aus. Dabei ist natürlich der Standort zum Platz zu berücksichtigen. Sind wir zu weit vom Platz weggeschleppt, und es besteht Gefahr, bei Verlieren des „Bartes" abzusaufen, so müssen wir mit dem Auskuppeln warten, bis ein günstiger Standort zum Platz erreicht wird.

1.131 Das Auskuppeln im Steigbereich

Durch Beobachtung des Schleppflugzeuges läßt sich grob feststellen, ob das zusätzliche Steigen durch Höhenruderausschlag des Schleppflugzeuges oder tatsächlich durch einen thermischen Aufwind erfolgt. Im ersten Fall wird das Schleppflugzeug die Schnauze heben, während im zweiten Fall die Maschine „in sich" wegsteigt. Den Unterschied zwischen „Knüppel"- und tatsächlicher Thermik zeigt uns auch die Beobachtung von Fahrtmesser und Variometer. Bei „Knüppelthermik" ist das am Variometer angezeigte Steigen stets von einer Abnahme der Geschwindigkeit begleitet.

Die Größe der Steiggeschwindigkeit des Schleppzuges setzt sich zusammen aus der Eigensteiggeschwindigkeit des Verbandes und der Geschwindigkeit des Aufwindes. Nach dem Auskuppeln verringert sich das Steigen um den Betrag der Eigen-Sinkgeschwindigkeit des Segelflugzeuges und um die Eigen-Steiggeschwindigkeit des Schleppzuges. Wenn wir beispielsweise im Schlepp eine durchschnittliche Steiggeschwindigkeit von 2 m/s haben und das Variometer unserer „Meise" plötzlich infolge eines durchflogenen Thermikschlauches auf 4 m/s steigt, so dürfen wir uns nicht wundern, wenn es nach dem Auskuppeln und Einkurven nur noch 1,2 m/s anzeigt. Denn nach dem Auskuppeln beträgt das Eigensinken der „Meise" bei einer Geschwindigkeit

von 68 km/h = 0,8 m/s. Dieses Eigensinken und die Eigengeschwindigkeit des Steigens des Schleppzuges müssen wir vom Variometerstand abziehen. Das tatsächliche Steigen nach dem Auskuppeln bei einer Geschwindigkeit von 68 km/h beträgt:

$$\begin{array}{r} +\ 4\ \text{m/s} \\ -\ 0{,}8\ \text{m/s} \\ \underline{-\ 2{,}0\ \text{m/s}} \\ +\ 1{,}2\ \text{m/s} \end{array}$$

Die Drehrichtung beim Einkurven ergibt sich meist aus der Bewegung des Segelflugzeuges beim Einflug in den Schlauch. Liegt der Kern links von uns, so wird die linke Tragfläche angehoben. Wir müssen also in die Richtung einkurven, in die die angehobene Fläche zeigt. Wird die Drehrichtung nicht durch eine solche Wirkung festgestellt, so geben uns das Wolkenbild oder die Bodenbeschaffenheit Hinweise auf die Lage des Kerns.

Der polnische Segelflieger E. Makula schlägt in seinem Buch „Der Segelstreckenflug" vor, daß der Segelflugzeugführer durch Ausscheren aus der Flugrichtung dem Schleppiloten eine gewünschte Richtungsänderung anzeigt. Dieser Vorschlag hat sich sehr bewährt und wurde deshalb in die Segelflugbetriebsordnung (SBO) aufgenommen.

1.2 Der Streckenflug

1.21 Die Entfernung zwischen den Thermikschläuchen

Am leichtesten ist ein Streckenflug durchzuführen, wenn thermische Wetterverhältnisse mit Cumulus-Bewölkung und geringen Windgeschwindigkeiten herrschen. Wir kurbeln dabei in Platznähe bis auf Sicherheitsabstand an die Wolkenbasis und suchen uns in Richtung unseres festgelegten Kurses eine gute Wolke aus, die wir anfliegen.

Bei trockener Thermik fliegen wir aus der gewonnenen Höhe direkten Kurs und warten auf den nächsten Steigbereich. Erst bei zu gering werdender Höhe richten wir uns nach der Bodenbewachsung und suchen einen neuen Steigbereich, der auch etwas außerhalb des Kurses liegen kann. Beim Abweichen vom Kurs ist es grundfalsch, zurückzufliegen, da uns dadurch kostbare Kilometer verlorengehen. Kurze Abweichungen bis zu 80° links und rechts vom Kurs sind unter Beachtung der Sperrgebiete noch vertretbar.

Der Abstand der Wolken ist ganz verschieden und hängt von der Wetterlage ab. Allgemein aber ist festzustellen, daß der Abstand morgens und bis in die Mittagsstunden am kleinsten ist. Abends stehen noch ganz vereinzelte, aber meist auch mächtige Türme am Himmel.

1.22 Der Sprung von Schlauch zu Schlauch

Den Sprung von Wolke zu Wolke führen wir mit großer Geschwindigkeit aus, wobei die Geschwindigkeit noch über die des besten Gleitverhältnisses hinaus erhöht werden kann. Dadurch gelangen wir schneller zum nächsten Steigbereich und müssen nur eine kurze Zeit im „Saufgebiet" fliegen. Das durch die überhöhte Eigengeschwindigkeit hervorgerufene größere Eigensinken ist nicht so stark, um diese Vorteile zu kompensieren. Die zu fliegende Geschwindigkeit richtet sich nach der Intensität der Steigbereiche. Je intensiver sie sind, desto schneller können wir fliegen ohne „absaufen" zu müssen. Die genaue Berechnung dieser Geschwindigkeiten erfolgt im zweiten Teil: „Technik des Streckenfluges". Finden wir in genügender Höhe einen ausgedehnten Steigbereich, so können wir zum Erreichen einer möglichst großen Streckenflug-Geschwindigkeit das Steigen im Geradeausflug wegdrücken. Wir erhöhen unsere Geschwindigkeit so weit, bis das meteorologische Steigen durch das erhöhte Eigensinken gerade ausgeglichen wird, das Variometer also 0 m/s anzeigt.

1.23 Das Zentrieren im Schlauch

Zum Erreichen einer möglichst großen Reisegeschwindigkeit ist es erforderlich, jeden verwendeten „Bart" gut zu zentrieren und ihn weitestgehend auszunutzen. Wenn das durchschnittliche Steigen am Tage bei 3 m/s liegt, so werden wir, genügend Höhe vorausgesetzt, in Steigbereichen von 1 m/s nicht kurbeln, sondern diese auf geradem Kurs durchfliegen. Dabei können wir die Geschwindigkeit für minimales Sinken wählen und somit diesen Bereich noch zum Höhengewinn verwenden. Dieses Verfahren ist aber nur dann anwendbar, wenn genug starke Steigbereiche vorhanden sind.

Beim Anflug eines Bartes, wenn das Fallen geringer wird, vermindern wir ebenfalls die beim Sprung verwendete hohe Geschwindigkeit. Zeigt dann das Variometer Steigen an, so ist dieses Steigen bei Verwendung eines normalen Variometers „mit Vorsicht zu genießen", da durch die Verzögerung vom Variometer ein scheinbares Steigen angegeben wird. Haben wir in unsere Maschine ein Totalenergie-Variometer (Tevar) eingebaut,

so können diese Fehlanzeigen durch Beschleunigungseinflüsse nicht mehr auftreten. Deshalb ist unbedingt zu empfehlen, alle Leistungsmaschinen mit einem „Tevar“ zu versehen.

Fliegen wir nun einen Schlauch an und verringern dabei die Geschwindigkeit (das Variometer klettert auf Steigen), so können wir natürlich nicht warten, bis unsere Geschwindigkeit konstant geworden ist, um dann die Variometeranzeige zu kontrollieren. Wir wären dann wahrscheinlich schon durch den „Bart“ hindurchgeflogen. Wir müssen vielmehr einkurven und die Geschwindigkeit dabei noch weiter verringern, d. h., wir ziehen unsere Maschine in den „Bart“ hinein. Ergeben sich nach dem ersten Vollkreis kleinere Schwankungen der Variometeranzeige, so befinden wir uns noch nicht im Kern des „Bartes“, sondern wir fliegen in den Kern hinein (Variometer steigt) und dann wieder hinaus (Variometer fällt). Wir müssen also zentrieren, d. h., unseren Kreis so verlegen, daß das Variometer immer konstantes Steigen anzeigt. Das Zentrieren erfolgt bei sinkender Variometer-Anzeige am einfachsten, indem wir unseren Kurvenradius verringern. Steigt die Variometer-Anzeige, so ist die Kurve flacher zu fliegen. Durch dieses Manöver verschieben wir den Mittelpunkt unseres Vollkreises in Richtung zum Zentrum des Aufwindgebietes. Diese Operation wird so lange durchgeführt, bis das Variometer konstantes Steigen anzeigt. Dabei ist auf jeden Fall die Trägheit der Variometer-Anzeige zu beachten. Sind die Schwankungen beim ersten Vollkreis sehr stark, so ist eventuell ein Kreiswechsel vorzunehmen, um an den Kern heranzukommen. Diese Methode hängt jedoch von der Wendigkeit der Maschine ab.

Die Schräglage im Kreis richtet sich vor allem nach den Flugeigenschaften der Maschine, der Intensität und dem Durchmesser des Steigbereiches. Mit einem wendigen Flugzeug können wir engere Kreise fliegen als mit einer schnellen Maschine. Bei einem sehr engen Schlauch lohnt es sich, steiler zu kreisen, da wir durch den kleineren Kurvenradius näher an den Kern herankommen. Wird ein solcher enger Schlauch mit einer Schräglage von 30° ausgekurbelt, so ist zwar das Eigensinken nicht sehr groß, es wird aber immer um den Kern oder gar um den „Bart“ herumgeflogen. Kurbeln wir jedoch mit einer Schräglage von 60°, so bleiben wir durch den engeren Kurvenradius im Kern. Das erhöhte Eigensinken durch die größere Schräglage beim Steilkreis wird mit Gewinn durch das Verbleiben im besseren meteorologischen Steigen wettgemacht.

Das größte Steigen finden wir, wenn wir in die Wolken hineinfliegen. Dazu ist aber die Wolkenflug-Berechtigung notwendig. Jedoch nicht nur der Besitz der Wolkenflug-Berechtigung, sondern viel Übung und Erfahrung gehören dazu, das Steigen innerhalb der Wolken auszunutzen. Liegen die Wolken eng zusammen und sind die Steigbereiche stark genug, so können Streckenflug-Geschwindigkeiten von 100 km/h und mehr auf einer Strecke von 100 km erreicht werden.



Bild 2. Start zum Streckenflug

Erreichen wir ein größeres, nicht zu umfliegendes wolkenloses Gebiet, so kurbeln wir erst bis auf maximal erreichbare Höhe, fliegen dann mit der Geschwindigkeit der größten Reichweite bis zum nächsten Steigbereich oder landen.

1.3 Die Landung und der Rücktransport

Werden wir durch ungünstige Witterungsverhältnisse oder durch falsche Taktik gezwungen, vor Erreichen des Zielflugplatzes zu landen, so sind einige Grundsätze zu beachten.

Schon wenn die Flughöhe auf 400 m abgesunken ist, müssen wir einen geeigneten Landeplatz aussuchen. Am besten eignen sich ebene Äcker oder Wiesen und abgeerntete Getreidefelder. Vorsicht bei Wiesen und Weiden, denn Bodenunebenheiten sind

schlecht zu erkennen! Über dem gewählten Außenlandegelände versuchen wir erneut, Anschluß zu bekommen. Dabei orientieren wir uns über die Windrichtung. Gerade bei Außenlandungen ist es notwendig, gegen den Wind zu landen, um unnötig lange Ausrollstrecken oder Schiebelandungen zu vermeiden. Die Windrichtung ist am besten durch Rauchfahnen zu erkennen. Auch die Versetzung während der letzten Kreise gibt einen Anhaltspunkt über die Windrichtung. Zur Not können wir an der Bewegung von Bodenbedeckungen die Windrichtung erkennen.

Der Landeplatz ist so auszuwählen, daß möglichst ein Motorflugzeug zum Rückschlepp landen und starten kann. Steht kein Motorflugzeug für den Rückschlepp zur Verfügung, dann wählen wir als Landeplatz eine geeignete Fläche in der Nähe einer Ortschaft mit möglichst guter Zufahrtsstraße für den uns abholenden Lastkraftwagen mit Transportanhänger.

Scheitern unsere Bemühungen um Anschluß, so bleibt uns nur das Landen auf dem ausgewählten Gelände übrig. Wir nehmen an, wie es bei den meisten Außenlandungen der Fall ist, sie sei glatt verlaufen. Was ist nun zu tun?

Als erstes muß der Fallschirm entspannt und im Fallschirmsack verstaut werden. Beides legen wir in die Kabine. Dann schalten wir den Barographen aus und verstauen ihn sicher, damit der Beweis unserer Leistung nicht durch Unachtsamkeit unbrauchbar wird. Die Fahrtmeßdüse ist durch ein Düsensäckchen gegen das Eindringen von Staub zu sichern.

Inzwischen sind bestimmt die ersten Einwohner des nahen Dorfes eingetroffen, denn es ist meist eine kleine Sensation, wenn ein „Flieger“ so ganz in der Nähe „niedergeht“. Sind wir auf einem Felde gelandet, so ist es zweckmäßig, mit Hilfe der ersten Neugierigen das Flugzeug auf nahe liegendes Brachland zu transportieren, da die später Hinzukommenden den Flurschaden erhöhen würden. Natürlich müssen wir zum Transport genaue Anweisungen erteilen, wo und wie man anfassen kann. Ist das Flugzeug gut auf den Abstellplatz gebracht worden, so muß es mit Hilfe des mitgeführten Verankerungsgerätes gesichert werden. Die nächste Aufgabe besteht darin, den Namen des Ortes zu erfragen und auf der Karte einzutragen. Meistens wird inzwischen eine Amtsperson oder ein Mitglied der GST am Landeplatz eingetroffen sein. Der Amtsperson übertragen wir nach guter Einweisung die Aufsicht an der Maschine. Ist das erfolgt, so erkunden wir die nähere Umgebung, um die Möglichkeit zur Landung eines Schleppflugzeuges zu ermitteln. Ein geeigneter Landeplatz

selbst in einer Entfernung von einigen Kilometern kann dabei berücksichtigt werden, denn der Transport dorthin ist oft einfacher als die Anfahrt eines Transportwagens vom Heimatflugplatz.

Anschließend begeben wir uns auf dem schnellsten Wege zum Telefon und geben per R-Fluggespräch unsere Landemeldung an die Flugüberwachung und melden dann ein R-Gespräch zum Heimatflugplatz an, um den Rücktransport zu besprechen. Nach Erledigung der Gespräche lassen wir uns die Landung durch eine örtliche Dienststelle bestätigen und bitten gleichzeitig um Unterstützung bei der Vorbereitung zum Schlepp-Start oder zur eventuellen Unterbringung des Flugzeuges.

Die einfachste und bequemste Art des Rücktransportes ist, wie schon gesagt, der Rückschlepp. Besteht die Möglichkeit der Landung des Schleppflugzeuges direkt an unserem Landeplatz, so ist das Gelände für seine Landung vorzubereiten. Liegt der Landeplatz für das Motorflugzeug einige Kilometer entfernt, so muß das Segelflugzeug dorthin transportiert werden. Die versammelten Zuschauer, besonders die Jugendlichen, werden uns gern beim Transport behilflich sein. Wir müssen dabei nur gut aufpassen und entsprechende Anweisungen geben. Wie dieser Transport erfolgt, hängt von der Lage des Landeplatzes ab. Diese Frage muß vom Piloten selbst gelöst werden. Dabei soll ein Abrüsten möglichst vermieden werden. Haben wir unsere Maschine gut zum vorgesehenen Startplatz gebracht, wird sie wieder verankert und bewacht. Inzwischen ist die Zeit zum Eintreffen des Motorflugzeuges da. Um dem Schleppiloten die Landung zu erleichtern und um Unfälle zu vermeiden, markieren wir das Landefeld durch ein provisorisches Landekreuz. Dazu ist das Segelflugzeug in Landerichtung aufzustellen. Es dient dann als Landekreuz. Aber auch aus Stoffresten o. ä. kann ein solches gebildet werden. Vorhandene Heuhaufen, große Steine, kleine Büsche u. a. m. sind zu beseitigen. Eine weitere Erleichterung können wir schaffen, wenn wir trockenes Stroh, Laub oder Reisig bereitlegen und beim Auftauchen der Schleppmaschine anzünden. So findet uns der Pilot besser und kann aus der Rauchfahne die Windrichtung erkennen.

Während der Landung der Schleppmaschine müssen wir unbedingt auf das Freihalten der Landebahn achten. Eventuell sind einige Helfer nach entsprechender Unterweisung zum Absperrdienst einzuteilen. Nach der Landung bleiben wir beim Zurückrollen an der Tragfläche des Motorflugzeuges und weisen den Schleppiloten ein.

Um einen sicheren Start zu gewährleisten, schärfen wir der „Absperrtruppe“ ein, dafür zu sorgen, daß niemand in die bezeichnete Startbahn eindringt. Wir kontrollieren nochmals die Startbahn, kuppeln das mitgebrachte Schleppseil an der Motormaschine ein und lassen sie so weit vorrollen, bis der Abstand zwischen Segel- und Motorflugzeug ungefähr der Seillänge entspricht. Dann wird die gelöste Verankerung verstaut, der Fallschirm umgeschnallt, das Düsensäckchen entfernt und eingestiegen. Nachdem wir uns ordentlich festgeschnallt und die Kabine verschlossen haben, kann ein eingewiesener Zuschauer das Schleppseil einkuppeln. Ein anderer hält die Tragfläche, und nach dem Startzeichen erfolgt der Start zum Rückschlepp.

Ist kein Rückschlepp möglich, so muß das Segelflugzeug mit dem Transportwagen zum Heimathafen gefahren werden. Wenn der Rücktransport noch an demselben Tag oder in der folgenden Nacht durchgeführt werden kann, so ist unsere Maschine zum reibungslosen Verladen vorzubereiten. War es infolge Geländeschwierigkeiten nicht möglich, direkt an einer Straße zu landen, so müssen wir mit Hilfe der Zuschauer unsere Maschine dorthin bringen. Je nach der Geländebeschaffenheit ist dabei zu entscheiden, ob das Flugzeug vor dem Transport oder erst an der Straße abgerüstet wird. Vor dem Abrüsten ist das Hilfspersonal genau einzuweisen. Ebenso muß bei der Lagerung der abgerüsteten Teile mit großer Vorsicht vorgegangen werden, um unser Flugzeug, das wir mit mehr oder weniger Glück und Geschicklichkeit heil heruntergebracht haben, nicht beim Abrüsten und Lagern noch zu beschädigen. Vor allem sind die Beschläge und Öffnungen gegen Verschmutzen zu schützen und abzudecken.

Ist die Arbeit beendet, so bleibt uns nichts anderes übrig, als auf den Transportwagen zu warten. Am Tage wird uns die Zeit nicht lang werden, da uns sicher viele Neugierige aufsuchen werden, und diesen stehen wir gern Rede und Antwort. Solche Unterhaltungen bieten gute Gelegenheit, von unserer Arbeit und den Aufgaben der Gesellschaft für Sport und Technik zu erzählen und so auch den Menschen einen kleinen Einblick zu geben, die noch nicht viel von uns wissen. Vielleicht wecken wir bei dem einen oder anderen auch die Lust zum Segelflug.

Erfolgt der Rücktransport nicht an demselben Tag oder in der kommenden Nacht, so sollten wir eine Unterstellmöglichkeit im Dorf oder in einer Feldscheune suchen. Wir ersparen uns damit eine Übernachtung im Freien. Ist es gelungen, eine geeignete Unterkunft für das Segelflugzeug zu finden, so bringen wir es

dorthin und verstauen es sicher. Erst danach können wir uns ein Nachtquartier suchen.

Am nächsten Tag postieren wir uns so, daß die Kameraden des Transportwagens nicht erst lange suchen müssen. Ist alles gut verstaut, bedanken wir uns bei den Helfern für ihre Unterstützung und beginnen die Heimfahrt.

2. Technik des Streckenfluges

2.1 Die Geschwindigkeitspolare

Die Grundlage für alle Betrachtungen der Streckenflugtechnik ist die Geschwindigkeitspolare des Segelflugzeuges. Mit ihrer Hilfe ist für jede Bahngeschwindigkeit die entsprechende Sinkgeschwindigkeit für ruhige Luft zu ermitteln. Je geschickter wir uns ihrer bedienen können, desto besser werden wir alle Fragen, die während des Streckenfluges in bezug auf die günstigste Geschwindigkeit auftauchen, lösen.

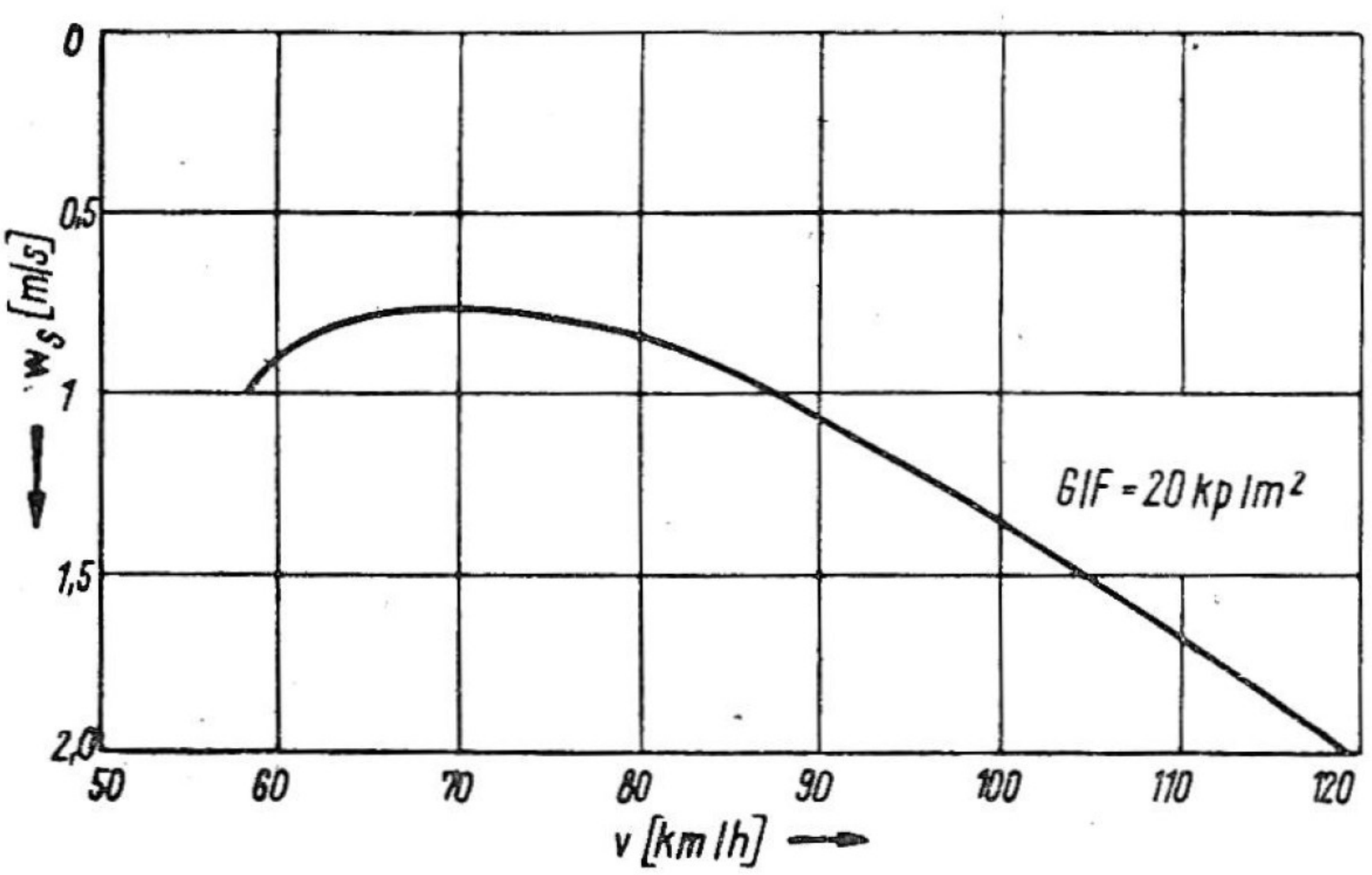


Bild 3. Geschwindigkeitspolare des Segelflugzeuges „Meise"

Aus dieser Tatsache geht also schon hervor, daß uns die Geschwindigkeitspolare den Zusammenhang zwischen Bahngeschwindigkeit und der entsprechenden Eigen-Sinkgeschwindigkeit des Segelflugzeuges angibt. Den charakteristischen Verlauf einer solchen Polare zeigt Bild 3.

Welche wichtigen Größen sind aus diesem Diagramm abzulesen? Der Kurvenverlauf zeigt, bei welcher Bahngeschwindigkeit das Eigensinken am geringsten ist. Wird die Bahngeschwindigkeit noch über diesen Punkt hinaus verringert, so steigt die Eigensinkgeschwindigkeit. Physikalisch bedeutet das: Der Auftrieb reicht bei weiterer Verringerung der Bahngeschwindigkeit von einem bestimmten Punkt an nicht mehr aus, um das Flugzeug zu tragen. Es ist dann nicht mehr steuerbar, sackt durch oder kippt über die Fläche ab. Ob die Maschine harmlos durchsackt oder tückisch über eine Fläche abschmiert, hängt von den Stabilitätseigenschaften des Flugzeuges ab. Beide Erscheinungen führen aber dazu, daß die Maschine Fahrt aufholt und damit wieder steuerfähig wird.

