

66745

z. 65345

Deutscher Wetterdienst in der US-Zone

Zentralamt Bad Kissingen

Leiter: Prof. Dr. Ludwig Weickmann

---

230370

**Berichte**  
des  
**Deutschen Wetterdienstes**  
in der US-Zone

**Nr. 15**

**Luftelektrische Messungen mittels Segelflugzeugen**

Von Dr. Fritz Rossmann

München

Meteorologisches Institut der Universität

Bad Kissingen, 1950

I  
AM

**Inhaltsverzeichnis.**

Vorzüge des Segelflugzeugs für luftelektrische Messungen . . . . .	5
<b>I. Teil: Meßmittel</b> . . . . .	6
Hauptgesichtspunkte . . . . .	6
Potentialgradientmeßanlage . . . . .	6
Bestimmung des Reduktionsfaktors . . . . .	6
Potentialgradientregistrierung . . . . .	6
Konimetermessungen des Staubgehaltes . . . . .	7
Ionenmessungen und Registrierungen . . . . .	7
Abschätzung der Meßmittel . . . . .	7
Ursprüngliche Meßmethode und Grundschialtung . . . . .	8
Der Ionenmeßkondensator . . . . .	8
Theorie des Ionenmeßkondensators ohne Berücksichtigung der Grenzschicht . . . . .	10
Theorie des Ionenmeßkondensators mit Berücksichtigung der Grenzschichten . . . . .	11
Grenzschichtverhältnisse . . . . .	12
Erste Meßanordnung . . . . .	13
Meßapparatur . . . . .	13
Meßkonstanten . . . . .	14
Meßanordnung mit mehreren Meßkondensatoren . . . . .	15
Meßkonstanten . . . . .	15
Kondensatoren für Hochflüge bis an die Troposphärenengrenze . . . . .	15
Erfahrungen mit Ionisatoren . . . . .	16
Neukonstruktion der Kondensatoren zur Bestimmung der Ionenzahlen . . . . .	16
Meß- und Registriereinrichtung für die vier Elemente $\lambda_+$ , $\lambda_-$ , $n_+$ , $n_-$ . . . . .	17
Eichinstrument . . . . .	19
Abschätzung des Fehlers der Einzelmessungen . . . . .	19
Weiterführender Hinweis . . . . .	20
Flugdurchführung . . . . .	20
<b>II. Teil: Meßergebnisse</b> . . . . .	21
15 typische Meßflüge (dazu Tafel I—XV) . . . . .	21
Erster Höhenflug . . . . .	24
Zweiter Höhenflug . . . . .	24
Staubmessungen . . . . .	26
Verknüpfung zwischen Staubzahlen und Potentialgradienten . . . . .	27
Übersicht über die Potentialgradientmessungen . . . . .	27
Einzelbeispiele $W_1$ bis $H_5$ (dazu Tafel XVI—XXXV) . . . . .	28
Kennzeichnung der 6 Typen . . . . .	30
Mittelwerte des elektrischen Erdfeldes . . . . .	30
Mittelwerte für Type 1 . . . . .	31
Mittelwerte für Type 2 . . . . .	31
Mittelwerte für Type 3 . . . . .	32
Mittelkurven für Type 1, 2, 3 . . . . .	33
Mittelwerte und Kurven aller drei Typen . . . . .	34
Mittelwerte und Kurven für Type 4 . . . . .	34
Ergebnisse der Leitfähigkeitsmessungen . . . . .	35
Feldstärke- und Eigenspannungsmessungen in der Nähe eines Gewitters . . . . .	36
Blitzschlagwirkung auf ein Flugzeug . . . . .	37
Zusammenfassung. Schrifttum . . . . .	38
<b>Anhang:</b>	
Tafel I—XXXV. . . . .	39—54

Bei der Deutschen Forschungsanstalt für Segelflug (DFS), Flughafen Ainring bei Freilassing in Oberbayern, wurden während der letzten Jahre bis Kriegsende zahlreiche luftelektrische Messungen durchgeführt. Es wurde dafür ein Segelflugzeug eigens ausgerüstet und als Meßträger benutzt. Diese Idee und die ersten Pläne dazu wurden von Herrn Prof. Dr. W. Georgii im Rahmen seiner Entwicklung und starken Förderung der deutschen Segelfliegerei gefaßt. Er war es auch, der das am besten geeignete Segelflugzeug dafür auswählte und zur Verfügung stellte, und den Fortgang der Arbeit mit stetem Interesse und Anregungen beflügelte. Ihm möchte ich daher auch an dieser Stelle meine lebhafteste Dankbarkeit und Verbundenheit zum Ausdruck bringen.

Bei unseren Untersuchungen hat sich gezeigt, daß Prof. Georgii's Zukunftshoffnungen durchaus gerechtfertigt waren. Es konnten praktisch fehlerfrei zunächst punktweise, aber genügend dicht folgende luftelektrische Elemente in ihrer Veränderung mit der Höhe gemessen werden: der Potentialgradient, die positive und negative Leitfähigkeit, die positive und negative Dichte der leichten Ionen und der mit dem Erdfeld in engem Zusammenhang stehende Staubgehalt der Atmosphäre.

In systematischer Weiterentwicklung wurden alle diese Meßmethoden noch zu fortlaufend registrierenden umgebildet, so daß, da die Werte dann streng gleichzeitig bestimmt werden konnten, außerdem die Beweglichkeiten beider Ionenarten, sowie der Vertikalstrom hinreichend genau abzuleiten waren.

Dabei erwies sich das Segelflugzeug als besonders gut geeigneter Meßträger, während die Versuche von A. Wigand und seinen Mitarbeitern in den Jahren 1919 bis 1925 ergeben hatten (1), daß das Motorflugzeug für luftelektrische Messungen nur sehr bedingt brauchbar ist. Es zeigte sich nämlich, daß der Motor im Betrieb eine ziemlich beträchtliche und veränderliche Eigenladung auf dem Flugzeug hervorbringt und diese wiederum ein schwankendes Eigenfeld um die Maschine herum zur Folge hat. Andererseits besitzt das Segelflugzeug als Meßträger gegenüber dem Frei- oder Lenkballon sehr wesentliche Vorzüge, und der benutzte Lastensegler DFS-230 ist Ballonen sogar weit überlegen.

Das soll in einer knappen Gegenüberstellung auf Grund der bei der DFS gemachten Erfahrungen klar gestellt werden.

### Freiballon

### Segelflugzeug

#### 1. Die Betriebsverhältnisse

sind beim bemannten Freiballon umständlich, an viele Hilfskräfte und wegen der Gasfüllung an bestimmte Orte gebunden. Fahrbahn und Landeort sind nicht dem Willen des Ballonführers unterworfen, sondern durch die Windschichtung mit der Höhe, außerdem durch die Bewölkung bedingt. — Ballonmessungen haben nur stichprobenartigen Charakter.

sind beim Segelflugzeug im Schlepp hinter einem Motorflugzeug für Start, Landeort und Flugweg sehr geringen Beschränkungen unterworfen. Ein Schleppzug hat nahezu die gleiche Einsatzbereitschaft wie die Motormaschine allein und erfordert nur wenig mehr Kosten und Personal, da das Segelflugzeug ohne große Mühe zu warten ist. — Segelflugzeugmessungen können ohne Schwierigkeiten systematisch durchgeführt werden.

#### 2. Die Raumverhältnisse.

Die Grundfläche eines Ballonkorbes beträgt im günstigsten Falle etwa 4 m<sup>2</sup>. Die Zuladefähigkeit selbst großer Ballone übersteigt kaum 300 kg.

Der Lastensegler DFS-230 hat eine nutzbare Grundfläche von nahezu 6 m<sup>2</sup> und kann 11 Mann, außerdem noch Gerät aufnehmen. Bei 820 kg Rüstgewicht beträgt seine Zuladefähigkeit 1280 kg.

#### 3. Blindflug.

Im Ballon ist Funkgerät wegen der Explosionsgefahr nur mit besonderen Vorsichtsmaßnahmen zu verwenden. Weiteres Blindfluggerät hat wegen der Steuerunfähigkeit keinen Sinn.

Im Lastensegler kann Blindfluggerät, im besonderen Funkgerät fast unbeschränkt mitgeführt werden. Blindflug ist sowohl im Schlepp mit Starrschleppkupplung möglich und erprobt, wie im Gleitflug nach dem Ausklinken.

#### 4. Eignung für luftelektrische Messungen im besonderen.

Die Form von Ballon und Korb ist sehr ungünstig, weil das Verhältnis von Höhe zu größter Breite nicht unter 2:1 gebracht werden kann. Dadurch ergibt sich eine starke Deformation der Niveauflächen des elektrischen Erdfeldes, was wiederum sehr sorgfältige und mühsame Modelluntersuchungen notwendig macht. Außerdem muß durch eine elektrisch leitende Verkleidung dafür gesorgt werden, daß die gesamte Oberfläche zu einer Niveaufläche wird.

Der Lastensegler hat eine wesentlich horizontal entwickelte Form, seine Flügelspannweite beträgt 22 m, die Höhe nur 2 m. So ist das Verhältnis von Höhe zu größter Breite 22mal kleiner als beim Ballon, nämlich 1:11 und der Reduktionsfaktor leichter und sehr viel zuverlässiger unmittelbar am Flugzeug zu bestimmen. Die Außenhaut besteht nicht aus isolierendem Material und stellt daher ohne weiteres eine Niveaufläche dar.

#### 5. Eigenladung.

Freiballone nehmen bei Höhenänderungen und bei Abgabe von Sandballast leicht große Eigenladungen an. Dabei ist der Betrag der Eigenladung und ihr störender Einfluß schwer zu bestimmen.

Eigenladungen des Lastenseglers können vor allem während des Schleppfluges durch Zuführung von freier Ladung des Motorflugzeuges vorkommen. Es wurde von uns aber eine Methode entwickelt, um diese zuverlässig zu unterbinden.

#### 6. Fluggeschwindigkeit.

Der Ballon ruht nahezu gegenüber der umgebenden Luft. Das gibt bei radioaktiven Sonden leicht zu Störungen und Meßfehlern Anlaß, bei allen Ionenmessungen aber muß für künstliche Aspiration Sorge getragen werden.

Die hohe Geschwindigkeit des Lastenseglers ermöglicht, sowohl den ungestörten Betrieb von radioaktiven Sonden und Spritzkollektoren, wie auch das Zubringen von Ionen in solcher Menge, daß sich kurze Meßzeiten ohne weitere Vorkehrungen erzielen lassen.

## I. TEIL.

### MESSMITTEL.

Es sollen nun zunächst die Meßmittel geschildert werden, wie sie für das Segelflugzeug als Meßträger entwickelt wurden. Es wurden dabei folgende Gesichtspunkte verwirklicht:

1. fortlaufende selbsttätige Aufzeichnung aller luftelektrischen Elemente,
2. geringe Trägheit der Anzeige entsprechend der Geschwindigkeit des Meßträgers,
3. leichte Kontrolle der Meßwerte und die Möglichkeit, die Instrumente einfach und rasch zu eichen, sowie die Höhenmessungen an die Bodenwerte anzuschließen,
4. Ausdehnung der Messungen — sowohl für den Anstieg wie für den Abstieg — bis auf große Höhen, d. h. bis in die untere Stratosphäre, wozu eine Sauerstoffapparatur in den Lastensegler eingebaut wurde,
5. Unempfindlichkeit gegen Störungen durch Erschütterungen, Flugzeugneigungen, Isolationsverschlechterung und sonstige Schwierigkeiten, wie sie in der freien Atmosphäre durch hohe Feuchtigkeit, Wolkenröpfchen, tiefe Temperaturen, plötzliche und ähnliches auftreten.

Zuerst werden die Instrumente für die Messung und Registrierung des Potentialgradienten und des Staubgehaltes, der zu dem Potentialgradienten in enger Beziehung steht, beschrieben. Es folgen die Apparaturen für die Ionenmessungen, nämlich für die beiden polaren Leitfähigkeiten  $\lambda_+$  und  $\lambda_-$  und die beiden Ionenzahlen je Raumeinheit  $n_+$  und  $n_-$ . Dann kommt ein Abschnitt über die Praxis der Flüge und die Durchführung der Messungen bzw. Registrierungen selbst, schließlich eine Übersicht über die dabei erhaltenen Ergebnisse.

#### Potentialgradientmeßanlage.

Gegen alle Störungen praktisch unempfindlich und doch einfach ist die Meßanlage für den Potentialgradienten. Sie besteht aus einer sehr kräftigen Radiothorsonde von 7000 ESE, in der von Wigand entwickelten Form mit einer Vorsatzschale, so daß die aktivierte Kupferplatte sich in deren Totluftraum befindet. Die Sonde ist mit einem 10 cm langen Bernsteinzylinder am oberen Ende eines Stahlrohres 1.17 m über dem Flugzeugrumpf zwischen den Tragflügeln, die bei der Hochdeckerbauweise des LS oben mit der Rumpfdecke in einer Ebene liegen, angebracht. Die leitende Verbindung der Sonde mit dem Elektrometer führt, um die Kapazität klein zu halten, frei durch die Luft und dann ebenfalls bernsteinisoliert ins Rumpfinnere.

Anfangs, als noch nicht registriert, sondern Einzelwerte abgelesen wurden, wurde ein Wulfsches Zweifaden-Elektrometer benutzt, das in einem ringförmigen Rahmen aus Stahl an Gummischnüren federnd aufgehängt war. Die Erschütterungen stören selbst beim Schleppflug im Anstieg auch dann nicht, wenn das LS durch starke vertikale Geschwindigkeitsunterschiede der Luft hindurchgerissen wird. Es wird weder die Fadenlage zu unruhig, noch die Mikroskopablesung durch Zittern des ganzen Instruments in Frage gestellt. Eine Neigungsempfindlichkeit ist auch bei sich stärker

ändernder Kurvenlage und wenig gespreizten Fäden nicht nachweisbar, sofern die Kurve sauber mit Scheinlot in der Mitte geflogen wird. Es trat wegen der günstigen Anbringung der Sonde nicht einmal eine Verminderung der Meßwerte durch die Schräglage des LS selbst ein. Neigung um die Querachse zeigte keinerlei Einfluß auf die Messungen.

Der Reduktionsfaktor wurde auf zweierlei Weisen bestimmt, und zwar beide Male nicht an einem Modell, sondern unmittelbar am Flugzeug selbst. Es war also möglich, direkt die effektive Sondenhöhe auszumessen.

Die erste Bestimmung geschah im Freien auf einem ebenen und durch keine Hindernisse gestörten Platz des Flughafens, also im Erdfeld selbst. Es wurde dazu ein ungestörter Tag gewählt, an dem das Bodengebiet sehr wenig veränderlich war. Um möglichst ähnliche Verhältnisse wie beim Fluge zu bekommen, wurde das Flugzeug auf ein Balkengestell in 3.50 m Abstand vom Boden aufgebockt und durch in Paraffin ausgekochte Holzklötze sorgfältig gegen Erde isoliert. Dann wurde das Erdfeld mit der Flugzeugmeßlage und gleichzeitig außerhalb durch zwei Radiothorsonden gemessen, die senkrecht übereinander an einem Mast verschiebbar angebracht waren. Bei gleicher Höhe der oberen Sonde mit der Flugzeugsonde wurde die untere Sonde am Mast solange verschoben, bis die Meßwerte dort und im Flugzeug übereinstimmten. Der Abstand der beiden Sonden am Mast ergab dann unmittelbar die effektive Höhe der Flugzeugsonde. Gefunden dafür wurde 2.35 m, ein Wert, der fast genau gleich der Höhe der Flugzeugsonde über der neutralen Fläche des Flugzeugrumpfes, in der das Rohr der Wassertropfanlage (s. S. 20) endigte, war, wie es der Erwartung entsprach.

Etwas später wurde noch eine zweite Bestimmung der effektiven Sondenhöhe in einem konstanten künstlichen Feld vorgenommen. Dazu wurde die Holzhalle, die zum Abstellen des Flugzeuges diente, als Plattenkondensator ausgebildet. Die eine Belegung bildete der verhältnismäßig gut leitende Betonfußboden der Halle, die andere ein Drahtgitter, das isoliert dicht unter dem Dachgebälk der Halle angebracht wurde. Mit Anodenbatterien konnte ein bestimmtes konstantes Feld zwischen beiden hergestellt werden. Um von den „Plattenrändern“, den geerdeten Holzwänden der Halle, gut frei zu bleiben, wurde der LS mit Stützflügeln versehen, dann wurde das bekannte, außerdem durch Messungen außerhalb des Flugzeuges kontrollierte Feld mit der Flugzeugmeßanlage bestimmt. Daraus folgte die effektive Sondenhöhe zu 2.33 m. Die Übereinstimmung mit der ersten Methode liegt also innerhalb der Fehlergrenzen.

#### Potentialgradientregistrierung.

Neuerdings wird auch der Potentialgradient über Elektrometerröhren mit dem Askania-Mehrfachschreiber registriert. Da in bodennahen Schichten oft mit Gradienten um 200 V/m, gelegentlich auch noch größeren zu rechnen ist, die Gitteraussteuerung der Elektrometerröhre AEG T 113 aber schon bei 5 V erreicht ist, mußte der Meßbereich auf zweierlei Weise erweitert werden. Erstens wurde nur ein bestimmter Teil der Sondenspannung ans Gitter gelegt. Das geschieht durch Spannungsteilerschaltung mittels eines Satzes von Hochohmwiderständen, die zum scheinbaren Sondenwiderstand von  $1,8 \times 10^{10}$  Ohm passend wahlweise ein-

geschaltet werden, so daß die Potentialdifferenz der Sonde auf etwa 1/10 ihres Wertes herabgesetzt wird. Ein noch größeres Untersetzungsverhältnis zu nehmen, ist nicht zweckmäßig, wenn nicht die Meßgenauigkeit beeinträchtigt werden soll. Es liegen dann also am Gitter immer noch Spannungsdifferenzen von 10—20 Volt. Diese sollten auf einen nahezu linearen Teil der Röhrencharakteristik fallen, in dem außerdem der Gitterstrom vernachlässigbar klein bleibt. Dazu wurde eine Gegeneinanderschaltung von zwei Elektrometerröhren benutzt. Dabei arbeitet die eine Röhre von geringeren negativen Gitterspannungen nach größeren, die andere umgekehrt von größeren Gitterspannungen zu kleineren. Das Ergebnis ist eine S-förmige Charakteristik mit einem geradlinigen Teil, der sich über 15—20 Volt erstreckt. Die Röhren liegen in getrennten Kreisen, wobei das kalte Ende der zweiten Röhre das Anodenpotential der ersten hat. Die Eichung des Gerätes samt Radiothorsonde geschieht durch ein stufenweise veränderliches Feld im Raum eines großen Plattenkondensators, der durch ein kräftiges Gebläse belüftet wird.

### Konimetermessungen des Staubgehaltes.

Die stärksten Änderungen des Potentialgradienten, besonders im unteren Teil der Atmosphäre fallen überwiegend mit atmosphärischen Schichtgrenzen zusammen, an denen sich die Dichte des Dunstes stark ändert. Um diese Zusammenhänge genauer zu untersuchen, wurden die Messungen im Lastensegler noch auf den Staubgehalt in der freien Atmosphäre ausgedehnt.

Dazu wurde in den LS ein Zeiß'sches Freiluftkonimeter eingebaut (Abb. 1). Es besteht aus dem Probe-

nehmer, in dem die Staubteilchen abgelagert werden, und einer elektrisch betriebenen Saugpumpe. Die zu untersuchende Außenluft wird in den Probenehmer durch eine Düse gesaugt, aus der sie mit großer Geschwindigkeit herausschießt. Ein Teil der in ihr schwebenden Staubteilchen wird bei scharfer Umlenkung des Luftstromes in dem Feld einer Glasscheibe, das mit einer Nummer versehen ist, abgelagert. Alle 20 Sekunden wird die Scheibe um 1/30 gedreht, so daß der Staub auf ein neues Feld der Glasscheibe gelangt. Zugleich wird ein Kontakt auf der Unterseite des Probenehmers geschlossen, der die Zeitmarkeneinrichtung des Flugzeugmeteorographen betätigt. Meßzeit und Meßhöhe werden so im Meteorogramm, das Druck, Temperatur und Feuchtigkeit enthält, festgehalten. Nach dem Fluge werden die Meßscheiben mit Deckgläsern geschützt und die einzelnen Meßfelder in einem leistungsfähigen Zeiß-Mikroskop nach der Teilchenzahl ausgezählt.

Die Größenordnung der vom Konimeter erfaßten Staubteilchen wurde aus 20 Bodenmessungen ermittelt:

### Ionenmessungen und Registrierungen.

Im Mittelpunkt der Ainringer luftelektrischen Flüge standen jedoch die Ionenmessungen, die Erfassung der beiden polaren Leitfähigkeiten und Ionenzahlen in ihrer Höhenabhängigkeit. Es schien von vornherein recht lohnend, einige Zeit und Mühe darauf zu wenden, für diese Messungen eine einwandfreie, genaue und rasche Meßmethode, die im Flugzeug brauchbar ist, zu entwickeln, und zwar aus mehreren Gründen.

Einerseits fehlen solche Messungen fast völlig. Bis zu den unten geschilderten gab es tatsächlich nur wenige stichprobenartige von Gerdien 1905 und A. Wigand 1913 (2) im Freiballon nach einer sehr trägen und ungenauen Methode. Ein bei Flugzeuggeschwindigkeiten brauchbares Meßverfahren mußte erheblich von den Bodenmeßmethoden abweichen. Andererseits spielt die Leitfähigkeit im Flugwesen eine wichtige praktische Rolle, da sie die Abführung der Eigenladungen, die alle Motorflugzeuge durch den Verbrennungsvorgang von selbst und auch durch Niederschlagsteilchen von außen annehmen, wesentlich bestimmt. Dieser Vorgang kann

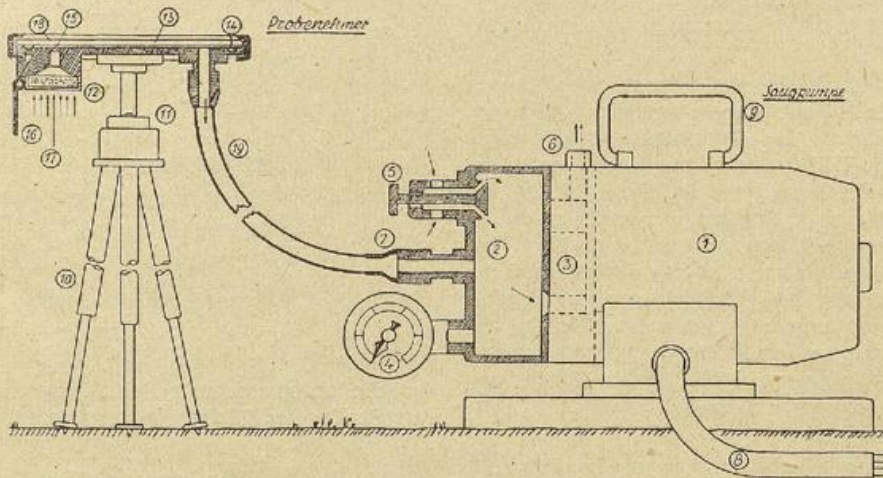


Abb. 1

aber zu Funkstörungen Anlaß geben, so daß die luftelektrische Leitfähigkeit mit dem wichtigen praktischen Problem der Funkstörungen im Flugzeug in engem Zusammenhang steht. Aber auch im Elektrizitätshaushalt der Erde nehmen die Leitfähigkeit und Leitchionenzahl eine Schlüsselstellung ein; den derzeitigen Anschauungen zufolge sind es die primären luftelektrischen Elemente, die in nächster Beziehung vor allem zur kosmischen Höhenstrahlung stehen.

### Abschätzung der Meßmittel.

Bei der Ionenmeßapparatur sind besondere Anforderungen an den Meßkondensator zu stellen, der von der ionenhaltigen Luft durchströmt wird und ihr bei der  $\lambda$ -Messung einen Teil, bei der  $n$ -Messung alle Ionen entzieht. Um die Dauer einer Einzelmessung herabzudrücken, so daß sogar fortlaufende Registrierungen möglich wären, kann mit der Kondensatorgröße nicht unter ein bestimmtes Maß herabgegangen werden.

Es folgt zunächst eine Abschätzung dieser Größe für den Fall einer  $\lambda$ -Messung, welche die höheren Anforderungen an die Empfindlichkeit der Meßmittel stellt.

Der Meßkondensator habe, als Plattenkondensator gedacht, das konstante Feld  $E$  (Volt/cm), das senkrecht zur Strömungsrichtung liegt. Bei der polaren Leitfähigkeit  $\lambda$  (sec<sup>-1</sup>) der durchströmenden Luft hat das Feld  $E$  einen Ionenstrom von der Dichte  $j$  zur Folge.

Es ist

$$j = \lambda \cdot \frac{E}{300} \frac{\text{Aes}}{\text{cm}^2}$$

Der Gesamtstrom  $J$  im Kondensator mit der wirkamen Plattenfläche  $F$  cm<sup>2</sup> wird demnach

$$J = j \cdot F = F \cdot \lambda \cdot \frac{E}{300} \cdot \frac{1}{3 \cdot 10^9} \text{ Amp.}$$

Die kleinsten Leitfähigkeitswerte der Luft kommen fast durchweg in den bodennahen Schichten der Atmosphäre vor, hier herrschen meßtechnisch die am wenigsten günstigen Verhältnisse  $\lambda \approx 1 \cdot 10^{-4}$  sec<sup>-1</sup>, woraus als Mindestwert folgt

$$J \approx E \cdot F \cdot 10^{-10} \text{ Amp.}$$

Um auch bei den 10- bis 20mal so großen  $\lambda$ -Werten in größeren Höhen Sättigungsstromverhältnisse zu vermeiden, muß das Feld  $E$  am Kondensator schwach sein. Wählt man es zu 30 Volt/cm, so braucht man

für den Gesamtstrom $J$	eine Plattenfläche $F$ von
$10^{-11}$ Amp	3 000 cm <sup>2</sup>
$10^{-10}$ Amp	30 000 cm <sup>2</sup>

Das sind Werte, die sich bei einem Mehrplattenkondensator erreichen lassen, ohne daß er bei der festen Bauart, wie sie bei den hohen Strömungsgeschwindigkeiten notwendig ist, für den Lastensegler zu groß und schwer wird.

Die immer noch sehr kleinen Stromstärken lassen sich freilich nicht unmittelbar galvanometrisch messen, sondern müssen mit Hilfe des Spannungsabfalls über einem extrem hohen Widerstand bestimmt werden. Nimmt man um die Zeitkonstante (s. S. 13) klein zu halten, einen solchen von  $10^9$  Ohm, so muß man im ersten Falle Spannungsdifferenzen von 0,01 Volt, im zweiten von 0,1 Volt noch sicher ablesen können. Das ist trotz der Erschwerung bei Flugmessungen gegenüber solchen im Laboratorium — im wesentlichen infolge der Erschütterungen und Neigungsänderungen des Lastenseglers — sogar mittels eines Einfaden-Elektrometers mit starkem Hilfsfeld zwischen den Schneiden gut zu erreichen.

Die hier überprüften Verhältnisse gelten für die bodennahen Luftschichten und sind meßtechnisch aus zwei Gründen die ungünstigsten, die bei Höhengängen vorkommen: erstens wächst die Leitfähigkeit mit der Höhe beträchtlich an, zweitens nimmt aber gleichzeitig die Luftunruhe in den meisten Fällen rasch ab, was die Meßstörungen infolge von Erschütterungen und ungewollten Neigungsänderungen immer mehr einschränkt. Nicht einmal bei den hier notwendigen hohen Empfindlichkeiten ergaben sich Meßfehler infolge Flugzeugneigungen, sofern nur die Kurven genau mit Scheinlot in der Mitte geflogen wurden.

**Ursprüngliche Meßmethode und Grundschaltung.**

Es ist also möglich, die polaren Leitfähigkeiten und erst recht die Ionenzahlen durch unmittelbare Strombestimmungen nach der Spannungsabfallmethode mittels Elektrometers zu messen.

Die Meßmethode und grundsätzliche Meßschaltung ist dabei folgende: ein Meßkondensator 1 der errechneten Plattenfläche liegt mit dem Normalwiderstand  $R_n$  2 und der Batterie 3 für das Kondensatorfeld (Spannung  $U$ ) in Reihe. (Grundschaltung Abb. 2). Mit dem

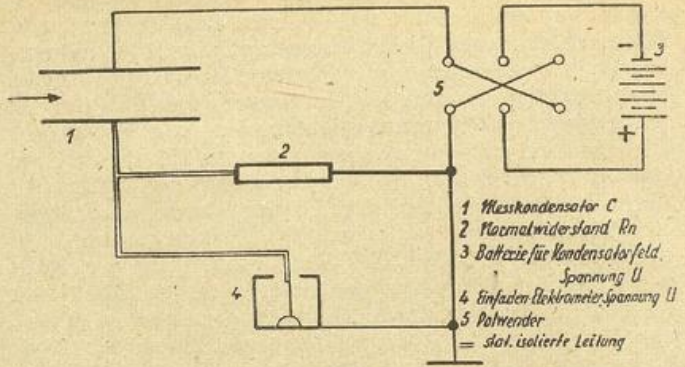


Abb. 2

Polwender 5 zwischen Anodenbatterie und Meßkreis kann die Spannung  $U$  am Kondensator umgepolt werden, so daß entweder der positive oder der negative Ionenstrom über  $R_n$  zur Masse abfließt. Der Spannungsfall  $u$ , der über  $R_n$  mittels eines statischen Voltmeters 4, d. h. mit Elektrometer oder Elektrometerröhre gemessen wird, steht dann zu  $\lambda_+$  und  $\lambda_-$  in einfacher Beziehung, wie weiter unten abgeleitet wird. In Abb. 3

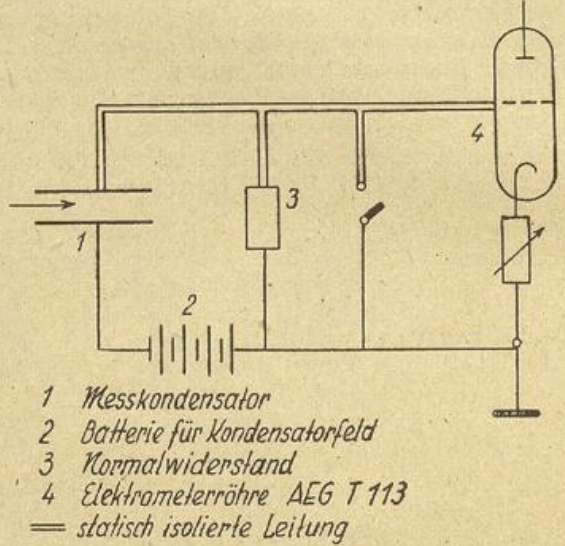


Abb. 3

ist die entsprechende Schaltung mit Elektrometerröhre an Stelle des Elektrometers wiedergegeben.

**Der Ionenmeßkondensator.**

An jeden Meßkondensator werden wegen der hohen Geschwindigkeit des Trägerflugzeuges und der starken Änderungen von Temperatur und Feuchtigkeit in der freien Atmosphäre eine Reihe ziemlich hoher Anforderungen gestellt.

Erstens ist dem Kondensator eine hohe mechanische Festigkeit zu geben, wobei besondere Vorsorge getroffen werden muß, daß die Belegungen keine merklichen Schwingungen gegeneinander ausführen können.

Zweitens ist er aerodynamisch möglichst günstig zu gestalten, so daß die Strömung die ihn durchsetzt, laminar bleibt. Dazu muß er einen möglichst geringen Strömungswiderstand haben.

Drittens müssen seine Belegungen gegeneinander und gegen Masse, also gegen den Flugzeugkörper, sehr gut statisch isoliert werden. Jeder Isolationsfehler bewirkt nämlich bei der Messung eine scheinbare Leitfähigkeitszunahme, die nur durch eine Isolationsmessung vor und nach dem Flug, also überhaupt nur angenähert bestimmt werden

kann. Die Isolation muß daher während des Fluges sorgfältig gegen Verschlechterung durch Auftreffen von Staub, von Auspuffgasen der Schleppmaschine, Feuchtigkeit in Form von Wasserdampf und Tröpfchen, sowie gegen rasche Abkühlung geschützt sein.

Diese drei Bedingungen gelten in gleicher Weise für die  $\lambda$ -Kondensatoren wie für die n-Kondensatoren. Dagegen ist

Viertens noch für die n-Kondensatoren die Sättigungsstrombedingungen zu erfüllen (s. S. 11), für die  $\lambda$ -Kondensatoren dagegen das Sättigungsgebiet zu vermeiden. Diese müssen auf hohe Grenz- beweglichkeit eingerichtet werden (s. S. 11), damit diese auch die größere Beweglichkeit der Ionen höherer Luftschichten genügend übertrifft. Nur dann ist die Grundbedingung der Leitfähigkeitsmessungen erfüllt, daß stets im freien Strom gemessen und nirgends Sättigung erreicht wird. Demnach ist der  $\lambda$ -Kondensator so zu bauen, daß

$$\text{die Grenzbeweglichkeit } k_g > 10 \frac{\text{sec}}{\text{cm}} / \frac{\text{Volt}}{\text{cm}} \text{ wird.}$$

Die dritte Bedingung ist die wichtigste, sie ist zugleich aber auch am schwersten zu erfüllen. Es geschah auf folgende Weise. Die Isolatoren wurden weitgehend in den Rumpf des LS gelegt, der Teil, der darüber hinausragte, wurde durch überfallende Blechkappen gegen Beschlagen im Fahrtwind geschützt. Außerdem aber wurde die Kapazität des Kondensators möglichst groß gemacht. Dann wird der Ionenstrom auf die eine Belegung groß gegenüber den fälschenden Kriechströmen, mit denen sich die Kondensatorspannung über die Isolatoren auszugleichen sucht. Damit fallen dann kleinere Isolationsstörungen und Änderungen nur sehr wenig ins Gewicht.

Mit der unten folgenden Theorie des Ionenmeßkondensators lassen sich die Meßfehler infolge direkten Feldausgleichs über die Isolatoren quantitativ angeben, wenn der Isolationswiderstand der Kondensatorplatten gegeneinander bekannt ist. Man erhält so einen unmittelbaren Überblick über die Anforderungen, die an die Güte der Isolation der Kondensatoren zu stellen sind. Es habe jeder Kondensator  $200 \cdot 10^{-12}$  F Kapazität, und es sei  $\lambda = 1 \cdot 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$ . Dann fallen die  $\lambda$ -Messungen um 2% zu hoch aus, wenn der Isolationswiderstand  $10^{14}$  Ohm beträgt, um 20% zu hoch, wenn er  $10^{13}$  Ohm beträgt. Wesentlich höhere Anforderungen, nämlich um eine Zehnerpotenz mehr, sind bei den n-Messungen zu stellen. Erst bei einem Isolationswiderstand von  $10^{15}$  Ohm beträgt der Fehler des Ionenstroms 1%, dagegen bei  $10^{14}$  Ohm schon 10%.

Verschiedene Versuche ergaben, daß die vier Bedingungen sich am besten miteinander in Einklang bringen lassen bei einem Mehrplattenkondensator aus einer größeren Zahl ebener paralleler Platten. Jedenfalls fällt ein wabenförmig aufgebauter Röhrenkondensator sowohl in bezug auf Festigkeit und kleinen Luftwiderstand, wie guten Schutz der Isolation und ökonomische Raumaussnutzung wesentlich ungünstiger aus.

Aufriß und Grundriß der Meßkondensatoren zeigen Abb. 4 und Abb. 5, aus denen die Anordnung der Platten, ihre Befestigung an je vier Eckstäben und ihre Isolierung an den unteren Stabenden klar zu ersehen ist. Das Plattenmaterial ist Dural von 1 mm Dicke. Die eine Belegung der n-Kondensatoren besteht aus vier, die andere aus drei Platten; bei den  $\lambda$ -Kondensatoren sind es je sechs und fünf Platten. Dabei wird jeder solcher Plattensatz durch vier Stahlrohre an den Ecken mittels darübergeschobener Rohrstücke von 40 und 60 mm Länge und Sechskant-Muttern oben und unten auf genauen Abstand zusammengehalten. So kann nämlich jeder gesondert als ganzes auf vier entsprechende Stahlstäbe geschoben werden, die

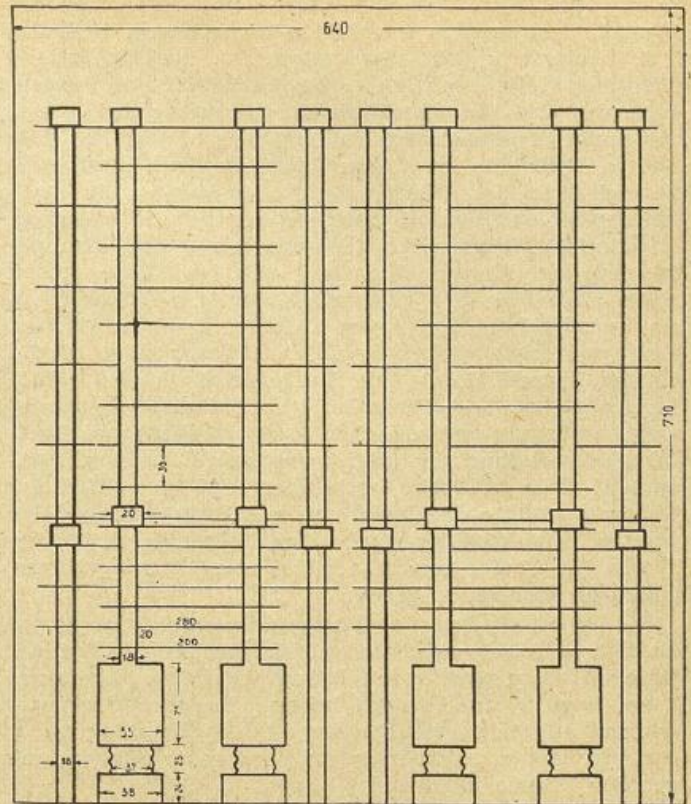


Abb. 4

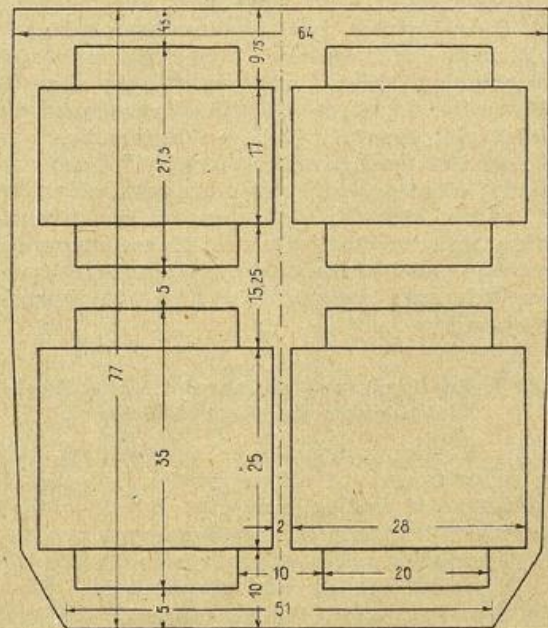


Abb. 5

in die vier zugehörigen Isolatoren mit ihren unteren Enden eingeschraubt sind. Jeder Plattensatz ruht demnach auf vier kräftigen Isolatoren, die je aus zwei zylindrischen Teilen bestehen. Für den unteren Teil wurde anfangs Hartgummi, später Bernstein genommen, während der obere aus Calit bestand, das sorgfältig mit Paraffinöl behandelt war. Die Abmessungen gehen aus Abb. 4 hervor. Die insgesamt 32 Isolatoren sind ihrerseits auf einer kräftigen Grundplatte von 20 mm Dicke festgeschraubt, die wiederum aus bestem Isoliermaterial, Plexiglas, an zwei Stellen mit dem 65 mm starken Querbinder, an einer dritten weiter rückwärts mit einem Schrägbinder von 45 mm Durch-

messer durch kräftige Holzlaschen im oberen Teil des Flugzeugrumpfes zwischen den Tragflügeln befestigt war. Dadurch konnte erreicht werden, daß der größte Teil der Isolatoren sich innerhalb der Segeltuchverkleidung des Rumpfes befand, die mit reichlich bemessenen Aussparungen versehen war, so daß die oberen Teile der Isolatoren frei ohne jede Berührung herausragten. Diese hervorstehenden Hälften sind, wie im Aufriß angedeutet, mit zylindrischen Stahlkappen abgedeckt, die mit der Öffnung unter die Rumpfbespannung hinabreichen und die Isolatoren gegen jeden Aufschlag von Verunreinigungen und Tröpfchen im anströmenden Luftstrom schützen. An diese Kappen sind außerdem Trockengefäße angeschraubt, deren Chlorkalzium-Füllung den Luftmantel um die Calite herum trocken hält. Diese Isolation hat sich fast durchweg bewährt, es wurden höchst selten scheinbare Leitfähigkeitserhöhungen oder sonstige Störungen festgestellt. Nur bei sehr hoch über 8000 m reichenden Flügen versagte die Isolation im Abstieg infolge der starken Kondensation auf allen tiefgekühlten festen Teilen. Es mußte zu einer künstlichen Heizung übergegangen werden (s. S. 17).

Die anderen drei Forderungen konnten bei dieser Bauart ebenfalls verhältnismäßig gut erfüllt werden. Da die Platten parallel zur Rumpfoberfläche liegen und 3 cm bzw. 2 cm Abstand haben, ist der Strömungswiderstand gering, und bei der festen Einspannung an den vier Ecken traten irgendwie merkbare Schwingungen der Platten nicht auf.

Gegen Aufladung durch Spannungsausgleich mit der umgebenden Luft nach Art einer Sonde mußten die Kondensatoren geschützt werden, denn sie sind ja bei ihren sehr großen Oberflächen und vielen Ecken und Kanten gegen das LS mit dem einen Plattensatz hochisoliert. Dazu wurden die Kondensatoren vom elektrischen Erdfeld durch eine mit dem Flugzeugkörper leitend verbundene Blechhaube vollständig abgeschirmt. Die Rechteckform ihres Durchströmungsquerschnittes samt Maß gibt ebenfalls Abb. 4. Die Wandquerschnitte wurden zu Strömungsprofilen ausgebildet, um aus fliegerischen Gründen Ablösungen zu vermeiden. Angeordnet wurde der Kondensator in der Tragflügelmittellinie auf der Oberseite des Flugzeugrumpfes, wo er nicht nur gut unterzubringen und zu befestigen war, sondern sich auch nahezu über dem Flugzeugschwerpunkt befand.

