

## Werk

**Jahr:** 1936

**Kollektion:** fid.geo

**Signatur:** 8 GEOGR PHYS 203:12

**Digitalisiert:** Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

**Werk Id:** PPN101433392X\_0012

**PURL:** [http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X\\_0012](http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0012)

**LOG Id:** LOG\_0029

**LOG Titel:** Versuche zur Registrierung der Helligkeit mittels photographischer Methode für unbemannte Aufstiege

**LOG Typ:** article

## Übergeordnetes Werk

**Werk Id:** PPN101433392X

**PURL:** <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X>

**OPAC:** <http://opac.sub.uni-goettingen.de/DB=1/PPN?PPN=101433392X>

## Terms and Conditions

The Goettingen State and University Library provides access to digitized documents strictly for noncommercial educational, research and private purposes and makes no warranty with regard to their use for other purposes. Some of our collections are protected by copyright. Publication and/or broadcast in any form (including electronic) requires prior written permission from the Goettingen State- and University Library.

Each copy of any part of this document must contain these Terms and Conditions. With the usage of the library's online system to access or download a digitized document you accept the Terms and Conditions.

Reproductions of material on the web site may not be made for or donated to other repositories, nor may be further reproduced without written permission from the Goettingen State- and University Library.

For reproduction requests and permissions, please contact us. If citing materials, please give proper attribution of the source.

## Contact

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen  
Georg-August-Universität Göttingen  
Platz der Göttinger Sieben 1  
37073 Göttingen  
Germany  
Email: [gdz@sub.uni-goettingen.de](mailto:gdz@sub.uni-goettingen.de)

## Versuche zur Registrierung der Helligkeit mittels photographischer Methode für unbemannte Aufstiege

Von Justus Petri — (Mit 14 Abbildungen)

Die Arbeit stellt einen Versuch zur Registrierung der vertikalen und gesamten Helligkeit mittels einer photographischen Methode bei unbemannten Aufstiegen dar. Konstruktiv ist für ein Gerät zur Helligkeitsregistrierung natürlich ein einfacher Aufbau erwünscht. Es muß unempfindlich sein gegen Erschütterung und Pendelbewegung. Außerdem soll es, wenn irgend möglich, ein niedriges Gewicht haben. Registriergeräte, die mit einem Galvanometer, gleich welcher Art, arbeiten, können diesen Anforderungen kaum genügen. Robitzsch plante daher, den Vorgang der Schwärzung des photographischen Films durch Licht für Helligkeitsmessungen bei Registrieraufstiegen zu verwerten. Bei der Registrierung sollte der Film mit Hilfe eines Spezialuhrwerks transportiert werden. Seine verschiedenen Schwärzungsgrade sollten nach der Entwicklung mit Hilfe einer Photozelle ausgemessen werden. Die Registrierungen in dieser Arbeit beschränken sich auf einen Spektralbereich von 490 bis 540  $\mu\mu$ . Für diesen Bereich wurde bei dem Registrierfilm eine gleichmäßige Empfindlichkeit angenommen. Die Begrenzung des Spektralbereichs geschah durch ein einwandfreies Grünfilter. Registriert wurde mit orthochromatischem Zeiss-Kinefilm.

*Assmanns Registrierungen.* In Lindenberg hatte schon Assmann versucht, die Helligkeitsänderung bei veränderter Höhe registrierend zu erfassen<sup>1)</sup>. Auf der Trommel eines Marvin-Meteorographen wurde photographisches Papier unter einer Spaltöffnung hinter Gelbfiltern bei Drachenaufstiegen belichtet. Die Messungen wurden photometrisch nicht weiter verwertet. Aus den Schwärzungen des Papiers wurde auch wohl nur auf die Höhe und Ausdehnung von Wolken-schichten geschlossen. Dieser Gedanke, photographische Schwärzungen für Helligkeitsmessungen bei Registrieraufstiegen zu benutzen, wurde in wesentlich veränderter Form von Robitzsch wieder aufgenommen.

**Vorversuche.** *Bodenregistriergerät von Robitzsch.* Zwecks Prüfung der Brauchbarkeit einer photographischen Methode zur Helligkeitsmessung wurde von Robitzsch ein Bodenregistriergerät gebaut (Fig. 1). Dieses Gerät setzt sich aus drei Hauptbestandteilen zusammen: 1. einem in dreifacher Ausführung vorhandenen optischen Teil, bestehend aus Milchglas, Filterglas und Blenden, dem

Film und Spalt, der nur die Belichtung eines schmalen Streifens zuläßt; 2. einer licht- und luftdichten Umhüllung des Gerätes und 3. einem Spezialuhrwerk mit der Registriertrommel. — Die drei zylinderförmigen Objektive enthalten als oberen Abschluß je eine Milchglasscheibe zum Auffangen der Strahlung. Darunter liegen, leicht auswechselbar, Filter und Blenden. Bei dieser Anordnung hat man die Möglichkeit, die gleichzeitige Registrierung in drei Spektralbereichen beliebig zu variieren. Die Durchlässigkeit des Milchglases beträgt etwa 4%. Die spektrale Durchlässigkeit des verwandten Grünfilters liegt zwischen 490 und 540  $\mu\mu$ . Die bei den Registrierungen dieses Gerätes verwandte Blende hat einen Durchmesser von  $\frac{3}{10}$  mm. Die Umhüllung des Gerätes besteht aus einem Messing-

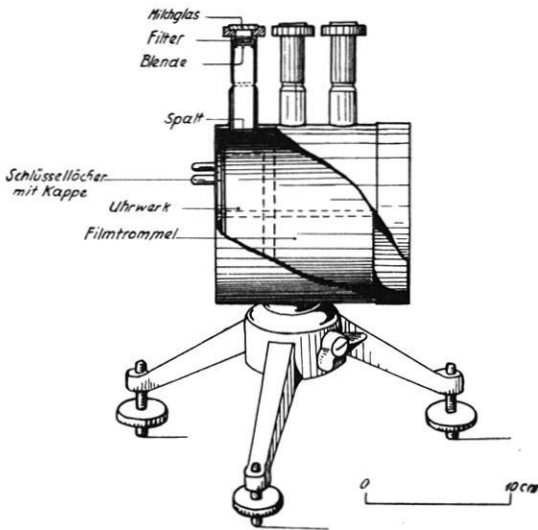


Fig. 1  
Apparat von Robitzsch zur Registrierung der Helligkeit  
mittels photographischer Schwärzung

gehäuse, das mit einem aufgesteckten Deckel verschlossen wird. Auf dem Gehäuse befinden sich oben drei Zylinder von 2 cm Durchmesser, in die die Optik hineingeschoben wird. Vollkommen neuartig an dem Registriergerät ist das Uhrwerk. Für quantitative Strahlungsmessungen dieser Art kann ein normales Uhrwerk nicht verwandt werden, da seine Achsdrehung, und somit die Drehung der Registriertrommel, nicht gleichmäßig genug vonstatten geht. Belichtet man photographisches Papier, das von einem normalen Registrieruhrwerk hinter einer Spaltöffnung transportiert wird, mit konstanter Beleuchtungsstärke, so sieht man nach der Entwicklung deutlich stärkere und schwächere Streifen. Nach Angaben von Robitzsch wurde bei Rampmeier das Spezialuhrwerk für Messungen am Boden gebaut. Das Werk besteht aus zwei selbständigen Teilen mit je einer Feder.

Das Hauptfederwerk hebt nach je 6 Minuten eine Sperrklinke, die dem angebauten Transportwerk den Weg zum Weitertransport der Registriertrommel freigibt. Die Trommel hat einen Durchmesser von 11 cm. Ruckartig wird sie alle 6 Minuten um etwa 1.2 mm weitergedreht. 6 Minuten lang wird unter einem Spalt von  $\frac{6}{10}$  mm Breite der Film belichtet. Diese Streifen wechseln ab mit unbelichteten Zwischenstreifen, die eine Kontrolle des Films auf Verschleierung gestatten.

