Zeitschrift: Bericht über das Geobotanische Forschungsinstitut Rübel in Zürich

Herausgeber: Geobotanisches Forschungsinstitut Zürich

Band: - (1939)

Artikel: Meteorologische Strahlungsmessmethoden für biologische und ökologische Untersuchungen

Autor: Mörikofer, W.

Kapitel: 4: Kalorimetrische Methoden zur Messung der Globalstrahlung von Sonne und Himmel

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-377470

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Im Pyrheliographen Moll-Gorczynski ([2], [3], [4]) ist das dem geschilderten Pyrheliometer zugrunde liegende Meßprinzip zur Konstruktion eines kostspieligen aber vorzüglichen Registrierapparates zur fortlaufenden Aufzeichnung der Sonnenstrahlungsintensität ausgebaut.

Entsprechend dem Zweck dieses Aufsatzes, eine Übersicht der für Biologen wichtigen Strahlungsmeßmethoden zu geben, soll auf die Instrumente zur ausschließlichen Messung der Sonnenstrahlungsintensität nicht näher eingegangen werden. So wichtig für Astrophysik, Geophysik, Meteorologie und Klimatologie die Kenntnis der Strahlungsenergie der Sonne zur Beurteilung der solaren Emission, der Durchlässigkeit der Atmosphäre und des solaren Strahlungsklimas ist, so wenig kann die Berücksichtigung der Sonnenstrahlung allein bei der Beurteilung einer experimentellen Bestrahlung oder des natürlichen Strahlungsgenusses genügen. Abgesehen von vereinzelten Versuchsanordnungen, wo die diffuse Himmelsstrahlung systematisch ferngehalten wird, muß unter natürlichen Strahlungsbedingungen stets auch noch mit der Wirksamkeit der Himmelsstrahlung gerechnet werden. Würde man bei diesen Untersuchungen nur die direkte Sonnenstrahlung allein berücksichtigen, so würde man zu unrichtigen Resultaten gelangen, ganz besonders bei bewölktem Himmel, wo die Sonnenstrahlung gänzlich wegfällt, die Himmelsstrahlung jedoch tagsüber ständig wirksam bleibt.

4. Kalorimetrische Methoden zur Messung der Globalstrahlung von Sonne und Himmel.

Sehr viel wichtiger für biologische Strahlungsuntersuchungen als die Messung der direkten Sonnenstrahlung allein, ist, wie oben schon angeführt wurde, die ständige Aufzeichnung der von Sonne und Himmel einfallenden Globalstrahlung. Nur auf diese Weise kann alle dem biologischen Versuchsobjekt ständig und bei jeder Witterung zufallende Strahlung einwandfrei erfaßt werden. Solche Messungen werden deshalb bei biologischen Strahlungsuntersuchungen noch viel mehr Eingang finden müssen, als dies bisher der Fall war. Erfreulicherweise können heute für diese Fragestellung wesentlich mehr und geeignetere Methoden empfohlen werden als noch vor zehn Jahren. Die Instrumente zur Messung der Wärmeeinstrahlung von Sonne

und Himmel werden, soweit nicht besondere Bezeichnungen gebräuchlich sind, Pyranometer genannt.

Da die Globalstrahlung einerseits die in ihrer Richtung variable Sonnenstrahlung, andererseits die aus allen Richtungen einfallende Himmelsstrahlung umfaßt, besitzen die Pyranometer im allgemeinen eine fest montierte Auffangfläche. Für diese kommen zwei eindeutig definierte Auffangrichtungen in Betracht. So nimmt eine horizontale Fläche von aller Strahlung nur die Vertikalkomponente auf, sie gestattet, den Strahlungsgenuß der horizontalen Erdoberfläche anzugeben. Andererseits setzt die Kugelfläche der Strahlung aus jeder Richtung eine im wesentlichen senkrechte Auffangfläche entgegen, sie mißt den Strahlungsgenuß eines aufrechten, frei exponierten Körpers (Mensch, Tier, Pflanze, Gebäude usw.); dabei nimmt sie auch Reflexstrahlung vom Erdboden auf. Die beiden Auffangflächen der horizontalen Ebene und der freistehenden Kugel sind demnach in ihrem Verhalten gegenüber der auffallenden Strahlung eindeutig definiert und repräsentieren zudem in der Natur vorkommende Expositionsbedingungen. Aus konstruktiven Gründen besitzen die meisten Pyranometer eine horizontale Auffangfläche, nur Schwarzkugelthermometer und Destillationsluzimeter haben Kugelgestalt. Bei biologischen Bestrahlungsversuchen, wo es sich darum handelt, den Strahlungsgenuß einer geneigten Auffangfläche (z. B. eines Pflanzenblattes, einer Hautpartie, eines Berghanges) zu messen, sollte man darauf sehen, die Auffangfläche des benutzten Pyranometers parallel zur bestrahlten Fläche zu orientieren; bei einzelnen, z. B. den thermoelektrischen Pyranometern, wird dies leicht möglich sein, bei anderen bestehen grundsätzliche, in der Konstruktion begründete Schwierigkeiten. Wo jedoch eine solche Anpassung der Auffangfläche nicht beabsichtigt ist, muß auf gute Horizontierung derselben geachtet werden.

Mit den Pyranometern wird man meistens die globale Einstrahlung von Sonne und Himmel messen. Doch besteht auch die Möglichkeit, durch Vorschalten eines ovalen Pappschirmes in einer Distanz von mindestens einem halben Meter mit Hilfe eines Stativs die direkte Sonnenstrahlung abzuschirmen und so allein die Himmelsstrahlung zu messen. Die Größe der Abschirmfläche soll ausreichen, um die Auffangfläche mitsamt der Glasumhüllung während 10 bis 20 Minuten vor direkter Sonnenbestrahlung zu schützen; doch soll anderer-

seits von der Himmelsstrahlung nicht mehr abgeschattet werden, als unbedingt notwendig ist. Durch Differenzbildung zwischen der Global- und der reinen Himmelsstrahlung kann schließlich auch die Wirkung der Sonnenstrahlung allein auf die Auffangfläche ermittelt werden.

Die Eichung eines Pyranometers kann durch Vergleichung mit einem geeichten Instrument gleicher Konstruktion erfolgen oder nach dem eben genannten Differenzverfahren mit Hilfe eines Aktinometers. In diesem Falle wird die Intensität der direkten Sonnenstrahlung mit einem Aktinometer direkt gemessen und mit ihrer Wirkung auf die horizontale oder kugelförmige Auffangfläche des Pyranometers verglichen; hierbei müssen die Unterschiede der Einfallwinkel berücksichtigt werden.

Da bei Pyranometern die Erreichung des nötigen Windschutzes durch Vorschalten eines Tubus nicht möglich ist, sind die meisten Pyranometer mit einer Glasumhüllung (Scheibe, Halbkugel, Kugel) bedeckt. Es ist klar, daß alle diese Glasflächen stets peinlich sauber zu halten sind. Zur Bestimmung der Nullage sind die Pyranometer mit einer Schutzkappe (womöglich aus weiß überzogener Pappe) zu bedecken.

Zu den ältesten Instrumenten, die zur Messung der Wärmeeinstrahlung von Sonne und Himmel benutzt werden, gehören die verschiedenen Formen des Insolations- oder Schwarzkugelthermometers. Doch haben Erfahrung und Theorie in neuerer Zeit gelehrt, daß die verbreitetsten Ausführungen dieses Prinzips groben Fehlereinflüssen unterliegen und neben der Strahlung auch auf andere Faktoren, wie Wind und Lufttemperatur, reagieren. Bei solchen Fehlermöglichkeiten führt das noch heute bei biologischen Untersuchungen gelegentlich geübte Verfahren, ein gewöhnliches Quecksilberthermometer mit blanker oder geschwärzter Kugel der Sonne zu exponieren und damit Strahlung oder die „Temperatur in der Sonne“ messen zu wollen, erst recht zu gänzlich wertlosen und nicht vergleichbaren Zahlen; die Strahlungsaufnahme eines solchen blanken Thermometers hängt vor allem von seiner Unsauberkeit ab, seine Anzeige im übrigen hauptsächlich von Temperatur und Luftbewegung. Daß ein derartiges Instrument im Sonnenschein höhere Werte anzeigt als im Schatten, beweist noch gar nichts für seine Brauchbarkeit. Für wissenschaftliche Zwecke verwendbar sind nur solche Instrumente, deren quantitative Angaben wesentlich genauer sind, als was uns physikalische Überlegungen allein schon bieten.

