

Deutsches Reich
Reichsamt für Wetterdienst

Wissenschaftliche Abhandlungen
Band VIII

Nr. 1

Die Wolken des Bodenseegebiets
in ihrem Vorkommen und ihrer vertikalen Verteilung

von

Eduard Huss

Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

ISBN 978-3-662-01863-7 ISBN 978-3-662-02158-3 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-02158-3

1. Einleitung.

a) Allgemeines.

In neuerer Zeit ist die Frage nach der vertikalen Verteilung der Wolkenluft und ihrer Grenzen wieder mehr in den Vordergrund gerückt, sie hat einerseits für die Luftfahrt erhöhte Bedeutung, andererseits lassen sich Zusammenhänge mit dem Problem der Schichtung überhaupt, mit der Luftmassenanalyse, der Morphologie und Struktur der Wolken und andern Problemen erweitert aufstellen.

Die vorliegende Untersuchung befaßt sich zunächst lediglich mit der Verteilung selbst, und zwar allein für Friedrichshafen, frühere Ergebnisse stützend und erweiternd. Auf die genannten Zusammenhänge wird zum Teil später eingegangen werden.

Es liegen bereits wichtige ältere Arbeiten für verschiedene Orte vor (Lit. vgl. 27)¹⁾, sie beschäftigen sich aber, soweit das Material mit Hilfe der Doppelanschnitte, der Photogrammetrie, der Entfernungsmesser- und Pilotballonmethode gewonnen ist, vornehmlich mit den Untergrenzen der Schichten (ausgenommen der Cu) bzw. den für den Bodenbeobachter zugänglichen Wolkenpartien.

Es wurden Aufschlüsse über mittlere Höhen der Wolkenarten, vertikale Verteilung, täglichen und jährlichen Gang der mittleren Höhen, Schichtenneigung, Beziehungen zum allgemeinen Witterungscharakter und zur allgemeinen Zirkulation gewonnen.

Nach dem Krieg ist auch das Material der aerologischen Aufstiege in größerem Umfang herangezogen worden und brachte ergänzend Anhaltspunkte über vertikalen Aufbau, obere Grenzen und Schichtdicken. Daraus entstanden auch interessante Arbeiten über die Aerologie einzelner Wolkenarten.

Seit Einrichtung der Wetterflugstellen sind nun wichtige Augenbeobachtungen hinzugekommen, die hauptsächlich dadurch, daß sie vom Boden aus nicht sichtbare Räume erschließen, die aus anderen aerologischen Methoden gewonnenen Ergebnisse sichern und ergänzen.

Das hier verwendete Material ist der neuesten Zeit entnommen um unmittelbaren Vergleich mit dem von anderen Seiten bearbeiteten der neuen Wetterflugbeobachtungen zu gestatten.

b) Beobachtungsmethoden.

Diese Beobachtungsmethoden sind in den früheren Arbeiten schon zum Teil kritisch besprochen worden, hier sollen noch einige grundsätzliche Betrachtungen eingefügt werden sowie einige Bemerkungen im Hinblick auf das neuere Material:

Die Wolkengrenzen werden einerseits durch Augenbeobachtungen ermittelt, andererseits aus Registrierungen erschlossen.

Im ersteren Fall müssen wir zunächst zwei Möglichkeiten unterscheiden:

a) Beobachtungen vom Erdboden aus: man stellt die Grenze der Wolke als Beginn der Trübung eines aufsteigenden bzw. des Klarwerdens eines absteigenden Flugkörpers fest.

b) Beobachtungen vom Flugzeug aus: als Wolkengrenze wird der Beginn der vertikalen Sichtverschlechterung, des „Verschleierns“ (gegebenenfalls das erstmalige Erkennen von Wolkenplankton) bzw. das Wiedereintreten klarer Sicht angesprochen.

Vom physiologischen Standpunkt wird man demzufolge verschiedene Ergebnisse erwarten müssen, da man im Falle a) den Schwellenwert der Helligkeitsänderung eines kleinen dunklen Gegenstandes vor

¹⁾ Die in Klammern gesetzten Zahlen beziehen sich auf die Nummern des Literaturverzeichnisses am Schluß der Arbeit (S. 41).

hellem Hintergrund beobachtet, im Fall b) das Verschwimmen bzw. klare Wiedererkennen der Konturen in einer ausgedehnten, wenig kontrastreichen dunklen Fläche, dem Erdboden, oder der Konturen einer oft nicht sehr strukturreichen andern Wolkenschicht bzw. anderer Wolkenpartien der soeben durchflogenen. Manchmal ist eine Schleierwolke so dünn, daß die eigentliche Grenze sich gar nicht feststellen läßt, auch ist die Unterscheidung zwischen Dunstschicht und Wolke nicht immer sicher zu treffen.

Die erste Art der Beobachtung ist offenbar die empfindlichere¹⁾, doch wird bei einigermaßen scharfen Wolkengrenzen der Unterschied nicht stark ins Gewicht fallen neben dem wahrscheinlichen Fehler in der Höhenbestimmung aus Höhenmesser, Barograph oder Fesseldrahtlänge und Höhenwinkel.

Ferner ist in bezug auf die Bewegung des Flugkörpers zu unterscheiden:

a) ob seine horizontale Bewegungskomponente mit der der Luft übereinstimmt, wie dies beim ansteigenden Fesselballon, beim Registrier- und Pilotballon der Fall ist, oder

b) ob die horizontale Strömung ihn trägt, bzw. ob er gegen diese zurückgeholt wird, wie bei Drachen, Drachenballon oder absteigendem Fesselballon oder schließlich

c) ob er sich ganz willkürlich bewegen kann.

Der mitbewegte Flugkörper tritt eindeutig in die Basis oder Untergrenze der Wolke ein und bei genügend hoher Steiggeschwindigkeit und nicht zu großer Mächtigkeit der Schicht auch nahezu senkrecht über der inzwischen fortbewegten Eintrittsstelle aus dem oberen Teil der Wolke wieder aus, wir können in diesem Fall von einer eigentlichen Wolkendickenmessung reden. Man kommt sogar bei nicht allzugroßen vertikalen Windgradienten dem Idealfall nahe, in bezug auf ein mitbewegtes Koordinatensystem eine vertikale Sonde durch die ganze Luftsäule geführt zu haben.

Im Falle der Bewegung gegen die Luft besteht für den Bodenbeobachter einmal die Unsicherheit der Beurteilung, ob sich ein Eintauchen in die Wolke oder ein Verschwinden hinter derselben ereignet hat. (Im Fall der Mitbewegung ist man solchen Unsicherheiten — Durchblick durch Wolkenlücken — weit weniger unterworfen.) Ferner ist auch ein Eintritt in die Wolke von der Seite her möglich. Man findet z. B. bei Registrierungen von Drachenaufstiegen wesentlich häufiger als bei Fesselballonaufstiegen sehr schmale Schichten mit Sättigung zwischen relativ trockenen Schichten, es wird sich dann in den meisten Fällen um den überwiegend horizontalen Durchgang des Meteorographen durch einen Cu-artigen Wolkenteil handeln, der einen größeren vertikalen Aufbau hat, als sich aus der Zustandskurve schließen läßt und eine relativ trockene Umgebung. Entscheidend ist also hier, daß man in vielen Fällen gar nicht den vertikalen Aufbau der Wolken feststellt, sondern vielmehr sich dem Fall der ortsfesten Vertikalsonde nähert.

Bei Flugzeugaufstiegen kommt noch eine gewisse Willkür hinzu, da es dem Gutdünken des Beobachters überlassen ist, welche Luftsäulen und Wolken er durchfliegen, bzw. vermeiden will; im allgemeinen wird zwar versucht²⁾, ein möglichst vollständiges Bild der Wolkenverteilung durch Schätzung der Höhen nicht durchflogener Wolkenschichten zu entwerfen, doch haften solchen Angaben häufig (abgesehen von einer Abweichung von der gesuchten vertikalen Verteilung) nicht geringe Schätzungsfehler an, was sich z. B. bei statistischer Bearbeitung in der starken Bevorzugung der 500-m-Stufen³⁾ gezeigt hat (3), ein Fehler, der im Material der Fesselaufstiege nicht auftritt.

Während sich beim Flugzeugaufstieg die Augenbeobachtung auch auf Wolkenobergrenzen und höhere vom Erdboden aus nicht erkennbare Wolkenschichten erstreckt, bedarf es bei Fesselaufstiegen und Sonden zur weiteren Orientierung der Registrierung. Im Haarhygrometer, das dabei ausschließlich verwendet wird, haben wir zwar ein zuverlässiges, aber ziemlich träges Instrument. Es hat jedoch die Eigenschaft, den Eintritt von Änderungen im vertikalen Gradienten der relativen Feuchte fast augenblicklich anzuzeigen⁴⁾.

Dies hat zur Folge, daß man Wolkenobergrenzen aus Registrierungen fast immer sehr gut feststellen kann, zumal die Änderung der relativen Feuchte dort auch zumeist ziemlich ausgeprägt ist. Man kann also den aus solchen Hygrogrammen ermittelten Höhen der Obergrenzen eine große Zuverlässigkeit beimessen.

Anders ist es bei Untergrenzen. Zwar scheinen sich bei Annäherung an Sättigung Einzelhaare (in Friedrichshafen werden Anordnungen von je zwei Einzelhaaren benützt) sehr schnell einzustellen⁵⁾, jedoch nicht hinreichend, zumal die Zunahme der relativen Feuchte unter der Wolke meist eine ziemlich allmähliche ist (außer unter Mammatus, wo aber die untere Grenze ohnehin durch eine Temperaturinversion gekennzeichnet ist). Auch beobachtet man häufig größere gesättigte, offenbar kernarme Räume unterhalb der eigentlichen Wolke, so daß Schlüsse auf die untere Wolkengrenze aus dem Hygrogramm allein unsicher

¹⁾ Auch sehr dünne Schleier lassen sich an der Trübung feststellen, der Trübungsgrad bleibt nach dem Durchgang gleich und ändert sich erst mit dem Eintritt in die nächst darüberliegende Wolkenschicht.

²⁾ Vergleiche die Augenbeobachtungen im Klartext der Aerologischen Berichte.

³⁾ Nur die Duxforder Beobachtungen scheinen davon frei zu sein. W. Peppeler hat ebenfalls diese Fehler bei neueren Beobachtungen sämtlicher inländischer Wetterflugstellen mehr oder minder stark ausgeprägt vorgefunden.

⁴⁾ Die Registrierungen zeigen eine sehr gute Übereinstimmung von An- und Abstieg bezüglich Lage dieser Punkte.

⁵⁾ Die Ansichten hierüber sind allerdings geteilt (vgl. 5, S. 264).

werden. Die Lage der Untergrenze ist dann meist von Ort zu Ort stark verschieden. Gesättigte Räume auch über der Wolke scheinen nur bei Fnb vorzukommen. Das Material von Friedrichshafen mag also gelegentlich zu geringe Höhen enthalten, in einzelnen unklaren Fällen wurden die betreffenden ganzen Aufstiege ausgeschieden, da eine Berücksichtigung der sicher ermittelten Grenzen allein ein falsches Bild der vertikalen Verteilung abgegeben hätte. Systematische Fehler besonders bezüglich Erfassung aller möglichen Wetterlagen dürften dabei nicht entstanden sein.

In Wolken mit sehr hohem Wassergehalt tritt leicht Beschlag auf. Bei den hier verwendeten Hygrometern mit Einzelhaaren bildet sich aber keine zusammenhängende Wasserhaut, die den Zutritt des Feuchtestroms zu den Zellen verhindern könnte, das Wasser setzt sich stets in einzelnen feinen Tröpfchen an¹⁾, die gelegentlich zu größeren zusammenfließen und bei Erschütterungen abfallen. Versuche über die Änderung der Reaktionsfähigkeit haben gezeigt, daß selbst bei starkem Tropfenbeschlag bei Feuchteänderungen Beginn und Einstelldauer gegenüber Hygrometern mit trockenen Haaren unverändert bleiben²⁾. Es ist demnach auch bei dichten Nimbuswolken bei den Friedrichshafener Aufstiegen mit einer ziemlich sicheren Anzeige der Wolkengrenzen zu rechnen. Die Ventilation ist von untergeordneter Bedeutung für die Reaktionsgeschwindigkeit der Haare (5, S. 266), man wird also in der Nähe der Gipfelhöhe eines Fesselballonaufstieges, wo die Vertikalgeschwindigkeiten gering sind, ebenfalls mit zuverlässigen Angaben rechnen können.

c) Bezeichnung der Wolkenformen.

Die Benennung der verschiedenen Wolkenformen wird stets trotz eingehender Definitionen und reichhaltigen Bildmaterials mit der Erfahrung und Einstellung des jeweiligen Beobachters wechseln. Dies erschwert den Vergleich verschiedener Stationen miteinander und kann die Homogenität der Reihe einer einzelnen Station beeinflussen. Wie schon W. Pepler hervorhebt (15) wird sich beispielsweise der Aerologe eine Bezeichnungsweise aneignen, die sich in erster Linie aus dem ständigen Vergleich mit dem aerologischen Befund entwickelt hat. Größere Unterschiede finden sich naturgemäß besonders zwischen den Benennungen des Wetterfliegers und denen des Bodenbeobachters. Wegen der Verschiedenheit der Standpunkte werden z. B. Altocumulus- und Stratocumulus-Formen verschieden angesprochen; für den Bodenbeobachter ist die scheinbare Größe der Strukturelemente maßgebend (2). Auffallend oft findet man bei Wetterfliegern die Bezeichnung „Stratus“ für höhere Schichtwolken, die anscheinend teils dem Nimbostratus-, teils dem Altostratus- oder Altocumulustyp angehören. Ferner werden der rasche Wechsel der Perspektive, der Einblick in den vertikalen Aufbau und der Anblick der oberen Wolkengrenze häufig zu einem anderen Urteil führen, als das Aussehen der Basis allein. Für den Bodenbeobachter wird es hingegen oft schwierig sein, die Übereinanderlagerung mehrerer Schichten richtig zu erkennen; der Hintergrund, auf den er die unterste projiziert, kann zu einer falschen Beurteilung ihrer Struktur, Dichte und Ausdehnung führen. Die Bestimmung der Wolkenformen wird überdies von der momentanen Beleuchtung der Wolkenoberflächen beeinflusst werden: Beobachtet man z. B. vom Boden aus eine stratusartige Schichtwolke in den frühen Morgenstunden kurz vor Sonnenaufgang, wenn sie von den roten Strahlen der horizontnahen Sonne von unten her beleuchtet ist, so wird man einen außerordentlichen Strukturreichtum feststellen, der nachher in der allgemeinen Tagesbeleuchtung wieder völlig verschwindet.

Weitgehende Übereinstimmung der Beobachter in der Beschreibung des Wolkenhimmels wird man erst erwarten dürfen, wenn sie alle über eine gewisse Flugerfahrung verfügen, in der ihr Urteil für den Wolkenanblick vom Boden aus geschärft ist, auf den sich die synoptische Meteorologie in erster Linie beziehen muß.

In den für Friedrichshafen verwendeten Zeitraum 1928 bis 1937 fällt die Herausgabe des neuen Wolkenatlasses (am 1. 3. 1930 wurden die neuen Wolkenbezeichnungen in den Internationalen Wetterschlüssel eingeführt). Von seinem Erscheinen an wurde hier besonderer Wert auf die Bezeichnung der Arten und Unterarten im Anschluß an die dort gegebenen Beschreibungen und Abbildungen gelegt. In der vorliegenden Untersuchung ist außer der Einteilung nach Gattungen lediglich eine Unterscheidung von Translucidus- und Opacus-Arten getroffen. Da in den früheren Protokollen außer der bloßen Wolkenbezeichnung gewöhnlich eine ins Einzelne gehende Beschreibung der Formen vorliegt, war es nicht schwierig, die genannte Einteilung ziemlich eindeutig auch auf die älteren Beobachtungen auszudehnen. Dabei war besonders die früher sehr weitgehend verwendete Bezeichnung „Nimbus“ auszuscheiden.

Man ist heute bestrebt, die im Anschluß an die frühere Klassifikation beibehaltene Bezeichnung „Nimbostratus“ auf die eigentliche Eiswolke, den „Regner“ zu beschränken; auf das vorliegende Material konnte diese Beschränkung nicht angewandt werden, da der Bodenbeobachter entsprechende Entscheidungen

¹⁾ Dies mag damit zusammenhängen, daß die Haare zur Verringerung der Trägheit (Saussure) nicht vollständig entfettet werden.

²⁾ Auch hierin gehen die Erfahrungen auseinander (6, S. E 22), vermutlich spielt die Anordnung der Haare eine maßgebende Rolle.

nicht getroffen hatte, auch häufig wohl nicht in der Lage dazu gewesen wäre: Ein so definierter Ns ist in vielen Fällen verdeckt durch tiefere Schicht- oder Fractowolken, wenn er nicht überhaupt ohne deutliche Grenze in darunterliegende Wolkenmassen übergeht (vgl. 23). Es ist daher für das Folgende die Bezeichnung „Ns“ des jeweiligen Bodenbeobachters vorherrschend für alle die Wolken beibehalten worden, deren Untergrenze Stratuscharakter zeigte, deren bedeutender vertikaler Aufbau mit oder ohne Unterbrechungen in die Eisregion hineinragte und die während der Beobachtung dauernd oder zeitweise nennenswerten Niederschlag lieferten. Die dabei statistisch miterfaßten höheren Wolken dieser Art, deren Niederschlag übrigens in den meisten Fällen nicht zum Boden gelangt, dürften wohl im allgemeinen mit der regenerierenden Schicht identisch gewesen sein.

Manche Übergangswolkenformen lassen zwei verschiedene Benennungen zu oder sind in den Protokollen von zwei Beobachtern verschieden bezeichnet worden. Sie wurden dann in der Statistik für beide Arten geführt, bei Zusammenfassung aller Wolken aber natürlich nur einfach gezählt.

d) Das Beobachtungsmaterial.

Von einer Nachprüfung des Schwankungsbereiches der einzelnen Häufigkeitszahlen wurde Abstand genommen. Ein gewisses Kriterium für die Zuverlässigkeit einer statistischen Verteilung ergibt der Vergleich mit einer Teilzusammenfassung (1931—1935). Soweit er durchgeführt werden konnte, finden sich die im nachstehenden besprochenen Wesenszüge im Teil- und Gesamtmaterial in gleicher Weise vor.

Die Wahl der Intervallbreite richtet sich außer nach der zu erwartenden Schichtung nach der Anzahl der Messungen; bei einzelnen Wolkenarten geringerer Häufigkeit sind daher 200-m-Stufen benutzt worden, für Zusammenfassungen aber und einzelne in größerer Zahl vorhandene tiefe Wolken 100-m-Stufen. Im folgenden sind fast ausschließlich die Ergebnisse nach 200-m-Stufen wiedergegeben, da sie das Wesentliche erkennen lassen. Ein Ausgleich nach dem Schema $\frac{a + 2b + c}{4}$ schien unbedenklich; über die Realität der

dadurch herausgehobenen besonderen Merkmale mag letzten Endes der Vergleich mit andern Ergebnissen entscheiden. Sie halten sich allerdings im allgemeinen innerhalb des Schwankungsbereichs der einzelnen Häufigkeitszahlen; zur hinreichenden Reduktion desselben müßte das Material wesentlich umfangreicher sein.

Es umfaßt, wie bereits erwähnt, die Fesselaufstiege der Jahre 1928 bis 1937 zum Frühtermin. Zur Erweiterung wurden für die unteren Wolkengrenzen Pilotballonbeobachtungen desselben Zeitraums und verschiedener Tagestermine herangezogen, die zur Orientierung über den täglichen Gang dienen sollen. Sie sind ergänzt durch einige gleichzeitige nephoskopische Messungen, soweit diese sich an Hand der vertikalen Windverteilung eindeutig nach Höhen einfügen ließen. Die Frage der Schichtung wurde ferner am Verhalten der relativen Feuchtigkeit geprüft. Schließlich wurde das Material der Fesselaufstiege zur Ausdehnung der Betrachtungen auf den ganzen Tagesverlauf und Untersuchung besonderer Fragen durch eine Serie Früh- und Nachmittagsaufstiege aus den Jahren 1915—1918 und Beobachtungen von Berggipfeln aus ergänzt. Abschließende Betrachtungen gelten dem Zusammenhang zwischen Wolkenhäufigkeit und Bedeckung sowie der Frage der „Wolkenbereitschaft“.

2. Relative Häufigkeit und Vorkommen der einzelnen Wolkenarten.

Über relative Häufigkeit und Vorkommen der einzelnen Wolkenarten in den Morgenstunden gibt am besten die aus der Fesselaufstiegsmethode gewonnene relative Häufigkeit der Wolkengrenzen Aufschluß. Unter „relativer Häufigkeit“ einer Wolkenart soll dabei im Folgenden die Zahl der Fälle verstanden sein, in denen der Flugkörper in 1000 Aufstiegen im Anstieg eine so zu kennzeichnende Wolke durchflogen hat; das „Vorkommen“ sei die Zahl der Fälle unter 1000 Beobachtungen, in denen eine solche Wolkenart überhaupt vorhanden sein konnte, es ist durch den Quotienten aus relativer Häufigkeit und mittlerer Bedeckungszahl gekennzeichnet.

Ob man nun bei der Auszählung der Wolkengrenzen von den oberen oder unteren ausgeht, spielt eine geringe Rolle, da die Schichtdicken — ausgenommen bei Ns und Cu — im allgemeinen nicht groß sind. Die in Tabelle 1 mitgeteilten Werte umfassen die Obergrenzen, ergänzt durch die Untergrenzen derjenigen Wolken, deren Obergrenzen nicht genau bestimmbar waren oder nicht erreicht worden sind. Da — wie erwähnt — alle Wolken erfaßt sind (die vom Boden aus nicht sichtbaren indirekt), dürften die Werte die wirklichen Verhältnisse ziemlich gut wiedergeben.

Spalten 1—3 geben Aufschluß über die relative Häufigkeit der einzelnen Wolkenarten der zugrunde gelegten Klassifikation bis zu einer Höhe von 6000 m, getrennt nach Jahreshälften und Jahr. In der Zusammenfassung aller Wolken sind noch einige enthalten, die in der gegebenen Einteilung nicht ohne Zwang unter-

Tabelle 1.
Relative Häufigkeit der einzelnen Wolkenarten und prozentualer Anteil an der Gesamtwolkenzahl.

| | Fesselaufstiege bis 6000 m | | | | | | Piloten (Vormittag) bis 6000 m | | | | | |
|-----------------------|----------------------------|------------|------------|---------------|-----|-----|--------------------------------|------------|------------|---------------|-----|-----|
| | Relative Häufigkeit (‰) | | | Anteil (%) | | | Relative Häufigkeit (‰) | | | Anteil (%) | | |
| | W | S | J | W | S | J | W | S | J | W | S | J |
| Nebel | 162 | 21 | 83 | 16 | 2 | 8 | — | — | — | — | — | — |
| St | 260 | 131 | 187 | 26 | 14 | 19 | 108 | 41 | 62 | 13 | 6 | 8 |
| Fnb | 41 | 50 | 46 | 4 | 5 | 5 | 84 | 56 | 62 | 10 | 8 | 8 |
| Ns | 152 | 139 | 144 | 15 | 14 | 14 | 100 | 103 | 103 | 12 | 15 | 14 |
| Cu | 25 | 73 | 54 | 3 | 8 | 5 | 9 | 13 | 12 | 1 | 2 | 2 |
| Sc op | 112 | 115 | 114 | 11 | 12 | 12 | 144 | 129 | 134 | 17 | 19 | 18 |
| Sc tra | 81 | 60 | 69 | 8 | 6 | 7 | 69 | 53 | 57 | 8 | 8 | 8 |
| Ac op | 74 | 144 | 118 | 7 | 15 | 12 | 64 | 75 | 71 | 7 | 11 | 10 |
| Ac tra | 93 | 229 | 185 | 10 | 24 | 19 | 158 | 124 | 130 | 18 | 18 | 18 |
| As | 75 | 111 | 103 | 8 | 12 | 10 | 76 | 58 | 62 | 9 | 8 | 8 |
| Ci | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 19 | 14 | 15 | 2 | 2 | 2 |
| Alle Wolken | 986 | 962 | 997 | 100 | 100 | 100 | 860 | 692 | 733 | 100 | 100 | 100 |

zubringen gewesen wären. Spalten 4—6 zeigen den prozentualen Anteil der einzelnen Wolkenarten an der gesamten Wolkenhäufigkeit (einige Wolken doppelt benannt).

Der Aufstellung sind zum Vergleich zunächst die aus den Frühbeobachtungen der Pilotaufstiege gewonnenen Werte unter Weglassung der oberhalb 6000 m liegenden Anteile gegenübergestellt. Tabelle 2 schließlich umfaßt das gesamte Pilotaufstiegsmaterial.

Tabelle 2. Relative Häufigkeiten
sämtlicher mit Piloten gemessener Wolken.

| | Relative Häufigkeit (‰) | | | Anteil (%) | | |
|-----------------------|----------------------------|-----|-----|---------------|-----|-----|
| | W | S | J | W | S | J |
| St | 70 | 27 | 42 | 8 | 4 | 5 |
| Fnb | 57 | 40 | 46 | 6 | 5 | 6 |
| Ns | 64 | 63 | 63 | 7 | 9 | 8 |
| Cu | 19 | 32 | 28 | 2 | 4 | 4 |
| Sc op | 111 | 100 | 104 | 12 | 14 | 13 |
| Sc tra | 54 | 44 | 47 | 6 | 6 | 6 |
| Ac op | 63 | 66 | 65 | 7 | 9 | 8 |
| Ac tra | 119 | 104 | 108 | 13 | 14 | 14 |
| As | 111 | 70 | 83 | 12 | 10 | 11 |
| Ci | 227 | 161 | 176 | 25 | 22 | 22 |
| Alle Wolken | 917 | 735 | 787 | 100 | 100 | 100 |

Eine Übereinstimmung ist keinesfalls zu erwarten. Der Vergleich hat vielmehr gerade den Zweck, besondere Verhältnisse weiter aufzuklären und eine Abschätzung der wirklichen Verhältnisse zu ermöglichen. Durch die Pilotbeobachtungen wird ja nur eine Auswahl von Wolkenverteilungen erfaßt, die zum Teil durch das Bestreben bedingt ist, möglichst hochreichende Windmessungen zustandezubringen. Wenn aus diesem Grund z. B. unterbrochene Wolken Schichten seltener erfaßt werden, als ihrer wirklichen relativen Häufigkeit entsprechen würde, so wird doch wie erwähnt durch nephoskopische Messungen wiederum ein gewisser Ausgleich geschaffen. Weitere Einflüsse auf die Auswahl, wie Niederschlag, tiefe Wolken, Sicht, sollen bei Betrachtung der einzelnen Wolkenarten zur Sprache kommen. Hier sei nur noch zuvor erwähnt, daß an den Wolkenbenennungen und -beschreibungen anlässlich Pilotbeobachtungen eine ziemlich große und wechselnde Beobachterzahl meist meteorologischer Hilfskräfte beteiligt war, die allerdings durch häufige praktische Unterweisung gleichsinnig geschult worden waren. Die Beobachtungen während der Fesselaufstiege hingegen sind von nur zwei Meteorologen durchgeführt worden.

Trotz dieser Verschiedenheiten aus methodischen und personellen Gründen zeigt sich eine bemerkenswerte Übereinstimmung z. B. in dem starken Hervortreten der Ns, Sc op und Ac tra gegenüber den Fnb, Sc tra und Ac op in beiden Jahreshälften.

Stratus und Nebel. Sie stellen im Winter die bei weitem vorherrschende Wolkenart dar, die überwiegend das Ergebnis der Wärmeausstrahlung bei antizyklonaler Wetterlage ist, in selteneren Fällen „Luft-

massenwolke“ (22). Die winterlichen St-Decken sind meist von großer Beständigkeit und überdauern auch Perioden, in denen die Ausstrahlung durch höhere Wolkendecken stark herabgemindert ist, bis ein radikaler Witterungsumschwung die Bodenschicht, der sie angehören, wegführt. In welchen Fällen sich Nebel, in welchen sich St bildet, ist noch nicht hinreichend bekannt; zum Teil hängt es von der Mächtigkeit der stagnierenden Bodenluftmasse ab, zum Teil machen sich Einflüsse des Sees bemerkbar. Die nördliche Seehälfte zeichnet sich jedenfalls gegenüber andern Gegenden Süddeutschlands derselben Höhenlage nicht durch besondere Nebelhäufigkeit aus, wie dies gewöhnlich vermutet wird.