*Milchglas als Auffangfläche der Strahlung.* Zunächst wurde zur Registrierung der Gesamthelligkeit das Licht aufgefangen mittels einer diffus geschliffenen Milchglasscheibe. Bei ebenen Flächen ändert sich die Beleuchtungsstärke proportional dem Kosinus des Einfallswinkels. Diese Beziehung gilt jedoch nur bedingt; bei großen Einfallswinkeln treten erhebliche Abweichungen auf. Diese Abweichungen sind bei diffus geschliffenen Gläsern etwas geringer als bei normal polierten Gläsern. Schon kurze Zeit nach der Aufstellung des Registrierapparates wurde, verursacht durch Eindringen von feinem Schmutz und Staub in die Unebenheiten des diffus geschliffenen Milchglases, eine erhöhte Absorption festgestellt. Die geringe Verbesserung in Richtung einer kosinusgetreuen Registrierung war somit vollkommen hinfällig. Eine diffus geschliffene Milchglasscheibe müßte täglich gereinigt werden; trotzdem würde sich wohl allerfeinster Staub allmählich so tief festsetzen, daß seine Entfernung mit mechanischen und chemischen Mitteln das Glas angreifen würden. Durch den Verschmutzungs- und Reinigungsprozeß würden Alterungserscheinungen in den absorbierenden Eigenschaften des Glases auftreten. Verwendet man diffus geschliffenes Milchglas bei irgendwelchen Strahlungsmessungen mit Photozellen, und will man aus irgendwelchen Spannungsänderungen Rückschlüsse auf Alterungserscheinungen der Zelle machen, so muß man die Änderung des Absorptionskoeffizienten der Filter natürlich berücksichtigen. Um Alterungserscheinungen des Filterglases auszuschalten, wurde das diffus geschliffene Milchglas im Registrierapparat durch solches mit normal glatter Oberfläche ersetzt.

*Vergleichsregistrierung mit einer Photozelle.* Gleichzeitig mit der Filmregistrierung der Helligkeit wurde mit einer Selen-Sperrschicht-Photozelle der Süddeutschen Apparate-Fabrik registriert. Bei der Zellenregistrierung wurde Milch- und Filterglas aus dem gleichen Stück wie bei dem Filmregistriergerät verwandt. Für den Durchlässigkeitsbereich des Grünfilters wurde eine gleichmäßige Empfindlichkeit zwischen Zelle und Film angenommen. Mit einem Absolutinstrument sind die registrierten Helligkeiten nicht verglichen. Ebenfalls nicht untersucht wurde bei der Photozelle der Alterungsvorgang und der durch Polarisation des Photostromes hervorgerufene Spannungsabfall. Die Photozelle war in Lindenberg mit Unterbrechung ungefähr 1 Jahr lang im Freien montiert. Während dieser Zeit wurde einmal ein 100%iger Spannungsabfall festgestellt, der auf Kurzschluß zurückzuführen war. In die Zelle war Feuchtigkeit eingedrungen und hatte ein Anrosten der eisernen Grundplatte verursacht. Da das Oxyd ein größeres Volumen einnahm als das Eisen, konnte es die dünne Schicht des Halbleiters am

Rande der Zelle überbrücken. Nach Entfernung des Oxyds konnte die Zelle wieder verwandt werden.

*Die Photometrierung der Registrierfilme.* Die Photometrierung der Filme geschah automatisch in einem primitiven Photometer eigener Konstruktion. Als Lichtquelle diente eine Soffittenlampe von 6 bis 8 Volt mit einem Stromverbrauch von 0.5 Ampere. Der Glühfaden hatte eine Länge von 2.5 cm und reichte somit fast über die ganze photometrierbare Breite des Films. Die Lampe war seitlich verschiebbar angebracht. Den Strom für die Photometerlampe lieferten drei parallel geschaltete Akkumulatorenbatterien älteren Datums. Von einem Uhrwerk wurde der Film in einer Gleitbahn mit einer Geschwindigkeit von 15 cm in der Stunde unmittelbar an einem Spalt von 0.2 mm Breite vorübergeführt. Ein zweiter Spalt, der zum ersten senkrecht stand und über die auszuphotometrierende Breite des Films verschiebbar war, ließ von dem Film jeweils nur ein schmales Stück von 1.6 mm Breite frei. Das Licht der Photometerlampe fiel durch die Öffnung der gekreuzten Spalte auf eine Selenzelle, an die ein Spiegelgalvanometer mit einem inneren Widerstand von 60 Ohm angeschlossen war. Durch einen parallel geschalteten Widerstand von 150 Ohm, der die Schwingungen des Galvanometers genügend dämpft, wurde der Gesamtwiderstand auf rund 43 Ohm herabgesetzt. Die von der Zelle gelieferte Stromstärke wurde mittels des Spiegelgalvanometers optisch registriert auf einer mit Bromsilberpapier belegten Trommel zweistündiger Umlaufszeit.

*Proportionalität zwischen Helligkeit und Photostrom.* Es ist natürlich wesentlich, zu wissen, ob im Stromkreis des Photometers eine lineare Beziehung zwischen der Helligkeit und dem registrierten Photostrom besteht.

Nimmt man die Helligkeit der Photometerlampe zu zwei Hefnerkerzen an, so würde bei etwa 4 cm Entfernung zwischen Lampe und Zelle, ohne Abblendung, eine Beleuchtungsstärke von 625 Lux auf die Gesamtfläche der Zelle gelangt sein. Durch die Anordnung der zwei gekreuzten Spalte belichtete der Glühfaden der Lampe nur die Mitte der Selenzelle. Dadurch wurde weniger als ein Zehntel der Zellenoberfläche belichtet. In Wirklichkeit war die Beleuchtungsstärke noch erheblich geringer als 60 Lux, da die äußersten Enden der Glühfadenlänge wegen der geringen Breite der Spalte nicht mehr abgebildet wurden. Bestand nun bei dieser Beleuchtungsstärke noch Proportionalität zwischen Helligkeit und Photostrom? Aufschluß darüber liefern Untersuchungen von Bergmann. Sie sind in der *Physikalischen Zeitschrift* publiziert<sup>2)</sup>. Aus den Kurven geht hervor, daß bei einer Beleuchtungsstärke von 60 Lux selbst bei weit größeren Beleuchtungen, in Stromkreisen mit größeren Widerständen, noch Proportionalität zwischen Beleuchtungsstärke und Photostrom vorhanden ist. Man kann also annehmen, daß der Galvanometerausschlag dem Photostrom und somit der Absorption der Filme proportional war.

Akkumulatoren zeigen unmittelbar nach dem Einschalten einen Spannungsabfall; ein weiterer Spannungsabfall besteht nach dem Belichten der zur Photo-

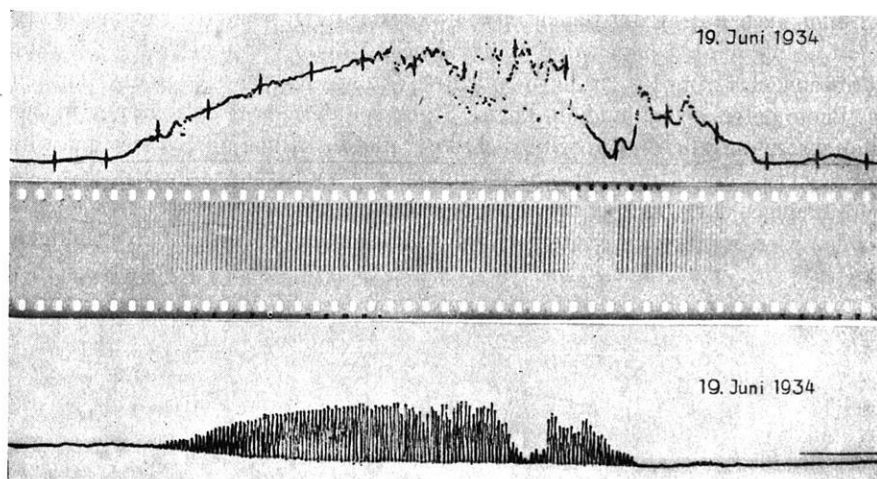


Fig. 2  
Helligkeitsregistrierungen an einem Tage mit Bewölkung

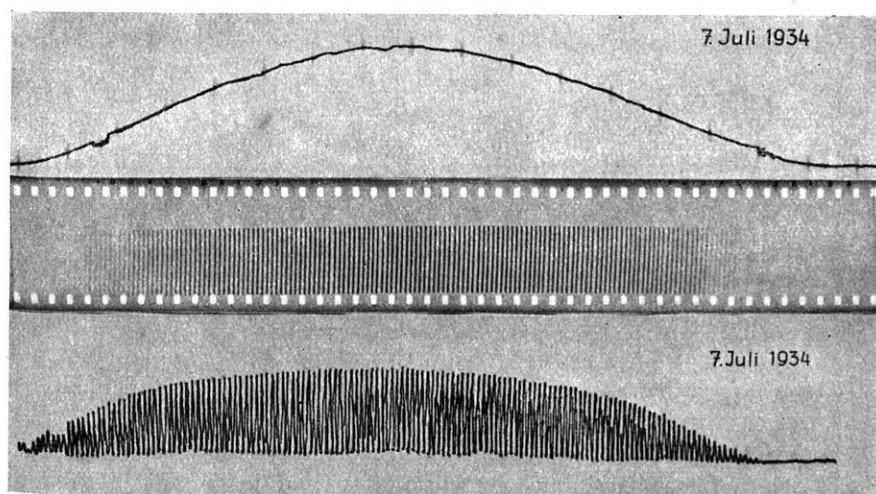


Fig. 3  
Helligkeitsregistrierungen an einem wolkenlosen Tage

Fig. 2 und 3. Oben: Photozellenregistrierung  
Mitten: Registrierfilm  
Unten: Photometrierung des Films