**Theorie des Ionenmeßkondensators ohne Berücksichtigung der Grenzschicht.**

Um die Kondensatormaße im einzelnen in richtiger Größe zu nehmen, vor allem insofern sie die Grenzgeschwindigkeit bestimmen, muß man sich über die Theorie des mehrplattigen Ionenmeßkondensators Rechenschaft geben. Rechnet man mit homogenem Feld E senkrecht zu den Platten und gleichmäßiger Strömung parallel dazu im ganzen Durchströmungsraum, so werden die Gleichungen linear, die Bahn eines Ions eine Gerade. Bei dieser größtmöglichen Vereinfachung wird nicht berücksichtigt: erstens ein Elektrodeneffekt zwischen den Platten, zweitens irgendwelche Störungen des Feldes in Nähe der Plattenränder und drittens der Einfluß der Grenzschicht an den Platten auf die Strömung. Ein merkbarer Elektrodeneffekt kann tatsächlich bei den hohen Strömungsgeschwindigkeiten von mehr als 30 m/sec nicht auftreten, während die Randstörungen des Feldes sicher nicht ganz zu vernachlässigen sind. Aber dieser Einfluß wird sich vor allem auf die Kapazität des Kondensators erstrecken und kann im wesentlichen dadurch berücksichtigt werden, daß nicht mit der sich theoretisch ergebenden, sondern mit der gemessenen Kapazität gerechnet wird.

Der Grenzschichteinfluß endlich ist um so weniger zu vernachlässigen, je geringer der Plattenabstand, je

größer Plattentiefe, Rauigkeit und Anzahl der Platten ist. Deshalb soll die Rechnung im Anschluß an die einfache lineare Form der Theorie auch unter Berücksichtigung der Grenzschicht durchgeführt werden.

Der Kondensator hat die Plattengröße a · b, wobei die Plattenkante a in Richtung der Strömung, b senkrecht dazu verläuft. Ist d der Plattenabstand und g die Strömungsgeschwindigkeit, die zunächst unter Vernachlässigung des Grenzschichteinflusses als konstant angesehen werden kann, so ist die je Sekunde durchströmende Luftmenge, die Fördermenge M:

$$M = b \cdot d \cdot g \frac{\text{cm}^3}{\text{sec}} \tag{1}$$

Wenn die Spannung U an den Platten liegt, ist das Kondensatorfeld E, falls der Elektrodeneffekt fehlt, ebenfalls konstant und bestimmt durch

$$U = E \cdot d \tag{2}$$

Aus der Flächendichte  $\sigma = \frac{E}{4\pi}$  ergibt sich die Gesamtladung

$$Q = \frac{a \cdot b}{4\pi} \cdot E = \frac{ab}{4\pi d} \cdot U \tag{3}$$

und die Kapazität C zu

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{ab}{4\pi d} \tag{4}$$

Besteht der Kondensator nicht nur aus zwei, sondern aus (2p + 1) Platten, die abwechselnd verbunden sind, etwa p negativen und (p + 1) positiven Platten, so wird die Kapazität

$$C_{2p+1} = 2p \cdot \frac{ab}{4\pi d} \tag{4a}$$

Da die Spannung dieselbe bleibt, steigt die Ladung ebenfalls auf das 2p-fache

$$Q = 2p \frac{ab}{4\pi d} U \tag{3a}$$

Die Fördermenge für den mehrteiligen Kondensator vom Querschnitt 2p · bd cm<sup>2</sup> ist entsprechend

$$M = 2p \cdot bd \cdot g \frac{\text{cm}^3}{\text{sec}} \tag{1a}$$

Unter Voraussetzung laminarer Strömung ohne Geschwindigkeitsunterschiede lauten die Bewegungsgleichungen eines positiven Trägers der Beweglichkeit k, wenn die Koordinaten der beistehenden Abb. 6 zugrunde gelegt werden:

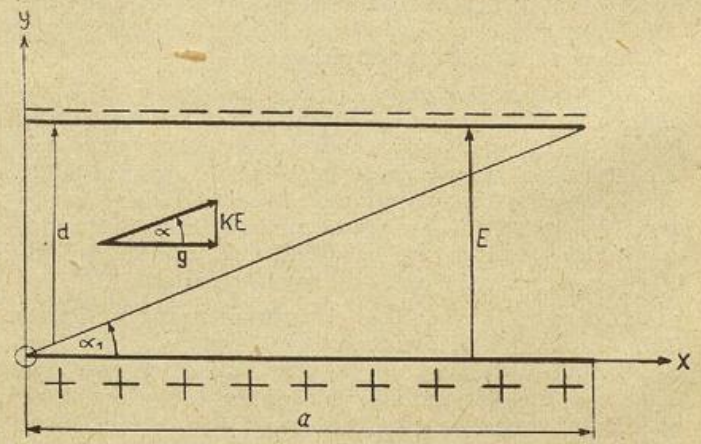


Abb. 6

$$\frac{dx}{dt} = g, \frac{dy}{dt} = k \cdot E, \text{ oder } \frac{dy}{dx} = \frac{k \cdot E}{g}$$

$n = \frac{k \cdot E}{g} = \frac{k \cdot U}{g \cdot d}$  ist der Tangens des Steigungswinkels der Ionenbahn gegen die x-Achse und unter den

gemachten Voraussetzungen konstant. Die Bahn ist also eine Gerade:

$$y = n \cdot x + y_0,$$

wobei  $(0, y_0)$  die Koordinaten des Punktes sind, in dem das Teilchen in den Kondensator eintritt, also sich zur Zeit  $t = 0$  befindet. Für die Ionen, die streifend an der positiven Platte, also im Punkte  $(0,0)$  eintreten, wird

$$x = \frac{y}{n} = \frac{g \cdot d}{k \cdot U} \cdot y,$$

und das Teilchen lagert sich bei der Abszisse  $x_m = \frac{d}{n} = \frac{g \cdot d^2}{k \cdot U}$  an der negativen Platte ab. Wenn es die ganze Plattentiefe gerade durchläuft, oder  $x_m = a$  wird, nimmt der Richtungsfaktor den Wert an

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{d}{a} = \frac{k \cdot U}{g \cdot d}.$$

Der Meßmethode nach sind zwei Fälle zu unterscheiden:

1. Es können Strömungsgeschwindigkeit, Spannung und Plattenabstand so bemessen sein, daß alle positiven Träger auf die negative Platte gelangen. Das ist der Fall, wenn die Richtungsfaktor  $n > \frac{d}{a}$  oder

$$\frac{k \cdot U}{g \cdot d} > \frac{d}{a}, \quad \text{d. h. } k > \frac{d^2 \cdot g}{a \cdot U}.$$

Es herrscht dann Sättigungsstrom, der ein Maß für die Zahl aller Ionen der zu erfassenden Beweglichkeit ist.

2. Ist dagegen die Beweglichkeit  $k$  der Ionen  $< \frac{d^2 \cdot g}{a \cdot U}$ , dann wird nur ein Teil von ihnen herausgefangen. Dieser ist proportional dem Flächenstück auf der Einströmungsseite des Kondensators, durch das alle zur Ablagerung kommenden Ionen eintreten. Dieses Flächenstück ist ein Streifen der gesamten Eintrittsfläche von der Höhe  $n \cdot a$  und der Breite  $b$ ; es hat also die Größe

$$n \cdot ab = \frac{ab}{d} \cdot \frac{k}{g} \cdot U.$$

Das heißt, der zur Messung kommende Ionenstrom ist der Spannung  $U$  proportional, unter diesen Arbeitsbedingungen ist mit anderen Worten das Ohmsche Gesetz erfüllt. Es herrscht „freier oder Ohmscher Strom“.  $\frac{d^2 \cdot g}{a \cdot U}$  ist eine reine Apparatekonstante, die sich auch durch die Fördermenge  $M$  (1) und durch die Kapazität  $C$  (4) ausdrücken läßt:

$$\frac{M}{4 \pi C U} \quad (6)$$

Das gleiche Ergebnis erhält man auch für den Mehrplattenkondensator mit den Formeln (1a) und (4a). Der Ausdruck ist also von der Plattenzahl des Kondensators unabhängig. Diese Größe  $k_g = \frac{d^2 \cdot g}{a \cdot U}$ , welche die Arbeitsbedingung festlegt, bei der der freie Ionenstrom in den gesättigten übergeht, wird als Grenzbeweglichkeit bezeichnet. Unterschreitet die Beweglichkeit der untersuchten Ionen die Grenzbeweglichkeit wesentlich, so sind die Bedingungen für Leitfähigkeitsmessungen erfüllt, überschreitet sie sie dagegen, so werden alle Ionen herausgefangen. Unter der Voraussetzung, daß jedes Ion nur eine einzige Elementarladung trägt, ( $1,6 \cdot 10^{-19}$  Coulomb oder  $4,8 \cdot 10^{-10}$  Ccs), erhält man mit der Durchflußmenge in der Zeiteinheit aus dem Sättigungsstrom die Ionenzahlen in der Raumeinheit.

#### Theorie des Ionenmeßkondensators mit Berücksichtigung der Grenzschichten.

Die vorstehend abgeleiteten Beziehungen gelten nur unter der Voraussetzung, daß die Strömung im ganzen

Kondensator, also sowohl über den Querschnitt  $b \cdot d$ , wie über die ganze Platte  $b \cdot a$  konstant ist. Das ist jedoch in Wirklichkeit keineswegs der Fall, da sich an jeder Platte Grenzschichten ausbilden, in denen die Strömung vom Geschwindigkeitswert Null an der Platte selbst bis zur vollen Strömungsgeschwindigkeit  $g$  außerhalb der Grenzschicht anwächst. Es soll weiterhin laminare Strömung vorausgesetzt werden. Die Geschwindigkeitsverteilung zwischen zwei Platten sieht dann folgendermaßen aus (Abb. 7). Auf der Anströmungs-

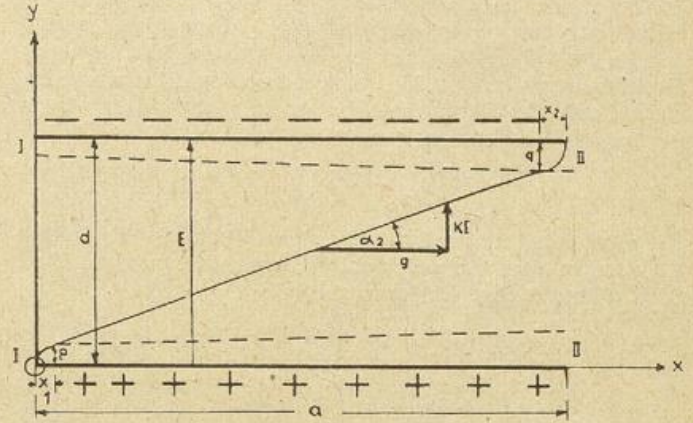


Abb. 7

seite des Kondensators beschränken sich die Geschwindigkeitsunterschiede auf dünnere Schichten in unmittelbarer Nähe der Platten (I) und in der Strömungsrichtung wachsen die Grenzschichten zu etwas größerer Dicke an (II). Infolgedessen ist die Bahn der Ionen keine Gerade mehr, sondern hat etwa die skizzierte Form.

Im ungestörten mittleren Gebiet ist die Bahnkurve geradlinig und gegen die Platten geneigt um den Winkel  $\alpha_2$ , wobei  $\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{k \cdot E}{g}$  konstant ist, da dort  $g$  konstant ist. Oberhalb und unterhalb von diesem Bereich auf die Platten zu ist  $g$  eine Funktion des Plattenabstandes  $y$ :  $g = g(y)$ . Die Bahnneigung wird immer größer und wächst an den Platten selbst mit  $g = 0$  auf  $90^\circ$ . Und zwar ist der plattennahe gekrümmte Kurventeil auf der Anströmungsseite des Kondensators auf kleinere Abstände  $y$  beschränkt und die Kurve stärker gekrümmt als in größerer Plattentiefe, wo die Grenzschicht merklich dicker geworden ist.

Zunächst soll die Durchflußmenge oder Fördermenge  $M_1$  berechnet werden, wenn die Grenzschichtdicke unten vorn  $p$  und oben hinten  $q$  ist ( $q > p$ ) (Abb. 7). Es ist

$$M_1 = b \cdot \left( (d - (p + q)) \cdot g + \int_0^p g(y) dy + \int_{d-q}^d g(y) dy \right).$$

Die Geschwindigkeitsfunktion  $g(y)$  in den Grenzschichten kann ganz allgemein als höhere Parabel  $y = \operatorname{const} \cdot x^n$  angesetzt werden, wo  $n$  ein unbestimmter Parameter ist. Dann wird  $x = g(y) = \frac{y^{1/n}}{\operatorname{const}}$  mit den Randbedingungen  $y = 0, g(y) = 0$  und  $y = p, g(y) = g$ , also  $g(y) = g \cdot \left(\frac{y}{p}\right)^{1/n}$ . Mit  $y = \operatorname{const} \cdot x^m$  wird an der oberen Platte entsprechend  $g(y) = g \cdot \left(\frac{y}{q}\right)^{1/m}$ .

Dann ergibt sich, als Durchflußmenge, da

$$\int_0^p g(y) dy = \int_0^p g \cdot \left(\frac{y}{p}\right)^{1/n} dy = \frac{n}{n+1} p \cdot g \text{ ist,}$$

$$M_1 = b(dg - pg - qg + \frac{n}{n+1} pg + \frac{m}{m+1} qg) = bg(d -$$

$$\frac{p}{n+1} - \frac{q}{m+1}) = bgd_1, \quad (1 b)$$

wobei  $d_1 = d - \frac{p}{n+1} - \frac{q}{m+1}$  gesetzt ist und  $d_1$  als den infolge des Grenzschiefeinflusses reduzierten Plattenabstand bezeichnet wird. Für jede vorkommende Grenzschiefedicke  $p, q$  sind nun die Parameter  $n$  und  $m$  noch zu bestimmen. Das hat so zu geschehen, daß mit dem reduzierten Plattenabstand  $d_1$  sich die wahre Durchflußmenge  $M_1$  richtig ergibt.

Außer einer anderen Durchflußmenge  $M_1$ , die um  $bg \left( \frac{p}{n+1} + \frac{q}{m+1} \right)$  verkleinert ist, ergibt sich bei Berücksichtigung der Grenzschiefe auch eine andere Grenzbeweglichkeit  $k_{g1}$ . Da im Mittelteil des Kondensators ungestörte Strömungsverhältnisse herrschen und die Bahnlinie der Ionen geradlinig und um  $\alpha_2$  gegen die Platten geneigt ist, wird

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{k E}{g} = \frac{d - (p + q)}{a - (x_1 + x_2)}$$

Es muß nun  $x_1$  und  $x_2$  aus dem Verlauf der Ionenbahnen in den Grenzschiefen bestimmt werden. Nach Abb. 7 lautet ihre Differentialgleichung dort

$$\frac{dy}{dx} = \frac{k E}{g(y)}, \text{ wobei } g(y) = g \cdot \left(\frac{y}{p}\right)^{1/n} \text{ ist. Daraus folgt}$$

$$g y^{1/n} dy = p^{1/n} k E dx.$$

Diese Gleichung läßt sich sofort integrieren:

$$\frac{n}{n+1} y^{(n+1)/n} = \frac{k E}{g} p^{1/n} x + C.$$

Da für  $x = 0$  auch  $y = 0$  werden muß, ist die Integrationskonstante  $C = 0$ , und so wird

$$x = \frac{n}{n+1} \cdot \frac{g \cdot y}{k \cdot E} \left(\frac{y}{p}\right)^{1/n}$$

Für  $y = p$  ergibt sich die oben mit  $x_1$  bezeichnete letzte Abszisse des gekrümmten Bahnstückes zu

$$x_1 = \frac{n \cdot p}{n+1} \cdot \frac{g}{k E}$$

entsprechend wird für die andere Platte

$$x_2 = \frac{m \cdot q}{m+1} \cdot \frac{g}{k E}$$

Es folgt, wenn wir auf die erste Gleichung zurückgehen,

$$\frac{k E}{g} = \frac{d - (p + q)}{a - \frac{g}{k E} \left( \frac{np}{n+1} + \frac{mq}{m+1} \right)}$$

woraus sich als Ausdruck für die Grenzbeweglichkeit  $k_{g1}$  ergibt:

$$k_{g1} = \frac{dg}{aE} - \frac{g}{qE} \left( \frac{p}{n+1} + \frac{q}{m+1} \right) \text{ oder auch } k_{g1} = \frac{g}{aE} \left( d - \frac{p}{n+1} - \frac{q}{m+1} \right).$$

Auch hier tritt also wie bei der Durchflußmenge der reduzierte Plattenabstand  $d_1$  auf, mit dem die Grenz-

beweglichkeit die frühere einfache Form annimmt:

$$k_{g1} = \frac{d_1 g}{aE} \quad (6a)$$

Nach diesen Überlegungen setzten sich die Ionenbahnkurven aus drei Stücken zusammen:

1. dem gekrümmten Stück von  $y = 0$  bis  $y = p, x = 0$  bis  $x = \frac{np}{n+1} \cdot \frac{g}{k \cdot E} : y = \frac{n+1}{n} = \frac{(n+1) \cdot p^{1/n}}{n} \cdot \frac{k \cdot E}{g} \cdot x,$
2. dem mittleren geradlinigen Stück von  $y = p$  bis  $y = d - q,$   
 $x = \frac{np}{n+1} \cdot \frac{g}{k \cdot E}$  bis  $x = a - \frac{mq}{m+1} \cdot \frac{g}{k \cdot E} :$   
 $y = \frac{k \cdot E}{g} \cdot x + \frac{p}{n+1}.$
3. dem gekrümmten Stück oben von  $y = d - q$  bis  $y = d$  und  
 $x = a - \frac{m \cdot q}{m+1} \cdot \frac{g}{k \cdot E}$  bis  $x = a :$   
 $(d - y)^{(m+1)/m} = \frac{m+1}{m} \cdot q^{1/m} \cdot \frac{k \cdot E}{g} \cdot (a - x).$

Wie in der linearen Theorie (s. S. 11) läßt sich auch jetzt die Grenzbeweglichkeit  $k_{g1}$  ausdrücken durch die Fördermenge  $M_1$  (1b) und die Kapazität  $C$  (4) (S. 10), ferner die Spannung  $U$ , die nach wie vor zum elektrischen Feld  $E$  in der Beziehung (2)  $U = E \cdot d$  steht:

$$k_{g1} = \frac{M_1}{4 \pi C \cdot U} \quad (6b)$$

Dieses Ergebnis gilt ohne weiteres auch für einen Mehrplattenkondensator beliebiger Plattenzahl. Mit dieser Formel werden sogar die Randstörungen des Feldes recht gut berücksichtigt, wenn als Kapazitätswert  $C$  nicht der rechnerische, sondern der mit der Kapazitätsmeßbrücke direkt gemessene genommen wird.

Bei Anwendung der Überlegung über die Grenzschiefe sind zwei wirklich vorkommende Fälle zu unterscheiden, erstens daß die Grenzschiefe laminar ist, und zweitens daß sie turbulent wird.

Der kritische Wert der Reynoldsen Zahl  $\frac{g \cdot a}{V}$ , bei dem der Übergang von laminar zu turbulent stattfindet, liegt nämlich zwischen 500 000 bei gut zugeschärften Platten und 3 000 000 bei schlank abgerundeter Eintrittskante und besonders störungsfreier Ausströmung (3). Dabei ist  $g$  die ungestörte Geschwindigkeit außerhalb der Grenzschiefe,  $a$  die Plattentiefe in Richtung der Strömung und  $V = \frac{U}{\rho}$  die kinematische Zähigkeit der Luft.

Die starke Abhängigkeit dieser vom Luftdruck und der Lufttemperatur gibt die folgende Tabelle innerhalb der Grenzen wieder, die bei Meßflügen auftreten.

Kinematische Zähigkeit der Luft  $V$  in  $\text{cm}^2 \text{sec}^{-1}$

Temperatur C°	1000 mb Boden	750 mb 2250 m	500 mb 5500 m	250 mb Luftdruck 11 000 m mittl. Seehöhe
27°	0,159			
17°	0,150			
7°	0,141	0,188		
-3°	0,132	0,176	0,263	
-13°	0,123	0,164	0,246	
-23°	0,115	0,153	0,229	
-33°		0,142	0,213	0,426
-43°			0,198	0,396
-53°				0,366

Die Fluggeschwindigkeit lag meist etwas über 120 km/h = 3500 cm/sec, und da die Plattentiefe bei den n-Kondensatoren 25 cm (bei einem später gebauten 35 cm), bei den λ-Kondensatoren 17 cm betrug, wurde am Boden bei den n-Messungen die kritische Reynoldssche Zahl gerade erreicht:

Reynoldssche Zahlen der Kondensatoren am Boden bei 15° C

	$\frac{g \cdot a}{V}$
n-Kondensatoren mit a = 35 cm	820 000
n-Kondensatoren mit a = 25 cm	580 000
λ-Kondensatoren mit a = 17 cm	400 000

In der Höhe nehmen nun die Reynoldsschen Zahlen für ebene Platten nicht in dem Maße ab, in dem V zunimmt (s. Tab.), da mit konstantem Staudruck geflogen wird und die Fluggeschwindigkeit infolgedessen mit  $\sqrt{\frac{\rho_0}{\rho}}$  zunimmt. Für die n-Kondensatoren von 25 cm Plattentiefe ergeben sich demnach folgende Reynoldssche Zahlen:

bei 1000 mb und 15° am Boden	580 000
bei 750 mb und 0° in etwa 2250 m	560 000
bei 500 mb und -20° in etwa 5500 m	515 000
bei 250 mb und -50° in etwa 11000 m	440 000

Aus diesen Zahlen geht hervor, daß sowohl mit laminaren wie mit turbulenten Grenzschichten zu rechnen ist.

Bei laminarer Grenzschicht hat H. Blasius (4) eine Beziehung für die Grenzschichtdicke längs einer ebenen Platte angegeben.

$$= 3,4 \sqrt{\frac{V \cdot a}{g}} \quad (7)$$

Damit ergeben sich für a = 17 und 25 cm und die verschiedenen Höhen folgende Werte der

a	Grenzschichtdicke δ in mm	
	17	25 cm
Boden	0,92 mm	1,11 mm
2250 m	0,94 mm	1,14 mm
5500 m	0,98 mm	1,19 mm
11000 m	1,06 mm	1,29 mm

Die absolute Dicke und die Dickenunterschiede sind also bei den vorkommenden Bedingungen ziemlich geringfügig. Immerhin wird bei den n-Kondensatoren mit den Plattenabständen von 20 mm 10% des Durchströmungsraumes von den beiden Grenzschichten oben und unten zusammen eingenommen. Der Grenzschicht-einfluß kann also keinesfalls vernachlässigt werden.

Eine noch größere Rolle im Durchströmungsvorgang spielt aber die turbulente Grenzschicht, das kann mit Sicherheit behauptet werden, wenn es auch zur Zeit nicht möglich ist, über diesen Teil nähere Angaben zu machen.

### Erste Meßanordnung.

Zunächst wurden lediglich Einzelmessungen von λ<sub>+</sub> und λ<sub>-</sub> im Wechsel mit einem einzigen Kondensator durchgeführt, dessen Abmessungen so groß gemacht wurden, wie es der verfügbare Raum zuließ. Es wurde dazu die Beziehung für die Kapazität (4a) (S. 10) und die Bedingung für die Grenzbeweglichkeit k<sub>g</sub> (S. 11) zugrunde gelegt, so daß k<sub>g</sub> = 13  $\frac{\text{cm}}{\text{sec}} \sqrt{\frac{\text{Volt}}{\text{cm}}}$  wurde. Die Breite b des Kondensators wird durch die Rumpfbreite des LS zu b = 44 cm bestimmt. Die Gesamthöhe und der Plattenabstand werden dadurch beschränkt, daß der Strömungswiderstand nicht allzu groß gemacht werden darf. Bei einer Gesamthöhe von 50 cm erwies es sich als zweckmäßig, d = 3 cm zu wählen, so daß man zu 17 Platten kommt. Mit einer mittleren Fluggeschwindigkeit von 120 km/Std. (3330 cm/sec) und einer Platten-

spannung von 90 Volt ergibt sich die Plattentiefe zu 25 cm. Die nach (4a) berechnete Kapazität wird dann 467 cm oder 520 · 10<sup>-12</sup> F. In Wirklichkeit ist die Kapazität aber um die Hälfte größer, weil der Kondensator noch von der Haube umgeben ist, außerdem die Oberflächenvergrößerung durch die Plattenstäbe und die Plattenteile, in denen die Stäbe befestigt sind, in der Formel nicht berücksichtigt ist. Tatsächlich betrug die gemessene Kapazität C = 730 · 10<sup>-12</sup> F und erwies sich als groß genug, um kleinere Isolationsstörungen unwirksam werden zu lassen. Bei einer Durchflußmenge von über 7000 l/sec beträgt die berechnete Plattenfläche dieses Kondensators 2p · a · b = 17 600 cm<sup>2</sup>, die wirksame ist aber wieder um die Hälfte größer, nämlich 25 000 cm<sup>2</sup>. Wenn λ den Wert 1 · 10<sup>-4</sup> sec<sup>-1</sup> hat und das Kondensatorfeld E = 30 Volt/cm ist, fließt im Kondensator nach S. 8 ein Strom von J von 75 · 10<sup>-12</sup> Amp.; der Kondensatorwiderstand beträgt also 1,2 · 10<sup>12</sup> Ohm.

Maßgebend für die Leitfähigkeitsmessung ist nicht die berechnete Kapazität des Meßkondensators, sondern die tatsächlich gemessene. Entsprechend wird der gesamte Ionenstrom, den der Kondensator aufnimmt, von der wirksamen Plattenfläche bestimmt, die sich aus der gemessenen Kapazität ergibt, nicht aber von der berechneten. Es läßt sich nämlich zeigen, daß bei laminar bewegter Luft der auf dem Leiter einmündende Ionenstrom unabhängig ist von der Form des Leiters und von der Luftströmung und lediglich abhängt von der polaren Leitfähigkeit der Luft und dem Feld an der Leiteroberfläche (5).

Nun zur Meßapparatur die aus dem Normalwiderstand, dem Elektrometer, den Spannungsquellen und Schaltern, sowie einem Voltmeter zur Spannungsprüfung besteht.

Der Normalwiderstand R<sub>n</sub> wird so bemessen, daß er gegenüber dem Kondensatorwiderstand klein ist, nämlich von der Größe 10<sup>9</sup> bis 10<sup>10</sup> Ohm. Der überwiegende Teil der Batteriespannung liegt dann unmittelbar am Kondensator. Ist R der Kondensatorwiderstand und u der Spannungsabfall über R<sub>n</sub>, so wird der Strom J im Kondensatorkreis

$$J = \frac{U}{R} = \frac{u}{R_n} \quad (8)$$

Andererseits ist die wirksame Plattenfläche des Kondensators nach (4a)

$$4 \pi \cdot d \cdot C \cdot$$

Der Gesamtstrom J = F · λ · E wird also mit E =  $\frac{U}{d}$

$$J = 4 \pi d \cdot C \cdot \lambda \cdot \frac{U}{d}$$

oder J = 4 π · C · U · λ (9)

Aus (9) und (8) folgt endlich

$$\lambda = \frac{1}{4 \pi \cdot R_n C} \cdot \frac{u}{U} \quad (10)$$

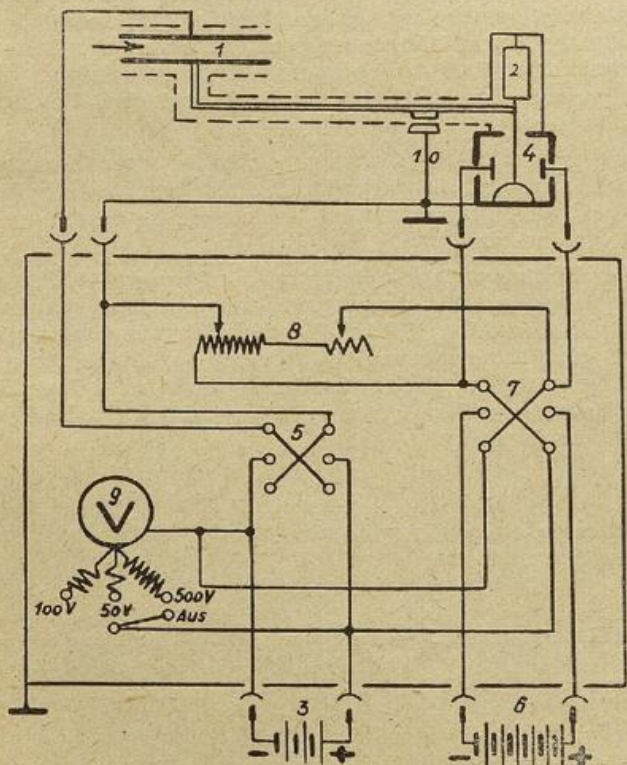
Die rechte Seite enthält lediglich die drei bekannten Größen: R<sub>n</sub>, C und U sowie die mit dem Einfaden-Elektrometer zu messende Spannung u, wodurch λ eindeutig bestimmt ist. Wird R<sub>n</sub> in Ohm, C in Farad, u und U in Volt ausgedrückt, so hat λ die Einheit sec<sup>-1</sup>.

R<sub>n</sub> · C hat die Dimension einer Zeit; es ist die Zeitkonstante der Meßapparatur mit dem Widerstand R<sub>n</sub> und der Kapazität C. In dieser Zeit hat sich die Spannung am Elektrometer, welche die dem herrschenden λ entsprechende Endspannung u nach der Funktion u · (1 - e<sup>-t/R<sub>n</sub>C</sup>) erreicht, dem Endwert bis auf  $\frac{u}{e}$  angeglichen, wie sich zeigen läßt. Die Angleichung bis auf 1% ist dann in der „praktischen Meßzeit“ 4,6 R<sub>n</sub>C erfolgt.

Als Normalwiderstände wurden Krügerwiderstände der Firma C. Klauer, Berlin, benützt (6). Das sind sehr höchohmige, gut konstante Widerstände, die durch Auf-

dampfen von Platinspuren im Vakuum auf einen Bernsteinstab von 8 mm Durchmesser über eine Länge von etwa 60 mm hergestellt sind. Für die Flugzeugmessungen wurde ein solcher von  $1,5 \cdot 10^9$  Ohm Widerstandswert genommen, so daß die Zeitkonstante  $1,5 \cdot 10^8 \cdot 730 \cdot 10^{-12} \text{ sec} = 1,1 \text{ sec}$  und die praktische Meßzeit 5 sec betrug, ein Wert, der mit der gleichen Größe für die gleichzeitig durchgeführten Messungen des elektrischen Feldes mittels Radiothor-Sonde und Zweifaden-Elektrometer nahe übereinstimmt. — Für abnorm hohe Leitfähigkeit, und zwar Werte von  $50 \cdot 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$  und mehr, wie sie gelegentlich vorkommen (S. 22/23), mußte die Empfindlichkeit etwas verringert werden, um mit dem Elektrometermeßbereich auszukommen. Dies geschah dadurch, daß die Kondensatorspannung auf 30 V herabgesetzt wurde, wobei Meßgenauigkeit und praktische Meßzeit nicht verändert werden.

Der Krügerwiderstand war unmittelbar senkrecht an der hochisolierten Zuführung zum Fadensystem des Elektrometers fest angebracht und durch eine darübergeschobene Messingkappe abgeschirmt. Außerdem abgeschirmt war, wie erwähnt, der Kondensator selbst, ferner die statisch isolierte Verbindungsleitung Kondensator-Einfadenelektrometer (s. Abb. 8).



- 1 Meßkondensator
  - 2 Normalwiderstand
  - 3 Batterie für Kondensatorfeld
  - 4 Einfadenelektrometer mit Hilfsfeld
  - 5 Polwender zur Umkehrung des Kondensatorfeldes
  - 6 Batterie für Elektrometerhilfsfeld
  - 7 Polwender zur Umkehrung des Hilfsfeldes
  - 8 Grob- und Feinpotentiometer zur Nulleinstellung des Elektrometers
  - 9 Voltmeter zur Spannungsprüfung
  - 10 Schalter zur Verbindung des Elektrometers mit Masse
- statisch isolierte Leitung

Abb. 8

Nach jeder dritten Messung wurde mit dem Polwender das Kondensatorfeld umgedreht und so abwechselnd  $\lambda_+$  und  $\lambda_-$  mit der gleichen Apparatur gemessen. Die Spannung der Anodenbatterie für das Kondensatorfeld betrug 84 Volt und konnte jederzeit mit einem Schaltbrettinstrument, einem Voltmeter mit den Meßbereichen 50, 100 und 500 Volt geprüft werden, was regelmäßig vor dem Abflug und nach der Landung geschah. Der 500-Volt-Meßbereich des Instrumentes diente zur

Spannungsprüfung der Anodenbatterien für das Hilfsfeld zwischen den Schneiden des Einfaden-Elektrometers. Ihre Spannung betrug etwa 450 Volt, das Hilfsfeld selbst 345 Volt/cm. Dieses konnte ebenfalls durch einen Polwender umgedreht werden, was aber nur gelegentlich zur Prüfung der Feldsymmetrie geschah. Der Nullpunkt des Elektrometers muß sich rasch und genau einstellen lassen, ohne die Schneiden zu verschieben, denn dies würde eine Empfindlichkeitsänderung bewirken. Dazu wurde die Hilfsfeldbatterie über ein Grob- und Feinpotentiometer von  $10^6$  und  $7 \cdot 10^4$  Ohm geschlossen und der verstellbare Potentiometerabgriff mit dem Flugzeugkörper verbunden. Die Nullstellung des Elektrometers wurde durch Einstellen des Abgriffs auf „Mitte“ vorgenommen. Die Schalter und das Voltmeter nebst Umschalter waren in einem abgeschirmten Schaltkasten untergebracht, der sich neben dem federnd aufgehängten Elektrometer mit Krügerwiderstand vor dem zweiten Führersitz des LS befand, wo die Messungen durchgeführt wurden (Abb. 9). Alle

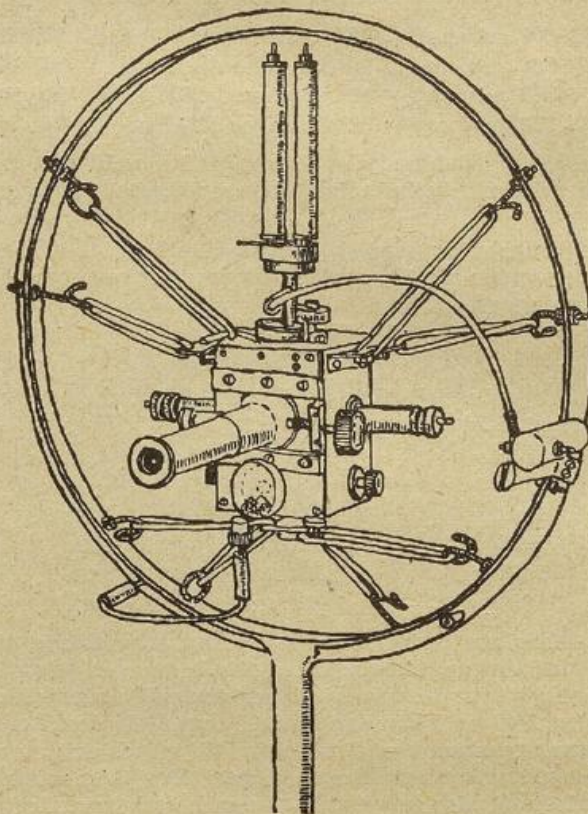


Abb. 9

Anodenbatterien waren in einem Blechkasten hinter dem Beobachtersitz untergebracht. Die Empfindlichkeit des Elektrometers betrug 0,08 Volt/Sklt., wobei 1 bis 2 Zehntel Skalenteile, also 1/100 Volt noch bestimmbar waren.

Bau und Einbau in den LS von Kondensator mit Haube, Elektrometer und Meßkästchen wurden vom Mechaniker W. Friedl in bewährter Weise ausgeführt.

Es folgen noch die Konstanten der Meßanordnung mit ihren Bestimmungsgrenzen in einer übersichtlichen Zusammenstellung:

Wirksame Kapazität des Meßkondensators C	$C (730 \pm 5) \cdot 10^{-12}$ Farad
Durchströmter Querschnitt des Meßkondensators	2100 cm <sup>2</sup>
Plattenspannung U	$84 \pm 2$ Volt (30 Volt)
Plattenabstand	3 cm
Kondensatorfeld	$(28 \pm 1) \frac{\text{Volt}}{\text{cm}}$ (10 $\frac{\text{Volt}}{\text{cm}}$ )
Plattentiefe	25 cm

Grenzbeweglichkeit b, 120 km/Std. Fluggeschwindigkeit  
 $13 \frac{\text{cm}}{\text{sec}} \cdot \frac{\text{Volt}}{\text{cm}}$   
 Normalwiderstand  $R_n$   $(1,5 + 0,1) \cdot 10^9 \text{ Ohm}$   
 Elektrometerempfindlichkeit  $0,08 \text{ Volt/Sklt.}$   
 Praktische Meßzeit 5 sec

**Meßanordnungen mit mehreren Meßkondensatoren.**

Wie bereits oben hergehoben wurde, ist den Ionenmeßkondensatoren eine möglichst große Plattenfläche und Kapazität zu geben, damit die Meßfehler bei etwa auftretenden Isolationsmängeln prozentual klein bleiben.

Es wurde daher zunächst versucht, auch für die Registrierung der vier luftelektrischen Elemente  $\lambda_+$ ,  $\lambda_-$ ,  $n_+$  und  $n_-$  mit möglichst wenig Ionenmeßkondensatoren auszukommen, und etwa  $\lambda_+$  und  $n_+$  zusammen je in einem Kondensator zu erfassen. Wie Abb. 10 der Grundschaltung zeigt, ist diese

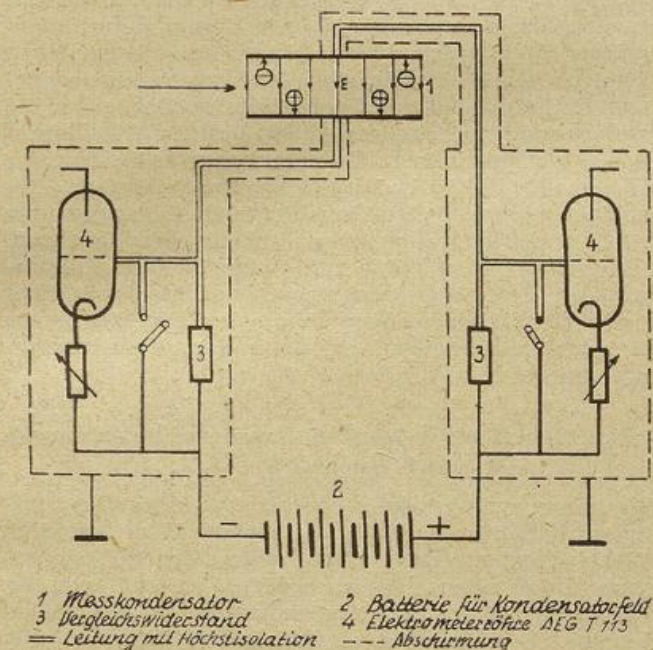


Abb. 10

Meßmethode tatsächlich möglich, wenn man beide Kondensatorplatten 1 statisch isoliert und je über einen Normalwiderstand höchster Ohmzahl 3 mit den beiden Polen der Spannungsquelle verbindet. Man kann dann allerdings keinen Punkt dieses Systems erden oder an Masse legen. Die eingehende praktische Untersuchung dieser Schaltung ergab, daß man dann die jeweiligen Meßanordnungen die als Hauptbestandteile die Elektrometerröhren 4 enthalten, auf das sorgfältigste abschirmen muß. Es hat sich jedoch gezeigt, daß die Apparatur auch dann von außen her und durch gegenseitige Beeinflussung über die Kondensatoren recht störanfällig bleibt und daß die Störquellen schwer zu lokalisieren und zu beseitigen sind. Deshalb haben wir uns schließlich doch zu vier ganz unabhängigen Meßanlagen entschieden, deren jede aus einem eigenen Kondensator, besonderen Spannungsquellen, Normalwiderstand und Röhrenelektrometer mit Registrierelement besteht.

Die vier Meßkondensatoren befinden sich auf dem Verdeck des Lastenseglers etwas hinter der Einstieghaube zwischen den Tragflügeln. Vorn unten nebeneinander sind die beiden n-Kondensatoren dahinter und ganz darüber die beiden  $\lambda$ -Kondensatoren, ebenfalls nebeneinander angeordnet. Dadurch zerfällt der Fahrtstrom in vier Stromröhren von rechteckigem Querschnitt, von denen je zwei neben-, je zwei übereinander-

liegen. Dabei werden alle Teile von dem vollen Ionenstrom durchflossen. In den beiden etwas kleineren Kondensatoren unten werden von den hohen Feldern zwischen den n-Platten die Ionen der Zahl nach erfaßt und in den beiden oberen größeren zwischen den  $\lambda$ -Platten durch ganz schwache Felder mit dem der Spannung proportionalen Strom die polaren Leitfähigkeiten.

Die Abmessungen der Kondensatoren im einzelnen wurden nach der Beziehung (4a) für seine Kapazität

$$C_{2p} + 1 = 2p \cdot \frac{ab}{4 \pi d} \quad (4a)$$

und der Bedingung

$$k_{g1} = \frac{M_1}{4 \pi CU} > 20 \text{ für } \lambda\text{-Messungen}$$

und  $k_{g1} < 1$  für n-Messungen so günstig wie möglich festgelegt. Das heißt, es wurden den vier Kondensatoren auf dem gegebenen Raum jeweils die Form gegeben, der mit der Nebenbedingung für  $k_{g1}$  die größte Kapazität zukommt.

