

## ANGABEN ZU DEN STRAHLUNGSVERHÄLTNISSEN DES WALDES

VON L. NAGY

**Zusammenfassung:** Der Aufsatz beschäftigt sich mit der Größe der kurzwelligen Globalstrahlung die auf Schichten verschiedener Höhen und auf die obere Grenze der Laubkrone kommt. Beobachtungen wurden 1967–68 in Eichen- und Akazienwäldern in allen vier Jahreszeiten durchgeführt und in allen Phenophasen der Vegetationsperiode fortgesetzt.

**Summary:** The paper deals with the amount of short-wave global radiation arriving on levels of different height and on the upper limit of the foliage. Observations were carried out in oak and acacia woods in all four seasons in 1967–1968 and were continued in all phenophases of the vegetation period.

Einer der Gründe der Ausgestaltung des besonderen Mikroklimas, das durch die Wälder hervorgerufen wird, besteht darin, daß aus der Strahlungsmenge, durch welche die Oberfläche getroffen wird, entsprechend des Geschlossenheitsgrades und des Artes des Waldes, ein sehr verschiedener Bruchteil bis zur Oberfläche des Waldbodens vordringen kann. Von der Energiemenge, die der Boden erhält, ist die Quantität und die Qualität des Untergewächses abhängig. Die Laubkrone, welche nach der Art der Bäume verschieden ausgebildet ist, fängt auf und benützt den größten Teil der zugeführten Energie, und es bildet sich das für verschiedene Bestände charakteristische Waldklima mit zweifacher aktiven Oberfläche.

Hierzulande befaßte sich R. WAGNER (1955) mit dem Sonnenscheindauerverhältnissen des Waldes und stellte fest, daß die Zahl der Sonnenscheinstunden in einem geschlossenen Waldbestande in der Zeit der vollkommenen Belaubung (im Juli) nur 1 bis 10 % der Zahl der Sonnenscheinstunden im freien Gelände beträgt. Nun ist aber die Sonnenscheindauer oder die Größe der Sonnenscheinenergie ein sehr wichtiger Faktor für die nicht Holzigen Gewächse, welche im Walde leben, und dieser Faktor ändert sich proportional zu der Lichtabnahme und in Abhängigkeit der Baumarten, aus welchen der Wald besteht. Die Belichtungsverhältnisse des Waldes wurden in der internationalen Fachliteratur durch zahlreiche Verfasser untersucht, die wesentlichsten Werke wurden durch GEIGER (1961) gesammelt. Hierzulande wurden im Zusammenhang mit der mikroklimatischen Wirkungen des Waldes in erster Reihe die Temperatur-, Luftfeuchtigkeits- und Bodentemperatur-Beziehungen untersucht.

Die kurzwellige Energiemenge, von der der Waldboden erreicht wird, ist abhängig von der Geschlossenheit des Waldes. PAPP (1958) gelangte im Laufe einer Untersuchung des Waldklimas zur Feststellung, daß in einem Laubwalde eine 50 bis 60 % betragende Geschlossenheit erforderlich ist, um ein charakteristisches Waldklima hervorzurufen, das hauptsächlich durch der in den Bestand eindringenden Energiemenge bestimmt wird.

## Messungen und Meßgeräte

Zur Bestimmung der absorbierten und der durchgelassenen kurzwelligen Energiemenge wurden im Laufe der Jahre 1967 und 1968 in einem, auf einem Sodaboden stehenden geschützten Eichwalde in Újszentmargita Messungen in verschiedenen phenologischen Phasen und in verschiedenen Wetterlagen durchgeführt. Für die Messung bzw. Registrierung der Globalstrahlung wurde ein mit einem Punktschreiber gekoppeltes Kipp'sches Solarimeter verwendet, mit dem Messungen in Zeitabständen von 30 Sekunden durchgeführt wurden. In einer Stunde wurde eine Registrierstreifenlänge von 6 cm verbraucht. Somit konnte die Auswertung der Registrierung mit einer Genauigkeit von 0,5 Minuten ausgeführt werden. Für die Messung der durch dem Walde durchgelassenen, sowie für die Messung der reflektierten Strahlung wurde ein bewegliches Albedometer nach Janisewsky verwendet. Die Messungen wurden in dichten Beständen (in je einem Bestände an mehreren Stellen) vorgenommen, um durch dieses Verfahren bei annähernd gleicher Geschlossenheit die Einwirkung der verschiedenen Durchlässigkeit verschwinden zu lassen und für alle Meßorte einen guten Durchschnittswert erhalten zu können. Während der verschiedenen Phenophasen wurde stets an den gleichen Stellen gemessen, welche an der Abb. 1 dargestellt werden.