Erhöht man die Geschwindigkeit über den Punkt des geringsten Eigensinkens hinaus, so nimmt die Eigen-Sinkgeschwindigkeit ebenfalls zu. Diese Zunahme erfolgt erst langsam bis zum Punkt der Geschwindigkeit für bestes Gleitverhältnis. Von dort aus nimmt dann die Eigen-Sinkgeschwindigkeit mit wachsender Bahngeschwindigkeit wesentlich schneller zu.

In Bild 4 sind die ebengenannten markanten Punkte der Geschwindigkeitspolare eingetragen.

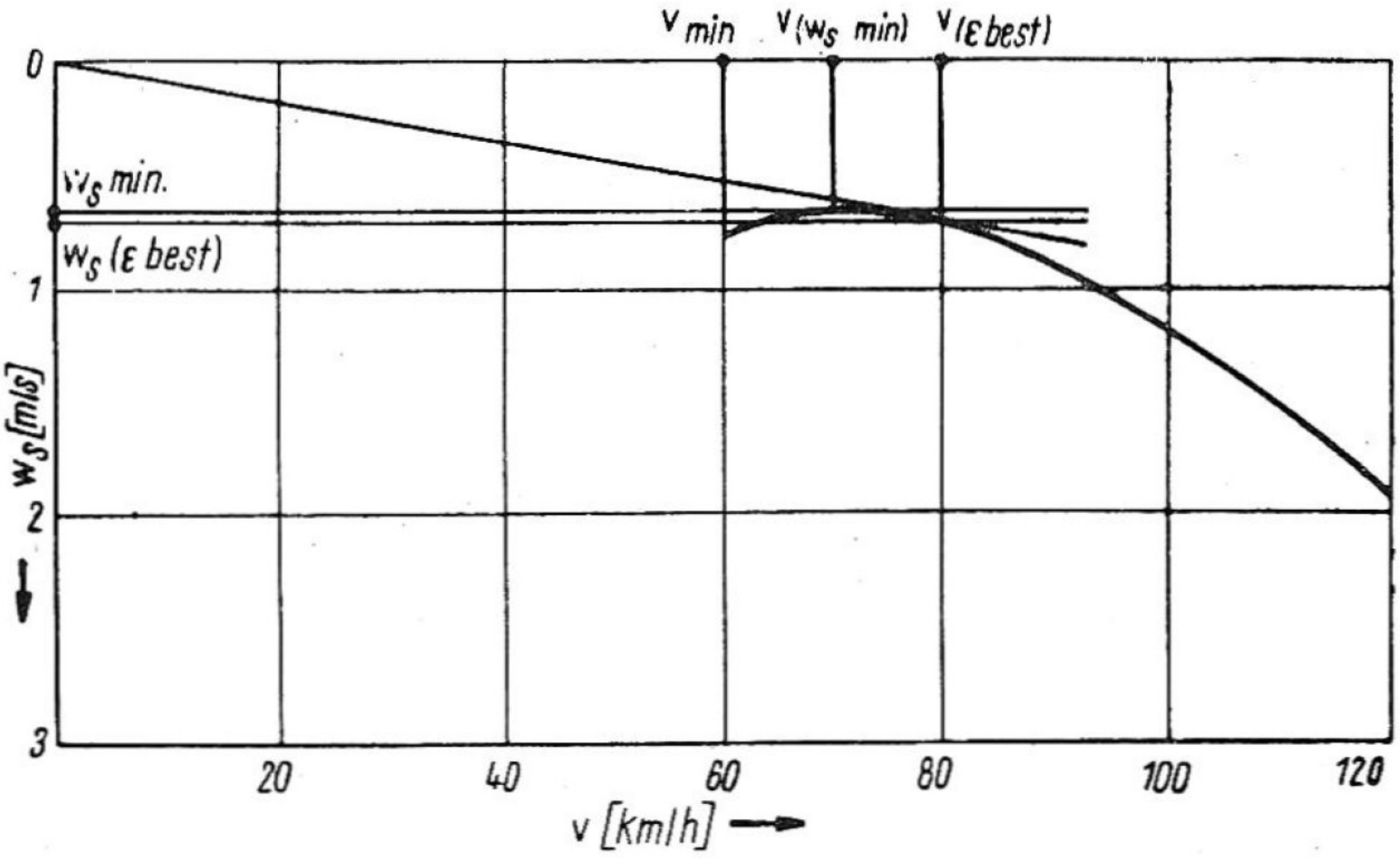


Bild 4. Geschwindigkeitspolare der Lom 57 „Libelle" mit markanten Punkten

Da die Bahngeschwindigkeit immer um eine Zehnerpotenz größer ist als die Eigen-Sinkgeschwindigkeit, werden zweckmäßigerweise auf der Abszisse (Waagrechten) die Geschwindig-

keiten in km/h und auf der Ordinate (Senkrechten) in m/s aufgetragen. Diese Maßstabverteilung hat sich bewährt und wird auch hier beibehalten, um leicht Vergleiche beim Studium anderer Literatur anstellen zu können. Außerdem wählt man zur Darstellung den vierten Quadranten, da der erste Quadrant den Steiggeschwindigkeiten der Motorflugzeuge vorbehalten ist.

Kommen wir nochmals auf Bild 4 zurück, in dem die markanten Punkte der Geschwindigkeitspolare dargestellt sind: die Bahngeschwindigkeit, bei der das Flugzeug gerade noch steuerbar bleibt, ist die Minimalfluggeschwindigkeit v_{min}. Sie beträgt in Bild 4 etwa 60 km/h. Die Bahngeschwindigkeit, bei der die Eigen-Sinkgeschwindigkeit (auch kurz Eigensinken genannt) am kleinsten ist, nennen wir Fluggeschwindigkeit für minimales Sinken. Das Symbol dafür ist $v_{(w_{s\,min})}$. Als dritter charakteristischer Punkt wurde die Bahngeschwindigkeit ausgewählt, bei der das Gleitverhältnis des Segelflugzeuges den besten Wert besitzt. Diese Geschwindigkeit nennen wir die Fluggeschwindigkeit bei der besten Gleitzahl $v_{(\varepsilon\,best)}$. Die beiden letzten Fluggeschwindigkeiten sind leicht grafisch zu ermitteln. Die Fluggeschwindigkeit für minimales Sinken $v_{(w_{s\,min})}$ und die zugehörige minimale Eigen-Sinkgeschwindigkeit $w_{s\,min}$ erhalten wir, wenn wir an die Geschwindigkeitspolare eine Tangente parallel zur Abszisse legen. Der Berührungspunkt liefert die Daten der gesuchten Geschwindigkeiten. Legen wir an die Polare vom Nullpunkt aus eine Tangente, so liefert der Berührungspunkt die gesuchte Fluggeschwindigkeit bei der besten Gleitzahl $v_{(\varepsilon\,best)}$. Die dazugehörige Eigen-Sinkgeschwindigkeit ist dabei $w_{s\,(\varepsilon\,best)}$. Für die folgende Anwendung ist es notwendig, nur Geschwindigkeitspolaren zu verwenden, die in der Flugerprobung erflogen wurden. Vielfach wird den Betriebsanleitungen eine errechnete Geschwindigkeitspolare beigegeben, die der Konstruktion zugrunde gelegt wurde. Diese ist für die hier zu behandelnden Probleme nicht brauchbar, da in den seltensten Fällen die erflogenen und die errechneten Geschwindigkeitspolaren übereinstimmen.

Am Rande sei erwähnt, daß viele Piloten behaupten, die angegebenen Polaren stimmen nicht mit den von ihnen erflogenen überein. Dabei wurde meistens der Fehler gemacht, den Beschleunigungseinfluß unberücksichtigt zu lassen. Die Geschwindigkeitspolaren müssen in völlig ruhiger Luft in stationären Flugzuständen erflogen werden. Drückt man die „Meise“ beispielsweise auf 100 km/h an, so wird das Variometer 2 bis 3 m/s Fallen

anzeigen. Hält man aber die Fahrt eine längere Zeit konstant, so wird sich der richtige Wert von 1,3 m/s einstellen.

Die Geschwindigkeitspolaren der doppelsitzigen Segelflugzeuge werden für ein- und zweisitzigen Flug angegeben. Wird das Flugzeug doppelsitzig geflogen, so verschiebt sich die Geschwindigkeitspolare etwas in Richtung größerer Bahngeschwindigkeiten. Beachte: Die Fluggeschwindigkeit bei der besten Gleitzahl $v_{(\varepsilon\ best)}$ für ein- und doppelsitzigen Flug bleibt gleich, da ε unabhängig vom Gewicht ist.

Am Schluß des Textes sind die Geschwindigkeitspolaren der in der DDR bis 1959 am häufigsten geflogenen Leistungssegelflugzeuge beigefügt. Es sind die Geschwindigkeitspolaren von: „Bocian", „Jaskolka", Lom 57 „Libelle", „Meise", „Sohaj-3", „Mucha 100". Die Diagramme enthalten gleichzeitig die Gleitverhältnisse (Bilder 24–29, siehe S. 50 ff).

Um ein Vergleichen der einzelnen Typen untereinander zu erleichtern, sind in Bild 30 alle Geschwindigkeitspolaren zusammengefaßt. Hier ist deutlich sichtbar, daß bei größeren Geschwindigkeiten der „Bocian", doppelsitzig geflogen, am günstigsten, die „Mucha 100" aber am schlechtesten „marschiert". Auch die „Libelle" ist bei Geschwindigkeiten größer als 100 km/h schlechter als die „Jaskolka". Betrachten wir den Bereich in der Nähe der Geschwindigkeit für minimales Sinken, so ergibt sich unbedingt ein Vorteil zugunsten der „Mucha 100", und der „Libelle". Das bedeutet, beim Kurbeln in der Thermik liegen diese beiden Flugzeuge günstiger als alle anderen angegebenen Typen. Beim Sprung von Wolke zu Wolke mit großer Geschwindigkeit zeigen dagegen „Bocian" und „Jaskolka" bessere Eigenschaften.

Als Anwendungsbeispiel betrachten wir das Verhalten zweier Piloten von gleichem Ausbildungsstand und Können. Pilot A fliegt mit Gast im „Bocian", Pilot B mit der „Mucha 100". Pilot B ist beim Kurbeln dem Piloten A überlegen, da hierbei mit der Geschwindigkeit für minimales Sinken geflogen wird. Beim Sprung von Schlauch zu Schlauch aber wird mit großer Geschwindigkeit geflogen, und da liegt natürlich Pilot A mit „Bocian" besser. Es kommt nun ganz auf die thermischen Verhältnisse an, welcher Pilot als erster das Ziel erreicht. Ist die Thermik stark, so wird der Pilot mit dem „Bocian" günstiger liegen, da wegen der starken Steigbereiche nicht viel zu kurbeln ist und die verlorene Zeit beim Sprung durch größere Geschwindigkeit leicht einzuholen ist. Ist die Thermik aber schwach, so wird die „Mucha 100, Vorteile besitzen, da sie die schwächeren Steigbereiche besser

ausnutzen kann. Gleiches gilt auch beim Vergleich von „Jaskolka“ und „Libelle“. Ein idealer Flugzeugtyp, der sowohl sehr gute Eigenschaften im Bereich von $v_{(w_s\,min)}$ als auch im Bereich von $v_{(\varepsilon\,best)}$ besitzt, ist leider nicht zu verwirklichen. Bei der Auslegung eines Segelflugzeuges muß man sich von vornherein darüber im klaren sein, ob es ein schnelles oder ein Flugzeug mit guten Steigeigenschaften werden soll. Heute gehen die Tendenzen im Segelflugzeugbau mehr in Richtung guter Eigenschaften bei größeren Geschwindigkeiten.

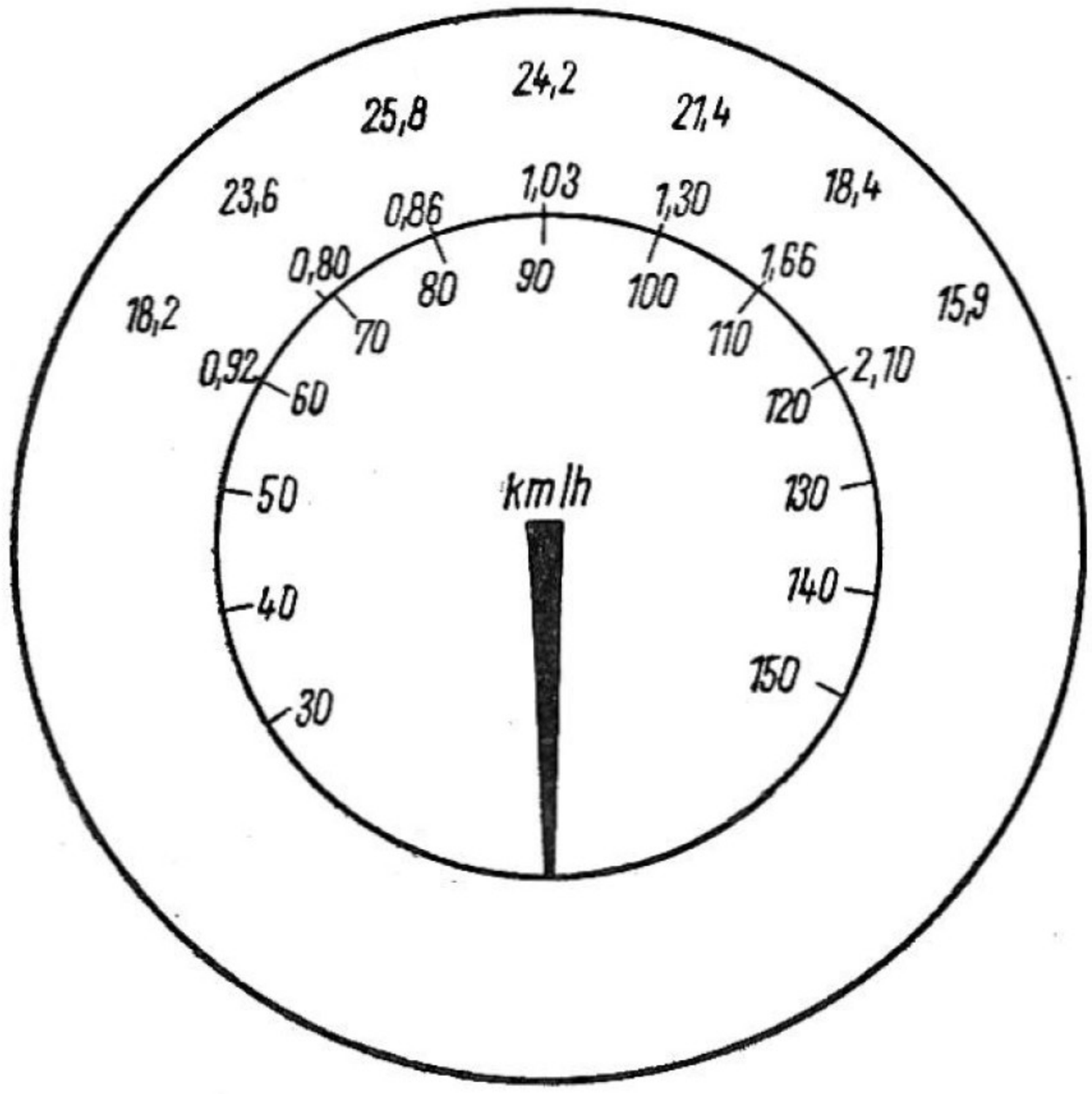


Bild 5. Am Fahrtmesser anzubringender Ring für Eigensinken und Gleitverhältnis der „Meise“

Für den Streckenflug, besonders für seinen letzten Abschnitt bei aufgelöster Thermik, ist es vorteilhaft zu wissen, bei welcher Geschwindigkeit unsere Maschine welches Eigensinken und, damit verbunden, welche Gleitzahl besitzt. Wir können daraus die ungefähre Reichweite bei aufgelöster Thermik oder beim Flug in thermiklosen, windstillen Bereichen bestimmen. Außerdem können wir beim Flug in Abwindgebieten die Stärke des Abwindes abschätzen, indem wir das Eigensinken, das der angezeigten Geschwindigkeit entspricht, vom Variometerstand abziehen. Vom Piloten kann aber nicht verlangt werden, daß er die Geschwindigkeitspolare seines Flugzeuges auswendig kennt. Eine gute Hilfe stellt daher das Anbringen eines Skalenringes am Fahrtmesser dar. Bild 5 zeigt einen solchen Ring für die „Meise“.

2.2 Der Einfluß der Höhe auf die Anzeige der Instrumente

Da die Luftdichte mit zunehmender Höhe abnimmt, ändert sich auch der Verlauf der Geschwindigkeitspolaren. Dabei ist noch zu beachten, daß die bei uns verwendeten Fahrtmesser und Variometer ohne Höhenkompensation hergestellt werden. Sind diese außerdem noch auf Meeresspiegelhöhe geeicht, so liefern die Geräte mit zunehmender Höhe falsche Werte. Auf eine mathematische Ableitung dieser Fehlanzeige wird verzichtet, es werden nur die Ergebnisse mitgeteilt.

Die tatsächliche Geschwindigkeit ist immer größer als die angezeigte, und das tatsächliche Sinken oder Steigen ist immer größer als das angezeigte!

Tafel 1. Instrumentenfehler durch Einfluß der Höhe

H[m]	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
$\sqrt{\varrho_0/\varrho_H}$	1	1,02	1,05	1,08	1,10	1,13	1,16	1,22	1,29
ϱ_0/ϱ_H	1	1,04	1,10	1,16	1,21	1,28	1,35	1,49	1,66

Die Fehler müssen bei Höhen ab 3000 m unbedingt berücksichtigt werden. Die Instrumentenfehler sind in Tafel 1 zusammengefaßt, sie beruhen auf der Luftdruckabnahme mit der Höhe. Beim Betrachten der Tafel 1 stellen wir fest, daß die Variometeranzeige mit einem Fehler von 0 bis 35 Prozent bei einem Flug von Null bis auf 3000 m Höhe behaftet ist. Bild 6 zeigt den prozentualen

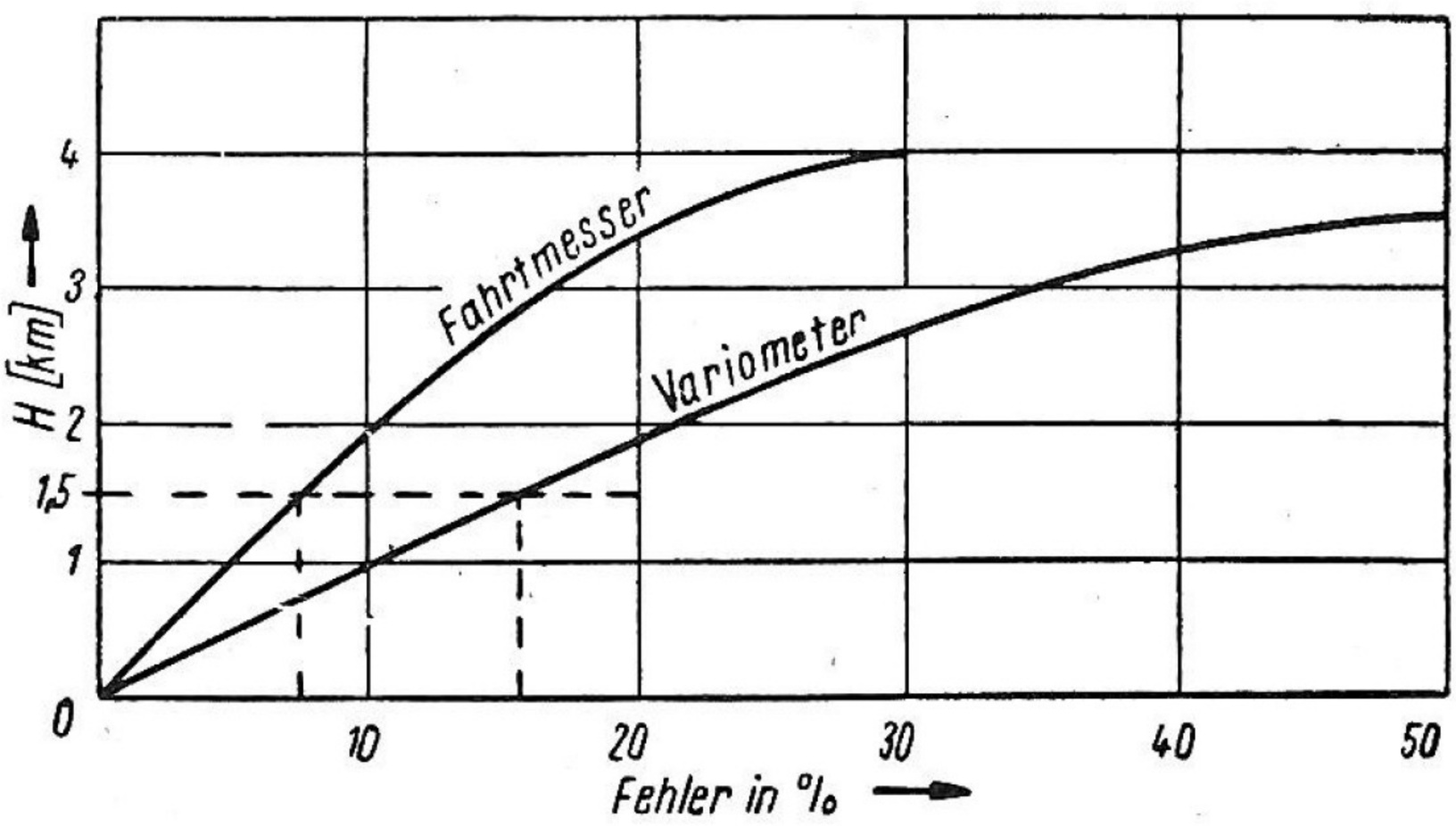


Bild 6. Prozentualer Fehler der Instrumentenanzeige mit zunehmender Höhe

Fehler in Abhängigkeit von der Flughöhe. Sind im Flugzeug keine Korrekturtabellen vorhanden, so merken wir uns als Richtwert den Fehler in einer Flughöhe von 1500 m, denn diese Höhe wird bei unseren Streckenflügen fast immer gehalten.

In einer Flughöhe von 1500 m zeigen falsch an: Fahrtmesser 8 Prozent zuwenig, Variometer 16 Prozent zuwenig.

2.3 Der freie Streckenflug

2.31 Gleitzahl und Reichweite

Bei der Leistungsbetrachtung eines Segelflugzeuges ist besonders die Wechselwirkung zweier Größen von äußerster Wichtigkeit: Das Verhältnis von Auftrieb zu Widerstand in der zum Auftrieb senkrechten Richtung, das Gleitverhältnis genannt wird. Es ist also

$$\text{Gleitverhältnis} = \frac{\text{Auftrieb}}{\text{Widerstand}}.$$

Das Gleitverhältnis wird auch oft mit dem Ausdruck „aerodynamische Güte“ bezeichnet. Da sowohl im Auftrieb als auch im Widerstand der Staudruck und die Flügelfläche vorkommen, heben sie sich bei der Bildung der Verhältnisse heraus. Es ergibt sich damit das Gleitverhältnis:

$$\frac{1}{\varepsilon} = \frac{c_a}{c_w} = \frac{v}{w_s}.$$

Vielfach wird in der Literatur auch von der „Gleitzahl“ gesprochen. Sie ist der Kehrwert des Gleitverhältnisses:

$$\varepsilon = \frac{c_w}{c_a} = \frac{w_s}{v}.$$

Leider werden in der Literatur beide Begriffe für den gleichen Wert gebraucht, so daß einige Verwirrung entstanden ist. Wir merken uns: Da c_a immer um eine Zehnerpotenz größer ist als c_w, wird das Gleitverhältnis stets > 1 sein. $^1/_\varepsilon$ liegt bei den heute verwendeten Leistungsflugzeugen bei 25 bis 30 für eine Fluggeschwindigkeit von 75 bis 80 km/h. Die Gleitzahl ist dann der entsprechende Kehrwert, also $^1/_{25}$ bis $^1/_{30}$ oder 0,04 bis 0,033. Es gilt also:

Gleitverhältnis oder aerodynamische Güte c_a/c_w 25 bis 30. Gleitzahl c_w/c_a 0,04 bis 0,033.

Zur Erklärung wollen wir uns die Geschwindigkeitspolare der Lom 57 „Libelle“ (Bild 26, siehe S. 51) ansehen. Die Tangente berührt die Kurve bei $v = 78$ km/h. Zu dieser Geschwindigkeit gehört eine Eigen-Sinkgeschwindigkeit von $w_s = 0{,}72$ m/s. Daraus folgt ein bestes Gleitverhältnis der „Libelle“ von

$$\frac{1}{\varepsilon} = \frac{v}{w_s} = \frac{21{,}7 \text{ m/s}}{0{,}72 \text{ m/s}} = 30$$

(78 km/h = 21,7 m/s).

Die Gleitzahl ε wäre dann

$$\varepsilon = \frac{w_s}{v} = \frac{1}{30} = 0{,}033.$$

Bei der genauen Untersuchung und beim Vergleich der beiden Erklärungen des Gleitverhältnisses, nämlich einmal durch Auftrieb und Widerstand und das andere Mal durch das Verhältnis der Geschwindigkeiten, stellt sich sofort heraus, daß sie nicht immer übereinstimmen. Die Tatsache, daß im Flug die Windrichtung und vor allem der Einfluß der vertikalen Luftbewegungen wirksam werden, macht es notwendig, einen anderen Ausdruck einzuführen. Dieser Ausdruck wird „Reichweite“ genannt. Beim Motorflugzeug hängt sie ausschließlich von der Menge des mitgeführten Treibstoffes ab. Beim Segelflugzeug ist das Problem wesentlich komplizierter.