Um die störenden Einflüsse von Lufttemperatur und Wind zu vermeiden, hat man schon lange (W. Herrschel 1874) angefangen, die geschwärzte Quecksilberkugel mit einer weiten, mehr oder weniger evakuierten Glasumhüllung zu umgeben (Abb. 2). Doch der Erfolg ist nicht befriedigend, da nun diese störenden Einflüsse auf die Glasumhüllung wirken, und diese ihrerseits den Wärmehaushalt der Quecksilberkugel durch Strahlung und Leitung beeinflußt. Infolgedessen ist die Anzeige des Instrumentes unter gleichen Strahlungsbedingungen bei niedriger Lufttemperatur viel niedriger als bei hoher.

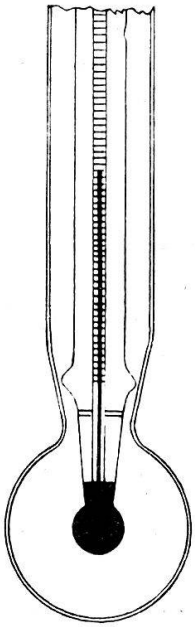

Abb. 2.
Einfaches Schwarzkugelthermometer.

Es ist deshalb völlig zwecklos, die Schwarzkugelthermometerablesungen als solche als Maß für die Strahlung zu verwenden; eher könnte die Übertemperatur des Schwarzkugelthermometers über die Lufttemperatur als Strahlungsmaß dienen.

Zur Vermeidung dieser Schwierigkeit verwendet man häufig eine Kombination eines Schwarzkugelthermometers mit einem analog von einer Hüllkugel umgebenen Thermometer mit blankem Quecksilbergefäß (Marié-Davy 1885). Als Maß für die Einstrahlung wird bei dieser Kombination die Differenz der Temperaturangaben beider Instrumente genommen. Leider ist auch dieses Differentialthermometer Arago-Davy von Temperatur und Wind abhängig, da auch

das blanke Thermometer sich bedeutend über Lufttemperatur erwärmt; die Messungen auch mit diesem Instrument sind somit keineswegs fehlerfrei und unter sich vergleichbar. Im übrigen ist zu beachten, daß die Messungen verschiedener Schwarzkugel- oder Differentialthermometer in Graden untereinander nicht verglichen werden können, da bei den verschiedenen Konstruktionen das Verhalten gegenüber der Strahlung ganz ungleich ist.

Ein bedenklicher Mangel der Schwarzkugel- und der Differentialthermometer besteht auch darin, daß ihre Empfindlichkeit im Laufe der Jahre durch eine Verschlechterung des Vakuums der Hüllkugel abnimmt. Es empfiehlt sich deshalb, nur gealterte und mehrfach mit neuem Vakuum versehenen Doppelthermometer für regelmäßige Messungen zu verwenden und sie von Zeit zu Zeit mit einem Standardinstrument zu vergleichen. Zudem nimmt mit zunehmendem Gasgehalt im Zwischenraum nicht nur die Empfindlichkeit ab, sondern auch der unerwünschte Einfluß von Wind und Lufttemperatur zu.

Durch alle die angeführten Fehlereinflüsse geht auch dem Differentialthermometer mit zwei getrennten Hüllkugeln der Vorzug eines einfachen und doch brauchbaren Instrumentes verloren, und es kann nicht nachdrücklich genug vor der Verwendung eines einfachen Schwarzkugel- oder eines Differentialthermometers bei Untersuchungen gewarnt werden, wo eine Vergleichung der gefundenen Strahlungswerte geplant ist. Es existiert eine einzige Ausführungsform des Schwarzkugelthermometerprinzips, bei der die störenden Einflüsse weitgehend vermindert sind, so daß damit Momentanwerte der Einstrahlung mit befriedigender Genauigkeit bestimmt werden können. Leider ist dieses Instrument, das in Abb. 3 und 4 abgebildet ist, in der Literatur und in der Praxis kaum bekannt und im Handel noch nicht eingeführt.

Albrecht[5]) hat nämlich theoretisch bewiesen, daß die Windabhängigkeit vollkommen und die Temperaturabhängigkeit weitgehend vermieden werden kann, wenn man das geschwärzte und das blanke Thermometer in eine gemeinsame Glasumhüllung V einschließt. Nach einem Vorschlag von Robitzsch kann ferner die selektive Reflexion der blanken Thermometerkugel durch einen weißen Aufstrich M von Magnesiumoxyd bedeutend verbessert werden. Das in Abb. 3 und 4 abgebildete Doppelthermometer wird mit den Kugeln nach oben aufgestellt, so daß alle Strahlung ungehindert darauf auf-

fällt. Man kann den Quecksilbergefäßen Kugelgestalt oder Halbkugelform mit ebener Oberfläche (nach Kalitin) geben, je nachdem man ein Kugel- oder ein Horizontalflächenpyranometer wünscht. Will man mit dem Instrument auch Bodenreflexstrahlung messen, so schwärzt man das Schwarzkugelgefäß *S* allseitig, andernfalls gibt man ihm eine geweißte Unterseite (Abb. 4).

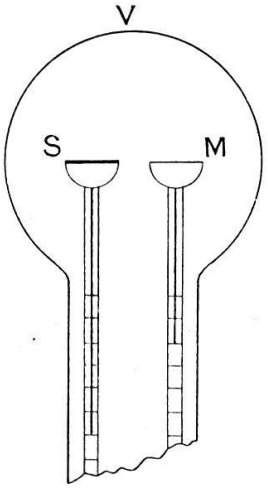

Abb. 3
Schema des Doppelthermometers Albrecht-Kalitin.

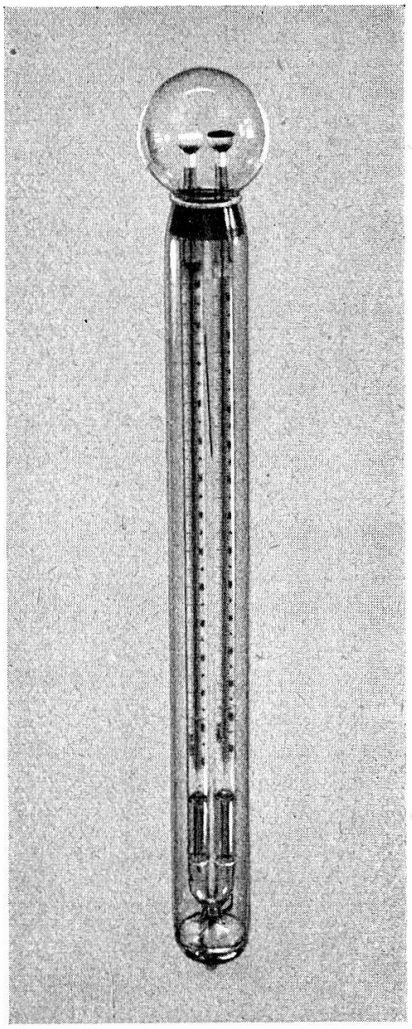

Abb. 4
Doppelthermometer Albrecht-Kalitin.

Solche Doppelthermometer, bei denen die Vorschläge von Albrecht, Kalitin und Robitzsch verwirklicht sind, sind im allgemeinen nicht eingeführt und im Handel nicht ohne weiteres erhält-

lich. Doch ließen wir uns ein solches von der Firma R. Fueß in Berlin-Steglitz nach Spezialauftrag anfertigen und haben damit sehr gute Erfahrungen gemacht. Unsere eingehende kritische Überprüfung (vgl. Prohaska [27] und Mörikofer [1]) hat ergeben, daß dieses Instrument die Momentanwerte der Globalstrahlung mit einem Fehler von weniger als ± 10 % zu bestimmen gestattet. Allerdings ist das Instrument sehr träge, so daß seine Einstellung 10 bis 20 Minuten erfordert; Schwankungen der Einstrahlung bei veränderlicher Bewölkung vermag es infolgedessen nicht schnell und richtig zu folgen.