metrierung verwandten Photozellen. Der Strom im Photometer floß erst etwa 1 Stunde nach Beginn der Belichtung mit konstanter Intensität. Der Spannungsabfall betrug dann weniger als 1% pro Stunde. Beim Photometrieren der Filme wurde zunächst etwa  $1\frac{1}{2}$  Stunden belichtet; dann wurde der Film in die Gleitbahn des Photometers gelegt und ein kurzes Stück vor der ersten Schwärzung mit der Photometrierung begonnen. Unbelichtete Teile des Films absorbieren natürlich das wenigste Licht und stellen Maxima der Photostromstärke zwischen den Schwärzungen dar. Die Maxima liegen bei einwandfreien Filmen auf einer Geraden. Bei den wiedergegebenen Photometrierungen liegen diese Werte größter Helligkeit unten.

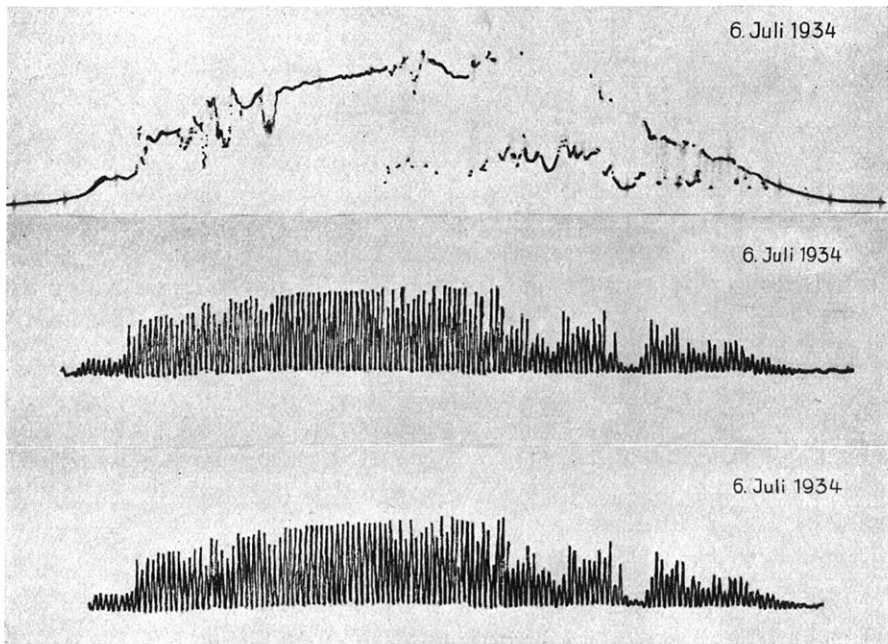


Fig. 4

Photozellenregistrierung und zweimalige Photometrierung eines Registrierfilms

*Registrierungen am Boden.* Einige Helligkeitsregistrierungen mit der Selenzelle, Registrierfilme und Filmphotometrierungen sind in den Fig. 2 bis 4 als Beispiele der Registrierung wiedergegeben. Zusammengestellt sind jedesmal die Registrierungen eines Tages. Die erste Registrierung auf jeder Figur ist der mit einem Spiegelgalvanometer registrierte Strom einer Selenzelle. Die Mitte zeigt einen Film aus dem Registrierapparat von Robitzsch. Unten ist dann die Photometrierung des Filmstreifens wiedergegeben. Die Photometrierung in Fig. 2 erfolgte mit ungedämpftem Galvanometer. In Fig. 3 ist die Registrierung der

Helligkeit an einem Tage ohne Bewölkung dargestellt. Fig. 4 zeigt zur Dokumentierung der Identität mehrerer Photometrierungen eines Films zwei Photometrierungen des gleichen Registrierstreifens. Zu jeder Schwärzung des Films gehört ein entsprechender Galvanometerausschlag. Ihm entspricht die Summe der Intensitäten der Helligkeit während einer Zeit von 6 Minuten. Diese Registriermethode von Robitzsch stellt also eine diskontinuierliche Registrierung dar; ihre Einzelwerte entsprechen auf einer kontinuierlichen Registrierkurve Integralen über eine Zeit von 6 Minuten.

An Tagen mit stark schwankender Einstrahlung ermöglicht diese Integralmethode aus den Einzelwerten einfach die Strahlungssumme einzelner Stunden oder des Tages zu ermitteln. Leider ist aber der Schwärzungsgrad des Films bei konstanter Belichtungszeit kein ganz exaktes Maß für die Strahlungssumme dieser Zeit. Belichtet man z. B. einen Film eine beliebige Zeit mit einer beliebigen Intensität, natürlich ohne ihn überzubelichten, so ist die Schwärzung des Films größer, als wenn er während der halben Zeit mit doppelter Intensität belichtet wird. [Eine stets gültige Beziehung dieses Zeitschwärzungsgesetzes ist noch nicht bekannt, obwohl für einige Spezialfälle ein formelmäßiger Zusammenhang der Variablen verwandt werden kann<sup>8)</sup>.]

Bei dieser diskontinuierlichen Registriermethode kann man natürlich nicht erwarten, bei einer Belichtungsdauer von 6 Minuten Feinheiten der Strahlungsschwankungen in der Registrierung wiederzufinden. Bei Tagen mit stark schwankender Bewölkung bleibt die Helligkeit während 6 Minuten nur selten konstant; oft kann man über 6 Minuten der Photozellenregistrierung nicht einmal einen Mittelwert bilden. Würde man versuchen, aus der Photozellenregistrierung und Filmphotometrierung eine Schwärzungs- bzw. Eichkurve zu konstruieren, so müßte man feststellen, daß nur wenige zusammengehörige Werte beider Kurven sich dazu eignen.

**Registrierungen bei Aufstiegen.** *Das Ballon-Sonde-Gerät.* Obige photographische Methode der Helligkeitsregistrierung sollte nun für vertikale Untersuchungen angewandt werden. Der beschriebene Apparat zur Registrierung der Helligkeit am Boden wurde in kleinerem Ausmaße für Registrierballonmessungen in den Lindenberger Werkstätten gebaut (Fig. 5). Die drei Bauelemente des Gerätes, Optik, Gehäuse und Uhrwerk, findet man auch hier wieder. Da auf geringes Gewicht und luftdichten Verschuß der Apparatur großer Wert gelegt wurde, zeigen sich in den Ausführungen gegenüber dem Bodenapparat einige Abweichungen.

Der Bau des Apparates begann beim Uhrwerk, dessen zweckmäßige Dimensionierung und Ausführung Uhrmachermeister Rampmeier übernahm. Der Durchmesser des zylindrischen Uhrwerkgehäuses entspricht mit 5.5 cm dem eines normalen Ballon-Sonde-Uhrwerkes. Der Durchmesser der Registriertrommel beträgt 6 cm. Dem entspricht ein Umfang der Trommel von etwa 19 cm. Legt man als Dauer eines Aufstieges 3 Stunden zugrunde, so ergibt sich daraus für 1 Minute der Registrierung auf der Filmtrommel ein Streifen von ungefähr 1 mm



Breite. Von diesem schmalen Streifen wird, wie auch in dem Apparat zur Registrierung am Boden, nur die Hälfte belichtet. Der belichtete Streifen ist breit genug, um ohne besondere Optik ein einfaches, schnelles Photometrieren zu gestatten. Eine Belichtungszeit von 1 Minute für einen Streifen von  $\frac{1}{2}$  mm Breite war daher für zweckmäßig gehalten worden. Während bei kürzeren Belichtungszeiten der einfache Transport des Films im Registrierapparat nicht mehr möglich war, wurden bei längeren Zeiten die Feinheiten in der Registrierung allzusehr überdeckt. Leider transportierte das Uhrwerk bei den Versuchen dieser Arbeit die Registriertrommel noch nicht ganz gleichmäßig. Beim Ablaufen der Uhr wurde einmal eine Abweichung von 5% von der einminütigen Belichtungszeit mit