Im Herbst des Jahres 1967 wurde im Walde eine Pyramide mit einer Höhe von 16 m errichtet und dadurch wurde es ermöglicht, selbst innerhalb der Laubkrone Messungen in verschiedenen Höhen vornehmen zu können. Die Pyramide ist höher als der Wald und so konnte auch das Albedo des Waldes bestimmt werden. Bis zur Errichtung der Pyramide wurde die Globalstrahlung mit einem Instrument gemessen, das an einer Waldwiese aufgestellt war, deren Durchmesser etwa 100 m betrug, und den Empfehlungen von R. E. MUNN (1966) entsprach.

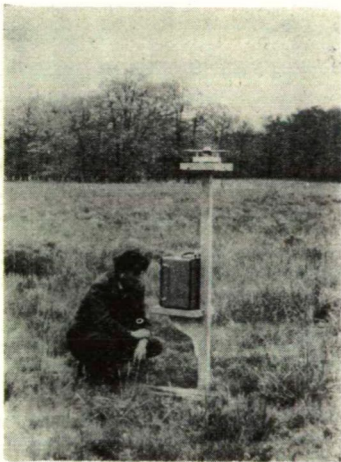


Bild 1. Das in freiem Gelände aufgestellte Strahlungsregistrier-Apparat

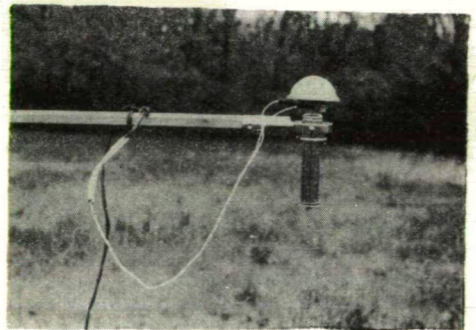
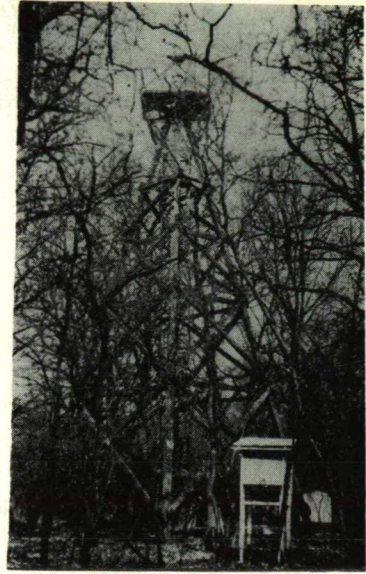


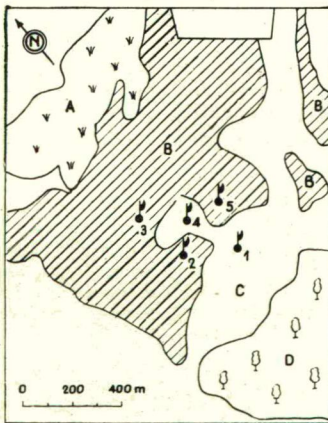
Bild 2. Bewegliches Albedometer nach Janisewsky

*Bild 3. Die 16 m hohe Pyramide, in einem geschlossenen Walde aufgestellt. Dieselbe wurde zur Messung der vertikalen Strahlungsverteilung verwendet*