Wir definieren zuerst einmal die Reichweite allgemein als das Verhältnis der über Grund zurückgelegten Strecke und der dazu verbrauchten Höhe:

$$\text{Reichweite} = \frac{\text{zurückgelegte Strecke}}{\text{Höhe über Grund}} \quad \text{oder} \quad S = \frac{s}{H}.$$

Haben wir also eine Höhe über Grund von $H = 1000$ m und unser Flugzeug legt bei ruhiger Luft, ohne Auf- oder Abwind, eine Strecke von $s = 20$ km zurück, so sind wir mit einer Reichweite von

$$S = \frac{s}{H} = \frac{20000 \text{ m}}{1000 \text{ m}} = 20$$

geflogen. Weitere Beispiele werden wir bei der Behandlung der Zielanflugtafel kennenlernen.

Für den Flug in ruhiger Luft können wir den Flugbahnwinkel mit dem Winkel zwischen dem Auftrieb A und der Luftkraft-resultierenden R vergleichen. Da A senkrecht auf D steht und R senkrecht auf s, sind die Winkel zwischen A und R, bzw. D und s gleich.

Wir können also schreiben:

$$\begin{aligned} c_a/c_w &= \cot\gamma \\ s/H &= \cot\vartheta \end{aligned} \qquad \gamma = \vartheta \quad \text{also} \quad c_a/c_w = s/H.$$

Damit ist für den Fall des Fluges in ruhiger Luft ein Zusammenhang zwischen Gleitverhältnis und Reichweite hergestellt. Beide sind gleich. Sobald aber Rücken- oder Seitenwind, Auf- oder Abwind hinzukommen, ändern sich die Verhältnisse, da dann der Flugbahnwinkel δ nicht mehr mit dem Winkel γ zwischen Auftrieb und Widerstand übereinstimmt. Damit verliert dann die Gleichung $c_a/c_w = s/H$ ihre Gültigkeit. Bild 7 zeigt die Zusammenhänge zwischen Kräfteverhältnissen am Flugzeug und der Reichweite. Ohne Gegenwind würde nach der obigen Gleichung bei

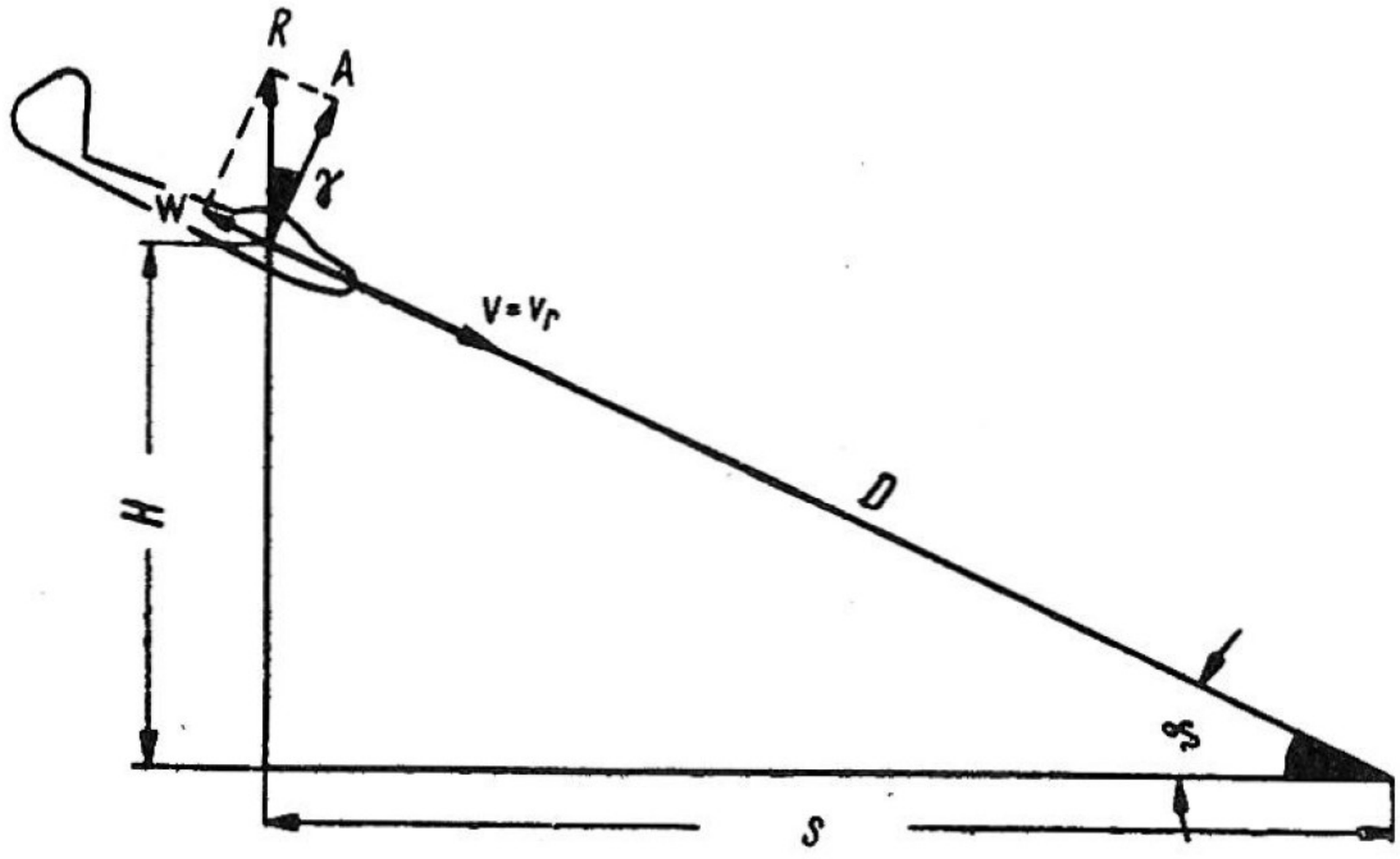


Bild 7. Reichweite beim Flug in ruhiger Luft

einer Fluggeschwindigkeit v und einem Flugbahnwinkel δ aus einer Höhe H eine Reichweite S erzielt. Bild 7 veranschaulicht diese Schlußfolgerung. Die Reichweite wird also in diesem Falle von der Eigengeschwindigkeit des Flugzeuges bestimmt. Bei Gegenwind liegen die Verhältnisse anders. Durch vektorielle Addition der Windgeschwindigkeit u_h (Horizontalkomponente) zur Fluggeschwindigkeit v ergibt sich die Reisegeschwindigkeit v_r. Sie stellt hier also eine resultierende Geschwindigkeit über Grund

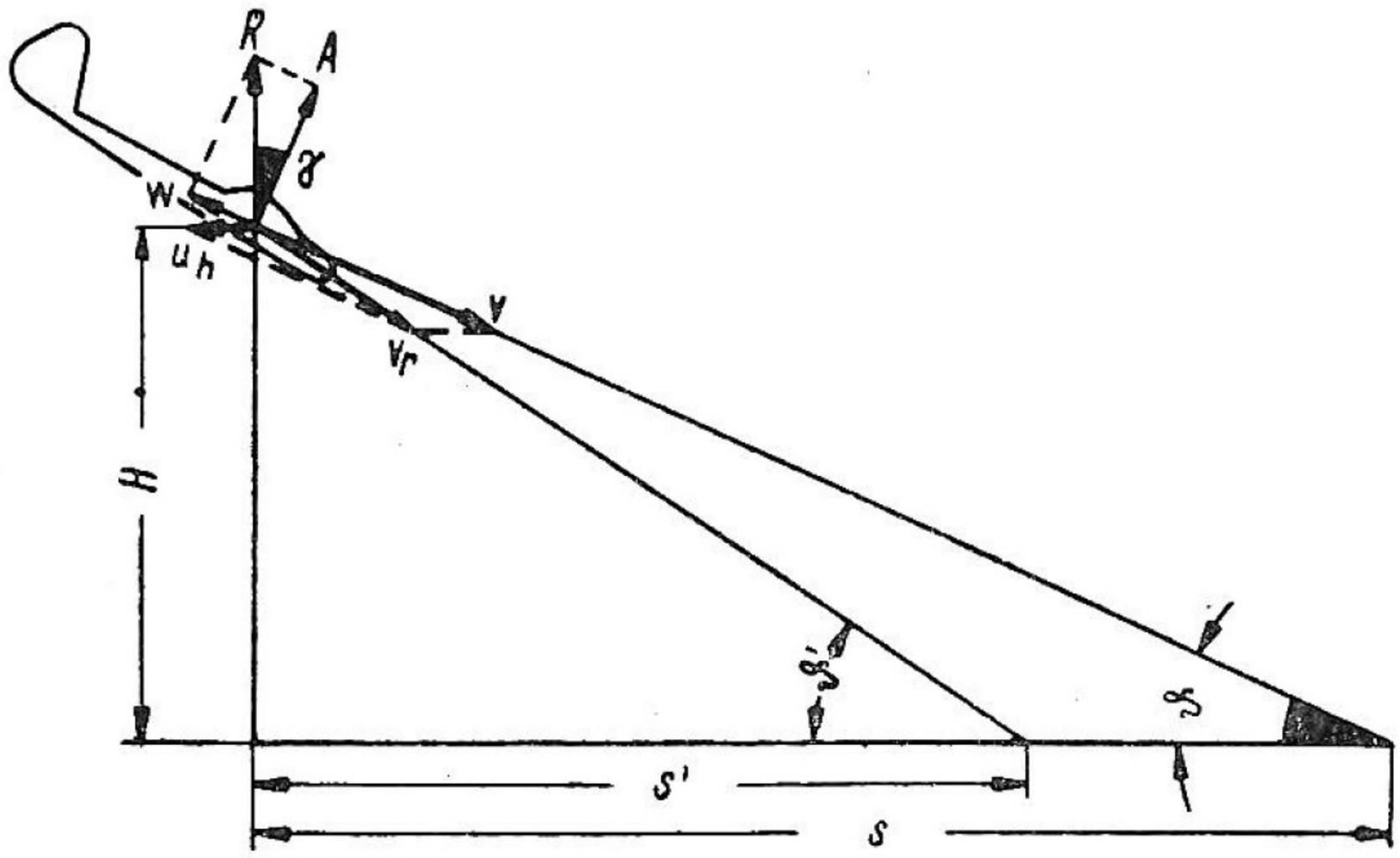


Bild 8. Reichweite bei Gegenwind

dar. Die Richtung und Größe von v_r, die von der Richtung und Stärke des Gegenwindes abhängt, bestimmt den neuen Flugbahnwinkel ϑ'. Wir sehen, die neue Reichweite S' ist wesentlich kleiner als die sich aus dem Gleitverhältnis ergebende, obwohl der Winkel γ unverändert blieb. Die Reichweite ist jetzt

$$S' = \frac{s'}{H}.$$

Betrachten wir nun das gleiche Flugzeug, das wir für den Fall von völliger Windstille sowie bei Gegenwind gewählt hatten, beim Flug mit Rückenwind (Horizontalkomponente) u_h. Außerdem möge gleichzeitig noch eine Abwindkomponente (Vertikalkomponente) u_v vorhanden sein. Bild 9 gibt die Verhältnisse an. Durch vektorielle Addition der Windgeschwindigkeits-Komponente erhalten wir eine neue resultierende Reisegeschwindigkeit v_r, die

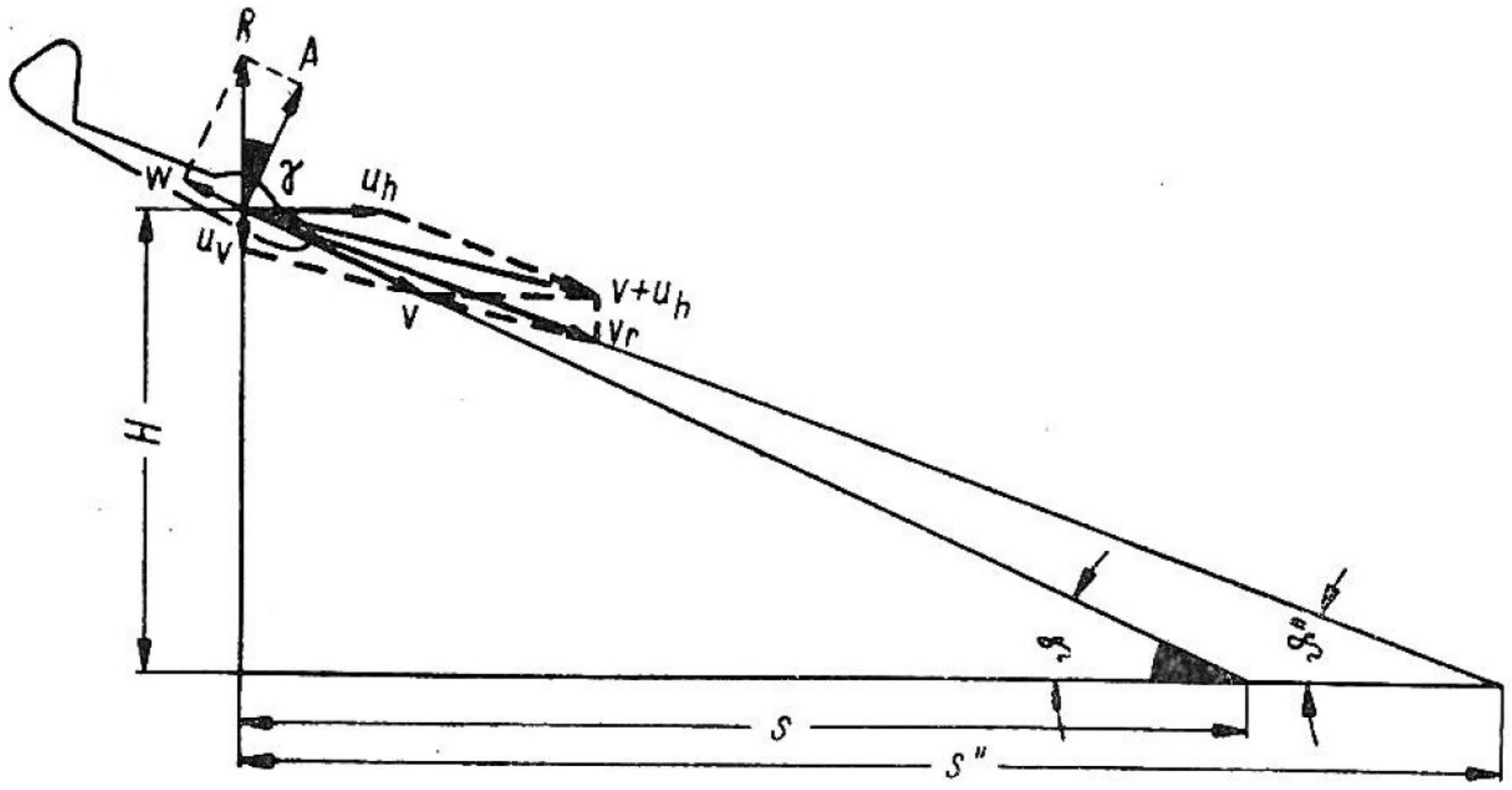


Bild 9. Reichweite bei Rücken- und Abwind

wiederum einen neuen Flugbahnwinkel ϑ'' bestimmt. Wir stellen nun fest, daß die neue Reichweite S'' größer ist als die sich aus dem Gleitverhältnis ergebende Reichweite. Sie beträgt:

$$S'' = \frac{s''}{H}.$$

Die angeführten Beispiele zeigen deutlich, daß Gleitverhältnis und Reichweite sich zwar gegenseitig beeinflussen, aber in den seltensten Fällen gleiche Werte haben. Es ist also nicht möglich, die Reichweite mit dem Begriff und der Definition des Gleitverhältnisses zu umfassen. Die unterschiedliche Reichweite hängt in den betrachteten Fällen nur von der Windrichtung und der Windgeschwindigkeit ab. Wir hatten angenommen, daß die Eigengeschwindigkeit und damit der Anstellwinkel und damit wiederum das Gleitverhältnis konstant gehalten wurde. Wird das Gleitverhältnis verändert, so muß auch der Anstellwinkel geändert, also mit anderer Geschwindigkeit geflogen werden. Die Fluggeschwindigkeit v ist unter der Bedingung, daß der Auftrieb A gleich dem Gewicht G des Flugzeuges ist, durch die Beziehung

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot 1}{\varrho \cdot F \cdot c_a}}$$

mit dem Anstellwinkel verknüpft. Bild 10 zeigt das Gleitverhältnis der Lom 57 „Libelle“ als Funktion der Geschwindigkeit.

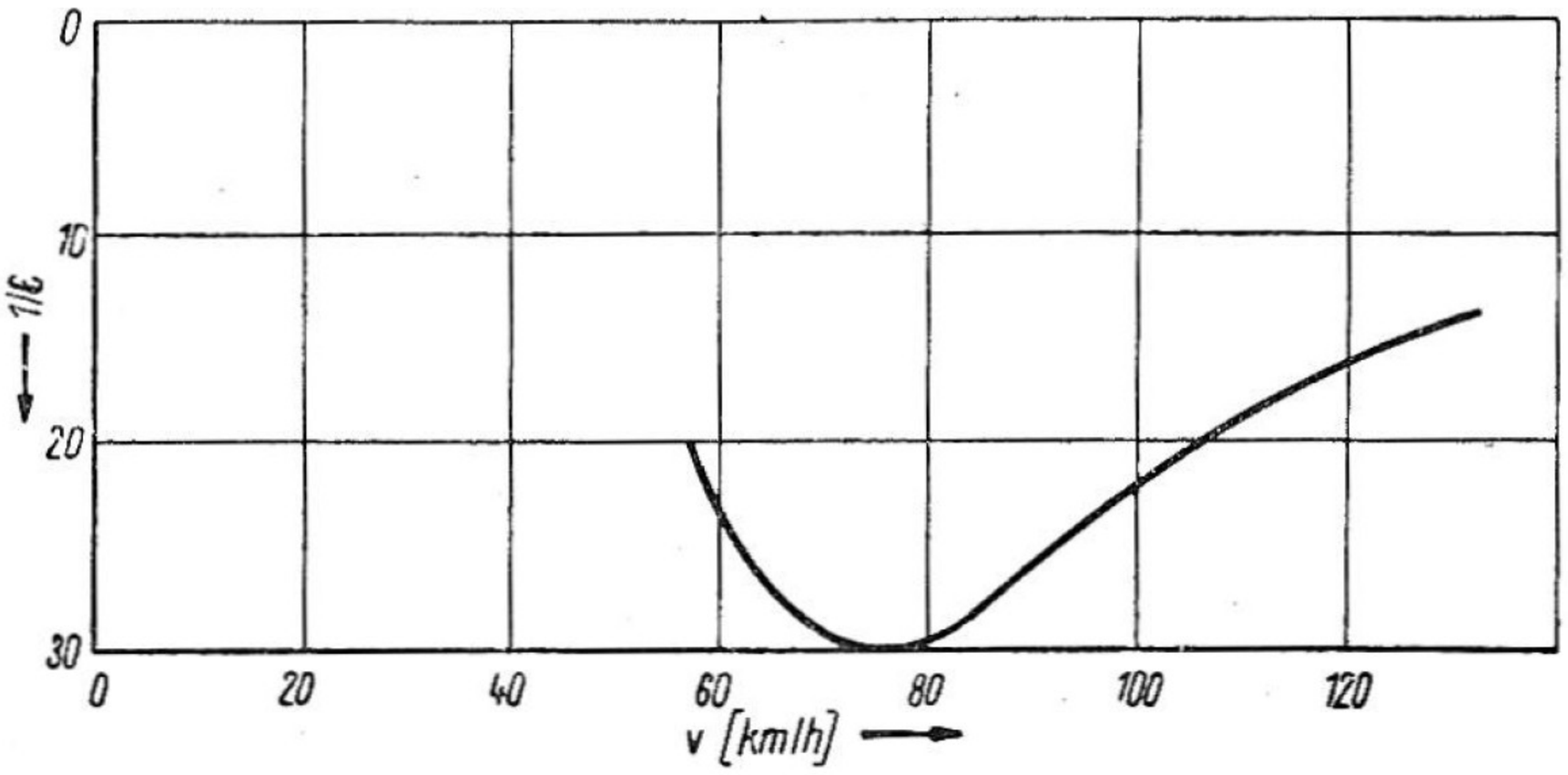


Bild 10. Gleitverhältnis der Lom 57 „Libelle“ als Funktion der Geschwindigkeit

2.32 Die Geschwindigkeit zum Erzielen der maximalen Reichweite

Da sich für die Geschwindigkeitsbereiche, die während eines Streckenfluges angewendet werden, die Horizontalgeschwindig-

keit nur unwesentlich von der Fluggeschwindigkeit unterschiedet, können wir die Geschwindigkeitspolare auch in der Form der Horizontalgeschwindigkeit v_h als Funktion der Eigen-Sinkgeschwindigkeit w_s aufzeichnen. Die Abweichung der Horizontalgeschwindigkeit von der Fluggeschwindigkeit beträgt z. B. bei der „Mucha" für eine Geschwindigkeit von 130 km/h nur 1 km/h. Dieser Fehler bei der schon hohen Fluggeschwindigkeit ist zu vernachlässigen, da bereits in der Anzeige und beim Ablesen der Instrumente größere Fehler entstehen. Aus dem gleichen Grunde kann auch die im vorigen Abschnitt gemachte Definition des Gleitverhältnisses

$$\frac{1}{\varepsilon} = \frac{v}{w_s}$$

für $v \approx v_h$ als genügend genau beibehalten werden.

Das Ermitteln der Geschwindigkeit für die größte Reichweite in ruhiger Luft ist in Bild 11 veranschaulicht. Die Geschwindigkeit für größte Reichweite finden wir, wie schon unter 2.1 „Die Geschwindigkeitspolare" erklärt, durch Ziehen der Tangente

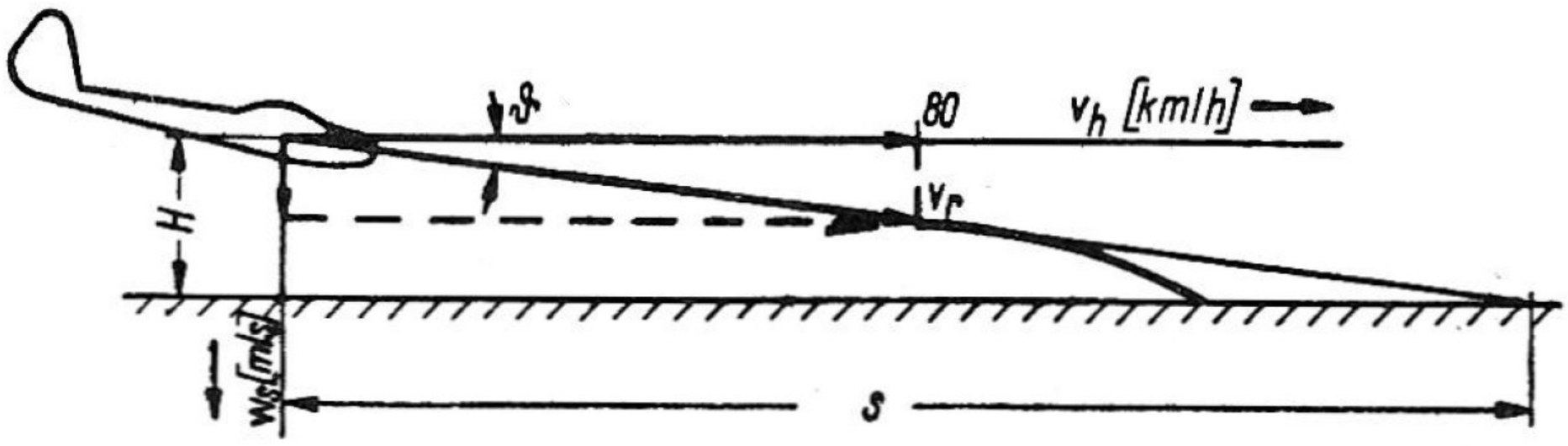


Bild 11. Geschwindigkeit für größte Reichweite in ruhiger Luft

vom Nullpunkt an die Geschwindigkeitspolare. Der Vektor vom Nullpunkt bis zum Berührungspunkt mit der Geschwindigkeitspolare stellt die einzuschlagende Fluggeschwindigkeit zum Erzielen der größten Reichweite dar. Natürlich muß bei der richtigen Auswertung darauf geachtet werden, daß sowohl Ordinate als auch Abszisse die gleichen Maßstäbe aufweisen. Ist das nicht der Fall, so müssen wir einen entsprechenden Umrechnungsfaktor in die Rechnung einbeziehen. Bei gleicher Maßstabwahl stellt der Winkel zwischen der einzuschlagenden Reisegeschwindigkeit v_r und der Horizontalgeschwindigkeit v_h den Flugbahnwinkel ϑ dar. Dieser ist in ruhiger Luft gleich dem Gleitwinkel γ.

Sobald die Luft nicht völlig ruhig ist, läßt sich die Geschwindigkeit für größte Reichweite kaum so leicht ermitteln, da die

Winkel ϑ und γ nicht mehr übereinstimmen. Bild 12 veranschaulicht die dann erforderliche Konstruktionsmethode. Das Geschwindigkeitsdreieck war für ruhige Luft von den Vektoren v_r, w_s und v_h gebildet worden. Diese Verhältnisse behalten auch hier ihre Gültigkeit. Anstelle der Horizontalgeschwindigkeit v_h müssen wir jetzt die Differenz aus Horizontalfluggeschwindigkeit und Horizontalkomponente der Windgeschwindigkeit setzen, also $(v_h - u_h)$. Der Flugbahnwinkel ϑ' entspricht nicht mehr dem Gleitwinkel γ. Für die Bestimmung der Geschwindigkeit größter Reichweite ist er auch nicht notwendig, da hier nur der Flugbahnwinkel ϑ ausschlaggebend ist.