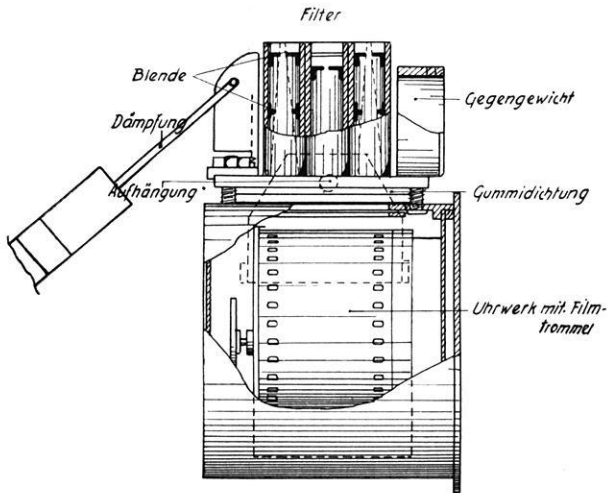


Fig. 5  
Apparat zur Helligkeitsmessung für Registreraufstiege

der Stoppuhr gemessen. Im übrigen waren Abweichungen größer als 2.5% selten. Innerhalb dieser Grenze traten Schwankungen in der Belichtungszeit jedoch häufig auf. Nachteilig bemerkbar machte sich bei der Konstruktion des Apparates, daß das Uhrwerk nicht mit einer Arretiervorrichtung versehen war. Es mußte deshalb jedesmal kurz vor dem Start aufgezogen werden. Beim Einbauen in das luftdicht verschlossene Gerät mußte auf diese Tatsache Rücksicht genommen werden. Außerdem war folgendes zu beachten: Die Änderung des Luftdruckes bei einem Registreraufstieg verursacht eine geringe Deformation des Gehäuses, die der Formänderung einer Vididose entspricht. Schraubt man das Uhrwerk auf eine der ebenen Flächen, die das Gehäuse nach außen abschließen, so tritt durch die mechanische Verbindung beider Teile auch eine Übertragung der Formänderung auf das Uhrwerk ein. — Zur Sicherung einer einwandfreien Registrierung war es außerdem erforderlich, den Apparat luftdicht zu verschließen. Das war

natürlich beim Ballon-Sonde-Apparat wesentlicher als beim Bodenapparat. Beim Aufstieg selbst konnte anderenfalls die Luft aus dem Apparat entweichen und nachher wieder einströmen. Da ein Ballon-Sonde-Gerät nach dem Aufstieg oft lange Zeit im Freien liegt, meist wohl am feuchten Boden, bestand auch dann noch die Möglichkeit, daß bei Volumenänderung der eingeschlossenen Luft Feuchtigkeit eindringen und den Film verderben konnte. Auch um vor jedem Aufstieg auf nur eine Verschußöffnung achten zu müssen, wurde das Uhrwerk folgendermaßen befestigt. Es wurde mit der Filmtrommel auf eine Duraluminscheibe geschraubt, die zwei Löcher zum Aufziehen der Federn enthielt. Die Scheibe wurde im Apparat vor jedem Registrieraufstieg, nachdem der Film eingelegt war, vom verschließenden Deckel fest gegen einen Ring im Gehäuse gedrückt. Um beim Verschrauben des Apparates ein Mitdrehen des Uhrwerks zu verhüten, war ein Stift angebracht, der in eine kleine Lücke am Rand der Duraluminscheibe faßte. Die zu registrierenden Helligkeiten gelangten durch drei geschwärzte Zylinder auf den Film. Sie waren gemeinsam auf einer Messingplatte befestigt, die durch zwei Schrauben mit dem Gehäuse des Apparates fest verbunden wurde. Zur luftdichten Verbindung beider Teile war eine Gummischeibe zwischengelegt. Bei der Messung der Gesamthelligkeit fiel das Licht auf eine Milchglasscheibe, unter der das Grünfilter lag. Beide, Milchglas und Filter, waren fest eingedrückt und verkittet in dem mittleren Messingrohr. Der Durchmesser des Rohres betrug 10 mm, seine Wandstärke 0.5 mm. Unter dem Filter lag, von einem Sprengring gehalten, eine Lochblende von 0.4 mm Durchmesser. Im Abstand von 4.5 cm von der Blende wurde der Film belichtet. Außer dieser Registrierung der Gesamthelligkeit wurde in den beiden äußeren Zylindern die vertikale Helligkeit registriert. Die Registrierung der vertikalen Helligkeit geschah nach dem Prinzip der Lochkamera. Ein Sektor von etwa  $15^{\circ}$  aus dem Vertikal des Himmels wurde durch das Grünfilter und eine Blende von 0.125 qmm Öffnung, im anderen Zylinder durch eine Blende von 1.7facher Öffnung photographiert. Durch die gleichzeitige Registrierung mit großer und kleiner Blende hatte man die Möglichkeit, auch bei stark veränderter Helligkeit ohne Blendenwechsel registrieren zu können. Die Entfernung der Blenden vom Film betrug 4.8 cm.

*Ungenauigkeit der Registrierung.* Auf korrekte Zentrierung der Registriertrommel hat man natürlich zu achten. Die Beleuchtungsstärke des Films ändert sich quadratisch mit seiner reziproken Entfernung von der Blende. Einer Änderung dieser Entfernung um  $\frac{1}{2}$  mm entspricht eine Änderung der Beleuchtungsstärke um etwa 2%. Eine weitere Ungenauigkeit der Meßmethode liegt bei Registrieraufstiegen in der Aufhängung des Gerätes. Sie hängt ab von der mehr oder weniger horizontalen Lage der Auffangflächen der Strahlung. Während man am Boden eine Auffangfläche für Strahlungsregistrierungen ohne Schwierigkeiten in die horizontale Lage bringen kann, stößt man bei aerologischen Registrierungen insofern auf Unannehmlichkeiten, als jegliche Vorrichtung zur automatischen Einstellung eines Gerätes in die Horizontale eine Vergrößerung des Gewichtes

bedeutet. Bei jeder Einstellvorrichtung ist außerdem zur Behebung der Eigenschwingungen eine Dämpfung erforderlich. Für exakte Messungen ist eine kardanische Aufhängung des Gerätes nicht zu umgehen. Es war zunächst beabsichtigt, die Messungen mit Registrierballons durchzuführen. Dieser ursprüngliche Plan von Robitzsch wurde nicht durchgeführt. Unter anderem wäre dafür der Bau von mehreren Apparaten notwendig geworden; eine lange Dauer zwischen Start und Landemeldung hätte diese Versuche zeitlich zu sehr ausgedehnt. Das Gerät wurde daher nur zu Registrierungen am Drachen verwandt. Bei den Drachenregistrierungen dieser Arbeit wurde zur Vereinfachung angenommen, daß der Drachen außer der Änderung des Einstellwinkels keine erheblichen Schwankungen ausführt. Das Registriergerät wurde daher bei seiner Befestigung nur einstellbar um eine Achse angebracht. Es war drehbar um eine Horizontale, die zum Halte draht des Drachens senkrecht stand. Die Achse im Apparat, um die er drehbar aufgehängt war, lag etwa 3 cm oberhalb seines Schwerpunktes. Um den Einfluß des Winddruckes auf die horizontale Lage des Gerätes herabzusetzen, war es mit einem tropfenförmigen Sperrholzkasten umgeben, der bei horizontaler Lage des Drachens nur etwa 2 qcm des Gerätes dem Winddruck aussetzte. Ein kleines Gegengewicht glich ihn angenähert aus. Die bei jedem Aufstieg vorhandenen Erschütterungen versetzten das Gerät in recht starke Schwingungen. Ihre Dämpfung geschah pneumatisch durch einen luftgefüllten Messingzylinder mit Kolben. Die Kolbenstange war durch einen konischen Stift gelenkig mit dem Apparat verbunden. Der umhüllende Sperrholzkasten war auf einem Brett (180 × 10 × 0.5) befestigt, das auf der Hinterzelle des Aufstiegsdrachens angebracht wurde.

In der Dunkelkammer wurde der Film eingelegt und der Apparat vorläufig verschlossen. Zum Aufziehen der Uhr wurde vor dem Start die Deckelverschraubung wieder geöffnet und der Apparat dann endgültig verschlossen. Dort, wo der Stift in die Duraluminscheibe faßt, fiel bei den ersten Aufstiegen beim Aufziehen in hellem Sonnenlicht gelegentlich Licht in die Apparatur und trat daher Schleierbildung ein. Mit einem aufgesteckten Deckel als Verschuß der Objektive wurde der Film gegen Licht und die Optik gegen Fingerabdrücke und Beschädigung bis zum Beginn jeden Aufstiegs geschützt. Zeitmarken erhielt ich zu Beginn und Schluß der Aufstiege durch Öffnen und Verschließen der Objektive.