### Messungsergebnisse

Die bisher durchgeführten Messungen, welche in drei Eichwäldern von verschiedener Geschlossenheit und in einem Akazienwald vorgenommen wurden, erstrecken sich auf alle Phenophasen, auf alle Jahreszeiten und somit auch auf die unbelaubten sowie auf die belaubten Perioden. Entsprechend der Dichte des Waldes ist auch die Höhe und die Dichte der holzlosen Gewächse, welche sich im Rasenniveau befinden, recht verschieden. An der Stelle, welche an Abb. 1 mit 3 bezeichnet ist, besitzt der Bestand ein doppeltes Laubkronenniveau, indem das untere Laubkronenniveau von einer Höhe von 4 m bis zu einer Höhe 7—8 m durch einen schwarzen Ahornbestand gebildet wird.



*Abb. 1. Die Stellen, an welchen Strahlungsmessungen ausgeführt wurden 1. Freies Gelände. 2. Lockerer Wald. 3. Geschlossener Wald (Standort der 16m hohen Pyramide). 4. Kleine Lichtung. 5. Geschlossener Wald.*



## Laubloser Zustand mit einer Schneedecke

Bei einem völlig heiteren Wetter, wenn die Oberfläche durch eine zusammenhängende Schneedecke bedeckt ist, bestehen in der Reflexionsfähigkeit des Waldes und des freien, unbewaldeten Geländes recht gewaltige Unterschiede. Im freien Gelände liefert die Schneedecke eine zusammenhängende weiße Oberfläche, hingegen ist im Walde diese weiße Oberfläche durch den Baumbestand unterbrochen.

Am 20. Januar 1967, zwischen 10 und 11 Uhr, in der Gegenwart einer Schneedecke von 10—15 cm Dicke, betrug das Albedo im unbewaldeten Gelände einen Wert von 57 %, während es unter ähnlichen Verhältnissen über dem Walde (auf Grund der Messungen im Jahre 1968) nur einen Wert von 20 % besitzt. Dementsprechend bestehen auch Unterschiede in den Energiemengen, welche der Oberfläche zukommen und dort verwendet werden können. Während im freien Gelände die Bilanz der kurzwelligen Strahlung in den Mittagsstunden folgendermaßen lautet:

$$G - R = 0,183 \text{ kal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$$

beträgt dieser Wert über dem Walde (bei einem gleichen Werte der Globalstrahlung) 0,347 Einheiten. Von diesem Werte durchdringen bis zum Waldboden (in Abhängigkeit von der Bestandsdichte) 0,179 bzw. 0,233 Kalorien. Das ist etwa der gleiche bzw. ein höherer Wert als im freien Gelände. Der übrige Teil der Strahlung wird durch den Waldbestand aufgefangen, dieser Teil beträgt in einem geschlossenen Walde 48 % und in einem wenig dichten Walde 35 % der Bilanz. JU. L. RAUNER (1961) hat in März, zur Zeit bevor der Schneeschmelze, in einem dichteren Laubwald in der Nähe von Moskau sogar eine Absorption von 19 % gemessen.

Bei der Messung am 6. Februar 1968 war das Wetter schwach neblig, so wurde die Oberfläche von keiner unmittelbaren Bestrahlung erreicht. Zeit der Messung: 11°—11°, Sonnenhöhe 22°. Dichte der Schneedecke 6—7 cm. Von den Strahlungsmengen, welche an diesem Tage gemessen wurden, absorbierte der Waldbestand 67,7 % und von der kurzwelligen Strahlungsbilanz erreichten nur 32,3 % die Erdoberfläche. In laublosen Zustand, bei niedrigem Sonnenstand absorbiert der Wald einen höheren Prozentsatz aus der Streustrahlung als aus der unmittelbaren Strahlung. L. HECKERT (1959) hat in Potsdam in einem unbelaubten Walde bei bedeckten Wetter einen Wert von 56 %, bei heiterem Wetter einen Wert von 27 % gemessen. Doch ist dieser Prozentwert stark von der Dichte des Waldes abhängig, worüber keinerlei Angaben vorliegen.