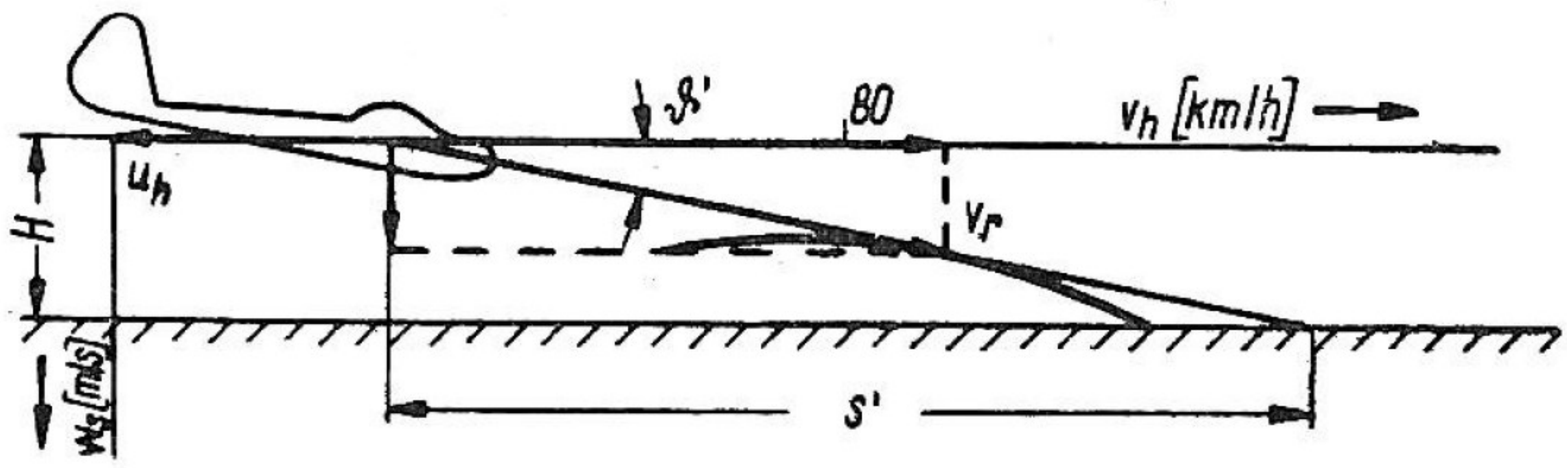


Bild 12. Geschwindigkeit für größte Reichweite bei Gegenwind

Zur Bestimmung von v_r tragen wir die Horizontalkomponente der Windgeschwindigkeit u_h entgegen der horizontalen Fluggeschwindigkeit auf. Dabei erhalten wir einen Punkt, der als neuer Koordinatenanfangspunkt fungiert. Von diesem Punkt aus finden wir die Geschwindigkeit für größte Reichweite wie im Falle bei ruhiger Luft durch Ziehen der Tangente an die Polare. Der Vektor vom neuen Nullpunkt zum Berührungspunkt mit der Geschwindigkeitspolaren liefert uns die Reisefluggeschwindigkeit für größte Reichweite v_r. Durch vektorielle Zerlegung sind zum Abschluß leicht die Horizontal- und die Sinkgeschwindigkeit zu ermitteln. Bei Vergleich von Bild 11 und Bild 12 ist sofort ersichtlich, daß sich für den Fall des Gegenwindes der Berührungspunkt der Tangente an die Geschwindigkeitspolare in Richtung größerer Horizontalgeschwindigkeit verschoben hat. Um maximale Reichweite bei Gegenwind zu erreichen, müssen wir also schneller fliegen.

Die gleichen Überlegungen gelten auch beim Flug mit Rückenwind. Um auch noch den Einfluß der vertikalen Luftbewegung zu verdeutlichen, sind in Bild 13 die Verhältnisse für Rücken- und Abwind dargestellt. Der Punkt, von dem aus die Tangente an die Geschwindigkeitspolare gezogen werden muß, wird hier von der horizontalen und der vertikalen Windgeschwindigkeit

u_h und u_v bestimmt. Bild 13 zeigt deutlich, daß sich der Berührungspunkt der Tangente in Richtung kleinerer Horizontalgeschwindigkeiten verschoben hat, wenn nur der Rückenwind berücksichtigt wird. Wir müssen also zum Erzielen der maximalen Reichweite bei Rückenwind langsamer fliegen, gleichzeitig aber infolge des Abwindes die Geschwindigkeit wieder erhöhen.

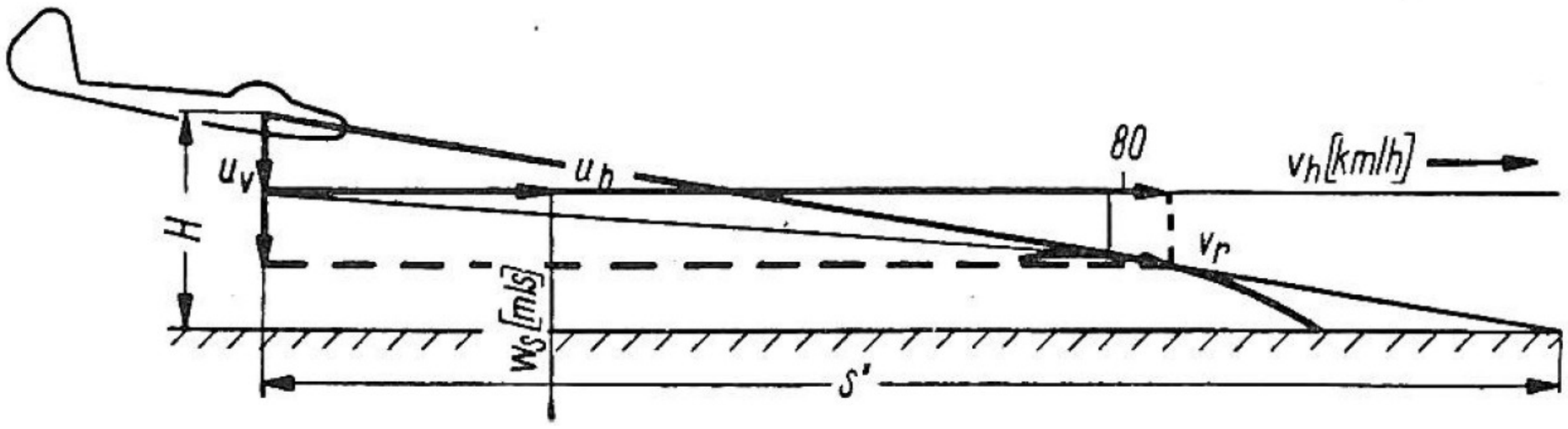


Bild 13. Geschwindigkeit für größte Reichweite bei Rücken- und Abwind

Bild 14 zeigt die möglichen Kombinationen von Auf- und Abwind, Rücken- und Gegenwind. Wenn wir die einzelnen Komponenten der Windrichtungen getrennt betrachten, so können wir aus Bild 14 ablesen:

Zum Erreichen der größten Reichweite gilt

für ruhige Luft	Geschwindigkeit gleich der Geschwindigkeit für bestes Gleitverhältnis
für Gegenwind	entsprechend der Windgeschwindigkeit schneller fliegen
für Abwind	schneller fliegen
für Aufwind	langsamer fliegen
für Rückenwind	langsamer fliegen

Die Reichweite ist unendlich, wenn der Aufwind gleich dem Eigensinken des Segelflugzeuges wird. Vergrößert sich der Auftrieb noch mehr, so verliert der Ausdruck Reichweite seinen Sinn, da wir ja immer weiter steigen.

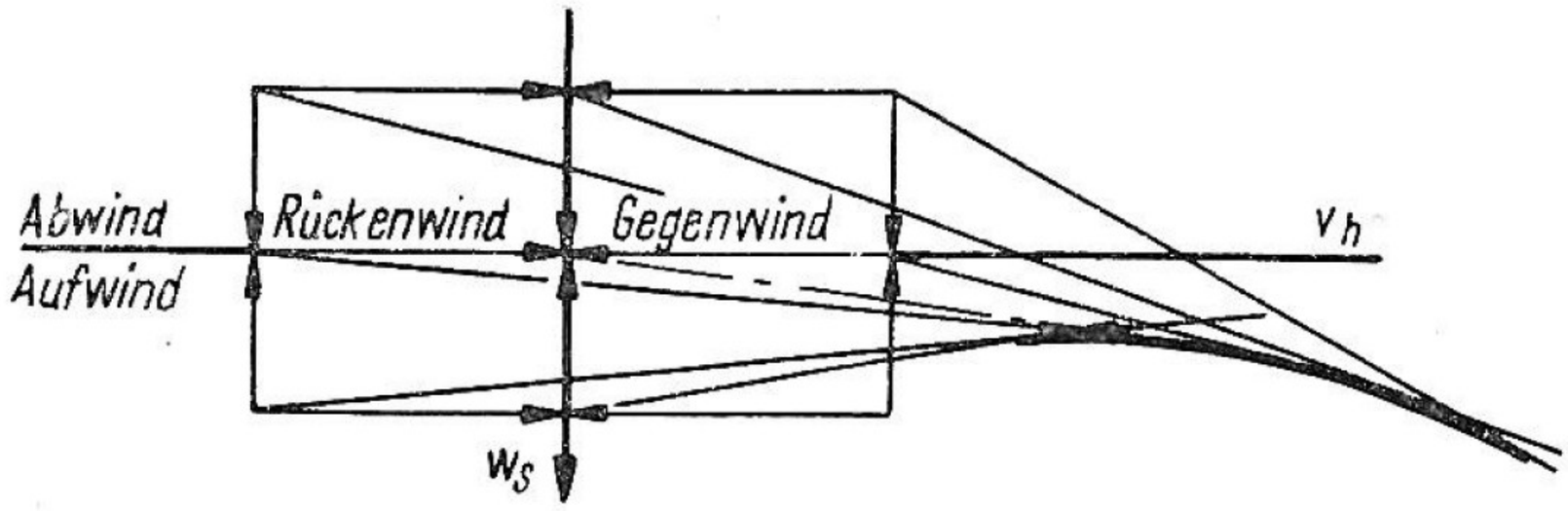


Bild 14. Geschwindigkeit für größte Reichweite bei verschiedenen Windrichtungen

Die eben gewonnenen Erkenntnisse erforderten, daß wir während eines Streckenfluges zum Erzielen maximaler Reichweiten entsprechend der Stärke von Auf- und Abwind, Rücken- und Gegenwind laufend unsere Fluggeschwindigkeit ändern müßten. Abgesehen davon, daß die Änderung der horizontalen Windgeschwindigkeit während des Fluges kaum exakt festzustellen ist, wäre diese Methode nicht durchführbar, da während des Fluges nicht laufend Zeichnungen angefertigt werden können. Wir beschränken uns deshalb auf die Bestimmung einer angenäherten Reisegeschwindigkeit. Tafel 2 gibt diese Werte für verschiedene Flugzeugtypen an.

Tafel 2. Änderung der Fluggeschwindigkeit durch Windeinfluß

Flugzeugtyp	Gegenwind 0 [m/s]	15 [m/s]	Zunahme [%]	Rückenwind 0 [m/s]	15 [m/s]	Abnahme [%]
Bocian	80 [km/h]	105	31	80 [km/h]	78	2,5
Libelle	78 [km/h]	93	19	78 [km/h]	72	7,7
Jaskolka	80 [km/h]	100	25	80 [km/h]	75	6,2
Meise	80 [km/h]	95	20	80 [km/h]	75	6,2
Sohaj-3	75 [km/h]	90	20	75 [km/h]	72	4,0
Mucha 100	70 [km/h]	95	36	70 [km/h]	66	5,7

Wir sehen, daß bei Gegenwind von 15 m/s eine Geschwindigkeitserhöhung von 19 bis 36 Prozent je nach Flugzeugtyp notwendig ist, während bei Rückenwind von 15 m/s nur eine Verringerung von 2 bis 8 Prozent beachtet werden muß. Die notwendige Zu- bzw. Abnahme der Geschwindigkeit infolge des Windes ist im Bereich von 0 bis 15 m/s als linear anzunehmen.

2.33 Der „Ballonflug“

Um auch bei schlechten Wetterbedingungen annehmbare Erfolge zu erzielen, soll noch die Methode des „Ballonfluges“ kurz dargestellt werden.

Müssen wir bei sehr starkem Rückenwind einen Streckenflug durchführen, so erfolgt beim Kreisen eine starke Versetzung in

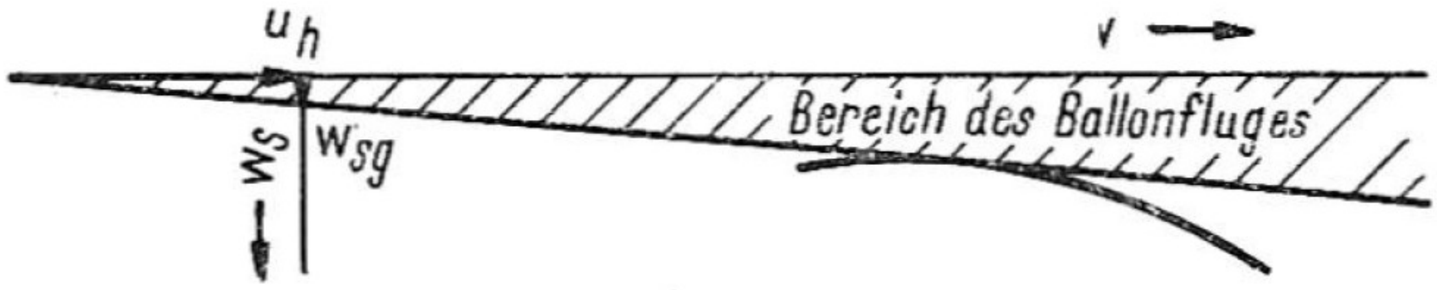


Bild 15. Bestimmung der Grenzsinkgeschwindigkeit für den Ballonflug

Richtung des Zieles. Es ist nun durchaus möglich, durch das Kreisen in schwachen Sinkgebieten eine größere Reichweite zu erzielen als im Geradeausflug. Diese Methode des Kreisens in schwachen Sinkgebieten nennt man „Ballonflug". Es kommt nun darauf an zu wissen, bei welchen Sinkgeschwindigkeiten sich der „Ballonflug" noch lohnt. Die Grenzsinkgeschwindigkeit w_{sg}, bei der sich ein „Ballonflug" gerade noch lohnt, läßt sich aus

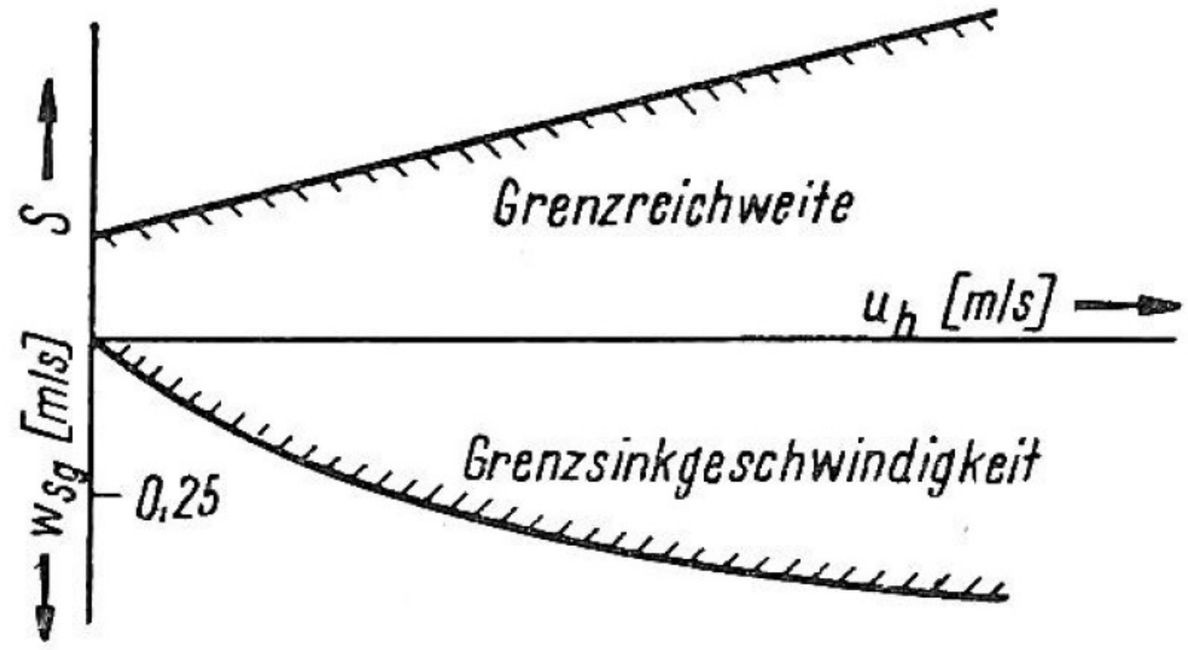


Bild 16. Grenzsinkgeschwindigkeit und Reichweite beim Ballonflug

der Geschwindigkeitspolare ermitteln. Sie hängt von der Windgeschwindigkeit u_h ab. Bild 15 zeigt das Prinzip der Ermittlung, und Bild 16 gibt den prinzipiellen Kurvenverlauf von Grenzsinkgeschwindigkeit und entsprechender Reichweite als Funktion der Windgeschwindigkeit u_h an.

2.4 Der Geschwindigkeits-Streckenflug

Bei der Behandlung aller bisherigen Fragen sind wir von der Zielstellung ausgegangen, beim Streckenflug eine maximale Reichweite zu erlangen. In vielen Fällen kommt es aber darauf an, eine festgelegte Strecke in möglichst kurzer Zeit zurückzulegen. Das gilt vor allem für die Dreieckstrecken. Aber auch an Tagen mit kurzer Dauer der Thermik ist es notwendig, so schnell wie möglich das Ziel zu erreichen, ehe sich die Thermik auflöst. Zum Erkennen der wichtigsten Einflußfaktoren werden wir eine vereinfachte mathematische Betrachtung eines Streckenfluges anstellen.

Der Streckenflug möge aus einer Reihe von Teilstrecken bestehen, wie sie Bild 17 zeigt. Nach dem Start wird in einem wirtschaftlichen Steigbereich durch Kreisen die notwendige Höhe erreicht. Dabei besitzt das Flugzeug eine Steiggeschwindigkeit w_{st_1}. Darauf wird die Höhe in Strecke umgesetzt, um zum

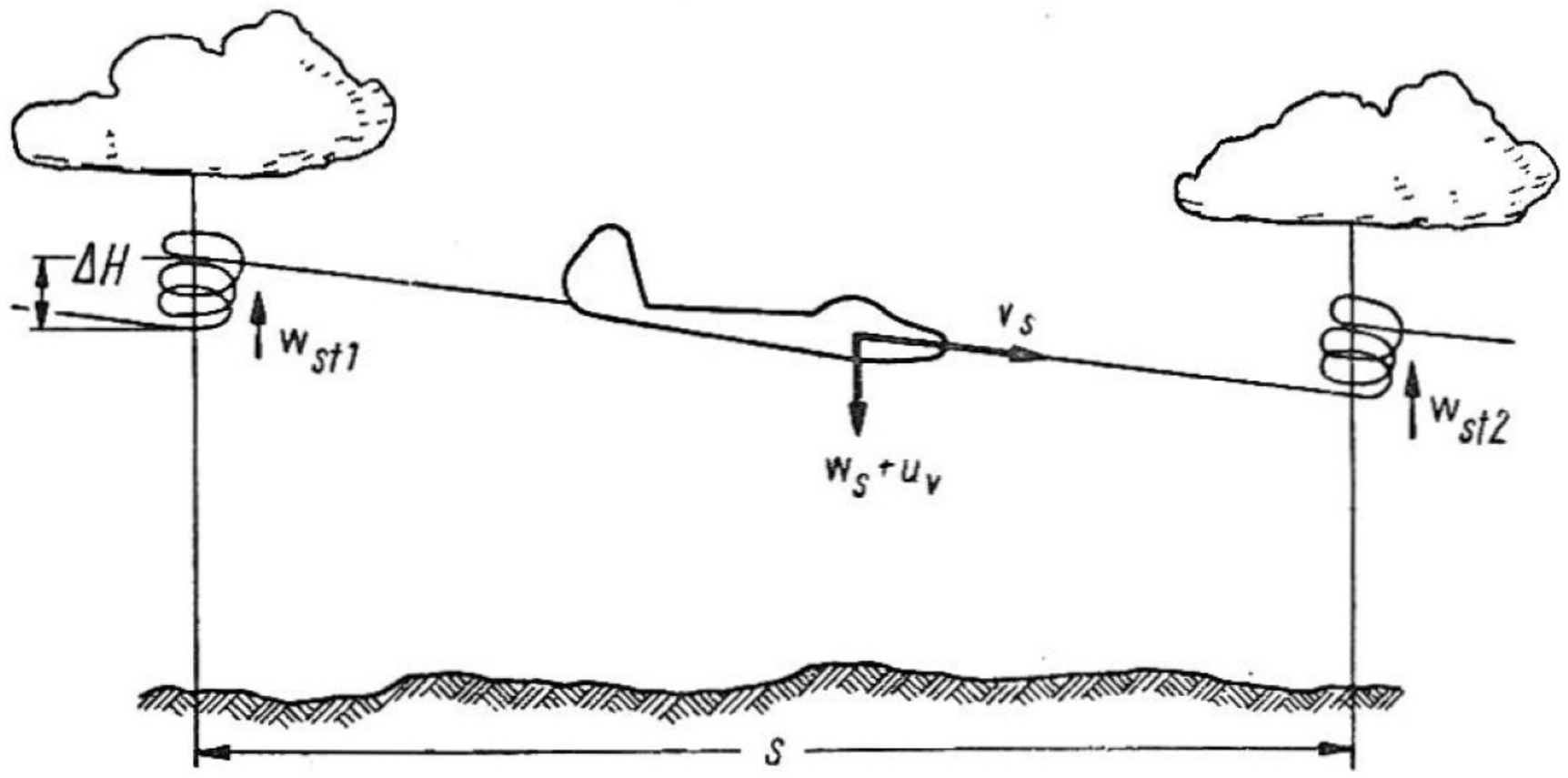


Bild 17. Schema eines Streckenflug-Abschnittes

nächsten Steigbereich zu gelangen. In dem zweiten Steigbereich kreisen wir mit einer Steiggeschwindigkeit w_{st_2} wieder auf die erforderliche Höhe. Während des Sprunges von Steigbereich zu Steigbereich, die in einer Entfernung s voneinander liegen, fliegen wir mit der Geschwindigkeit v_s. Unser Flugzeug steht dabei unter Einfluß der Eigen-Sinkgeschwindigkeit w_s und des Abwindes u_v. Die Eigen-Reisegeschwindigkeit v_{re} auf der Teilstrecke hängt von der Zeit ab, die für den Sprung von Steigbereich zu Steigbereich gebraucht wurde, wir bezeichnen sie mit t_s. Es gilt also

$$v_{re} = \frac{s}{t_{st} + t_s};$$

t_{st} ist die Zeit, die wir zum Hochkurbeln benötigen. Anstelle der Steig- und Sprungzeit können wir auch schreiben

$$t_{st} = \frac{\Delta H}{w_{st}} \qquad t_s = \frac{\Delta H}{u_v + w_s}.$$

Anstelle von v_s, das wir nun verwenden werden, dürfte eigentlich exakt nur die Horizontalkomponente stehen. Da aber der Unterschied zwischen Horizontal- und Fluggeschwindigkeit, wie schon oben erwähnt, unwesentlich ist, können wir den Fehler vernachlässigen und die Bahngeschwindigkeit

$$v_s \approx \frac{s}{t_s}$$

setzen. Es folgt dann

$$v_{re} = \frac{v_s \cdot t_s}{\frac{\Delta H}{w_{st}} + \frac{\Delta H}{u_v + w_s}}$$

Nun multiplizieren wir Zähler und Nenner mit dem Ausdruck

$$\frac{w_{st}\,(u_v + w_s)}{\Delta H}$$

und erhalten

$$v_{re} = \frac{v_s \cdot w_s}{u_v + w_s + w_{st}}\,.$$

Die mittlere Eigengeschwindigkeit auf der gesamten Flugstrecke, die sich aus der Summe der Teilstrecken s zusammensetzt, erhalten wir durch Mittelwertbildung.

Obige Gleichung gibt Aufschluß über den Einfluß der einzelnen Glieder auf die Eigenreisegeschwindigkeit des Segelflugzeuges. Da w_{st} im Zähler als Faktor, im Nenner aber als Summand steht, wird es klar, daß sich durch Ausnutzen starker Steigbereiche die Eigenreisegeschwindigkeit erhöht. Durch starke Abwindgebiete wird die Eigenreisegeschwindigkeit kleiner. Ebenso wirkt starkes Eigensinken verringernd auf die Eigenreisegeschwindigkeit. Durch Erhöhen der Geschwindigkeit v_s können wir zwar die Abwindgebiete schneller überspringen, müssen aber dabei bedenken, daß bei hohen Geschwindigkeiten das Eigensinken des Flugzeuges anwächst. Es ist also je nach der Art des Segelflugzeuges eine optimale Geschwindigkeit für den Sprung zu wählen, die einerseits die Zeit in den Abwindgebieten verkürzt, aber andererseits das Eigensinken nicht zu groß werden läßt. Flugzeuge mit geringem Eigensinken für große Geschwindigkeiten können mit größerer Geschwindigkeit v_s geflogen werden und sind dadurch im Vorteil. Die Geschwindigkeitspolaren in Bild 30 (s. S. 53) zeigen den eindeutigen Vorteil des doppelsitzig geflogenen „Bocian“ vor der „Jaskolka“.