*Photographische Entwicklung.* Entwickelt wurden sämtliche Filme mit Rodinal in normaler Verdünnung. Die Intensität des photographischen Entwickelns und Fixierens ist bekanntlich von einigen Eigenschaften des Entwicklers und Fixierbades abhängig. Die Entwicklungsgeschwindigkeit und Schwärzung hängt von der Temperatur und Konzentration des Entwicklers ab. Außerdem hat das Alter des Entwicklers und die im Wasser gelösten Beimengungen einen Einfluß. Auch die verschieden lange Dauer des Fixierens beeinflußt die Schwärzung des Films. Gleich starkes Fixieren kann man annähernd dadurch erreichen, daß man bis zum Verschwinden des weißen Belags fixiert. Trotzdem wird aber der Rand des Films stärker als seine Mitte fixiert und somit abgeschwächt. Sollen bei

mehreren Entwicklungen die gleichen Beziehungen zwischen Belichtung und Schwärzung bestehen, so kann man natürlich versuchen, alle diese Faktoren konstant zu halten. Wie weit das möglich ist, entzieht sich meiner Beurteilung. Jedenfalls ist eine Kontrolle des Entwicklungsvorganges in irgendeiner Form erforderlich. Auf einige Eichpunkte wird man selbst bei sorgfältigster Entwicklung nicht verzichten. Man kann mit nur zwei Eichpunkten je Film auskommen, dann ist aber aus der Schwärzungskurve nur der lineare Teil auswertbar und der Registrierbereich auf etwa 50 % des Möglichen begrenzt. Will man Eichpunkte sorgfältig herstellen, so verursacht dies viel Umstände und ein längeres Hantieren mit dem Film oder dem Registriergerät.

*Konstruktion der Schwärzungskurven.* Es war beabsichtigt, für die Konstruktion der Schwärzungskurven die Bodenregistrierungen mit der sechsminütigen Belichtungszeit zu benutzen. Parallel zur Bodenregistrierung sollte dann die

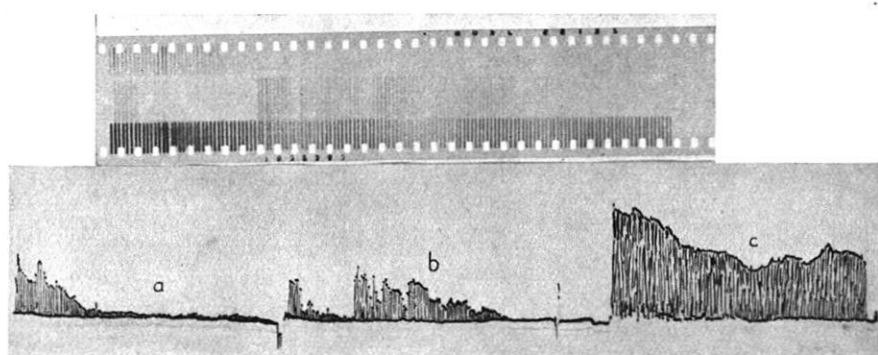


Fig. 6

Aufstieg Nr. 398. 19. Juli 1935. 17<sup>18</sup> – 19<sup>33</sup> h

Registrierung mit der Photozelle erfolgen. Beide Filme, der aus dem Apparat am Boden und der aus dem Ballon-Sonde-Apparat sollten dann gleichzeitig gleichmäßig entwickelt werden. Dazu müßte dann noch das Verhältnis der vom Film bei sechs- und bei einminütiger Belichtungszeit umgesetzten Helligkeiten untersucht werden. Hierzu wäre also zunächst eine Untersuchung des Zeitschwärzungsgesetzes für diese Daten erforderlich. Ein wesentlich einfacheres Verfahren, die Schwärzungskurve festzulegen, wurde bei den Aufstiegsregistrierungen dieser Arbeit angewandt. Die Registrierung der vertikalen Helligkeit geschah mit zwei verschiedenen großen Blenden. Natürlich blieb dieses Verhältnis für alle Registrierungen konstant. Es lieferte Anhaltspunkte für die Steilheit und Krümmung der Schwärzungskurven. Auf den Registrierstreifen (Fig. 6 und 7) liegt in der Mitte die Registrierung der Gesamthelligkeit. Auf den beiden Seiten liegen die Schwärzungen der vertikalen Helligkeit. Bezüglich der Photometrierung dieser Filme gegenüber den Filmen aus dem Bodenapparat ist noch folgendes zu bemerken:

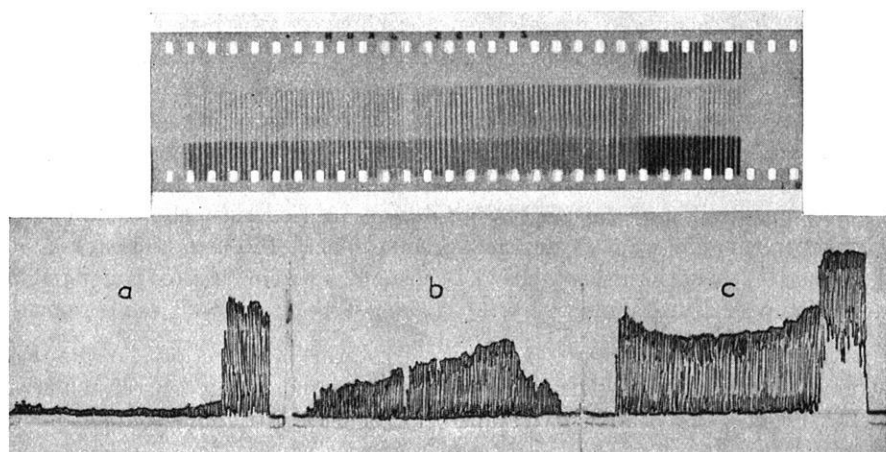


Fig. 7  
Aufstieg Nr. 402. 22. Juli 1935. 5<sup>53</sup>—7<sup>38</sup> h

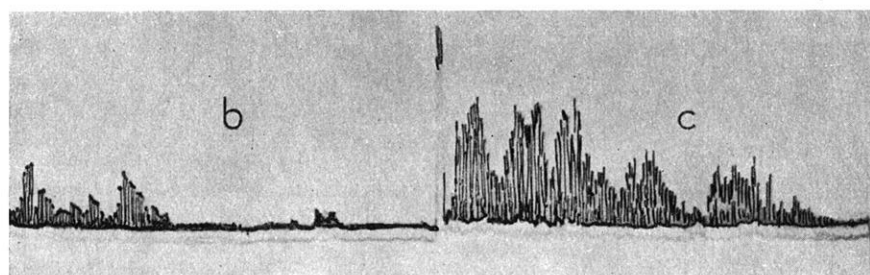


Fig. 8  
Aufstieg Nr. 396

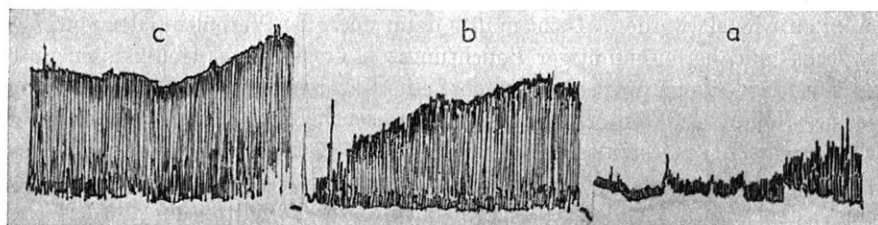


Fig. 9  
Aufstieg Nr. 331. 20. Juni 1936. 5<sup>45</sup>—7<sup>32</sup> h

Fig. 6 bis 9. Registrierfilme und deren Photometrierungen:  
*a* vertikale Helligkeit mit kleiner Blende, *b* gesamte Helligkeit,  
*c* vertikale Helligkeit mit großer Blende

Zwecks Photometrierung der drei Registrierelemente muß der Film natürlich dreimal durch das Photometer laufen. Nach der Photometrierung je einer Helligkeitsregistrierung wird der Film zurückgedreht, dann verschiebt man den vertikalen Spalt mit der Photozelle hinter die nächste Gruppe der Filmschwärzungen. Man erhält dadurch bei dieser Gruppe eine andere Helligkeit auf der Photozelle. Um wieder die gleiche Ausgangshelligkeit wie bei der vorhergehenden Photometrierung zu erzielen, wird die Photometerlampe seitlich so weit verschoben, bis die ursprüngliche Helligkeit wieder erreicht ist. Die Geschwindigkeit des Filmtransports im Photometer wurde bei der Photometrierung der Aufstiegsregistrierungen heraufgesetzt auf 30 cm pro Stunde. Das bedeutete eine wesentliche Beschleunigung