Einige für die Messungen, ihre Beurteilung und Auswertung wichtigen Maße und Konstante der vier Kondensatoren sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Meßkondensator für	$\lambda_+$	$\lambda_-$	$n_+$	$n_-$
wirksame Kapazität in pFarad	193	200	197	197
Strömungsquerschnitt in $\text{cm}^2$	600	600	240	240
Plattenspannung in Volt	60	48	890	880
Plattenabstand in cm	3	3	2	2
elektrisches Feld in Volt/cm	20	16	445	440
Plattentiefe in cm	17	17	25	25
Grenzbeweglichkeit in cm/sec				
je Volt/cm bei Fluggeschwindigkeit von				
100 km/Std.	24	31	0,5	0,5
200 km/Std.	49	61	1,0	1,0

Die Durchflußmenge wird bestimmt mittels zweier Prandtl-Rohre, von denen sich eines in der Mitte unmittelbar vor den n-Kondensatoren, das andere unmittelbar dahinter befand. Die Schlauchverbindungen der Prandtl-Rohre waren je auf ein Differenzdruck-Meßelement des einen Askania-Mehrfachschreibers geführt. Dadurch wurden die maßgebenden Geschwindigkeitsanzeigen des Luftstromes in den Kondensatoren laufend mitregistriert. Es konnte so bei der Auswertung der Ionenzahlen je Raumeinheit jeder Geschwindigkeitsänderung des Lastenseglers Rechnung getragen werden. Die gesamte Anlage war außerdem vor dem Einbau ins Flugzeug im Windkanal für einen großen Geschwindigkeitsbereich geprüft und geeicht worden.

**Kondensatoren für Hochflüge bis an die Troposphären-grenze.**

Die auseinandergesetzte Kondensator-konstruktion hat sich auf zahlreichen Flügen bewährt die bis zur mittleren Troposphäre, also etwa 5000 m, reichten, wie unten an einer Reihe von Beispielen noch im einzelnen gezeigt werden wird. Gewisse Mängel an den n-Kondensatoren haben sich erst bei ausgesprochenen Hochaufstiegen gezeigt, die in zwei Fällen bis nahezu 10 000 Meter Höhe reichten.

Die dafür maßgebenden Verhältnisse wurden jedoch durch eingehende Versuche vor allem im Laboratorium geklärt, und daraufhin konnten n-Kondensatoren entwickelt werden, die auch diesen erhöhten Anforderungen genügten. Teilweise bestimmend dafür sind die starke Zunahme des Ionengehalts mit der Höhe, außerdem die erhöhten Anforderungen, die an die Isolation bei dem sehr weiten Änderungsbereich der atmosphärischen Bedingungen dabei gestellt werden. Es war also in erster Linie eine ausgiebige künstliche Ionisation schon im Laboratorium notwendig. Es soll daher zu-

nächst kurz über die in Ainring gemachten praktischen Erfahrungen mit Ionisatoren und dann über die Tatsachen, die zur Neukonstruktion des Kondensators führten, berichtet werden.

### Erfahrungen mit Ionisatoren.

Es war also bei den Laboratoriumsversuchen oft zweckmäßig, in die Luft normalen Ionengehalts mit der die Kondensatoren angeblasen werden, künstlich weitere Leichtionen hineinzubringen, um vergleichsweise die höheren Ionendichten und die größeren Leitfähigkeitswerte herzustellen, wie sie in höheren Luftschichten herrschen.

Der Luftstrom durch die Kondensatoren wurde in einem regelbaren und horizontal arbeitenden Freistrahlebläse erzeugt, das aus einem Düsenrohr von 20 cm Durchmesser aus Eisenblech und einem vollständig verkapselten Drehstrommotor von 1,5 PS Leistung und 3000 U/Min. bestand. Auf der waagrechten Achse des Motors war eine zweiflügelige Holzschraube von 30 cm Durchmesser angebracht. Der Luftstrom zwischen den Kondensatorplatten konnte innerhalb der Grenzen 5 m/sec und 12 m/sec verändert werden. Es ist übrigens nicht zweckmäßig, einen Motor mit freiliegenden Bürsten zu verwenden, weil bei der unvermeidlichen Funkenbildung an den Bürsten Ionen entstehen, und daher die Ionisation zwar vergrößert ist, aber erstens in schwer kontrollierbarer Weise und zweitens mit oft recht starken Schwankungen.

Die Ionisatoren zur künstlichen Erhöhung der gerade vorliegenden Ionendichte wurden meist auf der Saugseite der Holzschraube angebracht. Das konnte mehr oder weniger peripher und auch mit größerem oder kleinerem Abstand von der Luftschraube geschehen, wodurch die Verstärkung der Ionisation sich leicht in weiten Grenzen regeln ließ.

Als schwächerer Ionisator wurde eine kleine Spirituslampe benutzt, deren Flammengröße mittels der Dochthöhe leicht zu verändern war. Die nahezu farblose Flamme liefert Leichtionen beider Vorzeichen und ungefähr gleicher Zahl, die etwa der Flammhöhe entsprechen dürfte. Es kann damit die natürliche Ionisation um einige hundert bis gegen 5000 Ionen von jedem Vorzeichen erhöht werden.

Ein recht starker Ionisator ist die mit 7000 ESE aktivierte Messingscheibe einer Radiothorsonde. Sie wird so in den Luftstrom gebracht, daß sie streifend angeblasen wird. Sie liefert ebenfalls Ionen beider Vorzeichen in etwa gleicher Zahl, aber diese ist nur in mäßigen Grenzen durch Lageänderung des Präparates im Luftstrom zu regulieren. Sie beträgt zusätzlich je einige tausend bis über zehntausend Ionen im  $\text{cm}^3$ . Bei Benutzung dieses Ionisators reichert sich die Luft in kleineren Versuchsräumen ziemlich rasch stark mit + und - Ionen an. Um wieder normale Ionisationsverhältnisse herzustellen, muß der Raum gegebenenfalls längere Zeit gut und vollständig durchgelüftet werden.

Für diese Laboratoriumsuntersuchungen waren besonders wichtig Ionisatoren, die ausschließlich oder doch überwiegend Ionen desselben Vorzeichens liefern. Wir benutzten zwei solche. In mäßiger Menge erhält man zusätzlich negative Ionen beim Bestrahlen von Aluminiumblech mit ultraviolettem Licht (lichelektrischer Effekt). Damit die Wirkung gut bemerkbar wird, muß das Blech etwa von der Größe des Kondensatorgrundrisses sein und der Elektronenaustritt durch ein Feld von 50—200 V/cm an der Aluminiumplatte erleichtert und vermehrt werden. Das geschah dadurch, daß der Aluminiumplatte eine Messingplatte gleicher Größe in einigen Zentimetern Abstand parallel gegenübergestellt und an beide die Spannung einiger Anodenbatterien gelegt wurde. Das Aluminiumblech wird möglichst günstig von einer daneben angebrachten Quecksilber-

dampfampe von 150 Watt, die vom Netz über einen Transformator betrieben wird, bestrahlt. Das Blech muß alle 5 Minuten sorgfältig abgeschmirgelt werden, damit es wirksam bleibt. Infolgedessen ist es schwer möglich, konstante Verhältnisse über einen längeren Zeitraum zu erzielen. Nur bei sehr gleichmäßigen und sorgfältigen Arbeiten nähert man sich einigermaßen solchen an. Im Vergleich zu den schon erwähnten Ionisatoren ist die Ausbeute an negativen Ionen gering und auch nur in geringem Maße zu verändern. Hat man ein recht wirksames Blech gewählt und die Anordnung sehr günstig getroffen, so ergeben sich bei sorgfältigstem Betrieb zusätzlich höchstens einige hundert negative Ionen im  $\text{cm}^3$ . Gleichzeitig tritt oft ein merklicher Rückgang der positiven Ionen infolge Rekombination ein, der freilich schwach ist.

Durch freundliches Entgegenkommen von Herrn Dr. Israel-Potsdam verfügten wir im letzten halben Jahr außerdem über ein sehr wirksames Gerät der Firma AEG, das negative Ionen für medizinisch-therapeutische Zwecke in regelbarer Anzahl erzeugt. Es besteht im wesentlichen aus einem kleinen Ventilator mit vierflügeliger Metallschraube, in deren Nabenkreuz etwa 10 Spitzen als Elektroden für Glimmentladung angebracht sind, die 1—2 cm voneinander entfernt sind. Die Gleichspannung von einigen 10 000 Volt für die Glimmstrecken wird von einem Transformator in Verbindung mit einem Glühkathodengleichrichter geliefert. Der Transformator wird primärseitig an die Netzspannung von 220 V gelegt. Eine grobe Regelung der Ionenzahl ist dadurch möglich, daß nur einige bis alle Glimmstrecken in Betrieb genommen werden. Das Gerät, über das wir verfügten, lieferte einige hundert bis gegen 5000 negative Ionen/ $\text{cm}^3$  zwischen den Kondensatorplatten in guter zeitlicher Konstanz.

### Neukonstruktion der Kondensatoren zur Bestimmung der Ionenzahlen.

Die im vorhergehenden Abschnitt beschriebenen Ionisatoren dienten im besonderen dazu, die Kondensatoren in Verbindung mit den Röhrenmeßgeräten im Laboratorium unter allen möglichen Verhältnissen, wie sie in der freien Atmosphäre vorkommen, in Betrieb zu nehmen, alle Störungen und Unzulänglichkeiten, die anfangs zahlreich vorhanden waren, festzustellen, zu lokalisieren und physikalisch zu kennzeichnen, so daß sie schließlich beseitigt werden konnten. Als besonders brauchbar hat sich dabei das zuletzt beschriebene AEG-Gerät erwiesen, das lediglich negative Ionen in hinreichender Menge liefert. Im besonderen konnte damit eine Unzulänglichkeit der Kondensatoren einfacherer Bauart festgestellt und beseitigt werden, wie sie im Ionenstrom beider Vorzeichen nicht leicht hätte gefunden werden können.

Bei Ventilation mit Außenluft zeigten die Geräte normale Leitfähigkeiten und Ionenzahlen an, mit der üblichen zeitlichen Unruhe und Schwankungsbreite. Beim Einschalten des AEG-Gerätes, das nur die -Träger beträchtlich erhöht, die +Träger aber etwas vermindert, ergab sich überraschenderweise folgendes. Auf der n<sub>-</sub>-Kondensatorseite stieg der Ausschlag ordnungsgemäß, es wurde eine stark erhöhte Ionenzahl angezeigt, wie es sein mußte. Auf der n<sub>+</sub>-Seite aber blieb der Ausschlag nicht derselbe, oder nahm in mäßiger Weise ab, sondern er ging durch Null nach der entgegengesetzten Seite. Es wurden dort also ebenfalls -Ionen angezeigt, obwohl die Feldrichtung zwischen den Kondensatorplatten nur die +Ionen an dem isolierten Plattensatz des Kondensators, von da an das Gitter der Elektrometerröhre und damit zur Anzeige bringen konnte, während die dort einströmenden -Ionen in die Anodenbatterie abgeführt werden, welche die Spannung liefert. Unzweifelhaft jedoch gelangten -Ionen ans Gitter. Die nähere Untersuchung ergab nun, daß es

sich um einen störenden Randeffect handelt. Die — Ionen gelangten zwar nicht durch das Feld im Innern des Kondensators an das Steuergitter der  $n_+$ -Elektrometer- röhre, wohl aber durch das Feld, das zwischen den Außenseiten der Kondensatorfläche und der geerdeten Umgebung besteht. Erstens zeigte die Kondensator- oberseite tatsächlich ein mäßiges positives Potential gegen Erde, und zweitens ließ sich der verkehrte Aus- schlag völlig dadurch wegbringen, daß jene Oberseite durch ein geerdetes Abdeckblech vor jedem Bestreichen durch den Ionenführenden Luftstrom geschützt wurde. So konnte eine sehr wesentliche Störungsquelle klar erkannt und beseitigt werden, die durchaus nicht nur im unipolaren Ionenstrom eine Rolle spielt, aber nur in diesem sicher zu erkennen und örtlich festzustellen war. Durch besondere Versuche wurde noch klargestellt, daß dieser Effect nur bei dem hohen Umsatz von Ionen in den  $n$ -Kondensatoren eine Rolle spielt, dagegen gar keine bei dem geringen Ionenumsatz in den  $\lambda$ -Kon- densatoren.

Es waren demnach die  $n$ -Kondensatoren so umzu- bauen, daß der Effect beseitigt wurde. Die oberen End- platten der Kondensatoren wurden je mit einer hoch- isolierenden Trolitulplatte von 5 mm Dicke abgedeckt, und auf dieser wurde in ganzer Breite und Länge ein geerdetes Abschirmdach befestigt. Diese Abschirmbleche dienten gleichzeitig dazu, die beiden nahe beieinander aufgestellten Kondensatoren auch gegeneinander abzu- schirmen, was einfach dadurch geschah, daß die Bleche innen rechtwinklig umgebogen und bis zu den Isola- toren herabgezogen wurden. Dadurch wird außer einer wirksamen elektrischen Abschirmung der Kondensa- toren gegeneinander noch eine sehr gute Führung und Trennung der beiden Stromröhren für  $n_+$  und  $n_-$  er- reicht.

Abb. 11 zeigt im Aufriß und Grundriß die Kon- struktion des Kondensators in allen Einzelheiten mit

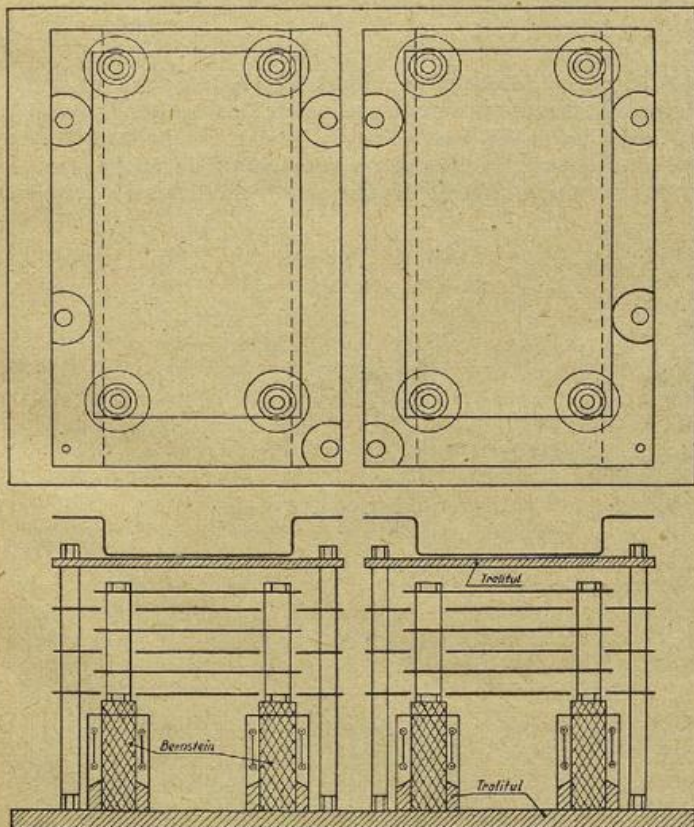


Abb. 11

den wesentlichen Maßen. Auf Grund der Erfahrungen bei Hoचाufstiegen wurden nun außerdem die Isola- toren nicht mehr zweiteilig, aus Hartgummi unten

und Calit oben gefertigt, sondern in gleicher Gesamt- höhe und Dicke aus einem Material, und zwar aus Bernstein hergestellt, das beide an Beständigkeit und Güte der Isolation übertrifft. Die Bernsteinsäulen haben 115 mm Länge und 30 mm Durchmesser, sie ruhen unten in starken Trolitulfüßen und tragen oben die Stahl- stäbe der Kondensatorgerüste. Sie sind umschlossen von Eisenblechzylindern, die 100 mm hoch und 70 mm weit sind. Diese haben den Zweck, den Luftaustausch an den Bernsteinen weitgehend zu unterbinden, außer- dem für ihre Erwärmung durch Strahlung und Leitung zu sorgen. Dazu tragen sie innen vier dünne Heizleitun- gen aus Nickelindraht von 0,2 mm Durchmesser und 10 cm Länge in Parallelschaltung, die je 20 Ohm Wider- stand haben, wobei insgesamt also 5 Ohm herauskommt. Für die Heizung eines Schutzzylinders wird aus einem 12-Volt-Akkumulator rund 30 Watt entnommen, bei allen acht Zylindern in Parallelschaltung also 240 Watt oder 20 Ampère. Es wird dadurch eine Übertemperatur der Bernsteine über die Temperatur der Außenluft um mehrere Grad hervorgebracht, was vollständig aus- reicht, um die Bernsteinoberflächen auch im Abstieg so trocken zu halten, daß sie stets bestens isolieren. Es genügt dazu ein 12-Volt-Akkumulator von 75 Ah, und seine Energie reicht im allgemeinen für 1—2 Höhen- aufstiege aus, da man im Anstieg meist erst ab 5000 m Höhe zu heizen braucht.

Wie schon erwähnt, sind die Meß- bzw. Registrier- einrichtungen für die vier Elemente  $\lambda_+$ ,  $\lambda_-$ ,  $n_+$  und  $n_-$  völlig voneinander getrennt. Der Spannungsabfall an einem Höchstohmwiderstand infolge des Ionen- stroms in jedem Kondensator wirkt je auf das Gitter einer Elektromerröhre AEG T 113 und ändert den Strom in ihrem Anodenkreis, der von einem Ablese- instrument vor den Augen des Beobachters, um das richtige Arbeiten der Anlage zu kontrollieren, und vom Registrierelement im Askania-Mehrfachsreiber, das dazu in Reihe liegt, angezeigt bzw. laufend aufgezeich- net wird. Die Steilheit der Elektromerröhre T 113 reicht aus,  $S = 0,2 \text{ mA/Volt}$ , daß die Messungen mit Milli- ampèremetern gemacht werden können, die verhältnis- mäßig nicht sehr hoch empfindlich sind. Bei der Instru- mentenanzeige können daher alle mechanischen Schwierigkeiten von Flugzeugmessungen infolge Erschütterun- gen beim Schleppen durch turbulente Luftschichten und infolge Beschleunigungen und Querlagen bei abnormen Flugzuständen, rasche Abnutzung alizu feiner Teile mit Veränderungen der Ausschläge u. ä. vollständig ver- mieden werden.

Ganz entsprechend wie bei der einteiligen Anordnung (S. 13/14) werden die vier Normalwiderstände  $R_n$  so gewählt, daß sie gegenüber den Kondensatorwider- ständen klein sind, nämlich von der Größe  $10^9$  bis  $10^{10}$  Ohm. Es gilt dann wieder die Beziehung (8), da der überwiegende Teil der Batteriespannungen an den Kondensatoren liegt. Es ist

$$J = \frac{U}{R} = \frac{u}{R_n} \tag{8}$$

worin  $J$  der Strom im Kondensatorkreis gemessen in Ampère,  $R$  der Kondensatorwiderstand und  $u$  der Span- nungsabfall in Volt über dem Normalwiderstand  $R_n$  bedeutet.

Da die Ionenzahl/cm<sup>3</sup>  $n$  zur Stromstärke  $J$  in der ein- fachen Beziehung

$$n = \frac{J}{M \cdot e} \tag{11}$$

steht, worin  $M$  die Fördermenge (1a) oder (1b) in cm<sup>3</sup> · sec<sup>-1</sup> und  $e$  die Ladung eines Ions gleich  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Coulomb ist, ergibt sich aus (8) und (11) sofort die Formel

$$n = \frac{1}{M \cdot e} \cdot \frac{u}{R_n} \tag{12}$$

nach welcher  $n$  aus den Meßgrößen  $M$  und  $u$  mit den Konstanten  $e$  und  $R_n$  zu berechnen ist.

Weiter ist die wirksame Plattenfläche des Kondensators nach (4a) (S. 10)  $4\pi d \cdot C$ , und der Gesamtstrom  $J = F \cdot \lambda \cdot E$  wird mit  $E = \frac{U}{d}$

$$J = 4\pi d C \cdot \lambda \cdot \frac{U}{d}$$

d. h.  $J = 4\pi C \cdot U \cdot \lambda$  (9)

Aus (8) und (9) folgt wie auf Seite 13

$$\lambda = \frac{1}{4\pi R_n C} \cdot \frac{u}{U} \quad (10)$$

Die Einzelheiten der Meßapparatur sind im Schalt-schema Abb. 12 wiedergegeben. Gemeinsam ist den vier Meßstellen nur die Hauptstromquelle, ein Akkumulator hoher Kapazität von 24 Volt Spannung, der jeder Elektrometerröhre die Heiz-, Gitter-, Raumladegitter- und Anoden-Spannung liefert. Alle diese Spannungen werden an dazu passend abgeglichenen Widerständen abgegriffen, im besonderen wird durch geeignete Wahl der Widerstände für die Gittervorspannungen der Gitterstrom vernachlässigbar klein gemacht und gleichzeitig der Arbeitspunkt auf der Charakteri-

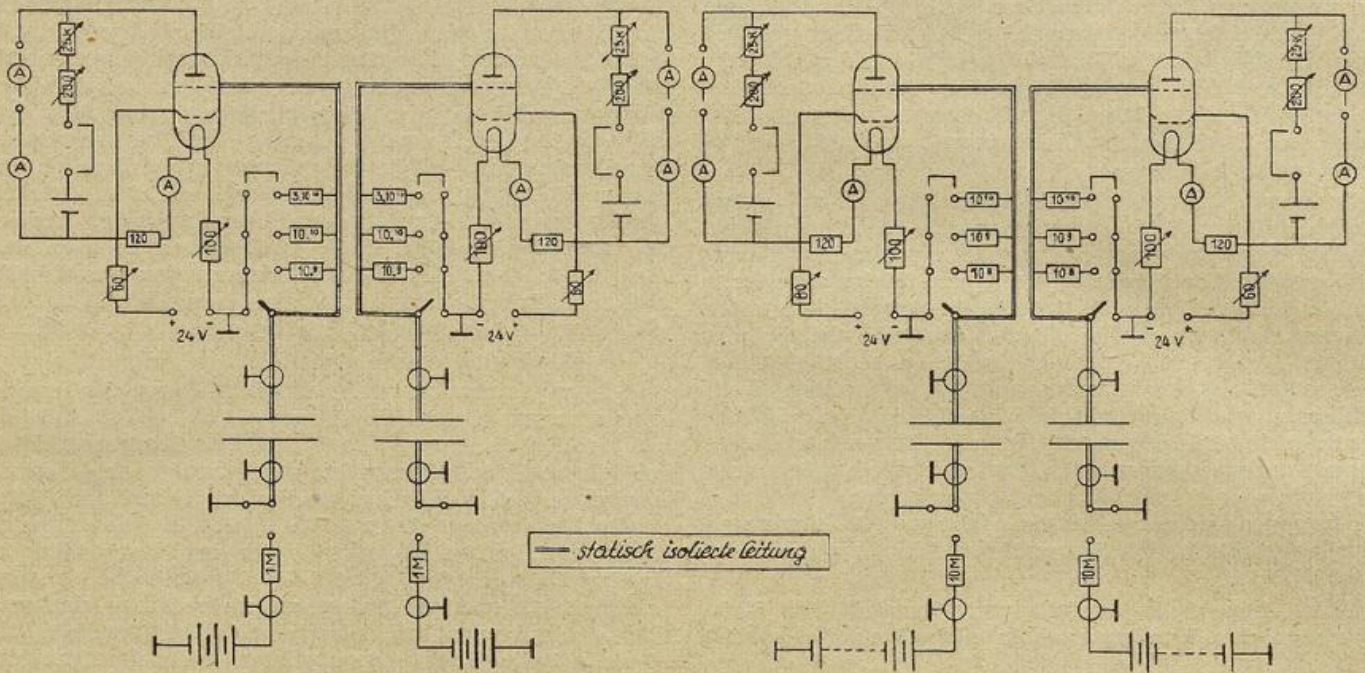


Abb. 12

Außer Zahlenkonstanten enthält die rechte Seite nur bekannte Größen  $R_n$ ,  $C$  und  $U$  und die mit den Elektrometerröhren zu messende Spannung  $u$ . Dadurch ist  $\lambda$  eindeutig bestimmt, und zwar in  $\text{sec}^{-1}$ , wenn alle Größen nach dem praktischen Maßsystem angegeben werden.

stik so gelegt, daß der Anodenstrom den zu messenden Potentialen nahe proportional wird. Das ist bei  $\lambda_+$  und  $n_+$  etwa bei  $-4,0$  Volt, bei  $\lambda_-$  und  $n_-$  bei  $-2,5$  Volt der Fall. Durch einen Satz von je drei Höchstohm-Widerständen kann die Meßempfindlichkeit bei  $\lambda_+$  und

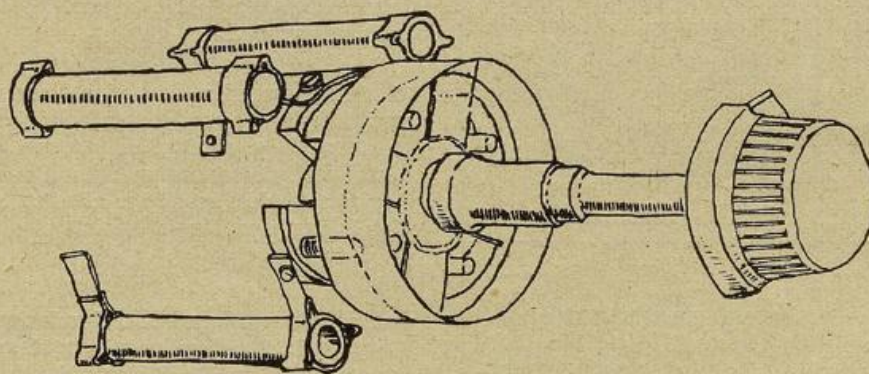


Abb. 13

Die Zeitkonstante  $R_n C$  der Meßapparatur gibt die Dauer an, in der sich die Spannung einer Elektrometerröhre nach dem Exponentialgesetz

$$u \left( 1 - e^{-\frac{t}{R_n C}} \right)$$

dem Endwert bis auf  $\frac{u}{e}$  angeglichen hat. Die „praktische Meßzeit“ in der die Angleichung bis auf 1% erfolgt ist 4,6mal so lang:  $4,6 \cdot R_n C$ .

$\lambda_-$  im Verhältnis 30:10:1, bei  $n_+$  und  $n_-$  im Verhältnis 100:10:1 geändert werden. Um dies rasch und ohne jede Störung durch Entwicklung statischer Aufladungen vornehmen zu können, mußten zwei besondere Drehschalter mit Isolierkörper aus Trolitul entwickelt werden, von denen einer zugleich die Höchstohm-Widerstände trägt (Abb. 13). Anfänglich wurden auch hier die Höchstohm-widerstände nach F. Krüger (S. 13) benutzt. Neuerdings stellen jedoch Siemens & Halske AG, Berlin, in Weiterentwicklung ihrer Karbowid-Widerstände solche

Höchstohmwiderstände in den passenden Größen von  $10^3$ ,  $10^6$ ,  $10^{10}$  und sogar  $2,5 \cdot 10^{10}$  Ohm her. Bei ihnen ist das Widerstandsgemisch der leitenden Schicht durch ein nichtleitendes Bindemittel verbunden und auf zylindrische Porzellankörper von nur 46 mm Länge und 8 mm Durchmesser aufgebracht. Diese Widerstände weisen verhältnismäßig geringe Toleranzen auf, sind sehr konstant und ihr Temperaturbeiwert ist klein, er liegt zwischen  $-2,5$  bis  $4 \cdot 10^{-3}$  je Celsiusgrad. Sie haben sich in unserer Apparatur ausgezeichnet bewährt. Um die volle Meßempfindlichkeit der Galvanometer auszunutzen, wird auf der Anodenstromseite der Röhren eine Kompensationsschaltung je mit eigener Kompensationsbatterie (Rulag-Akkus) benutzt. Kompensiert wird mittels zweier in Reihe liegender Drehwiderstände für Fein- und Grobeinstellung. Das Zeigerinstrument hat eine Empfindlichkeit von  $0,01$  mA/Skt. bei einem Meßbereich von  $0,60$  mA. Damit in Reihe geschaltet ist das Registriergalvanometer im Mehrfachschreiber, ein Erp 303 von Hartmann & Braun mit  $70$  Ohm innerem

die Möglichkeit der Spannungsänderung je zwischen  $1500$  und  $500$  Volt besitzt. Die Kondensatorspannungen werden vor, während und nach den Meßflügen laufend durch ein Mikroamperemeter, das durch Widerstände von  $1$  Megohm und  $10$  Megohm in Reihe als Voltmeter geschaltet wurde, kontrolliert. Zum Schluß sei noch auf ein besonderes Eichinstrument hingewiesen, das von Prof. O. Mathias Universität Graz entwickelt wurde und in Abb. 14 wiedergegeben ist. Es ersetzt ein Normalelement von genau  $2,000$  Volt, d. h. es ist an ein Cadmium-Normalelement als Spannungsnormale angeschlossen, leistet jedoch mehr als dieses. Es erlaubt nämlich durch Drehen des im Bilde rechts befindlichen Präzisionswiderstandes von  $1$  bis  $10 \times 10\,000$  Ohm über  $10$  Stufen nacheinander alle Spannungen von genau  $0,00$ ,  $0,20$ ,  $0,40$  . . .  $1,80$  und  $2,00$  Volt herzustellen und auf das Gitter jeder der vier Elektrometerröhren zu geben. Die entsprechenden Ausschläge des Erp 303 im Anodenkreis werden gleichzeitig vom Askania-Mehrfachschreiber aufgezeichnet. Das geschieht stets vor und nach

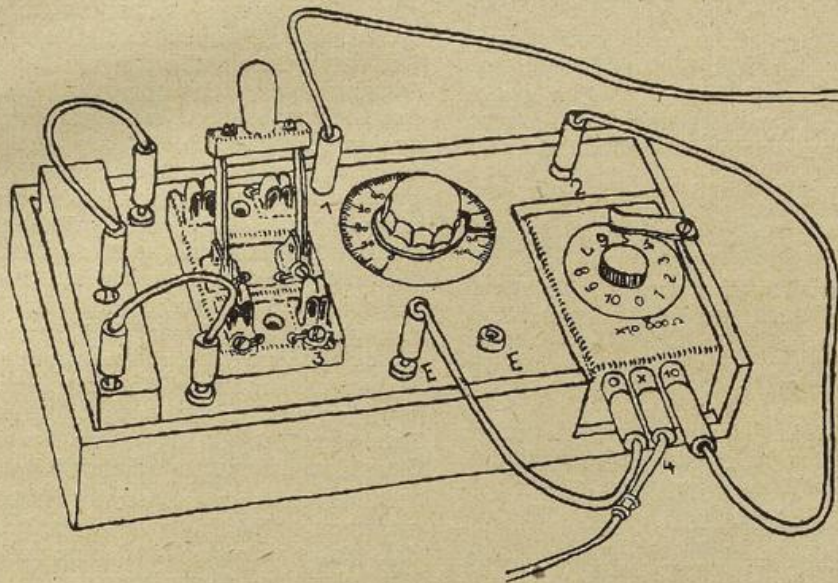


Abb. 14

Widerstand und nahezu der gleichen Empfindlichkeit wie das Zeigerinstrument.

Bei der Entwicklung traten unerwartet zahlreiche Schwierigkeiten und Störungen durch gegenseitige influenzmäßige Einwirkung der Kreise und Kondensatoren aufeinander, durch Kriechströme, durch Auftreten von Ladungen infolge Reibung, durch kleine Kapazitätsänderungen bei Schaltvorgängen, durch äußere Beeinflussungen u. ä. auf. Es gelang jedoch durch sorgfältige Begrenzung und Lokalisierung der einzelnen Störquellen eine nach der anderen auszuschalten, und zwar durch Abschirmungen, Bernsteinisolierung, Benutzung hochisolierter Kabel, Vermeiden aller schleifenden Teile, sowie Kapazitätsänderungen, Erdung von Einzelteilen, sowie Abschirmung von Drahtleitungen. So entstanden schließlich zwei doppelteilige Meßbretter mit je zwei Elektrometerröhren, vier Meßinstrumenten, acht Drehwiderständen zum Abgleichen und sechs Höchstohmwiderständen nebst zwei Trolitulschaltern in geschlossener Blechabschirmung.

Als Spannungsquellen für die Kondensatorfelder wurden für die  $\lambda$ -Kondensatoren Anodenbatterien benutzt, für die  $n$ -Kondensatoren wurden anfangs je vier sogenannte „Panzer-Rulag-Batterien“ von je  $240$  Volt, das sind Batterien kleiner Akkumulatoren, die besonders stoßempfindlich konstruiert sind, eingesetzt. Später wurde ein rotierender Umformer von  $24$  auf  $300$  Volt mit Transformator auf  $3000$  Volt, Röhrengleichrichter und Siebketten zusammengestellt, der den Vorzug besserer Erschütterungsunempfindlichkeit und

jedem Meßflug, so daß der Meßstreifen auch gleich die Eichpunkte mit etwaigen Veränderungen der Eichungen während des Fluges enthält.

#### Abschätzung des Fehlers von Meßwerten aus Einzelpunkten von Registrierungen.

Für die Ionenzählung folgt aus der Gleichung (12) durch Logarithmieren und Differenzieren der relative Fehler

$$\frac{dn}{n} = \frac{du}{u} - \frac{dM}{M} - \frac{dR_n}{R_n} \quad (13)$$

Dieser setzt sich also aus den relativen Fehlern zusammen, mit denen sich die zu messende Spannung  $u$  über dem Normalwiderstand und die Durchflußmenge des Kondensators  $M$  in jedem Augenblick bestimmen läßt, ferner aus der relativen Genauigkeit, mit der die Größe  $R_n$  des Normalwiderstandes bekannt ist. Im letzten Falle kommt es auf eine einmalige Messung dieser wichtigsten Apparatekonstanten im Laboratorium an, die deshalb in kürzeren Zeitabständen mit aller Sorgfalt durchgeführt wurde. Es geschah nach zwei Methoden, erstens durch Beobachtung der zeitlichen Spannungsabnahme eines Kondensators genau bekannter Kapazität bei Entladung über diesen Widerstand oder kurz gesagt durch Bestimmung der Zeitkonstante des Systems Widerstand  $R_n$  und Kapazität  $C$  (vgl. S. 13). Zweitens benutzten wir ein Instrument, das neuerdings eigens zur Messung sehr hoher Widerstände von der Firma Jahnke, Leipzig, herausgebracht wurde, das

Tera-Ohmmeter. Es gestattet Widerstände der Größen  $10^9$  bis etwa  $10^{13}$  Ohm zu messen, und zwar durch Bestimmung des Spannungsabfalls über den zu messenden Widerstand mittels eines Röhrenelektrometers. Das Instrument selbst wurde zweimal nach der ersten Methode kontrolliert und erwies sich zur Messung von Widerständen bis  $10^{11}$  Ohm als zuverlässig und brauchbar. Es hat den Vorteil, daß diese Messungen nur wenige Minuten in Anspruch nehmen.

Als Genauigkeitsgrenzen für  $R_n$  ergaben sich nach diesen beiden Methoden

$$\frac{dR_n}{R_n} = \pm 0.07.$$

Dadurch daß die Elektrometerröhrengeräte mit dem Eichinstrument von Prof. Mathias direkt in Volt geeicht und diese Eichungen unmittelbar auf den Registrierstreifen gleich vor Beginn und nach Ende jeden Meßfluges optisch aufgezeichnet wurden, war das lineare Arbeiten der Apparaturen sehr genau zu kontrollieren, und daher der relative Fehler  $\frac{du}{u}$  recht klein zu halten.

Selbst an Stellen, wo die Registrierkurve Schwingungen zeigte, war der Ausschlag unter der Voraussetzung, daß die Schwingungsamplitude nach beiden Seiten gleich groß ist, auf  $\pm 0,3$  mm genau zu bestimmen. Für kleine Ausschläge von etwa 10 mm, wie sie in Bodennähe vorkommen, war also  $\frac{du}{u} = \pm 0,03$  und für die 3 bis 4mal

so großen Ausschläge in der Höhe  $\frac{du}{u} = \pm 0,01$ .

Die laufenden optischen Aufzeichnungen des Staudrucks sind von gleicher Güte, wobei die Ausschläge um 25 mm liegen. Es ist also

$$\frac{dM}{M} = 0,01.$$

Insgesamt kann das Meßergebnis im ungünstigsten Falle, wenn alle Einzelfehler im gleichen Sinne wirken, um  $\pm 10\%$  vom wirklichen Wert abweichen.

Für  $\lambda$  folgt aus (10) entsprechend

$$\frac{d\lambda}{\lambda} = \frac{du}{u} - \frac{dR_n}{R_n} - \frac{dC}{C} - \frac{dU}{U}. \quad (14)$$

Hier geht  $u$  als einzige Meßgröße ein, die während des Flugversuches selbst laufend bestimmt wird.  $R_n$ ,  $C$  und  $U$  sind Apparatekonstanten, für die das oben gesagte gilt.  $C$  wurde häufig mit einer Kapavi-Meßbrücke von Hartmann & Braun gemessen, wobei sich die Fehlergrenzen ohne weiteres durch die Unschärfe des Tonminimums ergeben:  $C (200 \pm 2) \cdot 10^{-12}$  Farad,  $\frac{dC}{C} = \pm 0,01$ .

Für  $U$  wurde ein besonderes Kontrollinstrument, ein Mikroamperemeter hoher Empfindlichkeit mit Vorschaltwiderstand von 1 Megohm vorgesehen (s. S. 19), das die Spannung auf 1 Volt genau zu messen gestattete:

$$U (50 \pm 1) \text{ Volt}; \quad \frac{dU}{U} = \pm 0,02.$$

Wieder im ungünstigsten Falle, daß alle Fehler sich addieren, folgt als relativer Fehler, den eine Einzelmessung von  $\lambda$  annehmen kann, ein solcher von etwa 12%.

Endlich noch ein Wort über die Einstellgeschwindigkeit der Apparatur. Dazu ist die Zeitkonstante  $R_n C$  und die praktische Meßzeit  $4,6 \cdot R_n C$  zu berechnen. Die Kapazität  $C$  war bei allen vier Kondensatoren nahezu gleich  $200 \cdot 10^{-12}$  F, an Normalwiderständen wurden benutzt  $3 \cdot 10^{10}$ ,  $10^{10}$ ,  $10^9$  und  $10^8$  Ohm. Dafür ergeben sich folgende Werte:

Widerstände	für Messungen von	Zeitkonstante	Praktische Meßzeit
$3 \cdot 10^{10}$ Ohm	$\lambda_+ \lambda_-$	6 sec	28 sec
$10^{10}$ "	$\lambda_+ \lambda_- n_+ n_-$	2 "	9 "
$10^9$ "	$\lambda_+ \lambda_- n_+ n_-$	0,2 "	1 "
$10^8$ "	$n_+ n_-$	0,02 "	0,1 "

In beiden Fällen  $\lambda_+, \lambda_-$  und  $n_+, n_-$  wurden die höchsten Widerstandsstufen  $3 \cdot 10^{10}$  Ohm bzw.  $10^{10}$  Ohm fast garnicht benutzt, sondern für  $\lambda_+$  mit höchstens  $10^{10}$  Ohm, für  $n_+$  mit  $10^9$  Ohm gearbeitet. Die praktischen Meßzeiten lagen also überwiegend bei 9 bzw. 1 Sekunde, in der Höhe konnten sie nicht selten durch Wahl der um eine Zehnerpotenz niedrigeren Widerstände auf 1 bzw. 0,1 sec herabgesetzt werden. In der gleichen Größenordnung von einigen Sekunden lag auch die Einstellzeit der Potentialgradient-Meß- und Registrieranlage (s. S. 6). Es lassen sich daher unsere Messungen beider Elemente ohne merklichen Fehler miteinander verknüpfen.

### Weiterführender Hinweis.

Die gesamten Meßanlagen wurden vor allem deshalb ziemlich eingehend sowohl hinsichtlich ihrer praktischen Durchbildung wie ihrer theoretischen Grundlagen beschrieben und besprochen, weil solche feinen Spannungs- und Stromregistrierungen über ihre luftelektrische Anwendung hinaus auch für andere Untersuchungen in Flugzeugen Bedeutung bekommen können. Und für solche Fälle dürften sie sich ohne allzu große Schwierigkeiten ebenso gut in Motorflugzeugen aller Art durchführen lassen. Das Segelflugzeug als Meßträger ist eine notwendige Bedingung lediglich im Hinblick auf den luftelektrischen Charakter der hier vorliegenden Messungen. Als Abschluß des meßtechnischen Teils der Arbeit soll deshalb ganz knapp zusammenfassend auf den Bedarf an Meßenergie, der bei diesen Methoden außerordentlich gering ist, hingewiesen werden. Es handelt sich meines Wissens bei diesen Messungen von Strom und Spannung hinsichtlich des Energiebedarfs dafür überhaupt um die feinsten, die bisher in Flugzeugen durchgeführt wurden. Diese Meßenergien sind so gering, daß eine genaue und sichere Erfassung der Größen schon im Laboratorium besondere Vorkehrungen und Sorgfalt erfordert.

Die Spannungsmessungen umfassen die Größenordnung um 1 Volt bis zu einigen hundert Volt bei einem Energiebedarf von jedoch nur zwischen  $5 \cdot 10^{-7}$  und  $10^{-11}$  Wattsekunden. Dazu kommen feinste Strommessungen und Registrierungen, nämlich von Stromstärken zwischen  $10^{-10}$  und  $10^{-12}$  Ampere. Auch hierbei ist die Meßleistung winzig zwischen  $10^{-12}$  und  $10^{-15}$  Watt.

### Flugdurchführung.

Nach dieser Übersicht über die bei den Lastenseglerflügen angewandten luftelektrischen Meßverfahren nun zur Durchführung der Flüge selbst und zu einigen dabei erhaltenen Meßergebnissen. Die Aufstiege wurden im Schleppflug an einem 40—80 m langen Stahlseil hinter einer geeigneten Schleppmaschine, bis 4000 m genügt schon eine einmotorige He 46, durchgeführt.

Dabei wurden Schleppmaschine und Lastensegler durch Einfügen eines isolierten Teilstückes in das Schleppseil voneinander statisch isoliert. Es ist ebenfalls ein Stahlseilstück von 2,50 m Länge, in das 3 große Eierisolatoren aus Calit der Firma Hescho-Hermsdorf, — Hochspannungsisolatoren — hintereinander im Abstand von 0,70 m eingespleißt sind. Zum Schutz gegen Witterungseinflüsse und die rauhe Behandlung beim Abwerfen des Schleppseiles nach dem Flug aus 100 m Höhe werden die Isolatoren einer laufenden sorgfältigen Behandlung mit Paraffin unterworfen. Der Widerstand dieser Isolatorenkette liegt dann bei  $10^{14}$  Ohm, woran eine leichte Benetzung durch Regen oder im feuchten Gras kaum etwas ändert.