Nun ist es interessant zu untersuchen, wie diese nahezu 68 %-ige Absorption sich auf die verschiedenen Höhen des Bestandes verteilt (Tabelle 1.).

Mehr als die Hälfte von der Strahlungsmenge wurde in dem Teil oberhalb 8 m aufgefangen, wobei die niedrige Sonnenhöhe eine Rolle spielt.

## Zustand vor der Sprossenbildung

Für die Phase ist es kennzeichnend, daß keine Schneedecke mehr vorhanden ist, der Wachstum des Rasenniveaus schon einsetzt, und die Vegetation einziger früh sprossender holzigen Gewächse (hauptsächlich Saumgewächse)

Tabelle I.

(6. Februar 1968. Zeitabschnitt 11<sup>00</sup>—11<sup>30</sup>)

16 m	G-R = 0,19 kal/cm <sup>2</sup> min = 100 %
8 m	0,07 kal/cm <sup>2</sup> min
Absorbiert zwischen 16 m und 8 m	0,12 kal/cm <sup>2</sup> min = 63,2 %
2 m	0,06 kal/cm <sup>2</sup> min
Absorbiert zwischen 8 m und 2 m	0,01 kal/cm <sup>2</sup> min = 5,2 %
Bis zum Boden vorgedrungen	0,06 kal/cm <sup>2</sup> min = 31,5 %

schon im Gange ist. Da der Sonnenstand schon höher als im Winter ist, erreicht ein höherer Prozentsatz der Gesamtstrahlung die Oberfläche, wie dies aus den Messungen vom 8. März 1967 hervorgeht. Im undichten Walde beträgt die Energiemenge, welche bis zum Waldboden durchdringt, 78,4 % und im geschlossenen Walde haben wir einen Wert von 42,6 % gemessen. Das prozentuale Verhältnis verändert sich nicht viel bis zum Beginn des Sprossens, wie dies auch aus Tabelle II. hervorgeht.

Eine der Tabelle I ähnliche Darstellung der Einzelheiten für die Messung vom 28. März 1968 befindet sich in Tabelle III, aus der ersichtlich ist, daß

Tabelle II.

Die durch den Wald absorbierte Strahlungsmenge

	Undichter Wald	Geschlossener Wald	
8. März 1967	21,6 %	57,4 %	zwischen 11—12 Uhr
28. März 1967	1,3	51,4	zwischen 10—12 Uhr
28. März 1968	—	57,1	zwischen 10—13 Uhr

Tabelle III.

Die durch verschiedene Niveaus des Waldes absorbierte Strahlung  
Am 28. März 1968, zwischen 10—13 Uhr, Mittelwerte aus 3 Messungen.

	G-R =		
16 m	0,71 kal	100 %	15,2 °C
12 m	0,63 kal		15,4 °C
Absorbiert zwischen 16 und 12 m	0,08 kal	11,2 %	
8 m	0,42 kal		15,4 °C
Absorbiert zwischen 12 und 8 m	0,21 kal	29,5 %	
4 m	0,32 kal		15,3 °C
Absorbiert zwischen 8 und 4 m	0,10 kal	14,1 %	
2 m	0,30 kal		15,6 °C
4—2	0,02 kal	2,8 %	
2—0	0,30 kal	42,3 %	17,6 °C

abgesehen von der bodennahen Schicht (2 m) die meiste Energie im Laubkronenniveau zwischen 8 und 12 m absorbiert wird, namentlich 57,1 %, und zwar im eigentlichen Astniveau. Die Absorption der kurzwelligen Strahlung in Bodennähe, welche 43 % beträgt, bedeutet eine Erhöhung von 2° in der Lufttemperatur der bodennahen Schicht. Infolge dieses relativen Licht- und Strahlenreichtums beginnt das rasche Wachstum und das Blühen des Untergetwächses, wie z. B. Veilchen, dann *Muscari botryoides* usw. Im laublosen Zustande sind auch die Lichtverhältnisse sehr günstig. An diesem Tage wurde um 11<sup>00</sup> in einer Höhe von 16 m eine Beleuchtungsintensität von 49 000 lux gemessen, im Walde in einer Höhe von 2 m hingegen eine solche von 23 500 lux. Der Ausmaß der Abnahme steht in Übereinstimmung mit der Abnahme der Strahlung. Mit dem Schließen der Laubkrone findet das Blühen dieser nicht-holzigen Pflanzen ein Ende, und bei einigen von ihnen, wie z. B. im Falle des *Muscari botryoides* geht selbst das Wachstum zu Ende.