Bei der Betrachtung haben wir die horizontale Windgeschwindigkeit außer acht gelassen. Da aber dieses Teilgebiet, bestehend aus Abwindgebiet und Steigbereich, gleichsam mit dem Wind versetzt wird, entsteht keine Relativbewegung zwischen Wind und Flugzeug, da sich dieses im Teilgebiet befindet. Der Einfluß der Windgeschwindigkeit ist also nur insofern zu berücksichtigen, daß wir sie vektoriell zur Eigenreisegeschwindigkeit des Segelflugzeuges addieren. Die Komponente in Flugrichtung plus Eigenreisegeschwindigkeit des Flugzeuges ergeben dann die Reisegeschwindigkeit v_r.

Da die Windgeschwindigkeit von uns nicht zu beeinflussen ist, müssen wir zum Erreichen einer maximalen Reisegeschwin-

digkeit eine größtmögliche Eigenreisegeschwindigkeit entwickeln.

Anders verhält es sich, wenn wir örtlich feststehende Steigbereiche beim Streckenflug ausnutzen (Leewelle oder Hangaufwindgebiete). Hier müssen wir die Windgeschwindigkeit

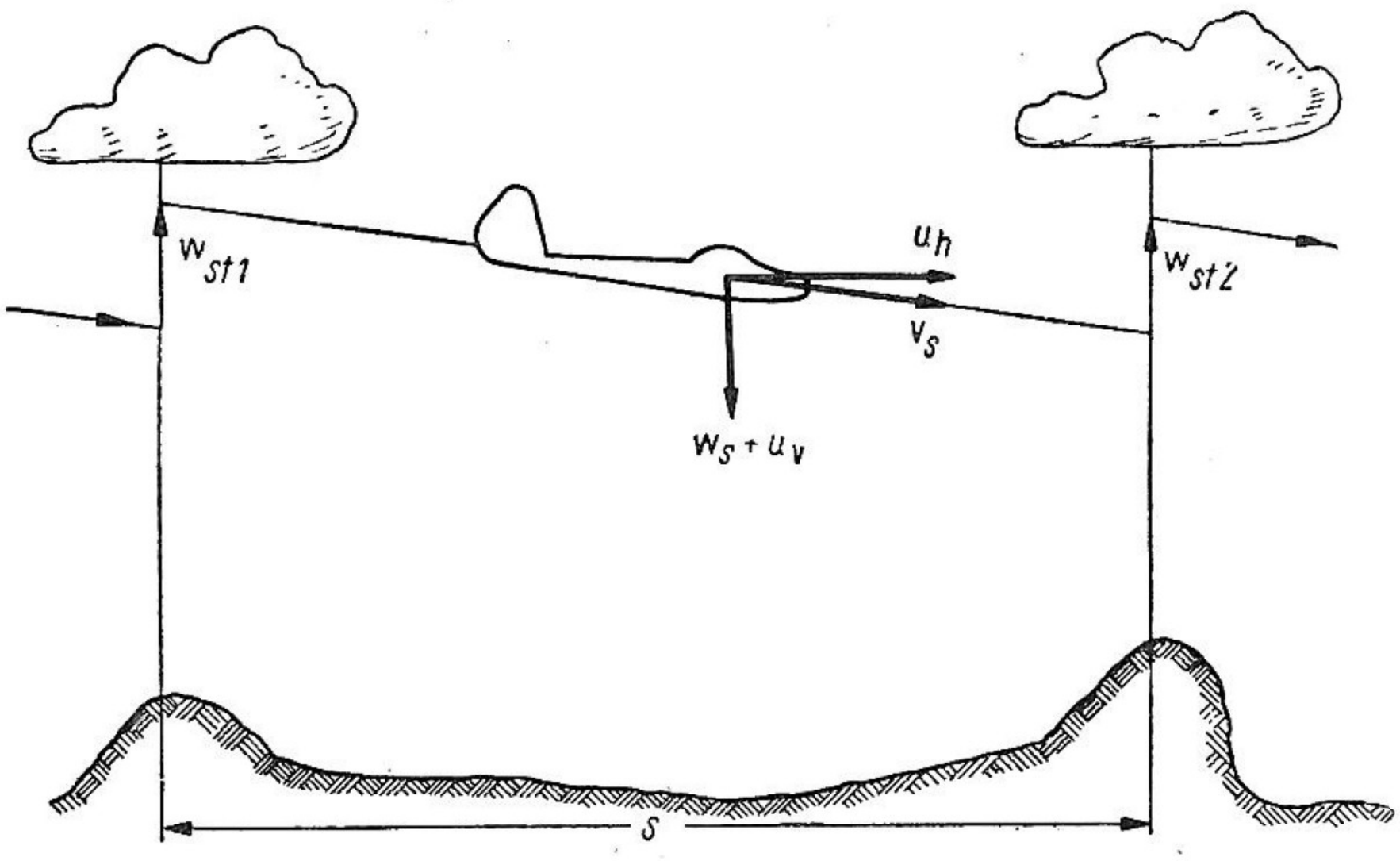


Bild 18. Streckenflug in örtlich feststehenden Steigbereichen

berücksichtigen. Bild 18 zeigt die Verhältnisse beim Flug in solchen Aufwindgebieten. Die Beziehung

$$v_{re} = \frac{s}{t_{st} + t_s}$$

gilt auch hier. Für die Strecke s entspricht aber jetzt angenähert

$$s \approx (v_s + u_h) \cdot t_s.$$

Die Streckenflug- oder Reisegeschwindigkeit wird jetzt

$$v_r = \frac{(v_s + u_h) \cdot t_s}{t_{st} + t_s}.$$

Durch Verwendung der Steig- bzw. Sinkgeschwindigkeiten erhalten wir

$$v_r = (v_s + u_h) \frac{w_{st}}{w_{st} + u_v + w_s}.$$

Fällt die Richtung der Windgeschwindigkeit u_h nicht mit der Flugrichtung zusammen, so müssen die Geschwindigkeiten v_s und u_h vektoriell addiert werden. Die mittlere Geschwindig-

keit auf der gesamten Flugstrecke erhalten wir durch Mittelwertbildung.

Wesentlichen Einfluß auf die Streckenfluggeschwindigkeit hat die Zeit, die wir benötigen, um beim Kreisen in der Thermik die erforderliche Höhe zu erreichen. Um ein Maß für die Zeit zu bekommen, führen wir den Begriff des „mittleren Steigens" ein und definieren ihn

$$w_{st} = \frac{\Delta H}{t_{st}} .$$

Es ist der gleiche Ausdruck, der bei der Bestimmung der Eigenreisegeschwindigkeit benutzt wurde. Mittleres Steigen im Schlauch deshalb, weil beim Zentrieren andere Steigverhältnisse vorhanden sind als beim Kreisen im Kern. Beim Flug ermitteln wir das mittlere Steigen im Schlauch, indem wir beim Eintauchen in das Aufwindgebiet den Zeitpunkt mit Hilfe einer Uhr fixieren. Gleichzeitig lesen wir die Höhe am Höhenmesser ab. Beim Abflug auf den Kurs werden Zeit und Höhe wieder abgelesen. Die gewonnene Höhe dividiert durch die verbrauchte Zeit ergibt das mittlere Steigen.

Um während des Fluges nicht soviel rechnen zu müssen, ist es wichtig und zweckmäßig, sich einige Zahlen einzuprägen. Die folgende Tafel 3 soll dabei als Vorschlag dienen. Sie gibt an, welches angenäherte mittlere Steigen im Schlauch bei einem Höhengewinn von 600 m in Abhängigkeit der verbrauchten Zeit erreicht wurde. Das Aufsuchen anderer beliebiger Werte des mittleren Steigens im Schlauch ist mit Hilfe von Bild 31 möglich. Der erreichte Höhengewinn kann an der vertikalen Achse, die verbrauchte Zeit an der horizontalen Achse abgelesen werden. Dann ziehen wir von der gegebenen Höhenzunahme eine Gerade parallel zur vertikalen Achse. Durch den Schnittpunkt legen wir eine Gerade parallel zu den schon eingezeichneten 45°-Linien. Aus der senkrechten Entfernung der gefundenen Geraden von der nächstliegenden Geraden für ganzzahliges mittleres Steigen im Schlauch können wir unser tatsächliches Steigen bestimmen. Der logarithmische Maßstab wurde gewählt, um die Kurven als parallele Geraden zu bekommen.

Tafel 3. Mittleres Steigen im Schlauch

Höhengewinn 600 m					
$\overline{w}_{st}$	[m/s]	1	2	3	4
t_{st}	[min]	10	5	3,3	2,5

Um das mittlere Steigen auf der gesamten Strecke zu ermitteln, können wir uns während des Fluges in das mitgeführte Diagramm die Punkte für das mittlere Steigen in jedem Schlauch eintragen und nach dem Flug aus der Summe aller Werte einen Mittelwert bilden.

Die Geschwindigkeit beim Kurbeln in der Thermik wird von der Stärke und dem Durchmesser des Aufwindgebietes bestimmt, wie schon im ersten Teil betont. Sie soll immer so gehalten werden, daß unter gegebenen Bedingungen maximales Steigen erreicht wird; sie liegt stets in der Nähe von $v_{(w_{s\,min})}$.

Da von einem Kameraden, der auf Strecke geht, verlangt werden muß, daß er die Technik des Thermikkurbelns beherrscht, wird hier nicht näher auf dieses Thema eingegangen.

2.5 Die Geschwindigkeit zwischen den Steigbereichen

Für das Gelingen eines Geschwindigkeits-Streckenfluges ist neben der richtigen Technik und Taktik beim Kurbeln in der Thermik auch die Wahl der richtigen Geschwindigkeit beim Sprung von Aufwindgebiet zu Aufwindgebiet von großer Wich-

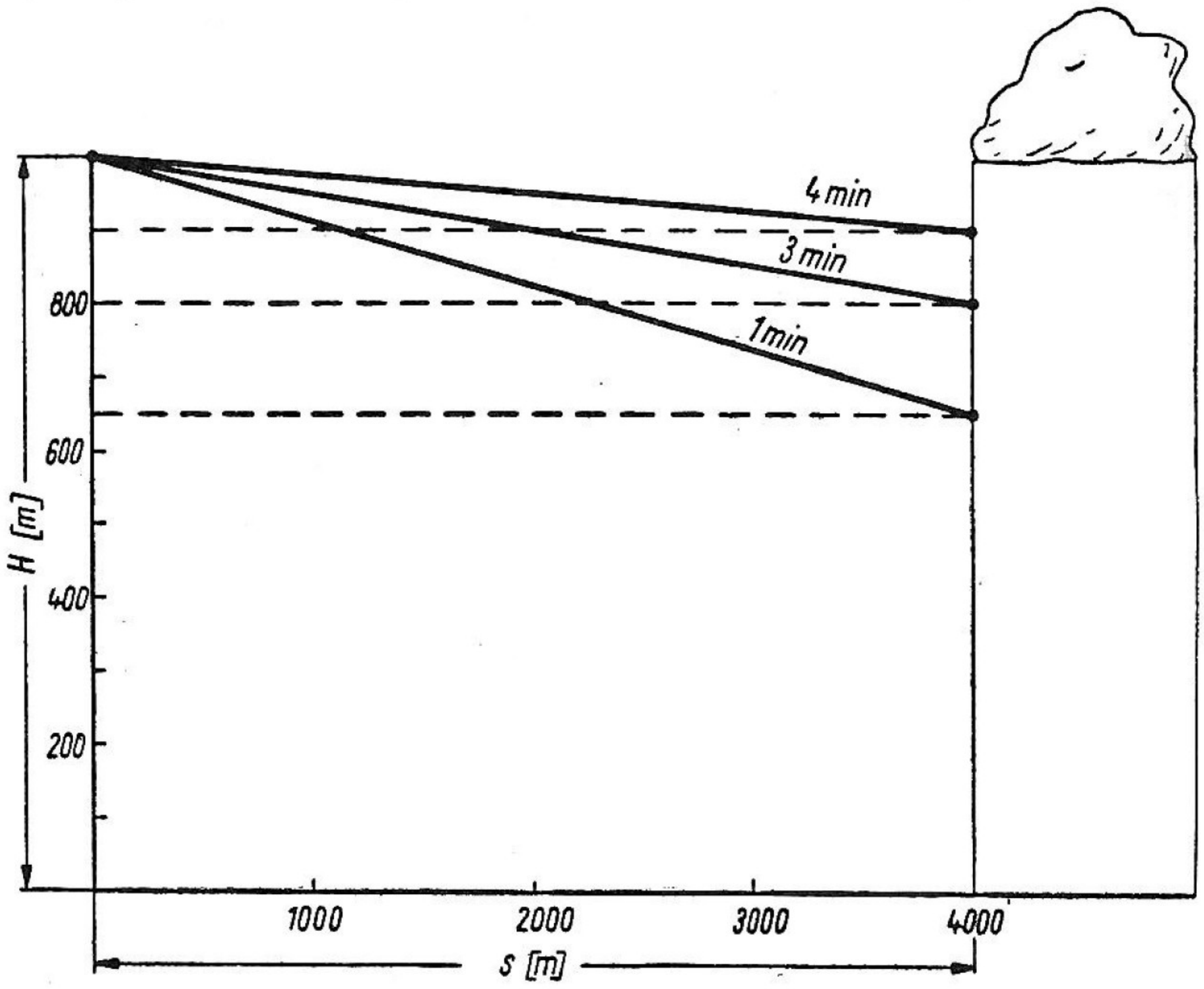


Bild 19. Taktik beim Sprung zwischen den Schläuchen

tigkeit. Anhand eines Beispieles aus der Praxis wollen wir uns die Verhältnisse klarmachen.

Drei Piloten mit dem gleichen Flugzeugtyp befinden sich in gleicher Höhe. Alle drei Piloten fliegen gleichzeitig dasselbe Aufwindgebiet an (Bild 19). Pilot 1 fliegt mit der Geschwindigkeit für minimales Sinken. Pilot 2 fliegt mit der Geschwindigkeit für größte Reichweite unter Berücksichtigung der Auf- und Abwindverhältnisse. Pilot 3 ist ein Draufgänger und fliegt noch etwas schneller als Pilot 2. Als erster wird Pilot 3 das Aufwindgebiet erreichen. Dabei hat er aber auch die meiste Höhe verloren. Es hängt nun von der Stärke des Steigbereiches ab, ob Pilot 3 bis zur Ankunft von Pilot 2 schon über ihm hängt. Auf jeden Fall ist klar, daß sowohl Pilot 3, als auch Pilot 2 schon wesentlich höher sind, wenn Pilot 1 den Schlauch erreicht. Bedenken wir außerdem noch, daß der Bereich zwischen den Schläuchen starken Abwind aufweist, Pilot 1 also infolge seiner geringen Geschwindigkeit diesem länger ausgesetzt ist als Pilot 2 und dieser wieder länger als Pilot 3, so liegt der Vorteil einwandfrei bei Pilot 3. Hält der zu erwartende Steigbereich allerdings nicht, was man sich von ihm versprochen hatte, dann hat Pilot 3 Pech, während die anderen beiden gerade noch Anschluß bekommen können. Das Beispiel sagt uns folgendes:

1. Die Geschwindigkeit für minimales Sinken ist sehr unvorteilhaft. Wir verwenden sie deshalb für diesen Zweck nicht.

2. Am erfolgversprechendsten ist die Geschwindigkeit für maximale Reichweite besonders dann, wenn wir größere thermikfreie Gebiete durchfliegen müssen oder wenn es ans „Absaufen“ geht.

3. Die etwas größere Geschwindigkeit ist vorteilhaft bei kurzen Sprüngen zwischen starken Steigbereichen. Allerdings darf es nicht übertrieben werden, sonst finden wir uns auf einer Wiese wieder, während die anderen weiterfliegen. Es kommt also immer auf die Erfahrung des Piloten an, wie groß er die Geschwindigkeit wählt.

Wie bestimmen wir die für die entsprechenden Verhältnisse zweckmäßigste Geschwindigkeit? Die Forderung ist, für die jeweils herrschenden Auf- und Abwindgebiete die maximale Eigenreisegeschwindigkeit v_{re} zu finden. Die Ermittlung erfolgt ähnlich wie die der Geschwindigkeit für maximale Reichweite. Wir verwenden dazu die Gleichung

$$v_{re} = \frac{w_{st}}{w_{st} + u_v + w_s} \cdot v_s ,$$

formen sie um und schreiben

$$\frac{v_{re}}{\bar{w}_{st}} = \frac{v_s}{\bar{w}_{st} + u_v + w_s} .$$

Diese Beziehung stellt nichts weiter als einen Strahlensatz dar. Bild 20 zeigt, daß jede Veränderung der Sprunggeschwindigkeit v_s eine Verringerung von v_{re} zur Folge hat.

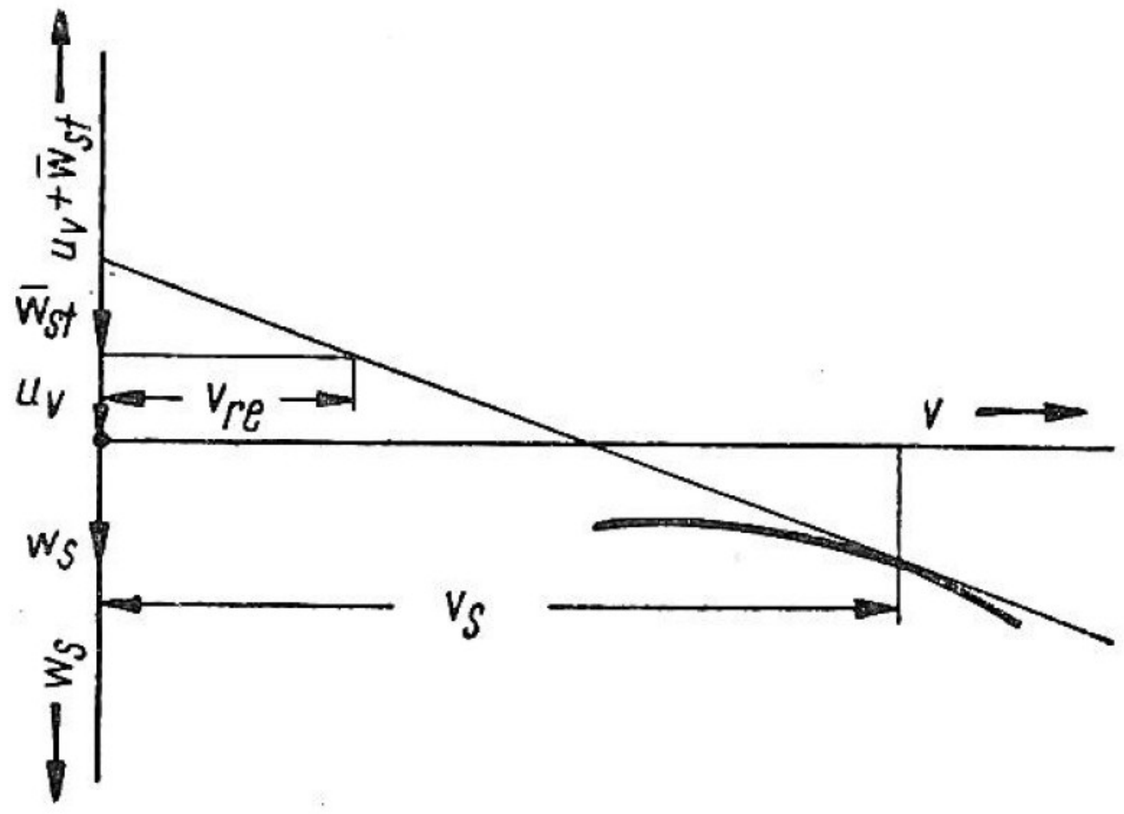


Bild 20. Ermittlung von v_{re} und v_s in ruhiger Luft

Bei den vorangegangenen Betrachtungen konnte die horizontale Windgeschwindigkeit vernachlässigt werden, da die gesamte Teilstrecke mit Steig- und Sinkbereich und Segelflugzeug vom Wind versetzt wird. Bei der Ausnutzung örtlich feststehender Steigbereiche muß bei der Bestimmung der Geschwindigkeit beachtet werden, daß noch eine Horizontalkomponente der Windgeschwindigkeit wirksam ist. Wir verwenden die schon erwähnte Gleichung auf Seite 35 und formen diese um. Es folgt dann

$$\frac{v_{re}}{\bar{w}_{st}} = \frac{v_s + u_h}{\bar{w}_{st} + u_v + w_s} .$$

Durch die grafische Darstellung ähnlich der bei der Bestimmung der maximalen Reichweite unter Berücksichtigung des Windes sind dann v_s und v_{re} zu bestimmen.

Es ist natürlich unmöglich, während des Streckenfluges laufend entsprechend den gegebenen Bedingungen Tangenten an die Polaren zu ziehen. Die Piloten benutzen dazu vorher ausgearbeitete Tafeln oder einen Rechenschieber bzw. bringen am Variometer entsprechende Markierungen an.

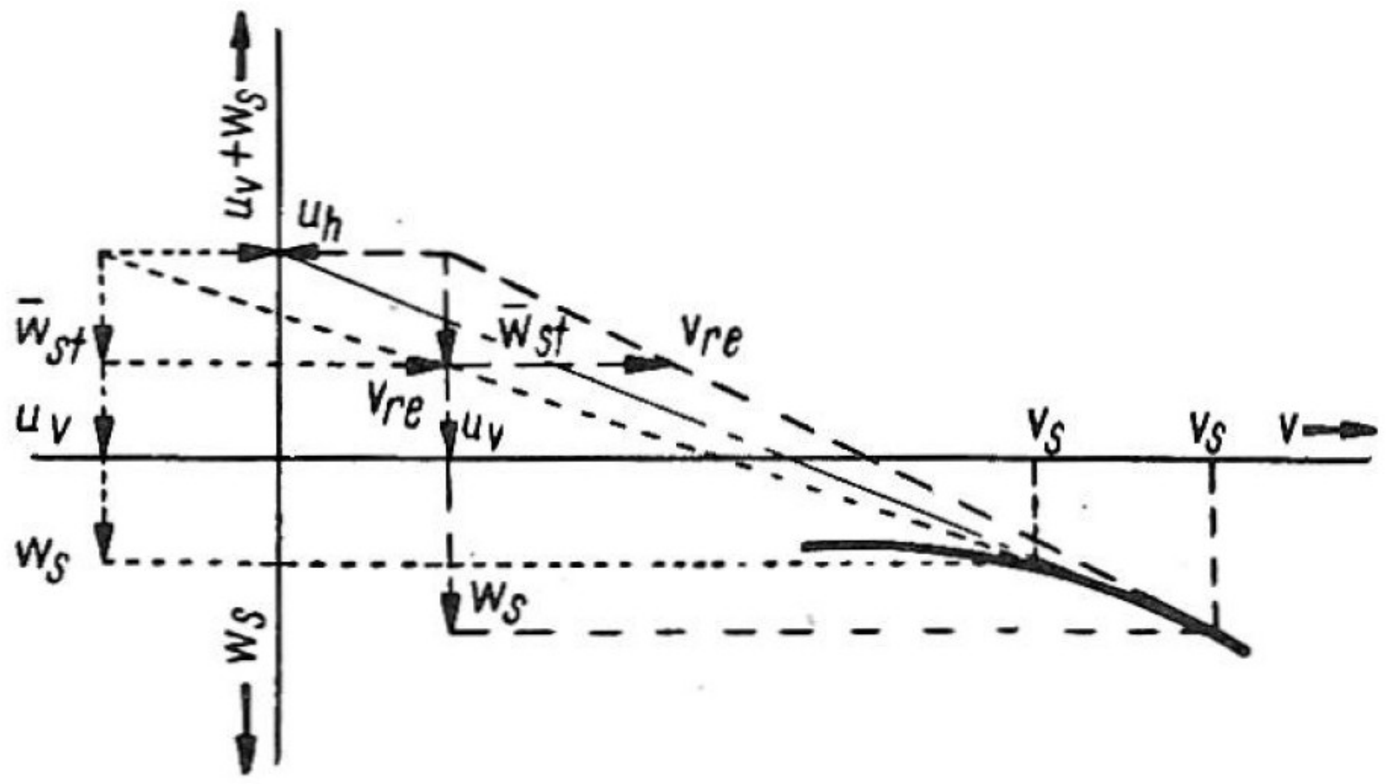


Bild 21. Ermittlung von v_{re} und v_s mit Einfluß des Windes

Alle diese Methoden und Möglichkeiten sind aus den in diesem und den vorangegangenen Abschnitten entwickelten grundlegenden Betrachtungen abgeleitet worden. In den folgenden Kapiteln sollen nun einige dieser Hilfsmittel behandelt werden.

2.6 Der Scheibenkalkulator

Aus den bisherigen Bemerkungen ergibt sich also die Notwendigkeit, praktische Hilfsmittel für den Piloten zu finden, die es ihm ermöglichen, beim Sprung von Steigbereich zu Steigbereich die richtige Geschwindigkeit entsprechend des zu erwartenden Steigbereiches und den augenblicklichen Sinkwerten zu finden. Dieser Forderung kommt der Scheibenkalkulator am nächsten. Mit seiner Hilfe lassen sich sofort die richtigen Geschwindigkeiten entsprechend der augenblicklichen Sinkwerte beim Sprung ablesen.