Als zweite Vorkehrung gegen Aufladung des Lastenseglers durch die Motormaschine hat sich ein Spritzausgleicher bewährt. Er besteht aus einem Blechkanister mit Hahn von 25 l Inhalt, der in der Rumpfmittle fest eingebaut ist. An den Hahn schließt sich ein Alu-

miniumrohr von 8 mm lichter Weite an, das nach außen geführt ist und dort in Höhe der neutralen Fläche des LS frei nach hinten endet. Im Fahrtwinde spritzt das Wasser am Rohrende in feinsten Tröpfchen ab und führt dabei etwa vorhandene freie Ladungen vom Flugzeugkörper rasch fort.

Mit beiden Einrichtungen zugleich ergab sich eine nahe Übereinstimmung der luftelektrischen Messungen, im besonderen der auf freie Ladungen sehr empfindlichen Erdfeldmessungen im Auf- und Abstieg, wobei dieser stets frei im Gleitflug durchgeführt wurde.

Geflogen wurde im Schleppflug mit einer Geschwindigkeit gegen Luft von meist etwas über 120 km/Std., nach dem Ausklinken im Gleitflug mit etwas unter 120 km/Std. Als Mittelwert für die waagrechte Versetzung in Luft kann 120 km/Std., für die senkrechte auf- und abwärts 2,4 m/sec angesehen werden. Mit den oben mitgeteilten praktischen Meßzeiten ergeben sich also für  $\lambda_{\pm}$  Mittelwerte über einen Luftraum von höchstens 300 m Länge und 22 m Höhe (30 m Länge und 2,2 m Höhe) und für  $n_{\pm}$  Mittelwerte über Räume von 30 m Länge und 2,2 m Höhe, günstigstenfalls sogar über solche von nur 3 m Länge und 0,22 m Höhe.

## II. TEIL.

### Meßergebnisse.

Es folgen in diesem zweiten Teil Einzelmeßergebnisse. Dazu ist allgemein folgendes zu sagen: Die Meßmittel im I. Teil wurden nach den letzten Entwicklungen und dem jüngsten Stand beschrieben, soweit jene bei Flügen noch wirklich erprobt werden konnten. Über eine wesentlich einfachere, aber schon sehr brauchbare Ionenmeßanlage, mit der allerdings punktweise mit Hilfe eines hochempfindlichen Einfadenelektrometers gemessen wurde, liegt bereits ein Forschungsbericht vor (7). Bei den Meßergebnissen ist es nicht zweckmäßig, nach Meßmethoden zu trennen, vielmehr soll über alle wesentlichen Ergebnisse nachfolgend insgesamt berichtet werden, um einen vollständigen Überblick zu gewinnen. Zunächst werden von 85 Meßflügen die Ergebnisse 15 typischer Flüge in Diagrammform wiedergegeben.

Die Blätter enthalten als Ordinaten durchweg die geometrischen Flughöhen, wie sie aus dem Druck-, Temperatur-, Feuchte-Diagramm eines mitgeführten Flugzeugmeteorographen von Bosch & Bosch ausgewertet wurden. Die Kurven der Temperatur und relativen Feuchtigkeit selbst sind in der Mitte und ganz rechts eingezeichnet. Am linken Rand ist die Verteilung des luftelektrischen Feldes (Volt/m) mit der Höhe wiedergegeben. Das Feld wurde, wie S. 6 näher geschildert, mit einer kräftigen Radiothorsonde auf 1,17 m hohem Mast über dem hinteren Teil des Flugzeugrumpfes in Verbindung mit einem Wulfschen Zweifaden-Elektrometer laufend wie die Leitfähigkeit im Auf- und Abstieg gemessen. Rechts daneben folgen als getrennte Kurven für  $\lambda_{+}$  und  $\lambda_{-}$  im Auf- und Abstieg die polaren Leitfähigkeiten im Maß  $10^{-4} \text{ sec}^{-1}$ . Außerdem sind eingetragen die meteorologischen Beobachtungen während des Fluges, die Böigkeitsschichten nach der dreiteiligen Skala  $b^0$ ,  $b^1$ ,  $b^2$ , die Dunstschichten und Grenzen sowie die Wolken nach Art, Höhenlage und Bedeckungsgrad.

Aus Art und Methode der Messungen ergab sich zwangsläufig eine Auswahl der Flüge derart, daß ganz überwiegend ungestörte oder nur schwach gestörte Wetterlagen bevorzugt werden. Bei Flügen durch Wolken spricht die Apparatur zwar an, aber überwiegend auf die Raumladungen der Wolken, d. h. auf mehr oder weniger hochgeladene Wolkentröpfchen, die sich jedoch in definierter Weise so nicht erfassen lassen. Flugberührung mit Wolken aller Art wurde deshalb grundsätzlich vermieden, auch aus dem Grunde, um die Kondensatorisolation nicht durch möglicherweise doch eintretendes Beschlagen mit Wolkentröpfchen herabzu-

setzen. Es folgen nun zu jedem Diagramm kurze Hinweise und Erläuterungen<sup>1)</sup>.

Meßflug vom 10. 3. 1943 14.35—15.37<sup>h</sup> (Taf. I)

Die Wetterlage ist durch einen kräftigen west-östlich verlaufenden Hochdruckrücken von 1020 mb gekennzeichnet, wobei wolkenloses, stark dunstiges Wetter herrschte. Die Schichtung des Dunstes ist, für das Auge gut erkennbar, sehr wechselnd mit einer Reihe ziemlich scharfer Grenzen. Eingezeichnet ist die beim Aufstieg beobachtete Dunstschichtung. Diese bildet sich im Höhengang beider Leitfähigkeiten wesentlich feiner und genauer ab als im elektrischen Feld.

Meßflug vom 16. 3. 1943 10.57—11.55<sup>h</sup> (Taf. II)

Der Flug fand am Rande eines Hochdruckkeils von 1020 mb statt, der sich von einem kräftigen Hoch über Mittelrußland nach Westen erstreckte. Im Gegensatz zur vorhergehenden Lage herrschte über der Bodendunstgrenze in 800 m ganz gleichförmiger mäßiger Dunst mit scharfer Obergrenze in 2500 m. — In dieser Schicht sind die polaren Leitfähigkeiten fast konstant um  $2,5 \cdot 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$ . Die außerordentlich kräftige Zunahme von  $\lambda_{\pm}$  auf über  $20 \cdot 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$  setzt schon 100 bis 200 m unterhalb der Dunstgrenze ein, ein Vorgang, der fast regelmäßig beobachtet wird und als direktes Anzeichen für eine zu erwartende Dunstgrenze betrachtet werden kann.

Meßflug vom 14. 4. 1943 9.15—10.00<sup>h</sup> (Taf. III)

Der Aufstieg erfolgte im südwestlichen Randgebiet eines geschlossenen Hochdruckgebietes von 1035 mb mit Kern über Mittelrußland. Bei schwachen östlichen Winden war das Wetter fast wolkenlos. In der seichten aber kräftigen Bodendunstschicht besteht eine hohe positive Raumladung bei gleichzeitig schwachem Rückgang der positiven Leitfähigkeit. In 850 m liegt die Obergrenze der Bodeninversion mit dem Temperaturhöchstwert von 6,5°. Sie dürfte ebenfalls als Dunstgrenze sichtbar gewesen sein, die jedoch nicht beobachtet wurde. Von da nimmt das Feld langsam ab, von 30 auf 15 Volt/m und die Leitfähigkeit zu von 7 auf  $12 \cdot 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$  bis zur Dunstgrenze in 2300 m. Diese Zunahme entspricht einem gleichmäßigen Rückgang der relativen Feuchtigkeit.

Meßflug vom 19. 4. 1943 9.51—10.44<sup>h</sup> (Taf. IV)

Es herrschen ganz ähnliche luftelektrische Verhältnisse in der freien Atmosphäre wie am 14. 4. 1943, vorm.,

<sup>1)</sup> Die Tafeln I bis XV liegen hinten an. Bei diesen Flügen wurden noch keine Ionenzählungen durchgeführt. Daher fehlen Kurven für  $n_{+}$  und  $n_{-}$ .

bei stark abweichender Druckverteilung und wesentlich anderen Temperaturverhältnissen. Der Flug fand im südlichsten Randgebiet des Warmsektors eines mitteleuropäischen Tiefs (965 mb im Kern) bei schwachen SW- bis SE-Winden statt. Die Temperaturen lagen in allen Schichten rund 6–10° höher als am 14. Trotzdem hatten sowohl das luftelektrische Feld wie die polaren Leitfähigkeiten einen ähnlichen Verlauf mit der Höhe. Das zeigt, daß die luftelektrischen Elemente in höherem Grade von den örtlichen Verhältnissen der Dunstverteilung, Feuchtigkeit und Wolkenbildung als von der Großwetterlage, d. h. Druck- und Strömungsfeld abhängen. Eine engere Beziehung besteht aber zum Luftkörper, wie der nächste Meßflug zeigt.

Meßflug vom 18. 8. 1943. 10.39—11.27<sup>h</sup> (Taf. V)

Ein geschlossenes flaches Hochdruckgebiet über Mitteleuropa mit Kern von 1025 mb über den Karpathen war durch von Westen her gegen das Festland vordringende kühlere Luft im Abbau begriffen. Während des Fluges setzte ein Luftkörperwechsel vom Boden bis 3000 m ein. Es strömte etwa 1° kühlere, allerdings anfangs nur trockenere Luft ein. In der Bewölkung änderte sich zunächst auch nur wenig. Ein schroffer Unterschied zwischen Auf- und Abstieg zeigte sich aber im Turbulenzzustand der Luft vom Boden bis 2200 m. Während im Aufstieg gar keine Luftunruhe spürbar war, herrschte im Abstieg eine ziemliche Böigkeit, die in dieser Mächtigkeit und durchgehenden Stärke nicht allein thermisch bedingt sein konnte. Wohl dürfte die am Boden einsetzende Thermik auslösende Wirkung gehabt haben.

Im luftelektrischen Feld prägte sich der neue Luftkörperwechsel noch wenig aus, um so stärker aber in den beiden Leitfähigkeiten. Diese lagen bis über die Hauptdunstgrenze in 2400 m hinauf um 2 bis  $11 \cdot 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$  höher im Abstieg als im Aufstieg. Außerdem hat sich die Hauptdunstgrenze, an der der Anstieg der Leitfähigkeiten erfolgte, um einige hundert Meter gesenkt.

Meßflug vom 2. 6. 1943. 16.44—17.17<sup>h</sup> (Taf. VI)

Zerfall eines flachen Tiefausläufers, der von einer Zyklone über Nordengland bis Italien reichte, in kleine schwache Tiefdruckgebiete. Beim Flug schwache NW- bis N-Winde,  $\frac{2}{10}$  Cumulus und Feuchtigkeitszunahme mit der Höhe. Mäßiger Dunst reichte ohne erkennbare Schichtung bis über Gipfel. — Das Feld war bemerkenswert konstant und bis 2000 m ziemlich kräftig um 70 V/m; darüber Abnahme auf 40 V/m bei gleichzeitig rascher Zunahme der polaren Leitfähigkeiten von 7 auf über  $10 \cdot 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$ . Darunter zeigten diese wesentlich stärkere Schwankungen, weil sie offenbar auf feinere Unterschiede des atmosphärischen Planktons ansprachen.

Meßflug vom 29. 6. 1943. 15.15—16.00<sup>h</sup> (Taf. VII)

Am Meßort Keil von 1018 mb eines Hochdruckgebietes über England. Mäßiger NNW-Wind, Cu-Entwicklung in zwei Schichten, Dunstzunahme mit der Höhe, Thermik bis 2000 m. Im Auf- und Abstieg zeigten sich bei beiden wesentliche Unterschiede. Im Aufstieg waren sowohl  $\lambda_+$  wie  $\lambda_-$  bis zur scharfen Obergrenze des Dunstes fast konstant, etwa  $3 \cdot 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$  bei stärkeren Schwankungen des Feldes um 60 V/m. Dann folgte bis 2600 m rasche Zunahme auf 12 bis  $14 \cdot 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$ , endlich wieder Konstanz bis zum Gipfel in 3150 m. Im Abstieg war der Verlauf bis zur Dunstgrenze in 2100 m ein ganz ähnlicher. Unterhalb 2000 m wurde im Aufwind eines großen Cu gekreist. Dabei wuchs  $\lambda_+$  rasch auf 9,  $\lambda_-$  auf  $11 \cdot 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$  an, um außerhalb des thermischen Aufwindes wieder auf die normalen Werte des Aufstieges zurückzugehen. Auf diese bemerkenswerten Erscheinung wird weiter unten noch näher eingegangen.

Meßflug vom 20. 8. 1943. 9.45—10.32<sup>h</sup> (Taf. VIII)

Kleines geschlossenes Hoch von 1020 mb über den Ostalpen; nahezu wolkenlos, mäßiger SSE, oberhalb der bis 800 m reichenden Bodenstörungsschicht geht die relative Feuchtigkeit allmählich auf unter 40% zurück, um in größeren Höhen wieder etwas zuzunehmen.

Einem verhältnismäßig hohen, langsam von 40 auf 25 V/m abnehmendem Feld entsprach eine schwache, unregelmäßige Zunahme der Leitfähigkeiten von 7 auf  $10 \cdot 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$ , die offenbar selbst wieder in unmittelbarer Beziehung zu der sehr wechselnden Plankton-Schichtung der Atmosphäre stand.

Meßflug vom 25. 9. 1943. 9.12—10.13<sup>h</sup> (Taf. IX)

Der Aufstieg fand statt kurz nach Durchzug des letzten Ausläufers einer schwachen Warmfront, die von einem kleinen Tief (1010 mb) bei Köln ausgehend über Erfurt nach Linz verlief. Im Bereich des Warmsektors hatte der Wind bereits wieder nach SE zurückgedreht. Der starke Bodendunst bis 500 m und der mäßige Dunst bis 800 m, sowie die viertellige tiefe Sc-Walze rührten von dem Frontdurchzug her.

Bei schwacher Abnahme des Feldes oberhalb 800 m nahmen die Leitfähigkeiten kräftig von 3 auf  $15 \cdot 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$  zu, was in drei flachen Schichten mit plötzlichen Rückläufigkeiten um 2 bis  $4 \cdot 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$ , unterbrochen wurde.

Meßflug vom 14. 7. 1943. 16.30—17.23<sup>h</sup> (Taf. X)

Der Meßort befand sich in der Achse eines von Westen nach Osten verlaufenden Hochdruckkeils von 1023 mb, der mit dem Azorenhoch zusammenhing. Bei schwachen nördlichen Winden waren vor dem Gebirgsrande in  $\frac{1}{10}$  Himmelsbedeckung flache Cumuluswolken entwickelt. Ein schwacher Anstieg der Leitfähigkeit erfolgte an der Dunstgrenze in 2400 m, die Hauptzunahme lag in 2700 m an der scharfen Grenze, mit der der Dunst überhaupt aufhörte.  $\lambda_+$  stieg von 2700 m bis 3500 m von 2 bis 3 auf  $19 \cdot 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$ ,  $\lambda_-$  über der gleichen Schicht von 7 auf  $21 \cdot 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$ .

Am meisten bemerkenswert aber ist, daß ausnahmslos im Auf- und Abstieg  $\lambda_-$  größer war als  $\lambda_+$ , und zwar betrug der Unterschied meist 2 bis  $3 \cdot 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$ . Es ist schwer vorstellbar, daß diese Abweichungen auf Unterschiede in den Ionenbeweglichkeiten zurückzuführen sind, eher dürfte die Zahl der negativen Ionen durchweg wesentlich größer gewesen sein als die der positiven.

Meßflug vom 19. 4. 1943. 15.19—16.16<sup>h</sup> (Taf. XI)

Der Meßflug fand im südlichen Teil des Warmsektors eines Tiefdruckgebietes statt, das mit 975 mb über dem Bottnischen Meerbusen lag. Es herrschte schwacher NE-Wind und geringe Cu-Entwicklung bei ziemlich starkem ungeschichtetem Dunst bis über Gipfel.

Die polaren Leitfähigkeiten waren bei bester Übereinstimmung von  $\lambda_+$  und  $\lambda_-$ , sowie im Auf- und Abstieg ungewöhnlich konstant (4 bis  $5 \cdot 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$ ). Auch das Feld zeigte nur kleinere Schwankungen und eine geringfügige Abnahme von 60 auf 40 V/m von 500–2700 m oberhalb der seichten, gestörten Bodenschicht. Im Abstieg wurde der Flug in kräftigem thermischem Aufwind unterhalb einer Haufenwolke durchgeführt, die über dem Nordhang des Gebirgsrandes stand. Die Zeit reichte nur zur Messung von  $\lambda_+$  hin, und dabei ergaben sich im Aufwindfeld rund 10mal so große Leitfähigkeitswerte als vorher und nachher außerhalb davon (bis  $55 \cdot 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$ ). Bei  $\lambda_-$  konnte nur noch gerade vor Verlassen des Aufwindeschlauches ein ebenfalls erhöhter Wert festgestellt werden, es bleibt offen, ob sich im Innern des Aufwindfeldes ähnlich große Werte ergeben hätten. Darüber gibt der folgende Flug genaueren Aufschluß.

Meßflug vom 16. 4. 1943. 11.37—12.30<sup>h</sup> (Taf. XII)

Das Wetter wurde beherrscht von einem warmen, sehr hochreichenden Hochdruckgebiet mit Kern von

1030 mb über den Alpen. Am Ort geringe, am Gebirgsrand etwas stärkere Cu-Entwicklung bei leichtem E-Wind.

Die Dunstverteilung und die luftelektrischen Verhältnisse sind denen vom 19. 4. 1943 recht ähnlich, doch wurde die Hauptdunstschicht in 2400 m erreicht, von wo ab rasche Zunahme der Leitfähigkeiten auf  $12 \cdot 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$  und Abnahme des Feldes auf 10 V/m erfolgte. Nach dem Ausklinken wurde wieder ein Cumulus in voller Entwicklung, der über dem Nordhang des Gebirgsrandes stand, angeflogen und der obere Teil des Abstieges kreisend im Cu-Aufwindfeld durchgeführt, und zwar von 2250 bis 1700 m. Dieses mal reichte die Zeit zu Messungen beider Leitfähigkeiten, und es ergaben sich wiederum sehr hohe Werte bei  $60 \cdot 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$ , nämlich 61 bis  $\lambda_+$  und  $58 \cdot 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$  bei  $\lambda_-$ . Beim Verlassen des Aufwindstromes gingen die Werte rasch auf die beim Aufstieg in gleicher Höhe gemessenen zurück.

Meßflug vom 13. 4. 1943 14.34—15.18<sup>h</sup>, (Taf. XIII)

Über Mitteleuropa lag mit Kern bei Tilsit ein zentrales Hochdruckgebiet. Bei schwachen östlichen Winden, mit der Höhe zunehmend kaum geschichteten Dunst und kräftiger Einstrahlung herrschte mäßige Cu-Entwicklung.

Bei diesem Flug wurde sowohl beim Aufstieg als beim Abstieg in verhältnismäßig ausgedehnten Aufwindfeldern unterhalb von wachsenden Haufenwolken gekreist. Es ergaben sich in beiden Fällen die abnorm hohen Leitfähigkeitswerte sowohl für  $\lambda_+$  wie für  $\lambda_-$ . Sie wiesen mit Werten zwischen 55 und  $60 \cdot 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$  wieder gut die zehnfachen Werte auf, wie sie in den höheren und bodennäheren Schichten herrschten.

Das Ergebnis spricht gegen den anfänglich selbst erhobenen Einwand, daß die hohen Werte durch Verschlechterung der Kondensatorisolation vorgetäuscht werden könnten. Im Abstieg müßte eine solche leichter eintreten, weil die in der Höhe abgekühlten Isolatoren ständig in wärmere Luft von höherer absoluter Feuchtigkeit gelangen und dann zweifellos eher zu Beschlag neigen. Im Aufstieg müßte aber gerade das Umgekehrte der Fall sein. Durch Temperatureinfluß allein wird die Isolation sich dort ständig bessern müssen. Ferner spricht sehr gewichtig dafür, daß die Erscheinung reell ist und nicht durch eine Isolationsverschlechterung hervorgerufen wird, die Tatsache, daß der Vorgang zeitlich stets sehr genau mit dem Einfliegen in Cu-Aufwind beginnt und ebenso plötzlich beim Ausfliegen wieder verschwindet. Übrigens ist in allen Fällen der Feldverlauf in den betreffenden Schichten ein ganz normaler.

Meßflug vom 2. 7. 1943 15.20—16.00<sup>h</sup> (Taf. XIV)

Das Wetter wurde bestimmt von einem Hochdruckkeil, der sich von einem Hochdruckgebiet über Island in südöstlicher Richtung zum Balkan erstreckte. In der Achse des Keils herrschte Windstille und starker Dunst bis über Gipfel.

Über dem Bergvorland war ein sehr ausgedehnter Cumulus in starker Entwicklung. Sein Aufwindgebiet wurde in 1200 m erreicht und bis 2400 m nur vorübergehend wieder verlassen. Auch in diesem Falle ergeben sich Leitfähigkeitswerte beider Vorzeichen von bis zu 37 und  $32 \cdot 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$  bei einer unterhalb und oberhalb des sehr böigen Aufwindgebietes ganz normalen Höhenverteilung von  $\lambda$ . Im Abstieg versagte die Meßapparatur.

Nach allen bisherigen Beobachtungen ist der Zusammenhang eindeutig. In kräftigem einigermaßen scharf abgegrenzten Aufwindfeldern unterhalb von Haufenwolken, die in Entwicklung begriffen sind, findet man abnorm hohe Werte der beiden polaren Leitfähigkeiten bis zum zehnfachen und noch höheren Betrag des Normalen. Das luftelektrische Feld dagegen weist in den fraglichen Schichten keine wesentlichen Abweichungen vom normalen Verlauf auf. Es handelt

sich demnach um eine Erscheinung, die wesentlich auf Kleinionen beschränkt ist. Da für eine Zunahme der Ionenbeweglichkeiten in der erforderlichen Größe kein Grund einzusehen ist, zumal die Aufwindströme aus Bodennähe stammen, wo die Ionenbeweglichkeit eher ab- als zunimmt, dürfte es sich um ein Anwachsen der Ionenzahlen auf größenordnungsmäßig zehnfache Beträge handeln.

Eine abschließende Erklärung kann für diese merkwürdige Tatsache noch nicht gegeben werden. Mit einiger Wahrscheinlichkeit ergibt sich folgendes Bild. Die Luftmasse des Aufwindstromes stammt überwiegend aus bodennahen Schichten, wo die Luft im wesentlichen durch die Radioaktivität des Bodens ionisiert wird. Hier ist sie also mit aktiver Bodenemanation angereichert, wobei der Grad örtlich schwankt je nach der Zufuhr aus dem Boden und der Abfuhr, die bei ungestörtem Einstrahlungswetter an fortwährend wechselnden Ablösestellen einsetzt. Diese ungeordnete Vertikalbewegung der untersten Schichten geht schon in Höhen unterhalb 100 m in geordnete Vertikalbewegung größeren Umfangs über, die segelfliegerisch auszunutzen ist und deren mechanische, thermische und, wie sich hier zeigt, elektrische Eigenschaften im Segelflugzeug besonders gut nachzuweisen sind.

Auch das Meßergebnis vom 18. 8. 1943 (Taf. V), wo beim Abstieg in einem anderen merklich turbulenteren Luftkörper höhere Leitfähigkeiten gemessen wurden als beim Aufstieg, fügt sich zwanglos in dieses Bild. Die stark aktive Luft aus Bodennähe wurde im turbulenteren Luftkörper durch den vermehrten Austausch genügend rasch in die Höhe verfrachtet. Es wurden dort durchweg erhöhte Zahlen von Kleinionen gemessen, und zwar merklich erhöht gegenüber dem Luftkörper beim Aufstieg, der keine Vertikalbewegungen zeigte.

In diesem Zusammenhang sei auf ein Ergebnis hingewiesen, das bei der DFS erst bekannt wurde, als diese Messungen bereits vorlagen. Diese und jene Untersuchungen sind also völlig unabhängig voneinander entstanden und durchgeführt. J. Juilfs-Berlin hat bei Zählrohrmessungen der radioaktiven und Ultra-Strahlung, die ebenfalls im Segelflugzeug durchgeführt wurden (8), gefunden, daß „bei den Flugabschnitten in aufsteigender Luft („Thermikblasen“), insbesondere unter den Cumulus-Wolken die Intensität grundsätzlich höher war (größenordnungsmäßig bis zu 100% der Erdstrahlung) als in absteigender Luft, wo meist keinerlei Aktivitätsbeitrag außer der Erdstrahlung festgestellt werden konnte“. Es ist damit direkt nachgewiesen, daß die durch Bodenemanation angereicherte Luft erhöhter Aktivität vom Aufwind nach oben verfrachtet wird.

Meßflug vom 20. 4. 1943 8.37—9.21<sup>h</sup> (Taf. XV)

In diesem letzten Beispiel zeigte sich im Wolkenniveau ein ähnlicher Verlauf erhöhter Leitfähigkeiten. Dieser ist aber nicht auf thermisch aufsteigende Luft, sondern auf advektiven Aufwind in Zusammenhang mit einer sich von Nordwesten her rasch nähernden Kaltfront zurückzuführen. Während des Aufstieges zogen die ersten Schlechtwetterwolken 9/10 Sc von 1800—2200 m und 10/10 Sc von 2300—2900 m rasch aus West auf, wobei der Wind auffrischte und von SE auf W drehte. Es wurde aber wie immer ganz außerhalb der Wolken geflogen, und es gelangten keine Wolkenelemente in den Meßkondensator.

Die außerordentlich hohen Leitfähigkeitswerte beider Vorzeichen im Auf- und Abstieg bis nahezu  $250 \cdot 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$  oberhalb der Hauptdunstgrenze in 1750 m bei gleichzeitig wenig verändertem Feld lassen sich kaum anders erklären, als daß beträchtliche Luftmassen der bodennahen Schicht durch das Einströmen der Kaltluft sehr rasch bis ins Wolkenniveau hinaufgerissen wurden und hier infolge ihrer hohen Aktivität zu kräftiger Ionisierung führten.

Zur näheren Klärung der Frage sind weitere Messungen bei ähnlichen Wetterverhältnissen erforderlich. Es waren solche jedoch zunächst durch Inanspruchnahme mit anderen Aufgaben, dann durch Einstellung der Flüge infolge der starken Benzinverknappung gegen Ende des Krieges nicht mehr möglich.

Aus diesem Grunde mußte auch eine größere Serie von Höhenflügen, die im Sommer 1944 auf dem Flughafen von Rechlin durchgeführt werden sollten, gleich zu Beginn abgebrochen werden. Es kamen davon nur zwei Flüge zustande, jedoch mit Registrierungen von  $\lambda$  und  $n$  bis 8000 m und darüber. Ihre Ergebnisse folgen hier.

Der erste Höhenflug (Abb. 15) fand am 18. Juni 1944 12.09—14.03 DSZ. in Rechlin zu Beginn einer Hochdruckwetterlage statt, die anhaltendes, sehr

in der oberen dünneren Dunstschicht einen schwächeren Anstieg, Oberhalb 5000 m geht es auf unter 15 V/m zurück, nimmt aber dann an der Cirrus-Untergrenze sehr große negative Werte an. Der Meßbereich des Elektrometers reichte hier bald nicht mehr aus; die Feldstärke überstieg jedenfalls  $-900$  V/m.

Am 29. und 31. Juli 1943 waren bei ähnlichen Flügen auch Cirren erreicht worden. Damals wurden dort nur positive Felder bis zu 450 V/m gemessen (9).

Es ist hier also unmittelbar bewiesen, daß die Felder in Ci-Wolken sehr viel höher sein können, daß außerdem Feldumkehr eintreten kann.

Bei der  $\lambda$ -Registrierung genügte die Isolation für den ganzen Aufstieg, im Abstieg dagegen nur vom Gipfel bis 5500 m. Dann kondensierte an den kalten Isolatoren soviel Wasserdampf, daß die Werte in fehler-

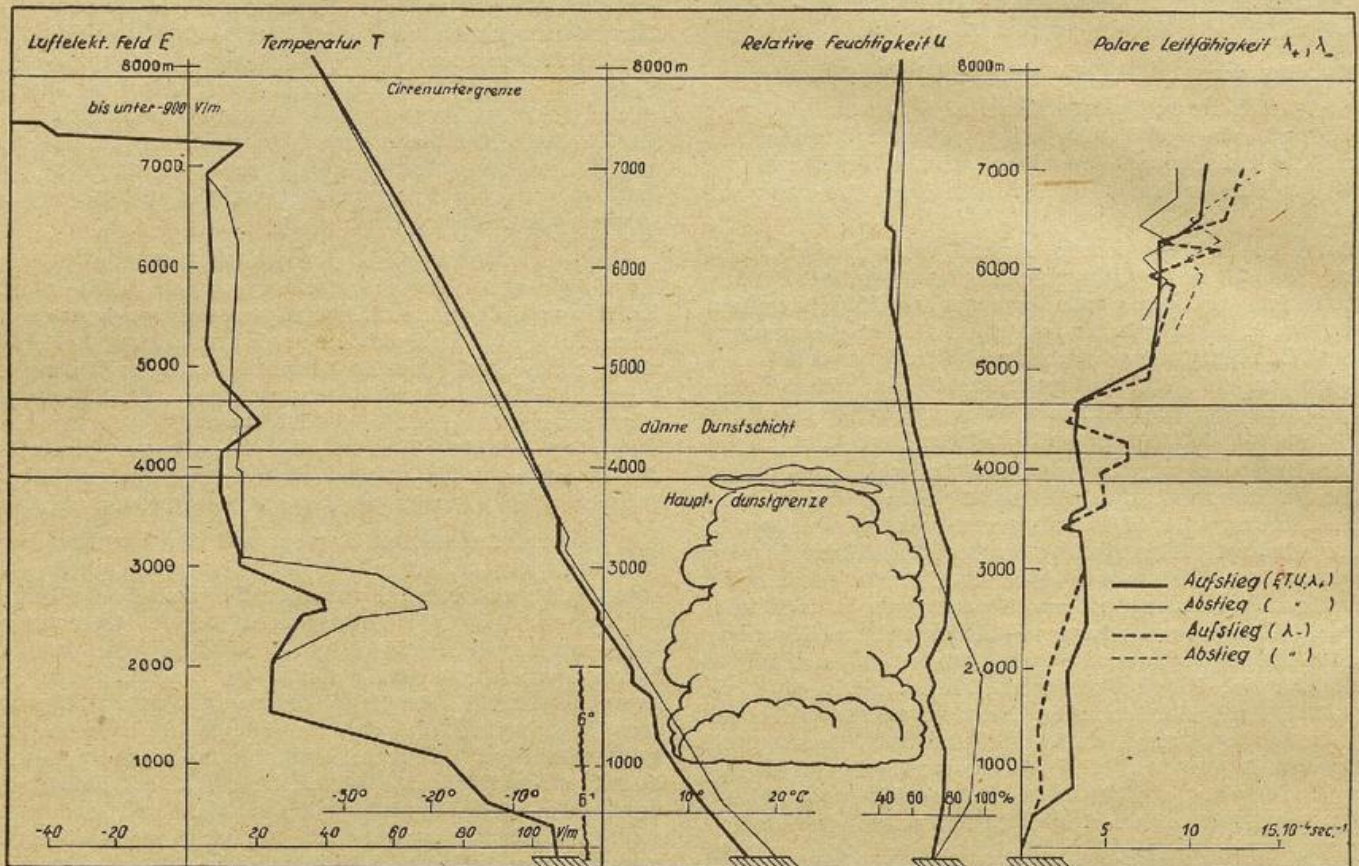


Abb. 15

unbeständiges und kühles Westwetter ablöste. Bei frühmorgens wolkenlosem Himmel setzte ab 9.30h mäßige Cu-Entwicklung ein, die beim Flug die Schicht von 1000—1600 m zu 5/10 erfüllte, und während des Aufstieges stark nach Betrag und Mächtigkeit zunahm. (14 Uhr: Cu cong. bis 4000 m mit Kappen). Bis zur Cu-Untergrenze herrschte mäßige, darüber bis 2000 m schwache Böigkeit. Die Hauptgrenze des mäßigen Dunstes lag in 3800 m, darüber folgte noch eine dünne Dunstschicht von 4200 m bis 4800 m. Ab 4000 m wurde ein gut ausgebildeter Sonnenring von 22° in sonst noch nicht erkennbarem Cs beobachtet. Die Cs-Untergrenze wurde in 8000 m erreicht, gleichzeitig traten an allen Motoren der Schleppmaschine schwache beständige Kondensstreifen auf, die als breites Band sichtbar wurden. Der Temperaturgradient lag durchweg zwischen 0,6 bis 0,7°C/100 m, abgesehen von einer kleinen Isothermie von 2500—2600 m und einer schwachen Inversion von 3200—3400 m.

Die Feldverteilung mit der Höhe ist typisch für ungestörte Sommerverhältnisse. Das Feld von 105 V/m am Boden geht bis 1500 m rasch auf 25 V/m zurück und zeigt in der Gipfelhöhe der Cu wieder einen stärkeren,

hafter Weise zu groß wurden, ein Vorgang, der sich bis zur Landung ständig verstärkte.  $\lambda_+$  und  $\lambda_-$  zeigen fast den gleichen Gang mit der Höhe. Der Feldabnahme unten entspricht eine kräftige  $\lambda_-$ -Zunahme, dann kommt bis 4600 m ein Gebiet mit ziemlich unveränderten Werten, besonders bei  $\lambda_+$  und schließlich oberhalb der Dunstschicht (von 4100—4600 m) noch zweimal starke Zunahme. Der Gipfelwert ist zugleich der Höchstwert und beträgt bei  $\lambda_+$   $10,4 \cdot 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$ , bei  $\lambda_-$   $13,2 \cdot 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$ . In der unteren Troposphäre ist dagegen  $\lambda_+$  größer als  $\lambda_-$ .

Die n-Registrierung versagte bei diesem Flug wegen der oben geschilderten Isolationsschwierigkeiten. Die Werte lagen beträchtlich zu hoch.

Der zweite Höhenflug (Abb. 16) fand am 19. 6. 1944, 14.16—16.19h statt bei klarem Wetter mit ganz schwachen Cu-Bildungen von 1100—1800 m, kräftiger Böigkeit bis 700 m und mäßiger Böigkeit von 700 bis 1000 m. Der mäßig starke Dunst hatte seine Obergrenze in 1800 m, darüber war schwächerer bis etwa 4500 m, und dann bis über Gipfel noch schwacher Dunst. Ci-Wolken fehlten bis auf einen von ferne beobachteten

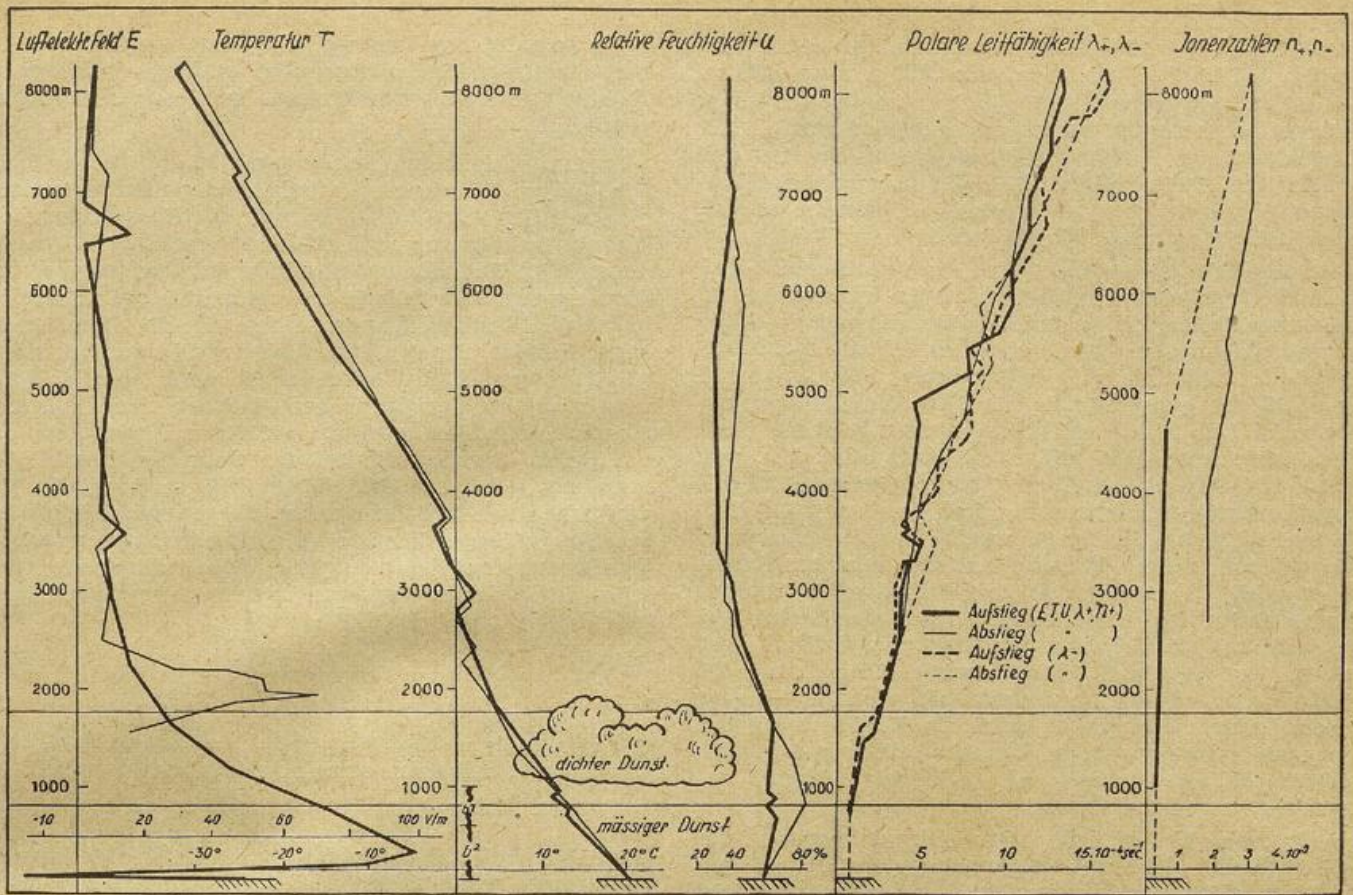


Abb. 16

Auspuffwolkenstreifen in über 9000 m. — Der Temperaturgradient betrug im Mittel 0,63°C/100 m bei einer Gipfeltemperatur von -32°. Die Schichtung war etwas kräftiger, zwischen 2300 und 3700 m lagen drei mässige Inversionen, und die relative Feuchtigkeit war in allen Höhen gegenüber dem Vortag geringer geworden. Diese Temperaturschichtung findet sich auch schwach im Verlauf der Raumladung angedeutet.

Unmittelbar über dem Boden geht das dort positive Feld in ein negatives über. Das ist die Folge der starken Staubaufwirbelung beim Start, welche die Schlep-

maschine beim Rollen zeitweise dem Blick entzog. Infolgedessen liegt der Feldhöchstwert in etwa 350 m mit 100 V/m es folgt ein rascher Rückgang auf unter 15 V/m ab 2500 m. Bei den zwei ausgeprägten Raumladungsschichten in 3600 m und um 7000 m konnte zwar keine optische Trübung festgestellt werden, aber beide sind reell, sie finden sich im Auf- und Abstieg.

Für die polaren Leitfähigkeiten ergibt sich eine so gute Übereinstimmung zwischen Auf- und Abstieg, sowie zwischen den beiden Vorzeichen, daß die Isolation während der ganzen Fluges sicher hinreichend war. Das

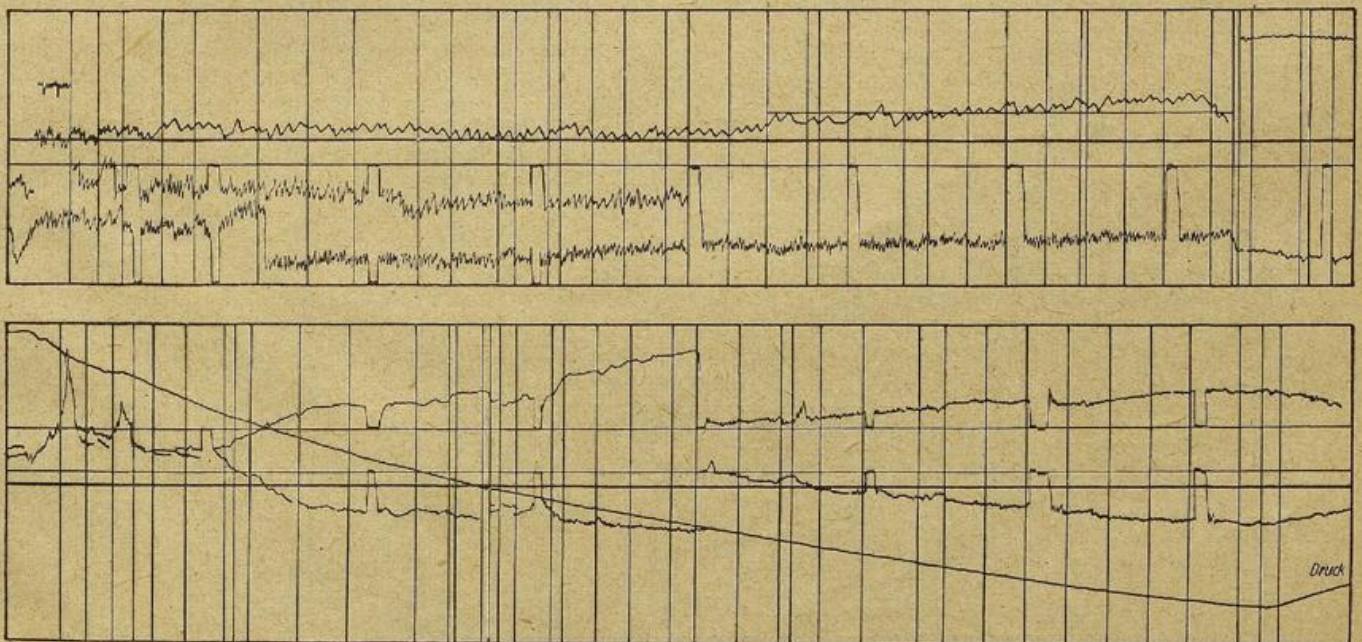


Abb. 17

erste Anwachsen erfolgte an der Obergrenze der Bodendunstschicht, und weitere Zunahmen entsprechen Rückgängen des Feldes, vor allem um 2000 m und 4200 m.

