

NEUE ASPEKTE ZUR LEEWELLE

Erst wenn ein Leistungssegelflieger neben den Streckenflügen auch den Höhenflug absolviert hat, kann er sich das höchste internationale Segelflugabzeichen, die Gold-C, anstecken. Jedoch gerade die 3000 m Startüberhöhung für das goldene Abzeichen, oder sogar der Höhengewinn von 5000 m, für den es einen Diamanten gibt, stellen die Aspiranten für die Gold-C vor das größte Problem. Das Erfliegen der genannten Höhen in Cumuluswolken bleibt durch die sich mit dem ständig wachsenden Luftverkehr ergebenden Flugsicherungsprobleme nur wenigen Piloten vorbehalten. Das Gros unserer Leistungssegelflieger wartet deshalb auf die Chance, eine Einladung für die Leewelle in der Volksrepublik Polen zu erhalten. Der einerseits progressiv wachsenden Zahl der 300-km-Piloten in unserer Republik steht aber die begrenzte Kapazität des Fluggeländes unserer polnischen Freunde im Lee des Riesengebirges gegenüber.

Nun wurde in der Vergangenheit schon hin und wieder über Leewellen an unseren Mittelgebirgen geschrieben. Was bis heute leider fehlt, ist die Möglichkeit für unsere Piloten, unter ökonomisch günstigeren Bedingungen als zum Beispiel in der Volksrepublik Polen, auch über dem Territorium unserer Republik den Höhendiamanten zu erfiegen. Neben dem organisatorischen Aufwand, der dazu notwendig wäre, gehören dazu natürlich auch die Kenntnisse über die Entstehung der Leewelle und besonders Kenntnisse über die Leewelle in unserem Raum. Neben meinen Darlegungen über den Begriff der Leewelle, über meine Beobachtungen der Welle des polnischen Riesengebirges, möchte ich nachfolgend auch auf die Möglichkeit im Südosten unserer Republik aufmerksam machen.

Zunächst jedoch einige Ausführungen zur Entstehung von

Wellen in der Atmosphäre. Die Leewelle erscheint besonders für den jungen Leistungssegelflieger als das große Geheimnis. Wellen sind jedoch sehr allgemeine Erscheinungen. Denken wir zum Beispiel an Schallwellen, Lichtwellen usw. Für unseren Zweck wollen wir speziell Erscheinungen betrachten, die sich an der Grenzschicht zwischen zwei verschiedenen dichten Medien abspielen. Als Modellbeispiel verwenden wir die uns bekannten Wasserwellen. Ein Medium geringer Dichte (Luft) bewegt sich mit einer Relativgeschwindigkeit über ein dichteres Medium (Wasser). Reibungsvorgänge an der Grenzschicht zwischen beiden Medien (Körpern), die auf Grund ihrer sehr unterschiedlichen Dichte ihre getrennte Lage beibehalten (stabile Schichtung), führen zu einer Wellenbewegung, die in diesem Falle sichtbar an einer Wasseroberfläche beobachtet werden kann. Verallgemeinern wir diese Aussage, dann müßte zum Beispiel auch eine ähnliche Wellenbewegung zwischen zwei übereinandergeschichteten gasförmigen Körpern unterschiedlicher Dichte möglich sein. Kalte Luft ist dichter und damit auch schwerer als Luft mit einer relativ höheren Temperatur. Diesen Fall, daß sich relativ wärmere Luft (Medium geringerer Dichte) über kälterer Luft (dichteres Medium) befindet, beobachten wir in der Atmosphäre sehr häufig. Die Temperaturdifferenzen, die ein Maß für den Dichteunterschied darstellen, können ganz beträchtlich sein. Beispielsweise wurden am 28. Oktober 1964 über der meteorologischen Station Lindenberg folgende Temperaturen gemessen: Bodentemperatur $+7^\circ$, 700 m $+2^\circ$, 1050 m $+12^\circ$ C und 1550 m $+9^\circ$ C (Bild 1).