Der Scheibenkalkulator ist eine runde Scheibe oder ein Kreisring, auf dem die Geschwindigkeiten eingetragen sind. Die Scheibe oder der Kreisring werden drehbar am Variometer in Verlängerung der Zeigerachse angebracht. Wenn der Kalkulator auf den richtigen Wert eingestellt ist, hat der Pilot lediglich noch die Aufgabe, den Wert des Fahrtmessers mit dem des Kalkulators in Übereinstimmung zu bringen.

Die in die Scheibe einzutragenden Werte erhalten wir grafisch. Die Methode beruht auf der Beziehung zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Sprunges v_s. Es galt dort

$$\frac{v_{re}}{\bar{w}_{st}} = \frac{v_s}{\bar{w}_{st} + u_h + w_s}.$$

Wir tragen nun die erflogene Geschwindigkeitspolare des entsprechenden Flugzeugtyps auf Millimeterpapier auf. Auf der

positiven Ordinate geben wir uns verschiedene Werte für $\overline{w}_{st} + u_v$ vor. Bild 22 zeigt das Verfahren. Von dem vorgegebenen Ordinatenwert $\overline{w}_{st} + u_v$ ziehen wir an die Geschwindigkeitspolare die Tangente und erhalten v_s als Funktion von $\overline{w}_{st} + u_v$. Da bei der Bestimmung der Berührungspunkte durch Ungenauigkeiten die Werte für $v_s = f(\overline{w}_{st} + u_v)$ streuen werden, ziehen wir eine mittlere Kurve durch diese Punkte.

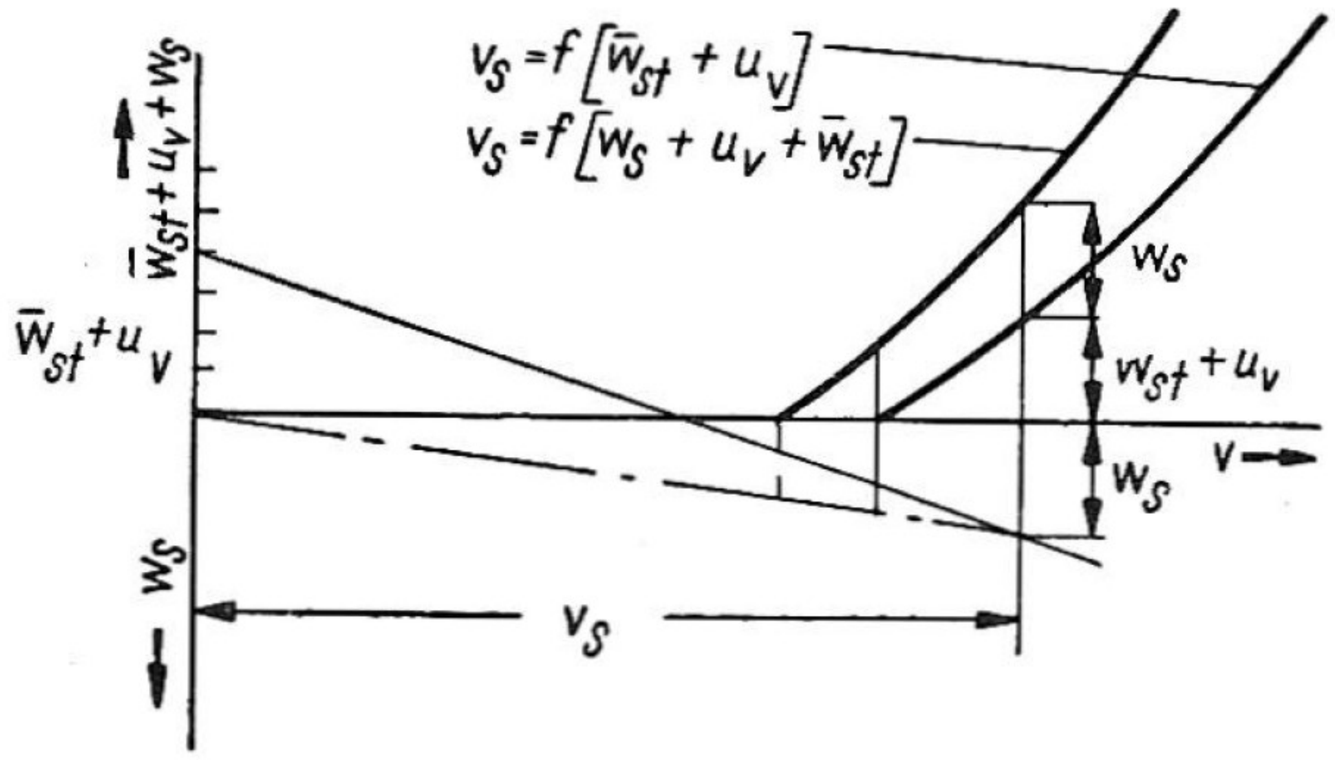


Bild 22. Ermittlung der Geschwindigkeiten für den Scheibenkalkulator

Da wir die Geschwindigkeit v_s mit der Variometeranzeige in Übereinstimmung bringen müssen, das Variometer aber auch das Eigensinken des Flugzeuges mit anzeigt, benötigen wir noch eine Kurve $v_s = f(\overline{w}_{st} + u_v + w_s)$. Diese erhalten wir leicht durch Addition der entsprechenden Ordinatenwerte der Geschwindigkeitspolaren zu den Ordinatenwerten der Kurve $v_s = f(\overline{w}_{st} + u_v)$. Die Werte der Kurve $v_s = f(\overline{w}_{st} + u_v + w_s)$ schreiben wir uns in eine Tabelle. Dabei ist es zweckmäßig, nicht die gewählten ganzzahligen Werte von $\overline{w}_{st} + u_v + w_s$ zu benutzen, sondern für v_s runde Werte vorzugeben und die entsprechenden Werte für $\overline{w}_{st} + u_v + w_s$ zu bestimmen. Dadurch erleichtern wir uns später das Ablesen der Geschwindigkeiten am Scheibenkalkulator. Tafeln 5 bis 10 geben die Werte $v_s = f(\overline{w}_{st} + u_v + w_s)$ bzw. $\overline{w}_{st} + u_v + w_s = f(v_s)$ für die Flugzeuge „Bocian", „Libelle", „Jaskolka", „Meise", „Sohaj" und „Mucha 100" an. Die Eintragung der Geschwindigkeiten auf der Kalkulatorscheibe ist in Bild 23 zu erkennen.

Der Kalkulator wird nun wie folgt gebraucht: Während des Kreisens im Schlauch ermitteln wir mit Hilfe der Tafel 3 oder aus Bild 31 das mittlere Steigen $\overline{w}_{st}$ und stellen die Kalkulatorscheibe so ein, daß die Geschwindigkeit für minimales Sinken (in Bild 23 — 68 km/h) auf diesen Wert zeigt. In Bild 23 betrug

das mittlere Steigen im Schlauch 1 m/s. Beim Sprung gibt dann der Zeiger des Variometers die zu wählende Geschwindigkeit v_s an.

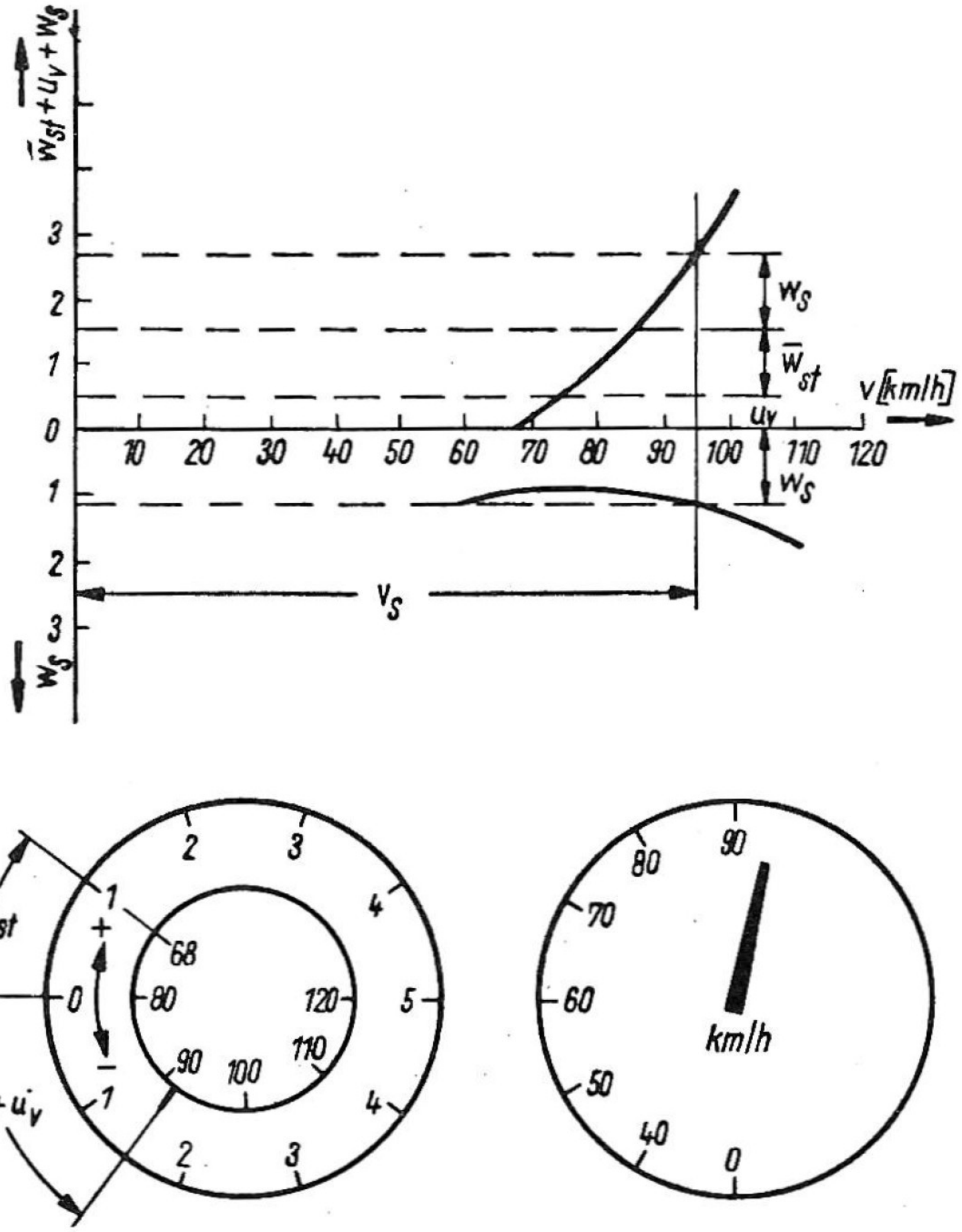


Bild 23. Kurve der Geschwindigkeit $v_s = f(\overline{w}_{st} + u_v + w_s)$ und Scheibenkalkulator für die „Meise"

Für den Flug in größeren thermiklosen Gebieten oder beim Zielanflug können wir mit dem Kalkulator die Geschwindigkeit der größten Reichweite bestimmen. Dazu müssen wir die Kalkulatorscheibe so drehen, daß die Geschwindigkeit für minimales Sinken auf die Null des Variometers weist. Der Zeiger des Variometers gibt uns dann die zu fliegende Geschwindigkeit an. Sind größere Komponenten von Rücken- oder Gegenwind vorhanden, so müssen diese durch einen prozentualen Abzug oder Aufschlag berücksichtigt werden. Vorteilhaft ist es aber, dafür die Tafel des Zielanfluges zu benutzen, die später

noch behandelt wird. Bei der Anwendung des Scheibenkalkulators in größeren Höhen ist die Höhenkorrektur zu beachten! Sie kann aus Tafel 1 leicht bestimmt werden (siehe Abschnitt 2.2 „Der Einfluß der Höhe auf die Anzeige der Instrumente").

Der Vorteil des Scheibenkalkulators steht einwandfrei fest. Es ist für den Piloten ein beruhigendes Gefühl, in jedem „Saufgebiet" sofort die richtige Geschwindigkeit zu wissen, ohne erst große Berechnungen durchzuführen. Sein Nachteil besteht aber darin, daß die Geschwindigkeit entsprechend der Variometeranzeige laufend zu ändern ist. Da aber, wie schon sein Name sagt, das Ganze nur eine „Kalkulation" darstellt, dürfen wir nicht in den Fehler verfallen, jede kleine Variometerabweichung korrigieren zu wollen. Abweichungen bis zu 5 km/h bringen noch keinen wesentlichen Verlust an Streckenfluggeschwindigkeit.

Beim Herstellen der Scheibenkalkulatoren muß beachtet werden, daß die meisten Variometer empirisch geeichte Skalen haben. Diese sind nicht linear und stimmen nicht mit anderen überein. Ein Scheibenkalkulator ist also nur für eine bestimmte Maschine zu verwenden und kann nicht ausgetauscht werden. Um unliebsame Verwechslungen zu vermeiden, ist es vorteilhaft, auf die Scheibenkalkulatoren Flugzeugtyp und Zulassungsnummer einzuritzen.

2.7 Tafel der Geschwindigkeiten des Sprunges

Es kann durchaus vorkommen, daß wir eine Maschine fliegen müssen, die keinen Scheibenkalkulator besitzt. In diesem Fall helfen wir uns mit einer vorbereiteten Tafel, die den Scheibenkalkulator ersetzt. Als Grundlage dienen die für den Scheibenkalkulator aufgestellten Übersichten, in denen die Werte für die Geschwindigkeit des Sprunges v_s abhängig von der Summe aus Steiggeschwindigkeit w_{st}, Abwind u_v und Eigen-Sinkgeschwindigkeit w_s eingetragen sind (Tafeln 5 bis 10, siehe Seite 55 ff). Diese Tafeln haben jedoch nur für ein mittleres Steigen von Null m/s Gültigkeit. Wenn wir nun noch die entsprechenden Variometeranzeigen für verschiedene mittlere Steiggeschwindigkeiten eintragen, so haben wir damit einen Scheibenkalkulator in Tafelform für besondere Fälle in Reserve. Als Beispiel siehe Tafel 11 Seite 57: Kalkulatortafel für „Bocian" DM-3033 (doppelsitzig geflogen).

2.8 Methode zum Bestimmen der Geschwindigkeit zwischen den Steigbereichen

2.81 Die Methode zum Bestimmen der mittleren Geschwindigkeit

Der Nachteil des Scheibenkalkulators, nämlich seine laufend erforderliche Kontrolle, verlangt vom Piloten eine erhöhte Aufmerksamkeit. Das gilt besonders dann, wenn die Beobachtung des Luftraumes erfolgt oder navigatorische Aufgaben zu lösen sind. Um für diesen Zeitraum vom Scheibenkalkulator unabhängig zu sein, wurde eine andere Lösung gefunden.

Bereits 1938 war eine Gruppe polnischer Studenten bemüht, eine analytische Vorausbestimmung der Geschwindigkeit des Sprunges zwischen den Steigbereichen zu entwickeln. Die von ihnen erarbeitete Methode wurde später von Ingenieur W. Kasprzyk unter dem Titel „Die Methode der mittleren Geschwindigkeit des Sprunges" veröffentlicht. Dabei sind jedoch nicht die Abwindgebiete zwischen den Steigbereichen berücksichtigt. A. Zientek erweiterte sie dahingehend, daß er bei der Bestimmung der Geschwindigkeit des Sprunges zwischen den Schläuchen auch den Abwind mit berücksichtigte. Er setzte voraus, daß die Sinkbereiche proportional den Steigbereichen sind. Nach Verlassen eines starken Steigbereichs muß mit einem nachfolgenden starken Sinken gerechnet werden. Als Grundlage der mittleren Geschwindigkeit des Sprunges zwischen den Steigbereichen dient der Erfahrungswert, daß der durchschnittliche Abwind zwischen den Steigbereichen das 0,1- bis 0,3fache des durchschnittlichen Steigens beträgt. Er wird als Koeffizient des Abwindes zwischen den Steigbereichen definiert und mit b bezeichnet.

Es gilt also $$\bar{u}_v = b \cdot \bar{w}_{st}.$$

Ersetzen wir nun in der Gleichung auf Seite 34 die Augenblickswerte durch Mittelwerte, so folgt

$$\bar{v}_{re} = \frac{v_s \cdot \bar{w}_{st}}{\bar{w}_{st} + \bar{u}_v + w_s},$$

$$\bar{u}_v = 0{,}2 \cdot \bar{w}_{st},$$

$$\bar{v}_{re} = \frac{v_s \cdot \bar{w}_{st}}{\bar{w}_{st} + 0{,}2 \cdot \bar{w}_{st} + w_s},$$

$$\bar{v}_{re} = \frac{v_s}{1{,}2 + w_s/\bar{w}_{st}}.$$

Uns interessiert nur die größtmögliche Streckenfluggeschwindigkeit $v_{re\,max}$. Um diese zu finden, zeichnen wir uns für vorgegebene mittlere Steiggeschwindigkeiten $\overline{w}_{st}$ und Sprunggeschwindigkeiten v_s die Kurven $v_{re} = f(v_s)$ mit $\overline{w}_{st}$ als Parameter auf. (Bild 32). Die Kurven zeigen, daß für alle mittleren Steiggeschwindigkeiten ein Maximum für $\overline{v}_{re}$ existiert. Der Kurvenverlauf im Bereich der Maxima ist aber sehr flach. Daraus folgt: Um für ein bestimmtes mittleres Steigen eine maximale Eigen-Streckenfluggeschwindigkeit $\overline{v}_{re}$ zu erreichen, können wir die Geschwindigkeit des Sprunges in einem großen Bereich variieren, ohne dabei einen merklichen Abfall der Eigen-Streckenfluggeschwindigkeit zu erhalten. Deshalb genügt es, zwei Geschwindigkeiten zu finden, die für mittleres Steigen bis 5 m/s Gültigkeit haben.

Beispiel:

Wir fliegen mit der „Meise" und haben ein mittleres Steigen im Schlauch von 2 m/s. Aus Bild 32 lesen wir eine maximale Eigen-Streckenfluggeschwindigkeit für eine Sprunggeschwindigkeit von 106 km/h ab. Die Geschwindigkeit $\overline{v}_{re}$ beträgt in diedem Fall 54,3 km/h. Hätten wir eine Sprunggeschwindigkeit von 116 km/h oder nur 96 km/h geflogen, so wäre die Eigen-Streckenfluggeschwindigkeit nur um 1 km/h verändert worden. Eine Geschwindigkeitsschwankung von $\pm$ 10 km/h bei v_s bringt also nur zwei Prozent Verlust.

Wir können deshalb für die „Meise" bei einem mittleren Steigen von 1 bis 2,5 m/s eine überschlägige Geschwindigkeit des Sprunges von 100 km/h und bei einem mittleren Steigen von 3 bis 5 m/s eine Sprunggeschwindigkeit von 125 km/h fliegen, um eine nahezu maximale Eigen-Streckenfluggeschwindigkeit zu erreichen. Diese beiden Geschwindigkeiten kann sich jeder Pilot leicht merken oder aufschreiben. Er kann sie dann

Tafel 4. Mittlere Geschwindigkeiten des Sprunges

$\overline{w}_{st}$ [m/s]	0 · · · 2,5	3,0 · · · 5,0
	Geschwindigkeit v_s [km/h]	
Bocian	115	145
Libelle	100	130
Jaskolka	110	140
Meise	100	125
Sohaj-3	96	120
Mucha 100	96	115

verwenden, wenn er durch navigatorische Arbeit oder andere Einflüsse nicht in der Lage ist, den Kalkulator zu benutzen.

Tafel 4 gibt die überschlägigen Sprunggeschwindigkeiten v_s der bei uns am meisten verwendeten Flugzeugtypen an.

2.82 Das Nomogramm von A. Zientek

Dieser polnische Segelflieger hat vorgeschlagen, durch ein aus vier Kurven bestehendes Nomogramm dem Piloten eine Hilfe zu verschaffen. Es sind die Kurven

der Höhenkorrektur des Variometers,
der Abhängigkeit des Eigensinkens von der Fluggeschwindigkeit und das Gesamtsinken unter Einfluß des Rücken- bzw. Gegenwindes,
zum Ermitteln der Geschwindigkeit für größte Reichweite,
zum Bestimmen des mittleren Steigens.

Der Gebrauch des Nomogrammes ist aber während des Fluges zu umständlich, denn er erfordert zuviel Zeit und Aufmerksamkeit.

2.83 Der Thermikschieber

In der Schweiz wurde ein Thermikschieber in Form eines Rechenstabes entwickelt. Auf diesem Schieber sind in logarithmischem Maßstab die Geschwindigkeiten $\overline{w}_{st} + u_v$, v_s, w_s, v_{re} eingetragen. Mit Hilfe von zwei verschiebbaren Läufern und einer verschiebbaren Zunge kann aus dem mittleren Steigen des verlassenen Schlauches die Geschwindigkeit des Sprunges v_s bestimmt werden. Daraus können dann die zugehörige Eigen-Sinkgeschwindigkeit und nach einigen Additionen und Subtraktionen die Eigen-Streckenfluggeschwindigkeit bestimmt werden.

Da man zur Bedienung des Thermikschiebers beide Hände benötigt, ist er jedoch für Berechnungen in einsitzigen Flugzeugen während des Fluges unbrauchbar.

Zur Bodenvorbereitung ist er gut zu verwenden.

2.9 Die Geschwindigkeit beim Zielanflug

Im letzten Teil des Geschwindigkeits-Streckenfluges ist es erforderlich, die erreichte Höhe auszunutzen, um mit der größtmöglichen Geschwindigkeit gerade noch über das Zielband zu gelangen. Hat sich die Wetterlage nicht verändert, so fliegen

wir selbstverständlich das letzte Stück mit der Geschwindigkeit v_s. Um sofort aus der noch zurückzulegenden Entfernung, der augenblicklichen Flughöhe und den entsprechenden meteorologischen Verhältnissen die richtige Anfluggeschwindigkeit bestimmen zu können, benutzen wir das Diagramm des Zielanfluges in Bild 31 (siehe Seite 54). In ihm sind die Höhe H und die Sinkgeschwindigkeit w über der Geschwindigkeit v und der zurückgelegten Strecke s aufgetragen. Die schrägliegenden Geraden geben die Reichweite an.

Beispiele:

1. Wir haben eine Entfernung von 15 km zum Zielflugplatz. Während des Fluges betrug die durchschnittliche Geschwindigkeit $v_s = 100$ km/h. Dabei zeigte das Variometer einen Sinkwert von 2 m/s. Ohne Berücksichtigung der Falschanzeige durch die Höhe ergibt das eine Reichweite von 13. Die erforderliche Höhe beträgt dabei 1200 m. Diese Höhe muß erreicht werden.

   Stellen wir aber fest, daß unsere augenblickliche Höhe größer ist als die berechnete, so können wir eine größere Geschwindigkeit wählen. Ihre Bestimmung zeigt Beispiel 2:

2. Die vorhandene Höhe beträgt 2000 m. Die Thermik ist aufgelöst und die Luft ruhig geworden. Unsere Entfernung vom Zielflugplatz beträgt 20 km. Die benötigte Reichweite ergibt sich damit zu 10. Am Ring des Fahrtmessers z. B. der „Meise“ (Bild 5) könnten wir dazu eine Geschwindigkeit ablesen, die größer als 130 km/h ist. Diese ist zu fliegen.

3. Aus Bild 31 können wir auch unsere benötigte Fluggeschwindigkeit ablesen, wenn infolge vertikaler Luftbewegungen ein größeres Sinken, als im Beispiel 2 angegeben, eintritt. In diesem Fall drehen wir unseren Scheibenkalkulator so, daß der Pfeil der Scheibe (der Wert für minimales Sinken soll mit einem Pfeil gezeichnet sein) auf die Null des Variometers zeigt. Die entsprechend des Sinkens angezeigte Geschwindigkeit ist dann die Geschwindigkeit für größte Reichweite. Die Geschwindigkeit muß jetzt so gewählt werden, daß sich aus dem Sinkwert und der Geschwindigkeit gerade die Reichweite 10 ergibt. Das wäre für die „Meise“ bei einem Variometerstand von 2,6 m/s Sinken bei einer Geschwindigkeit von 96 km/h der Fall. Es bedarf also bei dieser Methode eines Einspielens von Variometer und Fahrtmesser.

Die angeführten Beispiele zeigen, daß das Diagramm des Zielanfluges weitgehend Verwendung finden kann und von jedem Kameraden benutzt werden sollte, denn gerade beim Zielanflug aus größeren Höhen können wir noch kostbare Minuten gutmachen. Natürlich dürfen dabei die zulässigen Geschwindigkeiten nicht überschritten werden. Außerdem sind noch kleine prozentuale Korrekturen bei starkem Rücken- oder Gegenwind näherungsweise vorzunehmen

3. Zusammenfassung

Die Vielzahl der hier erörterten Probleme, Tafeln und Diagramme mögen auf den ersten Blick dem unerfahrenen Leser verwirrend erscheinen. Beim Durchdenken und bei entsprechender Übung bilden sie jedoch sehr bald eine wertvolle Hilfe für den Piloten, der auf Strecke geht, sei es zum Erreichen einer größtmöglichen Weite oder einer größtmöglichen Geschwindigkeit.

Zur überschlägigen Bestimmung der Reichweite und zur Information über das Eigensinken bei der augenblicklichen Geschwindigkeit bringen wir uns am Fahrtmesser einen Skalenring an, wie ihn Bild 5 für die „Meise“ zeigt.