Dieses entgegengesetzte Verhalten zeigte sich sogar gelegentlich noch bei einzelnen dünnen Schichten. So entsprechen den Höchstwerten des Feldes im An- und Abstieg um 3600 m Tiefstwerte der polaren Leitfähigkeiten. In Gipfelhöhe ist wieder  $\lambda_+$  kleiner als  $\lambda_-$  jenes  $13,4 \cdot 10^{-4}$ , dieses  $15,6 \cdot 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$ .

Bei diesem Flug reichte die Isolation größtenteils aus, um auch Registrierungen der positiven Ionenzahlen im Auf- und Abstieg zu bekommen. Das Kriterium dafür ist, daß die mittlere Ionenbeweglichkeit, die sich rechnerisch als Quotient von Leitfähigkeit und Ionenzahl ergibt, Werte annimmt, die für Kleinionen kennzeichnend sind. Das ist hier mit 3 bis 6 cm/sec:V/cm der Fall. Der Gang mit der Höhe ist auf Abb. 16 ganz rechts eingetragen. Im Abstieg wurden wesentlich größere Ionenzahlen registriert. Das hat zwei Gründe: erstens werden die Werte wegen der Isolationsverschlechterung beim Übergang von kalt zu warm fälschlich vergrößert, zweitens ist im Abstieg bei der halben Fluggeschwindigkeit 100 km/Std. (gegenüber 200 km/Std. im Aufstieg) die Grenzbeweglichkeit nur halb so groß wie im Aufstieg (s. S. 15). Es wird infolgedessen ein größeres Ionenspektrum erfaßt. Mit der im Abstieg anwachsenden Wasserhaut wird die Verfälschung der Ionenzahlen immer größer. Unterhalb 2650 m sind deshalb sowohl die n- wie die  $\lambda$ -Registrierungen unbrauchbar.

Auf Abb. 17 ist die Originalregistrierung des Anstieges von diesem Tage wiedergegeben. Auf dem oberen Streifen sind aufgezeichnet der Staudruck und dicht darunter der Nullschrieb der Trommel, dann die Nullmarken von  $n_+$ , die durch eine nachträglich eingezeichnete Null-Linie verbunden sind, es folgt die Registrierung von  $n_+$ ,  $n_-$  und die Nullmarken samt Null-Linie von  $n_-$ . Der untere Streifen enthält: die Registrierung des Luftdruckes sowie von  $\lambda_-$  oben. Es folgen die Nullmarken und die Null-Linien von  $\lambda_-$ , dann von  $\lambda_+$ , der Nullschrieb der Trommel und endlich die Aufzeichnung von  $\lambda_+$ .

Die senkrechten Linien sind Zeitmarken, die meist automatisch durch eine Zeitmarkenuhr in Abständen von 1 Minute, gelegentlich an markanten Punkten oder in bestimmten Höhen auch vom Beobachter durch Tasten eines Kontaktes zugleich mit Zeitmarken auf dem Meteorogramm gegeben wurden.

Staubmessungen konnten bei diesen Flügen nicht gemacht werden, weil die Sauerstoff-Anlage für einen weiteren Beobachter nicht ausreichte. Es werden deshalb für die Staubzählungen zwei andere Beispiele gegeben.

In den zugehörigen Abbildungen 18 und 19 ist die bei den Flügen gemessene Verteilung des Staubes zusammen mit den zugehörigen Kurven für Potentialgradient (links), Temperatur und relative Feuchtigkeit (rechts) dargestellt. Bei den Staubzahlen handelt es sich um Relativwerte, die jedoch untereinander gut vergleichbar sind. Wird die Abszissenachse für die Staubzahlen logarithmisch, für den Potential-Gradienten aber linear geteilt, so verlaufen die Kurven für beide ähnlich. Wenn man noch das Verhältnis der Maßstäbe für die beiden Abszissenteilungen geeignet wählt, und zwar so, daß die gleiche Strecke, die bei der einen Teilung 10 V/m ausmacht, bei der anderen einen Differenzwert der Logarithmen von 0,194 entspricht, dann verlaufen die zusammengehörigen Kurven im großen und ganzen parallel. Daraus ergibt sich folgender Zusammenhang: zwischen der Raumladung  $\rho$  und der Änderung der Staubteilchenzahl  $s$  mit der Höhe  $z$ :

$$\rho = - \frac{50,8}{4 \pi} \cdot \frac{d \log s}{dz}$$

Beide Flüge — und viele andere — veranschaulichen das Gesagte selbst im einzelnen deutlich.

Ainring, den 19. 4 1943. 9.51—10.44<sup>b</sup> (Abb 18):

Über Deutschland herrschte anhaltende Hochdruckwetterlage, wobei am Aufstiegsort nur ganz geringfügig mittelhohe und hohe Bewölkung auftrat (1/10 Ac lent im E bis SE, 1/10 Ci und Cc im S und SW); Sicht 40—50 km. Während des Fluges wurde folgende Dunstschichtung beobachtet: in 500 m sehr schwache Dunstschicht vor dem Untersberg; in 1280 m Dunst<sup>0</sup>; in 1950 m scharfe Dunstobergrenze; in 2400 m Dunstschicht im NW bis W. In 2530 m Dunst<sup>0</sup> bis <sup>1</sup> im S; in Gipfelhöhe 2950 m ist die Dunstobergrenze über den Bergen noch nicht erreicht bei einer Sicht von etwa 100 km.

Über der Absinkinversion in etwa 900 m nehmen die Staubzahlen rasch von etwa 15 000 Teilchen auf 250 Teilchen im Liter ab. Die scharfe Dunstobergrenze in 1950 m tritt auch in den Staubzahlen gut hervor, dagegen nicht so gut im Potential-Gradienten, offenbar weil die Meßpunkte zu weit auseinanderliegen.

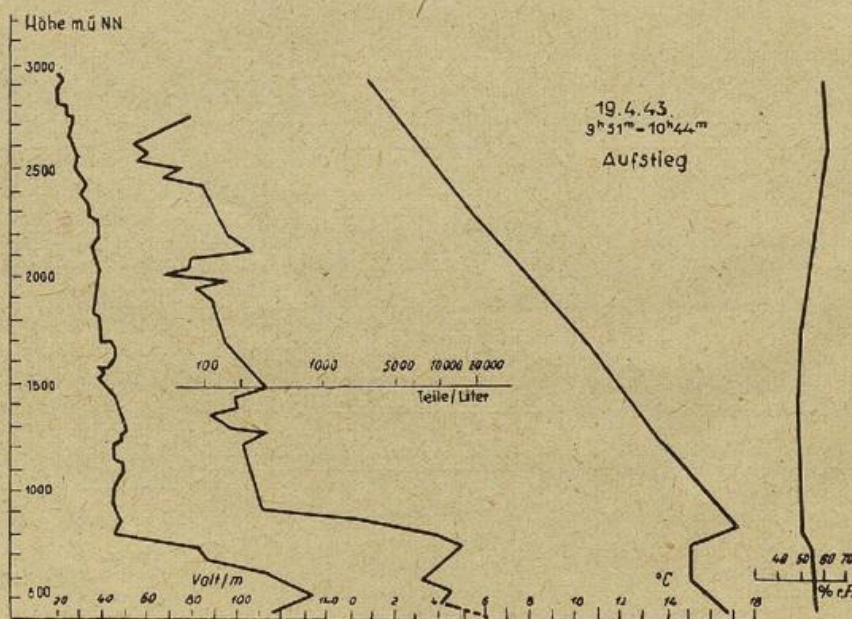


Abb. 18

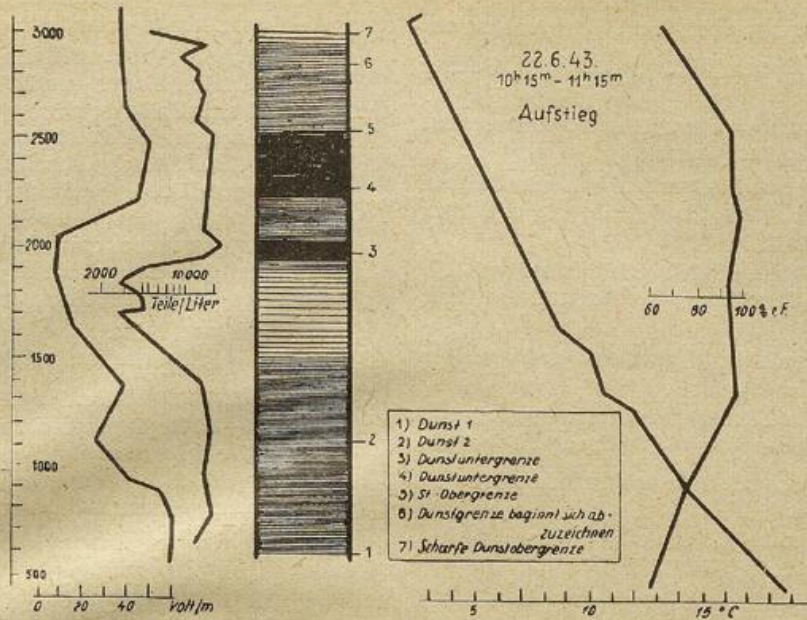


Abb. 19

Ainring, 22. 6. 1943. 10.15—11.15<sup>h</sup> Aufstieg (Abb. 19)

Eine in der vorhergehenden Nacht vorgedrungene Kaltfront lag auf der Linie Stettin—Prag—Salzburg. Im Ostalpengebiet herrschte Gewittertätigkeit, während im Westen bis zum Rhein eine mehrschichtige geschlossene Bewölkung von 1000—5000 m vorhanden war. Am Ort 7/10 Cu hum, wenig quellend, außerdem im W einige mächtig-quellende Cu; Cu-Wolkenstraße von ENE nach WSW.

Die während des Fluges beobachtete Dunstschichtung ist in das Diagramm eingetragen. Die Wolkenschichtung war folgende: 1670 m Cu-Untergrenze; Cu-Köpfe bis 2000 m, teilweise auch bis 2600 m. 2250 m bis 2550 m schwach durchbrochener St.

Die Potential-Gradient- und die Staubzahlenkurve zeigen wieder weitgehend parallelen Gang. Um außerdem die Übereinstimmung zwischen den gemessenen Staubwerten und den Augenbeobachtungen klar hervortreten zu lassen, wurde jene rechts von der Kurve noch einmal durch Parallelstrichelierung dargestellt. Dabei wurde die Strichdichte gemäß dem Weber-Fechner'schen psychophysischen Grundgesetz — ausgehend von einem kleinsten Linienabstand für die größte Staubzahl (etwa 0,5 mm) — so gewählt, daß für je um 20% kleinere Staubzahlen der Linienabstand 0,25 mm größer genommen wurde.

Diese Auswahl von Einzelbeispielen gibt genügend Einblick in die Methoden der verschiedenen in Ainring durchgeführten luftelektrischen Messungen, auch zur Beurteilung ihrer Brauchbarkeit und Genauigkeit.

Anschließend soll nun noch eine statistische Zusammenfassung solcher Meßflüge gegeben werden, deren Zahl ausreicht, um brauchbare Mittelwerte zu liefern oder aus denen sich charakteristische immer wieder vorkommende Grundtypen aussondern lassen.

An die letzten Ergebnisse anknüpfend sind der Abbildung 20 die Mittelwerte der Staubzahlen und der Potentialgradienten von allen gleichzeitig gemachten Messungen im Zeitabschnitt Februar bis Oktober 1943 zugrunde gelegt und die beiden mittleren Kurven gezeichnet. Auch hier zeigt sich ein weitgehend paralleler Gang zwischen dem Potentialgradienten und dem Logarithmus der Staubzahlen mit der Höhe.

Die Verknüpfung zwischen Staubzahlen und Potentialgradienten ist so eng, daß man aus sorgfältigen Dunstbeobachtungen recht gut qualitative Rückschlüsse auf die Verteilung des elektrischen Erdfeldes mit der Höhe ziehen kann.

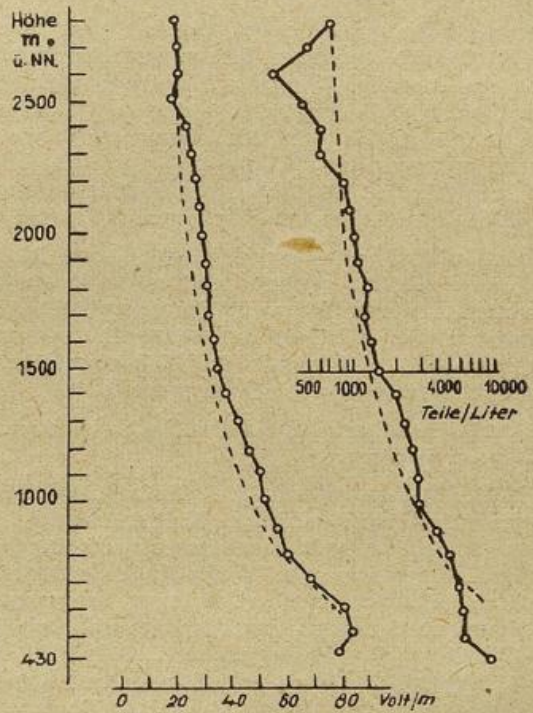


Abb. 20

Ein Meßmaterial größeren Umfangs liegt über Potentialgradienten auf Flügen bis 3000 und 4000 m Seehöhe vor. Es sind 166 einwandfreie Messungen mit hinreichender Übereinstimmung der Auf- und Abstiegsresultate aus den drei Jahren 1941 bis 1943 vorhanden. Für eine monatliche Zusammenfassung ist das Material noch nicht groß genug, wohl aber schon für eine solche nach Jahreszeiten. Dabei verteilen sich die Flüge folgendermaßen:

im Frühjahr (1. März bis 31. Mai)	49 Flüge
im Sommer (1. Juni bis 31. August)	53 Flüge
im Herbst (1. September bis 30. Nov.)	37 Flüge
im Winter (1. Dezember bis 28. Februar)	27 Flüge
insgesamt 166 Flüge	

In allen Jahreszeiten lassen sich im Verlauf des Potentialgradienten mit der Höhe zwanglos sechs ver-

schiedene Typen gut voneinander unterscheiden, die je eine größere oder kleinere Anzahl von Fällen umfassen:

1. ungestörte wolkenfreie Wetterlage mit flacher Bodendunstschicht,
2. ungestörte wesentlich wolkenfreie Wetterlage mit ziemlich hochreichendem Dunst,
3. gealterte Hochlage mit ziemlich gleichmäßigem Dunst bis über Gipfel und lediglich mäßiger Haufenwolkenbildung,
4. Föhnlage meist mit ziemlich geschlossener mittelhoher oder hoher Bewölkung — As und Ac lent, Cs lent, Cc,
5. leicht bis mäßig gestörte Wetterlage mit stabiler Schichtbewölkung — St, Sc,
6. stärker gestörte Lage mit niederschlaggebenden Wolken oder Wolkenarten — As praec, Nb, Cb.

Die Anzahl der Fälle verteilt sich folgendermaßen auf die verschiedenen Typen:

	1	2	3	4	5	6	Alle Typen
Frühjahr	8	13	5	9	9	5	49
Sommer	7	22	11	4	6	3	53
Herbst	7	8	6	6	8	2	37
Winter	14	6	—	1	6	—	27
Jahr	36	49	22	20	29	10	166

Über die Häufigkeit der einzelnen Typen gibt diese Übersicht freilich nur einen allerersten sehr wenig zuverlässigen Anhalt. Das gilt außerdem nur für die Typen 1 bis 4, weil lediglich bei diesen die Schwierigkeiten und Möglichkeiten der Messungen etwa gleich groß sind, während bei den Typen 5 und 6 die Möglichkeiten erfolgreicher Meßflüge stark abnehmen und diese allein deshalb mehr in den Hintergrund treten.

Zur Erläuterung der Typen folgen nun Einzelbeispiele, die je aus den genannten Gruppen herausgegriffen wurden. Als linke Kurve ist jeweils der Feldverlauf (Volt/m) mit der Höhe, in der Mitte die Temperaturhöhenkurve (C°) und rechts die Höhenverteilung der relativen Feuchtigkeit (in %) dargestellt.

Am einfachsten und übersichtlichsten sind die Verhältnisse im Winter:

Tafel XVI. W1 Abstieg am 19. 1. 1943, 14.18—15.02. Ungestörte Hochdrucklage. Wolkenloser Januartag sogar mittags gekennzeichnet durch eine kräftige Bodeninversion von 5° im Bereich des Bodendunstes. Auch darüber geringer Temperaturgradient und gleichmäßig niedrige relative Feuchtigkeit (40%). Der Bodendunst reicht bis 700 oder 800 m und ist oben scharf begrenzt. Am Boden hohes positives Feld, hier bis 120 Volt/m, in anderen Fällen 200 Volt/m und darüber, das innerhalb der Dunstschicht rasch auf 20 bis 30 V/m abfällt. In der Bodendunstschicht hat sich also eine kräftige Raumladung ausgebildet, offenbar durch die +Träger, die mit dem Vertikalstrom zur Erde wandern und sich an den Dunstteilchen anlagern. Über der Dunstgrenze geht das an sich schon schwache Feld bis 3000 m allmählich noch auf 5 Volt/m zurück.

Tafel XVII. W2 Abstieg am 18. 2. 1943, 13.52—14.50. Hochdrucklage im Februar mit ebenfalls wolkenlosem Wetter aber mit ziemlich hoch hinaufreichendem starken Dunst, über dem noch eine Schicht mit ganz schwacher Dunsttrübung liegt. Das Feld am Boden, sogar in der ganzen Bodendunstschicht ist viel geringer, etwa nur halb so groß wie bei W1. Zugleich ist auch die Raumladung kleiner, in der bodennahen Schicht herrscht zunächst sogar —Raumladung. Die Dunstschicht ist durch Konvektion ziemlich stark aufgelockert, was zugleich eine Abschwächung

sowohl der —Raumladung am Boden wie der +Raumladung darüber zur Folge hat.

Allgemein kann man im Vergleich der einzelnen Fälle nach Tages- und Jahreszeit sagen, daß das Feld am Boden um so geringer ist, je höher die Bodendunstschicht hinaufreicht oder je stärker der Dunst konvektiv aufgelockert ist und umgekehrt. Diese Auflockerung bedingt eine Verminderung der Raumladung. Hierin liegt der Grund, warum das elektrische Feld im Winter wesentlich höher ist als im Sommer und auch in den Übergangsjahreszeiten.

W 3 Type 3 fehlt, im Winter kommt Dunst, der über 1500 m hinaufreicht, recht selten vor.

Tafel XVIII. W4 Föhnlage. Abstieg am 22. 1. 1943. 14.28—15.08. Es herrscht starkes Zusammensinken der Luftmassen oberhalb einer seichten Bodendunstschicht, die mit sehr kräftiger Temperaturumkehr (8° auf 200 m) verknüpft ist. Die gleichzeitig sehr hohe Leitfähigkeit in der sehr reinen Feldverlauf innerhalb 40 und 20 Volt/m bis 3000 m. Bei den geringfügigen + und —Raumladungsschichtungen bleibt es dahingestellt, ob es sich um Unterschiede in vertikaler oder vielmehr in horizontaler Richtung handelt; denn diese werden beim Abstieg unter dem Gleitwinkel, der rund 1:9 (6,3°) beträgt, nicht selten miterfaßt.

Tafel XIX. W 5. Aufstieg am 12. 2. 1943. 10.34—11.14. Eine Lage mit stabiler geschlossener Sc-Decke in 2800 m. Diese Sc-Schicht ist ab 10.30 rasch aus W aufgezogen und bedeckt nach 11 Uhr den ganzen Himmel. Sie ist ziemlich dünn und nicht allzu ausgedehnt, ab 14 Uhr scheint bereits wieder die Sonne. In der sehr stabil gelagerten Bodenschicht herrscht hohe positive Raumladung, die bis 1000 m reicht. Darüber folgt ein langsam abnehmendes Feld mit einzelnen positiven Raumladungsschichten von begrenzter Dicke, die das Feld in Stufen von 40 Volt/m auf 20 Volt/m senken. An der Sc-Unterseite herrscht eine außerordentlich hohe negative Raumladung, die das Feld auf nahezu 500 Volt/m bringt. Auch diese läßt sich zwanglos aus dem Vertikalstrom der Träger erklären. Die negativen Ionen wandern in Richtung des Feldes, d. h. nach oben und werden von den Wolken-elementen, den Nebeltröpfchen der Wolke, angelagert. Der umgekehrte Vorgang vollzieht sich auf der Oberfläche der Wolkenschicht, hier werden die in entgegengesetzter Richtung wandernden positiven Ionen von den Wolken-elementen der oberen Wolkenhälfte festgehalten. Dafür folgt gleich weiter unten ein Beispiel.

W 6 Schlechtwetterlage mit Niederschlag. Dafür fehlt noch ein Beispiel, weil sich noch keine Blindflugeinrichtung im LS befand, mit deren Hilfe Schlechtwetterflüge durchführbar gewesen wären. Deshalb folgt nun gleich der Schlechtwettertyp S 6 der warmen Jahreszeit, des Sommers.

Tafel XX. S 6 Auf- und Abstieg am 15. 7. 1941. 8.42 bis 9.28. Der Flug wurde in 3 bis 4 km Abstand von einem mäßig entwickelten Cb ausgeführt, der von 1000 bis 4300 m reichte und als Hintergrund angedeutet ist. Gewittrige Entladungen traten nicht auf, gegen Ende des Fluges kam es lediglich zu leichter Schauer-tätigkeit. Die Feuchtigkeit war hoch, zwischen 70 und 100%. 100% selbst wurde in mehreren Schichten erreicht. Nimmt man dazu noch den überwiegend ziemlich großen Temperaturgradienten von 0,6 bis 0,7°/100 m, so ergibt sich Feuchtlabilität. Auf- und Abstiegs-kurve des Feldes weichen stark voneinander ab,

wie es bei einem so instabilen Vorgang nicht anders zu erwarten ist. Beide Kurven sind außerordentlich unruhig. Die Feldstärke wechselt zwischen hohen positiven und negativen, sowie 0-Werten, trotz des großen Abstandes. Es ergeben sich starke Schichtungen von sehr kräftigen + und —Raumladungen. Im Abstieg kamen wir näher an die Wolke heran und durchflogen einige Male Wolkenfetzen und schmale Regenbänder, wobei sich besonders hohe und rasch im Vorzeichen wechselnde Raumladungen bei mäßigen Feldstärken zeigten.

Allgemein sind diese Fälle sehr verwickelt, es werden noch feinere Unterscheidungen auftreten, aber sie lassen sich befriedigend nur mit einer Feldmühlenmeßanlage von viel geringerer Tragheit und großem Meßbereich zwischen etwa 1 V/m und 100 kV/m erfassen.

Tafel XXI. S 5 Auf- und Abstieg am 3. 7. 1942. 9.11—9.58. Hier sind drei Wolkenschichten vorhanden, eine geschlossene Stratusschicht in 1800 bis 2000 m, eine leicht durchbrochene Stratusschicht in 2200 bis 2400 m und eine geschlossene Stratocumulus-Schicht ab 3000 m. Die hohe negative Raumladung im unteren und positive Raumladung im oberen Teil der Wolke ist besonders beim Abstieg im tieferen St, beim Aufstieg auch im oberen St und in beiden Fällen an der Basis des Sc ausgeprägt. Sie ist, wie schon bei W 5 gesagt, eine Folge des Vertikalstromes, der an den Wolkenunterseiten negative, an den Oberflächen positive Ionen an die Wolkenelemente anlagert.

S 4 Föhnlagen im Sommer sind ziemlich selten und nicht sehr ausgeprägt, weshalb dafür kein Beispiel gegeben werden soll.

Tafel XXII. S 3. Aufstieg am 17. 8. 1942. 10.48—12.05. Während des Fluges waren recht gut entwickelte Cu-Wolken vorhanden. Eine von ihnen wurde im Aufstieg nicht durchflogen, sondern in geringer Entfernung umkreist. Es fällt die im Vergleich zu Schichtwolken recht geringe luftelektrische Wirksamkeit der Haufenwolke auf, die auch sonst regelmäßig beobachtet wurde. Das Feld ist in der ganzen Dunstschicht nahezu konstant und mäßig hoch zwischen 60 und 70 Volt/m.

Es ist bekannt, daß diese Schönwetter-Haufenwolken meist recht kurzlebig sind; es bilden sich ständig neue, andere lösen sich wieder auf, wobei für das einzelne Wolkenindividuum nur eine verhältnismäßig kurze Dauer herauskommt, auch wenn der Cu-Himmel den ganzen Tag über besteht. So fehlt es bei den kleineren unbeständigen Cu-Bildungen an Lebensdauer, während welcher sich höhere Raumladungen durch Anlagerung von Ionen an die Wolkenelemente entwickeln könnten.

Tafel XXIII. S 2. Aufstieg am 6. 6. 1942. 8.15—9.10. Der Meßflug ist ein Beispiel für den nicht häufigen Fall, daß das Feld in der Höhe bei ungestörtem Wetter beträchtlich größer ist als am Boden, nämlich bis 100 V/m beträgt gegen 30 bis 40 V/m in der bodennahen Schicht. Zahlreiche Leichtionen haben sich hier in der starken Dunstschicht von 1250 bis 2700 m durch Anlagerung an Dunstteilchen in Schwerionen umgewandelt. In Übereinstimmung mit der Wanderungsrichtung der +- und —Träger hat sich in guter Symmetrie oben und unten eine positive und negative Raumladungsschicht von je rund 1000 m Mächtigkeit ausgebildet. Ihre Stärke entspricht rund 50 Elementarladungen in cm<sup>3</sup>.

Tafel XXIV. S 1. Abstieg am 29. 8. 1941. 11.18—11.53. Der Feldverlauf ist dem bei W 1 recht ähnlich.

Am Boden beträgt das Feld 105 V/m und fällt innerhalb einer kräftigen Dunstschicht, die bis 800 m reicht, fast linear auf 40 V/m ab. Darüber herrscht zunächst weitere langsamere Abnahme auf 18 V/m in 1350 m vor, von welcher Höhe ab das Feld nahezu konstant ist. Die relative Feuchtigkeit ist durchweg niedrig, 50% und geringer, der Temperaturgradient außerhalb zweier Umkehrschichten um 1200 m und bei 1750 m hoch bei 0,8°/100 m.

Nun zu den entsprechenden Typen der Übergangsjahreszeiten.

Tafel XXV. F 1. Auf- und Abstieg am 18. 5. 1942, 10.15 bis 11.04. Bemerkenswert ist die gute Übereinstimmung beider hinsichtlich der Höhe von 1000 m, in der die starke positive Raumladung der bodennahen Dunstschicht aufhört. Sie erweist sich offenbar als feineres Kriterium für die Dunstschichtung als die optische Trübung, wofür es auch sonst zahlreiche Beispiele gibt. Über dem Bodendunst sinkt die Luftmasse kräftig zusammen, wie aus dem großen Temperaturgradienten und der ziemlich geringen relativen Feuchtigkeit hervorgeht. Dementsprechend ist das Erdfeld sehr nahe mit der Höhe konstant.

Tafel XXVI. F 2. Abstieg am 25. 4. 1942. 10.02—10.53. zeigt diese Verhältnisse erst ab 1900 m und zwar wieder sowohl im Feld- wie im Temperaturverlauf. Das deutet darauf hin, daß in der infolge Absinkens sehr reinen und trockenen Luft der Höhe auch eine hohe Leitfähigkeit herrscht, der eine schwache Raumladungsdichte entspricht. Im Gegensatz dazu ist die positive Raumladung bis zur genannten Höhe ziemlich beträchtlich.

Statt eines Beispiels für F 3 sollen zwei aufschlußreiche Beispiele gegeben werden für

Tafel XXVII. F 4. Auf- und Abstieg am 5. 3. 1943. 15.11 bis 15.51. Der hohe und recht gleichmäßige Temperaturgradient ist charakteristisch für Föhn, ferner die gute Sichtigkeit, das Fehlen aller Dunstgrenzen und die mittelhohe Schichtbewölkung: 6/10 As und Ac lent. In guter Übereinstimmung von Auf- und Abstieg ändert sich das Erdfeld bis nahezu 3000 m nur zwischen 60 und 35 V/m. Die kleinen Feldschwankungen im einzelnen dürften teilweise auf horizontale Unterschiede zurückzuführen sein.

Tafel XXVIII. Das zweite Beispiel Abstieg am 26. 5. 1941, 11.56—12.41, übertrifft dieses und auch das Winterbeispiel noch an Gleichmäßigkeit des Feldes, das vom Boden bis 2700 m zwischen 40 und 25 V/m liegt. Meteorologisch ist der Aufstieg ebenso klar wie der vorhergehende als Föhnflug gekennzeichnet: Großer Temperaturgradient von nahezu 1°/100 m, niedrige relative Feuchtigkeit um 45%, gute Sichtigkeit bei schwachem ungeschichtetem Dunst und Ac lent in 5500 bis 6500 m Höhe.

Tafel XXIX. F 5. Auf- und Abstieg am 15. 4. 1942. 9.56 bis 10.48. Eine Lage mit hoher relativer Feuchtigkeit und feuchtlabiler Schichtung in mittlerer Höhe. Unterhalb 2500 m hat sich ein mehrfach geschichteter Sc gebildet, der den Himmel etwa zu  $\frac{8}{10}$  bedeckt und dessen oberste Schicht eingezzeichnet ist, während die tieferen Schichten infolge größeren Flugabstandes nicht so genau in ihrer Höhenlage beobachtet werden konnten. Im Verlauf des Erdfeldes mit der Höhe tritt die Sc-Schicht besonders im Abstieg scharf hervor als unten negatives, oben positives Raumladegebiet von ziemlicher Mächtigkeit. Daß es sich nicht sehr gut mit dem beobachteten Wolkenraum deckt, ist

mit Wolkenauflösung und Umbildung zu erklären, teilweise auch mit Beobachtungsschwierigkeiten und -Mängeln.

Tafel XXX. F 6. Auf- und Abstieg am 1. 5. 1942. 12.59 bis 13.51. Ein Meßflug in der Umgebung einer Schauerwolke, die zunächst Sc-artig aussah, sich dann aber als Cu cong erwies, der bis 3000 m, in einzelnen Türmchen noch einige hundert Meter höher reichte. Die Schwankungen des Potentialgradienten sind sowohl im Aufstieg wie im Abstieg außerordentlich groß, im ersten Fall zwischen 40 und 330 V/m, im zweiten sogar zwischen 20 und 400 V/m. Die sehr großen Übergänge lassen Rückschlüsse auf recht hohe Raumladungsschichten von schroff wechselnden Vorzeichen zu, und zwar im ganzen Raum um die Wolke herum, nicht nur in oder bei fallendem Niederschlag. Die großen Unterschiede zwischen Auf- und Abstieg zeigen außerdem, wie instabil die Verhältnisse sind und welche beträchtlichen Änderungen in kürzester Zeit eintreten.

Tafel XXXI. H 1. Abstieg am 29. 10. 1942. 10.38—11.18. Unterhalb 7000 m wolkenfreie Hochdrucklage, bei der die freie Atmosphäre sehr trocken und stabil geschichtet ist. Der Feldverlauf ist charakteristisch für den Typ 1. Die Bodendunstgrenze in 600 m entging dem Beobachter offensichtlich, im Feldverlauf zeichnet sie sich mit scharfem Knick ab.

Tafel XXXII. H 2. Auf- und Abstieg am 11. 9. 1942. 15.41—16.33. Auch in diesem Falle war die Schichtung recht stabil bei geringer relativer Feuchtigkeit in der Höhe. Sowohl im Auf- wie im Abstieg zeigt sich die beobachtete Dunstschichtung in kräftigen Feldstärkeänderungen, wobei dem Auge viel mehr Einzelheiten entgehen als der radioaktiven Sonde in Verbindung mit dem Elektrometer.

Tafel XXXIII. H 3. Auf- und Abstieg am 4. 9. 1942. 16.00—16.38. Die Atmosphäre ist erfüllt mit kräftigem Dunst bis über Gipfel, der nur einige schwach erkennbare Schichtgrenzen zeigt. Es herrscht Feuchtlabilität und Gewitterwolkenbildung oberhalb 2000 m. In der ganzen dunsterfüllten Schicht, soweit sie durchflogen wurde, ist der Potentialgradient hoch zwischen 40 und 100 V/m bei wechselnder positiver und negativer Raumladungsschichtung. Dabei sind die Wechsel nicht allein sehr zahlreich, sondern auch sehr schroff.

Tafel XXXIV. H 4. Auf- und Abstieg am 30. 9. 1941. 11.34—12.34. Diese Föhnmessung ähnelt den beiden Beispielen von F 4 weitgehend meteorologisch wie luftelektrisch: Temperaturgradient bei 1°/100 m, Feuchtigkeit 40 bis 60%. Der Flug fand in der letzten Phase des Föhns unmittelbar vor dem Wetterumschlag statt. Über den Alpen lag bereits eine geschlossene As lent-Decke, und der Regen setzte bald nach der Landung ein. Das luftelektrische Feld ist oberhalb der seichten Bodendunstschicht im Auf- und Abstieg sehr konstant innerhalb 40 und 20 V/m.

Tafel XXXV. H 5. Auf- und Abstieg am 6. 9. 1941. 8.46—9.41 zeigt in sehr charakteristischer Weise den Einfluß einer Wolkenschicht auf das Erdfeld. Oberhalb 2000 m befand sich eine Sc-Bank, die nicht sehr lange vorher durch Umbildung aus Cu-Wolken entstanden war, wie solche gleichzeitig auch noch vorhanden waren. Diese Bank erhöhte die Feldstärke von ursprünglich etwa 25 V/m auf 100 V/m. Nach weiteren Messungen sind für die Ausbildung hoher Felder an Wolken und kräftiger Raumladungen darin merklich

lange Zeiten in der Größenordnung von Stunden notwendig. Hohe Felder und Raumladungsschichten in Schichtwolken sind demnach als Alterserscheinungen anzusehen. Und es wäre denkbar, daß zwischen den Werten der luftelektrischen Elemente bei Wolken und ihrem Alter Größenbeziehungen bestehen, die freilich zunächst empirisch ermittelt werden müßten.

Für H 6 sind keine sehr instruktiven Beispiele vorhanden, deren Wiedergabe verlohnen würde.

Über die sechs Typen ist, wenn man die Einzelfälle für jede Jahreszeit und die jeweils gleichen Typen der vier Jahreszeiten miteinander vergleicht, zusammenfassend folgendes zu sagen:

1) ist gekennzeichnet durch hohe positive Raumladung in den bodennahen Schichten mit Feldern um 120 V/m bis 200 V/m, darüber außerordentlich raschen Rückgang des Feldes auf 20 bis 30 V/m, dann langsamen Rückgang auf um 10 V/m in 3000 bis 4000 m.

Bei 2) ist das Feld am Boden kleiner bis nur halb so groß wie bei 1), zugleich ist auch die Raumladung kleiner, nicht selten herrscht sogar in der Bodenschicht negative Raumladung, wobei dann der Höchstwert des Feldes erst in einigen hundert Metern erreicht wird. In der Höhe ist die Abnahme so langsam, daß in 3000 m manchmal noch 20 bis 30 V/m vorhanden sind.

Bei 3) ist das Feld innerhalb des Dunstes nahezu konstant und niedrig, oft bei 60 bis 70 V/m, immer jedoch unter 100 V/m. Es sind häufig mäßige bis schwache Cu-Bildungen vorhanden, die den Feldverlauf jedoch kaum verändern. Dieser Typ entsteht nicht selten aus 2) und hat prognostische Bedeutung. Er ist ein ziemlich sicheres Vorzeichen dafür, daß das Hochdruckgebiet im Zerfall begriffen ist, vor allem im Sommer und in den Übergangsjahreszeiten, und daß innerhalb von 24 Stunden Wetterverschlechterung eintritt.

4) Einen sehr typischen Verlauf hat der Potentialgradient bei Föhn. Das Feld nimmt vom Boden bis zur mittleren Troposphäre nur ganz schwach ab, es hält sich zwischen 40 und 25 V/m, so daß man von nahezu konstantem Potentialgradienten sprechen kann. Anfangs finden sich in der Höhe gelegentlich schwache Raumladungsschichten. Sind sie verschwunden, so steht der Übergang zu zyklonalem Wetter bevor.

5) Ist ebenfalls sehr charakteristisch. Ein stärkeres Feld und hohe Raumladungen befinden sich nur in der bodennächsten Schicht und an den Wolkenunter- und Obergrenzen, dazwischen ist das Feld schwach und konstant (um 10 bis 20 V/m). An den Wolkengrenzen können die Felder auf 500 bis 1000 V/m und noch höher anwachsen; sie sind nämlich um so höher, ein je größeres Alter die Wolken haben. An den Wolkenuntergrenzen wurden die Raumladungen stets negativ, an den Obergrenzen stets positiv gefunden. Einige Stunden vor Umbildung der stabilen Schichtwolken St und Sc in Niederschlagsformen scheinen diese Felder abgebaut zu werden.

Bei 6) treten außerordentlich rasche zeitliche und räumliche Änderungen in den Räumen unter und zwischen den Wolken ein, stets findet man zwischen Auf- und Abstieg bemerkenswerte Unterschiede. Die Kurven des Feldverlaufs sind außerdem außerordentlich unruhig, die Feldstärke wechselt auf kleinem Raum zwischen hohen positiven und negativen, sowie Nullwerten, und man findet entsprechend sehr hohe positive und negative Raumladungen. Zu einer feineren Analyse reicht das beschränkte Beobachtungsmaterial hier noch nicht aus.

#### Mittelwerte des elektrischen Feldes der Erde.

Bei den Typen der ungestörten Wetterlage 1, 2, 3 reicht die Zahl der Meßflüge aus, um Mittelwerte des Jahres und der Jahreszeiten zu bestimmen. Wegen der



Elektrisches Feld der Erde. Auf- und Abstiegsmittel von:

Höhe m + NN	F <sub>3</sub>	Fälle	S <sub>3</sub>	Fälle	H <sub>3</sub>	Fälle	W <sub>3</sub>	Fälle	Jahresmittel Typ 3	Fälle
440	66	10	67	19	67	12			67	41
500	72	10	64	19	68	12			68	41
600	69	10	63	21	59	12			64	43
700	60	10	57	21	52	12			56	43
800	55	10	52	21	51	12			53	43
900	52	10	51	21	52	12			52	43
1000	49	10	52	21	50	12			50	43
1200	52	10	52	19	51	12			52	41
1400	45	10	52	19	50	12			49	41
1600	43	10	45	19	38	12			42	41
1800	38	10	44	17	42	12			41	39
2000	36	10	43	17	39	12			39	39
2200	33	10	43	15	36	12			37	37
2400	27	10	39	15	28	10			31	35
2600	20	8	34	15	18	8			24	31
2800	9	8	30	15	18	6			19	29
3000	4	6	29	10	21	2			18	18
3200	6	6	24	8	14	2			15	16
3400			22	4	4	2			13	16
3600			20	2	3	2			12	4
3800			18	2	2	2			10	4
4000			17	2	2	2			9	4
4200			17	2						
4400			19	2						
4600			19	2						
4800			18	2						
5000			17	2						
5200			15	2						
5400			15	2						
5600			14	2						
5800			14	2						

Der Typ W<sub>3</sub> fehlt auch hier. Im Winter reicht eine stärkere luftelektrisch wirksame Dunstenwicklung äußerst selten über 1500 bis 2000 m hinauf, sie ist gelegentlich überhaupt kaum vorhanden.

Die Ergebnisse sind auf den folgenden Abb. 21—23 noch in Kurvenform dargestellt und sollen etwas genauer betrachtet werden.