### Periode des Sprossens

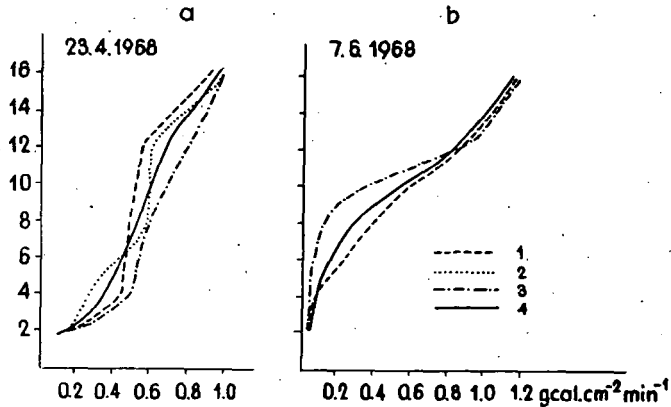
In dieser phenologischen Phase (und hauptsächlich zu Beginn dieser Phase, als das Sprossen sich noch im Anfangsstadium befindet) nimmt das Ausmaß der Absorption im undichten Walde ab, und verbleibt im geschlossenen Walde unverändert, worin eine Folge der Zunahme der Sonnenhöhe erkannt werden muß. Mit der zunehmenden Belaubung des unteren Kronenniveaus nimmt die bis zum Boden durchdringende Energiemenge rasch ab, und mehr als 50 % der absorbierten Energiemenge wird zwischen 2 m und 8 m Höhe verbraucht. In Tabelle IV wird die am 23. April 1968 gemessene Strahlungsverteilung zusammengefaßt.

Tabelle IV.

Verteilung der kurzwelligen Strahlungsbilanz im Walde an einem heiteren windstillen Tage.

23. April 1968	10 <sup>h</sup>	11 <sup>h</sup>	12 <sup>h</sup>	14 <sup>h</sup>	Mittel	%
16 m	G = 0,91	0,99	0,98	0,94	0,96 kal	
	R = 0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	
	G - R = 0,78	0,85	0,84	0,80	0,82	100
12 m	G = 0,56	0,60	0,79	0,74	0,67	
Absorbiert zwischen 16 und 12 m	0,22	0,25	0,05	0,06	0,15	18,2
8 m	G = 0,48	0,59	0,60	0,51	0,54	
Absorbiert zwischen 12 und 8 m	0,08	0,01	0,19	0,23	0,13	15,9
4 m	G = 0,45	0,26	0,49	0,25	0,36	
Absorbiert zwischen 8 und 4 m	0,03	0,33	0,11	0,26	0,18	22,0
2 m	G = 0,04	0,18	0,18	0,10	0,12	
Absorbiert zwischen 4 und 2 m	0,40	0,08	0,31	0,15	0,24	29,3
Auf den Boden	0,04	0,18	0,18	0,10	0,12	14,6

Abb. 2. Verteilung der kurzwelligigen Strahlung in einem geschlossenen Walde. „a“ am 23. April 1968; „b“ am 7. Juni 1968.