Zur leichten Berechnung des mittleren Steigens prägen wir uns einige Werte ein (Tafel 3). Zum Bestimmen beliebiger Werte für das mittlere Steigen fertigen wir uns ein Blatt nach Bild 31 (siehe S. 54) an.

Zur leichten Wahl der Geschwindigkeit zwischen den Steigbereichen stellen wir uns für das Variometer einen Scheibenkalkulator her. Dabei müssen wir beachten, daß dieser nicht auf andere Maschinen vom gleichen Typ übertragen werden kann, da die Variometerskalen nicht übereinstimmen. Gleichzeitig fertigen wir uns eine Kalkulatortafel an für den Fall, daß wir ein Flugzeug ohne Scheibenkalkulator fliegen müssen. Außerdem notieren wir uns die errechneten Näherungswerte für die mittlere Geschwindigkeit des Sprunges für Steiggeschwindigkeiten von 0 bis 2,5 m/s und von 3 bis 5 m/s. Die Geschwindigkeit für minimales Sinken und bestes Gleitverhältnis sollte jeder Pilot im Kopfe haben. Für den Zielanflug benutzen wir das entwickelte Diagramm.

Geübteren Piloten ist noch eine Tafel anzuraten, die den prozentualen Anzeigefehler der Instrumente in Abhängigkeit von

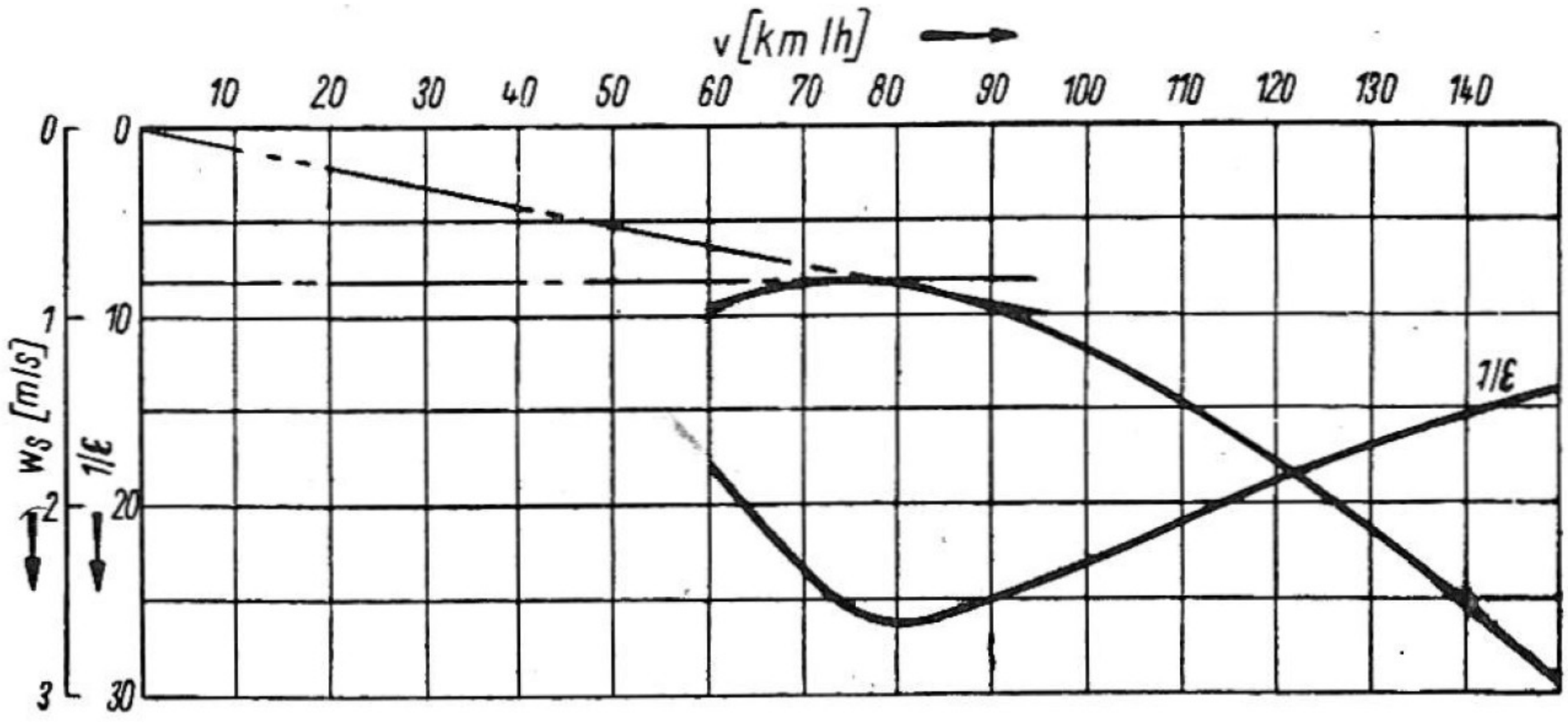
der Höhe angibt. Weiterhin können wir uns noch ausrechnen, bei welcher Sinkgeschwindigkeit sich ein „Ballonflug“ lohnt.

Alle Kurven und Tafeln bringen wir auf ein handliches Format, das im Flugzeug nicht stört, aber trotzdem noch gut lesbar ist. Bild 31 zeigt die Zusammenstellung der notwendigen Kurven und Tafeln. Das Format soll so gewählt werden, daß alles in die Kartentasche paßt.

Und nun

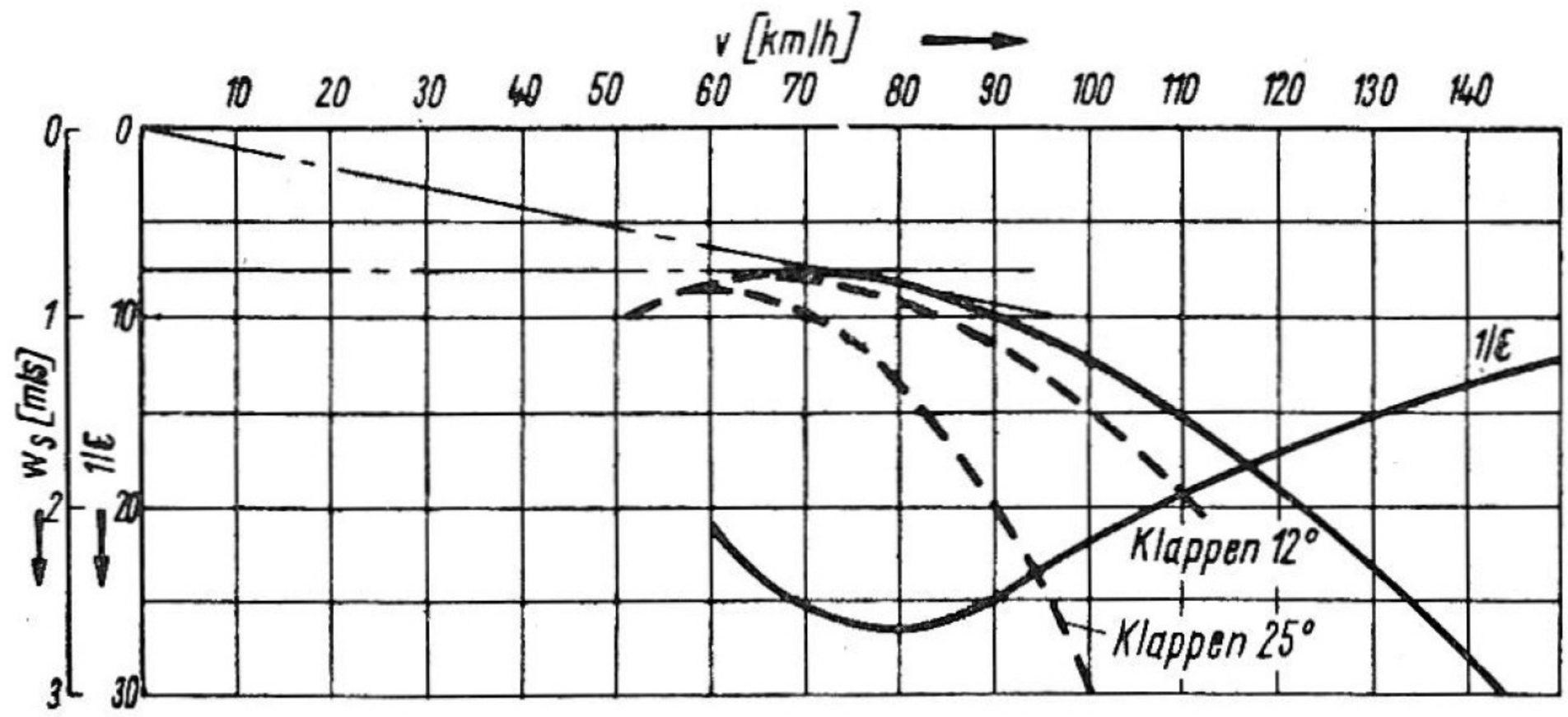
„Hals- und Beinbruch“

für den nächsten Streckenflug.



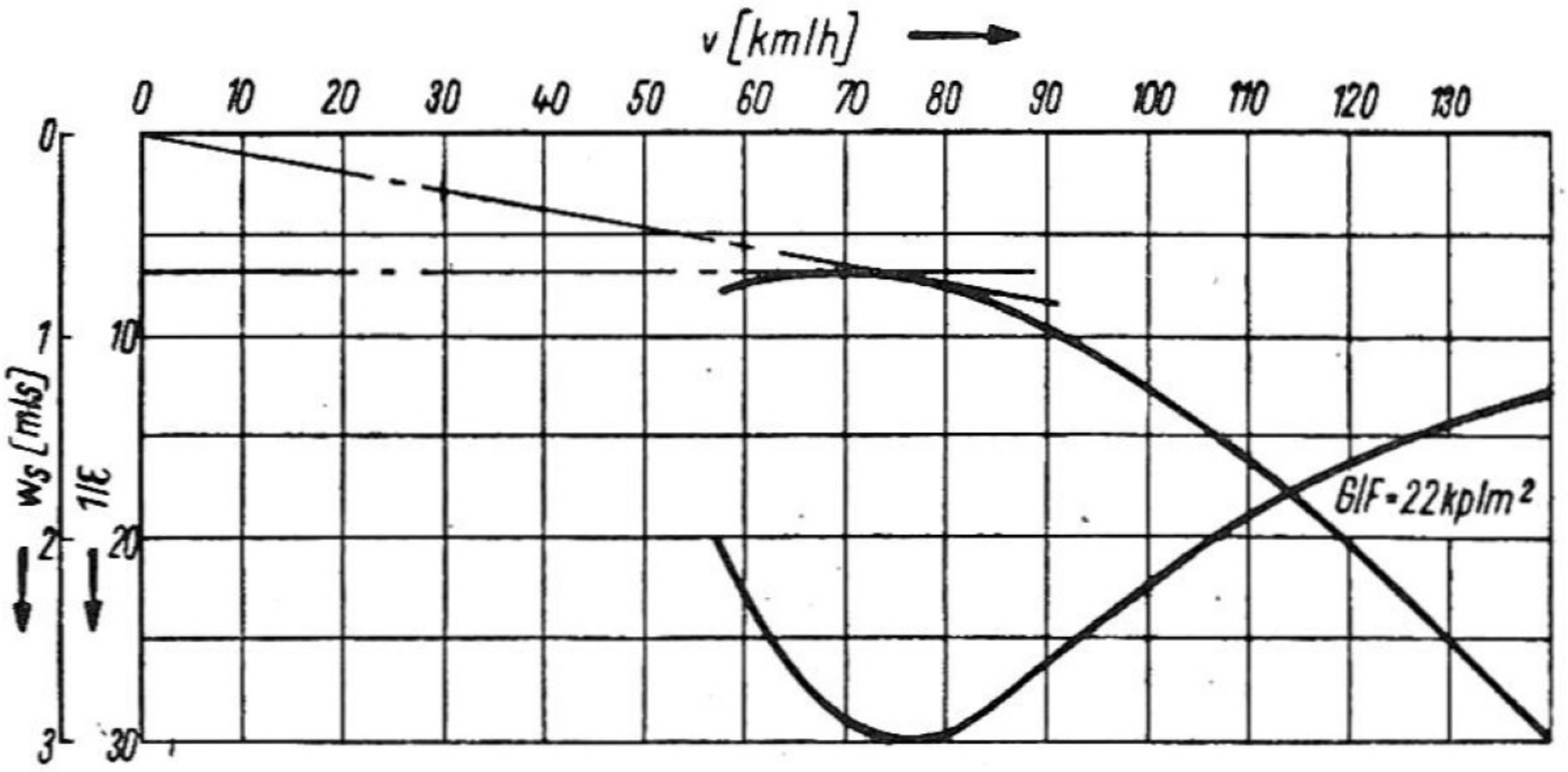
v	km/h	60	70	71	80	90	100	110	120	130	140	150
v	m/s	16,7	19,4	19,7	22,2	25,0	27,8	30,6	33,3	36,1	38,9	41,7
w_s	m/s	0,97	0,83	0,82	0,84	1,00	1,18	1,44	1,76	2,12	2,53	2,97
1/ε	-	17,2	23,4	24,0	26,4	25,0	23,5	21,2	19,2	17,0	15,4	14,0

Bild 24. Geschwindigkeitspolare SZD–9bis „Bocian" (doppelsitzig)



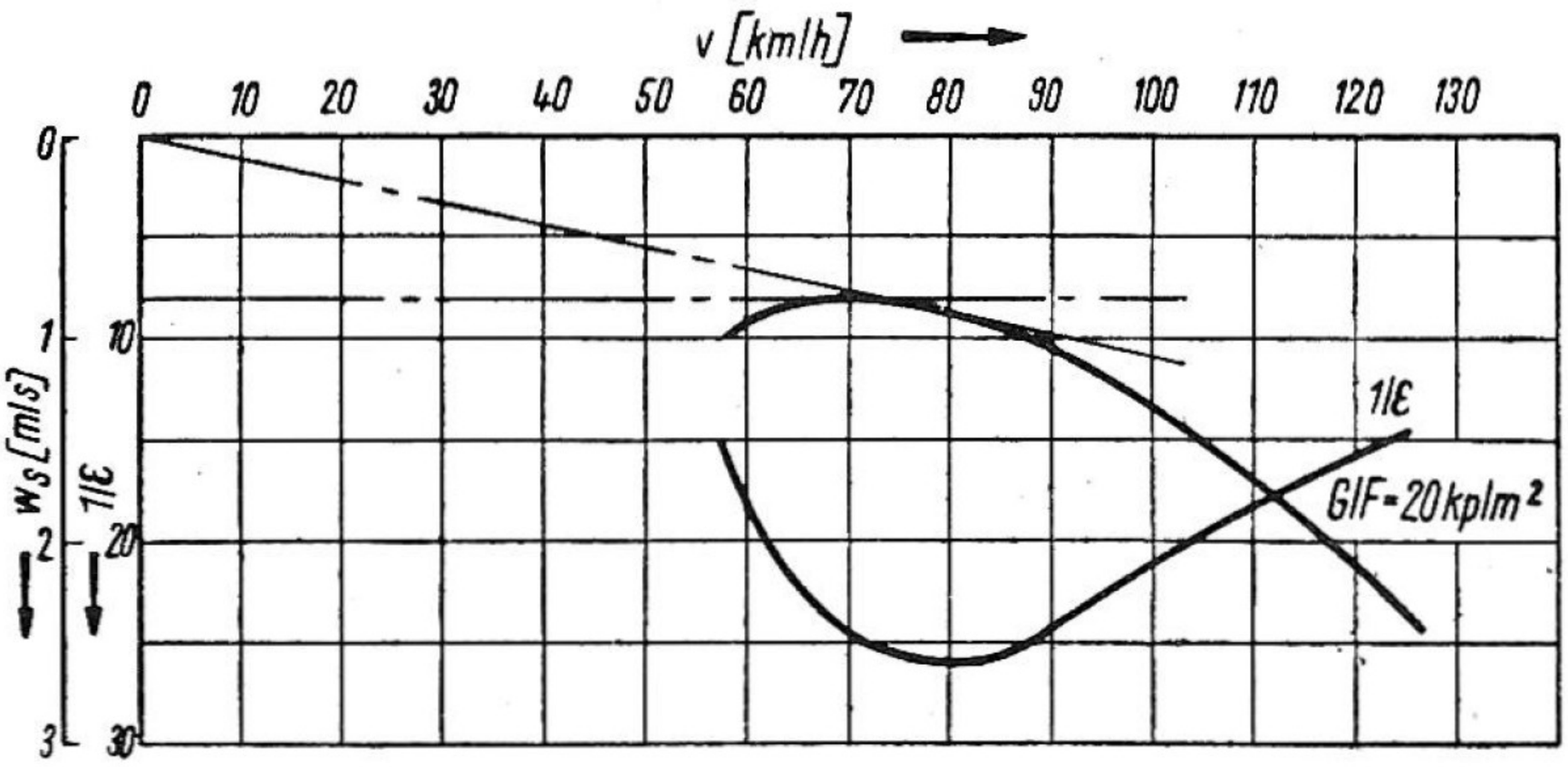
v	km/h	55	60	68	70	80	90	100	120	140	160
v	m/s	15,3	16,7	18,9	19,4	22,2	25,0	27,8	33,3	38,9	44,4
w_s	m/s	-	0,80	0,76	0,77	0,84	1,00	1,26	1,90	2,80	4,00
1/ε	-	-	20,9	24,9	25,2	26,4	25,0	22,1	17,5	13,9	11,1

Bild 25. Geschwindigkeitspolare SZD–8bis „Jaskolka"



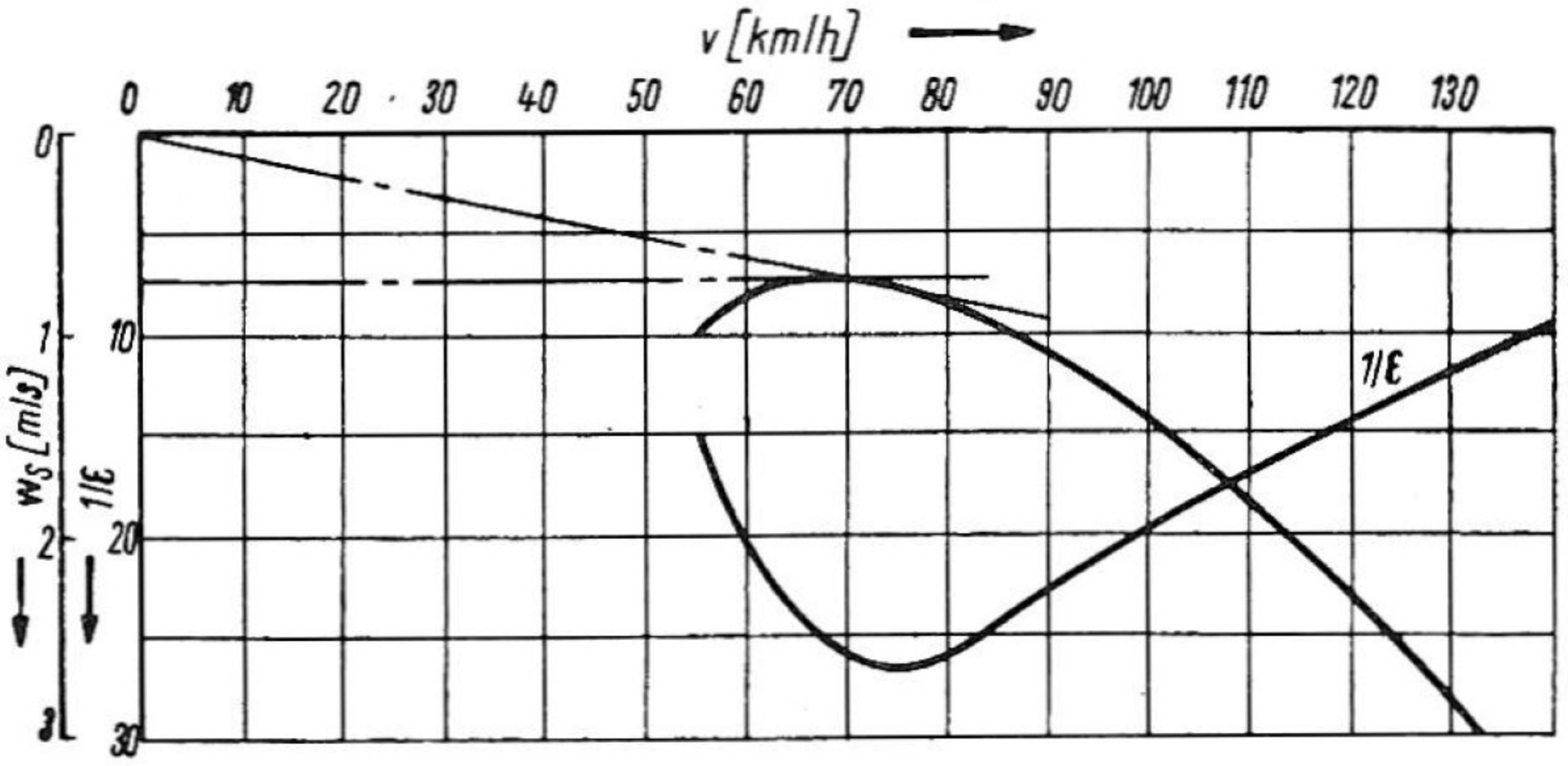
v	km/h	58	60	68	70	78	80	90	100	110	120	130	140
v	m/s	16,1	16,7	18,9	19,4	21,7	22,2	25,0	27,8	30,6	33,3	36,1	38,9
w_s	m/s	0,78	0,72	0,67	0,67	0,72	0,75	0,96	1,25	1,60	2,01	2,50	3,00
1/ε	–	20,6	23,2	28,2	29,0	30,0	29,6	26,0	22,2	19,1	16,6	14,4	13,0

Bild 26. Geschwindigkeitspolare Lom 57 „Libelle“



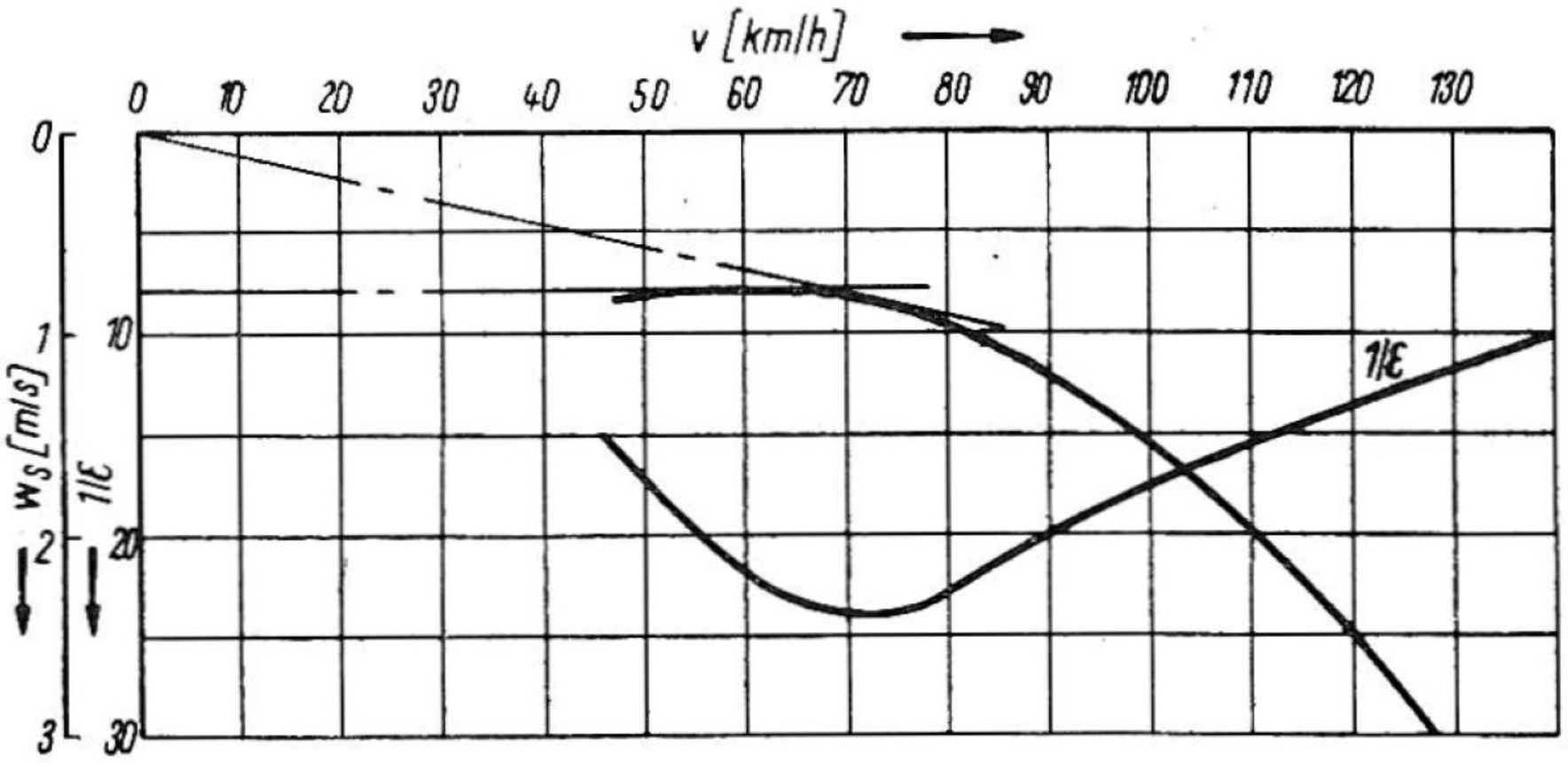
v	km/h	58	60	68	70	80	90	100	110	120
v	m/s	16,1	16,7	18,9	19,4	22,2	25,0	27,8	30,6	33,3
w_s	m/s	1,00	0,92	0,80	0,82	0,86	1,03	1,30	1,66	2,10
1/ε	–	16,1	18,2	23,6	23,7	25,8	24,2	21,4	18,4	15,9