Beim ungestörten Typ 1 mit starkem Bodendunst weicht die bodennahe Schicht bis 1000 m wesentlich von den höheren Schichten ab. Unten haben die Felder im Winter und Frühjahr einerseits und im Sommer und Herbst andererseits ähnlichen Verlauf und Größe, und zwar liegen jene entschieden über diesen. In der bodennächsten Schicht nimmt das Feld vom Winter zum Frühjahr und weiter zum Sommer und Herbst ständig ab, und offenbar sind die Konvektionsverhältnisse dafür bestimmend. Von 500—900 m gilt fast die gleiche Reihenfolge, nur mit dem Unterschied, daß Winter und Frühjahr die Rollen vertauschen. In den mittleren Schichten von 1000—2600 m stimmen die Verhältnisse im Frühjahr und Sommer sowie im Herbst und Winter mehr überein. Tatsächlich dringt die Konvektion, welche die Verfrachtung des Dunstes und damit der feldbestimmenden Schwerionen in die Höhe bewirkt, in jenen

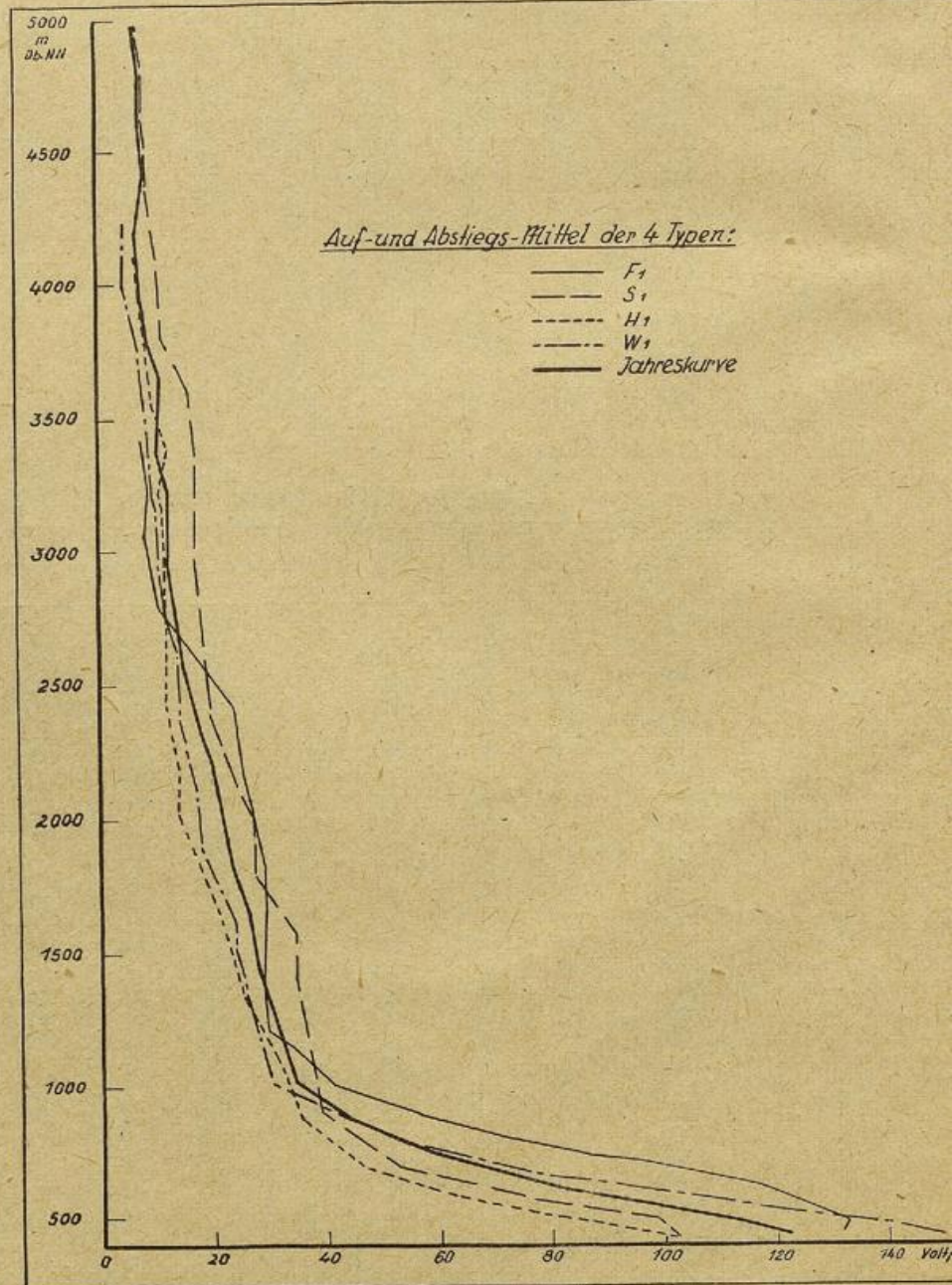
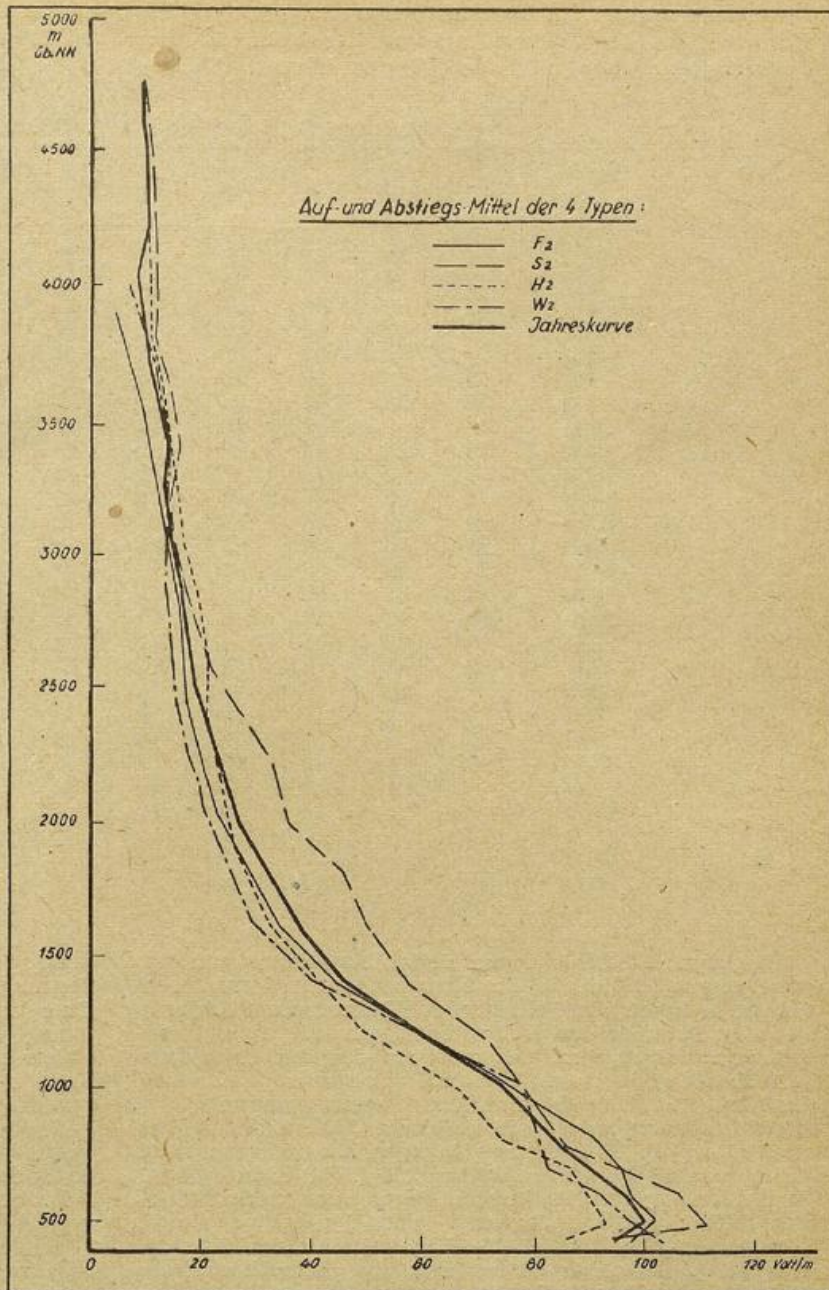
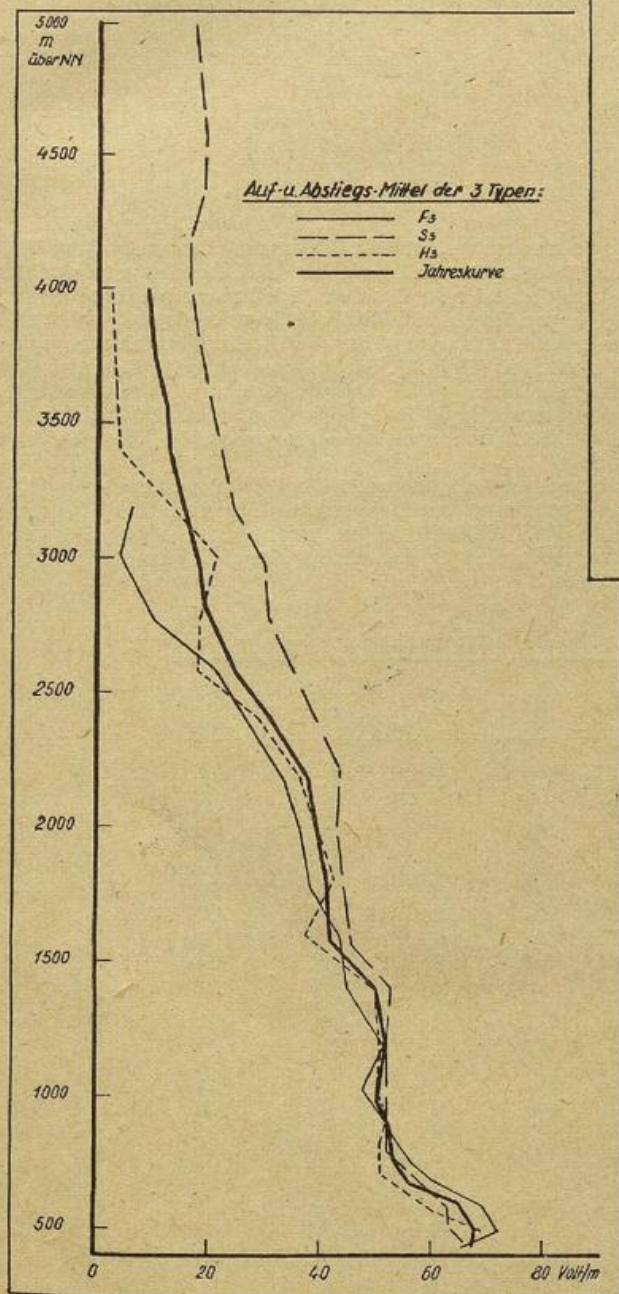


Abb. 21 →

Jahreszeiten höher hinauf als in diesen. In noch größeren Höhen treten die Felder im Herbst, Winter und Frühjahr wesentlich gegen die im Sommer zurück, offenbar weil nur noch im Sommer die Konvektion in nennenswerter Weise bis zu diesen Höhen wirksam ist.

Beim ungestörten Typ 2 mit höher reichendem Dunst sind naturgemäß die Unterschiede zwischen den Jahreszeiten geringer als bei 1. Klar heraus hebt sich aber der Sommer, der fast in allen Schichten die höchsten Felder zeigt. Auch dies scheint wieder mit der am stärksten im Sommer entwickelten konvektiven Verfrachtung der Schwerionen in die Höhe zusammenzuhängen. Daran reichen nur unterhalb 1000 m die Frühjahrswerte einigermaßen heran. Oberhalb 1400 m werden die schwächsten Felder im Winter beobachtet, doch sind die Unterschiede zwischen der kalten und den Übergangsjahreszeiten gering, sie liegen bei 5 Volt/m und werden mit wachsender Höhe noch kleiner; zwischen 3000 und 4000 m fallen die Kurven streckenweise sogar praktisch zusammen.

Abb. 22 →



← Abb. 23

Für den ungestörten Typ 3 mit ziemlich gleichmäßigem Dunst bis über Gipfel, der im Winter fehlt, ist die Übereinstimmung der Jahreszeiten untereinander bis 2500 m noch besser als bei 2. Wie bei den beiden anderen Typen sondert sich wieder im Sommer der Feldverlauf ab 1200 m zunehmend mit der Höhe nach größeren Werten ab. In 4000—5000 m sind in der warmen Jahreszeit die Felder beinahe doppelt so groß, nämlich zwischen 15 und 20 Volt/m wie bei Typ 1 und 2, wo sie im ersten Falle unter 10, im zweiten Falle bei 10 Volt/m betragen. Von 2000 bis 4000 m sondert sich die jahreszeitlichen Kurven stärker in der Reihenfolge von größeren zu kleineren Feldstärken: Sommer, Herbst und Frühjahr, was wieder für ihre überwiegend konvektive Herkunft spricht. Denn vom Sommer zu schweigen, reicht im Herbst die Konvektion höher hinauf als im Frühjahr, wie die Herbstmonate in größeren Höhen einen besonders hohen Wärmeüberschuß gegenüber dem Frühjahr haben, auf dem Feldberg/Schwarzwald (1500 m) beispielsweise um 2° im Monatsmittel. Die gleiche Reihenfolge herrscht übrigens auch bei den Typen 1 und 2, bei 1 ab 2800 m, bei 2 schon ab 1800 m, was eine gute Bestätigung der Tatsache sowohl wie ihrer Begründung darstellt.

Besonders klar und übersichtlich treten diese Eigentümlichkeiten des Feldverlaufs mit der Höhe in den Jahreszeitenmitteln aller drei Typen hervor, die zu-

nächst in Tabellen, dann wieder in Kurvenform (Abb. 24) folgen:

Elektrisches Feld der Erde. Auf- und Abstiegsmittel von:

Höhe m + NN	F	Fälle	S	Fälle	H	Fälle	W	Fälle	Jahresmittel Typ 1, 2, 3	Fälle
440	98	49	88	65	85	42	125,5	30	99	186
500	102	49	91	65	82	42	115	37	97	193
600	95	50	80	67	71	42	97,5	37	86	196
700	84	50	69	68	62	42	78	39	73	199
800	73	50	61	68	56	42	67	39	64	199
900	64	50	57	68	53	42	60	39	58	199
1000	55	50	56	68	50	42	54,5	39	54	199
1200	48	50	53	66	44	42	44,5	40	47	198
1400	39	50	48	66	39	42	33	40	40	198
1600	35	50	43	66	31	42	27	40	34	198
1800	32	50	39	64	29	42	22,5	38	31	194
2000	29	50	35	64	26	42	19,5	38	27	194
2200	26	50	33	61	24	42	17	34	25	187
2400	23	46	29	59	20	40	15	32	22	177
2600	18	38	25	55	17	32	14	26	18,5	151
2800	12	32	22	49	17	28	13	22	16	131
3000	9	26	21	41	17	22	12,5	18	15	107
3200	9	22	18	31	14	16	12,0	6	13	75
3400	9	10	18	24	10	8	11,5	4	12	46
3600	9	4	17	18	9	8	10,5	4	11	34
3800	(6)	4	14	16	8	8	9	4	9	32
4000	(4)	4	13	16	7	8	6	4	7	32
4200			13	16	(11)	4	5	2	(10)	22
4400			13	8	(12)	2			(12,5)	10
4600			13	6					(13)	6
4800			12	6					(12)	6
5000			12	4					(12)	4

Wieder ist die Schicht vom Boden bis 1000 m von der darüber von 1000 bis 5000 m abzusondern. In der unteren Schicht nehmen die Felder vom Winter zum Frühjahr, dann zu Sommer und Herbst so regelmäßig ab, daß die Jahresmittelkurve mitten zwischen der des Frühjahrs und des Sommers liegt. Von 1000 m ab tritt eine andere Ordnung ein: Die Sommerkurve weist durchweg die höchsten Werte auf von 56 Volt/m in 1000 m bis 12 V/m in 5000 m; die Winterkurve dagegen hat die geringsten Werte von 54 Volt/m in 1000 m bis 5 Volt/m in 4200 m. Frühjahrs- und Herbstkurven liegen über große Strecken mitten zwischen Sommer- und Winterkurven und stimmen größtenteils auf 5—10% miteinander überein. Nur von 2700 m bis 3500 m liegt die Herbstkurve um 50—80% über der Frühjahrskurve.

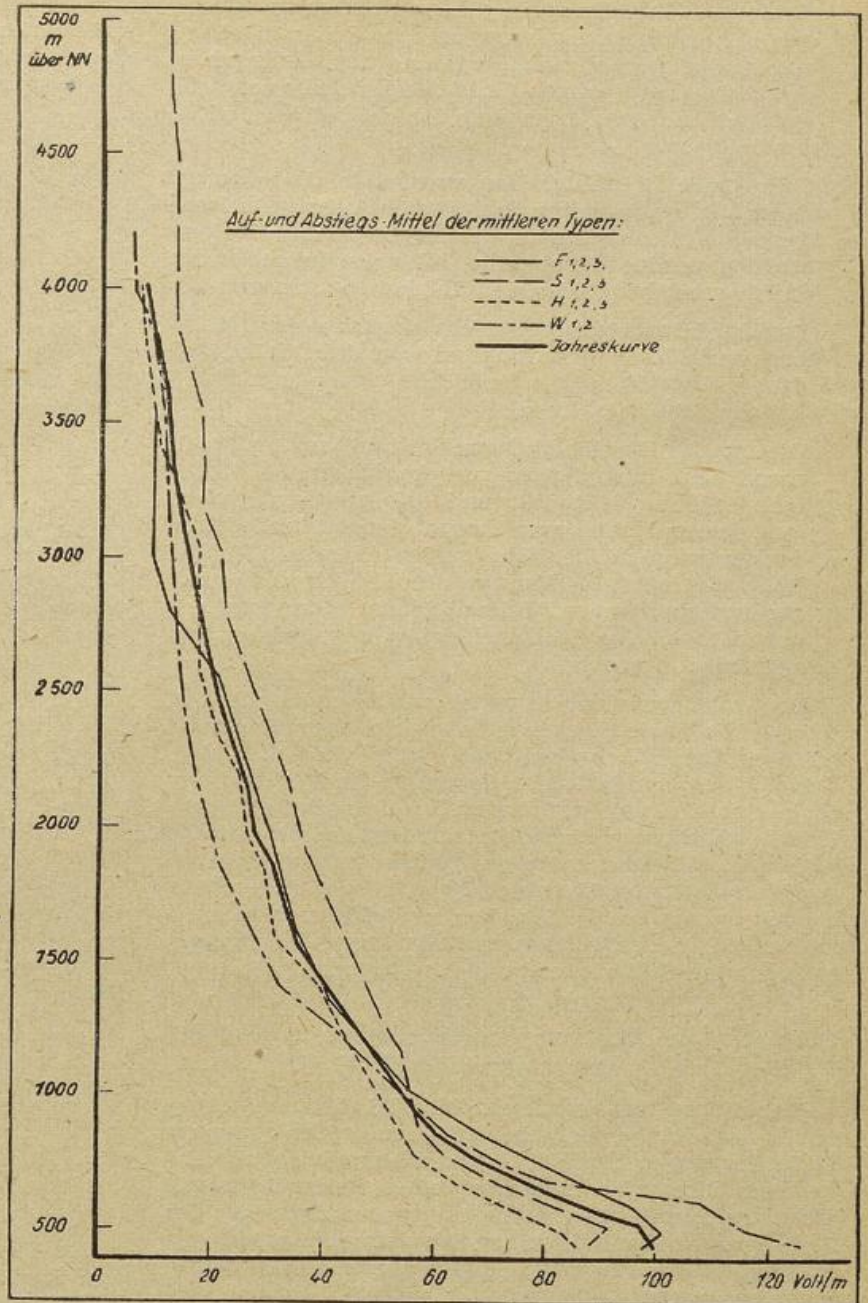
Der Jahreskurve für 1, 2, 3 kommt eine besondere Bedeutung dadurch zu, daß sie Mittelwerte für das ungestörte luftelektrische Feld auf Grund von nahezu 200 Messflügen wiedergibt, während bisher solche nur nach etwa 25 Freiballonfahrten vorhanden waren. (11) (12). Einigermaßen bestätigt sich die von H. Israel in (12) wiedergegebene Abnahme des Erdfeldes mit der Höhe, doch sind dort die Feldwerte unten bis 2000 m etwas zu klein und oben über 2000 m zu hoch.

Probeweise wurden auch die Mittelwerte des Föhn-typs 4 gerechnet; freilich reicht hier nur bei F 4 und H 4 die Zahl der Fälle aus, während sie bei S 4 und W 4 zu gering ist, wie auch aus den Mittelwerten selbst hervorgeht:

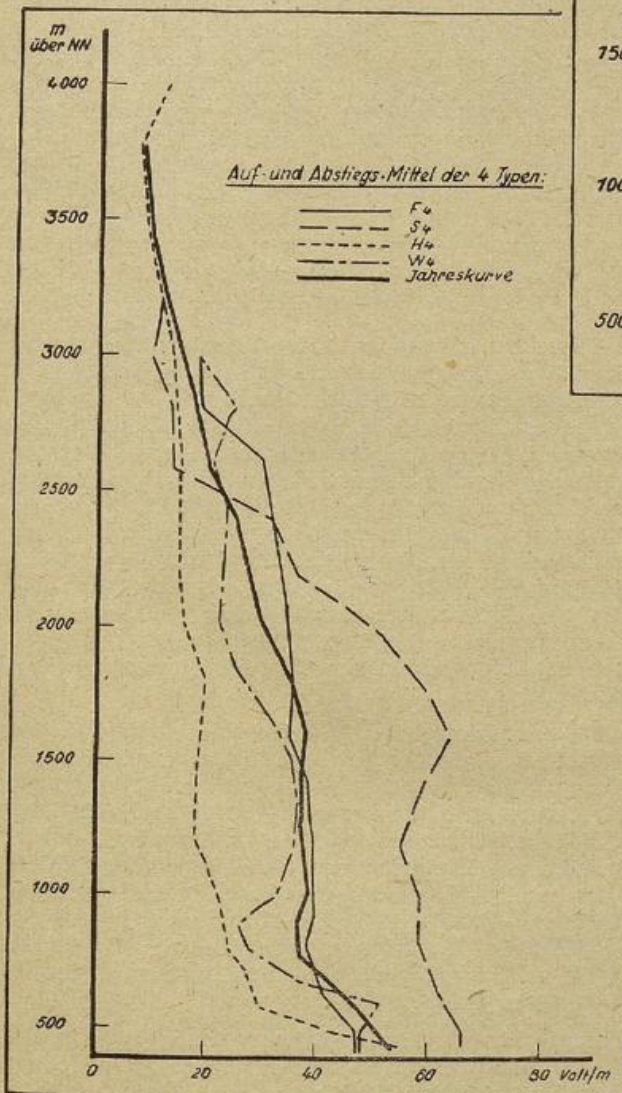
Elektrisches Feld der Erde. Auf- und Abstiegsmittel von:

Höhe m + NN	F <sub>4</sub>	Fälle	S <sub>4</sub>	Fälle	H <sub>4</sub>	Fälle	W <sub>4</sub>	Fälle	Jahresmittel Typ 4	Fälle
440	47	17	66	4	55	9	48	2	54	32
500	47	17	66	4	43	9	48	2	51	32
600	43	17	63	4	30	9	51	2	47	37
700	40	17	61	4	28	9	36	2	41	32
800	38	17	58	4	25	9	28	2	37	32
900	39	17	58	4	24	9	26	2	37	32
1000	39	17	58	4	22	9	33	2	38	32
1200	39	17	55	4	18	9	36	2	37	32
1400	38	17	58	4	18	9	36	2	37	32
1600	35	17	63	4	19	9	33	2	37	32
1800	35	17	58	4	19	7	26	2	35	30
2000	34	17	49	4	16	7	22	2	30	30
2200	33	17	36	4	15	7	23	2	27	30
2400	31	17	31	4	15	5	23	2	25	28
2600	30	13	14	2	15	4	20	2	20	21
2800	19	7	13	2	14	2	24	2	18	13
3000	18	5	10	2	13	2	18	2	15	11
3200		1	11	2	12	2			12	4
3400		1			10	2			10	2
3600		1			9	2			9	2
3800		1			8	2			8	2
4000		1			12	2				
4200		1			3	2				

Abb. 24 →



← Abb. 25



Im Diagramm (Abb. 25) haben infolgedessen nur die Frühjahrs- und Herbstkurven sowie das Jahresmittel den für Föhn kennzeichnenden gleichmäßigen Verlauf mit der Höhe. Und wertmäßig dürfte sich die Reihenfolge der Jahreszeiten bei einem größeren Beobachtungsmaterial noch wesentlich verschieben. —

Über die Ergebnisse der Messungen der polaren Leitfähigkeiten kann zusammenfassend folgendes gesagt werden:

- 1) In der Bodendunstschicht haben die polaren Leitfähigkeiten Werte von  $1 \cdot 10^{-4}$  bis  $2 \cdot 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$ . Das gilt für Schichten bis im Höchsthalle um 1000 m.
- 2) In der mittleren Troposphäre (um 4000 m) liegen die Leitfähigkeitswerte zwischen  $5$  und  $10 \cdot 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$ , in der oberen Troposphäre (8000 m) bei  $15 \cdot 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$ .
- 3) Mit der Höhe erfolgt also eine ziemlich beträchtliche Zunahme der Leitfähigkeit, Rückgänge dagegen kommen nur vereinzelt und fast ausschließlich in dünnen Schichten vor.

- 4) Kräftige  $\lambda$ -Zunahme erfolgt hauptsächlich an optisch gut sichtbaren Dunstobergrenzen, und nur in selteneren Fällen geht eine Änderung des elektrischen Aerosols ohne sichtbare Trübungsänderung vor sich. Solche Zunahmen in dünner Schicht betragen oft 2 bis  $5 \cdot 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$ .
- 5) Sehr große Leitfähigkeiten wurden in der unteren Troposphäre in starken thermischen Aufwinden festgestellt. An solchen räumlich eng begrenzten Stellen wurden wiederholt abnorme Werte, nämlich 30 bis  $60 \cdot 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$ , bei beiden Leitfähigkeiten gemessen.
- 6) Darüber hinaus kommen solche abnormen Leitfähigkeitswerte auch in Luftmassen vor, die sich infolge dynamischer Vorgänge beim Einströmen von Kaltluft vom Boden ablösen.
- 7) Die großen Leitfähigkeitswerte sind auf entsprechend hohe Iondichten zurückzuführen. Es dürfte Luft erhöhter Aktivität und infolgedessen großer Ionenkonzentration vom Boden abgelöst und durch den Aufwind in die Höhe geführt werden. Welche Rolle die Ionen im Verlauf der Kondensation und der fortschreitenden Wolkenbildung, sowie gegebenenfalls bei der Niederschlagsbildung spielen, ist noch nicht abzusehen.

Aus naheliegenden Gründen mußte während des Krieges die Erforschung der luftelektrischen Vorgänge bei Gewittern, die wegen ihrer Mannigfaltigkeit und Verwicklung von größtem Interesse sind, völlig zurücktreten. Es kann jedoch zum Schluß noch über zwei Einzelbeobachtungen berichtet werden, die bei Gewitterflügen erhalten wurden und einige Aufschlüsse über gewitterelektrische Vorgänge geben. Im ersten Falle handelt es sich um Feldstärke- und Eigenspannungsmessungen in der Nähe eines Gewitters, im zweiten Falle um die Blitzwirkung auf ein Flugzeug.

#### Feldstärke- und Eigenspannungsmessungen in der Nähe eines Gewitters.

Am 15. Juni 1943 wurde ein LS DFS 230 von Ainring (Abb.) nach Langendiebach bei Hanau im Schlepp eines Motorflugzeuges überführt. Das LS war mit luftelektrischem Meßgerät, und zwar einer Feldmühlenregistriereinrichtung ausgerüstet; es konnten daher, als der Schleppzug in der Nähe einer Schauerwolke vorbeiflog, Messungen der Feldstärke und Eigenspannung vorgenommen werden.

Der Flug führte auf der Teilstrecke von Fürth nach Langendiebach zuerst unter Cumulusbänken hindurch, die in größeren Abständen voneinander parallel angeordnet waren. Über dem Spessart sah man von NW heranziehend mehrere große Gewitterschauer, vor denen die Wetterwarte Fürth schon gewarnt hatte. Der Flugzeugführer der Schleppmaschine entschloß sich, einen der Schauer nördlich zu umfliegen und kam dabei nur knapp an ihm vorbei. Über den beiden hoch hinauf reichenden Cb-Türmen, die dieses Gewitter bildeten, stand ein großer Cirrenschirm, der ca. 1 km über den Rand der Cumulonimbenbasis hinausreichte.

Die Feldmühlenregistrierung, die während des ganzen Überflugs durchgeföhrt wurde, zeigt folgendes Bild: Bei dem Flug unter den einzelnen Cumuluswalzen, die eine sehr scharfe Untergrenze besaßen und sich erst vor ziemlich kurzer Zeit gebildet hatten, zeigten sich keinerlei Feldstärkeänderungen. Der Potentialgradient stieg ziemlich gleichförmig von rund 40 V/m kurz nach dem Start auf rund 110 V/m an, ganz gleichgültig, ob sich das Flugzeug gerade unter einer Wolke oder in ganz wolkenfreiem Raum befand.

Anders wurde die Sache, als sich der Schleppzug dem Gewitter näherte. Schon unter dem Cirrenschirm konnte man eine deutliche Feldstärkezunahme beobach-

ten, die auf Abb. 26 nur wegen des sehr kleinen Maßstabes nicht so deutlich zu sehen ist als auf der Registrierung, bei der die Empfindlichkeit verändert werden konnte.

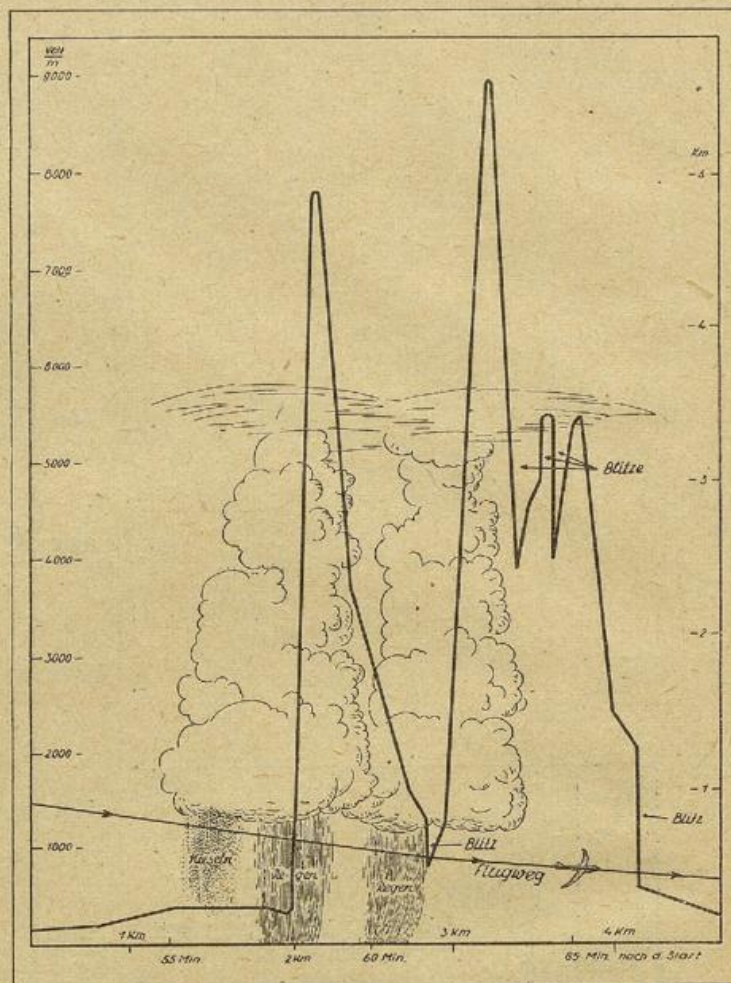


Abb. 26

Der Flug führte dann ca. 100–200 m unter den beiden Cu-Türmen hindurch, teilweise durch Regen oder leichten Sprühregen, aber nicht durch den im Zentrum ausfallenden sehr heftigen Regenschauer. Obwohl also der eigentliche Gewitterschauer gar nicht durchflogen wurde, kam es doch zu sehr starken Feldstärkeschwankungen, besonders im Regen. Der höchste Potentialgradient von rund 9000 V/m wurde unterhalb des zweiten Cumulussturmes gemessen. Auf der Rückseite des Gewitters ging die Feldstärke wieder ziemlich rasch auf ca. 100 V/m zurück, nur unterbrochen von einzelnen Feldstärkesprüngen, den Registrierungen von Blitzen, die sich in dem jetzt hinter dem Flugzeug liegenden Gewitter entluden.

Die Eigenspannung des LS wechselte während des rund 10 Minuten dauernden Parallelfluges zum Gewitter viermal ihr Vorzeichen. Zum erstenmal wurde in der 57. Minute ein Minimum von  $-30 \text{ kV}$  erreicht, dann in der 58. ein Maximum von  $+40 \text{ kV}$ , in der 60. Minute wieder ein Minimum von  $-30 \text{ kV}$ , in der 62. Minute das zweite Maximum wieder von rund  $+40 \text{ kV}$  und in der 65. Minute das letzte Minimum von  $-40 \text{ kV}$ . Später ging die Eigenspannung gegen die Umgebung innerhalb von vier Minuten auf den Durchschnittswert von  $-200 \text{ V}$  zurück.

Für drei dieser raschen Eigenspannungsänderungen wurde die Räumladung in den entsprechenden durchflogenen Luftschichten berechnet:

$$q = \frac{C}{F_w \cdot v} \cdot \frac{\Delta U}{\Delta t}$$

- $q$  = Raumladung
- $C$  = Kapazität des LS
- $F_w$  = wirksame Fläche des LS
- $v$  = Fluggeschwindigkeit
- $\frac{\Delta U}{\Delta t}$  = zeitliche Änderung der Eigenspannung.

Die einzelnen Werte ergaben sich zu:

- $q_1 = - 625 \cdot 10^{-18} \text{ A.sec/cm}^3$
- $q_2 = + 4200 \cdot 10^{-18} \text{ A.sec/cm}^3$
- $q_3 = - 1750 \cdot 10^{-18} \text{ A.sec/cm}^3$ .

Größenordnungsmäßig stimmen diese Werte mit den von Israel (13) angegebenen Raumladungswerten von  $6000 \cdot 10^{-18} \frac{\text{A sec}}{\text{cm}^3}$  in Gewitterwolken überein.

### Blitzschlagwirkung auf ein Flugzeug.

Wärmegewitter und noch in höherem Maße Frontgewitter bergen in ihren Wolkenbildungen eine Reihe von Gefahren für Flugzeuge, die nicht zu unterschätzen sind. Im einzelnen ist darüber ziemlich wenig bekannt, weil meist nur unfreiwillig gewonnene Stichproben vorliegen. Die außerordentlich harte Böigkeit bringt hohe mechanische Beanspruchungen größerer Flugzeugteile auf Zug und Druck, der Hagel, der in häufig größeren Steinen, als sie im allgemeinen den Boden erreichen, mit hoher Relativgeschwindigkeit aufprallt, kann schwere Beschädigungen durch Schlag hervorrufen. Dazu kommt in der Hagelzone meist rasche Vereisung, die durch Fäischung der Instrumentenanzeigen, Trimmänderungen und aerodynamisch ungünstige Wirkungen den Blindflug sehr erschwert. Die große Dunkelheit in den Zonen mit schwerem Niederschlag hat psychologisch ungünstige Wirkung auf den Flugzeugführer. Heftige Vertikalströmungen, die kaum zu verhindernde und schwer kontrollierbare Versetzungen bewirken, können ein Herauskommen verhindern oder verhängnisvoll verzögern. Endlich unterbinden starke luftelektrische Störungen den Verkehr mit der Bodenfunkstelle oder führen mit unberechenbarer Steigerung bis zur Blitzentladung zu Beschädigungen der Funkapparatur, die den Verkehr mit dem Boden dann endgültig unmöglich machen. Bei gleichzeitigem Auftreten mehrerer solcher Gefahren wird der Flug im allgemeinen mit dem Verlust der Maschine enden.

Im folgenden soll über die Wirkung einer Blitzentladung auf ein Flugzeug bei einer noch verhältnismäßig leichten Schauerwetterlage berichtet werden. Der Flug wurde für Vereisungsuntersuchungen mit der zweimotorigen Focke-Wulf „Weihe“ D-OALN am 22. August 1940 von 14.53—16.01 DSZ von Ainring aus durchgeführt. Der Blindflug begann in mäßig dichtem Sc 15.24 in 3300 m NN mit leichter Vereisung. Ab 16.34 trat in etwas geringerer Flughöhe von 3100 m mäßiger Niederschlag in Form von sehr feinkörnigem Graupel auf. Die Körnchengröße lag sicher beträchtlich unter 1 mm; nach Feststellung mit einem 20fach vergrößerndem Handmikroskop handelte es sich nur um Graupeln, ohne daß gleichzeitig Schneesternchen oder Blättchen auftraten. Der Graupelfall wurde rasch dichter, wobei ab 15.37 Rauschen beim Funkempfang entstand. Deshalb wurde 15.38 Uhr der Abstieg begonnen. 15.39 gab es vorübergehend dicke Regentropfen, und das Rauschen setzte aus. Ganz kurze Zeit später geriet das Flugzeug in einen Schauer von rein weißen 1—4 mm dicken Graupelkörnern, wobei das Rauschen sofort kräftig an schwoll. Es konnte vom Funkpeiler Salzburg gerade noch eine Richtungspeilung genommen und das Ergebnis im Flugzeug abgehört werden. Dann hörte jede Funkverbindung auf, weil das Rauschen alles überlagerte. Im Graupelschauer herrschte eine sehr harte, kurze Böigkeit, außerdem trat leichte Vereisung auf.

15.41 Uhr erfolgte, ohne daß Donner gehört wurde, ein Blitzschlag, wobei der Wolkennebel vor der Flugzeugkanzel grell weiß-bläulich aufleuchtete. Das Flugzeug befand sich in etwa 2700 m Höhe in einer Schicht mit einer Temperatur von  $-5,5^\circ \text{C}$ . Mit Kurs N und 170 km/h wurde der Abstieg fortgesetzt, bis 15.44 nach schwerem Regen im unteren Teil der Wolke und kräftiger Böigkeit Bodensicht beim Zusammenfluß von Inn und Salzach gewonnen wurde. Durch anfangs weiteren heftigen Schauerregen wurde mit Südkurs unter den Wolken der Flughafen Ainring angefliegen und 16.01 erreicht.

Der Blitzschlag war in die Schleppantenne erfolgt. Dabei trat auch im Innern des Flugzeuges eine kräftige rötliche Flamme auf, die offenbar von dem verbrennenden Metall der stählernen Antennenlitze herrührte. Diese brannte nämlich in der Anschlußdose am oberen Ende des Antennenschachtes mit explosionsartiger Wirkung durch, wobei der ziemlich feststehende Deckel dieser Dose von den sich entwickelnden Metaldämpfen und der erhitzten Luft herausgeschleudert wurde. Gleichzeitig rauschte die Antenne aus dem Schacht und ging mit dem Ei verloren. Außerdem wurde das Vakuum-Relais beschädigt, über das die Antenne wahlweise auf Sendung und Empfang geschaltet wird. Von den 3 Anschlußdrähten mit je 1 mm<sup>2</sup>-Querschnitt, die in den Glaskolben eingeschmolzen sind, waren zwei vollständig zerstört und an den Durchtrittsstellen je ein Loch von 2—3 mm<sup>2</sup> Größe gesprengt, wahrscheinlich durch die große Erhitzung. Das Relais war dabei auf Empfang eingestellt. Kleine Verschmorungen entstanden außerdem noch an der unteren metallenen Austrittsöffnung der Antenne aus dem Schacht, woraus hervorgeht, daß die Antenne auch dort vom Blitzstrom hoch erhitzt wurde.

Nach der Wetterlage, den Wetterbeobachtungen und Umfragen wurden an diesem Nachmittag in ganz Oberbayern sonst keine gewittrigen Erscheinungen beobachtet. Weder wurden Blitze gesehen, noch Donner gehört. Es herrschte auch keine ausgesprochene Gewitterlage. Über Süd-Schweden befand sich ein kräftiges Tief mit 990 mb im Kern, das in breitem Strom mAK über Mitteleuropa heranzog. Die Kaltfront verlief um 14<sup>h</sup> von Bornholm über Danzig, Warschau und Preßburg nach der Steiermark und hatte unser Gebiet schon um 9<sup>h</sup> vormittags in nahezu alpenparalleler Richtung überquert. Danach befand sich der Nord-Alpenrand bei NW-Winden auf der Rückseite, wobei eine mäßige Schauerföigkeit mit zeitweisem Aufreißen und sonnigem Wetter dazwischen vorherrschte.

Es besteht also kein Zweifel, daß die Blitzentladung in einer Schauerwolke mit hohen Potentialgradienten künstlich ausgelöst wurde, und zwar von dem System Flugzeug + Schleppantenne, das mit Rücksicht auf die Fahrtwindkrümmung der Antenne einen Höhenunterschied von 40—50 m leitend überbrückt. Es handelte sich jedoch nicht um eine Sekundär-Erscheinung, da die Entladung auch im Wolkenraum außerhalb des Flugzeuges sichtbar war. Vielleicht setzte sie sich oberhalb des Flugzeuges und wahrscheinlich auch unterhalb des Antennenendes in den freien Luftraum als Blitz mit eigenem Kanal fort. Aus der Stelle, an der die Blitzzerstörung eintrat, kann kein Schluß auf die Verteilung des Blitzstromes in der Antenne gezogen werden. Denn diese brannte dort durch, wo bei gleichmäßigem Blitzstrom die stärkste Erhitzung eintreten mußte. Der im Fahrtwind liegende Teil der Antenne war besonders gut gekühlt, andererseits der in der Kunstharzanschlußdose liegende Teil sehr gut thermisch isoliert und durch Gewicht und Zug auf kleinsten Querschnitt gerückt.

Um über die Größenordnung des Blitzstromes Aufschluß zu erhalten, wurden mit einfachen Behelfsmitteln einige Laboratoriumsversuche durchgeführt. Vor-

versuche mit schwächeren Stromquellen zeigten, daß die Antenne, die aus 22 Einzeladern von je 0,3 mm Durchmesser verzinkten Stahldrahtes zu einer Litze von 1,5 mm Durchmesser zusammengedreht ist und bei einer Gesamtlänge von 70 m einen Widerstand von 13,4 Ohm, d. h. 0,191 Ohm/m aufweist, elektrisch sehr hoch belastet werden muß, bevor sie zerstört wird. Bei guter Wärmeabfuhr tritt erst mit 50 Amp. Gleichstrom ganz schwache Rotglut auf, die einer Temperatur von etwa 600° entspricht, helle Rot-Glut von etwa 800° erfolgt bei etwa 100 Amp.

Die endgültigen Versuche wurden mit dem Gleichstrom eines großen Schweißumformers durchgeführt. Dabei wurden 20 cm lange Stücke der Antennenlitze in die Anschlußdose des Antennenschachtes eingesetzt und die Litze mit 2 kg Gewicht belastet, um Verhältnisse zu bekommen, die an die beim Flug möglichst nahe herankommen. In zwei Fällen brannte die Litze bei einer Belastung zwischen 50 und 100 Amp. in etwa  $\frac{1}{2}$  sec nach dem Einschalten unter weiß-gelbem Aufglühen und Erzeugung von Metaldämpfen durch.

Aus dem explosionsartigen Verlauf der Zerstörung durch den Blitz selbst ist zu schließen, daß die Blitzenergie zwischen 500 und 1000 Amperesekunden betrug.

Bei der erneuten Beschäftigung und Ausarbeitung dieser weitläufigen Untersuchungen erinnerte ich mich oft mit lebhafter Freude und Dank meiner Mitarbeiter bei diesem gewiß leichter zu lesenden als durchzufüh-

renden Unternehmen: der Flugzeugführer im Schleppflugzeug Herrn Karl von Jan und Herrn Opitz/Ainring, der im Lastensegler Frau Dr. Ing. U. Vieweg-Pielsticker/Darmstadt und Herrn Stemmler/Ainring, der meteorologischen und physikalischen Mitarbeiter Herrn Prof. Dr. O. Mathias/Universität Graz, Frau Dipl.-Ing. R. Wagner/Heldra, Fräulein Dr. I. von Wittich/Salzburg, Herrn Dipl.-Ing. Ernst Vocke/Karlsruhe, Herrn Studienrat Karl Dreisbach/Freilassing, Herrn Dr. Bernhard Burger/Konstanz, Herrn Dr. Kurt Burkhart/Fürstfeldbruck, Herrn Ing. Gustav Seyfried/Wien, sowie nicht zuletzt der Mechaniker Herrn Paul Kern/Freilassing und Herrn Willibald Friedl/Traunstein. Sie alle haben nach besten Kräften mitgeholfen, daß diese Aufgabe in der hier vorliegenden Form gelöst werden konnte.