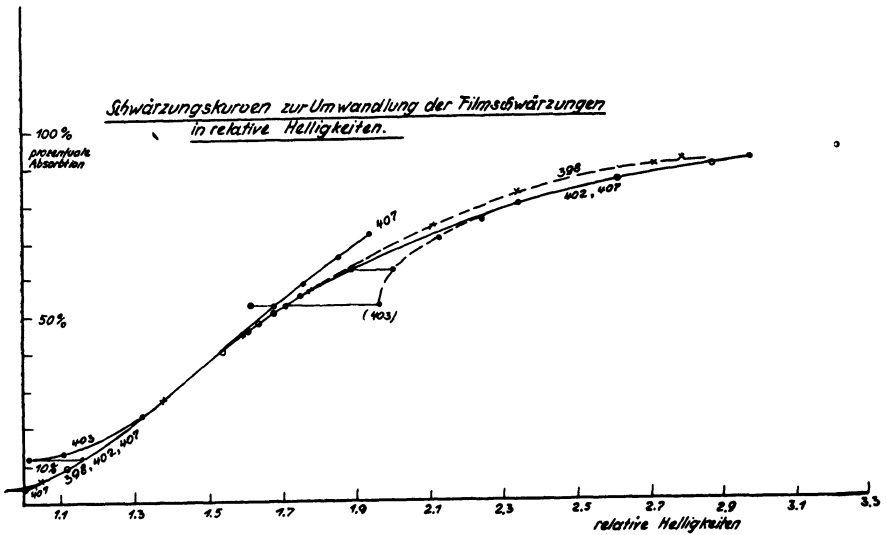


Fig. 10

des Photometrierens erstens durch die erhöhte Geschwindigkeit und zweitens dadurch, daß alle drei Photometrierungen eines Aufstiegs auf einer Registriertrommel zweistündiger Umlaufzeit registriert werden konnten. Das im folgenden beschriebene Verfahren zur Konstruktion von Schwärzungskurven ist vorübergehend in der Astronomie ähnlich angewandt worden<sup>3)</sup>.

Die aus den Photometrierungen gewonnenen Eichkurven (Fig. 10) stellen Beziehungen dar zwischen der Absorption der Filmschwärzungen und den zugehörigen relativen Helligkeiten. Die Filmschwärzungen sind in Prozenten auf der Ordinate dargestellt. Einer Absorption von 100% entspricht eine Länge der Ordinate von 10 cm. Die relative Helligkeit ist auf der Abszisse abgetragen. Die erste Eich- bzw. Schwärzungskurve wurde aus der Photometrierung des Aufstiegs Nr. 398 (Fig. 6) gewonnen. Ich ging bei der Konstruktion aus von einem willkürlich gewählten Wert geringer Filmschwärzung aus der Registrierung der

vertikalen Helligkeit der Kurve *A*. Diesen Ausgangspunkt mit einer Absorption von 4% legte ich im Koordinatensystem (Fig. 10) auf die Ordinate. Seine Abszisse bezeichnete ich willkürlich mit der Helligkeit 1. Diesem Wert der Kurve *A* entsprach in der Registrierung der vertikalen Helligkeit mit großer Blende, Kurve *B*, eine Schwärzung mit einer 52%igen Absorption, die, dem Blendenverhältnis der vertikalen Helligkeitsregistrierungen entsprechend, den Helligkeitswert 1.7 erhalten mußte. Zur Gewinnung eines weiteren Punktes der Eichkurve wurde dieser Wert (1.7 : 52) als Ausgangspunkt gewählt. Aus der Kurve *A* wurde jetzt eine 52%ige Absorption herausgesucht und der ihr in der Kurve *B* entsprechende Wert gleich der 1.7fachen Helligkeit dieses Punktes, also gleich 2.89, gesetzt. Durch diese drei Punkte wurde nun eine Kurve gelegt, deren Krümmung ungefähr der einer photographischen Schwärzungskurve entsprechen konnte. Wählt man nun aus der Kurve *A* der Photometrierung einen beliebigen anderen Wert, so muß dieser Wert und der zugehörige aus der Kurve *B* erstens dem Blendenverhältnis 1 : 1.7 genügen, zweitens müssen sie auf der Eichkurve liegen. Trägt man diesen Wert mit seiner Absorption in die Eichkurve ein, so muß aus der Kurve *B* die zugehörige Absorption einen Abszissenwert von 1.7facher Größe haben. Liegt dieser Wert nicht auf der Eichkurve, so bedeutet dies, daß die Eichkurve noch nicht die richtige Krümmung hat. Um die Eichkurve ihrer wahren Gestalt näher zu bringen, kann man folgendes machen. Man zeichnet den zuletzt verwandten Punkt der Kurve *B* in die Eichkurve ein, dividiert seinen Abszissenwert durch 1.7 und erhält so den Abszissenwert des zugehörigen Punktes der Kurve *A*. Trägt man diesen Wert in das Eichblatt ein, so sieht man, daß auch er außerhalb der Kurve liegt. Die wahre Eichkurve liegt dann zwischen der ursprünglichen Gestalt und den beiden außerhalb liegenden Punkten. Berücksichtigt man bei der Konstruktion weiter, daß kein Knick in der Kurve auftreten darf, so liefert diese Methode ein durchaus brauchbares Verfahren, die Schwärzungskurven photographischer Filme festzulegen.

Die weiteren Eichkurven wurden in Anlehnung an diese erste aus ihr abgeleitet. Als Ausgangspunkt für die Konstruktion der Kurven wurde wieder ein Wert niedriger Intensität gewählt, der, der Einfachheit halber, mit einiger Wahrscheinlichkeit schon auf dem linearen Teil der Eichkurve liegen mußte. Zu diesem und anderen wurden dann die der 1.7fachen Intensität entsprechenden gewählt.

Bei der Konstruktion der Kurve zu Aufstieg Nr. 403 wurde mit dem Punkt (1.16, 11.5) begonnen. Der zugehörige Punkt (1.97, 52.2) lag erheblich außerhalb der übrigen Eichkurven. Desgleichen auch der Punkt (2, 61.5). Die Eichkurve würde in ihrem linearen Teil eine Unstetigkeit aufweisen. Verschiebt man nun diese Punkte horizontal bis auf die Eichkurve, und errechnet die zugehörigen Punkte im unteren Teil der Kurve, so fällt der Sprung in ihrer Mitte fort, zugunsten einer stärkeren Krümmung am unteren Ende.

*Auswertung der Photometrierungen.* An Hand obiger Eichkurven wurde die Auswertung der Photometrierungen vorgenommen. Aus den Meteorographen-

registrierungen und Filmphotometrierungen wurden Druckhelligkeitskurven konstruiert. Die übliche Auswertung der Drachenaufstiege liefert einige markante Punkte; zu diesen wurde der entsprechende Wert der Filmphotometrierung gewählt, und seine prozentuale Absorption in der Eichkurve als relative Helligkeit abgelesen. Wegen der Ungenauigkeit im Gang des Uhrwerks, die man bis zu 2.5% annehmen mußte, ist zur Auswertung zu den markanten Punkten des Barogramms aus der Photometrierung nur ein wahrscheinlicher Mittelwert herangezogen worden. Die Druckhelligkeitswerte wurden in das Adiabatenpapier von Schleicher und Schüll Nr. 417 eingetragen. Für eine Helligkeitsänderung von dem Anfangswert 1 bis zum Wert doppelter Intensität wurde auf der Abszisse ein Stück ausgewählt, das in der Koordinatenbezeichnung des Papiers einer Temperaturänderung von 40° C entspricht. In den Fig. 11, 12, 13 und 14 sind die Auswertungen der Drachenaufstiege Nr. 398, 402, 407 und 331 des Observatoriums Lindenberg wiedergegeben. Die Helligkeitswerte aus dem Anstieg sind in Bodennähe nicht ganz reell. Wenn der Drache beim Start steil in die Höhe schießt, ist eine Einstellung des Gerätes in die Horizontale nicht mehr möglich, da bei einem Winkel steiler als 45° räumlich eine Behinderung durch die Dämpfungsvorrichtung eintritt.