Bewegt sich nun die wärmere Luft mit einer Relativgeschwindigkeit über die kältere Luft hinweg, so entsteht

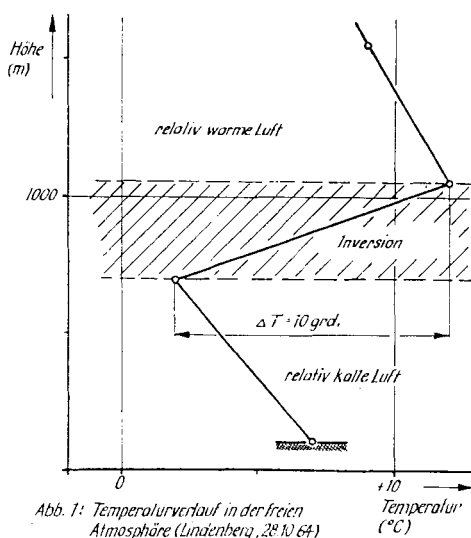


Abb. 1: Temperaturverlauf in der freien Atmosphäre (Lindenberg, 28.10.64)



Abb. 2: Freie Wellen in der unteren Atmosphäre

durch Reibungsvorgänge an der Grenzschicht (Inversion) eine Wellenbewegung. Diese Wellenbewegungen in der freien Atmosphäre sind jedoch nicht in jedem Falle sichtbar. Nur wenn Luftschichten mit hoher relativer Feuchte von dieser Wellenbewegung erfaßt werden, treten diese Wellen sichtbar in Erscheinung. An der Stelle aufsteigender Luftbewegung („Wellenberg“) erfolgt dann Kondensation, während im folgenden „Wellental“ durch absteigende Luftbewegung eine Wolkenlücke entsteht. Sich auf solche Art abbildende Wellen beobachten wir öfters bei aufziehender Warmfrontbewölkung in großer Höhe. Doch auch im mittelhohen Bereich und in unteren Atmosphärenschichten spielen sich gleiche Vorgänge ab. Im letzten Falle erschweren der stark veränderte Blickwinkel und damit verbundene optische Täuschungen das richtige Erkennen.

Liegt im Sommer an einem normalen Thermiktag eine starke Inversion dicht über den Thermikwolken, kann, bei Vorhandensein stärkerer Luftbewegung der über der Inversion liegenden Luftschicht, die sich ausbildende Wellenbewegung die geometrische Anordnung der Thermikwolken in der unteren Luftschicht beeinflussen. Die Thermikwolken bilden sich bevorzugt in Reihen (quer zur Richtung des Höhenwindes) unter den bereits erwähnten „Wellenbergen“ aus. Stark aufquellende Cumuluswolken, die bis an die Inversion heranreichen, bekommen sogenannte Windkappen (Bild 2). Angesichts dieses Bildes wird vielleicht auch klar, auf welche Art und Weise die „heimnisvollen“ Flüge mancher Piloten zwischen und über Cumuluswolken möglich waren. Erfahrungsgemäß unterschätzt man den horizontalen Abstand zu den Wolken sehr stark und läßt sich dazu andererseits durch die scheinbare Mächtigkeit einer Wolkenwand in der Vertikalen täuschen. Dadurch entsteht der Eindruck, daß man scheinbar direkt neben der Wolke nach oben steigt. Meßflüge mit Motorflugzeugen haben jedoch ergeben, daß unmittelbar neben Cumuluswolken kein Aufwind vorhanden ist. Natürlich kommt es auch vor, daß der Wind oberhalb einer Inversion sehr schwach ist, so daß nur eine unbedeutende Wellenbewegung entstehen kann. Bei Thermikflügen in der Nähe von Gebieten mit starker Thermik (zum Beispiel Industriethermik) kann man an solchen Tagen beobachten, daß die Inversion durch die unter ihr aufsteigende Thermik aufgewölbt wird. So entsteht ebenfalls eine wellenförmige Unebenheit in der unterliegenden relativ kälteren Luftschicht. Die Luft oberhalb der Inversion muß über dieses Hindernis strömen. Selbst wenn dabei ihre Strömungsgeschwindigkeit gering ist, kommt es bei entsprechender relativer Feuchte durch das erzwungene Aufsteigen zur Kondensation. Über den starken Thermikquellen bilden sich so an der Inversion flache Wolkengebilde aus, angefangen von einfachen Ver-

dichtungen bis hin zu den bereits erwähnten Windkappen (bei höherer Windgeschwindigkeit), ohne daß die Quellwolken der starken Thermikquelle bis an die Inversion reichen müssen. Eine Beobachtung gleicher Art konnte ich über stark aufquellenden Cumuluswolken am Thüringer Wald machen, bei einer sich entwickelnden Unwetterlage. In diesem Falle war der Einfluß der aufquellenden Wolken so stark, daß etwa 500 m über ihnen im blauen Himmel, an einer bis dahin nicht sichtbaren Inversion, Kondensation einsetzte mit Wolken, die sich bis zu sauber ausgeprägten Lenticularis entwickelten.