Die Empfindlichkeit dieses Doppelthermometers ist nicht konstant, sondern sie nimmt mit steigender Strahlung und Thermometerdifferenz beträchtlich ab; da jedoch diese Abnahme stets gleichmäßig verläuft, kann diesem Umstande durch entsprechende Korrektionen oder durch Verwendung eines variablen Eichfaktors leicht Rechnung getragen werden. In diesem Falle und durch kleine konstruktive Verbesserungen könnte zweifellos eine Fehlergrenze von ± 5 % erreicht werden [27]). Im übrigen ist es klar, daß auch bei diesem Instrument nicht mit Thermometerdifferenzen gerechnet werden sollte, sondern mit daraus berechneten Kalorien; nur so läßt sich Vergleichbarkeit unter verschiedenen Doppelthermometern und mit anderweitig gewonnenen Strahlungswerten erreichen. Hiefür ist eine Eichung des Instrumentes in Kalorien mit Hilfe eines anderen geeigneten Strahlungsmeßinstrumentes erforderlich. Die Empfindlichkeit ist etwa von der Größenordnung von 1° Temperaturdifferenz zwischen dem schwarzen und dem geweißten Thermometer für je 0,1 gcal/cm²min; doch nimmt sie, wie eben angeführt, für starke Strahlung beträchtlich ab.

Vor der Verwendung einfacher Schwarzkugelthermometer oder Arago-Davyscher Doppelthermometer mit getrennten Hüllkugeln muß nach diesen Ausführungen dringend gewarnt werden. Das Albrecht-Kalitinsche Doppelthermometer mit gemeinsamer Hüllkugel kann dagegen für Aufgaben empfohlen werden, wo es genügt, Momentanwerte der Wärmeeinstrahlung mit einer Genauigkeit von rund ± 5 % zu bestimmen. Eine solche Genauigkeit wird für die meisten Zwecke der Ökologie, der Agrarmeteorologie und der Biologie hinreichen. Aber gerade für solche Untersuchungen, wo die Versuchsdauer nicht Stunden und Tage, sondern Wochen und Monate dauert, läßt sich der gesamte Strahlungsgenuß durch Einzelablesungen keines-

wegs in genügender Weise erfassen. So besteht eben ein schwerwiegender praktischer Nachteil des Doppelthermometers darin, daß er dem Bedürfnis nach Strahlungssummen über längere Zeit nicht zu genügen vermag.

Zur Bestimmung von Strahlungssummen über den ganzen Tag wird man deshalb in Zukunft wieder mehr zu einem ganz alten Instrument greifen, zum Destillationsluzimeter Bellani (1836). Dieses Instrument, dessen Funktionieren und Theorie nicht sehr übersichtlich sind, begegnet in wissenschaftlichen Kreisen beträchtlichem Mißtrauen. Auf Grund einer Untersuchung, die neuerdings auf Wunsch der Internationalen Strahlungs- und der Agrarmeteorologischen Kommission am Observatorium Davos [6]) durchgeführt wurde, kann jedoch die Feststellung gemacht werden, daß mit diesem Instrument Strahlungssummen mit einer Genauigkeit von ± 10 % gewonnen werden können.

Das Prinzip des Destillationsluzimeters, das neuerdings von Henry [7]) näher untersucht und verbessert worden ist, ist in Abb. 5 schematisch dargestellt. Eine innere, evakuierte Glaskugel *G*, die den oberen Teil des Instrumentes bildet, ist teilweise mit farblosem reinem Alkohol gefüllt. Bei Bestrahlung erwärmt sich dieser und beginnt wegen des gesteigerten Dampfdruckes zu verdampfen und durch ein Glasrohr *R* zu destillieren, das über den Alkoholspiegel *A* emporragt und durch die Kugel *G* nach unten führt. Der überdestillierte Alkohol sammelt sich nun im unteren Teile des Glasrohres *S*; seine während der Expositionszeit überdestillierte Menge kann an der in Kubikzentimetern kalibrierten und mit Teilstrichen von je 0,2 cm^3 versehenen Glasröhre abgelesen werden und stellt ein Maß für die auf die Kugel aufgefallene kurzwellige Wärmestrahlung von Sonne, Himmel und Bodenreflex dar. Wegen der Kugelgestalt der Auffangfläche treffen Sonnen-, Himmels- und Reflexstrahlung aus allen Richtungen symmetrisch und in der Mitte auch senkrecht auf das Instrument auf. Durch den Umstand, daß nur langsam wachsende Differenzen des Alkoholstandes in der Meßröhre abgelesen werden können, eignet sich das Instrument nicht zur Bestimmung von Momentanwerten; dafür hat es den für praktische Verwendung wichtigen Vorzug, mehrstündige oder Tagessummen selbsttätig zu integrieren.

Für die Empfängerkugel *G* wird entweder farbloses oder dunkelblaues Glas verwendet, früher war sie wohl auch schwarz. Zum

Schutz gegen den Windeinfluß ist die eigentliche Empfängerkugel *G* noch mit einer farblosen Hüllkugel *H* umgeben; der Zwischenraum ist zur Verminderung des Wärmeaustausches mehr oder weniger evakuiert.

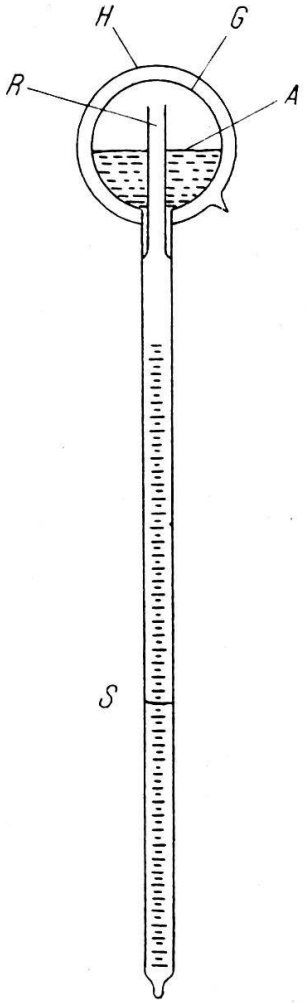

Abb. 5

Schema des Destillationsluzimeters Bellani.

Die innere Kugel *G* ist vollkommen luftleer gemacht, d. h. sie darf gar keine Luft, sondern nur Alkoholdampf enthalten. Von der Güte der Luftleere ist die Empfindlichkeit und Korrektheit des Instrumentes stark abhängig; schon beim Eindringen geringer Luftmengen wird das Gerät unempfindlich und fehlerhaft. Es ist deshalb notwendig, von Zeit zu Zeit die Güte des Vakuums nachzuprüfen. Zu diesem Zwecke bringt man den Alkohol zuerst möglichst voll-

ständig in das Meßrohr *RS*, so daß sich darin kein Alkoholdampf mehr befindet. Hierauf stellt man das Luzimeter mit der Kugel nach unten in ein Gefäß mit kaltem Wasser, in dem das ganze Instrument untertaucht. Wenn sich (etwa nach einer Stunde) Temperaturgleichgewicht eingestellt hat, vergleicht man den Stand des Alkoholspiegels in der Glaskugel und im Meßrohr. Befindet sich Luft in der Glaskugel, so übt sie einen Druck aus, so daß die Flüssigkeit im Glasrohr ansteigt. Ist das Vakuum gut, so sollte der Alkoholspiegel in der Glaskugel und im Rohr ungefähr gleich hoch stehen; immerhin muß schon wegen der Kapillarität mit einem Ansteigen der Flüssigkeit im Rohr um einige Millimeter gerechnet werden.

Das Prinzip des Destillationsluzimeters dürfte sich für die Verwendung einer gefärbten Empfängerkugel leicht verstehen lassen. In diesem Falle ist die Absorption der von Sonne, Himmel und Erdboden auf das ganze Instrument auffallenden Strahlung in der dunklen Kugel stärker als im farblosen Meßrohr; dadurch entsteht in der Kugel eine stärkere Temperaturerhöhung und ein höherer Dampfdruck. Diese Erklärung durch verschiedene Strahlungsabsorption versagt jedoch beim vollständig farblosen Instrument; allerdings lehrt auch die Erfahrung, daß beim farblosen Instrument die destillierte Alkoholmenge, also auch die Empfindlichkeit, nur etwa halb so groß ist als beim Instrument mit dunkelblauer Kugel. Für das farblose Luzimeter muß man deshalb zur Erklärung seiner Wirkungsweise wohl annehmen, daß die ständige, durch Lufttemperatur und Luftbewegung verursachte Abkühlung der durch Bestrahlung erzeugten Übertemperatur am dünnen Meßrohr sich stärker auswirkt als an der Empfängerkugel mit ihrer viel größeren Wärmekapazität. Dadurch wird der Dampfdruck über dem Alkoholspiegel in der Kugel größer als im Rohr, und die Destillation erfolgt von der Kugel in das Rohr. Aus Vergleichen mit verschiedenfarbigen Luzimeterkugeln kann man schließen, daß das Instrument für alle Spektralbereiche des Sonnenspektrums einigermaßen ähnliche Empfindlichkeit besitzt.