*Berücksichtigung von Fehlern bei der Auswertung.* Im wesentlichen war bei der Auswertung der photometrierten Filmschwärzungen dreierlei zu berücksichtigen, und zwar erstens Schleier, die sich über größere Flächen erstrecken. Bei einer Belichtung des Films mit unbelichteten Zwischenstreifen nach dem Prinzip von Robitzsch lassen selbst verschleierte Registrierfilme noch eine Auswertung zu. Bei Verschleierung dieser größeren Flächen erhält man die Intensität der Helligkeiten aus der Differenz der relativen Helligkeiten, der Absorptionen der Spaltstreifen, und der der verschleierten Zwischenstreifen. Zweitens muß man eine Unkorrektheit in der Photometrierung berücksichtigen, die auf eine lichthofähnliche Erscheinung zurückzuführen ist. Am Rande jeder einzelnen Schwärzung tritt ein kleiner Lichthof auf, der mehr oder weniger weit in die unbelichteten Zwischenstellen hineinreicht. Der schmale unbelichtete Streifen zwischen zwei Schwärzungen wird dadurch, besonders bei starken Intensitäten so schmal, daß dem Galvanometer bei der Photometrierung nicht genug Zeit bleibt, sich auf die unbelichteten Zwischenstreifen einzustellen. Man muß bei starker Intensität bei der Auswertung der Photometrierung hier die Basislinie extrapolieren. Kleine Schleier und Flecken werden dabei allerdings vernachlässigt. Bei großen Beleuchtungsstärken ist dieser Lichthof auf dem Registrierfilm schon mit bloßem Auge sichtbar. Drittens ist es möglich, daß Schmierflecke eine Erhöhung der Absorption des Films verursachen. In diesem Falle kann man die Basislinie natürlich nicht extrapolieren, sondern muß die prozentuale Absorption nur der Schwärzungen auswerten. Macht man den Spalt über dem Film schmaler, so erhält man ohne weiteres einen breiteren unbelichteten Streifen. Bei der Photometrierung bekommt das Spiegelgalvanometer dadurch genügend Zeit, sich auf den Basiswert des unbelichteten Films einzustellen.



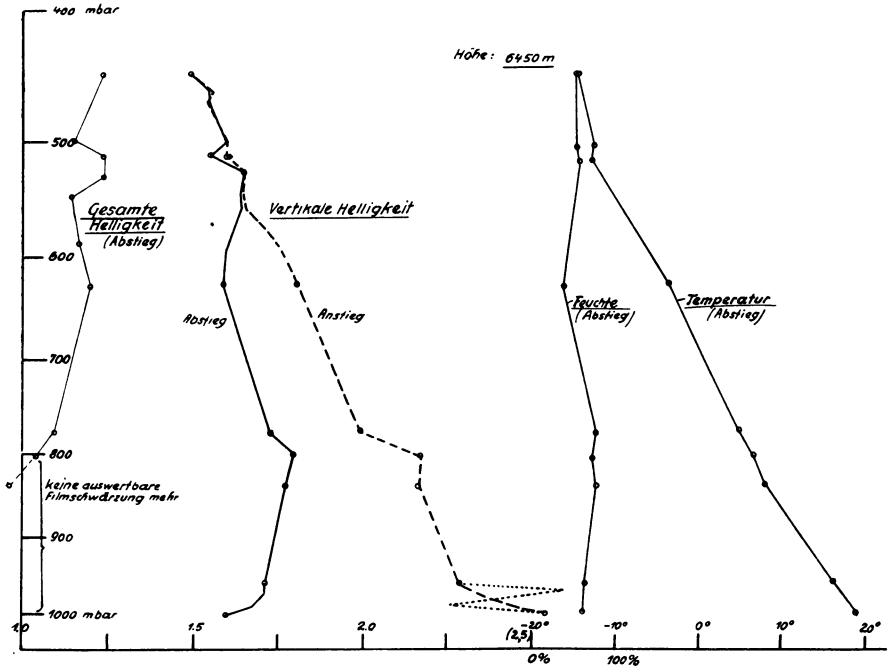


Fig. 11. Drachenaufstieg Nr. 398. 19. Juli 1935. 17<sup>18</sup>—19<sup>33</sup> h

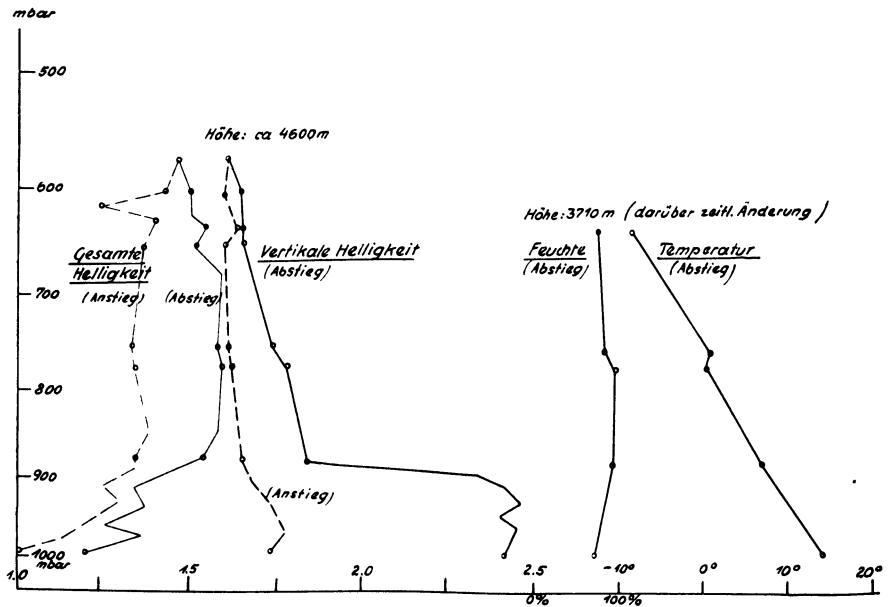


Fig. 12. Drachenaufstieg Nr. 402. 22. Juli 1935. 05<sup>53</sup>—07<sup>38</sup> h

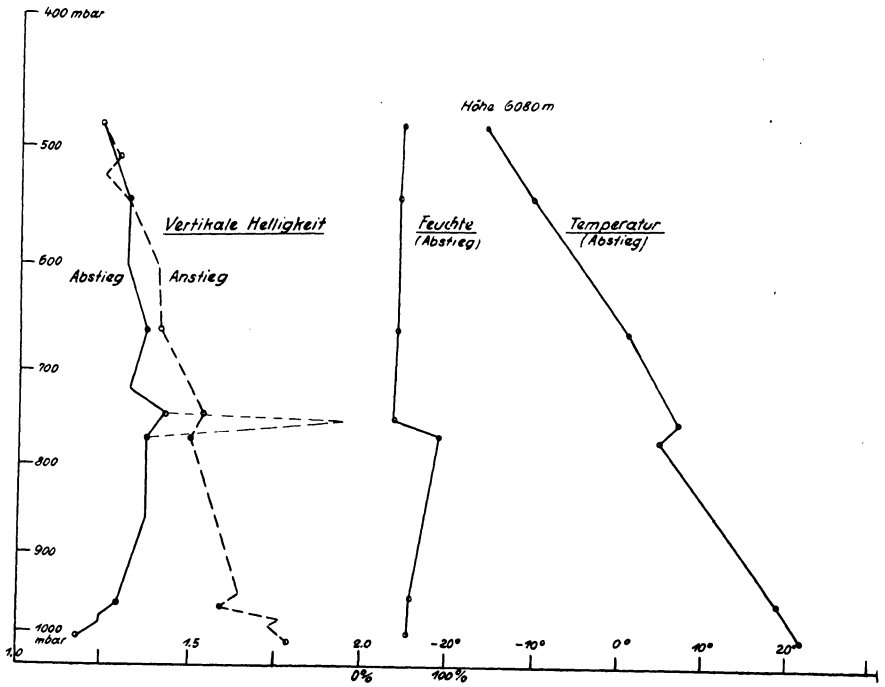


Fig. 13. Drachenaufstieg Nr. 407. 24. Juli 1935. 17<sup>14</sup>—19<sup>33</sup> h