In der freien Atmosphäre finden wir also mehr oder weniger intensive Quellen dynamischen Aufwindes. Voraussetzung dafür sind erstens eine stabile Luftschichtung und zweitens entsprechende Windverhältnisse. Charakteristisch dabei ist, daß durch eine unterhalb einer stärkeren Inversion liegende dichtere (relativ kältere) Luftschicht eine Hindernisbildung erfolgt (fortlaufende Wellen oder auch nahezu ortsfeste Aufwölbung). Diese so entstandenen und meist nicht sichtbaren „Hindernisse“ bestimmen den Verlauf der Strömung der darüberliegenden Luftschichten, so daß wir jeweils über der Luvseite besagter „Kaltluft“-Hindernisse die für uns interessante Aufwärtskomponente in der Luftströmung vorfinden.

In Gestalt der Leewelle haben wir eine sehr gute Quelle dynamischen Aufwindes vorliegen. Logischerweise müßte deshalb für den Zustand der Luftmasse im Lee des jeweiligen Gebirges gleichfalls die eben beschriebene Charakteristik zutreffen. Untersucht man einmal die Wetterkarten von den uns bekannten Wellenlagen (Riesengebirge) der letzten Jahre, kommt man zu folgender interessanter Feststellung. An den Tagen vor der Welle befindet sich im Bereich des Wellengebietes stets eine relativ kalte Luftmasse. Diese ist auf den Wetterkarten in der Regel durch Aufschriften wie „Grönländische Polarluft“, „Arktische Polarluft“, „Festlands-Polarluft“ usw. ausgewiesen oder auch nur einfach durch den Durchzug einer Kaltfront nachweisbar. Zum Zeitpunkt des Auftretens der Welle selbst zieht in der Richtung senkrecht zum Gebirgskamm stets eine relativ warme Luftmasse, die durch Bezeichnungen wie „Atlant. Tropikluft“, „Mittelmeer-Tropikluft“ oder einfach als „Meeresluft“ in den Karten gekennzeichnet ist, über den Bereich des Wellengeländes im Lee des Gebirges hinweg. Beobachten wir diesen Vorgang am Beispiel einer realen Wellenlage am Riesengebirge, und zwar zu dem Zeitpunkt,

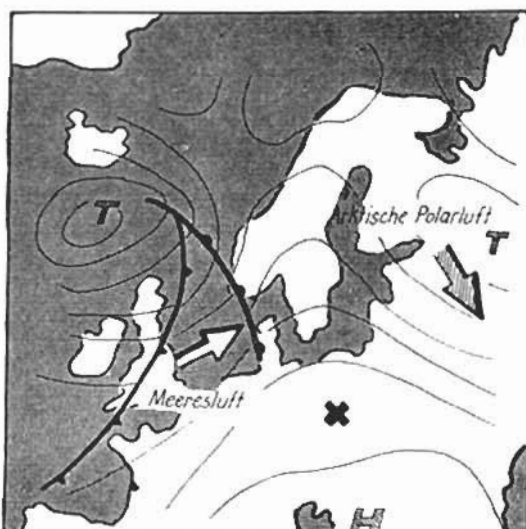
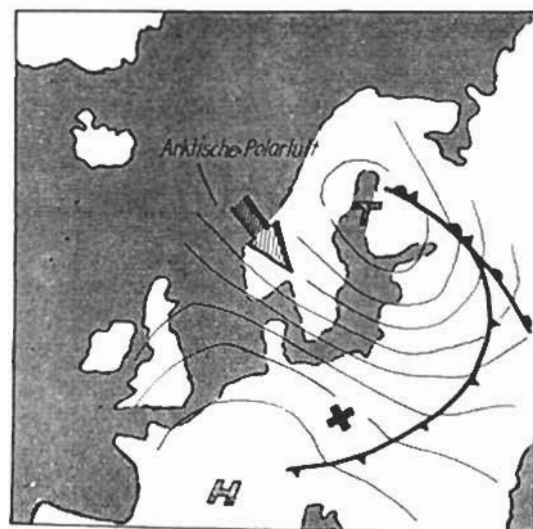