Dadurch, daß die beiden Alkoholspiegel sich in gleicher Lufttemperatur befinden, wird das Instrument in der Hauptsache von der Temperatur unabhängig. Es wäre deshalb unrichtig, zu glauben, daß man das Luzimeter durch Konstanthalten der Temperatur des Meßrohres (z. B. mit Wasserkühlung oder durch Schützen vor Bestrahlung) verbessern könne; man würde damit gerade das Gegenteil

erreichen. Eine kleine Temperaturabhängigkeit ist allerdings für das Luzimeter zu erwarten; da bei höherer Temperatur Dampfdruck und Destillation des Alkohols etwas gesteigert sind, wird dann auch die Empfindlichkeit des Systems etwas größer sein.

Nach Angabe von Henry[7]) soll das Luzimeter für diffuse Himmelsstrahlung etwas weniger empfindlich sein als für direkte Sonnenstrahlung. Es wird auch angegeben, daß das Instrument sich nicht nur zur Integration von direkter Sonnen-, diffuser Himmels- und reflektierter Wärmestrahlung eigne, sondern auch zur Messung der Verdunstung und der nächtlichen Ausstrahlung. Im letzteren Falle wird eine Abnahme der Alkoholmenge im Meßrohr beobachtet; sie ist um so größer, je höher der Alkoholstand im Meßrohr ist. Aus diesem Grunde empfiehlt es sich, für die Bestimmung von Tagessummen das Luzimeter abends neu einzustellen, so daß sich nachts nur wenig Alkohol im Meßrohr befindet.

Das Destillationsluzimeter wird von verschiedenen Thermometerfabriken (so von Thurneyssen in Paris und von R. Fueß in Berlin) hergestellt; es eignet sich vor allem für Bestimmungen der Tagessummen der von Sonne, Himmel und Erdboden auf eine freistehende Kugel einfallenden Wärmestrahlung. Wird das Instrument nur einige Stunden exponiert, so kann man damit die Strahlungssummen der entsprechenden Zeitdauer oder die mittleren stündlichen Strahlungssummen messen. Das Luzimeter ist an einem leicht zugänglichen Orte mit möglichst freiem Horizont aufzustellen. Es ist speziell darauf zu achten, daß keine unbeabsichtigte Reflexstrahlung vom Boden oder von den Seiten her auf das Instrument fällt; heller Boden (z. B. Betonfläche) oder eine helle Hauswand erhöht die Angaben beträchtlich.

Das Luzimeter soll mit der Kugel nach oben in einem Stativ (Abb. 6) gut befestigt sein, damit es nicht durch Windstöße erschüttert wird. Das Stativ soll auf der Nordseite des Instrumentes stehen, damit das Meßrohr während des ganzen Tages der Sonne gleich ausgesetzt ist wie die Kugel.

Vor dem Gebrauch ist das Instrument umzudrehen, damit die Hauptmenge des Alkohols in die Kugel fließt; dann wird es wieder aufgerichtet und dabei dafür gesorgt, daß das Flüssigkeitsniveau im Meßrohr etwas über dem Nullpunkt der Teilung steht. Hierauf wartet man etwa fünf Minuten, ehe man die Anfangsablesung vornimmt;

diese Frist ist notwendig, damit der Alkohol von den Glaswänden herabfließt und sich im Meßrohr bzw. in der Kugel sammelt. Bei starker Strahlung empfiehlt es sich, die während dieser Wartezeit auffallende Strahlung durch gleichzeitige Messung mit einem zweiten Luzimeter zu berücksichtigen oder wenigstens eine der Zeitdauer entsprechende rechnerische Korrektion anzubringen.

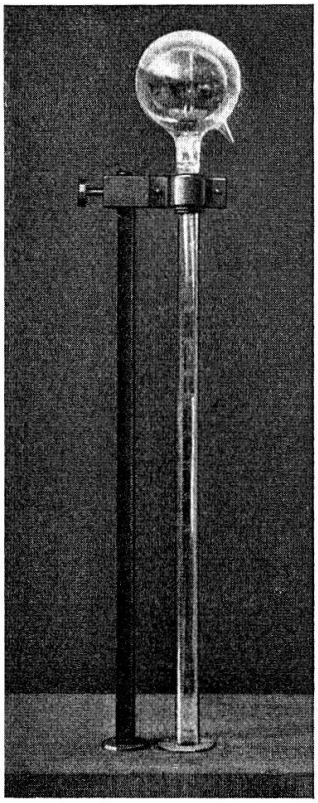

Abb. 6
Destillationsluzimeter Bellani.

Je nach der Fragestellung beträgt die Expositionsdauer 24 Stunden oder eine kürzere Zeit. Nach Ende der Exposition wird der Stand des in der Zwischenzeit in die Röhre überdestillierten Alkohols abgelesen; die Differenz gegen den Anfangsstand bildet ein Maß für die in der Zwischenzeit eingefallene Strahlungssumme. Falls die Exposition nicht ganz kurz war, empfiehlt es sich, den Apparat nach jeder Ablesung neu einzustellen und nach fünf Minuten mit einer neuen Meßreihe zu beginnen. Für die regelmäßige Bestimmung von Tagessummen ist es angezeigt, die Schlußablesung und Neueinstellung

abends nach Sonnenuntergang vorzunehmen, um auf diese Weise den störenden Einfluß der nächtlichen Rückdestillation möglichst klein zu halten. In Zeiten großer Strahlungssummen muß das Luzimeter außer abends auch noch mittags abgelesen und neu eingestellt werden, weil sonst die Gefahr besteht, daß der Alkohol die Teilung des Meßrohres übersteigt. Dies gilt jedoch nur für die empfindlicheren und deshalb empfehlenswerteren Luzimeter mit farbiger (blauer) Kugel; bei den Geräten mit farbloser Kugel genügt die Länge des Meßrohres stets für Tagessummen. Wo eine zweimalige Ablesung am Tage aus praktischen Gründen nicht möglich ist, muß man deshalb für die Sommermonate zu Luzimetern mit farbloser Kugel Zuflucht nehmen; doch sollten diese nicht längere Zeit als notwendig verwendet werden, da sich bei ihnen nach Henry eine Verschlechterung des Vakuums stärker bemerkbar macht und wegen der geringeren Empfindlichkeit die Ablesungen an sich ungenauer sind.

Da der Dampfdruck von der Temperatur abhängig ist, kann man unter Umständen eine Temperaturkorrektion anbringen; nach Henry [7]) addiert man zu dem abgelesenen Alkoholvolumen pro Grad Temperaturerhöhung 0,2 cm^3. Eine solche Korrektion ist jedoch nur notwendig, wenn die Endtemperatur stark von der Anfangstemperatur abweicht; erstreckt sich die Beobachtungszeit über einen ganzen Tag, so erscheint die Korrektion überflüssig.

Eine andere Korrektion läßt sich dagegen auf keinen Fall umgehen. Die Empfindlichkeit des Luzimeters ist nämlich nicht für alle Stellen des Meßrohres gleich, sondern sie nimmt ab, je höher der Alkohol im Meßrohr steht. Die einem Kubikzentimeter destillierten Alkohols entsprechende Kaloriensumme ist deshalb gleichfalls nicht konstant, sondern nimmt mit wachsender Höhe des Alkoholstandes zu. Glücklicherweise läßt sich eine Reduktionstabelle leicht aufstellen, man benötigt dazu allerdings noch ein zweites ähnliches Luzimeter. Die Bestimmung der Reduktionsgrößen beruht auf der Tatsache, daß der Fehler bis zu einer Alkoholmenge von 5 cm^3 im Meßrohr klein bleibt und darüber zunächst nur unmerklich anwächst. Man exponiert deshalb gleichzeitig das zu eichende Luzimeter mit einem zweiten und läßt die Alkoholmenge beim ersten kontinuierlich anwachsen, beim zweiten jedoch nicht über 4 bis 5 cm^3 ansteigen, sondern stellt es immer wieder neu auf niedere Stände ein. Durch häufige Ablesungen (etwa alle zehn Minuten) erhält man die beiden

Kurven der rohen Ablesungen und der ihnen entsprechenden wahren Werte. Nach jedem Umstellen des Vergleichsinstrumentes muß für das Zusammenfließen des Alkohols fünf Minuten gewartet und dieser Ausfall natürlich auch beim zu untersuchenden Instrument berücksichtigt werden.