Das Verhältnis beider Wolkenarten beträgt:

| | W | S | J |
|--------------------|-----|-----|-----|
| St/Nebel | 1.6 | 6.2 | 2.3 |

Das Verhältnis Winter zu Sommer jeder Art:

| | Nebel | St | Nebel + St |
|---------------|-------|-----|------------|
| W/S | 7.2 | 2.0 | 2.8 |

Die Bedingungen für Nebelbildung sind also fast ausschließlich im Winter gegeben, während St auch im Sommer in den Morgenstunden noch im Durchschnitt so häufig auftritt als die anderen hier unterschiedenen Wolkenarten höherer Schichten.

Vergleicht man die Nebelhäufigkeit in den Morgenstunden über dem See mit der Häufigkeit der Nebeltage (bezogen auf 1000 Tage) einiger Uferorte nach Tabelle 3 (8), so zeigt sich, wenn man von den extremen Fällen Kreuzlingen und Lindau absieht, daß der See im Winter nebelreicher, im Sommer nebelärmer als die Ufergebiete ist, im Jahresdurchschnitt nahezu gleich. Die Nebel sind also in beiden Jahreszeiten nicht gleichmäßig verbreitet.

Tabelle 3¹⁾.

| | W | S | J |
|---------------------------|-------|------|-------|
| Mainau | 137 | 52 | 94 |
| Meersburg | 162 | 53 | 107 |
| Friedrichshafen | 122 | 26 | 74 |
| (Lindau) | (98) | (9) | (54) |
| Bregenz | 127 | 25 | 76 |
| (Kreuzlingen) | (234) | (86) | (160) |
| See (Aufstiege) | 162 | 21 | 83 |

Vorkommen und Häufigkeit des St dürften in den eigentlichen Wintermonaten nahezu übereinstimmen, da zu dieser Zeit die St-Decken sehr ausgedehnt sind. Im Frühjahr und Herbst dagegen sind sie zeitlich und räumlich meist stark begrenzt.

Bei solchen vom täglichen Gang der Strahlung besonders abhängigen Wolkenarten — auch der Ac tra wird sich als solche erweisen — ist für den Vergleich Winter: Sommer die Wahl der Beobachtungstermine von besonderer Bedeutung. Sie lagen im Sommer durchschnittlich etwas nach, im Winter etwas vor Eintritt der Hauptwolkenentwicklung, in den Übergangsjahreszeiten etwa in zeitlicher Übereinstimmung. Mit Rücksicht auf eine über die Aufstiegszeit hinausreichende Lebensdauer darf man demnach die Sommerhäufigkeiten als dem Frühmaximum entsprechend ansehen, während die Winterhäufigkeiten demgegenüber noch etwas zu gering bemessen sein dürften.

Sieht man von den lokalen St-Bildungen über dem Schweizer Ufer und am Gebirge ab, so wird man das Verhältnis der Vorkommen (die Bedeckungszahlen der ganz tiefen Wolken variieren zu stark mit dem Beobachtungsort) mit $W/S \approx 3/2$ abschätzen dürfen.

Da über St und Nebel nur selten, meist im Übergangsgebiet zur Vorderseite einer Zyklone Wolken mittlerer Höhe anzutreffen sind, werden diese Wolken im Pilotmaterial hauptsächlich im Winter mit größerer relativer Häufigkeit erscheinen.

Nimbus, Fractonimbus. Ns steht bezüglich seiner Häufigkeit den Opacus-Formen vor allem des Sc und dem As nahe; offenbar sind auch Übergangsformen zu diesen Arten gelegentlich noch mit Ns bezeichnet worden. Vergleicht man Sommer- und Winterwerte, so findet man, daß beim Ns im Gegensatz zu den genannten Wolkenarten die Winterhäufigkeit überwiegt. Dies steht in Einklang mit der größeren Neigung zu Niederschlag aus Nimbuswolken in den Vormittagsstunden des Winterhalbjahrs (10, S. 354). Nach dem Pilotmaterial wird dieses Resultat scheinbar nicht bestätigt, es zeigt auch geringere Häufigkeiten an; dies rührt zum Teil daher, daß von einer gewissen Regenintensität ab Pilotbeobachtungen nicht mehr möglich

¹⁾ Die Zahlen entstammen Beobachtungsreihen verschiedener Länge und verschiedener Zeiträume.

sind, bei den im Winter ziemlich häufigen Schneefällen aber gewöhnlich ganz ausfallen müssen. Die Niederschlagsverhältnisse stellen allerdings wohl nicht das einzige Auswahlprinzip dar.

In der Annahme, daß die relativen Häufigkeiten nach Fesselaufstiegen den wirklichen Verhältnissen am nächsten kommen, sei hieraus das Verhältnis zwischen Fnb und Ns ermittelt:

Tabelle 4.

| Fnb/Ns | W | S | J |
|-----------------------------|------|------|------|
| relat. Häufigkeit | 0,27 | 0,36 | 0,32 |
| Vorkommen. | 0,6 | 0,8 | 0,7 |

Da die Bedeckung mit Fnb meist zeitlich und örtlich stark wechselt und in den Protokollen nicht immer getrennt notiert worden ist, konnte das Verhältnis der Vorkommen nur roh abgeschätzt werden. Obige Zahlen enthalten die Annahme einer mittleren Bedeckung des Fnb von 5/10 und ergeben dann, daß Ns im Jahresdurchschnitt noch in 20 bis 30% seines Vorkommens Fnb-frei ist, was auch etwa den direkten Beobachtungen entspricht.

Bemerkenswert ist, daß Fnb im Winter nach Piloten rund doppelt so häufig erscheint, als nach Fesselaufstiegen, während im Sommer nahezu kein Unterschied zu finden ist. Abgesehen von den ziemlich seltenen Stauwetterlagen herrscht bei Ns überwiegend WSW-Wind, d. h. die Luftmassen haben einen 12—15 km langen Weg über die Wasserfläche zurückgelegt. Nun sind im Winter durch die wesentlich negative Temperaturdifferenz zwischen Land und See die Bedingungen für Wasserdampf- und Wärmeaufnahme günstiger, so daß die Wolkenbildung durch Gradientverstärkung und Senkung des Kondensationsniveaus gefördert wird. Dies hat eine in den Wintermonaten verstärkte Zunahme der Fnb-Bildung gegen die Nordufer hin zur Folge, die das Verhalten der relativen Häufigkeit erklärt.

Cumulus. Es handelt sich hier ausschließlich um Cu-Wolken der frühen Morgenstunden, die nicht durch den Gang der Bodenerwärmung ausgelöst worden sind, sondern ihre Entstehung meist Konvergenzen, ihren Auftrieb einer schon vorhandenen Instabilität verdanken. Die Bedingungen hierfür sind über dem See, und zwar besonders im Sommer, günstig, wobei zu berücksichtigen ist, daß die Ausbildung von Konvergenzen vorwiegend zur Zeit der Aufstiege vor sich geht.

Stratocumulus, Altocumulus. Zunächst fällt bei der relativen Häufigkeit dieser Wolkengruppen auf, daß das Verhältnis opacus/translucidus bei Sc > 1, bei Ac < 1 ist und zwar bei Fesselaufstiegen wie bei Piloten. Berücksichtigt man, daß das Bestimmungsmerkmal ungeachtet der Höhe der Wolke die scheinbare Größe der Elemente ist, so wird man daraus lediglich den Schluß ziehen dürfen, daß die den „Sc“ kennzeichnende Größe bei den dichten, geschlossenen Schichtenformen häufiger erreicht ist als bei den Wolkenbänken mit getrennten Elementen.

Faßt man die tra-Gruppen einerseits, die op-Gruppen andererseits zusammen, so zeigt sich folgende Verteilung:

Tabelle 5.

| | | Sc op + Ac op | Sc tra + Ac tra |
|---------------------|---|---------------|-----------------|
| Fesselaufstiege . . | W | 186 | 174 |
| | S | 259 | 289 |
| | J | 232 | 254 |
| Piloten | W | 208 | 227 |
| | S | 204 | 177 |
| | J | 205 | 187 |

Die Unterschiede sind wesentlich geringer als bei Gegenüberstellung der einzelnen Arten, doch zeigt sich deutlich, daß noch Verschiedenheiten vorhanden sein müssen, die durch Gebundenheiten der Beobachtungsmethoden bedingt sind.

Auffallend ist zunächst, daß der Sc op im Pilot-Material stärker vertreten ist und dort auch ein Überwiegen der Winterwerte zeigt. Man könnte an die obenerwähnte scheinbare Erhöhung der relativen Häufigkeit wegen des Auftretens gerade von Sc op über St bei Abbau von Hochdruckwetterlagen denken. Ein weiterer Grund wäre ferner in der Unsicherheit bei Unterscheidungen von Sc und Ac zu suchen.

Ac op zeigt nach Fesselaufstiegen eine starke Zunahme zum Sommer, was durch Piloten nicht bestätigt wird. Zunächst ist zu berücksichtigen, daß die Winterwerte bei beiden Methoden vermutlich zu knapp erscheinen, denn einerseits nimmt die Zahl der Fesselaufstiege mit größeren Höhen im Winter sehr viel rascher ab als im Sommer, wobei die Wetterlagen mit hohem Ac op besonders zurücktreten, andererseits sind die Höhen der Piloten durch die größere Häufigkeit tiefer Wolken stärker beeinflusst. Der wahre Winterwert dürfte aber auf alle Fälle hinter dem Sommerwert bei Fesselaufstiegen zurückbleiben — (bei Piloten

ist auch dieser stark gemindert, da Ac op häufig verdeckt oder in doppelter Schicht vorhanden ist) — der als eine Folge des allgemein größeren Wolkenreichtums mittlerer Höhenintervalle durch die erhöhte Konvektion anzusehen ist.

Die Bedingungen des Auftretens von Ac tra sind verwickelter, wie das eigentümliche Verhalten der Häufigkeitszahlen dieser Wolke zeigt. Hier wirkt eine ganze Reihe von Momenten zusammen, deren einzelne Einflüsse nicht leicht bestimmbar sind. Einerseits ist Ac tra eine Erscheinungsform ausgesprochenen Vorderseiten- und Rückseitenwetters mit jeweils typischem Aussehen; dann fehlen gewöhnlich tiefere Wolken fast ganz, so daß er bei Pilotbeobachtungen in den meisten Fällen der Höhenbestimmung zugänglich ist, während Fesselaufstiege ihn oft nicht erreichen, da die Windverhältnisse bei solchen Wetterlagen mit der Höhe stark wechseln. So erklärt sich zum Teil das Überwiegen der relativen Häufigkeit des Winterhalbjahrs bei Piloten über diejenige bei Fesselaufstiegen, die überdies noch — wie bei Ac op — der geringeren Zahl hoher Aufstiege wegen kleiner erscheint.

Ac tra tritt aber bei Rückseitenwetter nicht bloß als Restwolke allein auf, sondern meist im Zerfallstadium mächtiger dichter Wolkenmassen in einzelne Schichten als deren oberste; seine Feststellung ist dann nur im Zusammenhang mit der Registrierung einer typischen Inversion mit starker Feuchteabnahme möglich. Solche Fälle sind im Sommer durchaus nicht selten.

Weiterhin sei bezüglich seines häufigeren Erscheinens im Fesselaufstiegsmaterial auf die besonders ihm eigene Neigung zur Doppelschichtbildung verwiesen (21) — die untere Schicht ist dann oft ein As-Schleier —.

Für die höhere Sommerhäufigkeit in den Morgenstunden spricht — ähnlich wie bei Ac op — sein Auftreten als Restform nach nächtlichen „Wärmegewittern“.

Am entscheidendsten aber scheint sich auf die Häufigkeitszahlen der tägliche Gang auszuwirken, dem diese Wolkenart — abgesehen von den bodennahen Wolken — besonders stark unterliegt. Während die Pilotbeobachtungen im Sommer zwischen 5^h und 6^h durchgeführt wurden, fanden die Fesselaufstiege zwischen 6^h und 8^h statt, wo auch nach den übrigen Bodenbeobachtungen translucidus am häufigsten notiert ist. Im Winter lag die Zeit der Fesselaufstiege durchschnittlich zwischen 6½^h und 8½^h, während Piloten in den eigentlichen Wintermonaten gewöhnlich erst im Anschluß daran gemacht werden konnten. Das auffallende reziproke Verhalten von W/S bei Pilot- und Fesselaufstiegen findet danach leicht eine Erklärung: Der Abkühlung der zunächst noch wenig feuchten Dunstschichten im Ac-Niveau durch Ausstrahlung folgt eine thermodynamische, die dann zur Wolkenbildung in dünner Schicht (tra) führt; ihre Auflösung wird durch die zunehmende Einstrahlung bewirkt.

Altostratus. Unter As sind nicht nur die eigentlichen Wolken der Aufgleitvorgänge als op und tra zusammengefaßt, es sind auch alle as-artigen Schleier, die zum Teil selbständig oder als Begleiterscheinungen anderer Wolkenschichten auftreten, eingeschlossen. Auch diese Schleier sind meist, soweit sie selbständig sind, einem Tageseinfluß unterworfen, der sich in den relativen Häufigkeiten ausdrückt wie beim Ac tra. Eine Abschätzung weiterer Einflüsse ist hier der starken Zusammenfassung wegen nicht möglich.

Cirrus. Nach dem Ergebnis der Pilotbeobachtungen sind Ci im Höhenintervall 4000—6000 m nicht selten, das Fesselaufstiegsmaterial zeigt aber keine einzige Messung. Dies ist nur so zu erklären, daß Ci, soweit sie verdeckt aufgetreten sein mochten, als solche nicht erkannt worden sind; bei ihrem Auftreten als unverdeckte Wolken aber durch Fesselaufstiege nie erreicht werden konnten, da sie gewöhnlich im Alpenvorland stark bewegten Luftschichten angehören, die über wenig bewegten aufgleiten und somit weder dem Fesselballon, noch Drachen zugänglich sind.

Zur statistischen Erfassung der Wolken oberhalb 6000 m Höhe steht ausschließlich das Pilotmaterial zur Verfügung. Tabelle 2 (S. 7) ist aus dem gesamten Material zusammengestellt, umfaßt also auch die Mittags- und Nachmittagsmessungen. Daraus erklären sich einige Abweichungen gegen Tabelle 1 (S. 7), denn während die Frühmessungen als Vorbereitung für die Fesselaufstiege mit ziemlicher Regelmäßigkeit durchgeführt worden sind, wurde bei Mittags- und Abendmessungen eine Auswahl getroffen, sei es, daß Gründe der Flugsicherung im Vordergrund standen oder daß Untersuchungen bestimmter Wolkenformen (besonders Ci) beabsichtigt waren. So erklärt sich, daß die Häufigkeitszahlen der tiefen und mittleren Wolken zum Teil kleiner erscheinen, selbst bei Arten wie Ac tra, As, die doch auch vereinzelt oberhalb 6000 m Höhe auftreten und somit häufiger sind als Tabelle 1 es erscheinen läßt. Die relative Häufigkeit der unverdeckten Ci dürfte andererseits der erwähnten Auswahl der Messungen wegen besonders im Winterhalbjahr etwas geringer anzuschlagen sein, ist aber durch diejenige der verdeckten zu berichtigen, über deren Vorkommen sich allerdings für Friedrichshafen keine Anhaltspunkte finden lassen.

Ob das Überwiegen der Winterhäufigkeit nach dem vorliegenden Material reell ist, erscheint fraglich: Einerseits ist wohl der für Ci-Bildung günstige Temperaturbereich im Winter größer als im Sommer, andererseits treten aber auch die durch die sommerliche Gewittertätigkeit bedingten Ci-Arten im Winterhalbjahr stark zurück.

Schwerdtfeger (25) gibt eine zwei Jahre umfassende Statistik über das Vorkommen von Ci im Königsberger Gebiet¹⁾. Daraus geht zunächst hervor, daß das Vorkommen allein der unverdeckten Ci Sommer wie Winter nur wenig geringer ist als das aus Flugbeobachtungen ermittelte aller Ci, ferner daß der Sommerwert kaum höher ist als der Winterwert. Berechnet man mit Hilfe der Königsberger Angaben aus dem Friedrichshafener Material die mittleren Bedeckungszahlen, so erhält man für Winter 2.4, für Sommer 3.6.

Vorstehende Betrachtungen zeigen, in welcher Weise die Eigenarten der Meßmethoden sowie die Wahl von Zeit und Ort der Messung die Ergebnisse der relativen Häufigkeit und des Vorkommens beeinflussen können und wie sich diese Einflüsse durch Abwägen der einzelnen Momente bis zu einem gewissen Grad abschätzen lassen.

In Tabelle 6 ist der Versuch einer Näherung an die wahrscheinlichsten Werte eines mittleren Zustandes des Morgens unternommen; die Darstellung soll sich auf den Wolkenzustand über dem Bodensee beziehen und weist daher insofern eine Lücke auf, als die typischen landgebundenen Wolkenarten nicht in Erscheinung treten; im übrigen ist sie aber als vollständig anzusehen, da alle sonst möglichen Wolkentypen auf die gewählte Klassifikation entsprechend verteilt zu denken sind.

Tabelle 6. Abgeleitete Werte der relativen Häufigkeit und des Vorkommens der Wolkenarten über dem Bodensee (Prozente).

| | Relative Häufigkeit | | | Vorkommen | | |
|------------------|---------------------|----|----|-----------|----|----|
| | W | S | J | W | S | J |
| Nebel | 16 | 2 | 8 | 20 | 5 | 12 |
| St | 28 | 13 | 19 | 30 | 20 | 25 |
| Fnb | 4 | 5 | 5 | 10 | 10 | 10 |
| Ns | 15 | 14 | 14 | 15 | 14 | 14 |
| Cu | 4 | 7 | 5 | 12 | 20 | 15 |
| Sc op | 12 | 12 | 12 | 15 | 15 | 15 |
| Sc tra | 8 | 6 | 7 | 13 | 11 | 12 |
| Ac op | 12 | 15 | 14 | 15 | 18 | 17 |
| Ac tra | 15 | 22 | 20 | 25 | 35 | 30 |
| As | 12 | 12 | 12 | 14 | 14 | 14 |
| Ci | 20 | 20 | 20 | 60 | 60 | 60 |

3. Wolkenuntergrenzen.

a) Vertikale Verteilung.

Die nächste Frage gilt der Verteilung der Untergrenzen der einzelnen Wolkenarten auf den Höhenbereich; unterliegt diese Verteilung dem Gesetz des reinen Zufalls oder sind Kräfte beteiligt, die Einseitigkeiten und Schichtungen bewirken?

Die Tabelle I²⁾ zeigt die Verteilung der gemessenen Werte (n), sowie der ausgeglichenen relativen Häufigkeiten (n') auf 200-m-Intervalle für das Winter-, Sommerhalbjahr und Jahr nach dem Material aus den Fesselaufstiegen. Zur Ergänzung und, wie im vorigen Abschnitt, zur Beurteilung und Abschätzung von Erscheinungen, die lediglich in den Eigenheiten der Methoden begründet sein mögen und damit zum Teil auch indirekt von der Wetterlage abhängen, ist in den Tabellen II und III²⁾ das Material aus den Piloten in derselben Weise dargestellt; es umfaßt außer den Frühmessungen auch die Vormittags- und Nachmittagsmessungen.

Bei keiner der Wolkenarten findet man nun Verteilungen vor, die auf ein einfaches Vorwalten des Zufalles schließen ließen: Bei den tiefen Wolken z. B. liegt der wahrscheinlichste Wert der Höhe wesentlich unterhalb dem arithmetischen Mittelwert. Offenbar begegnen sich hier Einflüsse verschiedener Art und Stärke, die unabhängig oder miteinander gekoppelt den jeweiligen Verlauf der Häufigkeitskurve bedingen.

Am Verhalten des Stratus sei dies näher erläutert: Er entsteht über dem Bodensee auf verschiedene Weise, einmal als Wolke im oberen Teil der schon zuvor durch dynamische Konvektion einigermaßen homogen gewordenen, durch Ausstrahlung abgekühlten Bodenschicht. Die Höhe der unteren Wolkengrenze wird sich dann verschieden einstellen, je nachdem diese Bodenschicht ozeanischen oder kontinentalen Ursprungs ist. In anderen Fällen spielen Aufgleitvorgänge beim morgentlichen Ausgleich zwischen Land und See eine Rolle, dabei tritt auch oft St-Bildung durch Mischung an der Gleitfläche auf, worauf die häufigen netz- oder faden-

¹⁾ Tabellen 2a und b der betreffenden Arbeit.

²⁾ Die Tabellen I—III werden am Schluß der Arbeit (S. 36—40) wiedergegeben.

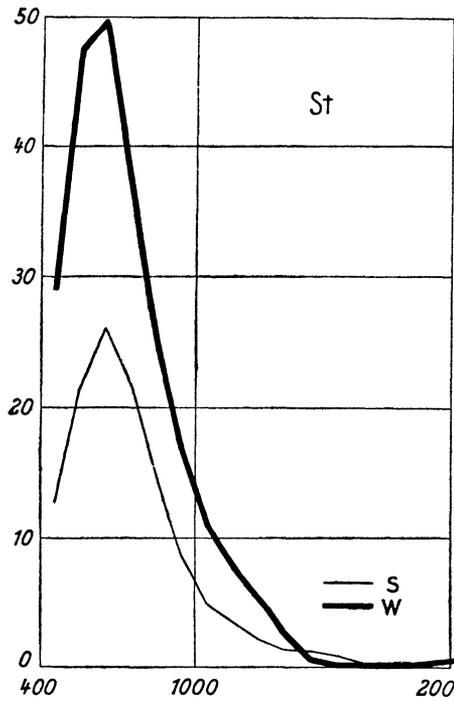


Abb. 1.

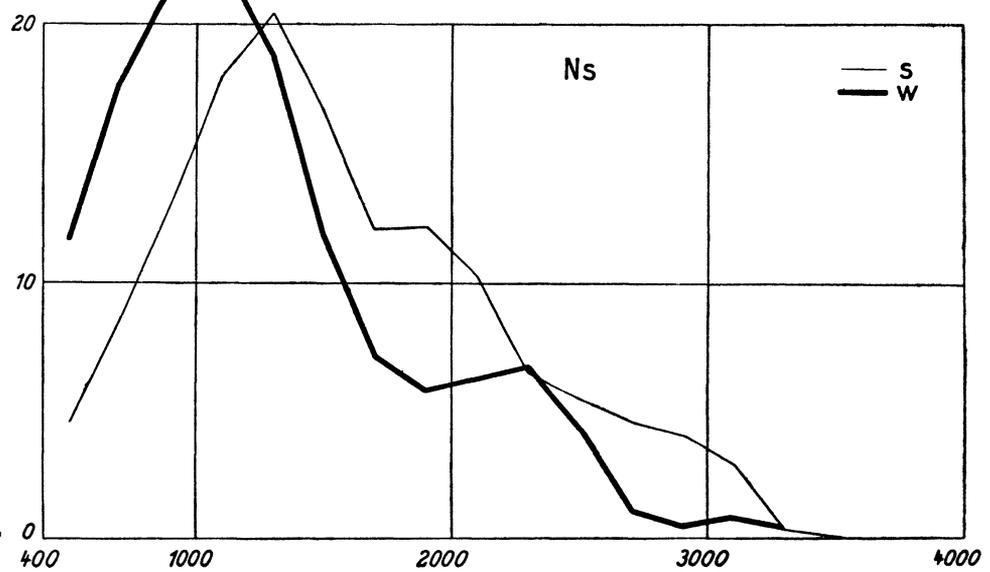


Abb. 2.

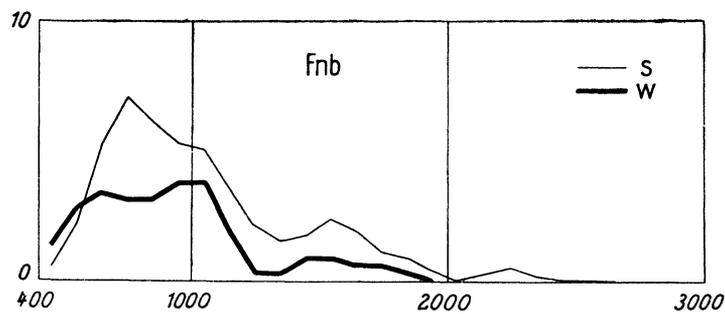


Abb. 3.

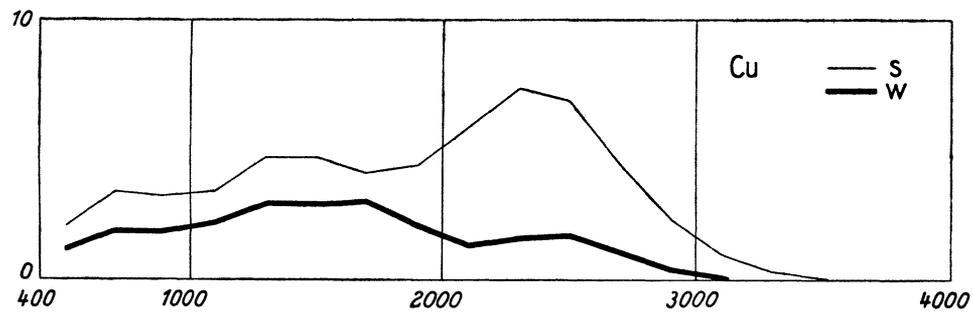


Abb. 4.

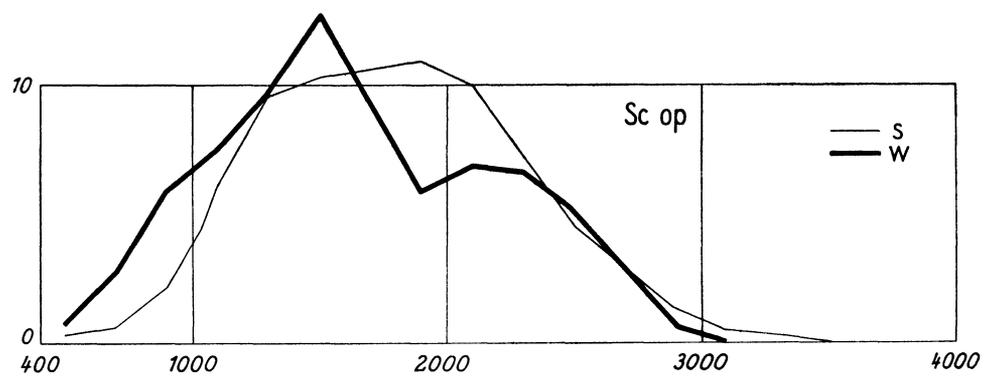


Abb. 5.

Abb. 1—5. Häufigkeitsverteilung der Wolkenuntergrenzen einzelner Wolkenarten nach Fesselaufstiegen von Friedrichshafen. Relative Häufigkeiten (‰, ausgeglichen) in 200 m — Höhenintervallen; Winter- und Sommerhalbjahr.

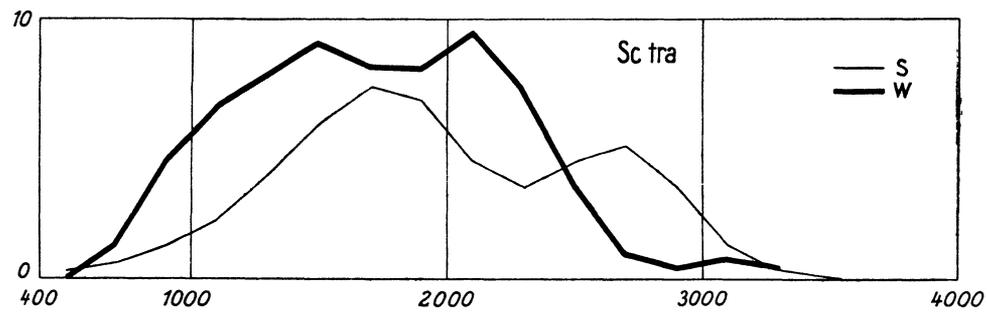


Abb. 6.