Abb. 3
Wetterlage
am 13.11.67
01 Uhr MEZ

Abb. 4
Wetterlage
am 14.11.67
01 Uhr MEZ

Abb. 5



Abb. 7



Abb. 8



Abb. 9

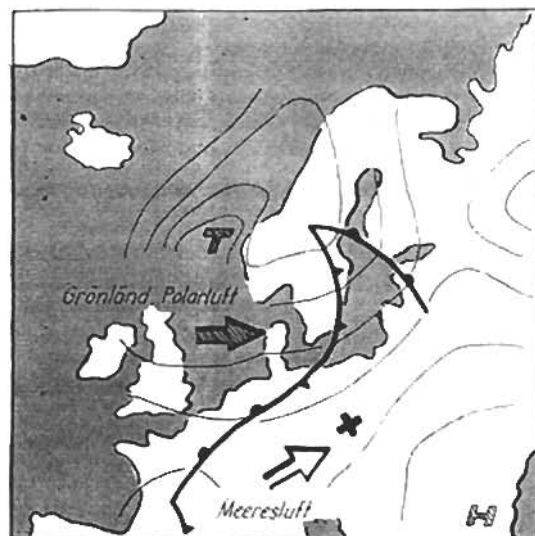


als ich zusammen mit weiteren Segelfliegern unserer Republik in Jelenia Gora weilte. Am 13. November 1967 strömte arktische Polarluft aus NW in den mitteleuropäischen Raum ein (Bild 3). Am folgenden Tag war diese Kaltluft bis über Osteuropa vorgedrungen (Bild 4), während in unserem Raum Wetterberuhigung einsetzte mit schwacher Luftbewegung am Boden. Das über die britischen Inseln nordostwärts ziehende Tief führte zu einer südwestlichen Höhenströmung, die für das höhere Bergland relativ hohe Temperaturen brachte, während in den Tälern noch die Kaltluft des Vortages lagerte (Bild 5). Als wir am selben Tage nachmittags einen Spaziergang ins Riesengebirge wagten, kamen wir oberhalb der Inversion (etwa 900–1000 m) bereits mit einem ganz ordentlich wehenden SW-Wind in Berührung. Im Wolkenbild zeigten sich erste Anzeichen der beginnenden Welle. Die für die Welle am Riesengebirge günstigste Windrichtung ist etwa SSW. Von den höhergelegenen Wetterstationen ist die auf dem Geisingberg die noch günstigste Informationsquelle für das Wettergeschehen am Osterzgebirge und dem sich anschließenden Riesengebirge. So entnehmen wir den Informationen der Wetterkarte, daß am 15. November 1967 in den Mittagsstunden endlich der Wind in diesem Gebiet die günstigste Richtung hatte. Dazu strömte relativ milde Meeresluft von SW heran (Bild 6). Auf dem Geisingberg wurden so am 15. November 1967 um 01 Uhr + 10° gemessen, während wir knapp fünf Stunden später im Tal von Jelenia Gora noch bei Minusgraden und leichtem Bodenfrost die Flugzeuge startfertig machten. Durch die relativ niedrige Windgeschwindigkeit (Schneekoppe 12–15 m/s) war die Welle und damit die charakteristische Wolkenbildung nur schwach ausgeprägt (Bild 7). Zur Zeit, als diese Aufnahme (Bild 7) gemacht wurde, befanden sich etwa in Blickrichtung der Kamera zwei Segelflugzeuge in etwa 3500 m vorn unter der zeitweilig scharfen Vorderkante einer großflächigen Wolke langs des Gebirgskammes. Dieses Bild änderte sich im Laufe des Vormittags nur wenig. Gegen Mittag nahm die allgemeine Bewölkung noch zu. Der Himmel verfinsterte sich schließlich vollends. Trotzdem konnte ich gegen 14 Uhr noch 5040 m absolute Höhe (ab 3000 m schon leichter Schneefall!) erreichen.