Die Empfindlichkeit zweier Luzimeter gleicher Konstruktion ist sehr ähnlich, so daß ihre Angaben innerhalb weniger Prozente übereinstimmen. Luzimeter von verschiedener Konstruktion, Herstellung oder Glasfarbe besitzen jedoch ganz verschiedene Empfindlichkeit, so daß ihre Kubikzentimeterangaben auf keinen Fall miteinander vergleichbar sind.

Bisher wurden die mit Luzimetern gewonnenen Resultate meist nur in relativen Einheiten (cm^3) verglichen; doch besitzen diese keine allgemeine physikalische Bedeutung und sind auch nicht mit den Resultaten anderer Meßmethoden vergleichbar. Aus unseren eigenen Untersuchungen hat sich jedoch ergeben, daß eine Eichung des Luzimeters in Kalorien durchaus möglich ist, so daß ihre Resultate in absolutem Maße ausgedrückt werden können. Erst eine kalorische Eichung gibt die Möglichkeit, die Messungen mit denen weiterer Luzimeter und anderer Strahlungsmeßinstrumente zu vergleichen und den Resultaten eine physikalische Deutung zu geben.

Wer kalorische Eichungen selbst durchführen will, benötigt dafür zwei Luzimeter möglichst ähnlicher Konstruktion, so daß ihre Angaben mit großer Sicherheit aufeinander bezogen werden können, und außerdem ein Aktinometer. Vorgängig der kalorischen Eichung ist für beide Luzimeter eine Tabelle der Empfindlichkeitskorrekturen aufzustellen und ihre gegenseitige Empfindlichkeitsrelation zu bestimmen. Für die Eichung selbst exponiert man beide Luzimeter, womöglich an einem wolkenlosen Tage, schützt jedoch durch einen kleinen Pappschirm das eine vor direkter Sonnenbestrahlung; dieses empfängt somit nur Himmels- und Reflexstrahlung, das andere außerdem noch direkte Sonnenstrahlung. Die Differenz der Angaben beider Luzimeter, umgerechnet auf die Empfindlichkeit des vollbestrahlten Instrumentes, entspricht dann der Wirkung der direkten Sonnenstrahlung während der Eichdauer, die womöglich einige Stunden umfassen soll. Gleichzeitig bestimmt man in kurzen Zeitabständen die Intensität der direkten Sonnenstrahlung entweder mit Aktinometermessungen oder auf Grund einer Registrierung. Dann kann das

Zeitintegral der direkten Sonnenstrahlungsenergie über die ganze Versuchsdauer der Menge destillierten Alkohols nach Anbringung der notwendigen Reduktionen gleichgesetzt werden. Da die Strahlung auf die Luzimeterkugel stets symmetrisch auffällt, ist eine Umrechnung der Sonnenstrahlung auf Horizontalfläche nicht nötig, eine Vergleichung der Resultate mit den Angaben von Pyranometern mit horizontaler Auffangfläche jedoch streng nicht möglich. Im Gegenteil lehrt die Erfahrung, daß das Luzimeter stets größere Strahlungsenergien anzeigt als Horizontalflächenpyranometer, da es Sonnen- und Himmelsstrahlung immer unter günstigstem (symmetrischem) Einfallswinkel aufnimmt und außerdem noch Reflexstrahlung erhält.

Die Resultate kalorischer Eichungen können Differenzen von 5 bis 10 % ergeben; speziell im Winter scheint die Empfindlichkeit des Luzimeters etwas geringer zu sein als im Sommer. Zur Orientierung sei angegeben, daß für die uns bekannten Luzimeter der Eichwert etwa 20 bis 25 gcal/cm² pro Kubikzentimeter überdestillierten Alkohols beträgt. Die Berechnung der Strahlungs- und speziell der Tagessummen erfolgt für ein geeichtes Luzimeter in einfacher Weise, indem man an den abgelesenen Anfang- und Endwerten die oben erörterte Empfindlichkeitskorrektion anbringt, dann ihre Differenz berechnet und mit dem Kalorieneichwert multipliziert.

Theorie und Kritik des Destillationsluzimeters Bellani sind noch nicht abgeschlossen. Nichtsdestoweniger läßt sich auf Grund unserer eigenen Untersuchungen das Urteil gewinnen, daß dieses Instrument sehr viel bessere Dienste leistet, als man im allgemeinen von ihm erwartet. Wo es sich darum handelt, Tagessummen der kurzwelligen Wärmeeinstrahlung von Sonne, Himmel und Umgebung auf einen frei exponierten Körper zu messen, kann das Destillationsluzimeter benutzt werden, sofern sich eine Unsicherheit der Resultate von etwa 10 % mit den Anforderungen der Fragestellung verträgt. Diese Voraussetzung dürfte für die meisten Aufgaben einer angewandten Strahlungsforschung, etwa in Biologie, Ökologie und Agrarmeteorologie, der Fall sein.

Ein wertvoller Vorzug bei der Verwendung des Luzimeters als Hilfsinstrument besteht neben der leichten Handhabung und dem niedrigen Preis auch darin, daß es mehrstündige bzw. Tagessummen der Strahlung selbsttätig integriert, so daß seine Auswertung mit geringem Zeitaufwand verbunden ist. Bei hinreichender Instruk-

tion kann das Instrument auch von ungeschulten Hilfskräften abgelesen und besorgt werden. Es ist dringend zu empfehlen, die abgelesenen Alkoholmengen nicht als relative Vergleichsdaten zu benutzen, sondern ihnen durch Anbringen der Empfindlichkeitskorrektion und des Kalorienwertes absolute Bedeutung zu geben; ebenso ist es notwendig, von Zeit zu Zeit die Güte des Vakuums und den Eichfaktor nachzuprüfen.

Anschließend an diese älteren Strahlungsmeßgeräte sollen nun noch einige einfache, neuere Registrierapparate für Globalstrahlung von Sonne und Himmel besprochen werden. In erster Linie ist hier

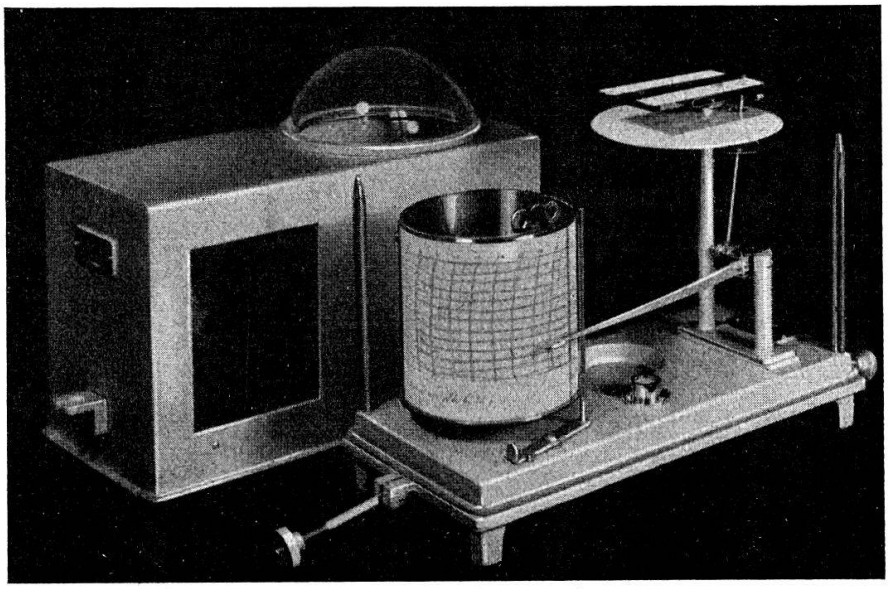

Abb. 7

Bimetallaktinograph Robitzsch.

der Bimetallaktinograph Robitzsch [8]) zu nennen, wohl das einzige Strahlungsregistrierinstrument, das den Strahlungsverlauf mittels Tintenregistrierung auf einer Registriertrommel kontinuierlich aufzeichnet. Bei diesem Instrument (Abb. 7) werden eine schwarze und zwei weiße horizontale Bimetallamellen, die durch eine geschliffene Glashalbkugel im Schutzgehäuse vor Niederschlag und Wind geschützt sind, durch die Globalstrahlung getroffen und wegen ihres ungleichen Absorptionsvermögens verschieden erwärmt; durch Gegenschaltung der weißen gegen die schwarze Lamelle wird das Instrument von der Temperatur selbst unabhängig. Die Verbiegung dieses Systems

wird durch ein Hebelsystem vergrößert und mittels Tintenregistrierung auf der Registriertrommel aufgezeichnet.