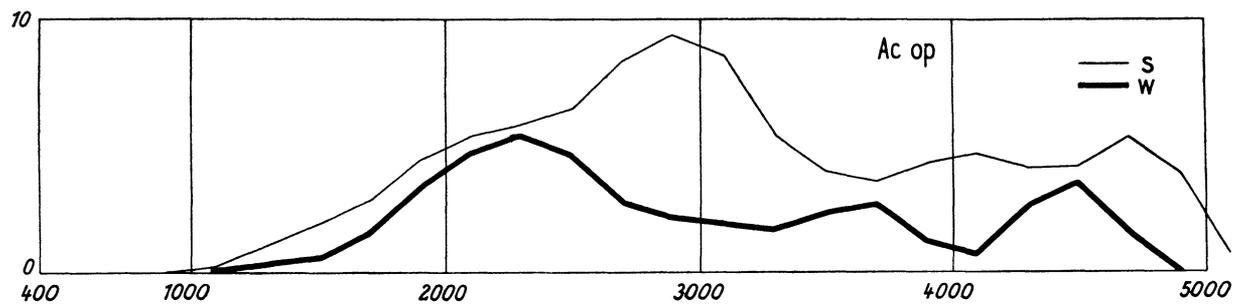


Abb. 7.

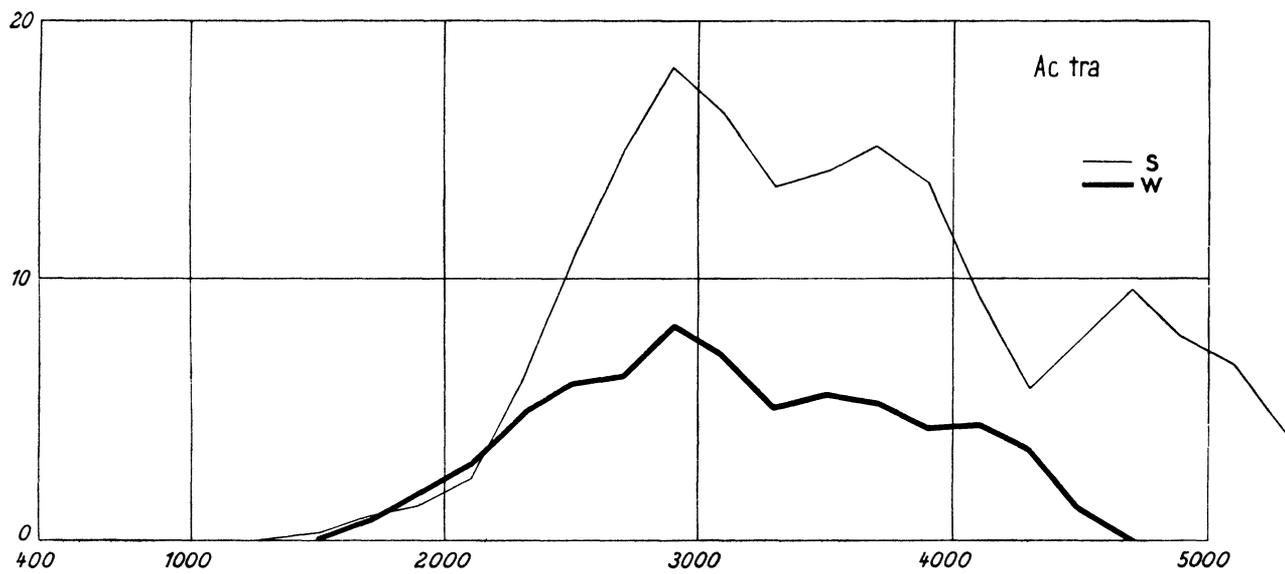


Abb. 8.

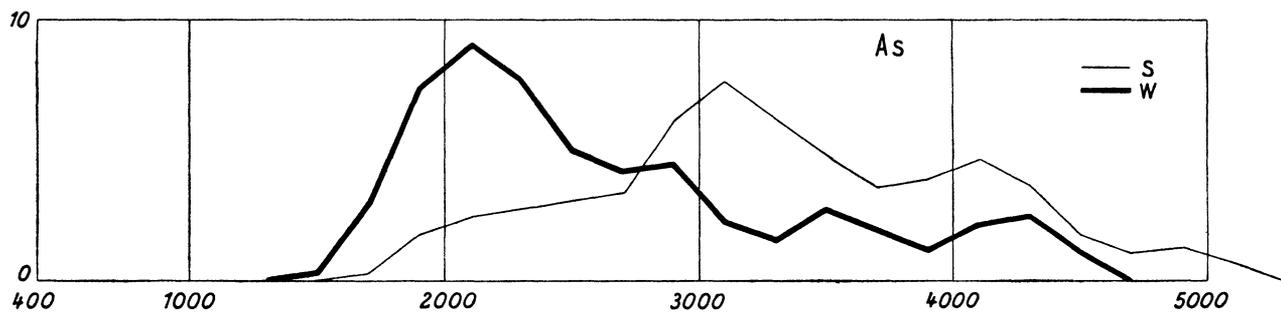


Abb. 9.

Abb. 6—9. Häufigkeitsverteilung der Wolkenuntergrenzen einzelner Wolkenarten nach Fesselaufstiegen von Friedrichshafen. Relative Häufigkeiten (‰, ausgeglichen) in 200 m — Höhenintervallen; Winter- und Sommerhalbjahr.

förmigen Entstehungsformen hinweisen. Besonders die Gleitvorgänge werden durch den vorhergegangenen nächtlichen Energieaustausch mittels Strahlung gesteuert. Manchmal überlagern sich auch beide Wolkenbildungen, Luftmassen- und Gleitwolken, zu einem Gebilde; die Trennfläche ist dann an einem Windsprung, gelegentlich auch an einer Temperaturstörung im Innern der Wolke zu erkennen.

Das Beispiel des Stratus zeigt, wie eine Wolke verschiedene voneinander unabhängige Entstehungsarten haben kann. In diesem Fall könnte man sich von jeder einzelnen vorstellen, daß sie eine fast ausschließlich von den Regeln des Zufalls bestimmte Höhenverteilung ergäbe. Im Zusammenwirken aller entsteht aber jene unsymmetrische Häufigkeitskurve (Abb. 1) mit dem glatten Verlauf und dem nach den untersten Höhenintervallen hin verschobenen Maximum.

Ein wesentlich anderes Verteilungsbild zeigt schon der Fractonimbus, der im Zusammenhang mit dem Nimbostratus betrachtet sei. Hier treten im Kurvenverlauf (Abb. 3) folgende Stellen hervor (nach 100-m-Stufeneinteilung):

Tabelle 7a.

| | | | | |
|-------|----|-----|--------|--------|
| h_w | S: | 900 | (1500) | (2200) |
| | W: | 800 | 1600 | — |

Bei Ns finden sich deutlich drei Stellen höherer Wahrscheinlichkeit (Abb. 2):

Tabelle 7b.

| | | | | |
|-------|----|------|------|--------|
| h_w | S: | 1300 | 2000 | 2800 |
| | W: | 1100 | 2200 | (3100) |

Die beiden unteren Stellen sind, wenn auch in anderer Ausprägung und zum Teil verschoben, im Material aus den Piloten wiederzufinden.

Versucht man eine sinngemäße Zuordnung der Maxima der beiden Wolkenarten zu erhalten, so kommt man auf einen mittleren Abstand von rund 700 m. Zur Klärung der Frage, ob dies auch der wirkliche mittlere Abstand des Fnb von seiner Schichtwolke sei, wurden die Einzelfälle untersucht und eine Beziehung gefunden, die in Abb. 10 dargestellt ist. Wie sich zeigen wird, spielt dieser Abstand eine noch allgemeinere Rolle.

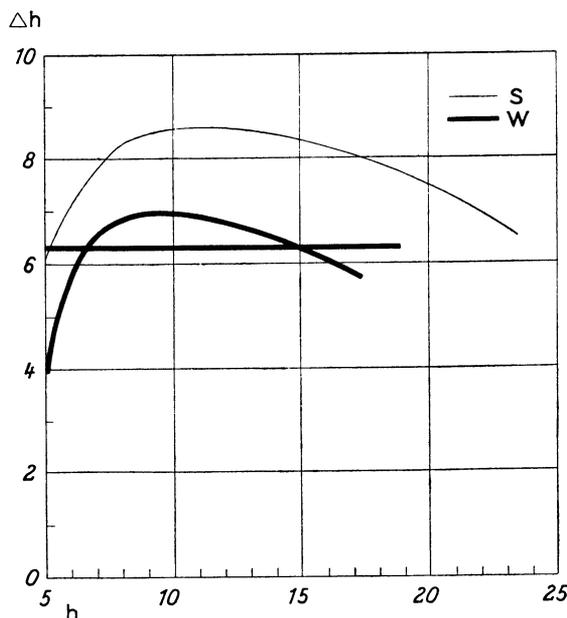


Abb. 10. Abstand (in hm) der Untergrenzen von Ns und zugehörigem Fnb in Abhängigkeit von der Höhe des Fnb; Winter und Sommer.

Bildet man das Verhältnis der jeweils als zusammen gehörig betrachteten Maxima relativer Häufigkeit von Fractus- und Schichtwolke, so erhält man (von unten nach oben):

Tabelle 7c.

| | | | |
|----|-----|-----|-------|
| S: | 0,7 | 0,4 | (0,2) |
| W: | 0,3 | 0,2 | — |

Es nimmt also mit der Höhe rasch ab, was aber für das Verhältnis der Vorkommen kaum gelten dürfte, da auch die mittleren Bedeckungszahlen des Fnb mit der Höhe erfahrungsgemäß abnehmen.

Auch bei Cumulus (Abb. 4) ist ein dreiteiliges Häufigkeitsbild Winter wie Sommer in gleicher Weise angedeutet, jedoch der geringen Anzahl der Werte wegen nicht sicher belegt.

Stratocumulus opacus (Abb. 5) und Stratocumulus translucidus (Abb. 6) zeigen jeweils zwei Maxima, und zwar beide im Winter bei 1500 m und 2100 m; bei opacus ist das erstere stark überwiegend. Im Sommer hat opacus bei 1400 m und 2000 m Häufungen (nach 100-m-Stufeneinteilung), die aber in der Zusammenfassung nach 200-m-Stufen sich unter der Verbreiterung und Abflachung eines einzigen Maximums verbergen. Translucidus zeigt hingegen ausgesprochene Doppelschichtung (1800 und 2600 m) mit deutlicher Trennung der Extreme.

Die Wesenszüge der entsprechenden aus dem Piloten-Material gewonnenen Kurven sind bei Sc op in bemerkenswerter Übereinstimmung mit dem Befund nach Fesselaufstiegen. Bei tra hingegen findet man zwar im Sommer die Doppelschichtung hier in derselben Prägung wieder, jedoch nach größeren Höhen verschoben (2200 m und 2900 m). Die Winterwerte lassen sich nur unsicher zuordnen, das dort bei 1500 m gefundene Maximum erscheint hier stark unterdrückt, das bei 2100 verbreitert, so daß sich bei 2600 m ein drittes vermuten läßt; oberhalb 3000 m ist noch ein weiteres angedeutet.

Es läßt sich hierin zunächst der Übergang zum Ac erkennen. Die Unterschiede Pilot — Fesselaufstieg zeigen ferner deutlich, in welcher Weise ein Teil der Wolken, nämlich die „verdeckten“, die mit Piloten nicht ermittelt werden, das Verteilungsbild besonders der Sc tra beeinflussen. Sowohl Sommer als Winter betrug der Anteil der ganz oder größtenteils verdeckten Sc tra-Wolken des Fesselaufstiegsmaterials 35%, diese müssen also im allgemeinen tiefer liegen. Es ist bemerkenswert, daß gerade solche Sc-Decken, unter denen sich noch

eine weitere Wolkenschicht befindet, im allgemeinen geringere Höhen aufzuweisen scheinen. Sie gehören vielfach Antizyklonal- oder Übergangswetterlagen an, man müßte also daraus schließen, daß zu Beginn eines Aufbau- oder gegen Ende eines Abbaustadiums die darunterliegenden Luftmassen häufiger zweiteilig sind.

Alto cumulus opacus (Abb. 7) zeigt im Sommer ein Hauptmaximum bei 2900 m, drei weitere Häufungsstellen sind bei etwa 2300 m, 4000 m und 4700 m zu erkennen. Sie scheinen reell zu sein, denn die Häufigkeitskurve nach Piloten stimmt in diesen Hauptzügen gut überein, nur klingt sie rascher ab.

Im Winter ist eine Häufung bei 2300 m zum Hauptmaximum entwickelt, drei weitere sind bei 2900 m (nach 100-m-Stufen), 3600 m und 4500 m mehr oder weniger deutlich. Nach Piloten findet sich auch wieder, wie beim *Sc*, dieses untere Maximum (2300 m) verkümmert, hingegen das bei 3500 m als kräftige Haupthäufung hervortretend; weitere Zuordnungen werden unsicher.

Im Sommer erscheinen bei *Alto cumulus translucidus* (Abb. 8) drei kräftige Maxima um 2900 m, 3700 m und 4700 m. Nach Piloten liegen die den beiden ersteren entsprechenden um 3200 m und 4100 m, also etwa 300 m höher, das dritte ist nur bei der 100-m-Stufeneinteilung angedeutet; es folgen noch höhere, doch sind sie der geringen Zahl der Werte wegen unsicher.

Im Winter ist wieder das tiefste Maximum (2900 m) am ausgeprägtesten, zwei höhere, 3400 m und 4200 m wenig hervorgehoben, während die letzteren beiden nach Piloten stark ausgeprägt sind, überdies noch eines bei 5500 m hinzukommt.

Auch bei *Altostratus* (Abb. 9) findet sich ein ähnliches Bild: Im Winter ist das nach Fesselaufstiegen bei 2100 m festgestellte Hauptmaximum bei den Pilotwerten stark verkümmert, im Sommer hingegen ist die Übereinstimmung gut. Bei den Fesselaufstiegsdaten klingen die Kurven oberhalb des Hauptmaximums Sommer wie Winter ab, während sie nach Piloten bis 5000 m eher ansteigen. Dies ist als Folge der Auswahl der Wetterlagen in größeren Höhen durch die Fesselaufstiegsmethode anzusehen (vergleiche S. 10).

Bemerkenswert ist hiernach einerseits, daß die Untergrenzen jeder Wolkenart bei Streuung über einen Höhenbereich von mehr als 3000 m die Tendenz zur Bevorzugung mehrerer Höhenschichten aufweisen.

Die Lage der „Schwerpunkte“ dieser Schichten und weitgehend auch ihr „Gewichtsverhältnis“ ist bei den *Opacus*-Arten nach Fesselaufstiegen und denen nach Piloten in sehr guter Übereinstimmung, so daß

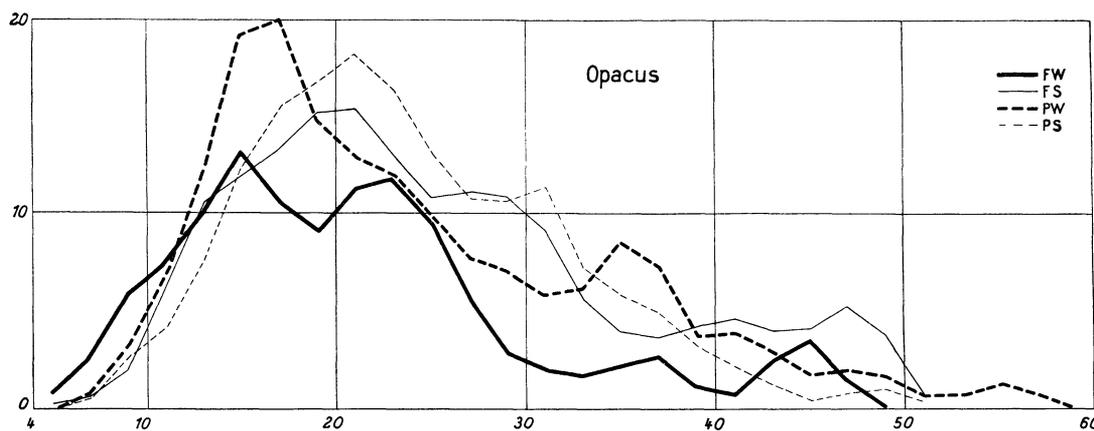


Abb. 11. Zusammenfassung der Häufigkeitsverteilungen der *Opacus*-Arten über Friedrichshafen, getrennt nach Fesselaufstieg- und Pilotbeobachtungen (F, P); Winter- und Sommerhalbjahr (W, S).

das Ergebnis als typisch angesehen werden kann. Abb. 11 veranschaulicht diesen Typ und zeigt gleichzeitig die Verschiebung zwischen Winter und Sommer.

Ganz anders verhalten sich die *Translucidus*-Arten, die in Abb. 12 zusammenfassend dargestellt sind. Hier sind es nicht die Verteilungskurven selbst, sondern die Abweichungen Fesselaufstiege — Piloten, die Sommer und Winter gewisse übereinstimmende Züge aufweisen:

1. Die Maxima der Kurven nach Piloten sind gegenüber denen nach Fesselaufstiegen zu größeren Höhen verschoben.
2. Im untersten Höhenintervall (1000—2000) bleiben die Häufigkeiten nach Piloten besonders stark hinter denen nach Fesselaufstiegen zurück.

Zunächst ist zu berücksichtigen, daß im Pilotmaterial der Tagesgang der Wolkengrenzen enthalten ist, der sich bei *tra* im Sinne der genannten Verschiebung auswirkt (vgl. Abschnitt 7, S. 25). Ferner ist zu beachten, daß *tra* vornehmlich bei zwei entgegengesetzt gerichteten Vorgängen auftritt: Einmal unter Abgleitflächen (Strahlungswolke, Restform), sodann bei Hebungen (einströmende Kaltluft, Aufgleiten). Die dem ersteren Vorgang angehörigen Wolken sind, wie bei *Sc* bereits erwähnt wurde, häufig dem Bodenbeob-

achter verdeckt, während die des letzteren gewöhnlich frei „aufziehen“. Erstere werden mit Fesselaufstiegen fast immer erreicht, letztere der Windverteilung wegen (vgl. vorhergehendes Kapitel) seltener. Offenbar spielen beide Vorgänge in allen Schichten eine Rolle, was in der Verschiebung — auch der höheren Extreme —

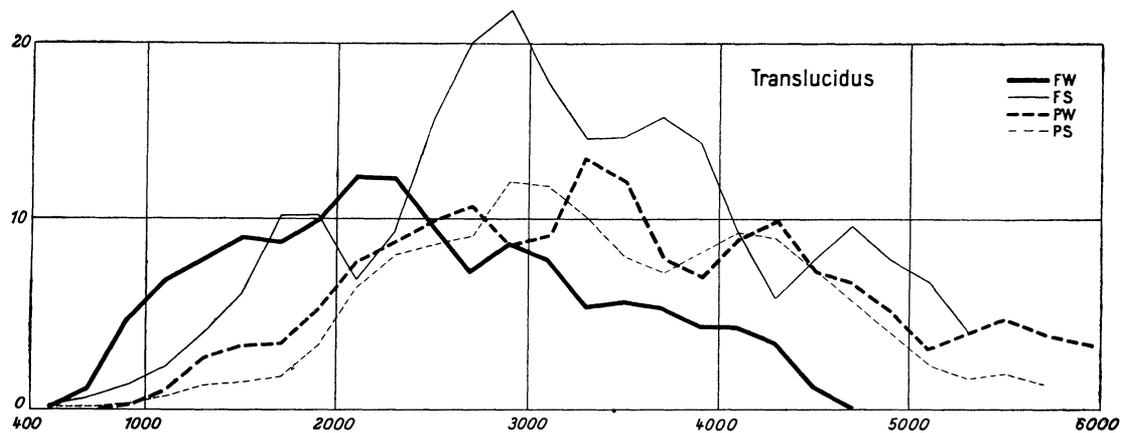


Abb. 12. Zusammenfassung der Häufigkeitsverteilungen der Translucidus-Arten über Friedrichshafen, getrennt nach Fesselaufstieg- und Pilotbeobachtungen (F, P); Winter- und Sommerhalbjahr (W, S).

zum Ausdruck kommt. Mag ihre Wirkung auf das Resultat für das unterste Höhenintervall verstärkt Geltung haben, so wird man dort doch auch einen gewissen Einfluß willkürlicher Entscheidungen (Piloten) in Rechnung stellen müssen. Bezüglich der Amplitude der Extreme ist schon im vorigen Kapitel auf den stündlichen Gang des Translucidus am Morgen hingewiesen worden.

In der Zusammenfassung aller Wolken gehen nun diese verschiedenen Häufungen keineswegs unter; einzelne Wolkenarten haben nämlich zum Teil untereinander übereinstimmende Häufungsstellen, so daß es den Anschein erweckt, als ob die entsprechenden Höhen überhaupt für Wolkenbildung bevorzugt wären. Man erhält aus dem Gesamtmaterial in großen Zügen folgendes Bild:

Tabelle 8.

| | | | | | | | | | |
|--------|--------|-----|--------|------|--------|--------|------|------|-------------|
| Winter | Fess.: | 700 | — | 2200 | (2900) | (3500) | 4200 | — | zu wenig |
| | Pil.: | — | (1500) | 2000 | (2700) | 3400 | 4200 | 4800 | 5500 (6500) |
| Sommer | Fess.: | 700 | (1300) | 2000 | 2900 | — | 3900 | 4700 | zu wenig |
| | Pil.: | — | 1500 | 2100 | 3000 | — | 4100 | 4800 | 5600 6500 |

Die untereinanderstehenden Werte von Fess. und Pil. sind zusammengehörig, während zwischen Winter- und Sommerextremen keine sichere Zuordnung möglich ist. Bis 6000 m sind demnach 7 bis 8 Hauptwolkenschichten vertreten. Es ist klar, daß die aus relativ beschränktem Material gefundenen einzelnen Verteilungsbilder und deren Zusammenfassung noch nicht die endgültigen Züge tragen, daß sich vielmehr die bisher angenommenen mit zunehmenden Beobachtungsreihen noch glätten oder schärfer prägen. Von der endgültigen Form mögen sie zum Teil nicht mehr stark abweichen, wie der Vergleich Fess.-Pil. schon vermuten läßt. Sie sollen nun früheren von W. Peppler (16) bearbeiteten Friedrichshafener Wolkenmessungen gegenübergestellt werden.

Peppler benützte ein aus Fesselaufstiegen und Piloten zusammengesetztes Material aus den Jahren 1908—1919. Man findet hinsichtlich der Form der Verteilungskurven (Jahreswerte) ausgezeichnete Übereinstimmung bei St, „nb“ (mit Ns), Fnb. Während „nb“ hier anscheinend auch (sein 2. Maximum ist stärker ausgeprägt) Sc op umfaßt, gleichen sich die Kurven des „str-cu“ und des Sc tra nach Pil. weitgehend; die Peppler'schen Werte geben demnach im wesentlichen den „unverdeckten“ Sc tra wieder. Die Verteilung des „a-cu“ ist in der Form am besten mit „Ac op + Ac tra“ nach Pil. in Übereinstimmung, die Hauptmaxima treffen hierbei auf nahezu dieselben Höhen. Auch bei As findet man ähnlich liegende Extreme. Die alle Wolken umfassende Häufigkeitskurve hat folgende Maxima:

700 (1500?) 1900 3500 3900 m,

es fehlt hier lediglich dasjenige bei 2900 m aus der Reihe 1928—1937.

Diese weitgehende formale Übereinstimmung bestätigt, daß es sich hier um Typen von Verteilungen handelt und nicht um Zufallserscheinungen, die etwa durch vorherrschende Witterungsereignisse des gewählten Dezenniums bedingt sind.

b) Mittlere Höhen.

Angesichts der mehrschichtigen Verteilung und des großen Umfangs des Höhenbereichs der meisten Wolkenarten wird der Sinn der Frage nach ihren mittleren Höhen zweifelhaft, zumal ihre wahrscheinlichsten

Höhen oft merklich davon abweichen. Man müßte zur Kennzeichnung ihrer statistischen Verteilung die Grenzen ihres Vorkommens und ihre wahrscheinlichsten Werte $h_w^i(K)$ mit ihrem jeweiligen Gewicht (K) setzen, soweit sie sich deutlich genug herausheben. Dies ist auch in einzelnen Arbeiten geschehen. Die meisten früheren aber schließen ihre Vergleiche an die „mittleren Höhen“ an und so sei auch in Tabelle 9 eine Übersicht über die aus dem vorliegenden Material berechneten gegeben. Statt des gewöhnlichen arithmetischen Mittels $a = \frac{\sum h_n}{n}$ ist ein aus den relativen Häufigkeiten gebildetes berechnet nach der Formel

$$a' = \frac{\sum_i h_i n'_i}{\sum_i n'_i}$$

wobei die h_i Intervallmitten und

$$n'_i = \frac{n_{i-1} + 2n_i + n_{i+1}}{4} \times \frac{1000}{N_i};^1)$$

ferner ist die Differenz $a' - a$ angegeben. Zum Vergleich sind zunächst aus den Werten der Peppler'schen Arbeit (16) die entsprechenden Halbjahresmittel der Wolkenhöhen berechnet.

Die Übersicht zeigt, was die Gegenüberstellung Fesselaufstiege — Piloten Friedrichshafen betrifft, Abweichungen, die zum Teil schon bei Besprechung des Vorkommens und der einzelnen Verteilungskurven erklärt worden sind. Sc tra z. B. ist nach Pil. im Winter rund 600 m, im Sommer 400 m höher als nach Fesselaufstiegen: Verdeckte Wolken, Unterscheidung Sc — Ac. Bei Ac tra und op macht sich im Winter die Auswahl der Wetterlage durch Fess. in einer etwa 600 m betragenden Höhendifferenz bemerkbar. Am stärksten unterliegt diesem Einfluß As. Diese Angaben mögen als Hinweis auf die starke Abhängigkeit solcher Mittelwertsangaben von den Meßmethoden dienen.

Die Übereinstimmung mit den Peppler'schen Werten ist für St und Fnb gut. Der „nb“ ist aber durchschnittlich etwa 200 m höher als „Ns“, der seinerseits gute Übereinstimmung zwischen Fesselaufstiegen

Tabelle 9. Gegenüberstellung der verschiedenen mittleren Wolkenhöhen über Friedrichshafen.

| | | 1. = nach Fesselaufstiegen (Vormittag) | | | | | 3. = nach Piloten bis 5000 m | | | | | | | |
|------------------|----|--|------|------|------|-----|---------------------------------|------|------|------|-------|-------------------|------|--|
| | | 2. = nach Fesselaufstiegen und Piloten | | | | | 4. = nach Piloten bis > 10000 m | | | | | | | |
| | | 1928—1937 (H.) | | | | | 1908—1919 (P.) | | | | | Differenz (P.—H.) | | |
| | | a' | | | | | a | | | | | | | |
| | | W | S | J | S—W | J | W | S | J | S—W | W | S | J | |
| St | 1. | 745 | 751 | 745 | + 6 | 13 | | | | | + 6 | — 10 | — 4 | |
| | 2. | | | | | | 751 | 741 | 743 | — 10 | | | | |
| | 3. | 1052 | 1009 | 1040 | — 43 | 27 | | | | | | | | |
| Fnb | 1. | 933 | 1045 | 1005 | +112 | 3 | | | | | + 42 | — 33 | — 4 | |
| | 2. | | | | | | 975 | 1012 | 1001 | + 37 | —116 | — 33 | — 71 | |
| | 3. | 1091 | 1045 | 1072 | — 46 | 24 | | | | | | | | |
| Ns (nb) . . . | 1. | 1277 | 1570 | 1425 | +293 | 5 | | | | | +236 | + 97 | +163 | |
| | 2. | | | | | | 1493 | 1667 | 1588 | +174 | +212 | +313 | +271 | |
| | 3. | 1281 | 1354 | 1317 | + 73 | 23 | | | | | | | | |
| Cu | 1. | 1573 | 1855 | 1773 | +282 | 24 | | | | | +182 | + 8 | 0 | |
| | 2. | | | | | | 1755 | 1863 | 1773 | +108 | +251 | + 27 | + 61 | |
| | 3. | 1504 | 1836 | 1712 | +332 | 25 | | | | | | | | |
| Sc op | 1. | 1653 | 1800 | 1727 | +147 | 20 | | | | | +429 | +492 | +474 | |
| | 3. | 1798 | 1897 | 1845 | + 99 | 40 | | | | | +284 | +395 | +356 | |
| Sc tra | 1. | 1729 | 1978 | 1836 | +249 | 23 | | | | | +353 | +314 | +365 | |
| | 3. | 2324 | 2372 | 2345 | + 48 | 74 | | | | | —242 | — 80 | —144 | |
| streu | 2. | | | | | | 2082 | 2292 | 2201 | +210 | | | | |
| Ac op | 1. | 2961 | 3170 | 3104 | +209 | 234 | | | | | +875 | +715 | +768 | |
| | 3. | 3423 | 3118 | 3263 | —305 | | | | | | +413 | +767 | +609 | |
| | 4. | 3510 | 3118 | 3308 | —392 | 206 | | | | | +326 | +767 | +564 | |
| Ac tra | 1. | 3143 | 3514 | 3411 | +371 | 171 | | | | | +693 | +371 | +461 | |
| | 3. | 3785 | 3756 | 3771 | — 29 | | | | | | + 51 | +129 | +101 | |
| | 4. | 4128 | 3995 | 4066 | —133 | 263 | | | | | —292 | —110 | —194 | |
| acu | 2. | | | | | | 3836 | 3885 | 3872 | + 49 | | | | |
| As | 1. | 2687 | 3330 | 3015 | +643 | 133 | | | | | +1242 | +795 | +974 | |
| | 2. | | | | | | 3929 | 4125 | 3989 | +196 | +239 | +346 | +268 | |
| | 3. | 3690 | 3779 | 3721 | + 89 | | | | | | — 5 | —179 | — 88 | |
| | 4. | 3934 | 4304 | 4077 | +370 | 260 | | | | | | | | |

¹⁾ N_i Zahl der Aufstiege, die das Intervall i erreicht haben.

und Piloten zeigt; hier handelt es sich, wie bereits bemerkt, um verschiedene Nimbusbegriffe, wobei der Peppler'sche weiter gefaßt ist. Bei Cu ist die Zahl der Fälle zu gering. Die unter „stcu“ zusammengefaßten Werte liegen um 300—400 m höher als Sc op, desgleichen etwa 350 m höher als Sc tra nach Fesselaufstiegen, hingegen etwas tiefer als Sc tra nach Piloten; berücksichtigt man, daß sie sowohl Fesselaufstiegs- als Pilotmaterial enthalten, so fügen sich die mittleren Höhen gut ein. Ein ähnliches Bild ergibt sich bei „acu“: Die Ac-op-Formen zeigen bedeutend geringere Höhen, besonders im Sommer, während tra nach Piloten bei einer Beschränkung bis 5000 m etwas zu geringe, ohne Beschränkung etwas zu hohe Werte ergibt (die Peppler'sche Reihe reicht bis > 5600). Unter „stcu“ und „acu“ sind demnach, der mittleren Höhe nach zu schließen, vorwiegend die unverdeckten Translucidusformen zusammengefaßt. Auch der Mittelwert von „astr“ kommt dem von „As“ nach Piloten am nächsten.