Auf der Wetterkarte (Bild 6) ist bereits eine rasch nahende Wetteränderung zu erkennen. In der Tat frischte am späten Nachmittag, auf der Vorderseite der heranziehenden Fronten, der Wind allmählich auf. Gegen 17.00 Uhr, für uns leider nicht mehr ausnützlich, nahm die Wellenwolke langsam eine ihrer typischen Formen an bei gleichzeitigem Rückgang der übrigen Bewölkung (Bild 8). Etwa um 19.00 Uhr im Mondschein stand dann bei 28 m/s Wind (Schneekoppe) eine ideale Welle, die schätzungsweise für 10 000 m absolute Höhe gereicht hätte (Bild 9). Diese Welle stand jedoch nicht lange. Sehr bald machte sich bemerkbar, daß die warme Luft die Kaltluft aus dem Tal verdrängte. Schon am nächsten Morgen wehte wieder ein zünftiger Westwind Polarluft aus Grönland heran.

Kehren wir zum Ausgangspunkt zurück. Es liegen also im Lee des Gebirges wieder ähnliche Bedingungen vor, wie bei der Entstehung der bereits beschriebenen freien Wellen, zumindest was die Luftschichtung und die Windverhältnisse anbelangt. An der Inversion, die wir zunächst einmal in Kammhöhe (oder tiefer) des Gebirges annehmen, wird mit zunehmender Windgeschwindigkeit der über den Gebirgskamm einfallenden Warmluft eine Wellenbewegung mit fortlaufenden Wellen entstehen. Das führt dazu, daß die Kaltluft von der Gebirgskante weg ins Tal hineingedrängt wird. Dieses „Ins-Tal-Drängen“ der Kaltluft, in Verbindung mit der Wellenbewegung, führt ab einer bestimmten Windgeschwindigkeit (Riesengebirge: 10 bis 12 m/s) zum Aufschieben eines regelrechten Kaltluftberges (Bild 10), der sich bei günstigster Windgeschwindigkeit (Riesengebirge: 20–25 m/s) bis zu etwa 2500 m Höhe ausbildet. Diese so wellenförmig verformte Oberfläche des Kaltluftsees im Lee des Gebirges bildet einen gewaltigen Hang für die darüberströmende relativ wärmere Luft und

Abb.6
Wetterlage
am 15.11.67
01 Uhr MEZ



ist vergleichbar mit einer stehenden Welle. Dieser Hang sucht in bezug auf seine Ausmaße in der Natur seinesgleichen. Nun wird vielleicht auch verständlich, warum man eben an einem normalen Berghang mit vielleicht 100 oder 150 m Höhendifferenz nicht in gewaltige Höhen vordringen kann. Hinzu kommt, daß bei der Welle (mehr als beim festen Hang) die Stärke des Windes in Abhängigkeit von der Höhe einen großen Einfluß auf den Verlauf und die Intensität des Steigens besitzt und zum anderen in 2000 m Höhe sowieso ein anderer Wind bläst als normalerweise an einem Berghang in den untersten Schichten der Atmosphäre. Dafür hat die Welle den Nachteil der Kurzlebigkeit. Von einem Tag oder auch länger (geringer Wind) bis zu wenigen Stunden (starker Wind) reicht ihre Lebensdauer, da die Kaltluft im Lee allmählich in Windrichtung aus dem Tal gedrängt wird. Gebirgszüge, die den Talkessel umgeben, verzögern diesen Vorgang. Innerhalb der Kaltluft im Lee des Gebirges entsteht eine Zirkulationsströmung mit zum Teil unterschiedlichen Windrichtungen am Boden. Zum Gebirge zu, unter der Hauptwelle (Wiederholung der Welle im Lee mit noch nutzbarem Aufwind ist möglich), ist diese Zirkulationsströmung geordnet und bildet den bekannten Rotor. Solange die Welle steht, bleibt die stabile Luftschichtung (Trennung zwischen der am Boden lagernden Kaltluft und der darüberströmenden Warmluft) erhalten. Ich konnte das bei meinem Flug am 15. November 1967 sehr gut beobachten, da die im Tal lagernde Kaltluft durch starke Dunstbildung (Industrie, Feuer der Waldarbeiter) gut gekennzeichnet war. Ein anderer Beweis dafür sind die

in den Sommermonaten bei Sonnenaufgang beobachteten Wellen, die nach Zerstörung der Bodeninversion im Lee durch Thermik sofort verschwanden. Ebenso kommt die Luftschichtung in der Verschiedenheit der Wolkenformen (Rotorwolke – Lenticularis) recht deutlich zum Ausdruck.