Der Bimetallaktinograph zeigt die kalorische Energie über den ganzen Spektralbereich der Sonnen- und Himmelsstrahlung an; immerhin scheint er für Ultrarot etwas unempfindlicher zu sein als für sichtbare Strahlung. Das Instrument muß stabil und gut horizontal aufgestellt werden. Das Fenster des Registrierkastens soll gegen Norden gerichtet sein, damit nicht durch das Fenster bei tiefem Sonnenstande einzelne Teile der inneren Apparatur von Strahlung getroffen und ungleich erwärmt werden; dem gleichen Zwecke dient ein unterhalb der Bimetallamellen angebrachter horizontaler Metallteller, der weiß gestrichen ist.

Die Ausführung des Aktinographen, der für klimatologische Untersuchungen Tag und Nacht und bei jeder Witterung im Freien zu stehen hat, hat sich im allgemeinen als wetterbeständig erwiesen. Die Gummidichtungen an der Glashalbkugel und am unteren Rande des Schutzkastens müssen gelegentlich erneuert werden. Das Beschlagen der Innenseite der Glasglocke läßt sich vermeiden, wenn man in das Gehäuse ein Schälchen mit Chlorkalzium stellt. Reif- und Taubildung auf der Außenseite der Glaskugel verhindert man durch einen sehr dünnen Aufstrich von Glysantin, welches nur etwa 2 % der Strahlung absorbiert.

Die Einstelldauer des Aktinographen ist relativ groß und beträgt für einen Ausschlag von 1 gcal/cm² min etwa 15 bis 20 Minuten. Momentanwerte sind deshalb nur bei ausgeglichenen Strahlungszuständen reell, nicht dagegen bei Schwankungen. Durch diese Trägheit des Instrumentes sind die aufgezeichneten Kurven ziemlich stark verzeichnet und ausgeglichen; die im Einzelfall dadurch entstehende Verschiebung gleicht sich jedoch in der Integration über Zu- und Abnahmen wieder aus.

Der Aktinograph wird von R. Fueß in Berlin-Steglitz hergestellt, und zwar mit einem Uhrwerk für siebentägigen, viertägigen oder eintägigen Umlauf, auf Wunsch auch mit umschaltbarer Trommel für Tages- oder Wochenumlauf. Für eine Übersicht über den Strahlungscharakter der einzelnen Tage genügt der Wochenumlauf, ebenso für Zwecke, wo angenäherte Kenntnis der Strahlung ausreicht. Wenn es sich jedoch darum handelt, strahlungsklimatologische Resultate zu gewinnen und dabei auch den Tagesgang der Strahlung ins Auge zu

fassen, so empfiehlt es sich, eine Trommel mit Tagesumlauf zu verwenden, da bei rascherem Umlauf die Genauigkeit der Auswertung und die Sicherheit der zeitlichen Zuordnung wesentlich größer ist.

In Abb. 8 ist ein verkleinerter Ausschnitt einer Registrierung mit Tagesumlauf wiedergegeben. An dem betreffenden Tage herrschte wolkenloses Strahlungswetter bis nach Mittag, hierauf kam starke, wechselnde Bewölkung vor die Sonne, nach 16 Uhr dunkle Böenwolken. Vor Sonnenaufgang, nach 6 Uhr, erkennt man die diffuse Strahlung der Dämmerung.

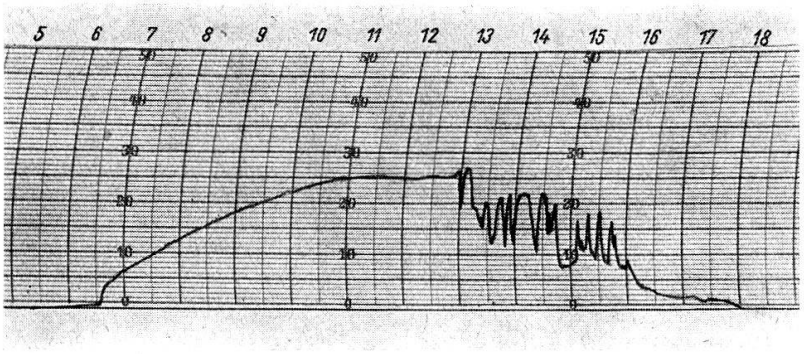

Abb. 8

Registrierung des Bimetallaktinographen.
(halbe natürliche Größe.)

Wichtig für die Auswertung von Momentanwerten und von Strahlungssummen ist die vorherige Festlegung der Nullinie, die häufig nicht mit der Basislinie des Registrierpapieres zusammenfällt. Normalerweise nimmt man die Tagesverlängerung der Nachtlinie als Nullinie an und zieht sie mit feinem Bleistift aus. Nach Sonnenuntergang macht sich gelegentlich ein Nachhinken der Einstellung auf die Nullinie bemerkbar, das oft mehrere Stunden dauert und somit nicht reelle Dämmerungsstrahlung anzeigt; praktisch fällt jedoch bei Auswertung von Tagessummen dieser Fehler wegen der Kleinheit der umschriebenen Fläche kaum in Betracht.

Die Auswertung der Registrierkurven kann nach Momentanwerten und nach Strahlungssummen erfolgen. Zur Entnahme von Momentanwerten wird die Höhe der senkrechten Ordinaten über der Nullinie entsprechend der Teilung der Registrierstreifen in ganzen und in ungefähren Zehntelmillimetern abgelesen und mit dem Eichfaktor E multipliziert. Momentanwerte dürfen den Registrierungen dieses

Aktinographen nur entnommen werden, wenn die Intensität der Globalstrahlung vorher mindestens 20 Minuten lang keine bedeutenden Änderungen gezeigt hat; andernfalls sind die Kurven verzerrt und ausgeglichen und die Momentanwerte nicht reell.

Der Bimetallaktinograph eignet sich jedoch vor allem zur Bestimmung von Strahlungssummen. Die Auswertung erfolgt am besten durch Auszählung oder durch Ausmessung der Registrierfläche. Bei der Auszählung bestimmt man die Zahl der durch die Teilung des Registrierpapieres gegebenen Flächeneinheiten und multipliziert sie mit dem durch eine vorgängige Eichung festgelegten Kalorienwert einer Einheit. Etwas genauer als die Auszählung ist die Planimetrierung der von der Nullinie und der Registrierkurve umschriebenen Fläche mit Hilfe eines einfachen Polarplanimeters (etwa von der Firma A. J. Amsler & Co. in Schaffhausen); hierbei werden Unregelmäßigkeiten im Kurvenverlauf besser erfaßt als durch Auszählen. Das Ergebnis der Planimetrierung ist dann mit dem einem cm^2 entsprechenden Kalorienwert zu multiplizieren, wodurch man die für die Beobachtungsperiode gültige Strahlungssumme in $gcal/cm^2$ erhält. Bezeichnet man mit E den für Momentanwerte gültigen, einem Millimeterausschlag entsprechenden Eichfaktor in $gcal/cm^2min$ und mit h die Länge einer Stunde auf der Registrierung in mm, so beträgt der Kalorienwert K eines cm^2 der ausgemessenen Fläche

$$K = \frac{E \cdot 60 \cdot 100}{h} \text{ gcal/cm}^2.$$

Bei Tagesumlaufregistrierung ist $h = 11{,}2$ mm, bei Wochenumlauf 1,67 mm; daraus ergibt sich für Tagesumlauf $K = 536\ E$, für Wochenumlauf $K = 3600\ E$.