Unter Berücksichtigung der Methoden, denen jeweils das Material entstammt und der den Bezeichnungen zugeordneten Begriffe ist demnach auch eine hinreichende Übereinstimmung der Wolkenverteilungsschwerpunkte in den beiden Dezennien festzustellen.

Der jahreszeitliche Höhenunterschied S — W ist bei den tiefen Wolken, abgesehen von Cu, nach Peppler (P.) und Huss (H.) gleichsinnig und von nahezu gleicher Größe. Bei „astr“ ist er ebenfalls positiv und liegt zwischen den beiden Schwankungen des „As“ der eingeschränkten und uneingeschränkten Reihe nach Piloten. Auffallend ist das Verhalten des „Ac“, hier ist S—W positiv bei Fesselaufstiegen, negativ bei Piloten; „acu“ zeigt eine geringe positive Differenz. Sieht man bei „Ac“ die Winterwerte nach Fesselaufstiegen wie in früheren Betrachtungen als unzureichend und durch die Methode beeinflußt an, so muß in der Tendenz zu einer Erniedrigung des Sommermittels gegenüber Wolkenarten der tiefen und hohen Räume in erster Linie die Wirkung der Konvektion gesehen werden, die sich über dem See mehr indirekt durch Advektion äußert¹⁾. Peppler (15) findet übrigens im Lindenberger Material bei acu dasselbe Verhalten, desgleichen bei astr in abgeschwächtem Maß; dort spielt auch die Konvektion vermutlich eine größere Rolle als über Friedrichshafen.

Ein ähnliches Bild zeigen die Potsdamer Wolkenmessungen (25) und die Hartmanns über dem Feldberg/Schw. (11). Das Material ist nicht umfangreich genug, um die jährliche Schwingung der Schwerpunkte festzustellen, jedenfalls wird ihre Amplitude die der jahreszeitlichen Schwankung S—W übertreffen.

Zur Prüfung der Frage, ob nun aus dem Vergleich der Schwerpunkte der einzelnen mittleren und hohen (vom Boden kaum beeinflussten) Wolkenarten über verschiedenen Orten auf eine Art Neigung gedachter Schichten zu schließen sei, muß nach dem an vorliegendem Material gewonnenen Erfahrungen eine Abschätzung der Abweichungen vorgenommen werden, die auf Grund der vorherrschend verwendeten Meßmethoden zu erwarten sind. Unternimmt man dies bei den Meßreihen von Lindenberg und Potsdam, so kommt man zu folgenden Schlüssen:

Die Lindenberger Reihe enthält nur Werte, die durch Augenbeobachtungen belegt sind. Mögen die Ungenauigkeiten, die aus der Berechnung nach Drahtlänge und Höhenwinkel entspringen, durch den Vergleich mit den Zustandskurven weitgehend eliminiert sein, so bleiben doch zwei wesentliche einseitig wirkende Momente:

1. Starke Beeinflussung der erreichten Höhen durch Abhängigkeit der Aufstiegsmethode von der Wetterlage und
2. bei regelmäßiger Aufstiegstätigkeit (nicht Auswahl nach größeren Beobachtungshöhen wie bei Piloten) Berücksichtigung nur der sichtbaren Wolkengrenzen.

Über die relative Abnahme der erreichten Höhen unterrichtet Tabelle 10.

Tabelle 10.

| Höhe in m | | 1000 | 2000 | 3000 | 4000 | 5000 |
|-------------------|---|------|------|------|------|------|
| Fess. Fh. | S | 1,00 | 0,94 | 0,81 | 0,59 | 0,26 |
| | W | 1,00 | 0,90 | 0,71 | 0,37 | 0,11 |
| Pil. Fh. | S | 1,00 | 0,82 | 0,65 | 0,52 | 0,42 |
| | W | 1,00 | 0,74 | 0,56 | 0,41 | 0,30 |
| Fess. Li. | S | 1,00 | 0,66 | 0,29 | 0,08 | 0,01 |
| | W | 1,00 | 0,55 | 0,24 | 0,09 | 0,02 |

Es ist ersichtlich, daß die erreichten Höhen von Lindenberg schon in 3000 m auf $\frac{1}{4}$, in 4000 m auf knapp $\frac{1}{10}$ abgesunken sind, während in Friedrichshafen im Jahresdurchschnitt noch etwa die Hälfte aller Fesselaufstiege und Piloten 4000 m erreichten. Bricht man nun die Friedrichshafener Beobachtungsreihen (1928 bis 1937) für die höheren Wolken bei 4000 m ab und berechnet die Mittelhöhen für den Raum bis 4000, so erhält man folgende Werte zur Gegenüberstellung mit den ungekürzten Lindenberger Mitteln:

¹⁾ Bei Ac tra ist übrigens S—W nach direkter Mittelbildung +50 bzw. —18.

Tabelle 11. Mittlere Höhen des Altocumulus und Altostratus berechnet für Friedrichshafen (1928—1937) nach Weglassen der Höhen über 4000 m, sowie für Lindenberg (1905—1916) unter Berücksichtigung aller Höhen.

| Wolkenarten | | a = arithmet. Mittel | | | | | a' = Mittel nach relat. Häufigkeiten. | | | | |
|------------------|----|----------------------|----|------|-----|------|---------------------------------------|----|------|-----|------|
| | | W | n | S | n | S—W | W | n | S | n | S—W |
| Ac op (Fh.) . . | a | 2510 | 25 | 2690 | 73 | +180 | 3045 | 38 | 2910 | 113 | —135 |
| | a' | 2610 | — | 2750 | — | +140 | 3140 | — | 2980 | — | —160 |
| Ac tra (Fh.) . . | a | 2860 | 37 | 3080 | 121 | +220 | 3170 | 45 | 3227 | 96 | + 57 |
| | a' | 2970 | — | 3120 | — | +150 | 3270 | — | 3280 | — | + 10 |
| acu (Li.) . . . | a | 3320 | 23 | 3050 | 35 | —270 | | | | | |
| As (Fh.) . . . | a | 2405 | 37 | 2960 | 44 | +555 | 2890 | 47 | 3010 | 52 | +120 |
| | a' | 2500 | — | 3025 | — | +525 | 2955 | — | 3100 | — | +145 |
| astr (Li.) . . . | a | 2990 | 47 | 2880 | 38 | —110 | | | | | |

Es zeigt sich, daß diese Mittelhöhen schon nahezu übereinstimmen, obwohl das Lindenerger Material eine Auswahl darstellt. Berücksichtigt man, daß einerseits die Lindenerger Reihe über 4000 m hinausreicht, andererseits, wie schon auseinandergesetzt, die Vernachlässigung der verdeckten Wolken schwerpunkterhöhend wirkt, so wird der Höhenunterschied Li.—Fh. im Mittel fast verschwinden.

Die Potsdamer Wolkenmessungen des Jahres 1896—1897 sind wiederum anders geartet, so daß auch hier ein Vergleich statistischer Ergebnisse mit den Friedrichshafener Werten nicht ohne weiteres möglich erscheint. Sie enthalten nur vom Boden aus sichtbare Wolkenpartien mit deutlicher Struktur. Die Messungen, oft 10 und mehr Doppelaufnahmen unregelmäßig verteilt über einen Tag, beziehen sich zeitweise auf Wolkenpartien oder einzelne Bänke ein und desselben Niveaus, wie aus geringem Höhenunterschied zu schließen ist. Auch die hohe Zahl der Beobachtungen weist darauf hin. Bei acu z. B. fallen diese Mehrfachaufnahmen eines Wolkenniveaus über einen Tag besonders in das Höhenintervall 2—3 km, bei astr in 1—2 km Höhe. Es ist daher wohl möglich, daß der Schwerpunkt aus solchen Beobachtungen zu tief erscheint, eine Abweichung, die übrigens auch in geringerem Maß im Lindenerger Material (mehrere Aufstiege pro Tag) enthalten sein mag.

Nimmt man auf diese durch die Meßmethoden bedingten Besonderheiten Rücksicht und sucht ihren Einfluß abzuschätzen, so kommt man zu dem Schluß, daß ein Ansteigen der Schwerpunktsflächen der vom Boden unbeeinflussten Wolkenarten (ausgenommen Ci) von N nach S fraglich ist, zumindest jedenfalls wesentlich geringer als die direkten Mittelwerte aus den Einzelbeobachtungen vermuten lassen.

Der geographische Einfluß wird sich vielmehr vorherrschend in der relativen Gesamthäufigkeit bzw. dem gesamten Vorkommen der einzelnen Wolkenarten äußern, was sich nur aus homogenem Material und übereinstimmenden Beobachtungsterminen ermitteln ließe. Unterschiede orographischen Ursprungs zwischen Alpenvorland und Norddeutscher Tiefebene sind jedoch sicher vorhanden: Föhn und Stau wirken sich über Friedrichshafen besonders auf die mittleren und unteren Niveaus aus, Stau durch erhöhte St- und Cu-Bildung über dem Schweizer Vorland und dem südlichen Seegebiet, bzw. durch verstärkte Nimbusentwicklung. Auf die mittleren Wolken Ac und As aber, deren Schichtneigung im vorhergehenden abgeschätzt wurde, wirkt der Föhn schwerpunkterhöhend durch die Auflösung bei tieferem Vorkommen.

4. Wolkenobergrenzen.

a) Vertikale Verteilung.

Vergleicht man bei jeder Wolkenart Anzahl der Beobachtungen bzw. Gesamthäufigkeit der Obergrenzen mit den entsprechenden Merkmalen der Untergrenzen, so zeigt das Überwiegen der ersteren, daß die Obergrenzen bei den meisten Wolkenarten leichter festzustellen, demnach viel ausgeprägter sind. Ihre Verteilung wird also auch ein mindestens ebenso vollständiges Bild geben und Rückschlüsse auf die Ergänzung gewisser Züge in dem der Untergrenzen zulassen. Die gemessenen Werte und reduzierten Häufigkeiten sind nach 200-m-Stufen geordnet in der Tabelle IV¹⁾ zusammengestellt.

Die Obergrenze des Nebels fällt am häufigsten im Winter in das Intervall 600—700 m, im Sommer in 500—600 m; die Verteilungen sind einfach, ähnlich denen der St-Untergrenzen.

¹⁾ Tabelle IV ist am Schluß der Arbeit (S. 39, 40) wiedergegeben.

Auch Stratus zeigt einfache Obergrenzenverteilung, Maxima im Winter bei 800—900 m, im Sommer bei 700—800 m (100-m-Stufenanordnung ergibt Sommer und Winter andeutungsweise eine sekundäre Häufung um 1500 m).

Die Haupthöhen der Fractonimbus-Obergrenzen liegen um 1000, 1700 und 2200 m ganz entsprechend denen der Untergrenzen, durchschnittlich um 100—200 m höher.

Auch dem dreiteiligen Untergrenzenbild bei Cumulus steht ein ebensolches der Obergrenzen gegenüber, wobei die Bezogenheit je zweier Extreme auch durch ihre Form deutlich wird. Es entsprechen sich etwa folgende Häufungsstellen:

Tabelle 12. Höhe der Häufungsstellen in hm.

| | | | | |
|--------|----------|----|---------|-----------|
| Sommer | Ug.: | 8 | 13 (15) | 23 |
| | Og.: | 13 | 21 (25) | 35 |
| | Og.-Ug.: | 5 | 8 (10) | 12 |
| Winter | Ug.: | 8 | 15 | 24 |
| | Og.: | 11 | 20 | 30 |
| | Og.-Ug.: | 3 | 5 | 6 |

Die Obergrenzen von Nimbostratus sind in den meisten Fällen durch die Aufstiege nicht erreicht worden, sie sollen deshalb bei dieser Betrachtung außer acht bleiben. Wohl sind Nimbuswolken manchmal unterbrochen, was durch die ziemlich empfindlichen Zweihaar-Hygrometer der Fesselballonmeteorographen angedeutet wird, es läßt sich dabei aber nicht entscheiden, wie weit von eigentlichen Wolkengrenzen gesprochen werden kann.

Das Obergrenzenbild des Stratocumulus opacus zeigt selbst in einzelnen Wesenszügen weitgehende Übereinstimmung mit dem der Untergrenzen; man könnte die Hauptkurvenstücke der Sommer- und Winterverteilungen der Untergrenzen durch Verschieben um einen etwa 350 m entsprechenden Betrag und Strecken in Richtung der Ordinate fast zur Deckung bringen. Die Zuordnung ist demnach hier keine bloß formale. Noch ein drittes kleineres Häufungsmaximum wird bei 3500 m erkennbar.

Weniger klar liegen die Verhältnisse bei Stratocumulus translucidus, dessen im allgemeinen geringe Mächtigkeit gerade besonders enge Beziehungen zwischen Obergrenzen und Untergrenzen erwarten läßt. Dies rührt im wesentlichen daher, daß mehr Obergrenzen als Untergrenzen gemessen werden, wobei besonders die der „verdeckten“ Wolken ausschlaggebend sind. Einen besseren Einblick in die Beziehungen gewährt in diesem Fall die 100-m-Stufenteilung; hier zeigt sich, daß Sc tra tatsächlich eine Mehrfachschichtung deutlich ausprägt. Im Sommer entspricht die untere Häufungsstelle einer Doppelschichtung:

Tabelle 13a. Sommer.

| | | |
|---------------------|-----------------------------------|---------------|
| | Ug.: | 1450 — 1950 m |
| | Og.: | 1550 — 2050 m |
| Relative Häufigkeit | $\frac{\text{Og.}}{\text{Ug.}}$: | 1,0 — 1,3 |

wobei die obere Schicht häufiger verdeckt zu sein scheint. Im Winter sind in der Hauptsache drei Schichten zu erkennen:

Tabelle 13b. Winter.

| | | |
|---------------------|-----------------------------------|----------------------|
| | Ug.: | 1150 — 1550 — 2050 m |
| | Og.: | 1250 — 1750 — 2150 m |
| Relative Häufigkeit | $\frac{\text{Og.}}{\text{Ug.}}$: | 1,5 — 1,1 — 1,1 |

Hier ist die unterste häufig verdeckt (Häufigkeitsverhältnis Og./Ug. = 1,5/1), sie entspricht offenbar einer Übergangsform von St, der sich oft über einer tieferen, eigentlichen St-Decke befindet.

Bei Altocumulus opacus und translucidus lassen sich die Kurven nach 200-m-Stufenteilung wieder gut zuordnen. Den zwischen 4000 und 5000 m liegenden Häufungsstellen der Untergrenzen bei op entsprechen allerdings keine der Obergrenzen, d. h. letztere sind meist nicht erreicht worden. Gerade bei Ac op war es besonders häufig nicht möglich, beide Grenzen zu bestimmen. Bei Fehlen der Untergrenzen handelt es sich oft um verdeckte Schichten, während die fehlenden Obergrenzen meist über Gipfelhöhe lagen. Über die einzelnen Anteile unterrichten folgende Zahlen:

Tabelle 14.

| | S | W |
|--------------------------------------|-------|-------|
| Alle gemessenen Ac op (rel. Häuf.) . | 144 | 74 |
| Nur Ug. gemessen | 33,3% | 33,8% |
| Nur Og. gemessen | 33,3% | 40,6% |
| Beide Grenzen gemessen | 33,4% | 25,7% |
| Ug. insgesamt | 66,7% | 59,5% |
| Og. insgesamt | 66,7% | 66,3% |

Wenn trotzdem die Kurvenformen so weitgehend übereinstimmen, ist dies ein Zeichen, daß auch hier korrespondierende Häufungsstellen nicht nur formal zusammengehören, sondern daß ihre Zuordnung im wesentlichen durch eine überwiegend gleichmäßige vertikale Ausdehnung und Verteilung der Wolkenschichten bedingt ist.

Bei Altostratus ist noch häufiger als bei Ac op jeweils nur eine Wolkengrenze gemessen worden, da aber bei dieser Wolkenart die Schichtdicken besonders stark variieren, nimmt es nicht wunder, daß nur im Sommer eine lose Beziehung angedeutet ist; die relativen Häufigkeiten nehmen aber bei den Obergrenzen nicht so stark mit der Höhe ab als bei den Untergrenzen.

In Tabelle 15 ist nochmals eine Übersicht über alle Häufungsstellen der Ober- und Untergrenzen gegeben.

Tabelle 15. Zusammenstellung der Hauptschichten von Ober- und Untergrenzen nach Fesselaufstiegen (hm).

| | | Winter | | | | | Sommer | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|-----|--------|------|------|----|------|--------|------|----|----|------|------|------|----|----|-----|-------|------|----|----|
| St | Og. | 8 | | | | | | | | 7 | | | | | | | | | | |
| | Ug. | 6 | | | | | | | | 6 | | | | | | | | | | |
| Fnb | Og. | 10 | (17) | (22) | | | | | | 10 | (17) | | | | | | | | | |
| | Ug. | 8 | (16) | — | | | | | | 9 | (15) | 22 | | | | | | | | |
| Cu | Og. | | 11 | 20 | 30 | | | | | 13 | 21 | (25) | 35 | | | | | | | |
| | Ug. | 8 | 15 | 24 | | | | | | 8 | 13 | (15) | 23 | | | | | | | |
| Sc op | Og. | | 18 | 24 | 35 | | | | | | 18 | 24 | | 33 | | | | | | |
| | Ug. | | 15 | 21 | — | | | | | | 14 | 20 | — | | | | | | | |
| Sc tra | Og. | | 12 | 17 | 21 | | | | | | 15 | 20 | 27 | | | | | | | |
| | Ug. | | 11 | 15 | 20 | | | | | | 14 | 19 | 26 | | | | | | | |
| Ac op | Og. | | | 27 | 36 | 51 | | | | | 27 | 34 | 47 | | | | | | | |
| | Ug. | | | 23 | 29 | 45 | | | | | 23 | 29 | 41 | | | | | | | |
| Ac tra | Og. | | | (29) | 30 | 38 | — | | | | | 31 | 38 | 49 | 57 | | | | | |
| | Ug. | | | (26) | 29 | 35 | 42 | 55 | | | | 29 | 37 | 47 | — | | | | | |
| Alle Wolken | Og. | 7 | (12) | 17 | 25 | 30 | 37 | (42) | 51 | — | 7 | (11) | (16) | 20 | 25 | 30* | (37*) | (42) | 49 | 57 |
| | Ug. | 7 | (15) | 22 | 29 | (35) | 42 | — | — | — | 7 | 13 | 20 | 29 | 39 | 47 | — | — | — | — |

*) Doppelschichten ?

Bezüglich aller Wolken findet sich auch bei den Obergrenzen im Mittel eine Schichtenbildung mit ähnlicher Verteilung wie bei den Untergrenzen. Die hier hervorgehobenen Häufungen sind auch im unteren Luftraum deutlich ausgeprägt. Nach einer Untersuchung H. Bergs nach Flugzeugaufstiegen über Köln (4) ergeben sich auch über diesem Gebiet aus nur zweijährigem, von physiologischen Fehlern freiem Material schon ähnlich liegende Schichten besonders für die Untergrenzen; bei den Obergrenzen treten sie im unteren Luftraum weniger deutlich hervor, dies mag zum Teil darauf beruhen, daß die oberen Nebelgrenzen fehlen und die tiefen St-Schichten des Alpenvorlandes dort weniger häufig sind. Auch Konvektion und Reibung treten über dem Bodenseegebiet stark zurück und stören die Tendenz zur Schichtenbildung weniger als über andern Orten.

b) Mittlere Höhen.

Berechnet man in ähnlicher Weise wie für die Untergrenzen auch für die Obergrenzen die mittleren Höhen („Schwerpunkte“) mit Hilfe der relativen Häufigkeiten, so erhält man folgende Werte:

Tabelle 16. Mittlere Höhen der Obergrenzen und deren Abstände von den mittleren Untergrenzen.

| | Winter | | | | Sommer | | |
|------------------|--------|------|------|------|--------|-----|-----|
| | W | a' S | J | S—W | W | Δ S | J |
| Nebel | 710 | 680 | 705 | — 30 | 310 | 280 | 305 |
| St | 1025 | 920 | 995 | —105 | 280 | 170 | 250 |
| Fnb | 1070 | 1095 | 1085 | + 25 | 135 | 50 | 80 |
| Cu | 2060 | 2450 | 2350 | +390 | 485 | 595 | 575 |
| Sc op | 1960 | 2270 | 2120 | +310 | 305 | 470 | 395 |
| Sc tra | 1890 | 2165 | 2000 | +275 | 160 | 185 | 165 |
| Ac op | 3480 | 3405 | 3430 | — 75 | 520 | 235 | 325 |
| Ac tra | 3170 | 3740 | 3585 | +570 | 25 | 225 | 175 |

Die halbjahreszeitliche Verschiebung ist für Nebel, St und Ac op negativ, d. h. die Obergrenzen dieser Wolken liegen im Winter etwas höher, bei allen andern Wolkenarten liegen sie, wie auch die Untergrenzen, tiefer als im Sommer und zwar ist der Unterschied größer als bei den Untergrenzen.

Der Höhenunterschied der mittleren Grenzen einer Wolkenart erweist sich von der Größenordnung der direkt festgestellten mittleren Wolkendicken, wie noch gezeigt werden soll.

5. Die Schichtung der Atmosphäre.

Die täglichen Beobachtungen zeigen uns die Atmosphäre bekanntlich als ein meist in relativ schmale, fast horizontale Schichten aufgeteiltes Kontinuum, das nur durch besondere zeitlich und räumlich stark begrenzte Ereignisse diese Eigenschaft verliert, um sie nach Aufhören derselben stets rasch wieder herzustellen. Man denke etwa an die strukturlosen Zustandskurven hoher Aufstiege in kräftigen Regengebieten, andererseits an den raschen Zerfall mächtiger Regenwolken in wohldefinierte Wolkenschichten nach Aufhören des Niederschlags. Beachtet man, daß die „Schichtung“ des Feldes der horizontalen Windkomponenten dabei weitgehend erhalten geblieben ist, so liegt es nahe, ihr an der Wiederherstellung der trennenden Eigenschaften einen entscheidenden Anteil zuzuerkennen. Ob nach Aufhören der vertikal wirksamen Kräfte und Bewegungen Turbulenz, Advektion oder andere Vorgänge überwiegend das umgestaltende Moment ausmachen, wird von Fall zu Fall verschieden zu beurteilen sein.

Was die Schichtung der Wolken betrifft, so ist aus vorstehend behandeltem Material — gleichzeitig in Bestätigung früherer Ergebnisse — gezeigt worden, daß sie auch in umfangreichen Zusammenfassungen sowohl für einzelne Wolkenarten, als den gesamten Wolkenkomplex erhalten bleibt, daß also bestimmte Höhenstufen für die Wolkenbildung besonders bevorzugt sind.

Freilich weisen diese Häufigkeitsbilder starke Streubereiche auf: Die Bedingungen für Wolkenbildung sind auch in den vom Boden unbeeinflussten Räumen horizontal stark verschieden. Man findet oft Unterschiede der Basishöhen verschiedener Wolkenbänke oder Wolkenteile bis zu 200 m und mehr, ohne diese Gebilde aus andern Gründen verschiedenen Niveaus zusprechen zu können. Bei ausgedehnteren Schichten zeigen die Untergrenzen wohl Neigungen von der Größenordnung der theoretisch ermittelten für Gleichgewichtsflächen, häufiger aber sind diese Neigungen wesentlich stärker und weisen damit auf allmähliche horizontale Zunahme der Kondensationsvorgänge hin. Auch die Wolkenobergrenzen zeigen solche Unregelmäßigkeiten meist noch in stärkerem Maß, sofern sie nicht durch kräftige „Sperrschichten“ bestimmt sind. Die statistischen Verteilungskurven der einzelnen Wolkenarten sind demnach über den mittleren Bewegungsbereich der Schichten beim Durchgang der großräumigen Zirkulationsgebilde hinaus Ausdruck für die von Ort zu Ort verschiedenstarken Anlagen zur Wolkenentwicklung bzw. Rückbildung.

Über die Frage, ob auch die täglich beobachtete thermische Schichtung der Atmosphäre in der Zusammenfassung eines größeren Materials erhalten bleibt, gibt eine Untersuchung W. Peppers Aufschluß (17). Die Abbildung 1 der betreffenden Arbeit zeigt, daß dies der Fall ist — über Lindenberg in sehr markanter Weise, über Friedrichshafen weniger hervortretend, aber doch deutlich zu erkennen (Aufstiege 1910—1915). Auch thermisch ist demnach die Atmosphäre oberhalb der von den Geländebeziehungen beeinflussten Zone im Mittel in Schichten von etwa 600 m Mächtigkeit geteilt.

Da die oberen Wolkengrenzen meist mit den Unterflächen von Inversionen oder Isothermien zusammenfallen sind in Tabelle 17 diese beiden Elemente in ihrer vertikalen Verteilung einander gegenübergestellt (Jahreswerte) und ihr Häufigkeitsverhältnis gebildet.

Man sieht daraus, daß die Häufigkeitsmaxima der oberen Wolkengrenzen im allgemeinen stufenweise höher liegen als die der Inversionen, desgleichen diejenigen des Verhältnisses beider wiederum höher als die der oberen Wolkengrenzen. Das bedeutet, daß mit der Schichtwolkenbildung eine Hebung der Inversionen verbunden ist, sei es nun, daß die Wolkenentwicklung selbst im Einzelfall diese Tendenz zeigt, oder daß rein

Tabelle 17. Relative Häufigkeiten von Wolkenobergrenzen (1928—1937) und Inversionen (1910—1915) und ihr Verhältnis über Friedrichshafen.

| Höhenstufen in 100 m | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 | 40 | 42 | 44 | 46 | 48 | 50 | 52 |
|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 | 40 | 42 | 44 | 46 | 48 | 50 | 52 | 54 |
| Inv. (%) | 25,0 | 18,5 | 11,8 | 7,8 | 7,4 | 6,8 | 5,6 | 5,1 | 5,6 | 6,1 | 5,7 | 6,1 | 5,2 | 6,3 | 5,4 | 5,9 | 5,7 | 5,1 | 4,3 | 3,1 | 1,9 | 2,8 | 0,7 | 0,8 | 0,8 |
| Og. (0/100) | 53 | 74 | 74 | 54 | 37 | 32 | 34 | 33 | 30 | 31 | 33 | 34 | 35 | 34 | 32 | 30 | 28 | 25 | 20 | 11 | 6 | 8 | 12 | 12 | 7 |
| Og. | 0,21 | 0,40 | 0,63 | 0,69 | 0,50 | 0,47 | 0,61 | 0,65 | 0,54 | 0,51 | 0,58 | 0,56 | 0,67 | 0,54 | 0,59 | 0,51 | 0,49 | 0,49 | 0,47 | 0,36 | 0,32 | 0,29 | 0,17 | 0,15 | 0,09 |
| Inv. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

statistisch die wolkenarmen Inversionen der im Schrumpfen begriffenen atmosphärischen Gebilde einen etwas tieferen Häufungspunkt haben als die der entgegengesetzten Entwicklung angehörenden.