Nach all diesen Auffassungen ist für die Entstehung der Leewelle also nicht das Gebirge, sondern das Tal entscheidend. Der Abfall in das Tal muß möglichst steil erfolgen, weil sonst nur flache und kurzlebige Wellen entstehen könnten. Wo finden wir aber solche Täler? Doch eben in erster Linie bei höheren Gebirgen. Daß allgemein über Tälern (zum Beispiel Täler großer Flüsse, Niederungen) Wellen möglich sind, die (auf Grund der meist geringen Taltiefe) bequem auch durch Start von der Schleppwinde aus erreichbar sind, dafür gibt es Beispiele aus der Literatur, und das haben im Herbst vergangenen Jahres Segelflieger der Fliegerklubs Pirna und Kamenz selbst erleben können.

Auch zu der Auffassung Leewelle und Wirbelbildung möchte ich noch ein Wort sagen. Man blicke einmal auf Bild 10. In den wirklichen Proportionen gezeichnet, wird man erstaunt sein, wie flach selbst ein Hochgebirge ist. Dazu stelle man sich zweitens einmal die Geschwindigkeit vor, mit der die Luft über das Leewellengebiet strömt. 20 m/s sind für uns Menschen am Boden gewaltige Luftbewegungen. Verfolgen wir aber einmal (zum Beispiel in Bild 10) ein Luftteilchen, das die Strecke von der Schneekoppe bis Jelenia Gora (18,5 km) mit dieser Geschwindigkeit zurücklegt, dann werden wir erstaunt sein, wie langsam das vor sich geht. Genau in 15:25 Minuten müßten wir die Bleistiftspitze von S nach J auf dieser Skizze bewegen, um uns eine Vorstellung von dieser Geschwindigkeit zu machen. Das sind die wirklichen Proportionen.

Soweit einige Aspekte zur Entstehung der Leewelle am Beispiel einer Wellenlage am Riesengebirge. Im folgenden Beitrag (April-Ausgabe) einige Gedanken zur Leewelle und deren Nutzung im Osterzgebirge.

– George Heinrich –

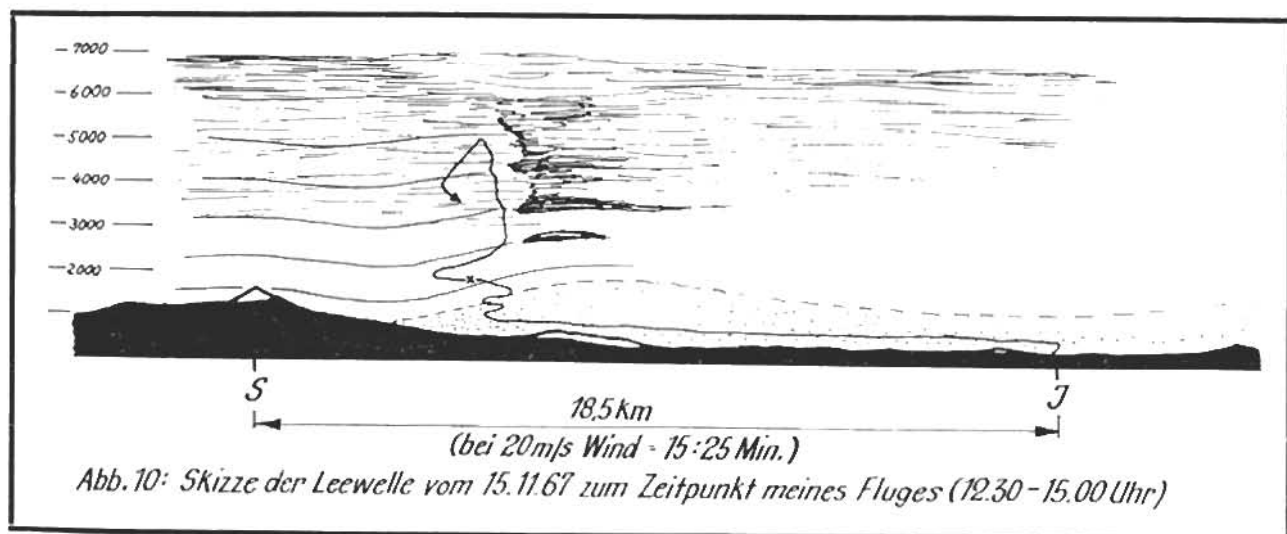


Abb.10: Skizze der Leewelle vom 15.11.67 zum Zeitpunkt meines Fluges (12.30 - 15.00 Uhr)