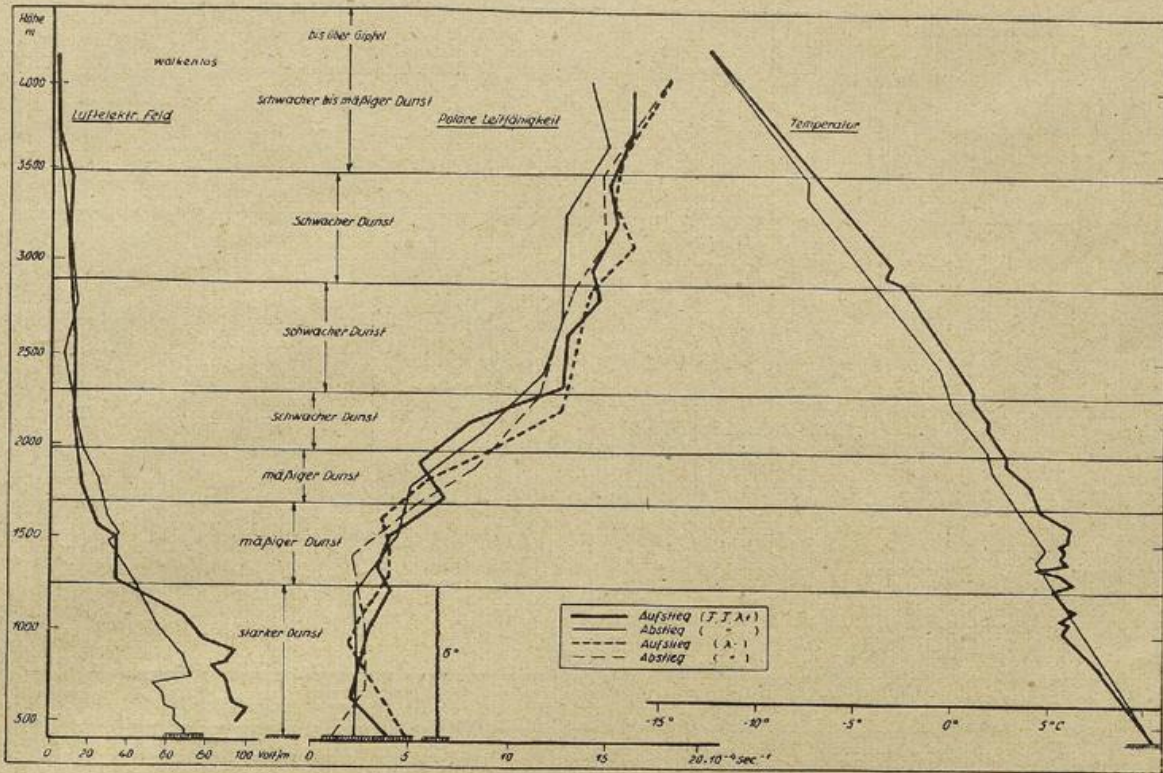
#### Zusammenfassung.

Die luftelektrischen Untersuchungen und Messungen in dem Lastensegler DFS 230 erstreckten sich auf Einzelmessungen und fortlaufende Registrierungen des Erdfeldes, der beiden polaren Leitfähigkeiten, der Ionendichten und des Staubgehaltes in der freien Atmosphäre bis 4000 und 5000 m, in zwei Fällen auch bis über 8000 m Höhe. Die dafür entwickelten Meßapparaturen werden beschrieben, ihre Theorie im Hinblick auf die möglichen Fehler abgeleitet, eine Anzahl von Einzelmessungen übersichtlich in Kurvenform gegeben und Mittelwerte des gesamten Materials mitgeteilt.

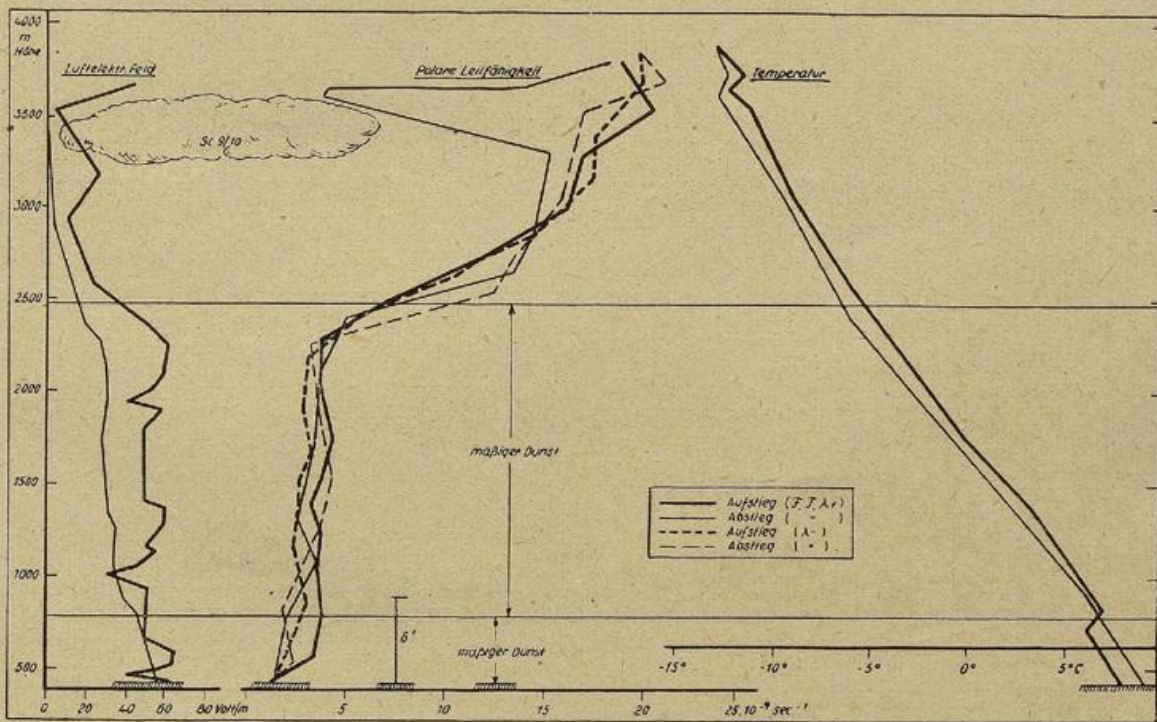
#### Schrifttum:

1. A. Wigand, T. Schlomka: Die Messung elektrischer Spannungen vom Motorflugzeug aus. *Ann. d. Phys.* **75**, 279—325. 1924.
2. H. Gerdien: *Göttinger Nachrichten* 1905.  
A. Wigand: Die elektrische Leitfähigkeit in der freien Atmosphäre nach Messungen bei Hochfahrten im Freiballon. *Ann. d. Phys.* **66**, 81—109, 1921.
3. L. Prandtl: *Führer durch die Strömungslehre*. Braunschweig 1942, S. 103.
4. H. Blasius: Grenzsichten in Flüssigkeiten mit kleiner Reibung. *Ztschr. f. Mathem. u. Physik* **56**, 1, 1908.
5. H. Benndorf: *Atmosphärische Elektrizität*. Hdb. d. Experimentalphysik XXV, 1. Leipzig 1928, S. 327.
6. F. Krüger: *Zeitschr. f. techn. Physik* **10**, 495, 1929.
7. F. Roßmann: Messungen der polaren elektrischen Leitfähigkeiten in der freien Atmosphäre. *ZWB. U. u. M.* Nr. 3548.
8. J. Juilfs: Zählrohrmessungen der radioaktiven und Ultrastrahlung im Segelflugzeug. *Ztschr. für Geophysik* **18**, 129—133. 1943 (Vorläufige Mitteilg.).
9. Wittich-Kasemir: Feld- und Eigenladungs-Registrierungen bei Flugzeugaufstiegen. *ZWB Forschungsbericht* Nr. 1886.
10. Alfred Wegener: Über die Ableitung von Mittelwerten aus Drachenaufstiegen ungleicher Höhe. *Beitr. z. Phys. d. fr. Atm.* **3**, 1—7, 1909.
11. H. Benndorf: *Luftelektrizität in Müller-Pouillet's Lehrbuch der Physik*. Bd. VI. Braunschweig 1928. S. 630.
12. H. Israël: *Luftelektrizität, Grundlagen u. Meßmethoden in Meteorolog.* Taschenbuch V. Hrsg. v. F. Linke, Leipzig 1939, S. 349.
13. H. Israël: Die elektrischen Erscheinungen des Gewitters. *Reichsamt für Wetterdienst. Wissenschaftliche Abhandlungen* Bd. VIII, Nr. 4, Berlin 1942. S. 6.

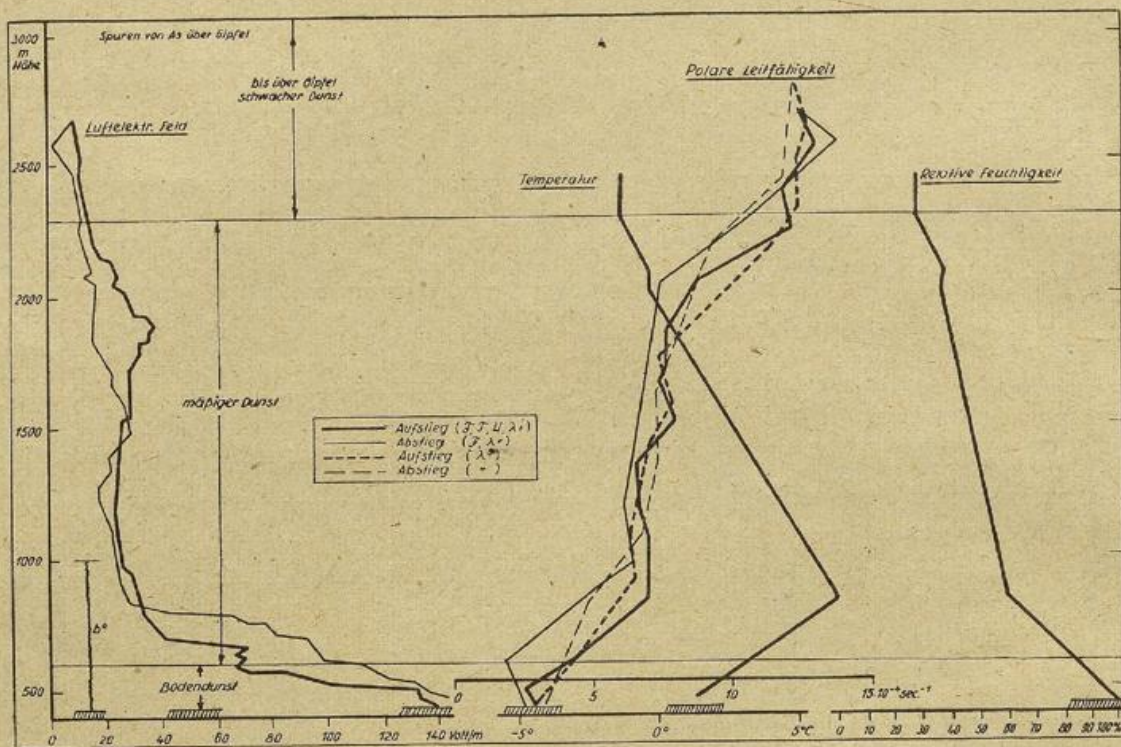
I



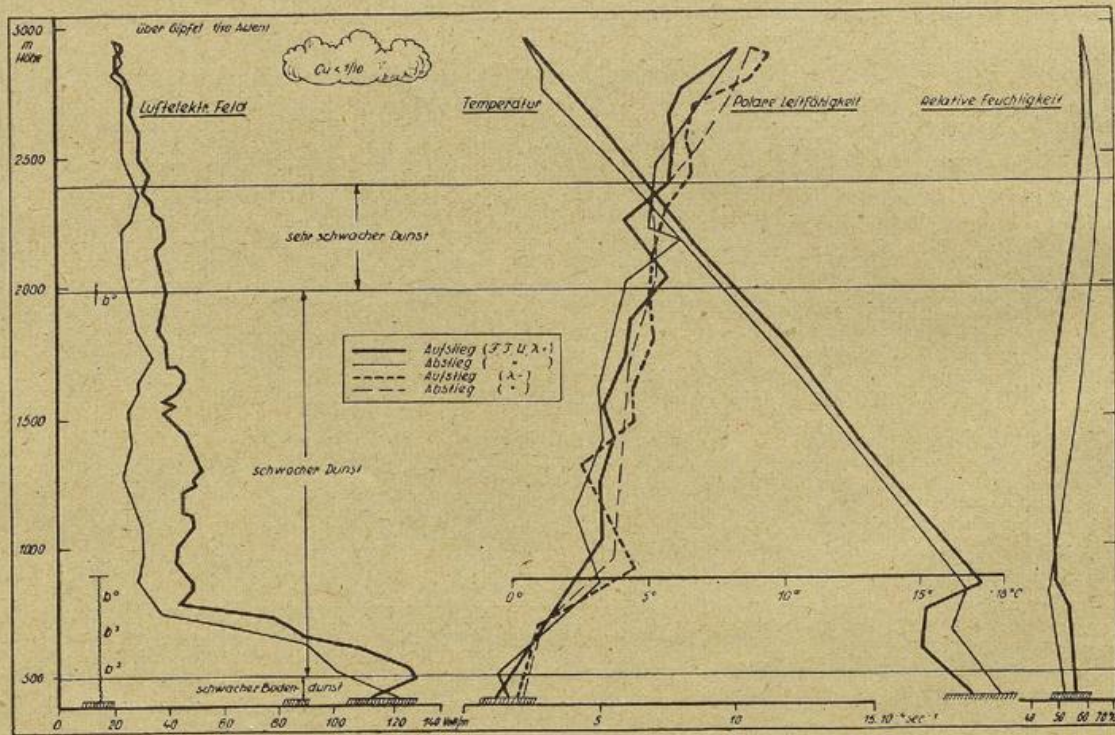
II



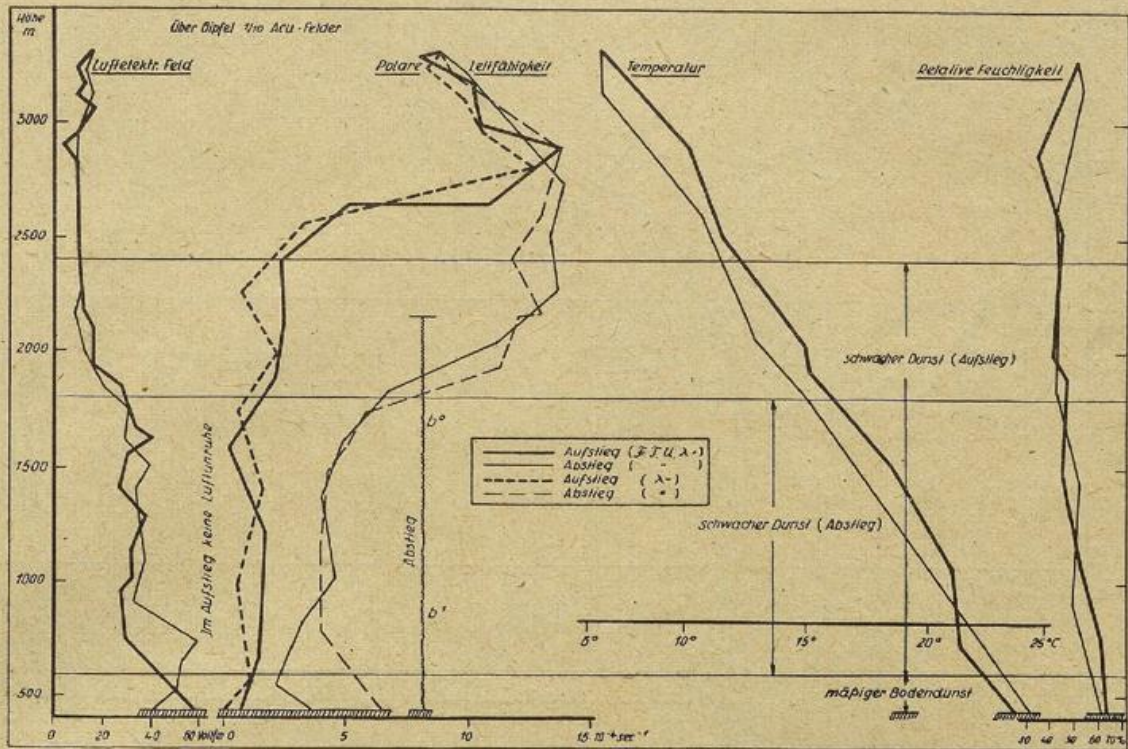
III



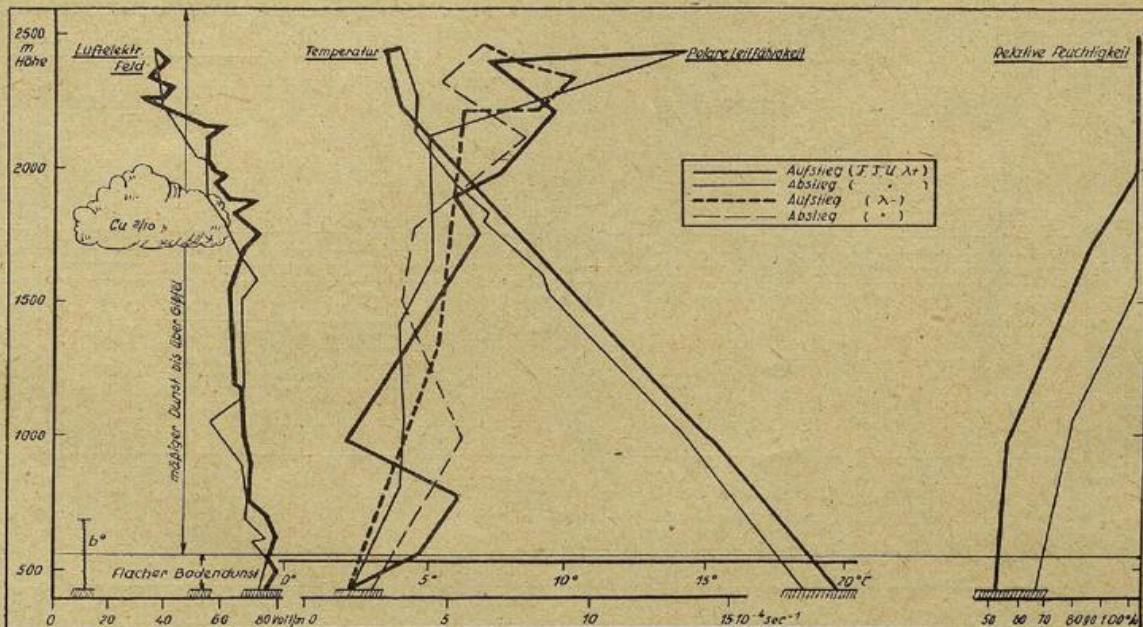
IV



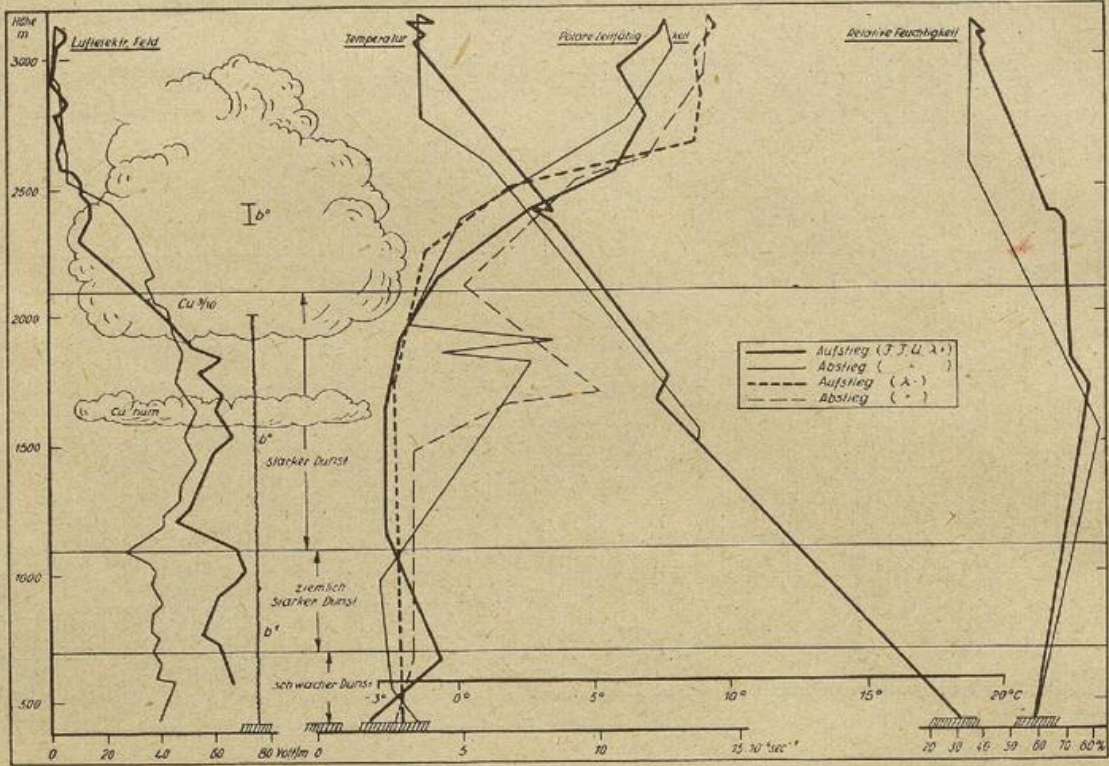
V



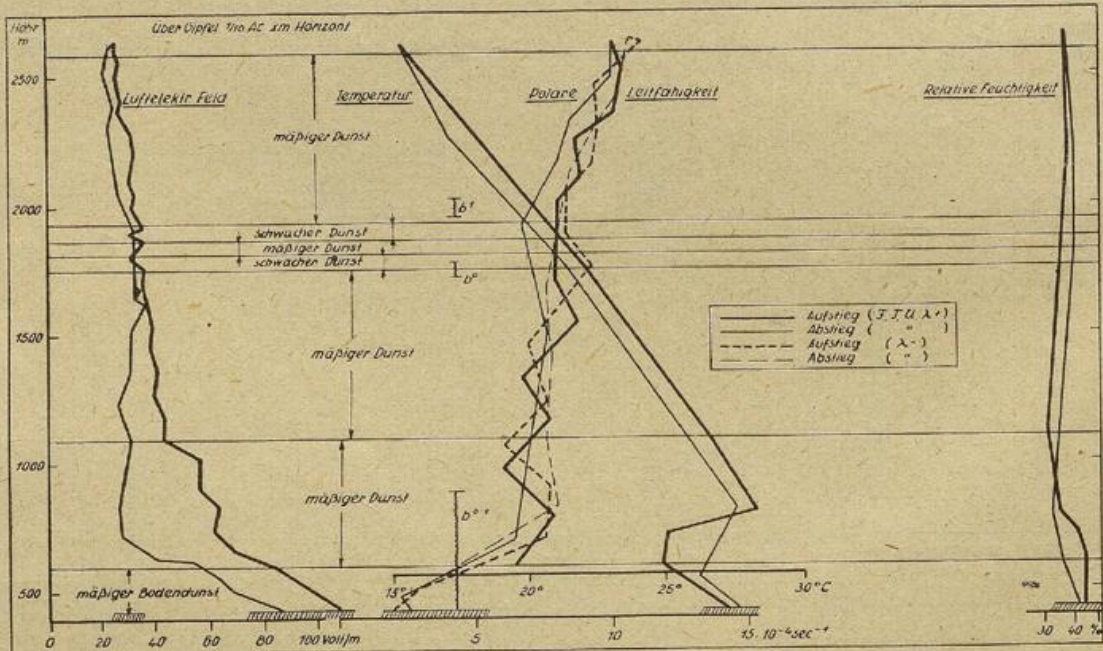
VI



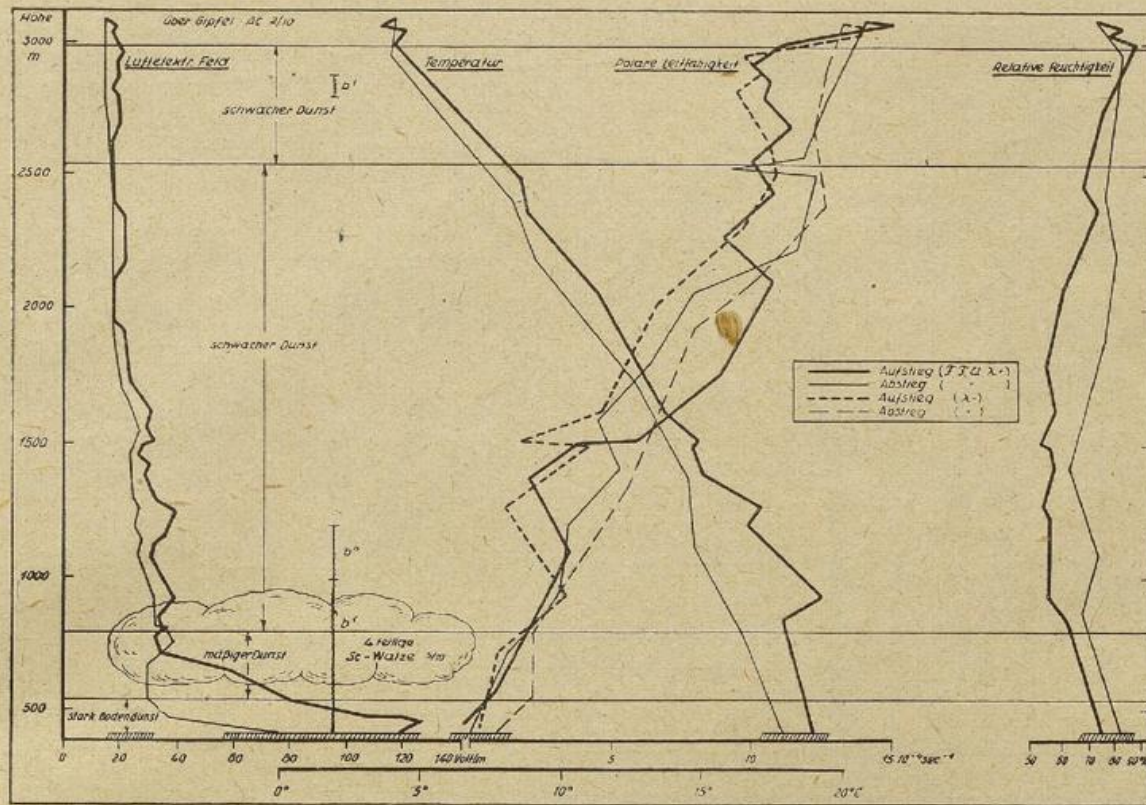
VII



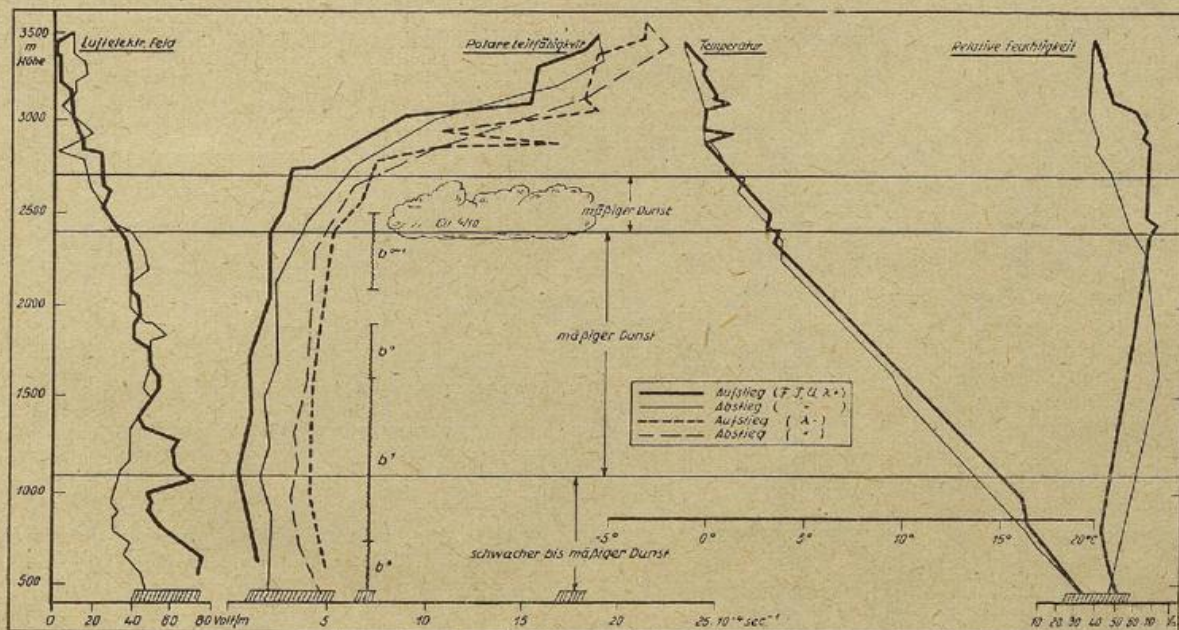
VIII

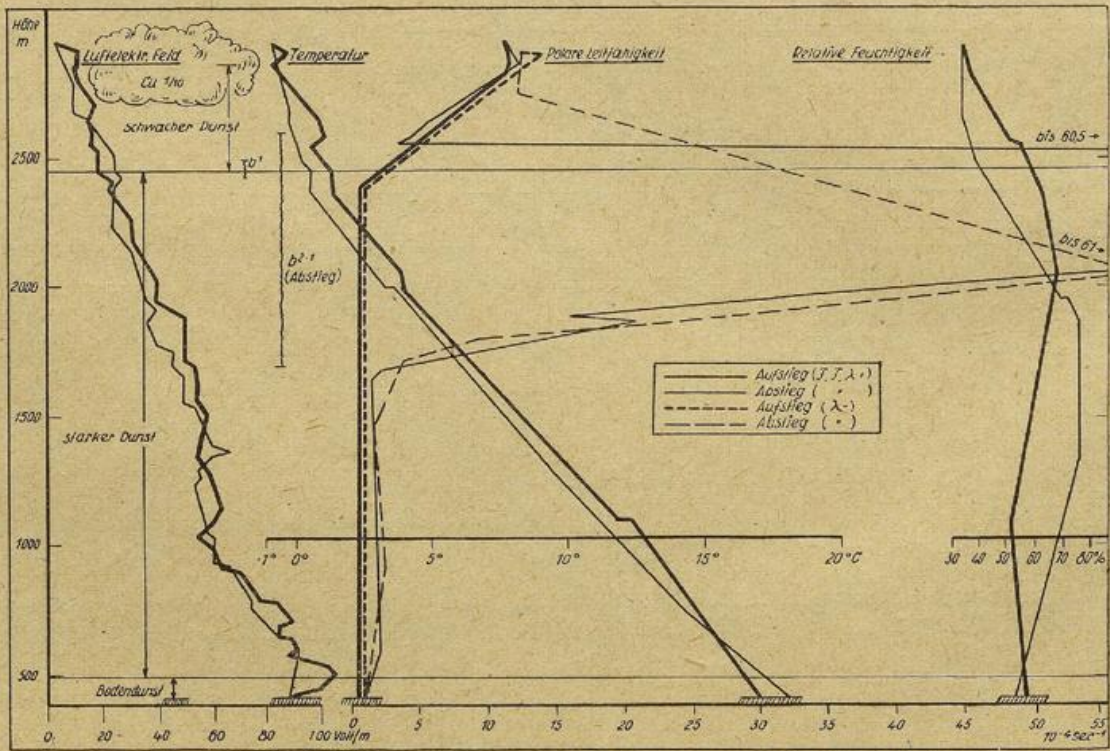
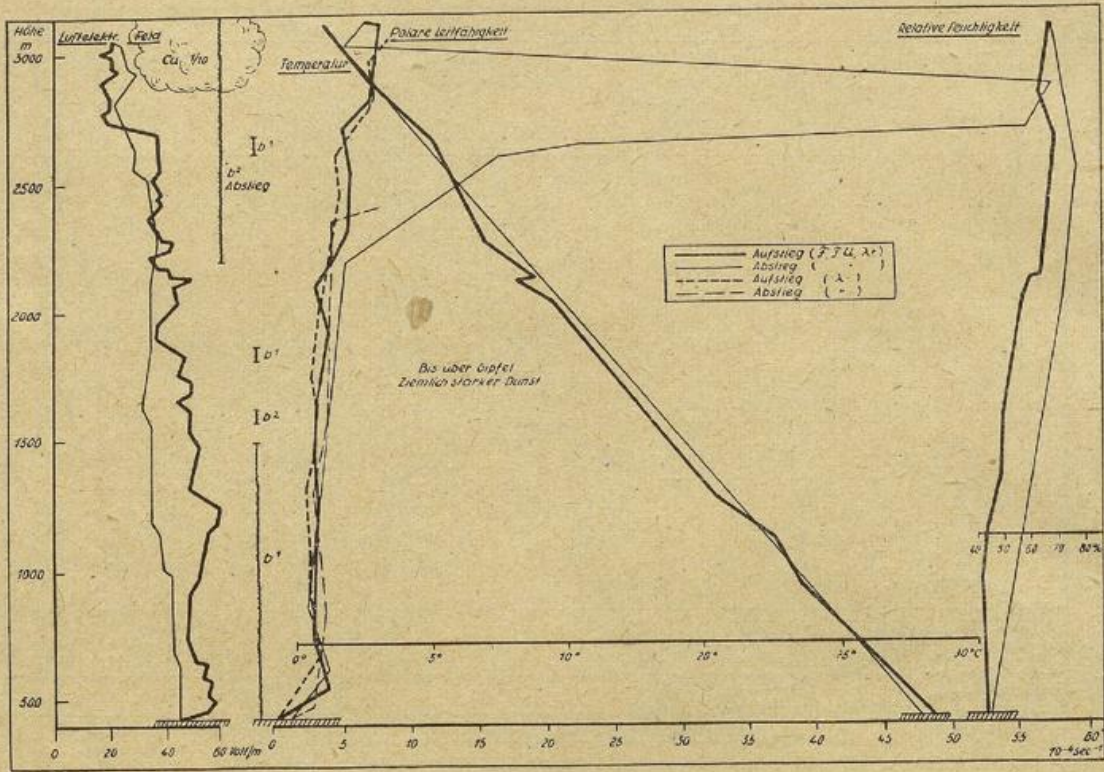


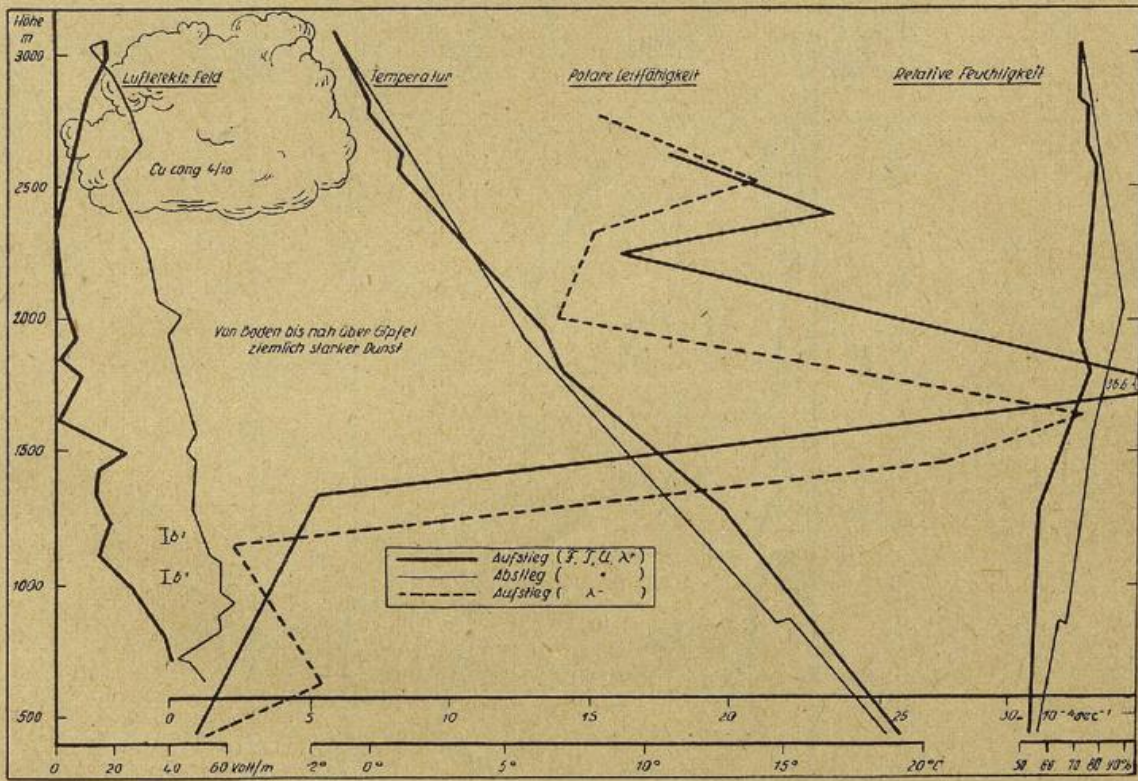
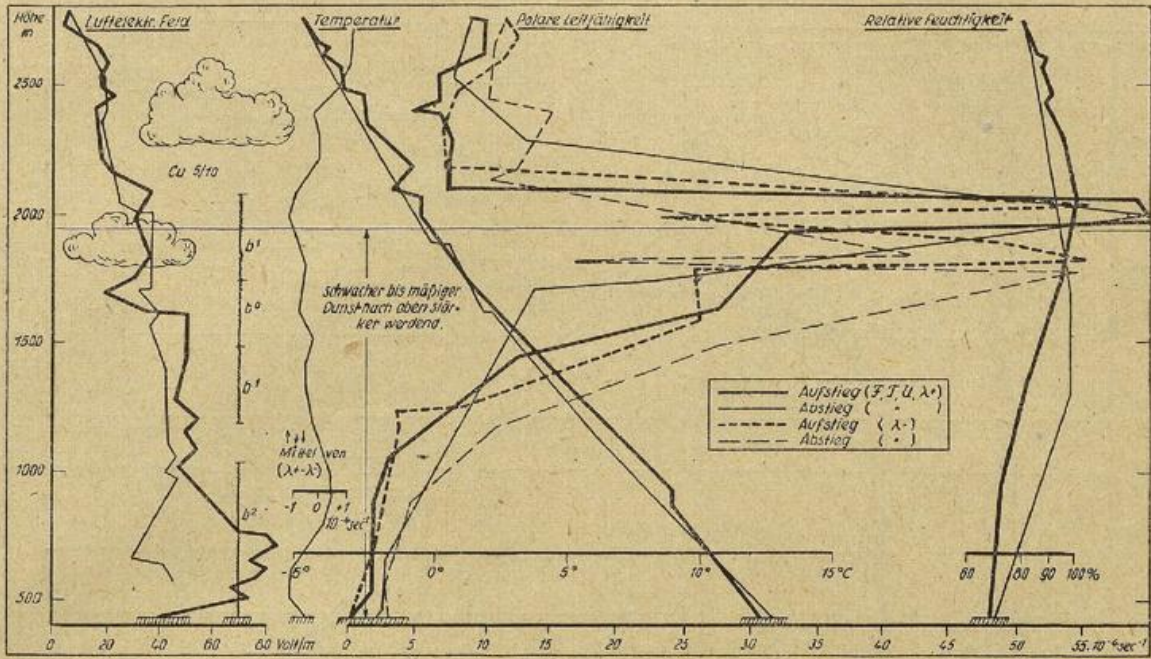
IX

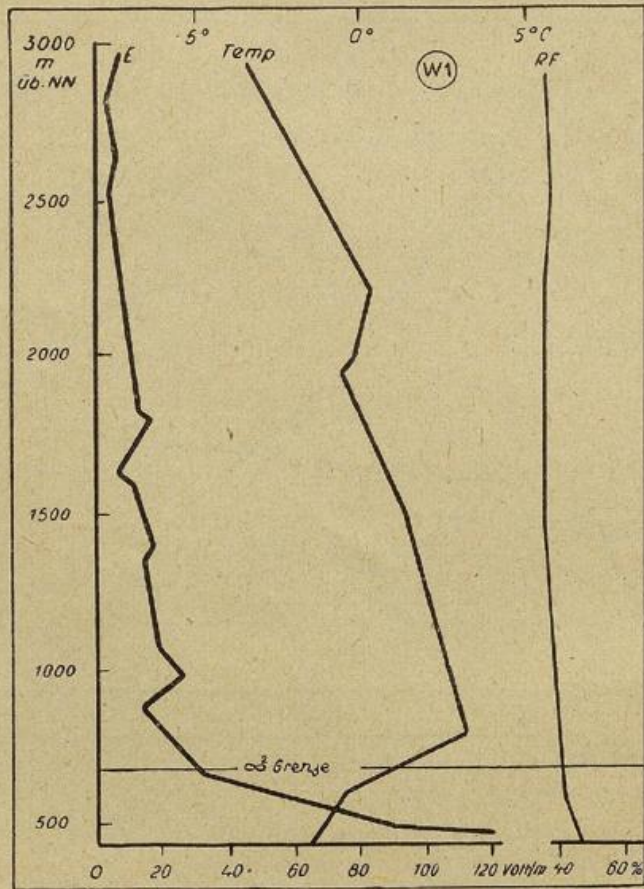
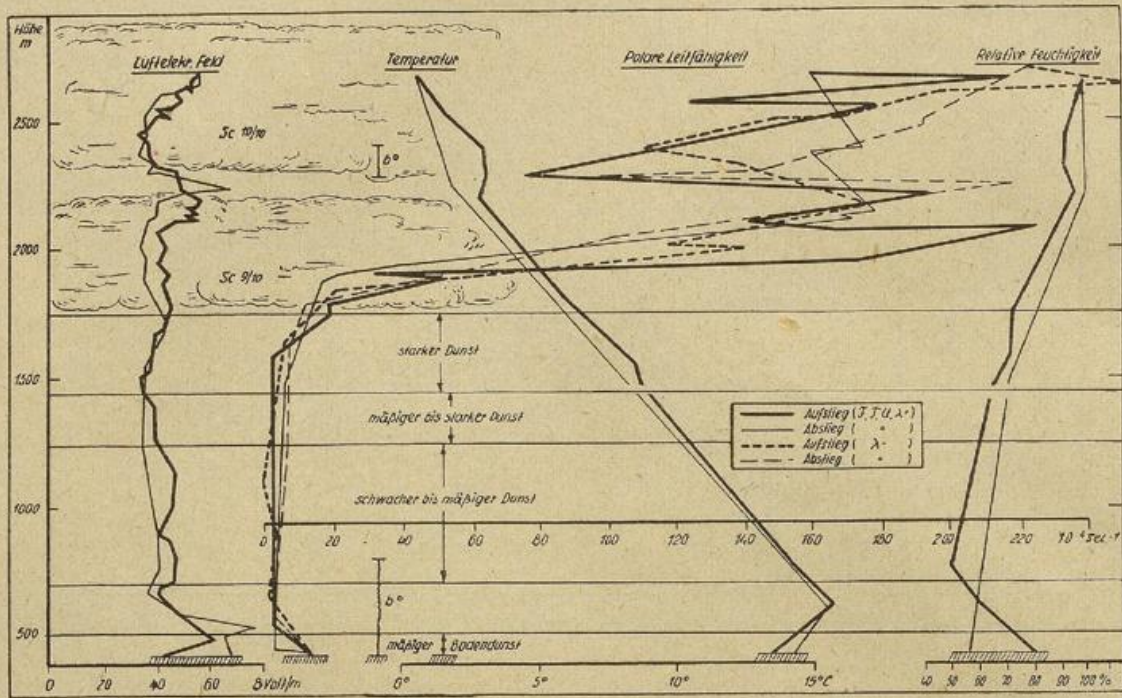