Als weiteres Element wurde die Feuchte ungesättigter Lufträume in bezug auf Schichtenbildung aus den Aufstiegen 1928—1937 untersucht, und zwar wurden Obergrenzen relativ feuchterer Luftschichten zugrunde gelegt, da sie ziemlich ausgeprägt sind, während die Zunahme im unteren Teil sehr allmählich erfolgt und der Ort ihres Beginns oft nicht mit Sicherheit festzustellen ist. In manchen Fällen mag bei gleichzeitigem Vorhandensein von Inversionen Diffusionsgleichgewicht an der Schichtgrenze geherrscht haben, doch sind hierüber mangels Genauigkeit der Feuchtereistrierungen nur Vermutungen möglich; in den

weitaus meisten Fällen — die Feuchteschichtung ist reichhaltiger als die thermische — fallen Grenzen der relativen Feuchte mit solchen der spezifischen zusammen.

Abb. 13 zeigt das Verteilungsbild des Jahresdurchschnitts bei 100-m-Stufeneinteilung. Die Übereinstimmung mit den Wolkenobergrenzen bezüglich der Lage der Maxima ist überraschend gut. Man findet also auch hier unabhängig von Wolkenbildung genau dieselbe Schichtung vor.

Diese quantenhafte Teilung ist demnach ein ganz allgemeines Gesetz des atmosphärischen Aufbaus, in das auch die Bewegungsvorgänge inbegriffen sind. Es äußert sich überdies, wie noch gezeigt werden soll, in der vertikalen Ausdehnung der Wolken-schichten.

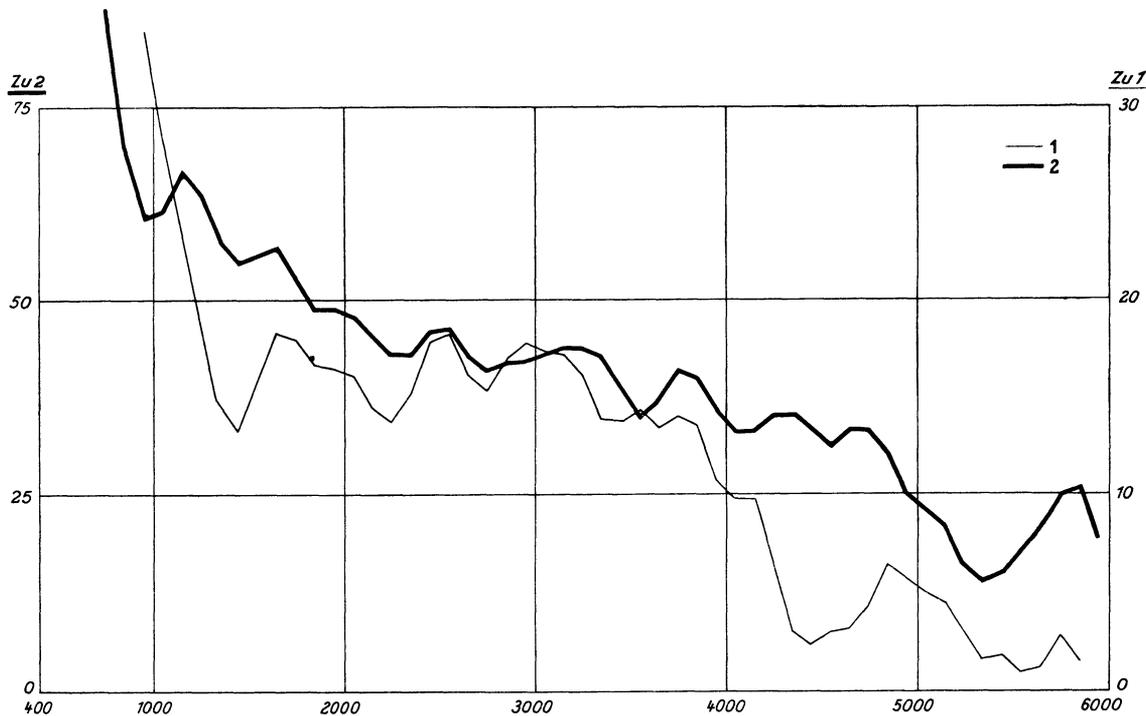


Abb. 13. 1: Häufigkeitsverteilung der Wolkenobergrenzen aller Wolken zum Vergleich mit
2: Häufigkeitsverteilung der Obergrenzen relativ feuchterer ungesättigter Luftschichten.
Relative Häufigkeiten (‰) nach 100-m-Intervallen, Jahreswerte.

6. Schichtdicken der Wolkenarten.

Die Mächtigkeit der verschiedenen Wolkenarten beträgt mit Ausnahme der „Wolken mit vertikalem Aufbau“ im allgemeinen nur wenige Hektometer. Tabelle 18 gibt eine Übersicht über die aus dem vorliegenden Material berechneten charakteristischen Daten:

Tabelle 18. Schichtdicken der Wolken, Jahresdurchschnitt.

D_w = wahrscheinlichste Dicke
 d_{1-3} = sekundär vorherrschende Dicken
 $d\left(\frac{N}{2}, \frac{3N}{4}\right)$ = Dicken, unter deren Betrag $\frac{1}{2}$ bzw. $\frac{3}{4}$ aller Fälle liegen.

| Wolkenart | Mittel | | | D_w | d_1 | d_2 | d_3 | $d\left(\frac{N}{2}\right)$ | $d\left(\frac{3N}{4}\right)$ |
|------------------|--------|-----|-----|-------|-------|-------|--------|-----------------------------|------------------------------|
| | J | W | S | | | | | | |
| Nebel | 290 | 295 | 250 | 250 | — | — | — | 270 | 390 |
| St | 260 | 295 | 205 | 150 | 800 | — | — | 230 | 360 |
| Fnb | 155 | 160 | 150 | 50 | — | — | — | 140 | 240 |
| Cu | 560 | 515 | 580 | 250 | (550) | 1400 | 2100 | 435 | 710 |
| Sc op | 510 | 460 | 550 | 300 | 700 | 1550 | (2300) | 405 | 640 |
| Sc tra | 205 | 215 | 200 | 100 | (800) | — | — | 180 | 290 |
| Ac op | 590 | 660 | 570 | 350 | (700) | 1450 | — | 460 | 795 |
| Ac tra | 225 | 195 | 235 | 150 | — | — | — | 195 | 310 |
| As | 435 | — | — | 50 | 650 | — | — | 335 | 635 |

Die Bilder des Cu und As sind unvollständig, da beim ersteren Wolken verschiedener Entstehungsart zusammengefaßt, beim letzteren die Obergrenzen mächtigerer Schichten wie bei Ns oft nicht erreicht worden sind.

Man findet in den sekundär vorherrschenden Wolkendicken (d_{1-3}) Werte von der Größenordnung der mittleren atmosphärischen Schichtabstände und deren Vielfachen, was, wie erwähnt, die Annahme bestätigt, daß es sich hier um ein allgemeineres Gesetz handle. Die wahrscheinlichsten vertikalen Wolken-

ausdehnungen füllen allerdings diesen Raum nicht einmal bis zur Hälfte und von den höheren Schichtwolken erreichen nur die Opacusarten und As in $\frac{1}{4}$ aller Fälle größere Mächtigkeit.

Zwischen diesen mittleren Schichtdicken und den Abständen der mittleren Ober- und Untergrenzen (vgl. Tabelle 16) besteht nun fast ausnahmslos folgende Ungleichheit:

$$(h^o - h^u)_m > h_m^o - h_m^u; \text{ bzw. } D_m > \Delta.$$

Eine solche Ungleichung wäre zunächst eher in umgekehrtem Sinne zu erwarten gewesen, da ja die h_m^o und h_m^u aus „relativen Häufigkeiten“ gebildet sind, die gegenüber den absoluten mit zunehmender Höhe schwerer ins Gewicht fallen. Nun sind nicht immer beide Grenzen einer Wolke gemessen worden, so daß an der Bildung von $(h^o - h^u)_m$ eine geringere Zahl von Einzelwerten beteiligt ist. Die gefundene Ungleichung würde dann besagen, daß bei höher liegenden Wolken häufiger Obergrenzen bzw. bei tiefer liegenden häufiger Untergrenzen nicht gemessen worden sind. Ersteres trifft für die Opacus-, letzteres für die Translucidus-Arten bis zu einem gewissen Grade zu. Darüber hinaus ist aber auffallend, daß die Ungleichung um so mehr besteht, je tiefer der Schwerpunkt der statistischen Verteilung einer Grenze innerhalb des Streubereichs liegt. Dies ist — insbesondere wenn für alle Individuen der Art beide Grenzen gemessen worden sind — nur dann möglich, wenn die Schichtdicken mit wachsender Wolkenhöhe abnehmen. Eine Untersuchung des Materials in dieser Richtung führt zu dem in Tabelle 19 enthaltenen Ergebnis:

Tabelle 19. Schichtdicke einiger Wolkenarten als Funktion der Höhe (ausgeglichen).

| Höhenstufen in 100 m | 6 | 10 | 14 | 18 | 22 | 26 | 30 | 34 | 38 | 42 |
|---------------------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | $\frac{6}{10}$ | $\frac{10}{14}$ | $\frac{14}{18}$ | $\frac{18}{22}$ | $\frac{22}{26}$ | $\frac{26}{30}$ | $\frac{30}{34}$ | $\frac{34}{38}$ | $\frac{38}{42}$ | $\frac{42}{46}$ |
| Cu | 468 | 509 | 572 | 629 | 650 | 653 | | | | |
| Opacus Sc | 631 | 597 | 514 | 417 | 397 | (383) | | | | |
| Opacus Ac | | | 791 | 670 | 558 | 500 | 478 | 441 | (440) | |
| Translucidus Sc | 174 | 184 | 195 | 185 | 179 | (217) | | | | |
| Translucidus Ac | | | 233 | 243 | 226 | 225 | 226 | 206 | 187 | (205) |

Während Cu mit zunehmender Höhe wächst ($D_m \approx \Delta$; relativ hohe Lage des statistischen Schwerpunkts; vgl. außerdem den wachsenden Abstand Og. — Ug. der Haupthäufungsstellen nach Tabelle 12), zeigen die Translucidus-Arten wenig Änderung, die Opacus-Arten hingegen nehmen an Mächtigkeit deutlich ab. Diese Abnahme, synoptisch aufgefaßt, stellt ein Bild dar, das dem bekannten Schema der Aufgleitfront gleicht.

7. Täglicher Gang der Wolkenuntergrenzen.

Der hier ermittelte „tägliche Gang“ der einzelnen Wolkenarten ist nicht etwa die durchschnittliche tägliche Bewegung bzw. Veränderung individueller Schichten; diese kann von einem festen Beobachtungsort aus kaum hinreichend untersucht werden. Es handelt sich vielmehr um die Tageseinflüsse auf die Verteilung der Schichtwolken. Wie weit dabei im einzelnen Hebung und Senkung der Wolkenschichten, Bildung und Auflösung in verschiedenen Niveaus, Wachstum und Zerfall zum Endergebnis beigetragen haben, läßt sich schwer abschätzen.

Der Untersuchung ist ausschließlich das Pilotmaterial 1928—1937 zugrunde gelegt. Die Verteilung der Anzahl der gemessenen Wolkengrenzen auf die Tagesstunden ist folgende:

Tabelle 20.

| Zeit | $\frac{5}{6}$ | $\frac{6}{7}$ | $\frac{7}{8}$ | $\frac{8}{9}$ | $\frac{9}{(10)}$ | $\frac{10}{11}$ | $\frac{11}{12}$ | $\frac{12}{13}$ | $\frac{13}{14}$ | $\frac{14}{(15)}$ | $\frac{15}{16}$ | $\frac{16}{17}$ | $\frac{17}{18}$ | $\frac{18}{19}$ | $\frac{19}{20}$ |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Winter | 1 | 159 | 74 | 52 | 63 | 31 | 26 | 1 | 28 | 125 | 132 | 40 | 6 | 0 | 0 |
| Sommer | 479 | 164 | 21 | 37 | 26 | 39 | 58 | 2 | 78 | 147 | 136 | 39 | 20 | 1 | 1 |
| Jahr | 480 | 323 | 95 | 89 | 89 | 70 | 84 | 3 | 106 | 272 | 268 | 79 | 26 | 1 | 1 |
| Gemessene Wolken- grenzen | | | 1076 | | | | | 535 | | | | | 375 | | |
| Gestartete Piloten . | | | 2263 | | | | | 1463 | | | | | 925 | | |
| Wolkengrenzen (%) | | | 48 | | | | | 37 | | | | | 41 | | |

Teilt man den ganzen Zeitraum in drei gleiche Intervalle:

$$a = 5 \text{ — } (10^h)$$

$$m = 10 \text{ — } (15^h)$$

$$p = 15 \text{ — } 20^h$$

die durch die Zeiten 6^h , 13^h , 16^h dargestellt gedacht werden können, faßt die Wolkenmessungen dieser drei Abschnitte je zu mittleren Höhen zusammen und berechnet daraus die Höhenschwankungen σ und σ' (letzte mit Hilfe der relativen Häufigkeiten), so erhält man die in Tabelle 21 wiedergegebene Übersicht:

Tabelle 21. Gang der mittleren Wolkenhöhen zwischen 6^h, 13^h und 16^h (Jahreswerte) nach Piloten von Friedrichshafen 1928—1937.

| Wolkenart | H _a | n | | | σ | | | σ' | | |
|------------------|----------------|-----|----|----|------|------|------|------|------|------|
| | | a | m | p | m—a | p—m | p—a | m—a | p—m | p—a |
| St | 1020 | 127 | 28 | 22 | + 10 | + 80 | + 90 | — 5 | + 65 | + 60 |
| Fnb | 1030 | 132 | 45 | 17 | +125 | +190 | +315 | + 85 | +195 | +280 |
| Ns | 1310 | 199 | 39 | 21 | + 50 | +235 | +285 | + 15 | +255 | +270 |
| Cu | 1790 | 21 | 56 | 27 | — 50 | +105 | + 55 | —110 | +105 | — 5 |
| Sc op | 1850 | 224 | 88 | 65 | — 30 | +200 | +170 | — 50 | +180 | +130 |
| Sc tra | 2415 | 80 | 42 | 27 | —265 | +315 | + 50 | —285 | +305 | + 20 |
| Ac op | 3240 | 77 | 52 | 40 | — 25 | + 10 | — 15 | — 20 | — 35 | — 55 |
| Ac tra | 4090 | 121 | 69 | 39 | —280 | +590 | +310 | —325 | +575 | +250 |
| As | 4255 | 64 | 58 | 55 | — 20 | +220 | +200 | —275 | +245 | — 30 |

Es zeigt sich dieselbe Erscheinung wie bei den Ergebnissen des Potsdamer Wolkenjahres (25), zum Teil noch ausgeprägter: Bei allen Wolkenarten, ausgenommen St, Fnb, Ns senkt sich der Schwerpunkt der Verteilung bis zum Mittag, um dann bis zu den Nachmittagsstunden wieder rasch anzusteigen und vielleicht in der Nacht ein Maximum zu erreichen. Über den ganzen Zeitraum 6^h bis 16^h ist bei fast allen Wolken ein Anstieg zu beobachten, besonders bei Ns und Fnb und unter den mittleren Wolken bei Sc op und Ac tra. Am stärksten sind die Einzelverschiebungen bei den beiden Translucidus-Arten; nur Ac op scheint den Schwerpunkt seiner Untergrenzen kaum zu ändern.

Um festzustellen, auf welche Weise diese Verschiebungen zustande kommen, wurden die Verteilungsbilder der einzelnen Wolkenarten in bezug auf die tageszeitliche Veränderung ihrer Haupthäufungsstellen (I., II., III. mit zunehmender Höhe) untersucht. Als Merkmal für die Veränderung diene einerseits die Höhenverschiebung Δh einer Häufungsstelle von Termin zu Termin, andererseits die Änderung des Häufigkeitsverhältnisses je zweier übereinander liegender Häufungsstellen ausgedrückt als Quotient m/a bzw. p/m. Ist dieser Quotient > 1, so wirkt die Änderung im Sinn einer Schwerpunktshebung. Über den Endeffekt entscheiden beide Änderungen zusammen. Natürlich wirken auch noch andere Änderungen der Kurvenform mit, die aber hier außer acht bleiben. Tabelle 22 gibt einen Überblick über die Anteile dieser relativen Vorgänge.

Tabelle 22. Änderungen der Häufungsstellen.

| Maxima | a → m | | | | | | m → p | | | | | |
|------------------|-------|--------------------------------------|-----|--|------|------|-------|--------------------------------------|-----|--|------|------|
| | I. | $\frac{(\text{II.})}{(\text{I.})}_m$ | II. | $\frac{(\text{III.})}{(\text{II.})}_m$ | III. | σ' | I. | $\frac{(\text{II.})}{(\text{I.})}_p$ | II. | $\frac{(\text{III.})}{(\text{II.})}_p$ | III. | σ' |
| | Δ h | $\frac{(\text{II.})}{(\text{I.})}_a$ | Δ h | $\frac{(\text{III.})}{(\text{II.})}_a$ | Δ h | (hm) | Δ h | $\frac{(\text{II.})}{(\text{I.})}_m$ | Δ h | $\frac{(\text{III.})}{(\text{II.})}_m$ | Δ h | (hm) |
| St | 0 | | ? | | | —0,1 | +3 | | | | | +0,6 |
| Fnb | +1 | | | | | +0,8 | +2 | | | | | +1,9 |
| Ns | 0 | | | | | +0,1 | 0 | | ? | | | +2,5 |
| Cu | —2 | 2,5 | —7 | | | —1,1 | 0 | 1,3 | +3 | | | +1,0 |
| Sc op | 0 | 0,4 | +4 | | | —0,5 | 0 | 3,0 | —2 | | | +1,8 |
| Sc tra | —3 | 0,6 | +1 | 0,5 | +2 | —2,8 | +1 | 3,9 | —3 | 1,6 | —1 | +3,0 |
| Ac op | —2 | 1,2 | —2 | 0,9 | —1 | —0,2 | +4 | 0,5 | +2 | 1,9 | 0 | +0,3 |
| Ac tra | —4 | 1,4 | —2 | 0,9 | +1 | —3,2 | +6 | 1,5 | +2 | 0,5 | +4 | +5,7 |

Die tiefen Wolken lassen wieder keine sicheren Schlüsse auf ihr tatsächliches Verhalten zu, da bei ihnen Einflüsse der Methode stärker im Vordergrund stehen, Cu überdies nicht einen bestimmten einheitlichen Typ vertritt.

Sc und Ac scheinen sich teilweise gegensätzlich zu verhalten: Während sich die Schichten I. am Vormittag allgemein senken, senken sich bei Ac auch die II., bei Sc hingegen steigen sie. Das Häufigkeitsverhältnis ändert sich aber bei Sc zugunsten von I. (oder „auf Kosten von II.“; da die Gesamthäufigkeiten bei Piloten nicht ohne weiteres vergleichbar sind, ist dies nicht zu entscheiden), bei Ac in umgekehrter Weise. Der Nachmittag zeigt die entgegengesetzten Verhältnisse.

Trotz der allgemeinen Senkung der Schwerpunkte, die in σ' zum Ausdruck kommt, erwecken die Einzeländerungen der Hauptschichten vom Vormittag zum Nachmittag den Anschein, als ob eine Zone etwa zwischen 2000 und 3000 m Höhe in bezug auf die beiden betrachteten Schichtwolkenarten relativ wolkenärmer würde; am Nachmittag scheint diese Zone sich nach größeren Höhen zu verschieben und dabei allmählich zu verschwinden. Offenbar begegnet hier dem wolkenbildenden und sich tagsüber verstärkenden Einfluß der Konvektion der auflösende des Gebirgswindsystems über dem Alpenvorland, dessen entsprechende Komponente sich gerade oberhalb 2000 m bemerkbar macht (12; vgl. hierzu auch Abschnitt 8, S. 26).

Die Mängel der Methode, vor allem das Fehlen verdeckter Wolken im Pilotmaterial, mögen auf das vorliegende Resultat einen Einfluß ausgeübt haben. Es bedarf daher noch einer Bestätigung, insbesondere wäre hierzu der Vergleich mit den Ergebnissen einer Beobachtungsstelle des flachen Landes aufschlußreich.

8. Die Verteilung der Wolkenluft in der vertikalen Luftsäule.

Während sich die vorangegangenen Untersuchungen auf die Begrenzung der Wolkenschichten bezogen hatten, soll im folgenden die Verteilung der „Wolkenluft“ in der vertikalen Luftsäule betrachtet werden.

Zählt man zu diesem Zweck die Fälle, in denen ein Höhenintervall ganz mit Wolke erfüllt ist, aus, rechnet als halbe Intervallerfüllung, wenn das Intervall eine obere bzw. untere Wolkengrenze enthält und ermittelt so die relative Häufigkeit, so ergibt sich ein Bild, das in Abb. 14 wiedergegeben ist.

Zunächst fällt das starke Überwiegen der Winter- über die Sommerhäufigkeiten in den unteren Luftschichten auf; oberhalb 2000 m Höhe kehren sich die Verhältnisse um, so daß im 3000-m-Niveau die Sommer-

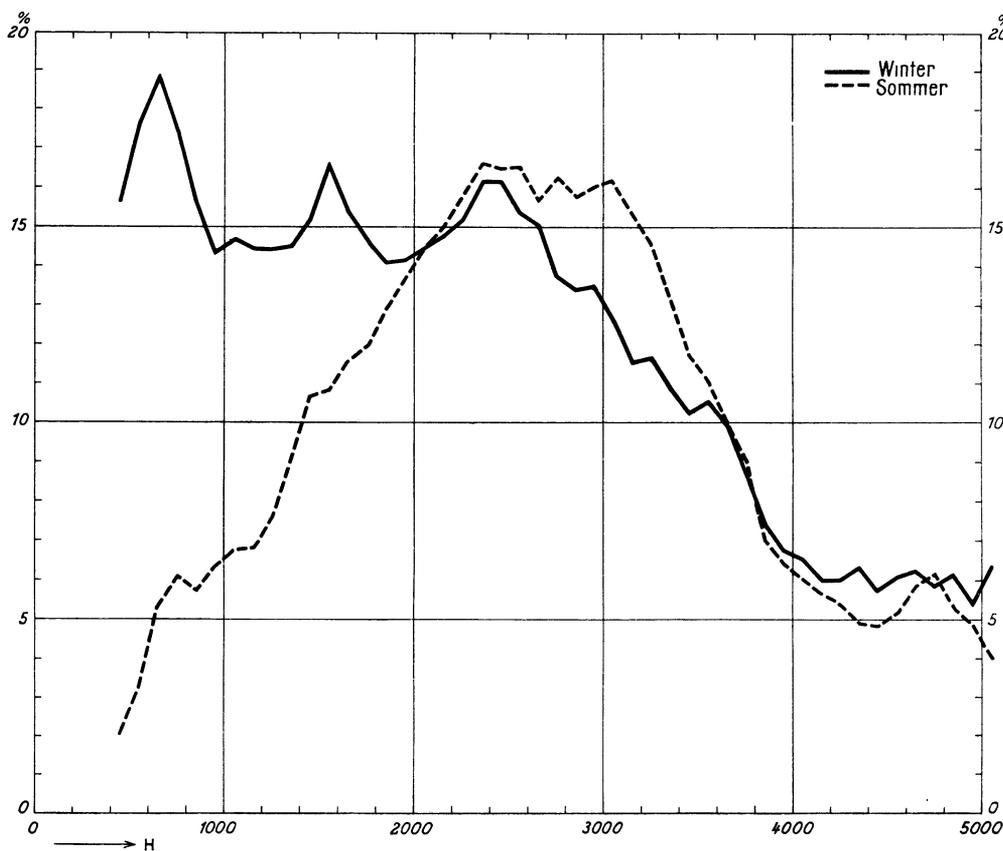


Abb. 14. Verteilung der Wolkenluft in der vertikalen Luftsäule nach Fesselaufstiegen von Friedrichshafen (Winter und Sommer). Relative Häufigkeiten (%₀, ausgeglichen) nach 100-m-Intervallen.

häufigkeit merklich vorherrscht, während gegen 4000 m hin die Unterschiede allmählich zu verschwinden scheinen. Im Winter liegt ein offenbar in der Bodenseegegend besonders stark ausgeprägtes Maximum im St-Niveau, ein zweites im Niveau des winterlichen Sc bei 1500 m Höhe; beide sind bei den Sommerwerten nur schwach angedeutet. Im Jahresdurchschnitt liegt das Hauptmaximum bei etwa 2500 m Höhe mit einem Wert von 16%; oberhalb 3000 m erfolgt rasche Abnahme auf einen für die höheren Schichten gleichbleibenden Wert von 6%, der bei etwa 4000 m Höhe erreicht wird. Dieser Wert mag etwas zu gering sein infolge der Bevorzugung antizyklonaler Wetterlagen mit wachsender Höhe durch die Aufstiegsmethode, doch ist

an der allgemeinen starken Abnahme oberhalb 3000 m nicht zu zweifeln; diese fällt übrigens zusammen mit einer Abnahme der thermischen Schichtung, die eine besondere Armut zwischen 3600 und 6500 aufzuweisen scheint (17).

Die Ursache des Überwiegens der Winterbewölkung in den Morgenstunden ist offenbar die Ausstrahlung. Besonders die unterste wolkenreichste Luftschicht ist im Winter von großer Beständigkeit und beteiligt sich nur wenig an der allgemeinen Bewegung, sie wird oft erst durch kräftige Druckänderungen beseitigt. Insgesamt reicht die abkühlende Wirkung des Kontinents (Ausstrahlung, Advektion) im Winter nach Schätzungen von W. Peppler (18) bis etwa 2500 m, also etwa der Höhe, bei der der Schnittpunkt der Kurven liegt.

In den höheren Schichten wird sich ebenfalls eine, wenn auch geringe wolkenbildende Wirkung der Ausstrahlung bemerkbar machen, die im Winter stärker ist als im Sommer; dem gegenüber steht aber die von der sommerlichen Konvektion in mittleren Höhen herrührende Bewölkung, die allerdings wie ein Vergleich der Flächenstücke in Abb. 14 schon dem Augenschein nach zeigt, in bezug auf die ganze Luftsäule bis 5000 m Höhe den Überschuß der Winterbewölkung in tieferen Schichten nicht kompensiert.

Zur Untersuchung der Frage, wie sich die Verhältnisse am Nachmittag gestalten, wurde das Material der Kriegsaufstiege aus den Jahren 1915—1918 herangezogen — in späteren Zeiten haben Nachmittags-

aufstiege fast ausschließlich nur noch an internationalen Tagen stattgefunden. Für eine vollständige Darstellung der Häufigkeitsverteilung entsprechend der Abb. 14 sind die Beobachtungen zu lückenhaft, eine Beschränkung auf einen ausgewählten Teil und die ausschließliche Betrachtung des Verhältnisses Vormittagshäufigkeit/Nachmittagshäufigkeit (a/m) für einige Höhenstufen war daher unumgänglich. Die Werte finden sich in Tabelle 25 (S. 29). Es zeigt sich, daß für die untersuchten Niveaus allgemein die Vormittagshäufigkeiten größer sind als die Nachmittagshäufigkeiten; eine einzige Ausnahme bildet das 1500 m Niveau im Winter, hierauf soll weiter unten eingegangen werden. Ferner ergibt sich, daß a/m im Sommer fast durchweg größer ist als im Winter; auch hier scheint eine geringfügige Ausnahme bei 2500 m Höhe zu bestehen, die sich im Zusammenhang mit der eben erwähnten erklären läßt.