Bei schnell wechselnder Bewölkung umschreibt bei Wochenumlaufregistrierung wegen der kleinen Zeitskala und der Trägheit des Instrumentes die Registrierkurve manchmal kaum noch ein Flächenstück, oder die Fläche wird durch Registriertinte voll ausgefüllt. In diesem Falle empfiehlt es sich, die Fläche zweimal zu planimetrieren, indem man das eine Mal dem oberen, das andere Mal dem unteren Rand der ausgefüllten Fläche nachfährt und das Mittel beider Auswertungen nimmt.

Der Eichfaktor des Bimetallaktinographen wird nach dem Differenzverfahren bestimmt, wonach der von der Sonnenstrahlung allein

verursachte Ausschlag des Aktinographen der mit einem Aktinometer gemessenen und auf Horizontalfläche umgerechneten Sonnenstrahlung gleichgesetzt wird. Wegen der Trägheit des Aktinographen muß die Abschattung etwa 20 Minuten dauern und die gleichzeitige Aktinometermessung auf den Schluß dieser Abschattungsperiode fallen. Durch graphische Interpolation wird der Verlauf der Registrierkurve für diesen Zeitpunkt ergänzt. Dieses Verfahren ist nur an mehr oder weniger wolkenlosen Tagen anwendbar.

Sämtlichen von R. Fueß in den Handel gebrachten Robitzsch-Aktinographen wird ein Eichschein mitgegeben, der auf einer Eichung von Prof. Robitzsch beruht; auf diesem ist eine Eichkonstante mitgeteilt, die als reziproker Wert des von uns oben benutzten Eichfaktors E definiert ist und angibt, wieviele Millimeter der von einer Strahlungsintensität von 1 gcal/cm²min erzeugte Ausschlag beträgt.

Wie Mörikofer und Thams [9]) gezeigt haben, führen die von Prof. Robitzsch bis Juli 1938 bestimmten Eichkonstanten infolge eines grundsätzlichen Fehlers bei der Eichung seines Standardinstrumentes zu Strahlungsintensitäten und Wärmesummen, die um 40 bis 50 % zu hoch sind. Da die Beweisführung von Mörikofer und Thams von der Internationalen Strahlungskommission wie auch von Robitzsch selbst als richtig anerkannt wird, ergibt sich für Benützer von Bimetallaktinographen die Notwendigkeit, zu prüfen, ob ihr Instrument mit einem richtigen oder einem falschen Eichschein versehen ist; Eichscheine bis Juli 1938 dürften durchwegs unrichtig sein. Diese Instrumente sollten am ehesten beim Hersteller oder an einem Strahlungsinstitut neu geeicht werden.

Abgesehen von diesem grundsätzlichen Eichfehler, der den früheren Bimetallaktinographen anhaftet, hat sich das Instrument nach Untersuchungen von Mörikofer und Thams [10]) recht gut bewährt. Momentanwerte der Globalstrahlung können den Registrierkurven mit einer Genauigkeit von ± 10 % entnommen werden, allerdings nur bei gleichmäßigen Strahlungsverhältnissen, während bei starken Strahlungsschwankungen die Kurven infolge der großen Trägheit des Instrumentes stark verzerrt sind. Für Tagessummen der Strahlung, die durch Planimetrieren der Strahlungskurve gewonnen werden, ist die Sicherheit wesentlich größer als für Momentanwerte; ihr mittlerer Fehler beträgt nur etwa ± 5 %. Seine Hauptbedeutung hat der Bi-

metallaktinograph somit für die Gewinnung von Tagessummen der Globalstrahlung. Wichtig für die praktische Verwendbarkeit des Instrumentes ist auch seine bequeme und leichte Handhabung. Der Aktinograph ist das einzige Strahlungsregistrierinstrument, das die kostspieligen und Spezialkenntnisse erfordernden elektrischen und photographischen Registrierverfahren vermeidet und eine mechanische Registrierung mit Tintenaufzeichnung verwendet. Durch diesen Umstand ist seine Bedienung nicht schwieriger als etwa die eines Thermographen und kann ohne Bedenken auch einer ungeschulten Hilfskraft übertragen werden; etwas mehr Übung erfordert allerdings die Auswertung der Registrierstreifen.

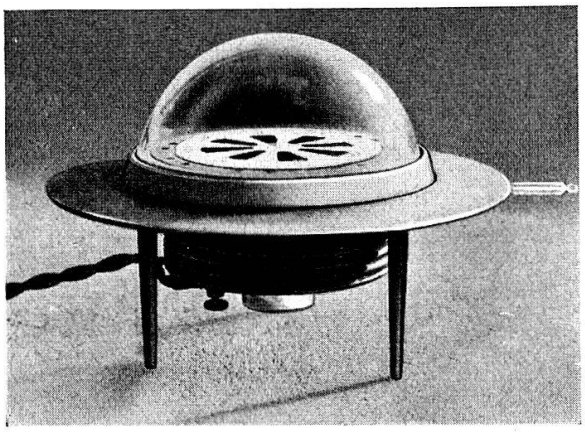

Abb. 9

Sternpyranometer Linke.

Mit etwas größeren Ansprüchen an Geschicklichkeit und physikalische Kenntnisse wie auch mit größeren Kosten ist bei den thermoelektrischen Pyranometern zu rechnen; dafür ist bei ihnen die Genauigkeit wesentlich gesteigert, besonders für die Gewinnung von Momentanwerten. Beim Sternpyranometer (Abb. 9) von Linke [11]) sind 8 weiße mit 8 schwarzen Kreissektoren kombiniert und auf der Unterseite durch Thermoelemente verbunden. Die Auffangfläche ist durch eine Glaskugelschale geschützt. Zur Ablesung verwendet man das Zeiger- und Spiegelgalvanometer „Mirravi" von Hartmann & Braun; doch können die Angaben des Instrumentes mit einer elektrischen Registriervorrichtung auch laufend aufgezeichnet werden. Die Empfindlichkeit des Sternpyranometers ist nicht ganz konstant, sondern sie nimmt mit steigender Sonnenhöhe etwas ab; es muß

deshalb mit einer Unsicherheit seiner Angaben von einigen Prozenten gerechnet werden.

Die weiteste Verbreitung unter den thermoelektrischen Pyranometern hat das von Kipp & Zonen in Delft konstruierte Solarimeter Moll-Gorczynski [2, 3]) gefunden, bei dem die Globalstrahlung auf eine horizontale Mollsche Thermosäule auffällt. Bei den älteren Formen (Abb. 10) ist die Thermosäule *s* von einer Glashalbkugel von

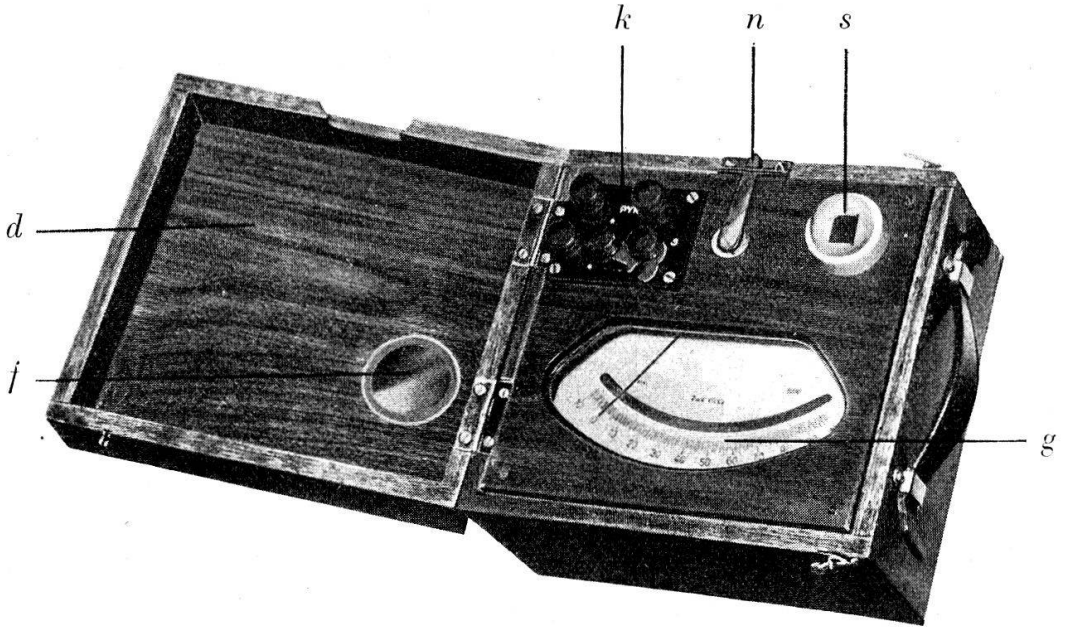

Abb. 10

Solarimeter Moll-Gorczynski für direkte Ablesung.