Das untere Kronenniveau verfügte schon mit einer nahezu vollkommenen Laubkrone, während im Kronenniveau erst noch Sprösse von 5—10 cm Länge zu finden waren. Demzufolge beträgt der Wert der kurzwelligigen Strahlungsbilanz am Waldboden durchschnittlich nur 15 % des über dem Walde bestehenden Wertes. Die übrige Energiemenge wird in den verschiedenen Höhen des Bestandes, hauptsächlich aber im unteren Kronenniveau verbraucht (29,1 + 22,1 %). In den Mittagsstunden, als der Sonnenstand am höchsten ist, verschlingt die Laubkrone oberhalb 12 m einen kleineren Teil der Globalstrahlung, als in den Vormittags- oder Nachmittagsstunden. Auch ist zu dieser Zeit auch die Energiemenge höher, die bis zum Boden durchdringt (22 %). Somit kann festgestellt werden, daß solange die Laubkrone sich nicht gänzlich geschlossen hat, große Unterschiede im Tagesgang der Strahlungsumsätze der verschiedenen Niveaus sich entwickeln.

An der Abbildung 2 werden die in den einzelnen Niveaus gemessenen Strahlungsmengen angeführt, wobei im Teil „a“ der Abbildung die Messungen vom 23. April 1968 dargestellt sind. Es ist gut ersichtlich, daß durch das untere Kronengebiet, welches in 12 m Höhe beginnt, ein bedeutender Teil der angehenden Strahlung absorbiert wird. Die zweite Absorptionsschicht befindet sich unterhalb von 4 m.

### Zustand der vollen Belaubung

Im geschlossenen Walde erreicht nach der Schließung der Belaubung den Waldboden nur ein sehr geringer Teil der kurzwelligigen Strahlung. Tabelle V enthält Meßergebnisse, welche an einem bedeckten Tage (16. Mai 1967) gewonnen wurden in einem lockeren und einem geschlossenen Bestande. Im lockeren Bestande sind es 52 % der Strahlung, welche über den Laub durchdringen. Dem zufolge erreicht das nichtholzige Untergewächs selbst eine Höhe von 20 bis 30 cm. Im geschlossenen Waldbestande gibt es nur wenig Untergewächs, da hier der Boden nur 10—15 % der Energiemenge erhält, welche der Kronenoberfläche zukommt. Dies ist für die Aufrechterhaltung einer Vegetation unzulänglich, demzufolge pausiert hier größtenteils die Vegetation des Untergewächses. Gegen Sommermitte wird die Schließung eine noch vollkommenere.

Tabelle V.  
16. Mai 1967

Bedeckt bis wechselnd bewölkt

	9 <sup>h</sup>	10 <sup>h</sup>	11 <sup>h</sup>	17 <sup>h</sup>	14 <sup>h</sup>	Mittel, %
<i>Lockerer Waldteil</i>						
G <sub>t</sub>	0,36	0,75	0,90	0,61	0,36	
R	0,07	0,11	0,13	0,09	0,05	
G-R	0,29	0,64	0,77	0,52	0,31	
2 m	0,17	0,29	0,40	0,28	0,16	
Absorbiert	0,12	0,35	0,37	0,24	0,15	
%	41,4	54,6	48,1	46,1	48,1	48,3
<i>Geschlossener Waldteil</i>						
G <sub>t</sub>	0,37	1,07	0,63	0,47	0,28	
R	0,05	0,15	0,09	0,07	0,04	
G-R	0,32	0,92	0,54	0,40	0,24	
2 m	0,06	0,05	0,10	0,08	0,04	
Absorbiert	0,26	0,87	0,44	0,32	0,20	
%	81,3	94,5	81,2	80,0	83,3	84,1

Bedeutung des Symbols G<sub>t</sub> = Globalstrahlung auf freiem Gelände.

Auf Grund der am 7. Juni 1968 vorgenommenen Messung erreichen nur 5 % der kurzwelligen Energiemenge den Boden. 92 % der kurzwelligen Energiemenge werden in dem in 4 m Höhe beginnenden und bis 12 m Höhe sich erstreckenden Kronenniveau absorbiert, hauptsächlich zwischen 12 m und 8 m Höhe, wie dies auch aus Teil „b“ der Abb. 2 hervorgeht. BAUMGARTNER (1956) bestimmte für den 7. Juli 1952 in einem Nadelwald eine 94 % betragende Absorption am Boden, bezogen auf die Tagessumme der Gesamtstrahlungsbilanz. Auf Grund der im Jahre 1968 ausgeführten Messungen wurde Abb. 3 entworfen, in welcher die Resultate der in verschiedenen Zeitpunkten ausgeführten Messungen dargestellt werden vom Stadium bevor des Sprießens bis zur vollen Belaubung. Es ist ersichtlich, daß mit der Ausbildung der Belaubung der Teil,