Beim Nachmittagstyp der Häufigkeitsverteilung sind demnach die Gegensätze Winter/Sommer noch verschärft, eine Tagesbilanz der ganzen Luftsäule bis 5000 m Höhe läßt also insgesamt einen wesentlich größeren Wolkenreichtum des Winters gegenüber dem Sommer erwarten.

Zum Vergleich und zur Gewinnung weiteren Einblicks seien die Beobachtungen von Bergstationen herangezogen: Tabelle 23a gibt die Nebelhäufigkeit von vier Gipfelstationen des nördlichen Alpenrandes

Tabelle 23a. Nebelhäufigkeit auf einigen Berggipfeln zu den drei Hauptterminen 7½, 13½ und 21½ Uhr (%), 1928—1936.

| Station | H | a | | | | m | | | | p | | | |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | W | S | J | W/S | W | S | J | W/S | W | S | J | W/S |
| Zugspitze | 2963 | 31,9 | 41,5 | 36,7 | 0,77 | 30,1 | 47,2 | 38,7 | 0,64 | 33,1 | 47,6 | 40,3 | 0,70 |
| Säntis | 2500 | 32,2 | 40,9 | 36,5 | 0,79 | 32,6 | 46,5 | 39,4 | 0,70 | 34,1 | 44,8 | 39,3 | 0,76 |
| Feldberg S. | 1493 | 49,2 | 43,5 | 46,3 | 1,13 | 45,3 | 28,9 | 37,0 | 1,57 | 49,6 | 35,4 | 42,5 | 1,40 |
| Hohenpeißenberg | 994 | 23,3 | 17,1 | 20,2 | 1,36 | 16,5 | 6,6 | 11,5 | 2,50 | 17,3 | 8,0 | 12,6 | 2,16 |

und Alpenvorlandes aus den Jahren 1928—1936 zu den drei Hauptterminen (a , m und p) nach Jahreszeiten getrennt sowie das Verhältnis W/S . Der jahreszeitliche Gang der Bewölkung ist demnach auf den Gipfeln und in der freien Atmosphäre gleichsinnig, nur verschieden ausgeprägt. Die Häufigkeitszahlen selbst sind aber wesentlich größer als in der freien Atmosphäre nach den Werten der Abb. 14 und Tab. 25. Ein unmittelbarer Vergleich ist allerdings nicht möglich, da es sich bei den Werten für die freie Atmosphäre um Erfüllung eines gewissen Höhenintervalls, bei den Berggipfeln um das Vorkommen in einem bestimmten Niveau handelt. Für die Berggipfel sind aber auch grundsätzlich andere Verhältnisse zu erwarten, die sich schon im Wind (24) der Temperatur (19) und anderen Elementen äußern. Tabelle 23b enthält die Beziehungen a/m , m/p und a/p für die betr. Gipfel.

Tabelle 23b.

| H rund | a/m | | m/p | | a/p | |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | W | S | W | S | W | S |
| 3000 | 1,1 | 0,9 | 0,9 | 1,0 | 1,0 | 0,9 |
| 2500 | 1,0 | 0,9 | 1,0 | 1,0 | 0,9 | 0,9 |
| 1500 | 1,1 | 1,5 | 0,9 | 0,8 | 1,0 | 1,2 |
| 1000 | 1,4 | 2,6 | 0,9 | 0,8 | 1,4 | 2,1 |

Wieweit Rückschlüsse vom Berg auf die freie Atmosphäre bezüglich Bewölkung möglich sind, kann hier lediglich durch Vergleich mit dem Säntis untersucht werden. Der Säntisgipfel als Exponent des Alpensteinmassivs ist schon dem Alpenrand, einem im ganzen veränderten Witterungsgebiet zugehörig, obwohl seine Entfernung vom Bodensee nur rund 45 km beträgt. Es gelten also für den Vergleich dieselben Vorbehalte wie bei den anderen Elementen; für die übrigen Gipfel ist er schon nicht mehr zulässig.

In Tabelle 24 sind die Häufigkeitszahlen der vier Möglichkeiten gleichzeitiger Zustände (I—IV) für die Jahre 1915—1918, in Prozenten der Aufstiege, die das 2500-m-Niveau erreicht haben, gegeben. Die Spalten V und VI enthalten die entsprechenden Wolkenvorkommen dieses Zeitraums in der freien Atmosphäre und auf dem Säntis. Die Einzelwerte stimmen zwar nicht mit denen aus den Jahren 1928—1936 (Tabelle 23a) überein; das hängt mit den Witterungsunterschieden der Zeiträume, den Unterschieden zwischen Terminbeobachtung und Beobachtung zur Aufstiegszeit und schließlich dem Ausfall einiger Witterungsperioden mit starker Bewölkung und der durch die Methode bedingten Auswahl zusammen. Bildet man aus den Spalten V und VI die Reduktionsfaktoren Q Säntis — freie Atmosphäre, führt mit ihrer Hilfe die Terminbeobachtungen der Tabelle 23a auf die freie Atmosphäre zurück (Spalte VII), so findet man das hieraus berechnete a/m für die freie Atmosphäre in guter Übereinstimmung mit dem direkt aus Spalte V ermittelten. Dieser Quotient scheint also hinreichend sicher zu sein.

Es ist daraus ersichtlich, daß im Winter die Wolkenhäufigkeit sowohl auf dem Säntisgipfel als in der freien Atmosphäre in den Morgenstunden überwiegt, in letzterer in stärkerem Maß. Im Sommer hingegen

Tabelle 24. Gleichzeitige Bewölkung auf dem Säntisgipfel und in der freien Atmosphäre über Friedrichshafen in 2500 m Höhe, sowie relative Wolkenhäufigkeit (%) an diesen Orten zur Aufstiegszeit (1915—1918).

| | | I | II | III | IV | V | VI | V/VI | VII |
|-------------------------|-----|---------|------|---------|---------|------|------|------|------|
| Säntis | | Keine W | W | W | Keine W | — | W | Q | |
| Freie Atmosph. (2500) . | | Keine W | W | Keine W | W | W | — | | |
| Winter . . | a | 70,5 | 16,9 | 9,3 | 3,4 | 20,3 | 26,2 | 0,78 | 27,7 |
| | m | 72,8 | 16,4 | 8,7 | 2,1 | 18,5 | 25,1 | 0,74 | 25,2 |
| | a/m | 0,97 | 1,03 | 1,07 | (1,6) | 1,10 | 1,04 | 1,05 | 1,10 |
| Sommer . . . | a | 69,1 | 16,2 | 13,0 | 1,7 | 17,9 | 29,3 | 0,61 | 21,1 |
| | m | 67,3 | 17,2 | 15,2 | 0,2 | 17,4 | 32,5 | 0,54 | 21,4 |
| | a/m | 1,03 | 0,94 | 0,86 | (8,5) | 1,03 | 0,90 | 1,13 | 0,99 |
| Jahr | a | 69,7 | 16,6 | 11,3 | 2,5 | 19,1 | 27,7 | 0,69 | 24,1 |
| | m | 69,9 | 16,8 | 12,1 | 1,1 | 17,9 | 28,9 | 0,62 | 22,8 |
| | a/m | 1,00 | 0,99 | 0,93 | (2,3) | 1,07 | 0,96 | 1,11 | 1,06 |

verschwindet der Unterschied in der freien Atmosphäre nahezu ganz, während auf dem Säntisgipfel nun die Nachmittagsbewölkung stärker ist.

Für die Erklärung des unterschiedlichen Verhaltens von Säntisgipfel und freier Atmosphäre lassen sich folgende Vorgänge in Betracht ziehen: Bei freier Gipfellaage wird eine Abkühlung der Luft in Bodennähe vermittlems nächtlicher Ausstrahlung nur von geringem Einfluß sein können, zumal Windstillen sehr selten sind. An geschützten Hängen, in offenen Mulden und Karen hingegen wird ein Abfließen erkalteter Luftmassen stattfinden, das die Gipfellaft mit in Bewegung bringt. Diese wird z. T. durch dynamisch erwärmte Luft höherer Schichten ersetzt werden müssen (7). In ähnlicher Weise wird die mittäglich erwärmte Luft dem Gipfel zuströmen und dort gehoben werden. In den Temperaturdifferenzen Gipfel-freie Atmosphäre kommen diese Verhältnisse klar zum Ausdruck (19). Verstärkt werden die Wirkungen im Sommer durch die größeren Temperaturgradienten in der freien Atmosphäre besonders um die Mittagszeit und die stärkeren Gegensätze im Gang der Strahlung. Diesen Vorgängen überlagert sich die allgemeine vertikale Ablenkung der Strömung am Berg, die ebenfalls im Sommer durch die größeren Temperaturgradienten verstärkt wird (19). Die Verhältnisse werden zwar noch motiviert durch die Abhängigkeit von der allgemeinen Windrichtung, durch die relative Armut des Bodenseegebiets an hoch hinaufreichender Cu-Bewölkung und andere Erscheinungen, die jedoch gesondert an anderer Stelle behandelt werden sollen.

Die Anteile der beiden Hauptwirkungen auf die Wolkenbildung, Strahlung und Strömungsablenkung lassen sich nicht streng trennen, sie kommen aber bis zu einem gewissen Grad einzeln in den Quotienten a/m und Q quantitativ zur Geltung: Während die a/m der freien Atmosphäre und des Berggipfels sich nur wenig unterscheiden und für Sommer und Winter die oben geschilderten Strahlungseinflüsse in gleicher Weise und als relativ gering erkennen lassen, tritt in den Q die weit stärkere Wirkung der vertikalen Ablenkung der Strömung durch den Berg zutage, deren Überwiegen, wie bereits erwähnt, im Sommer offenbar auf die Verstärkung des Temperaturgradienten zurückzuführen ist.

Während die Zugspitze ähnliche Beziehungen zur freien Atmosphäre erkennen läßt wie der Säntis, erscheinen die Verhältnisse bei den Gipfeln geringerer Höhe verwickelter. Die Einflüsse des ganzen Landschaftstypus (Reibungszone), dem sie angehören, wirken sich hier stärker aus. Beim Hohenpeißenberg könnte man zwar von „freier Lage“ sprechen und Abweichungen lediglich auf die Wirkung des Berges selbst zurückführen. Der Unterschied zwischen Winter und Sommer zum Frühtermin ist aber in der freien Atmosphäre verhältnismäßig größer als zu erwarten. Hieran mag die im Bodenseegebiet besonders große Häufigkeit des winterlichen St Schuld tragen, deren Maximum in dieses Niveau fällt. Das Verhältnis a/m auf dem Hohenpeißenberg erreicht besonders im Sommer einen hohen Wert. Die Cu-Basis über der Ebene liegt im allgemeinen höher, so daß die Mittagsnebel auf dem Berg im wesentlichen dem seltener bewölkten Frnb-Niveau angehören dürften, während in den Morgenstunden häufig Nebel nach Niederschlag entsteht, wenn die freie Atmosphäre sonst in diesem Niveau keine Wolken führt. Der Gipfel des Feldberg i. Schw. ragt in das Sc-Niveau, hieraus erklären sich die verhältnismäßig hohen Nebelziffern dieses Berges. Die Senkung der Wolkenschichten durch die Hinderniswirkung über dem Schwarzwald wird schon von W. Hartmann (11) festgestellt, aus dem Verhältnis der Wolkenhäufigkeiten ist zu schließen, daß sie etwa von derselben Größenordnung ist wie bei den Alpengipfeln. Das Verhältnis W/S ist auch hier kleiner als in der freien Atmosphäre, was ebenfalls zum Teil auf die Wirkungen zurückgeführt werden kann, die für die höheren Gipfel gelten. Was den Quotienten a/m betrifft, so tritt ein Unterschied besonders im Sommer hervor. Dies kann damit zusammenhängen, daß die sommerliche Cu-Bildung, die in dieser Höhe ein Häufigkeitsmaximum aufweist, über dem See stärker unterdrückt wird. Andererseits ist allerdings auch zu berücksichtigen, daß über dem Schwarzwald häufig das Cu-Kondensationsniveau gehoben ist.

Der Einfluß der Berggipfel auf die Wolkenbildung beruht also — die Ergebnisse seien nochmals zusammengefaßt — einerseits auf der Wirkung eines durch den täglichen Gang der Strahlung sich ausbildenden Strömungssystems, andererseits auf den adiabatischen Vorgängen bei der durch das Hindernis erzwungenen Ablenkung. Letztere ist für die Wolkenerzeugung bei weitem der wirksamste Vorgang und verursacht im Winter fast den doppelten, im Sommer sogar mehr als den doppelten Wolkenreichtum gegenüber der ungestörten Atmosphäre. Dies gilt für alle Gipfel in nahezu gleicher Weise. Unterschiede sind für die einzelnen Windrichtungen wegen der verschiedenen Wolkenbereitschaft der Luftmassen zu erwarten, dies hat Dreyling für die Mittelgebirgsgipfel gezeigt (l. c.). Da die Ablenkung am Gipfel stark vom Profil abhängt, wie z. B. Schumacher für Säntis und Zugspitze nachgewiesen hat, wird überdies die Neigung zur Bewölkung für die verschiedenen Windrichtungen verschieden ausfallen (l. c.), doch soll dies hier nicht näher untersucht werden. Weitere Momente bilden Bodenbeschaffenheit und Vegetation (Wärmeaufnahme und -abgabe, Nebel nach Niederschlag, Beeinflussung des Kondensationsniveaus) und schließlich für die Gipfel geringerer Höhe der Landschaftstypus der ganzen Umgebung.

Wendet man sich eingehender dem Verhältnis a/m zu, so findet man nach der Darstellung der Werte von Tabelle 25 in Abb. 15 die besondere Stellung des 2000-m-Niveaus, in dem sich anscheinend sowohl auf

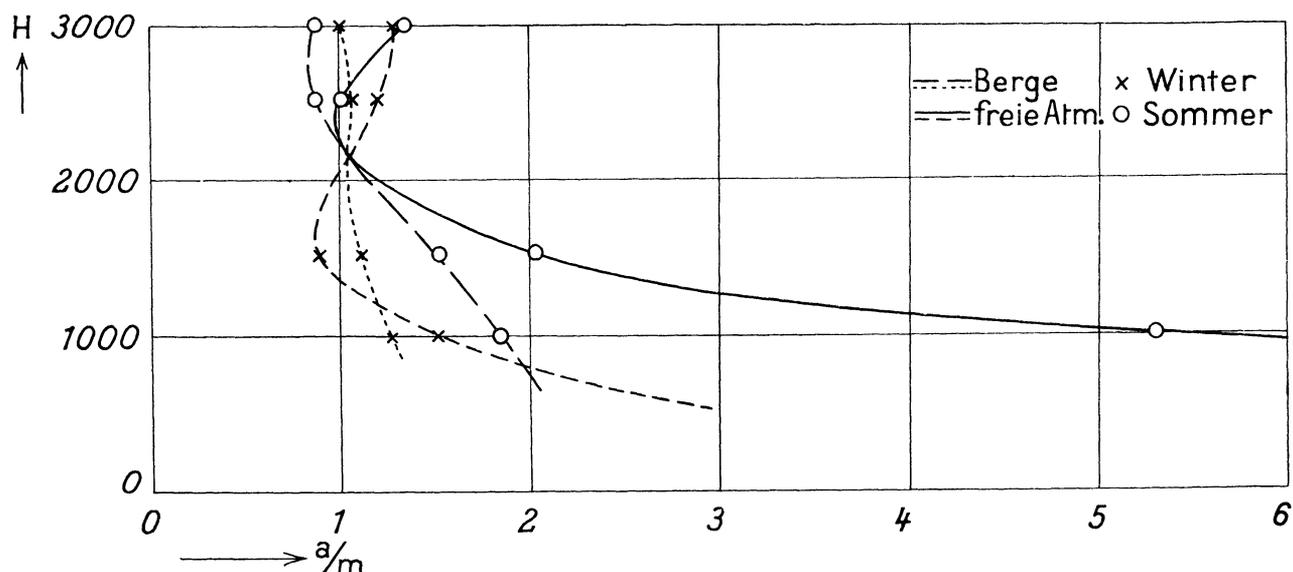


Abb. 15. Verhältnis zwischen Vormittags- und Nachmittagswerten der Wolkenhäufigkeiten verschiedener Niveaus, auf Berggipfeln und in der freien Atmosphäre über Friedrichshafen; Sommer- und Winterhalbjahr.

Berggipfeln als in der freien Atmosphäre Vormittags- und Nachmittagswerte nahezu das Gleichgewicht halten; es ist dasselbe Niveau, in dem nach Abb. 14 auch Sommer- und Winterhäufigkeit gleich sind. Ferner zeigen sich für die freie Atmosphäre deutlich die obenerwähnten Minima in etwa 2500 m und 1500 m, bei denen ausnahmsweise $a/m \approx 1$ ist, und schließlich für die untersten Schichten im Sommer extrem hohe Werte von a/m .

Tabelle 25. Nebelhäufigkeit (%) zum Früh- und Mittagstermin (a und m) auf Zugspitze, Säntis, Feldberg/S., Hohenpeißenberg sowie in der freien Atmosphäre in den entsprechenden Höhen (1915—1918).

| | | 3000 | | 2500 | | 1500 | | 1000 | |
|--------------|--------|------|---------|------|-------------|-------------|-------------|------|---------|
| | | Z | fr. At. | S | fr. At. | FS | fr. At. | Hp. | fr. At. |
| Winter . . . | a | 35,4 | 24,5 | 35,6 | 20,3 | 49,2 | 26,8 | 38,7 | 32,0 |
| | m | 35,4 | 19,1 | 34,0 | 18,5 | 45,3 | 31,7 | 30,7 | 21,2 |
| Sommer . . . | a | 40,4 | 20,4 | 34,6 | 17,9 | 43,5 | 17,7 | 25,4 | 11,1 |
| | m | 46,8 | 15,2 | 39,6 | 17,4 | 28,9 | 8,8 | 14,1 | 2,1 |
| a/m | Winter | 1,00 | 1,28 | 1,05 | 1,10 | 1,11 | 0,85 | 1,26 | 1,51 |
| | Sommer | 0,86 | 1,34 | 0,87 | 1,03 | 1,50 | 2,01 | 1,80 | 5,30 |

An dem periodischen Gang der Bewölkung können besondere Windsysteme Anteil haben. Im Bodenseegebiet ist der Periode des täglichen Windganges, wie er sich über der freien Ebene des Kontinents ausbildet, zunächst in den untersten Schichten das Land-Seewindsystem überlagert, das sich jedoch mit seiner Gegenströmung nur bis etwa 400 m über dem Boden, d. h. 800 m über NN auswirkt (13). Darüber findet sich ein dem Berg- und Talwind ähnliches durch das Gebirge erzeugtes Strömungssystem, das tagsüber in den unteren Schichten gegen das Gebirge gerichtet ist, oberhalb einer neutralen Schicht zwischen 1000 und 2000 m aber

eine Südkomponente bewirkt. Bei Nacht und in den Morgenstunden ist der Sinn der Zirkulation umgekehrt (12). Diese Systeme setzen aber eine ungehinderte Ein- und Ausstrahlung voraus und sind bei bewölktem Himmel stark motiviert.

Auf die Wolkenbildung hat der Landwind in den Morgenstunden in der Weise Einfluß, daß sich über dem See nicht geschlossene St-Schichten ausbilden, die je nach dem allgemeinen Druckgradienten nach S oder N hin verlagert und gehoben sind und im Lauf des Vormittags schon vor Einsetzen des Seewindes sich wieder auflösen, so daß der See um die Mittagszeit in den unteren Schichten vollkommen wolkenfrei ist. Im 1000-m-Niveau sind diese Schichtwolken häufig noch anzutreffen, besonders im Frühjahr, Früh- und Spätsommer. So werden die hohen Werte von a/m in 1000 m im Sommer leicht erklärlich. Die geschlossenen St-Decken des Winters verhindern zwar das Zustandekommen des Land- und Seewindes, doch ist im Winter gewöhnlich der See wärmer als das Land, so daß dort vertikale Windkomponenten auch dann noch möglich sind und eine mittägliche Auflösung meist verhindern, zumal eine Feuchtezufuhr von der Oberfläche des Sees her mitwirkt (20).

Der Gebirgswind dürfte in der Nacht und in den Morgenstunden zur Zeit der stärksten Ausstrahlungsabkühlung im Vorland eine wolkenbildende Komponente entwickeln, und zwar in erster Linie unterhalb der neutralen Schicht; sie macht sich bemerkbar in kurzlebigen Sc-Bänken zwischen 1000 und 1500 m Höhe. Der Nachtwind ist besonders im Winter durch die Schneeverhältnisse im Gebirge gegenüber dem Tagwind begünstigt, wobei sich das System meist über den St-Schichten des Vorlandes ausbildet. Die auflösende Wirkung des Tagwindes oberhalb 2000 m wurde in Abschnitt 7 besprochen.

So erklärt sich der Tageswechsel der Bewölkungserscheinungen der freien Atmosphäre im Vorland in den tieferen Schichten zum großen Teil aus den periodischen Strömungsvorgängen des Bodenseegebiets.

Zur Untersuchung der Anomalie in 1500 m wurden die einzelnen Wolkenarten des betreffenden Niveaus in Betracht gezogen, und zwar im wesentlichen St, Sc, Cu und „Nb“. (Nach den damals üblichen Benennungen wurde mit Nb nicht nur Ns, sondern offenbar auch Sc op und geschlossene Fnb-Schichten bezeichnet, doch dürften die Ns nach den Zustandkurven überwiegen.) Tabelle 26 enthält das Verhältnis a/m dieser Wolkenarten für Winter- und Sommerhalbjahr.

Tabelle 26. a/m im 1500-m-Niveau.

| | St | Sc | Cu | Nb |
|-------------|-----|-----|-------|-----|
| W | 0,7 | 1,2 | (0,0) | 0,8 |
| S | 0,5 | 1,6 | — | 2,9 |

Das Vorherrschen der Nachmittagswerte zeigt sich hier schon im St, der allerdings in diesem Niveau nur selten auftritt und dort meist seine obere Grenze hat. Entscheidend für das Gesamtbild ist das Verhalten des Nb, der vorherrschenden Wolke. Untersucht man die räumliche Veränderung der Wolkenarten von Vormittag zu Nachmittag etwa durch die Unterscheidung von Bildung, Auflösung, Hebung, Senkung, wobei sich natürlich eine gewisse Willkür der Deutung nicht vermeiden läßt, so kommt man auf das Ergebnis der Tabelle 27.

Tabelle 27. Veränderung des Wolkenzustands im 1500-m-Niveau vom Vor- zum Nachmittag.

| | St | | Sc | | Cu | | Nb | |
|------------------------|----|---|----|---|----|---|----|----|
| | W | S | W | S | W | S | W | S |
| Bildung | 0 | 0 | 4 | 2 | 2 | 1 | 10 | 0 |
| Auflösung | 0 | 1 | 0 | 7 | 0 | 0 | 11 | 22 |
| Hebung | 9 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 4 | 9 |
| Senkung | 1 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 20 | 4 |
| Fortbestehen | 7 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 39 | 11 |

Der Befund zeigt deutlich ein gewisses gegensinniges Verhalten des Nb im Sommer und Winter und weist darauf hin, daß zumindest der Aufbau dieser Wolke einem täglichen Gang unterworfen ist. Das Material der Kriegsaufstiege ist allerdings in bezug auf Wolkengrenzenangaben und Feuchtereistrierungen nicht so zuverlässig, als es zur vollen Klärung dieser Frage wünschenswert gewesen wäre.

In den meisten Fällen, in denen „Nb“ verzeichnet war, fiel Niederschlag. Betrachtet man etwa den stündlichen Gang des Niederschlags von Wien (14), einer für Inlandstationen gemäßiger Breiten repräsentativen Beobachtungsstelle (Friedrichshafen weist keine entsprechende Reihe auf), so findet man zum Frühtermin sowohl Sommer als Winter ein Maximum der Häufigkeit und der Menge, dem um die Mittagszeit (14—15 Uhr) im Winter ein Minimum gegenübersteht. Im Sommer fällt dieses Minimum noch auf die Vormittagsstunden, ein zweites Maximum wird erst nach 17 Uhr erreicht. Die Frühmaxima werden als „Abkühlungseffekt“, die Nachmittagsmaxima, besonders im Sommer, als „Konvektionseffekt“ gedeutet. Die

Bewölkung des ersteren wird demnach den eigentlichen Nimbuscharakter annehmen, während die des letzteren offenbar häufiger dem Cumulonimbustyp angehört, der in den Aufstiegen nicht vertreten ist. Die Abkühlung wird zunächst im oberen Teil des Nb wirksam, wo die Bedingungen für Eiskristallbildung vorherrschend gegeben sind. Ist die Kristallbildung einmal im Gang, so kann sich die Entwicklung zur Regenwolke ziemlich rasch vollziehen (vgl. 9). Im Niederschlagsstadium wird nun meist in der Nähe der Nullgradisotherme die untere Wolkenzenge angetroffen, beziehungsweise zeigt sich dort ein wolkenfreier Raum (23, 4), der auch bei dem vorliegenden Material aus dem Verlauf der relativen Feuchte häufig zu erkennen ist und mit dem Verhalten der Niederschlagsselemente in der Schmelzzone zusammenhängt. Da die Schmelzzone im Winter im Mittel in der Umgebung des 1500-m-Niveaus liegt, der freie Raum aber um so eher bestehen kann, je mehr die Niederschlagsbildung entwickelt ist, und sich in einem späteren Stadium häufig durch Quellwolken von unten her aufzufüllen scheint (größerer Temperaturgradient, vgl. 23), wird der Befund in Tabelle 27 verständlich. Einerseits ist zu beobachten, daß im Verlauf der ganzen Witterungserscheinung sich im allgemeinen die Nullgradgrenze senkt, andererseits findet man, daß sich die Wolke nach tieferen Schichten durch Feuchteanreicherung und Neubildung entwickelt.

Im Sommer liegt die Schmelzzone um 2500 m, wo wiederum a/m ein Minimum hat. Es ist nahelegend, auch dieses Minimum auf das oben beschriebene Verhalten des Nb zurückzuführen. Da die Wolkenangaben für dieses Niveau noch unsicherer sind, läßt sich allerdings aus dem vorliegenden Material kein direkter Nachweis erbringen.

Das inverse Verhalten des Nb im Sommer in 1500 m Höhe spricht dafür, daß in tieferen Schichten mit positiven Temperaturen bei längerer Dauer des Niederschlags und Fehlen von Konvektionsbedingungen allmählich Wolkenauflösung durch Koagulation und Verdampfung eintritt (9).

Man kann nunmehr dazu übergehen, das Verhältnis (W/S) der Tagesbilanz der Wolkenhäufigkeit in der vertikalen Luftsäule für das Bodenseegebiet aufzustellen. Wie sich aus der Nebeldauer auf Berggipfeln zeigen wird, läßt diese sich aus der Nebelhäufigkeit a des Frühtermins und m des Nachmittagstermins näherungsweise durch die Formel $d = \frac{3 \times a + 2 \times m}{5}$ darstellen, und zwar mit hinreichender Genauigkeit für Gipfel aller Höhen. Nimmt man an, daß diese Beziehung auch für die freie Atmosphäre gelte und wendet sie in der Form $d = a \frac{3 + 2/q}{5}$ an, wobei $q = \frac{a}{m}$ in Abb. 15 gegeben, so lassen sich die Häufigkeitskurven der Abb. 14 reduzieren auf Kurven der mittleren täglichen Wolkendauer. Integriert man über diese Kurven zunächst bis 5000 m, so ergibt sich ein $(W/S)_{T(5000)} = 1,26$. Nimmt man an, daß die Bewölkung oberhalb 5000 m noch rund $\frac{1}{5}$ der im Tagesmittel darunterliegenden ausmache und dieser Betrag keinem täglichen Gang mehr unterworfen sei, so ergibt sich für die Tagesbilanz des Verhältnisses zwischen Winter- und Sommerbewölkung in der ganzen vertikalen Luftsäule rund $(W/S)_{T(\infty)} = 1,2$.