X

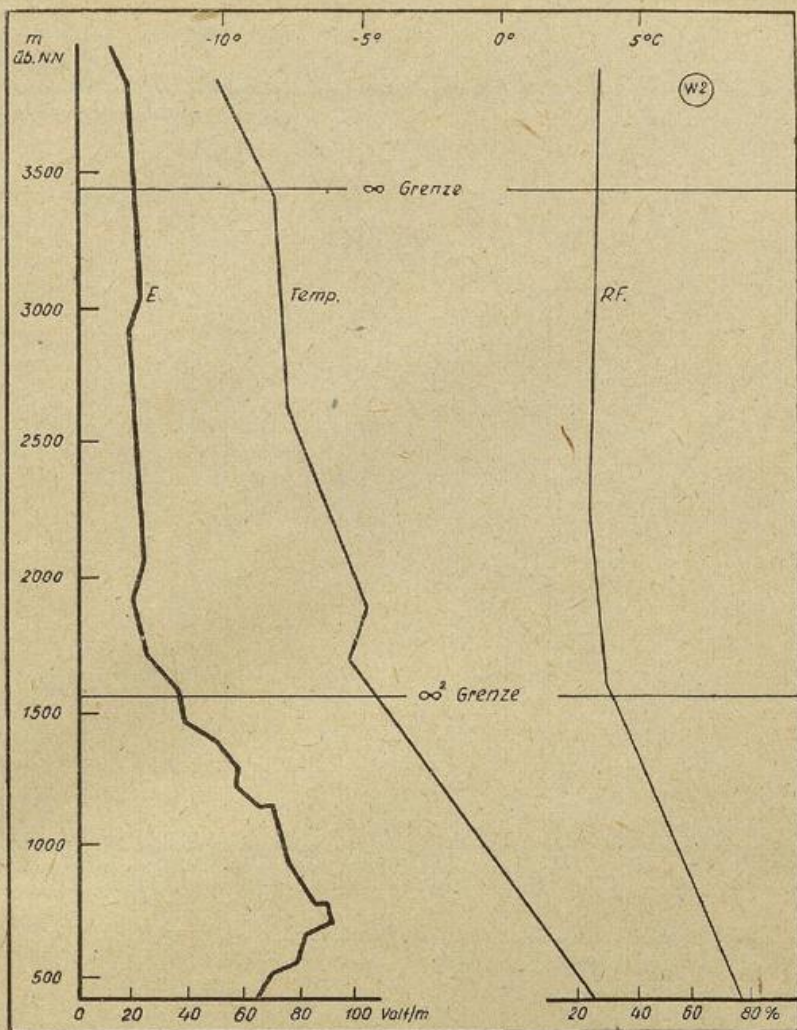




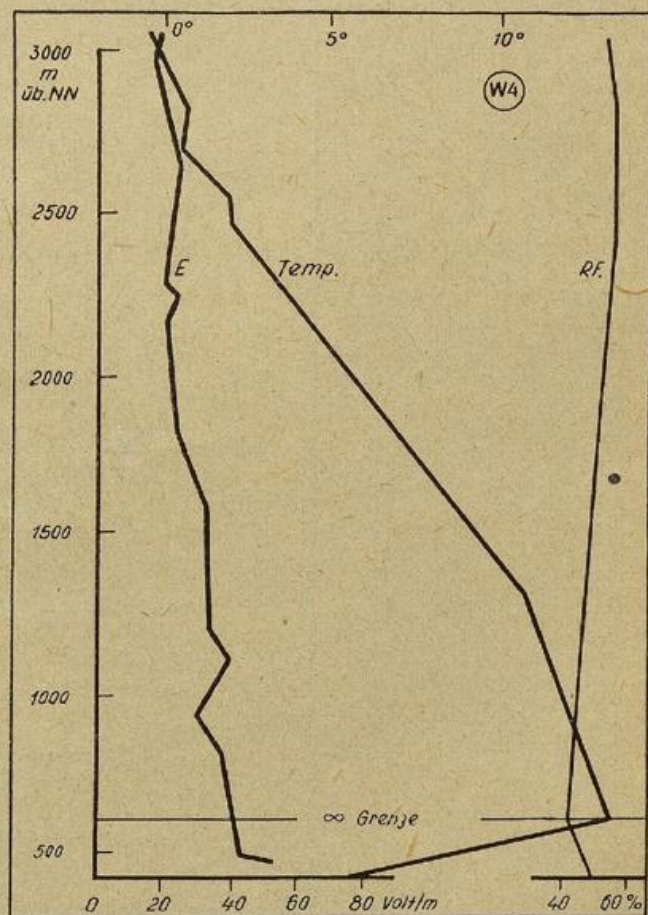


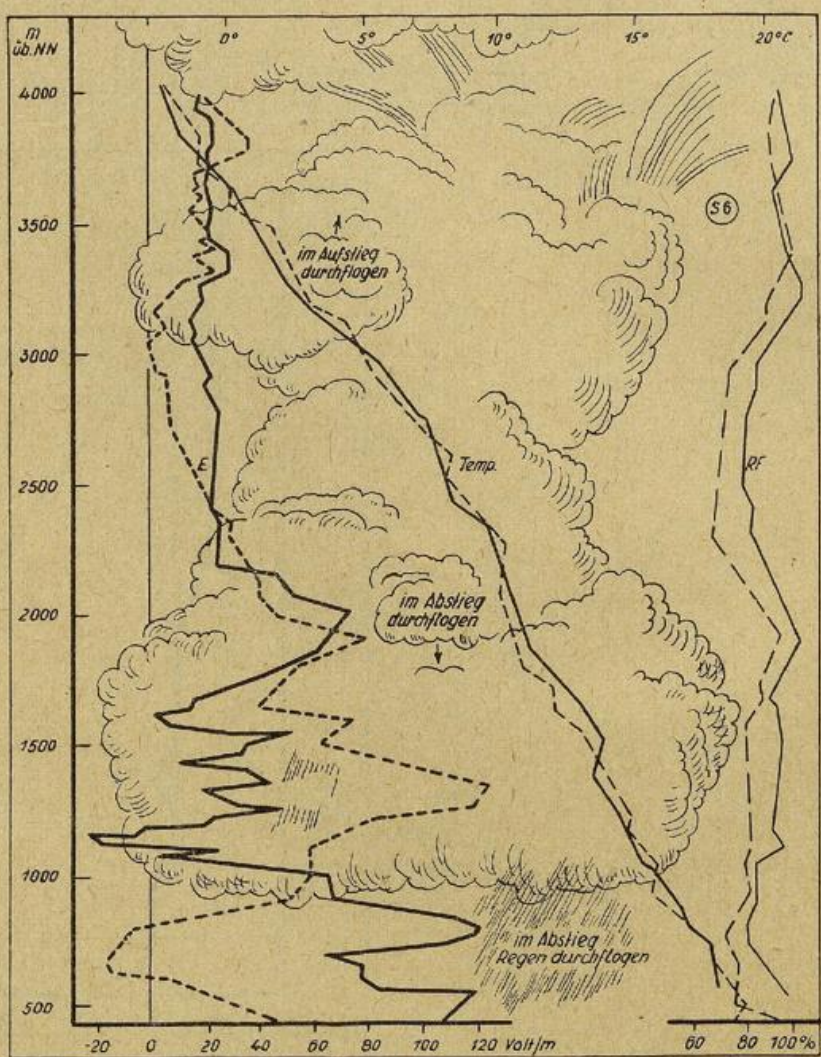
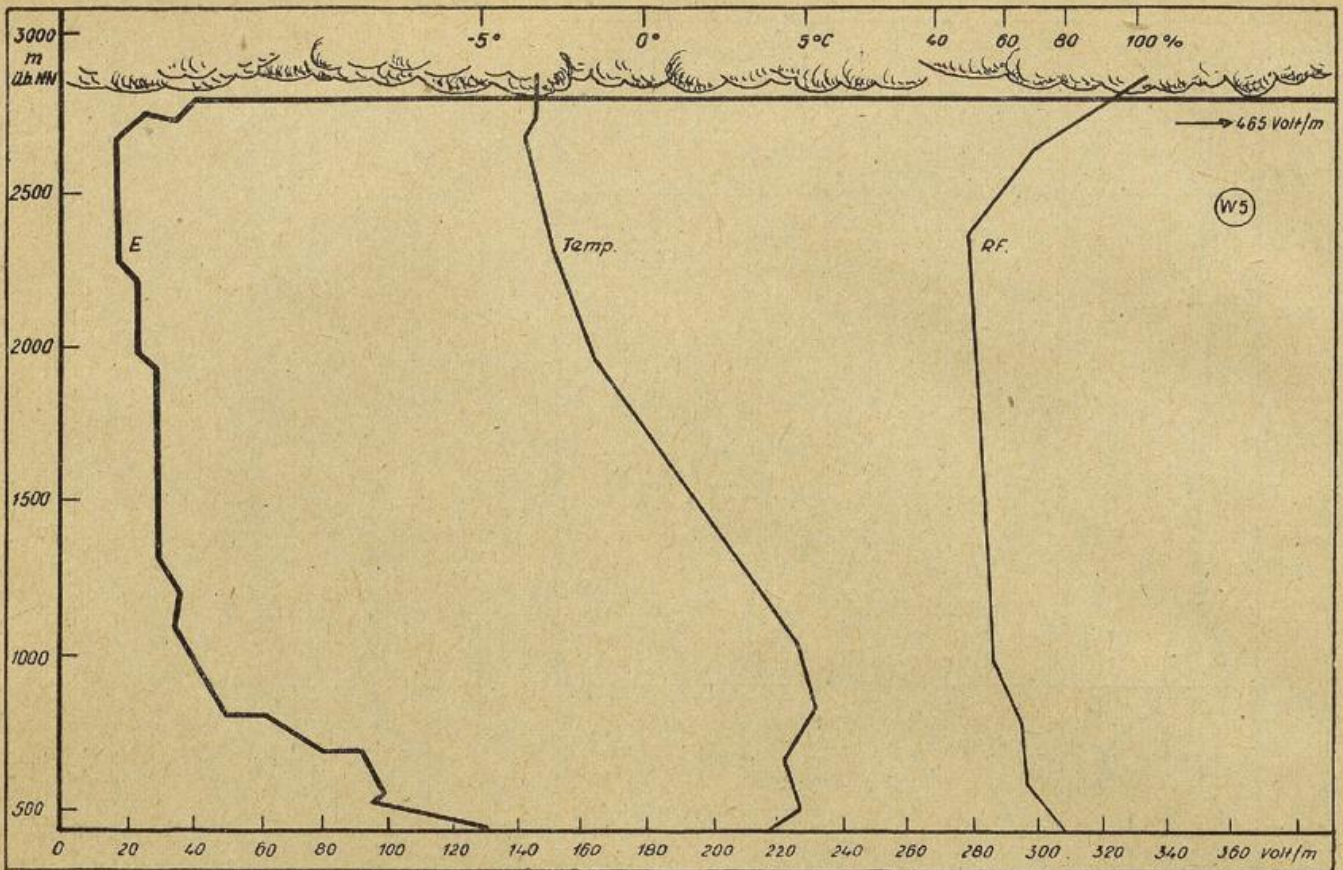


XVII



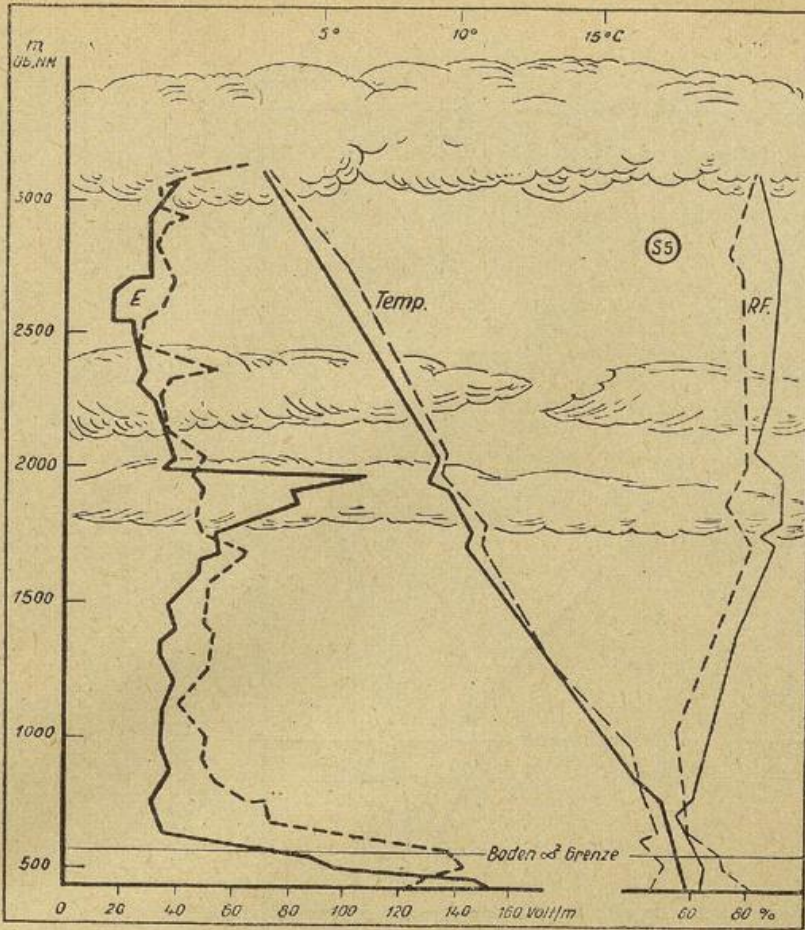
XVIII



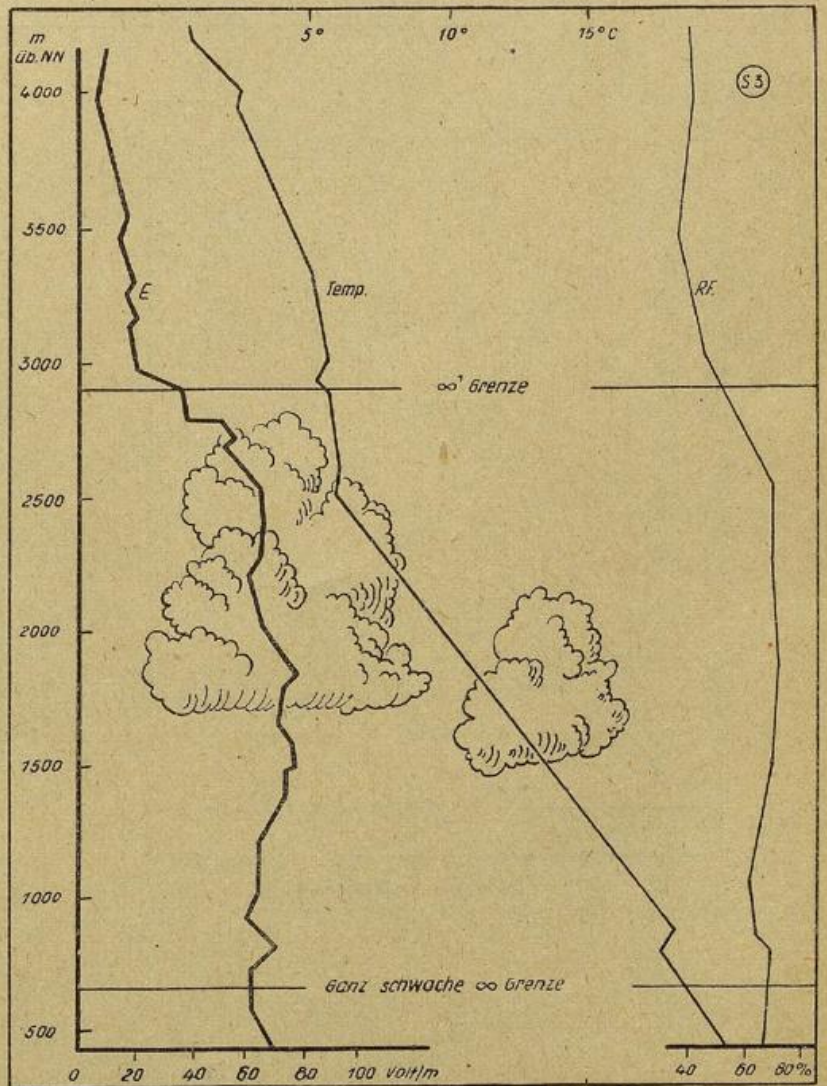


← XX

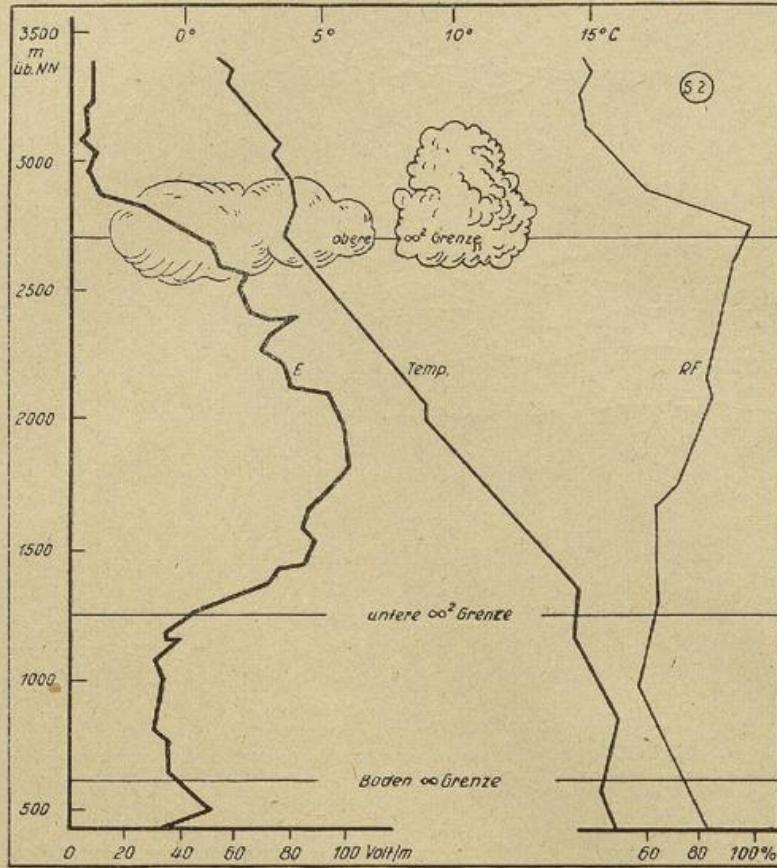
XXI



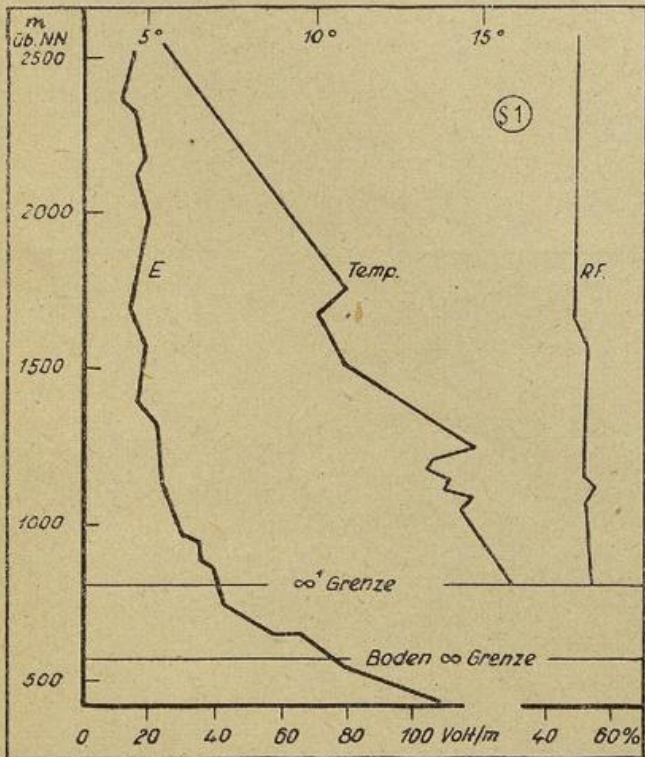
XXII



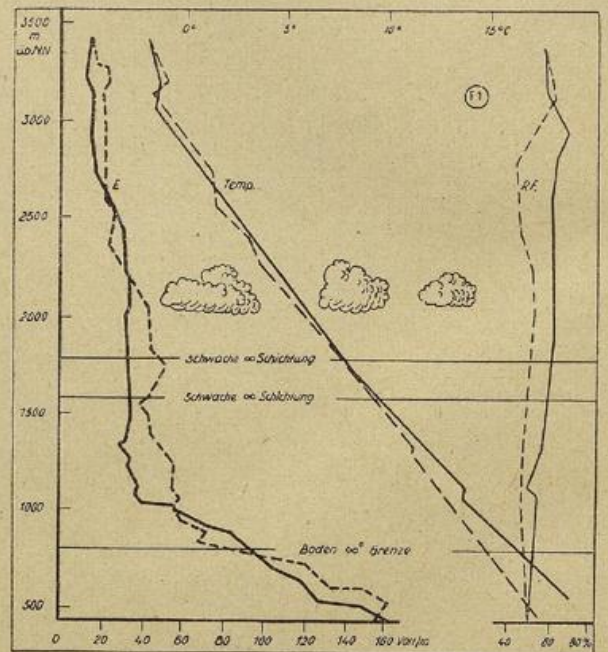
XXIII



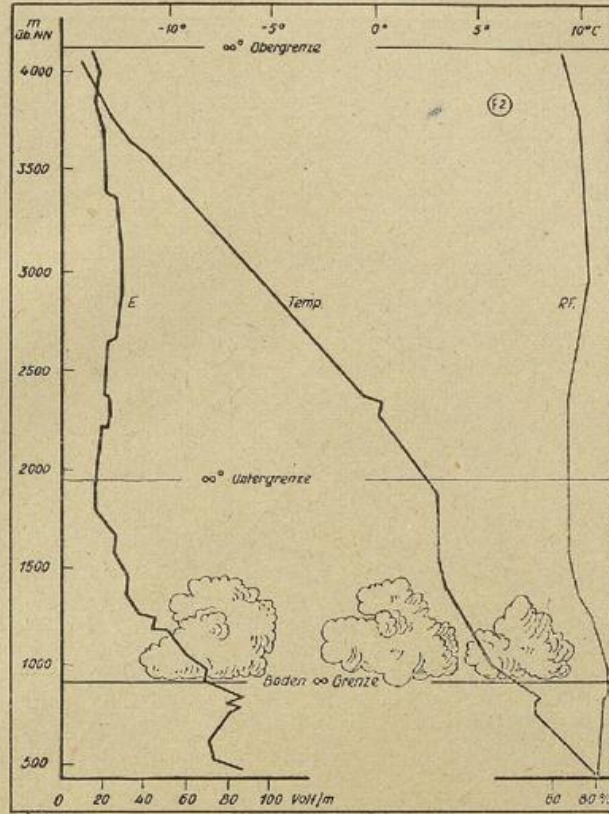
XXIV



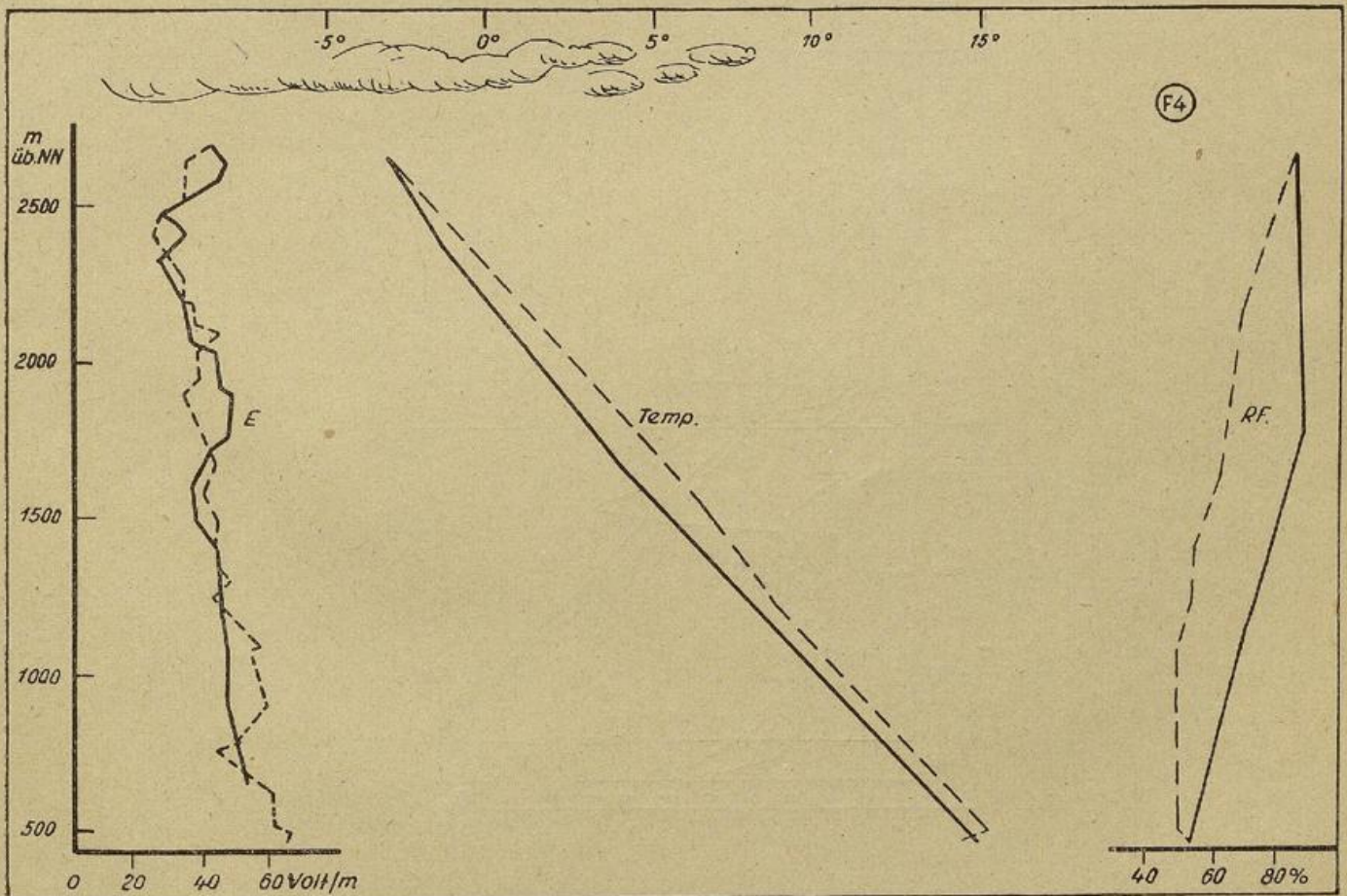
XXV

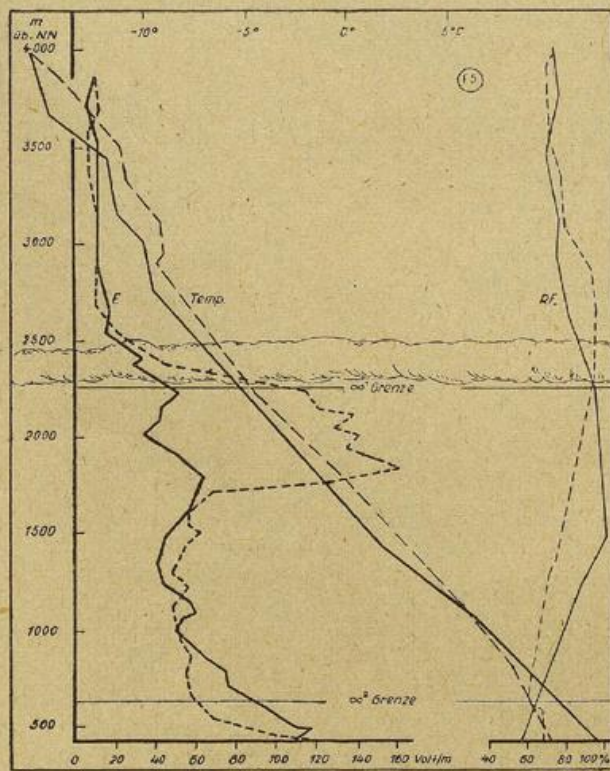
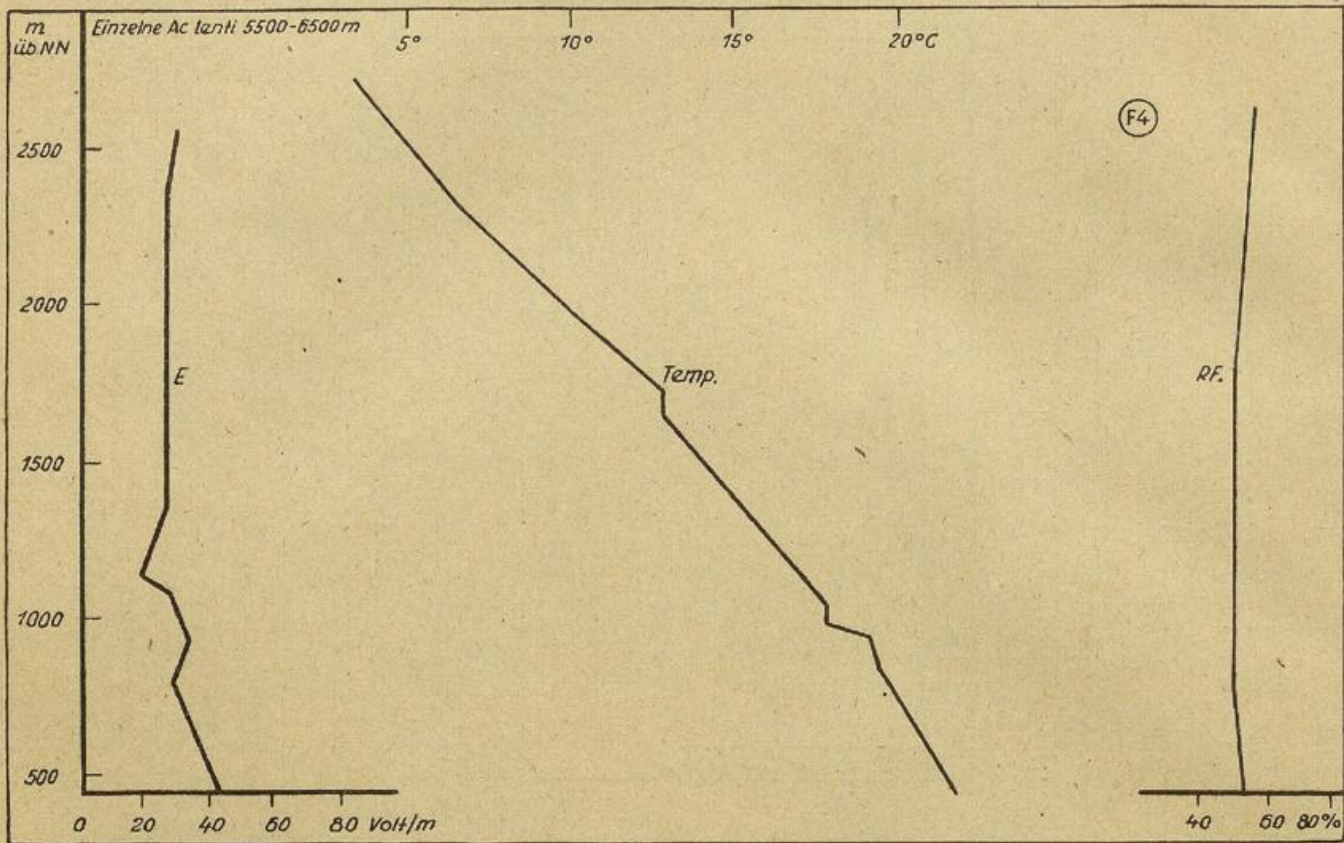


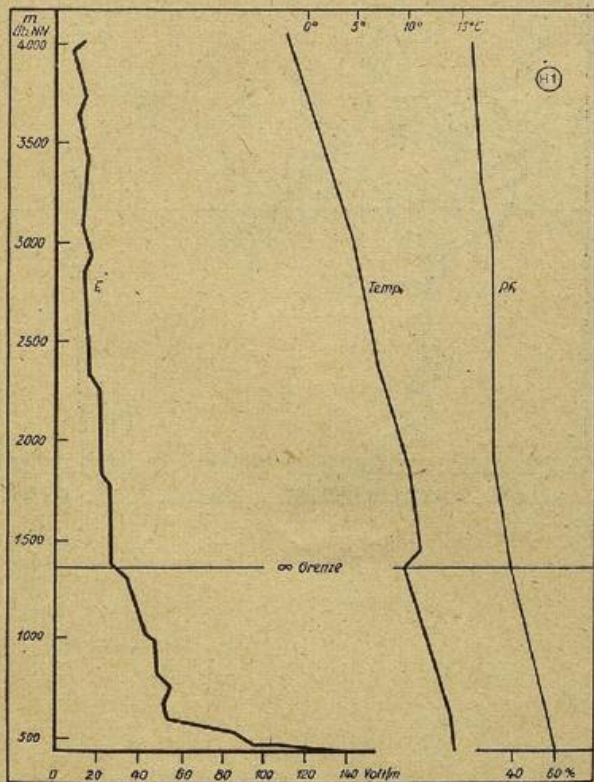
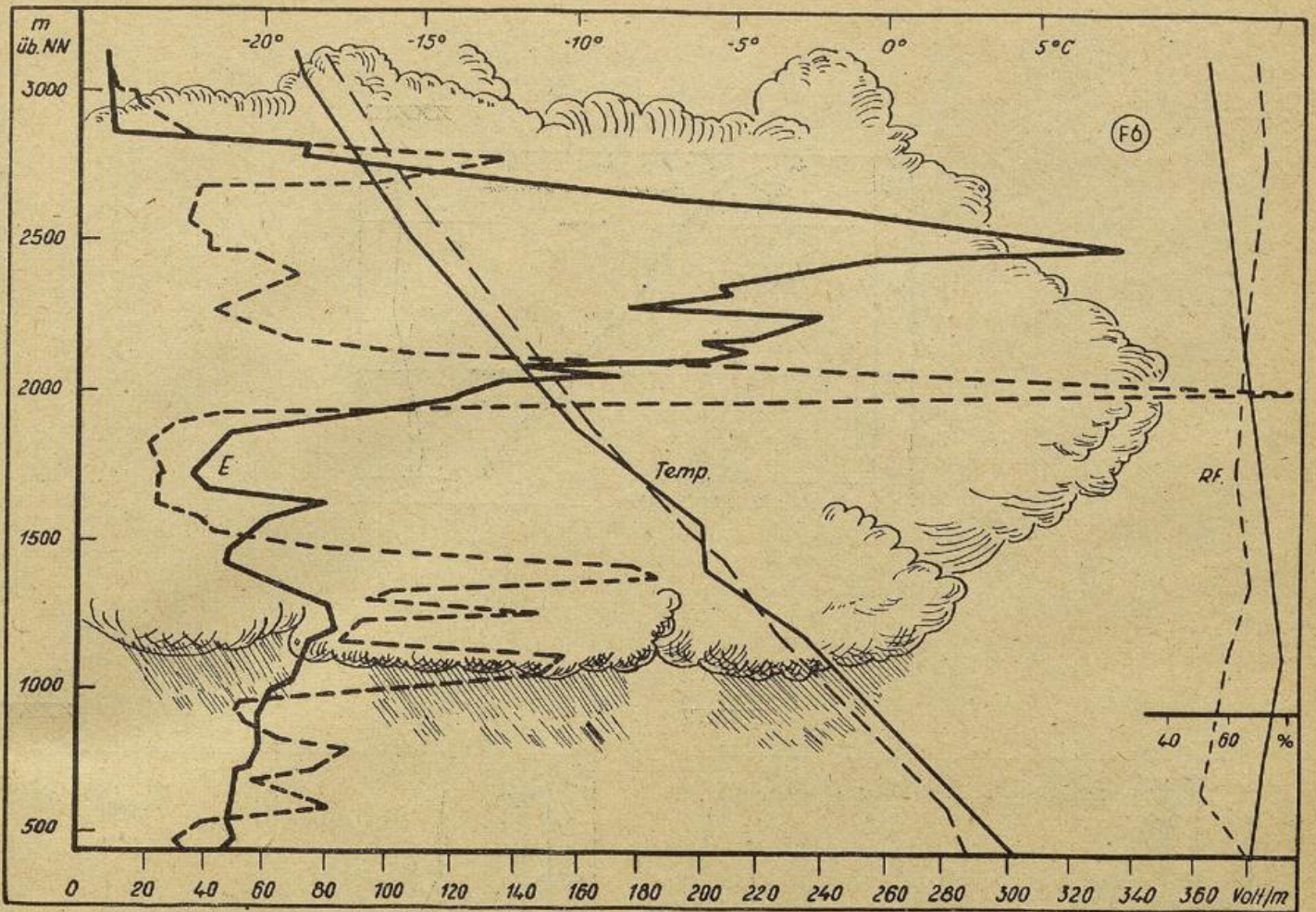
XXVI



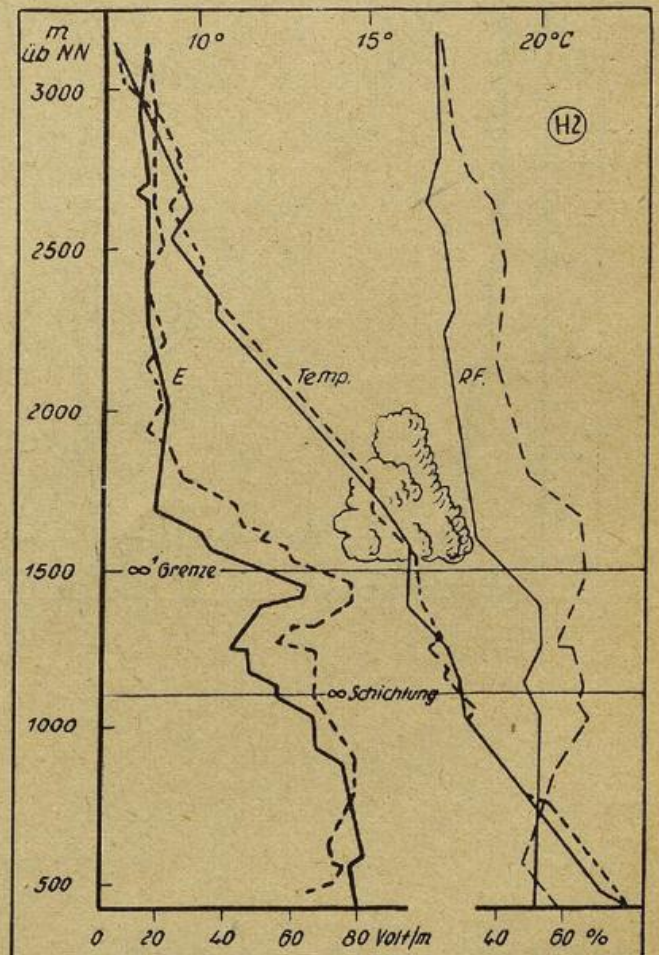
XXVII



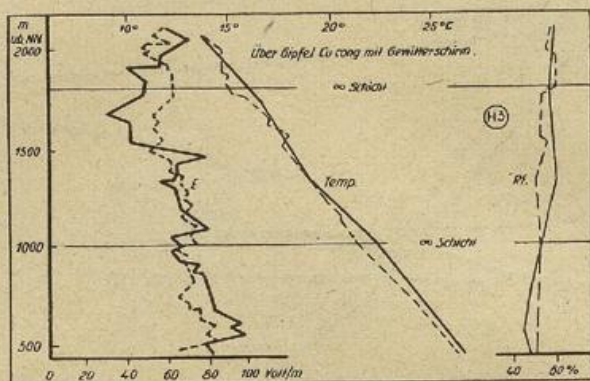




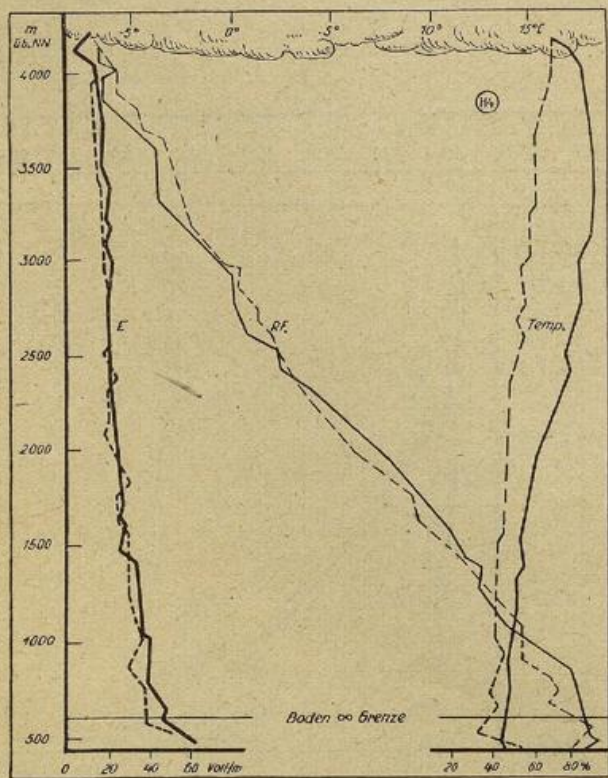
XXXII



XXXIII



XXXIV



XXXV