Bild 27. Geschwindigkeitspolare „Meise“



v	km/h	56	60	67	70	75	80	90	100	110	120	130
v	m/s	15,5	16,7	18,6	19,4	20,8	22,2	25,0	27,8	30,6	33,3	36,1
w_S	m/s	1,0	0,81	0,75	0,76	0,77	0,85	1,09	1,40	1,80	2,30	2,85
1/ε		15,5	20,6	24,8	25,5	27,0	26,1	22,9	20,0	17,0	14,5	12,7

Bild 28. Geschwindigkeitspolare VT-425 „Sohaj 3“



v	km/h	47	50	60	70	80	90	100	120	140	150
v	m/s	13	13,9	16,7	19,4	22,2	25,0	27,8	33,3	38,9	41,7
w_S	m/s	0,82	0,80	0,77	0,81	0,98	1,24	1,56	2,46	3,90	4,86
1/ε		15,9	17,4	21,7	24	22,7	20	17,8	13,5	10,0	8,6

Bild 29. Geschwindigkeitspolare SZD-12 „Mucha 100“

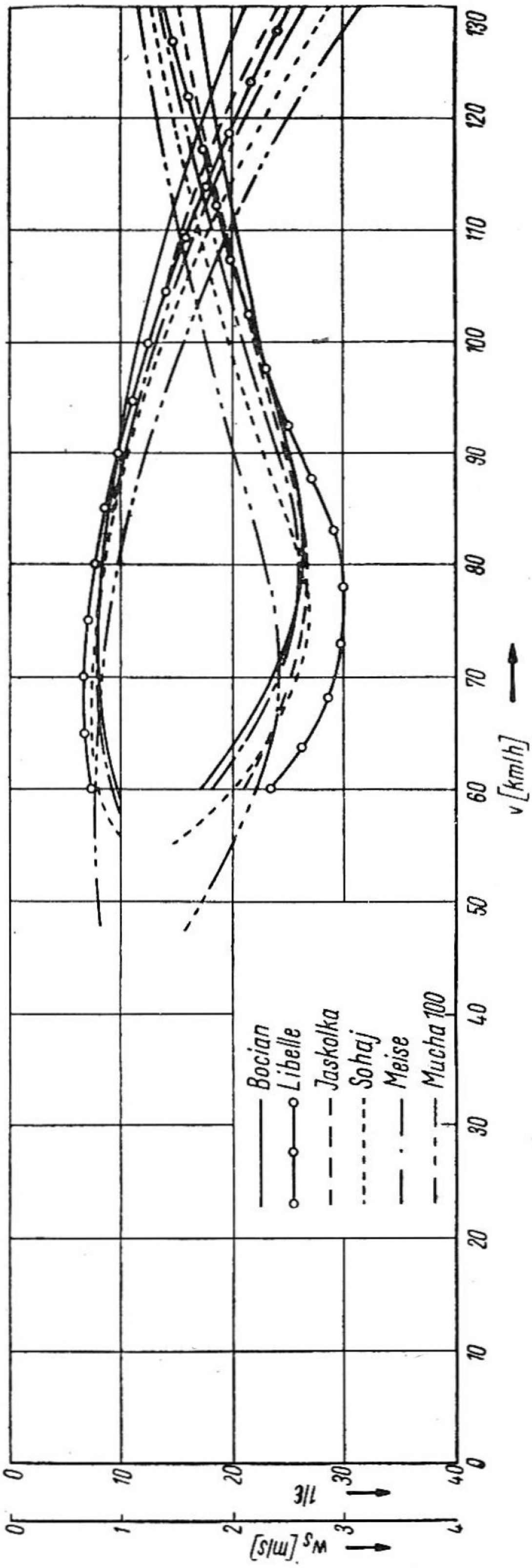
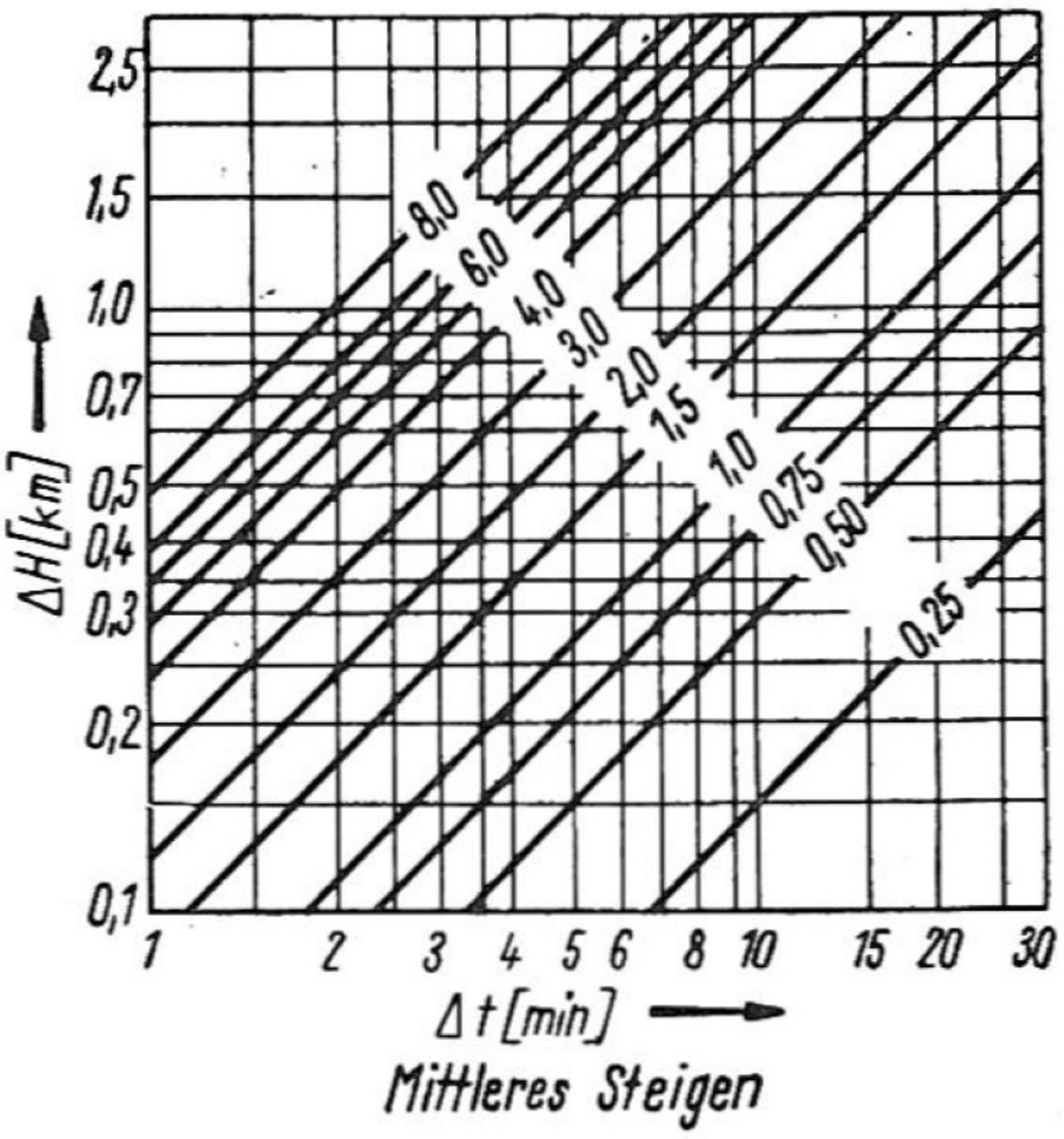


Bild 30. Vergleich der Geschwindigkeitspolaren



Mittleres Steigen

$\bar{w}_{st}$ [m/s]	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0
v_s [km/h]	Variometerstand				

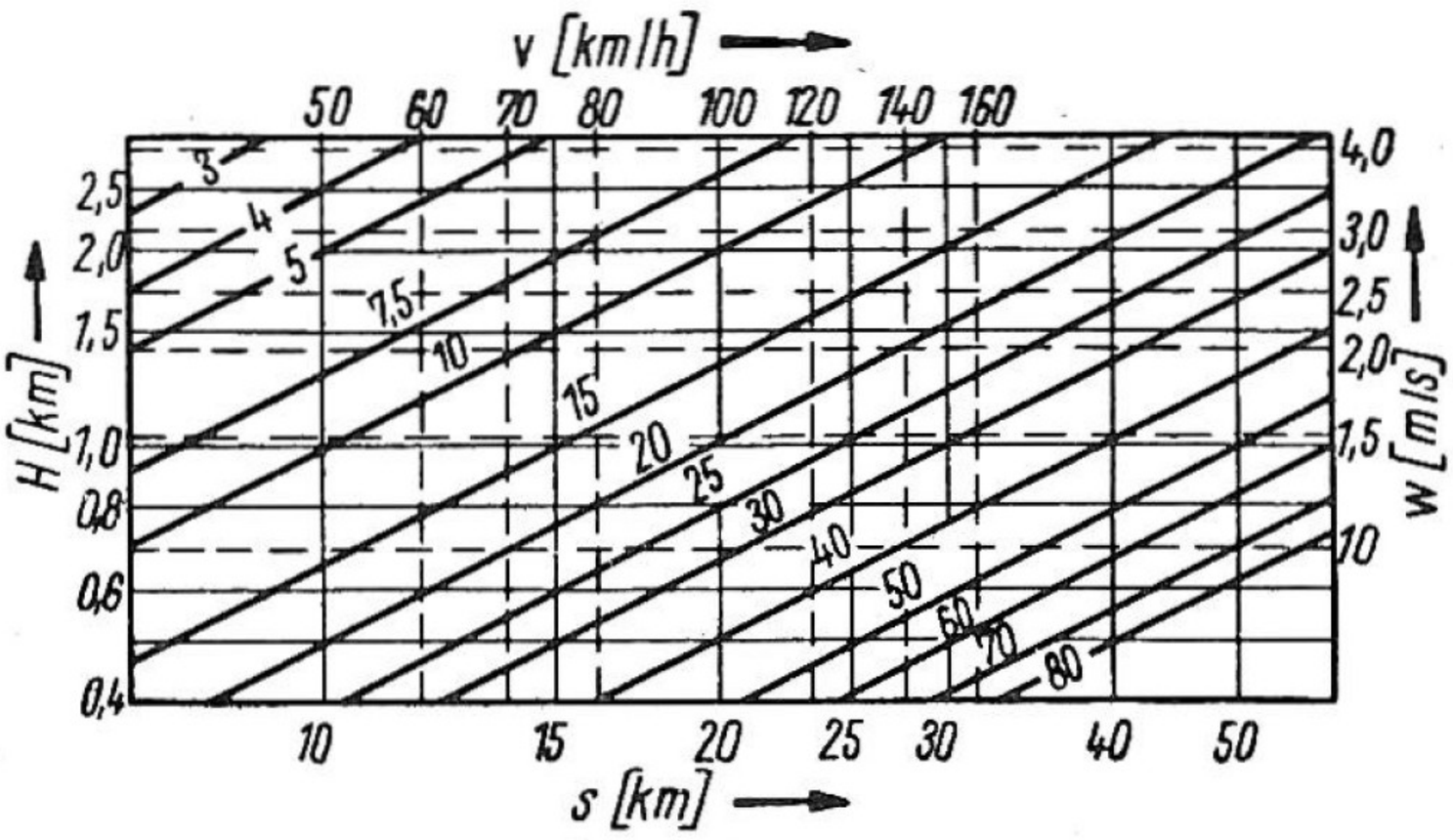
Kalkulator

v_s = ...km/h für $\bar{w}_{st}$ = 1-2,5 m/s

v_s = ...km/h für $\bar{w}_{st}$ = 3-5 m/s

$v_{w_s\ min.}$ = ...km/h

$v_{\varepsilon best.}$ = ...km/h



Zielanflug

u_s [m/s]	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
w_{sg} [m/s]															

Ballonflug

H [m]	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500
F.M. [%]	0	2	5	8	10	13	16	22	29	
V.M. [%]	0	4	10	16	21	28	35	49	66	

Instrumentenfehler

Bild 31. Hilfstafel für den Piloten

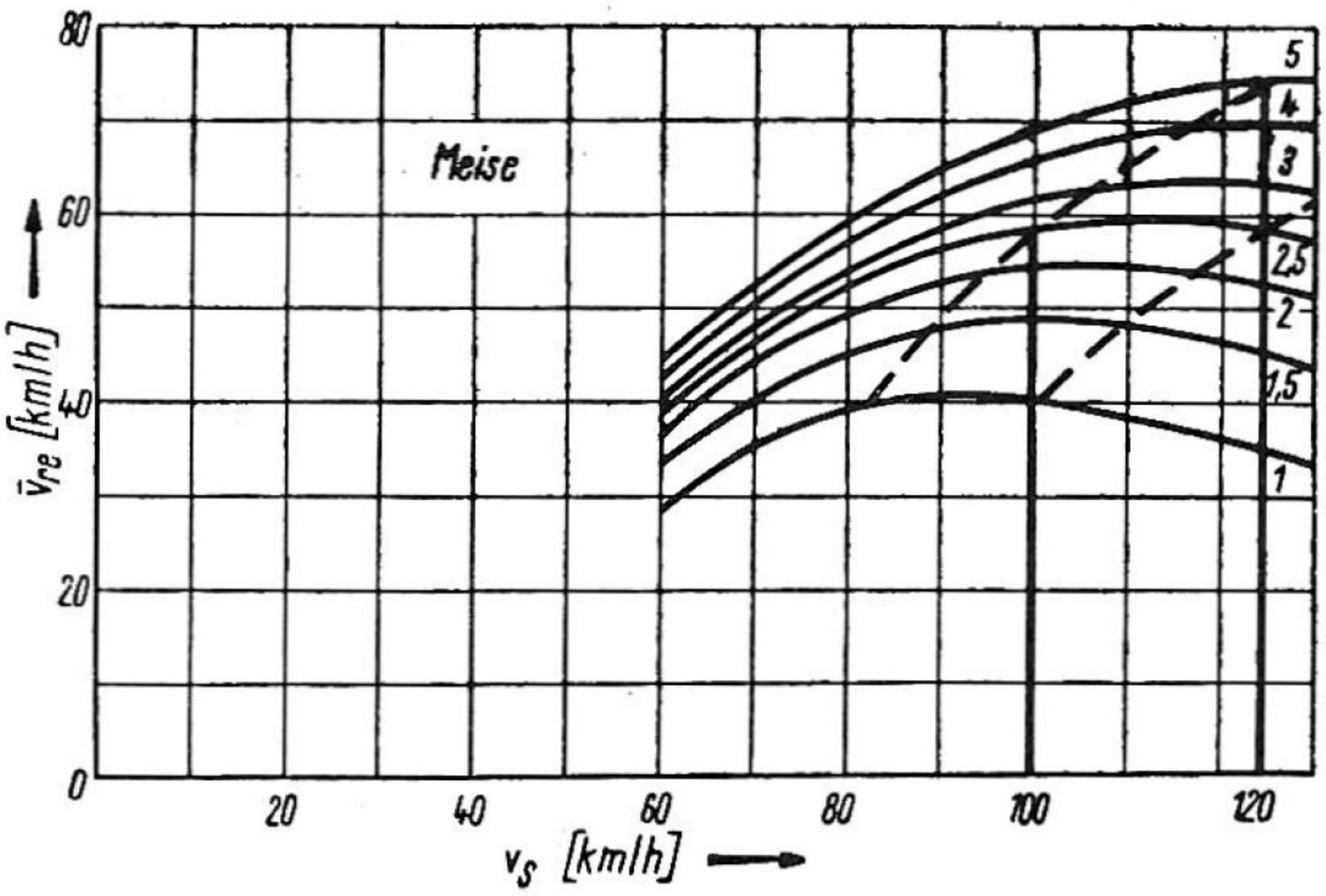


Bild 32. Ermittlung der überschlägigen Sprunggeschwindigkeit für die „Meise"

Tafel 5. Werte für den Scheibenkalkulator – „Bocian"

$w_{st} + u_v$	[m/s]	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
v_s	[km/h]	80,0	88,5	96,5	105	113	121	129	137	—
w_s	[m/s]	0,84	0,95	1,10	1,30	1,53	1,80	2,10	2,44	—
$w_{st} + u_v + w_s$	[m/s]	0,84	1,45	2,10	2,80	3,53	4,30	5,10	5,94	—

v_s	[km/h]	71	80	90	100	110	120	130
$w_{st} + u_v + w_s$	[m/s]	0,00	0,84	1,60	2,40	3,30	4,20	5,20

Tafel 6. Werte für den Scheibenkalkulator – Lom 57 „Libelle"

$w_{st} + u_v$	[m/s]	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
v_s	[km/h]	78,0	82,5	88,0	93,0	99,5	105,5	112	119	125,5
w_s	[m/s]	0,72	0,80	0,90	1,03	1,22	1,42	1,67	1,98	2.27
$w_{st} + u_v + w_s$	[m/s]	0,72	1,30	1,90	2,53	3,22	3,92	4,67	5,48	6,27

v_s	[km/h]	68	70	80	90	100	110	120	130
$w_{st} + u_v + w_s$	[m/s]	0,00	0,10	1,00	2,15	3,30	4,45	5,60	6,75

Tafel 7. Werte für den Scheibenkalkulator – „Jaskolka"

$w_{st} + u_v$	[m/s]	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
v_s	[km/h]	80,0	87,5	95,0	102,0	108,5	115,0	121,5	127	132
w_s	[m/s]	0,84	0,95	1,10	1,30	1,50	1,70	1,95	2,15	2,40
$w_{st} + u_v + w_s$	[m/s]	0,84	1,45	2,10	2,80	3,50	4,20	4,95	5,65	6,40
v_s	[km/h]	68	80	90	100	110	120	130		
$w_{st} + u_v + w_s$	[m/s]	0,00	0,84	1,65	2,60	3,65	4,80	6,10		

Tafel 8. Werte für den Scheibenkalkulator – „Meise"

$w_{st} + u_v$	[m/s]	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
v_s	[km/h]	80	85	90	95	100	105	110	115	120
w_s	[m/s]	0,86	0,92	1,03	1,15	1,30	1,48	1,66	1,90	2,10
$w_{st} + u_v + w_s$	[m/s]	0,86	1,42	2,03	2,65	3,30	3,98	4,66	5,40	6,10
v_s	[km/h]	68	80	90	100	110	120	130		
$w_{st} + u_v + w_s$	[m/s]	0,00	0,86	2,00	3,30	4,66	6,10	7,68		

Tafel 9. Werte für den Scheibenkalkulator – „Sohaj-3"

$w_{st} + u_v$	[m/s]	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
v_s	[km/h]	75	80	85	90	95	100	105	112,5	122,5
w_s	[m/s]	0,77	0,85	0,95	1,09	1,23	1,40	1,60	1,94	2,43
$w_{st} + u_v + w_s$	[m/s]	0,77	1,35	1,95	2,59	3,23	3,90	4,60	5,44	6,43
v_s	[km/h]	67	70	80	90	100	110	120	130	
$w_{st} + u_v + w_s$	[m/s]	0,00	0,25	1,35	2,59	3,90	5,25	6,25	6,90	

Tafel 10. Werte für den Scheibenkalkulator – „Mucha 100"

$w_{st} + u_v$	[m/s]	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
v_s	[km/h]	70	76,5	83,5	90,5	98	105	111,5	115	116
w_s	[m/s]	0,81	0,90	1,05	1,25	1,50	1,75	2,00	2,17	3,23
$w_{st} + u_v + w_s$	[m/s]	0,81	1,40	2,05	2,75	3,50	4,25	5,00	5,67	6,23

v_s	[km/h]	60	70	80	90	100	110	115
$w_{st} + u_v + w_s$	[m/s]	0,00	0,81	1,75	2,70	3,70	4,80	5,70

Tafel 11. Kalkulatortafel für „Bocian DM–3033" (doppelsitzig geflogen)

w_{st} [m/s]	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0
v_s [km/h]	Variometerstand				
80	—0,8	+0,5	+1,4	+2,4	+3,4
90	—1,6	—0,2	+0,8	+1,7	+2,7
100	—2,4	—1,3	—0,1	+0,8	+1,8
110	—3,3	—2,2	—1,2	0,0	+0,9
120	—4,2	—3,0	—2,2	—1,2	0,0
130	—5,2	—4,2	—3,2	—2,3	—1,3

4. Formelzeichenübersicht

Alle Werte mit einem Strich über dem Symbol sind Mittelwerte.

Formelzeichen	Dimension	Erklärung
A	kp	Auftrieb
b	1	Koeffizient des Abwindes zwischen den Steigbereichen
c_a	1	Auftriebsbeiwert
c_w	1	Widerstandsbeiwert
D	m, km	Flugstrecke
f (. . .)	beliebig	Funktion von (. . .)
F	m^2	Flügelfläche, Querschnittsfläche
G	kp	Gewicht
H	m, km	Höhe über Grund
Δ H	m, km	Höhengewinn
R	kp	Luftkraftresultierende
S, S', S''	1	Reichweite
s, s', s''	m, km	zurückgelegte Strecke
t	s, min, h	Zeit
t_r	s, min, h	Zeitresultierende
t_s	s, min, h	Zeit des Sprunges zwischen den Steigbereichen
t_{st}	s, min, h	Steigzeit
u	m/s, km/h	Windgeschwindigkeit
u_h	m/s, km/h	Horizontalkomponente der Windgeschwindigkeit
u_v	m/s, km/h	Vertikalkomponente der Windgeschwindigkeit
v	m/s, km/h	Fluggeschwindigkeit
v_h	m/s, km/h	Horizontalgeschwindigkeit
v_r	m/s, km/h	Reise- oder Streckenfluggeschwindigkeit
v_{re}	m/s, km/h	Eigenreise- oder Streckenfluggeschwindigkeit

v_s	m/s, km/h	Fluggeschwindigkeit des Sprunges zwischen den Steigbereichen
$v_{(w_{s\,min})}$	m/s, km/h	Fluggeschwindigkeit für minimales Sinken
v_{min}	m/s, km/h	Minimalfluggeschwindigkeit
$v_{(\varepsilon\,best)}$	m/s, km/h	Fluggeschwindigkeit bei der beste Gleitzahl
W	kp	Widerstand
w	m/s, km/h	Vertikalgeschwindigkeit
w_s	m/s, km/h	Eigen-Sinkgeschwindigkeit
w_{sg}	m/s, km/h	Grenzsinkgeschwindigkeit
w_{st}	m/s, km/h	Steiggeschwindigkeit
$w_{s\,min}$	m/s, km/h	minimale Eigen-Sinkgeschwindigkeit
$w_{s\,(\varepsilon\,best)}$	m/s, km/h	Eigensinkgeschwindigkeit bei der besten Gleitzahl
γ	°, Bg	Winkel zwischen Auftrieb und Luftkraftresultierender
ϑ, ϑ', ϑ''	°, Bg	Flugbahnwinkel
ϱ_0	$\frac{kp \cdot s^2}{m^4}$	Luftdichte in Meeresspiegelhöhe
ε	1	Gleitzahl

5. Literaturhinweise

Berndt, H.: Dreieckstrecke auf Geschwindigkeit. Flügel der Heimat 8/9 (1958), S. 12, 13 und S. 10, 11

Makula, E., Skrydlewsky, St., Wielgus, Str.: Der Segelstreckenflug. Verlag der Liga der Soldatenfreunde, Warschau

Morgner, W.: Training im kleinen Dreieck. Flügel der Heimat 7 (1958), S. 16, 17

Salzmann, G.: Segelfliegen. Verlag Sport und Technik, Berlin 1958

Inhaltsverzeichnis

Seite

1. Allgemeine Ratschläge und Taktik des Streckenfluges ... 6
   1.1 Der Start zum Streckenflug 6
      1.11 Der Hangstart 7
      1.12 Der Windenstart 7
      1.13 Der Flugzeugschlepp-Start 9
         1.131 Das Auskuppeln im Steigbereich 9
   1.2 Der Streckenflug 10
      1.21 Die Entfernung zwischen den Thermikschläuchen 10
      1.22 Der Sprung von Schlauch zu Schlauch 11
      1.23 Das Zentrieren im Schlauch 11
   1.3 Die Landung und der Rücktransport 13
2. Technik des Streckenfluges 17
   2.1 Die Geschwindigkeitspolare 17
   2.2 Der Einfluß der Höhe auf die Anzeige der Instrumente 22
   2.3 Der freie Streckenflug 23
      2.31 Gleitzahl und Reichweite 23
      2.32 Die Geschwindigkeit zum Erzielen der maximalen Reichweite 27
      2.33 Der Ballonflug 31
   2.4 Der Geschwindigkeits-Streckenflug 32
   2.5 Die Geschwindigkeit zwischen den Steigbereichen .. 37
   2.6 Der Scheibenkalkulator 40
   2.7 Tafel der Geschwindigkeiten des Sprunges 43
   2.8 Methode zum Bestimmen der Geschwindigkeit zwischen den Steigbereichen 44
      2.81 Die Methoden zum Bestimmen der mittleren Geschwindigkeit 44
      2.82 Das Nomogramm von A. Zientek 46
      2.83 Der Thermikschieber 46
   2.9 Die Geschwindigkeit beim Zielanflug 46
3. Zusammenfassung 48
4. Formelzeichenübersicht 58
5. Literaturhinweise 59

Preis: 2,20 DM