Für die Dauer, während der ein Niveau der vertikalen Luftsäule in einer Wolke liegt, lassen sich, wie erwähnt, Anhaltspunkte wiederum aus den Verhältnissen auf Berggipfeln gewinnen. Es wurden die Beobachtungen des Säntis, Feldberg i. Schw. und Hohenpeißenberg aus den Jahren 1931—1933 herangezogen. Tabelle 28 zeigt die Nebeldauer an den Gipfelstationen zur Nacht- und Tageszeit, wobei die Nacht von 18^h—6^h, der Tag von 6^h—18^h gerechnet wurde. Die Angaben für die Nachtzeit sind naturgemäß lückenhaft,

Tabelle 28. Beziehung zwischen Nebeldauer und Nebelhäufigkeit an den drei Beobachtungsterminen (1931—1933).

$$\begin{array}{l} N = 18^h - 6^h \\ T = 6^h - 18^h \end{array} \quad \begin{array}{l} a = \frac{7 + 14 + 21}{3} \\ b = \frac{7 + 14 + 2 \times 21}{4} \\ c = \frac{2 \times 7 + 14 + 21}{4} \end{array} \quad \begin{array}{l} a = \frac{7 + 14}{2} \\ \beta = \frac{3 \times 7 + 2 \times 14}{5} \end{array}$$

| | | Dauer (%) | | | nach Terminbeobachtung | | | | | N/T |
|-----------------------|---|-----------|------|------|------------------------|-------------|-------------|------|-------------|------|
| | | N | T | N+T | a | b | c | a | β | |
| Säntis (2500) | W | 30,8 | 31,4 | 30,9 | 31,2 | 31,4 | 30,9 | 30,8 | 31,0 | 0,98 |
| | S | 43,8 | 47,0 | 45,3 | 46,9 | 47,1 | 46,2 | 46,3 | 45,9 | 0,93 |
| | J | 37,3 | 38,4 | 38,2 | 39,0 | 39,2 | 38,5 | 38,5 | 38,2 | 0,97 |
| Feldberg/S. (1493) | W | 46,2 | 45,8 | 45,9 | 44,9 | 45,2 | 45,1 | 44,3 | 44,5 | 1,01 |
| | S | 39,1 | 37,6 | 38,3 | 38,8 | 38,6 | 40,3 | 40,3 | 39,0 | 1,04 |
| | J | 42,6 | 41,6 | 42,2 | 41,8 | 41,9 | 42,7 | 41,6 | 42,3 | 1,02 |
| Hohenpeißenberg (994) | W | — | — | — | 20,6 | 20,4 | 21,4 | 20,9 | 21,6 | — |
| | S | — | — | — | 11,3 | 11,1 | 12,7 | 11,8 | 12,8 | — |
| | J | — | — | — | 15,9 | 15,7 | 17,0 | 16,3 | 17,1 | — |

doch ist besonders auf dem Feldberg mit großer Gewissenhaftigkeit Tagebuch geführt worden, so daß die Zahlen ziemlich sicher sein dürften, während die Angaben des Hohenpeißenberg nicht direkt verwendet werden konnten. Versucht man aus den drei Terminbeobachtungen Zahlen für die Nebeldauer in ähnlicher Weise zu gewinnen, wie dies für die Bedeckungszahlen nach bekannten Formeln geschehen ist (1, 26), so findet man sehr gute Übereinstimmung mit den direkt ermittelten Werten. Für den Säntis ist sie am besten, wenn man dem Frühtermin Übergewicht verleiht, für den Feldberg bei Bevorzugung des Abendtermins. Dies ist nach den weiter oben gemachten Ausführungen leicht verständlich. Unter der Annahme, daß für den Hohenpeißenberg ähnliche Verhältnisse gelten wie für den Feldberg, ist die Nebeldauer auch für jenen aus den Terminbeobachtungen berechnet worden. Es besteht demnach eine enge Beziehung zwischen mittlerer Nebeldauer und Nebelhäufigkeit zu geeignet gewählten Terminen. In den Spalten 7 und 8 sind für die Berechnung lediglich Früh- und Mittagstermin verwendet, auch diese Näherungen sind brauchbar. Nimmt man an, daß die Bewölkungsdauer der freien Atmosphäre in der gleichen Weise aus den Häufigkeitswerten von Terminbeobachtungen erschlossen werden kann, so ist für die Wahl der Formel zu berücksichtigen, daß besonders im Sommer im Bodenseegebiet die Frühbewölkung der tieferen Schichten von kürzerer Dauer ist, so daß für diese der Nachmittagshäufigkeit das Übergewicht gegeben werden muß.

Eine feste Beziehung zwischen Häufigkeit zu einem bestimmten Termin in einem festen Raumpunkt und mittlerer Dauer des Wolkenzustands in diesem Punkt ist ja auf alle Fälle zu erwarten: Einerseits ist Wolkenhäufigkeit das Verhältnis zwischen der Zahl der Fälle mit Wolke und der Gesamtzahl der Stichproben (Terminbeobachtungen), andererseits ist mittlere Dauer das Verhältnis zwischen Dauer des Wolkenzustands und Gesamtdauer der Beobachtung. Der von Wolkenmasse durchsetzte Anteil einer relativ zur Ausdehnung einzelner Wolkengebilde (Bänke, Elemente) großen horizontalen Fläche sei „Flächenbedeckung“ genannt; da sich die Atmosphäre im allgemeinen in Bewegung befindet, werden Flächenbedeckung und mittlere Dauer über eine längere Zeit nahezu von gleicher Größe sein. Ist die Flächenbedeckung nicht nur räumlichen, sondern auch zeitlichen Schwankungen unterworfen, so ändert dies nichts Wesentliches an der Beziehung zwischen Häufigkeit und mittlerer Dauer, zumal die zeitlichen Änderungen eine untergeordnete Rolle gegenüber dem raum-zeitlichen Ablauf spielen. Nach diesen Betrachtungen ist klar, daß die Wahl des Stichproben-termins nur dann eine Rolle spielen kann, wenn Perioden im raum-zeitlichen Ablauf oder dem rein zeitlichen Geschehen von der Größe der Termin-, d. h. Tagesperiode oder harmonischer Komponenten derselben vorhanden sind. Ist dies nicht der Fall, so darf Übereinstimmung zwischen Häufigkeit und Flächenbedeckung erwartet werden. Man erkennt aber auch die Möglichkeit, von der in der Meteorologie häufig Gebrauch gemacht wird, innerhalb einer Periode Werte verschiedener Termine mit geeigneten Gewichten zu einem der mittleren Flächenbedeckung gleichen Wert zu verbinden, wie dies im Vorhergehenden für die freie Atmosphäre in Analogie zu den Gipfelbeobachtungen geschehen ist.

Der Bodenbeobachter versteht unter „Bedeckung“ die perspektivische Projektion der Wolken auf das Himmelsgewölbe als Anteil am Gesamthimmel, er berücksichtigt also alle vorhandenen Schichten, soweit sie sich nicht gegenseitig überdecken. Eine einzelne Fläche wird nun zeitweise wolkenfrei sein, zeitweise ganz oder teilweise bedeckt, im Mittel also einen Durchblick nach höheren Schichten entsprechend ihrer mittleren Flächenbedeckung gestatten. Da die Wolken im allgemeinen in diskreten Schichten in der Atmosphäre auftreten, läßt sich eine Beziehung zwischen Flächenbedeckung bzw. Häufigkeit und allgemeiner Bedeckung ableiten:

Ist b_1 die Bedeckung der untersten Wolkenschicht (Flächenbedeckung), h_1 die Häufigkeit in dieser Schicht, so ist, wie oben ausgeführt

$$b_1 = h_1.$$

Der Durchblick nach den höheren Schichten ist also $1-h_1$ und damit der Anteil der für den Bodenbeobachter erkennbaren Bewölkung der zweiten Schicht

$$b_2 = (1-h_1) h_2.$$

Für eine dritte Schicht erhält man

$$b_3 = 1-(b_1 + b_2) h_3 = h_3 - (h_1 h_3 + h_2 h_3) + h_1 h_2 h_3$$

usf. Die Gesamtbedeckung ist dann bei Vorhandensein von n -Schichten im Mittel

$$b = \sum_{i=1}^n b_i = \sum_{i=1}^n h_i - \sum_{i=1}^n h_i (h_1 + h_2 + \dots + h_{i-1}) + \sum_{i=1}^n h_i \{h_1 (h_2 + h_3 + \dots + h_{i-1}) + h_2 (h_3 + h_4 + \dots + h_{i-1}) + \dots + h_{i-2} h_{i-1}\} + \dots$$

Man kann statt der einzelnen Häufigkeiten mit genügender Näherung eine mittlere Häufigkeit h_m aller Schichten einsetzen und erhält dann schließlich:

$$b \approx \binom{n}{1} h_m - \binom{n}{2} h_m^2 + \dots + (-1)^{r-1} \binom{n}{r} h_m^r + \dots + (-1)^{n-1} h_m^n = 1 - (1 - h_m)^n.$$

Die Formel läßt sich anwenden, wenn die Anzahl n der in der Atmosphäre auftretenden Schichten, sowie die mittlere Häufigkeit bekannt sind; sie läßt sich an Beobachtungen der Himmelsbedeckung, die zu verschiedenen Jahreszeiten und von verschiedenen hochgelegenen Orten ermittelt sind, nachprüfen.

Aus den auf Tagesmittel reduzierten Häufigkeitskurven lassen sich wiederum unter der Annahme, daß sich oberhalb 5000 m Höhe rund $\frac{1}{5}$ der darunterliegenden Wolkenmenge befinde, die h_m für Winter und Sommer für die ganze Luftsäule berechnen. Man erhält:

Tabelle 29.

| H | Winter | | Sommer | |
|------|---------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|
| | $h_m (\times 10^2)$ | $(1-h_m) (\times 10^2)$ | $h_m (\times 10^2)$ | $(1-h_m) (\times 10^2)$ |
| 400 | 7,1 | 92,1 | 5,8 | 94,2 |
| 600 | 6,9 | 93,1 | 5,9 | 94,1 |
| 800 | 6,7 | 93,3 | 5,9 | 94,1 |
| 1000 | 6,6 | 93,4 | 6,0 | 94,0 |
| 1200 | 6,4 | 93,6 | 6,0 | 94,0 |
| 1400 | 6,2 | 93,8 | 6,0 | 94,0 |
| 2000 | 5,4 | 94,6 | 5,4 | 94,6 |
| 3000 | 3,9 | 96,1 | 3,7 | 96,3 |
| 4000 | 2,9 | 97,1 | 2,7 | 97,3 |

Nach der Verteilung der unteren Wolkgrenzen treten Häufigkeitsmaxima in einem durchschnittlichen Abstand von 600 m auf, auch im Ci-Niveau läßt sich eine ähnliche Verteilung annehmen, danach müßte man bis zur Stratosphäregrenze (10 000 m) durchschnittlich mit 15 Hauptschichten rechnen, in denen vorherrschend Wolken auftreten. Damit wird für den Bodenbeobachter $n = 15$ und nimmt für höher gelegene Orte entsprechend den Schichtenlagen in der freien Atmosphäre stufenweise ab.

In Tabelle 30 sind die nach der Formel berechneten Werte für verschiedene Höhen angegeben und zum Vergleich beobachteten Werten süddeutscher Stationen gegenübergestellt, die der ausführlichen Arbeit von E. Alt (1) entnommen sind. Die Stationen sind in Gruppen nach Höhenintervallen zusammengefaßt, so daß lokale Einflüsse ausgeschlossen sein dürften; ausgenommen sind die Gipfelstationen, die aber aus diesem Grund auch von den berechneten Werten stark abweichen.

Tabelle 30. Mittlere Bedeckung über Orten verschiedener Höhe.

| Beob.-Ort | Hort | b beob. | | H fr. Atm. | n | b berechnet | |
|--------------------------|----------|-----------|-----|--------------------|----|---------------|-----|
| | | W | S | | | W | S |
| Gruppe II | 200—400 | 7,0 | 5,7 | — | — | — | — |
| Gruppe III | 400—600 | 6,8 | 5,8 | 400 | 15 | 6,7 | 5,9 |
| Gruppe IV | 600—800 | 6,4 | 5,8 | 600 | 15 | 6,6 | 6,0 |
| Gruppe V | 800—1100 | 6,2 | 6,1 | 800 | 15 | 6,5 | 6,0 |
| — | — | — | — | 1000 | 14 | 6,2 | 5,8 |
| — | — | — | — | Mittel 800—1000 | — | 6,3 | 5,9 |
| Großer Belchen | 1400 | 6,5 | 6,0 | 1400 | 14 | 5,9 | 5,8 |
| Schmittenhöhe | 2000 | 5,3 | 5,9 | 2000 | 13 | 5,1 | 5,1 |
| Zugspitze | 3000 | 5,9 | 7,1 | 3000 | 11 | 3,5 | 3,4 |
| — | — | — | — | 4000 | 9 | 2,3 | 2,2 |

Die gute Übereinstimmung zwischen Beobachtung und Berechnung läßt erkennen, daß die gemachten Voraussetzungen und besonderen Annahmen der Wirklichkeit nahekommen. Auch der Gang der Bedeckung mit der Höhe ergibt in den unteren Schichten im Winter Abnahme, im Sommer wenigstens andeutungsweise zunächst Zunahme, wie es die Alt'schen Werte fordern. Die Berggipfel zeigen zu hohe Bedeckungsziffern, besonders die Zugspitze; dies ist auf die hohe Nebelhäufigkeit zurückzuführen, wie auch der Vergleich zwischen Sommer und Winter erkennen läßt. Durch Reduktion mit dem Faktor Q kommt man ungefähr auf die berechneten Werte¹⁾. Vom 4000-m-Niveau aus wäre theoretisch nur noch eine durchschnittliche Bedeckung von rund $\frac{2}{10}$ zu erwarten.

Trotz Sättigung in bezug auf Wasser oder Eis scheinen in der freien Atmosphäre nicht immer die Voraussetzungen zur Wolkenbildung gegeben zu sein, sie sind ja an das Vorhandensein geeigneter Kerne geknüpft. Eine statistische Untersuchung über „Wolkenbereitschaft“, worunter das Verhältnis zwischen Wolkenvorkommen und Sättigungsvorkommen verstanden sei, ist noch verfrüht, da sie sehr genaue Feuchte-

¹⁾ Eine Berechnung der mittleren Bedeckung unter Weglassung der Nebeltage ergab für die Zugspitze (1929—1932) zum Frühtermin: W 4,2; S 4,6.

messungen besonders in der Nähe des Sättigungspunktes voraussetzt, die noch nicht in nötiger Anzahl existieren. Trotzdem wurde hier ein orientierender Versuch mit dem vorhandenen Material unternommen. Es wurden sämtliche Fälle mit Sättigung in bezug auf Wasser bzw. Sättigung oder Übersättigung in bezug auf Eis daraufhin untersucht, ob gleichzeitig Wolken an der betreffenden Stelle beobachtet worden sind, alle unsicheren Fälle wurden ausgeschieden. Das Ergebnis ist in Tabelle 31 dargestellt. Bei positiven Temperaturen zeigt sich eine auffallend geringe Bereitschaft im Winter oberhalb 2000 m; da die 0° -Isotherme in dieser Jahreszeit gewöhnlich tiefer liegt, müssen diese Fälle Luftmassen subtrop. maritimen Ursprungs angehören, die demnach relativ kernarm wären. Auch im Sommer scheint keine vollkommene Wolkenbereitschaft zu bestehen, besonders unterhalb 2000 m; daran mögen zum Teil die Kernausschwemmungen im unteren Teil von Nb-Wolken schuld sein, in denen durch den Niederschlag andererseits eine Feuchteanreicherung stattfindet. Bei Temperaturen unter 0° findet sich durchweg höhere Wolkenbereitschaft, besonders im Sommer; erst oberhalb 4000 m nimmt sie ab, wohl wieder aus Mangel an geeigneten Kondensations-

Tabelle 31. „Wolkenbereitschaft“ bei positiven und negativen Temperaturen, sowie Verhältnis zwischen Eis- und Wassersättigung bei negativen Temperaturen.

w = Zahl der Fälle mit Sättigung bezüglich Wasser
e + u = Zahl der Fälle mit Sättigung und Übersättigung bezüglich Eis
 $B = 100 \frac{N}{w}$, $B' = 100 \frac{N}{e + u}$ (N = Zahl der Wolken)

| H | $t \geq 0^{\circ}$ | | $t < 0^{\circ}$ | | | |
|------|--------------------|-------|-----------------|-----|-------------------|-----|
| | B (%) | | B' (%) | | $\frac{w}{e + u}$ | |
| | W | S | W | S | W | S |
| 500 | 70 | 42 | 74 | — | 0,8 | — |
| 1000 | 97 | 73 | 91 | 100 | 0,8 | 1,7 |
| 1500 | 100 | 85 | 92 | 100 | 0,7 | 1,0 |
| 2000 | 80 | 93 | 94 | 100 | 0,6 | 0,9 |
| 2500 | 50 | 92 | 99 | 96 | 0,5 | 0,8 |
| 3000 | — | 90 | 91 | 95 | 0,4 | 0,7 |
| 3500 | — | (100) | 95 | 100 | 0,3 | 0,6 |
| 4000 | — | — | 74 | 83 | 0,2 | 0,4 |
| 4500 | — | — | — | 68 | 0,0 | 0,3 |

kernen, während die Sublimationskerne noch nicht in Tätigkeit getreten sind. Ein Minimum um 3000 m ist auffallend. Die letzten beiden Spalten zeigen das Verhältnis zwischen den Fällen mit Sättigung bezüglich Wasser und Sättigung bzw. Übersättigung bezüglich Eis bei negativen Temperaturen; die Abnahme ist völlig gleichmäßig und läßt keine Schichtung erkennen.

9. Zusammenfassung.

Mit der vorliegenden Bearbeitung eines fast zehn Jahre umfassenden Materials der direkten und indirekten Messungen der unteren und oberen Wolkengrenzen nach Fesselaufstiegen des Aerologischen Observatoriums Friedrichshafen wurde versucht, ein möglichst vollständiges Bild des Vorkommens und der vertikalen Verteilung der verschiedenen Wolkenarten über dem Bodenseegebiet zu gewinnen. Getrennt davon wurden die Wolkenuntergrenzen nach Pilotbeobachtungen, ergänzt durch einige nephoskopische Messungen, nach denselben Gesichtspunkten bearbeitet. Der Vergleich der Ergebnisse der beiden Methoden zeigt Unterschiede, die einerseits zu einer kritischen Betrachtung und Bewertung ihrer ausschließlichen oder gemischten Verwendung für solche Untersuchungen führten. Andererseits ließen sich die diese Unterschiede bedingenden technischen und meteorologischen Faktoren abschätzen. In Erweiterung früherer Untersuchungen ist zu diesem Zweck eine Unterscheidung der Arten „opacus“ und „translucidus“ durchgeführt worden.

Von der Beobachtungsmethode hängen besonders die „mittleren Wolkenhöhen“ stark ab; Schlüsse auf Neigung oder jahreszeitliche Schwankung der durch sie definierten „Schichten“ sind daher nicht unmittelbar zu ziehen. Es wird angenommen, daß die geographischen Unterschiede mehr im Vorkommen und der relativen Häufigkeit einer Wolkenart als in einer Neigung ihrer statistischen Schwerpunktfäche zum Ausdruck kommen, offenbar überwiegen orographische Einflüsse.

Nach beiden Methoden ergaben sich ähnliche typische Bilder, wie sie schon früher gefunden worden sind; ihr Schwerpunkt liegt im allgemeinen unterhalb der Mitte ihres Bereichs. Gewöhnlich sind mehrere Häufigkeitsmaxima vorhanden, deren Höhenunterschied durchschnittlich 600—700 m beträgt, ein Abstand, der auch in der Zusammenfassung sämtlicher Wolkenarten noch deutlich bis ins Cirrusniveau zu erkennen

ist und als „Invariante“ des atmosphärischen Aufbaus erscheint, da er auch in der Temperatur-, Feuchte- und Strömungsschichtung in gleicher Weise auftritt.

Die Mächtigkeit der Schichtwolken ist (Ns ausgenommen) in der überwiegenden Zahl der Fälle geringer als die „Invariante“, im übrigen läßt sie ein Mehrfaches derselben erkennen. Sie nimmt bei Cu mit zunehmender Höhenlage der Untergrenze zu (für den reinen Konvektions-Cu ist diese Frage noch näher zu untersuchen). Bei den Translucidus-Arten zeigt sich kein systematischer Gang, während die Opacus-Arten mit der Höhe deutlich an Mächtigkeit abnehmen; synoptisch aufgefaßt würde dies dem Bild der Aufgleitfront entsprechen.

Der tägliche Gang der Wolkenuntergrenzen ist in den arithmetischen Mitteln stark ausgeprägt. Vom Morgen zum Mittag findet eine Senkung ihrer statistischen Schwerpunkte statt (ausgenommen sind nur Ns und Fnb), vom Mittag zum Nachmittag eine rasche Hebung; bei den Translucidusarten ist die Schwankung besonders ausgeprägt. Die Änderung der Verteilungsbilder des Sc und Ac läßt bezüglich dieser Wolkenarten auf die Tendenz zur Ausbildung eines relativ wolkenarmen Raumes zwischen 2000 und 3000 m Höhe um die Mittagszeit schließen. Es wird angenommen, daß hierin die Wirkung des Gebirgswindsystems zum Ausdruck kommt.

Die statistische Verteilung der Wolkenluft in der Vertikalen ergibt für die unteren Luftschichten ein starkes Überwiegen der Winterhäufigkeiten in den Morgenstunden, oberhalb 2000 m bis etwa 4000 m herrschen die Sommerhäufigkeiten vor, in größeren Höhen verschwinden die Unterschiede. In den Nachmittagsstunden sind diese Verhältnisse noch ausgeprägter. Im Tagesdurchschnitt läßt sich die Beziehung Winter/Sommer für die ganze Luftsäule auf $\frac{6}{5}$ abschätzen.

Die Häufigkeit des Nebels auf Berggipfeln verschiedener Höhe ist ungefähr doppelt so groß als die der Bewölkung der freien Atmosphäre in den gleichen Niveaus; ihr jahreszeitlicher Gang ist gleichsinnig. Der Einfluß der Berge auf die Wolkenbildung beruht ganz überwiegend auf der „Hindernismwirkung“; die durch den Gang der Strahlung direkt oder indirekt hervorgerufenen Abkühlungen sind von untergeordneter Bedeutung.

Die Wolkenhäufigkeit nimmt unterhalb 2000 m vom Vormittag zum Nachmittag stark ab, besonders in den untersten Schichten; zwischen 2000 und 3000 m sind die Unterschiede gering, um offenbar darüber wieder zugunsten größerer Vormittagshäufigkeit zuzunehmen. Bemerkenswert ist, daß im Winter um 1500 m, im Sommer um 2500 m Höhe das Häufigkeitsverhältnis Vormittag zu Nachmittag ein Minimum erreicht. An diesem Ergebnis hat in erster Linie der Nimbus Anteil. Einerseits senkt sich die Nimbusuntergrenze mit der Nullgrad-Isotherme im Verlauf der Entwicklung, andererseits wird aber auch mit Abnahme der Niederschlagsintensität der wolkenfreie Raum in der Schmelzzone meist allmählich durch Wolkenneubildung überbrückt, während in tieferen Niveaus Auflösung eventuell noch vorhandener Wolken stattfindet. Der Nimbus weist demnach in bezug auf seinen Aufbau einen täglichen Gang auf, der offenbar mit dem des Niederschlags in Zusammenhang steht.

Es wurden Beziehungen zwischen Nebeldauer und Nebelhäufigkeit zu bestimmten Terminen auf Berggipfeln ermittelt und auf die Verhältnisse in der freien Atmosphäre angewandt. Ferner wurde eine Formel abgeleitet und geprüft, die die mittlere „Bedeckung“ über einem Ort in Beziehung setzt zu den mittleren relativen Häufigkeiten und der Anzahl der als „Schichten“ definierten Häufigkeitsmaxima.

Schließlich wurde eine orientierende Untersuchung über Wolkenbereitschaft gesättigter Luftschichten vorgenommen.

Tab. I. Wolkenuntergrenzen nach Fesselaufstiegen v. Friedrichshafen 1928—1937, 200-m-Stufen.