30 mm Durchmesser bedeckt und in einer Ecke des hölzernen Galvanometerkastens direkt eingebaut. Der Ausschlag wird an einem Galvanometer (Millivoltmeter) mit 110teiliger Skala *g* mittels Zeigers und Spiegelablesung beobachtet. Durch Schließen des Kastendeckels *d* wird die Solarimetersäule beschattet und die Nullage kann durch das Fenster *f* abgelesen werden. Einstellen läßt sich der Nullpunkt mittels des Schiebers *n*; doch kann die Einstellung kaum hinreichend genau vorgenommen werden, so daß vor und nach jeder Strahlungsablesung auch eine Nullpunktablesung stattfinden muß. Am Klemmenbrett *k* kann durch den Widerstand die Empfindlichkeit variiert und außerdem ein Pyrheliometer Moll-Gorczynski angeschlossen werden.

So handlich diese Kombination der Thermosäule mit dem Galvanometer in einem einzigen Gerät erscheint, so ist sie grundsätzlich doch etwas verfehlt. Für ein Solarimeter soll der natürliche Horizont nirgends beschränkt sein, und doch ist bei dieser Konstruktion der Beobachter gezwungen, zur Ablesung seinen Kopf senkrecht über die Skala zu halten, um den Vorzug der Spiegelablesung voll auszunutzen; dabei wird ein Teil der diffusen Himmelsstrahlung abgeschirmt und der Ausschlag geht merkbar zurück.

Während bei den älteren Ausführungen, wo die Thermosäule mit einer Glashalbkugel von 30 mm Durchmesser bedeckt war, die Konstanz der Nullage wie der Empfindlichkeit wenig befriedigend ist,

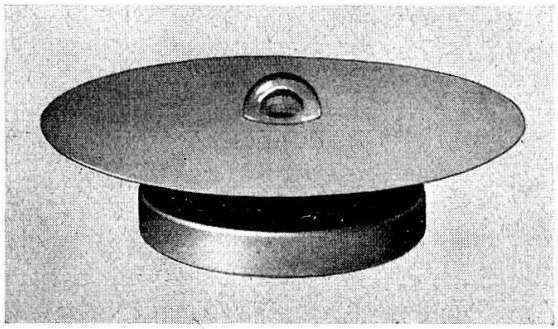

Abb. 11

Solarimeter Moll-Gorczynski mit zwei Glashalbkugeln.

sind die Bedingungen sehr viel günstiger bei den neueren Konstruktionen, wo die Thermosäule in einen großen Gußsockel mit weiß gestrichenem Schutzschild eingelassen und durch zwei Glashalbkugeln von 30 und 50 mm Durchmesser bedeckt sind (Abb. 11). Bei dieser Konstruktion ist der Fehler der Messungen auf wenige Prozente reduziert.

Das Solarimeter kann für Einzelablesungen mit einem Zeigergalvanometer (wie in Abb. 1 und 10) oder für kontinuierliche Aufzeichnung mit einer elektrischen Registrierung kombiniert werden.

Einen praktischen Fortschritt bedeutet es, besonders für Zwecke der biologischen Strahlungsforschung, daß neuerdings dazu ein elektrolytischer Milliamperestundenzähler (Abb. 12) erhältlich ist, der die Strahlungssummen selbsttätig integriert [2]). Nach unseren Erfahrungen ist allerdings die Empfindlichkeit dieser Zähler nicht ganz

konstant und unter anderem auch von der Temperatur abhängig; speziell bei schwachen Intensitäten werden sie unempfindlich.

Grundsätzlich besitzt ein derartiges Integrationsinstrument (Totalisator) eine sehr große praktische Bedeutung. Für alle Verwendungszwecke, wo nicht Einzelheiten des Tagesganges, sondern nur die Tagessumme der Einstrahlung gewünscht wird, ermöglicht der

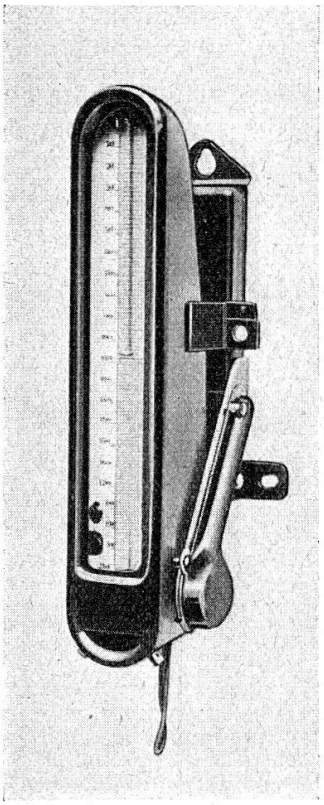

Abb. 12

Elektrolytischer Milliamperestundenzähler.

Integrationszähler die Umgehung der kostspieligen und in Bedienung und Auswertung umständlichen Registrierapparatur und liefert selbst die tägliche Strahlungssumme nach Multiplikation mit dem Eichfaktor in einer einzigen Zahl. Für viele, vor allem klimatologische und ökologische Aufgaben dürfte eine solche Gewinnung von Tagessummen durchaus genügen. Wie gezeigt wurde, stellen allerdings die heutigen Elektrolytzähler wegen der Ansprechschwelle, der inkonstanten Empfindlichkeit und der Temperaturabhängigkeit noch keine

restlos befriedigende Lösung des Problems dar. Infolge dieser Einflüsse muß im Durchschnitt mit einem Fehler der Tagessummen von 10 bis 20 % gerechnet werden.

5. Selektive Methoden zur Messung der sichtbaren Strahlung von Sonne und Himmel.

Neben den kalorimetrischen Methoden, die die gesamte Energie der Strahlung in Kalorien zu bestimmen gestatten, können bei biologischen Strahlungsuntersuchungen häufig auch selektive Verfahren wertvolle Dienste leisten. Zwar lassen sich ihre Resultate primär nur in relativen Lichteinheiten ausdrücken; doch genügen diese als relatives Vergleichsmaterial innerhalb gegebener Versuchsbedingungen, und unter noch näher zu erörternden Bedingungen können sie sogar in Kalorien umgerechnet werden. Die Verwendung selektiver Methoden mit beschränktem Spektralbereich ist in zwei Fällen speziell angezeigt: einmal wenn der Empfindlichkeitsbereich der Methode sich einigermaßen mit dem spektralen Wirkungsbereich des zu untersuchenden biologischen Vorganges deckt; und sodann in allgemeinerem Sinne unter der Voraussetzung, daß auch die selektive Methode innerhalb gewisser Fehlergrenzen als relatives Vergleichsmaß für die kalorischen Energien zu dienen vermag; von dieser Voraussetzung wird am Ende dieses Abschnittes noch die Rede sein. Wenn auch in der Überschrift dieses Abschnittes von „sichtbarer Strahlung" gesprochen wird, so sollen hier nicht etwa die komplizierteren optischen oder visuellen Photometer behandelt werden. Sondern die beiden zu behandelnden Methoden haben eine selektive Empfindlichkeit, deren Bereich und Verlauf sich nur angenähert mit der Lichtempfindlichkeit des menschlichen Auges deckt.

Die rapide Entwicklung der Selensperrschichtzellen [12]) in der Technik hat die Möglichkeit gegeben, diese Geräte auch für meteorologische und biologische Strahlungsuntersuchungen zu verwenden. Der Sperrschichteffekt besteht darin, daß an einem Halbleiter zwischen zwei metallischen Elektroden, von denen die eine lichtdurchlässig ist und bestrahlt wird, eine elektromotorische Kraft auftritt; da diese von der Anlegung einer Hilfsspannung unabhängig ist, es sich somit um direkte Umwandlung von Lichtenergie in elek-