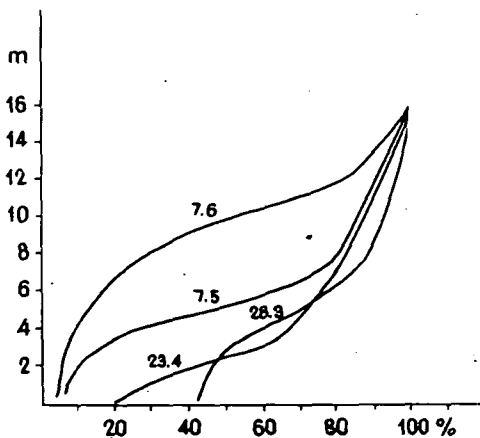
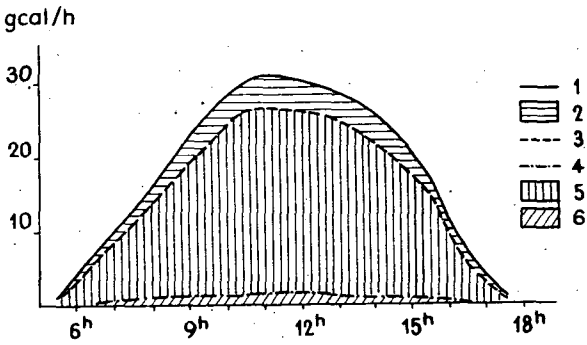


Abb. 3. Vertikale Verteilung der in verschiedenen Zeitpunkten gemessenen Mittelwerte der Strahlung in einem geschlossenen Walde



Abb. 4. Tagesgang der kurzwelligen Strahlungskomponenten in einem geschlossenen Walde, bei voller Belaubung, Mittelwert von 8 Tagen



durch welchen die kurzwellige Strahlung absorbiert wird, stufenweise auf das höhere Niveau verschoben wird. Im unbelaubten Zustande (28. April) erreichen nahezu 50 % den Boden, hingegen hat man für den 7. Juni nur einen Wert von 5—6 %. Der übrige Teil wird hauptsächlich in der Laubkrone unterhalb 12 m absorbiert.

In der Zeit vom 8. bis 19. September 1967 wurde die Globalstrahlung über dem Walde und im Walde in 2 m Höhe, sowie die Reflexionsstrahlung über dem Walde fortlaufend registriert und wir waren somit in der Lage, auch den Tagesgang der in den Wald eindringenden Strahlungsmenge zu untersuchen. Die Angaben dieser Messungsperiode werden in Abb. 4 dargestellt. Wie ersichtlich, erhält die Bodenoberfläche nur etwa 5—6 % der einfallenden kurzwelligen Energiemenge. Die Tagessumme der Energiebilanz ( $G-R$ ) der auf die Waldoberfläche einfallenden kurzwelligen Strahlung beträgt im 8-tägigen Mittel:  $206,8 \text{ kal/cm}^2$ , gleichzeitig hat man an der Bodenoberfläche den Wert  $11,6 \text{ kal/cm}^2$ . Zu dieser Zeit besitzt der Wald noch eine sommerliche Laubkrone. Infolge der Saumvegetation dringt bei der frühmorgendlichen und spätnachmittäglichen Sonnenhöhe keine Strahlung im Walde ein, eine Bestrahlung erfolgt erst, wenn der Sonnenstand einen gewissen Wert überschreitet. Mit der Zunahme der Sonnenhöhe erfolgt auch eine Zunahme der in den eindringenden Energiemenge.