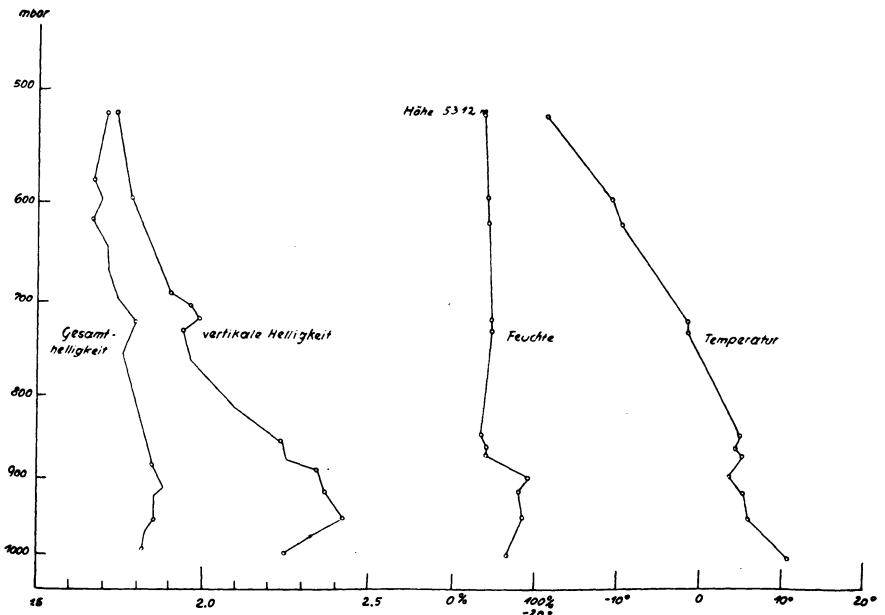


Fig. 14. Drachenaufstieg Nr. 331. 20. Juni 1935. 05<sup>45</sup>—07<sup>33</sup> h. (Abstieg)

**Ergebnis der Registrierungen.** *Besprechung einiger Aufstiege.* Im Zusammenhang mit dieser Arbeit wurden etwa 25 Registrieraufstiege durchgeführt. Bei den ersten Aufstiegen war infolge fehlerhafter Konstruktion des Gerätes leider das Uhrwerk stehengeblieben. Nicht genügend bezeichnet hatte ich auch einige der ersten Registrierungen, die ich damals nicht für auswertbar gehalten hatte. Bei den meisten Aufstiegen arbeitete die Registrierung einwandfrei. Leider trat bei vielen Aufstiegen Bewölkung ein und die Messung wurde dadurch häufig. In Fig. 8 ist die Photometrierung eines Aufstieges bei bewölktem Himmel wiedergegeben. Es ist sinnlos, einen solchen Aufstieg auszuwerten. Auf jede Auswertung der Aufstiege bei bewölktem Himmel wurde von vornherein verzichtet. Weiter lohnt es sich auch meist nicht, die Gesamthelligkeit auszuwerten, da bei niedrigem Sonnenstand, also bei langem Weg, den die Sonnenstrahlen in der Atmosphäre zurücklegen müssen, schon bei geringster Bewölkung die Sonne vorübergehend durch Wolken verdeckt wird und in der Gesamthelligkeit starke Schwankungen auftreten.

Während des Aufstieges Nr. 402 (Fig. 12) tritt eine starke Cirrostratusbildung auf, die kurz vor der Landung die Helligkeit im Vertikal sprunghaft erhöht. Bei der Auswertung des Aufstieges Nr. 407 wurde ein Stück großer Helligkeit ausgeglichen. (Fig. 13) Ein Stück einer alten Cumuluswolke hatte die vertikale Helligkeit vorübergehend stark vergrößert. Im Aufstieg Nr. 398 (Fig. 11) wurde der punktierte Teil der vertikalen Helligkeit im Anstieg ausgeglichen. Der Abstieg zeigt mit der Gesamthelligkeit ein reziprokes Verhältnis. In der Nähe der Gipfelhöhe zeigt das Aufstiegsdiagramm eine kleine Inversion in der Temperaturregistrierung, die nicht ausgewertet ist, die in der Kurve der vertikalen Helligkeit aber deutlich zum Ausdruck kommt.

*Helligkeitsänderung mit der Höhe.* Bei einem Versuch, die wenigen Auswertungen zu diskutieren, könnte man aufzählen, wo zwischen Helligkeit und Feuchtigkeit oder Temperatur, Korrelation besteht und ob die Beziehung zwischen Helligkeit und Feuchte gleichsinnig ist oder nicht. Bei diesen wenigen Registrierungen, die nur das Gewicht von Zufallswerten haben können, lohnt sich das jedoch nicht. Ich will trotzdem versuchen, einiges aus den Registrierungen zu folgern: Es gibt auf dem Festland in Bodennähe wohl stets eine Dunstschicht; in dieser besteht mit zunehmender Höhe Zunahme der vertikalen Helligkeit (Abstieg: Fig. 11, 13 und 14). (Die Helligkeitswerte des Anstiegs sind, siehe oben, nicht reell.) Über dieser Bodenschicht nimmt die vertikale Helligkeit ab. Die direkte Strahlung der Sonne nimmt mit der Höhe stets zu; daraus folgt für die Gesamthelligkeit unbedingt eine Zunahme der Intensität bis etwa zur oberen Grenze der Bodenschicht. Die vertikale Helligkeit nimmt, wenn nicht weitere Dunstschichten folgen, von da bis zu den größten Höhen ständig ab. Bei gleichzeitiger Zunahme der direkten Sonnenstrahlen wäre es daher möglich, daß über der Bodenschicht eine Schicht mit wenig oder gar nicht veränderter Gesamthelligkeit läge. Aus den Registrierungen der Gesamthelligkeit ist das nicht ohne weiteres ersichtlich, da

bei niedrigem Stand der Sonne nur ein Bruchteil ihrer direkten Strahlung (im Gegensatz zur Registrierung der vertikalen Himmelsstrahlung) registriert wird. Die Sonnenstrahlung geht bei großem Einfallswinkel gegenüber der diffusen Strahlung zu niedrig in die Registrierung ein. Da der prozentuale Anteil der direkten an der Gesamtstrahlung in Bodennähe am niedrigsten ist, wird die Fälschung hier am kleinsten, in großen Höhen am größten sein. Nimmt man die Intensität der Gesamthelligkeit in Fig. 11 und 12 in größeren Höhen als gleich stark an, so folgt daraus, daß oben die Strahlung größer ist als unten. Die Gesamthelligkeit nimmt also außerhalb der bodennahen Schicht nach oben hin auch weiter zu. Diese Folgerung wird durch die Auswertung des Abstieges Nr. 331 bestätigt (Fig. 14). Der Verlauf der Gesamthelligkeit zeigt oben ein Stück der Zunahme mit der Höhe. Die scheinbare Abnahme im übrigen Teil der Kurve ist lediglich eine Folge der starken zeitlichen Änderung der Einstrahlung. Während der Zeit des Drachenabstiegs von  $1/26$  bis  $1/27$  Uhr morgens nimmt nach der Aufzeichnung des Lindenberger Aktinographen die Einstrahlung um etwa 50% zu.

*Schlußbemerkung.* Bei dieser Arbeit hat sich der Versuch die Helligkeitsregistrierungen in das Lindenberger Aufstiegsprogramm mit je einem Früh- und Spätaufstieg einzugliedern, als sehr nachteilig erwiesen. Die günstigste Tageszeit für Strahlungsmessungen ist diejenige von  $11^{1/2}$  bis  $12^{1/2}$  Uhr mittags. Diese Aufstiegszeit hat vor jeder anderen den Vorteil, daß man während ihr die Sonnenhöhe und damit auch die Helligkeit als konstant annehmen kann. Bei der Registrierung sind dann die Werte unabhängig von der Zeit, und man erhält nur eine Variation der Helligkeit durch die Änderung der Höhe. Die Sonne steht mittags auch relativ hoch und die Registrierung der Gesamthelligkeit wird durch Wolken weniger gefälscht. Verwendet man Ballonsonden für die Registrierungen, so ist man unabhängig vom Wind und erreicht größte Höhen. Es lohnt sich dann auch, die Messungen der vertikalen und gesamten Helligkeit auf andere Spektralbereiche auszudehnen.

Die Anregung zu vorliegender Arbeit gab Herr Professor Dr. M. Robitzsch. Herr Professor Dr. H. von Ficker gestattete die Durchführung der Arbeit am Aeronautischen Observatorium in Lindenberg. Die Angehörigen des Observatoriums waren bei der Durchführung der Arbeit behilflich. Der Registrierfilm wurde mir vom Goerz-Filmwerk zur Verfügung gestellt. Allen bin ich zu Dank verpflichtet.

#### Literatur

- <sup>1)</sup> Das Königlich Preußische Aeronautische Observatorium Lindenberg, S. 152.
- <sup>2)</sup> Physik. Zeitschr. 1932, S. 513; Bergmann: Messungen an Selen-Sperrschicht-Photozellen.
- <sup>3)</sup> Enzyklopädie der Mathematischen Wissenschaft, Heft 5; Schönberg: Photometrie der Gestirne.