| Höhenstufen in 100 m | | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 | 40 | 42 | 44 | 46 | 48 | 50 | 52 | Σ |
|-------------------------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|----------|
| Winter | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N | | 937 | 936 | 927 | 900 | 875 | 850 | 833 | 816 | 796 | 783 | 754 | 720 | 673 | 636 | 588 | 535 | 468 | 407 | 334 | 284 | 213 | 171 | 129 | 95 | | |
| St. . . | n | 71 | 80 | 37 | 16 | 7 | 0 | 0 | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | 212 |
| | n' | 79,0 | 71,6 | 45,8 | 21,1 | 8,6 | 2,1 | 0,0 | 0,3 | 0,6 | 0,3 | | | | | | | | | | | | | | | | 229,4 |
| Fnb . . | n | 4 | 6 | 6 | 6 | 0 | 2 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 25 |
| | n' | 5,0 | 5,9 | 6,5 | 5,0 | 2,3 | 1,5 | 1,2 | 0,3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 27,7 |
| Ns . . | n | 6 | 21 | 18 | 23 | 17 | 9 | 5 | 5 | 4 | 7 | 3 | 0 | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | 119 |
| | n' | 11,7 | 17,6 | 21,6 | 22,5 | 18,8 | 11,8 | 7,2 | 5,8 | 6,3 | 6,7 | 4,3 | 1,0 | 0,4 | 0,8 | 0,4 | | | | | | | | | | | 136,9 |
| Sc op . | n | 2 | 6 | 8 | 5 | 16 | 6 | 3 | 7 | 5 | 4 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | 64 |
| | n' | 0,7 | 2,7 | 5,9 | 7,5 | 9,7 | 12,6 | 9,3 | 5,8 | 6,9 | 6,7 | 5,0 | 2,8 | 0,7 | | | | | | | | | | | | | 76,3 |
| Sc tra | n | | 5 | 7 | 5 | 10 | 6 | 5 | 10 | 5 | 3 | 0 | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | 57 |
| | n' | | 1,3 | 4,6 | 6,7 | 7,7 | 9,1 | 8,1 | 8,0 | 9,4 | 7,3 | 3,6 | 1,0 | 0,4 | 0,8 | 0,4 | | | | | | | | | | | 68,4 |
| Ac op . | n | | | | | | 1 | 0 | 4 | 3 | 5 | 4 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | | | | | 27 |
| | n' | | | | | | 0,3 | 0,6 | 1,5 | 3,4 | 4,7 | 5,4 | 4,6 | 2,8 | 2,2 | 2,0 | 1,7 | 2,3 | 2,7 | 1,2 | 0,7 | 2,6 | 3,5 | 1,5 | | | 43,7 |
| Ac tra | n | | | | | | | | 2 | 2 | 3 | 7 | 1 | 9 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 1 | | | | | 40 |
| | n' | | | | | | | | 0,6 | 1,8 | 2,8 | 4,8 | 6,0 | 6,3 | 8,2 | 7,1 | 5,1 | 5,6 | 5,3 | 4,3 | 4,5 | 3,5 | 1,2 | | | | 67,1 |
| As . . | n | | | | | | | 1 | 8 | 7 | 7 | 3 | 2 | 5 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | 39 |
| | n' | | | | | | | 0,3 | 3,0 | 7,4 | 9,1 | 7,7 | 5,0 | 4,2 | 4,5 | 2,4 | 1,7 | 2,8 | 2,1 | 1,2 | 2,2 | 2,6 | 1,2 | | | | 57,4 |
| Cu . . | n | | 3 | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 0 | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | 20 |
| | n' | 1,1 | 1,9 | 1,9 | 2,2 | 2,9 | 2,9 | 3,0 | 2,1 | 1,3 | 1,6 | 1,7 | 1,0 | 0,4 | | | | | | | | | | | | | 24,0 |
| Alle Wolken | n | 81 | 106 | 70 | 55 | 29 | 34 | 19 | 19 | 29 | 27 | 22 | 5 | 15 | 6 | 5 | 4 | 4 | 1 | 3 | 2 | 1 | | | | | 537 |
| | n' | 95,4 | 97,0 | 81,2 | 58,0 | 42,0 | 34,1 | 27,3 | 26,4 | 32,7 | 33,5 | 25,2 | 16,3 | 14,8 | 12,6 | 8,5 | 7,9 | 6,9 | 5,5 | 6,7 | 7,0 | 4,7 | 1,5 | | | | |
| Sommer | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N | | 1192 | 1192 | 1190 | 1180 | 1173 | 1161 | 1154 | 1126 | 1103 | 1079 | 1050 | 1025 | 991 | 958 | 922 | 878 | 822 | 763 | 692 | 607 | 548 | 470 | 388 | 301 | | |
| St. . . | n | 38 | 60 | 27 | 9 | 3 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 140 |
| | n' | 38,0 | 38,8 | 25,8 | 10,2 | 3,8 | 1,9 | 0,6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 119,1 |
| Fnb . . | n | 2 | 17 | 12 | 11 | 4 | 5 | 3 | 2 | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | 57 |
| | n' | 5,9 | 10,1 | 10,9 | 8,1 | 5,1 | 3,7 | 2,8 | 1,6 | 0,7 | 0,5 | 0,2 | | | | | | | | | | | | | | | 49,6 |
| Ns . . | n | 2 | 12 | 15 | 21 | 28 | 19 | 11 | 15 | 14 | 2 | 10 | 1 | 7 | 1 | | | | | | | | | | | | 158 |
| | n' | 4,5 | 8,6 | 13,2 | 18,0 | 20,4 | 16,6 | 12,1 | 12,2 | 10,2 | 6,5 | 5,5 | 4,6 | 4,0 | 2,9 | 0,3 | | | | | | | | | | | 139,6 |
| Sc op . | n | 1 | 1 | 7 | 14 | 10 | 14 | 11 | 13 | 7 | 4 | 4 | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | 87 |
| | n' | 0,3 | 0,6 | 2,1 | 6,1 | 9,6 | 10,3 | 10,6 | 10,9 | 10,0 | 7,2 | 4,5 | 2,9 | 1,3 | 0,5 | 0,3 | | | | | | | | | | | 77,2 |
| Sc tra | n | 1 | 1 | 3 | 4 | 8 | 8 | 10 | 3 | 4 | 4 | 7 | 3 | 1 | | | | | | | | | | | | | 57 |
| | n' | 0,3 | 0,6 | 1,3 | 2,3 | 4,0 | 6,0 | 7,4 | 6,9 | 4,5 | 3,5 | 5,1 | 3,5 | 1,3 | 0,3 | | | | | | | | | | | | 51,5 |
| Ac op . | n | | | | | 1 | 3 | 2 | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 | 13 | 8 | 4 | 4 | 2 | 4 | 3 | 3 | 1 | 4 | 1 | | | 85 |
| | n' | | | | | 0,2 | 1,1 | 1,9 | 2,8 | 4,4 | 5,4 | 5,8 | 6,4 | 8,3 | 10,4 | 8,6 | 5,4 | 4,0 | 3,6 | 4,3 | 4,7 | 4,1 | 4,1 | 5,3 | 3,9 | 0,7 | 95,4 |
| Ac tra | n | | | | | | | 1 | 2 | 1 | 6 | 13 | 13 | 22 | 15 | 11 | 13 | 13 | 11 | 7 | 1 | 5 | 6 | 1 | 4 | | 145 |
| | n' | | | | | | | 0,2 | 0,9 | 1,3 | 2,3 | 6,0 | 10,7 | 14,9 | 18,2 | 16,4 | 13,6 | 14,2 | 15,2 | 13,8 | 9,4 | 5,8 | 7,8 | 9,6 | 7,7 | 6,7 | 174,7 |
| As . . | n | | | | | | | 2 | 4 | 1 | 6 | 0 | 8 | 8 | 5 | 5 | 2 | 3 | 4 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | | | 52 |
| | n' | | | | | | | 0,4 | 1,8 | 2,5 | 2,8 | 3,1 | 3,4 | 6,1 | 7,6 | 6,2 | 4,8 | 3,6 | 3,9 | 4,7 | 3,7 | 1,8 | 1,1 | 1,3 | 0,7 | | 59,5 |
| Cu . . | n | | 7 | 2 | 4 | 6 | 6 | 4 | 5 | 6 | 9 | 8 | 4 | 2 | 1 | | | | | | | | | | | | 64 |
| | n' | 2,0 | 3,4 | 3,2 | 3,4 | 4,7 | 4,7 | 4,1 | 4,4 | 5,9 | 7,4 | 6,9 | 4,4 | 2,3 | 1,0 | 0,3 | | | | | | | | | | | 58,1 |
| Alle Wolken | n | 41 | 94 | 57 | 41 | 50 | 49 | 39 | 45 | 41 | 30 | 38 | 26 | 51 | 33 | 19 | 20 | 16 | 15 | 11 | 6 | 7 | 8 | 3 | 4 | 747 | |
| | n' | 49,2 | 59,0 | 52,5 | 43,0 | 42,6 | 40,5 | 37,0 | 37,4 | 35,3 | 34,5 | 31,4 | 26 | 41,7 | 44,7 | 38,1 | 25,7 | 21,4 | 20,7 | 21,3 | 18,4 | 12,8 | 13,2 | 16,0 | 12,9 | 8,1 | |
| Jahr | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N | | 2129 | 2128 | 2117 | 2080 | 2048 | 2011 | 1987 | 1942 | 1899 | 1862 | 1804 | 1745 | 1664 | 1594 | 1510 | 1413 | 1290 | 1170 | 1026 | 891 | 761 | 641 | 517 | 396 | | |
| St. . . | n | 109 | 140 | 64 | 25 | 10 | 3 | 0 | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | 352 |
| | n' | 56,1 | 52,7 | 34,7 | 14,9 | 5,9 | 2,0 | 0,4 | 0,1 | 0,3 | 0,1 | | | | | | | | | | | | | | | | 167,2 |
| Fnb . . | n | 6 | 23 | 18 | 17 | 4 | 7 | 4 | 2 | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | 82 |
| | n' | 5,5 | 8,2 | 9,0 | 6,7 | 3,9 | 2,7 | 2,1 | 1,0 | 0,3 | 0,3 | 0,1 | | | | | | | | | | | | | | | 39,8 |
| Ns . . | n | 8 | 33 | 33 | 44 | 45 | 28 | 16 | 20 | 18 | 9 | 13 | 1 | 7 | 2 | | | | | | | | | | | | 277 |
| | n' | 7,7 | 12,6 | 16,9 | 20,0 | 19,8 | 14,5 | 10,1 | 9,5 | 8,6 | 6,6 | 5,0 | 3,2 | 2,6 | 1,7 | 0,3 | | | | | | | | | | | 139,1 |
| Sc op . | n | 3 | 7 | 15 | 19 | 26 | 20 | 14 | 20 | 12 | 8 | 6 | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | 151 |
| | n' | 0,5 | 1,5 | 3,8 | 6,7 | 9,6 | 11,8 | 10,1 | 8,8 | 8,7 | 7,0 | 4,7 | 2,9 | 0,9 | 0,3 | 0,2 | | | | | | | | | | | 77,0 |
| Sc tra | n | 1 | 6 | 10 | 9 | 18 | 14 | 15 | 13 | 9 | 7 | 7 | 3 | 2 | | | | | | | | | | | | | 114 |
| | n' | 0,2 | 0,9 | 2,7 | 4,2 | 5,6 | 7,3 | 7,7 | 7,3 | 6,6 | 5,1 | 4,2 | 3,4 | 2,9 | 1,1 | 0,3 | | | | | | | | | | | 59,5 |
| Ac op . | n | | | | 1 | 4 | 2 | 10 | 9 | 11 | 11 | 8 | 15 | 9 | 5 | 5 | 4 | 4 | 3 | 4 | 2 | 4 | 1 | | | 112 | |
| | n' | | | | 0,1 | 0,7 | 1,4 | 2,3 | 4,0 | 5,1 | 6,7 | 5,7 | 6,0 | 7,1 | 6,0 | 4,0 | 3,4 | 3,3 | 3,2 | 3,4 | 3,6 | 3,9 | 4,3 | 3,9 | 0,6 | 78,7 | |
| Ac tra | n | | | | | | 1 | 4 | 3 | 9 | 20 | 14 | 31 | 18 | 14 | 16 | 16 | 12 | 9 | 2 | 5 | 6 | 1 | 4 | | 185 | |
| | n' | | | | | | 0,1 | 0,8 | 1,5 | 2,5 | 5,5 | 8,7 | 11,3 | 14,1 | 12,7 | 10,3 | 11,0 | 11,6 | 10,5 | 7,8 | 5,0 | 5,9 | 7,0 | 5,8 | (5,7) | 137,8 | |
| As . . | n | | | | | | | 1 | 10 | 11 | 8 | 9 | 2 | 13 | 8 | 6 | 7 | 3 | 3 | 5 | 3 | 1 | 0 | 1 | | | 91 |
| | n' | | | | | | | 0,1 | 1,5 | 4,1 | 5,3 | 4,8 | 3,9 | 3,7 | 5,4 | 5,5 | 4,1 | 3,1 | 3,0 | 3,9 | 3,4 | 1,6 | 0,8 | 1,0 | 0,6 | | 60,3 |
| Cu . . | n | | 10 | 3 | 6 | 9 | 8 | 7 | 6 | 11 | 9 | 5 | 2 | 1 | | | | | | | | | | | | | 84 |
| | n' | 1,6 | 2,7 | 2,6 | 2,9 | 3,9 | 4,0 | 3,7 | 3,5 | 4,0 | 5,0 | 4,7 | 3,0 | 1,5 | 0,6 | 0,2 | | | | | | | | | | | 43,9 |
| Alle Wolken | n | 122 | 200 | 127 | 96 | 79 | 83 | 58 | 64 | 70 | 57 | 63 | 31 | 66 | 39 | 24 | 24 | 20 | 16 | 14 | 8 | 8 | 8 | 3 | (4) | 1284 | |
| | n' | 69,5 | 75,7 | 65,0 | 47,9 | 41,1 | 37,7 | 33,1 | 33,0 | 34,0 | 34,2 | 29,7 | 27,4 | 30,8 | 26,4 | 18,4 | 16,3 | 15,5 | 14,1 | 12,7 | 10,7 | 10,5 | 10,5 | 9,7 | (6,9) | | |

Tabelle II. Fortsetzung.

| Höhenstufen in 100 m | Sommer (Fortsetzung) | | | | | | | | | | | | | | | | | Σ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|----------------------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------|-------|------|-----|
| | 4 6 | 8 10 | 10 12 | 12 14 | 14 16 | 16 18 | 18 20 | 20 22 | 22 24 | 24 26 | 26 28 | 28 30 | 30 32 | 32 34 | 34 36 | 36 38 | 38 40 | | 40 42 | 42 44 | 44 46 | 46 48 | 48 50 | 50 52 | 52 54 | 54 56 | 56 58 | 58 60 | 60 62 | 62 64 | 64 66 | 66 68 | 68 70 | Σ | | | |
| Ac op . . . | | | | | | | | | 3 | 15 | 12 | 13 | 17 | 18 | 11 | 8 | 11 | 2 | 5 | 1 | 0 | 1 | 2 | 0,4 | | | | | | | | | | | | | 122 |
| Ac tra . . . | | | | | 0,2 | 0,5 | | 2 | 1 | 3 | 3 | 13 | 13 | 8,8 | 6,9 | 5,7 | 5,1 | 3,3 | 2,2 | 1,3 | 0,4 | 0,8 | 1,0 | 0,4 | | | | | | | | | | | | 66,3 | |
| As | | | | | | | 1 | 0,1 | 0,5 | 1,1 | 2,4 | 4,8 | 6,6 | 7,7 | 8,5 | 7,9 | 7,3 | 8,2 | 9,4 | 9,0 | 7,4 | 5,7 | 3,9 | 2,3 | 1 | 3 | 1,7 | 1,8 | 2,0 | 2,0 | 1,2 | 0,6 | 103,6 | | | | |
| Cu | | | | | | | 1 | 0,4 | 0,6 | 1,2 | 1,8 | 2,1 | 3,7 | 4,0 | 3,4 | 2,9 | 3,0 | 3,8 | 4,5 | 3,9 | 3,4 | 4,0 | 4,1 | 3,9 | 3 | 3 | 3 | 3,4 | 2,3 | 1,5 | 1,8 | 0,9 | 0,3 | 70,2 | | | |
| un- bestimmt | | | | | | | 9 | 9 | 3,6 | 3,1 | 2,4 | 1,5 | 0,7 | 0,4 | 0,4 | 0,2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 79 | |
| Ci | 0,1 | 0,4 | | | | | 4,0 | 4,0 | 3,6 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3,6 | 3,1 | 2,4 | 1,5 | 0,7 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 32,3 | | |
| Alle Wolken . . . | 8,7 | 18,4 | 27,2 | | 35,0 | 32,6 | 31,0 | 34,1 | 32,2 | 27,4 | 25,7 | 28,9 | 27,3 | 22,8 | 18,5 | 16,3 | 16,5 | 17,5 | 15,8 | 12,9 | 12,3 | 11,4 | 9,2 | 9,2 | 9,2 | 8,2 | 8,1 | 9,8 | 11,8 | 9,3 | 6,9 | 4 | 1238 | | | | |
| N | 4646 | 4609 | 4466 | 4312 | 4144 | 3957 | 3768 | 3601 | 3415 | 3251 | 3069 | 2914 | 2774 | 2649 | 2510 | 2391 | 2282 | 2170 | 2076 | 1977 | 1867 | 1771 | 1705 | 1633 | 1583 | 1498 | 1436 | 1366 | 1325 | 1259 | 1171 | 1105 | 1047 | | | | |
| St | 53 | 30 | 31 | 25 | 18 | 5 | 4 | 4 | 0,3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 177 | | |
| Fnb | 41 | 55 | 48 | 24 | 12 | 6 | 4 | 1 | 0,5 | 0,2 | 0,1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 42,0 | | | |
| Ns | 23 | 38 | 52 | 48 | 40 | 27 | 10 | 12 | 2 | 2 | 2 | 0,6 | 0,3 | 0,1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 194 | | | |
| Sc op | 13 | 24 | 27 | 61 | 56 | 39 | 17 | 12 | 4 | 0,8 | 0,5 | 0,2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 45,7 | | | |
| Sc tra | 1 | 0 | 3 | 8 | 9 | 7 | 13 | 23 | 27 | 19 | 12 | 14 | 10 | 5 | 2,0 | 0,5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 258 | | | |
| Ac op | 0,1 | 0,2 | 0,8 | 1,7 | 2,1 | 2,4 | 3,9 | 6,3 | 7,4 | 4,5 | 4,9 | 4,5 | 3,7 | 2,9 | 2,0 | 0,5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 63,4 | | | |
| Ac tra | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 378 | | |
| As | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 104,3 | | |
| Cu | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 151 | | |
| un- bestimmt | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 46,9 | | |
| Ci | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 169 | | |
| Alle Wolken . . . | 10,9 | 21,7 | 32,5 | 37,0 | 38,4 | 38,9 | 35,3 | 31,7 | 33,2 | 25,9 | 24,0 | 20,4 | 26,6 | 25,9 | 24,0 | 17,2 | 16,5 | 18,3 | 10,9 | 14,0 | 14,6 | 14,2 | 11,0 | 10,0 | 10,3 | 9,7 | 7,6 | 9,4 | 10,9 | 8,8 | 7,4 | 5 | 1972 | | | | |

Tabelle IV. Fortsetzung.

| Höhenstufen in 100 m | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 | 40 | 42 | 44 | 46 | 48 | 50 | 52 | 54 | 56 | 58 | Σ | | |
|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|-----|-----|-----|-------|------|--|--|
| | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 | 40 | 42 | 44 | 46 | 48 | 50 | 52 | 54 | 56 | 58 | 60 | | | |
| unbestimmt | | | | 2 | 2 | 10 | 6 | 5 | 1 | 6 | 3 | 3 | 7 | 6 | 3 | 1 | 2 | 4 | 3 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | | | | | 66 | | |
| Sc op . . . | 0,2 | 0,8 | 0,8 | 1,5 | 3,4 | 6,0 | 5,8 | 3,8 | 2,9 | 3,7 | 3,6 | 3,9 | 5,8 | 5,7 | 3,5 | 2,0 | 2,7 | 4,3 | 3,6 | 1,2 | 0,5 | 1,2 | 0,6 | | | | | 66,7 | | | |
| Sc tra . . . | | | | 3 | 2 | 11 | 11 | 15 | 9 | 14 | 15 | 6 | 7 | 7 | 2 | 3 | 2 | 0 | 1 | 1 | | | | | | | | 104 | | | |
| Ac op . . . | 0,3 | 0,4 | 0,8 | 1,7 | 3,8 | 7,5 | 10,4 | 11,1 | 10,6 | 12,0 | 11,9 | 8,3 | 5,5 | 3,4 | 2,4 | 2,8 | 2,1 | 1,0 | 0,7 | 0,4 | | | | | | | | 97,1 | | | |
| Ac tra . . . | | | | 2 | 1 | 10 | 3 | 8 | 13 | 3 | 7 | 4 | 5 | 1 | 2 | 1 | 1,1 | 0,3 | | | | | | | | | | 61 | | | |
| As | 0,3 | 0,4 | 0,6 | 1,1 | 3,0 | 5,2 | 5,2 | 7,1 | 8,4 | 6,0 | 5,0 | 4,9 | 3,8 | 2,3 | 1,6 | 1,1 | 0,3 | | | | | | | | | | | 56,3 | | | |
| Cu | | | | 3 | 3 | 7 | 0,2 | 1,1 | 3 | 3 | 7 | 7 | 9 | 8 | 13 | 9 | 10 | 2 | 4 | 1 | 2 | 3,7 | 3,2 | 1,7 | | | | 82 | | | |
| Alle Wolken | 21 | 69 | 59 | 46 | 23 | 35 | 33 | 33 | 34 | 29 | 41 | 33 | 45 | 40 | 39 | 37 | 28 | 25 | 17 | 7 | 4 | 4 | 8 | 4 | 1 | 1 | 1 | 71,7 | | | |
| | 31,0 | 45,7 | 48,9 | 36,9 | 27,1 | 27,1 | 29,0 | 29,6 | 29,4 | 30,8 | 34,3 | 37,1 | 41,1 | 42,8 | 42,0 | 40,2 | 35,9 | 31,1 | 23,8 | 14,4 | 8,7 | 12,3 | 15,5 | 14,1 | 7,2 | 5,2 | 5,3 | 2,4 | | | |
| Sommer (Fortsetzung) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nebel . . . | | | | 6 | 2 | 10 | 6 | 5 | 1 | 6 | 3 | 3 | 7 | 6 | 3 | 1 | 2 | 4 | 3 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | | | | | 174 | | |
| St. | 55 | 83 | 28 | 6 | 2 | 11 | 11 | 15 | 9 | 14 | 15 | 6 | 7 | 7 | 2 | 3 | 2 | 0 | 1 | | | | | | | | | 82,9 | | | |
| Fnb | 13 | 105 | 110 | 63 | 36 | 19 | 13 | 8 | 1,1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 367 | | | |
| unbestimmt | 20,5 | 39,1 | 45,8 | 32,7 | 18,8 | 10,8 | 6,7 | 3,7 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 179,2 | | | |
| Sc op . . . | 1 | 15 | 19 | 22 | 10 | 2 | 6 | 1 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 78 | | | |
| Sc tra . . . | 2,7 | 5,9 | 8,9 | 8,8 | 5,4 | 2,5 | 1,9 | 1,3 | 0,7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 38,4 | | | |
| Ac op . . . | | | | 3 | 7 | 13 | 10 | 8 | 4 | 9 | 13 | 5 | 9 | 9 | 4 | 1 | 2 | 4 | 4 | 0 | 0 | 1 | 0,5 | | | | | 107 | | | |
| Ac tra . . . | | | | 1 | 3 | 7 | 5,4 | 3,9 | 3,3 | 4,7 | 5,5 | 4,6 | 4,8 | 4,9 | 3,0 | 1,4 | 1,7 | 3,0 | 2,9 | 1,1 | 0,3 | 0,8 | 0,5 | | | | | 63,1 | | | |
| As | 0,2 | 0,2 | 0,8 | 2,0 | 4,0 | 8,2 | 12,6 | 12,6 | 13 | 20 | 25 | 7 | 9 | 4 | 3 | 5 | 2 | 0 | 1 | | | | | | | | | 174 | | | |
| Cu | | | | 9 | 11 | 14 | 14 | 14 | 25 | 11 | 10 | 7 | 6 | 2 | 2 | 1 | 1,7 | 0,6 | 0,5 | 0,3 | | | | | | | | 94,4 | | | |
| Alle Wolken | 2129 | 2128 | 2117 | 2080 | 2048 | 2011 | 1987 | 1942 | 1899 | 1862 | 1804 | 1745 | 1664 | 1594 | 1510 | 1413 | 1290 | 1170 | 1026 | 891 | 761 | 641 | 517 | 396 | 307 | 242 | 177 | 135 | | | |
| | 53,4 | 74,4 | 74,2 | 53,6 | 37,1 | 32,2 | 34,2 | 33,4 | 30,3 | 30,7 | 33,4 | 33,5 | 34,5 | 34,3 | 31,6 | 29,5 | 27,5 | 24,6 | 19,5 | 11,2 | 6,2 | 7,8 | 12,1 | 12,0 | 6,5 | 4,1 | 4,2 | 1,9 | | | |
| Jahr | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nebel . . . | | | | 6 | 2 | 10 | 6 | 5 | 1 | 6 | 3 | 3 | 7 | 6 | 3 | 1 | 2 | 4 | 3 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | | | | | 127 | | |
| St. | | | | 3 | 2 | 11 | 11 | 15 | 9 | 14 | 15 | 6 | 7 | 7 | 2 | 3 | 2 | 0 | 1 | | | | | | | | | | 67,2 | | |
| Fnb | | | | 2 | 1 | 10 | 3 | 8 | 13 | 3 | 7 | 4 | 5 | 1 | 2 | 1 | 1,1 | 0,3 | | | | | | | | | | | 107 | | |
| unbestimmt | | | | 3 | 7 | 13 | 10 | 8 | 4 | 9 | 13 | 5 | 9 | 9 | 4 | 1 | 2 | 4 | 4 | 0 | 0 | 1 | 0,8 | | | | | 63,1 | | | |
| Sc op . . . | | | | 1 | 3 | 7 | 5,4 | 3,9 | 3,3 | 4,7 | 5,5 | 4,6 | 4,8 | 4,9 | 3,0 | 1,4 | 1,7 | 3,0 | 2,9 | 1,1 | 0,3 | 0,8 | 0,5 | | | | | 174 | | | |
| Sc tra . . . | | | | 9 | 11 | 14 | 14 | 14 | 25 | 11 | 10 | 7 | 6 | 2 | 2 | 1 | 1,7 | 0,6 | 0,5 | 0,3 | | | | | | | | 94,4 | | | |
| Ac op . . . | | | | 3 | 7 | 13 | 10 | 8 | 4 | 9 | 13 | 5 | 9 | 9 | 4 | 1 | 2 | 4 | 4 | 0 | 0 | 1 | 0,5 | | | | | 127 | | | |
| Ac tra . . . | | | | 1 | 3 | 7 | 5,4 | 3,9 | 3,3 | 4,7 | 5,5 | 4,6 | 4,8 | 4,9 | 3,0 | 1,4 | 1,7 | 3,0 | 2,9 | 1,1 | 0,3 | 0,8 | 0,5 | | | | | 67,2 | | | |
| As | | | | 9 | 11 | 14 | 14 | 14 | 25 | 11 | 10 | 7 | 6 | 2 | 2 | 1 | 1,7 | 0,6 | 0,5 | 0,3 | | | | | | | | 107 | | | |
| Cu | | | | 3 | 4 | 4 | 3,5 | 4,9 | 4,6 | 3,5 | 2,9 | 2,6 | 2,1 | 2,2 | 4 | 8 | 1 | 2 | 0,5 | | | | | | | | | 77,3 | | | |
| Alle Wolken | 69 | 203 | 158 | 109 | 69 | 57 | 76 | 63 | 58 | 51 | 69 | 52 | 61 | 56 | 46 | 43 | 35 | 29 | 22 | 7 | 4 | 4 | 8 | 5 | 1 | 1 | 1 | 1357 | | | |
| | 53,4 | 74,4 | 74,2 | 53,6 | 37,1 | 32,2 | 34,2 | 33,4 | 30,3 | 30,7 | 33,4 | 33,5 | 34,5 | 34,3 | 31,6 | 29,5 | 27,5 | 24,6 | 19,5 | 11,2 | 6,2 | 7,8 | 12,1 | 12,0 | 6,5 | 4,1 | 4,2 | 1,9 | | | |

Literaturverzeichnis.

1. Alt, E., Die Bewölkungsverhältnisse in Süddeutschland. Dtsch. Met. Jahrb. Bayern, 1916.
2. Alt, E., Internationaler Atlas der Wolken und Himmelsansichten. Paris 1930.
3. Berg, H., Ergebnisse und Kritik von Wolkenmessungen europäischer Wetterflugstellen. Beitr. Phys. fr. Atm. **21**, 1934, 75.
4. Berg, H., Wolkenschichtung und Wolkenstruktur. Reichsamt für Wetterdienst, Wiss. Abhandlg. **3**, 1937, Nr. 8.
5. Bongards, H., Feuchtigkeitsmessungen. Verlag R. Oldenbourg, München u. Berlin 1926.
6. Büdel, A., Die Zugspitzbahnversuche. I. Teil. Dtsch. Met. Jahrb. Bayern, 1929.
7. Dreyling, H., Das Auftreten von Bergnebeln in Abhängigkeit von der Windrichtung. Reichsamt für Wetterdienst, Wiss. Abhandlg. **2**, 1936, Nr. 5.
8. Elwert, O., Das Klima des Bodenseegebiets. Erdgeschichtl. u. landeskundl. Abhandlg. aus Schwaben und Franken. Heft 17. Öhringen 1935.
9. Findeisen, W., Die kolloidmeteorologischen Vorgänge bei der Niederschlagsbildung. Meteor. Z. **55**, 1938, 121—133.
10. Hann-Süring, Lehrbuch der Meteorologie, 4. Auflage, 1926.
11. Hartmann, W., Schichtgrenzen und Wolkenbildung in der freien Atmosphäre. Abhandlg. d. Bad. Landeswetterwarte.
12. Kleinschmidt, E., Der tägliche Gang des Windes in der freien Atmosphäre und auf Berggipfeln. Beitr. Phys. fr. Atm. **10**, 1921, 1.
13. Kopfmüller, A., Der Land- und Seewind am Bodensee. Das Wetter, **39—41**, 1922—1924.
14. Köppen-Geiger, Handbuch der Klimatologie B. I. Tl. B., 525.
15. Peppler, W., Ergebnisse der Lindenberger Messungen der Wolkenhöhen mit Drachen und Fesselballons. Meteor. Z. **37**, 1920, 189.
16. Peppler, W., Die Wolkenhöhen über Friedrichshafen und die Neigung der Schichten über Mitteleuropa. Meteor. Z. **40**, 1923, 150.
17. Peppler, W., Ergänzung zu meiner Arbeit „Die thermische Schichtung der Atmosphäre“. Beitr. Phys. fr. Atm. **12**, 1925, 101.
18. Peppler, W., Aerologische Studien über Temperatur und Windrichtung. Beitr. Phys. fr. Atm. **14**, 1928, 285.
19. Peppler, W., Zur Frage des Temperaturunterschieds zwischen den Berggipfeln und der freien Atmosphäre. Beitr. Phys. fr. Atm. **17**, 1931, 247.
20. Peppler, W., Der tägliche Gang der Temperatur und Feuchtigkeit an Wolkenoberflächen. Die Arb. des Preuß. Aeronaut. Obs. Lindenberg **15**, 1926, 185.
21. Peppler, W., Über die Doppelschichtung der Wolken. Beitr. Phys. fr. Atm. **13**, 1927, 270.
22. Peppler, W., Studie über die Aerologie des Nebels und Hochnebels. Ann. Hydr. mar. Meteor. 1934, 49.
23. Peppler, W., Zur Aerologie der Wolken, besonders des Nimbus. Beitr. Phys. fr. Atm. **23**, 1936, 275.
24. Schumacher, C., Der Wind in der freien Atmosphäre und auf Säntis, Zugspitze und Sonnblick. Beitr. Phys. fr. Atm. **11**, 1924, 20.
25. Schwerdtfeger, W., Über hohe Wolken. Reichsamt für Wetterdienst, Wiss. Abhandlg. **5**, 1938, Nr. 1.
26. Sprung, A. und Süring, R., Ergebnisse der Wolkenbeobachtungen in Potsdam 1896 und 1897. Veröff. Kgl. Preuss. Meteor. Inst., 1903.
27. Süring, R., Die Wolken. Probleme kosm. Phys. **16**, Leipzig 1936.