Im Laufe des Herbstes erfolgt mit dem Abfallen des Laubes eine stufenweise fortschreitende Eröffnung des Bestandes und der Waldboden erhält immer mehr und mehr Bestrahlung. Die im November 1967 gemessenen Angaben werden auf Abb. 5 mitgeteilt. Im Durchschnitt von zwei Tagen hat man

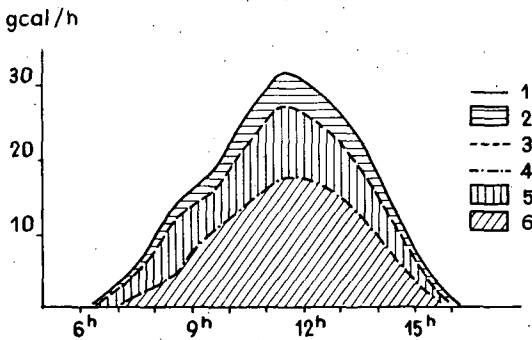


Abb. 5. Tagesgang der kurzwelligen Strahlungskomponenten in einem geschlossenen Walde in November, Mittelwert von 2 Tagen

über dem Walde eine kurzweilige Strahlungsbilanz von  $137 \text{ gcal/cm}^2$  und am Boden einen Wert von  $70,3 \text{ kal/cm}^2$ , der letztere Wert beträgt 60 % des Wertes über dem Walde. (BERÉNYI und NAGY, 1968). Diese Zunahme kommt auch in der vertikalen Temperaturverteilung zur Geltung. Im Gegensatz zu den im September ausgeführten Messungen, nach welchen die Temperatur im Walde eine Zuhahme mit der Höhe aufgewiesen hat, erhält man nach den Messungen im November fast keine Temperaturänderungen mit der Höhe. Die Temperaturamplitude hat dabei auch im Walde zugenommen. Der laublose Zustand sichert bessere Möglichkeiten für eine Vermischung mit der Umgebungsluft, und dieser Vorgang ist auch ein rascherer.

Aus den vorliegenden Untersuchungen kann festgestellt werden, daß die kurzweilige Strahlungsmenge, welche bis zum Waldboden durchdringt, von der Dichte des Waldes und von der Mächtigkeit der Laubkrone abhängig ist. Diese Strahlungsmenge ist bei laublosem Zustande die höchste. Die Temperaturverhältnisse des Waldes werden nicht nur durch die empfangene kurzweilige Strahlungsmenge bestimmt, sondern auch durch den seitlichen Luftaustausch.

#### LITERATUR

- BAUMGARTNER, A. (1956): Untersuchungen über den Wärme- und Wasserhaushalt eines jungen Waldes. Ber. D. Wetterd. 2. Nr. 28.
- BERÉNYI, D. — NAGY, L. (1968): Mikroklíma mérések az Újszentmargitai védett erdőben és annak környékén (Mikroklímatische Messungen im geschützten Waldgebiet von Újszentmargita und dessen Umgebung), Acta Geographica Debrecina. XIV. (Serie VII., 35 — 43).
- GEIGER, R. (1961): Das Klima der Bodennahen Luftschicht. Braunschweig 1961.
- HECKERT, L. (1959): Die klimatischen Verhältnisse in Laubwäldern, Z. Meteorol. 13. 211 — 223.
- MUNN, R. E. (1966): Descriptive Micrometeorology, London 1966. pp. 155 — 157.
- PAPP, L. (1958): A záródás és az állományklíma kapcsolata (Zusammenhang zwischen Geschlossenheit und Bestandklíma), Erdészettudományi Közlemények, Budapest 1958, 134 — 135.
- RAUNER, YU. L. (1961): On the Heat Budget of a Deciduous Forest in Winter (Wärmebilanz eines aus Laubbäumen bestehenden Waldes im Winter), in: R. E. Munn: Descriptive Micrometeorology, New York, 1966. p. 156.
- WAGNER, R. (1955): A mikroklímák elrendeződése Hosszúbércen (Verteilung der Mikroklímaten am Hosszúbérc). Beszámoló az 1955-ben végzett kutatásokról. Orsz. Meteorológiai Intézet, amtliche Veröffentlichungen, Bd. 20. pp. 197 — 213.